دُرّ فیزیک

جزوه ،اینفوگراف فیزیک اتمی

زیر نظر مهندس میرحمیدی

۱ فیزیک کلاسیک و فیزیک جدید-پدیده فتو الکتریک

تا اواخر قرن نوزدهم میلادی، دانش فیزیک شامل شاخه هایی مثل، مکانیک نیوتونی، الکترومغناطیس، ترمودینامیک و ..... بود. این شاخه های فیزیک که آن ها را به عنوان فیزیک کلاسیک می شناسیم. به خوبی از پس توضیح و توجیه علت پدیده هایی که تا آن زمان مورد مشاهده و بررسی فیزیک دانان قرار گرفته بود، بر می آمدند. در اواخر قرن ۱۹ میلادی دانشمندان پدیده هایی در طبیعت و آزمایشگاه مشاهده کردند که به کمک فیزیک کلاسیک نمی توانستند علت رخ دادن آن ها را به خوبی توضیح دهند. این جا بود که داستان فیزیک جدید آغاز شد. فیزیک دان ها مجبور شدند که دربرخی از فرضیه های علمی آن روزگار، بازنگری اساسی کنند، این اتفاق باعث تحول اساسی، در برخی از نظریات فیزیک کلاسیک شد.

به این ترتیب شاخه های جدیدی به فیزیک اضافه شدکه آن ها را به عنوان فیزیک جدید می شناسیم، شاخه هایی مانند: نسبیت خاص، نسبیت عام، مکانیک کوانتومی، فیزیک هسته ای و ..... از جمله شاخه های فیزیک جدید هستند که در ۱۲۵ سال اخیر به وجود آمده اند و گسترش پیدا کرده اند. با این مقدمه می خواهیم به برخی از پدیده هایی بپردازیم که باعث تولد فیزیک جدید شدند!!

وقتی تندی حرکت یک جسم قابل مقایسه با تندی نور باشد، اتفاقات عجیب و غریبی می افتد که نظریه نسبیت خاص آن هارا توضیح می دهد.

نظریه نسبیت عام هم مربوط به مطالعه هندسی فضا – زمان و گرانش است

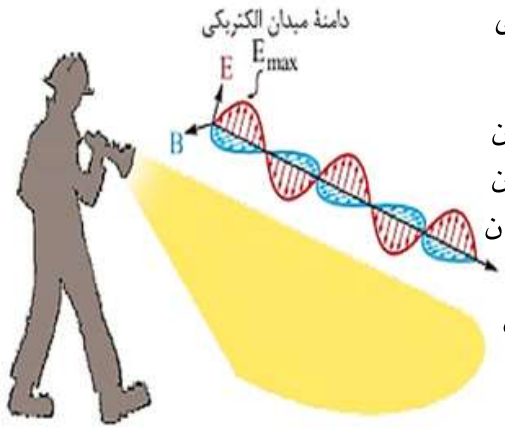
نظریه کوانتومی

اگر بتوان برای کمیتی ، یک کوچکترین مقدار (البته غیر از صفر) قائل شد، آن کمیت کوانتیده است و به کوچکترین مقدار آن کمیت، کوانتوم گفته می شود. به عنوان یک نمونه، در فیزیک ۲ دیده بودید که بار الکتریکی کوانتیده است. کوچک ترین مقدار بار بار الکترون است که به آن کوانتوم بار نیز گفته میشود. به این ترتیب اگر بخواهیم تعیین کنیم کمیتی کوانتیده است یا خیر، باید به این فکر کنیم که کوچکترین مقداری برای آن داریم یا نه. اگر کمیتی کوانتیده نباشد، پیوسته است.

اکنون می خواهیم کمیت کوانتیده جدیدی را معرفی کنیم. دیده بودیم که امواج الکترومغناطیسی حاوی انرژی اند. به نظرتان انرژی ای که یک موج الکترومغناطیسی حمل می کند کوانتیده است یا پیوسته؟

فیزیک کلاسیک

بنابر نظریه ماکسول، موج الکترومغناطیسی (که به اختصار، نور نامیده می شود)، از میدان الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده است و انرژی این موج ناشی از انرژی میدان های الکتریکی و مغناطیسی است.



در شکل زیر، یادآوری کرده ایم که نور تابش شده از یک چراغ قوه، چگونه از میدان های الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده است. یکی از پیامدهای نظریه ماکسول این بود که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی متناسب است. منظور از دامنه میدان الکتریکی، بیشینه میدان الکتریکی است که در همین شکل نشان داده شده است.

شدت نور را همانند شدت صوت با نماد I نشان می دهیم و اتفاقا رابطه ریاضی آن هم شبیه به شدت صوت است؛ اما قصد نوشتن این رابطه را در چارچوب کتاب درسی نداریم و فقط به نوشته زیر اکتفا می کنیم.

$$I \propto E_{max}^{2}$$

فیزیک جدید

برای نخستین بار، فیزیک دانی به نام پلانک با بررسی تابش گرمایی اجسام، متوجه شد که انرژی نور کوانتیده است. گویی انرژی ای که نور حمل می کنداز بسته هایی تشکیل شده است که بعد ها فوتون نامیده شد. به این ترتیب چنان در شکل رو به رو می بینید، انرژی نوری که از یک چراغ قوه خارج می شود از بسته هایی کوچک تشکیل شده است. البته به دلیل کوچکی این بسته ها، شما به هیچ روشی نمی توانید ماهیت کوانتیده را در زندگی روزمره احساس کنید. منظورم این است که وقتی مثلا نور خورشید به شما می تابد و انرژی آن پوستتان را گرم می کند، به هیچ روشی نمی توانید بفهمید که انرژی رسیده به پوستتان، بارانی از بسته های انرژی بوده است یا جریانی پیوسته از انرژی! معمولا برای نمایش بسته های انرژی از نمادی به شکل استفاده می شود.

پلانک نشان داد که انرژی یک فوتون به بسامد نوربستگی دارد و از رابطه رو به رو به دست می آید: $E=hf$
h در این رابطه، ضریب ثابتی است که به آن ثابت پلانک گفته می شود و مقدار آن را در SI، برابر $۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}$ است. (نیازی به حفظ کردن این عدد نیست).

می توان یکای ثابت پلانک را به صورت زیر نشان داد:

$$E = hf \Rightarrow h = \text{یکای} = \frac{\text{ژول}}{\frac{۱}{\text{ثانیه}}} = \text{ژول .ثانیه}$$

به این ترتیب یکای ثابت پلانک J.s است. اکنون بیایید رابطه انرژی فوتون را به یک صورت دیگر بنویسیم! بااستفاده از طول موج نور در خلا می توان بسامد نور را به دست آورد و آن را در رابطه بالا گذاشت:

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E = h\frac{c}{\lambda}$$

برای اینکه یک دید کمی از انرژی یک فوتون داشته باشیم، بدنیست مثالی بزنیم. طول موج نور زرد، در حدود ۶۰۰nm است و انرژی یک فوتون آن، به صورت رو به رو محاسبه می شود:

$$E = h\frac{c}{\lambda} = 6/63 \times 10^{-34} \times \frac{3\times10^{8}}{600\times10^{-9}} = 3/315 \times 10^{-19} J$$

می بینید که این انرژی بسیار کوچک است و به همین دلیل در زندگی روزمره ما هیچ نمودی ندارد. از آنجایی که ژول یکای بزرگی برای بیان انرژی هایی به این کوچکی است، معمولا در فیزیک اتمی و هسته ای، از یکایی به نام ((الکترون ولت)) (با نماد eV) استفاده می کنند. برای اینکه بفهمید هر الکترون برابر با چند ژول است، کافی است از فیزیک۲، دو موضوع را به خاطر بیاورید: نخست اینکه اندازه بار الکترون است و دوم اینکه یکای ولت، معادل با $\frac{\text{ژول}}{\text{کولن}}$ است:

$$1eV = 1/6 \times 10^{-19}\cancel{C} \times \frac{J}{\cancel{C}} \Longrightarrow 1eV = 1/6 \times 10^{-19}J$$

می بینین که عدد پشت ژول، همون عدد بار الکترونه و لطف کنین اینو حفظ کنین به این ترتیب، ثابت پلانک را میتوانند به جای یکای ((ژول ثانیه)) با یکای ((الکترون ولت ثانیه)) به شما بدهند:

$$h = \frac{6}{63} \times 10^{-34}\cancel{J}.s \times \frac{1eV}{1/6\times10^{-19}\cancel{J}} \simeq \frac{4}{14} \times 10^{-15}eV.s$$

نیازی به حفظ کردن مقدار بالا نیست؛ اما یک چیز دیگر است که باید پس از یک بار به دست آوردن، آن را به خاطر بسپارید! از آنجایی که معمولا به جای بسامد نور، طول موج آن را به ما میدهند، رابطه $E = h\,C/\lambda$ بیشتر از رابطه $E= hf$ به دردمان خواهد خورد. بیایید حاصل ضرب hc را محاسبه کنیم:

$$hc = (4/14 \times 10^{-15}\ eV.\cancel{s}) \times (3 \times 10^{8}m/\cancel{s}) \simeq 1/24 \times 10^{-6}eVm$$

چون معمولا طول موج نور را بر حسب نانومتر به ما میدهند، بدنیست حاصل ضرب h در c را با یکای(الکترون ولت نانومتر) به دست آوریم:

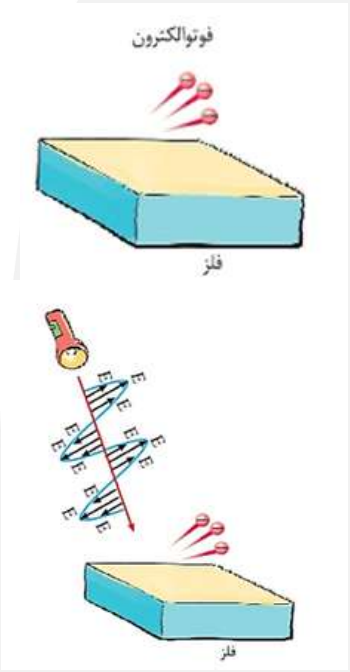
$$hc = 1/24 \times 10^{-6}eV\cancel{m} \times \frac{1nm}{10^{-9}\cancel{m}} \Longrightarrow hc = 1240eV\ .nm$$

نکته

بهتر است مقدار نهایی به دست آمده را حفظ باشید و اگر در تستی مقدار ثابت پلانک را به شما ندادند، به جای hc مقدار بالا را بگذارید؛ البته در این صورت، حتما باید طول موج را بر حسب نانومتر در رابطه قرار دهید.

پدیده فتوالکتریک

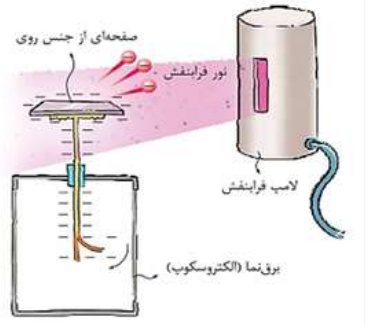
یکی از پدیده هایی که در اواخر قرن نوزدهم میلادی، فیزیک کلاسیک را به طور جدی به چالش کشیده بود پدیده فتوالکتریک بود



داستان از این قرار است که گاهی تابش نور بر سطح یک فلز سبب می شود الکترون هایی از سطح فلز جدا شده و به اطراف پرت شوند. جداشدن الکترون از سطح فلز بر اثر تابش نور را ((اثر فوتوالکتریک)) و الکترون های جداشده را ((فوتو الکترون)) می نامیم. شکل رو به رو، تصویری از این پدیده را نشان می دهد.

از دیدگاه کلاسیکی، توضیح اثر فوتو الکتریک چندان سخت به نظر نمی رسید! نور یک موج الکترومغناطیسی است و چنان که در شکل رو به رو می بینید، یک میدان الکتریکی (E)در آن وجود دارد در فیزیک ۲ دیده بودید که میدان الکتریکی به بارهای الکتریکی نیرو وارد میکند. به این ترتیب، وقتی میدان الکتریکی موجود در نور به الکترون های فلز می رسد، به ان نیرویی وارد می کند که به صورت زیر قابل محاسبه است:

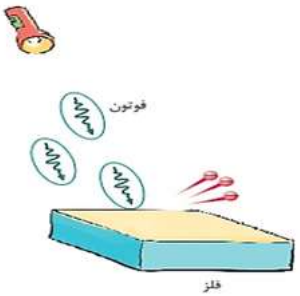
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\circ}} \Rightarrow \vec{F} = q_{\circ}\vec{E} = -e\vec{E}$$



این نیرو الکترون های فلز را به نوسان در می آورد و وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون ها به قدر کافی بزرگ شود، انرژی جنبشی لازم برای جداشدن از سطح فلز را می یابند و از فلز جدا می شوند. اگر این توضیح درست باشد، باید اثر فوتوالکتریک با هر بسامد نوری رخ دهد؛ در حالی که آزمایش نشان می دهداین اثر، فقط با بسامدهای خاصی از نور رخ می دهد. به عنوان مثال، در آزمایش هایی که نخستین بار توسط هرتز انجام شد، به کلاهک برق نمایی که بار منفی داشت، نور فرا بنفش تابیده شد. تابش این نور چنان که در شکل رو به رو می بینید سبب کم تر شدن زاویه بین دو برگه برق نما شد و دلیل آن، جدا شدن تعدادی از الکترون های کلاهک از برق نما بود. اگر در همین آزمایش از نور مرئی استفاده می شد، تغییری در زاویه برگه ها پدید نمی آمد؛ یعنی الکترونی از کلاهک جدا نمی شد. با این توضیحات، نخستین چالش برای فیزیک کلاسیک این بود که چرا اثر فوتو الکتریک با هر بسامد نوری رخ نمیدهد.

یک مشکل دیگر هم وجود داشت! بنا بر الکترومغناطیس کلاسیک، اگر شدت نور افزایش می یافت، دامنه میدان الکتریکی موجود در نور نیز چنان که در ابتدای این درس گفتیم، باید افزایش پیدا می کرد. با افزایش میدان الکتریکی، نیروی بیشتری به الکترون های فلز وارد می شد و انتظار می رفت فوتو الکترون ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج می شوند. مشکل این جا بود که آزمایش، چنین چیزی را تایید نمی کرد و نشان می داد با افزایش شدت نور تابیده بر فلز، انرژی جنبشی هر یک از فوتوالکترون های خارج شده از فلز هیچ تغییری نمی کند. نزدیک به ۲۰ سال فیزیک دانان تلاش کردند تا این پدیده را توجیه کنند؛ اما ناموفق بودند. در سال ۱۹۰۵ میلادی انیشتین توانست با استفاده از مفاهیم فیزیک جدید، این پدیده را توضیح دهد و به همین دلیل در سال۱۹۲۱میلادی، جایزه نوبل فیزیک را از آن خود کرد.

نظریه انیشتن در مورد فتو الکتریک



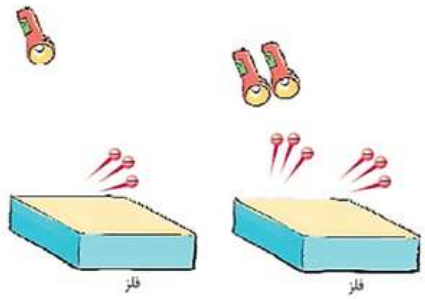
اینشتین برای توضیح اثر فوتوالکتریک از مفهوم فوتون که پیش تر توسط پلانک مطرح شده بود، کمک گرفت. بنابر نظر اینشتین وقتی نوری با یک طول موج یا بسامد معین (نوری تکفامی) بر سطح فلزی می تابد، همانند شکل مقابل بارانی از فوتون ها بر سطح فلز می تابد؛ اما هر الکترون فلز، صرفا می تواند با یک فوتون بر هم کنش داشته باشد. انرژی یک فوتون توسط یک الکترون جذب می شود. بخشی از این انرژی، صرف جدا کردن الکترون از فلز می شود و الکترون به طور آنی از فلز خارج می شود. بقیة انرژی فوتون، به الکترون خارج شده از فلز (فوتوالکترون) انرژی جنبشی می دهد. آشکار است که انرژی فوتون باید برای این دو منظور (یعنی کندن الکترون از فلز و دادن انرژی جنبشی به آن) کافی باشد و اگر اینطور نباشد، اصلا اثر فوتو الکتریک رخ نمی دهد.

حتما الان فهمیدید که چرا اثر فوتوالکتریک با هر بسامد نوری رخ نمی دهد! انرژی یک فوتون طبق رابطة $E=hf$ به بسامد نور بستگی دارد و اگر این بسامد از حد معینی کم تر باشد، انرژی فوتون به حدی نیست که بتواند الکترون را از فلز جدا کند. به کمترین بسامد نوری که بتواند الکترون را از فلز جدا کند، بسامد آستانه می گویند. به این ترتیب برای آنکه نور بتواند الکترون ها را از فلز جدا کند. باید بسامد آن از بسامد آستانه بیشتر و یا حداقل مساوی با آن باشد. همانگونه که احتمالا در درس شیمی خود هم دیده اید، الکترون های فلزهای مختلف، وابستگی یکسانی به فلز ندارند و جدا کردن برخی از آن ها، از فلز ، آسان تر از برخی دیگر است؛ بنابراین انتظارداریم که بسامد آستانه به جنس فلز بستگی داشته باشد

سوال مهم

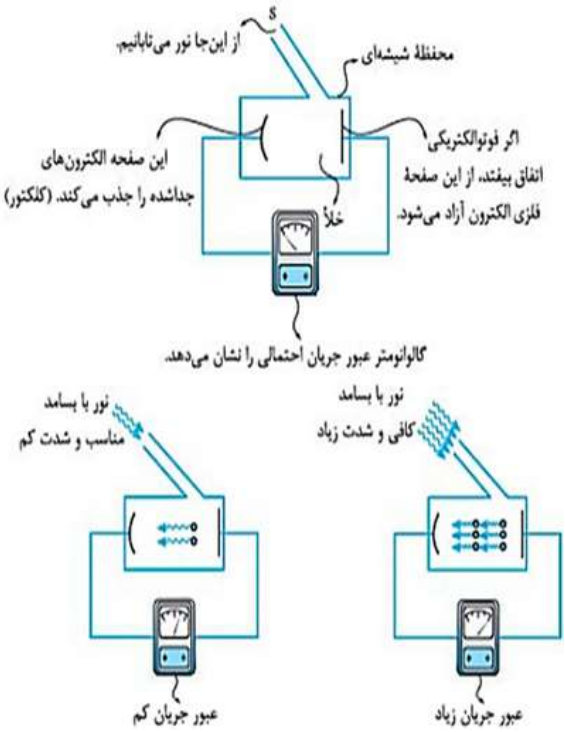
گفتیم با افزایش شدت نور تابیده به فلز، انرژی جنبشی الکترون های خارج شده تغییر نمی کنه.به نظر شما اینشتین چجوری این مشکل رو حل کرد؟

با توجه به این که اینشتین اعلام کرده بود که هر الکترون فلز فقط با یک فوتون بر هم کنش دارد، این مشکل حل شده بود! توجه کنید که از دیدگاه کوانتومی، وقتی شدت نور تکفامی را بدون تغییر بسامدش افزایش می دهیم، در حقیقت تعداد فوتون های باریده بر سطح فلز افزایش می یابد؛ اما چون هر الکترون فقط انرژی یک فوتون را جذب می کند، فرقی به حالش نمی کند و با همان



انرژی جنبشی سابق از فلز بیرون می آید. در این حال فقط تعداد فوتوالکترون های خارج شده از فلز بیشتر می شود. این موضوع را در شکل های رو به رو، به خوبی می بینید. در شکل سمت راست برای دو برابر کردن شدت نور، از دو لامپ مشابه استفاده شده است. به یاد دارید که برای نور مرئی، بسامد یا طول موج بیانگر رنگ نور است. به این ترتیب در هر دو شکل، باید رنگ نور لامپ ها شبیه یکدیگر باشد تا بتوان گفت بسامد نور تغییری نکرده است.

یک آزمایش توپ!! برای بررسی بهتر اثر فوتو الکتریک



ابزار آزمایش: دستگاهی مطابق شکل رو به رو را در نظر بگیرید. از روزنه S نور تکفام (یا همون تک بسامد خودمون!) را به صفحه فلزی هدف می تابانیم. اگر فوتوالکتریک اتفاق بیفتد، الکترون ها از سطح صفحه فلزی، آزاد می شوند. فوتوالکترون های گسیل شده توسط صفحه جمع کننده (کلکتور) جذب شده و از طریق سیم به گالوانومتر (آمپرسنج عقربه ای حساس) منتقل می شود. بنابراین گالوانومتر عبور جریان الکتریکی را نشان می دهد. هر چه تعداد فوتو الکترونها بیشتر باشد، گالوانومتر عدد بزرگ تری را نشان می دهد

مشاهدات آزمایش: اگر نوری با بسامد کافی به صفحه فلزی بتابانیم، گالوانومتر عبور جریان را نشان می دهد و هرچه شدت نور تابانده شده بیشتر باشد، تعداد فوتوالکترون های کنده شده از صفحه فلزی و در نتیجه جریان نشان داده شده توسط گالوانومتر بیشتر می شود.