

## 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 vida diaria, siendo el agua, con sus diferentes estados sólido, líquido y gaseoso, un ejemplo típico. Estos diferentes estados de la materia están separados por transiciones de fase, e donde cambia el comportamiento colectivo de las moléculas del material. Una transición de fase viene siempre asociada a una temperatura de transición 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 de transición, 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 magnetismo, el parámetro de orden está asociado con el alineamiento de los momentos magnéticos de los átomos con respecto a una magnetización macroscópica.

En las transiciones de fase continuas 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 temperatura de transición de una transición de fase continua se denomina temperatura crítica. La figura también muestra 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 originando así una magnetización macroscópica, mientras que en la fase paramagnética están orientados de manera aleatoria, lo que da lugar a una magnetización macroscópica nula.

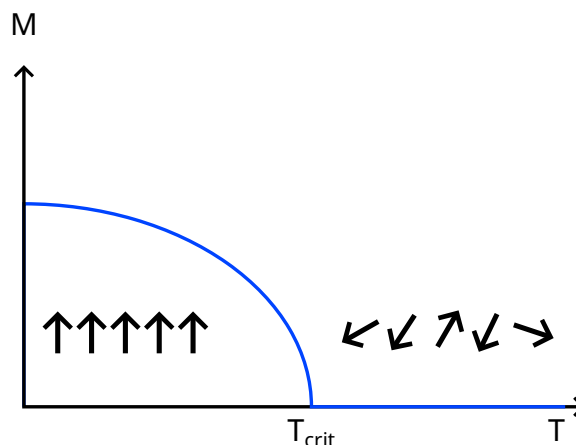


Figura 1: Representación esquemática de la dependencia de un parámetro de orden  $M$  con la temperatura en una transición de fase. Por debajo de la temperatura crítica  $T_{crit}$ , el parámetro de orden crece y es no nulo, pero es cero a temperaturas mayores que  $T_{crit}$ .

En las transiciones de fase continuas se encuentra generalmente 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  $M$  alrededor de la temperatura crítica  $T_{\text{crit}}$  está dada por:

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

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 continuas, 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 energía cinética de las partículas aceleradas por la acción del 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

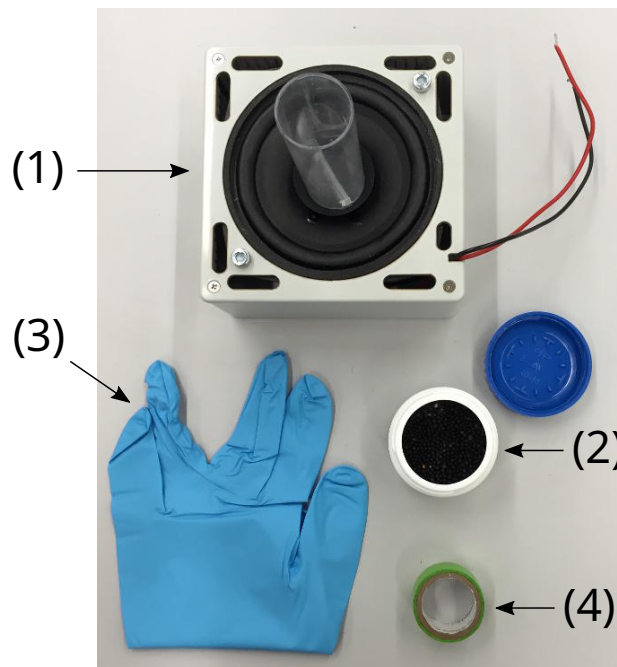


Figura 2: Equipo adicional para este experimento

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

## Precauciones importantes

- No ejerza fuerzas laterales excesivas en el cilindro de plástico montado sobre el altavoz. Tenga en cuenta que no habrá repuestos en caso de rasgaduras de las membranas del altavoz o del cilindro de 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 a la salida de control de 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 altavoz es delicada. Asegúrese de no aplicar sobre ella presiones innecesarias 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 altavoz a los terminales en el lateral del generador de señales (asegúrese de usar la polaridad correcta). Coloque unas cuantas semillas salarinas (unas 50 por ejemplo) en el cilindro montado sobre el altavoz y recorte 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 (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 señal en dientes de sierra que alimenta al altavoz. Tome al menos 5 medidas por voltaje

Sugerencia:

- Para tener siempre en movimiento el conjunto de partículas bajo estudio, investigue únicamente amplitudes en el terminal *speaker amplitude* con voltajes mayores que 0.7 V. 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.

<b>A.1</b>	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 <b>Table A.1</b> .	1.2pt
------------	--	-------

<b>A.2</b>	Calcule la desviación estándar de sus medidas de $N_1$ y $N_2$ , y registre sus resultados en la tabla <b>Table A.1</b> . 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
------------	--	-------

<b>A.3</b>	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, $N_1$ y $N_2$ acaban haciéndose iguales.	1pt
------------	---	-----

## Parte B. Calibración (3.2 puntos)

La amplitud  $A_D$  corresponde al voltaje aplicado al altavoz. Sin embargo, la cantidad de interés físico es el recorrido máximo  $A$  de las oscilaciones del altavoz (el desplazamiento máximo de la membrana), pues está relacionada con la intensidad con que excitan 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>B.1</b>	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>B.2</b>	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 <b>Table B.2</b> e indique las incertidumbres de sus medidas.	0.8pt
------------	---	-------

<b>B.3</b>	Represente sus datos en el gráfico <b>Graph B.3</b> , incluyendo las incertidumbres.	1.0pt
<b>B.4</b>	Determine los parámetros de la curva resultante empleando el ajuste apropiado para determinar la función de calibración $A(A_D)$ .	0.8pt
<b>B.5</b>	Determine la amplitud crítica de excitación $A_{\text{crit}}$ de las semillas de amapola.	0.1pt

### Parte C. Exponente crítico (3.5 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 potencias que rige el comportamiento del parámetro de orden (ver Ecuación 1).

<b>C.1</b>	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 <b>Table C.1</b> .	1.1pt
<b>C.2</b>	Represente 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 <b>Graph C.2</b> , en que ambos ejes tienen escalas logarítmicas (gráfica logarítmica doble). Puede servirse de la tabla <b>Table C.1</b> para los cálculos. Aunque parezca que los puntos experimentales no obedecen una relación lineal, haga una regresión lineal para ajustarse a la fórmula del exponente crítico	1pt
<b>C.3</b>	Determine el exponente $b$ y estime el error.	1.4pt