

# فصل هفتم: آشنایی با فیزیک اتمی

## بخش دوم: فوتون - پدیده‌ی فوتوالکتریک

### پدیده‌ی فوتوالکتریک

در اواخر قرن نوزدهم، هرتز متوجه شد که هرگاه نور با بسامد بالا و طول موج بسیار بلند (فرابنفش) به کلاهی یک الکتروسکوپ باردار با بار منفی بتابد، الکتروسکوپ بدون بار می‌شود. امروزه می‌دانیم علت آن جدا شدن الکترون از سطح فلز است.

### تعریف

به جدا شدن الکترون از سطح فلز در اثر تابش، پدیده‌ی فوتوالکتریک می‌گویند و الکترون‌های جدا شده را فوتوالکترون می‌نامند.

بررسی پدیده‌ی فوتوالکتریک تناقض‌های بسیاری را بین تجربه و نظریه‌ی کلاسیکی به وجود آورد. ولی اینشتین توانست به کمک تئوری ذره‌ای بودن نور و تجدید نظر در دیدگاه فیزیک کلاسیک درباره‌ی نور، این پدیده را توجیه کند. ما به بررسی تاریخی این پدیده می‌پردازیم و قدم به قدم جلو می‌رویم و تناقضات را مطرح می‌کنیم. در انتها هم نظریه‌ی اینشتین درباره‌ی اثر فوتوالکتریک را بیان می‌کنیم. ابتدا چند مفهوم ساده را بررسی می‌کنیم.

**پرسش:** عبارت «شدت نور تاییده شده را افزایش می‌دهیم» به چه معناست؟

**پاسخ:** به این معناست که اگر برای مثال از لامپ ۵۰ وات استفاده می‌کنیم، اکنون از لامپ ۱۰۰ وات با همان بسامد بهره می‌گیریم که شدت نور آن بیش‌تر است.

**پرسش:** افزایش شدت نور لامپ تک‌رنگی مثلاً قرمز از دیدگاه فیزیک کلاسیک چه تأثیری بر نور قرمز خواهد داشت؟

**پاسخ:** در دیدگاه فیزیک کلاسیک، نور، بخشی از امواج الکترومغناطیسی و دارای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی است. وقتی شدت نور افزایش می‌یابد، این میدان‌ها قوی‌تر می‌شوند.

**پرسش:** با توجه به پرسش‌های بالا هنگامی که نور بر سطح فلز می‌تابد، از دیدگاه فیزیک کلاسیک چه عاملی سبب جدا شدن الکترون از سطح فلز می‌شود؟

**پاسخ:** همان‌گونه که بیان گردید پرتوهای الکترومغناطیسی (نور) دارای میدان الکتریکی هستند که بر الکترون، نیرو وارد می‌کند  $(F = q \cdot E \Rightarrow F = -eE)$  و اگر  $E$  قوی باشد، الکترون از سطح فلز جدا می‌شود.

**پرسش:** آیا از دیدگاه فیزیک کلاسیک هر پرتو نوری می‌تواند الکترون را از سطح فلز جدا کند یا در این مورد برای بسامد نور محدودیتی وجود دارد؟

**پاسخ:** از دیدگاه فیزیک کلاسیک برای بسامد نور محدودیتی وجود ندارد و هر نوری با هر بسامدی باید بتواند پدیده‌ی فوتوالکتریک را انجام دهد. اگر نوری موفق به انجام این پدیده نشد با افزایش شدت نور، میدان الکتریکی آن را قوی کرده و نور می‌تواند بر الکترون نیروی بیش‌تری وارد کند و الکترون را از سطح فلز جدا کند. از طرفی فیزیک کلاسیک پیش‌بینی می‌کند اگر شدت نور کم باشد، با گذشت چند دقیقه الکترون‌ها انرژی لازم برای جدا شدن را از پرتوها دریافت می‌کنند و از سطح فلز جدا می‌شوند.

**پرسش:** آیا تجربه‌های آزمایشگاهی دیدگاه فیزیک کلاسیک را تأیید می‌کنند؟

**پاسخ:** خیر. آزمایش نشان می‌دهد که گسیل الکترون از سطح فلز هم‌زمان با تابیدن نور رخ می‌دهد. از طرفی در جدا شدن الکترون، این بسامد نور است که حرف اول و تعیین‌کننده را می‌زند و شدت نور در رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک نقشی ندارد.

### نتیجه

۱- آزمایش نشان می‌دهد گسیل الکترون از سطح فلز هم‌زمان با تابیدن نور بر سطح فلز رخ می‌دهد.

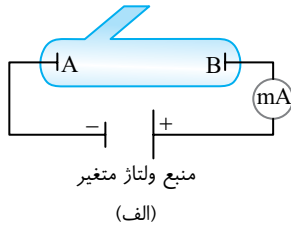
۲- از دیدگاه فیزیک کلاسیک، انجام پدیده‌ی فوتوالکتریک به شدت نور فرودی بر فلز بستگی دارد، اما آزمایش نشان می‌دهد که رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به شدت نور بستگی ندارد.

۳- از دیدگاه فیزیک کلاسیک، رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به بسامد نور فرودی بر فلز بستگی ندارد، اما آزمایش نشان می‌دهد رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به بسامد نور بستگی دارد و اگر بسامد نور فرودی از حدی کم‌تر شود، پدیده رخ نمی‌دهد که آن را بسامد قطع می‌نامند و با  $f_0$  نشان می‌دهند.

۴- فیزیک کلاسیک قادر به توجیه پدیده‌ی فوتوالکتریک نیست.

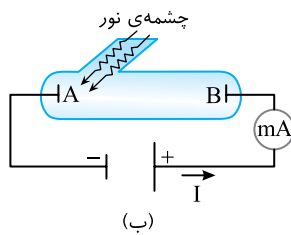
**پرسش:** اگر بسامد نور فرودی از  $f$  بیش‌تر باشد و پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ دهد، به نظر شما با افزایش شدت نور این پرتو، در پدیده چه تغییری رخ می‌دهد؟

**پاسخ:** پرتو می‌تواند باعث جدا شدن الکترون شود، پس قطعاً با افزایش شدت نور تعداد فوتوالکترون‌های جدا شده بیش‌تر خواهد شد. حال که تناقض‌های فیزیک کلاسیک و آزمایش‌های تجربی در رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک مشخص گردید به بررسی وقایع تاریخی دیگر درباره‌ی پدیده‌ی فوتوالکتریک می‌پردازیم.



**پرسش:** جدا شدن الکترون از سطح فلز را چگونه می‌توان آشکار کرد؟ می‌دانیم الکترون قابل مشاهده نیست، بنابراین رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک چگونه قابل تشخیص است؟

**پاسخ:** شاید پاسخ این پرسش به ذهن ما و شما نرسد، اما فیزیکدان‌ها به کمک یک مدار الکتریکی و ایجاد جریان در اثر تابش فرودی بر فلز، این کار را انجام داده‌اند. در شکل (الف) مدار الکتریکی که فیزیکدان‌ها از آن استفاده کرده‌اند، رسم شده است. دو الکتروود فلزی A و B در یک محفظه‌ی شیشه‌ای خالی از هوا قرار دارند. یک میلی آمپرسنج برای نمایش عبور جریان و یک منبع ولتاژ متغیر در مدار وجود دارد.



**پرسش:** در شکل (الف)، الکتروود A به قطب منفی و الکتروود B به قطب مثبت متصل است. آیا در این حالت در مدار جریانی برقرار است؟ آیا با افزایش ولتاژ، جریانی برقرار می‌شود؟

**پاسخ:** قطعاً جریانی وجود ندارد. زیرا الکتروود A و B به هم متصل نیستند و بین آن‌ها خلأ است و جریانی برقرار نمی‌شود و با افزایش ولتاژ نیز جریانی وجود نخواهد داشت. (البته دقت کنید منظور از افزایش ولتاژ، افزایشی در حد معمول است مثلاً ۲۰ یا ۳۰ ولت و گرنه با افزایش ولتاژ در حدود ۵۰۰۰۰V ممکن است تخلیه‌ی الکتریکی شبیه لامپ پرتوهای کاتدی رخ دهد که ما به آن نیازی نداریم.)

حال با یک چشمه‌ی نور که بسامد آن از بسامد قطع بیش‌تر است ( $f > f_0$ )، پرتوهایی بر سطح الکتروود A می‌تابانیم. در این حالت شاهد برقراری جریان در مدار خواهیم بود. [شکل (ب)]

**پرسش:** علت برقراری جریان چیست؟

**پاسخ:** نور سبب جدا شدن الکترون از سطح الکتروود A شده و ولتاژ بین A و B باعث برقراری جریان می‌شود، یعنی الکترون‌ها از A به B می‌روند و در مدار، جریان در خلاف جهت حرکت الکترون‌ها برقرار می‌شود.

### نظریه‌ی اینشتین درباره‌ی پدیده‌ی فوتوالکتریک

اینشتین با تجدید نظر در نظریه‌ی موجی بودن نور توانست پدیده‌ی فوتوالکتریک را توجیه کند. اینشتین نظریه‌ی خود را بر دو پایه استوار کرد:

$$E = hf$$

۱- نور از بسته‌های انرژی به نام فوتون تشکیل شده است و انرژی هر فوتون برابر است با:

$$E = nhf$$

در این رابطه  $f$  بسامد پرتو و  $h$  همان ثابت پلانک است و انرژی تابش فرودی برابر است با:

که در آن  $n$  تعداد فوتون‌های نور است.

۲- هر الکترون تنها با یک فوتون برهم‌کنش دارد.

می‌دانیم برای جدا شدن الکترون از سطح فلز، انرژی لازم است. البته وابستگی الکترون‌ها به الکتروود متفاوت است، بعضی از الکترون‌ها محکم به سطح فلز چسبیده‌اند و بعضی از الکترون‌ها شل‌ترند و برای جدا شدن انرژی کم‌تری نیاز دارند.

**تعریف** ◀ کمینه‌ی انرژی لازم برای جدا شدن الکترون از سطح فلز را تابع کار فلز ( $W_0$ ) می‌نامیم.

تذکر:  $W_0$  به جنس فلز بستگی دارد و در واقع انرژی لازم برای جدا شدن سست‌ترین الکترون سطح فلز است.

از دیدگاه اینشتین هرگاه شدت نور با بسامد معین  $f$  افزایش یابد ( $E = nhf$ )، تعداد فوتون‌های نور افزایش می‌یابد و انرژی یک فوتون آن تغییر نمی‌کند و اگر انرژی فوتون از تابع کار فلز کوچک‌تر باشد ( $hf < W_0$ )، پدیده رخ نمی‌دهد.

**نتیجه** ◀ رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به بسامد نور بستگی دارد و به شدت نور بستگی ندارد.

اگر انرژی فوتون برابر تابع کار باشد، الکترون از فلز جدا می‌شود.

**نتیجه** ◀ کم‌ترین بسامدی را که با آن پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ می‌دهد، بسامد قطع فلز گویند.  $W_0 = hf_0$

**تعریف** ◀ بلندترین طول موج فرودی بر جسم (فلز) که می‌تواند پدیده‌ی فوتوالکتریک را انجام دهد، طول موج قطع نامیده و آن را با حرف  $\lambda_0$  نمایش می‌دهند.

۱- در شبمی فرا گرفته‌ایم که به الکتروودی که از آن الکترون خارج می‌شود کاتد و به الکترون‌های جدا شده از کاتد را گردآوری می‌کند، آند گویند.

اگر بسامد نور از بسامد قطع فلز بیشتر باشد ( $f > f_0$ )، انرژی فوتون از تابع کار فلز بیشتر شده ( $hf > W_0$ )، فوتوالکترون‌ها در هنگام جدا شدن از سطح فلز دارای انرژی جنبشی می‌شوند.  $W_0$  کم‌ترین انرژی لازم برای جدا شدن الکترون است، بنابراین الکترونی که انرژی جدا شدن آن  $W_0$  است بیش‌ترین انرژی جنبشی را به دست می‌آورد.

**پرسش:** آیا تمام فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح فلز دارای انرژی جنبشی بیشینه ( $K_m$ ) هستند؟

**پاسخ:** خیر، وابستگی الکترون‌ها به سطح فلز متفاوت است، الکترون‌هایی که وابستگی آن‌ها به سطح فلز زیاد است یعنی انرژی لازم برای جدا شدن آن‌ها از سطح فلز از  $W_0$  بیش‌تر است انرژی جنبشی کم‌تری خواهند داشت و برای آن‌ها می‌توان نوشت:  $K = hf - W$

تست ۶: تابع کار فلزی  $5 \text{ eV}$  و بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها در یک پدیده فوتوالکتریک  $3/28$  الکترون ولت است. بسامد

نور فرودی بر فلز چند هرتز است؟ ( $h = 4/14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ )

- (۱)  $10^{15}$  (۲)  $0.5 \times 10^{15}$  (۳)  $2 \times 10^{15}$  (۴)  $4 \times 10^{15}$

**پاسخ:**

$$K_{\max} = hf - W_0 \Rightarrow 3/28 = 4/14 \times 10^{-15} \times f - 5 \Rightarrow 8/28 = 4/14 \times 10^{-15} \times f \Rightarrow f = 2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

بنابراین گزینه‌ی (۳) درست است.

تست ۷: تابع کار فلزی  $3/3 \times 10^{-18} \text{ J}$  است. طول موج قطع آن چند نانومتر است؟ ( $h = 6/6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

- (۱) ۶۰ (۲) ۶۰۰ (۳) ۶۰۰۰ (۴) ۰/۶

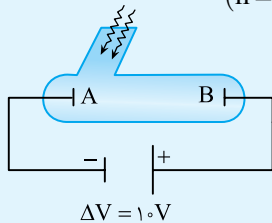
$$W_0 = hf_0 = h \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow 3/3 \times 10^{-18} = 6/6 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = 6 \times 10^{-8} \text{ m} = 60 \text{ nm}$$

**پاسخ:**

بنابراین گزینه‌ی (۱) درست است.

تست ۸: در شکل زیر، نور تک‌رنگی با بسامد  $5 \times 10^{15} \text{ Hz}$  بر سطح فلز A می‌تابد. تابع کار الکتروود A،  $5 \text{ eV}$  است. بیشینه انرژی

جنبشی فوتوالکترون‌ها وقتی به الکتروود B می‌رسند، چند الکترون - ولت است؟ ( $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ )



(۱) ۱۵

(۲) ۲۰

(۳) ۲۵

(۴) ۳۰

**پاسخ:**

$$K_{\max} = hf - W_0 = 4 \times 10^{-15} \times 5 \times 10^{15} - 5 = 20 - 5 = 15$$

بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها در لحظه‌ی جدایی از الکتروود A،  $K_{\max} = 15 \text{ eV}$  است.

فوتوالکترون‌ها تحت تأثیر پتانسیل مثبت بین A و B قرار دارند و انرژی جنبشی آن‌ها افزایش می‌یابد.

$$K_B - K_A = eV \Rightarrow K_B - 15 = 10 \Rightarrow K_B = 25 \text{ eV}$$

بنابراین گزینه‌ی (۳) درست است.

**مسئله ۶** در پدیده فوتوالکتریک در هر یک از حالت‌های زیر تغییر در پدیده را بررسی کنید.

(الف) بسامد نور فرودی بر فلز را دو برابر کنیم.

(ب) طول موج نور فرودی بر فلز را دو برابر کنیم.

(پ) با ثابت بودن بسامد نور، شدت نور فرودی بر فلز را دو برابر کنیم.

**راه‌حل: الف)**

$$K_{\max} = hf - W_0 \xrightarrow{f'=2f} K'_{\max} > 2K_{\max}$$

بنابراین بیشینه انرژی جنبشی الکترون‌ها از دو برابر بیشتر می‌شود.

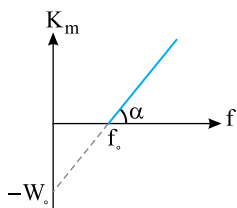
ب) اگر طول موج نور فرودی از طول موج قطع بیش تر شود، پدیده رخ نمی‌دهد. اگر طول موج نور فرودی برابر طول موج قطع شود، پدیده رخ می‌دهد اما  $K_{\max} = 0$  خواهد بود.

اگر طول موج نور فرودی پس از افزایش از طول موج قطع، کم تر باشد و پدیده رخ دهد، آن گاه:

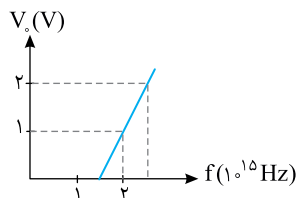
$$K_{\max} = hf - W_0, \quad \lambda' = 2\lambda \Rightarrow f' = \frac{1}{2}f \Rightarrow K'_{\max} < \frac{1}{2}K_{\max}$$

پ) اگر با ثابت بودن بسامد نور فرودی، شدت آن را دو برابر کنیم، بنا بر نظریه‌ی اینشتین ( $E = nhf$ ) تعداد فوتون‌های فرودی افزایش می‌یابد، تعداد الکترون‌های جدا شده بیش تر می‌شود. اما با ثابت بودن بسامد نور، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها ثابت می‌ماند.

### نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی بر فلز ( $K_m - f$ )



با توجه به رابطه‌ی  $K_m = hf - W_0$  کاملاً مشخص است که نمودار  $K_m - f$  باید خط راست باشد که در آن  $h$  شیب خط و  $W_0$  عرض از مبدأ است. دقت کنید شیب این خط به جنس فلز مورد آزمایش بستگی ندارد. محل تلاقی نمودار با محور افقی برابر بسامد قطع است.



مسئله ۷) نمودار  $V_0 - f$  مربوط به فلزی خاص در پدیده‌ی فوتوالکتریک، مطابق شکل

$$(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s})$$

است. با توجه به این نمودار:

الف) تابع کار را بر حسب الکترون - ولت حساب کنید.

ب) بسامد قطع چند هرتز است؟

پ) اگر انرژی مربوط به هر فوتون فرودی  $10 \text{ eV}$  باشد، ولتاژ متوقف کننده چند ولت است؟

راه حل: الف) با توجه به نمودار، هنگامی که بسامد نور فرودی برابر  $2 \times 10^{15} \text{ Hz}$  است، ولتاژ متوقف کننده برابر  $1 \text{ V}$  و انرژی جنبشی بیشینه‌ی فوتوالکترون‌ها  $10 \text{ eV}$  است.

$$K_{\max} = hf - W_0 \Rightarrow 1 = 4 \times 10^{-15} \times 2 \times 10^{15} - W_0 \Rightarrow W_0 = 8 \text{ eV}$$

$$W_0 = hf_0 \Rightarrow 8 = 4 \times 10^{-15} f_0 \Rightarrow f_0 = 2 \times 10^{15} \text{ Hz} \quad \text{ب)}$$

$$K_m = hf - W_0 \Rightarrow K_m = 10 - 8 = 2 \text{ eV} \Rightarrow K_m = 2 \text{ V} \quad \text{پ)}$$

### پرسش‌های چهار گزینه‌ای بخش دوم

#### پدیده‌ی فوتوالکتریک

۲۲۰۵- انرژی فوتون، متناسب با کدام است؟

- (۱) طول موج (۲) دوره (۳) بسامد (۴) سرعت انتشار در محیط

۲۲۰۶- در کدام رنگ نور، انرژی فوتون‌ها دارای کم‌ترین مقدار است؟

- (۱) بنفش (۲) نارنجی (۳) سبز (۴) آبی

۲۲۰۷- هنگامی که نور به سطح فلز می‌تابد، رخ دادن اثر فوتوالکتریک به کدام ویژگی نور بستگی دارد؟

- (۱) بسامد نور (۲) شدت نور (۳) زاویه‌ی تابش نور بر سطح فلز (۴) هیچ کدام

۲۲۰۸- اگر پرتو نور تک‌رنگی از خلأ وارد محیط شفافی به ضریب شکست  $n$  شود، انرژی هر فوتون آن چند برابر می‌شود؟

- (۱)  $n$  (۲)  $\frac{1}{n}$  (۳) تغییر نمی‌کند. (۴)  $n^2$

۲۲۰۹- فوتون ذره‌ای است که .....

- (۱) میدان الکتریکی وابسته به آن صفر است. (۲) سرعت آن در خلأ با بسامد فوتون تغییر می‌کند. (۳) بار الکتریکی آن صفر است. (۴) میدان مغناطیسی وابسته به آن صفر است.

۲۲۱۰- پیش‌بینی فیزیک کلاسیک در اثر فوتوالکتریک کدام گزینه است؟

- (۱) رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به بسامد نور فرودی بر فلز بستگی دارد.
- (۲) رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به شدت نور فرودی بر فلز بستگی ندارد.
- (۳) رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به جنس فلز و بسامد نور فرودی بر فلز بستگی دارد.
- (۴) رخ دادن پدیده‌ی فوتوالکتریک به شدت نور فرودی بر فلز بستگی دارد.

۲۲۱۱- بسامد قطع یک فلز در اثر فوتوالکتریک .....

- (۱) با بسامد پرتوهای فرودی بر فلز نسبت مستقیم دارد.
- (۲) با بسامد پرتوهای فرودی بر فلز نسبت وارون دارد.
- (۳) به بسامد پرتوهای فرودی بر فلز بستگی ندارد.
- (۴) با جذر بسامد پرتوهای فرودی بر فلز نسبت وارون دارد.

(سراسری تجربی - ۸۷)

۲۲۱۲- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، در کدام حالت بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتو الکترون‌ها افزایش می‌یابد؟

- (۱) شدت نور فرودی افزایش یابد.
- (۲) طول موج نور فرودی کاهش یابد.
- (۳) شدت نور فرودی کاهش یابد.
- (۴) طول موج نور فرودی افزایش یابد.

۲۲۱۳- در آزمایش فوتوالکتریک، نوری با بسامد  $f_1$  به سطح یک فلز می‌تابد و فوتوالکتریک مشاهده می‌شود. اگر بسامد نور فرودی بر همان

فلز نصف شود .....

- (۱) ممکن است اثر فوتوالکتریک مشاهده نشود.
- (۲)  $K_m$  از دو برابر بیش‌تر شود.
- (۳) ممکن است  $K_m$  دو برابر شود.
- (۴) بیشینه‌ی  $K_m$  نصف می‌شود.

۲۲۱۴- در یک آزمایش فوتوالکتریک، طول موج تابش فرودی بر فلز از  $500\text{nm}$  به  $400\text{nm}$  کاهش می‌یابد. در نتیجه .....

- (۱) تابع کار فلز افزایش می‌یابد.
- (۲) بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها، کاهش می‌یابد.
- (۳)  $K_m$  افزایش می‌یابد.
- (۴)  $K_m$   $\frac{5}{4}$  برابر شود.

۲۲۱۵- بر یک سطح فلزی، نور بنفش می‌تابانیم. الکترون‌هایی با انرژی معین و آهنگ خروج مشخص از فلز جدا می‌شوند. اگر شدت نور بنفش

را افزایش دهیم، انرژی و آهنگ خروج الکترون‌ها به ترتیب از راست به چپ چگونه تغییر می‌کند؟

- (۱) افزایش می‌یابد، بدون تغییر می‌ماند.
- (۲) کاهش می‌یابد، بدون تغییر می‌ماند.
- (۳) تغییر نمی‌کند، افزایش می‌یابد.
- (۴) تغییر نمی‌کند، کاهش می‌یابد.

۲۲۱۶- در یک اثر فوتوالکتریک، اگر شدت نور فرودی بر فلز را دو برابر کنیم، بیشینه‌ی سرعت فوتوالکترون‌ها چند برابر می‌شود؟

- (۱) ۲
- (۲)  $\sqrt{2}$
- (۳) تغییر نمی‌کند.
- (۴)  $\frac{1}{2}$

۲۲۱۷- بیشینه‌ی طول موج نور فرودی بر فلز که باعث جدا شدن الکترون از سطح آن می‌شود، به کدام عامل بستگی دارد؟

- (۱) شدت نور
- (۲) ولتاژ اعمال شده
- (۳) جنس فلز
- (۴) جریان

۲۲۱۸- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، اگر ..... نور فرودی را افزایش دهیم، آهنگ جدا شدن الکترون‌ها از سطح الکتروود فلزی افزایش می‌یابد

و اگر ..... نور فرودی را افزایش دهیم، انرژی فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد. (به ترتیب از راست به چپ)

- (۱) شدت - بسامد
- (۲) بسامد - بسامد
- (۳) شدت - شدت
- (۴) بسامد - شدت

۲۲۱۹- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، تابع کار به ..... بستگی دارد.

- (۱) طول موج نور فرودی
- (۲) ولتاژ اعمال شده
- (۳) شدت نور
- (۴) جنس فلزی که مورد تابش قرار گرفته است.

۲۲۲۰- در آزمایش فوتوالکتریک، وقتی نور تک‌رنگی با طول موج  $\lambda$  بر فلز می‌تابانیم، پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. برای آن که این پدیده

(سراسری تجربی - ۸۹)

رخ دهد، کدام عمل ممکن است مؤثر باشد؟

- (۱) شدت نور را افزایش دهیم.
- (۲) از فلزی با تابع کار کم‌تر استفاده کنیم.
- (۳) زمان تابش نور را افزایش دهیم.
- (۴) از نور تک‌رنگ با طول موج بزرگ‌تر از  $\lambda$  استفاده کنیم.

۲۲۲۱- اگر در پدیده‌ی فوتوالکتریک، بسامد نور فرودی دو برابر شود، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها  $k$  برابر می‌شود. کدام رابطه  $k$  را

درست معرفی می‌کند؟

- (۱)  $k > 2$
- (۲)  $k = 2$
- (۳)  $2 > k > 1$
- (۴)  $3 > k > 2$

۲۲۲۲- طول موج نوری  $66^\circ$  میکرون است. چند فوتون از این نور معادل  $12^\circ$  ژول انرژی می‌باشد؟ (سرعت نور  $3 \times 10^8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  و ثابت پلانک

(آزاد ریاضی - ۸۷)

(J.s  $6 \times 10^{-34}$  است.)

- (۱)  $4 \times 10^{21}$  (۲)  $4 \times 10^{19}$  (۳)  $4 \times 10^{18}$  (۴)  $4 \times 10^{20}$

۲۲۲۳- نسبت انرژی فوتون اشعه‌ی X با طول موج  $2^\circ$  نانومتر به فوتون نور مرئی با طول موج  $4^\circ$  میکرومتر در خلأ کدام است؟

- (۱) ۵ (۲) ۵۰ (۳)  $0.2$  (۴) ۲۰

۲۲۲۴- انرژی هر فوتون نور زرد  $2\text{eV}$  است. تعداد فوتون‌هایی که در  $16$  ثانیه از یک لامپ زرد  $100$  واتی گسیل می‌شوند چند عدد است؟

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۲)

( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ )

- (۱)  $2 \times 10^{20}$  (۲)  $2 \times 10^{21}$  (۳)  $5 \times 10^{21}$  (۴)  $5 \times 10^{20}$

۲۲۲۵- یک لامپ تک‌رنگ، نور بنفش با طول موج  $400$  نانومتر گسیل می‌کند. توان تابشی لامپ  $60$  وات است. این لامپ در هر دقیقه چند فوتون

گسیل می‌کند؟

- (۱)  $5 \times 10^{22}$  (۲)  $17 \times 10^{22}$  (۳)  $\frac{4}{3} \times 10^{22}$  (۴)  $\frac{8}{11} \times 10^{22}$

۲۲۲۶- انرژی فوتون نوری با طول موج  $5^\circ$  میکرون چند الکترون - ولت است؟ (ثابت پلانک  $h = 4.14 \times 10^{-15} \text{eV.s}$  و سرعت انتشار نور

(آزاد ریاضی - ۹۰)

$\frac{\text{km}}{\text{s}}$   $3 \times 10^8$  است.)

- (۱)  $0.4968$  (۲)  $0.2484$  (۳)  $2.484$  (۴)  $4.968$

۲۲۲۷- در موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی از ناحیه‌ی فرابنفش به طرف ناحیه‌ی قرمز می‌رویم، طول موج امواج و انرژی وابسته به فوتون

(آزاد پزشکی - ۹۰)

آن‌ها به ترتیب چه تغییری پیدا می‌کند؟

- (۱) افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد  
(۲) افزایش می‌یابد، کاهش می‌یابد  
(۳) کاهش می‌یابد، کاهش می‌یابد  
(۴) کاهش می‌یابد، افزایش می‌یابد

۲۲۲۸- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، بسامد قطع برای فلزی  $10^{15}$  هرتز است. تابع کار آن فلز چند الکترون ولت است؟ ( $h = 4 \times 10^{-15} \text{eV.s}$ )

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۷)

- (۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

۲۲۲۹- تابع کار فلزی  $3/3 \text{eV}$  است. طول موج قطع آن چند آنگستروم است؟ (سرعت نور:  $\frac{\text{km}}{\text{s}}$   $3 \times 10^8$  و ثابت پلانک:  $6/6 \times 10^{-34} \text{J.s}$ )

- (۱) ۳۷۵۰ (۲) ۶۰۰۰ (۳) ۹۶۰۰ (۴) ۷۲۰۰

۲۲۳۰- در آزمایش فوتوالکتریک، ولتاژ متوقف کننده  $7/2$  ولت است. بیشینه‌ی سرعت فوتوالکترون‌ها هنگام جدا شدن از سطح فلز چند متر بر

ثانیه است؟ ( $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{kg}$ ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ )

- (۱)  $1/6 \times 10^6$  (۲)  $1/6 \times 10^3$  (۳)  $3/2 \times 10^6$  (۴)  $3/2 \times 10^3$

۲۲۳۱- تابع کار یک فلز  $5\text{eV}$  است. اگر طول موج تابش فرودی بر آن  $100\text{nm}$  باشد،  $K_m$  چند الکترون ولت خواهد بود؟

( $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,  $h = 4.1 \times 10^{-15} \text{eV.s}$ )

- (۱)  $7/3$  (۲) ۵ (۳)  $12/3$  (۴)  $2/3$

۲۲۳۲- تابع کار فلزی  $2\text{eV}$  است. اگر در پدیده‌ی فوتوالکتریک بر آن فلز نوری با طول موج  $270$  نانومتر بتابانیم، بیشینه‌ی انرژی جنبشی

(سراسری تجربی - ۸۵)

فوتوالکترون‌ها چند الکترون - ولت می‌شود؟ ( $h = 4.14 \times 10^{-15} \text{eV.s}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

- (۱)  $1/4$  (۲)  $2/6$  (۳)  $3/4$  (۴)  $4/6$

۲۲۳۳- طول موج قطع برای اثر فوتوالکتریک در یک فلز معین برابر  $300\text{nm}$  است. وقتی نور به طول موج  $200\text{nm}$  بر سطح این فلز بتابد، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتردها چند الکترون ولت است؟ ( $h=4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  ,  $c=3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) (سراسری ریاضی - ۸۶ با تغییر)

- ۱ (۱) ۲ (۲) ۵ (۳) ۱۰ (۴)

۲۲۳۴- طول موج قطع در آزمایش فوتوالکتریک یک سطح فلزی  $320\text{nm}$  است. به ازای کدام طول موج (بر حسب میکرومتر)، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتردها برابر  $0.25$  الکترون ولت است؟ ( $h=4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  ,  $c=3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) (سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۸ با تغییر)

- ۰/۳ (۱) ۰/۶ (۲)  $\frac{1}{3}$  (۳)  $\frac{2}{3}$  (۴)

۲۲۳۵- تابع کار فلزی  $1\text{eV}$  است. اگر بسامد تابشی به این فلز ۳ برابر بسامد قطع باشد، مقدار انرژی جنبشی بیشینه برای فوتوالکتردهای خروجی از فلز چند الکترون - ولت است؟

- ۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

۲۲۳۶- تابع کار یک فلز  $4\text{eV}$  است. اگر ولتاژ قطع برای نوری که با طول موج  $\lambda$  بر این فلز می‌تابد  $8$  ولت باشد، طول موج قطع و  $\lambda$  هر کدام چند نانومتر است؟ ( $c=3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $h=4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ ) (سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۸)

- ۱۰۰ و ۲۰۰ (۱) ۱۰۰ و ۳۰۰ (۲) ۲۰۰ و ۳۰۰ (۳) ۳۰۰ و ۴۰۰ (۴)

۲۲۳۷- در یک آزمایش فوتوالکتریک، هنگامی که طول موج نور تابشی  $4\mu\text{m}$  باشد، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکتردها برابر ۲ الکترون ولت است و هرگاه طول موج نور تابشی را به مقدار  $6\mu\text{m}$  برسانیم، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکتردها برابر ۱ الکترون ولت می‌گردد. تابع کار فلزی که این آزمایش با آن انجام گرفته است، چند الکترون - ولت است؟

- ۱ (۱) ۰/۶ (۲) ۰/۸ (۳) ۱/۲ (۴)

۲۲۳۸- تابش الکترومغناطیسی با بسامد  $8/5 \times 10^{14}$  هرتز به سطح فلزی که تابع کار آن  $2/5$  الکترون - ولت است، می‌تابد. اگر ثابت پلانک  $4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  باشد، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکتردها چند الکترون - ولت است؟ (سراسری تجربی - ۹۰)

- ۰/۹ (۱) ۱/۱ (۲) ۳/۴ (۳) ۵/۹ (۴)

۲۲۳۹- تابع کار سه فلز A، B و C به ترتیب  $2/26$ ،  $4/24$  و  $4/37$  الکترون - ولت است. کدام یک از این فلزها وقتی با نوری به طول موج  $\lambda=600\text{nm}$  روشن شود، فوتوالکتردها گسیل خواهد کرد؟ ( $h=4/14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  ,  $c=3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) (سراسری ریاضی - ۸۷)

- A (۱) B (۲) هر سه فلز (۳) هیچ یک از سه فلز (۴)

۲۲۴۰- در آزمایش فوتوالکتریک، نور تک‌رنگی با بسامد  $7/5 \times 10^{14}$  هرتز بر الکترودهای فلزی می‌تابد. اگر طول موج قطع  $500\text{nm}$  و ثابت پلانک  $4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  باشد، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکتردها چند الکترون ولت است؟ (سراسری ریاضی - ۸۹ با تغییر)

- ۰/۶ (۱) ۲/۴ (۲) ۳ (۳) ۶ (۴)

۲۲۴۱- در آزمایش فوتوالکتریک، تابع کار فلز  $2\text{eV}$  است. طول موج نور فرودی چند نانومتر باشد تا  $K_m=4\text{eV}$  شود؟ ( $h=4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ ) (سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۶ با تغییر)

- ۱۵۰ (۱) ۲۰۰ (۲) ۳۰۰ (۳) ۴۰۰ (۴)

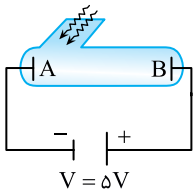
۲۲۴۲- با تاباندن نوری به بسامد  $f$  بر سطح فلز، در هر ثانیه  $10^{20}$  الکترون در اثر فوتوالکتریک از فلز جدا می‌شود. اگر نوری با بسامد  $2f$  با همان تعداد فوتون در ثانیه بر سطح همان فلز بتابانیم، در هر ثانیه چند فوتوالکتردها از سطح فلز جدا می‌شود؟ (فرض این است که تمام فوتون‌ها در اثر فوتوالکتریک شرکت کنند).

- ۲  $\times 10^{20}$  (۱)  $\frac{1}{2} \times 10^{20}$  (۲)  $10^{20}$  (۳)  $4 \times 10^{20}$  (۴)

۲۲۴۳- در شکل زیر، نور تک‌رنگی با بسامد  $4 \times 10^{15} \text{ Hz}$  بر سطح فلز A می‌تابد. تابع کار فلز الکترودها A،  $6\text{eV}$  است. بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکتردها وقتی به الکترودها B می‌رسند، چند الکترون - ولت است؟ ( $h=4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ )

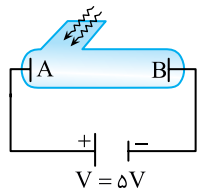
- ۵ (۱) ۱۰ (۲)

۱۵ (۳) ۴ الکترونی به الکترودها B نمی‌رسد. (۴)





۲۲۴۴- در شکل زیر، پرتو تک‌رنگی با طول موج  $600 \text{ nm}$  بر سطح فلز A می‌تابد. تابع کار فلز الکتروود A که از جنس باریوم است برابر  $2.5 \text{ eV}$  است. قدر مطلق ولتاژ بین A و B را چند ولت افزایش دهید تا جریان مدار صفر شود؟ ( $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$  ,  $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )



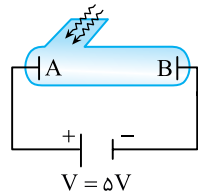
۱) ۱۷/۵

۲) ۱۲/۵

۳) ۲۲/۵

۴) نیاز به افزایش ولتاژ نیست.

۲۲۴۵- در شکل زیر، نور تک‌رنگی با بسامد  $2 \times 10^{15} \text{ Hz}$  بر سطح فلز A می‌تابد. تابع کار فلز الکتروود A،  $6 \text{ eV}$  است. بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها وقتی به الکتروود B می‌رسند، چند الکترون - ولت است؟ ( $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ )



۱) ۵

۲) ۲

۳) ۳

۴) الکترونی به الکتروود B نمی‌رسد.

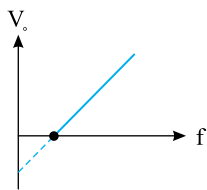
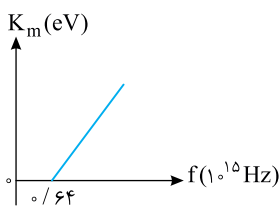
۲۲۴۶- در یک آزمایش فوتوالکتریک، بسامد نور تابیده شده را تغییر می‌دهیم. در نتیجه بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها چهار برابر می‌شود. اگر بسامد، k برابر شده باشد، کدام رابطه، k را درست نشان می‌دهد؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۴)

۴)  $k < 1$ ۳)  $k > 4$ ۲)  $k = 4$ ۱)  $1 < k < 4$ 

### نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد

۲۲۴۷- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، نمودار ولتاژ متوقف‌کننده بر حسب بسامد تابشی فرودی بر فلزی، مطابق شکل زیر است. عرض از مبدأ و شیب این نمودار به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

۲)  $hW_0$  ,  $eV_0$ ۱)  $\frac{V_0}{W_0}$  ,  $\frac{h}{f_0}$ ۴)  $-\frac{W_0}{e}$  ,  $\frac{h}{e}$ ۳)  $-\frac{h}{e}$  ,  $\frac{W_0}{h}$ 

۲۲۴۸- در یک آزمایش فوتوالکتریک، نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد تابش فرودی بر فلز، مطابق شکل زیر است. تابع کار فلز در این آزمایش چند الکترون - ولت است؟

( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ,  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ )

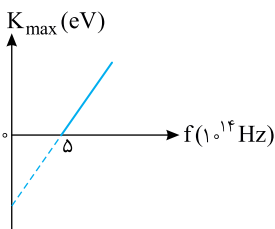
۲) ۳/۶

۱) ۲/۴

۴) ۲/۶۴

۳) ۱/۳۲

۲۲۴۹- نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد پرتو فرودی در یک آزمایش فوتوالکتریک، مطابق شکل زیر است. طول موج قطع برای آن چند نانومتر است؟

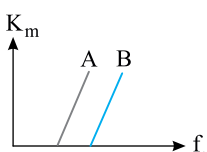


۱) ۷۵۰

۲) ۶۰۰

۳) ۸۰۰

۴) ۵۰۰



۲۲۵۰- شکل زیر، نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی را برای دو فلز A و B در آزمایش فوتوالکتریک نشان می‌دهد. در مورد بسامد قطع و تابع کار دو فلز A و B کدام گزینه درست است؟

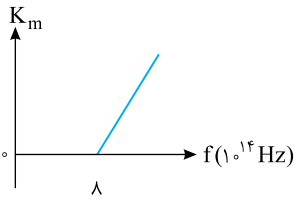
۲)  $f_{0A} < f_{0B}$  ,  $W_{0A} > W_{0B}$ ۱)  $f_{0A} > f_{0B}$  ,  $W_{0A} > W_{0B}$ ۴)  $f_{0A} > f_{0B}$  ,  $W_{0A} < W_{0B}$ ۳)  $f_{0A} < f_{0B}$  ,  $W_{0A} < W_{0B}$



۲۲۵۱- در آزمایش فوتوالکتریک، نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی بر یک فلز، مطابق شکل زیر است.

(سراسری ریاضی - ۹۰ - با تغییر)

کدام گزینه درباره‌ی این فلز درست است؟  $(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}, c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$



(۱) تابع کار این فلز  $3/2 \text{ eV}$  است.

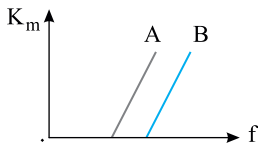
(۲) بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها برای این فلز، متناسب با بسامد نور فرودی است.

(۳) طول موج نور فرودی هر چه بیشتر از  $375 \text{ nm}$  باشد، فوتوالکترون بیش‌تری تولید می‌شود.

(۴) بسامد نور فرودی هر چه کم‌تر از  $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$  باشد، فوتوالکترون بیش‌تری تولید می‌شود.

۲۲۵۲- در پدیده‌ی فوتوالکتریک، نمودار تغییرات بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد پرتو نور فرودی برای دو فلز A و B مطابق شکل است.

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۶ - با تغییر)



(۱) کم‌تر - بیش‌تر

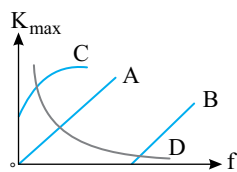
(۲) بیش‌تر - کم‌تر

(۳) کم‌تر - کم‌تر

(۴) بیش‌تر - بیش‌تر

۲۲۵۳- کدام یک از منحنی‌های شکل زیر، نشان دهنده‌ی بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها نسبت به بسامد نور فرودی در یک آزمایش فوتوالکتریک است؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۵)



(۱) A

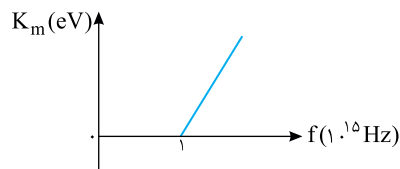
(۲) B

(۳) C

(۴) D

۲۲۵۴- برای یک فلز معین، نمودار  $K_m$  بر حسب بسامد نور فرودی رسم شده است. به ازای چه بسامدی (بر حسب  $10^{15} \text{ Hz}$ )،  $K_m$ ،  $2 \text{ eV}$  الکترون

ولت می‌شود؟  $(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s})$



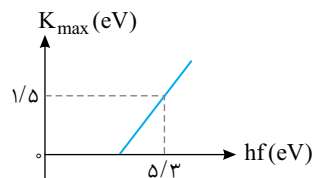
(۱)  $0/75$

(۲)  $1/25$

(۳)  $1/50$

(۴)  $2/50$

۲۲۵۵- در یک پدیده‌ی فوتوالکتریک نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب انرژی فوتون فرودی بر فلز رسم شده است. اگر فوتونی با بسامد  $1/7 \times 10^{15} \text{ Hz}$  بر سطح این فلز بتابد  $K_m$  چند الکترون ولت است؟  $(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s})$



(۱) ۳

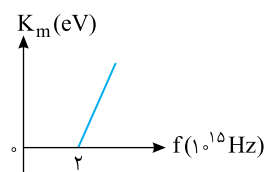
(۲) ۲

(۳) ۴

(۴)  $5/3$

۲۲۵۶- در شکل زیر ولتاژ متوقف‌کننده بر حسب بسامد پرتو فرودی بر فلز در یک پدیده‌ی فوتوالکتریک رسم شده است. اگر تابع کار فلز

$4/2 \text{ eV}$  باشد،  $K_m$  برای بسامد  $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$  چند الکترون ولت است؟



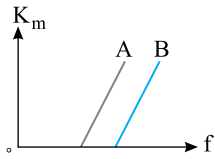
(۱)  $4/2$

(۲)  $12/6$

(۳)  $1/4$

(۴)  $2/1$

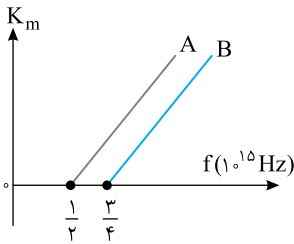
۲۲۵۷- نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی بر دو فلز A و B مطابق شکل زیر است. اگر نوری با بسامد  $1/5 \times 10^{15} \text{ Hz}$  به فلز B بتابانیم و فوتوالکترونیک رخ دهد، الزاماً .....  $(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s})$  (سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۲ با تغییر)



- ۱) طول موج قطع فلز A، کم‌تر از  $200 \text{ nm}$  است.
- ۲) تابع کار فلز A کم‌تر از  $6 \text{ eV}$  است.
- ۳) به ازای طول موج‌های کم‌تر از  $200 \text{ nm}$  برای هر دو فلز فوتوالکترونیک رخ نخواهد داد.
- ۴) به ازای بسامدهای کم‌تر از  $1/5 \times 10^{15} \text{ Hz}$  را برای هر دو فلز فوتوالکترونیک رخ نخواهد داد.

۲۲۵۸- در آزمایش فوتوالکترونیک، نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی بر دو فلز A و B مطابق شکل زیر است. اگر نوری با بسامد  $10^{15} \text{ Hz}$  به هر دو فلز بتابد،  $K_m$  فلز A، چند برابر  $K_m$  فلز B است؟  $(h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s})$

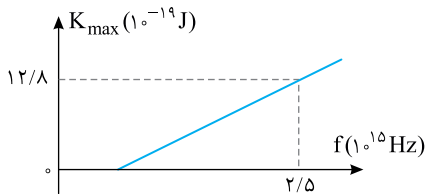
(سراسری ریاضی - ۹۴ - با تغییر)



- ۱)  $\frac{1}{2}$
- ۲)  $\frac{3}{2}$
- ۳) ۱
- ۴) ۲

۲۲۵۹- در یک آزمایش فوتوالکترونیک، نمودار تغییرات بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بر حسب بسامد نور فرودی مطابق شکل زیر است. اگر نوری با بسامد  $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$  بر سطح فلز بتابد،  $K_m$  چند الکترون ولت است؟  $(e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s})$

(سراسری تجربی - ۹۴)



- ۱) ۰/۴
- ۲) ۱/۲
- ۳) ۲
- ۴) ۶