Introducción a la Física Cuántica

* Víctor Romero Rochín
romero@fisica.unam.mx

* Eduardo Velázquez
* Mauricicio Rosas

Bibliografía recomendada:

* Luis de la Peña - Introducción a la Mecánica Cuántica
* Richard Liboff - Introductory Quantum Mechanics
* Stephen Gasiorowicz - Quantum Physics
* Claude Cohen-Tannoudji - Quantum Mechanics, Vol 1.

Preámbulo histórico (s. XX)

"From X-rays to quarks"
Emilio Segrè

* 1900: Plank, $h \simeq 6.67 \times 10^{-27}$
* 1905 - 1907: Einstein
* 1913: Bohr, "átomo H"

Preámbulo histórico (s. XIX)

Revolución Industrial

(i) Atomismo

↳ 1800: Dalton

↳ 1830: Carnot (Reflexiones sobre el poder motriz del fuego)

↳ 1850: Clausius (Q, T, 2ª Ley, S)

↳ 1850-60's: Maxwell
1870's: Boltzmann

$K = 1,38 \times 10^{-16}$ erg / K

$$\boxed{\left\langle \frac{\vec{p}^{\,2}}{2m} \right\rangle = \frac{3}{4} KT = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{\vec{p}_i^{\,2}}{2m}}$$

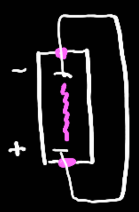
$$\boxed{S = k \ln W}$$

↳ no. de estados microscópicos que puede tener un gas en equilibrio

↳ 1900: Plank → Radiación de Cuerpo Negro

(ii) Descubrimientos e invensiones

↳ 1800: Volta → Pila o batería eléctrica



rayos catódicos

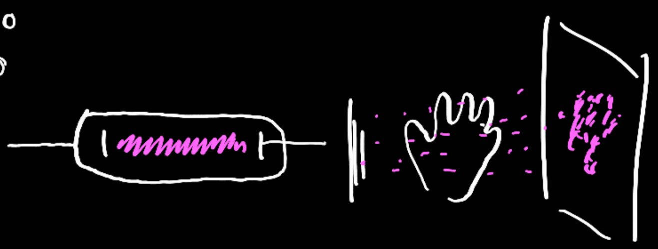
↳ 1897: J.J. Thompson
electrón -e
$e \simeq 4.8 \times 10^{-10}$ esu $(1.6 \times 10^{-19}$ C$)$
$m \simeq 9.1 \times 10^{-28}$ g

↳ 1895: W. Röntgen → Rayos X

↳ : H. Becquerel → Uranio

↳ : Pierre & Marie Curie $\begin{cases} \text{- Polonio} \\ \text{- Radio} \end{cases}$

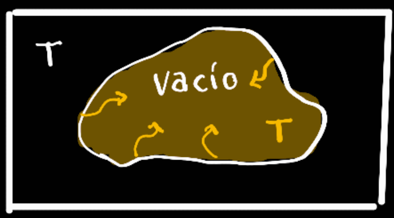
Física Nuclear



"El radio de Marie Curie"
↳ Universum

↳ Rutherford → átomo

↳ 1860's: G. Kirchoff



$A(\nu)$: coef. de absorción

$P(\nu)$: potencia emitida/área por frecuencia ν

$$\frac{P(\nu)}{A(\nu)} = \text{factor } I(\nu,T)$$

$$I(\nu,T) = \frac{\text{energía}}{\text{volumen}} \cdot \frac{1}{\text{frecuencia}}$$

¡sólo depende de la radiación!

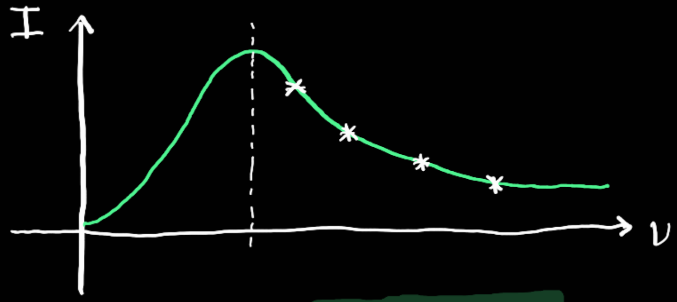
$I(\nu,T) = $ ¿?

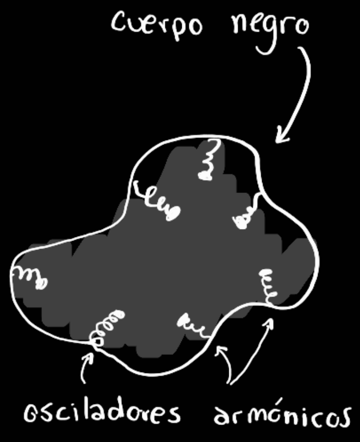
Ley de Stephan-Boltzmann
$P = \sigma T^4$, σ cte.

Cuerpo hipotético

$A(\nu) = 1 \quad \forall \nu$ (cuerpo que todo lo absorbe: cuerpo negro) → $A(\nu) = 1$

↳ 1890: W. Wien → $I(\nu,T) = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right) \simeq a\nu^3 e^{-b\frac{\nu}{T}}$; a, b ctes.
T dada





↳ 1897: Plank dedujo que $\boxed{I(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}\overline{U(\nu,T)}}$

$\overline{U(\nu,T)}$ = energía promedio de 1 oscilador

Si conocemos T de los osciladores en equilibrio

$$\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{N,V} = \frac{1}{T}$$

entonces $U = U(T) = N\bar{u}$. Además, si $\boxed{\mathcal{S} = \frac{S}{N} = -\frac{u}{b\nu}\left[\ln\left(\frac{u}{a\nu}\right) - 1\right]}$.

$\bar{u} = U/N$

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial \mathcal{S}}{\partial u} \Rightarrow u(\nu,T)$$

Plank publicó esto sin demostrar de donde venía. Sin embargo, realizando experimentos Lumer, Pringsheim, Rubens, Kurlbaum encontraron que

$$I(\nu,T) \approx A\nu^2 T$$

De modo que, se planteó que $I(\nu,T) = \begin{cases} A\nu^2 T & \text{"}\nu \to 0\text{"} \\ a\nu^3 e^{-b\frac{\nu}{T}} & \text{"}\nu \to \infty\text{"} \end{cases}$

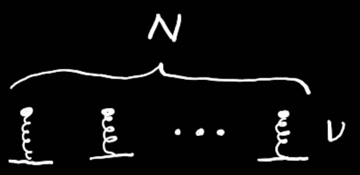
Si $S(\nu,T) = -\frac{1}{u^2 + g(\nu)\,\nu}$; $g(\nu) = \begin{cases} 0 & \text{si } \nu \to 0 \\ \infty & \text{si } \nu \to \infty \end{cases}$. Por lo cual,

$$I(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{g(\nu)}{\exp\left(\frac{g(\nu)}{\gamma T}\right) - 1}$$

Como $I(\nu, T) = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right) \Leftrightarrow g(\nu) = \tilde{a}\nu$,

$$I(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} \cdot \frac{\tilde{a}\nu}{\exp\left(\frac{\tilde{a}\nu}{\gamma T}\right) - 1}$$

donde $e^{\frac{\tilde{a}\nu}{\gamma T}} \approx 1 + \frac{\tilde{a}\nu}{\gamma T}$.

Suponga se tienen N osciladores  con U (energía total) fija. Así, W es el no. de "configuraciones" de los osciladores tal que sus energías sumen U.

Plank supuso que $U = P\varepsilon$, $P \in \mathbb{Z}$. De modo que W puede ser visto como el # de maneras de repartir P pedacitos ε en N osciladores distinguidos.

Fórmula de Stirling

$$\boxed{\ln M! \approx M \ln(M) - M, \quad M \gg 1}$$

Tarea:

$$\boxed{\frac{S}{N} = \mathcal{S} = k\left[\left(1 + \frac{u}{\varepsilon}\right) \ln\left(1 + \frac{u}{\varepsilon}\right) - \frac{u}{\varepsilon} \ln\left(\frac{u}{\varepsilon}\right)\right]}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial \mathcal{S}}{\partial u} \Rightarrow u(\nu, T) \qquad \varepsilon = h\nu$$

$$I(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{\varepsilon}{\exp(\varepsilon / kT) - 1} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}, \qquad k = \frac{R}{N_0}$$