

## فیزیک جدید آزمایش ۶: اثر فوتوالکتریک

### تئوری:

جدا کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز از طریق تاباندن نور بر آن را پدیده‌ی فوتوالکتریک و الکترون گسیل شده از سطح فلز را فوتو الکترون می‌نامند.

برای بررسی پدیده‌ی فوتوالکتریک از دستگاهی مطابق شکل (۱) استفاده می‌کنیم. در این دستگاه دو الکتروود فلزی  $A, B$  در یک محفظه‌ی خلاء قرار دارند و از بیرون به یک منبع ولتاژ قابل تنظیم متصل شده‌اند. الکتروود  $A$  در مقابل یک چشمه‌ی نور تکفام (تک بسامد) قرار دارد.

آزمایش نشان می‌دهد که اگر نوری بر الکتروود  $A$  نتابد هر قدر هم که ولتاژ بالا باشد، جریانی در مدار مشاهده نمی‌شود. ولی هنگامی که نوری با بسامد مناسب به الکتروود  $A$  بتابد حتی با شدت بسیار کم جریان در مدار برقرار می‌شود.

وجود این جریان را می‌توانیم به این صورت تغییر کنیم که تاباندن نور باعث جدا شدن فوتو الکترون‌ها از سطح الکتروود  $A$  و گسیل آنها می‌شود. اگر این الکترون‌ها انرژی جنبشی کافی داشته باشند، به الکتروود  $B$  می‌رسند و جریان برقرار می‌شود.

با تغییر دادن ولتاژ  $V$  می‌توانیم منحنی تغییرات جریان  $I$  را بر حسب  $V$  به دست آوریم. به ازای یک ولتاژ  $-V_0$  که ولتاژ توقف کننده نامیده می‌شود، جریان صفر می‌شود و به ازای مقدارهای کمتر از  $-V_0$  جریان همچنان صفر می‌ماند.

برای بیان این وضعیت می‌توان گفت که برای مقدارهای منفی  $V$ ، الکتروود  $A$ ، که اکنون به پایانه‌ی مثبت متصل است، فوتوالکترتون‌ها را به سوی خود می‌کشد و از انرژی جنبشی آنها می‌کاهد. در نتیجه تعداد کمتری از آنها می‌توانند به  $B$  برسند. در ولتاژ  $-V_0$  هیچ فوتو الکترونی به  $B$  نمی‌رسد. حالت بعد مربوط به آزمایشی است که در آن شدت نور فرودی را نصف کرده‌ایم (بسامد نور همان مقدار قبلی را دارد). مقدار  $V_0$  برای هر دو آزمایش یکی است یعنی: مقدار ولتاژ توقف کننده به شدت پرتوی فرودی بستگی ندارد.

اگر این آزمایش را با نور تکفام با بسامد دیگری تکرار کنیم، تغییرات جریان بر حسب ولتاژ را به همان صورت قبلی به دست می‌آوریم تنها با این تفاوت که ولتاژ توقف کننده مقدار دیگری خواهد داشت. یعنی مقدار ولتاژ توقف کننده به بسامد نور فرودی بستگی دارد.

اگر جنس الکتروود فلزی  $A$  را تغییر دهیم، باز هم همین نتیجه‌ها را به دست می‌آوریم ولی در این مورد نیز مقدار ولتاژ توقف کننده تغییر می‌کند، به عبارت دیگر مقدار ولتاژ توقف کننده به جنس الکتروود فلزی  $A$  بستگی دارد.

هر قدر بسامد پرتوی فرودی بر الکتروود A کمتر باشد ولتاژ توقف نیز کمتر خواهد بود. تجربه نشان می دهد که اگر بسامد پرتوی تابیده به الکتروود فلزی A از  $V_0$  مربوط به آن فلز کمتر باشد پدیده ی فوتوالکتریک رخ نمی دهد، از این رو  $V_0$  را بسامد قطع می نامند.

حال اگر انرژی جنبشی فوتو الکترون به هنگام خروج از سطح الکتروود A برابر  $K_A$  و به هنگام رسیدن به B برابر  $K_B$  باشد و بین دو الکتروود ولتاژ  $V$  برقرار باشد، بنابر قضیه ی کار- انرژی داریم:  $eV = K_B - K_A$

که در آن  $eV$  کار نیروی وارد بر الکترون از سوی میدان الکتریکی بین الکتروودها در تغییر مکان از A به B است. اگر ولتاژ  $V$  منفی باشد (یعنی الکتروود B به پایانه ی منفی منبع ولتاژ متصل شده باشد)  $K_B$  کمتر از  $K_A$  خواهد بود.

اگر این ولتاژ منفی برابر ولتاژ توقف باشد ( $V = -V_0$ )، تنها آن الکترون هایی که بیشترین انرژی جنبشی را دارند می توانند تا نزدیکی الکتروود B برسند. برای این الکترون ها داریم  $K_A = K_{\max}$  این الکترون ها جذب الکتروود B نمی شوند و برمی گردند. لذا برای آن ها داریم  $K_B = 0$  در نتیجه از رابطه ی  $eV = K_B - K_A$  داریم:

$$-eV_0 = -K_{\max} \Rightarrow eV_0 = K_{\max}$$

بنابراین با داشتن ولتاژ توقف کنند، بیشینه ی انرژی جنبشی فوتوالکترون ها به هنگام خروج از الکتروود A مشخص می شود.

انیشتین فرض کرد که در اثر فوتوالکتریک، یک فوتون (با انرژی  $h\nu$ ) به طور کامل توسط الکترون جذب می شود و انرژی خود را به الکترون می دهد. در نتیجه انرژی جنبشی فوتو الکترون گسیل شده به هنگام خروج از سطح فلز برابر است با:

$$K = h\nu - W$$

که در آن  $W$  برابر است با کار لازم برای غلبه بر نیروهای داخلی وارد بر الکترون در فلز. برخی از الکترون ها در فلز کمتر مقیداند و برای خارج کردن آن ها از فلز کار کمتری لازم است. اگر حداقل کار لازم برای خارج کردن الکترون ها از یک فلز خاص برابر  $W_0$  باشد، انرژی جنبشی سریع ترین فوتوالکترون های گسیل شده از آن برابر خواهد بود با:

$$K_{\max} = h\nu - W_0$$

$W_0$  را تابع کار فلز می نامند، و همان گونه که گفتیم حداقل کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از فلز است.

با استفاده از روابط  $eV_0 = K_{\max}$  می توانیم رابطه ی  $K_{\max} = h\nu - W_0$  را به صورت زیر بنویسیم:

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

رابطه‌ی  $eV_0 = h\nu - W_0$  بین ولتاژ  $V_0$  و بسامد فوتون فرودی بر الکتروود A یک رابطه‌ی خطی است و منحنی آن یک خط راست است و کاملاً با تجربه سازگار است.

در رابطه‌ی  $eV_0 = h\nu - W_0$  اگر  $h\nu$  از  $W_0$  کوچکتر باشد، هیچ الکترونی از فلز خارج نمی‌شود در نتیجه  $h\nu$  حداقل می‌تواند برابر  $W_0$  باشد. به این ترتیب بسامد آستانه از رابطه‌ی زیر بدست

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h} \quad \text{می‌آید:}$$



### شرح آزمایش:

دستگاه آزمایش اثر فوتو الکتریک از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است این دستگاه به شکل یک پیانو است که محفظه‌ی داخلی آن با رنگ مشکی پوشانده شده است تا نور را جذب کند و از بازتاب نور تا حد ممکن بکاهد. در قسمت جلوی آن دریچه‌ای وجود دارد که توسط آن می‌توان مانع ورود نور لامپ جیوه به داخل محفظه شد. بعد از این دریچه، نور از یک شکاف عبور کرده و به عدسی می‌رسد که نقش آن موازی کردن و همگرا کردن نور است و بعد دوباره از یک شکاف عبور می‌کند تا نور به صورت یک باریکه‌ای درآید و بعد از عبور، نور از منشور نور به طول موج‌های مختلف تجزیه می‌شود و سپس به صورت نوار پیوسته‌ای از رنگ‌ها توسط یک آئینه‌ی تخت به طرف شکاف باریکی که در سمت دیگر دستگاه است هدایت می‌شود که در پشت شکاف لامپ فوتوسل قرار دارد نقش شکاف جداسازی و متمرکز کردن رنگ‌ها به کمک عدسی همگرا است تا فقط یک رنگ و یا یک طول موج خاص به فوتوسل برسد.

فوتوسل یکی از مهم ترین و اصلی ترین قسمت های دستگاه است فوتوسل یا سلول فوتوالکتریک یک لامپ خلاء است که از یک صفحه ی فلزی (کاتد) که اغلب از فلزات قلیایی ساخته می شود و صفحه ی فلزی آند که معمولاً از جنس پلاتین است، تشکیل شده است.

و اما حال برای انجام آزمایش لامپ فشار قوی جیوه را به منبع تغذیه وصل می کنیم و لامپ را روشن می کنیم تا گرم شود، گرم شدن لامپ حدود سه دقیقه طول می کشد.

حال درب دستگاه را برمی داریم و عدسی ها و شکاف های اولیه را طوری تنظیم می کنیم که تصویری واضح از رنگ ها بر روی آئینه نقش ببندد و حال زاویه ی آئینه را طوری تنظیم می کنیم که تنها یک رنگ و یا نور تکفام به فوتوسل برسد. وقتی آئینه به گونه ای تنظیم شد که طیف مورد نظر به صورت تک رنگ به فوتوسل رسید، درب دستگاه را آهسته و آرام و با دقت به طوری که دستگاه جابه جا نشود، می گذاریم و آزمایش را انجام می دهیم.

دستگاه به وسیله ی سیم مناسبی به زمین متصل است تا از بروز افت و خیزها و اختلال های احتمالی جلوگیری شود و دقت آزمایش بالا بود. دو سر لامپ فوتوسل (کاتد و آند فوتوسل) توسط یک سیم هم محور به دستگاه اندازه گیری جریان که دارای تقویت کننده هم هست وصل شده است.

قبل از اندازه گیری جریان ابتدا دریچه ی ورودی هرز دستگاه آزمایش را می بندیم، سپس آمپرسنج جریان و نیز ولتاژ توقف، دستگاه اندازه گیری را با دقت روی صفر تنظیم می کنیم، سپس دریچه را باز می کنیم تا جریان برقرار شود، حال مقدار جریان را یادداشت می کنیم، دستگاه اندازه گیری به گونه ای ساخته شده است که توانایی دادن ولتاژ توقف را به لامپ فوتوسل را دارد.

بعد از اندازه گیری جریان با استفاده پیچ تنظیم، ولتاژ معکوس را از صفر به آهستگی افزایش می دهیم، این کار را تا جایی ادامه می دهیم که جریان صفر شود، به محض صفر شدن جریان مقدار کمینه ولتاژ را یادداشت می کنیم این کارها را برای هر یک از رنگ های حاصل از نور لامپ جیوه تکرار می کنیم و هربار جریان و ولتاژ معکوس را یادداشت می کنیم. سپس جدول زیر را کامل می کنیم.

رنگ ها	جریان	ولتاژ
نارنجی		
زرد		
سبز		
آبی		
بنفش		

$$eV_1 = h\nu_1 - w$$

$$V = \frac{h}{e}\nu - \frac{w}{e}$$

حال اگر تغییرات  $V$  را برحسب  $\nu$  ترسیم کنیم، (یا از طریق محاسبات خط رگرسیون) شیب و عرض از مبدأ خط به دست آمده را تعیین کنیم مطابق با رابطه‌ی فوق شیب خط  $\frac{h}{e} = a$  و عرض از مبدأ  $\frac{W}{e} =$  و چون  $e$  بار الکترون ثابت است می‌توان  $W$  و  $h$  که تابع کاو فلز ثابت پلانک می‌باشند به دست خواهد آمد.

برای محاسبه‌ی  $h$  و  $W$  از روش دیگری نیز می‌توان اقدام کرد. با توجه به معلوم بودن طول موج‌ها یا فرکانس‌ها  $\left(\frac{c}{\lambda}\right)$  و نیز ولتاژهای توقف دو رنگ (دو طول موج) متوالی - از رابطه‌ی زیر اختلاف دو طول موج و نیز دو اختلاف پتانسیل متناظر آنها محاسبه و برای مقادیر مختلف آنها  $h$  و  $W$  را محاسبه و میانگین می‌گیریم.

$$h = \frac{e\Delta\nu}{\Delta V}$$

$$eV_2 = h\nu_2 - w$$

$$e(V_1 - V_2) = h(\nu_1 - \nu_2) \rightarrow e\Delta V = h\Delta\nu \rightarrow \frac{e}{h}\Delta\nu = \Delta V$$

#### سوالات:

- ۱- نتایج حاصل از آزمایش فوتو الکتریک چه خاصیتی از نور را نشان می‌دهد، این نتایج چرا با فیزیک کلاسیک مغایرت دارد؟ (خاصیت ذره‌ای بودن نور (فوتون))
- ۲- آیا سرعت الکترون‌های ساطع شده بر اثر تابش نور تک رنگ از فوتو کاتد یکسان است؟ چرا؟
- ۳- منحنی ولتاژ لازم برای قطع جریان برحسب فرکانس را روی یک کاغذ میلیمتری رسم کرده و ثابت پلانک را بدست آورید؟ (با در درست داشتن مقدار  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ) درصد خطای آزمایش را تعیین و علل خطا را ذکر کنید.
- ۴- آیا می‌توان تابع کار  $\phi$  را به دست آورد؟