

Pelotitas saltarinas - Un modelo de transición de fase e inestabilidad (10 puntos)

Por favor lea las instrucciones generales en el sobre adjunto antes de empezar con este problema.

Introducción

Las transiciones de fase son bien conocidas de la vida cotidiana, como por ejemplo el agua toma diferentes estados como sólido, líquido y gaseoso. Estos diferentes estados son separados por transiciones de fase, donde el comportamiento colectivo de las moléculas en el material cambian. Tal transición de fase esta siempre asociada con una transición de temperatura, donde los estados cambian, como por ejemplo las temperaturas de congelamiento y ebullición del agua en los ejemplos anteriores.

Las transiciones de fase sin embargo son aun más variadas y también ocurren en otros sistemas, tales como imanes o superconductores, donde debajo de una temperatura de transición el estado macroscópico cambia de paramagnético a ferromagnético y un conductor normal a un superconductor, respectivamente.

Todas estas transiciones pueden ser descritas en un marco de referencia común cuando se introduce el llamado parámetro de orden. Por ejemplo en magnetismo el parámetro de orden es asociado con la alineación de los momentos magnéticos de los átomos con una magnetización macroscópica

En la llamada transición de fase continua, el parámetro de orden siempre será cero arriba de la temperatura crítica y luego crece continuamente abajo de ella, como se muestra en el esquema para un imán en la figura 1 de abajo. La temperatura de transición de una transición de fase continua se le llama temperatura crítica. La figura también contiene una representación esquemática del orden microscópico o desorden en el caso de un imán, donde los momentos magnéticos individuales se alinean en el estado ferromagnético para dar lugar a una magnetización macroscópica, mientras que se encuentran orientados aleatoriamente en la fase paramagnética dando lugar a una magnetización macroscópica de cero.

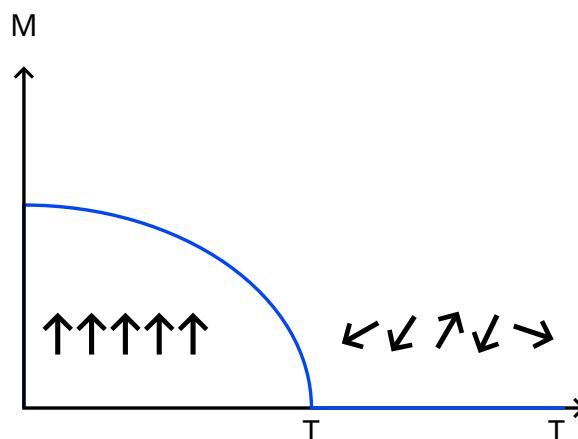


Figura 1: Representación esquemática de la dependencia en la temperatura de un parámetro de orden M en una transición de fase. Por debajo de la temperatura crítica T_{crit} , el parámetro de orden aumenta y es distinto de cero, mientras que es igual a cero a temperaturas por encima de T_{crit} .

En las transiciones de fase continuas se encuentra generalmente que en las proximidades de la transi-

ción 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:

(1)

$$M \sim (T_{crit} - T)^b, \quad T < T_{crit}$$

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.

Tarea

Estudiaremos un ejemplo simple donde algunas de las características de las transiciones de fase continuas pueden ser investigadas, tales como la forma en que una inestabilidad conlleva a un comportamiento colectivo de las partículas y por lo tanto a la transición de fase así también como la manera en que los cambios macroscópicos dependen de una excitación de las partículas.

En transiciones de fase comunes esta excitación es usualmente motivada por temperatura. En nuestro ejemplo, la excitación consiste de la energía cinética de las partículas aceleradas por el parlante. El cambio macroscópico correspondiente a la transición de fase que estudiamos aquí consiste en el ordenamiento de pelotitas en una de las mitades del cilindro, que está separada por una pequeña pared.

Incrementando la amplitud en donde las partículas se han ordenado en una de las mitades del cilindro, encontraran que eventualmente las partículas se distribuyen equitativamente entre las dos mitades. Esto corresponde a haber calentado mas allá de la temperatura crítica.

Su objetivo es determinar el exponente para el modelo de transición de fase estudiado aquí.

Listado de materiales

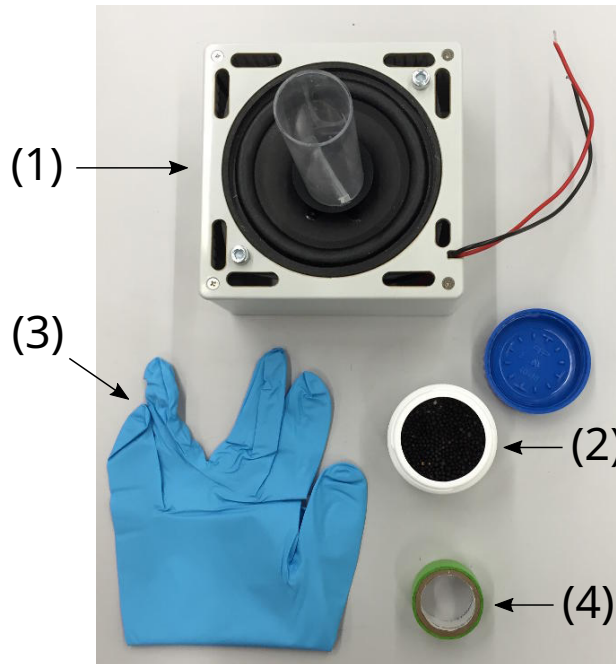


Figura 2: Equipo adicional para este experimento

1. Parlante con cilindro montado encima
2. Alrededor de 100 pelotitas (en el contenedor de plástico)
3. Un guante
4. Cinta adhesiva

Precauciones importantes

- No aplique fuerzas laterales excesivas al cilindro de plástico fijado sobre el parlante. Tenga en cuenta que no habrá repuestos en caso de rasgaduras de las membranas del parlante o del cilindro plástico.
- Apague el parlante cuando no lo esté usando para evitar la descarga de la batería.
- En este experimento, se envía una señal de diente de sierra de 4 Hz a los terminales del parlante situados al lado del generador de señales.
- La amplitud de la señal de diente 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 a la salida de monitoreo 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 (Figura 2) que se muestra en las instrucciones generales.
- La membrana del parlante es delicada. Asegúrese de no aplicar sobre ella presiones innecesaria verticales u horizontales.

Parte A. Amplitud crítica de excitación (3.3 puntos)

Antes de empezar con las tareas asignadas para este problema, conecte con cables el parlante a los terminales en el lateral del generador de señales (asegúrese de usar la polaridad correcta). Coloque las pelotitas (unas 50, por ejemplo) en el cilindro montado sobre la bocina y use un trozo del guante suministrado para tapar el cilindro y así evitar el escape de las pelotitas. Active las oscilaciones usando el interruptor y ajuste la amplitud girando el potenciómetro derecho, denominado *speaker amplitude* (4), usando el destornillador suministrado. Observe la distribución de las pelotitas en los dos compartimentos probando con 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 pelotitas N_1 y N_2 en los dos compartimentos (tomando $N_1 \leq N_2$) en función de la amplitud A_D , que es 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 parlante. Tome al menos 5 medidas por voltaje

Ayudas:

- Para tener siempre en movimiento el conjunto de partículas bajo estudio, investigue únicamente amplitudes en el terminal *speaker amplitude* mayores que 0.7 V. Comience observando el comportamiento del sistema variando el voltaje lentamente sin contar pelotitas. Puede que algunas pelotitas 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	A partir de la gráfica, determine la amplitud crítica $A_{D,crit}$ para la cual, después de esperar el tiempo suficiente para que se alcance un estado estacionario, $N_1 = N_2$ acaban haciéndose iguales	1pt
------------	--	-----

Parte B. Calibración (3.2 puntos)

La amplitud A_D , corresponde al voltaje aplicado al parlante. Sin embargo, la cantidad de interés físico es el recorrido máximo A de las oscilaciones del parlante (el desplazamiento máximo de la membrana), pues está relacionada con la intensidad con que excitan las pelotitas. 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 Δ (en mm) de la membrana del parlante 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	Haga un gráfico de sus datos en Graph B.3 , incluyendo las incertidumbres.	1.0pt
B.4	Determine los parámetros de la curva resultante empleando el ajuste apropiado para determinar la función de calibración $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Determine la amplitud crítica de excitación A_{crit} de las pelotitas.	0.1pt

Parte C. Exponente crítico (3.5 puntos)

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 desequilibrio $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ es un buen candidato a 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	Grafique el desequilibrio $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ en función de $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $ usando la gráfica Graph C.2 . en que ambos ejes tienen escalas logarítmicas (plot logarítmico doble). Puede servirse de la tabla Table C.1 para los cálculos. Aunque parezca que los puntos del plot no obedecen una relación lineal, haga una regresión lineal para ajustarse a la fórmula del exponente crítico	1pt
C.3	Determine el exponente b y estime el error.	1.4pt