

# بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش آزمایشگاه فیزیک ۴ – دکتر ایرجی زاد

۲۷ اسفند ماه سال ۱۳۹۹

گروه اول – چهارشنبه از ساعت ۱۰:۰۰ الی ۱۴:۰۰

آزمایش چهارم

آزمایش پدیده ی فوتو الکتریک

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

در این آزمایش اثر فوتوالکتریک را که نقش مهمی در پیش برد فیزیک کوانتوم داشت بررسی کردیم و نقش گسسته بودن بسته های انرژی در امواج الکترومغناطیسی در حل این مسئله را دیدیم و مشاهده کردیم که تناقضاتی که فیزیک کلاسیک به وجود می آورد را چطور می توان به کمک ایده ی کوانتیده بودن انرژی بسته ی موج رفع کرد.

در این آزمایش هدف ما بدست آوردن ولتاژ قطع بر حسب فرکانس و بدست آوردن تابع کار فلز و همچنین ثابت پلانک بود. هم چنین نمودار جریان بر حسب ولتاژ را برای دو فرکانس مختلف دیدیم و با روند این نمودار ها آشنا شدیم.

## آزمایش اول:

در این آزمایش با تغییر دادن ولتاژ  $V$  که به دو سر کاتد و آند اعمال می شود، جریان را خواندیم و روند تغییرات آن را مشاهده کردیم.

جدولی داده های این آزمایش به صورت زیر بود:

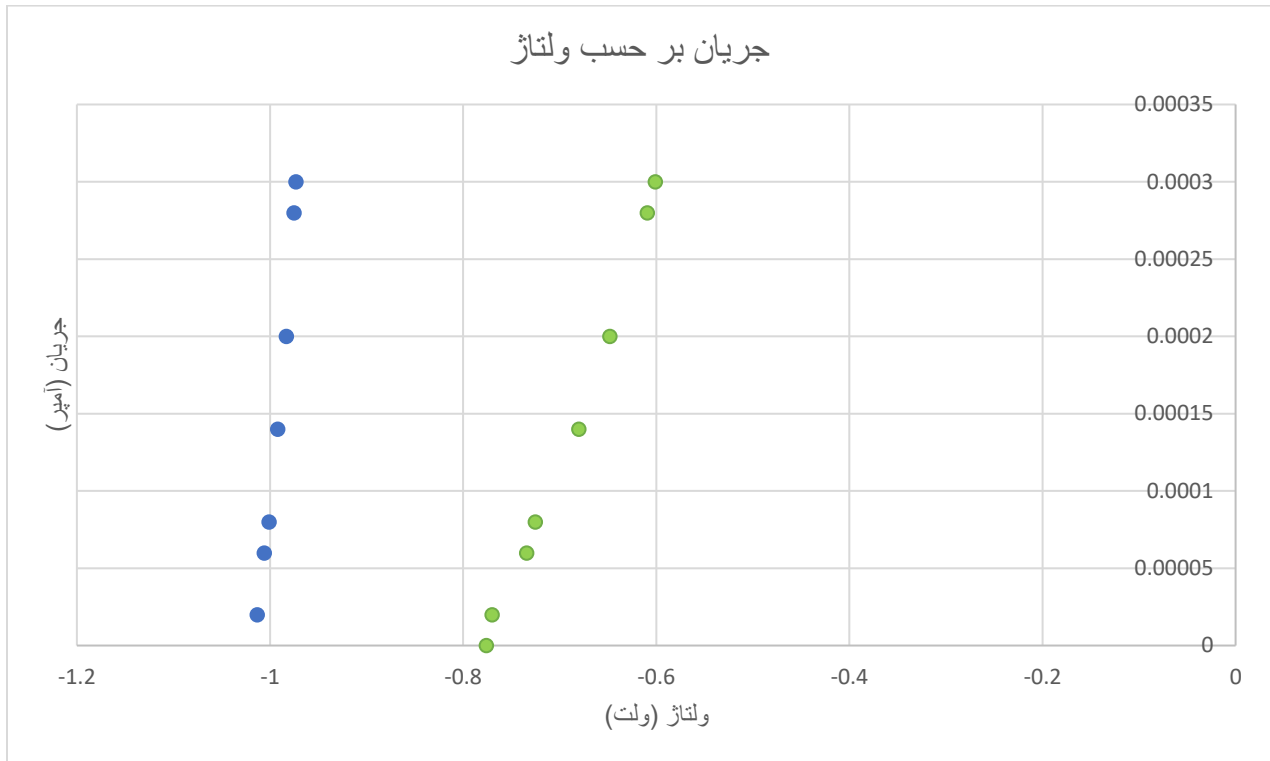
جدول ۱ - داده های ولتاژ کاتد-آند بر حسب جریان گذرنده از مدار برای نور سبز رنگ لامپ جیوه

| $U(V)$ | $I(\mu A)$ | $I(A)$   |
|--------|------------|----------|
| -۰,۷۷۶ | ۰          | ۰        |
| -۰,۷۷  | ۲۰         | ۰,۰۰۰۰۲  |
| -۰,۷۳۴ | ۶۰         | ۰,۰۰۰۰۶  |
| -۰,۷۲۵ | ۸۰         | ۰,۰۰۰۰۸  |
| -۰,۶۸  | ۱۴۰        | ۰,۰۰۰۱۴  |
| -۰,۶۴۸ | ۲۰۰        | ۰,۰۰۰۰۲  |
| -۰,۶۰۹ | ۲۸۰        | ۰,۰۰۰۰۲۸ |
| -۰,۶۰۱ | ۳۰۰        | ۰,۰۰۰۰۳  |

جدول ۲ - داده های ولتاژ کاتد-آند بر حسب جریان گذرنده از مدار برای نور آبی رنگ لامپ جیوه

| $U(V)$ | $I(\mu A)$ | $I(A)$   |
|--------|------------|----------|
| -۱,۰۱۳ | ۲۰         | ۰,۰۰۰۰۲  |
| -۱,۰۰۶ | ۶۰         | ۰,۰۰۰۰۶  |
| -۱,۰۰۱ | ۸۰         | ۰,۰۰۰۰۸  |
| -۰,۹۹۲ | ۱۴۰        | ۰,۰۰۰۱۴  |
| -۰,۹۸۳ | ۲۰۰        | ۰,۰۰۰۰۲  |
| -۰,۹۷۵ | ۲۸۰        | ۰,۰۰۰۰۲۸ |
| -۰,۹۷۳ | ۳۰۰        | ۰,۰۰۰۰۳  |

نتیجه، بدست آمدن نمودار زیر بود:



نمودار ۱ - ولتاژ بر حسب جریان گذرنده از مدار برای نور های آبی رنگ و سبز رنگ در آزمایش فوتو الکتریک

نکات جالبی در این نمودار نهفته است:

می بینیم که ولتاژ قطع برای نور آبی بیشتر از ولتاژ قطع برای نور سبز است ( قدر مطلق آن)؛ علت این است که فوتون های نور آبی رنگ دارای انرژی بیشتری هستند و وقتی که یک الکترون را از کاتد جدا می کنند، آن الکترون دارای انرژی بیشتری نسبت به الکترونی است که با فوتون نور سبز رنگ کنده شده باشد، زیرا که انرژی الکترون کنده شده از رابطه ی  $h\nu - \phi$  می آید و چون فرکانس فوتون آبی رنگ بیشتر است؛ پس ولتاژ بازدارنده بیشتری نیاز است تا بتواند مانع از رسیدن فوتوالکترون های گسیل شده با نور آبی به آند بشود.

شیب نقاط آبی رنگ بسیاری بیشتر از نقاط سبز رنگ است؛ توجیه این است که احتمالا شدت نور آبی رنگ بیشتر بوده است؛ چون وقتی که فرکانس از فرکانس آستانه بیشتر باشد، افزایش شدت نور باعث افزایش جریان می شود. البته توجه کنید که شدت نور آبی رنگ در لامپ جیوه بیشتر از نور سبز رنگ است و این نتیجه دور از انتظار نیست.

## آزمایش دوم:

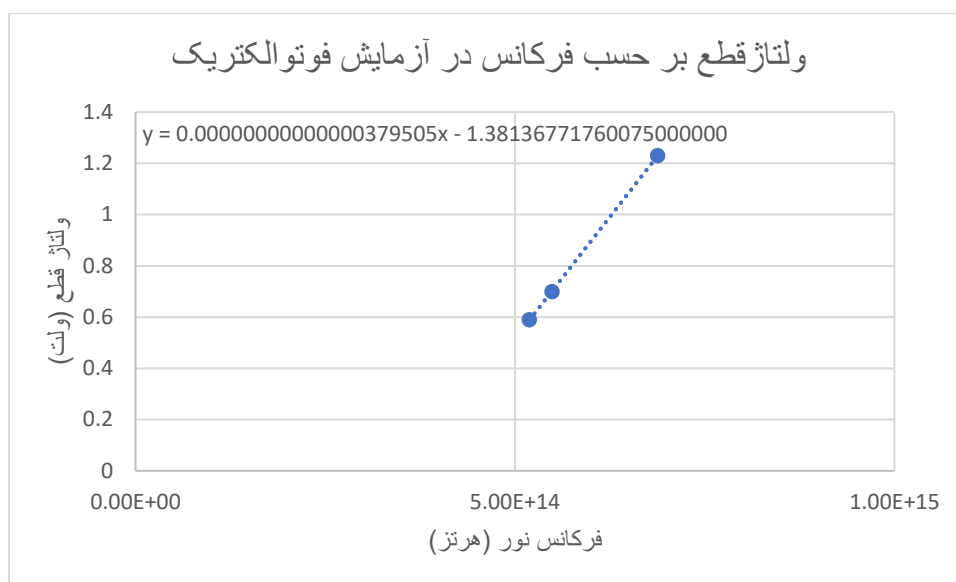
در این آزمایش ولتاژ قطع را برای رنگ های مختلف خواندیم. یعنی با اندازه گیری های متوالی و میانگین گیری روی ولتاژ قطع، داده ها را به دست آوردیم و با رسم نمودار ولتاژ قطع بر حسب فرکانس، توانستیم ثابت پلانک و تابع کار را به دست آوریم.

جدول داده ها را مشاهده می کنید:

جدول ۳ - داده های ولتاژ قطع و فرکانس نور در آزمایش پدیده فوتوالکتریک

| Color | Frequency             | $\bar{U}$ |
|-------|-----------------------|-----------|
| زرد   | $5.19 \times 10^{14}$ | ۰,۵۹      |
| سبز   | $5.49 \times 10^{14}$ | ۰,۷       |
| آبی   | $6.88 \times 10^{14}$ | ۱,۲۳      |
| بنفش  | $7.41 \times 10^{14}$ | ۱,۴       |

و رسم این داده ها را هم انجام داده ایم:



نمودار ۲ - ولتاژ قطع بر حسب فرکانس نور در آزمایش فوتوالکتریک

چند نکته در اینجا نیز جالب توجه هستند:

اولا که سه تا از داده ها را رسم کرده ام چرا که مطابق فرمایش دکتر، نور آبی ای که در لامپ جیوه تولید می شود، ترکیبی از نور به رنگ آبی در طول موج های مختلف است و طول موجی که گزارش شده است، میانگین طول موج نورهای آبی است و این باعث ایجاد خطا در به دست آوردن ثابت پلانک و تابع کار می شود. البته مقدار این دو کمیت را با چهار نقطه هم حساب کرده ام و نتیجه را گزارش کرده ام ولی مقدار قابل اعتماد تر همان استفاده از سه نقطه است.

نکته جالب تر خطی شدن نمودار است که پیش بینی اینشتین بوده که در طول ۱۰ سال آزمایش های میلیکان در آمریکا، خطی بودن این نمودار دیده شده و فرضیات اینشتین تایید شد.

ضمناً چون شیب خط از مرتبه ی  $10^{-15}$  بود، به طور دستی دقت اعداد شیب را تا ۲۰ رقم تغییر داده ام تا بتوان به طور دقیق تری به محاسبات خواسته شده در بالا پرداخت.

پرسش ها:

۱. نتیجه مهم فیزیکی ای که از این پدیده به دست آمده است را بیان کنید.

این آزمایش رفتار ذره ای موج را نشان می دهد؛ چرا که با کمک ایده موج بودن نور که توسط یانگ این ایده پررنگ تر شده بود، این آزمایش قابل توجیه نیست. ثانیاً این آزمایش جزء اولین آزمایش هایی بود که با فرض کوانتیده بودن انرژی میدان الکترومغناطیسی ثابت می شد و پس از کار پلانک که مسئله تابش جسم سیاه را با همین ایده حل کرد، دیگر به این ایده که «انرژی تابش موجهای الکترومغناطیسی گسسته است» کسی توجهی نکرد و به معنایی این تفسیر از آزمایش احتیاجر کوانتوم است.

خلاصه کلام این که توجیه ذره ای بودن نور و گسسته بودن انرژی آن از پیامدهای این آزمایش بود.

۲. از مقادیر میانگین پتانسیل قطع استفاده کنید و منحنی پتانسیل قطع بر حسب فرکانس را رسم کنید. از طریق این منحنی تابع کار و ثابت پلانک را به دست آورید.

معادله خطی که باید به نمودار برازش کنیم این است:

$$V_s = \frac{h}{e}v - \frac{\phi}{e}$$

شیب و عرض از مبدا خط برازش شده را از روی اکسل خواندم و مقدار های زیر را برای ثابت پلانک و تابع کار داریم:

$$h = 6.08 \times 10^{-34} J$$

$$\phi = 1.38 eV$$

البته می توان همین کار را با کمک نمودار چهار نقطه ای هم حساب کرد که نتایج این ها می شوند:

$$h = 5.91 \times 10^{-34} J$$

$$\phi = 1.32 eV$$

سوالات:

۱. با دانستن ثابت پلانک از تئوری، درصد خطای نسبی ثابت پلانک را تعیین کنید و علل خطا را ذکر کنید.

درصد خطای نسبی را به شکل زیر محاسبه می کنیم:

$$\frac{(6.08 - 6.62) \times 10^{-34}}{6.62 \times 10^{-34}} \times 100 = -8.1\%$$

علل خطا گوناگونند :

- خطای آزمایشگر
- خطای آمپرسنج (علی الخصوص وقتی که جریان را  $10^{-10}$  مرتبه بزرگ می کنیم، هرگونه الکترونی که در محفظه به علتی غیر از فوتوالکتریک به وجود آمده باشد (مثلا یونش) بر روی آزمایش اثر می گذارد).
- حساسیت بسیار زیاد آزمایش (دیدیم که اگر به سیم منبع تغذیه دست بزنیم مقدار جریان عوض می شود، این عامل بسیار در نتیجه آزمایش موثر است).
- این که فرکانس هر فوتون را به طور دقیق نمی دانیم و میانگینی از طول موج های ساطع شده در آن ناحیه است.

۲. تابع کار چیست و به چه عواملی بستگی دارد؟

کمینه انرژی لازم برای کنده شدن الکترون از سطح فلز را تابع کار آن فلز می گوئیم و به جنس فلز و پیوند هایی که در فلز وجود دارد بستگی دارد. به طور عام می شود گفت که فلزهای ردیف ۱ و ۲ جدول تناوبی تابع کار کمتری دارند (الکترون لایه آخر را به راحتی از دست می دهند ) و فلزهای وسط جدول تناوبی عموماً دارای تابع کار بیشتری هستند.(پیوند فلزی خیلی قوی است).

۳. چرا سرعت الکترون های ساطع شده بر اثر تابش یک نور تکفام، یکسان نمی باشد؟

بسته به اینکه الکترون ها از کدام تراز انرژی موجود در ساختار نواری کنده شده باشند، انرژی جنبشی آن ها متفاوت است، در حقیقت تابع کار، انرژی لازم برای کندن سست ترین الکترون هاست و در آزمایش، فوتون ها حتی الکترون های دیگر را هم که با انرژی بیشتری به ساختار قید شده اند می کنند و مطابق رابطه

$T = h\nu - E'$ ، انرژی جنبشی و سرعت الکترون ها هنگام خروج از کاتد متفاوت است.

۴. مواردی را که فیزیک کلاسیک در اثر فوتوالکتریک قادر به توجیه آن ها نیست را بیان کنید.

فیزیک جدید چگونه به آن ها پاسخ می دهد و چه مواردی در هر دو قابل توضیح است؟

سه پیش بینی نادرست از فیزیک کلاسیک هست:

۱. چون شدت موج متناسب با اندازه بیشینه میدان الکتریکی در موج است یعنی  $I \propto E$ ،

پس با افزایش دامنه میدان الکتریکی، نیروی وارد بر الکترون ها که برابر با  $eE$  است افزایش می یابد و این یعنی که انرژی جنبشی فوتون های کنده شده با افزایش شدت نور افزایش می یابد. اما مشاهده می شود که انرژی جنبشی مستقل از شدت نور است.

۲. بنابر فیزیک کلاسیک، هر فرکانسی می تواند باعث کنده شدن فوتون شود، به شرطی که شدت به اندازه کافی باشد، ولی در عمل مشاهده می شود که فرکانس قطعی وجود دارد که به ازای فرکانس های کمتر از آن، مستقل از شدت نور اثر فوتوالکتریک رخ نمی دهد.

۳. حتی نظریه کلاسیک یک تاخیر زمانی را برای گسیل شدن فوتو الکترون ها پیشنهاد می کند. چرا که انرژی به طور یکنواخت در جبهه موج توزیع می شود و اگر انرژی یک جبهه موج برای کنده شدن کافی نباشد، زمانی طول می کشد تا انرژی موجهای تابیده شده به الکترون، در آن ذخیره شود تا پس از آن زمان، انرژی کافی دریافت شود و فوتوالکترون گسیل شود. پس طبق نظریه کلاسیک بایستی زمان تاخیری وجود داشته باشد ولی آزمایش ها نشان می دهند که گسیل فوتوالکترون های بدون تاخیر است.

پاسخ فیزیک مدرن:

۱. افزایش شدت یعنی افزایش تعداد فوتون ها و نه افزایش انرژی یک تک فوتون. پس با افزایش شدت می توان جریان را زیاد تر کرد ولی اگر انرژی یک تک فوتون برای کندن الکترون کافی نباشد، با افزایش شدت نمی توان پدیده را مشاهده کرد.

۲. اگر انرژی بسته فوتون دقیقاً برابر تابع کار باشد، در این صورت به فرکانس آن فوتون، فرکانس آستانه می گوئیم. حال اگر فرکانس فوتون از فرکانس آستانه کمتر باشد، در این صورت هر چقدر هم که فوتون به سطح فلز بخورد، توانایی کندن یک الکترون از سطح را ندارد و فرآیند ساده برخورد رخ می دهد.

۳. مطابق تفسیر فیزیک جدید، برخورد فوتون به سطح آنی است و اگر یک فوتون نتواند الکترون را بکند، انرژی خود را به الکترون نمی دهد و فرآیند جذب انرژی که در فیزیک کلاسیک وجود داشت در اینجا

وجود ندارد. پس در این تصویر یا فوتون به صورت آنی جذب می شود یا اصلا جذب نمی شود و برخورد ساده انجام می شود.

## ۵. چرا در ساخت سلول های فوتوالکتریک از معمولا از فلزات قلیایی نظیر پتاسیم استفاده می شود؟

چون که عناصر قلیایی در آخرین لایه ی اتمی خود دارای یک الکترون هستند و انرژی لازم برای برانگیخته کردن این الکترون بسیار پایین است پس تابع کارشان کمتر است و پدیده ی فوتوالکتریک را به راحتی می توان در آن ها مشاهده کرد.

## ۶. سلول های فوتوالکتریک چه کاربردهایی دارند؟

- چشم های الکتریکی و آلام های دزدگیر ها دقیقا یک فوتوسل هستند که با این پدیده کار می کنند.
- در نور سنجی می توان از پدیده فوتو الکتریک بهره برد، نورسنج هایی که روی فرکانس خاصی کار می کنند از پدیده فوتوالکتریک بهره می برند.
- سلول های خورشیدی فرایندی مشابه با فوتوالکتریک را طی می کنند.
- چراغهای ساختمانی که با تاریک شدن هوا روشن می شوند بر اساس این پدیده بنا شده اند.
- دستگاه های شمارنده فوتون – دوربین های عکاسی و...

## ۷. در سلول فوتوالکتریک آند به صورت یک حلقه است چرا؟

به دو دلیل:

۱. اولاً چون وقتی فوتون ها به کاتد برخورد می کنند الکترون ها در جهات مختلفی گسیل می کنند و آند را به صورت حلقه ای قرار می دهند تا بتواند به طور کامل الکترون ها را جمع کند.
۲. ضمناً تابش فوتون های پر قدرت به آند گاهی باعث می شود که اتم های فلز از آن کنده شوند، به همین دلیل آند را به صورت حلقه می سازند تا آند کمتر در معرض فوتون های پر قدرت قرار بگیرد و کندگی از سطح آن و خورده شده آن کمتر صورت بگیرد.

۸. فرض کنید از یک لیزر ( نور لیزر یکی از متمرکزترین اشعه های موجود در آزمایشگاهی فیزیکی است) استفاده شود و یک صفحه در جلوی کاتد قرار داده تا فوتوالکترن های خارج شده از کاتد به آن صفحه برخورد کنند. در این صورت آیا می توان از نور مرئی لیزر پر شدت، اشعه X تولید کرد؟ توضیح دهید. (طول موج اشعه X در حدود آنگستروم است).

خیر نمی تواند.



انرژی فوتوالکترون از مرتبه انرژی خود فوتون است که در اینجا فوتون ما قرمز رنگ و در ناحیه مرئی است. اما این انرژی خیلی پایین است و در برخورد با صفحه نمی تواند گذاری را تحریک کند که انرژی آن بالاتر از ناحیه مرئی (نور قرمز) باشد. توجه کنید که پر شدت بودن نور لیزر یعنی تعداد فوتون ها زیاد است نه این که انرژی فوتون ها زیاد است. پس تعداد زیادی فوتون داریم که گذار اشعه X را تحریک نمی کنند و به طور کلی امکان تولید اشعه X نداریم.