

Подскакивающие маковые зернышки: модель фазовых переходов и неустойчивостей (10 points)

Прежде чем приступить к выполнению этого задания, ознакомьтесь с общими указаниями, находящимися в отдельном конверте.

Введение

Фазовые переходы хорошо известны из повседневной жизни. Например вода может находиться в разных агрегатных состояниях - газ, жидкость и твердое тело. Переходы воды из одного агрегатного состояния в другое являются примерами фазовых переходов в нашей повседневной жизни. Фазовый переход в воде характеризуется изменением коллективного поведения молекул, образующих воду, и происходит при так называемой температуре фазового перехода (например, температуре замерзания или кипения воды).

Фазовые переходы являются характерными и для магнитных и сверхпроводящих материалов. При температуре ниже температуры фазового перехода происходит переход магнитного материала из состояния "Парамагнетик" в ферромагнитное состояние, а обычный проводник становится сверхпроводником.

Фазовые переходы были описаны путем введения так называемого **параметра порядка**. К примеру, в магнитных материалах параметр порядка характеризует значение макроскопической намагниченности M (суммарного магнитного момента всех атомов, из которых состоит магнетик).

В общем случае так называемых непрерывных фазовых переходов, параметр порядка равен нулю при температуре выше температуры фазового перехода (называемой критической), а затем начинает непрерывно возрастать с понижением температуры ниже ее критического значения. Схематически это показано на примере магнитного материала на рисунке 1. На этом графике схематически показаны **ферромагнитная** (упорядоченная) фаза, результирующая макроскопическая намагниченность в которой отлична от нуля, и **парамагнитная** (неупорядоченная) фаза, результирующая макроскопическая намагниченность которой равна нулю.

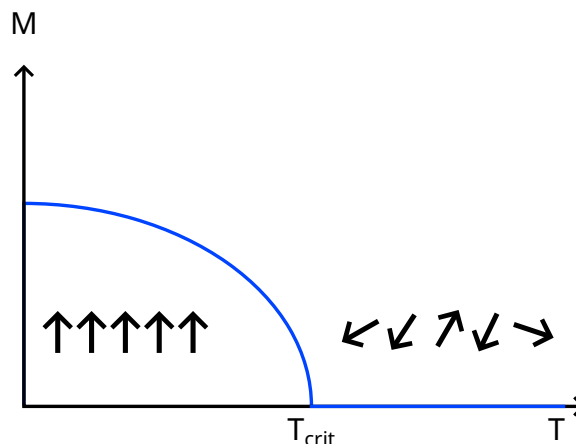


Рисунок 1: Схематическое представление зависимости параметра порядка M от температуры при фазовом переходе. При температурах ниже критической T_{crit} , параметр порядка отличен от нуля и растет с дальнейшим понижением температуры. При температурах выше критической, параметр порядка равен нулю.

В случае непрерывного фазового перехода при температурах близких к температуре фазового перехода, зависимость параметра порядка от температуры описывается степенной функцией. Например, намагниченность M при температурах ниже критической T_{crit} задается формулой

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

где T - температура. Более того, такая зависимость универсальна и многие виды фазовых переходов описываются степенной функцией с одним и тем же показателем степени b .

Задание

На простом примере мы изучим некоторые свойства непрерывных фазовых переходов, например, как нестабильность состояния частиц может привести к тому, что частицы начинают вести себя как единое целое (так называемое коллективное или скорелированное поведение системы частиц) и, как следствие, к фазовому переходу системы, состоящей из этих частиц, а также как изменение макроскопических характеристик системы (таких как намагниченность) зависит от степени возбужденности частиц, образующих эту систему.

Обычно эти возбужденные состояния возникают вследствие изменения температуры. В нашем примере эти возбужденные состояния частиц выражаются в том, что частицы приобретают кинетическую энергию вследствие их вертикального ускорения работающим громкоговорителем. Макроскопическое изменение состояния исследуемой системы (соответствующее исследуемому в данном задании фазовому переходу), состоит в пересортировке маковых зерен (их переходе) из одной части сосуда в его другую часть (сосуд разделен на две части небольшой стенкой).

Постепенное увеличение амплитуды колебаний мембраны громкоговорителя в состоянии, когда все маковые зернышки находятся в одной части цилиндрического сосуда, приведет к тому что в конце концов все зернышки равномерно распределятся по двум половинам сосуда. Это перераспределение соответствует повышению температуры выше критической.

Ваша задача состоит в определении показателя b степенной зависимости изучаемой здесь модели фазового перехода.

Список материалов

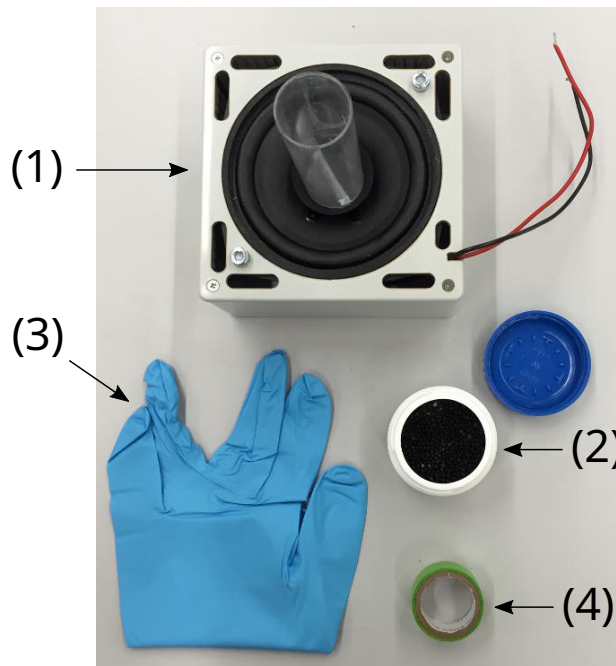


Рисунок 2: Оборудование для проведения данного эксперимента.

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

Меры предосторожности

- Небрежное обращение с громкоговорителем может вывести его из строя. Запрещается прикладывать какую-либо избыточную силу к пластиковому цилиндру, закрепленному на громкоговорителе, в продольном направлении. Обратите внимание, что в случае порчи мембран громкоговорителя или отсоединения цилиндра от громкоговорителя в результате небрежного обращения, запасной громкоговоритель с неповрежденным цилиндром **не предоставляется!**
- Выключайте громкоговоритель если он не используется, чтобы избежать ненужной нагрузки на батарею.
- В данном эксперименте пилообразный сигнал частоты 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 (рисунок 2) в общих указаниях.

- Мембрана громкоговорителя очень нежная, хрупкая и чувствительная. Убедитесь, что вы не прикладываете к ней избыточное давление тем или иным способом ни в вертикальном, ни в горизонтальном направлении.

Часть А. Критическая амплитуда возбуждения (3.0 points)

Прежде чем приступить к выполнению заданий, подсоедините громкоговоритель к соответствующим разъемам на панели генератора сигналов (**Убедитесь, что вы используете правильную полярность!**). Положите несколько (например, 50) маковых зернышек в цилиндр, установленный на громкоговорителе, и закройте его сверху частью резиновой перчатки, чтобы зернышки не вылетали из цилиндра. Включите источник возбуждения и, варьируя амплитуду сигнала, проследите, что происходит с маковыми зернышками. Амплитуду сигнала можно изменить 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 в каждой половине сосуда (выберите обозначения так что $N_1 \leq N_2$) как функцию отображаемой на экране генератора сигналов амплитуды A_D , соответствующей амплитуде напряжения на выходе из разъема «*speaker amplitude*» (6). Это напряжение пропорционально амплитуде пилообразного сигнала. Сделайте 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. Начните с наблюдения за поведением системы только путем медленного изменения напряжения без подсчета числа маковых зернышек. Может быть, что некоторые из зернышек прилипают ко дну по электростатическим причинам. Не учитывайте эти зернышки.

A.1 Запишите число 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 $A_{D,crit}$ путем экстраполяции графика функции до точки, в которой число частиц в обеих половинах сосуда сравнивается после достижения системой стационарного состояния. 1pt

Часть В. Калибровка (3.2 points)

Амплитуда A_D , критическое значение которой вы только что определили в предыдущем задании, соответствует напряжению, запитываемому на громкоговоритель. Но с физической точки зрения более важной есть амплитуда колебаний самой мембраны громкоговорителя, так как именно она определяет степень возбуждения маковых зерен. В этом пункте требуется откалибровать A_D . Для этого вы можете использовать любые предоставленные вам инструменты.

B.1 Изобразите схему установку, которую вы использовали для измерения амплитуды возбуждения, т.е. максимального отклонения (мм), которое совершает мембрана громкоговорителя за один период колебаний. 0.5pt

V.2	Определите амплитуду в мм, используя подходящее число точек, иными словами, выразите амплитуду как функцию амплитуды A_D в таблицу V.2 и укажите погрешности измерений.	0.8pt
V.3	На основании ваших данных постройте график (график V.3), включая погрешности.	1.0pt
V.4	Найдите параметры, характеризующие полученную вами кривую, используя подходящее фитирование для определения функции $A(A_D)$. Иными словами, аппроксимируйте полученную кривую подходящей функцией $A(A_D)$ и найдите ее параметры	0.8pt
V.5	Определите значение критической амплитуды A_{crit} возбуждения маковых зернышек.	0.1pt

Часть С. Критическое значение показателя степени (3.5 points)

В нашей системе температура соответствует сообщаемой маковым зернышкам кинетической энергии возбуждения. Эта энергия пропорциональна квадрату скорости колебаний мембраны громкоговорителя: $v^2 = A^2 f^2$, где f - частота колебаний. В этой части задания надо проверить эту зависимость и определить показатель степени b функции, описывающей параметр порядка (см. Уравнение 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. Определите этот параметр порядка как функцию от амплитуды. Запишите ваш результат в таблицу C.1 .	1.1pt
C.2	На графике C.2 изобразите отношения $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ как функцию от $ A_{crit}^2 - A^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 погрешность измерения.	1.4pt