

Semillas salarinas - Un modelo de transiciones de fase e inestabilidades (10 puntos)

Lea las instrucciones generales dentro del sobre adjunto antes de comenzar a resolver este problema.

Introducción

Las transiciones de fase son bien conocidas en la experiencia cotidiana, siendo el agua, con sus diferentes estados sólido, líquido y gaseoso, un ejemplo típico. Estos distintos estados de la materia están separados por transiciones de fase, en las que el comportamiento colectivo de las moléculas constituyentes cambia. Una transición de fase viene siempre asociada a una temperatura crítica en la que los estados cambian; por ejemplo, las temperaturas de congelación y de ebullición del agua en los ejemplos arriba mencionados.

Sin embargo, las transiciones de fase son todavía más comunes, ocurriendo también en otros sistemas tales como imanes o superconductores. En estos casos el estado macroscópico del material pasa, a una cierta temperatura crítica, de paramagnético a ferromagnético, o de conductor a superconductor, respectivamente.

Todas estas transiciones de fase pueden describirse bajo un marco común unificado en el cual se introduce lo que se conoce como parámetro de orden. Por ejemplo, en el caso del imán, el parámetro de orden está asociado con el alineamiento de los momentos magnéticos de los átomos con respecto a una magnetización macroscópica.

En general, el parámetro de orden será siempre cero por encima de la temperatura crítica y crecerá continuamente al reducir la temperatura por debajo de ésta, tal y como se muestra en el esquema correspondiente al magnetismo en la figura 1 de abajo. La figura contiene asimismo una representación esquemática del orden o desorden microscópico en el caso de un imán, donde los momentos magnéticos individuales se alinean en la fase ferromagnética induciendo así una magnetización macroscópica, mientras que en la fase paramagnética están orientados de manera aleatoria, lo que da lugar a una magnetización macroscópica nula.

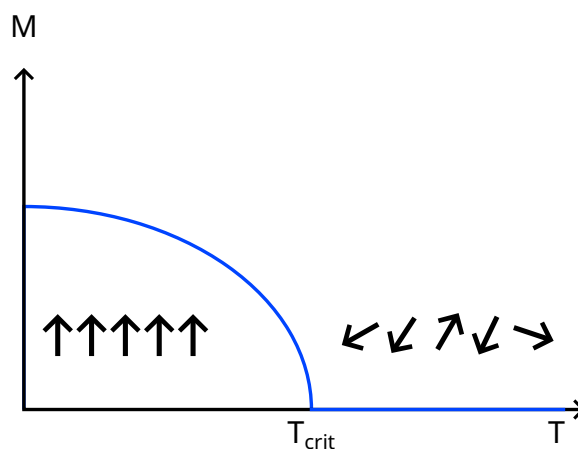


Figura 1: Representación esquemática de la dependencia de un parámetro de orden M con la temperatura en una transición de fase. Por debajo de la temperatura crítica T_{crit} , el parámetro de orden crece y es no nulo, pero es en cambio cero a temperaturas mayores que T_{crit} .

En general en las transiciones de fase se encuentra que en las proximidades de la transición el parámetro

de orden sigue una ley de potencias ; así, por ejemplo, en el caso del magnetismo la magnetización M por debajo de la temperatura crítica T_{crit} está dada por

$$M \begin{cases} \sim (T_{crit} - T)^b, & M < T_{crit} \\ = 0, & M > T_{crit} \end{cases} \quad (1)$$

donde T es la temperatura. Sorprendentemente, este comportamiento es universal: el exponente de esta ley de potencias es el mismo para muchos tipos diferentes de transiciones de fase.

La tarea

Aquí estudiaremos un ejemplo simple para investigar diversos aspectos de las transiciones de fase, tales como la manera en la que una inestabilidad determina el comportamiento colectivo de las partículas, posibilitando la transición de fase. Investigaremos asimismo cómo el cambio macroscópico depende de una excitación de las partículas.

En las transiciones de fase más comunes, esta excitación viene normalmente determinada por la temperatura. En nuestro ejemplo, la excitación consiste en la aceleración vertical de las partículas por la acción de un altavoz. El cambio macroscópico que corresponde a la transición de fase que estudiamos en este caso consiste en la acumulación de semillas en una de las mitades de un cilindro que está dividido por una barrera pequeña.

Al aumentar la amplitud de excitación se observará que las semillas que se habían acumulado en una mitad del cilindro se irán distribuyendo de manera equitativa en las dos mitades. Esto corresponde a calentar hasta sobrepasar la temperatura crítica.

El objetivo de este problema es determinar el exponente crítico para el modelo de transición de fase aquí estudiado.

Lista de materiales

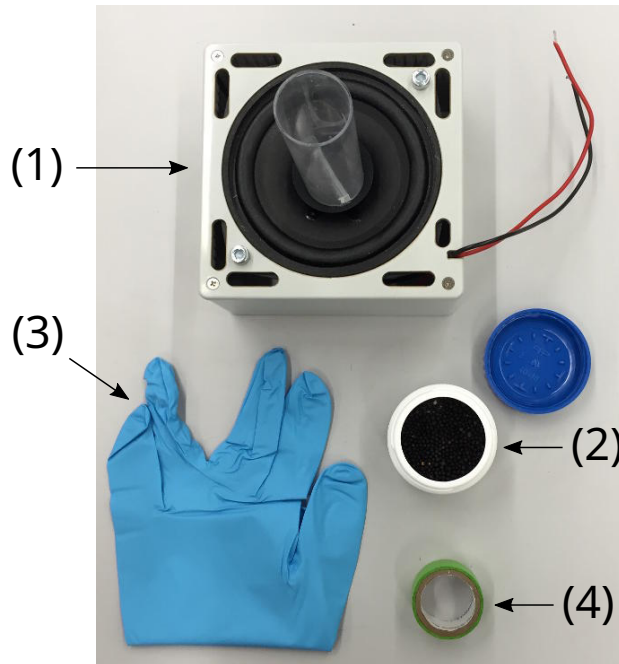


Figura 2: Equipo adicional para este experimento

1. Altavoz con un cilindro de plástico montado encima
2. Un centenar de semillas salarinas en un contenedor de plástico
3. Un guante
4. Cinta adhesiva

Precauciones importantes

- No aplique ninguna fuerza lateral al cilindro de plástico fijado sobre el altavoz. Tenga en cuenta que no habrá repuestos en caso de rasgaduras de las membranas del altavoz o del cilindro plástico.
- Apague el altavoz cuando no lo esté usando para evitar la descarga de la batería.
- En este experimento, se envía una señal en dientes de sierra de 4 Hz a los terminales del altavoz situados al lado del generador de señales.
- La *amplitud de la señal* en dientes de sierra puede ajustarse usando el potenciómetro derecho identificado como *speaker amplitude* (4). Un voltaje DC proporcional a la *amplitud de la señal* se envía al enchufe del controlador de la amplitud del altavoz (6) (que se mide respecto al terminal de tierra *GND* (7)). Los números se refieren a la fotografía mostrada en las instrucciones generales.
- La membrana del altavoz es delicada. Este seguro de no aplicar una presión excesiva sobre ella tanto vertical como lateralmente.

Parte A. Amplitud crítica de excitación (3.3 puntos)

Antes de empezar con las tareas asignadas para este problema, conecte con cables el altavoz a los terminales en el lateral del generador de señales (asegúrese de usar la polaridad correcta). Coloque semillas de amapola (unas 50, por ejemplo) en el cilindro montado sobre el altavoz y use un trozo del guante suministrado para tapar el cilindro y así evitar el escape de las semillas. Active las excitaciones usando el interruptor y ajuste la amplitud girando el potenciómetro derecho, denominado *speaker amplitude* (4), usando el destornillador suministrado. Observe la distribución de las semillas en los dos compartimentos probando con amplitudes diversas.

Su primera tarea consistirá en determinar la amplitud crítica de excitación de esta transición. Para lograr esto, usted debe determinar el número de semillas N_1 y N_2 en los dos compartimentos (eligiendo los compartimentos tales que $N_1 \leq N_2$) en función de la amplitud A_D , que no es más que el voltaje medido en el terminal *speaker amplitude* (6). Este voltaje es proporcional a la amplitud de la onda en dientes de sierra que alimenta al altavoz. Haga al menos 5 medidas por voltaje.

Sugerencia:

- Para tener siempre en movimiento el conjunto de partículas bajo estudio, investigue únicamente amplitudes mayores a $0.7V$ en el terminal *speaker amplitude*. Comience observando el comportamiento del sistema variando el voltaje lentamente sin contar semillas. Puede que algunas semillas se peguen debido a motivos electrostáticos; no las cuente.

A.1	Registre los resultados de sus medidas de los números de partículas N_1 y N_2 en cada mitad del contenedor para varios valores de la amplitud A_D en la tabla Table A.1 .	1.2pt
------------	--	-------

A.2	Calcule la desviación estándar de sus medidas de N_1 y N_2 , y registre sus resultados en la tabla Table A.1 . Haga una gráfica de N_1 y N_2 en función de la amplitud A_D incluyendo sus incertidumbres en el gráfico Graph A.2 .	1.1pt
------------	--	-------

A.3	Determine la amplitud crítica $A_{D,crit}$ extrapolando la amplitud para la cual N_1 y N_2 se hacen iguales al cabo de un tiempo largo	1pt
------------	--	-----

Parte B. Calibración (3.2 puntos)

Parte B. Calibración (2.5 points) La amplitud A_D , corresponde al voltaje aplicado al altavoz. Sin embargo, el recorrido máximo A de las oscilaciones del altavoz (el desplazamiento de la membrana) es también de interés físico, pues está relacionado con la magnitud de excitación de las semillas. Por lo tanto, usted necesita calibrar la amplitud mostrada en la pantalla. Para ello, puede servirse de cualquiera de los materiales y utensilios que le han suministrado.

B.1	Haga un esquema del montaje que usará para medir la amplitud de excitación; es decir, la distancia máxima de desplazamiento A (en mm) de la membrana del altavoz en un periodo de oscilación.	0.5pt
------------	--	-------

B.2	Determine la amplitud A en mm para un número adecuado de puntos; es decir, introduzca el valor de la amplitud A en función de la amplitud A_D indicada en la pantalla en la tabla Table B.2 e indique las incertidumbres de sus medidas.	0.8pt
------------	---	-------

B.3	Realice una gráfica de sus datos en la gráfica Graph B.3 , incluyendo las incertidumbres.	1.0pt
B.4	Determine los parámetros de la curva resultante y escriba la función. $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Determine la amplitud crítica de excitación A_{crit} de las semillas de amapola.	0.1pt

Parte C. Exponente crítico (2.5 points)

En nuestro sistema, la temperatura corresponde a la energía cinética inyectada con la excitación. Esta energía es proporcional al cuadrado de la velocidad del altavoz; es decir, a $v^2 = A^2 f^2$, donde f es la frecuencia de oscilación. Ahora comprobaremos esta dependencia y determinaremos el exponente b de la ley de potencia que rige el comportamiento del parámetro de orden (ver Ecuación 1).

C.1	El desbalance $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ es un buen candidato para parámetro de orden de nuestro sistema ya que es cero por encima de la amplitud crítica e igual a 1 a bajas excitaciones. Determine este parámetro de orden en función de la amplitud A . Introduzca sus resultados en la tabla Table C.1 .	1.1pt
C.2	Realice la gráfica de el desbalance $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ como función de $ A_{crit}^2 - A^2 $, usando el gráfico doble-logarítmico de Graph C.2 . Puede servirse de la tabla Table C.1 para los cálculos. Los puntos de la gráfica pueden parecer que no siguen una relación lineal, pero se debe hacer una regresión lineal para ajustarse a la fórmula del exponente crítico.	1pt
C.3	Determine el exponente b y estime el error	1.4pt