

Salto de gránulos - Un modelo de transiciones de fase e inestabilidades (10 points)

Por favor asegúrese de leer las instrucciones generales dentro del sobre adjunto antes de comenzar a resolver este problema.

Introducción

Las transiciones de fase son bien conocidas en la vida cotidiana, por ejemplo el agua, que toma diferentes estados como sólido, líquido y gaseoso. Estos distintos estados de la materia están separados por transiciones de fase, donde el comportamiento colectivo de las mismas moléculas constituyentes varía. Una transición de fase está siempre asociada a una temperatura de transición en la que los estados cambian; es decir, las temperaturas de congelamiento y de ebullición del agua en los ejemplos mencionados anteriormente.

Sin embargo, las transiciones de fase son incluso más extensas que eso, ocurriendo también en otros sistemas tales como imanes o superconductores. En estos casos el estado macroscópico pasa, en una cierta temperatura de transición, de un paramagneto a un ferromagneto, y de un conductor a un superconductor, respectivamente.

Todas estas transiciones de fase pueden ser descritas en un marco común en el cual se introduce lo que es conocido bajo el nombre de parámetro de orden. Por ejemplo, en el caso de magnetismo el parámetro de orden está asociado con la alineación de los momentos magnéticos de los átomos con respecto a una magnetización macroscópica.

En lo que es conocido como transiciones de fase continuas, el parámetro de orden será siempre cero por encima de la temperatura de transición y crecerá continuamente al reducir la temperatura por debajo de ésta, tal y como se muestra en el esquema correspondiente a un imán en la figura 1 de abajo. La temperatura de transición de una transición de fase continua se llama temperatura crítica. 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.

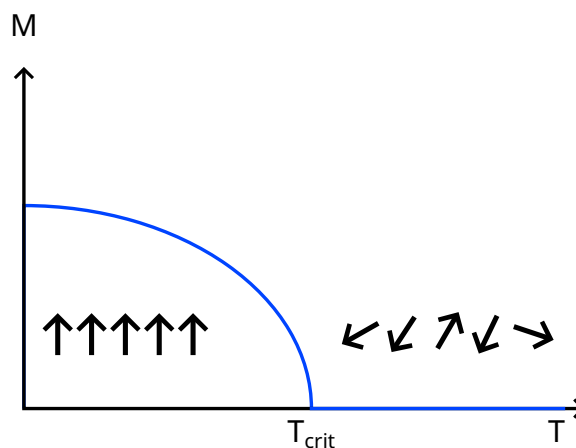


Figura 1: Representación esquemática de la dependencia con la temperatura de un parámetro de orden M en una transición de fase. Por debajo de la temperatura crítica T_{crit} , el parámetro de orden crece y es no nulo, pero es cero a temperaturas mayores que T_{crit} .

En las transiciones de fase continuas se encuentra en general que el parámetro de orden sigue una ley de potencia en las proximidades de una transición; así, por ejemplo, en magnetismo la magnetización M por debajo de la temperatura crítica T_{crit} está dada por:

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

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

La tarea

Nosotros estudiaremos un ejemplo simple en el cual pueden ser investigados diversos aspectos de las transiciones de fase continuas, tales como la manera en la que una inestabilidad da lugar al comportamiento colectivo de las partículas, y por lo tanto a la transición de fase. Investigaremos asimismo cómo el cambio macroscópico depende de una excitación de las partículas.

En transiciones de fase comunes, esta excitación ocurre normalmente por la temperatura. En nuestro ejemplo, la excitación consiste en energía cinética de las partículas aceleradas por el altavoz. El cambio macroscópico que corresponde a la transición de fase que estudiamos en este caso consiste en la separación de los gránulos en una mitad de un cilindro separada por una barrera.

Al aumentar la amplitud de excitación desde la mitad del cilindro donde los gránulos se han acumulado, se observará que las partículas se distribuyen eventualmente de manera equitativa en las dos mitades. Esto corresponde al haber calentado a una temperatura mayor que la temperatura crítica.

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

Lista de materiales

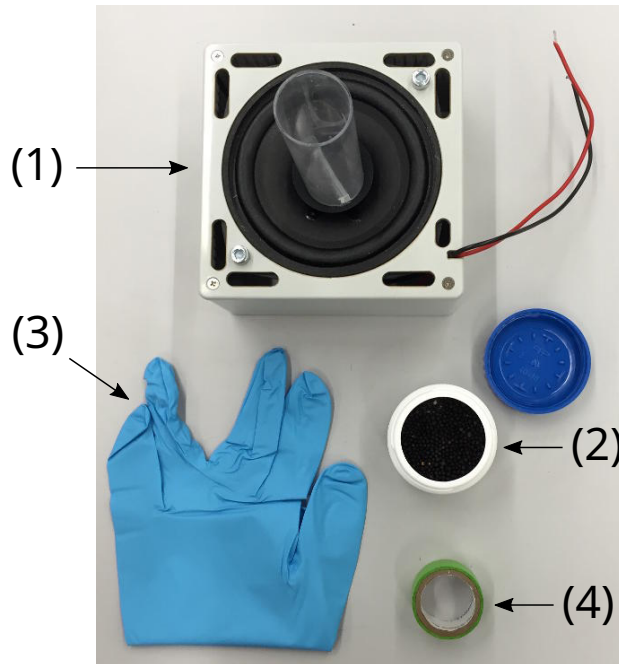


Figura 2: Equipos adicional para este experimento.

1. Montaje de altavoz con cilindro plástico fijado encima.
2. 50-100 gránulos de amapola (en un contenedor plástico)
3. Un guante
4. Cinta adhesiva

Precauciones importantes

- No aplique ninguna fuerza lateral excesiva al cilindro de plástico fijado sobre el altavoz. Note que no se dará ningún reemplazo en caso de rasgaduras en las membranas del altavoz o en el cilindro plástico.
- Apague el altavoz cuando no lo esté utilizando para evitar la descarga de la batería.
- En este experimento, una señal en forma de dientes de una sierra de 4 Hz es producida en los terminales para altavoz localizados a un lado del generador de señales.
- La amplitud de la señal en forma de diente de sierra puede ser ajustada usando el potenciómetro derecho identificado como *speaker amplitude* (4). Un voltaje DC proporcional a la amplitud de la señal es generado en el terminal para monitoreo identificado como *speaker amplitude* (6) (con respecto al terminal de tierra *GND* (7)). Los números hacen referencia a la fotografía (Figura 2) mostrada en las instrucciones generales.
- La membrana del altavoz es delicada. Asegúrese de no aplicar presión innecesaria sobre él, ni vertical, ni lateral.

Parte A. Amplitud crítica de excitación (3.3 points)

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

Su primera tarea consistirá en determinar la amplitud crítica de excitación de esta transición. Para lograr esto, usted debe determinar el número de gránulos N_1 y N_2 en los dos compartimentos (escogiendo los compartimentos tal que $N_1 \leq N_2$) como 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 forma de diente de sierra que alimenta al altavoz. Haga por lo menos 5 mediciones por cada voltaje.

Sugerencia:

- Para mantener siempre en movimiento el conjunto de partículas bajo estudio, investigue únicamente amplitudes mayores a 0.7 V en el terminal *speaker amplitude*. Empiece por mirar el comportamiento del sistema variando lentamente el voltaje sin contar aun los gránulos. Puede pasar que algunos gránulos se queden en el fondo por razones electroestáticas. No cuente esos gránulos.

A.1	Registre los resultados del conteo 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 mediciones de N_1 y N_2 , y registre sus resultados en la tabla Table A.1 . Grafique N_1 y N_2 como una función de las amplitudes A_D en el gráfico Graph A.2 , incluyendo sus incertidumbres.	1.1pt
A.3	Basándose en su gráfica determine la amplitud crítica $A_{D,crit}$ para la cual N_1 y N_2 son iguales esperando hasta que se llegue al estado estacionario.	1pt

Parte B. Calibración (2.5 points)

La amplitud A_D , corresponde al voltaje aplicado al altavoz. Sin embargo, el desplazamiento A de las oscilaciones del altavoz (el desplazamiento de la membrana) es de interés físico, pues ésta está relacionada a la magnitud de excitación de los gránulos. Por lo tanto, usted necesita calibrar la amplitud mostrada en la pantalla. Para este propósito, usted puede utilizar cualquiera de los materiales y herramientas que le han sido dados.

B.1	Haga un esquema del montaje que utilizará 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, mida el valor de la amplitud A como función de la amplitud A_D indicada en el voltímetro y regítrelos en la tabla Table B.2 e indique las incertidumbres de sus mediciones.	0.8pt

B.3	Grafique sus datos en el gráfico Graph B.3 , incluyendo las incertidumbres.	1.0pt
B.4	Determine los parámetros de la curva resultante utilizando un ajuste adecuado para determinar la función de calibración $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Determine la amplitud crítica de excitación A_{crit} de los gránulos de amapola.	0.1pt

Parte C. Exponente crítico (3.5 points)

En nuestro sistema, la temperatura corresponde a la energía cinética aportada en 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 como función de la amplitud A . Introduzca sus resultados en la tabla Table C.1 .	1.1pt
C.2	Grafique el desbalance $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ como función de $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $, en Graph C.2 , donde ambos ejes tienen escalas logarítmicas. (Gráfica log-log). Puede utilizar la tabla Table C.1 para sus cálculos. Los puntos sobre la gráfica pueden parecer no seguir una relación lineal pero se debe hacer una regresión lineal para coincidir con la ecuación del exponente crítico.	1pt
C.3	Determine el exponente b y estime el error.	1.4pt