

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. – руководитель ОЭФ на правах
кафедры

_____ А.М. Лидер
« ____ » _____ 2023 г.

**Определение магнитного момента молекулы
ферромагнетика с использованием петли
Гистерезиса**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
2-14 по курсу «Физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Издательство
Томского политехнического университета
2023

УДК 537
ББК 22.2

Определение магнитного момента молекулы ферромагнетика с использованием петли Гистерезиса: методические указания к работе 2-14 по курсу «Физика» для студентов всех направлений и специальностей / сост. В.С. Сыпченко. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 24 с.

УДК 537
ББК 22.2

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром
Отделения экспериментальной физики ИЯТШ
«_____» 2022 г.

Председатель
учебно-методической комиссии _____ А.М. Лидер

Рецензенты
Кандидат физико-математических наук,
доцент ОЭФ ИЯТШ НИ ТПУ
Л.А. Святкин

Определение магнитного момента молекулы ферромагнетика с использованием петли Гистерезиса

Цели работы: изучить магнитные свойства ферромагнетиков с помощью петли гистерезиса и определить точку Кюри и магнитный момент молекулы ферромагнетика.

Приборы и принадлежности: Цифровой осциллограф Hantek Dso5102p, функциональный генератор, комплект соединительных проводов и сетевых шнуров, нагреватель и объект исследования (плата с трансформатором на ферромагнитном сердечнике).

Краткое теоретическое введение

1. Физические величины, описывающие магнитное поле в веществе и характеристика магнетиков.

Всякое вещество является магнетиком, т.е. способно под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться).

Для объяснения намагничивания тел Ампер предположил, что в молекулах вещества циркулируют круговые токи (получившие впоследствии название молекулярных токов Ампера). Каждый такой ток обладает магнитным моментом и создает в окружающем пространстве магнитное поле. В отсутствие внешнего поля ($\vec{H} = 0$) молекулярные токи ориентированы хаотично, вследствие чего обусловленный ими результирующий магнитный момент равен нулю ($\sum_i \vec{P}_{mi} = 0$). Под действием поля ($\vec{H} \neq 0$) магнитные моменты молекул приобретают преимущественную ориентацию в одном направлении, вследствие чего суммарный магнитный момент вещества становится отличным от нуля ($\sum_i \vec{P}_{mi} \neq 0$), и вещество намагничивается.

Намагниченность магнетика принято характеризовать магнитным моментом единицы объема. Эту величину называют вектором намагничивания (или намагниченности) $\vec{J} = \frac{\sum_i \vec{P}_{mi}}{\Delta V}$ (суммирование производится по объему ΔV). Величина вектора намагничивания зависит от намагничивающего поля и может быть выражена следующим соотношением:

$$\vec{J} = \chi_m \vec{H} \quad (1)$$

где χ_m – магнитная восприимчивость – величина, зависящая от природы вещества.

Таким образом, для описания магнитного поля в магнетиках используют три вектора: намагничивания ($\vec{J}$), вектором напряженности поля ($\vec{H}$) и вектором магнитной индукции ($\vec{B}$). Они взаимосвязаны следующим образом:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{J}) \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Или с учетом (1):

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H}$$

Величина $(1 + \chi_m)$ называется относительной магнитной проницаемостью вещества и обозначается μ . Таким образом, в изотропных средах:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \quad (3)$$

Магнитная восприимчивость χ_m бывает, как положительной, так и отрицательной. Поэтому магнитная проницаемость μ может быть, как больше, так и меньше единицы.

В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости все магнетики подразделяются на три группы:

1) диамагнетики, у которых $\chi_m < 0$ и мала по абсолютной величине ($\sim 10^{-6}$);

2) парамагнетики, у которых $\chi_m > 0$ и тоже мала ($\sim 10^{-5} \div 10^{-3}$);

3) ферромагнетики, у которых $\chi_m \gg 0$ и достигает очень больших значений ($\sim 10^2 \div 10^5$). Кроме того, в отличие от диа- и парамагнетиков, для которых χ_m не зависит от H , магнитная восприимчивость ферромагнетиков является функцией напряженности магнитного поля.

Таким образом, в изотропных веществах вектор намагниченности может, как совпадать по направлению с направлением вектора напряженности магнитного поля (пара- и ферромагнетики), так и быть направленным в противоположную сторону (диамагнетики).

2. Качественные основы диа- и парамагнетизма

Гипотеза Ампера о природе магнетизма получила свое объяснение после того, как было открыто атомное ядро, и утвердилась планетарная модель атома. Движение электрона вокруг ядра атома по замкнутой орбите эквивалентно круговому току, который можно характеризовать магнитным моментом $\vec{P}$, называемым орбитальным магнитным моментом электрона. Кроме того, электрон имеет собственный магнитный момент, называемый спиновым магнитным

моментом. Магнитный момент многоэлектронного атома будет векторной суммой орбитальных и спиновых моментов всех его электронов.

При суммировании магнитных моментов атома возможны два варианта: суммарный магнитный момент атома равен нулю или не равен нулю.

Влияние магнитного поля на движение электронов в атомах вещества упрощенно состоит в следующем. В магнитном поле на движущийся электрон помимо кулоновской силы $\vec{F}_e$ со стороны ядра действует еще и сила Лоренца $\vec{F}_L$ (рис. 1). Если плоскость орбиты электрона перпендикулярна магнитному полю $\vec{H}$, то это приводит к изменению центростремительной силы, действующей на электрон, и, как следствие этого, к изменению угловой скорости его вращения по орбите. Если же орбита электрона расположена произвольным образом относительно вектора $\vec{H}$ так, что орбитальный магнитный момент электрона составляет с вектором $\vec{H}$ угол α , то влияние поля оказывается более сложным. В этом случае вся орбита приходит в такое движение, при котором угол α сохраняется неизменным, а вектор $\vec{P}_m$ вращается вокруг направления $\vec{H}$ с определенной угловой скоростью. Такое движение в механике называется прецессией. Изменение угловой скорости вращения электрона или, в общем случае, появление прецессии эквивалентно дополнительному орбитальному току ΔI_{orb} (рис. 1 а, б), которому соответствует индуцированный орбитальный момент электрона $\Delta \vec{P}_m$. Этот вектор противоположен по направлению вектору напряженности магнитного поля $\vec{H}$. Если в атоме имеется несколько электронов, то общий индуцированный орбитальный момент атома равен векторной сумме индуцированных орбитальных магнитных моментов всех электронов:

$$\Delta \vec{P}_m = \sum_i \Delta \vec{P}_{mi} .$$

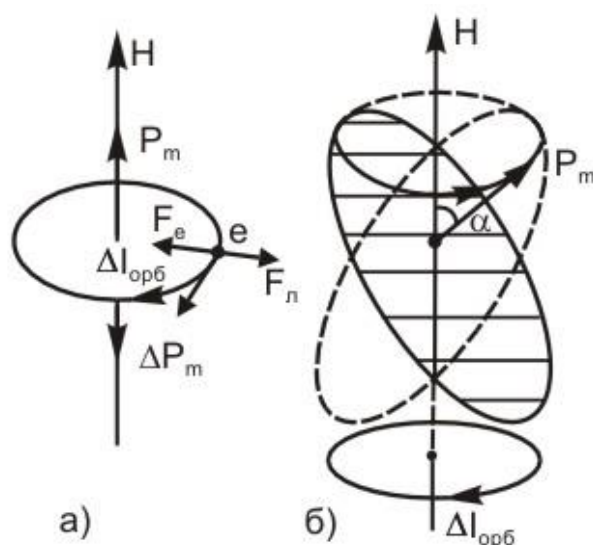


Рис. 1. Возникновение индуцированного магнитного момента в случаях:

а) плоскость орбиты перпендикулярна вектору $\vec{H}$; б) нормаль плоскости орбиты составляет угол α с направлением вектора $\vec{H}$.

С помощью этого результата, примененного к атому любого вещества, помещенного в магнитное поле, может быть объяснено явление диа- и парамагнетизма. У диамагнетиков магнитные моменты атомов при отсутствии магнитного поля ($\vec{H} = 0$) равны нулю. При внесении диамагнитного вещества в магнитное поле в каждом его атоме индуцируется магнитный момент, направленный противоположно вектору напряженности магнитного поля $\vec{H}$, и, следовательно, вектор намагничивания $\vec{J}$ также направлен противоположно вектору $\vec{H}$.

3. Свойства ферромагнетиков и качественные основы природы ферромагнетизма

Особый класс магнетиков образуют вещества, у которых магнитная проницаемость в сотни и тысячи раз превышает магнитную проницаемость обычных материалов. Эти вещества получили название ферромагнетиков. К ним относятся железо, никель, кобальт и их соединения и сплавы.

Другой отличительной особенностью ферромагнетиков является то, что их намагниченность $\vec{J}$ зависит от $\vec{H}$ нелинейно, и при больших полях наступает состояние магнитного насыщения (рис. 2). Поскольку зависимость $\vec{J}$ от $\vec{H}$ нелинейная, то и магнитная восприимчивость χ_m зависит от напряженности (рис. 2). Кроме нелинейной зависимости между $\vec{J}$ и $\vec{H}$ (или между $\vec{B}$ и $\vec{H}$) для ферромагнетиков характерно также наличие явления гистерезиса (рис. 3).

Это явление заключается в том, что процесс намагничивания ферромагнетика необратим в большей своей части, поэтому кривая намагничивания не совпадает с кривой размагничивания. Если первоначально размагниченный образец намагнитить в постепенно возрастающем магнитном поле по кривой $0-a$ (кривая первоначального намагничивания), а затем уменьшить напряженность магнитного поля, то индукция $\vec{B}$ следует не по первоначальной кривой $0-a$, а изменяется в соответствии с кривой $a-b$. Когда напряженность внешнего магнитного поля H станет равной нулю (точка b), намагниченность не исчезает и характеризуется величиной $B_{\text{ост}}$ (отрезок $0-b$ на рис. 3), которая называется остаточной индукцией. Намагниченность имеет при этом значение J_r , называемое остаточной намагниченностью. Намагниченность обращается в нуль лишь под действием поля H_c (отрезок $0-c$ на рис. 3) обратного направления. Величина напряженности поля H_c называется коэрцитивной силой ферромагнетика («прочность» намагничивания). Существование остаточной намагниченности делает возможным изготовление постоянных магнитов. Постоянный магнит тем лучше сохраняет свои свойства, чем больше величина коэрцитивной силы материала, из которого он изготовлен. Полный цикл изменения магнитного поля $\vec{B}$ с изменением H изображается замкнутой кривой $abdea$ (рис. 3). Эта кривая называется петлей гистерезиса.

Опытами Эйнштейна и де Гааза было доказано, что ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются собственные (спиновые) магнитные моменты электронов (а не орбитальные, как у диа- и парамагнетиков). Атомы элементов, обладающих ферромагнитными свойствами (Fe, Co, Ni), имеют некоторую особенность. В них нарушается последовательность заполнения мест в оболочках и слоях: прежде чем полностью "застроится" нижняя оболочка, начинается заполнение выше расположенной оболочки. В результате электронные спины некоторых внутренних оболочек оказываются нескомпенсированными. Таким образом, ферромагнитными свойствами могут обладать только такие вещества, в атомах которых имеются недостроенные внутренние электронные оболочки. Кроме того, исследования ферромагнитных кристаллов позволили выявить в

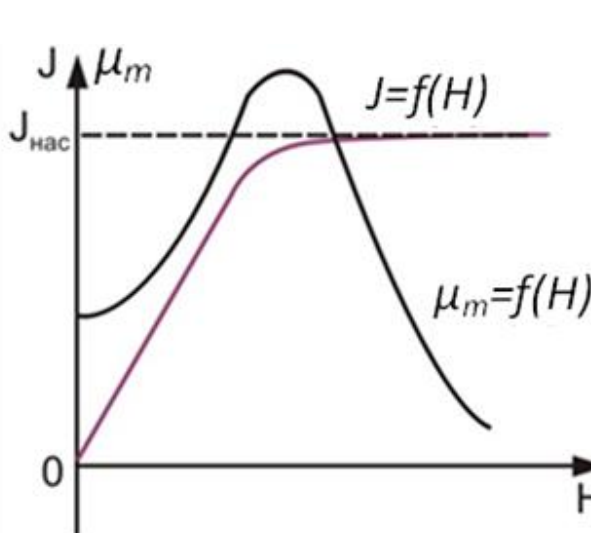


Рис. 2. Зависимость намагниченности J и магнитной восприимчивости χ_m от напряженности H магнитного поля

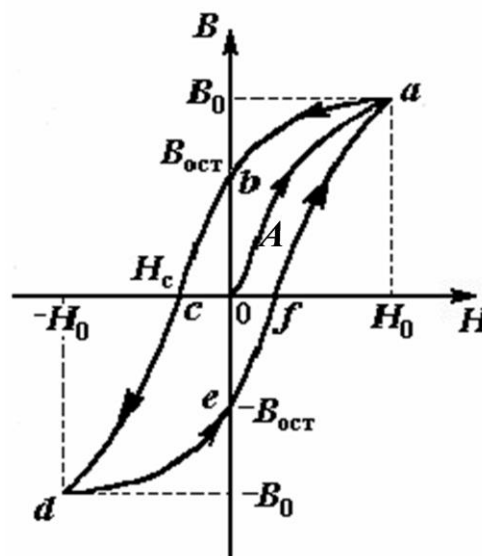


Рис. 3. Петля гистерезиса ферромагнетика

них области с самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью – так называемые домены, линейные размеры которых 1-10 мкм (рис. 4).

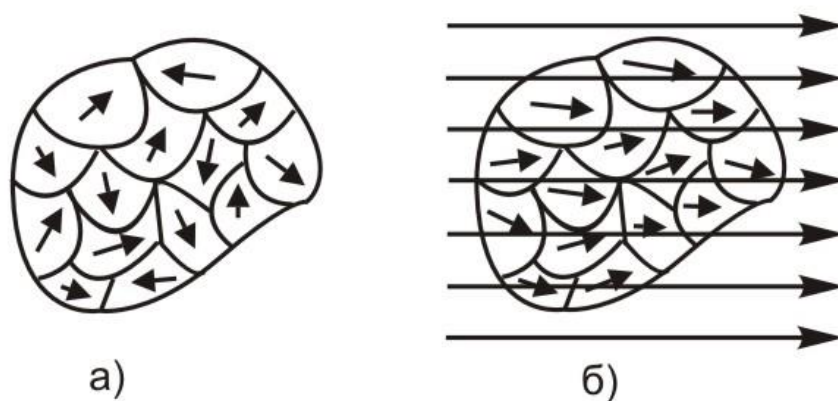


Рис. 4. Доменная структура ферромагнетика. а) в отсутствие внешнего поля, б) при наличии внешнего поля.

В пределах каждого домена не скомпенсированные спины ориентированы в одном направлении, т.е. вещество в домене находится в состоянии магнитного насыщения и обладает определенным магнитным моментом. Направления этих моментов для разных доменов различны, так что в отсутствие внешнего поля суммарный момент всегда равен нулю. Силы, которые заставляют магнитные моменты электронов выстраиваться параллельно друг другу, называются обменными. Их объяснение в рамках классической физики невозможно (дается только квантовой механикой).

Если поместить ферромагнетики во внешнее магнитное поле, то вначале при слабых полях наблюдается смещение границ доменов (область 0-А кривой намагничивания на рис. 3). В результате этого происходит увеличение тех доменов, магнитные моменты которых составляют с направлением поля $\vec{H}$ меньший угол за счет доменов, у которых угол между $\vec{P}_m$ и $\vec{H}$ больше. При увеличении $\vec{H}$ имеет место поворот магнитных моментов доменов в направлении поля (область А-а кривой намагничивания на рис. 3). При этом моменты электронов в пределах домена поворачиваются одновременно, без нарушения параллельности друг другу. Эти процессы являются необратимыми, что и служит причиной гистерезиса. *Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, идущей на преодоление сопротивления при повороте магнитных моментов ферромагнетика. Эта энергия расходуется на нагревание ферромагнетика.*

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура T_c при которой области спонтанного намагничивания распадаются и вещество утрачивает ферромагнитные свойства (становится обычным парамагнетиком). Эта температура называется точкой Кюри.

Магнитные свойства вещества зависят от температуры $\mu = \mu(T)$.

Для описания характера изменения магнитных свойств с температурой используют температурный коэффициент магнитной проницаемости.

$$T_K = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}$$

Зависимость магнитной восприимчивости парамагнетиков от температуры T описывается законом Кюри

$$\chi_m = \frac{C}{T}$$

где C – постоянная Кюри.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрим замкнутую тороидальную катушку, имеющую ферромагнитный сердечник. Индуктивность катушки можно определить следующим выражением

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l} \quad (1)$$

и её индуктивное сопротивление переменному току

$$X_L = \omega L, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; N – число витков, S – площадь поперечного сечения сердечника; l – длина средней осевой линии сердечника; ω – циклическая частота переменного тока.

В данной работе измерение магнитной проницаемости сердечника μ основано, согласно формуле (1), на измерениях индуктивности L катушки и её геометрических параметров N , l и S . Для определения индуктивности достаточно измерить индуктивное сопротивление катушки переменному току известной частоты ω . Полное сопротивление катушки переменному току

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \approx \omega L, \quad (3)$$

так как на частоте выше 200 Гц обычно $R \ll X_L$, и активным сопротивлением катушки R можно пренебречь.

Закон Ома позволяет определить величину Z путём измерений тока I и напряжения U на участке цепи, содержащем катушку

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (4)$$

Расчётная формула для определения магнитной проницаемости, полученная с использованием выражений (1), (3), (4), имеет следующий вид:

$$\mu = \frac{LI}{\mu_0 N^2 S} = \frac{UI}{I\omega\mu_0 N^2 S} = b \frac{U}{I}, \quad (5)$$

где $b = \frac{l}{\omega\mu_0 N^2 S}$ – постоянная установки.

Напряжённость магнитного поля, которое создаётся в кольцевом сердечнике при протекании по обмотке тока I , можно рассчитать по формуле

$$H = \frac{NI}{l}. \quad (6)$$

Таким образом, каждому значению тока I соответствуют определённая напряжённость магнитного поля H , магнитная проницаемость сердечника μ и индукция магнитного поля B :

$$B = \mu_0 \mu H. \quad (7)$$

Определяя величины H , μ и B при различных токах, можно экспериментально установить следующие зависимости:

а) $B = f(H)$ – зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля (основная кривая намагничивания ферромагнетика);

б) $\mu = f(H)$ – зависимость магнитной проницаемости сердечника от напряжённости магнитного поля.

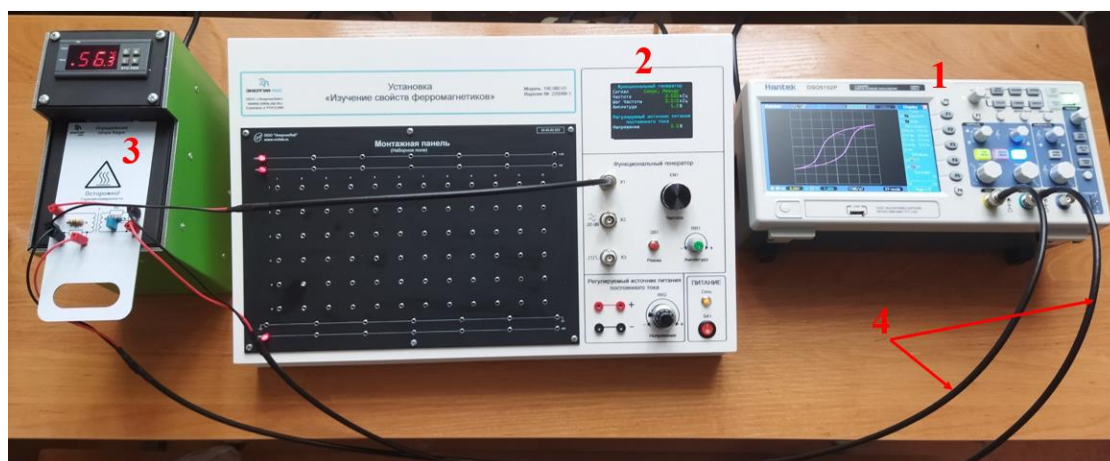


Рис. 5. Общий вид лабораторной установки. 1 – цифровой осциллограф Hantek, 2 – функциональный генератор, 3 – нагреватель с объектом исследования (плата с трансформатором на ферромагнитном сердечнике), 4 – соединительные провода

ЗАДАНИЯ

1. Снять кривую намагничивания для цельного и/или пластинчатого железных сердечников.
2. Построить петлю гистерезиса. Определить коэрцитивную силу и остаточную намагниченность для исследуемых сердечников.
3. Определить температуру Кюри для ферромагнетика, намагниченность и магнитный момент молекулы ферромагнетика.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Снятие кривой намагничивания ферромагнетика

1. Соберите схему установки как показано на рис. 6.
2. Настройте функциональный генератор (2) на рис. 5 и 6:
 - тип сигнала – синус, для настройки синусоидального сигнала используйте кнопку «Режим» на панели функционального генератора, до тех пор, пока не появится на дисплее в строке сигнал «Синус, Меандр»;

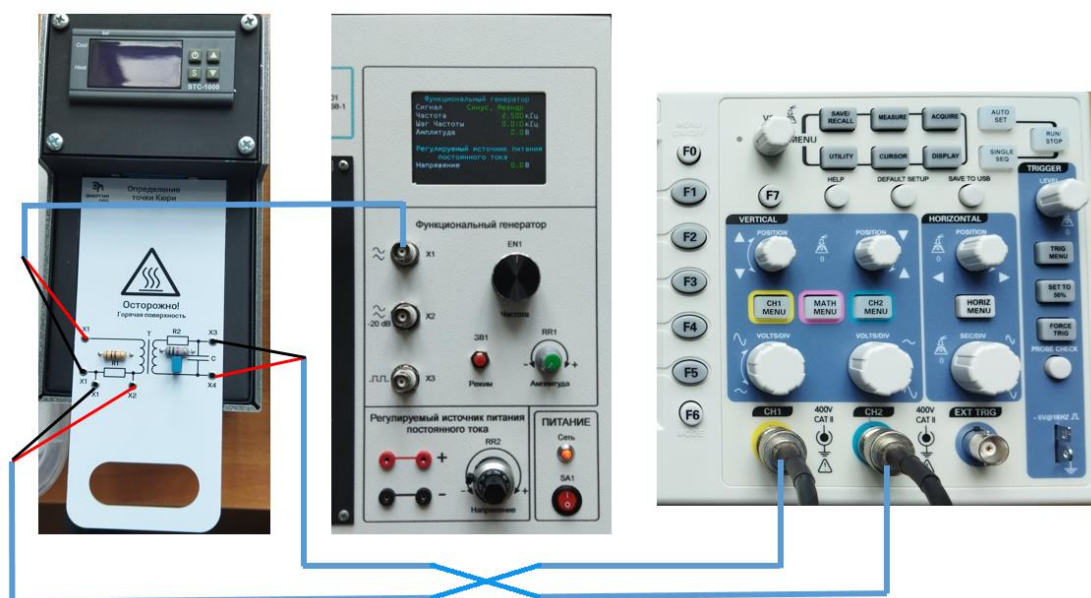


Рис. 6. Схема подключения соединительных проводов.

- настройте частоту 2500 Гц используйте на панели функционального генератора регулятор «Частота», в строке частота на дисплее установите нужное значение;
- амплитуда 0 В, положение регулятора «Амплитуда» на панели функционального генератора должно находиться в крайнем левом положении;

3. Проверьте правильность подключения канала CH 1 и CH 2 (рис. 6). Включить осциллограф.

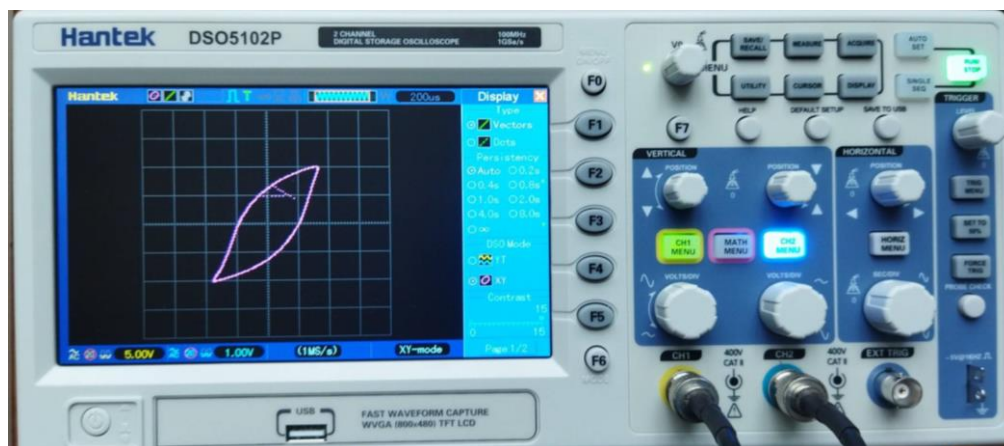


Рис. 7. Общий вид осциллографа Hantek

4. Настройте осциллограф как показано на рис. 7. Включите «CH 1 MENU» и «CH 2 MENU», кнопки должны быть подсвечены желтым и голубым цветом. Нажмите на кнопку «DISPLAY» и в меню дисплея установите следующие параметры.

- в меню «Type» установите «Vectors» используя кнопку «F1»;
- в меню «Persistence» установите «Auto» используя кнопку «F2»;
- в меню «DSO» установите «XY» используя кнопку «F4»;

– используйте регуляторы «Volt/Div» в каналах CH 1 MENU и CH 2 MENU настройте диапазон измерений напряжений. (Рекомендуется для канала CH 1 – 5 V, а CH 2 – 1 V).

4. После того как все будет настроено в центре экрана осциллографа должна наблюдаться точка. Для построения петли гистерезиса необходимо, изменяя значения с помощью регулятора «Амплитуда», на панели функционального генератора, с шагом 0,5 В и полученные значения U_a и U_d заносить в таб. 1. Значения U_a и U_d соответствуют максимальным значения на петле Гистерезиса (рис. 8).

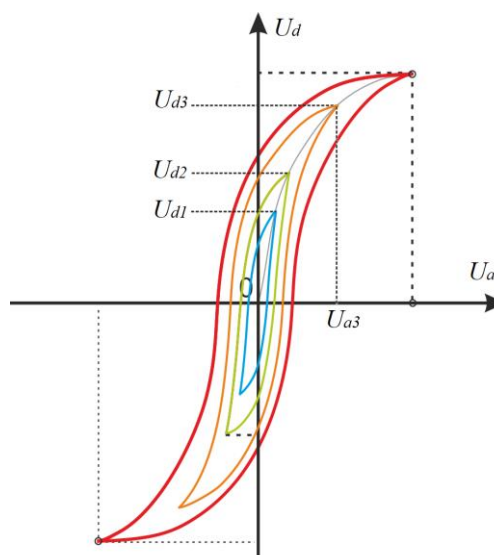


Рис. 8. Петля гистерезиса

Таблица 1

N	U_a, B	$H, A/m$	U_d, B	$B_c, Tл$
1				
...				
10				

где: U_a – падение напряжения на резисторе $R_1 = 100$ Ом (абсцисса); U_d – напряжение на конденсаторе 1 мкФ (ордината).

5. Рассчитайте величины H и B_c по формулам и данные заносим в таб. 1:

$$H = \frac{N_1 I}{l} = \frac{N_1 U_a}{l R_1} \quad B_c = \frac{R_2 C U_d}{N_2 S}$$

где $N_1 = N_2 = 100$ – число витков на первичной и вторичной обмотке; $l = 29,26 \cdot 10^{-3}$ м – длина средней осевой линии сердечника; $R_2 = 1$ кОм; $C = 1$ мкФ; $S = 13,5 \cdot 10^{-6}$ м² – площадь поперечного сечения магнитопровода; $R_1 = 100$ Ом.

6. По полученной петле гистерезиса рассчитайте коэрцитивную силу H_c и остаточную индукцию $B_{ост}$.

7. Построить основную кривую намагничивания, график зависимости $B = f(H)$.

8. Рассчитать величину магнитной проницаемости μ сердечника, опираясь на формулу 7:

$$B_c = \mu_0 \mu H, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

9. Построить график зависимости магнитной проницаемости сердечника от напряжённости магнитного поля $\mu = f(H)$.

Упражнение 2. Определение точки Кюри и магнитного момента молекулы ферромагнетика

1. Соберите схему электрических соединений как указано на рис 5 и 6.

2. Подайте с выхода функционального генератора на схему сигнал: частота – 2,5 кГц, амплитуда – 5 В. На дисплее осциллографа должна отобразиться петля гистерезиса при комнатной температуре.

3. Зафиксируйте график при комнатной температуре.

ВНИМАНИЕ!!! Для увеличения пределов измеряемой температуры и температуры нагрева, в настройках прибора калибровка температуры выставлена на -10 °С, вследствие чего к

показаниям прибора необходимо прибавлять 10 °С для получения реального значения температуры.

4. Подключите нагреватель к сети. Установите на контроллере нагрева СТ -1000 температуру 85°С, что соответствует реальным 95°С (температура установлена по умолчанию). Включить контроллер температуры STC-1000 нажатием кнопки  , нагрев начинается автоматически.

5. Во время нагревания внимательно следить за поведением петли гистерезиса и изменением температуры (рис. 9).

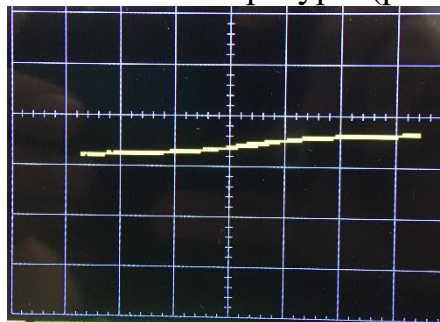


Рис. 9. Осциллограмма при нагретом образце.

Примечание: необходимо дождаться пока температура примет установившееся значение и образец прогреется.

6. Температура достигнет Точки Кюри в момент, когда график превратится в прямую линию. Для образца точка Кюри составляет приблизительно 95 °С (температура точки Кюри для различных образцов может отличаться).

7. Определите величину U_d и рассчитайте индукцию насыщения магнитопровода B_c .

Для определения более точного значения U_d используйте вертикальный регулятор на осциллографе «Volt/Div» каналов CH 2 MENU.

8. Определите величину намагниченности ферромагнетика

$$J_c = \frac{B_c}{\mu_0}.$$

9. Определите магнитный момент молекулы ферромагнетика

$$P_c = \frac{J_c}{n}, \text{ где } n = 1,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

10. Отключить питание оборудования.

11. Сделайте вывод о проделанной работе.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Почему зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика от индукции намагничивающего поля имеет максимум?
2. Как объяснить наличие остаточной намагниченности у ферромагнетиков?
3. Что такое частные петли гистерезиса?
4. Каковы значения магнитной проницаемости для парамагнитных, диамагнитных веществ? Какое физическое содержание отражено этими числами?
5. Какой физический смысл имеет площадь петли гистерезиса?
6. Что следует понимать под термином «намагниченный магнетик»? Что называется вектором намагниченности? Каков его физический смысл? Какая единица измерения вектора намагниченности в СИ?
7. Какой класс магнитных материалов называется ферромагнетиками? Что такое спонтанная намагниченность и как она зависит от температуры?
8. Какими представлениями пользуются при описании макроскопического поля внутри магнетика? Какая связь существует между вектором намагниченности и плотностью «токов Ампера», а также плотностью «фиктивных магнитных зарядов»?
9. Как определить индукцию и напряженность магнитного поля, созданного только намагниченным магнетиком? Какая существует связь между векторами индукции, напряженности и намагниченности?
10. Какой вид имеют граничные условия для векторов индукции и напряженности магнитного поля на границе раздела магнетик – вакуум, если известна функция распределения намагниченности магнетика, а токи проводимости на поверхности распределения отсутствуют?
11. Какой магнетик называют однородным и какой изотропным? Что можно сказать о функции распределения намагниченности для однородного и изотропного магнетика?
12. Поясните, как работает датчик Холла.
13. Какая существует связь между вектором намагниченности магнетика и вектором напряженности магнитного поля для однородного и изотропного магнетика?
14. Что называется магнитной восприимчивостью магнетика, каков ее физический смысл этого понятия? Единица измерения магнитной восприимчивости в СИ? Какая связь между магнитной восприимчивостью и проницаемостью в этой системе единиц?

15. Каким условиям удовлетворяют векторы индукции и напряженности магнитного поля на границе раздела двух однородных и изотропных магнетиков?
16. Чему равна энергия магнетика во внешнем магнитном поле? Напишите выражение для энергии взаимодействия магнитного эллипсоида с внешним однородным магнитным полем.
17. Чему равна собственная энергия магнетика (энергия магнетика в собственном магнитном поле)? Напишите выражение для собственной энергии однородно намагниченного эллипсоида.
18. Как определить силу и вращающий механический момент, действующие на магнетик во внешнем магнитном поле?
19. Какова микроскопическая природа диамагнетизма? Что вы можете сказать о магнитной восприимчивости диамагнетиков?
20. Какова микроскопическая природа парамагнетизма? Что вы можете сказать о магнитной восприимчивости парамагнетиков?
21. Что понимают под термином «ферромагнитный домен»? Как намагниченность и магнитная восприимчивость ферромагнетика зависят от напряженности магнитного поля? Какие процессы происходят в ферромагнетике при его намагничивании и перемагничивании? Чем обусловлен магнитный гистерезис?
22. Какими свойствами должен обладать ферромагнетик, используемый для магнитостатической защиты? Какими свойствами должен обладать ферромагнетик, применяемый в качестве постоянных магнитов?
23. Известно, что магнитной восприимчивость слабомагнитных веществ (парамагнетиков и диамагнетиков) значительно меньше единицы. Как это сказывается на магнитной восприимчивости слабомагнитного тела? В каком случае форма слабомагнитного тела не имеет значения и в каком случае она является существенной?
24. Если магнитная восприимчивость магнитомягкого ферромагнетика достаточно велика, то такой ферромагнетик может служить ферромагнитным экраном (аналог проводника в электростатике). Будет ли такой ферромагнетик осуществлять роль магнитостатического экрана в любом по величине магнитном поле? Если нет, то укажите причину ограничения.
25. Если тонкое алюминиевое кольцо подвесить на нити, то что будет происходить с кольцом, если к нему приближать северный полюс постоянного магнита? Изменится что-нибудь в поведении кольца, если приближать южный полюс этого магнита?

Глоссарий

- 1. Гистерезис** – свойство систем (физических, биологических и т. д.), мгновенный отклик которых на приложенные к ним воздействия зависит в том числе и от их текущего состояния, а поведение системы на интервале времени во многом определяется её предысторией.
- 2. Диамагнетик** (от греч. *dia* – расхождение и магнетизм) – свойство веществ намагничиваться навстречу приложенному магнитному полю.
- 3. Коэрцитивная сила** – значение напряжённости магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферро- или ферромагнитного вещества
- 4. Магнитный гистерезис** – явление зависимости вектора намагничивания и вектора напряжённости магнитного поля в веществе не только от приложенного внешнего поля, но и от предыстории данного образца.
- 5. Магнитный момент** – основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества
- 6. Намагниченность** – характеристика магнитного состояния вещества, определяемая отношением магнитного момента тела к его объёму.
- 7. Остаточная намагниченность** – намагниченность, которую имеет ферромагнитный материал при напряжённости внешнего магнитного поля, равного нулю
- 8. Парамагнетик** – вещество, магнитные моменты атомов которого в отсутствии внешнего поля равны нулю, т.к. магнитные моменты всех электронов атома взаимно скомпенсированы (например, инертные газы, водород, азот, NaCl и др.).
- 9. Петля гистерезиса** – графическое изображение зависимости физической величины, характеризующей состояние тела, от физической величины, характеризующей внешние условия, при периодическом изменении последней, когда состояние тела неоднозначно зависит от внешних условий.
- 10. Прецессия** – явление, при котором момент импульса тела меняет своё направление в пространстве под действием момента внешней силы.
- 11. Точка (температура) Кюри** – температура, выше которой ферромагнитное тело становится парамагнитным.

12. Ферромагнетик – вещество, которое (при температуре ниже точки Кюри) способно обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля.

Приложение (для сотрудников лаборатории)

Инструкция по настройке контроллера температуры STC-1000 220V



Контроллер температуры STC-1000 220v является готовым устройством с двумя реле: на охлаждение и обогрев. С его помощью можно выставить два температурных режима срабатывания. Одним из преимуществ термостата является простота подключения, наличие калибровки и программирование температуры срабатывания, получаемой с датчика. Термореле может применяться в водонагревателях, морозильных камерах, холодильниках, аквариумах, инкубаторах, брудерах, самогонных аппаратах, серверных шкафах и т.д.

STC-1000 инструкция на русском языке:

- Дисплей отображает два режима работы: нагрев (heat) и охлаждение (cool). Четыре кнопки управления: включение/выключение, вход в режим программирования (S) и две стрелки вверх и вниз.
- Включение и выключение производится путем удерживания кнопки питания не менее 3 секунд. После первого включения термостат показывает температуру среды в которой находится датчик.
- Для просмотра температуры, на поддержание которой запрограммирован контроллер надо нажать стрелку вверх (Может задаваться в диапазоне от -50 до +99,9 градуса с точностью до одной десятой. По умолчанию 10,0 C).
- Нажатие стрелки стрелки вниз выводит гистерезис* на который настроен контроллер (Может задаваться от 0,3 до 10 градусов с точностью до десятых. В заводских настройках 0,5 градуса).
- Для входа в режим программирования нажимаем и удерживаем кнопку S не менее 3 секунд, на дисплее появится F1.

- Нажимаем кнопку S и удерживаем. На дисплее отобразится заданная температура. Не отпуская кнопку S стрелками "вверх" или "вниз" задаём требуемую температуру.

- Отпускаем кнопку S и нажимаем стрелку вверх. На дисплее отобразится F2. Нажимаем кнопку S и на дисплее отобразится заданная дельта температуры. Удерживая кнопку S стрелками вверх и вниз задаём требуемую дельту.

- Отпускаем кнопку S и нажимаем стрелку вверх. На дисплее отобразится F3. Нажимаем кнопку S и на дисплее отобразится задержка на включение (По умолчанию 3 минуты, диапазон доступных значений от 1 до 10 минут).

- Отпускаем кнопку S и нажимаем стрелку вверх. На дисплее отобразится F4. Здесь можно задать значение калибровки датчика. (Диапазон значений от -10 до +10 с шагом 0,1. По умолчанию значение 0).

- Для выхода из режима программирования с сохранением настроек кратковременно нажимаем кнопку включения/выключения.

- Если надо выйти не сохраняя настройки, то контроллер сам выйдет в рабочий режим, если не нажимать кнопки в течение 30 секунд.

- Если на дисплее отобразилось Er (ошибка), то, нажимаете любую кнопку и держите до перезагрузки контроллера. После этого все настройки сбросятся на заводские.

В терморегуляторах гистерезисом называют величину температуры, при которой сигнал изменяется на противоположный. И само явление, при котором осуществляется задержка переключения сигнала в зависимости от величины влияния. Терморегуляторы имеют разные пороги включения и выключения, эта система имеет температурный гистерезис. Он дает возможность уменьшить частоту переключения, например, на повышение температуры в обогревателе. Но при этом следует помнить, что чем больше величина гистерезиса, тем больше скачок температуры.

И так, пусть терморегулятор в настройке имеет температуру 18°C. Его гистерезис 4°C. До включения обогревающего оборудования (и соответственно терморегулятора) температура в комнате была 12°C. Обогрев включили. Когда температура в помещении достигнет 22°C, терморегулятор даст сигнал нагревающему оборудованию на выключение. Температура в комнате начнет уменьшаться, когда она станет равна 16°C, то терморегулятор подаст сигнал о включении.

Технические характеристики:

- Диапазон температур: -50С +99,9С

- Гистерезис: 0.3 - 10С
- Разрешение: 0.1С
- Точность: +- 1С
- Диапазон калибровки датчика температуры: -10С +10С
- Программируемая задержка включения/выключения 1 - 10 мин
- Напряжение питания: 110 - 220 В
- Потребляемая мощность: < 3 Вт
- Сенсор: NTC датчик (длина 1м)
- Максимальный ток нагрузки: два реле по 10А / 220V
- Температура окружающей среды: 0С +60С

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО МОМЕНТА МОЛЕКУЛЫ ФЕРРОМАГНЕТИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Методические указания к выполнению лабораторной работы
2-18 по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Составители

СЫПЧЕНКО Владимир Сергеевич

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном
соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.12.2016. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 50 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO
9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru