

Các hạt nhảy - một mô hình cho các chuyển pha và sự bất ổn định (10 điểm)

Hãy đọc các hướng dẫn chung trong chiếc phong bì riêng trước khi em bắt đầu bài thí nghiệm này.

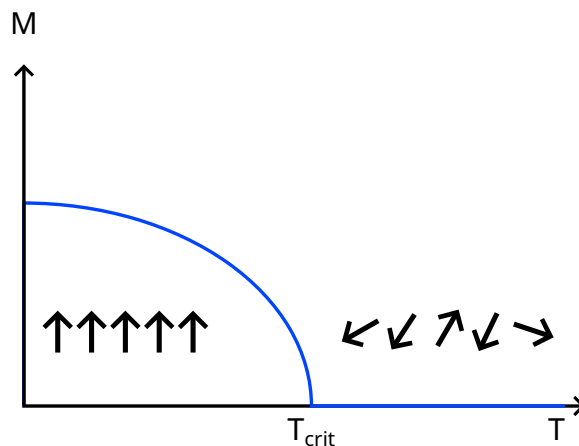
Giới thiệu

Các chuyển pha rất phổ biến trong cuộc sống hàng ngày, ví dụ nước có thể ở các trạng thái rắn, lỏng và khí. Các trạng thái khác nhau này được phân cách bằng các chuyển pha, trong đó các tính chất tập thể của các phân tử trong vật liệu đó thay đổi. Một chuyển pha như vậy luôn luôn được gắn với một nhiệt độ chuyển pha, mà ở đó trạng thái thay đổi; ví dụ nhiệt độ đông đặc hay nhiệt độ sôi của nước trong các ví dụ trên.

Tuy nhiên, các chuyển pha còn phổ biến hơn nhiều và còn có thể xảy ra trong các hệ khác, như các nam châm hoặc vật liệu siêu dẫn. Khi hạ nhiệt độ qua nhiệt độ chuyển pha, trạng thái vĩ mô thay đổi, từ pha thuận từ sang pha sắt từ trong nam châm, hay từ pha dẫn điện thường sang pha siêu dẫn trong vật liệu siêu dẫn.

Tất cả các chuyển pha đó có thể được mô tả theo cùng một lí thuyết chung, khi đưa vào cái gọi là tham số trật tự. Ví dụ, trong lĩnh vực từ thì tham số trật tự được gắn với sự định hướng mô men từ của các nguyên tử dẫn tới sự từ hóa vĩ mô.

Trong các chuyển pha được gọi là liên tục, tham số trật tự sẽ luôn bằng không ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tới hạn và tăng dần một cách liên tục khi nhiệt độ hạ xuống thấp hơn nhiệt độ tới hạn, như sơ đồ minh họa cho một nam châm ở Hình 1 dưới đây. Nhiệt độ chuyển pha của một chuyển pha liên tục được gọi là nhiệt độ tới hạn. Hình 1 cũng phác họa các trạng thái trật tự và mất trật tự trong trường hợp của một nam châm. Ở trạng thái sắt từ, các mô men từ riêng biệt sắp xếp song song với nhau, dẫn tới một độ từ hóa vĩ mô khác không. Ở pha thuận từ, các mô men từ định hướng hỗn loạn, dẫn tới độ từ hóa vĩ mô bằng không.



Hình 1: Sơ đồ phác họa sự phụ thuộc nhiệt độ của tham số trật tự M trong một chuyển pha. Khi hạ nhiệt độ xuống qua dưới nhiệt độ tới hạn T_{crit} , thì tham số trật tự khác không và tăng dần. Ở trên nhiệt độ tới hạn T_{crit} tham số trật tự bằng không.

Với các chuyển pha liên tục, người ta thường thấy rằng tham số trật tự ở gần điểm chuyển pha tuân theo

một định luật hàm mũ, ví dụ trong từ học, độ từ hóa M được cho bởi:

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

trong đó T là nhiệt độ và b là số mũ tới hạn. Thú vị hơn cả là tính chất trên là phổ quát: số mũ của định luật hàm mũ nói trên là như nhau cho rất nhiều loại chuyển pha khác nhau.

Nhiệm vụ

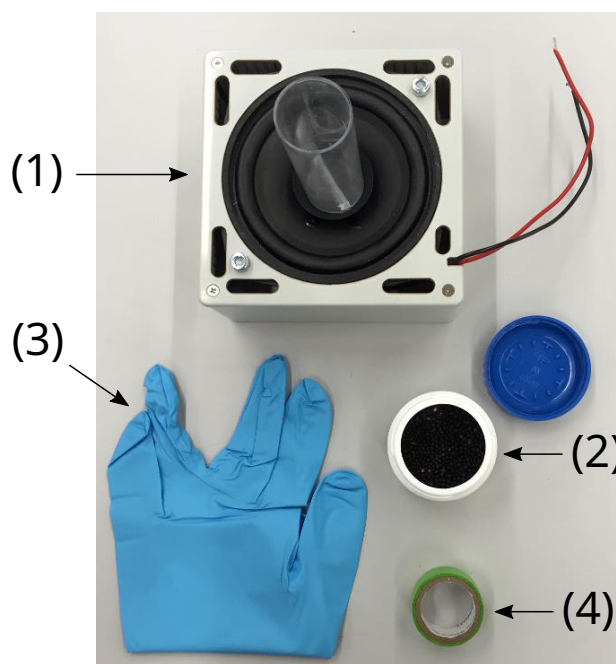
Chúng ta sẽ nghiên cứu một ví dụ đơn giản trong đó một số tính chất của các chuyển pha liên tục có thể được khảo sát, chẳng hạn như làm thế nào sự bất ổn định có thể dẫn tới các biểu hiện tập thể của các hạt và gây ra chuyển pha, hay sự thay đổi vĩ mô phụ thuộc như thế nào vào sự kích thích của các hạt.

Trong chuyển pha nói chung sự kích thích đó thường là do nhiệt độ gây nên. Trong ví dụ của chúng ta, kích thích đó chính là động năng của các hạt được tăng tốc bởi dao động của một màng loa. Sự thay đổi vĩ mô ứng với sự chuyển pha mà ta nghiên cứu ở đây chính là sự dồn các hạt về một nửa của hình trụ; hình trụ này được chia làm hai phần bằng một vách ngăn nhỏ.

Tăng dần biên độ của các hạt đã được dồn về một nửa của hình trụ, em sẽ thấy rằng cuối cùng các hạt sẽ được phân bố đều trong hai nửa hình trụ. Điều đó ứng với việc chúng ta đã nâng nhiệt độ vượt qua nhiệt độ tới hạn.

Mục tiêu của em là xác định số mũ tới hạn cho mô hình chuyển pha được nghiên cứu ở đây.

Danh mục các thiết bị



Hình 2: Các thiết bị được cung cấp thêm cho thí nghiệm này.

1. Một chiếc loa được gắn một ống hình trụ ở phía trên.
2. Khoảng 100 hạt anh túc (đựng trong một hộp nhựa)
3. Một găng tay cao su
4. Cuộn băng dính

Chú ý quan trọng

- **KHÔNG** được tác dụng lực ngang vào phần ống trụ nhựa gắn trên chiếc loa. Nhớ rằng không có sự thay thế nào được cung cấp trong trường hợp màng loa bị rách hoặc ống nhựa bị rời ra.
- **TẮT** loa khi không sử dụng, tránh làm tổn hao pin không cần thiết.
- Trong thí nghiệm này, một tín hiệu xung răng cưa có tần số 4 Hz được đưa vào loa qua hai khe ở sườn của máy phát tín hiệu.
- Biên độ của tín hiệu xung răng cưa có thể được thay đổi bằng chiết áp ở bên phải được kí hiệu bởi *speaker amplitude* (biên độ loa) (4). Điện áp một chiều tỉ lệ với biên độ tín hiệu được lấy ra ở ổ cắm điều khiển biên độ loa (*speaker amplitude*) (6) (so với ổ cắm GND (7)). Xem các số xem trên hình 2 trong phần giới thiệu chung.
- Màng loa rất dễ hỏng. Hãy chắc chắn rằng em không tác dụng lực không cần thiết trên màng loa bằng bất kỳ phương tiện nào theo cả chiều dọc hoặc chiều ngang.

Phần A. Biên độ kích thích tới hạn (3.3 điểm)

Trước khi em bắt đầu các nhiệm vụ của bài thí nghiệm này, lắp các dây loa và các chốt ở sườn máy phát tín hiệu (hãy chắc chắn rằng em mắc đúng các cực). Cho một số hạt anh túc (ví dụ 50) vào trong hình trụ được gắn trên cái loa và dùng một miếng cao su lấy từ chiếc găng tay để bịt miệng ống trụ nhằm giữ các hạt anh túc bên trong ống. Bật nút điều khiển tín hiệu kích thích (8) và thay đổi biên độ nhờ việc vặn chiết áp bên phải được kí hiệu là *speaker amplitude* (4) bằng cái vặn vít nhỏ được cấp. Quan sát sự phân chia số lượng các hạt trong hai nửa ống ở các biên độ khác nhau.

Nhiệm vụ đầu tiên là xác định biên độ kích thích tới hạn của chuyển pha này. Để làm điều đó, em hãy xác định số hạt N_1 và N_2 trong hai nửa ống trụ (được đặt tên sao cho $N_1 \leq N_2$) như một hàm của biên độ hiển thị A_D , đó là điện áp đo được ở ổ cắm *speaker amplitude* (6). Điện áp này tỉ lệ với biên độ của tín hiệu răng cưa điều khiển loa. Tiến hành ít nhất 5 phép đo cho mỗi giá trị của điện áp.

Gợi ý:

- Để luôn có sự chuyển động của các hạt trong thí nghiệm, chỉ nghiên cứu các điện áp lớn hơn 0.7V. Bắt đầu bằng việc quan sát các biểu hiện của hệ bằng cách thay đổi từ từ điện áp mà không cần đếm số hạt anh túc. Có thể có một số hạt anh túc bị dính vào đáy ống do lực hút tĩnh điện. KHÔNG đếm các hạt này.

A.1 Ghi kết quả xác định số hạt N_1 và N_2 trong mỗi nửa ống ở các giá trị biên độ hiển thị A_D khác nhau vào trong **bảng A. 1. (Table A.1.)** 1.2pt

A.2 Tính độ lệch chuẩn của phép đo N_1 và N_2 và ghi lại kết quả trong **Bảng A.1. (Table A.1.)**. Vẽ đồ thị của N_1 và N_2 như hàm của biên độ hiển thị A_D vào **Đồ thị A.2. (Graph A.2.)**, kèm theo sai số của chúng. 1.1pt

A.3 Dựa vào đồ thị, hãy xác định biên độ hiển thị tới hạn $A_{D,crit}$ mà ở đó $N_1 = N_2$, sau khi đợi đến trạng thái dừng được thiết lập. 1pt

Part B. Chuẩn (3.2 điểm)

Biên độ hiển thị A_D ứng với điện áp đặt vào loa. Tuy nhiên, đại lượng vật lí quan trọng là độ dời cực đại A của dao động màng loa, vì nó liên quan tới các hạt sẽ bị kích thích mạnh đến cỡ nào. Vì thế, em cần chuẩn biên độ hiển thị. Để thực hiện được điều này, em có thể sử dụng tất cả các vật liệu và dụng cụ được cấp.

B.1 Vẽ sơ đồ thí nghiệm em dùng để đo biên độ kích thích, tức là khoảng cách dịch chuyển cực đại A (đo bằng mm) của màng loa trong một chu kì dao động. 0.5pt

B.2 Hãy xác định biên độ A đo bằng mm cho một số lần đo thích hợp, tức là ghi lại biên độ A như một hàm của biên độ hiển thị A_D vào **Bảng B.2. (Table B.2)** và chỉ ra sai số của các phép đo. 0.8pt

B.3 Vẽ đồ thị từ kết quả vào **Đồ thị B.3. (Graph B.3.)**, kèm theo sai số. 1.0pt

B.4 Xác định các tham số của đường cong thu được, bằng cách sử dụng hàm làm khớp thích hợp để xác định hàm chuẩn $A(A_D)$. 0.8pt

B.5 Xác định biên độ kích thích tới hạn A_{crit} của các hạt anh túc. 0.1pt

Phần C. Số mũ tới hạn (3.5 điểm)

Trong hệ của chúng ta, nhiệt độ ứng với động năng đầu vào của kích thích. Năng lượng này tỉ lệ thuận với bình phương tốc độ của màng loa, tức là với $v^2 = A^2 f^2$, trong đó f là tần số của dao động. Bây giờ chúng ta sẽ kiểm tra sự phụ thuộc này và xác định số mũ b của quy luật hàm mũ của tham số trật tự (xem phương trình (1)).

C.1 Độ mất cân bằng $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ là một ứng viên tốt để mô tả tham số trật tự trong hệ của chúng ta, vì nó bằng không khi ở trên biên độ tới hạn và bằng 1 khi kích thích nhỏ. Hãy xác định tham số trật tự này như là hàm của biên độ A . Ghi lại kết quả vào **Bảng C.1.1 (Table C.1.)**. 1.1pt

C.2 Vẽ đồ thị độ mất cân bằng $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ theo $|A^2 - A_{\text{crit}}^2|$, trên **Đồ thị C.2. (Graph C.2)** với cả hai trục ở thang logarit. Em hãy ghi các tính toán vào **Bảng C.1.1 (Table C.1.)**. Các điểm trên đồ thị có vẻ không tuân theo quan hệ tuyến tính, tuy nhiên vẫn có thể dùng phép hồi quy tuyến tính để tìm công thức xác định số mũ tới hạn. 1pt

C.3 Xác định số mũ b và ước tính sai số. 1.4pt