Notas de F4 (libro):

Idea de que la luz era una onda electromagnètica irradiada por cargas eléctricas microscópicas que oscilan (ahora se sabe que son electreones atomicos)

1896 Pieter Zeeman descubre que un campo magnético ntenso puede cambiar la frecuencia de luz emitida por un crital resplandeciente

Maxwell había logrado unir electricidad, magnetismo y luz!

Queremos predecir la intensidad de radiación a una longitud de onda dada emitida por un sólido resplandeciente calentado a una temperatura específica.

Gustav Kirchhoff teorema probo con termodinamica que para cualquier cuerpo en equilibrio termico con la radiacion, la potencia emitida es proporcional a la emitida

$e_f = J(f,T).A_f$

$e_f =$ pot emitida por unidad de area y por unidad de frecuencia por un obj particular

A_f =fraccion de la potencia incidente absorbida por unidad de area y por unidad de frecuencia del obj caliente

$J(f,T)$ =funcion universal (para todos los cuerpos) que solo depende de f y de T la temperatura absoluta del cuerpo

Cuerpo Negro:

Se define como un objeto que absorbe toda la radiacion electromagnetica que incide sobre el (por eso parece negro)

Af = 1 para todo f por tanto:

$e_f = J(f,T)$

Debido a que la absorcion y la emision estan relacionadas con el teorema de Kirchoff, se observa que si un cuerpo negro es un absorbente perfecto pero tambien un radiador ideal.

Josef Stefan

En 1879 Josef Stefan encontro experimentalmente que la potencia total emitida por unidad de area a todas las frecuencias por un cuerpo solido a.k.a. e_{total} era proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$e_{total} = \int_0^\infty efdf = \sigma.T^4$

$e_{total} =$ potencia por unidad de area emitida en la superficie del cuerpo negro a todas las frecuencias

ef es la potencia por unidad de area por unidad de frecuencia emitida por el cuerpo negro

T temperatura absoluta del cuerpo

σ constante de Stefan-Boltzman $\sigma = 5.67W \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$

Un cuerpo que no es un radiador ideal satisface la misma ley general pero con un coeficiente $a < 1$:

$e_{total} = a.\sigma.T^4$

Observacion:

La longitud de onda a la que se tiene la potencia de mision maxima de un cuerpo negro λ_{max} se desplaza hacia longitudes de onda mas cortas a medida que el cuerpo negro se calienta mas

Formula general para la ley de distribucion de un cuerpo negro

Esta formula explica el comportamiento experimental correcto de λ_{max} con la temperatura (Ley también llamada $Leydeldesplazamientode Wein$

$\lambda_{max}.T = 2.898 \times 10^{-3} m.K$

T es la temperatura absoluta de la superficie del obj que emite la radiacion

Densidad de energia espectral o energia por unidad de frecuencia de la radiacion dentro de la cavidad del cuerpo negro

Como la radiacion en al cavidad es isotropica y no polarizada vale:

$J(f,T) = u(f,T).c/4$

En 1893 Wein se aventura a proponer la forma de la funcion u(f,T) pero si bien hubo un intervalo de λ donde era valido se probo que no funcionaba para todas las longitudes de onda.

Enter Planckman

En 1900 Max Planck desarrollo la formula de cuerpo negro que anuncio el surgimiento de la teoria cuantica.

$u(f,T) = \frac{8\pi h f^3}{c^3}.(\frac{1}{e^{hf/k_bT}-1})$

$h = 6.626 \times 10^{-34} J.s$ cte de Planck

$k_b = 1.380 \times 10^{-23} J/K$ cte de Boltzman

A altas frecuencias cuando $hf/k_bT >> 1$

$(\frac{1}{e^{hf/k_bT}-1}) \approx e^{-hf/k_bT}$

por lo que

$u(f,T) \approx \frac{8\pi h f^3}{c^3}.(e^{-hf/k_bT})$

y se recupera la ley exponencial de Wein

A bajas frecuencias cuando $hf/k_bT << 1$

$(\frac{1}{e^{hf/k_bT}-1}) \approx \frac{k_bT}{hf}$

sucede que

$u(f,T) \approx \frac{8\pi h f^3}{c^3}.(\frac{k_bT}{hf}) = \frac{8\pi f^2}{c^3}$

Cuanto de Energia

Segun la teoria clasica de Maxwell un oscilador de frecuencia f podria tener cualquier valor de energia y cambiar su amplitud de manera continua a medida que radiase cualquier fraccion de su energia.

Planck revoluciono este concepto: supuso que la energia total de un resonador con frecuencia mecanica f solo puede ser un multiplo entero de hf

$E_{resonador} = nhf$ con n = 1,2,3...

Ademas concluyo que se emitia radiacion de frecuencia f cuando un resonador caia al siguiente estado energetico mas bajo. Por tanto el resonador puede cambiar su energia solo por

$\triangle E = hf$. Es decir que no puede perder cualquier cantidad de su energia total sino una cantidad finita, hf, denominada cuanto de energia.

Planck tambien demostro que $u(f,T)$ puede expresarse como

$u(f,T)df = < E > .N(f)df$ Esto se conoce como ley de Raighley-Jeans (Continuo de energias)

N es el numero de osciladores cuya frecuencia estaba entre f y f+df

<E> es la energia media emitida por cada oscilador

Tambien mostro que el numero de osciladores con frecuencia f y f +df era proporcional a f^2

$N(f)df = \frac{8\pi f^2}{c^3}df$

reemplazando esta ultima ecuacion en la anteultima se obtiene:

$u(f,T)df = < E > .\frac{8\pi f^2}{c^3}df$

Como u tiende a 0 a frecuencias altas <E> tiene que tender mas rapidamente a 0 que $1/f^2$. El que la energia promedio del oscilador deba volverse extremadamente pequeña guio a plank en su investigacion. Ahora se esta por ver que dado que <E> no se volviera pequeña a frecuencias altas en la teoria clasica de Raileigh-Jeans condujo a la catastrofe del ultravioleta: la prediccion de una densidad de energia espectral infinita a freuencias altas en la region del ultravioleta.

$u(\lambda,T) = \frac{8\pi k_b T}{\lambda^4}$ Catastrofe del UV!

$J(\lambda,T) = \frac{c8\pi k_b T}{4\lambda^4}$

Ley de Planck

Planck encontro una forma distinta para <E> al permitir solo valores discretos para sus resonadores. Usando la ley de distribucion de Maxwell Boltzman dedujo

$< E > = \frac{hf}{e^{hf/k_b T} - 1}$

al multiplicar <E> por N(f) se obtiene la formula de distribucion de Planck

$u(f,T)df = \frac{8\pi f^2}{c^3}(\frac{hf}{e^{hf/k_b T} - 1})df$

aqui se puede ver que se evito la catastrofe del utra violeta ya que <E> domina a f^2 a frecuencias altas.

o en terminos de λ

$u(\lambda,T)d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5(e^{hc/\lambda k_b T} - 1)}d\lambda$

En resumen Planck formulo 2 hipotesis sorprendentes:

1) La energia de un oscilador cargado de frecuencia f esta limitada a valores discretos (nhf)

2) durante la emision o absorcion de luz el cambio en energia de un oscilador es hf