උඩ පනිමින් පවතින කුඩා ඇට - කලාප සංක්‍රමණය සහ අස්ථායිතාව පිළිබිඹු කිරීම සඳහා ආකෘතියක්

Please read the general instructions in the separate envelope before you start this problem.

Introduction

කලාප සංක්‍රමණයට එක් නිදසුනක් වන්නේ ජලය පවතින විවිධ අවස්ථා වන ඝන, ද්‍රව හා වායු අතර සිදුවිය හැකි අවස්ථා විපර්යාසයි. එනම්, ද්‍රව්‍යයක් සමන්විතව ඇති අණුවල සාමුහික හැසිරීම වෙනස්වේ. ඕනෑම කලාප සංක්‍රමණයක් සිදුවන උෂ්ණත්වය අවධි උෂ්ණත්වය (critical temperature) වේ. ජලයේ තාපාංකය සහ හිමාංකය මීට නිදසුන්වේ.

කලාප සංක්‍රමණ චුම්භක පද්ධතිවල සහ අධිසන්නායක (superconductors) වලද සිදුවේ. අවධි උෂ්ණත්වයට පහල උෂ්ණත්ව වලදී චුම්භක පදාර්ථයේ ගුණය paramagnetic සිට ferromagnetic දක්වාද, සාමාන්‍ය සන්නායකයක්, අධිසන්නායකයක් බවටද පිලිවෙලින් පරිවර්තනය වනු ලැබේ.

අවධි උෂ්ණත්වයට (critical temperature) ඉහල උෂ්ණත්ව වලදී order parameter ශුන්‍ය වේ. Figure 1 බලන්න. චුම්භක Ferromagnetic අවස්ථා වේ පවතින විට චුම්භක ද්විධ්‍රැව ඝූර්ණ එනම් චුම්භකනය වූ අණු එකම දිශාවකට යොමුව පවතින අතර එම ද්‍රව්‍ය ස්ථිර චුම්භකයක් ලෙස ක්‍රියාකරනු ලැබේ. චුම්භක paramagnetic අවස්ථා වේ පවතින විට, චුම්භක ද්විධ්‍රැව ඝූර්ණ (magnetic moments) අහඹු දිශාවලට යොමුව පවතින අතර, ද්‍රව්‍යයේ චුම්භකත්වය ශුන්‍ය වේ. (එනම්, ඒවා තාවකාලිකව චුම්භකනය කල හැක්කේ බාහිර චුම්භක ක්ෂේත්‍රයක් යොදන විට පමණය).

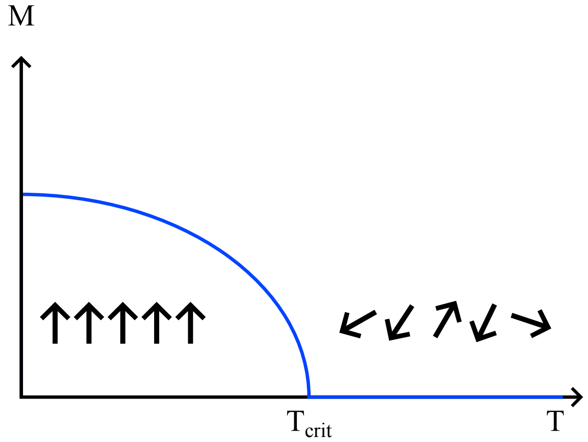

Figure 1: Schematic representation of the temperature dependence of an order parameter$M$ at a phase transition. Below the critical temperature T_{crit}, the order parameter grows and is non-zero, whereas it is equal to zero at temperatures above T_{crit}.

For continuous phase transitions, one generally finds that the order parameter close to a transition follows a power-law, e.g. in magnetism the magnetization M below the critical temperature, T_{crit}, is given by:

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

where T is temperature. What is even more stunning is that this behaviour is universal: the exponent of this power-law is the same for many different kinds of phase transition.

Task

කලාප සංක්‍රමණවීමේදී අණුවල ඇතිවන අස්ථායි බව මගින් අණුවල සාමුහික හැසිරීම පෙන්නුම් කිරීමට සරල පරීක්ෂණයක් ඔබට සිදුකල හැක. මෙම පරීක්ෂණයෙදී අණුවල භෞතික වෙනස්වීම හා කලාප සංක්‍රමණය, අණුවල සැකෙබුම්වීම (excitation) මත රඳා පවතින්නේ කෙසේද යන්න අධ්‍යයනය කරනු ලැබේ.

සාමාන්‍යයෙන් අණුවල සැකෙබුම්වීම රඳා පවතින්නේ උෂ්ණත්වය මතය. මෙම පරීක්ෂණයෙදී අණුවල සැකෙබුම්වීම ආදර්ශනය කරන්නේ loudspeaker එකක කම්පනය මගින් ඇට මත සිරස් ත්වරණයක් ලබාදීම මගිනි. මෙම පරීක්ෂණයෙදී කලාප සංක්‍රමණය නිසා අණුවල සිදුවන භෞතික වෙනස්වීම අධ්‍යයනය කරන්නේ, බිත්තියක් මගින් සමානව කොටස් දෙකකට බෙදූ සිලින්ඩරයකට මුලින්ම සමානව දමනු ලබන ඇට, පරීක්ෂණය කල පසු, ආසන්න වශයෙන් එක් භාගයකට පමණක් වෙන්කිරීම මගිනි.

මෙය කම්පන විස්තාරය වැඩිකිරීම මගින් සිදුකල හැකිය. මෙම අවස්ථාවෙන් පිළිබිඹු වන්නේ ද්‍රව්‍යයේ උෂ්ණත්වය වැඩිකිරීමේදී ද්‍රව්‍යය එහි transition temperature එක පසුකර ඇති බවය.

පරීක්ෂණයේ තවත් අරමුණක් වන්නේ ආදර්ශ කලාප සංක්‍රමණය සඳහා ඉහත දී ඇති සම්බන්ධයේ critical exponent එක නිර්ණය කිරීමය.

List of material

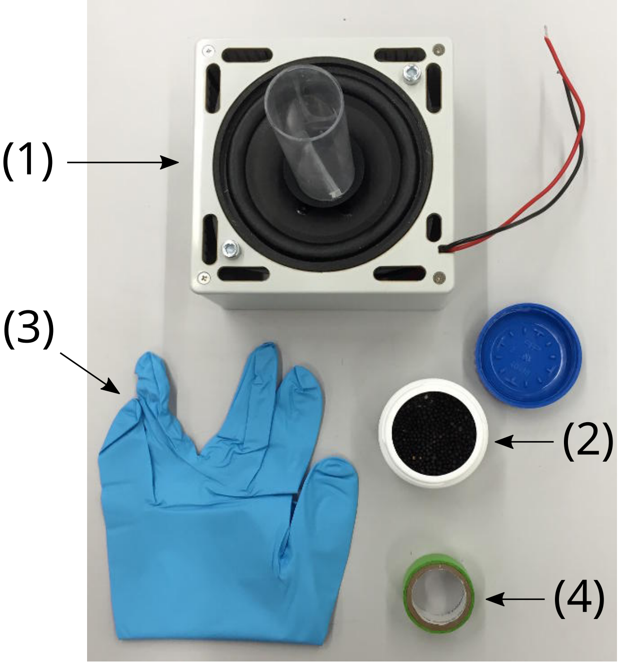

Figure 2: Additional equipment for this experiment.

1. Loudspeaker assembly with plastic cylinder mounted on top
2. About 100 poppy seeds (in a plastic container)
3. A glove
4. Sticky tape

Important precautions

- Do not apply an excessive lateral force to the plastic cylinder mounted on the loudspeaker. Note that no replacements will be provided in case of torn loudspeaker membranes or torn off plastic cylinder.
- Turn off the loudspeaker assembly whenever not in use, in order to avoid unnecessary drain of the battery.
- In this experiment, a 4 Hz saw-tooth signal is output on the loudspeaker terminals located at the side of the signal generator.
- The amplitude of the saw-tooth signal can be adjusted using the right potentiometer labeled speaker amplitude (4). A DC voltage proportional to the signal amplitude is output on the speaker amplitude monitor socket (6) (with respect to the GND socket (7)). The numbers refer to the photograph (Figure 2) shown in the general instructions.
- The speaker membrane is delicate. Make sure that you do not apply unnecessary pressure on it by any means either vertically or laterally.

Part A. Critical excitation amplitude (3.3 points)

Before you start the actual tasks of this problem, wire up the loudspeaker to the terminals on the side of the signal generator (make sure you use the correct polarity). Put some (e.g. 50) poppy seeds into the cylinder mounted on the loudspeaker and use a piece cut from the glove provided to close the cylinder at the top in order to keep the poppy seeds in the cylinder. Switch on the excitation using the toggle switch and adjust the amplitude by turning the right potentiometer labeled speaker amplitude (4) by means of the screwdriver provided. Observe the sorting of the beads by testing different amplitudes.

The first task is to determine the critical excitation amplitude of this transition. In order to do this, you have to determine the number of beads N_1 and N_2 in the two compartments (choosing the compartment labels such that $N_1 \leq N_2$) as a function of the displayed amplitude A_D, which is the voltage measured at the speaker amplitude socket (6). This voltage is proportional to the amplitude of the saw-tooth waveform driving the loudspeaker. Make at least 5 measurements per voltage.

Hint:

- In order to always have a motion in the particles you study, only investigate amplitudes corresponding to speaker amplitude voltages exceeding 0.7 V. Start with watching the behaviour of the system just by varying the voltage slowly without any counting of he beads. It can be that some of the beads stick to the ground due to electrostatic reasons. Don't count these beads.

A.1	Record your measurements of the number of particles N_1 and N_2 in each half of the container for various amplitudes A_D in Table A.1.	1.2pt

A.2	Calculate the standard deviation of your measurements of N_1 and N_2 and list your results in Table A.1. Plot N_1 and N_2 as a function of the displayed amplitude A_D in Graph A.2, including their uncertainties.	1.1pt

A.3	Based on your graph, determine the critical displayed amplitude $A_{D,\text{crit}}$ at which $N_1 = N_2$, after waiting until a stationary state is reached.	1pt

Part B. Calibration (3.2 points)

The displayed amplitude A_D, corresponds to a voltage applied to the loudspeaker. However, the physically interesting quantity is the maximum displacement A of the oscillation of the loudspeaker, since this relates to how strongly the beads are excited. Therefore, you need to calibrate the displayed amplitude. For this purpose, you can use any of the provided material and tools.

B.1	Sketch the setup you use to measure the excitation amplitude, i.e. the maximum travel distance A (in mm) of the loudspeaker in one period of oscillation.	0.5pt

B.2	Determine the amplitude A in mm for a suitable number of points, i.e. record the amplitude A as a function of displayed amplitude A_D in Table B.2 and indicate the uncertainties of your measurements.	0.8pt

B.3	Plot your data in Graph B.3, including the uncertainties.	1.0pt

B.4	Determine the parameters of the resulting curve, using an appropriate fit to determine the calibration function $A(A_D)$.	0.8pt

B.5	Determine the critical excitation amplitude A_{crit} of the poppy seeds.	0.1pt

Part C. Critical exponent (3.5 points)

In our system, the temperature corresponds to the input kinetic energy of the excitation. This energy is proportional to the speed squared of the loudspeaker, i.e. to $v^2 = A^2 f^2$, where f is the frequency of the oscillation. We will now test this dependence and determine the exponent b of the power-law governing the behavior of the order parameter (see Eq. 1).

C.1	The imbalance $\left\lvert \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right\rvert$ is a good candidate for an order parameter for our system in that it is zero above the critical amplitude and equal to 1 at low excitation. Determine this order parameter as a function of the amplitude A. Record your results in the Table C.1.	1.1pt

C.2	Plot the imbalance $\left\lvert \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right\rvert$ as a function of $\left\lvert A^2_{\text{crit}} - A^2 \right\rvert$, in Graph C.2, where both axes have logarithmic scales (double-logarithmic plot). You can use the Table C.1 for your calculations. The points on the plot may seem not to obey a linear relation, but a linear regression should be made nevertheless, to match the critical exponent formula.	1pt

C.3	Determine the exponent b and estimate the error.	1.4pt