

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

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

### Introducción

Las transiciones de fase son bien conocidas de la experiencia cotidiana. Un ejemplo es el agua que toma diferentes estados: sólido, líquido y gaseoso. Estos distintos estados están separados por transiciones de fase, durante las cuales, el comportamiento colectivo de las moléculas que constituyen el material varía. Una transición de fase está siempre asociada a una temperatura de transición en la que se produce el cambio (en el ejemplo del agua las temperaturas de congelamiento y de ebullición).

Sin embargo, las transiciones de fase son mucho más frecuentes, 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 de manera unificada introduciendo un parámetro conocido como parámetro de orden. Por ejemplo, en magnetismo el parámetro de orden está asociado con la alineación de los momentos magnéticos de los átomos con respecto a una magnetización macroscópica.

En las denominadas 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 como se muestra en el esquema correspondiente al magnetismo en la figura 1 a continuación. La temperatura de transición de una transición de fase continua se denomina 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.

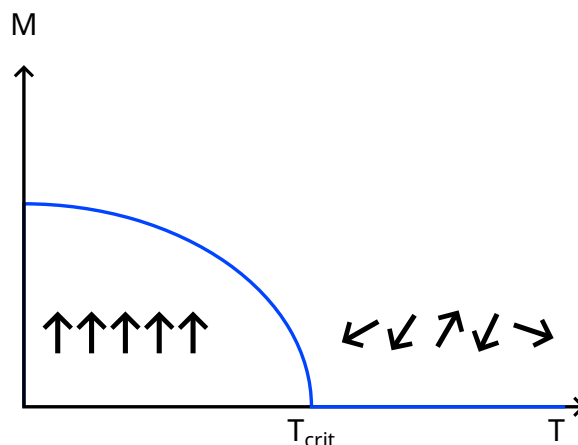


Figura 1: Representación esquemática de la dependencia con la temperatura de un parámetro de orden  $M$  en una transición de fase. Por debajo de la temperatura crítica  $T_{crit}$ , el parámetro de orden crece y es no nulo, pero es en cambio cero a temperaturas mayores que  $T_{crit}$ .

En las transiciones de fase continuas se encuentra, generalmente, que el parámetro de orden sigue una ley de potencia en las proximidades de la transición; por ejemplo, en el caso del magnetismo la magnetización  $M$  por debajo 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. Lo que es sorprendente es que este comportamiento es universal: el exponente de esta ley de potencia es el mismo para muchos tipos diferentes de transiciones de fase.

## Tarea

Vamos a estudiar 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. Asimismo, vamos a investigar cómo el cambio macroscópico depende de una excitación de las partículas.

En transiciones de fase comunes, esta excitación es normalmente accionada por la temperatura. En nuestro ejemplo, la excitación consiste en la energía cinética de las partículas aceleradas por la acción de un altavoz. El cambio macroscópico correspondiente a la transición de fase que aquí estudiamos, consiste en clasificar las semillas en una mitad de un cilindro, separada de la otra mitad por una pequeña barrera (una fracción de las semillas queda en una mitad y la restante en la otra mitad).

Al aumentar la amplitud de excitación con la que se van clasificando las semillas en una y otra mitad, observará que, eventualmente, las partículas se distribuirán de manera equitativa en las dos mitades. Esto corresponde a calentar el sistema 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

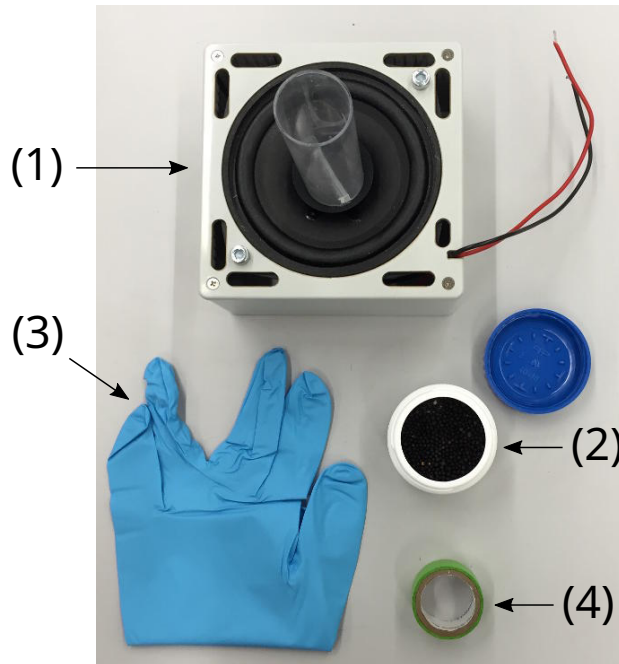


Figura 2: Equipo adicional para este experimento.

1. Ensamblaje del altavoz con el cilindro plástico montado encima.
2. Unas 100 semillas de amapola (en un contenedor plástico)
3. Un guante
4. Cinta adhesiva

## Precauciones importantes

- No aplique una fuerza lateral excesiva al cilindro plástico montado sobre el altavoz. Note que no se proveerá ningún reemplazo en caso de rasgaduras en las membranas del altavoz o en el cilindro plástico.
- Apague el altavoz cuando no lo esté usando para evitar la descarga innecesaria de la batería.
- En este experimento, una señal diente de sierra de 4 Hz es producida en los terminales del altavoz localizados a un lado del generador de señales.
- La amplitud de la señal diente de sierra puede ser ajustada usando el potenciómetro identificado como *speaker amplitude* (4). Un voltaje DC proporcional a la amplitud de la señal es generado en el terminal del monitor identificado como *speaker amplitude* (6) (con respecto al borne 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, bajo ninguna circunstancia, presión innecesaria en ella ya sea vertical o lateralmente.



## Parte A. Amplitud de excitación crítica (3.3 puntos)

Antes de empezar con las tareas de este problema, conecte el altavoz a los terminales en el costado del generador de señales (asegúrese de usar la polaridad correcta). Coloque algunas semillas de amapola (50 por ejemplo) en el cilindro montado sobre el altavoz y use un retazo del guante provisto para tapar el cilindro y así mantener las semillas en el cilindro. Active la excitación usando el interruptor y ajuste la amplitud girando el potenciómetro derecho, denominado *speaker amplitude* (4) utilizando el destornillador provisto. Observe la separación de las semillas probando distintas amplitudes.

La primera tarea es determinar la amplitud de excitación crítica de esta transición. Para lograr esto, usted debe determinar el número de semillas  $N_1$  y  $N_2$  en los dos compartimientos como 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 diente de sierra que alimenta al altavoz. Realice al menos 5 mediciones para cada voltaje.

Sugerencia:

- Para mantener en movimiento el conjunto de partículas bajo estudio, investigue únicamente amplitudes mayores a 0.7 V en el terminal *speaker amplitude*. Comience observando el comportamiento del sistema variando el voltaje lentamente sin contar semillas. Algunas semillas podrían adherirse al fondo por efectos electrostáticos. No cuente esas semillas.

<b>A.1</b>	Registre sus mediciones de los números de partículas $N_1$ y $N_2$ en cada mitad del contenedor para varias amplitudes $A_D$ en la tabla <b>Table A.1</b> .	1.2pt
<b>A.2</b>	Calcule la desviación estándar de sus mediciones de $N_1$ y $N_2$ , y registre sus resultados en la tabla <b>Table A.1</b> . Grafique $N_1$ y $N_2$ en función de la amplitud $A_D$ en el gráfico <b>Graph A.2</b> , incluyendo sus incertidumbres.	1.1pt
<b>A.3</b>	Basado en su gráfico, determine la amplitud crítica $A_{D,crit}$ extrapolando la amplitud para la cual $N_1$ y $N_2$ son iguales al cabo de un tiempo suficiente para alcanzar un estado estacionario.	1pt

## Parte B. Calibración (3.2 points)

La amplitud  $A_D$  corresponde al voltaje aplicado al altavoz. Sin embargo, la cantidad física interesante es el desplazamiento máximo  $A$  en la oscilación del altavoz, ya que esta cantidad se relaciona con la magnitud de la excitación de las semillas. Para esto usted puede utilizar cualquiera de los materiales y dispositivos provistos.

<b>B.1</b>	Haga un esquema del montaje que usará para medir la amplitud de excitación, es decir, la distancia máxima del 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, registre el valor de la amplitud $A$ como función de la amplitud $A_D$ indicada en la pantalla en la tabla <b>Table B.2</b> e indique las incertidumbres de sus mediciones.	0.8pt
<b>B.3</b>	Grafique sus datos en el gráfico <b>Graph B.3</b> , incluyendo las incertidumbres.	1.0pt

**B.4** Determine los parámetros de la curva resultante utilizando un ajuste apropiado para determinar la función de calibración  $A(A_D)$ . 0.8pt

**B.5** Determine la amplitud de excitación crítica  $A_{\text{crit}}$  de las semillas de amapola. 0.1pt

### Parte C. Exponente crítico (3.5 puntos)

En nuestro sistema, la temperatura corresponde a la energía cinética entregada en la excitación. Esta energía es proporcional al cuadrado de la rapidez 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  $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$  en función de  $|A_{\text{crit}}^2 - A^2|$  en el gráfico **Graph C.2**, donde ambos ejes tienen escala logarítmica. Puede usar la tabla **Table C.1** para sus cálculos. Los puntos en el gráfico podrían no semejar una relación lineal, pero se debe realizar una regresión lineal de todas formas para ajustar la fórmula del exponente crítico. 1pt

**C.3** Determine el exponente  $b$  y estime el error. 1.4pt