

Física Estadística

Tercer curso del Grado en Física

J. Largo & J.R. Solana

[largoju at unican.es](mailto:largoju@unican.es)

[solanajr at unican.es](mailto:solanajr@unican.es)

Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y macroestados

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y macroestados

Las propiedades microscópicas de las partículas

como pueden ser (ya que las partículas pueden no ser materiales)

- masa y carga atómica
- fuerzas de interacción, potencial intermolecular
- geometría molecular...

determinan las propiedades macroscópicas del sistema que forman.

Relación con la Termodinámica

- La Termodinámica proporciona relaciones entre las propiedades macroscópicas del sistema.
- La Física Estadística proporciona el valor de las propiedades macroscópicas a partir de las propiedades microscópicas.

Mayor complejidad

- la descripción macroscópica requiere pocas variables.
- La descripción microscópica de un sistema requiere detallar el estado de cada partícula del sistema.

En conclusión la Física Estadística

- Conecta la descripción microscópica de la materia con las propiedades termodinámicas de un sistema.
- Pretende entender como ciertas propiedades macroscópicas de los cuerpos dependen de sus constituyentes microscópicos y sus interacciones.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Física Estadística del Equilibrio

Aplicar métodos estadísticos a grandes conjuntos de partículas para obtener las propiedades del sistema en equilibrio termodinámico.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Física Estadística y Teoría Cinética

- Requieren el conocimiento de propiedades microscópicas del sistema.
- Formulan hipótesis, aplican un formalismo y predicen los valores de las propiedades macroscópicas.
- Se diferencian en el enfoque, formalismo y aplicación.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Teoría Cinética

Necesita conocer las velocidades moleculares y la frecuencia de las colisiones.

Física Estadística

Se basa en descripciones energéticas, lo cuál permite su aplicación a mayor número de sistemas.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

En común ...

la consideración de que si las partículas microscópicas poseen energía cinética y energía potencial les serán aplicables las leyes de la mecánica y por tanto resolviendo las ecuaciones de movimiento podremos obtener las propiedades del sistema.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

¿Cómo resolver las ecuaciones de movimiento de un número enorme de partículas?

- en realidad no es necesario.
- lo importante es la contribución promedio de todas las partículas.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Ventaja adicional..

La Física Estadística no necesita considerar la evolución temporal del sistema a escala microscópica. Lo que hace es considerar el conjunto formado por todos los estados microscópicos accesibles al sistema en unas condiciones dadas.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

estado accesible

es un estado cuántico en el que puede estar el sistema sin violar ninguna condición impuesta por los parámetros externos.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Postulado o Principio de igualdad de probabilidad

Todos los estados posibles en un sistema aislado tienen el mismo peso estadístico.

El sistema va recorriendo sucesivamente todos los estados posibles.

Todo esto se traduce en la **hipótesis ergódica**

Física Estadística

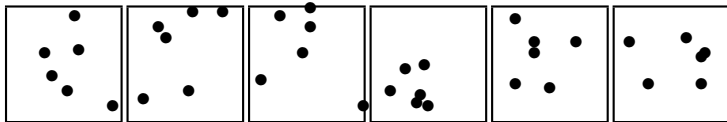
Largo-Solana

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y macroestados



Colectivo

Conjunto de un número enorme de réplicas del sistema.

En cierto modo esto incluye todos los estados microscópicos que el estado recorrerá a lo largo de un tiempo infinito. Las propiedades del sistema se podrán determinar promediando las propiedades de los sistemas del colectivo.

Macroestado

Un macroestado del sistema queda determinado especificando el número de partículas N_i que hay en cada nivel de energía de las partículas del sistema.

El estado termodinámico de un sistema corresponde a un número enorme de macroestados diferentes.

Microestado

Un microestado del sistema queda determinado indicando el número de partículas que hay en cada estado cuántico.

Si fuesen partículas discernibles tendríamos que decir además que partículas se encuentran en cada estado cuántico.

Física Estadística

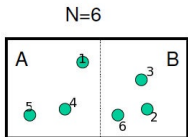
Largo-Solana

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del Equilibrio

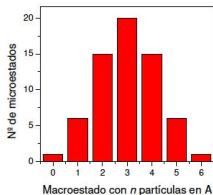
Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y macroestados



Nº total de microestados = $2^6 = 64$
 Probabilidad de un macroestado

$$P_d = \frac{n_d}{2^N} = \frac{20}{64} = 0.3125$$



n en A	A	B	Número de microestados	Macroestado
6	1 2 3 4 5 6	-	1	a
5	1 2 3 4 5	6	6	b
5	1 2 3 4 6	5		
5		
5	2 3 4 5 6	1	15	c
4	1 2 3 4	6 5		
4	1 2 3 5	6 4		
4	1 2 4 5	6 3		
...			20	d
3	1 2 3	4 5 6		
3	1 2 4	3 5 6		
3	1 3 4	2 5 6		
3	2 3 4	1 5 6		
3	1 2 5	3 4 6		
3	1 3 5	2 4 6		
3	2 3 5	1 4 6		
...	15	e
2		
1	6	f
0	1	g

Hipótesis Ergódica

Un sistema aislado pasa sucesiva y uniformemente por todos los microestados accesibles.

Dicho de otro modo, que todos los microestados tienen la misma probabilidad, esto permite sustituir promedios temporales, por promedios sobre el colectivo.

¿Estadística Clásica o Cuántica?

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

O que rige el comportamiento de las partículas la

¿Mecánica Clásica o Cuántica?

Las partículas microscópicas poseen energía y les serán aplicables las leyes de la mecánica

- Clásica, descripción continua de la energía.
- Cuántica, descripción discreta de la energía.

en general hay que aplicar las leyes de la mecánica cuántica, y solo a veces se puede aproximar a un comportamiento clásico.

¿Estadística Clásica o Cuántica?

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Los niveles de energía tanto de las partículas como del sistema están cuantizados

- Degeneración g_i al número de modos distintos en que una **partícula** puede tener energía ε_i .
- Degeneración G_j del nivel j de energía del **sistema** al número de modos en que el sistema puede tener esa energía U_j .

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

Consiste en, dados los niveles de energía de las partículas.

1. Determinar el número medio de ocupación de cada uno de estos niveles de energía. Para ello necesitamos conocer la distribución de probabilidad de que una partícula se encuentre en un determinado nivel de energía.
2. Conocidos los niveles de energía de las partículas y el número medio de ocupación de cada nivel, podemos determinar la energía interna del sistema.

Probabilidad Termodinámica

Se denomina **probabilidad termodinámica** W al número de microestados que tiene un macroestado.

La expresión matemática depende de las características de las partículas y de los niveles de energía que ocupan.

Estadística de Maxwell-Boltzmann

Si el sistema consta de N partículas **discernibles** distribuidas entre n niveles de energía no degenerados. El número total de microestados o probabilidad termodinámica del macroestado k será:

$$W_k = \frac{N!}{\prod_i N_i!} = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!}$$

Con la restricción

$$\sum_{i=1}^n N_i = N$$

Estadística de Maxwell-Boltzmann con degeneración

Si cada nivel i tiene g_i estados cuánticos distintos, es decir, que dicho nivel tiene degeneración g_i , y sin limitación en cuanto al número de partículas que pueden ocupar cada estado cuántico, tendremos variaciones con repetición de g_i elementos de orden N_i :

$$W_k = N! \prod_i \frac{g_i^{N_i}}{N_i!}$$

Estadística de Fermi-Dirac

Si las partículas son **indiscernibles** y cada estado cuántico no puede contener más de una partícula.

El número de modos en que las N_i partículas del nivel i pueden distribuirse entre los g_i estados cuánticos distintos $g_i! / N_i! (g_i - N_i)!$, considerando todos los niveles, el número total de microestados del macroestado k será:

$$W_k = \prod_i \frac{g_i!}{N_i! (g_i - N_i)!}$$

Estadística de Bose-Einstein

- Cuánticamente, las partículas son indiscernibles y los niveles de energía son degenerados.
- Clásicamente, las partículas son discernibles y los niveles de energía no degenerados.

Sin embargo, en ocasiones, resulta útil considerar una partícula híbrida clásico-cuántica, **distinguible pero con niveles de energía degenerados**.

Explicación

Si no hay restricción al número de partículas en cada estado cuántico, el número de modos de distribuir las N_i partículas indiscernibles del nivel i entre g_i estados cuánticos distintos, teniendo en cuenta todos los niveles, el número total de microestados del macroestado k será:

$$W_k = \prod_i \frac{(g_i + N_i - 1)!}{N_i! (g_i - 1)!}$$

el factor $N!$ tampoco aparece porque las partículas son indiscernibles.

límite clásico

Cuando $g_i \gg N_i$

$$\frac{(g_i + N_i - 1)!}{N_i! (g_i - 1)!} \approx \frac{g_i^{N_i}}{N_i!}$$

$$\frac{g_i!}{N_i! (g_i - N_i)!} \approx \frac{g_i^{N_i}}{N_i!}$$

Probabilidad matemática

El número total Ω de microestados, considerando todos los posibles macroestados,

$$\Omega = \sum_k W_k$$

En un sistema aislado, la probabilidad matemática \mathcal{P} de que el sistema se encuentre en un determinado macroestado k

$$\mathcal{P}_k = \frac{W_k}{\Omega}$$

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de la Física Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

- No conocemos la distribución de probabilidad de que un sistema se encuentre en cualquiera de los microestados accesibles.
- La Física Estadística permite conocer el macroestado más probable, pero el sistema no está siempre en el.

Física Estadística

Largo-Solana

Fundamentos de
la Física
Estadística

Física Estadística del
Equilibrio

Probabilidad termodinámica

Estado termodinámico y
macroestados

- Si el sistema está en equilibrio termodinámico, las propiedades macroscópicas permanecen virtualmente constantes, lo que implica que son prácticamente las mismas para la gran mayoría de los macroestados.
- Cuando el sistema, en su evolución temporal, alcanza alguno de los microestados de un macroestado cuyas propiedades sean marcadamente diferentes de las del promedio, se producirá una fluctuación.

Resumen

- La Física Estadística identifica **el macroestado más probable como el correspondiente al estado de equilibrio termodinámico.**
- Las propiedades macroscópicas tienen los mismos valores para el estado de equilibrio termodinámico, que para el macroestado más probable.