# تئوری کوانتا

از : ضیاء موجدی

**ادامه ازشماره قبل**

بطوریکه در مقاله پیش دیدیم فرضیه نیوتون مبنی برذره‌ای بودن‌نورجای خودرابه‌تئوری موجی نور داد ونظریه نیوتن تا قرنی که در آن زندگی میکنیم به بوته فراموشی سپرده شد . تا اینکه برخی اطلاعات تجربی بدست‌آمد که با فرض پیوسته بودن انرژی نورانی توضیح آنها ممکن‌نبود. مانند تشعشع جسم سیاه وپدیده‌فتوالکتریك . در قسمت پیش‌دیدیم که چگونه پلانك توانست به کمك نظریه انقلابی کوانتا که خود پایه‌گذارآنست توزیع تشعشع جسم سیاه را در قسمتهای‌مختلف طیف بخوبی توجیه کند. براساس این نظریه در سال ۱۹۰۵ انیشتن اثر فوتو الکتریك وقوانین آنرا توضیح داد .

هر گاه برروی‌صفحه فلزی اشعه ماوراء بنفش با طول موج بسیار کوتاه بتابد ازفلزالکترون کنده خواهد شد وتا موقعیکه نور به صفحه میتابد جریان دائمی الکتریسیته ازآن بخارج ادامه خواهد یافت. این‌مطلب قابل‌توجه است که باکاهش شدت نورتعداد الکترونهائی که در واحد زمان ازصفحه کنده میشود متناسب باآن کم‌خواهد شد ولی سرعت الکترونهای خارج شده بهیچوجه تغییر نمیکند . واضح است که نمیتوان این نمود را بکمك نظریه موجی‌نورتوضیح داد زیرا برطبق‌این نظریه هرچه شدت‌نور کمترباشد الکترونهای کنده شده انرژی کمتری را دریافت میدارند ودر نتیجه بایستی با سرعت کمتری بخارج پرتاب شوند . همانطوریکه هنگام وزش باد هرچه شدت وزش کمترباشد شاخه‌هائی که از درختان کنده میشوند نیز باسرعت کمتری پرتاب میگردند. امادر حقیقت اگر طول موج تابیده شده را تغییر ندهیم و بشدت آن تا آنجا که ممکن است بیافزائیم هیچ الکترونی که سرعت آن بیش ازسرعت الکترونهای کنده شده (باشدت‌نور کمتر ولی با همین طول‌موج) باشد بدست نمیآید . اگرهر الکترون قبل ازپرتاب شدن‌ازصفحه‌بتدریج‌ازمنبع نورآنقدر انرژی‌میگرفت تا انرژی آن بمقدار معینی میرسید فهم این موضوع ممکن بود ولی‌در اینصورت اگر شدت نور بسیار کم باشدبایستی‌ازموقع‌تابیدن‌نور تا خارج‌شدن‌الکترون زمان معینی طول‌بکشد. درحالیکه تجربه خلاف این را نشان میدهدودیده میشود که تحت این شرائط‌نیز بین شروع تاباندن نوربه صفحه‌وجدا شدن الکترون حتی فاصله‌ای که مساوی کوچکترین کسر قابل اندازه گیری از یك‌ثانیه باشد وجودندارد. بطوریکه ملاحظه میشود تئوری موجی نور برای توضیح این پدیده دچاراشکال‌میشود. بهمینجهت دانشمندان‌ناچار شدند که‌برای‌توضیح اثرفتوالکتریك، تئوری نیوتون مبنی برذره‌ای بودن نور را دوباره احیا کنند و بطوریکه اشاره شد این کار بوسیله انیشتین با اتکاء به تئوری کوانتا عملی گردید . اوکوانتوم نور یعنی کوچکترین مقدار انرژی نورانی را فوتون نامید.

تئوری کوانتا بسهولت اثر فتو الکتریك را

توضیح میدهد. زیرا برطبق آن هنگامیکه کوانتومهای نور یا رگبار فوتونها برورقه نازك فلزی میتابد، دراثر برخورد هرفوتون بایك اتم یك الکترون از آن خارج میگردد واین حادثه برای تمام شعاعهای یك نور یکرنگ به یك طریق روی میدهد، زیرا همه فوتونهای یك نور یکرنك ( مثلا نوربنفش ) دارای انرژی یکسان هستند و در اثر برخورد آنها با صفحه فلزی الکترونهائی که خارج میشوند دارای انرژی یکسان ودرنتیجه سرعت یکسانند . با افزایش شدت نوریعنی افزایش تعداد فوتونهای تابانده شده به فلز تعداد الکترونهای کنده شده نیز بیشتر میشود ولی انرژی هرالکترون ودرنتیجه سرعت آن تغییر نمی یابد .

نور یکرنك که برطبق تئوری موجی دارای طول موج مشخص است ازفوتونهائی ساخته میشود که همگی دارای انرژی معینی هستند انرژی هرفوتون نسبت عکس با طول موج آن دارد وبعبارت دیگر با فرکانس ( $\gamma$ ) یعنی تعداد ارتعاشات آن در یك ثانیه نسبت مستقیم دارد. بنابراین انرژی کوانتای نور نسبت به رنگهای مختلف فرق میکند. مثلا انرژی فوتون متعلق بنور قرمز بایستی نصف انرژی فوتون متعلق بنور بنفش باشد زیرا طول موج نور قرمز دوبرابر طول موج نوربنفش است . نسبت انرژی کوانتای نور به فرکانس آن در مورد هر نوری یکسان ومساوی ثابت پلانك (h) می باشد بنابراین یك فوتون بوسیله مقدار انرژی خود مشخص میگردد : $\varepsilon = h\gamma$

با استفاده ازتئوری نسبیت میتوان جرمی برابر $m = \frac{\varepsilon}{C^2} = \frac{h\gamma}{C^2}$ به فوتون نسبت داد وبا قبول این که مفهوم مقدار حرکت بکار بردنی است چنین خواهیم داشت :

$$P = mC = \frac{h\gamma}{C}$$

در جدول زیر مقادیر $\varepsilon$ و $m$ و $P$ فوتونهای انواع مختلف تشعشع الکترو مغناطیسی آورده شده است .

| نوع تشعشع | $\lambda$ | $\varepsilon$ | m (گرم) | P گرم سانتیمتر / ثانیه |
|---|---|---|---|---|
| امواج رادیوئی | ۲۰۰۰ متر | $1 \times 10^{-21}$ (ارگ) $= 10^{-9} \times 62/.$ الکترون ولت | $1/1 \times 10^{-42}$ | $3/3 \times 10^{-32}$ |
| نورمرئی | $6000\ A^\circ$ | $3/3 \times 10^{-12}$ (ارگ) $=$ ۲ الکترون ولت | $3/6 \times 10^{-33}$ | $1/1 \times 10^{-22}$ |
| اشعه X | $1\ A^\circ$ | $19/8 \times 10^{-9}$ (ارگ) $=$ ۱۲۴۰۰ الکترون ولت | $2/2 \times 10^{-29}$ | $6/6 \times 10^{-19}$ |

خواص ذره‌ای نور موقعی آشکار میشود که انرژی تشعشع تغییر یابد (مانند اثرفوتو الکتریك) ولی در اعمالی که همراه با تغییر مقدار انرژی نباشد (مانند دیفراکسیون) این موضوع ملاحظه نمیشود.

**معادله انیشتین برای اثرفوتوالکتریك ـ** انیشتین برای اثر فوتو الکتریك معادله زیررا بدست آورد :

$$h\gamma = {}^1/_2 m v^2 + P$$

طبق این معادله انرژی فوتون برخورد کننده به اتم مساوی است با حاصل جمع انرژی حرکتی الکترون خارج شده ازاتم $(\frac{1}{2} m v^2)$ و $P$ یعنی آنمقدار انرژی که لازمست صرف گردد تا الکترون را ازماده جدا سازد . بعبارت دیگر در برخورد فوتون بماده یك قسمت از انرژی فوتون برای غلبه به قوائی صرف میشود که الکترون را درماده نگاهمیدارند ومقدار آن بستگی به جنس ماده مورد تابش دارد . از این معادله آشکار میشود که در پدیده فوتو الکتریك بایستی $h\gamma$ بزرگتر از $P$ باشد. درغیراینصورت الکترون از اتم کنده نخواهدشد. بعبارت دیگر فرکانس نور تابیده

شده به ماده بایستی ازیك حداقل که فرکانس حد یا فرکانس آستانه ( threshold ) نامیده میشود بیشتر باشد. فرکانس آستانه برای اجسام مختلف بطور تجربی بدست میاید وچنانچه آنرا با $\gamma_0$ نشان دهیم خواهیم داشت :

$$h\gamma = \frac{1}{2}mv^2 + h\gamma_0$$

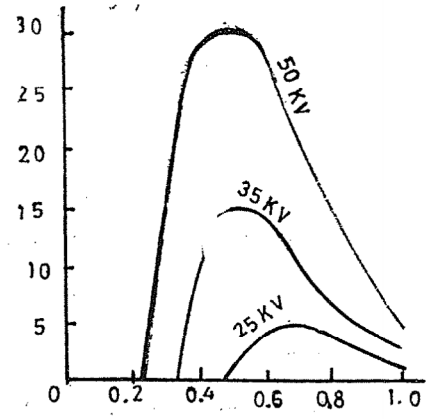
$$\frac{1}{2}mv^2 = h(\gamma - \gamma_0)$$

این فرم معادله اینشتین بوسیله میلیکان(۱۹۱۶) مورد آزمون قرار گرفت . اوبا تعیین پتانسیل لازم برای متوقف کردن صدورالکترون، انرژی حرکتی فوتوالکترونها را برای فرکانسهای مختلف نورحساب کرد چنانچه این پتانسیل را با U نشان دهیم داریم :

$$Ue = \frac{1}{2}mv^2 = h(\gamma - \gamma_0)$$

اگر مقادیر U را بعنوان تابعی از مقادیر $\gamma$ در نظر بگیریم نمایش هندسی آن خط مستقیمی خواهد شد که ضرب زاویه آن $\frac{h}{e}$ میباشد. باین ترتیب میلیکان توانست از آزمایش با فلز سدیم برای h مقدار $۶/۵۷ \times ۱۰^{-۲۷}$ را بدست آورد که با مقدار بدست آمده توسط پلانك از روی تشعشع جسم سیاه بخوبی تطبیق میکند .

در پدیده فوتوالکتریك انرژی فوتون تبدیل به انرژی الکترون میشود ولی درتولید اشعه X عمل عکس انجام میگیرد . وقتی فلزی را با اشعه کاتدی یعنی با الکترونهائی که انرژی زیاد دارند بمباران کنیم اشعه X تولید میشود. چنانچه الکترونها حداقل انرژی لازم را نداشته باشند اشعه X تولید نمیشود. اگر الکترون ازدستگاهی با اختلاف پتانسیل V عبور کند انرژی الکترون مساوی Ve خواهدبود. با بالابردن V میتوان انرژی الکترون را به مقدار لازم برای تولید اشعه X رسانید. طبق تئوری کوانتا Ve مساوی است با $h\gamma$ که $\gamma$ فرکانس اشعه X صادره میباشد ولی چون ضمن اصابت الکترون باتم تمام الکترونها انرژی ما کزیمم Ve را از دست نمیدهند ، بنابراین اشعه تولید شده نیز دارای فرکانس یکسان نخواهد بود. درشکل زیر شدت اشعه X منتشره از آلومینیوم بعنوان تابعی ازطول موج این اشعه نمایش داده شده است :




بطوریکه ملاحظه میشود با بالا بردن اختلاف پتانسیل طول موج اشعه X که انرژی ما کزیمم را دارد کوتاه تر میشود . ازشکل فوق هم چنین نتیجه میشود که تصادم هائی که ضمن آن الکترونها تمام انرژی خود را از دست میدهند نسبتاً نادرند واین الکترونها اشعه X با کوتاهترین طول موج را برای هر اختلاف پتانسیل تولید میکنند. بنابراین ما کزیمم انرژی که یك الکترون میتواندازدست بدهد مساوی است با Ve . چنانچه این انرژی رامساوی با انرژی فوتون با کمترین طول موج بگیریم (یا با فرکانس ما کزیمم) خواهیم داشت :

$$Ve = h\gamma max = \frac{hC}{\lambda min}$$

درمعادله فوق C سرعت نوراست واز آن رابطه زیر نتیجه میشود که بقانون Duane – Hunt معروف است :

$$\lambda min = \frac{hC}{Ve}$$

این دانشمندان درسال۱۹۱۵ با استفاده ازاین رابطه برای h عددی بدست آوردند که بامقادیر بدست آمده بروشهای دیگر تطبیق میکرد واین بنوبه خود تئوری کوانتا و درستی نظریه پلانك را تأیید نمود.

**اثر کمپتون (Compton Effect)**

مدرك مهم دیگـری در تأیید تئوری کـوانتا بوسیله کمپتون درسال ۱۹۲۳ بدست آمد.

اگر اشعه X باطول موج یکسان براجسامی با جرم اتمی کوچك (مانند کربن) بتابد اشعه پخش شده از آن علاوه برطول موج اشعه تابیده شده بـر جسم دارای طول مـوجهای بلند تـری نیز میباشد. طبق نظریه کمپتون دربرخورد فوتون باالکترون تمام برخوردها منجر به صدور الکترون نمیگردد. در برخی از آنها قسمتی ازانرژی فوتون بوسیله الکترون گرفته میشود واین امر همراه با کم شدن انرژی فوتون و درنتیجه کاهش فرکانس یا افزایش طول موج آن است. مطابق تحقیقات وتجربیات کمپتون این تصادم برطبق قـوانین ضربـه الاستیك واصل بقای انـرژی وبقـای حرکت انجام میگیرد. کمپتون با فرض اینکه اشعه X از ذراتی (فوتونها) با انرژی $h\gamma$ ومقدارحرکت $\frac{h\gamma}{C}$ تشکیل شده است برای تغییرطول موج اشعه X پخش شده ازجسم رابطه زیررابدست آورد.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mC}(1-cos\theta) = \%24(1-cos\theta)$$

دراین رابطه m جرم الکترون وC سرعت نور و$\theta$ زاویه اشعه پخش شده نسبت به امتداد اشعه تابش میباشد. بر طبق این معادله تغییر طـول موج اشعه X مستقل ازطول موج اشعه تابشی میباشد. این موضوع بوسیله آزمایش تائید شده است زیرا نتایج آزمایش بـا $\Delta\lambda$ محاسبه شده از رابطه فوق بخوبی تطبیق میکند.

## منابع


1. Glastone, Textbook of Physical Chemistry.
2. Eggert, Lehrbuch der Physikalischen Chemie.
3. A. Kitaigorodsky, Introduction to Physics.
4. Smith and Cooper, Elements of Physics.
5. V. Kondratyev, the Structure of Atoms and Molecules.