

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Факультет специальных технологий
Кафедра «Физика»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ

ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ОТЧЕТОВ
для студентов всех форм обучения

Рабочая тетрадь № 1

Студент _____

Группа _____

Факультет _____

Преподаватель _____

Барнаул 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1.	Изучение закона Ома. Определение удельного сопротивления проводника	4
Лабораторная работа № 23.	Определение ЭДС методом компенсации	10
Лабораторная работа № 36.	Определение емкости конденсатора баллистическим гальванометром	14
Лабораторная работа № 37.	Изучение термоэлектронной эмиссии и определение работы выхода электрона из металла	19
Лабораторная работа № 26.	Определение индукции магнитного поля на оси кругового тока	23
Лабораторная работа № 31.	Силы в магнитном поле. Измерение индукции магнитного поля электродинамометром	27
Лабораторная работа № 38.	Исследование магнитного поля на оси соленоида	31
Лабораторная работа № 39.	Определение кривой намагничивания железа	35
Лабораторная работа № 42.	Определение удельного заряда электрона	40
Приложение 1	Расчет погрешностей измерений	44
Приложение 2	Обозначения на приборах	45
Приложение 3	Классы точности приборов	45
Приложение 4	Таблица коэффициентов Стьюдента	45
Приложение 5	Графическое представление результатов эксперимента	46
Рекомендуемая литература		47

МАРШРУТНАЯ КАРТА

№ звена	НОМЕР РАБОТЫ					
	1	2	3	4	5	6
1	1	23	36	26	31	39
2	1	23	37	26	38	42
3	1	36	23	31	26	38
4	1	36	37	38	26	31
5	1	37	23	39	31	26
6	1	23	36	42	39	26
7	1	37	23	26	42	31

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Факультет специальных технологий

Кафедра «Физика»

Отчеты по лабораторным работам
по дисциплине «Физика»

(обозначение документа)

Отчеты защищены с оценкой

Номер и название работы	Дата защиты	Оценка (баллы)	Подпись преподавателя

Студент группы _____
(инициалы, фамилия)

Преподаватель _____
(должность, ученое звание) (инициалы, фамилия)

БАРНАУЛ 2018

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

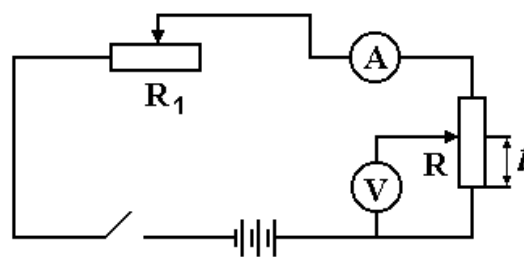
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. Установить длину проволоки $l=50$ см, включить прибор, установить силу тока через проводник $I=0,25$ А и снять показания вольтметра. Данные занести в таблицу 1.
2. Уменьшая длину проволоки на 5 см, снимать показания вольтметра. При этом резистором R_1 корректировать силу тока в цепи так, чтобы она оставалась неизменной и равной 0,25 А. Значения длины, силы тока, напряжения также занести в таблицу 1. Повторить измерения не менее 10 раз.

Таблица 1

№ изм.	$l, м$	$I, А$	$U, В$	$R, Ом$	$\rho, Ом \cdot м$	$\rho_{ср}, Ом \cdot м$	$\Delta \rho, Ом \cdot м$	$\varepsilon, \%$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

3. Установить длину проволоки в пределах $l = 40 \div 50$ см. Изменяя резистором R_1 силу тока в цепи от минимального до максимального значения через равные интервалы, измерить напряжение U на концах проводника. Показания амперметра и вольтметра занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I, А$										
$U, В$										

4. Выключить прибор. Микрометром измерить диаметр проволоки d в пяти произвольных точках ее длины. Определить систематическую погрешность микрометра $\Delta d_{сисг}$. Рассчитать погрешности $\Delta d_{сл}$ и Δd (см. Приложение 1-3). Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

№ изм.	$D, м$	$d_{ср}, м$	$\Delta d_{сл}, м$	$\Delta d_{сисг}, м$	$\Delta d, м$
1					
2					
3					
4					
5					

Таблица 4

<i>Прибор</i>	<i>Класс точности</i>	<i>Предельное значение</i>	<i>Систематическая погрешность</i>
Вольтметр			
Миллиамперметр			
Линейка	----	----	

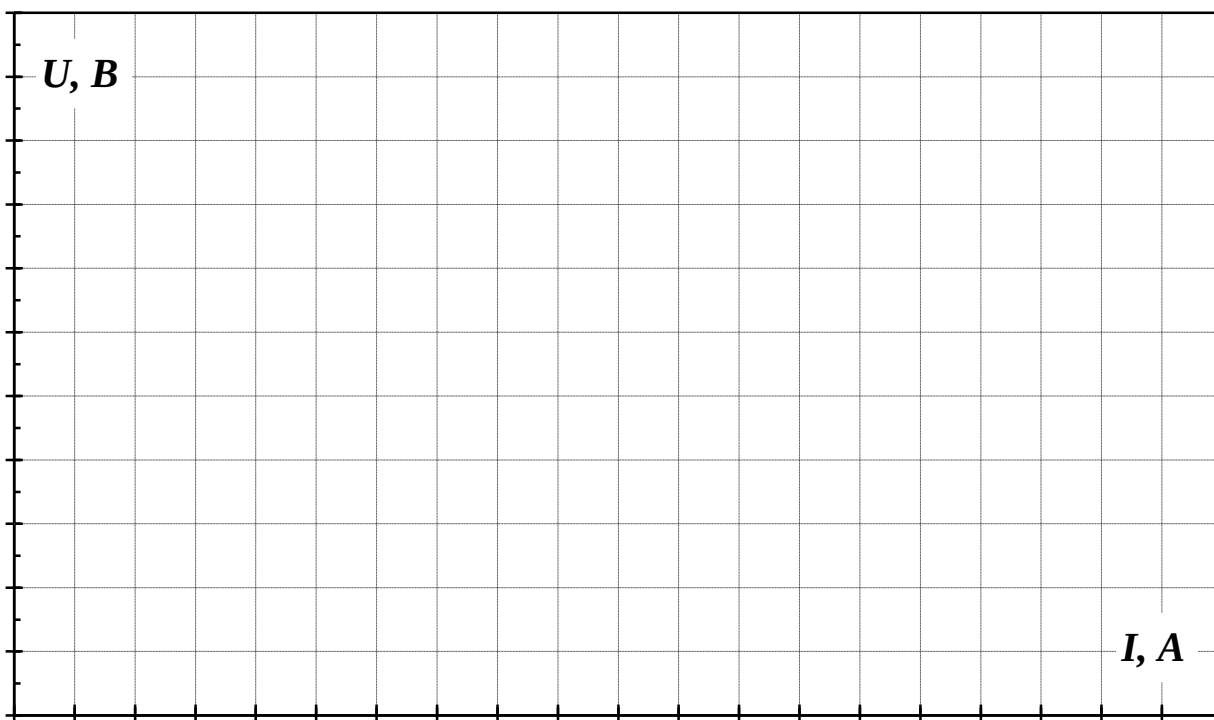
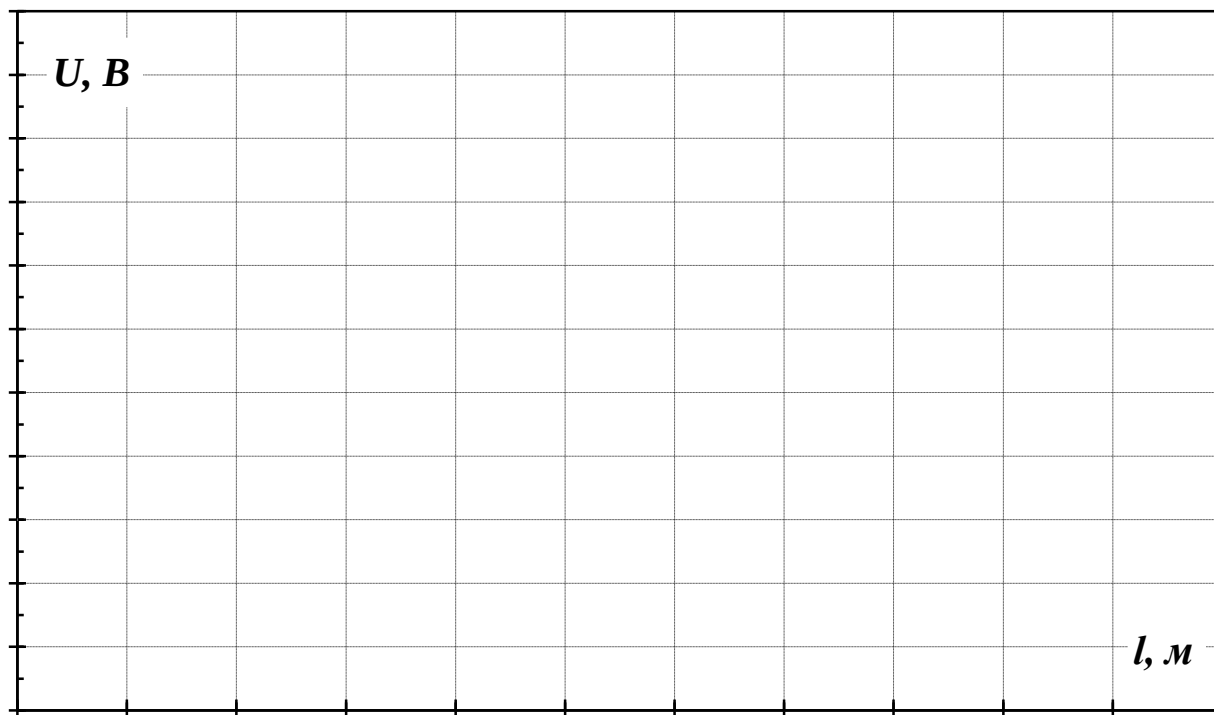
ρ проводника. (Для вычислений использовать среднее значение диаметра d_{cp} ($S = \frac{\pi}{4} \cdot d_{cp}^2$)).

10. На основании полученных зависимостей сделать соответствующие выводы. Сравнить полученный результат для ρ со справочными данными.

4 Обработка результатов измерений

This image shows a full page of a document template designed for handwritten notes or essays. It features a series of evenly spaced, horizontal dashed lines across the entire width of the page. The lines are thin and light gray, providing a guide for writing without being overly restrictive. There are no margins, headers, footers, or other markings present on the page.

Handwriting practice lines consisting of 28 horizontal dotted lines.



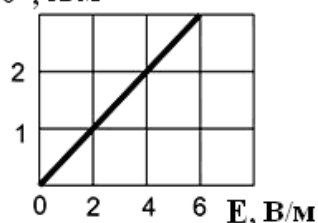
ВЫВОДЫ:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Сформулировать закон Ома для однородного участка цепи в интегральной и дифференциальной формах.
2. Что такое сила тока, плотность электрического тока, напряжение?
3. Что такое сопротивление проводника, проводимость проводника?
4. Что называется удельным сопротивлением проводника, от чего оно зависит?
5. Какова зависимость сопротивления металлов от температуры? Что такое сверхпроводимость?
6. Показать, что сила тока в цепи на рисунке 2 почти не зависит от длины проводника, с которой снимается напряжение.
7. Каково должно быть соотношение между сопротивлением амперметра R_A , вольтметра R_V и исследуемым сопротивлением R , чтобы свести ошибку в определении сопротивления R , а следовательно и удельного сопротивления ρ , до минимума.
8. Записать функциональную зависимость между падением напряжения на однородном участке проводника и его длиной.

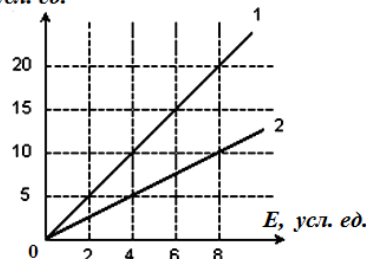
1. На графике показана зависимость плотности тока в проводнике от напряженности электрического поля. Удельное сопротивление проводника в единицах (Ом·м) равно ...

$j \cdot 10^8, \text{ А/м}^2$



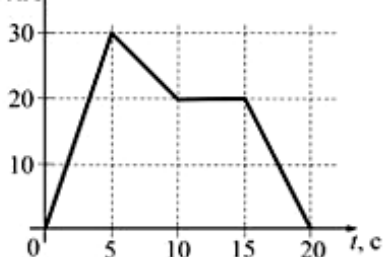
2. На рисунке представлена зависимость плотности тока j , протекающего в проводниках 1 и 2, от напряженности электрического поля E . Отношение удельных проводимостей γ_1/γ_2 этих элементов равно ...

$j, \text{ усл. ед.}$



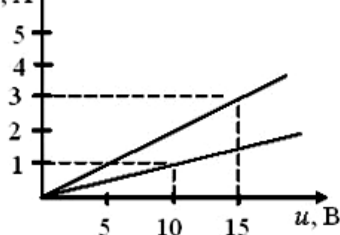
3. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Заряд, прошедший по проводнику в интервале времени от 10 до 20 с, равен...

$I, \text{ мА}$



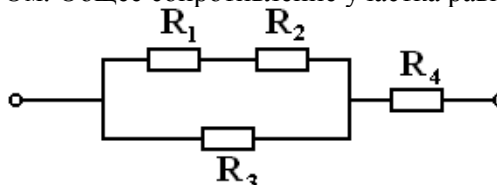
4. Вольт-амперные характеристики двух нагревательных спиралей изображены на рисунке. Из графиков следует, что проводимость одной спирали больше проводимости другой на...

$I, \text{ А}$



5. Как изменится плотность тока в проводнике, если увеличить длину проводника и площадь его поперечного сечения вдвое, не изменяя приложенного напряжения?

6. В схеме на рисунке $R_1=2 \text{ Ом}$, $R_2=4 \text{ Ом}$, $R_3=3 \text{ Ом}$, $R_4=6 \text{ Ом}$. Общее сопротивление участка равно...



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИХ СИЛ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

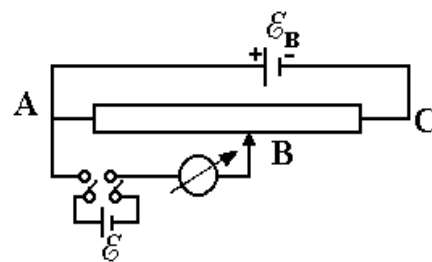
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему, представленную на рисунке.
2. Включить в цепь источник с эталонной ЭДС и найти длину $l_{ABэ}$, соответствующую уравновешенной схеме. Повторить эту процедуру 3 раза. Результаты измерений $l_{ABэ}$ и ЭДС $\mathcal{E}_{эт}$ занести в таблицу 1.

Таблица 1

$l_{ABэ 1}, м$	$l_{ABэ 2}, м$	$l_{ABэ 3}, м$	$l_{ABэ ср}, м$	$\Delta l_{ABэ сл}, м$	$\Delta l_{ABэ сист}, м$	$\Delta l_{ABэ}, м$	$\mathcal{E}_{эт}, В$	$\Delta \mathcal{E}_{эт}, В$	отн. погр.
								0,1	

3. Включить в цепь источник с неизвестной ЭДС и трижды определить величину l_{ABx} . Данные записать в таблицу 2.

Таблица 2

№ ист. ЭДС	$l_{ABx 1}, м$	$l_{ABx 2}, м$	$l_{ABx 3}, м$	$l_{ABx ср}, м$	$\Delta l_{ABx сл}, м$	$\Delta l_{ABx сист}, м$	$\Delta l_{ABx}, м$	$\mathcal{E}_x, В$	$\Delta \mathcal{E}_x, В$	отн. погр.
1										
2										
3										

4. Со всеми предлагаемыми источниками ЭДС провести измерения по пункту 3. Данные занести в таблицу 2.
5. По данным таблиц 1 и 2 найти средние значения $l_{ABэ}$ и l_{ABx} , и по формуле $\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_{эт} \cdot \frac{l_{ABx}}{l_{ABэ}}$ вычислить значения ЭДС всех источников.

6. Найти относительные и абсолютные погрешности результатов измерений по формулам

$$отн.погр = \frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\mathcal{E}_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \mathcal{E}_{эт}}{\mathcal{E}_{эт}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_{ABx}}{l_{ABx}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_{ABэ}}{l_{ABэ}}\right)^2} \quad и \quad \Delta \mathcal{E}_x = \mathcal{E}_x \cdot отн.погр.$$

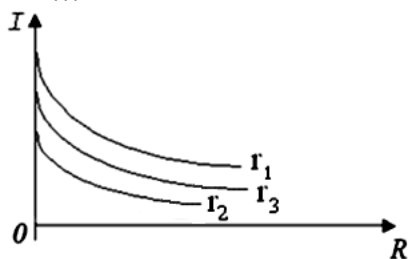
4 Обработка результатов измерений

[illegible]

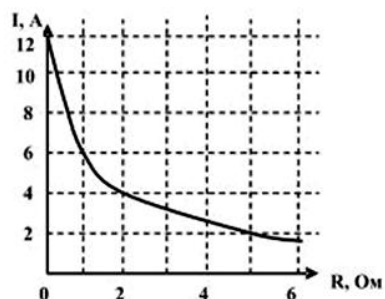
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Указать условия, необходимые для поддержания тока в цепи.
2. Что такое сторонние силы? Что такое ЭДС элемента? Единицы измерения ЭДС.
3. Записать закон Ома для замкнутой цепи.
4. Почему применение схемы на рисунке 1 для измерения ЭДС не всегда дает правильные результаты?
5. Сформулировать и записать правила Кирхгофа.
6. Пояснить сущность метода компенсации.
7. Какие требования должны быть предъявлены к ЭДС батареи и эталонной ЭДС?
8. Вывести расчетную формулу (11).

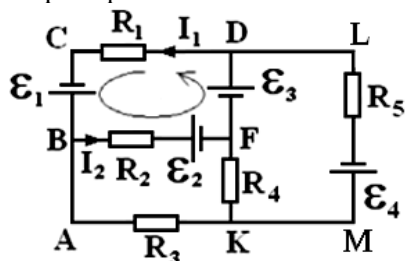
1. На рисунке приведена зависимость силы тока от сопротивления внешней цепи для трех источников тока, обладающих одинаковыми ЭДС. Их внутренние сопротивления находятся в соотношении...



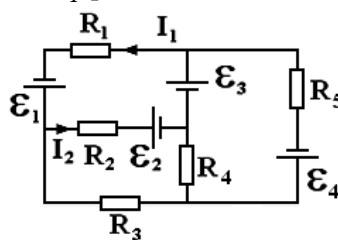
2. К источнику тока с ЭДС 12 В подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Внутреннее сопротивление этого источника тока равно...



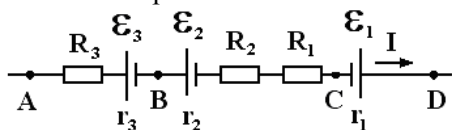
3. Для произвольного узла и замкнутого контура в электрической схеме, записать уравнения по I и II правилам Кирхгофа.



4. В электрической схеме, представленной на рисунке, $\mathcal{E}_2 = 1$ В, $\mathcal{E}_3 = 4$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $I_1 = 3$ А, $I_2 = 2$ А. Величина Э.Д.С. источника тока $\mathcal{E}_1$ равна ...



5. На участке неразветвленной цепи протекает ток I заданного направления. Разность потенциалов между точками АС равна...



6. Электрическая цепь состоит из источника тока с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, а также резистора с неизвестным сопротивлением. Вольтметр, подключенный к зажимам источника, показывает 8 В. Сила тока в цепи равна...

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 36
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА БАЛЛИСТИЧЕСКИМ
ГАЛЬВАНОМЕТРОМ

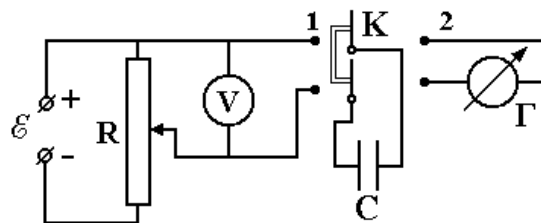
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (см. выше) и подключить эталонный конденсатор с емкостью $C_{\text{эт}}$.
2. Установить с помощью потенциометра напряжение 10-12 В. Установить переключатель **K** в положение, при котором конденсатор заряжается, и зарядить его. Для этого подождать, пока стрелка вольтметра перестанет двигаться.
3. Перекинуть переключатель в положение 2 для разрядки конденсатора, отметить отклонение n рамки гальванометра. Записать результаты измерений в таблицу 1. Уменьшая напряжение на 2 В, повторить пункты 2-3 при других значениях напряжения U .

Таблица 1

№ изм.	$U, \text{В}$	$n, \text{дел}$	$q, \text{мкКл}$	$C_{\text{эт}} = \quad \text{мкФ}$
1	12			
2	10			
3	8			
4	6			
5	4			
6	2			

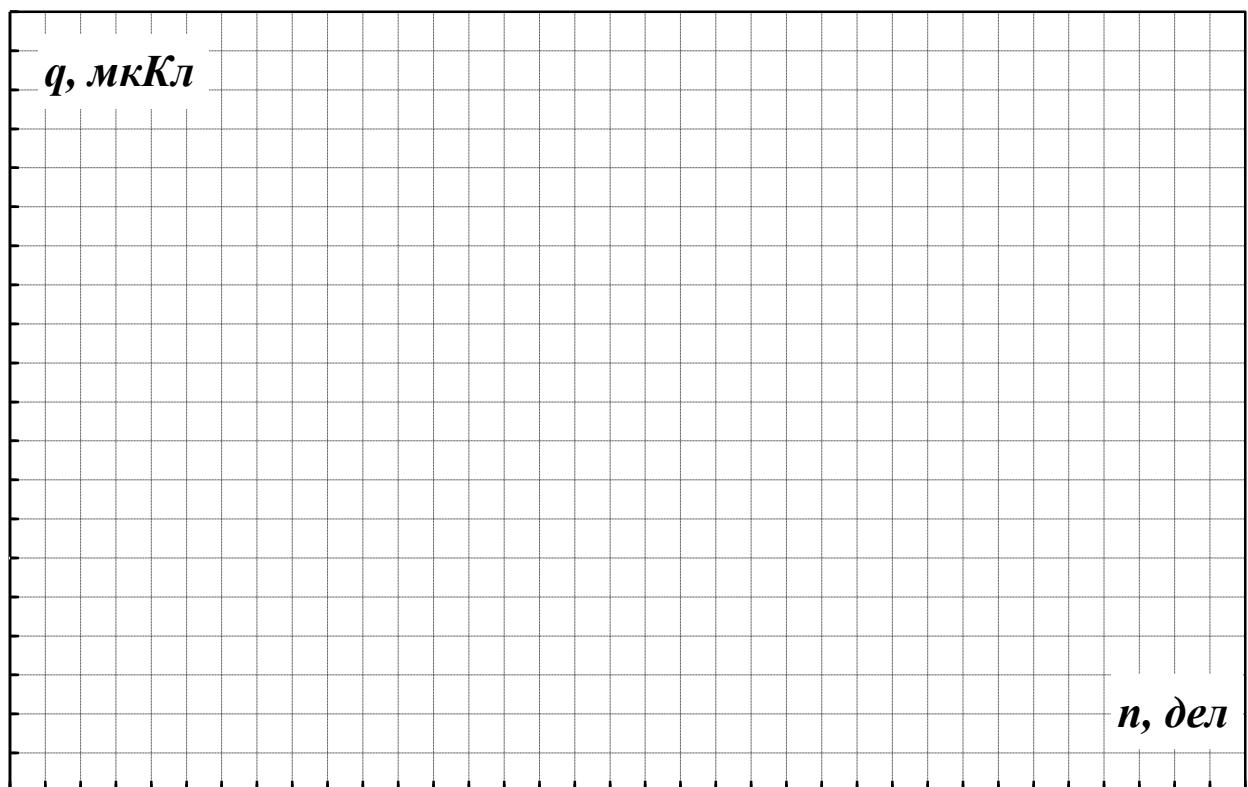
4. По формуле $q = C_{\text{эт}} \cdot U$ рассчитать заряд на обкладках конденсатора. Результаты вычислений записать в таблицу 1.
5. По данным q и n построить градуировочную кривую $q(n)$.
6. Заменить эталонный конденсатор конденсатором неизвестной емкости C_1 и зарядить его до некоторого напряжения. Перекинуть переключатель на разрядку и отметить отклонение n стрелки гальванометра. Подобные измерения провести 3 раза при трех различных значениях напряжения U . Результаты измерений записать в таблицу 2.
7. По градуировочному графику найти заряд q , который находился на обкладках конденсатора C_1 , и записать его значение в таблицу 2.
8. Повторить измерения пункта 6 и 7 с другим конденсатором C_2 , а также при последовательном и параллельном соединениях конденсаторов C_1 и C_2 . Усреднить результаты по каждому из конденсаторов и их соединениям.
9. Рассчитать теоретическое значение емкости батареи конденсаторов C_1 и C_2 при их последовательном и параллельном соединениях по формулам $C_{\text{посл}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ и $C_{\text{пар}} = C_1 + C_2$, соответственно. Сравнить теоретические значения емкости со значениями, полученными экспериментально, оценив при этом относительное отклонение по формуле $\delta = \frac{|C_{\text{теор}} - C_{\text{ср}}|}{C_{\text{теор}}} \cdot 100\%$. Сделать соответствующие выводы.

Таблица 2

	№ изм.	$U, \text{В}$	$n, \text{дел}$	$q, \text{мкКл}$	$C, \text{мкФ}$	$C_{\text{ср}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{теор}}, \text{мкФ}$
Конденсатор 1	1						_____
	2						
	3						
Конденсатор 2	1						_____
	2						
	3						
Последовательное соединение	1						$C_{\text{теор}} =$
	2						$\delta =$ %
	3						
Параллельное соединение	1						$C_{\text{теор}} =$
	2						$\delta =$ %
	3						

This image shows a full page of a worksheet designed for handwriting practice. It features approximately 20 horizontal dashed lines spaced evenly across the page, providing a guide for letter height and placement. The background is plain white, and there are no other markings or text present.

Blank area with horizontal dashed lines for writing.



ВЫВОДЫ:

Blank area with horizontal dashed lines for writing conclusions.

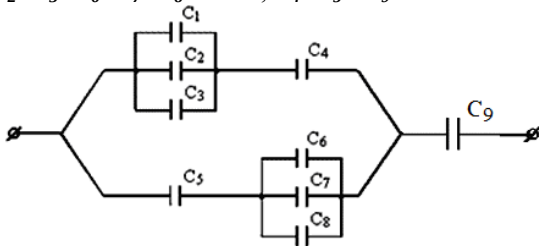
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое емкость проводника, емкость конденсатора? Единицы измерения емкости.
2. Как определяется емкость плоского конденсатора? Как определяется энергия конденсатора? Что такое поперечная сила?
3. Получить формулы для последовательного и параллельного соединения конденсаторов.
4. Для чего нужен в данной работе баллистический гальванометр? Какую роль выполняет эталонная емкость?
5. Пластины конденсатора, разделенные вакуумом и заряженные зарядами противоположного знака, притягиваются друг к другу с определенной силой. Как изменится эта сила, если увеличить расстояние между пластинами конденсатора, или если между ними поместить диэлектрик. Рассмотреть два случая: а) конденсатор остается подключенным к источнику ЭДС, б) конденсатор отключается от источника ЭДС? Ответ обосновать.

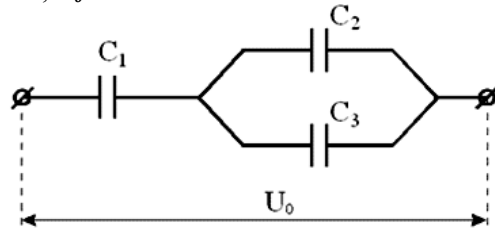
1. Заряды на пластинах конденсатора электрической емкостью 9 мкФ увеличили в 4 раза. Емкость этого конденсатора стала равной...

2. Отсоединенный от источника тока плоский конденсатор имеет энергию W . Определить энергию электрического поля конденсатора если между обкладками конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ .

3. Определить эквивалентную (общую) емкость батареи конденсаторов, изображенных на рисунке, если $C_1=C_2=C_3=C_6=C_7=C_8=2 \text{ пФ}$, $C_4=C_5=C_9=6 \text{ пФ}$.



4. Определить общий заряд батареи конденсаторов, изображенной на рисунке, если: $C_1=9 \text{ мкФ}$, $C_2=3 \text{ мкФ}$, $C_3=6 \text{ мкФ}$, $U_0=10 \text{ кВ}$.



5. Конденсатор с емкостью C присоединен к источнику тока. Как изменится емкость конденсатора, заряд на обкладках конденсатора и энергия электрического поля этого конденсатора при увеличении расстояния между обкладками конденсатора в 2 раза?

6. Расстояние между пластинами плоского конденсатора, подключенного к источнику постоянного напряжения уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась объемная плотность энергии электростатического поля между пластинами конденсатора?

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА ИЗ МЕТАЛЛА

.....

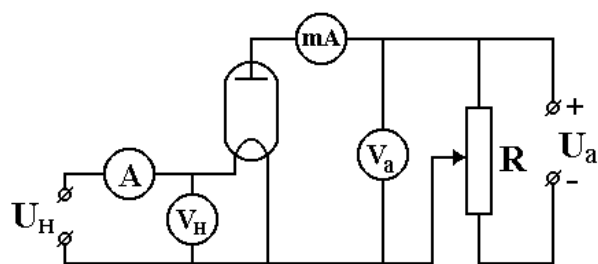
.....

.....

1 Теоретическое обоснование работы

[illegible]

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

- Ознакомиться со схемой электрической цепи. Включить ее в сеть.
- Снять вольтамперную характеристику $I_a = f(U_a)$. Для этого, изменяя анодное напряжение U_a через 1 В, записывать соответствующие значения анодного тока по миллиамперметру. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

U_a, B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I_a, mA															

- На предложенных осях построить график $I_a = f(U_a)$, откладывая на оси абсцисс анодное напряжение, а на оси ординат – силу тока.

- Для расчета сопротивления катода измерить и записать напряжение U_H и ток накала I_H катода в таблицу 2.

- Рассчитать сопротивление R_t катода, используя закон Ома, по формуле $R_t = \frac{U_H}{I_H}$.

- Рассчитать температуру T катода по формуле: $T = \frac{T_K \cdot R_t}{R_K}$, где R_t и R_K – сопротивления нити накала катода при

температуре раскаленного катода T и комнатной температуре T_K , соответственно. Сопротивление R_K при комнатной температуре равно 0,35 Ом.

- Рассчитать плотность тока насыщения по формуле: $j_{нас} = \frac{I_{a\text{ нас}}}{S}$, где S – площадь поверхности катода, $I_{a\text{ нас}}$ – анодный ток насыщения, который находится из графика вольтамперной характеристики и соответствует тому значению тока, при котором график переходит в горизонтальную линию. Для расчета площади поверхности катода S рассматривать нить катода как цилиндр длиной 2,6 см, диаметром 0,11 мм.

- По формуле $A_{вых} = k \cdot T \cdot [\ln(C \cdot T^2) - \ln j_{нас}]$ рассчитать работу выхода электрона из металла в электронвольтах ($1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, $C = 1,2 \cdot 10^6$ А/(м²·К²)). Результаты вычислений записать в таблицу 2. Сделайте выводы по работе.

Таблица 2

U_H, B	I_H, A	$R_t, Ом$	$R_K, Ом$	T, K	$I_{a\text{ нас}}, A$	$S, м^2$	$j_{нас}, A/м^2$	$A_{вых}, эВ$

4 Обработка результатов измерений

Blank area for notes or calculations, consisting of 20 horizontal dashed lines.

Вольтамперная характеристика



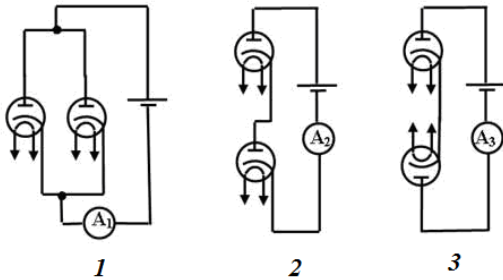
ВЫВОДЫ:

Blank area for conclusions, consisting of 7 horizontal dashed lines.

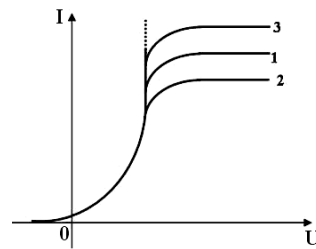
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое эмиссия электронов? Назовите виды эмиссии.
2. В чем состоит явление термоэлектронной эмиссии?
3. Пользуясь положениями зонной теории и основываясь на энергетической диаграмме, объясните, что называется работой выхода электрона из металла.
4. Записать и объяснить закон Богуславского-Ленгмюра и формулу Ричардсона – Дэшмана.
5. Объясните, почему вольтамперная характеристика диода позволяет определить работу выхода электронов из материала катода.
6. Объясните ход вольтамперной характеристики диода, связав его с процессами в области катода. Что такое ток насыщения?
7. Электровакuumный диод его устройство и использование для преобразования переменного тока в постоянный.

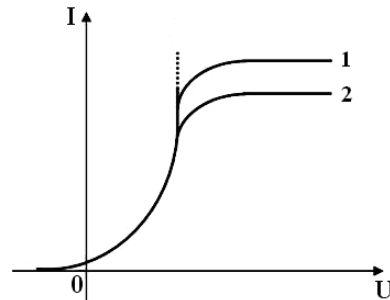
1. Показания амперметров в цепях с двумя одинаковыми вакуумными диодами связаны соотношением ...



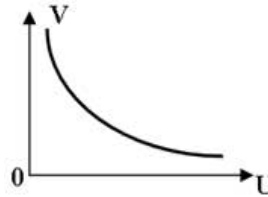
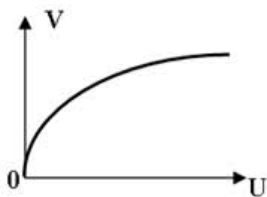
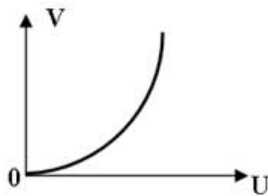
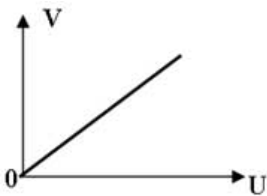
2. На рисунке представлены вольт-амперные характеристики трех диодов, катоды которых изготовлены из одного и того же материала, но находятся при разных температурах. В каком соотношении находятся температуры данных катодов?



3. На рисунке представлены вольт-амперные характеристики двух диодов, катоды которых находятся при одинаковой температуре, но изготовлены из различных материалов. В каком соотношении находятся плотности тока насыщения и работы выхода электронов из данных катодов?



4. Какой из нижеприведенных графиков наиболее точно отражает зависимость скорости электронов в электронно-лучевой трубке от разности потенциалов между катодом и ускоряющими анодами? Ответ подтвердить соответствующими формулами.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 26
ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСИ КРУГОВОГО ТОКА

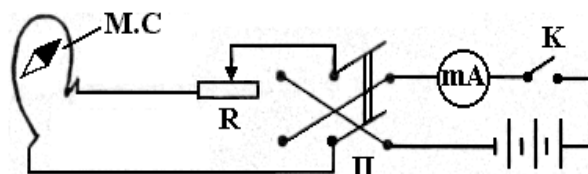
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



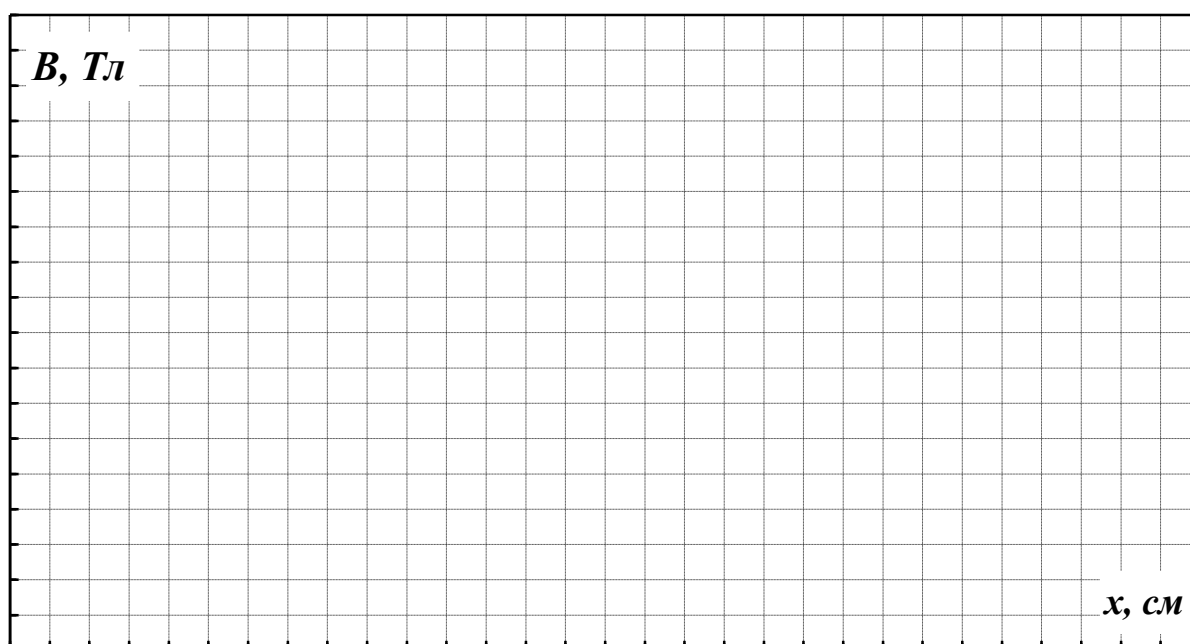
3 Порядок выполнения работы

1. Расположить плоскость кольца в плоскости магнитного меридиана. Для этого магнитную стрелку поместить в центр кольца и при отключенном токе ориентировать плоскость кольца вдоль стрелки.
2. Включить установку в сеть и установить максимальный ток.
3. Измерить углы отклонения α_1 и α_2 магнитной стрелки от первоначального положения при прямом и обратном токе и найти среднее значение угла α_{cp} . Результаты измерений занести в таблицу.
4. Передвигая магнитную стрелку на 2 см вдоль оси, измерить углы отклонения стрелки, сохраняя постоянным ток. Результаты измерений занести в таблицу.
5. Для каждого положения магнитной стрелки определить теоретическое $B_{теор}$ (по формуле $B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I \cdot R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$) и экспериментальное $B_{эксп}$ (по формуле $B = B_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha$) значения магнитной индукции.
6. На одном и том же графике построить зависимости $B_{эксп}=f(x)$ и $B_{теор}=f(x)$. Сделать соответствующие выводы.

Таблица

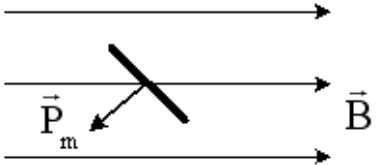
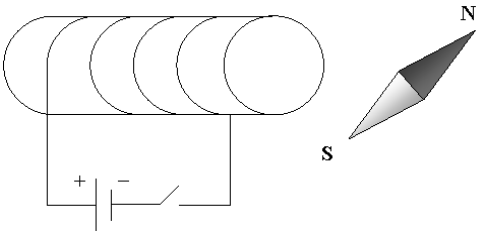
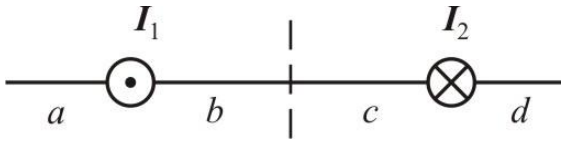
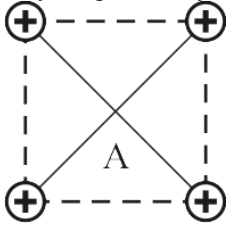
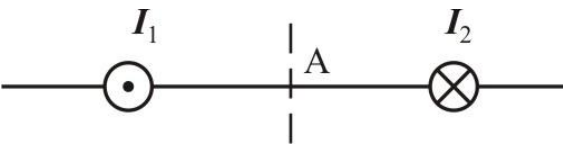
№ изм.	x , см	I , А	α_1 , град	α_2 , град	α_{cp} , град	$\operatorname{tg} \alpha_{cp}$	$B_{эксп}$, Тл	$B_{теор}$, Тл
1	0							
2	2							
3	4							
4	6							
5	8							
6	10							
7	12							
8	14							
9	16							
10	18							
11	20							

Данные установки: $N =$, $R =$ м.

[illegible]

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое магнитное поле? Источники магнитного поля?
2. Какая физическая величина является силовой характеристикой магнитного поля? Единицы ее измерения.
3. Изобразить магнитное поле кругового тока. Является ли оно однородным?
4. Сформулировать принцип суперпозиции магнитных полей.
5. Сформулировать правило правого винта для кругового тока.
6. Каков принцип измерения магнитного поля, создаваемого электрическим током кольца, в этой работе?
7. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение для расчета магнитной индукции в центре и на оси кругового тока.
8. В формулу (3) входит векторное произведение $[\vec{dl}, \vec{r}]$. Объяснить, как определяются модуль и направление вектора, получающегося в результате векторного перемножения двух векторов.

1. Рамка с током с магнитным моментом, направление которого указано на рисунке, находится в однородном магнитном поле. Куда направлен момент сил, действующих на рамку? Ответ пояснить. 	2. Катушка подсоединена к источнику постоянного тока (см. рис.). Вдоль оси к ней подносят магнитную стрелку, которая может свободно ориентироваться в пространстве. Какое положение займёт магнитная стрелка? 
3. На рисунке изображены сечения двух параллельных длинных проводников с противоположно направленными токами, причём $I_1 = 2I_2$. Индукция B магнитного поля равна нулю в некоторой точке какого участка? 	4. Четыре одинаковых прямолинейных проводника с токами $I = 1$ А расположены в вершинах квадрата перпендикулярно плоскости чертежа. Сторона квадрата 1 м, магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Чему равна суммарная индукция магнитного поля в точке А? 
5. Куда направлен вектор магнитной индукции поля, созданного двумя параллельными одинаковыми по силе ($I_1 = I_2$) прямолинейными противоположно направленными токами, в точке А? 	6. Чему равна циркуляция вектора магнитной индукции (в Тл·м) по контуру в форме правильного шестиугольника со стороной 5 см в однородном магнитном поле с индукцией 6 Тл?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 31

СИЛЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ. ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМОМЕТРОМ

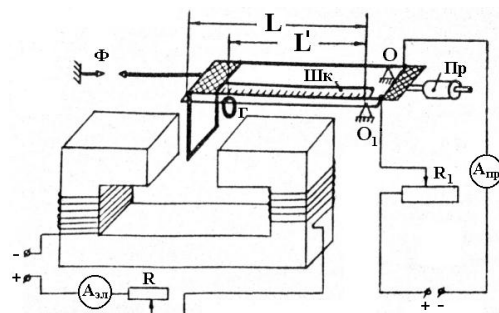
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. В отключенном состоянии уравновесить коромысло. Для этого груз Γ установить против нуля шкалы, а затем с помощью противовеса Πp добиться равновесия (см. рис. выше).
2. Реостатом R_1 установить силу тока в проводнике 1 A и далее не изменять ее.
3. Увеличивая ток через электромагнит от нуля до максимального значения через равные промежутки, уравновешивать коромысло, передвигая груз Γ по шкале $\Pi\kappa$. Соответствующие значения $I_{\text{эл}}$ и L' занести в таблицу. Занести в таблицу значения величин L , P , l и I_{np} .

4. Вычислить коэффициент K' по формуле $K' = \frac{P}{I_{np} \cdot l \cdot L}$, выразив при этом все входящие в формулу величины в системе СИ.

5. Для каждого опыта вычислить значение B по формуле $B = K' \cdot L'$.

6. Оценить относительную погрешность по формуле $\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_{np}}{I_{np}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L'}{L'}\right)^2}$,

учитывая только систематические погрешности прямых измерений. (Относительную погрешность можно рассчитать для средней строки таблицы).

7. Для каждой строки вычислить абсолютную погрешность магнитной индукции по формуле $\Delta B = B \cdot \varepsilon$.

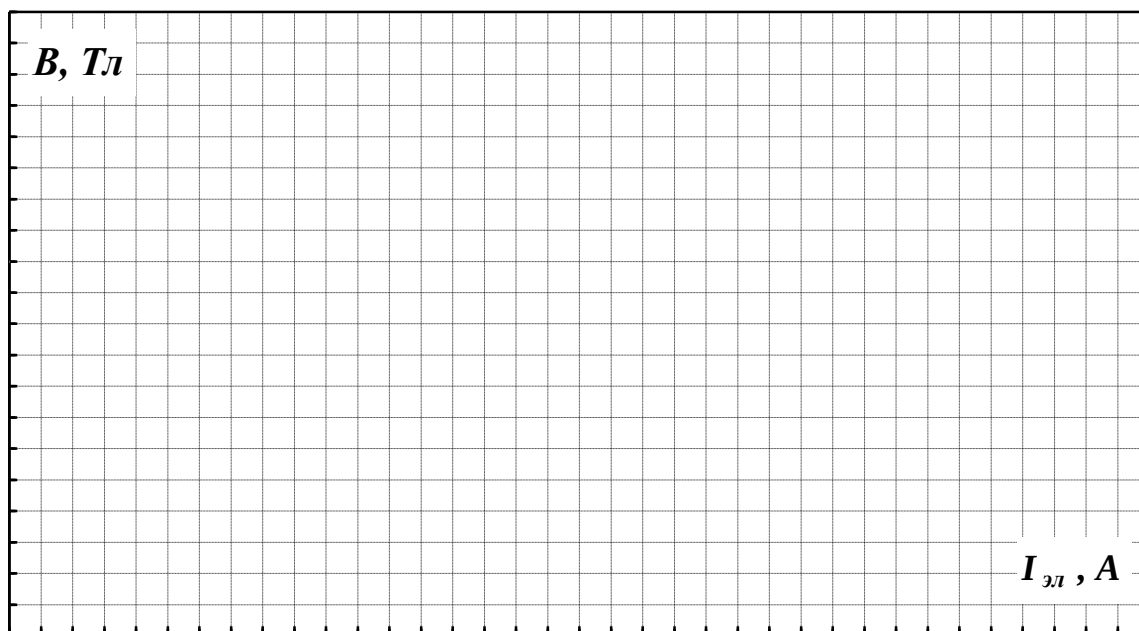
8. На основе полученных результатов построить график зависимости магнитной индукции от силы тока в электромагните $B = f(I_{\text{эл}})$. Оценить соответствие полученного графика с соотношением $B = k \cdot I_{\text{эл}} + B_{\text{ост}}$.

9. По результатам работы сделать соответствующие выводы.

Таблица

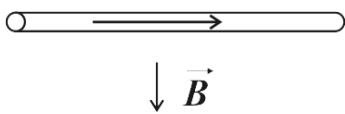
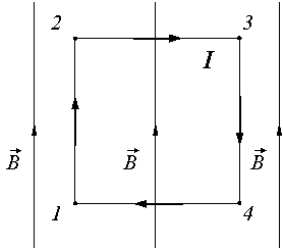
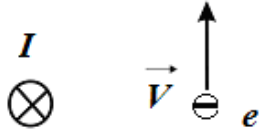
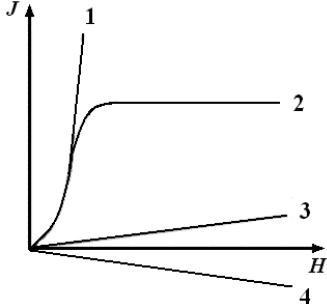
№ изм.	$I_{\text{эл}}, \text{A}$	$L', \text{м}$	$B, \text{Тл}$	$\Delta B, \text{Тл}$	Дополнительные сведения
1					$L = \quad \text{м},$ $P = \quad \text{Н},$ $l = \quad \text{м},$ $I_{np} = \quad \text{А},$ $K' = \quad \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м}^2),$ $\varepsilon = \quad \%$
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school handwriting practice paper. The lines are evenly spaced and run across the entire width of the page. There are no margins, text, or other markings present.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дать определение силы Лоренца, силы Ампера? Как определяется модуль этих сил?
2. Как определяется направление силы Ампера, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле?
3. Каков физический смысл относительной магнитной проницаемости вещества μ ?
4. Что представляют собой макро- и микротоки?
5. Ферромагнетики. Основные свойства ферромагнетиков.
6. Описать явление магнитного гистерезиса.
7. Какова зависимость между силой тока в электромагните и создаваемой им магнитной индукцией?
8. На чем основан метод экспериментального определения индукции магнитного поля в данной работе?
9. Почему график зависимости $B(I_{эл})$, как правило, не проходит через начало координат?

1. Куда направлена сила Ампера, действующая на проводник с током I, помещенный в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$? 	2. Что происходит с прямоугольной рамкой с током под действием однородного магнитного поля? 
3. Две частицы, имеющие одинаковый заряд и скорость, влетели в магнитное поле. Масса первой частицы в 2 раза больше массы второй. Как будут соотноситься радиусы дальнейших траекторий частиц?	4. Вблизи бесконечно длинного проводника с током (ток направлен от нас) пролетает электрон со скоростью $\vec{V}$. Куда направлена сила Лоренца? 
5. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности J вещества от напряженности магнитного поля H. Укажите зависимости, соответствующие диамагнетикам, парамагнетикам и ферромагнетикам. 	6. Записать условия на границе раздела двух магнетиков (в случае отсутствия на границе тока проводимости).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 38

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСИ СОЛЕНОИДА

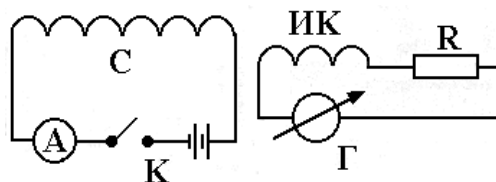
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

- Измерительную катушку поместить у одного из концов соленоида. Это положение катушки считать нулевым.
- Замкнуть ключ и определить отклонение рамки гальванометра вправо $n_{Г\text{ пр}}$. После установления индикатора на «0» разомкнуть ключ и отметить отклонение рамки гальванометра влево $n_{Г\text{ лев}}$.
- Найти среднее значение отклонения $n_{Г} = (n_{Г\text{ лев}} + n_{Г\text{ пр}}) / 2$ и записать его в таблицу.
- Передвигая измерительную катушку в следующее положение вдоль оси соленоида, выполнять пункты 2 и 3, записывая в таблицу положение катушки x и отклонение рамки $n_{Г}$. Измерения проводить до крайнего положения катушки.
- Вычислить B по формуле $B = \frac{C_B \cdot R \cdot n_{Г}}{N \cdot S}$ и занести результаты в таблицу. (Величины, входящие в данную формулу, приведены на установке.) Оценить погрешность измерений индукции магнитного поля.
- По данным таблицы построить график зависимости магнитной индукции поля от координаты катушки на оси соленоида $B = f(x)$.

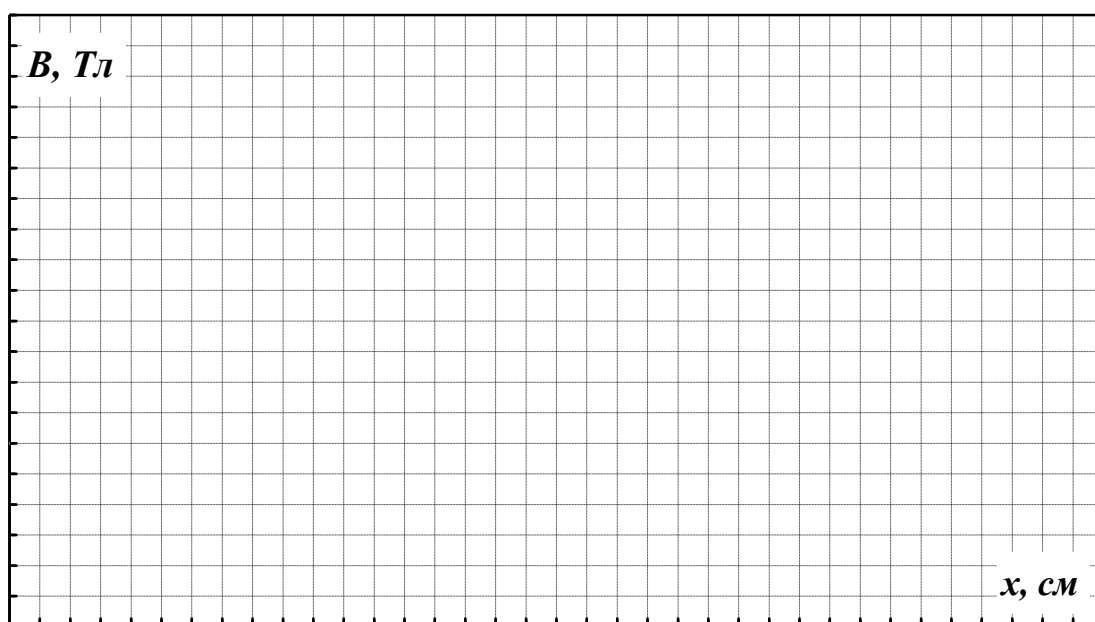
Таблица

№ изм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$x, \text{ см}$	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34	35
$n_{Г}, \text{ дел.}$																
$B, \text{ Тл}$																
Данные установки: $C_B =$ Кл/дел, $R =$ Ом, $N_{\text{сол}} =$, $I =$ А, $S =$ м ² , $l =$ м, $N =$.																
$B_{\text{средней части}} =$ Тл, $B_{\text{теор}} =$ Тл.																

- Замкнуть ключ и измерить с помощью амперметра стационарный ток, протекающий через обмотку соленоида.
- Зная число витков соленоида $N_{\text{сол}}$, его длину l и силу тока I , вычислить теоретическое значение магнитной индукции внутри соленоида по формуле $B_{\text{теор}} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_{\text{сол}}}{l} \cdot I$.
- Сравнить полученное значение магнитной индукции со значением в средней точке соленоида (по графику). Сделать соответствующие выводы.

4 Обработка результатов измерений

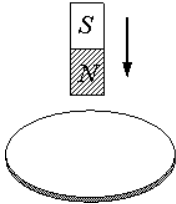
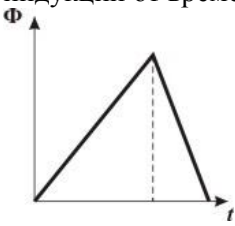
Blank area with horizontal dashed lines for writing.



Blank area with horizontal dashed lines for writing, starting after the label **ВЫВОДЫ:**.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В чем принципиальное отличие между напряженностью магнитного поля и магнитной индукцией?
2. Что такое соленоид? Подробно опишите магнитное поле соленоида.
3. Чем определяется напряженность магнитного поля соленоида? Единицы измерения напряженности и индукции магнитного поля.
4. Дать определение магнитного потока. Какова единица измерения магнитного потока?
5. Сформулировать закон электромагнитной индукции и правило Ленца.
6. Какое явление лежит в основе метода А.Г. Столетова?

1. Постоянный магнит падает сквозь неподвижное металлическое кольцо. Будет ли в кольце возникать индукционный ток и в каком направлении? 	2. На графике изображена зависимость потока магнитной индукции, пронизывающего катушку, от времени. Нарисовать график зависимости ЭДС индукции от времени. 
3. Металлический стержень длиной L вращается в горизонтальной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией B вокруг оси, проходящей через один из концов стержня с частотой вращения ν. Чему равно значение ЭДС индукции, в этом стержне?	4. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону $I = 1 - 0,2t$ (А). При этом на концах катушки наводится ЭДС самоиндукции $2 \cdot 10^{-2}$ В. Чему равна индуктивность катушки?
5. Квадратный контур со стороной 10 см расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5$ Тл таким образом, что угол между плоскостью контура и вектором магнитной индукции составляет 30°. За временной отрезок $0,2$ с магнитное поле равномерно убывает до 0 Тл. Чему равна ЭДС индукции, возникающая при этом в контуре?	6. Вертикальная рамка площадью 400 см^2 имеет 100 витков и вращается в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией 2 Тл. Ось вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции поля, максимальная ЭДС индукции, возникающая в рамке равна $31,4$ В. Чему равен период обращения рамки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 39
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИВОЙ НАМАГНИЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

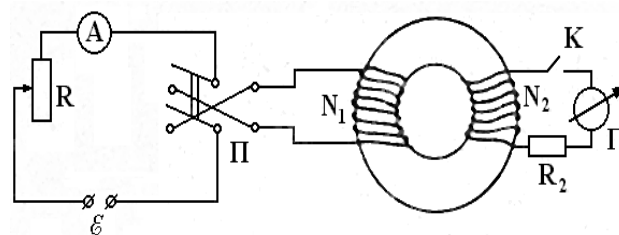
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. Включить установку в сеть. Установить все переключатели магазина сопротивлений **на ноль**, замкнуть цепь и определить максимальное значение силы тока. Разделив максимальное значение силы тока на количество измерений (их должно быть 8-10), определить «шаг», с которым необходимо выполнять измерения.
2. Переключателем **П** несколько раз изменить направление тока для того, чтобы снять остаточную намагниченность в железе.
3. Подбирая сопротивление, установить минимальное значение силы тока и отметить его значение в таблице.
4. Переключателем **П** быстро изменить направление тока в первичной цепи на обратное и отметить максимальное отклонение **n** стрелки гальванометра. Для уменьшения случайной погрешности переключение тока и определение **n** необходимо повторить три раза. Результаты измерений записать в таблицу.

Таблица

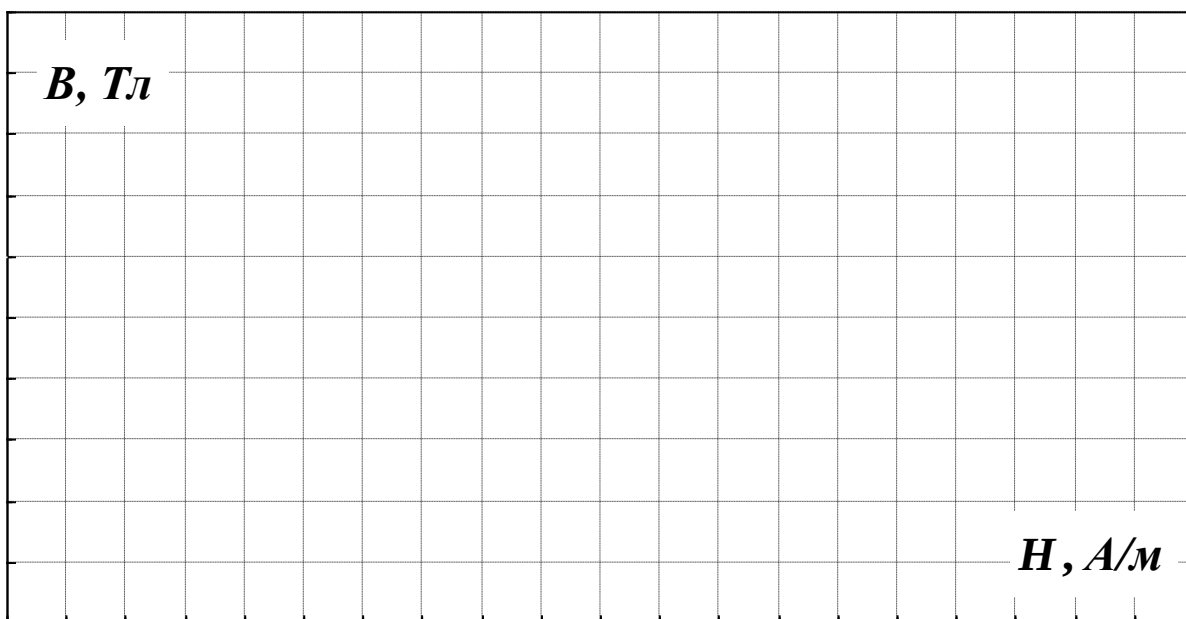
№ изм.	I, А	H, А/м	Отклонение стрелки гальванометра, дел.				B, Тл	μ
			n ₁	n ₂	n ₃	n _{ср}		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Данные установки: N ₁ = , N ₂ = , I = м, S = м ² , R ₂ = Ом, C _B = Кл/дел.							K = H _{нас} =	

5. Подбирая сопротивление, увеличивать значение силы тока до максимального **через равные интервалы** и повторять действие пункта 4 (так чтобы получилось 8-10 значений тока.)
6. Записать данные установки, необходимые для расчета: N₁, N₂, I, S, R₂, C_B в последнюю строку таблицы.

Рассчитать постоянную **K** по формуле $K = \frac{C_B \cdot R_2}{2 \cdot S \cdot N_2}$ и записать ее значение в таблицу.

7. Рассчитать значения напряженности магнитного поля **H** по формуле $H = \frac{N_1 \cdot I}{l}$ и магнитной индукции **B** по формуле $B = K \cdot n$. Результаты вычислений занести в таблицу.
8. Для каждого значения силы тока рассчитать относительную магнитную проницаемость, пользуясь для этого соотношением $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$ и данными таблицы. Результаты вычислений также занести в таблицу.
9. По данным таблицы построить кривую намагничивания $B=f(H)$ и зависимость $\mu=f(H)$ в одном и том же масштабе по оси **H**. По графикам определить напряженность **H_{нас}**, соответствующую насыщению сердечника.
10. По результатам работы оценить погрешности измерений и сделать соответствующие выводы.

4 Обработка результатов измерений



ВЫВОДЫ:

.....

.....

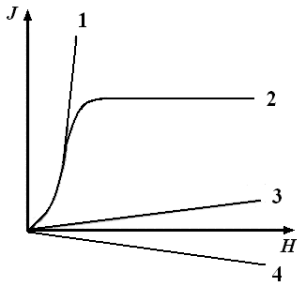
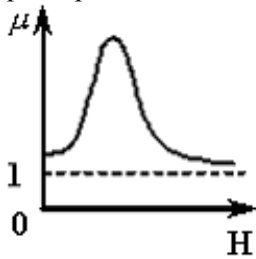
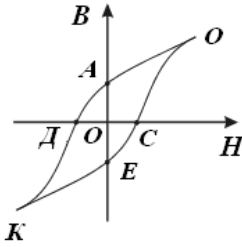
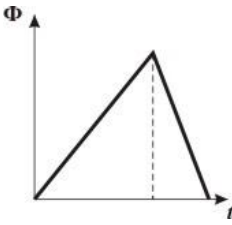
.....

.....

.....

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие типы магнетиков существуют в природе? Чем они отличаются?
2. В чем заключается суть доменной теории ферромагнетизма?
3. Что называется намагниченностью вещества? Показать, что единицей измерения намагниченности является А/м.
4. Что называется напряженностью магнитного поля? Зависит ли она от намагниченности вещества?
5. Что называется основной кривой намагничения ферромагнетика? Объяснить, чем объясняется наличие на ней области насыщения.
6. Объяснить сущность метода Столетова, использованного в работе для определения магнитной индукции в материале сердечника.
7. Объяснить полученную зависимость $\mu(H)$.

1. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности J вещества от напряженности магнитного поля H. Укажите зависимости, соответствующие диамагнетикам, парамагнетикам и ферромагнетикам. 	2. На рисунке показана зависимость магнитной проницаемости μ от напряженности внешнего магнитного поля H. Для каких веществ характерна данная зависимость? 
3. Какие участки петли гистерезиса соответствуют остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силе? 	4. Записать условия на границе раздела двух магнетиков (в случае отсутствия на границе тока проводимости) .
5. Две катушки имеют взаимную индуктивность $L_{12}=5$ мГн. В первой катушке ток изменяется по закону $I = I_0 \sin \omega t$, где $I_0=10$ А, $\omega = 2\pi/T$ и $T=0,02$ с. Максимальное значение ЭДС, индуцированной во второй катушке равно...	6. На графике изображена зависимость потока магнитной индукции, пронизывающего катушку, от времени. Нарисовать график зависимости ЭДС индукции от времени. 

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 42
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

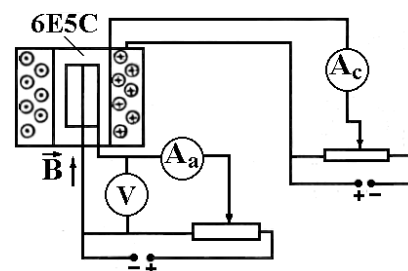
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрическими цепями по схеме рисунка установки.
2. Включить установку в сеть 220 В, установить напряжение на магнетроне 60 В.
3. Установить силу тока через соленоид равную 0,75 А.
4. Измерить анодный ток с помощью мультиметра A_a и записать это значение в таблицу.
5. Изменяя силу тока в цепи соленоида через 0,05 А, снимать значения анодного тока для построения первой сбросовой характеристики.
6. Установить напряжение 80 В, а затем 100 В, каждый раз повторяя действия, указанные в пунктах 3 – 5.

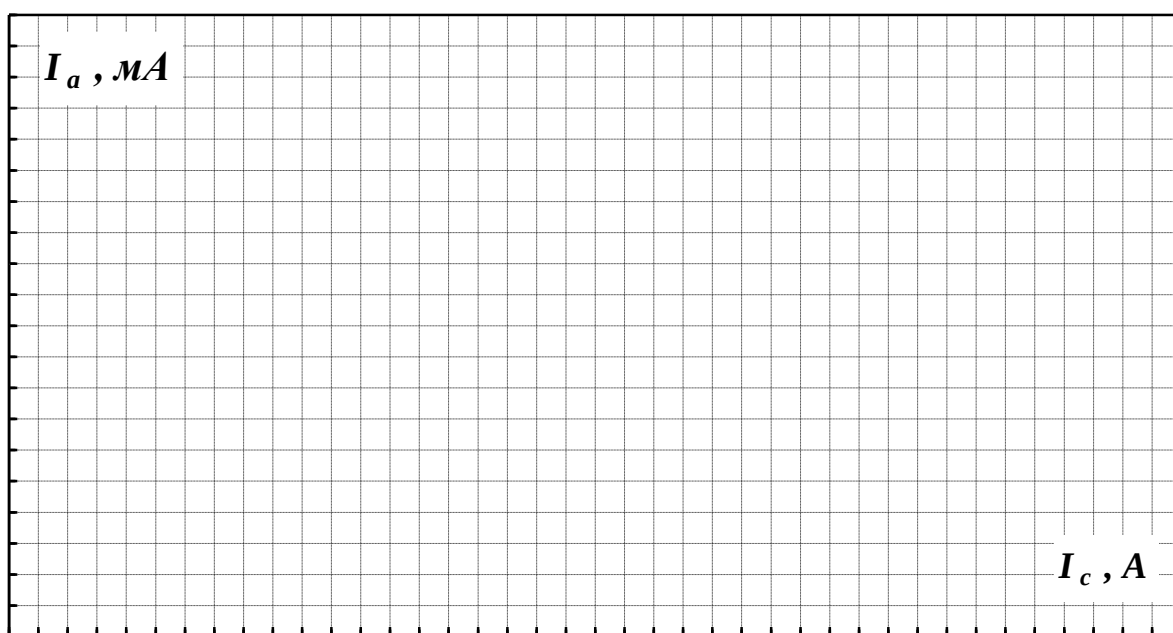
Таблица. Значения анодного тока I_a , мА

U_a, B \ I_c, A	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	$I_{кр}, A$	$B_{кр}, Tл$	$e/m, Кл/кг$
60												
80												
100												
Данные установки: $r = 8 \text{ мм}$, $k = 6,97 \cdot 10^{-3} (Тл/А)$, $\delta =$ %										$(e/m)_{ср} =$ Кл/кг		

7. По данным таблицы построить три сбросовые характеристики $I_a = f(I_c)$, соответствующие трем анодным напряжениям.
8. Для каждой сбросовой характеристики графически определить критическое значение силы тока $I_{кр}$ в соленоиде.
9. Определить критическое значение $B_{кр}$ по формуле $B_{кр} = k \cdot I_{кр}$.
10. Найти значения удельного заряда электрона по формуле $\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot U}{B^2 \cdot r^2}$, положив $B = B_{кр}$ при данном анодном напряжении. Полученные данные занести в таблицу.
11. Найти среднее значение удельного заряда электрона и сравнить его с табличным значением равным $1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Оценить относительное отклонение по формуле $\delta = \frac{|(e/m)_{теор} - (e/m)_{ср}|}{(e/m)_{теор}} \cdot 100\%$. Сделать выводы по работе.

4 Обработка результатов измерений

Blank area with horizontal dashed lines for writing.

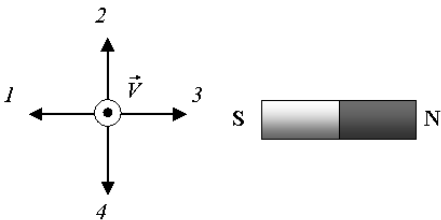
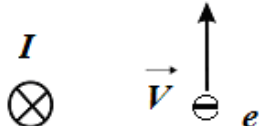


ВЫВОДЫ:

Blank area with horizontal dashed lines for writing conclusions.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое удельный заряд электрона?
2. Что такое сила Лоренца? Как определяется ее модуль и направление.
3. Магнетрон. Его устройство.
4. Траектория движения электрона в магнетроне.
5. В чем заключается сущность метода определения удельного заряда электрона?
6. Вывести расчетную формулу для определения удельного заряда электрона.

1. α-частица, пролетая мимо полосового магнита обладает скоростью, направленной перпендикулярно плоскости рисунка «на нас». При этом вектор ускорения α-частицы направлен ... 	2. Вблизи бесконечно длинного проводника с током (ток направлен от нас) пролетает электрон со скоростью $\vec{V}$. Куда направлена сила Лоренца? 
3. Две частицы, имеющие одинаковый заряд и скорость, влетели в магнитное поле. Масса первой частицы в 2 раза больше массы второй. Как будут соотноситься радиусы дальнейших траекторий частиц?	4. Если заряженная частица, заряд которой $q=1$ Кл, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,1$ Тл по окружности радиуса $R=0,5$ м, то модуль импульса частицы равен...
5. Если два электрона с кинетическими энергиями 100 эВ и 20 эВ движутся по окружностям в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции, то отношение их периодов обращения T_1/T_2 равно...	6. Ионы двух изотопов с массами m_1 и m_2, имеющие одинаковый заряд и прошедшие в электрическом поле одинаковую ускоряющую разность потенциалов, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найти отношение радиусов окружностей r_1/r_2, по которым будут двигаться ионы в магнитном поле.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

Случайная погрешность $\Delta x_{сл}$ определяется по формуле

$$\Delta x_{сл} = t_{n,\alpha} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2},$$

где n – число измерений, $t_{n,\alpha}$ – коэффициент Стьюдента, x_{cp} – среднее значение измеряемой величины. Доверительная вероятность α обычно принимается равной 0,95.

Систематическая погрешность $\Delta x_{сист}$ определяется через класс точности прибора

$$\Delta x_{сист} = \frac{X_{пред} \cdot E_x}{100\%},$$

где $X_{пред}$ – максимальное значение по шкале данного прибора, E_x – класс точности прибора.

Если класс точности прибора неизвестен, то систематическая погрешность считается равной половине цены наименьшего деления.

Абсолютная погрешность Δx складывается из случайной и систематической погрешностей:

$$\Delta x = \Delta x_{сл} + \Delta x_{сист}.$$

Относительная погрешность определяется по формуле: $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{cp}} \cdot 100\%.$

Окончательные результаты вычислений представляют в виде: $x = x_{cp} \pm \Delta x, \quad \varepsilon = \dots\%.$

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.

Результат косвенного измерения всегда рассчитывается по формуле на основании прямых измерений. Например, в случае функции двух переменных $f = f(x, y)$ погрешность при косвенных измерениях будет находиться по правилам дифференцирования с последующей заменой дифференциалов погрешностями:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \cdot \Delta y\right)^2}.$$

Независимо от знака производных, слагаемые в данном выражении должны учитываться только со знаком «+». Если в формулу входят константы, то при расчетах в них необходимо учитывать хотя бы на одну значащую цифру больше, чем в измеряемой величине. Тогда они практически не вносят погрешности в результат измерения.

Рассмотрим более подробно расчет погрешности косвенных измерений на **примере лабораторной работы №1**.

Относительная погрешность в определении удельного сопротивления может быть найдена в результате

дифференцирования соотношения $\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2}{l}.$

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}.$$

Каждая из абсолютных погрешностей $\Delta U, \Delta d, \Delta I, \Delta l$ складывается из случайной и систематической погрешности. Например, в случае измерения диаметра проволоки

$$\Delta d = \Delta d_{сл} + \Delta d_{сист}.$$

При каждом измерении значения силы тока, напряжения и длины проводника остаются постоянными при прочих равных условиях. Поэтому для этих величин можно ограничиться систематической абсолютной погрешностью измерения $\Delta U = \Delta U_{сист}, \quad \Delta I = \Delta I_{сист}, \quad \Delta l = \Delta l_{сист}.$ Систематические погрешности в определении длины и диаметра проволоки равны: $\Delta l_{сист} = 0,5 \text{ мм}$ и $\Delta d_{сист} = 0,01 \text{ мм}$ соответственно. Погрешности ΔU и ΔI находятся по классу точности приборов (см. приложение 2, 3).

Случайная погрешность $\Delta d_{сл}$ находится на основании данных таблицы 3 (лаб. раб. №1) по формуле

$$\Delta d_{сл} = t_{n,\alpha} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i - d_{cp})^2}$$

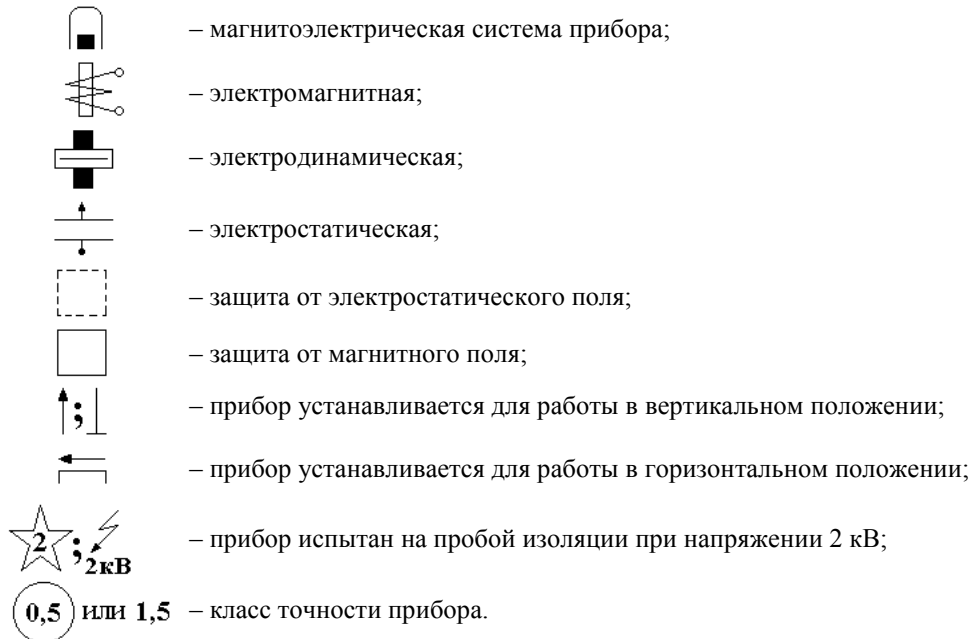
Абсолютная погрешность в определении удельного сопротивления может быть найдена умножением среднего значения на относительную погрешность (в долях целого числа)

$$\Delta \rho = \rho_{cp} \cdot \varepsilon_\rho$$

Окончательные результаты вычислений обычно представляют в виде: $\rho = \rho_{cp} \pm \Delta \rho$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ПРИБОРАХ

Основными характеристиками электроизмерительных приборов являются система приборов, класс точности, чувствительность, цена деления прибора и предел измерения. Система прибора определяется физическим явлением, положенным в основу действия прибора. Различают приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и электростатической систем.



ПРИЛОЖЕНИЕ 3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ

Все электроизмерительные приборы по точности измерений делятся на несколько классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности прибора показывает, какой процент от предельного значения измеряемой величины составляет систематическая погрешность.

E_x – класс точности прибора для измеряемой величины X . По определению $E_x = \frac{\Delta X}{X_{пред}} \cdot 100\%$, где $X_{пред}$ – наибольшее значение величины X , которое можно измерить данным прибором. Следовательно, систематическая погрешность измерений $\Delta X = \frac{1}{100\%} \cdot E_x \cdot X_{пред}$ не зависит от результата измерений. Относительная же ошибка $\epsilon_x = \frac{\Delta X}{X}$ оказывается тем меньше, чем больше значение измеряемой величины X . То есть, измерения оказываются более точными, если результаты близки к предельным значениям.

Пример: миллиамперметр рассчитан на 100 мА. Класс точности прибора $E_I = 0,2$. Систематическая погрешность определяется выражением

$$\Delta I = \frac{1}{100} \cdot E_I \cdot I_{пред} = 0,2 \text{ мА}.$$

Пусть данным прибором измерен ток 50 мА. Тогда относительная погрешность измерений составляет:

$$\epsilon_I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\% = \frac{0,2 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} \cdot 100\% = \pm 0,4\%.$$

Если класс точности прибора неизвестен, то систематическая погрешность принимается равной половине цены наименьшего деления прибора.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ СТЬЮДЕНТА

число измерений n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
надежность $\alpha=0,95$	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Часто в практике физического эксперимента искомую величину невозможно определить из опытов, проведенных в одних и тех же условиях путем многократных измерений. Искомая величина в процессе эксперимента изменяется. Цель эксперимента в этом случае состоит в нахождении функциональной зависимости, которая наилучшим образом описывает изменение интересующего параметра. Математическая обработка результатов измерений в этом случае сводится к нахождению формулы, наиболее близко описывающей экспериментальную функциональную зависимость.

Основные требования, предъявляемые к построению графиков

При построении графиков нужно придерживаться ниже перечисленных правил.

1. Графики **аккуратно (карандашом)** строятся на специальной бумаге (миллиметровой, логарифмической или полулогарифмической). При их отсутствии иногда приходится (хотя это крайне редко!) пользоваться бумагой «в клеточку» или белой бумагой, на которой карандашом нанесена сетка. Не следует выбирать слишком малый или слишком большой лист бумаги. Удобна бумага размером в обычный тетрадный лист (или развернутый лист). Полезно пользоваться листами миллиметровки из блокнотов (или планшетов) для диаграмм. Допускается построение графиков с помощью стандартных компьютерных программ, но и в этом случае графики должны соответствовать всем изложенным требованиям.

2. На координатных осях должны быть указаны обозначения откладываемых величин и единицы их измерения.

3. Начало координат, если это оговорено особо, может не совпадать с нулевыми значениями величин. Его выбирают таким образом, чтобы площадь чертежа была использована максимально.

4. Перед построением графика для каждой из шкал необходимо **выбрать масштаб**. Масштабные деления на координатных осях нужно наносить равномерно, то есть через **равные** промежутки.

5. Масштаб выбирают таким образом, чтобы кривая была равномерно растянута вдоль обеих осей. Если график представляет собой прямую, то угол ее наклона к осям должен быть близок к 45°, а положение любой точки можно было определить легко и быстро (масштаб, при котором чтение графика затруднено, считается неприемлемым).

Масштаб является удобным для чтения графика, если в одном делении (миллиметре или сантиметре), нанесенном на оси графика, содержится одна или две (пять, десять, пятьдесят и т. д.) единиц измеряемой величины. Один из правильных вариантов градуировки может быть таким: 0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0. Вариант 0; 1,25; 2,50; 3,75; 5,0 нежелателен, т.к. при такой «дробной» организации шкалы трудно строить и читать график. Предпочтительны варианты, когда между делениями шкалы две, четыре, пять или десять клеток. Нежелательны варианты с 3, 6, 7, 9 клетками.

6. После выбора и нанесения на оси масштаба наносятся значения физических величин. Экспериментальные точки изображаются четко и крупно: в виде кружков, крестиков, разноцветных точек и т.п. Координаты экспериментальных точек на осях не указывают, а линии, определяющие эти координаты, не проводят, так как это загромождает рисунок и затрудняет работу с графиком.

Нельзя подписывать на шкале числа, которые получаются в результате эксперимента.

Например, 1,12; 1,19; 1,92; 2,87; 3,05; 3,28, 4,27!

Затем от каждой точки вверх и вниз, вправо и влево откладываются в виде отрезков соответствующие погрешности (доверительный интервал) в масштабе графика (см. рис.).

7. После нанесения экспериментальных точек строится график, т.е. проводится **предсказанная теорией плавная кривая** или **прямая** так, чтобы она пересекала все области доверительных интервалов. В пределах погрешности измерения по экспериментальным данным можно провести несколько кривых, проходящих достаточно близко к опытным точкам. Необходимо выбирать кривую с наиболее простым и удобным в использовании видом. *Для этого эмпирическую зависимость можно обработать при помощи математических методов.*

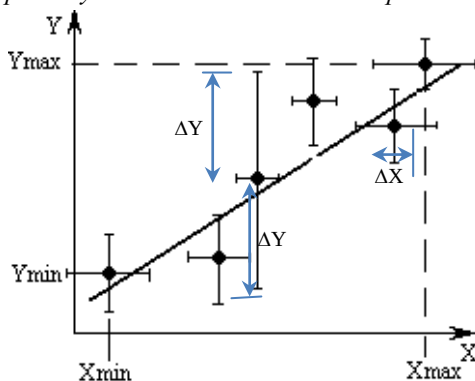


Рисунок - Нанесение экспериментальных точек и погрешностей на график

При значительном разбросе экспериментальных точек кривую (прямую) следует проводить не по точкам, а между ними. Причем, количество точек по обе стороны от нее должно быть одинаковым, и суммы отклонений экспериментальных точек снизу и сверху кривой должны быть близки.

Исключение составляют градуировочные графики, на которых точки, нанесенные без погрешностей, соединяются последовательными отрезками прямых, а точность градуировки указывается в правом верхнем углу под названием графика.

Однако, если в процессе градуировки прибора абсолютная погрешность измерений изменялась, то на градуировочном графике наносятся погрешности каждой измеренной точки.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики: [учеб. пособие для вузов по техн. направлениям и специальностям]: в 4 т./ И.В. Савельев. М.: КНОРУС, 2009 – т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - 2009. - 570 с.
 2. **Трофимова Т.И.** Курс физики. М.: Высшая школа. – 2003. 542 с.
 3. **Курбачев Ю.Ф.** Физика: учебное пособие / Ю.Ф. Курбачев. – М.: изд. центр ЕАОИ, 2011. - 216 с. Доступ из ЭБС «Университетская библиотека online».
 4. **Грабовский Р. И.** Курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Электрон. Дан. – СПб. : Лань, 2012. - 608 с. Доступ из ЭБС «Лань».
 5. **Кузнецов С.И.** Курс физики с примерами решения задач. Часть II. Электричество и магнетизм. Колебания и волны. 2014. – 416 с. Доступ из ЭБС «Лань».
-

*Сергей Леонидович Кустов
Вероника Викторовна Романенко
Евгения Владимировна Черных
Наталья Михайловна Гурова*

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ОТЧЕТОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ № 1

Издано в авторской редакции.
Подписано в печать 29.01.16. Формат 60×84 1/8.
Печать – ризография. Усл.п.л. 4,2.
Тираж 100 экз. Заказ 2016 -

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.