

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جلسه دوم

خصوصیات ذره ای امواج- اثر
فوتوالکتریک، اشعه X و...

اثر فوتوالکتریک

- اگر یک صفحه فلزی را تحت تابش امواج پر انرژی قرار دهیم، پرتو کاتدی و یا الکترون های شتابدار از صفحه فلزی منتشر می شود.
- در این عمل چون هم نور و هم الکتریسیته دخالت دارند به این پدیده، **اثر فوتوالکتریک** می گویند.

در واقع تمام مواد (جامد، مایع و گاز) می توانند در شرایط خاصی تحت تاثیر اثر فوتوالکتریک، پرتو کاتدی از خود گسیل کنند، گاهی به پرتو کاتدی، **فوتوالکترون** نیز می گویند.

اثر فوتوالکتریک هر جسمی با گسیل بسامد مشخصی از موج انجام می شود. اگر بسامد موج برای جسم خاصی کمتر از حد معین باشد، اثری از فوتو الکتریک مشاهده نخواهد شد.

اما طبق **قوانین الکترودینامیک کلاسیک**، موج با برخورد به صفحه فلزی مقداری انرژی به آن منتقل می کند و به مرور زمان این انرژی انباشته می شود تا اینکه انرژی مورد نیاز برای گسیل الکترون فراهم شود.

اما در آزمایشگاه خلاف آنچه که در فیزیک کلاسیک گفته شد، روی می دهد، یعنی گسیل موج با بسامد کمتر از حد معین به فلزی، هرگز منجر به گسیل پرتو کاتدی نمی شود.

این بن بستى بود در مورد خاصیت نور. **اینشتین** با ارائه نظریه خود در مورد فوتون، توانست این معما را حل کند. وی فرض کرد که امواج به صورت بسته هایی از انرژی به نام **کوانتوم** هستند، که بعداً **فوتون** نامیده شد. انرژی فوتون ها با بسامد امواج رابطه مستقیم دارد.

$$E = h\nu$$

این معادله به **معادله پلانک** مشهور است.

در این معادله h **ثابت پلانک** است.

در اثر فوتوالکتریک الکترون های لایه ظرفیت اتم های فلز با دریافت انرژی موج از صفحه فلزی جدا می شوند، اما در لحظه جدا شدن، الکترون ها مقداری از انرژی خود را برای غلبه بر نیروی جاذبه الکتروستاتیکی، مصرف می کنند که انیشتین آن را **تابع کار فلز** نامید و مقدار آن برای هر فلز، منحصر بفرد است. مقدار تابع کار هر فلز از ۱ تا ۱۰ الکترون ولت متغیر است.

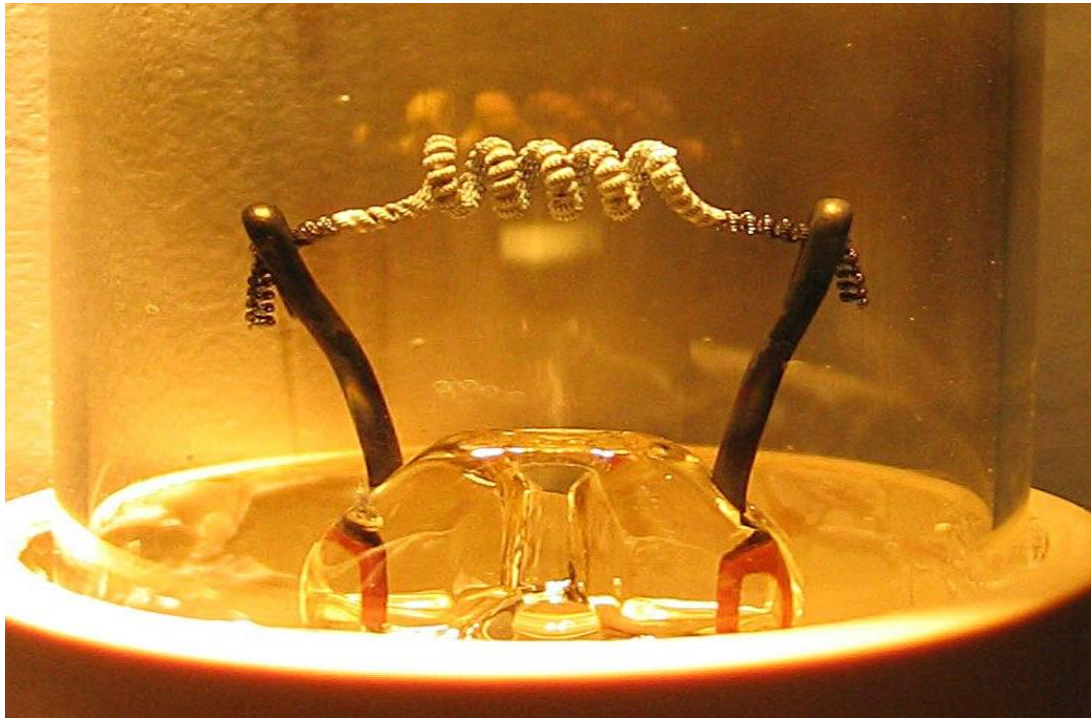
به مناسبت کشف اثر فوتوالکتریک، **جایزه نوبل سال ۱۹۲۱** به

$$h\nu = W + K$$

انیشتین اهدا شد.

فرایندهای که در آنها الکترون از سطح فلز جدا می‌شود

- (1) گسیل گرما یونی: جدا شدن الکترون از سطح فلز بر اثر گرم کردن فلز که باعث دادن انرژی گرمایی و تحریک الکترون و کنده شدن آن از سطح فلز می‌شود.



نمای نزدیک از یک فیلمان (رشته) در یک لامپ تخلیه گاز کم‌فشار جیوه که در حال گسیل گرمایونی در مرکز سیمپیچ است.

(2) گسیل ثانوي: برخورد ذرات با سطح فلز و انتقال انرژی جنبشی آن ها به الکترون های فلز، عامل کننده شدن الکترون از سطح فلز می شود.

(3) گسیل میدانی: قرار دادن فلز در يك میدان الکتریکی قوی خارجی که باعث خروج الکترون ها از سطح فلز می شود.

(4) گسیل فوتوالکتریک: این پدیده یعنی جدا شدن الکترون ها از سطح یک فلز توسط تاباندن نور به آن را پدیده ی فوتو الکتریک و الکترون های گسیل شده از سطح فلز را فوتو الکترون می نامند.

مقایسه تعبیر کلاسیکی اثر فوتوالکتریک با تعبیر کوانتومی

1 - به علت پیوستگی ظاهری امواج انتظار داریم که انرژی جذب شده توسط سطح فوتوالکتریک با شدت باریکه نور، مساحت روشن شده و زمان روشنائی متناسب باشد.

- تمام الکترونهايي که با انرژی یکسان به سطح فلز مقیدند، باید هم‌ارز در نظر گرفته شوند و هر الکترون پس از آنکه نور آنقدر روی فلز تابید که انرژی بستگی‌اش فراهم شد، می‌تواند سطح فلز را ترک کند.

به علاوه به خاطر هم‌ارزی الکترونها از این نظر که با انرژی
یکسانی به سطح فلز مقیدند، انتظار داریم که وقتی یک الکترون
انرژی کافی برای آزاد شدن را بدست آورد، تعداد دیگری از
الکترونها نیز آزاد شوند ولی آزمایش نشان می‌دهد که در یک
فلز نمونه حداقل انرژی ای که با آن یک الکترون به سطح مقید
است، **چند الکترون ولت** می‌باشد. ولی اگر انرژی فرودی
خیلی اندک باشد، حداقل تا چند صد ساعت هیچ گسیل
فوتوالکترونی را انتظار نداریم. **پس نظریه کلاسیک نمی‌تواند**
گسیل آنی فوتوالکتریک را توجیه کند.

2- نظریه کلاسیک پیش‌بینی می‌کند که با افزایش شدت نور، انرژی دریافتی توسط الکترون‌ها در سطح زیاد می‌شود لذا انتظار داریم که تعداد فوتوالکترون‌های گسیلی متناسب با شدت نور افزایش یابد.

در این مورد نظریه کلاسیک با نتیجه تجربی موافق است.

3- نتایج آزمایشات نشان می دهد که يك توزیع برای سرعت‌ها یا انرژی فوتوالکترده‌ها گسیل شده وجود دارد که به خودی خود با نظریه کلاسیک مغایر نیست. زیرا می‌توان آن را به مقادیر گوناگون انرژی گرفته شده به وسیله الکترونها از باریکه نور فرودی نسبت داد. ولی وجود يك پتانسیل بازدارنده مشخص V و مستقل از شدت برای هر بسامد معین دلالت بر آن دارد که انرژی بیشینه الکترونهاي رها شده هرگز به مقدار کل انرژی ای که در واحد زمان به سطح می‌رسد بستگی ندارد ولی نظریه کلاسیک چنین اثری را پیشگویی نمی‌کند.

4- وجود يك بسامد آستانه براي يك فلز معين كه در بسامدهاي کمتر از آن **هر چند شدت نور هم زياد باشد، هيچ فوتوالكتروني گسيل نمي شود** از نظر ديدگاه كلاسيك كاملاً غير قابل توضيح است.

از نظر كلاسيك شرط مهمي كه تعيين مي كند آيا گسيل فوتوالكتروني رخ مي دهد يا نه، مقدار انرژي اي است كه در واحد زمان به سطح مي رسد نه بسامد.

تعبیر کوانتومی اثر فوتوالکتریک

- تنها راه حلی که برای توجیه اثر فوتوالکتریک وجود دارد نظریه کوانتومی است.
- بنابر نظریه کوانتومی امواج ظاهراً پیوسته الکترومغناطیسی کوانتیده‌اند و از کوانتوم‌های گسسته‌ای به نام فوتون تشکیل شده‌اند. هر فوتون دارای انرژی E است که فقط به بسامد (طول موج) آن بستگی دارد و از این رابطه حساب می‌شود:

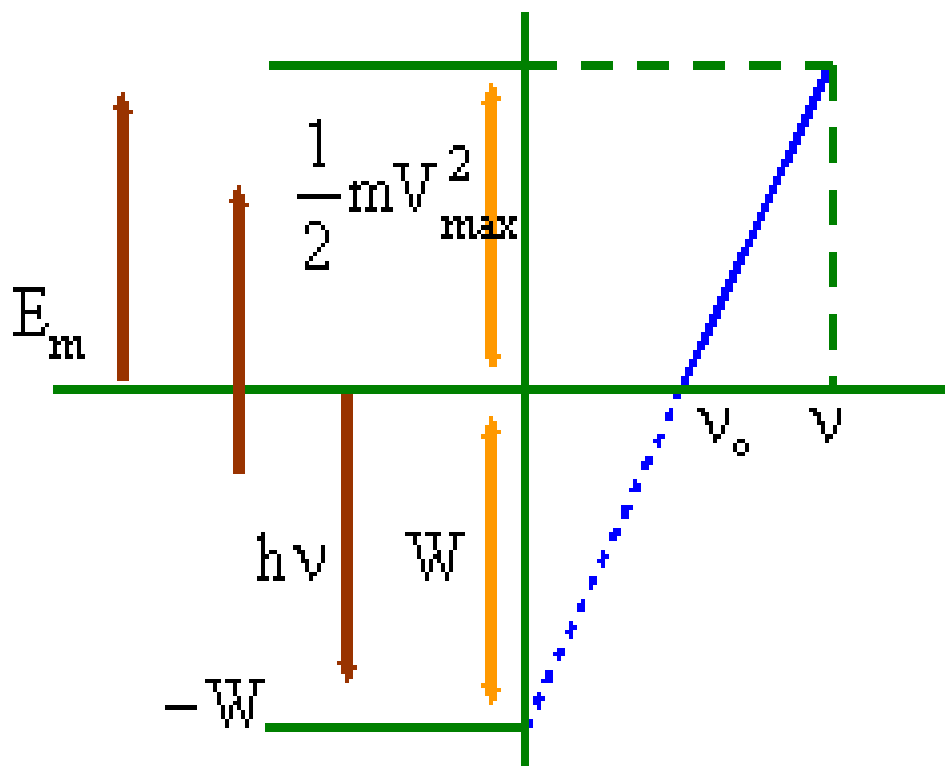
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

اکنون به کمک نتایج تجربی، اثر فوتوالکتریک را بر اساس نظریه کوانتومی بیان می‌کنیم و برای راحتی از حالت 4 به 1 بحث را آغاز می‌نماییم.

حالت (4) با توجه به رابطه
$$h\nu = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 + h\nu_0$$

طرف چپ معادله انرژی حمل شده به وسیله یک فوتون و انرژی داده شده به یک الکترون مقید را بدست می‌دهد. الکترونهايي که به طور ضعیف به اتم مقیدند با بیشترین انرژی جنبشی از سطح فلز رها می‌شوند.

يك الكترون با انرژي مقيد W_0 تنها وقتي آزاد مي شود كه يك فوتون حداقل اين انرژي را به آن بدهد. يعني زماني الكترون آزاد مي شود كه $h\nu > W_0 = h\nu_0$ و به عبارتي $\nu > \nu_0$ باشد.



طرف راست معادله انرژی جنبشی الکترون که از فوتون می‌گیرد و انرژی بستگی الکترون را نشان می‌دهد. انرژی بستگی الکترونها با قید ضعیف را غالباً با W_0 نشان داده و به آن تابع کار می‌گویند. این انرژی معرف کاری است که باید انجام شود تا الکترون با قید ضعیف را از اتم جدا کند، پس داریم:

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W_0$$

حالت (3):

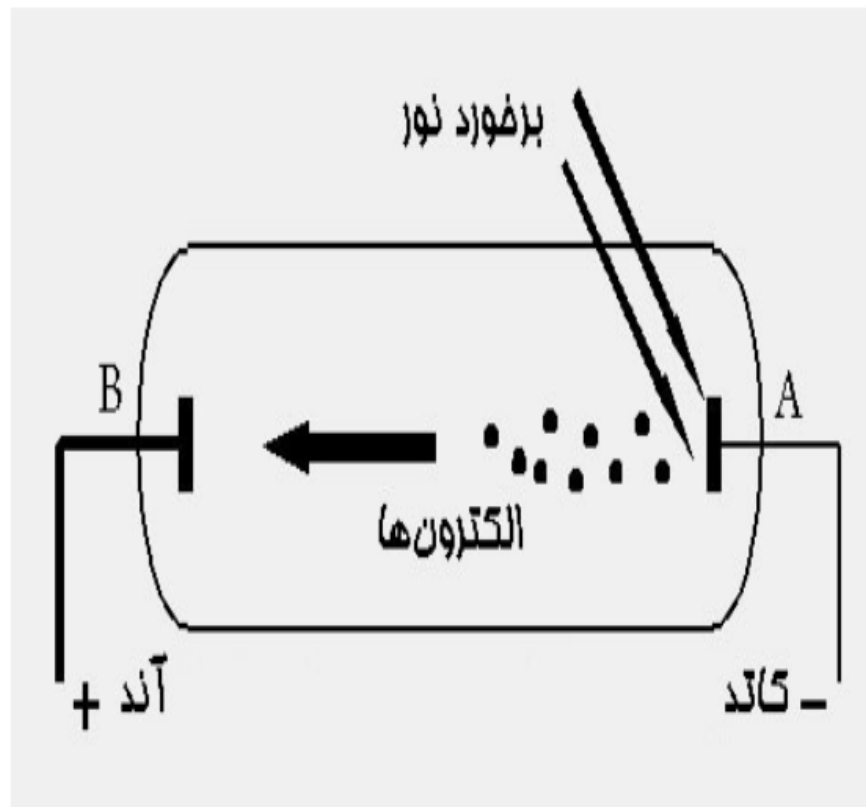
چون بسامد تابش الکترومغناطیسی دقیقاً انرژی فوتون را تعیین می‌کند یعنی $(E = h\nu)$ ، به ازای هر بسامد معلومی برای فوتوالکترونها یک انرژی جنبشی بیشینه مشخص وجود دارد.

حالت (2):

شدت موج الکترومغناطیسی تکفام، مفهوم جدیدی به خود می‌گیرد. از دیدگاه نظریه کوانتومی این شدت حاصل ضرب انرژی هر فوتون در تعداد فوتونهایی است که در واحد زمان از واحد سطح عبور می‌کنند. بنابراین افزایش شدت باریکه نور فرودی، به معنی افزایش متناسبی از تعداد فوتونهایی است که به سطح فلز برخورد می‌کنند. لذا انتظار داریم که تعداد فوتوالکترونها یعنی همان جریان فوتوالکترونی (i) با شدت باریکه فرودی نور (I) متناسب باشد.

حالت (1):

گسیل فوتوالکترونی **بلافاصله** رخ می‌دهد، چون در کمترین شدت، آزاد شدن يك الكترون به جمع شدن انرژی در آن بستگی ندارد بلکه به برخورد آن با يك فوتون که در لحظه توقف تمام انرژی خود را به آن می‌دهد، وابسته است.



تمرین 1:

ثابت کنید که در اثر فتوالکتریک از یک سطح
فلزی، بیشینه سرعت فتوالکترون ها از طریق
معادله

$$v_{max} = 5.93 \times 10^5 \sqrt{V}$$

با پتانسیل ترمزی مرتبط می باشد.

تمرین 2:

طول موج آستانه فتوالکتریک نقره $276/2 \text{ nm}$ است.
مطلوبست:

(الف) بیشینه انرژی جنبشی الکترون های رها شده،

(ب) بیشینه سرعت الکترون ها

(ج) پتانسیل ترمزی برای الکترون ها بر حسب الکترون

ولت، هرگاه به سطح نقره نور فرابنفش به طول موج 200 nm بتابد.

تمرین 3:

هرگاه سطح فلز معینی تحت تابشی با طول موج 680nm قرار گیرد، الکترون هایی با سرعت صفر گسیل می دارد. بسامد آستانه و تابع کار فلز را محاسبه کنید.



با شکر از توجه شما عزیزان