

Подскакивающие зернышки: модель фазовых переходов и неустойчивости (10 points)

Прежде чем приступить к выполнению этого задания, ознакомьтесь с общей инструкцией, относящейся ко всему эксперименту и находящейся в отдельном конверте.

Введение

Переход воды из одного агрегатного состояния в другое является одним из примеров фазовых переходов в нашей повседневной жизни. Фазовый переход характеризуется изменением коллективного поведения молекул и происходит при так называемой критической температуре (например, температуре замерзания или кипения воды).

Фазовые переходы являются характерным явлением в магнитных и сверхпроводящих материалах: при температурах ниже критической происходит переход магнитного материала из парамагнитного в ферромагнитное состояние, а обычный проводник становится сверхпроводником.

Фазовые переходы были описаны путем введения так называемого параметра порядка. К примеру, в магнетизме параметр порядка характеризует выстраивание магнитных моментов атомов в случае макроскопического намагничивания.

В случае фазовых переходов параметр порядка всегда равен нулю при температуре выше критической, а затем непрерывно растет с понижением температуры ниже критического значения. Критической температурой называется температура, при которой происходит фазовый переход. Схематически это показано на примере магнитного материала на рисунке 1. На этом же графике схематически показаны ферромагнитное (упорядоченная фаза, результирующее макроскопическое намагничивание отлично от нуля) и парамагнитное состояния (неупорядоченная фаза, результирующее намагничивание равно нулю).

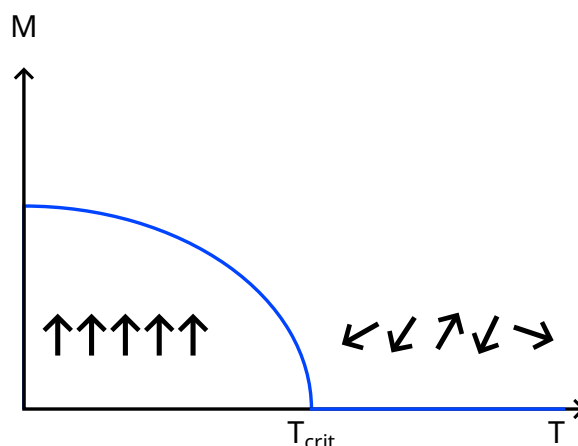


Рисунок 1: Схематическое представление зависимости параметра порядка M от температуры при фазовом переходе. При температурах ниже критической T_{crit} , параметр порядка отличен от нуля и растет с дальнейшим понижением температуры. При температурах выше критической, параметр порядка равен нулю.

Обычно, при температурах близких к критической, зависимость параметра порядка от температуры описывается степенной функцией. Например, намагничивание при температурах ниже кри-

тической T_{crit} задается формулой

$$M \sim (T_{crit} - T)^b, \quad (1)$$

где T - температура. Более того, это поведение универсально и многие виды фазовых переходов описываются степенной функцией с одним и тем же показателем степени.

Задание

На простом примере мы изучим некоторые особенности фазовых переходов, например такие, как нестабильность приводит к коллективному поведению частиц и, следовательно, к фазовому переходу, или как некоторый макроскопический параметр зависит от степени возбуждения частиц.

Обычно это возбуждение инициируется изменением температуры. В нашем примере эта степень возбуждения определяется кинетической энергией частиц, ускоряемых с помощью работающего динамика. Макроскопическое изменение состояния, соответствующего рассматриваемому в данном задании фазовому переходу, состоит в сортировке зернышек (их переходе) из одной части сосуда в другую, разделенных между собой небольшой стенкой.

Постепенно увеличивая амплитуду колебания с положения, где все частицы находятся в одной части цилиндра, вы обнаружите, что в конце концов все частицы равномерно распределятся по двум половинам сосуда. Такое распределение соответствует повышению температуры выше критической.

Ваша задача состоит в определении степенной зависимости изучаемого здесь модельного фазового перехода от кинетической энергии частиц

Список оборудования

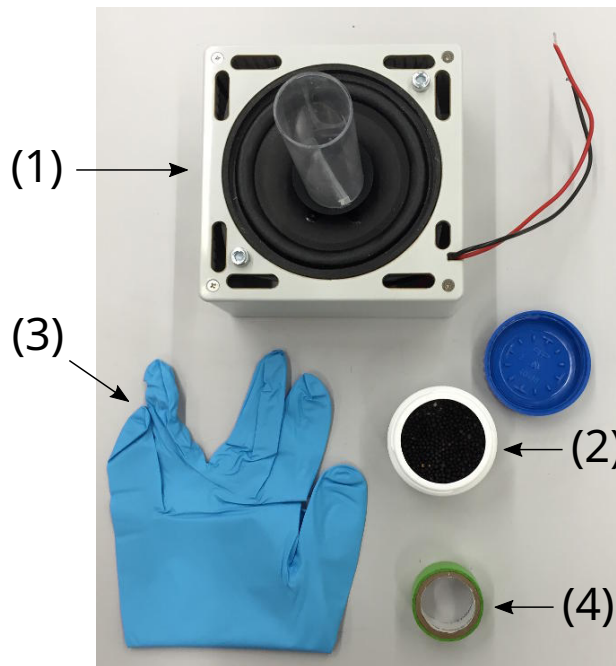


Рисунок 2: Оборудование для проведения данного эксперимента.

1. Динамик с прикрепленным пластиковым цилиндром.
2. 50-100 зернышек (в пластиковом контейнере).
3. Перчатка
4. Липкая лента (скотч).

Меры предосторожности

- Небрежное обращение с динамиком может вывести его из строя. Запрещается прикладывать какую-либо силу к пластиковому цилиндру, закрепленному на динамике, в продольном направлении. Обратите внимание, что в случае порчи мембран динамика или его отсоединения от цилиндра в результате небрежного обращения, запасной динамик с неповрежденным цилиндром не предоставляется!
- Выключайте динамик, если он не используется, чтобы избежать ненужной разрядки батареи.
- В данном эксперименте пилообразный сигнал частотой 4 Гц подается на выходы громкоговорителя, расположенные в боковой части генератора сигналов.
- Амплитуда пилообразного сигнала изменяется путем вращения ручки потенциометра *"speaker amplitude"* (4), расположенной справа. Постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде сигнала, подается на разъем *"speaker amplitude"* (6) (по отношению к разъему *"GND"* (7)). Нумерация соответствует той, которая указана на фотографии (рис.2) в общей инструкции к экспериментальному туру.

- Мембрана динамика весьма непрочная, поэтому не прикладывайте к ней никаких усилий, ни вертикальных, ни горизонтальных.

Часть А. Критическая амплитуда возбуждения (3.3 points)

Прежде чем приступить к выполнению задания, подсоедините динамик к соответствующим разъемам на панели генератора сигналов (Убедитесь, что вы используете правильную полярность). Положите несколько (например, 50) маковых зернышек в цилиндр, смонтированный на динамике и закройте его сверху кусочком резиновой перчатки, чтобы зернышки не выпали из цилиндра. Включите генератор сигналов и, изменяя амплитуду сигнала, проследите, что происходит с маковыми зернышками. Амплитуду сигнала можно изменять, вращая расположенную справа ручку потенциометра „*speaker amplitude*“ (4) (для вращения ручки потенциометра используйте специальную отвертку).

В качестве первого задания, вам необходимо определить критическую амплитуду, при которой зернышки начинают перескакивать из одной части сосуда в другую. Для этого необходимо подсчитать число зернышек N_1 и N_2 (обозначайте индексы этих величин, так, чтобы $N_1 \leq N_2$) в каждой половине сосуда как функцию амплитуды сигналов A_D , измеряемой как напряжение на выходе разъема «*speaker amplitude*» (6). Это напряжение пропорционально амплитуде пилообразного сигнала. Проведите не менее 5 измерений для каждого напряжения

Подсказка:

- Для того чтобы поддерживать изучаемые зернышки в постоянном движении, амплитуда напряжения «*speaker amplitude*» должна быть больше 0.7 В. Проведите свои наблюдения медленно изменяя напряжение, без подсчета числа зернышек. Возможно, что из-за электризации некоторые зернышки прилипнут к цилиндру, при дальнейших подсчетах их не учитывайте.

A.1	Запишите числа частиц N_1 и N_2 в каждой половине сосуда для нескольких разных значений амплитуды A_D в таблицу А.1 .	1.2pt
------------	--	-------

A.2	Вычислите среднеквадратическое отклонение измерений числа частиц N_1 и N_2 и запишите результат в таблицу А.1 . Постройте графики зависимости числа частиц N_1 и N_2 от амплитуды A_D (включая погрешность измерений) на графике А.2 .	1.1pt
------------	--	-------

A.3	Используя построенный график, определите критическую амплитуду $A_{D,crit}$, при которой числа частиц в обеих половинах сосуда становятся одинаковыми $N_1=N_2$. При измерении дождитесь, чтобы распределение частиц стало стационарным.	1pt
------------	--	-----

Часть В. Калибровка (3.2 points)

Амплитуда A_D , критическое значение которой вы только что определили в предыдущем задании, соответствует напряжению, подаваемому на динамик. Но с физической точки зрения интересной является амплитуда смещения мембраны динамика. Следовательно, для определения степени возбуждения, необходимо откалибровать измеряемую амплитуду напряжения A_D . Для этого вы можете использовать любое предоставленное вам оборудование.

B.1	Нарисуйте схематически установку, которую вы использовали для измерения амплитуды смещения мембраны, т.е. максимального расстояния (мм), на которое смещается мембрана за один период колебаний.	0.5pt
------------	--	-------

V.2	Определите амплитуду в мм, используя подходящее число точек, иными словами, измерьте и запишите значения амплитуд как функцию амплитуды напряжения A_D в таблицу V.2 , укажите погрешности измерений.	0.8pt
V.3	Постройте данные на графике V.3 , включая их погрешности.	1.0pt
V.4	Определите вид полученной зависимости: запишите вид функции $A(A_D)$ и определите ее параметры.	0.8pt
V.5	Определите критическую амплитуду A_{crit} возбуждения зернышек.	0.1pt

Часть С. Критическое значение показателя степени (2.5 points)

В нашей системе температура соответствует сообщаемой кинетической энергии возбуждения. Эта энергия пропорциональна квадрату скорости колебаний мембраны громкоговорителя: $v^2 = A^2 f^2$, где f - частота колебаний. Сейчас мы проверим эту зависимость и определим показатель степени b функции, описывающей параметр порядка (см. формулу 1).

C.1	Отношение $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ хорошо подходит в качестве параметра порядка для нашей задачи. Это отношение равно нулю при амплитудах выше критической, и единице при незначительном возбуждении системы. Рассчитайте этот параметр порядка как функцию амплитуды смещения. Запишите ваши результаты в таблицу C.1 .	1.1pt
C.2	На графике C.2 постройте график зависимости отношения $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ от $ A^2 - A_{crit}^2 $ в двойном логарифмическом масштабе (когда по каждой оси откладывается логарифм соответствующей величины) Для расчетов можно использовать таблицу C.1 . Точки на графике могут не лечь точно на одну прямую, тем не менее линейная аппроксимация применима и в данном случае для определения показателя степени исследуемой зависимости.	1pt
C.3	Определите показатель степени функции b и оцените его погрешность.	1.4pt