۱ 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 درنظر 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 به‌طور جداگانه توضیح دهید.

پاسخ: الف) هنگامی که نوری با بسامد مناسب (مانند نور فرابنفش) به سطحی فلزی بتابد، الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیدهٔ فیزیکی را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جداشده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.

ب) بنابر نظریهٔ اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرآیند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به‌طور آنی از فلز جدا می‌شود و بخشی از انرژی فوتون به انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده تبدیل می‌شود. اگر بسامد نور تابیده‌شده بر سطح فلز از بسامدی موسوم به بسامد آستانه (که به جنس فلز بستگی دارد) کمتر باشد، فوتون‌ها حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از فلز را ندارند و پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

پ) در این رابطه، $W_{\circ}$ تابع کار فلز است که حداقل انرژی مورد نیاز سست‌ترین الکترون فلز برای جدا شدن از سطح فلز می‌باشد. تابع کار هر فلز به جنس آن فلز بستگی دارد.

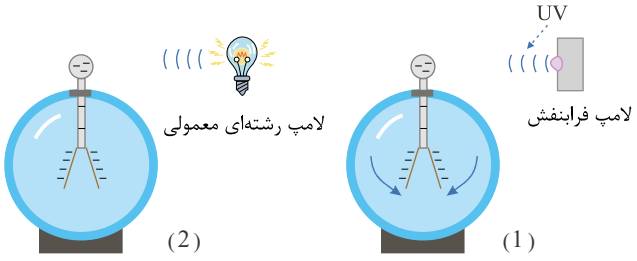
hf انرژی یک فوتون است که به سطح فلز برخورد می‌کند. اگر $hf \geq W_{\circ}$ باشد، پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ می‌دهد.

اگر مقدار hf از تابع کار فلز بیشتر باشد، فوتون انرژی موردنیاز برای کنده شدن از سطح فلز را دریافت می‌کند و مابقی انرژی، به انرژی جنبشی فوتون کنده‌شده تبدیل می‌شود که در این رابطه با $K_{\max}$ نشان داده شده است.

۲ پاسخ دهید.

پاسخ:

الف شکل (۱) بیانگر کدام پدیده در فیزیک جدید است؟



پاسخ: پدیدهٔ فوتوالکتریک

ب شکل‌های (۱) و (۲) چه تفاوت مهمی دارند؟

پاسخ: در شکل (۱) برهم‌کنش نور فرودی فرابنفش با کلاهک برق‌نما باعث می‌شود تا ورقه‌های آن به سرعت به‌هم

نزدیک شوند، در حالی که برهم‌کنش نور مرئی گسیل‌شده از یک لامپ رشته‌ای در شکل (۲)، چنین تأثیری ایجاد نمی‌کند.

۳ توضیح دهید برای یک فلز معیّن، تغییر هریک از کمیت‌های زیر چه تأثیری درنتیجهٔ 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.

پاسخ: در متن پرسش تأکید شده که یک فلز معیّن داریم؛ پس تابع کار فلز (که فقط به جنس فلز وابسته است) ثابت است (ثابت $= W_{\circ}$).

الف) فرض بر این است که $W_{\circ}$ ثابت است. حال در این شرایط f را تغییر می‌دهیم:

طبق رابطهٔ: $K_{\max} = hf - W_{\circ}$

اگر $f \geq f_{\circ}$ باشد، پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ می‌دهد و اگر $f < f_{\circ}$ باشد پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

حال با فرض اینکه همواره $f \geq f_{\circ}$ باشد،

اگر : $f \uparrow \Rightarrow K_{\max} \uparrow$

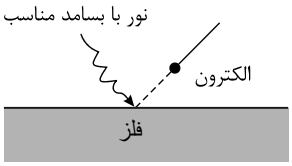
اگر : $f \downarrow \Rightarrow K_{\max} \downarrow$

ب) اگر بسامد نور فرودی کمتر از بسامد آستانه باشد، اصلاً پدیدهٔ فوتوالکتریک اتفاق نمی‌افتد و تغییر شدت نور هم تأثیری نخواهد داشت.:

$f < f_{\circ} \Rightarrow$ پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

پ) در این حالت $f > f_{\circ}$ است، بنابراین پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ می‌دهد؛ در این شرایط هرچه شدت نور فرودی کاهش یابد، تعداد فوتون‌های گسیلی به فلز کاهش یافته و تعداد الکترون‌های (یا بهتر است بگوییم فوتوالکترون‌های) جداشده از سطح فلز کاهش می‌یابد و تاثیری در انرژی جنبشی هر فوتوالکترون جداشده ندارد.

۴ شکل زیر، مربوط به کدام پدیدهٔ فیزیکی است؟



۱) فوتوالکتریک
۲) پرتوزایی
۳) بازتاب
۴) لیزر

پاسخ: ۴ ۳ ۲ **۱** پدیدهٔ فوتوالکتریک

۵ کدام‌یک از موارد زیر، با فیزیک کلاسیک قابل‌توجیه نیستند؟

۱) مکانیک نیوتونی و پدیدهٔ فوتوالکتریک
۲) پدیدهٔ فوتوالکتریک و طیف خطی
۳) لیزر و نظریهٔ الکترومغناطیسی ماکسول
۴) نظریهٔ الکترومغناطیسی ماکسول و طیف خطی

پاسخ: ۴ ۳ **۲** ۱ مکانیک نیوتونی و نظریهٔ الکترومغناطیس با فیزیک کلاسیک قابل توجیه هستند.

۶ در آزمایش فوتوالکتریک، فوتون‌هایی با طول موج $۲۴۸nm$ بر سطح یک فلز تابش می‌شود. انرژی هر فوتون چند الکترون ولت است؟

$(hc = ۱۲۴۰eV \cdot nm)$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{۱۲۴۰eV \cdot nm}{۲۴۸nm} \Rightarrow E = ۵eV$$

۷ یک چشمهٔ نور فوتون‌هایی با طول موج $۳۹۸nm$ گسیل می‌کند. انرژی هر فوتون چند ژول است؟ $(hc = ۱۹٫۹ \times ۱۰^{-۲۶} J \cdot m)$

$$E = h_f = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow E = \frac{۱۹٫۹ \times ۱۰^{-۲۶}}{۳۹۸ \times ۱۰^{-۹}} \qquad E = ۵ \times ۱۰^{-۱۹} J$$

۸ یک لامپ با توان $۵W$ تابش مرئی با طول موج $۵۵۰nm$ گسیل می‌کند. در هر ثانیه چه تعداد فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟ $(hc = ۲ \times ۱۰^{-۲۵} J \cdot m)$

پاسخ: اگر انرژی کل الکترومغناطیسی گسیلی را E بنامیم، داریم:

$$E = p \cdot t = nh_f = n\frac{h_c}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \frac{nhc}{\lambda} = Pt \Rightarrow n = \frac{pt\lambda}{h_c} = \frac{۵ \times ۱ \times ۵۵۰ \times ۱۰^{-۹}}{۲ \times ۱۰^{-۲۵}} \Rightarrow n = ۱٫۳۷۵ \times ۱۰^{۱۹}$$

۹ از یک لامپ که نوری با طول $۶۶۰nm$ گسیل می‌کند، در هر دقیقه ۲×۱۰^{۲۱} فوتون گسیل می‌شود. توان تابشی مفید لامپ چند وات است؟

$$(c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s} \ , \ h = ۶٫۶ \times ۱۰^{-۳۴} j \cdot s)$$

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

$$P = \frac{۲ \times ۱۰^{۲۱} \times ۶٫۶ \times ۱۰^{-۳۴} \times ۳ \times ۱۰^{۸}}{۶۶۰ \times ۱۰^{-۹} \times ۶۰} \Rightarrow P = ۱۰W$$

۱۰ الکترون ولت، یکای کدام کمیت در فیزیک اتمی است؟

پاسخ: انرژی

۱۱ آیا افزایش طول موج نور، لزوماً باعث کاهش انرژی هر فوتون آن می‌شود؟ برای پاسخ خود توضیح مناسبی بنویسید.

پاسخ: خیر، انرژی فوتون با بسامد فوتون متناسب است. مثلاً هنگامی که نور از محیط شفافی به محیط شفاف دیگر می‌رود، بسامد ثابت است، ولی طول موج تغییر می‌کند.

۱۲ انرژی فوتونی eV ۲ است.

الف طول موج این پرتو را حساب کنید.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \qquad ۲ = \frac{۱۲۴۰}{\lambda} \Rightarrow \lambda = ۶۲۰nm$$

ب تعیین کنید این پرتو در چه ناحیه‌ای از طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارد. $(hc = ۱۲۴۰ \ eV \cdot nm)$

پاسخ: مرئی

۱۳ توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون $۵٫۰\ mW$ است. اگر توان ورودی این لیزر $۵۰٫۰\ W$ باشد،

الف) بازده لیزر را حساب کنید.

ب) اگر طول موج باریکهٔ نور خروجی $۶۳۳nm$ باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود. $(hc \cong ۱۲۴۰\ eV \cdot nm)$

$$\text{بازده} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}$$

$$\rightarrow \text{بازده} = \frac{۵٫۰ \times ۱۰^{-۳} W}{۵۰٫۰ W} = ۱۰^{-۴} \rightarrow \text{بازده}\ \% = ۱۰^{-۴} \times ۱۰۰ = ۱۰^{-۲}\%$$

$$\rightarrow \text{بازده} = ۰٫۰۱\% \text{ (یک‌صدم درصد)}$$

(نکته: بازده لیزرهای هلیم ـ نئون بسیار کم و در حدود ۰٫۰۱ تا ۰٫۱ درصد است، ولی به دلیل کیفیت خوب باریکهٔ لیزر ایجادشده، کاربرد زیادی در صنعت و فعالیت‌های علمی و آزمایشگاهی دارند.)

(ب)

$$\begin{cases} \lambda = ۶۳۳nm \\ \text{توان خروجی } P = ۵٫۰\ mW = ۵ \times ۱۰^{-۳} W \\ \Delta t = ۱\ s \end{cases}$$

ابتدا انرژی هر فوتون خروجی از لیزر را می‌یابیم:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰(eV \cdot \cancel{nm})}{۶۳۳\ \cancel{nm}}$$

$$\rightarrow E \cong ۱٫۹۶eV = ۱٫۹۶ \times ۱٫۶ \times ۱۰^{-۱۹} J \simeq ۳٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۹} J$$

اگر انرژی کل فوتون‌ها E' باشد: $P = \frac{E'}{t}$

$$\rightarrow E' = Pt = (۵ \times ۱۰^{-۳} W)(۱s) = ۵ \times ۱۰^{-۳} J$$

$$\rightarrow E' = nE \rightarrow n = \frac{E'}{E} = \frac{۵ \times ۱۰^{-۳} J}{۳٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۹} J}$$

$$\rightarrow n \simeq ۱٫۶ \times ۱۰^{۱۶}$$

۱۴ هرگاه بر سطح فلزی نوری با طول موج $۴۲۰nm$ بتابد، بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده حدود $۰٫۵۰\ eV$ است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح فلز تقریباً چقدر است؟ $(hc = ۱۲۴۰eV \cdot nm\ ,\ h = ۴٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s)$

ابتدا با استفاده از معادلهٔ فوتوالکتریک، تابع کار و پس از آن بسامد آستانه را محاسبه می‌کنیم.

$$\lambda = ۴۲۰nm\ ,\ K_{max} = ۰٫۵۰\ eV\ ,\ K_{max} = hf - W_۰ \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}}$$

$$K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_۰$$

$$۰٫۵ = \frac{۱۲۴۰eV \cdot nm}{۴۲۰nm} - W_۰ \qquad W_۰ = ۲٫۴۵eV$$

$$f_{\circ}=\frac{W_{\circ}}{h}=\frac{۲٫۴۵\ \cancel{eV}}{۴٫۱۴\times ۱۰^{-۱۵}\ \cancel{eV}\cdot s}\rightarrow f_{\circ}=۰٫۵۹\times ۱۰^{۱۵}(\frac{۱}{s})\rightarrow f_{\circ}=۵٫۹\times ۱۰^{۱۴}Hz$$

۱۵ حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر $۲٫۲۸\ eV$ است.

الف) طول موج آستانه برای گسیل فوتوالکترون از سطح فلز سدیم چقدر است و معلوم کنید این طول موج مربوط به چه رنگی است؟

ب) آیا فوتون‌هایی با طول موج $۶۸۰\ nm$ قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟ $(hc=۱۲۴۰eV\cdot nm)$

پاسخ: حداقل انرژی برای جدا کردن الکترون از سطح فلز یعنی $W_{\circ}$. بنابراین برای فلز سدیم داریم:

$$W_{\circ}=۲٫۲۸\,eV$$

الف)

$$f_{\circ}=\frac{c}{\lambda_{\circ}}=\frac{W_{\circ}}{h}\rightarrow \lambda_{\circ}=\frac{hc}{W_{\circ}}$$

$$\lambda_{\circ}=\frac{۱۲۴۰\ eV\cdot nm}{۲٫۲۸\,eV}\simeq ۵۴۳٫۸۶\ nm$$ (به نظر برای رنگ سبز است.)

حداکثر طول موج فوتون فرودی به سطح فلز برای این‌که پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ دهد = طول موج آستانه

ب) شرط اینکه پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ دهد:

$$\begin{cases} f\geq f_{\circ}=\dfrac{W_{\circ}}{h} \\ \lambda\leq \lambda_{\circ}=\dfrac{hc}{W_{\circ}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \lambda_{\circ}=۵۴۳٫۸۶nm \\ \lambda=۶۸۰\ nm \end{cases}\rightarrow\ \lambda>\lambda_{\circ}$$

بنابراین پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نخواهد داد.

۱۶ در پدیدهٔ فوتوالکتریک برای فلز روی،

الف) بلندترین طول موجی را پیدا کنید که سبب گسیل فوتوالکترون‌ها می‌شود.

ب) وقتی نوری با طول موج $۲۲۰nm$ با سطح این فلز برهم‌کنش کند، بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌ها چقدر است؟

$$(hc=۱۲۴۰eV\cdot nm, m_e=۹٫۱۱\times ۱۰^{-۳۱}kg)$$

پاسخ: الف) بلندترین طول موج برای اینکه اثر فوتوالکتریک رخ دهد، همان طول موج آستانه است. بنابراین داریم:

$$\lambda_{max}=\lambda_{\circ}=\frac{hc}{W_{\circ}}$$

$$\begin{cases} \text{فلز روی } W_{\circ}=۴٫۳۱eV \\ hc=۱۲۴۰eV\cdot nm \end{cases}\Rightarrow \lambda_{\circ}=\frac{۱۲۴۰eV\cdot nm}{۴٫۳۱eV}\simeq ۲۸۷٫۷nm$$

ب) برای پیدا کردن بیشترین تندی فوتوالکترون‌ها، باید انرژی جنبشی بیشینهٔ فوتوالکترون‌ها را برحسب ژول محاسبه کنیم، بنابراین پس از محاسبهٔ K_{max} برحسب eV، آن را به ژول تبدیل می‌کنیم.

$$K_{max} = \frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲} = hf - W_{۰} = \frac{hc}{\lambda} - W_{۰}$$

$$\frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲} = \frac{۱۲۴۰eV \cdot nm}{۲۲۰nm} - ۴٫۳۱eV = ۱٫۳۲eV = \underbrace{۱٫۳۲ \times ۱٫۶}_{۲٫۱۱۲} \times ۱۰^{-۱۹}J$$

$$\Rightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{۲ \times ۲٫۰۶۴ \times ۱۰^{-۱۹}}{۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۳۱}}} = \sqrt{۰٫۴۵ \times ۱۰^{۱۲}} = ۰٫۶۸ \times ۱۰^{۶}\frac{m}{s}$$

۱۷ طول موج آستانه برای اثر فوتوالکتریک در یک فلز معین برابر ۲۵۴ nm است.

الف) تابع کار این فلز برحسب الکترون‌ولت چقدر است؟ $(hc = ۱۲۴۰\ eV \cdot nm)$

ب) توضیح دهید که آیا اثر فوتوالکتریک به‌ازای طول موج‌های کوچک‌تر، مساوی یا بزرگ‌تر از ۲۵۴ nm مشاهده خواهد شد؟

الف)

$$\begin{cases} \lambda_{۰} = \frac{c}{f_{۰}} \\ f_{۰} = \frac{W_{۰}}{h} \end{cases} \Rightarrow \underbrace{\lambda_{۰}}_{\text{طول موج آستانه}} = \frac{c}{(\frac{W_{۰}}{h})} = \frac{hc}{W_{۰}}$$

$$\rightarrow \lambda_{۰} = \frac{۱۲۴۰\ (eV \cdot \cancel{nm})}{W_{۰}} = ۲۵۴\ (\cancel{nm}) \rightarrow W_{۰} = \frac{۱۲۴۰\ eV}{۲۵۴} \simeq ۴٫۹\ eV$$

ب)

* بسامد آستانه یا قطع $(f_{۰})$: کمترین فرکانس (بسامد) برای اینکه پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ دهد:

شرط فوتوالکتریک $\Rightarrow f \geq f_{۰} = \frac{W_{۰}}{h}$

* طول موج آستانه یا قطع $(\lambda_{۰})$: بلندترین طول موجی که به‌ازای آن پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ می‌دهد:

شرط فوتوالکتریک $\Rightarrow \lambda \leq \lambda_{۰} = \frac{hc}{W_{۰}}$

بنابراین برای اینکه پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ دهد، بایستی $\lambda \leq \lambda_{۰} = ۲۵۴\ nm$ باشد؛ در نتیجه برای طول موج‌های کوچک‌تر یا مساوی ۲۵۴nm، فوتوالکتریک رخ می‌دهد و برای طول موج‌های بزرگ‌تر از ۲۵۴nm رخ نمی‌دهد.

۱۸ تابش فرابنفشی با طول موج 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. $(hc = ۱۲۴۰eV \cdot nm)$ و جرم الکترون تقریباً $۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۳۱}kg$ فرض شود.)

پاسخ:

$$K_{\max} = hf - W_{۰} \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} K_{\max} = \frac{hc}{\lambda} - W_{۰}$$

$$\rightarrow K_{\max} = \frac{۱۲۴۰}{۲۰۰} - ۴٫۹ = ۱٫۳eV \xrightarrow[۱eV=۱٫۶\times۱۰^{-۱۹}J]{K_{\max}=\frac{۱}{۲}mv_{\max}^{۲}}$$

$$۱٫۳ \times ۱٫۶ \times ۱۰^{-۱۹} = \frac{۱}{۲} \times ۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۳۱} \times v_{\max}^{۲} \rightarrow v_{\max} \simeq ۶٫۸ \times ۱۰^{۵}\frac{m}{s}$$

۱۹ تابع کار فلزی $۴٫۱۴eV$ است. بیشینهٔ طول موج نور برای خارج کردن الکترون از سطح این فلز چند نانومتر است؟ $(h = ۴٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۵}eV\ ,\ C = ۳ \times ۱۰^{۸}m/s)$

۱) ۳۰۰ ۲) ۴۰۰ ۳) ۵۰۰ ۴) ۶۰۰

پاسخ: ۴ ۳ ۲ **۱** بیشینهٔ طول موج نور برای خارج کردن الکترون از سطح فلز همان طول موج آستانه می‌باشد که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_{۰} = \frac{hc}{W_{۰}} \Rightarrow \lambda_{۰} = \frac{۴٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۵} \times ۳ \times ۱۰^{۸}}{۴٫۱۴} = ۳ \times ۱۰^{-۷}m = ۳۰۰nm$$

۲۰ یک لامپ ۲۰۰ وات، نور بنفش با طول موج $۴۰۰nm$ گسیل می‌کند. یک لامپ ۲۰۰ واتی دیگر نور زرد با طول موج $۶۰۰nm$ گسیل می‌کند. تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه از لامپ زرد گسیل می‌شود، چند برابر تعداد فوتون‌هایی است که در همین مدت از لامپ بنفش گسیل می‌شود؟

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) ۱ ۳) $\frac{۳}{۲}$ ۴) ۲

پاسخ: ۴ **۳** ۲ ۱

اگر رنگ زرد را با حرف Y و رنگ بنفش را با حرف V نشان دهیم، داریم:

$$\left.\begin{matrix} E = nh\frac{C}{\lambda} \\ E = P \cdot t \end{matrix}\right\} \Rightarrow \begin{matrix} P_Y t_Y = n_Y \frac{hC}{\lambda_Y} \\ P_V t_V = n_V \frac{hC}{\lambda_V} \end{matrix} \xrightarrow{\text{تقسیم دو رابطه}} \frac{۲۰۰ \times ۱}{۲۰۰ \times ۱} = \frac{n_Y}{n_V} \times \frac{\frac{۱}{۶۰۰}}{\frac{۱}{۴۰۰}} \Rightarrow \frac{n_Y}{n_V} = \frac{۳}{۲}$$

۲۱ تابع کار دو فلز A و B به‌ترتیب $۴٫۵eV$ و $۳eV$ است. اگر نوری با طول موج $۱۵۰nm$ به هر دو فلز بتابد، بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های فلز A چند درصد کمتر از بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های B است؟ $(c = ۳ \times ۱۰^{۸}\frac{m}{s}\ ،\ h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵}eV \cdot s)$

۱) ۳۰ ۲) ۴۰ ۳) ۶۰ ۴) ۷۰

پاسخ: ۴ ۳ ۲ **۱**

معادلهٔ فوتوالکتریک را برای هر دو فلز می‌نویسیم. داریم:

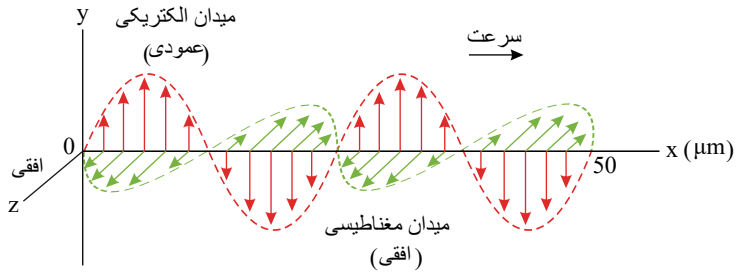
$$\begin{cases} K_{max} = h\frac{c}{\lambda} - W_{۰} \Rightarrow \frac{K_{maxA}}{K_{maxB}} = \frac{\frac{hc}{\lambda_A} - W_{۰A}}{\frac{hc}{\lambda_B} - W_{۰B}} = \frac{\frac{۱۲۰۰}{۱۵۰} - ۴٫۵}{\frac{۱۲۰۰}{۱۵۰} - ۳} \Rightarrow \frac{K_{maxA}}{K_{maxB}} \\ hc = (۴ \times ۱۰^{-۱۵}eV \cdot \cancel{s})(۳ \times ۱۰^{۸}\frac{m}{\cancel{s}}) = ۱۲ \times ۱۰^{-۷}eV \cdot m = ۱۲۰۰eV \cdot nm \end{cases}$$

$$= \frac{۸ - ۴٫۵}{۸ - ۳} = \frac{۳٫۵}{۵} = ۰٫۷$$

دقت شود که چون تابع کار فلز بر حسب eV و طول موج بر حسب nm است، بنابراین باید hc را نیز بر حسب $eV \cdot nm$ بنویسیم.

$$(\frac{K_{maxA}}{K_{maxB}} - ۱) \times ۱۰۰ = (۰٫۷ - ۱) \times ۱۰۰ = -۳۰$$ درصد

۲۲ شکل زیر، تصویری از یک موج الکترومغناطیسی است که در خلأ در حال انتشار است. انرژی هریک از فوتون‌های این موج چند الکترون- ولت است؟ $(h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s, c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s})$



۱) ۲٫۴
۲) $۲٫۴ \times ۱۰^{-۲}$
۳) ۴٫۸
۴) $۴٫۸ \times ۱۰^{-۲}$

پاسخ: ۴ ۳ ۲ ۱ ابتدا با توجه به شکل طول موج را به دست می‌آوریم و سپس انرژی هر فوتون را محاسبه می‌کنیم. داریم:

$$۲\lambda = ۵۰\mu m \Rightarrow \lambda = ۲۵\mu m = ۲۵ \times ۱۰^{-۶} m$$

انرژی هر فوتون $E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s \times ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۲۵ \times ۱۰^{-۶} m} = \frac{۱۲}{۲۵} \times ۱۰^{-۱} = ۴٫۸ \times ۱۰^{-۲} eV$

$$\Rightarrow E = ۴٫۸ \times ۱۰^{-۲} eV$$

۲۳ در آزمایش فوتوالکتریک تابع کار فلز $۲٫۸eV$ است. نوری با طول موج λ به فلز می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌هایی با بیشینهٔ انرژی جنبشی $۴٫۴eV$ می‌شود. λ چند میکرومتر است؟
$(h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s, C = ۳ \times ۱۰^{۸})$

۱) $\frac{۱}{۶}$ ۲) $\frac{۳}{۴}$ ۳) $\frac{۵۰}{۳}$ ۴) $\frac{۱۰۰۰}{۳}$

پاسخ: ۱ ۲ ۳ ۴

$$W_{۰} = ۲٫۸eV \text{ و } K_{max} = ۴٫۴eV \text{ و } h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s \text{ و } c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$$

$$K_{max} = hf - W_{۰} = \frac{hc}{\lambda} - W_{۰} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{K_{max} + W_{۰}} \Rightarrow \lambda = \frac{(۴ \times ۱۰^{۱۵} eV \cdot s)(۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s})}{۴٫۴eV + ۲٫۸eV}$$

$$= \frac{۱۲ \times ۱۰^{-۷} eV \cdot m}{۷٫۲eV} = \frac{۱٫۲eV \cdot \mu m}{۷٫۲eV} \Rightarrow \lambda = \frac{۱}{۶}\mu m$$

۲۴ در یک دستگاه فوتوالکتریک، تابع کار فلز $۴eV$ است. با این دستگاه دو آزمایش انجام می‌دهیم. در آزمایش دوم طول موج پرتو به‌کاررفته را نصف می‌کنیم، بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها نسبت به آزمایش قبلی ۶ برابر می‌شود. طول موج پرتو استفاده‌شده در آزمایش اول چند نانومتر است؟ $(h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵}$ و $c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s})$

۱) ۱۸۰ ۲) ۲۴۰ ۳) ۳۶۰ ۴) ۴۸۰

پاسخ: ۴ ۳ ۲ ۱ قبل از هر چیز می‌دانیم که در اینجا، هنگامی طول موج به‌کاررفته نصف می‌شود که بسامد موج دو برابر شود. حال با توجه به رابطهٔ فوتوالکتریک داریم:

$$K_{max}=hf-W_{\circ}\Rightarrow\begin{cases}K_{۱}=hf_{۱}-W_{\circ}\\K_{۲}=hf_{۲}-W_{\circ}\end{cases}\xrightarrow[f_{۲}=۲f_{۱}]{K_{۲}=۶K_{۱}}\begin{cases}K_{۱}=hf_{۱}-۴\\۶K_{۱}=۲hf_{۱}-۴\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}K_{۱}=۱eV\\hf_{۱}=۵eV\end{cases}$$

حال برای تعیین طول موج اولیه داریم:

$$hf_{۱}=۵\Rightarrow h\frac{c}{\lambda_{۱}}=۵\Rightarrow\frac{۴\times۱۰^{-۱۵}\times۳\times۱۰^{۸}}{\lambda_{۱}}=۵\Rightarrow\lambda_{۱}=۲/۴\times۱۰^{-۷}m\Rightarrow\lambda_{۱}=۲۴۰nm$$