حال می خواهیم مطالعه مباحث مکانیک کوانتوم را آغاز کنیم

فصل ۳ ـ خواص ذره گونه تابش الکترومغناطیسی

مقدمه :

تا اواخر قرن ۱۹، فیزیک از مکانیک کلاسیک (نیوتنی)، نظریه الکترومغناطیس ماکسول و ترمودینامیک تشکیل شده بود.

مکانیک کلاسیک برای مطالعه ماده و پیش بینی دینامیک اجسام ماری می پرداخت.

نظریه الکترومغناطیس به مطالعه امواج الکترومغناطیس و خواص تابش مشغول بود.

ترمودینامیک نیز به توصیف برهمکنش بین ماده و تابش می پرداخت.

با شروع قرن ۲۰، فیزیک کلاسیک با چالش های جدی روبه رو شد.

در حوزه فیزیک سرعتهای بالا و همچنین در حوزه میکروسکوپی در هنگام مطالعه مقیاس های اتمی و زیر اتمی، پدیده های نوظهوری مشاهده شدند که اصلاً با فیزیک کلاسیک قابل توضیح نبوده است.

به عبارت دیگر با پیشرفت ابزارهای آزمایشگاهی، آزمایشاتی در حوزه سرعت بالا و همچنین آزمایشاتی در حوزه مقیاس های اتمی انجام گرفت که قبل از آن به دلیل ضعف ابزارهای آزمایشی انجام نمی شده است. با مشاهده

پدیده های نوظهور ، دانشمندان سعی می کردند که با وسیله فیزیک کلاسیک نتایج تجربی جدید را توضیح دهند اما چنین امری ممکن نشد .

در ادامه تلاش دانشمندان ، ۲ نظریه جدید ظهور کرد .

در حد سرعتهای بالا ، انیشتین در سال ۱۹۰۵ نظریه نسبیت خاص انیشتین را ارائه نمود و با اصلاح نسبیت نیوتنی موفق به توضیح پدیده های نوظهور شد .

در حد مقیاس های اتمی و زیر اتمی ، نظریه مکانیک کوانتومی ارائه شد .

در این فصل و فصل های بعدی به مطالعه مکانیک کوانتومی می پردازیم .

مکانیک کوانتومی به مطالعه فیزیک در مقیاس های اتمی و زیر اتمی می پردازد . در این فصل ، آزمایشاتی را توضیح می دهیم که در اواخر قرن ۱۹ به بعد انجام شد و طی آنها معلوم شد که تا حتی الکترومغناطیس می تواند خواص ذره گونه نداشته باشد .

در حقیقت ، آزمایش هایی را در فصل سوم بیان می کنیم که خواص ذره ای به امواج الکترومغناطیس نسبت می دهد

تابش جسم سیاه

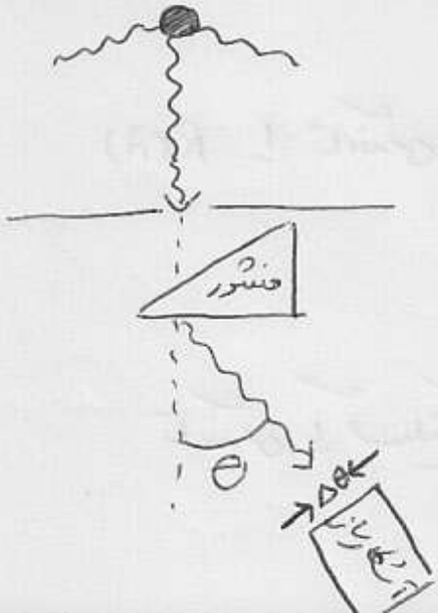
نخستین نشانه‌ای که گواه بر عدم توفیق تصویر کلاسیکی تابش الکترومغناطیسی بود مربوط به تابش جسم سیاه بوده‌است. درحقیقت تصویر کلاسیکی در حضور امواج الکترومغناطیسی در توضیح طیف تابش جسم سیاه ناموفق بوده‌است.

تابش گرمایی، نوعی تابش الکترومغناطیسی است که همه‌اشیاء صرفاً به علت دمای غیرصفرشان، آن را تولید می‌کنند.

در آزمایش تابش جسم سیاه یک جسم در دمای T_1 نگه داشته می‌شود. این جسم به سبب دمایی که دارد، یک تابش گرمایی تولید می‌کند.

تابش تولیدی از شی را تبدیل به یک باریکه می‌کنند و آن را وارد یک منشور می‌کنند. منشور باعث پراکندگی تابش ورودی برحسب طول موج های مختلف می‌شود.

درحقیقت طول موج های مختلف موجود در تابش تولیدی از جسم با دمای T_1 پس از عبور از منشور در زوایای مختلف پراکنده می‌شود.



بنابر آزمایش انجام شده، مشاهده می‌شود که طیف تابشی کامل شده از جسم یک طیف پیوسته را تشکیل می‌دهد که شامل همه طول موج‌ها از $\lambda = 0$ تا $\lambda = \infty$ می‌باشد.

با قرار دادن آشکارساز در زاویه‌های مختلف، می‌توان شدت تابش در یک طول موج خاص را اندازه‌گیری کرد.

از آنجا که آشکارساز نقطه‌ای نیست شامل گستره کوچکی از زاویه به اندازه $\Delta\theta$ می‌شود. درنتیجه آشکارساز مقدار تابش در بازه $\Delta\theta$ حول θ را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، آشکارساز، تابش موجود در بازه $\Delta\lambda$ حول λ را اندازه می‌گیرد.

اگر I شدت کل تابش الکترومغناطیسی گسیل شده در تمام طول موج‌ها باشد، dI شدت تابش در بازه $\Delta\lambda$ حول λ خاص می‌باشد.

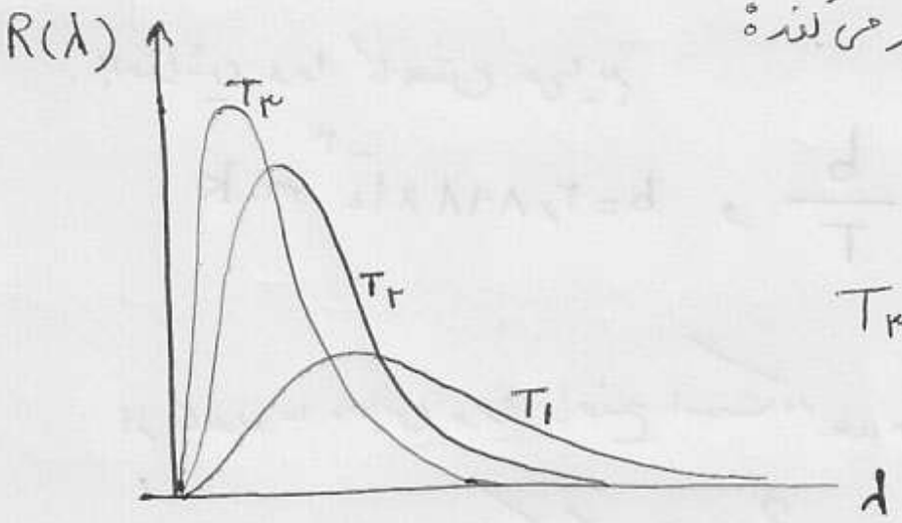
$$dI = R(\lambda)\, d\lambda$$

$R(\lambda)$ را تابندگی تابشی یا گسیلندگی تابشی گویند.

$$R(\lambda) = \frac{dI}{d\lambda}$$

تابندگی یا گسیلندگی تابشی، $R(\lambda)$، شدت در واحد طول موج است.

نکته جالب آن است که اگر دمای جسم به T_2 تغییر کند، بدیهی است که طیف تابشی جسم تغییر می کند:



$$T_3 > T_2 > T_1$$

ویژگی های تابش جسم سیاه

۱- کل شدت تابیده شده از جسم ای در دمای T در تمام طول موج ها برابر با $I = \int_0^\infty R(\lambda) d\lambda$ است. مقدار مربوط به شدت کل تابش برابر با مساحت زیر نمودار $R(\lambda)$ است. قابل پیش بینی است که اگر دمای جسم بالا تر برود، انرژی بیشتری می تاباند. از اندازه گیری های دقیق به دست می آید:

$$I = \int R(\lambda)\, d\lambda = \sigma T^4$$

قانون استفان:

$$I = \sigma T^4$$

σ ثابت استفان-بولتزمن $= 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

۲- طول موج λ_{max} که در آن تابندگی $R(\lambda)$ به مقدار بیشینه می رسد، با افزایش دما کاهش می یابد

قانون جابجایی وین: $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ و $b = ۲,۸۹۸ \times ۱۰^{-۳}\ m.K$

از قانون جابجایی وین واضح است که λ_{max} و T نسبت عکس دارند.

دما بالاتر برود، λ_{max} کوچک تر می شود.

مثال) جسمی دمای ۲۰°C دارد. در چه طول موجی، تابش گرمایی بیشینه تشعیع می کند؟

حل: در λ_{max}، $R(\lambda)$ و در نتیجه تابش تشعیعی بیشینه می شود.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{۲,۸۹۸ \times ۱۰^{-۳}\ m.K}{۲۰ + ۲۷۳} = ۹,۸۹\ \mu m$$

توجه: دماها را حتما حسب کلوین باید وارد کنند.

در دمای اتاق، تابش گرمایی عمدتاً در ناحیه فروسرخ $\lambda_{max} = 10\mu m$ اتفاق می‌افتد و توسط چشم قابل دیدن نمی‌باشد.

اما اگر این اجسام در دمای معمولی اتاق را گرم کنیم و دمای آنها را بالاتر ببریم، براساس $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$، λ_{max} افزایش می‌یابد و در دماهای نه چندان زیادی وارد ناحیه نور مرئی می‌شود و قابل رویت می‌گردد.

مثلاً اگر یک قطعه فلز را گرم کنید، ابتدا به رنگ قرمز تیره و با افزایش دما به رنگ زرد می‌گراید.

قطعه فلز در دمای اتاق دارای تابش گرمایی بوده است ولی λ_{max} مربوطه در ناحیه فروسرخ بوده و قابل رویت نبوده است. اما با گرم کردن آن و بالا رفتن دمای قطعه فلز، λ_{max} آن کوچکتر شده و ابتدا به رنگ قرمز و سپس با بالاتر رفتن دما به رنگ زرد می‌گراید.

از آنجا که مقدار تابش کل شده از جسم علاوه بر دما به عوامل دیگری مثل خواص سطحی آن نیز بستگی دارد، باید سعی کنیم شرایطی را در مقابله فراهم کنیم که همه عوامل موثر بجز دما را حذف کنیم.

برای برطرف کردن عوامل مزاحم و مشکلات آن، جسمی را در نظر می‌گیریم که سطح آن کاملاً سیاه باشد و هیچ بازتابش نور از سطح آن نداشته باشیم. چنین جسمی را جسم سیاه گویند.

به طور ایده‌آل برای یک جسم سیاه می‌توان یک کاواک در نظر گرفت. حفره کوچکی را بر دیواره یک جعبه فلزی توخالی در نظر می‌گیریم. این حفره همان جسم سیاه است، نه خود جعبه.

تابشی که از خارج به حفره می‌تابد، در داخل جعبه گم می‌شود و شانس کمی برای خروج از آن دارد. در حقیقت می‌توان با تقریب خوبی گفت هیچگونه بازتابشی از جسم سیاه (حفره) صورت نمی‌گیرد.

به بیرون

پس از آنکه جسم سیاه به حالت تعادل گرمایی رسید، تابشی که از حفره خارج می‌شود نمونه‌ای از تابش داخل جعبه است. درک درستی تابش موجود در داخل جعبه کمک می‌کند تا تابش خروجی از حفره را بهتر بشناسیم. (وقتی جسمی در تعادل گرمایی باشد، تابش ورودی بر آن با تابش خروجی از آن یکسان می‌شود.)

ادامه دارد ←