

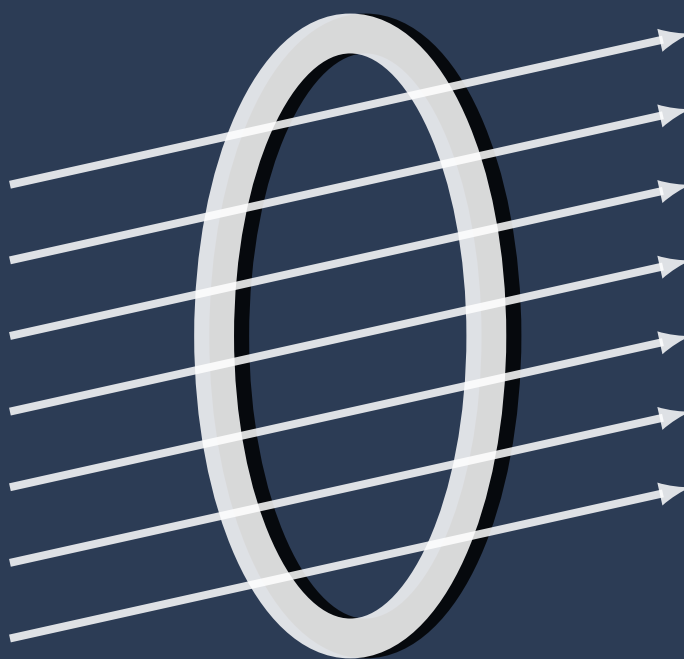
М. О. Первушина

И. А. Небаев

Электromagnetизм

Руководство к лабораторной работе
по измерению магнитного потока и индукции
в среде компьютерной программной установки

учебно-методическое пособие



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

**М. О. Первушина
И. А. Небаев**

**Электромагнетизм
Руководство к лабораторной работе
по измерению магнитного потока и индукции
в среде компьютерной программной установки**

С-Пб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017**

УДК 537.6, 53.072
ББК 00.00x00
X00

Рецензент
доктор технических наук, профессор _____ (_____)

*Рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом С-Пб ГУТ*

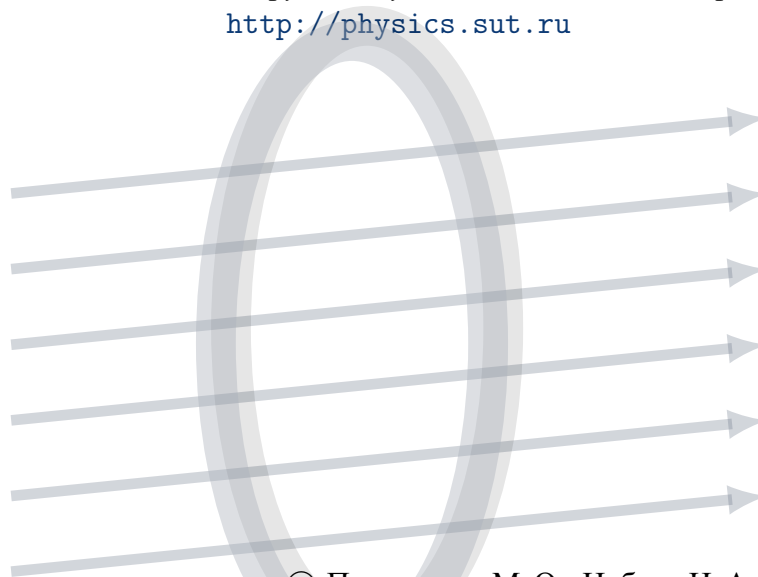
Первушина, М. О.

Электромагнетизм: руководство к лабораторной работе по измерению магнитного потока и индукции в среде компьютерной программной установки: учебно-методическое пособие /М. О. Первушина, И. А. Небаев; С-Пб ГУТ. – С-Пб., 2017. – 28 с.

Учебно-методическое пособие представляет собой руководство к выполнению лабораторной работы «Определение магнитного потока и индукции», выполняемой в рамках курса физики «Электромагнетизм». Особенностью работы является выполнение измерений в среде компьютерной программной установки (разработанной авторами на кафедре физики С-Пб ГУТ), учитывающей технические и функциональные особенности аналогичных современных лабораторных стендов. Руководство содержит теоретические основы лабораторного опыта, описание интерфейса программной установки, порядок выполнения опыта и расширенный список индивидуальных заданий для самостоятельной работы.

**УДК 000.000(000)
ББК 00.00x00**

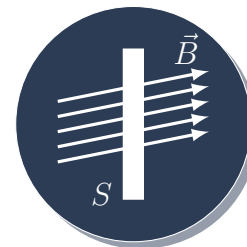
*Данный документ является электронным экземпляром издания
и может быть загружен с узла сети Internet по адресу:
<http://physics.sut.ru>*



© Первушина М. О., Небаев И. А., 2017
© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2017

Содержание

Введение	5
Описание лабораторной программной установки	6
1.1 Конфигурационная панель	7
1.2 Баллистический гальванометр	8
1.3 Амперметр	9
1.4 Источник питания	10
Методика измерений и порядок выполнения работы	12
2.1 Метод измерений	13
2.2 Порядок выполнения работы	14
Варианты индивидуальных заданий	16
Вопросы для допуска и защиты лабораторной работы	24
Рекомендуемая литература	25
Указатель иллюстраций	26

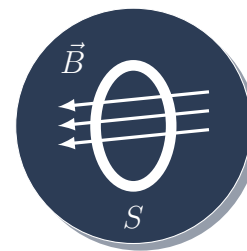


Введение

Лабораторная работа преследует цели закрепления теоретического материала по разделу «Электромагнетизм», и призвана ознакомить обучающихся с методикой опытного определения характеристик магнитного поля — индукции и магнитного потока. Важной особенностью работы является выполнение всех измерений в среде компьютерной программной установки (полностью аналогичной лабораторному опытному стенду), учитывающей технические особенности и функциональные возможности современного реального аналога. Описание лабораторной работы представляет собой компиляцию материала теоретического, методического и научного характера.

Методическое сопровождение лабораторной работы разработано с учетом специфики выполнения измерений в среде компьютерной программной установки, и применяет перспективный метод индивидуализации самостоятельной опытной работы, который основан на углублении вариационной части лабораторных измерений за счет введения индивидуального плана заданий из расширенного списка вариантов. Такой подход обеспечивается как широкой базой вариантов исходных условий и конечных целей измерений, так и встроенным в программную установку механизмом нереентерабельности получаемых данных.

С другой стороны, реализация лабораторной работы средствами компьютерной программной установки позволяет объединить цели и задачи преследуемые в области регулярных учебных лабораторных работ с предметной областью и задачами вычислительной физики, что в свою очередь приводит к синтезированию и выработке у обучающихся новых методов натурального опытного моделирования и моделирования с помощью методов вычислительной физики и средств компьютерной обработки данных в целом. Т.о., материал данного руководства следует рассматривать, как учебно-методическое пособие для выполнения частной лабораторной работы, так и как демонстрацию перспективного метода проведения учебных лабораторных работ по физике в ВУЗе, представляющего определенный интерес всему кругу лиц задействованных в процессе обучения — преподавателям, методистам, инженерно-лабораторному составу и студентам.



Описание лабораторной программной установки

Лабораторная установка представляет собой компьютерную программную имитационную модель высокого уровня, основанную на адекватной реализации функциональных возможностей и технических особенностей аппаратного аналога. В состав программной установки, аналогично аппаратному аналогу, входят следующие (имитационные) модели приборов:

- 1) Конфигурационная панель;
- 2) Баллистический гальванометр;
- 3) Амперметр;
- 4) Источник питания.

Общий вид указанных программных приборов представлен на рис. 1.1.

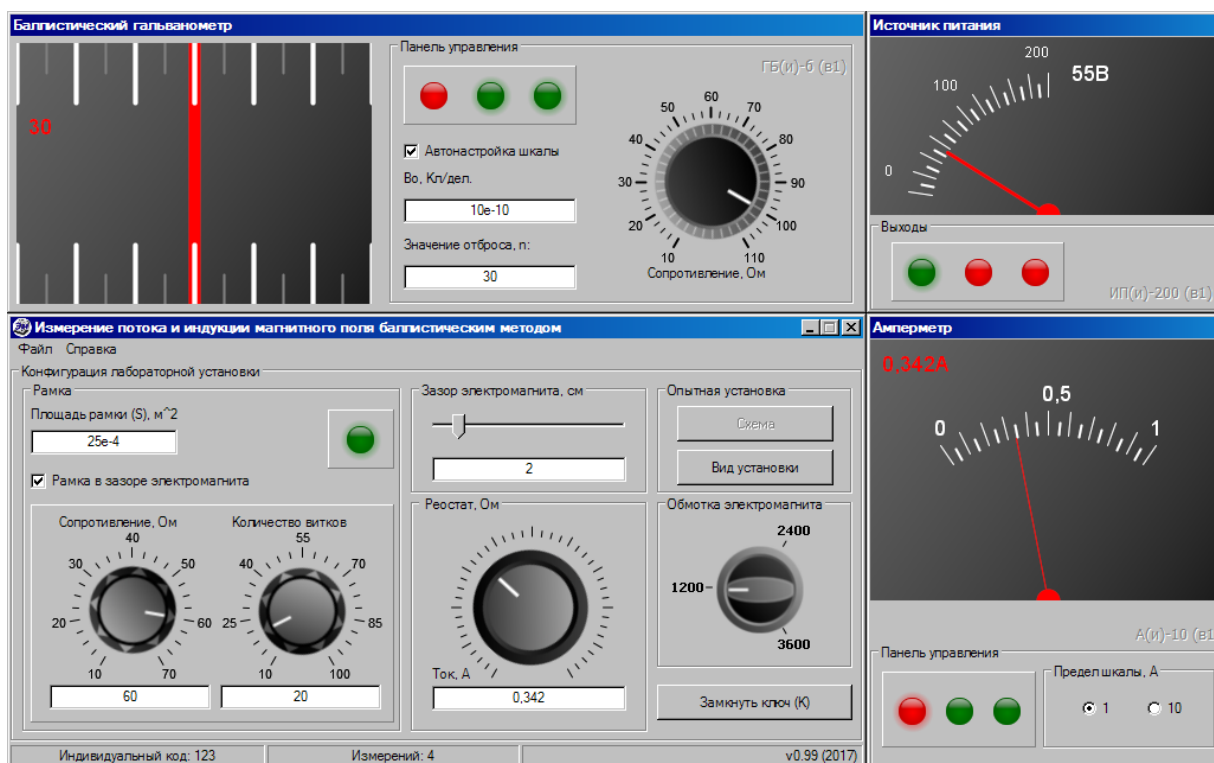


Рис. 1.1 — Интерфейс программной лабораторной установки

Для повышения качества освоения материала и индивидуализации самостоятельной опытной работы обучающихся в реализации программной лабораторной установки совместно с расширенной вариантной базой исходных условий, предусмотрен механизм учета индивидуальных номеров измерений, на основании которых обеспечивается определенный уровень введения погрешности измерений и отсутствие реентерабельности измеряемых значений, т.е. невозможности умышленного копирования или повторного получения одинаковых измерений различными пользователями.

Для работы указанного механизма, следует ввести индивидуальный числовой код (заданный преподавателем), в поле диалогового окна, возникающего при загрузке программной лабораторной установки и изображенного на рис. 1.2.

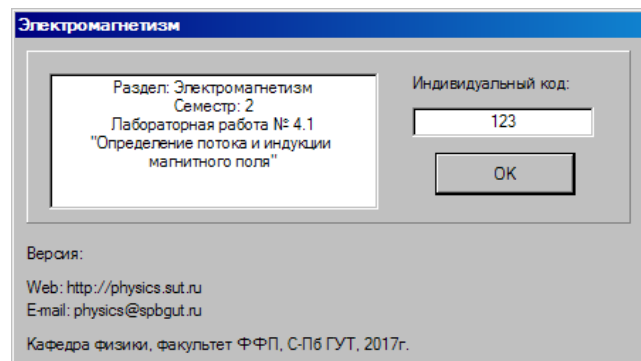


Рис. 1.2 — Диалоговое окно ввода индивидуального кода измерений

1.1 Конфигурационная панель

Конфигурационная панель предоставляет базовый пользовательский интерфейс к функциональным регулировкам программной лабораторной установки. Вид конфигурационной панели представлен на рис.1.3. На панели размещены следующие элементы управления:

- 1) Поле ввода «Площадь рамки» указывает текущее значение площади рамки, замкнутой на баллистический гальванометр;
- 2) Флажок «Рамка в зазоре электромагнита» указывает на текущее положение рамки. После установки данного флажка внесение и вынесение рамки из зазора электромагнита выполняется программной установкой автоматически;
- 3) Ручка регулировки сопротивления рамки позволяет задать сопротивление R_p рамки в диапазоне от 10 до 70 Ом. Управление ручкой осуществляется колесиком или левой кнопкой манипулятора «мышь». Текущее значение сопротивления отображается в текстовом поле, расположенном под ручкой регулировки;
- 4) Ручка регулировки количества витков рамки позволяет установить в зазор электромагнита рамку с различным количеством витков N_p . Ручка регулируется в диапазоне от 10 до 100 витков. Управление ручкой осуществляется колесиком или левой кнопкой манипулятора «мышь». Текущее значение количества витков рамки отображается в текстовом поле, расположенном под ручкой регулировки;
- 5) Ползунок регулировки зазора электромагнита определяет текущее значение зазора сердечника электромагнита и позволяет изменять его в диапазоне от 1 до 10 см.

Установка значения зазора выполняется перемещением ползунка левой кнопкой «мышь». Текущее значение зазора отображается в текстовом поле, расположенном под ползунком регулировки;

- 6) Ручка регулировки сопротивления реостата позволяет изменять значение сопротивления встроенного реостата для регулировки подачи силы тока на обмотке электромагнита от источника питания. Шкала сопротивления реостата не определена, текущее значение тока отображается в текстовом поле, расположенном под ручкой регулировки;
- 7) Ручка селектора выбора обмотки электромагнита обладает тремя положениями, соответствующими установке заданного числа витков электромагнита N : 1200, 2400 или 3600 витков. Управление ручкой селектора осуществляется левой кнопкой «мышь» (щелчком на заданное значение). На текущее значение обмотки электромагнита указывает главное деление ручки селектора;
- 8) Индикатор готовности к измерениям указывает на корректную (зеленый свет) установку исходных условий лабораторной работы. При неконфигурированной установке (например не задан ток или рамка не внесена в зазор электромагнита и т. д.) индикатор горит красным светом;
- 9) Кнопки «Вид установки» и «Схема» предназначены для демонстрационных целей и изображают соответственно фотографию реального аппаратного аналога, на основе которого реализована программная установка и электрическую схему включения лабораторной установки;
- 10) Кнопка–переключатель «Замкнуть ключ» предназначена для замыкания цепи питания электромагнита, и запуска измерений на гальванометре. Кнопка обладает двумя устойчивыми положениями. Для проведения измерений необходимо нажать кнопку левой клавишей «мышь» (замкнуть цепь), при этом кнопка будет находиться в утопленном состоянии, а на шкале гальванометра должно появиться измеряемое значение.

Следует обратить внимание, что на кнопке надпись «Замкнуть ключ» будет заменена на надпись «Разомкнуть ключ».

Т. о. для изменения конфигурационных параметров лабораторной установки (например, силы тока, обмотки электромагнита и т. д.) следует повторно нажать («отжать») кнопку, разблокировав тем самым конфигурационную панель.

Помимо перечисленных элементов, конфигурационная панель содержит главное меню и статусную строку. Пункт «Файл» главного меню предназначен для завершения работы программной установки. Пункт «Справка» содержит информацию о версии и предназначении программной установки. Статусная строка отображает текущее значение индивидуального кода пользователя, количество измерений, проведенных с момента запуска программной установки и программную версию конфигурационной панели.

1.2 Баллистический гальванометр

Программная реализация баллистического гальванометра (модель ГБ(и)-б) поддерживает регулировку внутреннего сопротивления прибора и изменение его баллистической постоянной. Значение шкалы гальванометра n отображает в текстовом поле «Значение

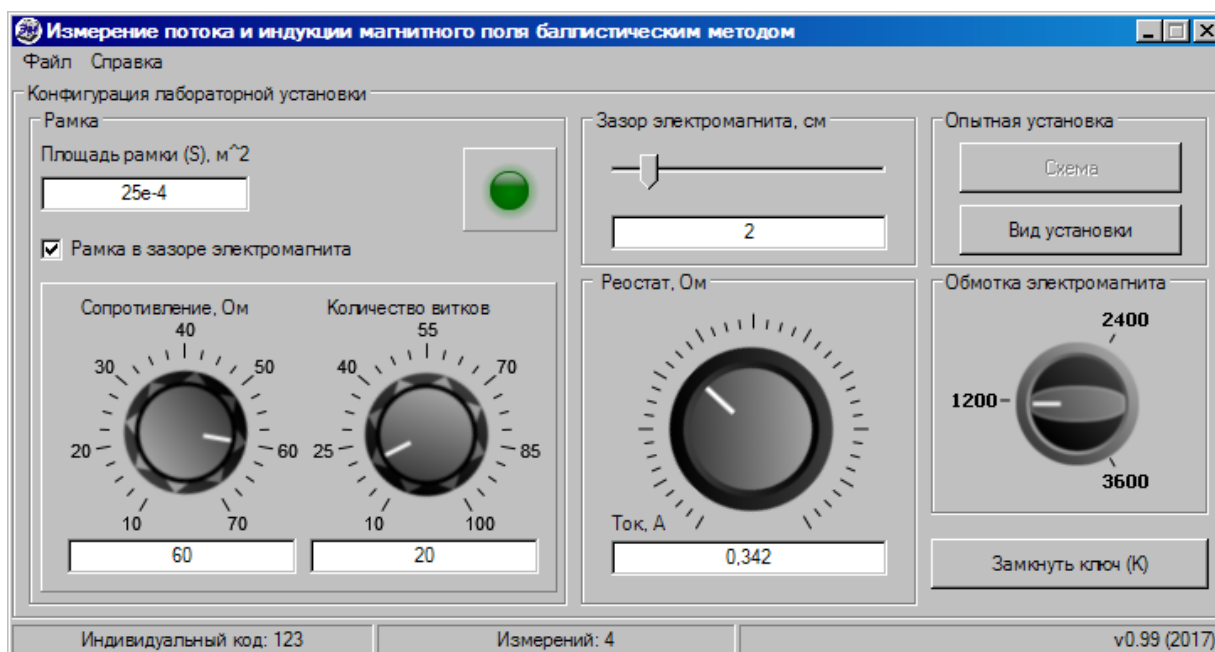


Рис. 1.3 — Конфигурационная панель лабораторной установки

отброса» и выводится на интерактивной шкале шкале прибора. На интерфейсной панели гальванометра (рис. 1.4) размещены следующие элементы:

- 1) Интерактивная шкала гальванометра отображает текущее значение измеряемого отброса. Индикатор шкалы (красная линия) автоматически центрируется на середине шкалы гальванометра. Текущее значение отброса отображается в левой части шкалы в цифровом виде и дублируется в текстовом поле «Значение отброса»;
- 2) Флажок «Автонастройка шкалы» устанавливает значение баллистической постоянной по-умолчанию (для данной модели $B_0 = 10^{-10}$). При необходимости задать другое значение B_0 необходимо убрать флажок автонастройки, что приведет к разблокировке поля ввода баллистической постоянной.

Следует обратить внимание, что поле ввода принимает запись баллистической постоянной только в экспоненциальной (т. н. «научной») форме записи степеней;

- 3) Ручка регулировки сопротивления гальванометра позволяет задать сопротивление R_g гальванометра в диапазоне от 10 до 110 Ом. Управление ручкой осуществляется колесиком или левой кнопкой манипулятора «мышь».

1.3 Амперметр

Программный амперметр (модель А(и)-10) предназначен для интерактивного отображения текущего значения силы тока в цепи электромагнита. Интерфейсная панель амперметра изображена на рис. 1.5.

Амперметр поддерживает два диапазона измерений: от 0 до 1 А и от 0 до 10 А. Выбор текущего диапазона осуществляется переключателями «1» и «10» соответственно, расположенными на приборной панели амперметра. Текущее значение силы тока

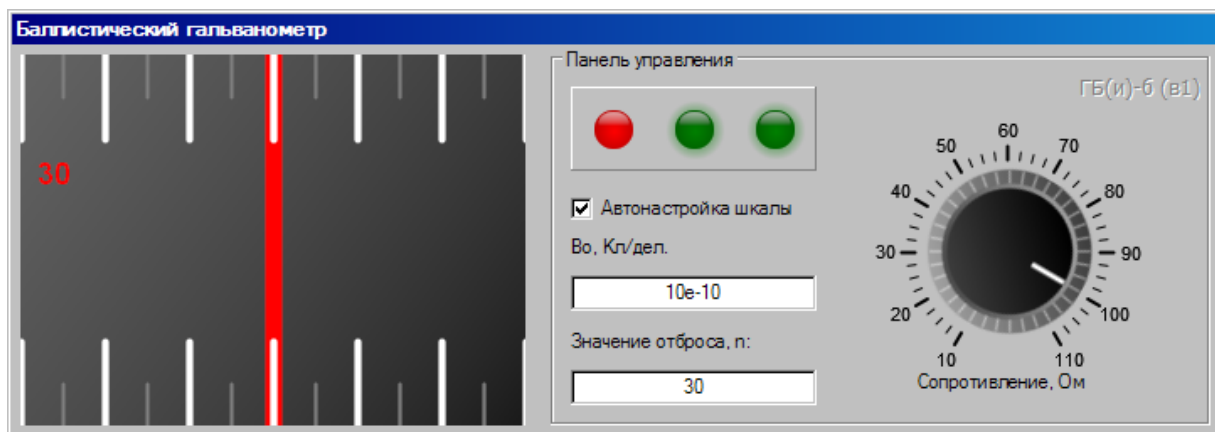


Рис. 1.4 — Интерфейс баллистического гальванометра

отображается указателем (стрелкой) на шкале амперметра и дублируется в верхнем левом углу интерактивной шкалы.

Реальное отображение значений из выбранного диапазона будет возможно только после регулировки реостата на главной конфигурационной панели (см. 1.1).

1.4 Источник питания

Реализация источника питания (модель ИП(и)-200) основана на аналогичном аппаратном варианте и не требует элементов активной регулировки. Вид интерфейса источника питания изображен на рис. 1.6. Интерактивная шкала прибора отображает текущее значение напряжения в обеспечиваемой цепи. Регулировка силы тока осуществляется реостатом, размещенным на главной конфигурационной панели (см. 1.1).



Рис. 1.5 – Интерфейс амперметра

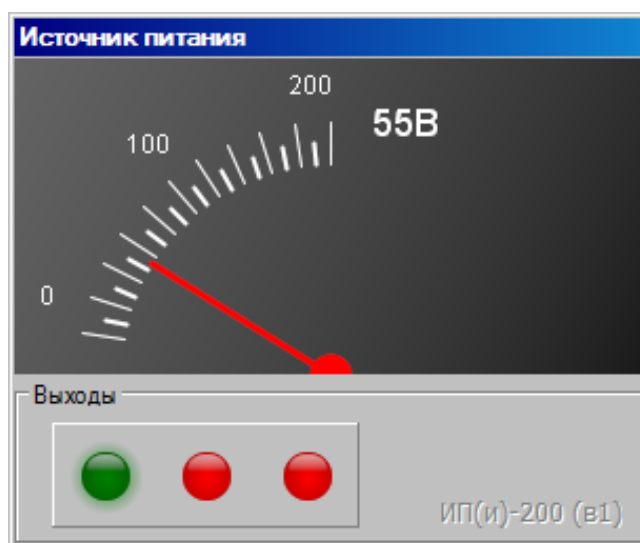
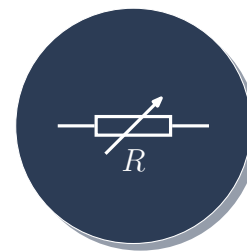


Рис. 1.6 – Интерфейс источника питания



Методика измерений и порядок выполнения работы

Магнитная индукция B характеризует полное магнитное поле внутри электромагнетика, складывающееся из внешнего намагничивающего поля и поля намагниченного магнетика. Если магнитное поле однородно (рис. 2.7 (a)), то магнитный поток Φ через поверхность конечной величины S можно найти как:

$$\Phi = BS \cos \alpha; \quad (2.1)$$

$$\Phi = B_n S, B_n = B \cos \alpha. \quad (2.2)$$

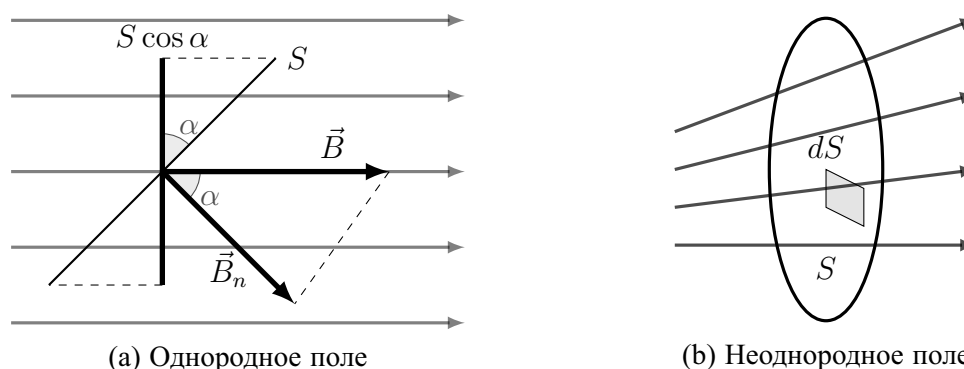


Рис. 2.7 — Определение магнитного потока

Если поверхность S перпендикулярна линиям индукции то

$$\Phi = BS. \quad (2.3)$$

Для определения магнитного потока через конечную поверхность в неоднородном магнитном поле необходимо выделить элемент поверхности dS (рис. 2.7 (b)), в пределах которого поле считается однородным, и определить магнитный поток $d\Phi$ через элемент поверхности dS согласно выражению (2.2):

$$d\Phi = B_n dS. \quad (2.4)$$

Для определения потока через всю поверхность следует проинтегрировать выражение (2.4):

$$\Phi = \int_S B_n dS. \quad (2.5)$$

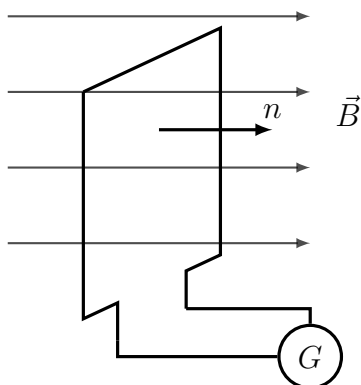


Рис. 2.8 — Рамка, замкнутая на баллистический гальванометр

2.1 Метод измерений

Цель работы — определение магнитного потока, пронизывающего площадь рамки, внесенной в зазор сердечника электромагнита, и определение индукции в зазоре.

Рамка P площадью S , замкнутая на баллистический гальванометр G , помещена в однородное магнитное поле в зазоре сердечника электромагнита M , перпендикулярно линиям индукции (рис. 2.8 и рис. 2.9). Необходимо измерить магнитный поток Φ , пронизывающий площадь рамки в указанном положении.

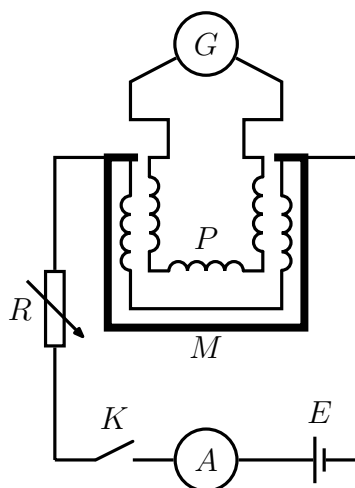


Рис. 2.9 — Схема электрической цепи лабораторной установки

Из закона электромагнитной индукции следует, что при изменении магнитного потока через замкнутую рамку в цепи этой рамки протекает количество электричества равное

$$q = \frac{\Phi - \Phi_1}{R} N_p, \quad (2.6)$$

где Φ и Φ_1 — начальный и конечный магнитный поток пронизывающий рамку, соответственно, N_p — число витков рамки, R — сопротивление цепи рамки. Если изменить магнитный поток до значения $\Phi_1 = 0$ (т.е. вынести рамку из поля), то разность $(\Phi - \Phi_1)$ будет равна начальному значению потока Φ , который и необходимо измерить. Тогда из выражения (2.6) можно выразить искомый поток:

$$\Phi = \frac{qR}{N_p}. \quad (2.7)$$

Число витков рамки N_p задается на главной конфигурационной панели управления с помощью соответствующей ручки регулировки.

Сопротивление цепи рамки складывается из сопротивления баллистического гальванометра R_g и сопротивления самой рамки R_p :

$$R = R_g + R_p. \quad (2.8)$$

Сопротивление баллистического гальванометра и рамки задается на главной конфигурационной панели управления с помощью соответствующей ручки регулировки.

Количество электричества измеряется баллистическим гальванометром согласно выражению:

$$q = B_0 n, \quad (2.9)$$

где B_0 — баллистическая постоянная гальванометра, n — значение шкалы гальванометра («отброс»).

Подставив формулу (2.9) в (2.7), получим выражение для вычисления потока:

$$\Phi = \frac{B_0 n R}{N_p}. \quad (2.10)$$

Определив величину магнитного потока можно рассчитать значение магнитной индукции:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (2.11)$$

Площадь рамки задана на главной конфигурационной панели управления.

2.2 Порядок выполнения работы

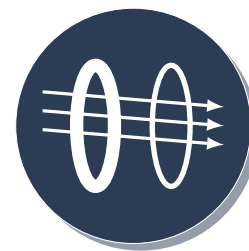
- 1) После запуска программы ввести в поле ввода диалогового окна (1.2) индивидуальный код, заданный преподавателем;
- 2) В соответствии с заданным преподавателем номером варианта (списком заданий) с помощью ручек регулировки и управляющих элементов главной конфигурационной панели установить заданные вариантом параметры — ток цепи, сопротивление гальванометра и рамки, число витков рамки, число витков обмотки электромагнита, расстояние зазора электромагнита и т. д.
- 3) Установив исходные параметры, замкнуть ключ K главной конфигурационной панели, внести полученное значение отброса гальванометра в таблицу измерений соответствующего варианта (список табл. приведен в разделе 2.2). Повторить измерения 10 раз, заполнив все поля таблицы измерений для текущих условий;
- 4) В соответствии с индивидуальным вариантом задания изменить один из параметров лабораторной установки:
 - величину зазора электромагнита (варианты 1–6);
 - силу тока (варианты 7–12);

- число витков обмотки электромагнита (варианты 13–18);
- 5) Повторить измерения с параметрами заданными в таблице измерений для соответствующего варианта;
 - 6) По результатам полученных измерений заполнить табл. 2.1;
 - 7) Построить графики¹ зависимости магнитного потока Φ и магнитной индукции B в зависимости от:
 - величины зазора электромагнита (варианты 1–6);
 - силы тока (варианты 7–12);
 - числа витков обмотки электромагнита (варианты 13–18);

Таблица 2.1 – Измерения и вычисления характеристик магнитного поля

I_i, A	$n, \text{дел}$	$\Phi, \text{Вб}$	$B, \text{Тл}$	Погрешность измерений		
				$\Delta n, \text{дел}$	$\Delta \Phi, \text{Вб}$	$\Delta B, \text{Тл}$
1						
2						
3						
4						
5						

¹Для построения графика зависимости рекомендуется воспользоваться средствами систем математического программного обеспечения – MathCAD, QtiPlot, gnuplot и т. д.



Варианты индивидуальных заданий

Список заданий для лабораторной работы содержит готовые варианты с заданными условиями, а также шаблон индивидуального задания для заполнения исходных условий преподавателем самостоятельно.

Вариант 1

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 1200$, число витков рамки $N_p = 20$, сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 60$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	2	3	4	5	6
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.6$ А					
$I_2 = 1.5$ А					

Вариант 2

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 1200$, число витков рамки $N_p = 40$, сопротивление гальванометра $R_g = 80$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 40$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	1	2	3	4	5
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.4$ А					
$I_2 = 0.8$ А					

Вариант 3

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 2400$, число витков рамки $N_p = 20$, сопротивление гальванометра $R_g = 90$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 50$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	2	4	6	8	10
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.8$ А					
$I_2 = 2$ А					

Вариант 4

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 2400$, число витков рамки $N_p = 55$, сопротивление гальванометра $R_g = 110$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 60$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	3	4	5	6	7
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.5$ А					
$I_2 = 1$ А					

Вариант 5

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 3600$, число витков рамки $N_p = 30$, сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 50$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	2	3	4	5	6
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.6$ А					
$I_2 = 1.3$ А					

Вариант 6

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 3600$, число витков рамки $N_p = 45$, сопротивление гальванометра $R_g = 90$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 60$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см										
	2	3	4	5	6						
Показания гальванометра, дел											
$I_1 = 0.3$ А											
$I_2 = 0.9$ А											

Вариант 7

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 1200$, число витков рамки $N_p = 40$, сопротивление гальванометра $R_g = 90$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 50$ Ом.

Таблица 3.2

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А										
	0.2	0.4	0.6	0.8	1						
Показания гальванометра, дел											
$X_1 = 3$ см											
$X_2 = 6$ см											

Вариант 8

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 1200$, число витков рамки $N_p = 30$, сопротивление гальванометра $R_g = 110$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 40$ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А										
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7						
Показания гальванометра, дел											
$X_1 = 5$ см											
$X_2 = 8$ см											

Вариант 9

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 2400$, число витков рамки $N_p = 30$, сопротивление гальванометра $R_g = 90$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 60$ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А				
	1	1.5	2	2.5	3
Показания гальванометра, дел					
$X_1 = 5$ см					
$X_2 = 8$ см					

Вариант 10

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 2400$, число витков рамки $N_p = 40$, сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 50$ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А				
	1	2	3	4	5
Показания гальванометра, дел					
$X_1 = 6$ см					
$X_2 = 10$ см					

Вариант 11

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 3600$, число витков рамки $N_p = 40$, сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 50$ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Показания гальванометра, дел					
$X_1 = 3$ см					
$X_2 = 6$ см					

Вариант 12

Исходные условия: число витков электромагнита $N = 3600$, число витков рамки $N_p = 35$, сопротивление гальванометра $R_g = 110$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 55$ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Показания гальванометра, дел					
$X_1 = 4$ см					
$X_2 = 8$ см					

Вариант 13

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 45$, сопротивление гальванометра $R_g = 90$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 60$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита		
		1200	2400	3600
Показания гальванометра, дел				
$I_1 = 0.4$ А	$X_1 = 4$ см			
$I_2 = 1$ А	$X_2 = 8$ см			

Вариант 14

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 35$, сопротивление гальванометра $R_g = 100$ Ом, сопротивление рамки $R_p = 55$ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита		
		1200	2400	3600
Показания гальванометра, дел				
$I_1 = 0.3$ А	$X_1 = 2$ см			
$I_2 = 0.9$ А	$X_2 = 4$ см			

Вариант 15

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 40$, сопротивление гальванометра $R_g = 105 \text{ Ом}$, сопротивление рамки $R_p = 45 \text{ Ом}$.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита																		
		1200	2400	3600																
		Показания гальванометра, дел																		
$I_1 = 1 \text{ А}$	$X_1 = 5 \text{ см}$																			
$I_2 = 3 \text{ А}$	$X_2 = 10 \text{ см}$																			

Вариант 16

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 25$, сопротивление гальванометра $R_g = 95 \text{ Ом}$, сопротивление рамки $R_p = 55 \text{ Ом}$.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита																			
		1200	2400	3600																	
		Показания гальванометра, дел																			
$I_1 = 0.5 \text{ А}$	$X_1 = 2 \text{ см}$																				
$I_2 = 1.5 \text{ А}$	$X_2 = 5 \text{ см}$																				

Вариант 17

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 30$, сопротивление гальванометра $R_g = 90 \text{ Ом}$, сопротивление рамки $R_p = 60 \text{ Ом}$.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита																			
		1200	2400	3600																	
		Показания гальванометра, дел																			
$I_1 = 1.5 \text{ А}$	$X_1 = 5 \text{ см}$																				
$I_2 = 4.5 \text{ А}$	$X_2 = 9 \text{ см}$																				

Вариант 18

Исходные условия: число витков рамки $N_p = 50$, сопротивление гальванометра $R_g = 100 \text{ Ом}$, сопротивление рамки $R_p = 60 \text{ Ом}$.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита											
		1200				2400				3600			
		Показания гальванометра, дел											
$I_1 = 1 \text{ А}$	$X_1 = 3 \text{ см}$												
$I_2 = 3.5 \text{ А}$	$X_2 = 8 \text{ см}$												

Шаблоны индивидуальных заданий

Вариант 1

Исходные условия: число витков электромагнита $N =$ _____, число витков рамки $N_p =$ _____, сопротивление гальванометра $R_g =$ _____ Ом, сопротивление рамки $R_p =$ _____ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита, см				
	_____	_____	_____	_____	_____
Показания гальванометра, дел					
$I_1 =$ _____ А					
$I_2 =$ _____ А					

Вариант 2

Исходные условия: число витков электромагнита $N =$ _____, число витков рамки $N_p =$ _____, сопротивление гальванометра $R_g =$ _____ Ом, сопротивление рамки $R_p =$ _____ Ом.

Зазор электромагнита	Ток электромагнита, А				
	_____	_____	_____	_____	_____
Показания гальванометра, дел					
$X_1 =$ _____ см					
$X_2 =$ _____ см					

Вариант 3

Исходные условия: число витков рамки $N_p =$ _____, сопротивление гальванометра $R_g =$ _____ Ом, сопротивление рамки $R_p =$ _____ Ом.

Ток электромагнита	Зазор электромагнита	Число витков электромагнита		
		1200	2400	3600
Показания гальванометра, дел				
$I_1 =$ _____ А	$X_1 =$ _____ см			
$I_2 =$ _____ А	$X_2 =$ _____ см			



Вопросы для допуска и защиты лабораторной работы

Вопросы на допуск

- 1) Перечислите элементы из состава компьютерной программной лабораторной установки (КПЛУ) и процесс их взаимодействия;
- 2) Объясните принцип работы схемы электрической цепи лабораторной установки (рис. 2.9);
- 3) Перечислите и сформулируйте физические законы, лежащие в основе метода измерений;
- 4) Выведите рабочую формулу для магнитного потока Φ и индукции B .

Вопросы на защиту

- 1) По результатам измерений и вычислений прокомментируйте графики магнитного потока и индукции, основываясь на перечисленных параметрах:
 - масштаб осей;
 - вид графика (прямая, кривая).
- 2) Объясните зависимость магнитного потока и индукции от величины зазора электромагнита, силы тока и количества витков электромагнита;
- 3) Объясните, как изменится магнитный поток и индукция при изменении формы контура, но с сохранением площади поверхности, охватываемой контуром;
- 4) Укажите направление индукционного тока замкнутой цепи (рис. 2.9) при изменении (увеличении или уменьшении) силы тока с помощью реостата.

Рекомендуемая литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики: учеб. пособие для вузов: в 5 кн. — М. : Астрель, 2002. — Т. 2: Электричество и магнетизм. — 336 с. — ISBN: 5-271-01183-6.
2. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие. — 7-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 320 с. — ISBN: 978-5-9963-0064-8. — (Сер. Технический университет. Общая физика).
3. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. — 11-е, стер. изд. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с. — ISBN: 5-7695-2629-7.
4. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики. Том 2. Электрические и электромагнитные явления. — 9-е, испр. и доп. изд. — М. : ФИЗМАТГИЗ, 1962. — Т. 2. — 515 с.
5. Яворский Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. — 8-е, перераб. и испр. изд. — М. : ОНИКС, 2006. — 1056 с.

Указатель иллюстраций

1.1	Интерфейс программной лабораторной установки	6
1.2	Диалоговое окно ввода индивидуального кода измерений	7
1.3	Конфигурационная панель лабораторной установки	9
1.4	Интерфейс баллистического гальванометра	10
1.5	Интерфейс амперметра	11
1.6	Интерфейс источника питания	11
2.7	Определение магнитного потока	12
2.8	Рамка, замкнутая на баллистический гальванометр	13
2.9	Схема электрической цепи лабораторной установки	13

**Первушина Марина Олеговна
Небаев Игорь Алексеевич**

**Электромагнетизм
Руководство к лабораторной работе
по измерению магнитного потока и индукции
в среде компьютерной программной установки**

Учебно-методическое пособие

Редактор _____

Верстка _____

План _____ г., л. _____

Подписано к печати _____

Объем _____ усл.-печ. л. Тираж _____ экз. Заказ _____
РИЦ С-Пб ГУТ. 191186 С-Пб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в С-Пб ГУТ

