

Esferas saltitantes – Um modelo para transição de fase e instabilidades. (10 pontos)

Por favor, leia as instruções gerais no envelope separado antes de iniciar este problema.

Introdução

Transições de fase são bem conhecidas no cotidiano, por exemplo, água diferentes estados diferentes, como sólido, líquido e gasoso. Estes diferentes estados são separados por transições de fase, onde o comportamento coletivo das moléculas no material sofrem alterações. Tais transições de fase são sempre associadas a uma temperatura crítica de transição, onde há mudanças de estado, isto é, como as temperaturas de congelamento e de ebulição dos exemplos acima.

Transições de fase são, porém, ainda mais difundidas e também ocorrem em outros sistemas, tais como ímãs ou supercondutores, quando abaixo de uma temperatura crítica as mudanças macroscópicas de estado alteram as características de um paramagnético para um ferromagnético, ou transformando um condutor normal em um supercondutor, respectivamente.

Todas estas transições podem ser descritas em uma estrutura comum, quando introduzimos o chamado parâmetro de ordem. Por exemplo, no magnetismo o parâmetro de ordem está associado com o alinhamento do momento magnético dos átomos com uma magnetização macroscópica.

Nas transições de fase chamadas contínuas o parâmetro de ordem é sempre nulo acima da temperatura crítica, e então, cresce continuamente abaixo dela, como mostrado no diagrama esquemático para um magneto na figura 1, abaixo. A temperatura de transição de uma transição de fase contínua é chamada de temperatura crítica. A figura também contém uma representação esquemática da ordem/desordem microscópica no caso de um magneto, onde os momentos magnéticos individuais alinham-se no estado ferromagnético para dar origem a uma magnetização macroscópica, enquanto eles são aleatoriamente orientados na fase paramagnética obtendo-se uma magnetização macroscópica nula.

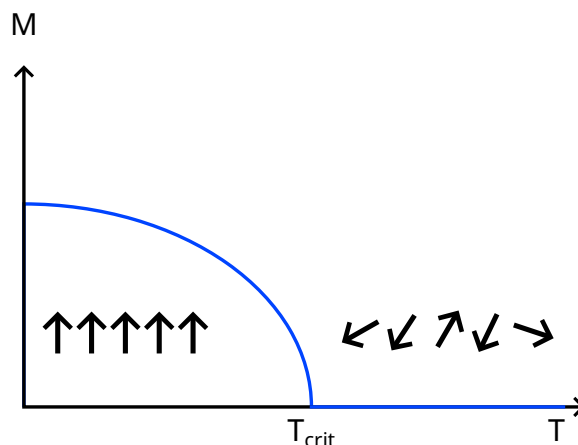


Figura 1: Representação esquemática da dependência da temperatura de um parâmetro de ordem M em uma transição de fase. Abaixo da temperatura crítica T_{crit} , o parâmetro de ordem é crescente e diferente de zero, enquanto que se iguala a zero para temperaturas superiores a T_{crit} .

Em geral, numa transição de fase contínua verifica-se que o parâmetro de ordem perto da transição segue uma lei de potências; ex: no caso de um magneto a magnetização M abaixo da temperatura T_{crit} , é dada pela seguinte equação:

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

onde T é a temperatura. O que é ainda mais impressionante é que este comportamento é universal: o expoente desta poderosa lei é a mesma para muitos dos diferentes tipos de transição de fase.

Tarefa

Iremos estudar um exemplo simples, onde algumas das características de transições de fase podem ser investigadas, como por exemplo uma instabilidade pode determinar o comportamento coletivo das partículas e, assim, a transição de fase, ou como as alterações macroscópicas do sistema dependem da excitação das partículas.

Nas transições de fase comuns, o nível de excitação das partículas é normalmente relacionado com a temperatura. No nosso exemplo dos grânulos de sementes, a excitação é fornecida às partículas através das vibrações verticais de um alto-falante. A mudança macroscópica correspondente à transição de fase se baseia na triagem dos grânulos de sementes em uma das metades de um cilindro, separado por uma pequena parede.

As partículas deixam de se acumular em um dos lados quando aumentamos a amplitude do movimento vertical. Para altas amplitudes as partículas se distribuem igualmente entre as duas metades do cilindro. Isto corresponde a aquecer o sistema à temperaturas acima da temperatura crítica.

O seu objetivo nesta experiência é determinar o valor do expoente crítico para este modelo de transição de fase.

Lista de materiais

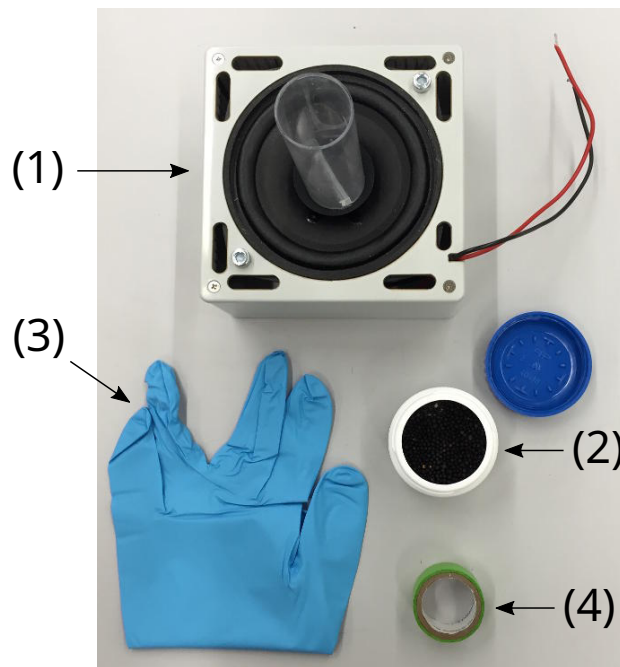


Figura 2. Material adicional para esse experimento.

1. Montagem com um cilindro de plástico montado sobre o alto-falante.
2. Cerca de 100 grânulos de sementes de papoula (em um recipiente de plástico).
3. Uma luva de borracha.
4. Fita-cola.

Precauções importantes

- Não aplique forças laterais no cilindro de plástico montada no alto-falante. Note que nenhum material de substituição será fornecido caso as membranas dos alto-falantes sejam rasgadas ou tenha o cilindro plástico arrancado.
- Desligue a montagem do alto-falante, sempre que não estiver em uso, a fim de que a bateria não descarregue de forma desnecessária.
- Neste experimento, o sinal na forma de dente de serra 4 Hz é conectado nos terminais dos alto-falante localizado no lado do gerador de sinal.
- A amplitude do sinal de dente de serra pode ser ajustada através do potenciômetro *speaker amplitude* à direita, chamado amplitude dos alto-falantes (4). Uma tensão DC proporcional à amplitude do sinal de saída *speaker amplitude* é obtido no monitor de amplitude do alto-falante *socket* (6), e o terminal terra *GND socket* (7) é proporcional à amplitude do sinal fornecido ao alto-falante. Os números indicados se referem a figura 2 mostrada nas instruções gerais.

- A membrana do alto-falante é delicada. Assegure-se que não irá aplicar nenhuma pressão excessiva e desnecessária lateralmente ou verticalmente sobre a membrana.

Parte A. Amplitude crítica de excitação (3,3 pontos)

Antes de iniciar as tarefas deste problema, conecte o alto-falante aos terminais que se encontram ao lado do gerador de sinais (certifique-se de usar a polaridade correta). Em seguida, coloque algumas sementes de papoula (por exemplo 50) sobre o cilindro montado no alto-falante, e utilizando para fechar o cilindro na parte superior, um pedaço cortado da luva de borracha fornecida, a fim de manter as sementes de papoula no cilindro. Ligue a excitação com o interruptor liga/desliga, e ajuste a amplitude girando o potenciômetro *speaker amplitude* correto marcado como amplitude do alto-falante (4) com uma chave de fenda fornecida. Observe a distribuição das esferas testando diferentes amplitudes.

A primeira tarefa consiste em determinar a amplitude de excitação crítica desta transição. A fim de fazer isso, você terá de determinar o número de sementes N_1 e N_2 nos dois compartimentos (escolha aleatoriamente, tal que $N_1 \leq N_2$) como uma função da amplitude A_D , que é a tensão medida na tomada de amplitude do alto-falante *speaker amplitude* (6). Esta tensão é proporcional à amplitude da forma de onda dente de serra transmitindo ao alto-falante. Realize no mínimo 5 medidas por voltagem.

Dica:

- A fim de ter sempre um movimento nas partículas que você deseja estudar, apenas investigue casos correspondentes à amplitude de tensões do alto-falante *speaker amplitude* superiores a 0,7 V. Comece observando o comportamento do sistema variando a voltagem aplicada lentamente sem contar os grânulos de sementes. Pode ser que alguns grânulos de sementes fiquem coladas ao fundo do recipiente devido estarem carregados eletricamente. Se for esse o caso não inclua estas sementes na sua contagem.

A.1	Registre suas medidas referentes ao número de partículas N_1 e N_2 em cada metade do recipiente para várias amplitudes A_D na Tabela A.1 .	1.2pt
------------	---	-------

A.2	Calcule o desvio padrão de suas medidas de N_1 e N_2 e liste seus resultados na Tabela A.1 . Trace os gráficos de N_1 e N_2 como uma função da amplitude exibida A_D no Gráfico A.2 , incluindo as respectivas incertezas.	1.1pt
------------	--	-------

A.3	Com base no gráfico, determine a amplitude crítica $A_{D,crit}$ tal que se tenha $N_1 = N_2$, obtidos após esperar tempo suficiente para serem aproximadamente independentes do tempo (estado estacionário).	1pt
------------	---	-----

Parte B. Calibração (3,2 pontos)

A amplitude A_D apresentada, corresponde a uma tensão aplicada ao alto-falante. Contudo a quantidade física que nos interessa é o deslocamento máximo, A , da oscilação do alto-falante, já que esta está relacionada à quão fortemente os grânulos de sementes são excitados. Portanto, é necessário calibrar a amplitude apresentada. Para isto, você poderá utilizar qualquer um dos materiais e instrumentos fornecidos.

B.1	Desenhe a montagem que você utilizou para medir a amplitude de excitação, isto é, a máxima distância de deslocamento A (em milímetros) do alto-falante em um período de oscilação.	0.5pt
------------	--	-------

B.2	Determine a amplitude A , em mm, para um número adequado de pontos, isto é, represente a amplitude A em função da amplitude A_D do mostrador apresentada na Tabela B.2 e indique as incertezas de suas medidas.	0.8pt
B.3	Grafique seus dados no gráfico B.3 , incluindo as incertezas.	1.0pt
B.4	Determine os parâmetros da curva resultante usando um ajuste apropriado para determinar a função de calibração $A(A_D)$.	0.8pt
B.5	Determine a amplitude da excitação crítica A_{crit} dos grânulos de sementes de papoula.	0.1pt

Parte C. Expoente crítico (3,5 pontos)

No nosso sistema, a temperatura corresponde à energia cinética da excitação inicial. Esta energia é proporcional ao quadrado da velocidade do alto-falante, isto é, para $v^2 = A^2 f^2$, onde f é a frequência da oscilação. Agora vamos testar essa dependência e determinar o expoente b da lei de potência que governa o comportamento do parâmetro de ordem (veja equação 1)

C.1	A relação $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ é um bom candidato para um parâmetro de ordem do nosso sistema, onde é nulo acima da amplitude crítica, e igual a 1 para excitação baixa. Determinar este parâmetro de ordem como uma função da amplitude A . Escreva seus resultados na Tabela C.1 .	1.1pt
C.2	Traçar o valor da relação $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ em função de $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $, no Gráfico C.2 onde os eixos estão na escala logarítmica (<i>dilog</i>). Você deve utilizar a Tabela C.1 para o seus cálculos. Os pontos no gráfico podem parecer que não obedecem a uma relação linear, mas você deverá de qualquer forma identificar uma melhor reta, de modo a conseguir estimar o expoente crítico pedido na alínea abaixo.	1pt
C.3	Determine o expoente b e estime o seu erro.	1.4pt