

RESUMEN ANALÍTICO

TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado.

ACCESO AL DOCUMENTO: Universidad Pedagógica Nacional.

TITULO DEL DOCUMENTO: Sistemas de pocas partículas: Propuesta didáctica para la enseñanza de la mecánica estadística.

AUTOR: Juan Manuel Jiménez Vega

ASESOR: Néstor Méndez Hincapié

PUBLICACIÓN: Bogotá, 2008.

PALABRAS CLAVES: Leyes de distribución, Partición, Teoría de probabilidades, Representaciones, Conceptos, Sistemas, Partículas, Entropía, Temperatura

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo tiene como objetivo presentar conceptos que consideramos relevantes para la comprensión de la mecánica estadística: elementos de probabilidad y análisis combinatorio, principio de exclusión de Pauli, leyes de distribución, entre otros. Además de determinar si es pertinente utilizar la mecánica estadística en la descripción de sistemas constituidos por un pequeño número de partículas, tanto en el aspecto teórico como en su implementación para la enseñanza e inferir algunas regularidades inherentes a las leyes de distribución por medio de ejemplos asociados a sistemas de pocas partículas y por último establecer si tiene sentido hablar de temperatura y/o de entropía cuando se aplican los métodos de la mecánica estadística a sistemas de pocas partículas

FUENTES:

1. Alonso M. Finn E. Física Vol 3: Fundamentos cuánticos y estadísticos. Fondo educativo interamericano, 1971, 612 págs.
2. Spiegel M.R. Teoría y problemas de estadística. México, McGraw Hill, 1984, 357 págs.
3. Zurek W.H. Complexity, entropy and the physics of information. California, Los Alamos national laboratory & Santa Fe institute, 1989, 530 págs.
4. Reif F. Física Estadística. Berkeley Physics Course. Barcelona, Editorial Reverté 1977, 411 págs.

5. Lovell K. Desarrollo de los conceptos básicos matemáticos y científicos en los niños, Madrid, Morata S.A., 1977, 213 págs.
6. Ortin J., Sancho J.M. Curso de física estadística, Barcelona, Editorial Universitat de Barcelona, 2001, 234 págs.
7. Campos D. Teoría de sistemas cuánticos, Bogotá, Departamento de Física Universidad Nacional de Colombia, 19, 475 págs.
8. Gardner M. Izquierda y derecha en el cosmos, Editorial Salvat 1986
9. Serway. Física. Editorial McGraw-Hill 1992
10. Tipler P. A. Física. Editorial Reverté 1994
11. Sears, F.W. Introducción a la Termodinámica, Reverté S.A., Bs. As. 1969
12. Holman, J. P. Termodinámica, McGraw-Hill, (1974)
13. Wittmann M.C, Morgan J.T, Feeley R.E. Laboratory-Tutorial activities for teaching probability, Physical review special topics-physics education research, Febrero de 2006

CONTENIDO:

El trabajo se presenta en dos capítulos:

Capítulo I: Elementos de probabilidad y análisis combinatorio

En este capítulo presentamos algunos elementos de la teoría de probabilidades (Conjunto de resultados posibles, mutuamente excluyentes, de una variable aleatoria) necesarios al tratar de deducir las propiedades macroscópicas de un sistema y en particular al intentar conocer las posibles configuraciones en las diferentes leyes de distribución. Ideas relacionadas con dicha teoría; como probabilidad, combinatoria, permutación, resultarán familiares tanto en el aspecto conceptual como en el formalismo matemático, cuando más adelante revisemos las condiciones bajo las cuales se obtienen esas leyes estadísticas.

Capítulo II: Leyes de distribución y entropía para sistemas compuestos por pocas partículas

Aplicamos las leyes de distribución de Maxwell-Boltzmann (asociada a partículas de mecánica clásica), Bose Einstein (para bosones o partículas con espín entero) y Fermi-Dirac (para fermiones o partículas con espín semientero, sujetas al principio de exclusión de Pauli) a sistemas de pocas partículas a través de diferentes ejemplos, con el propósito de describir su comportamiento y deducir algunas variables macroscópicas como la temperatura y la entropía; de esta forma

determinar si es pertinente aplicar la presente propuesta a la enseñanza de la mecánica estadística

CONCLUSIONES

1. Las leyes de distribución de Maxwell-Boltzmann, Fermi-Dirac y Bose-Einstein, analizadas en este escrito, fueron desarrolladas para sistemas macroscópicos que cuentan con un gran número de constituyentes susceptibles a métodos estadísticos como los descritos en los apéndices I, II, y III; lo que implica que los cálculos realizados son de carácter continuo, es decir que debido al inmenso número de partículas involucradas en la mayor parte de sistemas físicos podemos suponer que la variación en la distribución de una partícula en diferentes niveles de energía (que se presumen infinitos, aunque en los ejemplos se ocupen sólo algunos de ellos), representa una diferenciación infinitesimal que puede considerarse despreciable. Por esta razón concluimos que no es apropiado hacer uso de esas leyes de distribución para predicar acerca del estado dinámico de sistemas compuestos por pocas partículas, pues como se demostró iniciando el capítulo II, al comparar la partición más probable o de equilibrio en la estadística de Bose-Einstein de un conjunto de 200 partículas ($n_1 = 10$, $n_2 = 40$, $n_3 = 150$); con la partición que resulta al trasladar dos partículas del nivel intermedio hacia los niveles extremos ($n_1 = 11$, $n_2 = 38$, $n_3 = 151$), se obtuvo una razón de inferior a = 0,95; valor que decrece cuando se reduce el número de partículas. Por otra parte, al intentar resolver los sistemas de ecuaciones dados por las expresiones

$$\lambda v \nu_i / \gamma_i + 1/2 \nu_i + \alpha + \beta E_i = 0 \quad (2.7)$$

$$1/2 \nu_i - (\nu_i + \gamma_i - 1/2) / (\nu_i + \gamma_i - 1) + 1 - \lambda v (\nu_i + \gamma_i - 1) + \lambda v \nu_i + \alpha + \beta E_i = 0 \quad (2.11)$$

$$\lambda v \nu_i - \lambda v (\gamma_i - \nu_i) + 1/2 \nu_i - 1/2 (\gamma_i - \nu_i) + \alpha + \beta E_i = 0 \quad (2.14)$$

Con las particiones de equilibrio obtenidas en los ejemplos 2.2, 2.3 y 2.4 correspondientes a cada distribución, no se tiene certeza de cuáles son los valores de los parámetros α y β en consecuencia se desconocen variables termodinámicas de importancia como la temperatura y la energía de Fermi.

Esto se debe a que los valores de los números de ocupación n_i pertenecen a los reales y no a los enteros positivos como debería esperarse, entonces las soluciones a las ecuaciones son numéricas pero no analíticas.

2. A pesar de la no aplicabilidad de las leyes de distribución a sistemas físicos aislados compuestos por pocas partículas, los métodos y procedimientos propuestos en este trabajo pueden facilitar la comprensión de varios conceptos básicos que están implícitos en las tres formulaciones de la mecánica estadística clásica (análisis combinatorio, partición y números de partición, degeneración y principio de exclusión de Pauli entre otros); lo que indica que elaborar y desarrollar

este tipo de ejercicios con propiedad, puede llegar a ser un instrumento que permita hacer tangibles aspectos de la Física que anteriormente estaban alejados de la percepción del estudiante, ya que en este caso resulta difícil imaginar el comportamiento de tantas variables y mucho menos de advertir regularidades o predecir posibles situaciones, sin haber profundizado en el estudio de la mecánica estadística.

3. Como mencionamos, la temperatura es una variable termodinámica que no puede obtenerse con exactitud para sistemas compuestos por pocas partículas, sin embargo es posible calcular el valor de la entropía, no sólo para la partición de equilibrio sino que también puede calcularse para cualquier otra configuración. En este sentido concluimos que la entropía vista como el indicador de la dirección de los procesos en un sistema aislado no pierde su significado aunque su valor no sea representativo en comparación con los valores que se tienen para sistemas macroscópicos, puesto que su aumento revela qué procesos pueden ocurrir con mayor probabilidad.

• **AUTOR DEL RESUMEN ANALÍTICO.**

Juan Manuel Jiménez

• **REVISADO POR EL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.**

Néstor Méndez Hincapié.

Bogotá, 2008.