

PRÁCTICA 8 ANÁLOGO CLÁSICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE FERMI-DIRAC

OBJETIVO

Realizar un experimento, basado en un conjunto de esferas que vibran dentro de un recipiente y obtener una distribución de densidad en altura de estas esferas. Explicar las similitudes y diferencias con la función de distribución de Fermi-Dirac.

FUNDAMENTOS FÍSICOS

Los fermiones son partículas que cumplen el principio de exclusión de Pauli, es decir, si existe un fermión en un estado determinado, no puede existir ningún otro fermión en ese mismo estado. La estadística que siguen estas partículas es distinta a la de partículas clásicas o la de bosones y se denomina estadística de Fermi-Dirac.

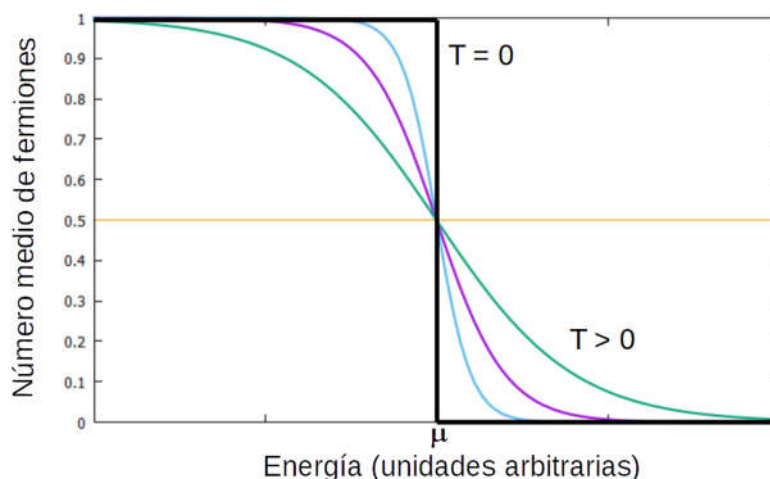
El número medio de fermiones (o la probabilidad de encontrar un fermión) en un estado de energía ϵ , para una determinada temperatura T y potencial químico μ viene dado por la distribución de Fermi-Dirac:

$$\bar{n}(\epsilon) = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/kT} + 1} \quad (1)$$

donde k es la constante de Boltzmann.

Según esta ecuación, el número medio de fermiones en un estado de energía ϵ siempre estará entre 0 y 1 ya que, si la energía ϵ es muy alta $\bar{n} \rightarrow 0$, y por muy pequeño que sea el valor de la energía, el valor máximo de esta función es 1. Esta es la condición impuesta por el principio de exclusión de Pauli. La siguiente figura muestra la distribución de Fermi-Dirac para distintas temperaturas. En el límite de $T = 0$ (línea negra en la figura) los fermiones ocuparán distintos niveles de energía, desde el estado fundamental hasta valores de energía cada vez mayores, ya que sólo se permite un fermión por estado. La energía del último estado ocupado se corresponderá con el potencial químico.

Al aumentar la temperatura, los fermiones en el último estado ocupado pueden pasar a ocupar



estados de energía más alta y la función tendrá la forma representada en la figura. A temperatura $T > 0$ el potencial químico se corresponde con el nivel de energía para el que la ocupación es $\frac{1}{2}$.

En esta práctica vamos a estudiar el comportamiento de unas esferas metálicas contenidas en un recipiente cuando se aplica una vibración que hace que cambie la densidad de esferas en función de la altura. El número máximo de esferas en cada altura está limitado por el tamaño del recipiente y la vibración simularía el efecto de la temperatura. Por tanto, en este caso lo que podemos determinar es el número medio de partículas en función de la altura. A partir de esta distribución se discutirán las similitudes y las diferencias entre los datos obtenidos en este sistema clásico y lo que se esperaría de una distribución tipo Fermi-Dirac, como la que puede existir en los electrones de conducción de un metal.

MATERIAL

- Dispositivo consistente en un vibrador mecánico y un pistón que permite la vibración de un conjunto de esferas (de entre 2 y 3 mm de diámetro aproximadamente) contenidas en un recipiente con ventanas transparentes. El tamaño del recipiente es delgado, de modo que las esferas se colocan en una única capa.
- Dispositivo consistente en una horquilla, cuya altura se puede variar, y que tiene dos brazos que contienen un emisor y un receptor de luz, respectivamente. Su función es contar las esferas que interrumpen el haz de luz en el camino entre el emisor y el receptor. El recipiente con las esferas se coloca entre los dos brazos de la horquilla en la zona en la que no hay esferas cuando el vibrador está en reposo.

REALIZACIÓN EXPERIMENTAL

Con el motor apagado sitúa los brazos de la horquilla que contienen el emisor y el receptor de luz a ambos lados del recipiente a una altura tal que el haz atraviere el recipiente en una zona sin bolas (a una cierta altura por encima de ellas). Conecta el motor y ajusta la frecuencia y la amplitud de vibración de manera que las bolas de la superficie estén saltando y algunas de ellas lleguen a atravesar el camino del haz de luz. Cada vez que una bola interrumpe el haz de luz el contador digital lo registra.

El dispositivo para contar las bolas tienes tres botones:

START, pulsar para empezar a contar. En ese momento con el cronómetro se empieza a contar el tiempo.

STOP, para detener el contador, una vez se llega al tiempo establecido.

NULL, para resetear el contador a cero una vez se quiere iniciar una nueva medida.

- 1) Determina el valor de la variable que correspondería al potencial químico en tu análogo clásico.
- 2) Una vez seleccionadas la frecuencia y la amplitud adecuadas, toma nota del número de registros para diferentes alturas fijando un tiempo de medición.
- 3) Haz lo mismo para diferentes tiempos.
- 4) Haz lo mismo para diferentes valores de la amplitud y frecuencias.

5) Representa el número de registros, en todos los casos, como función de la altura. ¿Qué significado tiene esta representación? ¿Qué relación podría tener con la expresión de la distribución de Fermi-Dirac?.

6) Interpreta los resultados.

Bibliografía:

Modern Physics, P. A. Tipler, R. A. Llewellyn, W. H. Freeman and Company, New York

Fundamentals of Statistical and Thermal Physics, F. Reif