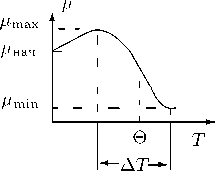
Работа 3.4.3

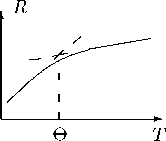
Точка Кюри

Цель работы: определение точки Кюри ферромагнетиков по темпе­ратурным зависимостям магнитной проницаемости и сопротивления.

В работе используются: трансформатор, катушки, амперметры, вольтметры, реостаты, трубчатая печь, цифровой вольтметр, термо­пары, образцы.



**Рис. 1. Зависимость магнитной проницаемости от температуры образца**



**Рис. 2. Зависимость сопротивления от температуры образца**

В первой части работы исследуется изменение начальной магнитной проницаемости ферромагнетика вблизи точки Кюри θ ( рис. 1), во второй — зависимость сопротивления образца от температуры (фазовый переход П-го рода — рис. 2).

Известно, что в ферромагнетике при определённой температуре, на­зываемой точкой Кюри, исчезает спонтанная намагниченность матери­ала. Это сопровождается изменением ряда физических свойств ферро­магнетика: теплоёмкости, теплопроводности, электропроводности, маг­нитной восприимчивости и проницаемости; исчезает эффект магнитострикции и анизотропия намагниченности. Поэтому, нагревая ферромагнитный образец и наблюдая за изменением его физических свойств, можно определить точку Кюри ферромагнетика.

А. Определение точки Кюри по изменению магнитной проницаемости

Экспериментальная установка, представленная на рис. 3, состоит из намагничивающей катушки L, питаемой переменным током, и из­мерительной катушки L1, замкнутой через диод D на микроамперметр А1.

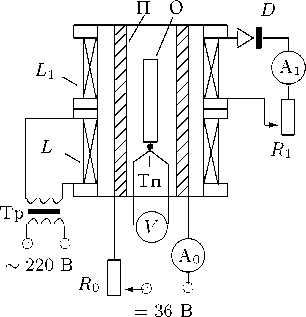


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования д(Т)

При прохождении переменного тока через катушку L в ка­тушке L1 возникает индукционный ток I1. Величину тока можно регу­лировать реостатом R1.

Внутри обеих катушек находится небольшая трубчатая печь П, в ко­торую помещается образец О. Печь нагревается бифилярной обмоткой, подключённой к источнику постоянного напряжения 36 В. Ток нагрева печи Iо можно регулировать реостатом и контролировать ампермет­ром Ао.

Нагрев катушек L и L1 может изменить их сопротивления и сказать­ся на показаниях микроамперметра. Для уменьшения вредного нагрева в зазор между печкой и катушками вдувается воздух с помощью вен­тилятора. Напряжение питания вентилятора — 36 В.

Температура внутри печи измеряется с помощью термопары Тп, со­единённой с милливольтметром V. По показаниям милливольтметра можно с помощью графика чувствительности термопары, приведённо­го на установке, определить температуру спая термопары относительно комнатной, а затем, зная комнатную температуру, найти температуру образца.

При неизменных прочих условиях ток индукции I1 зависит только от магнитной проницаемости образца, помещённого в печь, т. е. I1 = = f(μ). Это утверждение легко проверить, сняв зависимость тока I1 от температуры печи, когда в ней нет образца, и с ферромагнитным образцом. В первом случае ток практически не зависит от температу­ры печи, а во втором — изменение тока будет значительным вблизи точки Кюри (рис. 1). При температуре выше точки Кюри показания микроамперметра будут такими же, как и в отсутствие образца.

Точка Кюри соответствует середине участка с максимальным накло­ном касательной к кривой; рабочий диапазон ΔТ должен быть несколь­ко шире.

ЗАДАНИЕ

В этом упражнении предлагается снять зависимость тока индукции от температуры и рассчитать точку Кюри для двух образцов. В работе исследуются стержни из ферромагнитных материалов (никель и пермендюр) и феррита.

1. Перед началом работы с помощью графика чувствительности термо­пары рассчитайте предельно допустимую разность потенциалов, если известно, что температура образца не должна превышать 400 °С.
2. Поместив ферромагнитный стержень в катушку, включите трансфор­матор Тр в сеть на 220 В. Образец следует опустить до упора, под которым расположена термопара.
3. С помощью потенциометра R1 установите в цепи катушки L1 ток I1, вызывающий отклонение стрелки микроамперметра примерно на 3/4 шкалы.
4. Установите реостат Rо в среднее положение и подключите печь к ис­точнику 36 В. Тумблером, расположенным под катушками, включите вентилятор.
5. Подберите режим, удобный для определения точки Кюри: чтобы быстрее дойти от комнатной температуры до начала рабочего участ­ка ΔТ (рис. 1), установите максимальный ток нагрева печи (Iо ~ 5 А) с помощью реостата Rо. Заметив начало спада тока индукции, умень­шите ток нагрева вдвое. Оцените границы рабочего диапазона термопа­ры ΔU (~ΔТ) и интервал резкого изменения тока . Максимальный ток A1 должен быть близок к концу шкалы.

Не перегревайте катушку! (см. п. 1).

Подберите ток нагрева Iо так, чтобы время одной серии (нагрев или охлаждение внутри рабочего диапазона ΔU) составляло 2-3 мин. В течение одной серии не следует менять чувствительность микроам­перметра (I1) и ток нагрева печи (Iо), т. к. это влияет на величину тока индукции I1.

Проведите предварительные измерения: при фиксированном токе нагрева Iо регистрируйте I1 и U (дел). Полезно отметить время начала и окончания записи, чтобы оценить продолжительность одной серии.

1. Выбрав режим работы, снимите зависимость тока индукции I1 от термо-ЭДС U при постоянном токе Iо; в области резкого изменения

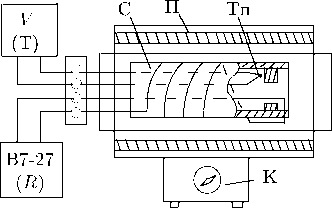


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для исследования R(T)

тока I1 точки должны лежать почаще. Проведите измерения при нагревании и охлаждении образца.

1. Повторите п. 2-6 для второго образца.
2. Охладив катушку, отключите печь и ток намагничивания.

Обработка результатов

1. Постройте графики I1 = f(T) (дел)], не пересчитывая каждую точ­ку в ΔТ °С. Определите точку Кюри как температуру средней точки участка кривой с максимальным наклоном касательной (в единицах U дел).

Для выбранной точки пересчитайте U (дел) сначала в милливольты (150 дел — 45 мВ), а затем по графику чувствительности термопары — в ΔТ °С. Зная комнатную температуру, определите температуру Кю­ри θ.

1. Оцените погрешность и сравните результат с табличным.

Б. Определение точки Кюри по изменению сопротивления

Экспериментальная установка для исследования зависимости омического сопротивления ферромагнетика от температуры представ­лена на рис. 4. Никелевая спираль С, намотанная на фарфоровую труб­ку, заключена в керамическую трубку и помещена в трубчатую печь П. Нагрев печи регулируется переключателем К. Температура фарфоро­вой трубки (спирали) контролируется термопарой Тп, подключённой к милливольтметру V, прокалиброванному в градусах. Сопротивление спирали измеряется цифровым вольтметром В7-27.

ЗАДАНИЕ

В этом упражнении предлагается снять зависимость сопротивления никелевой спирали от температуры и определить точку Кюри.

1. Включите в сеть цифровой вольтметр. Измерьте сопротивление ни­келевой спирали при комнатной температуре (R ~ 10 Ом).
2. Включите печь в сеть на 220 В и поставьте переключатель К в среднее положение.
3. Измеряйте сопротивление R и температуру спирали Т через каж­дые 20 градусов, не останавливая нагрева. При температуре образца > 200 °С мощность нагрева следует увеличить.

Дойдя до предельной температуры (Ттах = 450 °С), отключите на­грев и проведите измерения при охлаждении образца до 100 °С.

Обработка результатов

1. Постройте графики R = f(Uдел). По изменению температурного коэф­фициента сопротивления (пересечению касательных к прямолинейным участкам графика R = f(T)) найдите точку Кюри (рис. 2).
2. Градуировка милливольтметра соответствует термопаре железо-константан. Если в установке используется медь-константан, сделайте пе­ресчёт точки Кюри θ, используя графики чувствительности обеих тер­мопар (не забудьте учесть комнатную температуру — обычно ≈20 °С).
3. Оцените погрешности и сравните результат с табличным.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются атомы пара- и диамагнетиков по магнитным характери­стикам в отсутствие магнитного поля?
2. Как изменяются характеристики вещества при фазовых переходах первого и второго рода?

3. Какие два конкурирующих взаимодействия между атомами характерны для ферромагнитного вещества?

4. На одном графике качественно изобразите начальные кривые намагничи­вания В(Н) для ферромагнетика при трёх температурах: комнатной, более высокой и температуре выше точки Кюри. Укажите на оси Н, где лежит область, соответствующая условиям настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. III. Электричество. — М.: Наука, 1983. §§ 74, 79.
2. Калашников С.Г. Электричество. — М.: Наука, 1977. Гл. XI, §§ 110, 111, 119.