



اثر فوتوالکتریک

امیر محمد عبدالله پور

شکوه شریعتمداریان

امیررضا حکیمی

تئوری آزمایش : تئوری فیزیکی اثر فوتوالکتریک بر این اصل استوار است که نور از واحدهای مجزایی به نام فوتون تشکیل

شده که هم ویژگی‌های موجی و هم ذره‌ای دارند. این مفهوم را آلبرت اینشتین در سال ۱۹۰۵ مطرح کرد و آن را بر پایه نظریه کوانتومی نور که ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰ ارائه داده بود، بنا نهاد. اینشتین اثر فوتوالکتریک را چنین توضیح داد: انرژی هر فوتون برابر است با حاصلضرب ثابت پلانک در فرکانس نور. بنابراین انرژی فوتون مستقیماً با فرکانس آن متناسب است. هنگامی که فوتون به سطح فلز برخورد می‌کند، انرژی خود را به یک الکترون منتقل می‌کند. برای خارج شدن الکترون از فلز، باید حداقل انرژی لازم که به آن تابع کار گفته می‌شود، تأمین شود. تابع کار برابر است با حاصلضرب ثابت پلانک در فرکانس آستانه. این فرکانس برای فلزات مختلف متفاوت است. اگر فرکانس نور کمتر از فرکانس آستانه باشد، حتی با افزایش شدت نور، هیچ الکترونی از فلز خارج نمی‌شود. اما اگر فرکانس نور بیشتر از فرکانس آستانه باشد، الکترون با انرژی جنبشی خارج می‌شود که مقدار آن برابر است با انرژی فوتون منهای تابع کار فلز. تعداد الکترون‌هایی که در واحد زمان از فلز خارج می‌شوند، متناسب با شدت نور است، زیرا شدت نور معادل تعداد فوتون‌هایی است که در واحد سطح و واحد زمان به سطح فلز برخورد می‌کنند. اما انرژی جنبشی هر الکترون فقط به فرکانس نور بستگی دارد و ربطی به شدت نور ندارد. طبق این نظریه، الکترون‌ها انرژی را به صورت پیوسته انباشته نمی‌کنند؛ بلکه هر فوتون به صورت مجزا و آنی انرژی خود را به یک الکترون منتقل می‌کند. بنابراین، به محض برخورد فوتون با انرژی کافی، الکترون تقریباً بلافاصله از سطح فلز خارج می‌شود. نظریه اینشتین درباره اثر فوتوالکتریک با آزمایش‌های تجربی متعدد تأیید شد و در نهایت جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۲۱ را برای او به ارمغان آورد. این پدیده کاربردهای گسترده‌ای در فناوری مدرن دارد، از جمله در آشکارسازهای نوری، سلول‌های فتوولتائیک (سلول‌های خورشیدی) و طیف‌سنجی فوتوالکتریک. آشکارسازهای نوری، نور را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند و در دوربین‌ها، دستگاه‌های دید در شب و سیستم‌های ارتباط نوری استفاده می‌شوند. سلول‌های فتوولتائیک نور را به الکتریسیته تبدیل کرده و در پنل‌های خورشیدی، ماشین‌های حساب‌های خورشیدی و ماهواره‌ها کاربرد دارند. طیف‌سنجی فوتوالکتریک نیز روشی است که مستقیماً از اثر فوتوالکتریک بهره می‌برد.

اثر فوتوالکتریک پدیده‌ای بسیار شگفت‌انگیز است که به خوبی نشان می‌دهد نور و ماده در سطح کوانتومی چگونه با یکدیگر برهم‌کنش می‌کنند. این پدیده ثابت می‌کند که نور صرفاً یک موج نیست، بلکه رفتاری ذره‌ای هم دارد و می‌تواند انرژی خود را به الکترون‌های داخل یک فلز منتقل کند. علاوه بر این، اثر فوتوالکتریک آشکار می‌سازد که انرژی نور به فرکانس آن وابسته است، نه به دامنه یا شدت آن. همچنین یک فرکانس آستانه وجود دارد که اگر فرکانس نور از آن کمتر باشد، هیچ الکترونی از فلز خارج نخواهد شد. این اثر یکی از مهم‌ترین آزمایش‌هایی بود که نظریه‌های کلاسیک فیزیک را به چالش کشید و راه را برای توسعه مکانیک کوانتومی هموار کرد. برخی از ویژگی‌های کلیدی اثر فوتوالکتریک عبارتند از:

- تعداد الکترون‌هایی که در واحد زمان از فلز گسیل می‌شوند، مستقیماً متناسب با شدت (یا روشنایی) نور فرودی است. یعنی هرچه نور روشن‌تر باشد، فوتون‌های بیشتری به سطح فلز برخورد می‌کنند و در نتیجه الکترون‌های بیشتری خارج می‌شوند.
- انرژی جنبشی الکترون‌های گسیل‌شده فقط به فرکانس نور بستگی دارد و ربطی به شدت نور ندارد. فوتون‌هایی که فرکانس بالاتری دارند، انرژی بیشتری دارند و بنابراین می‌توانند انرژی جنبشی بیشتری به الکترون‌های خارج‌شده بدهند. به همین دلیل، انرژی جنبشی الکترون‌ها به صورت خطی با افزایش فرکانس نور بیشتر می‌شود.

$$KE = h\nu - \Phi$$

که در آن KE انرژی جنبشی، h ثابت پلانک، ν فرکانس، و Φ تابع کار فلز است.

تابع کار، حداقل انرژی مورد نیاز برای خارج کردن یک الکترون از سطح فلز است. این مقدار برای فلزات مختلف متفاوت است و فرکانس آستانه نور تابشی را تعیین می‌کند. فرکانس آستانه در واقع کمترین فرکانسی است که نور باید داشته باشد تا بتواند الکترون را از فلز خارج کند.

اگر فرکانس نور کمتر از این فرکانس آستانه باشد، حتی با وجود شدت نور بسیار بالا، هیچ الکترونی از سطح فلز ساطع نخواهد شد.

$$\phi$$

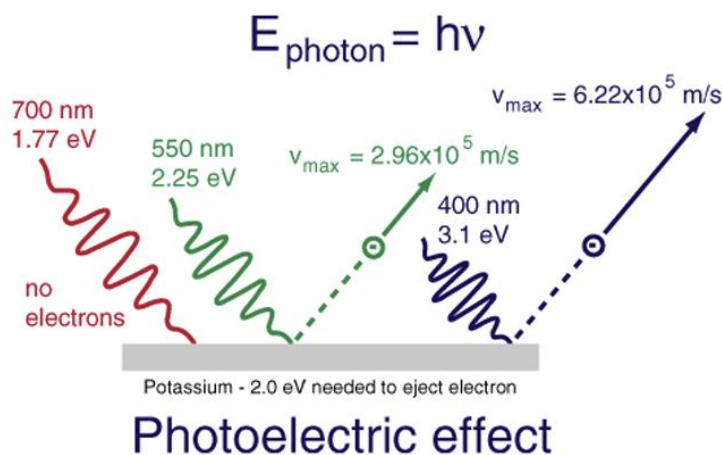
$$v_0 = \frac{\phi}{h}$$

اثر فوتوالکتریک کاملاً آنی است؛ یعنی الکترون‌ها بلافاصله و به محض برخورد نور با سطح فلز ساطع می‌شوند. هیچ تأخیر زمانی وجود ندارد و انرژی قبل از انتشار انباشته نمی‌شود. این پدیده نشان می‌دهد که نور انرژی خود را در قالب بسته‌های مجزا و کوانتومی به نام فوتون به الکترون‌ها منتقل می‌کند.

نحوه آزمایش : در این پدیده، نور به صورت ذرات (فوتون‌ها) در نظر گرفته می‌شود که هر فوتون انرژی معادل $h\nu$ دارد. این ویژگی، ذره‌ای بودن نور را نشان می‌دهد. فوتون‌هایی که انرژی کافی داشته باشند، قادرند الکترون را از سطح فلز آزاد کنند و آن را گسیل دهند.

البته موفقیت این فرآیند به انرژی یا فرکانس فوتون و همچنین تابع کار (یا انرژی بستگی) الکترون در فلز بستگی دارد. به همین دلیل، در سلول‌های فوتوالکتریک و آشکارسازها معمولاً از فلزات قلیایی مانند پتاسیم برای کاند استفاده می‌شود، زیرا این فلزات تابع کار نسبتاً پایینی دارند و الکترون‌ها به راحتی از آن‌ها آزاد می‌شوند.

$$h\nu = \phi + \frac{1}{2}mv^2$$



برای انجام آزمایش، ابتدا لامپ جیوه را به عنوان منبع نور روشن کنید. دستگاه را تنظیم نموده و حداقل ۵ دقیقه صبر کنید تا لامپ کاملاً گرم شود و نور آن پایدار گردد. سپس با استفاده از قطعات اپتیکی و جابجایی مناسب، نور با شدت دلخواه را بر روی سلول فوتوالکتریک (که به عنوان آشکارساز عمل می‌کند) متمرکز کنید. در مرحله اول، پتانسیل آند را برای نور مستقیم لامپ جیوه اندازه‌گیری کرده و ثبت نمایید. سپس برای بررسی طیف‌های مختلف، از فیلترهای رنگی استفاده کنید. هر فیلتر رنگی را به نوبت مقابل لامپ قرار دهید تا نور تک‌رنگ (تک‌فام) از آن خارج شود و آن را دقیقاً بر سطح سلول فوتوالکتریک بتابانید. برای هر رنگ (زرد، سبز و بنفش) مقادیر پتانسیل آند را اندازه‌گیری و ثبت کنید.

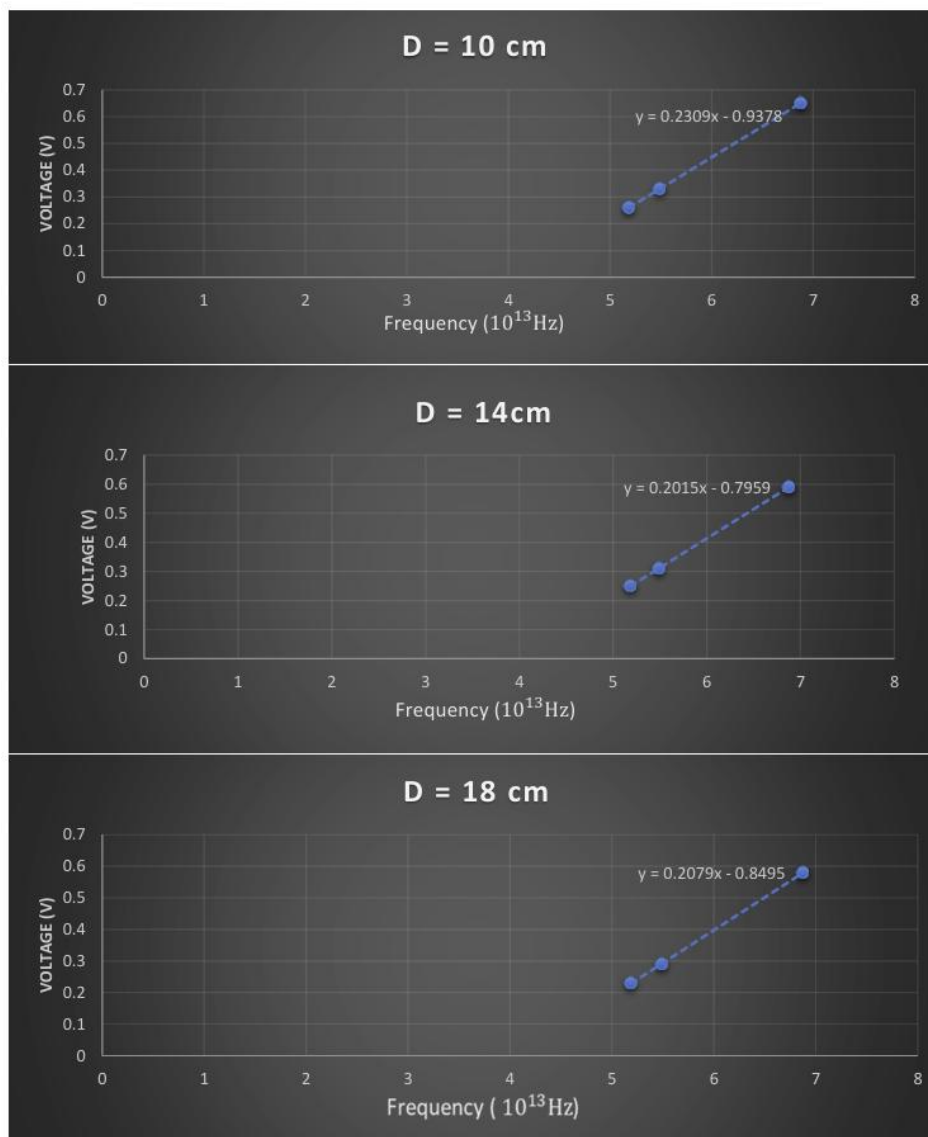
حالا با استفاده از مقادیر ثبت‌شده در جدول، اختلاف پتانسیل بین هر دو رنگ را نسبت به اختلاف فرکانس آن‌ها رسم کنید. نمودار حاصل باید یک خط راست باشد. شیب این خط مستقیماً با ثابت پلانک و بار الکترون مرتبط است. با توجه به اینکه مقدار بار الکترون (e) شناخته‌شده است، می‌توان با محاسبه شیب خط، مقدار ثابت پلانک (h) را به دست آورد. مراحل فوق را با تغییر فاصله لامپ از سلول فوتوالکتریک تکرار کنید و نتایج را مقایسه نمایید.

$$\frac{\Delta u}{\Delta v} = \frac{h}{e}$$

$$a = h/c$$

که a همان شیب خط راست است .

داده های آزمایش



میرزا حسن علی گداز

حسن
ب

$$\frac{h \cdot 10^{14}}{1,4 \times 10^{-14}} = m \Rightarrow 1,4 \times 10^{-14} = h$$

for $d = 1.0 \text{ cm} \longrightarrow h_1 = 2.9 \times 10^{-14} \text{ m}$ $h_2 = 3.9 \times 10^{-14} \text{ m}$

for $d = 1 \text{ cm} \longrightarrow h_r = 0.1 \times 1.4 \times 1.1^{-1.75} = 0.0724 \times 1.1^{-1.75}$

for $d = 1 \text{ cm} \rightarrow h_p = 0.1 \times 1.4 \times 1.1^4 = 0.174 \times 1.1^4$

۳۴۔ $h = 4,924 \times 10^{-3}$ میٹر

for $h_1 \Rightarrow$
$$z = \frac{|4.444x_1 - 34|}{4.444x_1 - 34} \times 100 = 0.444x_1 \dots = 44.4\%$$

$$\text{for } h_r \Rightarrow \frac{1}{4,424 x_1^{-24}} \cdot \frac{1}{3,224 x_1^{-24}} \cdot x_1 \dots = \omega_1, 24'$$

for $h_r \Rightarrow$ $\text{Socho } z = \frac{|4,444 \times 10^{-34} - 1,344 \times 10^{-34}|}{4,444 \times 10^{-34}} \times 100 = 29\%$

سوالات

- مقدار استاندارد h برابر است با $6.62 \times 10^{-34} J.s$ نتیجه حاصله را مقایسه نموده، میزان خطا را اندازه گیری نمایید.

درصد خطا ها محاسبه شد . که به شدت بالا بود 😊 .

- آیا می توان تابع کار (ϕ) سلول بکار گرفته شده را بدست آورد یا نه؟ چگونه؟ چه نتیجه گیری از انجام این آزمایش می کنید؟

با توجه به آزمایش فوتوالکتریک و نمودار ولتااست بر حسب فرکانس، بله می توان تابع کار سلول فوتوالکتریک را به دست آورد. تابع کار از عرض از مبدأ نمودار ولتاژ قطع بر حسب فرکانس محاسبه می شود. بر اساس معادله اینشتین برای اثر فوتوالکتریک، رابطه بین ولتاژ قطع و فرکانس نور به صورت خطی است: $V_0 = (h/e) \nu - (\Phi/e)$. در این رابطه، V_0 ولتاژ قطع، h ثابت پلانک، e بار الکترون، ν فرکانس نور و Φ تابع کار فلز است. بنابراین در نمودار V_0 بر حسب ν ، شیب خط برابر h/e و عرض از مبدأ برابر $-\Phi/e$ است. در این آزمایش، معادله خط به دست آمده به صورت $y = 0.2309x - 0.9378$ است که در آن x فرکانس بر حسب 10^{13} هرتز و y ولتاژ بر حسب ولت می باشد. برای محاسبه تابع کار، کافی است عرض از مبدأ را در نظر بگیریم. از آنجا که عرض از مبدأ برابر -0.937 ولت است، داریم: $-\Phi/e = 0.937$ که نتیجه می دهد $\Phi/e = 0.937$ ولت. بنابراین تابع کار سلول برابر 0.94 الکترون ولت به دست می آید. همچنین می توان فرکانس آستانه را از شرط صفر شدن ولتاژ قطع محاسبه کرد که برابر 4.06 در 10^{13} هرتز می شود. نتیجه گیری از انجام این آزمایش به شرح زیر است: اولاً، رابطه خطی بین ولتاژ قطع و فرکانس نور تأیید می کند که اثر فوتوالکتریک دقیقاً مطابق با نظریه کوانتومی اینشتین است و شدت نور تأثیری بر انرژی جنبشی فوتوالکتریک ها ندارد. ثانیاً، تابع کار سلول فوتوالکتریک که مقدار آن حدود 0.94 الکترون ولت به دست آمد، نشان دهنده نوع فلز به کار رفته در کاتد سلول است که احتمالاً فلزی با تابع کار پایین مانند سزیم می باشد. ثالثاً، فرکانس آستانه محاسبه شده بیانگر این است که نور با فرکانس کمتر از 4.06 در 10^{13} هرتز قادر به گسیل فوتوالکتریک از سطح کاتد نخواهد بود. در نهایت، این آزمایش یکی از مهمترین شواهد تجربی برای اثبات ماهیت کوانتومی نور و موفقیت نظریه اینشتین در تبیین پدیده هایی است که فیزیک کلاسیک قادر به توضیح آنها نبود.