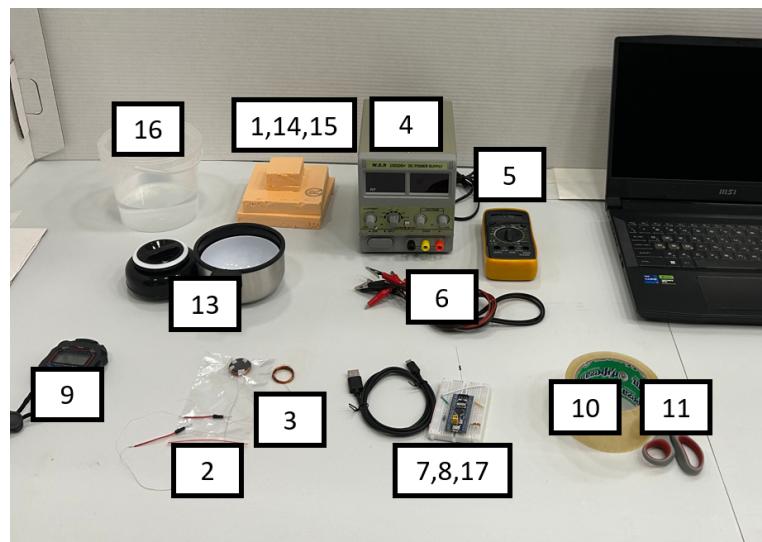




MS3 ВТСП

Оборудование

1. Коробочка
2. Сверхпроводник с катушкой из меди
3. Катушка из меди
4. Источник постоянного напряжения 15 V
5. Мультиметр
6. Два спаренных провода банан-крокодил
7. Резистор R_0
8. Макетная плата с STM32 и USB-провод
9. Секундомер
10. Скотч
11. Ножницы
12. Жидкий азот
13. Термос
14. Подставка под термос
15. Теплоизолирующая крышка
16. Ведерко с водой
17. Резистор 1K. Торчит из макетной платы



НЕЛЬЗЯ ПОДКЛЮЧАТЬ ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ К МАКЕТНОЙ ПЛАТЕ

Явление сверхпроводимости было открыто в начале XX века с развитием технологий охлаждения материалов до сверхнизких температур. С течением времени стало понятно, что оно представляет собой проявление квантовомеханических законов на макроскопическом уровне. Наблюдаемые при этом эффекты идут вразрез с бытовым пониманием устройства окружающего мира. Поэтому явление сверхпроводимости используется не только в рамках науки, медицины и инженерии, но и в индустрии развлечений. Тем не менее несмотря на такую популярность явления, до сих пор не существует полного удовлетворительного теоретического описания сверхпроводимости. В наши дни продолжаются научные исследования, идёт поиск новых сверхпроводящих материалов (особенно высокотемпературных сверхпроводников, далее по тексту ВТСП), разрабатываются новые теоретические концепции, вмещающие в себя весь набор экспериментальных фактов. В этой работе вы исследуете температурные характеристики ВТСП на примере образца из YBCO, пронаблюдаете процесс перехода в сверхпроводящее состояние и изучите частотные зависимости величины критического поля, тесно связанной с теорией сверхпроводимости.

Температура кипения жидкого азота	$T_{\text{LN}_2} = 77.4 \text{ K}$
-----------------------------------	------------------------------------

Вы можете просить дежурного в аудитории налить жидкый азот в крышку термоса. Бережно относитесь к выданному жидкому азоту и грамотно расходуйте его! По окончании измерений с азотом вызовите дежурного в аудитории: он сольет остатки в отдельную емкость. **Коробочка во время измерений должна быть максимально герметичной**



Модель твёрдого тела

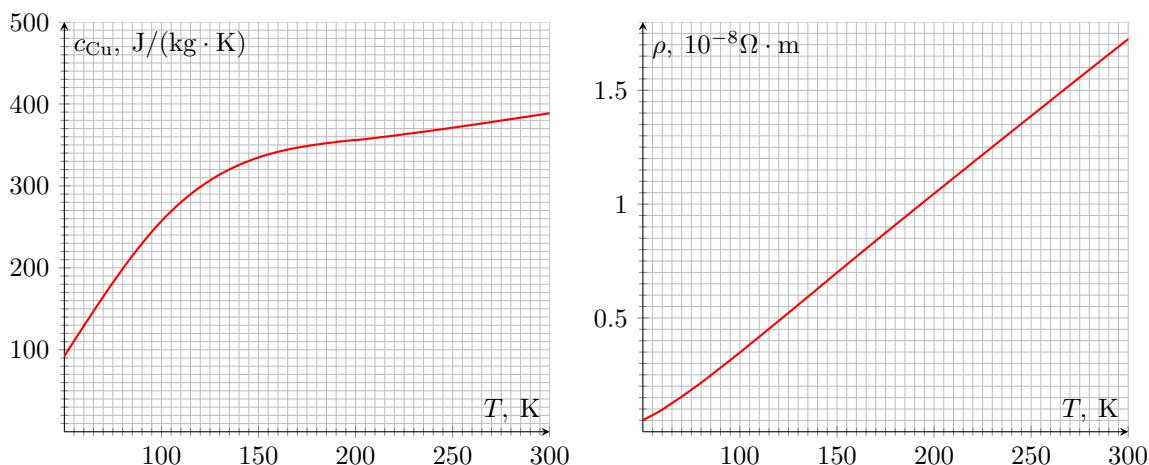
Модель твёрдого тела в молекулярно-кинетической теории предполагает, что данное агрегатное состояние вещества характеризуется постоянством формы. С помощью методов статистической физики можно количественно описать теплоёмкость идеального кристалла. С точки зрения микроскопической теории вклад в теплоёмкость тела вносят все частицы, обладающие собственной энергией. В твердых телах со свободными электронами есть два типа таких частиц: электроны и фононы. Фононы - это квазичастицы, которые вводят для описания колебаний кристаллической решётки. Распространение фонона в кристалле - это распространение волны колебаний кристаллической решётки.

Петер Дебай разработал теорию, позволяющую описать вклад колебаний кристаллической решётки в теплоёмкость твёрдых тел. Соответствующее выражение имеет вид:

$$C \propto \left(\frac{T}{\Theta}\right)^3 \int_0^{\Theta/T} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx, \quad (1)$$

где Θ – параметр, называемый температурой Дебая. Эта температура является индивидуальной для данного конкретного вещества. Вкладами других частиц в теплоёмкость для данного образца в исследуемом диапазоне температур можно пренебречь, поэтому будем описывать полную теплоёмкость образца исключительно выражением (1).

В этой части вам необходимо снять зависимость температуры образца, помещённого в коробочку из пенополистирола, от времени t в процессах охлаждения и нагрева. Для калибровки установки будем использовать медь и будем считать зависимость удельной теплоёмкости c_{Cu} и удельного сопротивления ρ_{Cu} от температуры T известной. Зависимость удельной теплоёмкости меди c_{Cu} от температуры T записана в файле «*Specific heat capacity.xlsx*». Зависимость удельного сопротивления меди ρ_{Cu} от температуры T записана в файле «*Specific resistance.xlsx*»



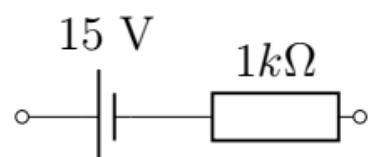
В качестве источника постоянного малого тока используйте последовательно соединенные источник постоянного напряжения и резистор с большим сопротивлением.

Так как медь и YBCO обладают хорошей теплопроводностью, температуру внутри коробочки (но не в её стенках!) можно считать постоянной по объёму. Мощность теплопотерь P из коробочки с температурой T_{in} во внешнюю среду с постоянной температурой T_{out} определяется уравнением:

$$P = \alpha(T_{\text{in}}) \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{out}})$$

В первой части работы определите зависимость α от T_{in} . Массу медной катушки считайте равной $M = 0.79$ г. Учтите, что небольшой кусок медной проволоки при комнатной температуре имеет сопротивление, сравнимое с сопротивлением цельной катушки, охлажденной до T_{LN_2} .

Постарайтесь избежать случайных отсоединений крокодилов от проводов катушки. Повторные подключения изнашивают материал и могут стать причиной разрыва проволоки.





A1 Закрепите коробочку с медной проволокой в крышке от термоса. Учтите, что коробочка плавает в жидким азоте. Снимите зависимость T_{in} от времени t при охлаждении в жидким азоте. Проводите измерения в течение 15 минут. Заполните таблицу «A1.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график T_{in} от t . **2.0**

A2 Численно рассчитайте зависимость $\alpha(T_{in})$ при $T_{out} = T_{LN_2}$ с использованием данных предыдущего пункта и постройте её график. Заполните таблицу «A2.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график $\alpha(T_{in})$ от T_{in} . **0.5**

A3 Охлажденную до температуры жидкого азота коробочку залейте водой при комнатной температуре $T_0 = 25^\circ\text{C}$ так, чтобы она оказалась полностью погружённой. Обратите внимание, что в этот момент в крышке от термоса **НЕ ДОЛЖНО БЫТЬ** жидкого азота. Снимите зависимость T_{in} от времени t . Делайте измерения в течение 15 минут. Из-за того, что теплоемкость системы и поток тепла оказываются очень маленькими, изменением температуры воды можно пренебречь. Заполните таблицу «A3.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график T_{in} от t . **2.0**

A4 Численно рассчитайте зависимость $\alpha(T_{in})$ при $T_{out} = T_0$ с использованием данных предыдущего пункта и постройте её график. Заполните таблицу «A4.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график $\alpha(T_{in})$ от T_{in} . **0.5**

Теперь мы можем исследовать зависимость теплоёмкости образца от температуры. Достаньте из коробочки медную проволоку и поместите внутрь образца с медной обмоткой, плотно закройте коробочку (?).

A5 Снимите зависимость T_{in} от времени t при охлаждении в жидким азоте. Проводите измерения в течение 30 минут. Заполните таблицу «A5.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график T_{in} от t . **2.0**

A6 Снимите зависимость T_{in} от времени t при нагревании в воде комнатной температуре. Из-за того, что теплоемкость системы и поток тепла оказываются очень маленькими, изменением температуры воды можно пренебречь. Проводите измерения в течение 20 минут. Заполните таблицу «A6.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график T_{in} от t . **2.0**

A7 По результатам двух предыдущих пунктов рассчитайте значение теплоёмкости образца C при разных температурах T . Постройте два графика этой зависимости: один график из данных полученных по нагреванию, другой из данных по остыванию. Заполните таблицу «A7.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должны быть графики C от T . **2.0**

A8 Численно определите температуру Дебая Θ у YBCO. Решение сдайте на бланке «A8». Опишите использованные численные методы. В системе moodle в качестве ответа напишите «rdy». **1.8**

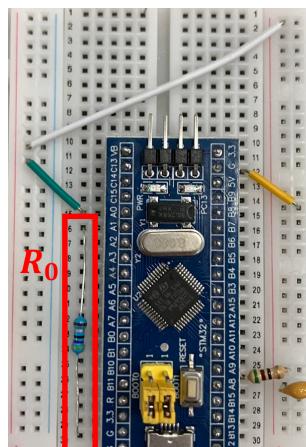
Фазовый переход нормальное состояние – сверхпроводник

Открытие ВТСП в конце 80-х годов прошлого века расширило возможности практического применения сверхпроводимости, поскольку стало возможным наблюдение явления при температуре кипения жидкого азота LN_2 . Перспективы открытия материалов, проявляющих сверхпроводящие свойства при комнатной температуре, действительно огромны и охватывают значительное количество областей науки и техники. Например, использование таких сверхпроводников в вычислительной и космической технике даст кратное увеличение быстродействия, а применение при строительстве ЛЭП кратно уменьшит потери при транспортировке электроэнергии. Более того, материалы, обладающие описанными выше свойствами, значительно упростят устройство датчиков, используемых для выполнения прецизионных измерений.

В этой части образец с медной обмоткой будет использоваться как катушка с сердечником из ВТСП. Индуктивность такой катушки L сильно зависит от магнитной проницаемости ее сердечника. При переходе в



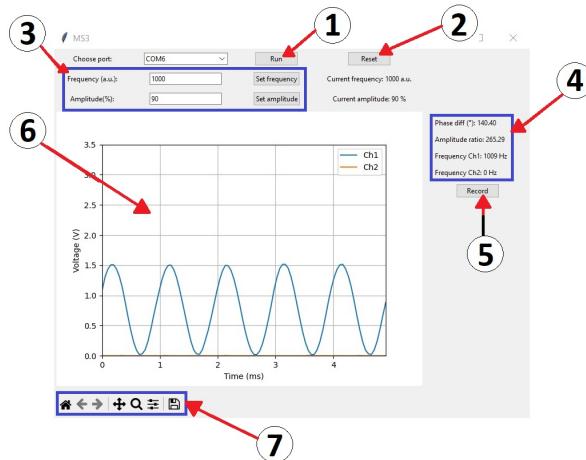
сверхпроводящие состояния магнитная проницаемость становится равной нулю. Поэтому переход между нормальным и сверхпроводящим состояниями образца можно зарегистрировать по кратному изменению индуктивности катушки на небольшом интервале температур.



B1 Определите сопротивление выданного резистора R_0 .
Ответ запишите в Омах.

0.2

Соедините катушку последовательно с резистором R_0 . Катушка, охлажденная до температуры кипения жидкого азота T_{LN_2} , помещается в коробочку. За счёт медленного теплообмена она нагревается, тем самым становится возможным рассчитать зависимость её индуктивности от температуры $L(T)$ по измеряемым величинам.



На рисунке представлен внешний вид окна программы, используемой для построения осцилограмм в схеме последовательного соединения катушки и резистора. Первый канал соответствует напряжению на всём соединении, а второй канал – напряжению на резисторе. Перед началом измерений убедитесь, что выбран правильный СОМ-порт.

Основные элементы программы:

1. Кнопка Run/Stop – запускает/останавливает программу
2. Кнопка Reset – осуществляет сброс программы
3. Поля для ввода частоты и амплитуды подаваемого сигнала
4. Текущие значения частоты сигналов, а также отношение амплитуд и сдвиг фаз двух каналов
5. Кнопка Record/Stop – активирует/завершает запись отношения амплитуд и сдвига фаз в файл ‘record.xlsx’ как функций времени
6. Масштабируемое поле с осцилограммами



7. Панель управления полем

Обратите внимание, что в случае некорректной работы программы (например, отсутствии осциллограмм при нажатой кнопке Run) необходимо совершить сброс, нажав кнопку Reset в окне программы. Если же это действие не помогло, нужно нажать кнопку Reset на самой плате.

Внимание. При повторной записи в файл 'record.xlsx' посредством кнопки Record/Stop старые данные будут удалены. Чтобы их сохранить, переименуйте файл записи.

Диапазон изменений частоты: 110 – 2000 Диапазон изменений амплитуды: 0 – 100

B2 Получите искомую зависимость $L(T)$ с помощью нагревания в воде комнатной температуры. Вы можете **3.0** использовать весь функционал программы. Заполните таблицу «B2.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график L от T .

B3 Повторите проведённые действия, заменив нагрев охлаждением. Заполните таблицу «B3.xlsx» и сдайте ее **3.0** в качестве ответа. В таблице **обязательно** должен быть график L от T .

B4 Постройте графики зависимостей из двух предыдущих пунктов и определите температуру фазового перехода «нормальное состояние» – «сверхпроводник» для YBCO. Заполните таблицу «B4.xlsx» и сдайте ее в качестве ответа. **1.0**