

Инструкции по выполнению работы 10.1

Схема установки и используемое оборудование.....	1
Общая схема.....	1
Генератор ВЧ Г4-116 и частотометр GFC-8010H.....	3
Осциллограф INSTEK GOS-620.....	4
Источник постоянного тока GRP-30H10D.....	6
Регулируемый трансформатор ЛАТР и переключение катушек.....	7
Вольтметр (мультиметр) GDM-8145.....	8
Основное задание: Наблюдение сигнала ЭПР, определение g-фактора и ширины линии ЭПР.....	9
Настройка ВЧ генератора.....	9
Наблюдение сигнала резонансного поглощения.....	10
Точная настройка резонансного поля и определение ширины линии.....	12
Калибровка поля электромагнита и определение g-фактора.....	14
Дополнительные задания.....	15
Дополнительное задание №1: Измерение на нескольких частотах.....	15
Дополнительное задание №2: Оценка величины обменного взаимодействия в ДФПГ.....	15
Дополнительное задание №3: Оценка числа спинов в образце.....	16
Дополнительное задание №4: Исключение систематической погрешности, связанной с экранирующими токами.....	16

Схема установки и используемое оборудование.

Общая схема.

Схема установки показана на рис. 1, основные детали установки указаны на фотографиях на рис. 2 и 3.

Образец (порошок ДФПГ) в стеклянной ампуле помещается внутрь катушки индуктивности, входящей в состав колебательного контура. Входящий в состав контура конденсатор состоит из двух пластин, разделённых воздушным зазором, одна из пластин может перемещаться поворотом штока. Колебания в контуре возбуждаются антенной, соединённой с генератором высокой частоты (ВЧ) Г4-116. Амплитуда колебаний поля в катушке индуктивности измеряется по наводимой в петле связи ЭДС индукции. Высокочастотные колебания ЭДС индукции в приёмном контуре детектируются диодом, измеряемая при помощи осциллографа низкочастотная огибающая этого сигнала пропорциональна квадрату амплитуды колебаний поля в катушке.

Постоянное магнитное поле создаётся пропусканием тока от источника постоянного тока через основные катушки. При этом при помощи вольтметра измеряется падение напряжения на резисторе в цепи основных катушек. Переменное поле небольшой амплитуды создаётся подачей на модуляционные катушки напряжения с регулируемого трансформатора ЛАТР. Для измерения амплитуды колебаний переменного поля используется пробная катушка известной геометрии, подключённая к вольтметру.

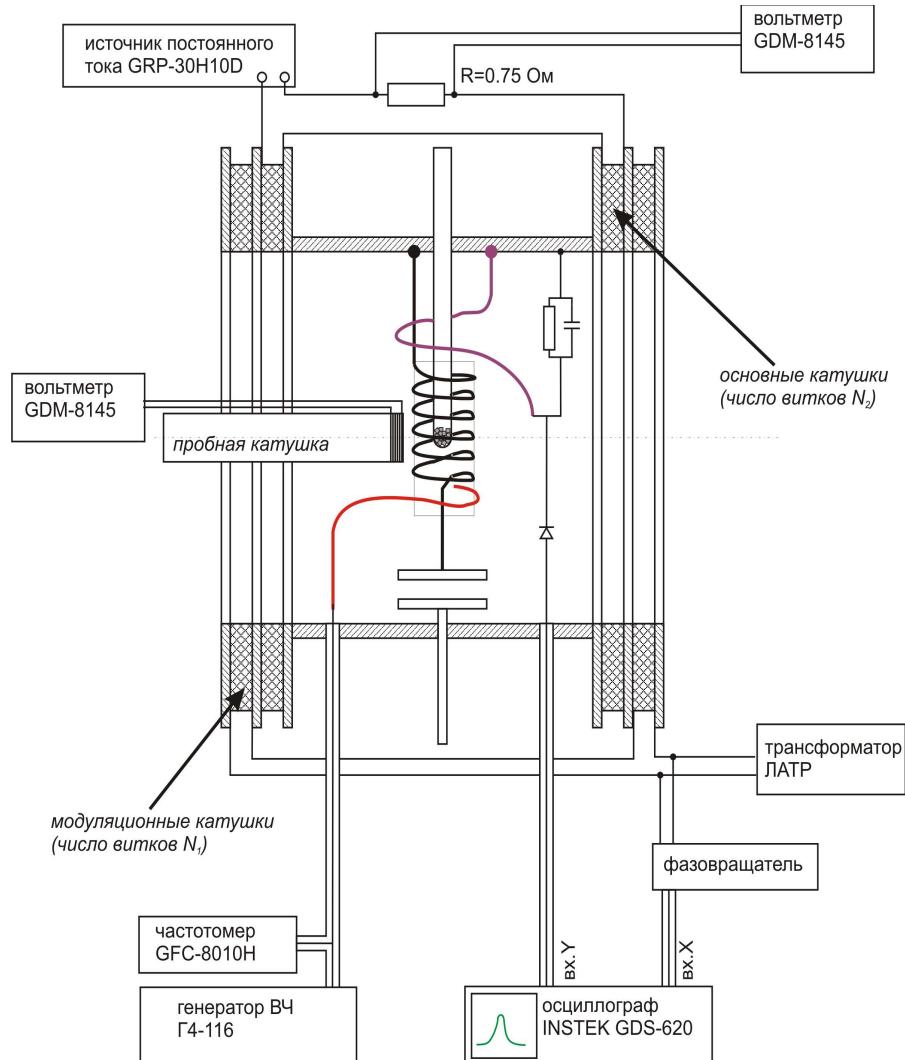


Рисунок 1: Схема установки. Частотометр присутствует не на всех рабочих местах.

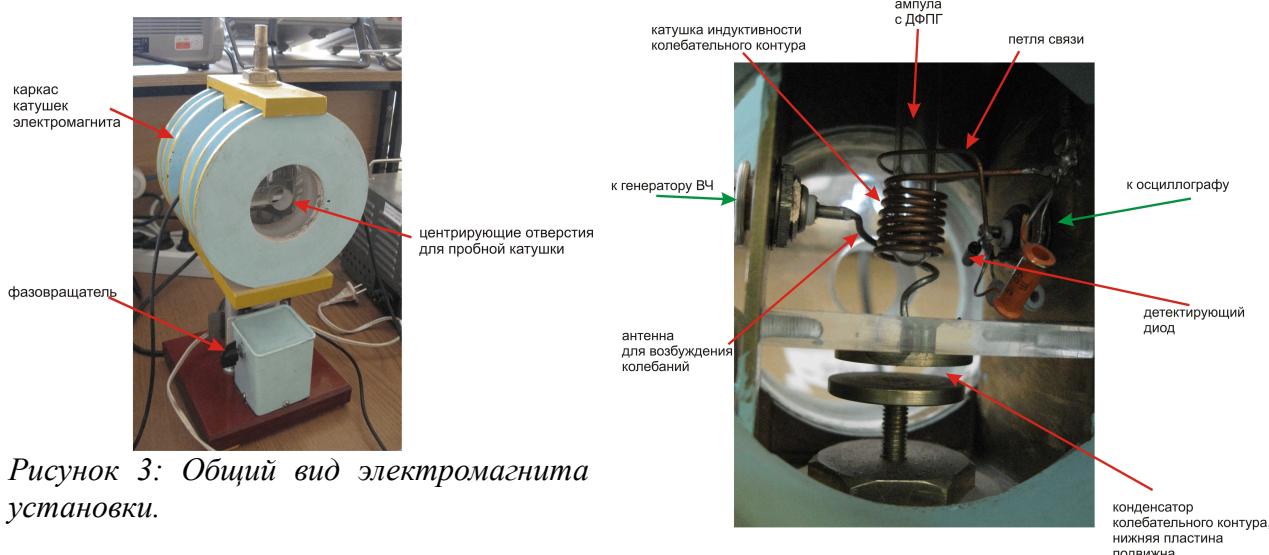


Рисунок 3: Общий вид электромагнита установки.

Рисунок 2: Фотография центральной части установки и основные элементы.

Генератор ВЧ Г4-116 и частотометр GFC-8010H.

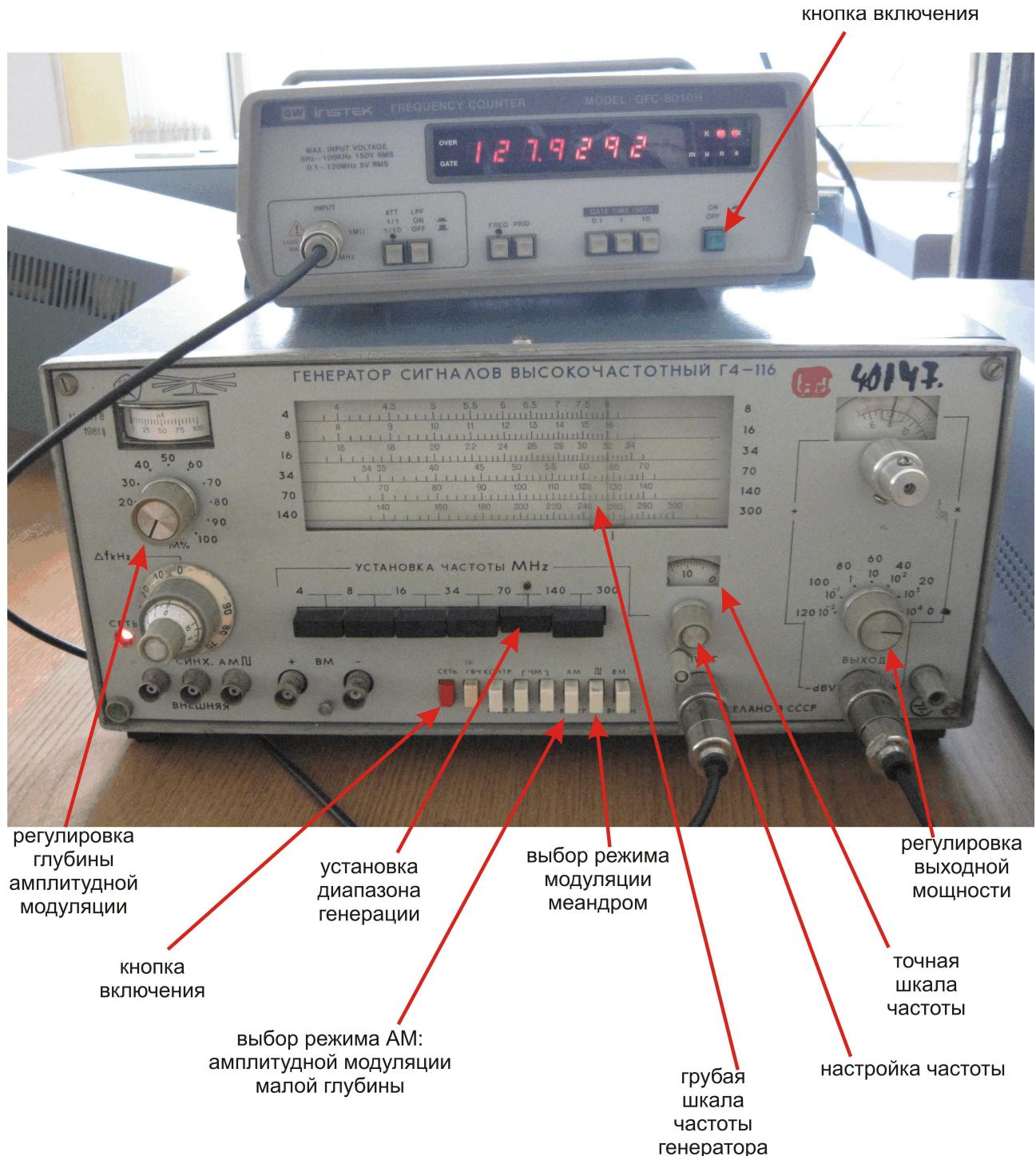


Рисунок 4: Генератор ВЧ и частотометр. Внешний вид и основные органы управления.

До начала измерений генератору желательно дать прогреться 15-20 минут для обеспечения стабильности генерации. Регулятор глубины амплитудной модуляции должен находиться в положении «10%», регулятор выходной мощности в максимальном положении.

Частотометр присутствует не на всех столах. Также необходимо иметь в виду, что

номинальный диапазон работы частотомера 0-120 МГц. Практика показывает, что частотомер может правильно показывать частоту до примерно 150 МГц. При измерении частоты выше номинального диапазона необходимо контролировать соответствие показаний частотомера со шкалой генератора. На столах, где частотомер отсутствует, измерение частоты производится по шкале генератора. Для определения g-фактора достаточную точность даёт считывание частоты по основной (грубой) шкале, при определении добротности контура в отсутствие частотомера может оказаться необходимым использовать точную шкалу.

На некоторых рабочих местах частотомер даёт небольшую наводку, приводящую к появлению слабых искажений наблюдаемой линии резонансного поглощения. Рекомендуется отключать частотомер в момент фиксации формы линии резонансного поглощения.

Осциллограф INSTEK GOS-620.

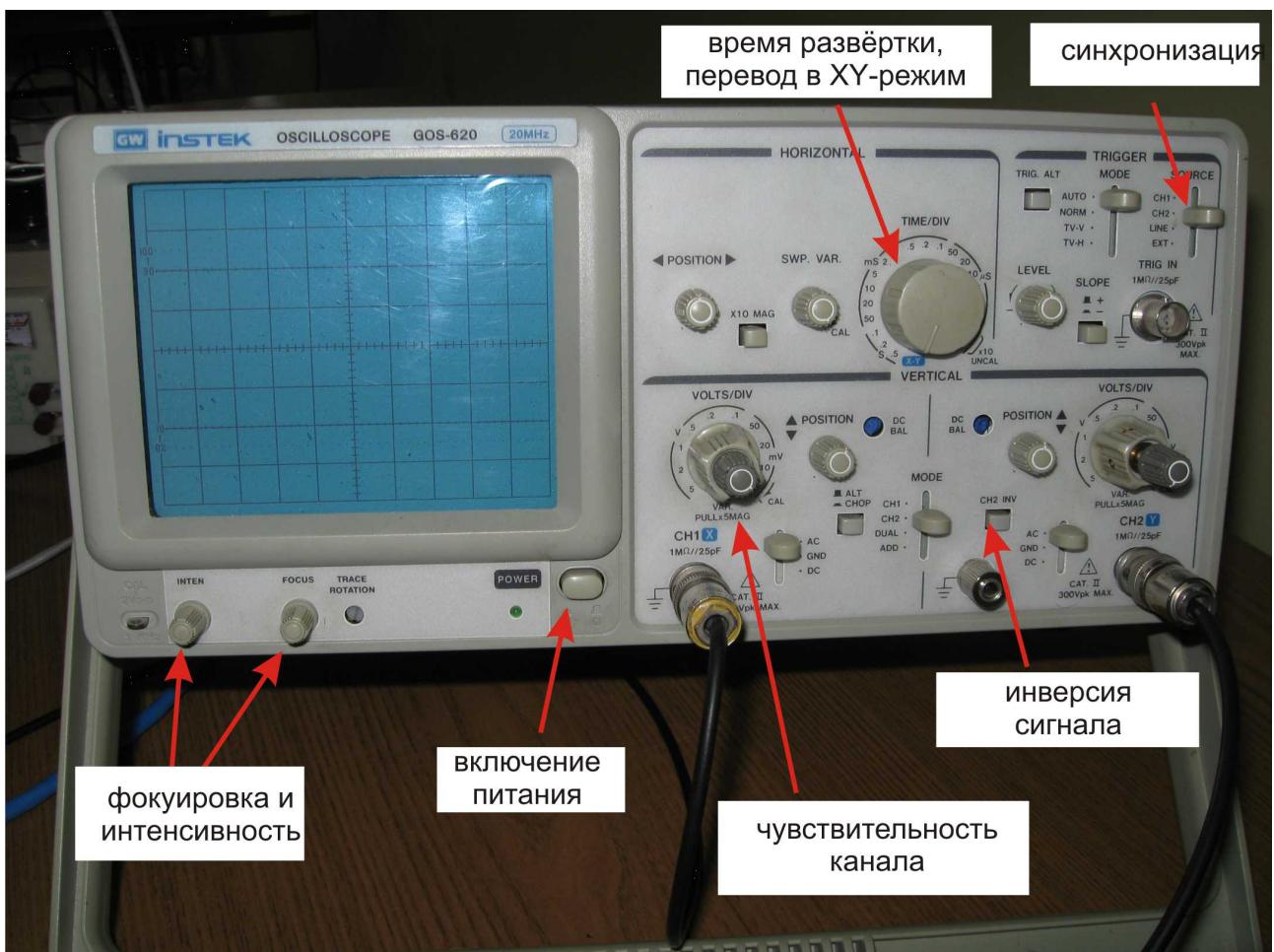


Рисунок 5: Осциллограф INSTEK GOS-620: основные органы управления.

Перед началом измерения при необходимости подстроить яркость и фокусировку луча (ручки под экраном).

Двухканальный осциллограф INSTEK GDS-620 используется для настройки установки и наблюдения сигнала магнитного резонанса. На вход X (канал «CH1») подаётся сигнал с фазовращателя, амплитуда которого пропорциональна напряжению на модулирующих катушках, на вход Y (канал «CH2») сигнал с детектирующего диода, на котором возникает

низкочастотное напряжение, пропорциональное квадрату амплитуды переменного поля в катушке индуктивности. Высокочастотное напряжение на детектирующем диоде шунтируется на землю входной ёмкостью каналов осциллографа.

В работе используется два режима работы осциллографа: режим развёртки по времени для настройки и режим XY-развёртки для наблюдения сигнала резонансного поглощения. Переключение осуществляется ручкой установки времени развёртки, её крайнее левое положение соответствует XY-режиму. В режиме развёртки по времени для получения стабильного изображения удобно установить режим синхронизации по сигналу канала CH2 (Y).

Чувствительность каналов может дополнительно плавно регулироваться поворотом ручки регулировки на переключателе чувствительности канала. Чувствительность может быть дискретно увеличена в 10 раз, если ручку плавной регулировки вытянуть на себя. Для точного измерения амплитуд сигналов ручка плавной регулировки чувствительности должна быть переведена в калиброванное положение (по часовой стрелке до щелчка).

В зависимости от полярности установки детектирующего диода на разных установках знак наблюдаемого сигнала ЭПР может различаться. Полярность канала Y (CH2) может быть изменена нажатием кнопки инверсии сигнала.

Источник постоянного тока GRP-30H10D.

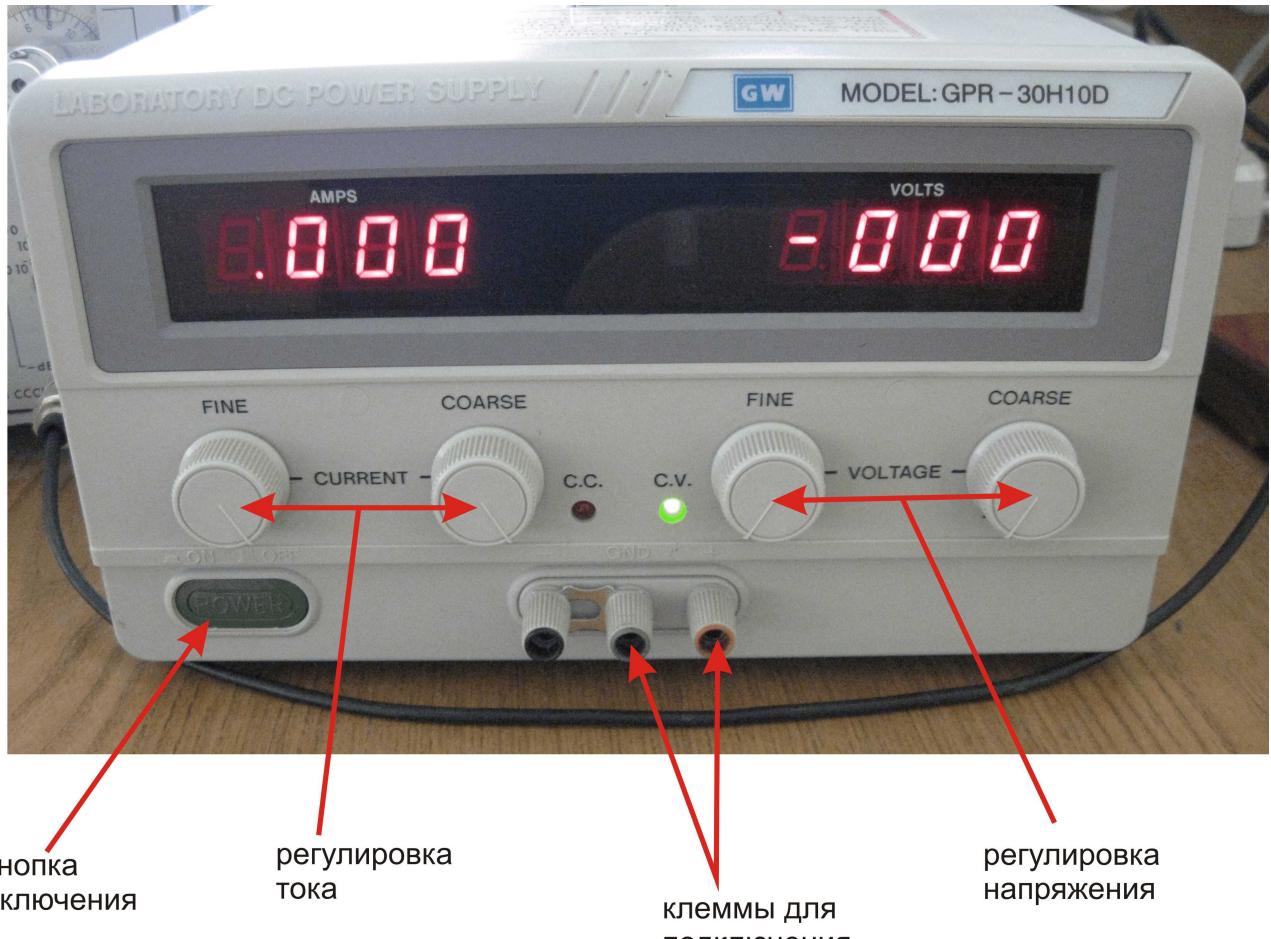


Рисунок 6: Источник постоянного тока GRP-30H10D: основные органы управления.

Источник постоянного тока используется для подачи постоянного тока в основные катушки.

Источник позволяет устанавливать либо предельный ток, либо предельное напряжение, стабилизация осуществляется по тому параметру (ток или напряжение), который будет достигнут первым. Выдаваемый источником ток и напряжение на клеммах отображаются на индикаторе, могут по желанию фиксироваться в лабораторном журнале, но для измерений их значения не требуются.

Перед включением установите обе ручки регулировки тока в крайнее правое положение (максимально возможный ток), а обе ручки регулировки выходного напряжения в крайнее левое положение (нулевое выходное напряжение). При выключении верните ручки регулировки в это же положение (нулевое выходное напряжение и максимальный ток).

ВНИМАНИЕ!!! При работе на клеммах имеется напряжение до 100 Вольт, соблюдайте необходимую осторожность.

Регулируемый трансформатор ЛАТР и переключение катушек.



Рисунок 7: Слева: Трансформатор ЛАТР. Справа: переключатель катушек электромагнита.

Трансформатор ЛАТР используется для подачи переменного напряжения на модуляционные катушки в основной части работы и в основные катушки при калибровке и выполнении дополнительных заданий. В основной части работы в главные катушки электромагнита подаётся постоянный ток от источника постоянного тока. Коммутация катушек осуществляется переключателем: положение «1» соответствует основному режиму (постоянный ток подаётся в главные катушки, переменный ток — в модуляционные катушки), положение «2» режиму модуляции (постоянный ток не подаётся, переменный ток подаётся в главные катушки электромагнита).

Перед началом работы ЛАТР должен быть выключен из сети, его вилка помечена надписью. Перед включением поверните ручку регулировки напряжения в крайнее левое положение (минимальное выходное напряжение), затем вставьте вилку ЛАТР в розетку. При выключении по окончании измерений или при переключении катушек выводите регулятор в крайнее левое положение. Страйтесь без необходимости не подавать на катушки напряжение больше 100 Вольт по шкале ЛАТР.

ВНИМАНИЕ!!! При работе на клеммах имеется напряжение ~100 Вольт, в зависимости от конструкции ЛАТР одна из клемм может быть непосредственно соединена с электросетью, соблюдайте необходимую осторожность.

Вольтметр (мультиметр) GDM-8145.

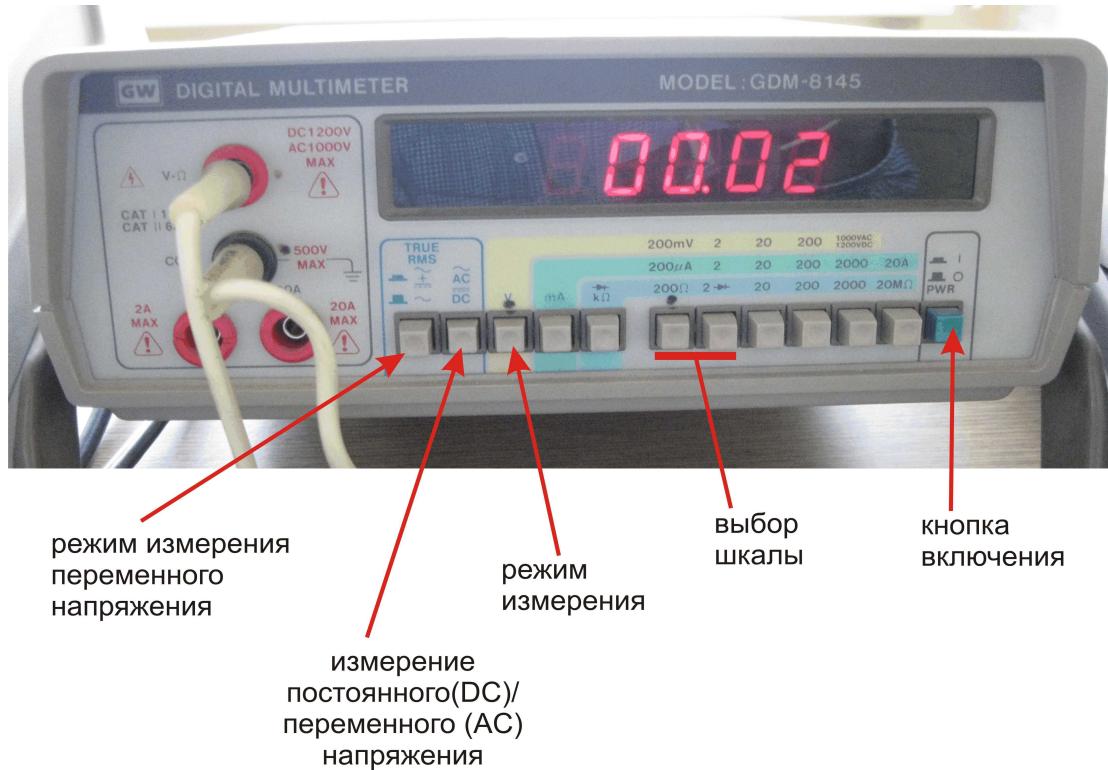


Рисунок 8: Вольтметр (мультиметр) GDM-8145

В работе используются два вольтметра GDM-8145. Один из них подключён к пробной катушке и используется для измерения ЭДС индукции, второй подключён к резистору в цепи основных катушек и используется для контроля тока через основные катушки.

Оба вольтметра должны быть в режиме измерения напряжения, переключатель режима измерения переменного напряжения должен быть в отжатом положении (измерение действующего значения, RMS). Для измерения ЭДС индукции на пробных катушках используется шкала 200mV, для измерения напряжения на резисторе в цепи основных катушек 200mV или 2V в зависимости от установки.

Вольтметр, используемый для измерения ЭДС индукции в пробной катушке, всегда находится в режиме измерения переменного напряжения. Вольтметр, используемый для контроля тока через основные катушки, измеряет либо переменное, либо постоянное напряжение на разных этапах работы — убедитесь, что переключатель этих режимов находится в соответствующем положении.

При измерении постоянного напряжения у вольтметра может быть сдвинут ноль измерения. Проконтролируйте это перед началом работы.

Основное задание: Наблюдение сигнала ЭПР, определение g-фактора и ширины линии ЭПР.

Настройка ВЧ генератора.

Задача: настроить генератор на резонансную частоту колебательного контура, определить значение частоты, определить добротность контура.

Настройте ВЧ генератор на частоту колебательного контура. В режиме непрерывной генерации ВЧ генератор выдаёт переменный (частота ~ 100 МГц) сигнал постоянной амплитуды, который после детектирования превращается в постоянное напряжение. Наблюдение постоянного напряжения на экране осциллографа неудобно (хотя и возможно). Поэтому для удобства настройки сигнал дополнительном амплитудно модулируется на низкой (~ 1 кГц) частоте. Детектирование усредняет высокочастотный сигнал, а его огибающая превращается в низкочастотный переменный сигнал, легко визуализируемый на осциллографе. Для наблюдения сигнала переведите осциллограф в режим развёртки по времени.

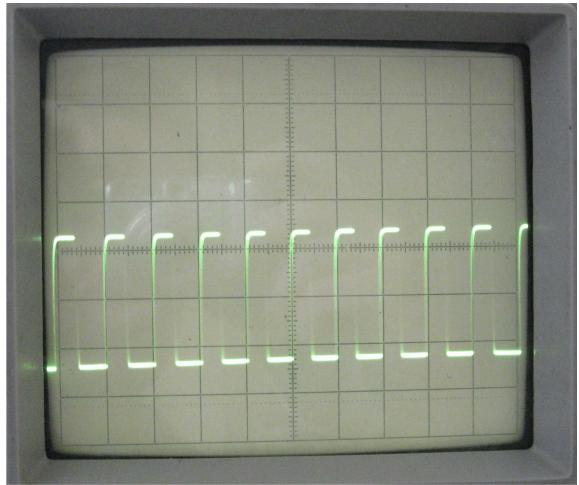
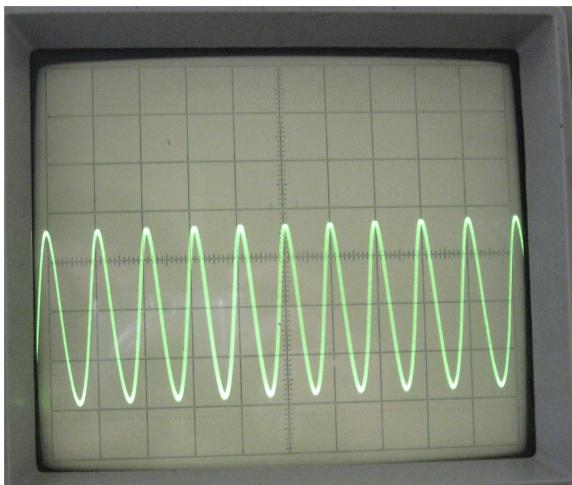


Рисунок 9: Типичные осцилограммы при настройке генератора на частоту колебательного контура. Форма сигнала может быть искажена в зависимости от особенностей конкретного генератора или установки. Слева: режим амплитудной модуляции небольшой амплитуды. Справа: режим модуляции меандром.

Возможно два практически равнозначных способа настройки: с использованием амплитудной модуляции небольшой глубины и с использованием глубокой модуляции меандром.

- Для режима амплитудной модуляции небольшой глубины переведите ВЧ генератор в режим «АМ», установите глубину амплитудной модуляции равной 10%. Подстройкой частоты генератора добейтесь максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа. Типичный сигнал на экране осциллографа при настройке в резонанс контура показан на рисунке 9.
- Для модуляции меандром переведите генератор в режим «меандр». Подстройкой частоты генератора добейтесь максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа. Для настройки может потребоваться существенное загрубление шкалы осциллографа. Типичный сигнал на экране осциллографа при настройке в резонанс контура показан на рисунке 9.

Частота колебаний в контуре f_0 определяется по показаниям частотомера либо (при отсутствии частотомера либо выходе частоты за пределы его работоспособности) по шкале

генератора.

Добротность колебательного контура может быть определена по расстройке частоты до достижения сигналом половины¹ от максимального значения $Q_0 = \frac{f_0}{f_{+\frac{1}{2}} - f_{-\frac{1}{2}}}$, где $f_{\pm\frac{1}{2}}$

значения частоты при достижении половинного сигнала при расстройке генератора в сторону больших и маленьких частот. После измерения добротности вернитесь к резонансной частоте контура.

Наблюдение сигнала резонансного поглощения.

Задача: наблюдение на экране осциллографа сигнала резонансного поглощения, фиксация наблюданной картины.

Подключите основные катушки к источнику постоянного тока, а модуляционные катушки к трансформатору ЛАТР. Осциллограф оставьте в режиме развёртки по времени, постоянную времени установите так, чтобы на экране удобно было наблюдать сигнал с частотой 50-100 Гц. ВЧ-генератор переведите в режим непрерывной генерации, на канале осциллографа, подключённом к детектору, установите максимальную чувствительность.

Подайте на модуляционные катушки напряжение ~50 В (по вольтметру на ЛАТР). Плавно увеличивая постоянное напряжение, подаваемое на основные катушки, добейтесь возникновения на экране осциллографа картины резонансного поглощения.

¹ Детектируемый сигнал пропорционален квадрату амплитуды поля, поэтому для определения добротности нужно отстраивать частоту до достижения сигналом уровня $1/2$, а не $1/\sqrt{2}$.

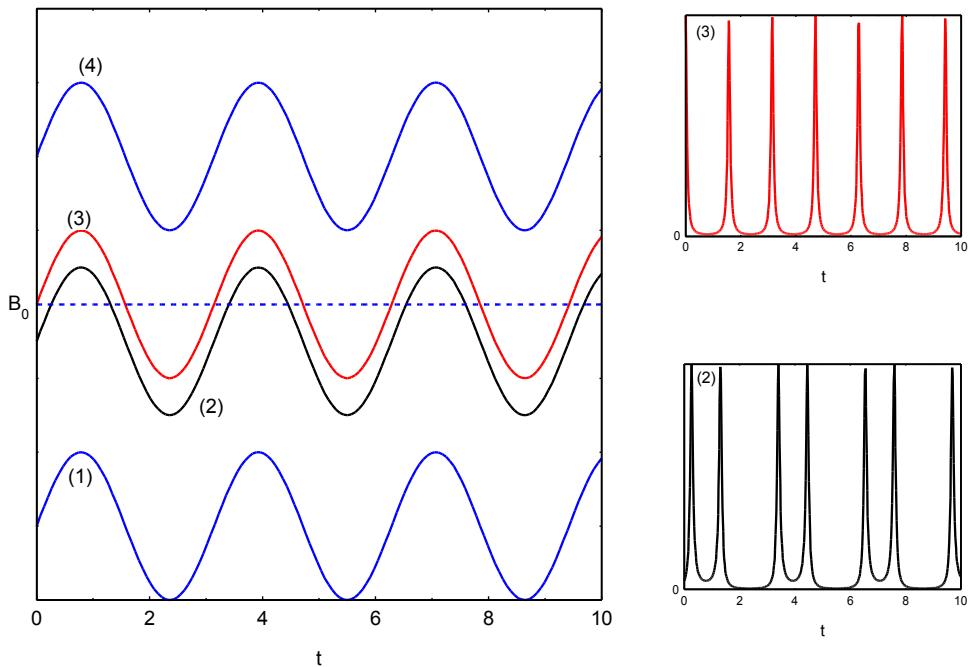


Рисунок 10: Схема настройки на сигнал резонансного поглощения. Слева: зависимость поля на образце от времени при различных соотношениях между средним полем на образце и резонансным полем на заданной частоте. Справа: схематическое изображение сигнала поглощения при точной настройке (сверху) и небольшом несовпадении среднего поля и поля резонансного поглощения (снизу), цифры на рисунках соответствуют кривым $B(t)$ на левой панели.

Поле на образце является суммой постоянного поля от основных катушек и переменного поля от модуляционных катушек $B(t) = B_{\text{ном}} + B_{\text{мод}} \sin(\omega_{\text{мод}} t)$. Резонансное поглощение возникает при совпадении в некоторые моменты времени поля $B(t)$ с полем резонансного поглощения на частоте колебательного контура $B_0 = h f_0 / (g \mu_B)$. Схема зависимости $B(t)$ и соответствующих картин поглощения показана на рисунке 10. Если $B(t)$ и B_0 не пересекаются (кривые (1) и (4) на рисунке 10), то поглощения не наблюдается. Если пересечение есть (кривые (2) и (3) на рисунке 10), то в моменты пересечения возникает поглощение. При точной настройке (кривая (3) на рисунке 10) пики поглощения следуют эквидистантно на удвоенной частоте модуляции, так как мы проходим через резонансное поле дважды за период, при небольшом несовпадении $B_{\text{ном}}$ и B_0 пики поглощения не эквидистантны (см. правые рисунки на рисунке 10).

Добившись максимально точной настройки постоянного поля на резонансное поглощение сфотографируйте наблюданную на экране осциллографа картину или зарисуйте её (калька у лаборантов). Типичные осциллограммы показаны на рисунке 11.

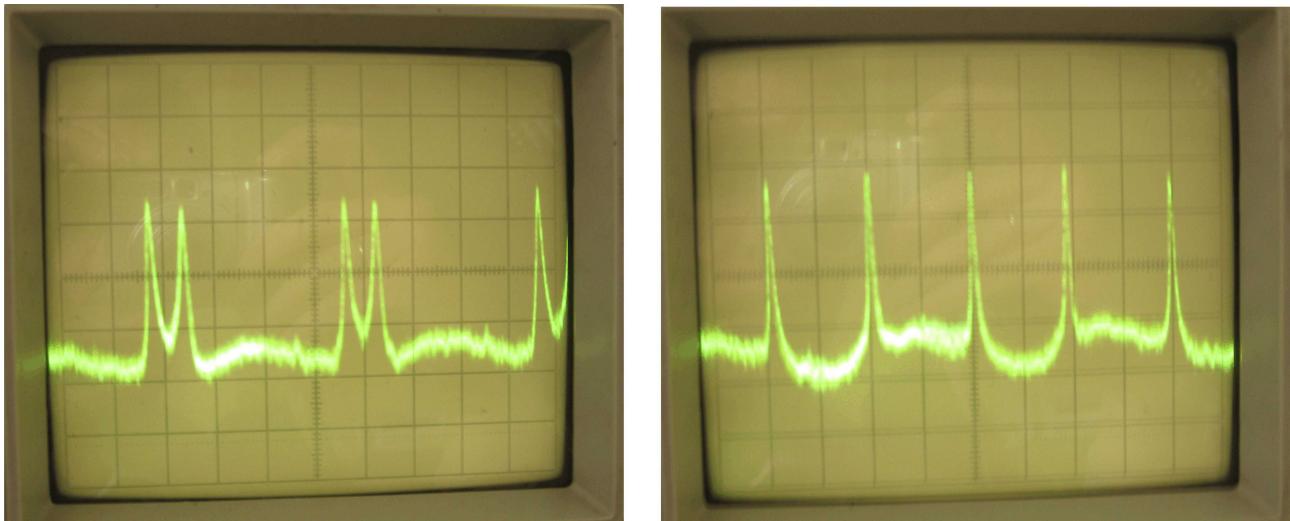


Рисунок 11: Осцилограммы сигнала поглощения при различных значениях постоянного тока. Полярность наблюдаемого сигнала может отличаться в зависимости от полярности установки детектирующего диода в конкретной установке. Слева: постоянное поле отличается от резонансного, пики поглощения не эквидистанты. Справа: постоянное поле близко к резонансному, пики практически эквидистанты.

Точная настройка резонансного поля и определение ширины линии.

Задача: добиться точной настройки поля для наблюдения сигнала ЭПР, зафиксировать значение постоянного тока через основные катушки в условиях резонансного поглощения, определить ширину линии ЭПР.

Для более точной настройки и определения ширины линии резонансного поглощения удобно подать на X-канал осциллографа напряжение, прикладываемое к модуляционным катушкам и наблюдать сигнал в XY-режиме. Фактически при этом на экране наблюдается зависимость поглощения в образце от приложенного переменного поля. При точной настройке постоянного поля наблюдаемая картина должна быть симметрична относительно средней вертикальной оси. Из-за набегающей в электрической схеме расфазировки напряжений на экране наблюдаются два пика, соответствующие прохождению резонансного поглощения на растущем и падающем полупериодах модулирующего напряжения. Пики могут быть совмещены подстройкой фазовращателя, расположенного на электромагните. Фазовращатель сдвигает фазу напряжения, подаваемого на канал X относительно фазы модулирующего напряжения, и позволяет совместить пики.

Амплитуда модулирующего напряжения не должна быть слишком большой — если большую часть периода мы находимся вне условий резонансного поглощения точность настройки снижается. Оптимальной является амплитуда модулирующего напряжения, при которой на экране осциллографа хорошо прорисована вся резонансная кривая, а максимальный размах в 2-3 раза больше ширины наблюдаемой резонансной кривой. Чувствительность канала X должна быть подобрана так, чтобы эта кривая занимала весь экран осциллографа, но не выходила за его границы.

При настройке может оказаться, что частота ВЧ генератора немного сместилась относительно резонансной частоты контура. Это может приводить к снижению

чувствительности и возникновению характерных асимметричных искажений наблюдаемой линии (см. осциллограммы на рисунке 12). Попробуйте немного подстроить частоту, добиваясь возникновения симметричного сигнала максимальной амплитуды.

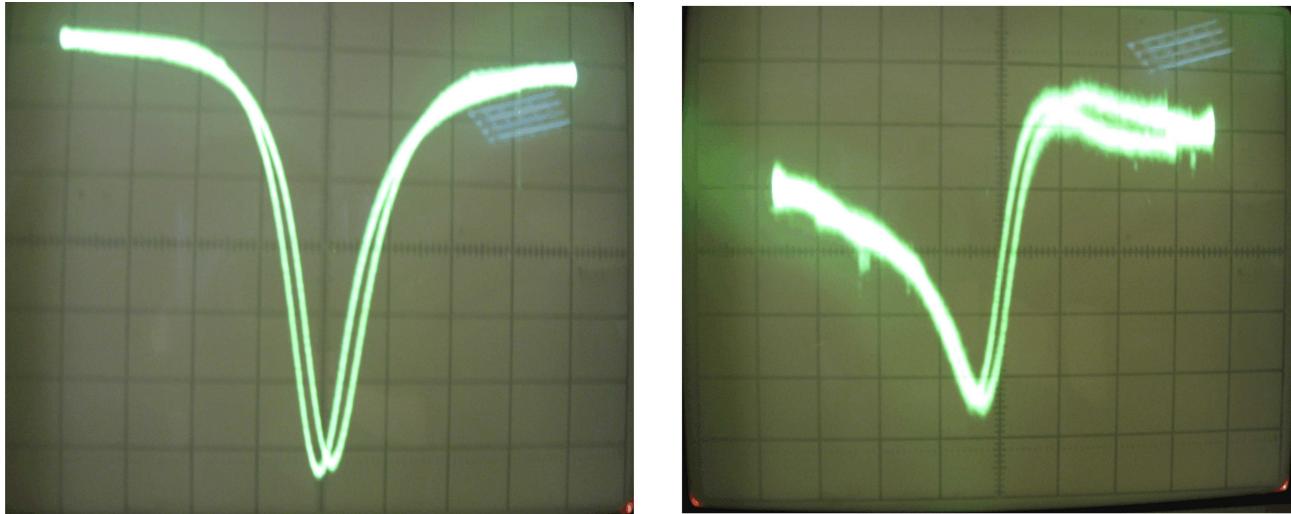


Рисунок 12: Слева: типичная форма линии поглощения в режиме XY-развёртки при практически точной настройке. Полярность наблюдаемого сигнала может отличаться в зависимости от полярности установки детектирующего диода в конкретной установке. Справа: асимметричное искажение наблюдаемой формы линии поглощения при небольшом отличии частоты генератора от резонансной частоты колебательного контура.

Окончательной подстройкой постоянного поля установите на экране осциллографа симметричную картину расположения пиков резонансного поглощения. Сфотографируйте или зарисуйте наблюдаемый сигнал. Зафиксируйте значение напряжения на резисторе в цепи основных катушек и значение частоты ВЧ генератора (если она подстраивалась). Обратите внимание, что вольтметр должен быть в режиме измерения постоянного тока, иначе он будет показывать значение переменной ЭДС индукции, наводимой модулирующими катушками. По этому значению напряжения после калибровки будет установлено значение поля.

Оцените точность определения напряжения, соответствующего резонансному поглощению. Для этого немного изменяйте значение постоянного тока, подаваемого в основные катушки, пока картина на экране осциллографа не изменится достаточно заметно.

Для определения ширины линии ЭПР определите по экрану осциллографа полный размах модулирующего поля (в делениях шкалы) $A_{\text{полн}}$ и полную ширину кривой резонансного поглощения на полувысоте $A_{1/2}$. Не изменяя настроек возьмите пробную катушку и внесите её внутрь соленоида максимально близко к образцу. Переменное поле модуляционных катушек наводит в пробной катушке ЭДС индукции, по которой можно определить величину поля. Параметры пробной катушки указаны на ней. Обратите внимание, что вольтметр измеряет действующее значение ЭДС индукции, а полный размах сигнала на экране осциллографа соответствует амплитудному значению переменного поля. По измеренной ЭДС индукции ϵ_i и параметрам катушки (числу витков $N_{\text{проб}}$ и диаметру намотки d) определите амплитуду модулирующего поля $B_{\text{mod}} = \sqrt{2} \frac{2\epsilon_i}{\pi^2 d^2 N_{\text{проб}} v}$, где v частота модулирующего напряжения. Полуширина на полувысоте линии резонансного

поглощения (в единицах поля) может быть тогда получена как $\Delta B = \frac{A_{1/2}}{A_{нолн}} B_{мод}$.

Калибровка поля электромагнита и определение g-фактора.

Задача: определить связь между падением напряжения на резисторе в цепи основных катушек и магнитным полем в центре магнита.

Для определения поля резонансного поглощения необходимо найти связь между падением напряжения на резисторе в цепи основной катушки и магнитным полем. Это можно сделать, если подать в основные катушки переменный ток и измерить при помощи пробной катушки ЭДС индукции.

Для проведения калибровочных измерений необходимо переключить основные катушки на ЛАТР. Это делается коммутацией переключателя. Переведите вольтметр, измеряющий падение напряжения на резисторе в цепи основных катушек в режим измерений на переменном токе. Установите ток через катушки, близкий к значению тока при наблюдении резонансного поглощения, и измерьте в этих условиях ЭДС индукции в пробных катушках. Для контроля однородности поля вносите катушку в центр магнита с передней и задней стороны установки. Для повышения точности калибровочные измерения лучше провести при нескольких значениях тока через катушки, рекомендуется выбрать 5-7 значений напряжения в интервале от примерно 0.4 до 1.2 от значения напряжения зафиксированного в условиях резонансного поглощения. Так как оба вольтметра измеряют действующее напряжение никакого пересчёта к амплитудным значениям делать не надо.

В случае идеальной геометрии (одинаковые основные катушки, симметричное расположение образца) значения ЭДС индукции при измерениях с передней и задней стороны должны совпасть. В случае их расхождения разброс показаний позволяет оценить неоднородность поля на образце.

Кроме того, так как измерение поля происходит не точно в месте расположения образца, возможно систематическое отклонение связанное с распределением полей в катушках. Для оценки этого эффекта вычислите по закону Био-Савара распределение полей на оси установки и оцените насколько поле в центре отличается от поля в месте измерения пробными катушками. Ориентировочные габаритные размеры катушек указаны в «Лабораторном практикуме по общей физике» и на некоторых столах, числа витков и диаметр провода катушек указаны на установках. Для оценки можно заменить катушки на виток, расположенный по центру намотки. Необходимые размеры пробных катушек измеряются.

Постройте график зависимости ЭДС индукции в пробных катушках от напряжения на резисторе в цепи основных катушек. Данные для двух положений пробной катушки наносите отдельно. По угловому коэффициенту наклона этого графика и параметрам пробных катушек установите коэффициент связи напряжения на резисторе в цепи основных катушек с магнитным полем и определите g-фактор ДФПГ. Оцените точность полученного результата для g-фактора, оцените вклад случайных и систематических погрешностей.

Дополнительные задания.

Теоретический материал для дополнительных заданий №2 и №3 приведён в дополнительном описании работы. В тексте дополнительных заданий приводятся только конечные формулы, необходимые для вычислений. Дополнительные задания выполняются по согласованию с преподавателем.

Дополнительное задание №1: Измерение на нескольких частотах.

Для повышения точности определения g-фактора и проверки линейности зависимости зеемановского расщепления от приложенного магнитного поля можно провести измерения сигнала резонансного поглощения на нескольких частотах.

В ходе выполнения этого задания будет изменяться зазор конденсатора. Для облегчения выполнения работы следующими группами нужно зафиксировать в тетради частоту, на которую был настроен колебательный контур, при выполнении основного задания и по окончании работы вновь настроить колебательный контур на эту частоту.

Перестройка частоты удобно выполняется на более новых установках, где шток конденсатора снабжён ручкой. Для перестройки частоты плавно меняйте зазор между пластинами конденсатора, поворачивая шток с резьбой. Удобно одновременно с перемещением пластин конденсатора подстраивать ВЧ генератор, чтобы всё время оставаться примерно на резонансной частоте контура. Контроль настройки генератора на резонансную частоту осуществляется с использованием одного из вариантов амплитудной модуляции, как описано в основной части работы. Рекомендуется выбирать частоты измерений отстоящими друг от друга на 5-10 МГц (при таком изменении частоты линия резонансного поглощения смещается более чем на полуширину) и провести измерения на 5-10 частотах.

После перестройки колебательного контура и точной настройки генератора на его резонансную частоту необходимо зафиксировать сигнал резонансного поглощения в образце и определить при каком значении напряжения на резисторе в цепи основных катушек наблюдается резонансное поглощение. В зависимости от частоты могут меняться добротность контура и условия его связи с генератором и контуром детектора, поэтому чёткость наблюдения картины резонансного поглощения меняется.

По результатам измерений, не пересчитывая напряжение на резисторе в единицы поля (чтобы не вносить дополнительную систематическую погрешность, связанную с калибровкой) постройте график зависимости частоты, на которой наблюдалось резонансное поглощение, от напряжения на резисторе в цепи основных катушек. Проверьте, соответствует ли этот график в пределах точности эксперимента линейному расщеплению спиновых подуровней. По угловому коэффициенту наклона получающейся прямой с использованием калибровки определите значение g-фактора в ДФПГ.

Дополнительное задание №2: Оценка величины обменного взаимодействия в ДФПГ.

Оцените ожидаемую величину дипольного поля (дипольную ширину линии ЭПР ΔB_{d-d}) для ДФПГ. Считая, что наблюдаемая линия магнитного резонанса является результатом обменного сужения линии с дипольной шириной, оцените величину обменного взаимодействия в ДФПГ.

$$\text{Полуширина обменно-суженной линии } \Delta B \simeq 2\mu_B \frac{B_{d-d}^2}{J} \sim \frac{\mu_B^2}{Jd^3} .$$

Сравните полученный результат с тем, что при температуре 0.3-0.7 К в ДФПГ наступает антиферромагнитный порядок.

Дополнительное задание №3: Оценка числа спинов в образце.

Определите насколько меняется сигнал детектора при возникновении резонансного поглощения в образце. Для этого установите на ВЧ генераторе режим модуляции меандром, переведите осциллограф в режим калиброванной шкалы по каналу Y и измерьте амплитуду сигнала U_0 при точной настройке генератора на резонансную частоту контура.

После этого, переведите генератор в режим непрерывной генерации, подайте на модуляционные катушки переменное напряжение достаточное для визуализации картины резонансного поглощения и подберите постоянное поле так, чтобы увидеть на экране осциллографа картину пиков резонансного поглощения. Определите амплитуду этих пиков ΔU .

Определите добротность колебательного контура на используемой частоте, резонансное поле и полуширину линии резонансного поглощения. Оцените визуально габариты катушки индуктивности.

По полученным данным оцените количество неспаренных спинов в исследуемом образце и массу образца $N \simeq \frac{\Delta U}{U_0} \frac{Sl}{4\pi Q_0} \frac{k_B T}{\mu_B^2} \frac{\Delta B}{B_0}$ (СГС), здесь S и l — площадь сечения и

длина катушки индуктивности колебательного контура (эти размеры оцениваются «на глаз»), Q_0 — добротность контура, B_0 и ΔB — резонансное поле и полуширина линии ЭПР, T — температура. Сравните результат с ожидаемым для имеющегося образца (оценивается по массе образца, указанной на установке, или по объёму образца), в случае существенного расхождения этих величин предложите объяснение для наблюдаемого различия.

Дополнительное задание №4: Исключение систематической погрешности, связанной с экранирующими токами.

Одним из систематических источников погрешности в работе является тот факт, что при измерении g-фактора мы подаём в основные катушки постоянный ток, а при калибровке — переменный. Это может приводить к тому, что в момент калибровки наводятся индукционные токи в деталях установки либо в остающейся замкнутой на фазовращатель модуляционной катушке, что приводит к систематическому искажению калибровочных данных.² Одним из вариантов исключения этой проблемы является наблюдение сигнала ЭПР на переменном токе — то есть в тех же условиях, в которых проводится калибровка установки.

Для проведения этого опыта подсоедините основные катушки к ЛАТР (переключатель в режиме калибровки электромагнита). Настройте ВЧ генератор на резонансную частоту колебательного контура. Переведите вольтметр, измеряющий напряжение на основных

² Эффект существенно зависит от установки, по состоянию на май 2014 года максимальную величину имел на рабочем месте у окна.

катушках, в режим измерения переменного тока. Осциллограф переведите в режим развёртки по времени, постоянную времени подберите так, чтобы на экране умещалось 4-6 периодов колебаний с частотой 50-100 Гц.

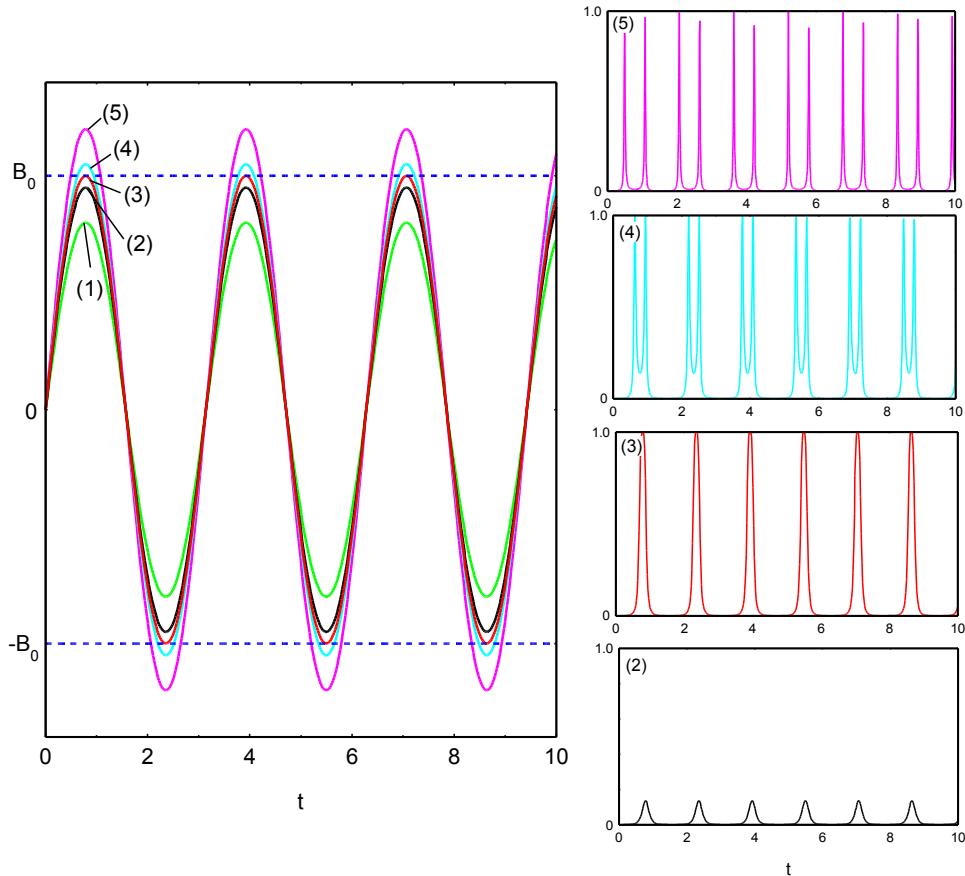


Рисунок 13: Схема возникновения резонансного поглощения при подаче переменного тока в основные катушки. Слева: зависимость поля на образце от времени для различных амплитуд переменного поля. Справа: схема зависимости резонансного поглощения от времени для различных амплитуд переменного поля, номера на графиках соответствуют номерам кривых на левой панели.

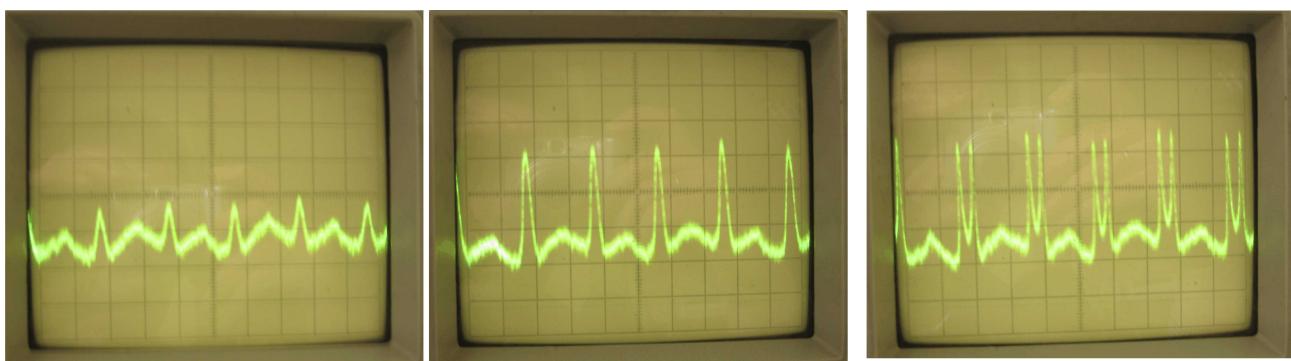


Рисунок 14: Осциллограммы сигнала поглощения при подаче переменного тока в основную катушку. Слева: амплитуда переменного поля не достигает резонансного значения. В центре: амплитуда переменного поля достигла резонансного значения, амплитуда пиков поглощения достигла максимума. Справа: амплитуда переменного поля превысила резонансное значение, пики раздвоились.

Постепенно увеличивайте напряжение на основных катушках, пока на экране осциллографа не появится картина резонансного поглощения. Наблюдаемые пики соответствуют частоте 100 Гц, так как мы их наблюдаем дважды за период при достижении полем его амплитудного значения (картина соответствует кривой (2) на рисунке 13). При дальнейшем увеличении напряжения амплитуда пиков сначала растёт, а в некоторый момент перестаёт расти (картина соответствует кривой (3) на рисунке 13) и пики раздваиваются (картина соответствует кривым (4) и (5) на рисунке 13). Раздвоение пиков возникает, если амплитудное значение поля превышает резонансное значение. Примеры осциллограмм приведены на рисунке 14).

Таким образом, если подобрать напряжение на катушках так, чтобы пики имели максимальную амплитуду, но ещё не разделялись, то *амплитудное* значение поля будет соответствовать резонансному. Зафиксируйте в этих условиях значение напряжения на резисторе в цепи основной катушки. Повторите для повышения точности это измерение на нескольких частотах. По полученным данным с использованием калибровки при помощи пробных катушек определите *g*-фактор для ДФПГ, оцените точность измерения и сравните результат с измерением на постоянном токе.