

فصل پنجم

آشنایی با فیزیک اتمی

۵-۱- اثر فوتوالکتریک و فوتون

۵-۲- طیف خطی

۵-۳- مدل اتمی رادرفورد - بور

۵-۴- لیزر

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی فصل ۵

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

- دانش‌آموزان با درک مفاهیم اساسی در برخی از مباحث فیزیک جدید به این شناخت می‌رسند که :
- فیزیک کلاسیک قادر به تبیین درست و کامل برخی از پدیده‌های فیزیکی نیست.
 - نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک کلاسیک در محدوده معینی کاربرد دارند.
 - برای تبیین برخی از پدیده‌های فیزیکی لازم است به دنبال نظریه‌ها و فرضیه‌های جدیدی باشیم که بتوانند محدودیت‌های فیزیک کلاسیک را پشت سر بگذارند.
 - تکامل یک نظریه در فیزیک جدید، حاصل تلاش دانشمندان زیادی در یک بازه زمانی بوده است.
 - اثر فوتوالکتریک براساس دو فرضی که اینشتین کرد به درستی تبیین شد.
 - تابش الکترومغناطیسی (نور) به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی است که انرژی هر بسته با بسامد موج متناسب است.
 - هر بسته انرژی صرفاً با یکی از الکترون‌های سطح فلز برهم‌کنش می‌کند.
 - تمامی اجسام در هر دما از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند. اجسام جامد دارای طیف گسیلی پیوسته و گازها دارای طیف گسیلی خطی هستند.
 - مدل اتمی تامسون، هر چند پایداری اتم و تابش اتم را می‌توانست توضیح دهد ولی بسامدهای تابش شده از اتم که این مدل پیش‌بینی می‌کرد با تجربه سازگار نبود.
 - مهم‌ترین دستاورد مدل اتمی رادرفورد، تبیین مدل اتم هسته‌ای بود به طوری که در مرکز اتم، هسته‌ای با بار مثبت قرار دارد که حجم بسیار اندکی از اتم را اشغال می‌کند.
 - بور با فرض‌های جدیدی توانست مشکلات مدل رادرفورد را رفع کند و رفتار اتم هیدروژن (جذب و گسیل تابش) را براساس مدلی که ساخته بود به خوبی تبیین کند.
 - لیزر یکی از پرکاربردترین اختراعات قرن بیستم است که براساس گسیل القایی تابش کار می‌کند.

چه شناختی مطلوب است؟

- نظریه‌ها و فرضیه‌های فیزیک جدید قادر به تبیین پدیده‌هایی شدند که فیزیک‌دانان کلاسیک در اواخر قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم برای بررسی آنها مشکل جدی داشتند.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شود؟

- آیا نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک کلاسیک قادر به تبیین همه پدیده‌های فیزیکی هستند؟
- دانشمندان فیزیک جدید چگونه توانستند پدیده‌های فیزیکی را که چالش بزرگی برای فیزیک‌دانان کلاسیک در اواخر قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم شده بود به خوبی تبیین کنند.
- تفاوت طیف گسیل شده از اجسام جامد و گازها در چیست؟
- هر یک از مدل‌های اتمی تامسون و رادرفورد چه مشکلاتی داشتند؟
- بور با چه فرض‌هایی توانست مدل اتمی خود را ارائه دهد؟
- فوتون‌های گسیل شده براساس گسیل القایی، چه ویژگی‌هایی دارند؟
- نقش ترازهای شبه پایدار در تشکیل باریکه لیزر چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

- دانش‌آموزان خواهند دانست که :
- نظریه‌های فیزیکی در طول زمان به گونه‌ای تغییر می‌کنند تا قادر به تبیین درست پدیده‌های فیزیکی باشند.
- اثر فوتوالکتریک بنابر فرض اینشتین، توضیح داده می‌شود.
- طیف گسیلی یا جذبی اتم‌ها با یکدیگر متفاوت است و به عنوان شناسه اصل هر اتم می‌توان از آن استفاده کرد.
- دانش‌آموزان قادر خواهند بود :
- ناکامی‌های فیزیک کلاسیک را در تبیین برخی از پدیده‌های فیزیکی شرح دهند.
- چگونگی تشکیل طیف اجسام مختلف (جامدها و گازها) را بیان کنند.
- سیر تکامل مدل‌های اتمی را در قرن بیستم (دو دهه ابتدایی قرن) توضیح دهند.
- نحوه کار لیزر را به کمک مفاهیمی که آموخته است شرح دهد.

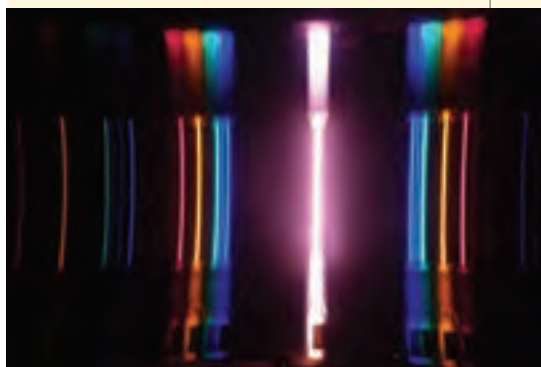
بودجه‌بندی پیشنهادی

- جلسه اول و دوم : نگاهی به تصویر شروع فصل و مقدمه فصل + بخش ۵-۱
 - جلسه سوم و چهارم : بخش ۵-۲
 - جلسه پنجم و ششم : بخش ۵-۳
 - جلسه هفتم : بخش ۵-۴ و تمرین‌های مربوطه
 - جلسه هشتم : آزمون تشریحی فصل ۵
- بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را در جلسه‌های مختلف توزیع کنید.



فصل

آشنایی با فیزیک اتمی




چرا اوقتی به الکترودهای دو سر لامپ‌های جاری گاز رقیق و کم‌فشار عناصری مانند هیدروژن، هلیوم، جیوه یا نئون، ولتاژ بالایی را اعمال می‌کنیم تیرج به گسیل نور به رنگ‌های مختلف می‌کنند؟

پیش‌نیازها

- ۱-۵ اثر فوتوالکتریک و فوتون
- ۲-۵ طیف خطی
- ۳-۵ مدل اتم رادرفورد-بور
- ۴-۵ لیزر

راهنمای تدریس





فصل

آشنایی با فیزیک اتمی

چرا وقتی به الکترودهای دو سر لامپ‌های جاری گاز رقیق و کم فشار عناصری مانند هیدروژن، هلیوم، جیوه یا نئون، ولتاژ بالایی را اعمال می‌کنیم شروع به گسیل نور به رنگ‌های مختلف می‌کند؟

پیش‌ها

- ۱- اثر فوتوالکتریک و فوتون
- ۲- طیف خطی
- ۳- مدل اتم رابرت بورد-بور
- ۴- لیزر

پس از توجه دادن دانش‌آموزان به تصویر شروع فصل و مقدمه فصل، و همچنین پرسش زیر تصویر ورودی فصل، که پاسخ آن مربوط به بخش طیف خطی است، شرحی در خصوص ناکامی‌های فیزیک کلاسیک در تبیین برخی از پدیده‌های فیزیکی (ترجیحاً به صورت یک بحث تاریخی) را با دانش‌آموزان در میان بگذارید.

ادامه راهنمای تدریس

۱-۵ اثر فوتوالکتریک و فوتون

اثر فوتوالکتریک ابتدا از منظر پدیده‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. چنانچه لامپ فرانکفش در اختیار داشتید، به کمک یک چشمه لامپ رشته‌ای معمولی و لامپ فرانکفش می‌توانید این پدیده را به کمک یک الکتروسکوپ دارای بار منفی به دانش‌آموزان نشان دهید. به عبارت دیگر دیدن این پدیده می‌تواند مبنای مناسبی برای درگیر کردن دانش‌آموزان به موضوع باشد.

توجه

ممکن است دانش‌آموزان سؤال کنند که چرا از برق‌نمای با بار منفی برای انجام این آزمایش استفاده شده است، پاسخ این است که گستره طول موج فرانکفش بین 10 nm تا 400 nm است، بنابراین در حالتی که برق‌نما دارای بار منفی است، با لامپ‌های فرانکفش معمولی که به سادگی در دسترس‌اند و طول موج بالایی دارند نیز می‌توان این پدیده را مشاهده کرد، در حالی که برق‌نما دارای بار مثبت باشد، لازم است از لامپ فرانکفش با طول موج کم استفاده کرد که معمولاً در دسترس نیستند. ضمن اینکه در این حالت نیز ممکن است افزایش فاصله صفحه‌های برق‌نما از یکدیگر چندان مشهود نباشد. همچنین اگر برق‌نما از ابتدا خنثی باشد، جدا کردن الکترون از کلاهیک آن نیاز به لامپ‌های فرانکفش (UV) با طول موج کم دارد.

پرسش ۱-۵

پاسخ مورد انتظار : انرژی فوتون‌هایی که به سطح فلز ۲ برخورد می‌کنند از تابع کار فلز ۲ کمتر است. به همین دلیل فوتوالکترونی از سطح فلز ۲ خارج نمی‌شود.

فیزیک ۳۰

جدول ۵-۱ تابع کار چند فلز

فلز	W_0 (eV)
طلا	۵.۱۰
کاتد	۵.۰۱
نیکل	۴.۷۰
مس	۴.۶۴
قرص	۴.۵۲
تنگستن	۴.۵۰
آهن	۴.۳۱
روی	۴.۳۱

این نظر اشتباهی را می‌توان به کمک قانون باسنکی انرژی به صورت زیر نوشت :

(۲-۵) $hf = W_0 + K$ (قانون باسنکی انرژی در اثر فوتوالکتریک)

که در آن W_0 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 می‌مانند، 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 برخی از فوتوالکتریک‌های گسیل‌شده از آن برای خارج کردن آنها از فلز کافی نیست.

(۳-۵) $K_{\text{max}} = hf - W_0$ (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. در جدول ۵-۱ تابع کار چند فلز داده شده است. اگر نمودار K_{max} را به رسم f یا به رسم λ رسم کنیم، به صورت خط راستی خواهد بود که محور افقی را در $f = f_0$ قطع می‌کند (شکل ۳-۵). در این بسامد، که معمولاً **بسامد آستانه** نامیده می‌شود، الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی از آستانه کار فلز است. در این صورت با توجه به معادله ۳-۵، انرژی فوتون فردی مساوی تابع کار فلز است و بسامد آستانه از رابطه زیر بدست می‌آید :

(۴-۵) $f_0 = \frac{W_0}{h}$ (بسامد آستانه فوتوالکتریک‌ها)

توجه : نمودار پهنه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها به رسم انرژی فوتون فردی، f یا به رسم نور فردی، λ از یک طرف و به رسم تابع کار فلز، W_0 از طرف دیگر، یک خط راست است که در $f = f_0$ قطع می‌کند. در این صورت با توجه به معادله ۳-۵، انرژی فوتون فردی مساوی تابع کار فلز است و بسامد آستانه از رابطه زیر بدست می‌آید :

پرسش ۱-۵

تألیس با بسامد معین باعث می‌شود تا فوتوالکتریک‌های سطح فلز ۱ را ترک کنند، ولی از سطح فلز ۲ خارج نشوند. انرژی فوتون‌های فردی را با تابع کار فلزها مقایسه کنید.

توجه : در فیزیک اتمی و فیزیک هسته‌ای، یکای ژول برای بیان انرژی فوتون‌ها و ذرات، یکای بسیار بزرگی است. به همین دلیل از یکای به نام الکترون‌ولت (eV) استفاده می‌کنیم. برای آشنایی با این یکای غیر SI، فرض کنید الکترونی با بار $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل ۱V حرکت کند. در این صورت با توجه به رابطه $\Delta U = q\Delta V$ که در فیزیک ۲ با آن آشنا شدید، انرژی تغییر در انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون برابر است با :

این مقدار انرژی را بنا به تعریف، یک الکترون‌ولت (eV) می‌نامند. ضرب‌های دیگری از این یکا به صورت keV (کیلو الکترون‌ولت) و MeV (مگا الکترون‌ولت) اغلب به کار می‌روند.

به این ترتیب یکای ثابت پلانک را به جای h می‌توان به رسم یکای h نیز بیان کرد :

$h = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \left(\frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} \right) = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

فصل ۵-۱ آشنایی با فیزیک اتمی

مثال ۵-۱

یک چشمه نور مرئی با توان $W = 1.0 \text{ W}$ فوتون‌هایی با طول موج $\lambda = 550 \text{ nm}$ گسیل می‌کند. (الف) انرژی هر فوتون را بر حسب الکترون‌ولت محاسبه کنید. (ب) چه تعداد فوتون در هر ثانیه از این چشمه نور گسیل می‌شود؟ (ج) پاسخ : (الف) از رابطه ۵-۱ انرژی هر فوتون برابر است با :

ابتدا مقدار hc را حساب می‌کنیم :

اگر λ را بر حسب eV و m را بر حسب kg بنویسیم، خواهیم داشت :

بنابراین در حل مسائل می‌توانیم مقدار hc را برابر $1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ اختیار کنیم. خوب است این مقدار و یکای آن را به خاطر بسپارید تا در صورت نیاز از آن استفاده کنید. به این ترتیب داریم :

ب) ابتدا انرژی تابش‌شده توسط لامپ را در هر ثانیه به دست می‌آوریم :

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون که در قسمت الف پیدا کردیم، شمار فوتون‌های گسیل‌شده از این چشمه را در هر ثانیه به دست می‌دهد، به این ترتیب داریم :

این شمار زیاد فوتون، که در هر ثانیه از یک چشمه معمولی نور در فضای پیرامون آن گسیل می‌شود حاکی از آن است که در زندگی روزمره آثار ناشی از این شمار بسیار زیاد فوتون برای ما ملموس نیست.

مثال ۵-۲

(الف) تابع کار طلا برابر 5.2 eV است. بسامد کمینه نور برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح این فلز را پیدا کنید. (ب) طول موج آستانه (طول موج متناظر با بسامد آستانه f_0) را به دست آورید. (ج) پاسخ : (الف) بسامد کمینه نور برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح طلا برابر بسامد آستانه است. بنابراین از رابطه ۴-۵ داریم :

فوتون‌های توری که بسامد آنها بیشتر از $f = 1.24 \times 10^{15} \text{ Hz}$ است، انرژی کافی برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح طلا را دارند.

ب) از رابطه $c = f\lambda$ ، طول موج متناظر با این بسامد تقریباً 244 nm بدست می‌آید که در ناحیه فرابنفش طیف الکترومغناطیسی قرار دارد.

تمرین ۱-۵

حل مورد انتظار

(الف) $W_0 = ?$, $\lambda_0 = 254 \text{ nm}$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} \Rightarrow W_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}}{254 \text{ nm}} \approx 4.88 \text{ eV}$$

ب) به ازای طول موج‌های مساوی با طول موج آستانه اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد و فوتون الکترون در آستانه ترک کردن سطح فلز است. به ازای طول موج‌های بزرگ‌تر از طول موج آستانه اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. چنانچه طول موج نور فرودی کمتر از طول موج آستانه باشد، اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد و فوتو الکترون‌ها سطح فلز را ترک می‌کنند.

تمرین ۲-۵

حل مورد انتظار :

الف) با توجه به جدول ۱-۵، تابع کار روی $4/31 \text{ eV}$ است. به این ترتیب بلندترین طول موج (که در واقع همان طول موج آستانه است) برای گسیل فوتو الکترون‌ها برابر است با

$$f_s = \frac{W_s}{h} \Rightarrow \lambda_s = \frac{hc}{W_s} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{4/31 \text{ eV}} \approx 287 \text{ nm}$$

ب) از رابطه ۳-۵ داریم :

$$K_{\max} = hf - W_s = \frac{hc}{\lambda} - W_s = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{287 \text{ nm}} - 4/31 \text{ eV} = 0/01 \text{ eV} = (0/01 \text{ eV}) \left(\frac{1/6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) = 1/6 \times 10^{-21} \text{ J}$$

به این ترتیب داریم :

$$\frac{1}{2} m v_{\max}^2 = 1/6 \times 10^{-21} \text{ J}$$

$$\frac{1}{2} (9/11 \times 10^{-31} \text{ kg}) v_{\max}^2 = 1/6 \times 10^{-21} \text{ J} \Rightarrow$$

$$v_{\max} = \sqrt{3/51 \times 10^{-9} (\text{J/kg})} = 5/92 \times 10^4 \text{ m/s}$$

راهنمای تدریس

۲-۵ طیف خطی

یکی دیگر از چالش‌های فیزیک دانان کلاسیک در اواخر قرن نوزدهم، تبیین درست دلیل تفاوت طیف گسیلی پیوسته از جسم جامد و طیف گسیلی خطی از گازها بود. به عبارت دیگر فیزیک دانان آن زمان، با توجه به نظریات فیزیک کلاسیک قادر نبودند که توضیح دهند که چرا طیف گسیل شده از گازها به صورت طیف خطی است در حالی که طیف گسیل شده از اجسام جامد به صورت طیف پیوسته است که شامل تمامی طول موج‌ها است.

به این ترتیب باید در ابتدا این موضوع به عنوان یکی دیگر از چالش‌های فیزیک دانان کلاسیک برای دانش آموزان به خوبی شرح داده شود و سپس مطابق آنچه در کتاب درسی آمده است فرایند آموزش را دنبال کنید.

توجه

در شکل ۶-۵، طیف گسیلی از رشته تنگستن یک لامپ روشن نشان داده شده است. از آنجا که رشته تنگستن جسمی جامد است، طیف آن پیوسته است. در این شکل تنها ناحیه مرئی طیف گسیل شده نشان داده شده است. در شکل ۷-۵ طیف گسیلی خطی برای گازهای نئون و جیوه نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود، طیف این گاز تنها شامل تعدادی خط‌های رنگی است (در این

شکل‌ها فقط خط‌های ناحیه مرئی نشان داده شده است). تعداد این خط‌ها و مکان آنها برای هر گاز، منحصر به فرد است و از گازی به گاز دیگر متفاوت است. به عبارت دیگر، طیف خطی هر گاز، به مثابه اثر انگشت آن گاز محسوب می‌شود.

ادامه راهنمای تدریس

یکی از دانشمندانی که در نیمه دوم قرن نوزدهم به اندازه‌گیری طول موج طیف گسیلی گازهای اتمی در ناحیه مرئی پرداخت، اندرس انگستروم (۱۸۷۴ – ۱۸۱۴ م.) دانشمند سوئدی بود. اندازه‌گیری طول موج‌های مرئی طیف گسیلی توسط انگستروم برای گاز اتمی هیدروژن مبنای معادله‌ای شد که بالمر (۱۸۹۸ – ۱۸۲۵ م.) دانشمند سوئیسی آن را به‌طور تجربی به‌دست آورد. این معادله که حاصل بازی ریاضیاتی با داده‌های انگستروم در خصوص طیف گسیلی گاز اتمی هیدروژن بود، در معادله ۵-۵ کتاب درسی بیان شده است.

برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، هلیوم، سدیم و تون معمولاً از یک لایب پارک و بلند کننده‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم‌فشار است استفاده می‌شود. دو الکترود به تارهای آهن و کاتد در دو طرف این لایب قرار دارد که به ترتیب به پائنه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل‌اند. این ولتاژ بالا، سبب تخلیه الکتریکی در گاز می‌شود و اتم‌های گاز درون لایب شروع به گسیل نور می‌کنند. آزمایش نشان می‌دهد که طیف خطی ایجادشده و همچنین رنگ نور گسیل‌شده، به نوع گاز درون لایب بستگی دارد. در میان طیف گسیلی گازهای مختلف، طیف خطی هیدروژن اتمی هم از جنبه تاریخی و هم از جنبه نظری اهمیت خاصی دارد. طیف خطی این گاز در ناحیه مرئی، شامل یک رشته منظم از خط‌هایی است که محل آنها در شکل ۸-۵ نشان داده شده است. در سال ۱۸۸۵ میلادی، بالمر، ریاضی‌دان سوئیسی، رابطه‌ای ساده پیشنهاد کرد که طول موج هر یک از خط‌های شناخته‌شده مربوط به طیف گسیلی خطی هیدروژن اتمی را به‌دست می‌داد. این رابطه عبارت است از:

$$\lambda = (364.56 \text{ nm}) \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (\text{معادله بالمر}) \quad (5-5)$$

که در آن $n \geq 3$ و هواره عددی صحیح است. با قرار دادن $n = 3, 4, 5, 6$ در معادله بالمر، طول موج خط‌های طیف گسیلی اتم هیدروژن در ناحیه مرئی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

(خط قرمز) $n = 3 \rightarrow \lambda_3 = 656.3 \text{ nm}$
 (خط آبی) $n = 4 \rightarrow \lambda_4 = 486.1 \text{ nm}$
 (خط نیلی) $n = 5 \rightarrow \lambda_5 = 434.0 \text{ nm}$
 (خط بنفش) $n = 6 \rightarrow \lambda_6 = 410.1 \text{ nm}$

شکل ۸-۵ الف) به کمک دستور، طول موج‌های گسیلی از گاز، از یکدیگر جدا و طیف خطی آن تشکیل شده است. ب) اسباب آزمایش تشکیل و مشاهده طیف گسیلی گازها

توجه

از آنجا که در برخی از مدارس لامپ‌های حاوی گازهای کم‌فشار برخی از عناصر و از جمله گاز هیدروژن موجود است، لذا توصیه می‌شود مطابق شکل ۸-۵ ب کتاب درسی این آزمایش را انجام دهید تا دانش‌آموزان طیف گسیلی خطی گاز اتمی هیدروژن را به‌طور مستقیم مشاهده کنند.

ادامه راهنمای تدریس

یکی از پیش‌بینی‌های بالمر پس از به‌دست آوردن رابطه ۵-۵ این بود که گاز هیدروژن هنگام تابش ممکن است خط‌های دیگری در ناحیه‌های دیگر طیف امواج الکترومغناطیسی (شامل فرابنفش و فروسرخ) داشته باشد. هرچند بالمر آن قدر زنده نماند تا نتیجه پیش‌بینی علمی خود را ببیند (به تاریخ‌های مندرج در جدول ۲-۵ توجه شود)، ولی براساس همین پیش‌بینی، ریدبرگ دانشمند سوئدی به بازنویسی معادله بالمر پرداخت و رابطه‌ای کلی‌تر برای به‌دست آوردن طول موج‌های طیف گسیلی گاز اتمی هیدروژن به‌دست آورد. این رابطه به‌صورت معادله ۶-۵ در کتاب درسی آمده است که به‌ازای $n' = 2$ به معادله ۵-۵ بالمر می‌رسیم که مربوط به طول موج‌های طیف هیدروژن اتمی در ناحیه مرئی است.

توجه

همان‌طور که در جدول ۲-۵ دیده می‌شود، حدود ۴۰ سال طول کشید تا پس از پیش‌بینی بالمر در سال ۱۸۸۵ میلادی خط‌های باقیمانده در طیف گسیلی خطی هیدروژن اتمی در ناحیه فروسرخ به سبب ساخت وسایل اندازه‌گیری دقیق‌تر، کشف شوند. نکته جالب توجه دیگر این جدول این است که خط‌های دیگر طیف هیدروژن اتمی که پس از ارائه مدل اتمی بور در سال ۱۹۱۳ میلادی کشف شدند، به‌نوعی طول موج آنها توسط مدل اتمی بور نیز پیدا شده بود. انطباق نتایج تجربی و نتایج به‌دست آمده از مدل بور یکی از موفقیت‌های مدل برای اتم هیدروژن به حساب می‌آید.

فصل ۵، آشنایی با فیزیک اتمی



نیلس رات ریدبرگ (۱۸۷۸-۱۹۲۶) فیزیکدان و متخصص طیف‌سنجی، در سوئد چنانچه همگامی که مشاهده بود، بخشی از دنیا یافت و وارداتی مجبور شده با درآمد کمی زندگی خود را سپری کند. در سال ۱۸۹۳ دیزیا دیوستان را با ابرار متناظر در فیزیک و ریاضی به پایان رسانید و در همان سال در دانشگاه لاند استاد گردید. وی در سال ۱۸۹۹ دوره‌ای خود را به پایان رسانید. پس از آن به تدریس فیزیک و فیزیک مشغول شد و همین دوران بود که به مطالعه ریزن استاندارد اتمی حاضر در جدول نتایج متعلق پرداخت.

بالمر با تأمل بیشتر روی رابطه ۵-۵، پیشنهاد کرد که ممکن است رشته‌های دیگری از خط‌هایی که تا آن زمان در طیف هیدروژن دیده نشده‌اند وجود داشته باشند. ریدبرگ، فیزیک‌دان سوئدی، در راستای همین موضوع تلاش فراوانی برای کامل‌تر کردن طیف گسیلی خطی هیدروژن انجام داد و در سال ۱۸۸۸ معادله بالمر را به‌صورت زیر اصلاح و بازنویسی کرد:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n > n' \quad (۶-۵) \quad (\text{معادله ریدبرگ})$$

که در آن R ثابت ریدبرگ و مقدار آن برابر $1.097373 \times 10^7 \text{ (mm}^{-1}\text{)}$ است و برای سادگی در محاسبات، مقدار آن را می‌توان $1.1 \times 10^7 \text{ (mm}^{-1}\text{)}$ در نظر گرفت. همچنین n' عدد صحیح مثبتی است که به‌ازای $n' = 2$ رابطه ۵-۵ مربوط به رشته بالمر به‌دست می‌آید که در ناحیه مرئی طیف قرار دارد. چندین سال پس از درگشت بالمر و با اصلاح ابزارها و روش‌های طیف‌سنجی، امکان کشف گستره طول‌موج‌های دیگری در طیف گسیلی گاز هیدروژن به‌وجود آمد و مشخص شد که به‌جز رشته بالمر رشته‌های دیگری در طیف گاز هیدروژن اتمی وجود دارد. در جدول ۲-۵ نام این رشته‌ها، که به‌ازای مقادیر متفاوت n' آمده‌اند درج شده است.

جدول ۲-۵ رشته خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی

نام طیف	تاریخ کشف	n' مقدار	رابطه ریدبرگ مربوط به رشته	مقادیر n	ناحیه طیف
لیمان	۱۹۰۶-۱۹۱۴	۱	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	۲، ۳، ۴، ...	فرابنفش
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	۳، ۴، ۵، ...	مرئی
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	۴، ۵، ۶، ...	فروسرخ
براکت	۱۹۱۴	۴	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	۵، ۶، ۷، ...	فروسرخ
پنوند	۱۹۱۴	۵	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	۶، ۷، ۸، ...	فروسرخ

۱- زمانی که مدل اتمی بور در سال ۱۹۱۳ میلادی مطرح شد، خط‌های گسیلی برای گاز هیدروژن اتمی فقط در رشته بالمر، رشته پاشن و معادله از خط‌های رشته لیمان به‌طور قطعی معلوم شده بودند. این مدل که با پیش‌بینی بالمر توافق خوبی داشت منجر به درک‌های برای باطن آن رشته‌ها شد. به طوری که سرانجام خط‌های رشته‌های براکت و پنوند و همچنین خط‌های یابی‌مانده رشته لیمان به‌مرجع کشف شدند.

تمرین ۳-۵

حل مورد انتظار:

همان‌طور که در متن تمرین نیز اشاره شده است رشته پاشن
متناظر با $n' = 3$ در رابطه ۳-۵ خواهد بود. به این ترتیب داریم:

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

طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی به ترتیب به ازای
 $n = 4$ و $n = 5$ به دست می‌آید. در این صورت داریم:

$$\frac{1}{\lambda_1} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{9R}{144} \Rightarrow \lambda_1 = 1875 \text{ nm}$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{16R}{225} \Rightarrow \lambda_2 = 1278 \text{ nm}$$

با توجه به شکل ۳-۲۲ یا مراجعه به جدول ۳-۵، این طول
موج‌ها در ناحیه فروسرخ طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارند.

فیزیک ۳۳

مثال ۳-۵

طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشته پراکت ($n' = 2$) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها
در کدام گستره طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع اند.

پاسخ: در رشته پراکت ($n' = 2$) برای اولین و دومین خط طیفی به ترتیب $n = 3$ و $n = 4$ است. در این صورت با استفاده
از رابطه ۳-۵ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = R \left(\frac{9}{36} - \frac{4}{36} \right) = R \left(\frac{5}{36} \right) \Rightarrow \lambda = 4.10 \times 10^{-7} \text{ m} = 410 \text{ nm}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = R \left(\frac{16}{64} - \frac{9}{64} \right) = R \left(\frac{7}{64} \right) \Rightarrow \lambda = 3.65 \times 10^{-7} \text{ m} = 365 \text{ nm}$$

با مراجعه به طیف موج‌های الکترومغناطیسی در فصل ۳، مشاهده می‌کنیم که این خط‌های طیفی در ناحیه فروسرخ قرار دارند.

مثال ۳-۵

کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج در رشته پراکت ($n' = 2$) هیدروژن اتمی را به دست آورید.
پاسخ: کوتاه‌ترین طول موج، با $n = 3$ متناظر است. در این صورت با استفاده از رابطه ۳-۵ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{R}{36} \Rightarrow \lambda = 3.65 \times 10^{-7} \text{ m} = 365 \text{ nm}$$

همچنین بلندترین طول موج این رشته، متناظر با $n = 4$ است. در این صورت داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{16R}{64} = \frac{R}{4} \Rightarrow \lambda = 3.65 \times 10^{-7} \text{ m} = 365 \text{ nm}$$

تمرین ۳-۵

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 واقع اند.

معادله ریبرگ که برگرفته از داده‌های تجربی است، طول موج‌هایی را به دست می‌دهد که هیدروژن
اتمی در طیف الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. ولی مثل‌های اتمی رایج آن زمان در خصوص اینکه
چرا تنها طول موج‌های معینی توسط هیدروژن اتمی تابش می‌شود، پاسخی نداشتند. نیاز بود،
فیزیکدان دانتارکی (۱۹۶۱-۱۸۸۵ م.) با اصلاح مدل اتمی رادرفورد، برای نخستین بار توانست
توضیح مناسبی برای طول موج‌های گسیل‌شده توسط گاز هیدروژن اتمی ارائه دهد. در واقع
بل بور، آغاز راهی برای درک این موضوع بود که چگونه ساختار اتم، طول موج‌های تابش‌شده را
به مقدارهای معینی محدود می‌کند.

۱- شباهت این مدل و مدل‌های دیگر، باید مقدار h مربوط به هر رشته همگام از زمانیه داده شود و لازم نیست ثابت دانتارکی h مربوط
به رشته‌های مختلف را حفظ کند.

راهنمای تدریس

۳-۵ مدل اتم رادرفورد – بور

تا پیش از ارائه مدل اتمی تامسون در سال ۱۹۰۴ میلادی، مدل
اتمی رایج مدل دالتون بوده است که اتم‌ها را به صورت ذرات بسیار
ریز کروی شکل بدون بار الکتریکی در نظر می‌گرفت که اندازه این ذرات
بسیار ریز و اندازه و جرم آنها برای عناصر مختلف با هم تفاوت دارد.
این مدل به مدل توپ بیلارد نیز موسوم بود. پس از کشف الکترون
توسط تامسون، نیاز به تغییر مدل اتمی دالتون احساس شد به طوری
که تامسون دریافت که منشأ الکترون‌های خارج شده از جسم باید اتم
باشد. به همین دلیل تامسون علاقه‌مند شد که روی ارائه مدل اتمی
جدیدی کار کند. تامسون مدل اتمی خود را در سال ۱۹۰۴ ارائه کرد.
تامسون پیشنهاد کرد که اتم به صورت ذره کروی شکل بسیار ریزی
است که به طور همگن دارای بار مثبت است و الکترون‌ها که ذره‌های
بسیار ریزتری هستند در جاهای مختلف این ذره باردار مثبت پخش
شده‌اند (معروف به مدل کیک کشمش).

مدل تامسون شامل بسیاری از خواص شناخته شده اتم‌ها تا آن زمان

فصل ۵: آشنایی با فیزیک اتمی

۳-۵ مدل اتم رادرفورد – بور

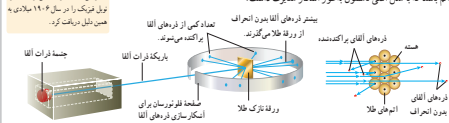
جوزف تامسون فیزیک‌دان انگلیسی، در سال ۱۸۹۶ میلادی موفق به کشف الکترون و اندازه‌گیری
نسبت بار به جرم e/m آن شد. کشف الکترون، تامسون را تشویق کرد تا مدلی برای اتم ارائه دهد.
این مدل سرانجام در سال ۱۹۰۴ میلادی ارائه شد. بنا بر مدل تامسون، اتم همچون کره‌ای است که
بار مثبت به طور همگن در سراسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم
دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمش می‌گویند، زیرا
الکترون‌ها مانند دانه‌های کشمش در آن پخش شده‌اند (شکل ۳-۵).

در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با پسماندهای معینی حول موضع عادلشان نوسان می‌کنند
این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود. یکی از تاکی‌های مدل تامسون این
بود که پسماندهای تابش گسیل‌شده از اتم، که این مدل پیش‌بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

وقتی ارنست رادرفورد در سال ۱۹۱۱ میلادی نتایج آزمایش‌های را انتشار داد که مدل تامسون
نمی‌توانست آنها را توضیح دهد، این مدل کنار گذاشته شد. رادرفورد و همکارانش پاریکه‌ای از
ذره‌های دارای بار مثبت را (از جنس هسته اتم هلیوم که به آن ذره آلفا گفته می‌شود) بر سطح ورقه‌ای
نازک از جنس طلا فرو تابانده (شکل ۳-۵-۱). رادرفورد با بر مبنای تامسون انتظار داشت که تمامی

ذره‌های آلفا، با انحراف بسیار اندکی از ورقه طلا بگذرند. در عمل نیز بیشتر این ذره‌ها بدون انحراف
یا با انحراف اندکی از ورقه طلا می‌گشتند و در برخورد با صفحه فلز نوسان، در پشت آن، جرقه‌های
نورانی تولید می‌کردند. با وجود این، برخی از ذره‌های آلفا در هنگام خروج از ورقه نازک طلا، در
زاویه‌های بزرگ منحرف و پراکنده می‌شدند و حتی تعدادی از آنها نیز به عقب برمی‌گشتند. رادرفورد
پس از انجام این آزمایش و بر اساس مدل تامسون و شناختی که از پاریکه ذرات آلفا داشت، گفت:
«مثل آن بود که گلوله توپی را به ورقه نازکی از کاغذ شلیک کنید و با شگفتی مشاهده کنید که پس از
برخورد گلوله توپ با سطح کاغذ، گلوله بازگردد.» این ذره‌ها باید با چیزی برخورد کرده باشند!

اما با چه چیزی؟ رادرفورد استدلال کرد که ذره‌های بدون انحراف باید از ورقه‌های نازک گشتند
باشند که نهی بوده باشند، در حالی که ذره‌های با انحراف شدید از مرکزهای بسیار چگال و دارای بار
مثبت منحرف شده‌اند. وی سرانجام نتیجه گرفت باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هر
اتم باشند که با مدل اتمی تامسون به طور آشکار مغایرت داشت.



شکل ۳-۵-۱ آزمایش رادرفوردی رادرفورد که در آن ذرات آلفا با یک ورقه نازک طلا برخورد
نماد: تمام وسیله‌ها به یک اتاقک طلا قرار داده که در این شکل نشان داده شده است.

بود؛ که از جمله آنها می‌توان به اندازه، جرم، تعداد الکترون‌ها و خنثایی الکتریکی اتم اشاره کرد. تامسون برای دلیل تابش اتم‌ها نیز، دلیل ظاهراً قانع‌کننده‌ای ارائه داد. تامسون اشاره می‌کرد که وقتی الکترون‌ها حول وضع تعادلشان نوسان کنند، اتم تابش می‌کند. ولی مشکل مدل تامسون در خصوص تابش اتم، مربوط به عدم انطباق بین بسامدهای به‌دست آمده از طریق تجربه و بسامدهایی بود که تامسون از طریق محاسبه به‌دست می‌آورد. با وجود این عدم موفقیت مدل تامسون، این مدل برای چندین سال تقریباً مورد پذیرش دیگر دانشمندان قرار گرفته بود.

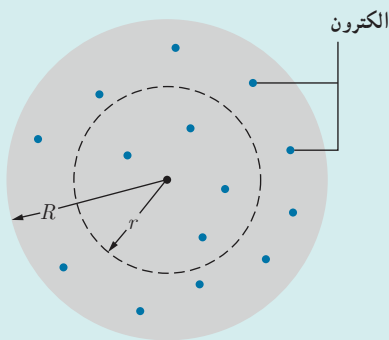
دانستنی برای معلم

نگاهی دقیق‌تر به مدل تامسون

مطابق مدل تامسون، اتم حاوی تعداد Z الکترون است که در کره‌ای همگن با بار مثبت توزیع شده‌اند (شکل زیر). کل بار مثبت این کره Ze ، جرم آن اساساً همان جرم اتم است (الکترون‌ها سهم چندانی در جرم کل اتم نداشتند) و شعاع این کره R ، برابر شعاع اتم است. نیروی وارد بر یک الکترون در فاصله r از مرکز یک کره توزیع بار یکنواخت و شعاع R را می‌توان با بهره‌گیری از قانون گاوس محاسبه کرد:

$$F = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot r = kx$$

این نیروی بازگرداننده خطی باعث می‌شود که الکترون‌ها حول وضع تعادلشان نوسان کنند، درست مانند جرم متصل به فنری که نیروی بازگرداننده $F = kx$ بر آن وارد می‌شود. بنابراین انتظار داریم که در اتم تامسون الکترون‌ها حول وضع تعادلشان با بسامد $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$ نوسان کنند، که k ثابتی است که در معادله بالا تعریف شده است. چون بار الکتریکی نوسان‌کننده امواج الکترومغناطیسی تابش می‌کند که بسامد آن با بسامد این نوسان یکسان است، براساس مدل تامسون انتظار داریم که تابش گسیل شده از اتم‌ها دارای این بسامد مشخصه باشد چیزی که با تجربه سازگار نیست. یکی دیگر از جدی‌ترین نارسایی‌های مدل تامسون در پراکندگی ذرات باردار از اتم‌ها نمایان می‌شود که بعدها منشأ مدل اتمی رادرفورد شد.



ادامه راهنمای تدریس

پس از مدل تامسون و اشاره به ناکامی های آن (که به برخی از آنها در زندگی تامسون اشاره شده است)، به بررسی مدل رادفورد بپردازید. هرچند رادفورد از سال های پایانی قرن نوزدهم، فعالیت های علمی خود را با تمرکز روی پرتوایی طبیعی عناصر پرتوزا شروع کرد و به نوعی فیزیک هسته ای را بنیان نهاد، ولی به تدریج با آزمایش هایی که روی پراکندگی ذرات آلفا توسط ایشان و گروهی که در دانشگاه منچستر با ایشان همکاری می کردند، درگیر بررسی ساختار اتم و ارائه مدلی برای آن شد. آزمایش پراکندگی ذرات آلفا روی ورقه ای نازک از طلا در شکل ۵-۱۰ بررسی شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود بیشتر ذره های آلفا بدون انحراف از ورقه طلا می گذرند (خط ضخیم آبی رنگ).

در ادامه به موفقیت ها و ناکامی های مدل اتم هسته ای رادفورد اشاره کنید. تقریباً دو سال بعد از ارائه مدل اتم - هسته ای رادفورد، بور که در آزمایشگاه رادفورد مشغول به کار بود، توانست با ارائه پیش فرض هایی (اصول موضوعه) مدل اتمی خود را برای هیدروژن اتمی و اتم های هیدروژن گونه ارائه دهد. این مدل موفقیت های فراوانی به همراه داشت و ضمن اینکه با معرفی مدارهای مانا، پایداری اتم را می توانست توضیح دهد جذب و گسیل تابش را نیز می توانست با تغییر موقعیت الکترون از یک مدار مانا به مدار مانای دیگر توضیح دهد؛ به طوری که با نتایج تجربی نیز سازگار باشد.

فصل ۱۱: آشنایی با فیزیک اتمی

در سال ۱۹۱۳ میلادی، بور مدلی را برای اتم هیدروژن ارائه کرد. این مدل الکترون بر آنکه مسافت تاب پایداری اتم را در مدل رادفورد حل می کرد معادله ریمرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را نیز نتیجه می داد. نظریه بور با مدل اتم هسته ای رادفورد، شروع می شد. بور با این پیشنهاد که در مفیاس اتمی، قوانین مکانیک کلاسیک و الکترومغناطیس باید توسط قوانین دیگری جایگزین با تکمیل شود گامی بزرگ و جسورانه برای رفع مشکل مدل رادفورد برداشت. در ادامه با برخی از اصول و مفروضات مدل بور آشنا می شویم.

۱- مدارهای الکترونی الکترون ها در هر اتم گوناگونند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی های گسسته معینی مجاز هستند.

بور پس از محاسبات نسبتاً ساده ای نشان داد که شعاع این مدارها و انرژی الکترون برای اتم هیدروژن از رابطه های زیر بدست می آید:

(۷-۵) $r_n = a_0 n^2$ (شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن)

(۸-۵) $E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$ (انرژی الکترونی الکترون در اتم هیدروژن)

در این روابط n عدد کوانتومی نامیده می شود. ($n = 1, 2, 3, \dots$) که مدار الکترون را دور هسته مشخص می شود. همچنین a_0 شعاع کوچکترین مدار در اتم هیدروژن (به ازای $n = 1$) و مقدار آن برابر $a_0 = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ می باشد. این مقدار خاص **شعاع بور** برای اتم هیدروژن نامیده می شود. همچنین انرژی الکترون در $n = 1$ برابر $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ است که اندازه آن را معمولاً **یک ریمرگ** می نامند و با نماد E_R نشان می دهند ($E_R = 13.6 \text{ eV}$). شکل ۵-۱۰ به مدار اولی بور را برای اتم هیدروژن نشان می دهد.

۲- وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی شود. از این رو گفته می شود الکترون در **مدار مانا** یا **حالت مانا** قرار دارد.

۳- الکترون می تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر E_i به یک حالت مانا با انرژی کمتر E_f ، یک فوتون تابش می شود (شکل ۵-۱۱). در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است، یعنی:

(۹-۵) $E_i - E_f = hf$ (معادله گسیل فوتون از اتم)

۱۰- نور طیف ۱۱ از سرسبز و ۱۲ از سرسبز و ۱۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ از سرسبز و ۱۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ و ۶۶ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ و ۶۶ و ۶۷ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ و ۶۶ و ۶۷ و ۶۸ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ و ۴۲ و ۴۳ و ۴۴ و ۴۵ و ۴۶ و ۴۷ و ۴۸ و ۴۹ و ۵۰ و ۵۱ و ۵۲ و ۵۳ و ۵۴ و ۵۵ و ۵۶ و ۵۷ و ۵۸ و ۵۹ و ۶۰ و ۶۱ و ۶۲ و ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ و ۶۶ و ۶۷ و ۶۸ و ۶۹ به معنای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵ و

بنابراین الکترون از دومین حالت برانگیخته به اولین حالت برانگیخته گذاری کند. طول موج فوتون گسیل شده تقریباً متناظر با 66° nm است.

در ادامه به استخراج معادله ریدبرگ برای اتم هیدروژن پرداخته می‌شود که یکی دیگر از موفقیت‌های مدل بور محسوب می‌شود. لازم است توجه دانش‌آموزان را به این نکته مهم جلب کنید که معادله ریدبرگ صرفاً مبتنی بر نتایج اندازه‌گیری طول موج‌های گسیل شده از گاز هیدروژن اتمی در ناحیه مرئی طیف به دست آمده است که پیش از ریدبرگ توسط بالمر به دست آمده بود. در حالی که مدل بود، براساس پیش‌فرض‌هایی (اصول موضوعه) به دست آمده است که مبنای نظری داشتند. به همین دلیل توافق بین نتایج تجربی و مدل‌سازی بور برای اتم هیدروژن یکی از موفقیت‌های بزرگ آن به حساب می‌آید.

فیزیک ۳۳

شکل ۱۶-۵: اسباب آزمایشی را به صورت طرح‌ار نشان می‌دهد که در آن پرتوکه نور سفید قبل از عبور از منشور، از گاز کمتشارهیدروژن می‌گذرد. با انجام این آزمایش بی‌میر یک طیف پیوسته (مشابه طیف رنگین‌کمان) با خط‌های تاریک درون آن مشاهده می‌شود که در آن بعضی از طول‌موج‌ها از نور سفید جذب شده‌اند.

شکل ۱۶-۵ روشی برای مشاهده طیف‌های جذب، یک جعبه نور سفید که گستره‌ای پیوسته از طول‌موج‌ها را تولید می‌کند، از طریق حالی گاز کمتشارهیدروژن اتمی می‌گذرد و توسط منشور پراکنده می‌شود و طیف آن روی پرده تشکیل می‌شود. خط‌های تاریک روی طیف، به طول‌موج‌هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند.

در اواسط قرن نوزدهم، آزمایش‌هایی مشابه آنچه بیان کردیم برای گازهای عناصر مختلف انجام شد. این آزمایش‌ها نشان می‌داد که اگر نور سفید از داخل گاز عنصری عبور کند و سپس طیف آن تشکیل شود، در طیف آن، خط‌های تاریکی ظاهر می‌شود. این خط‌ها (طول‌موج‌ها) توسط اتم‌های گاز عنصر جذب شده‌اند. شکل ۱۶-۵، طیف گسیلی و طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را در کنار یکدیگر نشان می‌دهد. مطالعه و مقایسه این دو طیف و همچنین طیف‌های گسیلی و جذبی عناصرهای مختلف نشان می‌دهد که:

- همه 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 گاز بی‌همانند یکدیگر نیست.
- اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول‌موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آنها به اندازه کافی بالا رود و با به هر صورت دیگر را بگنجانند، آنها را تابش می‌کنند.

شکل ۱۶-۵ طیف گسیلی و حتی گاز هیدروژن اتمی. اقسام خط‌های روشن در طیف گسیلی معروف طول‌موج‌های گسیل‌شده و (ب) خط‌های تاریک در زمینه طیف، معروف طول‌موج‌های جذب‌شده توسط اتم‌های گاز هستند.

۱۳۰

فصل ۱۵: آشنایی با فیزیک اتمی

استخراج معادله ریدبرگ برای اتم هیدروژن از مدل بود؛ همان‌طور که در ابتدای این بخش نیز اشاره کردیم یکی از موفقیت‌های مدل بود نتیجه‌گیری معادله ریدبرگ برای طیف خطی گاز هیدروژن اتمی است. برای بررسی بیشتر این موضوع فرض کنید الکترون اتم هیدروژن در یکی از حالت‌های راکنجته باشد و بخواهد به حالتی با انرژی کمتر جهش کند. به عبارت دیگر الکترون از مدار n_i به مدار n_f می‌رود و فوتونی را گسیل می‌کند. با توجه به روابط ۵-۵ و ۵-۹، بسامد فوتون گسیل شده برابر است با:

$$f = \frac{1}{h}(E_i - E_f) = \frac{E_i}{h} - \frac{E_f}{h} = \frac{1}{h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{1}$$

با استفاده از رابطه $f = c/\lambda$ طول موج فوتون گسیل شده را پیدا می‌کنیم.

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{1}{h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{1} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{c}$$

از سوی دیگر داریم:

$$\frac{E_R}{hc} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{c}$$

که این مقدار، با تقریب بسیار خوبی همان ثابت ریدبرگ R است که پیش از این با آن آشنا شدیم. به این ترتیب داریم:

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

این رابطه همان معادله ۶-۵ است که با اصلاح و بازنویسی معادله بالمر برای طیف گسیلی خطی هیدروژن توسط ریدبرگ به دست آمد. در نتیجه به کمک مدل بود می‌توانیم رابطه تجربی ریدبرگ را به دست آوریم و طیف خطی هیدروژن اتمی را توجیه کنیم. فرضی الکترون برای مثال از مدار $n_i = 3$ به مدار $n_f = 2$ می‌رود. طول موج فوتون گسیل شده برابر است با:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = 1.097 \times 10^7 (\text{nm})^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \Rightarrow \lambda = 656 \text{ nm}$$

مقدار به دست آمده به نحو چشمگیری به طول موج خط قرمز در رشته بالمر که از تجربه حاصل شده، نزدیک است.

طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی و مدل بود: در سال ۱۸۱۲ میلادی فرانیهوفر، با مشاهده دقیق طیف خورشید، خط‌های تاریک تاریکی را در آن کشف کرد (شکل ۱۵-۵). این تجربه نشان می‌داد در تابشی که از خورشید گسیل می‌شود و به زمین می‌رسد بعضی از طول‌موج‌ها وجود ندارند. امروزه می‌دانیم بسیاری از خط‌های تاریکی که فرانیهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول‌موج‌های مربوط به این خط‌ها توسط گازهای جو خورشید است. خط‌های دیگر به سبب جذب نور در گازهای جو زمین پدید می‌آیند.

شکل ۱۵-۵ خط‌های تاریکی که در طیف خورشید دیده می‌شود. به افتخار کشف‌کننده آن خط‌های فرانیهوفر نامیده می‌شوند.

الف) از دیدگاه آزمون همان نخستین کشف این خط‌های تاریک نام می‌برد. دلی جزوف فرانیهوفر بود که این خط‌ها را به نصب مورد مطالعه قرار داد.

۱۳۱

از آنجا که دانش آموزان تا اینجا با طیف گسیلی از گازهای اتمی و مدل بور آشنا شده‌اند، در این قسمت درک بهتری از طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی و توافق خوبی که بین طیف گسیلی و جذبی آن وجود دارد (شکل ۵-۱۷)، پیدا می‌کنند.

شکل ۵-۱۷: آنتونیو و فیزیک تصویر

اینکه چرا هر عنصر تنها طول‌موج‌های خاصی را که مشخصه آن عنصر است جذب یا گسیل می‌کند چالش‌ساز بود که برای چندین دهه فیزیکدانان را به خود مشغول کرده بود و تا پیش از ارائه مدل بور، نظریه قلابی قبولی برای توضیح آن وجود نداشت. اکنون براساس مدل بور می‌دانیم که خط‌های گوناگون در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی وقتی به‌وجود می‌آیند که الکترون‌های اتم‌های هیدروژن، که به هر دلیلی برانگیخته شده‌اند، از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند و فوتون‌هایی را گسیل کنند (شکل ۵-۱۸ الف). همچنین الکترون‌ها می‌توانند در جهت عکس گذار کنند، یعنی در فرایندی که **جذب فوتون** خوانده می‌شود از ترازهای انرژی پایین‌تر به ترازهای انرژی بالاتر بروند (شکل ۵-۱۸ ب). در این حالت، اتم، فوتونی را که دقیقاً انرژی لازم برای گذار را دارد جذب می‌کند. به این ترتیب اگر فوتون‌هایی با گستره بوسه‌ای از طول‌موج‌ها مطابق آزمایش شکل ۵-۱۷ در گاز بگذرند و سپس طیف آنها تشکیل شود، یک دسته خط‌های جذبی تاریک در طیف بوسه مشاهده خواهند شد. خط‌های تاریک، طول‌موج‌هایی را مشخص می‌کنند که به فرایند جذب فوتون پرداخته شده‌اند.

پرسش ۲-۵
آیا معادله ۹-۵ برای فرایند جذب فوتون نیز برقرار است؟

موقعیت‌ها و تارسانی‌های مدل بور؛ مدل بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون‌ها به دور هسته ارائه می‌کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است. افزون بر این، مدل بور را برای اتم‌های هیدروژن گونه نیز می‌توان به کار برد. اتم **هیدروژن گونه** به اتم‌هایی گفته می‌شود که تنها یک الکترون دارند. برای مثال، اتم لیتیم که در حالت خنثی سه الکترون دارد اگر دو الکترون خود را از دست داده باشند، یک اتم هیدروژن گونه است. مدل بور می‌تواند انرژی یونش و همچنین طول‌موج‌های طیف خطی اتم‌های هیدروژن گونه مانند لیتیم دو بار بزرگتر (۹-۵) را پیش‌بینی کند که با تجربه سازگاری خوبی دارد.

مدل بور به‌رغم موفقیت‌هایی که اشاره شد، تارسانی‌هایی نیز دارد که تنها به دو مورد از آنها اشاره می‌کنیم. این مدل برای وقتی که پیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد به کار نمی‌رود، زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است. همچنین این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد. برای مثال مدل بور نمی‌تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز کم یا شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است.

— Radiation Laboratory — — Bell Telephone Laboratories —

۱۳۱

شکل ۵-۱۸: اسباب آزمایشی را به‌صورت طرح‌ار نشان می‌دهد که در آن باریکه نور سفید قبل از عبور از منشور، از گاز کربن‌هیدروژن می‌گذرد. با انجام این آزمایش بی‌مریم یک طیف بوسه (شبه طیف رنگین‌کمان) با خط‌های تاریک درون آن مشاهده می‌شود که در آن بعضی از طول‌موج‌ها از نور سفید جذب شده‌اند.

شکل ۵-۱۹: روشی برای مشاهده طیف‌های جذبی. یک چشمه نور سفید که گستره‌ای بوسه از طول‌موج‌ها را تولید می‌کند، از طرفی جلوی گاز کربن‌هیدروژن اتمی می‌گذرد و توسط منشور پراکنده می‌شود و طیف آن روی پرده تشکیل می‌شود. خط‌های تاریک روی طیف، به طول‌موج‌هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند.

در اواسط قرن نوزدهم، آزمایش‌هایی مشابه آنچه بیان کردیم برای گازهای عناصر مختلف انجام شد. این آزمایش‌ها نشان می‌داد که اگر نور سفید از داخل گاز عنصری عبور کند و سپس طیف آن تشکیل شود، در طیف آن، خط‌های تاریکی ظاهر می‌شود. این خط‌ها (طول‌موج‌ها) توسط اتم‌های گاز عنصر جذب شده‌اند. شکل ۵-۱۷، طیف گسیلی و طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را در کنار یکدیگر نشان می‌دهد. مطالعه و مقایسه این دو طیف و همچنین طیف‌های گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف نشان می‌دهد که:

- 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.
- اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول‌موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمایی آنها به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می‌کنند.

شکل ۵-۱۷: طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی. الف) خط‌های روشن در طیف گسیلی معرف طول‌موج‌های گسیل‌شده و جدا خط‌های تاریک در زمینه طیف، معرف طول‌موج‌های جذب‌شده توسط اتم‌های گاز هستند.

۱۳۰

پرسش ۲-۵

پاسخ مورد انتظار: همان‌طور که پیش از این اشاره شد، نمادگذاری n_L و n_U برای مدارهای پایین و بالا منجر به نتایج یکسانی برای معادله گسیل و ضرب فوتون می‌شود. با توجه به شکل ۵-۱۸ ب که فرایند جذب را نشان می‌دهد می‌توان نوشت:

$$E_L + hf = E_U \Rightarrow E_U - E_L = hf$$

که همان معادله ۹-۵ برای فرایند گسیل است.

٥-٤ ليزر

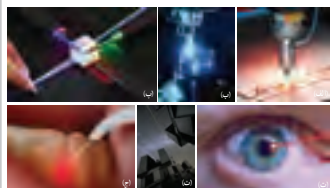
ابتدا نگاهی داشته باشید به تاریخچه لیزر، کاربردها و زندگی‌نامه دانشمندانی که در ساخت نخستین لیزرها تأثیر داشتند. افزون بر کاربردهای که در کتاب درسی اشاره شده است می‌توانید از دانش‌آموزان علاقه‌مند بخواهید تا در خصوص کاربردهای دیگر لیزر با جزئیات بیشتری تحقیق کنند و نتیجه را در جلسه‌های بعدی به کلاس ارائه دهند.

در ادامه دانش‌آموزان را با ویژگی‌های گسیل القایی آشنا کنید در شکل ۵-۲۰ گسیل القایی با گسیل خود به خود فوتون‌ها مقایسه شده است. در کتاب‌های تخصصی به فوتون‌های هم‌بسامد، هم جهت و هم فاز، فوتون‌های همدوس نیز گفته می‌شود. در واقع واژه همدوسی، دربرگیرنده هر سه ویژگی یاد شده است.

مفهوم وارونی جمعیت و ترازهای شبه پایدار که شرط لازم ایجاد وارونی جمعیت است در ادامه مورد توجه قرار گرفته است. توجه دانش آموزان را به اهمیت وجود ترازهای شبه پایدار برای ایجاد وارونی جمعیت جلب کنید. به این منظور به تفاوت زمانی باقی ماندن الکترون ها در ترازهای شبه پایدار (10^{-9} s) نسبت به باقی ماندن الکترون ها در ترازهای پراگنیخته معمولی (10^{-8} s) اشاره کنید. این تفاوت زمانی قابل توجه، سبب ایجاد وارونی جمعیت می شود که در فرایند تشکیل باریکه لیزر اهمیت کلیدی دارد.

٤-٥ ليون

لیزر یکی از مفیدترین اختراعات قرن بیستم است که کاربرد زیادی در زندگی، فناوری و صنعت دارد. لیزر امروزه در جابجاری، در نگاشت اطلاعات روی CD و DVD ها و خواندن آنها، شبکه‌های کابلی نوری، اندازه‌گیری دقیق طول، دستگاه‌های جوشکاری و پرتش فزات، پژوهش‌های علمی، سرگرمی و ... به‌کار می‌رود. همچنین در حفره پزشکی برای جراحی، برداشتن کلهای پوستی، اصلاح دید چشم و دندان‌پزشکی و ... از لیزر استفاده می‌شود (شکل ۱۹-۵).



شکل ۵-۱۹ برخی از کاربردهای لیزر:

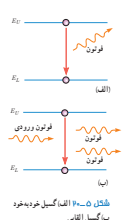
- (الف) در بوشکاری، (ب) در جوشکاری،
- (پ) در آزمایش‌های لیزیک و پژوهش‌های
- علمی، (ت) در چشم پزشکی، (ث) در نجوم،
- (ج) در دندانپزشکی

نخستین لیزر، موسوم به لیزر یاقوتی، را تئودور مایمن (۱۹۲۷-۲۰۰۷ م.) در سال ۱۹۶۰ میلادی ساخت. مدتی پس از آن و در همان سال، علی جوان و همکارانش موفق به ساخت نخستین لیزر گازی

مطابق مدل آمی پور وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش کند یک فوتون گسیل می شود. فرانسه اید گسیل می یابد به صورت **گسیل خود بخود** و **با گسیل القایی** باشد. در گسیل خود بخود (شکل ۲-۴) فوتون برای جهش نیازی ندارد و گسیل می شود. در **گسیل القایی** (شکل ۲-۵) یک فوتون برای جهش در سال ۱۹۱۷ میلادی توسط آیزنشتین مطرح شد، یک فوتون ورودی، الکترون را بجنبه تراز پایین تر (الف) می کند تا تراز انرژی خود را پایین دهد و در تراز انرژی پایین تر، یک فوتون گسیل می شود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی بین ترازها $E_2 - E_1$ برابر باشد.


گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد. اول اینکه یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود (شکل ۳-۵۰ ب). به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند. دوم اینکه فوتون گسیل‌شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند، سوم اینکه فوتون گسیل‌شده

۹-واژه laser برگرفته از سرواژه‌های عبارت (light amplification by the stimulated emission of radiation) به معنای تقویت نور توسط گسیل القایی تابش است.




فصل ۵: آشنایی با فیزیک اتمی

با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون‌هایی که باریک‌ه لیزری را ایجاد می‌کنند هم‌ساز، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.


E_1  (الف)

 در کسب القای یک جرمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا انرژی الکترون‌ها را به

 E_2  (ب)

 ترانزای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های

 شدید نوع معمولی یا تخلیه‌ای و لایز یا لایزهای پلاسما باشد. انرژی کافی به آنها داده شود،

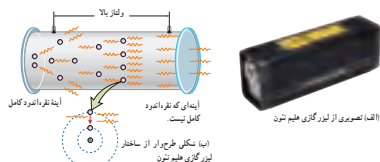
 E_3  (ب)

 الکترون‌های بیشتری به ترانزای بالاتر برانگیخته خواهند شد، شرطی که به **آوردنی** معروف

 است (شکل ۵-۱۱).

اولی جمعیت الکترولها در یک محیط لایزی، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترولها در ترازهای موسوم به **ترازهای پیمانه‌دار** (سیست به تراز بین تراز بسیار بیشتر باشند. در تراز آن، الکترولها مدت زمان بسیار طولانی (10^{-6} سیست) به حالت نامکثکته معمولی (10^{-8} سیست) می‌مانند. این زمان طولانی، فرصت بیشتری برای افزایش آرونی جمعیت و در نتیجه قویت نور پراکنده را فراهم می‌کند.

لیزر گازی هلیوم نئون (He — Ne)

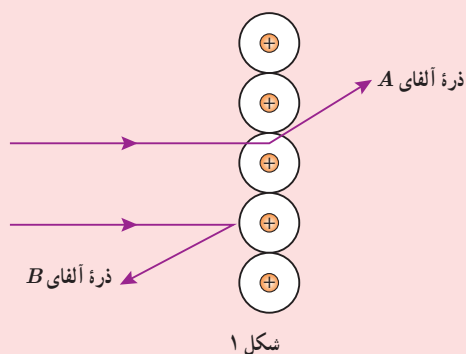
[illegible] λ_{m} Metastable

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی فصل ۵

۱ الف) پدیده فوتوالکتریک را تعریف کنید.

ب) شکلی برای نشان دادن این پدیده رسم کنید.

پ) توضیح دهید نظریه فوتون چگونه به توجیه پدیده فوتوالکتریک کمک می‌کند.



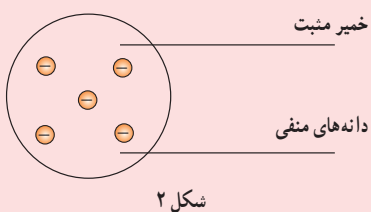
۲ در نمودار شکل ۱ مسیر ذره آلفا در برخورد با ورقه نازک فلزی نشان داده شده است. مسیر ذره‌ها به نیروی بستگی دارد که در فلز بر آنها وارد می‌شود.

الف) یک مدل اتمی را شرح دهید که مسیر ذره‌های آلفا در برخورد با صفحه نازک فلزی را توضیح می‌دهد.

ب) تامسون معتقد بود که اتم از بارهای منفی مستقر در نوعی «خمیر» مثبت تشکیل می‌شود. این مدل را مدل کیک کشمش می‌خوانند. نمودار شکل ۲ مدلی از این نوع اتم را نشان می‌دهد.

a) توضیح دهید چگونه مدل کیک کشمش می‌تواند توضیح دهد چرا ذره آلفا A با زاویه کوچک منحرف شده است.

b) چرا این مدل نمی‌تواند انحراف شدید پرتو B را توضیح دهد؟



۳ باریکه‌ای از الکترون با اختلاف پتانسیل ۱۲kV شتاب می‌گیرد و به سوی هدفی در لوله پرتو x شلیک می‌شود.

الف) انرژی جنبشی هر الکترون چند ژول است؟

ب) کمترین طول موج پرتو x گسیل شده از هدف چقدر است؟

۴ الف) شکل ظاهری طیف‌های زیر چگونه است؟

a) طیف گسیلی خطی

b) طیف جذبی خطی

c) طیف پیوسته

ب) با شعله اجاق یا شمع مقداری نمک طعام را گرما می‌دهیم و طیف سدیم را با طیف‌نما می‌بینیم. دستگاه دوخط روشن زردرنگ به طول موج‌های 589.0 nm و 589.6 nm را در کنار هم نشان می‌دهد که مربوط به گذار الکترون از دو تراز انرژی مختلف نزدیک به هم به یک تراز انرژی پایین‌تر همسان هستند. اختلاف انرژی میان دو تراز بالایی چند ژول است؟

۵ با توجه به رابطه $E_n = -13.6\text{ eV}/n^2$ ، ترازهای انرژی مربوط به طول موج‌های 656 nm و 1026 nm در طیف هیدروژن

را مشخص کنید.

الف) شکل زیر ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد،

$n = \infty$	← 0°
$n = 5$	← $-8/8 \times 10^{-2} \text{ J}$
$n = 4$	← $-1/4 \times 10^{-19} \text{ J}$
$n = 3$	← $-2/4 \times 10^{-19} \text{ J}$
$n = 2$	← $-5/4 \times 10^{-19} \text{ J}$
$n = 1$	← $-2/2 \times 10^{-18} \text{ J}$

a) معنای حالت پایه چیست؟

b) چگونه تخلیه الکتریکی در هیدروژن باعث ایجاد خط‌های مرئی در طیف می‌شود؟

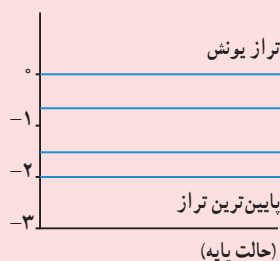
c) نشان دهید که کمترین طول موج تابش الکترومغناطیسی گسیل شده از هیدروژن تقریباً 90 nm است.

ب) پرتو الکترومغناطیسی به طول موج 90 nm بر سطح یک ورقه آلومینیومی می‌تابد و الکترونی با بیشینه انرژی $1/5 \times 10^{-18} \text{ J}$ از سطح ورقه گسیل می‌شود.

d) نام پدیده گسیل الکترون از سطح فلز بر اثر تابش الکترومغناطیسی چیست؟

e) تابع کار آلومینیوم را به دست آورید.

۷) با توجه به نمودار ترازهای انرژی یک اتم در شکل زیر معین کنید :



الف) به الکترونی که در حال سکون است باید با چه اختلاف پتانسیلی شتاب دهیم تا اتم یونیده شود؟

ب) کمترین طول موج گسیل شده از این الکترون چند nm است؟

پ) با توجه به نمودار ترازهای انرژی شکل بالا توضیح دهید چرا اتم‌ها در دماهای بالا، نوری با طول موج معین گسیل می‌کنند.

۸) الف) اندازه تقریبی گستره طول موج بخش مرئی طیف موج‌های الکترومغناطیسی را به دست آورید.

ب) لامپ بخار جیوه با فشار کم چه نوع طیفی گسیل می‌کند؟

پ) طیف نور خورشید را تشریح کنید.

ت) در نمودار ترازهای انرژی اتم هیدروژن شکل زیر،

۱) هنگامی که الکترون از تراز $n = 4$ به تراز $n = 2$ می‌رود بسامد نور تابش شده چقدر است؟

۲ پیامدهای جذب یک فوتون انرژی به وسیله اتم نایترانگیخته را توضیح دهید.

$n = \infty$ °
۵	_____ $-۰/۹۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{J}$
۴	_____ $-۱/۴۵ \times ۱۰^{-۱۹} \text{J}$
۳	_____ $-۲/۴۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{J}$
۲	_____ $-۵/۴۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{J}$
۱	_____ $-۲۱/۸ \times ۱۰^{-۱۹} \text{J}$

۹ به مجموعه‌ای از اتم‌های هیدروژن در حالت پایه، نور فرابنفش به طول موج $۵۹/۵ \text{ nm}$ می‌تابانیم. انرژی جنبشی الکترون‌های گسیل شده را حساب کنید.

۱۰ بیشینه تندی فوتوالکترون‌های گسیل شده از سطح فلزی با تابع کار $۳/۲ \text{ eV}$ را بر اثر تابش باریکه نوری با طول موج ۳۱۰ nm به دست آورید (جرم الکترون را $۹/۱۰ \times ۱۰^{-۳۱} \text{ kg}$ بگیرید).

راهنمای پاسخ‌یابی پرسشی‌ها و مسئله‌های فصل ۵

۵-۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱ الف

$$\lambda = 589 \text{ nm}, f, E = ?$$

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{589 \text{ nm}} = 2.10 \text{ eV}$$

$$E = (2.10 \text{ eV}) \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) = 3.36 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{589 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5.09 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ب) انرژی گسیل شده توسط لامپ در هر دقیقه برابر است با:

$$E_t = Pt = \left(\frac{J}{s} \right) (60 \cdot s) = 300 \cdot J$$

تعداد فوتون گسیل شده در هر دقیقه برابر است با:

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{300 \cdot J}{3.36 \times 10^{-19} \text{ J}} = 8.9 \times 10^{20}$$

۲ الف $R_a = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} = \frac{50 \times 10^{-3} \text{ W}}{500 \text{ W}} = 10^{-4}$

که برابر ۰/۰۱ درصد است.

ب) ابتدا انرژی هر فوتون خروجی را پیدا می‌کنیم.

انرژی کل فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{633 \text{ nm}} = 1.96 \text{ eV}$$

$$= (1.96 \text{ eV}) \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) = 3.13 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_t = Pt = \left(\frac{J}{s} \right) (1 \text{ s}) = 5 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ J}}{3.13 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.59 \times 10^{16}$$

تعداد فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با:

۳ چشمه نور را در مرکز کره‌ای به شعاع ۱ km در نظر می‌گیریم.

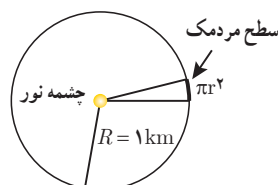
ابتدا تعداد فوتون‌هایی را که با طول موج ۵۵۰ nm لامپ در هر ثانیه گسیل می‌شود مشابه قسمت (ب) مسئله قبل به دست می‌آوریم.

انرژی کل فوتون‌های خروجی با طول موج ۵۵۰ nm در هر ثانیه برابر است با:

$$E_t = \frac{1}{100} \left(\frac{J}{s} \right) (1 \text{ s}) = \frac{5}{100} \text{ J}$$

انرژی هر فوتون با طول موج ۵۵۰ nm برابر است با:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{550 \text{ nm}} = 2.25 \text{ eV}$$



۵-۱ الف فوتوالکتریک و فوتون

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 ورودی نسبت به بسامد آستانه

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

ج) افزایش شدت نور ورودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

۲. توان باریکه تور خروجی یک فلز گازی هلیوم ۵۰۰ mW است. اگر توان ورودی این فلز ۵۰۰ W باشد.

الف) بازده نور را حساب کنید.

ب) اگر طول موج باریکه تور خروجی ۶۳۳ nm باشد، شمار فوتون‌های را پیدا کنید که در هر ثانیه از این فلز گسیل می‌شود.

۳. یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰ W از فاصله یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به طور یکواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده لامپ ۵ درصد است (یعنی ۵ W تابش می‌کند). و فقط ۱ درصد این تابش دارای طول موجی در حدود ۵۵۰ nm است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول موج دارد مردمک‌های چشم ناظر می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را ۲۰ mm در نظر بگیرید.)

۴. شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود ۱۲۶۰ W/m² است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر ۱ m²، مقدار انرژی ۱۲۶۰ 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 بازمی‌تابد هر متر مربع حدود ۴۰۰ W/m² باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول موج متوسط فوتون‌ها را ۵۷۰ nm فرض کنید.

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؟

ج) معادله مربوط به اثر فوتوالکتریک به صورت $K_{\text{max}} = hf - W$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

فیزیک ۳۱

۱۲۲

- ۵-۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون**
۱. یک لامپ جاری گاز گواشدار سدیم، فوتون‌هایی با طول موج 589nm 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 طیف لامپ 50W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟
۲. توان بارنگه تور خروچی یک لیزر گازی هلیوم نئون 50mW است. حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر 2.28eV است. (الف) طول موج آستانه برای گسیل فوتوالکتریک از سطح فلز سدیم چقدر است و با مراجعه به شکل ۵-۴ معلوم کنید این طول موج مربوط به چه رنگی است؟ (ب) آیا فوتون‌هایی با طول موج 640nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟
۳. تابش فرافشی با طول موج 2.0nm به سطح نغزهای از جنس نیکل با تابع کار 7.8eV تابده می‌شود. بیشینه انرژی فوتوالکتریک‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید. هر گاه به سطح فلزی توری با طول موج 22nm تابده بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌های گسیل‌شده حدود 0.5eV است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکتریک‌ها از سطح این فلز چقدر است؟
- ۵-۲ و ۵-۳ طیف خطی و مدل اتم رابرت بور**
۴. (الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته با خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید. (ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.
۵. شکل صفحه بعد سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن امی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل امی بور رسم شده است.
۶. بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. (الف) یک لامپ جاری گاز گواشدار سدیم، فوتون‌هایی با طول موج 589nm گسیل می‌کند. (ب) فرض کنید توان تابشی طیف لامپ 50W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟
۷. (الف) طول موج بارنگه تور خروچی یک لیزر گازی هلیوم نئون 50mW است. حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر 2.28eV است. (ب) آیا فوتون‌هایی با طول موج 640nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟
۸. تابش فرافشی با طول موج 2.0nm به سطح نغزهای از جنس نیکل با تابع کار 7.8eV تابده می‌شود. بیشینه انرژی فوتوالکتریک‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید. هر گاه به سطح فلزی توری با طول موج 22nm تابده بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌های گسیل‌شده حدود 0.5eV است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکتریک‌ها از سطح این فلز چقدر است؟
۹. (الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته با خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید. (ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.
۱۰. شکل صفحه بعد سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن امی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل امی بور رسم شده است.

$$= (2/25\text{eV}) \left(\frac{1/6 \times 10^{-19}\text{J}}{1\text{eV}} \right) = 3/60 \times 10^{-19}\text{J}$$

تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه با طول موج 550nm از این لامپ گسیل می‌شود برابر است با:

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{0.5\text{J}}{3/60 \times 10^{-19}\text{J}} = 1/38 \times 10^{17}$$

به این ترتیب تعداد فوتون‌هایی که با این طول موج وارد چشم ناظر می‌شوند برابر است با:

$$n' = \left(\frac{\pi r^2}{4\pi R^2} \right) n = \left(\frac{10^{-6}\text{m}^2}{4 \times 10^{-6}\text{m}^2} \right) (1/38 \times 10^{17})$$

$$\Rightarrow n' = \left(\frac{1/38}{4} \right) \times 10^{17} = 3/45 \times 10^{16}$$

۴ ابتدا انرژی متوسط هر فوتون را پیدا می‌کنیم.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\text{eV} \cdot \text{nm}}{570\text{nm}} = 2/17\text{eV}$$

$$= (2/17\text{eV}) \left(\frac{1/6 \times 10^{-19}\text{J}}{1\text{eV}} \right) = 3/48 \times 10^{-19}\text{J}$$

انرژی کل فوتون‌های رسیده به سطحی برابر 1m^2 در هر ثانیه برابر است با:

$$E_t = (300 \cdot \frac{\text{J}}{\text{sm}}) (1\text{m}^2) (1\text{s}) = 300\text{J}$$

به این ترتیب تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد برابر است با:

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{300\text{J}}{3/48 \times 10^{-19}\text{J}} = 8/62 \times 10^{20}$$

خوب است توجه دانش‌آموزان را به این نکته مهم جلب کنید که ایران از نظر جغرافیایی در وضعیت مطلوبی نسبت به تابش خورشید قرار گرفته است، میانگین انرژی‌ای که از تابش خورشید به هر متر مربع آن می‌رسد حدود 1000J است. به همین دلیل است که سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی در ایران (به جز نوار شمالی) به مراتب از بسیاری از کشورهای دیگر جهان بازدهی بالاتری دارد.

۵ الف لازم است دانش‌آموزان فهم درستی از پاراگراف اول بخش ۵-۱ ارائه دهند.

ب) اینشتین افزون بر اینکه نور را به صورت بسته‌های انرژی در نظر گرفت، فرض کرد که هریک از این بسته‌های انرژی صرفاً با یکی از الکترون‌های سطح فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر در حین برهم‌کنش، فوتون انرژی کافی داشته باشد تا الکترون را از سطح فلز خارج کند، اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد.

ب) کافی است دانش‌آموزان فهم درست خود را از هریک از کمیت‌های مندرج در این رابطه را بیان کنند.

۶ الف) با کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه، اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد در حالی که با افزایش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه، انرژی فوتون‌های تابش شده به سطح فلز افزایش می‌یابد و در نتیجه فوتوالکتریک‌ها با انرژی جنبشی بزرگ‌تری سطح فلز را ترک می‌کنند.

ب) افزایش شدت نور فرودی برای حالتی که بسامد فوتون‌ها از بسامد آستانه کمتر است، بدون آنکه اثر فوتوالکتریک رخ دهد تنها

۵-۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون
 الف) یک لامپ جوی گاز کوئندار سدیم، فوتون‌هایی با طول موج 589nm گسیل می‌کند.
 ب) با فرض اینکه نور خروجه یک لامپ گاز نئون 50mW است، در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟
 ج) توان بارنگه نور خروجه یک لامپ گاز نئون 50mW است. اگر توان ورودی این لامپ 50W باشد، الف) بازده لامپ را حساب کنید. ب) اگر طول موج بارنگه نور خروجه 622nm باشد، شمار فوتون‌های را بداند که در هر ثانیه از این لامپ گسیل می‌شود. ج) یک لامپ رشته‌ای با توان 100W از فاصله یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده لامپ ۵ درصد است (یعنی 5W پاشش مری گسیل می‌کند) و فقط ۱ درصد این پاشش دارای طول موجی در حدود 550nm است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول موج وارد مردمک‌های چشم ناظر می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را 2mm در نظر بگیرید.)
 د) شدت پاشش خورشید در خارج جو زمین حدود 1000W/m^2 است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر 1m^2 مقدار انرژی 1000J می‌رسد. وقتی این پاشش به سطح زمین می‌رسد مقداری زیادی از شدت آن به علت جذب در جو و ابرها از دست می‌رود. اگر شدت پاشش متوسط خورشید در سطح زمین بازاری هر متر مربع حدود 1000W/m^2 باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول موج متوسط فوتون‌ها را 500nm فرض کنید.
 ه) الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟ ب) توضیح دهید نظریه کوانتومی پاشش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تئوری فوتوالکتریک کمک کرد؟ ج) معادله مربوط به اثر فوتوالکتریک به‌صورت $K_{\text{max}} = hf - W_0$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به‌طور جداگانه توضیح دهید.

۵-۲ و ۵-۳ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد-بور
 الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید.
 ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.
 ج) شکل صفحه‌ای بعد سه رشته طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل اتمی بور رسم شده است.

تعداد فوتون‌هایی را که با سطح فلز برهم‌کنش می‌کنند افزایش می‌دهد و این برهم‌کنش سبب افزایش انرژی درونی فلز و در نتیجه افزایش دمای آن می‌شود. (پ) سبب کاهش فوتون‌ها و در نتیجه کاهش تعداد فوتوالکتریک‌هایی می‌شود که از سطح فلز خارج می‌شوند.

۷ الف)

$$W_0 = 2.28 \text{ eV}$$

$$f_s = \frac{W_0}{h} \Rightarrow \lambda_s = \frac{hc}{W_0} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{2.28 \text{ eV}} \approx 544 \text{ nm}$$

این طول موج متناظر با رنگ سبز است.

(ب) خیر، زیرا بسامد آنها کمتر از بسامد آستانه است.

۸

$$K_{\text{max}} = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

$$= \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{200 \text{ nm}} - 4.9 \text{ eV} = 1.3 \text{ eV}$$

۹

$$K_{\text{max}} = \frac{hc}{\lambda} - W_0 \Rightarrow 0.5 \text{ eV} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{420 \text{ nm}} - W_0$$

$$\Rightarrow W_0 = 2.45 \text{ eV}$$

$$f_s = \frac{W_0}{h} = \frac{2.45 \text{ eV}}{4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}} = 5.92 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

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

۱۰ در پاراگراف اول بخش ۵-۲ درخصوص تفاوت طیف گسیلی اجسام جامد (که پیوسته است) و طیف گسیلی گازهای اتمی (که خطی است) توضیح داده شده است.

(ب) شکل‌های ۵-۶ و ۵-۸ روش تشکیل طیف گسیلی جسم جامد (مانند رشته تنگستن یک لامپ) و گاز اتمی (مانند گاز هیدروژن اتمی) نشان داده شده است.

۱۱ الف) $n=1$ متناظر با حالت پایه اتم است و برای اتم هیدروژن، انرژی الکترون در حالت پایه 13.6 eV است.

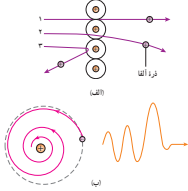
(ب) از یک طرف برهم‌کنش بین اتم‌های گاز بسیار ناچیز است و از طرف دیگر بنا بر مدل بور، الکترون در مدارهایی با شعاع $(r_n = a_0 n^2)$ و انرژی معین $(E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2})$ در فضای پیرامون هسته توزیع شده‌اند. لذا هنگام گذار الکترون‌هایی بین دو مدار، تنها فوتون‌هایی با انرژی معین می‌توانند گسیل یا جذب شوند. به همین دلیل طیف گسیلی یا جذبی گازهای اتمی، خطی است.
 (پ) بلندترین طول موج به ازای $n=2$ و کوتاه‌ترین طول موج به ازای $n=\infty$ به دست می‌آید. به این ترتیب داریم:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{4}{3R} \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{4}{3R} - \frac{1}{R} = \frac{1}{3R} \approx 30 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{1}{R}$$

فصل ۱۵: الکتریسیته و فیزیک اتمی

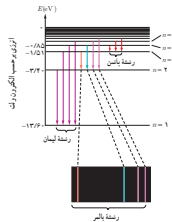
ب) تنها اعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذره ۳ منحرف می‌شوند.
این امر چه نکته‌ای را درباره ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟
ج) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحه پرتک طلا استفاده کرده بود؟
د) شکل ب) به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد و در مدل بور چگونه این مشکل رفع شده است؟



۱۵۰. با استفاده از رابطه بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن، اختلاف انرژی $E_4 - E_1$ را حساب کنید.

ب) نشان دهید که:
 $\Delta E(4 \rightarrow 2) = \Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2)$
 $\Delta E(4 \rightarrow 1) = \Delta E(4 \rightarrow 2) + \Delta E(2 \rightarrow 1)$
الکترون اتم هیدروژن در تراز $n=5$ قرار دارد. با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟
ج) فرض کنید فقط گذارهای $n=1$ مجاز باشند، در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

۱۳۵



الف) منظور از $n=1$ و انرژی -13.6 eV چیست؟
ب) بر اساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید.
ج) با اختلاف کوتابین و بلندترین طول موج در هر رشته را، گستره طول موج‌های آن رشته می‌باشد. گستره طول موج‌های رشته لیمن ($n_f=1$) را پیدا کنید.

۱۵۱. الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.
ب) با استفاده از مدل بور، چگونه می‌تواند خط‌های تاریک در طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را توجیه کنید؟
ج) وقتی که نور فرابنفش به بسیاری از مواد تابیده شود، تابش مرئی از خود گسیل می‌کند. این پدیده فیزیکی نمونه‌ای از فوتوسنتزی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیده فوتوسنتزی طول موج‌های گسیل یافته معمولاً برابر همان طول موج نور فرودی با بزرگ‌تر از آن است. این پدیده را چگونه به کمک مدل بور می‌تواند تئیس کنید؟
د) منای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که بر آن‌دکشی ذره‌های آلفا توسط یک ورقه نازک طلا دست آمده بود (شکل الف). الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ با اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.

۱۲۱ الف) به شکل ۵-۱۸ ب و شرح متناظر با آن توجه شود.

ب) با توجه به شکل ۵-۱۶، هنگام عبور فوتون‌ها از سلول حاوی اتم‌های گازی، برخی از این فوتون‌ها که انرژی آنها برابر با اختلاف انرژی ترازهای اتم‌های درون گاز هستند جذب شده و به همین دلیل طیف ایجاد شده دارای خط‌های تاریکی است که طول موج آنها متناظر با طول موج همین فوتون‌های جذب شده است. نکته مهمی که باید توجه شود این است که مدت کوتاهی پس از جذب این فوتون‌ها توسط الکترون و رفتن به مدار بالاتر، دوباره الکترون به حالت قبلی بازمی‌گردد و فوتونی با همان طول موج جذب شده را گسیل می‌کند. از آنجا که جهت این فوتون در جهت فوتون جذب شده نیست (یعنی دارای جهت کاتوره‌ای است) لذا دائماً این خط‌های تاریک روی طیف جذبی گازهای اتمی مشاهده می‌شود.

پ) زیرا هنگام برخورد نور فرابنفش به یک ماده، به دلیل انرژی زیادی که فوتون‌های آن دارند ممکن است الکترون‌هایی پس از جذب انرژی فوتون، به چند تراز بالاتر از جایی که بوده‌اند بروند (شکل الف). پس از مدت کوتاهی (10^{-8} s) و هنگام برگشت این الکترون‌ها ممکن است مستقیماً به تراز اولیه خود نروند و پس از رفتن روی ترازهای میانی به تراز اولیه خود بازگردند (شکل ب).

۱۲۲ الف و ب) به شرح مدل رادرفورد و شکل ۵-۵ توجه شود.

پ) زیرا ورقه‌های طلا را بدون آنکه دوام خود را از دست بدهند به اندازه کافی می‌توان نازک ساخت. معمولاً ورقه‌های طلا را با ضخامت صدها اتم نیز می‌توان ساخت.

ت) ناپایداری اتم. زیرا مطابق فیزیک کلاسیک، الکترون‌های (بار منفی) در حال چرخش به دور هسته (با بار مثبت) به تدریج انرژی خود را از دست می‌دهند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتند.

۱۲۳ الف) با استفاده از رابطه ۵-۸ ($E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$) داریم:

$$\Delta E(n_u \rightarrow n_L) = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n_u^2} + \frac{13.6 \text{ eV}}{n_L^2} = (-13.6 \text{ eV}) \left(\frac{1}{n_u^2} - \frac{1}{n_L^2} \right)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 2) = \Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2) \quad (\text{ب})$$

$$(-13.6 \text{ eV}) \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{2^2} \right) = (-13.6 \text{ eV}) \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{3^2} \right) + (-13.6 \text{ eV}) \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\frac{1}{16} - \frac{1}{4} = \frac{1}{16} - \frac{1}{9} + \frac{1}{9} - \frac{1}{4} = \frac{1}{16} - \frac{1}{4}$$

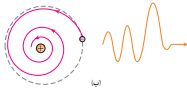
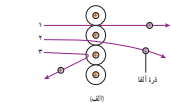
۱۲۴ الف) گذارهای ممکن از $n=5$ به حالت پایه ($n=1$) عبارت‌اند از:

$$\begin{array}{ccccccc} \Delta E(5 \rightarrow 4) & \text{و} & \Delta E(4 \rightarrow 3) & \text{و} & \Delta E(4 \rightarrow 2) & \text{و} & \Delta E(4 \rightarrow 1) \\ \Delta E(5 \rightarrow 3) & \text{و} & \Delta E(3 \rightarrow 2) & \text{و} & \Delta E(3 \rightarrow 1) & & \end{array}$$

فصل پنجم: آشنایی با فیزیک اتمی ۳۰۱

فصل ۵: آشنایی با فیزیک اتمی

ب) تنها اعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذره ۳ منحرف می‌شوند. این امر چه نکته‌ای را درباره ساختار اتم پلان نشان می‌دهد؟
ج) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحه بسیار نازک طلا استفاده کرده بود؟
د) مشکل ب) به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد و در مدل بور چگونه این مشکل رفع شده است؟



۱۶. با استفاده از رابطه بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن، اختلاف انرژی $E_2 - E_1 = E_2 - E_1 = h\nu$ را حساب کنید.

ب) نشان دهید که:

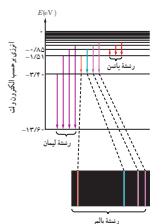
$$\Delta E(2 \rightarrow 1) = \Delta E(2 \rightarrow 1) + \Delta E(2 \rightarrow 1)$$

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

۱۷. الکترون اتم هیدروژن 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؟



الف) منظور از $n=1$ و انرژی -13.6 چیست؟

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

ج) اختلاف کوتابین و بیشترین طول موج در هر رشته را، گستره طول موج‌های آن رشته می‌نامند. گستره طول موج‌های رشته لیمان ($n=1$) را پیدا کنید.

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

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

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

۱۹. بنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکنش ذره‌های آلفا توسط یک ورقه نازک طلا بدست آمده بود (شکل الف).

الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ با اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.

$$\Delta E(5 \rightarrow 2) \quad \text{و} \quad \Delta E(2 \rightarrow 1)$$

$$\Delta E(5 \rightarrow 1)$$

همان‌طور که دیده می‌شود در مجموع امکان ۱۰ گذار وجود دارد.

ب) با توجه به شرط $\Delta n=1$ ، تنها امکان ۴ گذار زیر وجود دارد.

$$\Delta E(5 \rightarrow 4) \quad \text{و} \quad \Delta E(4 \rightarrow 3) \quad \text{و} \quad \Delta E(3 \rightarrow 2)$$

$$\Delta E(2 \rightarrow 1)$$

۵-۴- لیزر

۱۶ الف) یعنی اتم‌ها در حالت عادی هستند و برانگیخته نشده‌اند.

ب) این انرژی سبب برانگیخته شدن اتم‌ها می‌شود.

پ) حالتی است که تعداد اتم‌های برانگیخته شده فراتر از تعداد اتم‌ها در حالت معمول باشد.

ت) درست برابر اختلاف انرژی ترازهای E_u و E_L است.

ث) هم بسامد، هم جهت و همگام (هم فاز) اند.

۱۷ فوتون‌های گسیل شده از رشته تنگستن لامپ دارای طیف گسترده و

پیوسته‌ای از طول موج‌ها هستند و در تمام جهت‌های مختلف حرکت می‌کنند

درحالی‌که آینه درون چراغ قوه جهت‌مندی بهتری به فوتون گسیل شده از

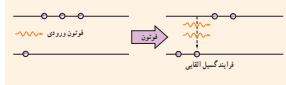
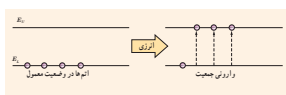
لامپ می‌دهد و فوتون‌ها در گستره فضایی کوچک‌تری منتشر می‌شوند.

فوتون‌های گسیل شده از لیزر، افزون بر اینکه هم‌بسامدند، هم‌جهت و همگام هستند.

ب) منظور از فرایند جمعیت چیست؟

۱۷. شکل زیر فرایند ایجاد پاریکه لیزر را به‌طور طوطی در ۴ مرحله نشان می‌دهد.

الف) منظور از عبارت «اتومها در وضعیت معمول» چیست؟
ب) نقش انرژی دافنده چیست و معمولاً این انرژی چگونه تأمین می‌شود؟



۱۸. در شکل زیر نحوه گسیل فوتون‌ها از سه چشمه نور شامل

لامب رشته‌ای، چراغ قوه یا لامب رشته‌ای و لیزر با یکدیگر مقایسه شده است.

الف) با توجه به آنچه در این فصل فراگرفتید تفاوت فوتون‌های

