تئوری کوانتا

از: مهندس ضیاء موجدی

تحقیقات وسیع ودقیق فیزیکی وشیمیائی درقرن بیستم آنچه راکه برخی ازفلاسفه یونان قدیم درباره طبیعت انفصالی مادّه پیش‌بینی کرده بودند تأیید کرد. امروزه اصطلاح اتُم را به یك ذرّه تجزیه ناپذیر اطلاق نمیکنیم بلکه ساختمانی‌راد رنظرمیگیریم‌که بنوبه‌خود ازذرات ساده تری تشکیل یافته است ولی چیزی راکه اتُم می نامیم نمیتوان بااتمهای فلاسفهٔ یونان قدیم مقایسه کرد اما میتوان ذراتی‌مانند الکترون وپروتون ونوترون راباآنها سنجید.

درسال ۱۹۰۰ که هنوز بسیاری ازدانشمندان درواقعیت اتم هاتردید داشتند و آزمایشات کافی برای اثبات وجود آنهانیزانجام یافته‌بود ماکس‌پلانك دانشمند بزرگ آلمانی‌نظریه‌ای اظهارداشت‌که درپیشرفت وتکامل‌نظریه اتمی تاثیری شگفت‌کرد وباعث شد که مفهوم‌اتمی‌بودن تاحدودی بسیاروسیع ترازآنچه که‌سابقاتصور میشد توسعه یابد. این نظریه همان"تئوری کوانتا" یانظریهٔ اتمی انرژی است.

ازچندقرن پیش‌طبیعت نور مورد بحث بود درقرن هفدهم نیوتون فرضیه ذرهای بودن نوررااظهارکرد که برطبق آن نورازذرات بسیار ریز وبدون وزن تشکیل شده بود وباسرعت فوق العاده زیاد ازجسم نورانی بیرون می پرید

این نظریه بااطلاعات مقدماتی که درآن زمان درباره خواص‌نوردا شتند همانقدرقابل تأیید بنظرمیرسیدکه نظریه مربوط بساختمان‌اتصالی وپیوسته بودن نورمورد قبول بودکه‌برطبق آن انرژی نورانی بطورد لخواه وتاآنجاکه‌ممکن‌باشد قابل تقسیم است.

همانمقدارانرژی نورخورشیدکه بریك سانتیمتر مربع سطح زمین میتابد درنزدیکی ستاره نپتون به روی ۹۰۰ سانتیمتر مربع پخش میگردد و در نزدیکی سیریوس‌همین مقدارانرژی باندازهای رقیق میگردد که برسطحی تقریبا معادل ده هزار کیلومترمربع تابیده میشود وتا آنجاکه توانائی چشم انسان اجازه میدهد ملاحظه میشود که این نوردراین سطح بطورکاملا یکنواخت پخش‌شده است.

بعد اًتئوری موجی نورکه مدارك تجربی کافی برای اثبات آن بدست آمدوبرطبق انرژی بطورپیوسته درفضاپراکنده میشود امکان رقیق شدن انرژی نورانی رابطورنامحدود تأیید کرد. طول موج نور را میتوان بادقت اندازه‌گیری‌کرد. بعلاوه عددهائی مانند پلاریزاسیون ودیفراکسیون رافقط بوسیلهٔ نظریهٔ موجی بودن نور میتوان توجیه کرد.

اواخرقرن نوزدهم تمام مدارك تجربی به نفع

تئوری موجب بود ن نورجمع آوری شده بود باین جهت نظریه ذره ای بود ن نورکنارگذاشته شد وتاقرنی‌که درآن زندگی میکنیم بدست فراموشی سپرده شد . ولی دراواخرقرن نوزدهم واوایل قرن بیستم بعضی اطلاعات تجربی بدست آمد که توضیح آنها باتئوری موجی بود ن نور وفرض‌پیوسته بود ن انرژی نورانی ممکن نبود مانند تابش‌جسم سیاه ونمود فوتوالکتریك.پلانك درنتیجه یك سلسله مطالعات بسیارعمیق در باره قوانین مربوط به تابش‌جسم سیاه تئوری کوانتایانظریه اتمی انرژی رابنیان گذارد برطبق این نظریه نه تنهاماده بلکه نورواقسام دیگرانرژی نیزساختمان ذره ای واتمی دارند . پلانك کوچکترین مقدارانرژی را "کوانتوم" نامید (کوانتاجمع کوانتوم است) وبعدا اینشتین کوانتوم نوررا "فوتون" نام نهاد .

● تابش‌جسم سیاه

منظورازجسم سیاه جسمی است که خاصیت جذب کامل تابش‌راداشته باشد یعنی هرگونه نوری راهنگام تابش‌کاملا جذب کند . بطوریکه دیده میشودجسم سیاه درحرارت معمولی از خود نوری‌منعکس‌ومنتشرنمیسازدودرنتیجه سیاه بنظرمیاید . برای آزمایشهای مربوط به جذب وانعکاس‌نوربجای جسم سیاه یك ظرف توخالی راکه درون آن ازدوده پوشیده شده است و یك منفذ کوچك درآن تعبیه شده بکارمی‌برند (عملا یك کوره الکتریکی بادریچه کوچك را میتوان بعنوان یك جسم سیاه درنظرگرفت . درحال عادی کلیهٔ تشعشع نورانی‌که ازاین منفذ داخل ظرف شود درنتیجه انعکاسهای متوالی بوسیله سطح داخلی‌آن جذب خواهد شد برعکس‌وقتی جسم‌راگرم‌کنند ازمنفذآن اشعهٔ نورانی منتشرمیگردد . هنگامی که درجه‌حرارت آن کم باشد فقط اشعهٔ حرارتی ازآن صادر میگردد ولی باافزایش‌درجه حرارت نورقابل رؤیت ازآن تابش‌می کند . همانطورکه این موضوع درآهن گداخته مشاهده میشود .

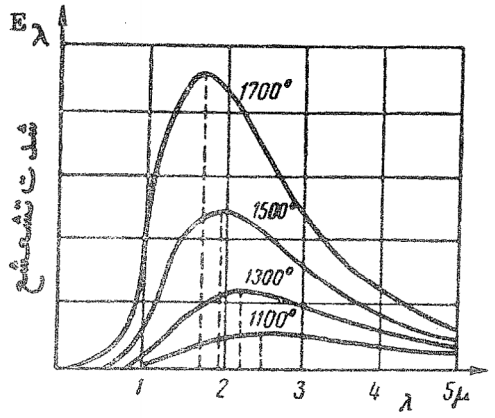
وقتیکه آهن راگرم می‌کنیم رنگ آن ازسیاه به قرمزتیره وبعد قرمز روشن وبالاخره به سفید تغییرمی کند .

باین جهت درحرارت های معمولی منفذ این ظرف خالی،از محیط اطرافش‌تاریکتر به نظر می آید ولی موقعی که درجه حرارت ظرف خیلی بالا رود این نقطه روشن تر از محیطش‌خواهد شد زیرا دراین حالت همان نوری را کهجذب می کرد اکنون منتشر میسازد.بنا براین جسم سیاه دراین حالت بعنوان مؤثرترین جسم تابش‌کننده انرژی نورانی محسوب میگردد زیرا وقتی جسم را گرم کنند اشعهٔ صادر شده از منفذآن در درجه حرارت معین درمقایسه با سایر اجسام که قادر به جذب تمام شعاعهای نورانی نیستند،حد اکثر شدّت را داراخواهد بود .

میتوان نوری را که این جسم منتشرمیسازد نظیر نور معمولی بکمك یك منشور تجزیه کرد وازروی طیف آن مقدارانرژی نورهای مختلف را اندازه گرفت مسئله ای که پلانك را موفق بوجود آوردن تئوری کوانتا کرد این بود :توزیع انرژی تشعشع

جسم سیاه درقسمت های مختلف طیف چگونه است؟ اشعه مادون قرمز ،زرد ،بنفش وماوراء بنفش به چه نسبتی درآن وجود دارد وتوزیع شدت آنها در طول موجهای مختلف طیف به چه ترتیب انجام می گیرد ؟ .

این مسئله قبل از پلانك بوسیله محققان دیگر با دقت از نظر تئوری وتجربی بررسی شده بود ولی تحقیق نظری آن دچار اشکال قابل توجهی شده بود زیرا نتایجی بدست میداد که با نتایج تجربی متناقض بود . نتایج آزمایش مربوط به تشعشع جسم سیاه درشکل زیر آورده شده است :



شدت تشعشع یا انرژی نورانی بعنوان تابعی ازطول موج برای درجات حرارت ۱۱۰۰ و ۱۳۰۰ و ۱۵۰۰ و ۱۷۰۰ (برحسب درجه حرارت مطلق) نشان داده شده بطوریکه ملاحظه میشود برای این درجات حرارت حدود تغییرات تشعشع در نقطه نسبتا باریکی از طیف یعنی بین ۱ تا ۵ μ متمرکز شده است وفقط برای درجات حرارت بالا ست که قسمتی ازنور منتشر شده در قسمت مرئی می باشد وقسمت اعظم انرژی نورانی مربوط به امواج حرارتی ومادون قرمز است . توزیع انرژی نورانی برای هر درجه حرارت معین دارای ماکزیمم مشخصی است ،نکته جالب توجه این است که با بالا رفتن درجه حرارت نقطهٔ ماکزیمم بطرف طول موجهای کوچکتر میگراید . بعبارت دیگر متوسط طول موج تشعشع کوتاهتر میگردد . درعمل نیز می بینیم کهبا افزایش درجه حرارت یك قطعه فلز، رنگ آن از قرمز بقرمز روشن وبالاخره زرد وسفید تغییرمی کند یعنی تشعشع ازمنطقه مادون قرمز به منطقه مرئی توسعه می یابد . تغییر مکان λ_m مربوط به طیف با شدت ماکزیمم ،طبق قانون وین (Wien) انجام میشود که بطور تجربی بوسیله وین بدست امده است .

$$\lambda_m = \frac{2886}{T}$$

طول موج در رابطهٔ فوق برحسب میکرون و T برحسب درجه حرارت مطلق است از شکل فوق همچنین نتیجه میشود که با افزایش T شدت تابش بطور سریع افزایش می یابد چنانچه E_λ شدت برای طول موج معین یا شدت کل تابش جسم سیاه بطریق زیر بدست میاید :

این انتگرال سطح زیرمنحنی تشعشع را نشان میدهد وازتوان چهارم تبعیت میکند

$$R = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$

(قانون اشتفان-بولتسمان Stefan - Boltzmann)

$$R = \sigma T^4 \quad erg/Cm^2Sec$$

در رابطهٔ فوق یك عدد ثابت است که در سیستم C.G.S مقدار آن تقریبا برابر است با 5.7×10^{-5} ازدوقانون ذکرشده درفوق

(قانون وین وقانون اشتفان ــ بولتسمان) در تعیین درجه حرارت اجسام داغ که در فاصله دور قرار دارند استفاده میشود باین طریق درجهٔ حرارت خورشید وستارگان وتودهٔ آتشی که از انفجار بمب اتمی حاصل میشود تعیین میگردد ۰ اکنون برمیگردیم به سئوالی که در فوق مطرح شد ۰

توزیع انرژی تابش جسم سیاه در قسمت های مختلف طیف چگونه است؟ وین ورایلی (Rayleigh) و جینز (Jeans) براساس قوانین فیزیک کلاسیک دو فرمول برای توزیع انرژی تابش جسم سیاه بدست آوردند فرمول وین بقرار زیر است :

$$E_\lambda = \frac{\alpha}{\lambda^5} e^{-\frac{\beta}{\lambda t}}$$

این رابطه در مورد حرارت های پائین و امواج کوتاه صادق است (α و β ثابت هستند) فرمول رایلی ــ جینز بقرار زیر است :

$$E_\lambda = \frac{c}{\lambda^4} kt$$

c در این رابطه سرعت نور و k ثابت بولتسمان یعنی مقدار ثابت گازها برای یک ملکول میباشد $(\frac{R}{N})$ این رابطه برای حرارت های بالا و امواج بلند تا حدود اشعه مادون قرمز صادق میباشد ۰

اثبات این رابطه ریاضی از جنبه نظری برپایهٔ تحقیقاتی بود که براساس تئوری حرکتی ماده مقایسه انرژی منابع مختلف نور را در جسم سیاه با انرژی اتمهای مختلف آن ممکن میساخت اما بطوریکه ذکر شد این رابطه فقط در مورد اشعه با طول موج بلند با نتایج تجربی تطبیق میکند وهرچه طیف اشعه صادره بطرف طول موجهای کوتاهتر برود دقت آن کمتر میگردد ۰ در مورد طول موجهای بسیار کوتاه نتایج حاصل از این رابطه بکلی با نتایج حاصل از تجربه متناقض میشود ۰ درحالیکه اگر قوانین فیزیک کلاسیک و نظریهٔ حرکتی نمودهای حرارتی صحیح باشد نبایستی رابطه رایلی ــ جینز که برپایهٔ این قوانین بنا شده است دچار چنین تناقضی گردد ۰ زیرا برطبق این رابطه مقدار انرژی طیف در مورد شعاعهائی که طول موج بسیار کوتاه دارند باید بینهایت زیاد باشد در صورتیکه اگر مبنای تئوری حرکتی ماده تابش جسم سیاه را نتیجهٔ نوسانات اتمها و بارهای الکتریکی موجود در آنها بدانیم چون انرژی موجود در جسم سیاه نهایتی دارد ومقدارش معین است بنابراین مقدار انرژی تابش آن نیز باید نهایت داشته باشد ونمیتواند بینهایت باشد ازاینرو قاعدتاً بایستی در قوانین فیزیک که قانون تشعشع رایلی ــ جینز برپایهٔ آنها بنا شده است نقصی وجود داشته باشد و باین جهت باید مورد تجدید نظر قرار گیرد ۰

این عمل بوسیله پلانک انجام شد ۰ او ناگزیر شد برای توضیح تابش جسم سیاه بجای تئوری موجی نور نظریهٔ انقلابی کوانتا را جایگزین کند ۰ رابطه‌ای که باین ترتیب بدست آورد توزیع انرژی تابش جسم سیاه را در قسمتهای مختلف طیف بخوبی توجیه میکند ۰ برطبق این نظریه انرژی هر ذره مرتعش نمیتواند بدلخواه تغییر کند بلکه بایستی مساوی مضرب ساده‌ای از حاصلضرب یک عدد ثابت (ثابت پلانک h) در فرکانس یا تعداد ارتعاشات جسم در یک ثانیه باشد یعنی مضرب ساده‌ای از $h\nu$ باشد که کوانتوم

انرژی نامیده میشود .

قانون توزیع انرژی تابش جسم سیاه که توسط پلانک براساس نظریه کوانتا بدست آورده شد با رابطه زیر نشان داده میشود :

$$E_\lambda = \frac{h.C^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hC}{k\lambda t}} - 1}$$

در رابطه فوق علاوه بر ثابت C و k ثابت پلانک (h) نیز قرار دارد که مقدار آن برابر است با :

ثانیه × ارگ $6/625 \times 10^{-27}$

بعد (دیمانسیون) این ثابت که برتمام مباحث فیزیک اتمی جدید احاطه دارد برابر دیمانسیون اثر (action یا Wirkung) یعنی انرژی ضرب در زمان می باشد (ثانیه × ارگ) باتوجه باینکه $\lambda . \nu = C$ رابطهٔ فوق را میتوان چنین نوشت :

$$E_\lambda = \frac{C}{\lambda^4} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kt}} - 1}$$

باتوجه باینکه $h\nu$ مساوی باکوانتوم انرژی (ε) می باشد چنین داریم :

$$E_\lambda = \frac{C}{\lambda^4} \cdot \frac{\varepsilon}{e^{\frac{\varepsilon}{kt}} - 1}$$

ازرابطهٔ فوق معلوم میشود که تابش کننده با فرکانس ν نمیتواند مقادیر دلخواه انرژی بگیرد یا بدهد بلکه فقط مقادیر انرژی یا کوانتوم های انرژی را میتواند بدهد (یا جذب کند) که مقدار آنها بوسیله معادله اساسی زیر بدست میآید :

$$\varepsilon = h\nu$$

ε ــ مقدار انرژی کوانتوم صادر شده یا جذب شده را نشان میدهد برای مثال فرکانس نور سدیم برابر است با $5/0487 \times 10^{14}$ ثانیه$^{-1}$ بنابراین هر اتم سدیم که این نور را صادر میکند باید آنرا با انرژی :

ارگ $6/625 \times 10^{-27} \times 5/0487 \times 10^{14} = 3/369 \times 10^{-12}$

صادر کند نه بیشتر و نه کمتر .

بکمک تئوری کوانتا و قانون توزیع کمپلانک برای تابش جسم سیاه بدست آورد تغییرات انرژی بعنوان تابعی از طول موج امواج صادره از این جسم برای هر درجه حرارت وتمام مناطق طیف بیان میشود ونتایج بدست آمده از تئوری با نتایج تجربی بخوبی تطبیق می کند قانون اشتفان ــ بولتسمان وقانون وین از قانون پلانک بدست می آید ضمنا روابط بدست آمده بوسیله رایلی و جینزو وین بعنوان حالات خاص از این قانون توزیع نتیجه میشود . درحقیقت اگر تعداد ارتعاشات یک متحرک کوچک باشد در اینصورت مقدار $h\nu$ نیز کوچک خواهد بود ودر نتیجه مقدار انرژی این متحرک که مضرب ساده ای از این مقدار است میتواند بمقادیر خیلی اندک کم وزیاد شود در اینصورت تغییرات انرژی پیوسته بنظر میرسد بنابراین نتایج بدست آمده از تئوری کوانتا با نتایج فیزیک کلاسیک منطبق میگردد . باین ترتیب قانونی راکه پلانک برای تابش جسم سیاه بدست آورد اشکالاتی راکه روابط وین ورایلی ــ جینز با آن مواجه شده

بود برطرف ساخت وضمنا درستی قوانین فیزیک کلاسیک را در حدود معینی تائید کرد. بنابراین ملاحظه میشود که تغییرات انرژی برخلاف آنچه که بنظر میرسد صورت پیوسته ومتصل ندارد بلکه انفصالی وگسسته است. البته بایستی درنظر داشت که تئوری کوانتا بافرضیه ذره ای نورکه اول بارتوسط نیوتون بیان شد تفاوت زیاد دارد. ارتباط بین انرژی ذرات نوربا تعداد ارتعاشات آن در ثانیه بوسیله نیوتون تشخیص داده نشده بود ودراوضاع وشرایط زمان اونیزاین کارمیسر نبود تئوری کوانتابانشان دادن این ارتباط در حقیقت دوتئوری نوری متضاد یعنی تئوری موجی وتئوری ذره ای راسرانجام باهم مرتبط ساخت.

●●●

دنباله این مقاله درشماره آینده