

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

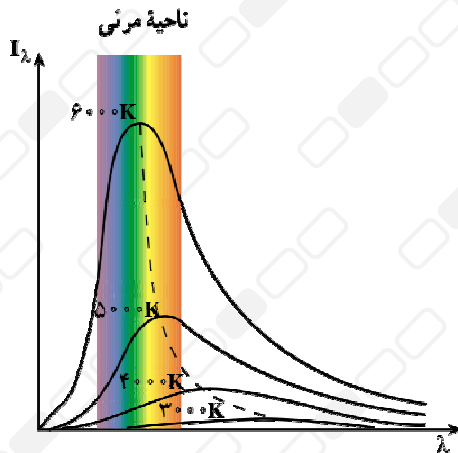
موضوع: مفاهیم

- از سطح همه‌ی اجسام در هر دمایی تابش‌های الکترومغناطیسی گسیل می‌شود.
- تابش گسیل شده از هر جسم، به دمای آن (و برخی از خصوصیات سطح آن) بستگی دارد و در آن، **همه‌ی طول موج‌ها به صورت یک طیف پیوسته وجود دارد.**
- **شدت تابش (I):** مقدار کل انرژی تابش‌های الکترومغناطیسی‌ای که در بازه‌ی زمانی یک ثانیه از واحد سطح آن جسم گسیل می‌شود (یکای آن در SI، $\frac{W}{m^2}$ است).
- **تابندگی (I_λ):** تابندگی یک جسم در هر طول موج برابر است با مقدار انرژی تابش‌های الکترومغناطیسی با طول موج‌های بین λ و $\lambda + \Delta\lambda$ که در واحد زمان از واحد سطح جسم بر یکای گسترده‌ی طول موج گسیل می‌شود (یکای آن در SI، $\frac{W}{m^3}$ است).
- یکای تابندگی معمولاً به صورت $\frac{W}{cm^2 \cdot \mu m}$ بیان می‌شود.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: نمودار I_λ بر حسب λ



• نمودار تابندگی بر حسب طول موج:

- هر چه دمای جسم بیشتر باشد، بیشینه‌ی منحنی (یعنی طول موجی که با بیشترین تابندگی گسیل می‌شود) به طرف طول موج‌های کوتاه‌تر می‌رود.
- مساحت سطح زیر نمودار I_λ بر حسب λ ، بیان‌گر شدت تابشی کل جسم (I) است.
- شدت تابشی کلی گسیل شده با افزایش دما بیشتر می‌شود.
- با افزایش دما، تغییر تابندگی برای طول موج‌های کوتاه‌تر، بیش از تغییر تابندگی برای طول موج‌های بلندتر است.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: تابش اجسام

ناتوانی فیزیک کلاسیک:

• بنابر نظریه فیزیک کلاسیک، تابش گرمایی که از سطح یک جسم گسیل می‌شود، از نوسان‌های ذره‌های بارداری که درون جسم و در نزدیکی سطح آن واقع هستند، سرچشمه می‌گیرد.

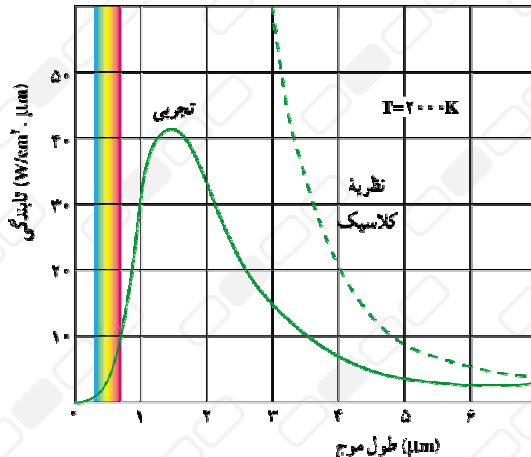
• تابندگی با توان چهارم طول موج نسبت عکس دارد. یعنی در طول موج‌های

کوتاه، تابندگی جسم به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. $I_{\lambda} \sim \frac{1}{\lambda^4}$

توجیه فیزیک جدید:

• بنابر نظریه پلانک، انرژی تابشی جسم، کوانتومی است یعنی مقدار انرژی‌ای که جسم به صورت تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند، همواره مضرب درستی از یک پایه است و این مقدار پایه به بسامد تابش الکترومغناطیسی بستگی دارد.

$$E = nhf \quad \text{و} \quad h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \quad \text{ثابت پلانک}$$



عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: قانون جابه‌جایی وین

• قانون جابه‌جایی وین:

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{مقدار ثابت} = 2/9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda'_{\max}}{\lambda_{\max}} = \frac{T}{T'}$$

• الکترون‌ولت: یک الکترون‌ولت برابر مقدار انرژی موردنیاز برای عبور یک الکترون از اختلاف پتانسیل ۱ ولت در خلأ است.

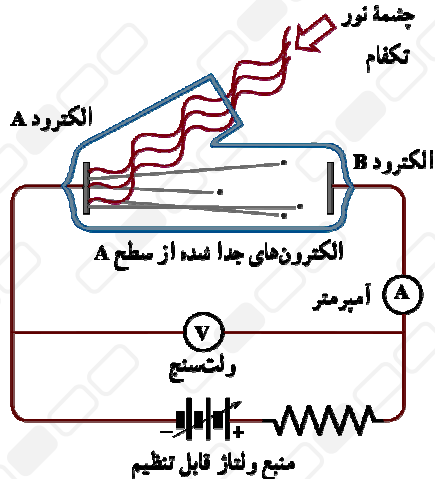
$$1 \text{ eV} = 1/6 \times 10^{19} \text{ J}$$

توجه: ثابت پلانک را برحسب الکترون‌ولت می‌توان، $h \approx 4/14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ در نظر گرفت.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۱)



پدیده‌ی فوتوالکتریک:

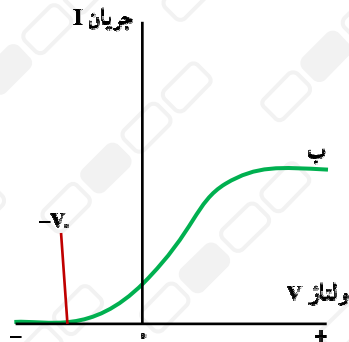
- جدا کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تاباندن نور بر آن را **پدیده‌ی فوتوالکتریک** و الکترون‌های گسیل شده از سطح فلز را **فوتوالکتریک** می‌نامند.
- آزمایش نشان می‌دهد:

۱- اگر نوری بر الکتروود A نتابد، هر قدر هم ولتاژ بالا باشد، جریانی در مدار مشاهده نمی‌شود.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۲)

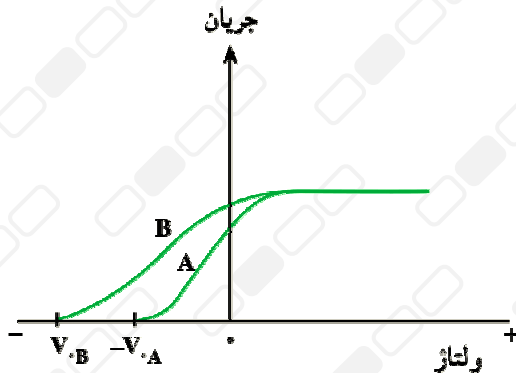


۲- اگر نور با بسامد مناسب به الکتروود بتابد، جریان الکتریکی مشاهده می‌شود و منحنی جریان برحسب ولتاژ برای آن به صورت مقابل است:

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۳)



۳- با کاهش ولتاژ، جریان کاهش می‌یابد تا این‌که به ازای یک ولتاژ

« $-V_0$ » (که ولتاژ متوقف‌کننده نامیده می‌شود) جریان صفر می‌شود و

به ازای مقدارهای کمتر از « $-V_0$ » جریان هم‌چنان صفر می‌ماند.

۴- اگر شدت نور فرودی تغییر کند، بیشینه‌ی جریان تغییر می‌کند اما

ولتاژ متوقف‌کننده ثابت می‌ماند. یعنی ولتاژ متوقف‌کننده به شدت

پرتوی فرودی بستگی ندارد.

۵- اگر آزمایش را با همان شدت حالت قبل ولی با بسامد پرتوی تابشی

دیگری تکرار کنیم، ولتاژ متوقف‌کننده تغییر می‌کند (شکل مقابل).

یعنی مقدار ولتاژ متوقف‌کننده به بسامد پرتوی فرودی بستگی دارد.

۶- اگر جنس الکترود فلزی A را تغییر دهیم، مقدار ولتاژ متوقف‌کننده تغییر می‌کند. یعنی مقدار ولتاژ متوقف‌کننده به جنس الکترود

فلزی A بستگی دارد.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۴)

ناتوانی فیزیک کلاسیک در توجیه پدیده‌ی فوتوالکتریک:

• اساس رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک و وجود ولتاژ متوقف‌کننده از دید فیزیک کلاسیک قابل توجیه است.

• فیزیک کلاسیک در تفسیر نتیجه‌های تجربی این پدیده با دو مشکل روبه‌رو شد:

۱- بنابر قانون‌های فیزیک کلاسیک، با افزایش شدت نور فرودی بر الکتروود A و در نتیجه افزایش میدان الکتریکی مربوط به موج

الکترومغناطیسی، می‌توانیم بیشینه K را افزایش دهیم. در حالی که در منحنی شکل ۳-۸ دیدیم که V_0 و در نتیجه

بیشینه K مستقل از شدت نوری است که بر الکتروود A می‌تابد.

۲- اگر شدت نور برای گسیل فوتوالکتریک‌ها از الکتروود A کافی باشد، اثر فوتوالکتریک باید در هر بسامدی رخ دهد. در حالی که دیدیم

اگر بسامد نوری که بر A فرود می‌آید کمتر از بسامد قطع باشد، اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۵)

تفسیر کوانتومی پدیده‌ی فوتوالکتریک:

- هر موج الکترومغناطیسی با بسامد f ، از بسته‌های متمرکز یا کوانتوم‌های انرژی به نام فوتون تشکیل شده است.
- براساس پیشنهاد انیشتین، ...

۱- انرژی یک موج الکترومغناطیسی با بسامد f ، تنها می‌تواند مضرب درستی از انرژی یک فوتون باشد. ($E = nhf$)

۲- در اثر فوتوالکتریک، یک فوتون به طور کامل توسط الکترون جذب می‌شود و انرژی خود را به الکترون می‌دهد.

$$hf = K + W \longrightarrow \text{انرژی لازم برای جدا شدن الکترون}$$

انرژی جنبشی الکترون جدا شده

انرژی فوتون فرودی

$$hf = K_{\max} + W_0 \longrightarrow \text{انرژی لازم برای جدا شدن سست‌ترین الکترون}$$

انرژی جنبشی الکترون جدا شده

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

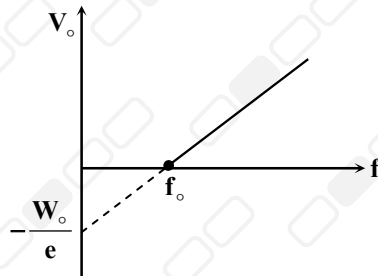
فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: پدیده‌ی فوتوالکتریک (۶)

روابط موردنیاز در پدیده‌ی فوتوالکتریک را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\begin{cases} K_{\max} = eV_0 \\ W_0 = hf_0 \end{cases} \Rightarrow hf = hf_0 + \underbrace{eV_0}_{K_{\max}} \Rightarrow hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = \underbrace{eV_0}_{K_{\max}}$$

بسامد قطع



توجه: در نمودار ولتاژ متوقف‌کننده (V_0) برحسب بسامد پرتوی فرودی (f) داریم:

$$V_0 = \underbrace{\frac{h}{e}}_{\text{شیب خط}} f - \underbrace{\frac{W_0}{e}}_{\text{تابع کار}}$$

ثابت پلانک برحسب الکترون ولت

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: طیف اتمی (۱)

طیف اتمی:

- طیف نور گسیل شده از بخار هر عنصر را **طیف اتمی** آن عنصر می‌نامند.
 - طیف اتمی حاصل از نور گسیل شده از بخار عنصرها را **طیف گسیلی (یا نشری)** آن اتم‌ها می‌نامند.
 - طیف نور سفیدی را که بعضی از خط‌ها با طول موج‌های آن جذب شده باشد، **طیف جذبی** می‌نامیم.
- توجه:** گازهای عنصرهای موجود در جو خورشید، بعضی از طول موج‌های گسیل شده از خورشید را جذب می‌کنند و نبود آن‌ها در طیف پیوسته‌ی خورشید به صورت خط‌های تاریک ظاهر می‌شود.



عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

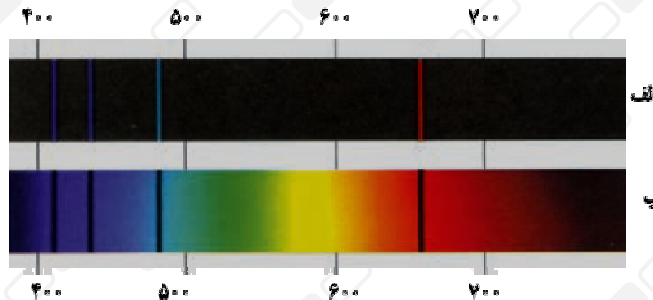
فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: طیف اتمی (۲)

• مطالعه‌ی طیف‌های گسیلی و جذبی عناصرها نشان می‌دهد که:

۱- هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی اتم‌های بخار هر عنصر، طول موج‌های معینی وجود دارد که از ویژگی‌های مشخصه‌ی آن عنصر است. یعنی طیف‌های گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری مثل هم نیست.

۲- اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند که اگر دمای آن به اندازه‌ی کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شود، آن‌ها را تابش می‌کند.



الف- طیف گسیلی، خط‌های روشن معرف طول موج‌های گسیلی هستند.

ب- طیف جذبی، خط‌های تاریک در زمینه روشن معرف طول موج‌های جذب شده هستند.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: رابطه‌ی ریدبرگ

رابطه‌ی ریدبرگ:

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

$R_H = \frac{E_R}{hc}$: ثابت ریدبرگ انرژی ریدبرگ

نام رشته	مقدار n'	رابطه‌ی ریدبرگ مربوط	مقادیر n	گستره‌ی طول موج
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4, \dots$	فرابنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5, \dots$	فرابنفش و مرئی
پائین	۳	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$	فروسرخ
پنجم	۵	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$	فروسرخ

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: الگوهای اتمی

• **الگوی اتمی تامسون:** اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از جرم و بار مثبت در نظر گرفته شده است که الکترون‌ها مانند کشمش‌های درون یک کیک کشمش‌ی درون آن قرار دارند.

• **الگوی اتمی رادفورد:** همه‌ی بار مثبت اتم در یک ناحیه‌ی ریزی با حجم بسیار کوچک به نام هسته متمرکز شده است و اطراف آن را الکترون‌ها با بار منفی در فاصله‌ی زیاد احاطه کرده اند به گونه‌ای که فضای بین هسته و الکترون‌ها خالی است.

اشکال اساسی مدل اتمی رادفورد:

- اگر الکترون نسبت به هسته را ساکن فرض کنیم، باید تحت تأثیر نیروی ربایشی کولنی، الکترون روی هسته سقوط کند.
- اگر فرض کنیم الکترون به دور هسته در حال گردش هستند، طبق نظریه‌ی ماکسول (الکترومغناطیس کلاسیک) باید این الکترون موج الکترومغناطیسی گسیل کند (بسامد این موج با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است). به تدریج با گسیل موج الکترومغناطیس، انرژی الکترون کم می‌شود و در شعاع کمتری حرکت می‌کند و بسامد موج تابش شده به تدریج افزایش می‌یابد و در نهایت الکترون روی هسته می‌افتد.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: الگوی اتمی بور

• **الگوی اتمی بور:** قانون‌های مکانیک و الکترومغناطیس کلاسیک، در مقیاس‌های اتمی باید همراه با فرضیه‌هایی در نظر گرفته شود که عبارتند از:

- ۱- الکترون، تنها روی مدارهای دایره‌ای با شعاع‌های معینی حرکت می‌کند. این مدارها، **مدار مانا** نامیده می‌شوند.
- ۲- الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، برخلاف نظریه‌ی الکترومغناطیس کلاسیک، تابشی گسیل نمی‌کند. در این وضعیت می‌گوییم الکترون در یک «حالت مانا» است.
- ۳- شعاع مدارهای مانا مقدارهای مشخص گسسته‌ای می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولین مدار را برابر a_0 بگیریم، شعاع‌های مجاز از رابطه‌ی زیر به دست می‌آیند:

$$r_n = a_0 \cdot n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

که در آن n یک عدد صحیح است.

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: اتم هیدروژن

انرژی الکترون در اتم هیدروژن:

$$U_n = \frac{ke^2}{r_n} = -\frac{2E_R}{n^2}$$

انرژی پتانسیل الکترون در لایه n ام

$$K_n = +\frac{ke^2}{2r_n} = \frac{E_R}{n^2}$$

انرژی جنبشی الکترون در لایه n ام

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

انرژی کل الکترون در لایه n ام

توجه: شعاع حرکت الکترون در اتم هیدروژن:

$$a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m k e^2} \approx 0.53 \text{ \AA}$$

۴- الکترون تنها هنگامی می تواند تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که از یک حالت مانا با انرژی E_{n_1} به حالت مانای دیگری با انرژی کمتر $E_{n_2} (n_2 < n_1)$ برود، یا به عبارت دیگر از یک تراز انرژی بالاتر به یک تراز انرژی پایین تر برود. در این صورت انرژی فوتون موج الکترومغناطیسی گسیل شده برابر اختلاف انرژی بین دو تراز است، یعنی:

$$h_f = E_{n_1} - E_{n_2}$$

عنوان کتاب: فیزیک سال چهارم

فصل ۷: آشنایی با فیزیک اتمی

موضوع: طیف اتمی

توجه:

۱- بلندترین طول موج در هر رشته (جدول ۷-۱) زمانی رخ می‌دهد که الکترون از نزدیک‌ترین لایه به لایه‌ی موردنظر برسد $(n \rightarrow n+1)$.

۲- کوتاه‌ترین طول موج در هر رشته (جدول ۷-۱) زمانی رخ می‌دهد که الکترون از لایه‌ی بسیار دور به لایه‌ی موردنظر برسد $(\infty \rightarrow n)$.

۳- اگر الکترون در تراز n قرار داشته باشد، تعداد حالت‌های کل ممکن است طی آن، الکترون به حالت پایه برسد، از رابطه‌ی
$$\frac{n(n+1)}{2}$$
 به دست می‌آید.

۴- طول موج‌های مرئی اتم هیدروژن (رشته‌ی بالمر) مربوط به تغییر تراز الکترون از لایه‌های $n=3$ ، $n=4$ ، $n=5$ و $n=6$ به حالت $n'=2$ است.