

Задание 11.1. Температура Кюри

Введение

Атомы и молекулы веществ, относящихся к парамагнетикам и к ферромагнетикам, имеют собственные магнитные моменты. При низких температурах в ферромагнетиках за счет взаимодействия соседних атомов возникают области объема, называемые доменами, в которых магнитные моменты атомов одинаково направлены. Если в предмете из ферромагнитного вещества большая часть доменов имеет примерно одинаковое направление намагниченности, вокруг таких предметов возникает сильное магнитное поле. Это постоянные магниты. При повышении температуры тепловое движение разрушает упорядоченность магнитных моментов, и ферромагнетик превращается в парамагнетик. В парамагнетиках домены отсутствуют, моменты атомов ведут себя независимо друг от друга. Температура, соответствующая этому переходу, называется температурой Кюри. Магнит, нагретый до температуры Кюри, необратимо теряет свои свойства. Выше температуры Кюри ферромагнетик находится в парамагнитном состоянии и может проявлять магнитные свойства только во внешнем магнитном поле. Значение магнитного момента p_m парамагнитного образца определяется формулой:

$$p_m = \chi V B$$

где χ – магнитная восприимчивость, V – объем образца, B – величина внешнего магнитного поля. Магнитная восприимчивость зависит от абсолютной температуры T в соответствии с законом Кюри-Вейса:

$$\chi = \frac{c}{T - T_c}$$

где T_c – температура Кюри. Когда парамагнитный образец находится в неоднородном внешнем поле, на него действует сила, втягивающая его в область более сильного поля. Величина этой силы пропорциональна магнитному моменту p_m .

LI Всероссийская олимпиада школьников по физике
Экспериментальный тур.

Часть 1. Температура Кюри неодимового магнита

При достижении температуры Кюри T_c постоянный магнит размагничивается. Ваша задача по возможности точно определить температуру Кюри.

1. Продумайте и подробно опишите метод измерений, по возможности сопроводив описание рисунком.
2. Проведите измерения, используя выданные вам маленькие неодимовые магниты.
3. Оцените погрешность определения T_c маленьких неодимовых магнитов.

Оборудование для части 1 задания 1

- 1) 10 маленьких неодимовых магнитов
- 2) Свеча
- 3) Перчатка
- 4) Мультиметр с термопарой
- 5) Кусок алюминиевой фольги
- 6) Зажим «крокодил» из стали

Внимание! Вам запрещается самостоятельно не только зажигать, но и тушить свечу. Это могут делать только дежурные по аудитории.

Внимание! Не помещайте спай термопары непосредственно в пламя свечи!

Новые термопары не выдаются.

Подсказка. Надежные показания термопары могут быть получены лишь при обеспечении ее хорошего теплового контакта с предметом, температура которого измеряется.

LII Всероссийская олимпиада школьников по физике
Экспериментальный тур.

Часть 2. Температура Кюри гадолия

При температуре ниже температуры T_c гадолий является ферромагнетиком, при $T > T_c$ это парамагнетик. Вам предлагается исследовать зависимость магнитной восприимчивости гадолия от температуры вблизи точки Кюри.

4. Исследуйте зависимость магнитной восприимчивости χ гадолия (в условных единицах) от температуры в диапазоне от комнатной температуры до $50\text{ }^\circ\text{C}$. В каком диапазоне температур выполняется закон Кюри-Вейса?
5. Определите, используя полученные вами результаты, температуру Кюри для гадолия.
6. Определите погрешность измерения T_c .

Оборудование для части 2 задания 1

- 1) Большой цилиндрический магнит на деревянной подставке (нагревать его запрещается)
- 2) Образец гадолия
- 3) Весы (чтобы весы не отключались, каждые 20 секунд нажимайте на кнопку *Light*)
- 4) Подставка из немагнитного металла с отверстием
- 5) Горячая и холодная вода (по требованию), емкость для воды
- 6) Мультиметр с термопарой
- 7) Прищепка
- 8) Миллиметровка

Задание 11.2. Двухлучепреломление в скотче

Введение

Электромагнитная волна называется плоскополяризованной, если вектор E совершает колебания в одной плоскости. Эта плоскость называется плоскостью поляризации, а направление, параллельно которому колеблется вектор E , называется направлением поляризации. Естественный свет содержит все возможные направления поляризации. Поляризатор - это устройство, которое пропускает через себя свет только одного направления поляризации, и поглощает волны с перпендикулярным направлением поляризации. Направление поляризации света, прошедшего через поляризатор, будем называть «разрешенным» направлением этого поляризатора.

Среди прозрачных оптических сред можно выделить изотропные среды, показатель преломления которых не зависит от направления поляризации световой волны, а также анизотропные, свойства которых различны для разных направлений поляризации света. В данной задаче мы будем исследовать такую анизотропную среду - пленку «скотч».

Введем систему координат, указанную на рисунке. Обозначим символами n_x и n_y - показатели преломления для световой волны, идущей вдоль оси Oz и поляризованной вдоль осей Ox , Oy соответственно. Также обозначим $\Delta n = n_x - n_y$.

Показатели преломления n_x и n_y изменяются при растяжении пленки. В процессе производства после стадии кристаллизации из расплава пленка является изотропной. После затвердевания пленку растягивают сложным образом, поэтому у выданной вам пленки $\Delta n < 0$.

Для изучения пленки вы будете растягивать ее вдоль оси Ox . Введем

обозначение для относительного удлинения $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{нач}}}$.

ЛII Всероссийская олимпиада школьников по физике
Экспериментальный тур.

Оборудование:

1. Катушка пленки «скотч».
2. Система для растяжения пленки.
3. Ножницы.
4. Фломастер.
5. Два поляризатора на подставках. Поляризаторы закреплены в держателях так, что их разрешенные направления образуют угол 45^0 с вертикалью.
6. Лазерная указка на подставке.
7. Линейка.
8. Картон для зажима пленки.
9. Фотодиод и мультиметр.
10. Миллиметровая бумага для построения графика.

Задание:

1. Закрепите в установке полоску пленки горизонтально, зажмите ее как показано на рисунке.

Вращая ручку установки, добейтесь того, чтобы пленка полностью выпрямилась (не провисала).

По разные стороны от полоски параллельно ей расположите два поляризатора. Их разрешенные направления должны быть взаимно перпендикулярны и составлять угол 45^0 с вертикалью.

Растягивайте пленку и наблюдайте (невооруженным глазом) сквозь два поляризатора и пленку рассеянный белый свет. Растягивайте пленку до $\varepsilon = 1$ и далее до разрыва. Опишите наблюдаемые эффекты (изменение цвета и интенсивности света, прошедшего через систему) в зависимости от удлинения ε пленки.

2. Закрепите в установке новую полоску пленки, как в пункте 1. Считая, что плотность пленки при растяжении остается постоянной, исследуйте зависимость толщины d пленки от относительного удлинения ε . Толщина

ЛII Всероссийская олимпиада школьников по физике
Экспериментальный тур.

выданной вам (нерастянутой) пленки $d_0 = 25$ мкм . Проведите измерения для 5 различных значений ε .

В следующих пунктах считайте толщину плёнки постоянной и равной d_0 .

3. Соберите установку как указано в пункте 1. Закрепите в зажиме новую полоску пленки. Направьте луч лазера сквозь пленку и два поляризатора, и измерьте зависимость интенсивности I прошедшего света (в условных единицах) от относительного удлинения ε пленки. (Внимание!! Свет лазера поляризован). Для измерения интенсивности света используйте фотодиод, подключенный к мультиметру в режиме амперметра.

4. После прохождения электромагнитной волны через полоску пленки между ее составляющими, поляризованными вдоль осей Ox и Oy , возникает дополнительная разность фаз

$$\Delta\varphi = 2\pi d \frac{\Delta n}{\lambda}.$$

При этом интенсивность прошедшего света равна

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right).$$

Зависимость, снятая в пункте 3, имеет несколько минимумов. Определите, какой из них соответствует $\Delta\varphi = 0$. Ответ обоснуйте.

5. Используя полученные ранее данные, постройте график зависимости $\Delta n(\varepsilon)$. Считая, что разность показателей преломления Δn линейно зависит от удлинения пленки ε : $\Delta n(\varepsilon) = A\varepsilon - B$, определите коэффициенты A и B .

Указания:

1. Длина волны лазера $\lambda = 650$ нм .
2. Считайте что $\Delta n \ll 1$ при любой деформации пленки.
3. Сила тока, протекающего через амперметр, прямо пропорционален мощности падающего на фотодиод света.