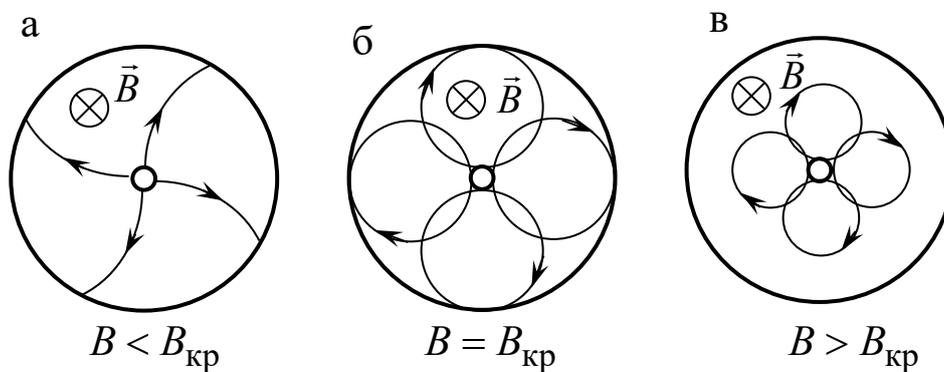


А.Ф. Костко

В.А. Самолетов

ФИЗИКА
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.Ф. Костко

В.А. Самолетов

**ФИЗИКА
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ**

Учебно-методическое пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2017

УДК 530

Костко А.Ф., Самолетов В. А. Физика. Лабораторные работы по электричеству и магнетизму: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 58 с.

Дано краткое теоретическое обоснование методов измерения, изложен порядок проведения лабораторных работ и обработки результатов измерений.

Предназначены для студентов направлений бакалавриата: 01.03.02, 09.03.01, 09.03.02, 09.03.03, 09.03.04, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03, 12.03.01, 12.03.02, 12.03.03, 12.03.05, 13.03.02, 14.03.01, 15.03.02, 15.03.04, 15.03.06, 16.03.01, 16.03.03, 18.03.02, 18.03.04, 19.03.01, 19.03.02, 19.03.03, 23.03.02, 23.03.03, 27.03.04, 27.03.05, 12.05.01 очной и заочной форм обучения.

Рекомендовано к печати Советом естественнонаучного факультета протокол №1 от 24.01.2017 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017

© Костко А.Ф., Самолетов В.А. 2017

ВВЕДЕНИЕ

Лаборатория электричества и магнетизма предназначена для изучения некоторых разделов электродинамики, ознакомления с техникой проведения простейших экспериментов и средствами измерений электрических величин.

В соответствии с существующими учебными планами в лаборатории выполняются три работы: одна – по теме «постоянный ток» (работа № 1) и две – по теме «магнетизм» (работы № 2 и 3).

Особенностью лаборатории является то, что все работы выполняются фронтально на универсальных стендах.

На выполнение каждой лабораторной работы отводится два учебных часа.

Защита лабораторных работ проводится на плановых занятиях. Во время защиты студент сдает отчет, содержащий все пункты задания, и отвечает на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях. **Теория электричества и магнетизма, знание которой необходимо для понимания лабораторных работ, изучается студентами самостоятельно с использованием рекомендованной литературы и конспекта лекций.**

Инструктаж по технике безопасности работы в лаборатории электричества и магнетизма проводится преподавателем на первом занятии.

Для удобства пользования методическими указаниями в конце каждой работы приводится рекомендуемая литература, а приложения являются общими для всех работ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ И КПД ИСТОЧНИКА ОТ СИЛЫ ТОКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Измерить зависимости полезной, полной мощности и коэффициента полезного действия (КПД) источника от силы тока. Рассчитать внутреннее сопротивление источника тока.

На выполнение работы отводится два учебных часа.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа выполняется на универсальном стенде (рис. 1).

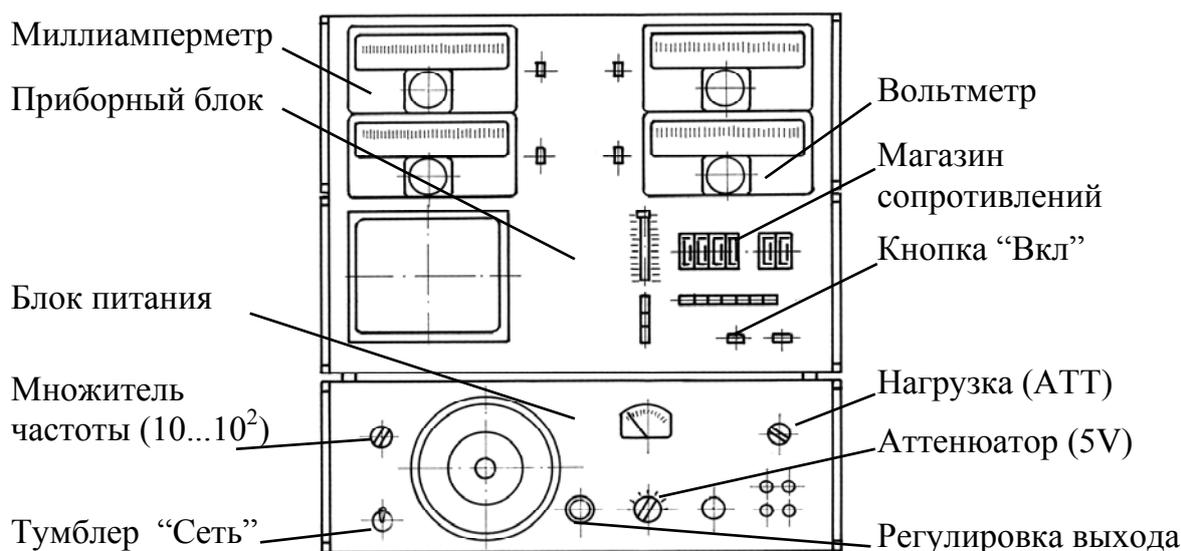


Рис. 1. Универсальный стенд

Стенд состоит из блока питания и приборного блока. В качестве блока питания используется генератор низкочастотных колебаний ГЗ-109 с выпрямителем. В приборном блоке смонтированы электроизмерительные приборы, магазины сопротивлений и емкостей, реохорд и система кнопочных переключателей, позволяющих нужным образом соединять электрические элементы схемы и измерительные приборы при выполнении конкретных лабораторных работ.

В данной работе используются миллиамперметр A_1 , вольтметр V и магазин сопротивлений R .

Сопротивление магазина можно изменять от 0 до 9999 Ом с дискретностью 1 Ом, поворачивая колесики декад.

Характеристики средств измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность $\Delta_{\text{и}}$
Вольтметр V	5 В	0,05 В/дел.	*	—
Миллиамперметр A_1	100 мА	1 мА/дел.	*	—
Магазин сопротивлений R	9999 Ом	1 Ом/дел.	—	—

* Указан на шкале прибора.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения проводятся на электрической цепи, состоящей из источника электрической энергии и переменного резистора. Для измерений напряжения и тока в цепь включены вольтметр и миллиамперметр (рис. 2).

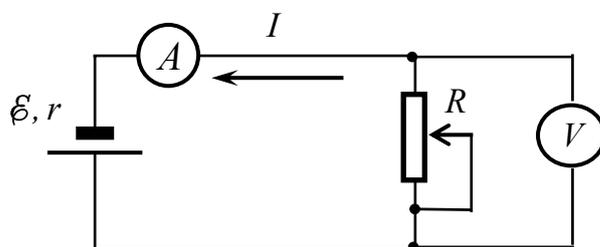


Рис. 2. Схема электрической цепи

Измерив ЭДС \mathcal{E} источника, силу тока I и падение напряжения U на внешнем сопротивлении R , можно рассчитать полезную и полную мощность, КПД и внутреннее сопротивление источника электрической энергии по следующим формулам:

$$P_{\text{полезн}} = IU; \quad (1)$$

$$P_{\text{полн}} = I\mathcal{E}; \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} 100 \% ; \quad (3)$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R . \quad (4)$$

В упрощенной электрической цепи (см. рис. 2) полезная мощность определяется как разность мощности $P_{\text{полн}}$, развиваемой источником тока, и мощности $P_{\text{внутр}}$, которая выделяется на внутреннем сопротивлении источника тока.

Полезной называется мощность, выделяемая на внешнем сопротивлении R . Она зависит от силы тока по параболическому закону

$$P_{\text{полезн}} = P_{\text{полн}} - P_{\text{внутр}} = I\mathcal{E} - I^2 r ; \quad (5)$$

полная мощность зависит от силы тока по линейному закону

$$P_{\text{полн}} = I\mathcal{E} ; \quad (6)$$

КПД зависит от силы тока по линейному закону

$$\eta = \left(1 - I \frac{r}{\mathcal{E}} \right) 100 \% ; \quad (7)$$

величина внутреннего сопротивления определяется конструкцией источника и у идеального источника не зависит от силы тока

$$r = \text{const} . \quad (8)$$

Полезная мощность будет максимальной при равенстве внешнего и внутреннего сопротивлений

$$R = r . \quad (9)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовка стенда к работе

1. Проверить, чтобы перечисленные ниже кнопки и ручки блока питания, не используемые в данной работе, находились в следующем положении (см. рис. 1):

- множитель частоты $(10 \dots 10^2)$;
- аттенюатор (5V);
- нагрузка (АТТ).

2. Кнопки, расположенные на приборном блоке рядом с измерительными приборами A_1 и V , должны быть отжаты (иначе приборы окажутся включены в цепи неправильно).

3. На магазине сопротивлений установить максимальное значение 9999 Ом. При таком сопротивлении внешней нагрузки ток в цепи будет практически нулевым.

4. Без усилий повернуть на блоке питания рукоятку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора, чтобы при включении в сеть и прогреве прибора напряжение источника тока в цепи оставалось нулевым. Только после этого можно безопасно выполнить следующие пункты 5 и 6.

5. На блоке питания включить тумблер “Сеть”.

6. На приборном блоке нажать кнопку “Вкл”.

Выполнение измерений

1. Плавно поворачивая ручку “Регулировка выхода” по часовой стрелке, установить по вольтметру V приборного блока напряжение 5 В. (**Вольтметр блока питания не использовать!**)

Это напряжение примем за ЭДС источника электрической энергии. **Во время работы рукоятку “Регулировка выхода” больше не вращать, чтобы не изменилась ЭДС.** Если положение рукоятки «Регулировка выхода» случайно сбилось во время выполнения работы, придётся начать её выполнение с самого начала.

В табл. 2 записаны начальные значения ЭДС источника ($\mathcal{E} = 5\text{ В}$) и показания вольтметра ($U = 5\text{ В}$), миллиамперметра ($I = 0\text{ мА}$) и магазина сопротивлений ($R = 9999\text{ Ом}$).

2. Уменьшая сопротивление магазина, сделать так, чтобы в электрической цепи протекал ток 10 мА. Для этого следует начать уменьшение сопротивления со старшей декады (тысячи Ом) до тех пор, пока значение тока не превысит 10 мА. Затем вновь увеличить сопротивление на 1000 Ом (при этом ток снова станет меньше 10 мА) и перейти в младшей декаде (сотни Ом), уменьшая сопротивление магазина так, чтобы в электрической цепи протекал ток 10 мА. Более точную настройку тока на значение 10 мА следует осуществлять, последовательно переходя к десяткам и единицам Ом.

3. Записать в табл. 2 показания вольтметра, миллиамперметра и магазина сопротивлений.

4. Уменьшая сопротивление магазина, задавать ток в электрической цепи последовательно: 15; 20; 25; ... мА. При каждом значении тока записывать в табл. 2 значение сопротивления нагрузки, показания амперметра и вольтметра.

5. Измерения продолжать до тех пор, пока сопротивление магазина не станет равным нулю, т. е. в электрической цепи потечет ток короткого замыкания. Значение тока при этом не обязательно окажется кратным 5 мА, однако его следует также внести в таблицу.

6. По окончании измерений выключить стенд. Для этого:
 – на магазине сопротивлений установить значение 9999 Ом;
 – плавно повернуть ручку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора, чтобы при следующем включении напряжение оказалось нулевым (иначе прибор может выйти из строя);
 – на блоке питания выключить тумблер “Сеть”;
 – на приборном блоке отжать кнопку “Вкл” (то есть выключить питание стенда).

Таблица 2

$\mathcal{E} = 5 \text{ В}$						
I	U	R	$P_{\text{полезн}}$	$P_{\text{полн}}$	η	r
мА	В	Ом	мВт	мВт	%	Ом
0	5	9999				
10						
15						
20						
и т. д.						

Внимание! Результаты измерений нужно подписать у преподавателя, ведущего занятие в лаборатории. (Без подписи преподавателя работа не принимается.)

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать $P_{\text{полезн}}$, $P_{\text{полн}}$, η и r по формулам (1) – (4). Результаты записать в табл. 2.

2. На двух листах построить следующие графики по экспериментальным данным из табл. 2 (см. прил. 2): $P_{\text{полн}} = f(I)$, $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$, $r = f(I)$. На первом листе построить три

графика зависимостей $P_{\text{полн}} = f(I)$ и $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$. как показано на рис.3. На втором листе построить график зависимости $r = f(I)$.

На графике зависимостей $P_{\text{полн}} = f(I)$ и $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$ символы зависимостей следует выбрать отличающимися друг от друга (например, крестики, кружки, ромбики см. прил. 2). Вертикальную ось для значений КПД построить слева, а для мощностей – справа, начиная её вблизи немного правее максимального значения тока. Масштаб оси для КПД следует выбрать, руководствуясь стандартными правилами (масштаб этой оси не имеет никакого отношения к масштабу оси мощности).

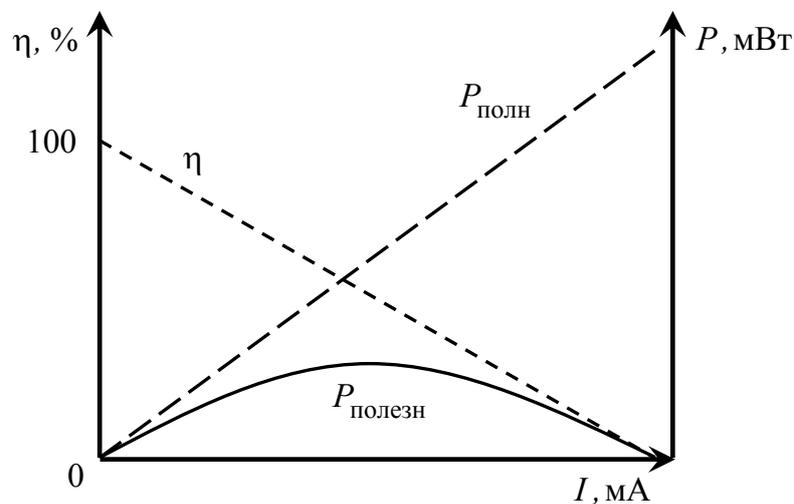


Рис. 3. Теоретические зависимости $P_{\text{полн}} = f(I)$, $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$.

При выборе формы усредняющей кривой для каждого графика следует руководствоваться следующими правилами. Если известно теоретическое соотношение для зависимости, то нужно построить кривую, соответствующую этому соотношению. Так, для $P_{\text{полн}}$ в соответствии с соотношением (6) надо построить прямую, проходящую через начало координат. Для мощности $P_{\text{полезн}}$ в соответствии с соотношением (5) надо построить параболу, ветви которой направлены вниз. Для графика КПД в соответствии с соотношением (7) надо построить прямую, пересекающую горизонтальную ось в точке, соответствующей максимальному току (току короткого замыкания). На графике зависимости $r = f(I)$ можно провести горизонтальную пря-

мую в соответствии в соотношением (8), либо провести плавную усредняющую эмпирическую кривую. Эта кривая будет отображать наблюдаемое небольшое уменьшение внутреннего сопротивления при увеличении тока, что вероятнее всего вызвано нагреванием источника. Все линии должны быть построены так, чтобы экспериментальные точки размещались (по возможности) максимально симметрично относительно линии. Не следует соединять точки ломаной линией.

3. Используя график зависимости $P_{\text{полезн}} = f(I)$, найдите силу тока, при которой полезная мощность максимальная.

4. Используя данные табл. 2, найти среднее арифметическое значение внутреннего сопротивления источника.

5. Используя найденное в п. 3 значение силы тока I_{max} и найденное в п. 4 среднее арифметическое значение внутреннего сопротивления, по формуле (4) вычислить значение сопротивления R , при котором полезная мощность максимальная.

6. Используя график зависимости $r = f(I)$ и найденное в п. 3 значение силы тока, определить значение внутреннего сопротивления, которое имеет источник, когда полезная мощность максимальная.

Результатом работы являются:

1. Графики зависимостей $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $P_{\text{полн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$, $r = f(I)$ на миллиметровой бумаге.

2. Значение внешнего сопротивления R , при котором полезная мощность максимальная.

2. Найденные по графикам значения силы тока, внешнего и внутреннего сопротивлений, при которых полезная мощность максимальная.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Заполненные таблицы 1 и 2.

2. Расчет $P_{\text{полезн}}$, $P_{\text{полн}}$, η и r .

3. Графики зависимостей $P_{\text{полезн}} = f(I)$, $P_{\text{полн}} = f(I)$, $\eta = f(I)$, $r = f(I)$ на миллиметровой бумаге.

4. Расчет внешнего сопротивления R , при котором полезная мощность максимальная.

5. Найденные по графикам значения силы тока, внешнего и внутреннего сопротивлений, при которых полезная мощность максимальная.

6. Результат работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется на двойном листе (или, при необходимости, нескольких листах) из тетради в клетку. Он должен содержать результаты измерений, подписанные преподавателем, проводившим занятие в лаборатории.

Рекомендуемое расположение материалов в отчете и правила построения графиков смотрите в прил. 1 и 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение силы тока, плотности тока и указать единицы измерения.

Литература: [1, § 31]; [2, § 96].

2. Что такое сторонние силы? Какова их природа? В чем заключается физический смысл электродвижущей силы, действующей в цепи?

3. Что такое электрическое напряжение?

Литература: [1, § 33]; [2, § 97].

4. Какова связь между сопротивлением и проводимостью, удельным сопротивлением и удельной проводимостью?

5. Закон Ома для участка цепи, закон Ома в дифференциальной форме.

Литература: [1, § 34]; [2, § 98].

6. Закон Джоуля–Ленца. Что такое удельная тепловая мощность? Закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме.

Литература: [1, § 37, 38]; [2, § 99].

7. Закон Ома для неоднородного участка цепи как обобщенный закон Ома.

8. Сформулируйте первое и второе правила Кирхгофа.

Литература: [1, § 35, 36]; [2, § 100, 101].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 13-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 500 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91065>

2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 542 с.

3. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Учеб.-метод. пособие – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Измерить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли.

На выполнение работы отводится два учебных часа.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа выполняется на универсальном стенде (рис. 1).

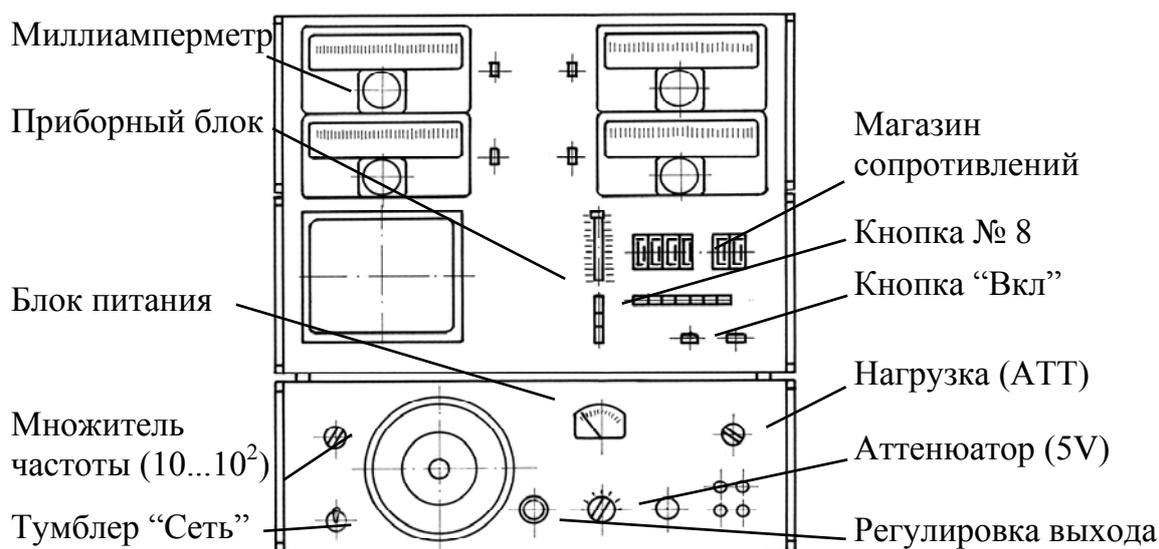


Рис. 1. Универсальный стенд

Стенд состоит из блока питания и приборного блока. В качестве блока питания используется генератор низкочастотных колебаний ГЗ-109. В приборном блоке смонтированы электроизмерительные приборы, магазины сопротивлений и емкостей, реохорд и система кнопочных переключателей, позволяющих нужным образом соединять электрические элементы схемы и измерительные приборы при выполнении конкретных лабораторных работ.

Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли проводится с помощью колец Гельмгольца, выполненных в виде выносного блока, который в нерабочем состоянии располагается на крышке приборного блока (рис. 2). Для выполнения работы блок с кольцами надо разместить на столе рядом со стендом, так чтобы соединяющий кабель не был натянут, но компас был расположен как можно дальше не только от используемого, но и от соседнего стенда. Это необходимо для уменьшения влияния на компас паразитных магнитных полей.

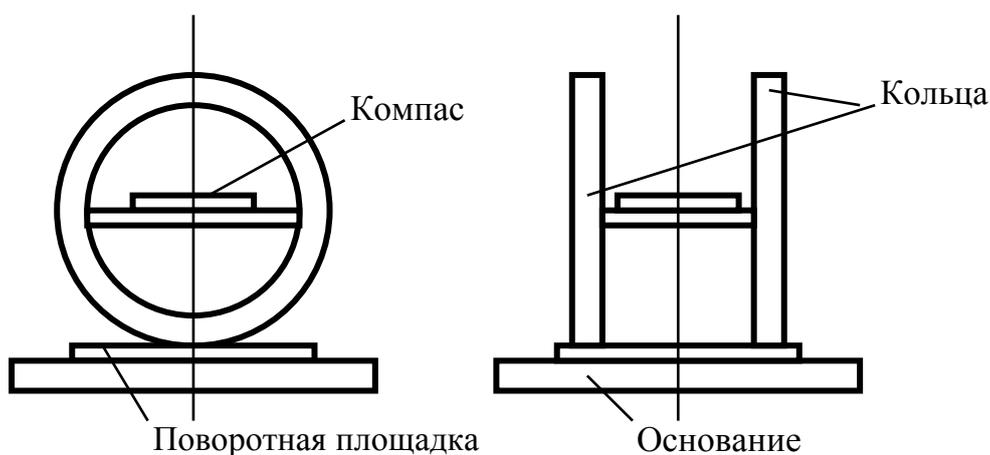


Рис. 2. Кольца Гельмгольца

Внимание! При выполнении данной работы вблизи колец не должно быть предметов, создающих магнитные поля (футляры и сумочки с магнитными замками, сотовые телефоны и др.)

В данной работе используются миллиамперметр A_1 и компас. Характеристики средств измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность $\Delta_{и}$
Миллиамперметр A_1	100 мА	1 мА/дел.	*	—
Компас	360 град	1 град/дел.	—	1 град

* Указан на шкале прибора.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Земля обладает магнитным полем, которое соответствует полю однородно намагниченной сферы. Линии напряженности магнитного поля Земли подобны линиям напряженности прямого магнита (рис. 3).

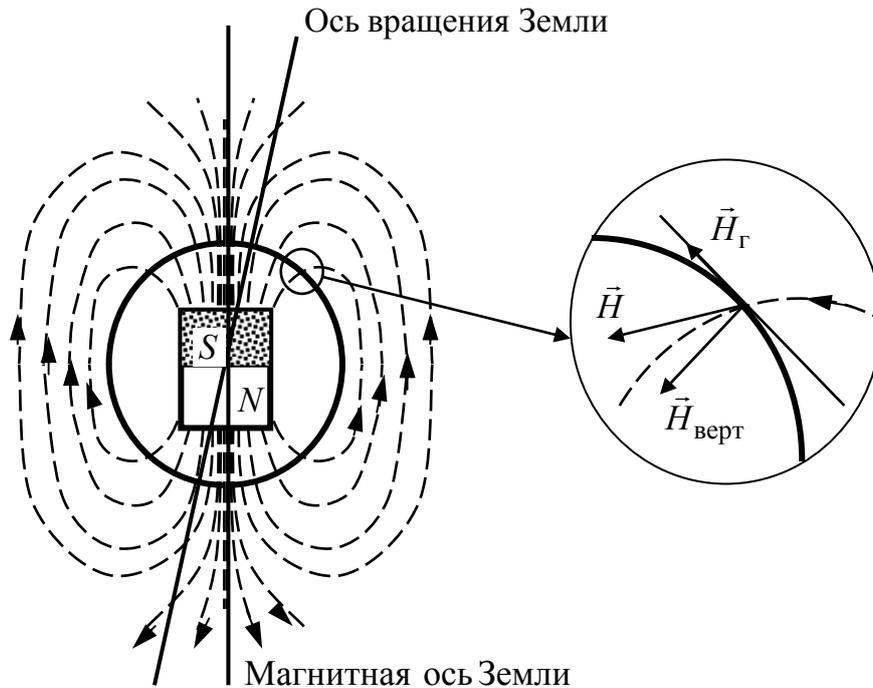


Рис. 3. Магнитное поле Земли

Северный полюс N прямого магнита близок к Южному геофизическому полюсу Земли, а Южный S – к ее Северному полюсу. Магнитные полюса Земли отстоят от ближайших геофизических полюсов примерно на 800 км, а магнитная ось Земли составляет с ее осью вращения угол 11,5 град.

Как видно из рис. 3, линии напряженности магнитного поля наклонены под различными углами к поверхности Земли в зависимости от широты места. Поэтому проекция вектора напряженности на поверхность Земли H_{Γ} будет различной. Она может изменяться от 0 до 12,5 А/м, а для широты Санкт-Петербурга горизонтальная составляющая $H_{\Gamma} = 12,3$ А/м.

Стрелка компаса устанавливается по направлению горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли и своим северным концом N указывает на магнитный полюс.

Данное свойство магнитной стрелки используется для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли с помощью колец Гельмгольца.

Конструкция устройства показана на рис. 2. На массивном основании размещена поворотная площадка, на которой параллельно друг другу закреплены два одинаковых кольца, расстояние между которыми равно радиусу колец. На каждом кольце намотано определенное количество витков провода. Когда по катушкам пропускают постоянный ток, в пространстве между кольцами создается однородное магнитное поле, направленное вдоль оси колец. Между кольцами помещен компас, который показывает направление результирующего магнитного поля, действующего в пространстве между кольцами. Шкала компаса установлена так, что когда стрелка компаса стоит на нуле, горизонтальная составляющая $\vec{H}_Г$ напряженности магнитного поля Земли направлена параллельно плоскости колец (рис. 4, а)

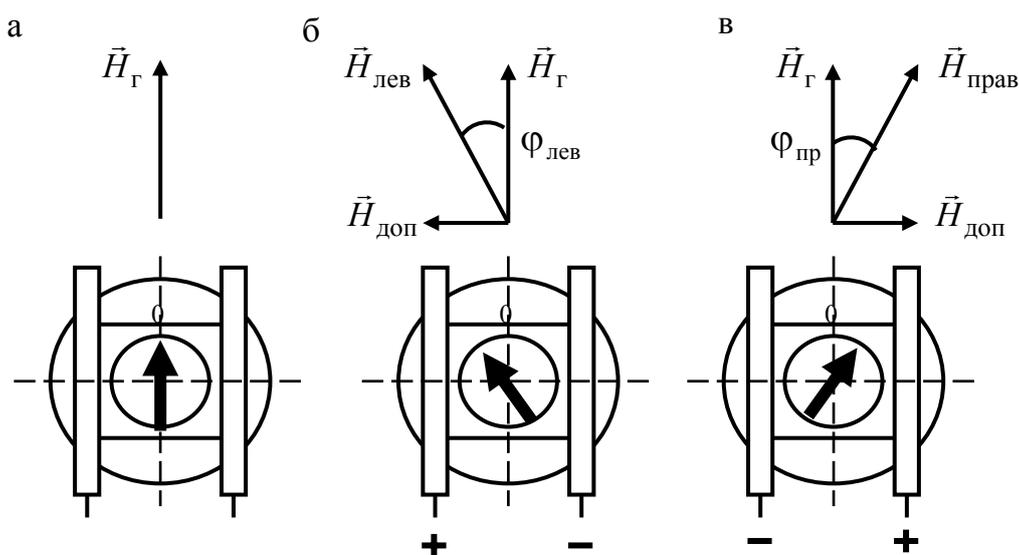


Рис. 4. Влияние поля колец на поворот стрелки компаса:
 а – поле колец направлено влево; б – в кольцах поле отсутствует;
 в – поле колец направлено вправо

При прохождении постоянного тока по обмоткам колец возникает дополнительное магнитное поле $\vec{H}_{доп}$, перпендикулярное полю Земли $\vec{H}_Г$, и стрелка компаса поворачивается на угол $\varphi_{лев}$ по направлению результирующего поля $\vec{H}_{лев}$ (рис. 4, б).

Измерив угол отклонения стрелки от первоначального положения и зная величину дополнительного поля $H_{\text{доп}}$, можно найти горизонтальную составляющую магнитного поля Земли.

Для исключения некоторых систематических погрешностей измерения проводятся при двух противоположных направлениях дополнительного магнитного поля (рис. 4, б, в). В расчетах используют угол отклонения, равный среднему арифметическому двух углов:

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{(\varphi_{\text{лев}} + \varphi_{\text{пр}})}{2}.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовка стенда к работе

1. Проверить, чтобы перечисленные ниже кнопки и ручки блока питания, не используемые в данной работе, находились в указанных ниже положениях (см. рис. 1):

- множитель частоты ($10 \dots 10^2$);
- аттенюатор (5V);
- нагрузка (АТТ);
- магазин сопротивлений (0000 Ом).

2. Кнопка, расположенная на приборном блоке рядом с миллиамперметром A_1 , должна быть отжата (иначе прибор будет включен в цепь неправильно).

3. Кнопка № 8 на приборном блоке должна быть отжата.

4. Без усилий повернуть ручку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора, чтобы при включении в сеть и прогреве прибора напряжение источника тока в цепи оставалось нулевым. Только после этого можно безопасно выполнить последующие пункты 5 и 6.

5. Повернуть площадку с кольцами так, чтобы стрелка компаса установилась на нулевое деление шкалы.

6. На блоке питания включить тумблер “Сеть”.

7. На приборном блоке нажать кнопку “Вкл”.

Выполнение измерений

1. Плавно поворачивая ручку “Регулировка выхода” по часовой стрелке, установить по миллиамперметру ток 20 мА. Стрелка компаса отклонится от первоначального положения на угол $\varphi_{\text{лев}}$ и установится по направлению результирующего магнитного поля.

2. Записать в табл. 2 показания миллиамперметра и значение угла $\varphi_{\text{лев}}$.

3. Изменить направление тока в кольцах, нажав кнопку № 8. Стрелка компаса отклонится от первоначального положения в другую сторону на угол $\varphi_{\text{пр}}$ и установится по направлению результирующего магнитного поля.

4. Записать в таблицу значение угла $\varphi_{\text{пр}}$.

5. Провести измерения с токами 40; 60; 80; 100 мА. При каждом значении тока записывать в табл. 2 показания миллиамперметра и значения двух углов.

Таблица 2

I	$\varphi_{\text{лев}}$	$\varphi_{\text{пр}}$	$\varphi_{\text{ср}}$	H_{Γ}
мА	град	град	град	А/м
20				
40				
60				
80				
100				

Внимание! Результаты измерений надо подписать у преподавателя, ведущего занятие в лаборатории. (Без подписи преподавателя работа не принимается.)

6. По окончании измерений выключить стенд. Для этого:

- отжать кнопку № 8;
- плавно повернуть ручку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора;
- на блоке питания выключить тумблер “Сеть”;
- на приборном блоке отжать кнопку “Вкл”.

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать средний угол для каждого значения силы тока и записать в табл. 2.

2. Рассчитать горизонтальную составляющую магнитного поля Земли для каждого значения силы тока по следующей формуле:

$$H_{\Gamma} = H_{\text{доп}} \frac{1}{\text{tg } \varphi_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где $H_{\text{доп}}$ – дополнительное магнитное поле, создаваемое кольцами Гельмгольца,

$$H_{\text{доп}} = 0,716 \frac{IN}{R}, \quad (2)$$

здесь R – радиус кольца, $R = 7,5$ см; N – число витков провода на каждом из колец, $N = 20$.

Результаты расчетов записать в табл. 2.

3. Найти среднее арифметическое значение $H_{\Gamma\text{ср}}$ всех пяти измерений.

4. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измеренного среднего значения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Так как измерения проводились при различных токах, то можно считать, что эти измерения сделаны при невоспроизводимых условиях. В этом случае погрешности следует рассчитывать как погрешности прямых многократных измерений в соответствии с рекомендациями методических указаний [3].

Абсолютная погрешность горизонтальной составляющей

$$\Delta_{H_{\Gamma}} = t_{\alpha n} S_{H_{\Gamma}},$$

где $t_{\alpha n}$ – коэффициент Стьюдента; n – число измерений; $S_{H_{\Gamma}}$ – среднеквадратическое отклонение.

Коэффициент Стьюдента $t_{\alpha n}$ для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ выбрать из табл. 3.

Таблица 3

Число измерений n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{\alpha n}$	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26

Среднеквадратическое отклонение рассчитать по формуле

$$S_{H_{\Gamma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{\Gamma \text{ ср}} - H_{\Gamma i})^2}{n(n-1)}}.$$

Относительную погрешность в процентах рассчитать по формуле

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta H}{H_{\Gamma \text{ ср}}} 100.$$

5. Записать результат измерения горизонтальной составляющей поля Земли в виде (см. прил. 4)

$$H_{\Gamma} = (\dots \pm \dots) \text{ А/м}; \quad \varepsilon_H = \dots \%; \quad \alpha = 0,95.$$

Результатом работы являются:

1. Значение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли с указанием погрешности измерений.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Заполненные таблицы 1, 2.
2. Рисунок 4.
3. Расчет горизонтальной составляющей магнитного поля Земли с подробным расчетом погрешностей измерения.
4. Результат работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется на двойном листе (или, при необходимости, нескольких листах) из тетради в клетку. Он должен содержать результаты измерений, подписанные преподавателем, проводившим занятие в лаборатории.

Рекомендуемое расположение материалов в отчете и правила представления результатов измерений смотрите в прил. 1 и 4.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как, пользуясь магнитной стрелкой, можно определить направление постоянного тока в проводнике?
2. Чему равен и как направлен магнитный момент рамки с током?
3. Что показывают линии магнитной индукции поля? Нарисуйте и покажите, как ориентированы линии магнитной индукции поля постоянного прямого тока, соленоида, прямого магнита.
4. Что такое принцип суперпозиции магнитных полей?
Литература: [1, § 39, 40]; [2, § 109].
5. Записав закон Био–Савара–Лапласа, объясните его физический смысл, изобразите взаимное направление векторов, входящих в этот закон.
6. Применяя закон Био–Савара–Лапласа, выведите формулу для магнитного поля в центре кругового тока.
Литература: [1, § 42]; [2, § 110].
7. Выведите формулу для магнитного поля в точке, расположенной на высоте h над центром кругового тока радиусом r . Используя эту формулу, получите значение коэффициента 0,716 в соотношении (2).
Литература: [1, § 42]; [2, § 110].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики. В 3 тт. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 13-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 500 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91065>
2. **Трофимова Т.И.** Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 542 с.
3. **Курепин В.В., Баранов И.В.** Обработка экспериментальных данных: Учеб.-метод. пособие – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Измерить удельный заряд электрона методом магнетрона.
На выполнение работы отводится два учебных часа.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа выполняется на универсальном стенде (рис. 1).

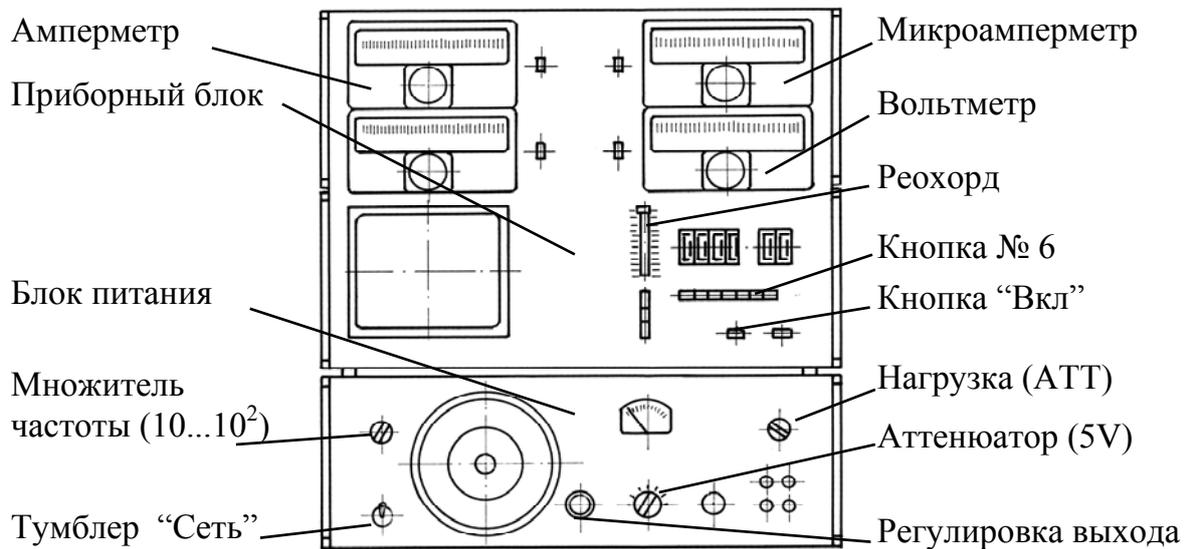


Рис. 1. Универсальный стенд

Стенд состоит из блока питания и приборного блока. В качестве блока питания используется генератор низкочастотных колебаний ГЗ-109. В приборном блоке смонтированы электроизмерительные приборы, магазины сопротивлений и емкостей, реохорд и система кнопочных переключателей, позволяющих нужным образом соединять электрические элементы схемы и измерительные приборы при выполнении конкретных лабораторных работ. В данной работе используются амперметр A_1 , микроамперметр A_2 , вольтметр V и реохорд.

Измерение удельного заряда электрона проводится с помощью устройства, основанного на эффекте магнетрона, которое выполнено в виде выносного модуля и расположено на крышке приборного блока.

Характеристики средств измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность $\Delta_{и}$
Амперметр A_1	2 А	0,02 А/дел.	*	–
Микроамперметр A_2	100 мкА	1 мкА/дел.	*	–
Вольтметр V	5 В	0,05 В/дел.	*	–
Реохорд	60 мм	1 мм/дел.	–	1 мм

* Указан на шкале прибора.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Удельным зарядом частицы называется отношение электрического заряда частицы к ее массе. “Табличное” значение удельного заряда электрона $e/m = (1,75890 \pm 0,00002)10^{11}$ Кл/кг.

Применяемый в работе метод называется методом магнетрона, так как направления электрического и магнитного полей и траектория электрона, аналогичны наблюдаемым в магнетроне. Магнетрон – это вакуумная двухэлектродная лампа, в которой электроны движутся в постоянных, взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. Приборы магнетронного типа используются для генерирования и усиления колебаний СВЧ диапазона (300 МГц – 300 ГГц). Магнетрон применяется в бытовых микроволновых печах (СВЧ печах) на кухне.

В данной работе магнетроном служит вакуумный диод цилиндрической конструкции, помещённый в соленоид. Катод и анод имеют форму цилиндра и расположены коаксиально (т. е. на одной оси). Катод находится внутри анода. Электрическое поле направлено по радиусу от анода к катоду (рис. 2). Соленоид, внутри которого помещён вакуумный диод, создаёт магнитное поле. Ось диода и ось соленоида совпадают, поэтому магнитное поле направлено по оси диода (см. рис. 2), то есть перпендикулярно направлению электрического поля.

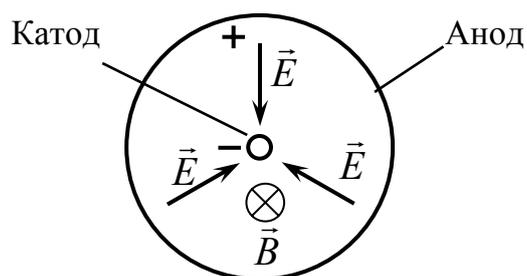


Рис. 2. Электрическое и магнитное поля в цилиндрическом магнетроне

Траектории электронов в различных по величине магнитных полях показаны на рис. 3. При отсутствии магнитного поля электроны движутся от катода к аноду по прямой. В магнитном поле под действием магнитной составляющей силы Лоренца траектории искривляются. Эти траектории приближенно можно считать окружностями или дугами окружности.

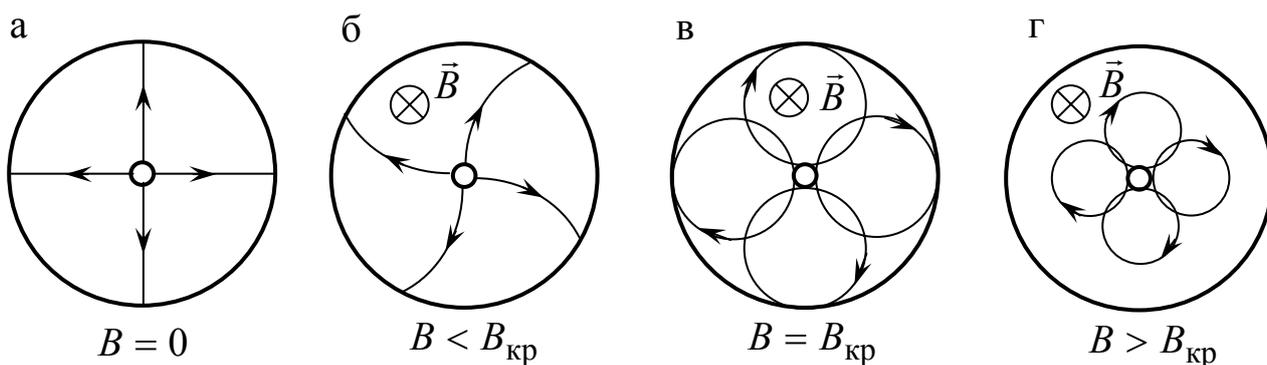


Рис. 3. Траектории электрона:
 а – магнитное поле отсутствует; б – магнитное поле меньше критического;
 в – магнитное поле равно критическому; г – магнитное поле больше критического

При определенной величине магнитного поля электроны не попадают на анод, так как удвоенный радиус кривизны траектории (диаметр окружности) станет меньше расстояния между катодом и анодом. Магнитное поле, при котором траектория только лишь касается анода, назовем критическим (рис. 3, в).

В данной лабораторной работе магнитное поле создается с помощью соленоида. Электрический ток соленоида, при котором создается критическое магнитное поле, назовем критическим током соленоида.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовка стенда к работе

1. Проверить, чтобы перечисленные ниже кнопки и ручки блока питания, не используемые в данной работе, находились в указанных положениях (см. рис. 1):

- множитель частоты ($10 \dots 10^2$);
- аттенюатор (5V);
- нагрузка (АТТ).

2. Кнопка № 6 на приборном блоке должна быть нажата.

3. Кнопки, расположенные на приборном блоке рядом с измерительными приборами A_1 , A_2 , V , должны быть отжаты (иначе приборы окажутся включены в цепи неправильно).

4. Без усилий повернуть ручку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора, чтобы при включении в сеть и прогреве прибора напряжение источника тока в цепи оставалось нулевым. Только после этого можно безопасно выполнить последующие пункты 5 и 6.

5. На блоке питания включить тумблер “Сеть”.

6. На приборном блоке нажать кнопку “Вкл”.

Выполнение измерений

1. Плавно поворачивая рукоятку “Регулировка выхода” по часовой стрелке, установить напряжение 5 В на аноде магнетрона по вольтметру V (предел измерения вольтметра см. в табл.1). **Во время работы рукоятку “Регулировка выхода” больше не вращать, чтобы не изменилось напряжение.** Если положение рукоятки «Регулировка выхода» случайно сбилось во время выполнения работы, придётся начать её выполнение с самого начала.

Вольтметр блока питания не использовать!

2. Установить движок реохорда в нижнее положение и измерить анодный ток по микроамперметру A_2 . В этом положении движка реохорда ток через соленоид будет минимальным, а анодный ток будет максимальным.

Внимание! Если максимальный анодный ток превышает 100 мкА, то надо уменьшить напряжение на аноде так, чтобы максимальный анодный ток не превышал 100 мкА. Для этого ручку

“Регулировка выхода” следует плавно повернуть против часовой стрелки.

3. Записать в табл. 2 показания вольтметра, амперметра A_1 , измеряющего ток соленоида $I_{\text{сол}}$, и микроамперметра A_2 , измеряющего анодный ток диода I_a . (Пределы измерения амперметра и микроамперметра см. в табл.1.)

4. Плавно перемещая движок реохорда вверх (увеличивая при этом ток соленоида и индукцию магнитного поля), уменьшить анодный ток на 2...4 мкА.

5. Записать в табл. 2 ток соленоида $I_{\text{сол}}$ и анодный ток I_a .

Таблица 2

$U_a = \dots \text{В}$	
$I_{\text{сол}}, \text{А}$	$I_a, \text{мкА}$
и т. д.	

Внимание! Результаты измерений нужно подписать у преподавателя, ведущего занятие в лаборатории.

6. Выполнять операции, описанные в пп. 4 и 5 до тех пор, пока движок реохорда не займет крайнее верхнее положение. При проведении первых измерений перемещения движка реохорда в нижней части будут большими, а в верхней части реохорда они станут маленькими. Это связано с нелинейностью регулировки тока соленоида движком реохорда.

7. По окончании измерений выключить стенд. Для этого:

- движок реохорда установить в нижнее положение;
- плавно повернуть ручку “Регулировка выхода” против часовой стрелки до упора, чтобы при следующем включении напряжение оказалось нулевым (иначе прибор может выйти из строя);
- на блоке питания выключить тумблер “Сеть”;
- на приборном блоке отжать кнопку “Вкл”.

Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости тока анода от тока соленоида $I_a = f(I_{\text{сол}})$. График должен иметь вид, аналогичный графику, показанному на рис. 4.

2. По графику найти критический ток соленоида $I_{\text{сол.кр}}$, который соответствует точке перегиба кривой.

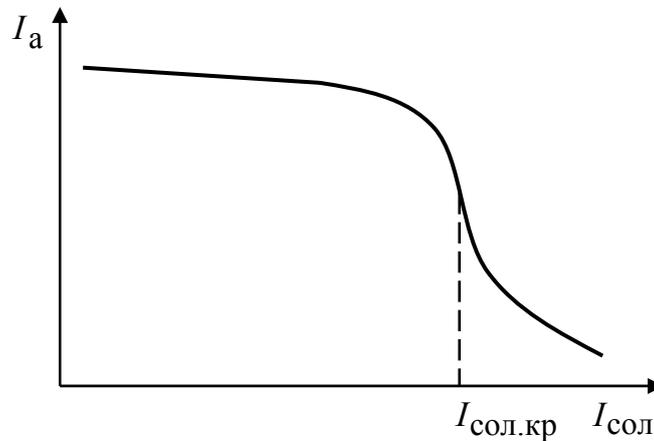


Рис. 4. График зависимости тока анода I_a от тока соленоида $I_{\text{сол}}$

3. Рассчитать удельный заряд электрона по формуле

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{\mu_0^2 n^2 I_{\text{сол.кр}}^2} C,$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; n – число витков на единице длины соленоида, $n = 7840 \text{ м}^{-1}$; C – постоянная, зависящая от радиуса анода и катода, $C = 480 \cdot 10^3 \text{ м}^{-2}$.

4. Определить абсолютное и относительное отклонение измеренного значения удельного заряда от “справочного” значения, указанного на с. 21.

Абсолютное отклонение

$$\Delta_{\frac{e}{m}} = \left(\frac{e}{m} \right)_{\text{изм}} - \left(\frac{e}{m} \right)_{\text{табл}}.$$

Относительное отклонение в процентах

$$\varepsilon_{e/m} = \frac{\Delta_{e/m}}{\left(\frac{e}{m} \right)_{\text{табл}}} 100.$$

Результатом работы являются:

1. График зависимости $I_a = f(I_{\text{сол}})$ на миллиметровой бумаге.
2. Значение критического тока соленоида $I_{\text{сол.кр}}$.
3. Значение удельного заряда электрона.
4. Значения абсолютного и относительного отклонения измеренного значения удельного заряда электрона от “справочного” значения.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Заполненные таблицы 1, 2.
2. График зависимости тока анода от тока соленоида $I_a = f(I_{\text{сол}})$ на миллиметровой бумаге.
3. Значение критического тока соленоида $I_{\text{сол.кр}}$, полученное из графика.
4. Расчет удельный заряд электрона.
5. Расчет абсолютного и относительного отклонения измеренного значения удельного заряда электрона от “справочного” значения.
6. Результат работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется на двойном листе (или, при необходимости, нескольких листах) из тетради в клетку. Он должен содержать результаты измерений, подписанные преподавателем, проводившим занятие в лаборатории.

Рекомендуемое расположение материалов в отчете и правила построения графиков смотрите в прил. 1 и 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит экспериментальная установка?
2. Что такое критическое поле в магнетроне? Как определить критическое значение тока соленоида?
3. Сила Лоренца. Как определить направление силы Лоренца с помощью правила правого винта (правила буравчика) для векторного произведения?

4. Формула Лоренца. Как определяется направление силы, действующей на движущуюся заряженную частицу во взаимно перпендикулярных электрических и магнитных полях?

Литература: [1, § 43]; [2, § 114].

5. Выведите формулы для радиуса кривизны траектории и периода обращения заряженной частицы, движущейся в поперечном однородном магнитном поле.

6. Чему равен шаг винтовой линии при движении заряженной частицы под углом к магнитным силовым линиям?

Литература: [2, § 115, 116].

7. Что такое удельный заряд частицы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики. В 3 тт. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 13-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 500 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91065>

2. **Трофимова Т.И.** Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 542 с.

3. **Курепин В.В., Баранов И.В.** Обработка экспериментальных данных: Учеб.-метод. пособие – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012.

ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ

Графики необходимы для наглядного представления экспериментальных и расчетных данных.

Графики должны легко читаться и быть понятными. Заголовки, поясняющие надписи, числовые значения рекомендуется выполнять шрифтом высотой не менее 4 мм. Графики выполняют карандашом на бумаге с координатной миллиметровой сеткой (миллиметровая бумага) форматом не менее чем А5. Готовые графики вкладываются в отчет по лабораторной работе.

Координатная сетка

В простейшей двумерной прямоугольной системе координат независимую переменную (аргумент функции) принято откладывать на горизонтальной оси (оси абсцисс), а зависимую переменную (функцию) – на вертикальной оси (оси ординат).

На координатных осях должны быть указаны: обозначения откладываемых величин, единицы их измерения, шкала числовых значений величин.

Оси координат могут быть со шкалами и без шкал. В обоих случаях оси координат рекомендуется заканчивать стрелками. Оси координат, следует выполнять сплошной линией толщиной 0,8 до 1,0 мм.

Масштабы

Масштаб изображения может быть как линейным, так и неллинейным (например, логарифмическим).

Масштаб изображения может быть разным для каждой оси, например: по одной оси 1; 2; 3; 4; 5; ..., а по другой – 5; 10; 15; 20; или по одной оси линейный, а по другой – логарифмический. В некоторых случаях масштабы положительного и отрицательного направлений оси могут быть разными.

Масштаб выбирают таким образом, чтобы:

- а)* график занимал максимально возможную площадь чертежа;
- б)* линия графика была равномерно растянута вдоль обеих осей (если график представляет собой прямую, то рекомендуется, чтобы угол ее наклона к осям не сильно отличался от $\pm 45^\circ$);

в) координаты любой точки можно было определить легко и быстро по шкалам на осях.

Масштаб является удобным для чтения графика, если в одном сантиметре содержится одна единица величины (или две, пять, десять, двадцать, пятьдесят и т. д.). Примеры шкал: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; ..., или 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,10, ..., или 1; 2; 3; 4; 5; ..., или 2; 4; 6; 8; 10, ..., или 5; 10; 15; 20; ...

Масштаб, при котором чтение графика затруднено, считается неприемлемым.

Следует избегать неудобного, (к сожалению, нередко используемого начинающими обучение студентами) масштаба: три сантиметра на единицу величины или в одном сантиметре три единицы (например, 1; 3; 6; 9; ...). Такой неудачный выбор привёл бы к крайне неудобному чтению координат точек на оси.

Шкалы

Шкалы имеют основные и промежуточные деления. На миллиметровой бумаге основные деления должны совпадать с толстыми линиями.

Основные деления снабжают числами. Частоту нанесения числовых значений делений шкал следует выбирать с учетом удобства определения координат. Числа у шкал следует размещать вне поля графика и располагать горизонтально, наносить равномерно по всей оси и без пропусков.

Начало координат, если это не оговорено особо, может не совпадать с нулевыми значениями шкалы. Его выбирают таким образом, чтобы график занимал максимально возможную площадь чертежа.

Обозначение величин

Нанесение единиц измерения

Обозначения величин следует размещать в конце шкалы вместе с единицей измерения через запятую, например: p , Па; T , К; t , °С; h , м.

Множитель 10^n (n – целое число) предпочтительно располагается рядом с единицей измерения, например: p , 10^6 Па; или p , МПа; h , 10^{-3} м; или h , мм.

Изображение точек

Точки на графике, полученные путем измерений или расчетов должны изображаться четко и крупно: в виде крестиков треугольников, ромбиков и т. п. (размер символа должен быть в 2–3 раза больше толщины линии). Рекомендуется использовать следующие символы: \times , $+$, Δ , \blacktriangle , \diamond , \blacklozenge , \square , \blacksquare , \circ , \bullet и т.п. Если на одном графике построено несколько зависимостей, то для разных зависимостей следует использовать различные символы.

При построении теоретической линии на графике не показывают точки, через которые проводят линию.

Координаты точек, полученных путем измерений или расчетов, на осях не указывают. Пунктирные линии, определяющие координаты таких точек, не проводят.

Линии

Линия графика должна быть плавной. При выборе формы усредняющей кривой для каждого графика следует руководствоваться следующими правилами. Если известно теоретическое уравнение, описывающее эту зависимость, то нужно построить кривую, соответствующую этому уравнению. Если теоретическое уравнение неизвестно, то проводят наиболее простую и плавную линию (прямую или кривую), проходящую через массив экспериментальных точек, усредняя их разброс.

Линию следует проводить так, чтобы количество точек по обе стороны от нее было приблизительно одинаковым и как можно ближе к точкам, но, не обязательно пересекая их. Не следует соединять точки ломаной линией.

При проведении линии следует заранее выяснить: должна ли она, согласно теории, проходить через какую-либо конкретную точку, например через начало координат (0; 0).

Пример. Пусть требуется построить график зависимости пути S от времени t при равномерном движении тела. Экспериментальные данные приведены в табл. П.1.

Таблица П.1

$t, \text{с}$	10	12	14	15	16	18	19	22
$S, \text{м}$	20	23	30	31	34	34	38	43

На рис. П.1 показан график $S(t)$ с наиболее типичными ошибками.

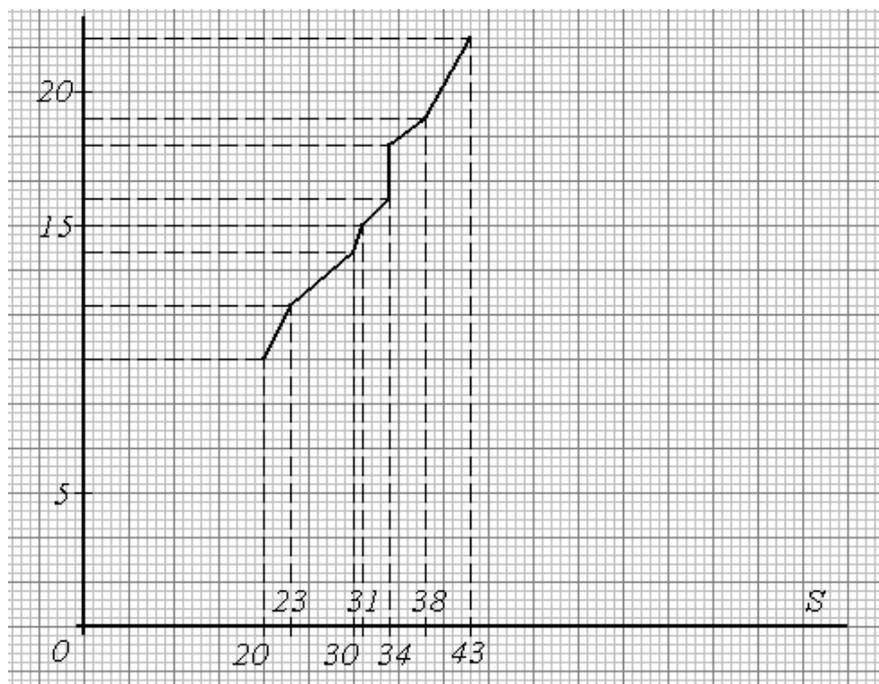


Рис. П.1

При построении графика сделаны следующие ошибки:

– неправильно выбраны направления осей координат. Время t является независимой переменной (аргументом) и должно быть отложено по оси абсцисс (горизонтальной), а путь S является зависимой переменной (функцией) и должен быть отложен по оси ординат (вертикальной);

– на оси ординат не указана отложенная величина (время t) и единицы ее измерения (с);

– на оси абсцисс не указана единица измерения пути S , м;

– некоторые числовые значения шкалы расположены на поле графика;

– масштабные деления на оси времени нанесены неравномерно. Если есть деления 0 и 5, то следующим должно быть 10 и т. д.;

– площадь чертежа использована не полностью. Поскольку из условия примера не следует, что оси координат должны начинаться с нулевых значений, то начало координат можно сместить и за счет этого увеличить масштаб графика;

- график сжат по оси абсцисс из-за двух ошибок: неправильно выбранного начала координат и неудачного (слишком мелкого) масштаба;
- выбран крайне неудобный масштаб по оси времени, поэтому чтение графика затруднено;
- не выделены символами экспериментальные точки;
- на оси пути нет масштабных делений;
- на оси пути нанесены координаты экспериментальных точек;
- проведены лишние пунктирные линии;
- неправильно соединены экспериментальные точки: зависимость пути от времени при равномерном движении заведомо линейна, и график должен представлять собой прямую линию, а не ломаную.

Правильно оформленный график представлен на рис. П.2.

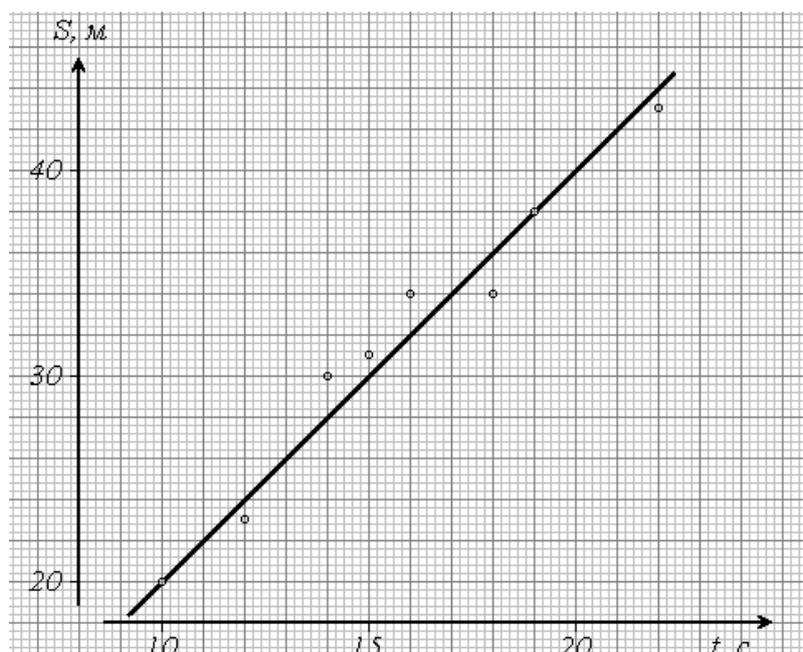


Рис. П.2

Допускается выполнение графиков с помощью компьютерных программ (например, Excel), но и в этом случае графики должны соответствовать всем изложенным здесь требованиям (в частности, иметь мелкую координатную, например, миллиметровую сетку). Чтобы мелкая сетка не мешала восприятию экспериментальных точек на графике и точному определению их координат, сетку можно задать в виде тонких штриховых линий в серых полутонах, соответствующих промежуточным делениям шкалы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАКЛОНА ПРЯМОЙ НА ГРАФИКЕ

Во многих случаях необходимо определить по графику наклон прямой, который равен коэффициенту a в уравнении линейной зависимости

$$y = a x + b.$$

Для этого нужно выбрать две точки на прямой, отстоящие достаточно далеко друг от друга и определить их координаты (x_1, y_1) и (x_2, y_2) . Тогда коэффициент a вычисляется по формуле:

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Пример. На рисунке П.3 изображена зависимость пройденного пути от времени.

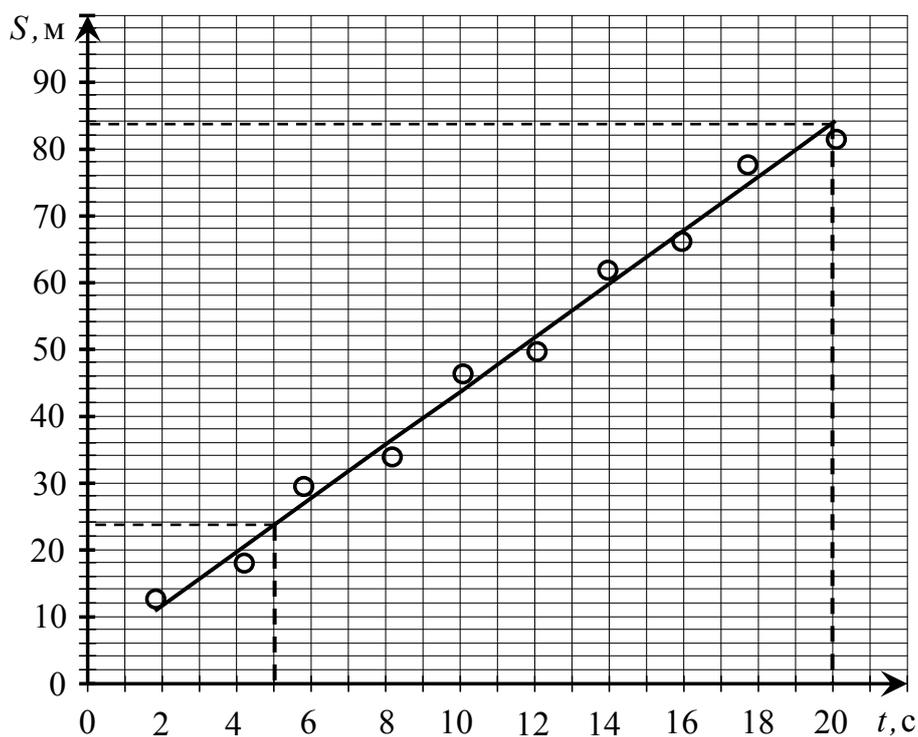


Рис. П.3

Наклон прямой на этом графике получается так:

$$v_{\text{ср}} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{83,3 - 25,4}{20 - 5} = \frac{57,9}{15} \approx 3,86 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Выбирать точки на прямой удобнее всего так, чтобы знаменатель (разность $x_2 - x_1$) принимал значение, позволяющее результат деления легко вычислить устно, чтобы избежать возможной ошибки расчёта.

Например, на рисунке П.3 можно было бы выбрать вторую точку $t_2 = 15$ с вместо $t_2 = 20$ с. Она находится еще достаточно далеко от первой точки, но знаменатель дроби будет равен 10 с, и это существенно облегчает деление.

$$v_{\text{ср}} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{64,0 - 25,4}{15 - 5} = \frac{38,6}{10} \approx 3,86 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Всякое число состоит из цифр, определяющих количество единиц в различных разрядах числа. Например, в числе 1726,34 имеется шесть цифр. Число содержит 1 тысячу, 7 сотен, 2 десятка, 6 единиц, 3 десятых, 4 сотых. Старший разряд в числе – тысячи (1 тысяча), младший – сотые (4 сотых).

Цифры в числе могут быть значащими и незначащими. *Значащими цифрами числа являются все цифры данного числа, кроме нулей, стоящих слева.* Нули, стоящие в середине или в конце числа (справа) являются значащими цифрами, так как обозначают отсутствие единиц в соответствующем разряде. При этом цифры множителя 10^n не учитываются. Примеры определения количества значащих цифр в числах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Примеры определения количества значащих цифр

Число	Количество значащих цифр
12	2
12,0	3
12,4	3
120	3
124	3
1,24·10⁻³	3
0,1240	4
0,1046	4
0,526·10⁶	3
0,206·10⁻³	3
0,200·10⁻³	3
0,020·10⁻³	2

В процессе измерений получают значение величины \bar{x} , его абсолютную Δ_x и относительную ε_x погрешности. Математический анализ показывает, что изложенные в данном пособии методы обработки результатов дают значение погрешности с ошибкой 30 %. Поэтому, чтобы не создавать ложного впечатления о точности прове-

денных измерений, в погрешностях Δ_x и ϵ_x следует ограничивать число значащих цифр.

Погрешности измерения должны содержать не более двух (т. е. одну или две) значащих цифр. Для этого надо использовать следующие правила и порядок ограничения числа значащих цифр.

1. Если первая значащая цифра в абсолютной погрешности Δ_x **1, 2, 3**, то в погрешности оставляем две значащие цифры. Если первая значащая цифра в погрешности **4, 5, 6, 7, 8, 9**, то в погрешности оставляем одну значащую цифру (табл. 2).

2. Измеренное значение \bar{x} должно заканчиваться тем же младшим разрядом, что и абсолютная погрешность Δ_x . Например, если в абсолютной погрешности Δ_x оставлен младший разряд – единицы, то и в измеренном значении должен быть оставлен младший разряд – единицы (табл. 3).

3. В относительной погрешности число значащих цифр ограничиваем по тем же правилам, что и в абсолютной погрешности (см. табл. 2).

При ограничении числа значащих цифр используем операцию округления. Округление числа представляет собой отбрасывание значащих цифр справа после определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда.

Существуют следующие правила округления.

1. Если первая из отбрасываемых цифр меньше чем **5**, то цифра предыдущего разряда не изменяется.

2. Если первая из отбрасываемых цифр больше чем **5**, то цифра предыдущего разряда увеличивается на единицу.

3. Если отбрасываются несколько цифр и первая из отбрасываемых цифр **5**, то цифра предыдущего разряда увеличивается на единицу.

4. Если отбрасывается только одна цифра **5**, а за ней нет цифр, то округление производится до ближайшего четного числа, т. е. цифра предыдущего разряда остается неизменной, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная.

5. Округление следует выполнять сразу до желаемого числа значащих цифр, а не по этапам, что может привести к ошибкам.

Примеры ограничения числа значащих цифр в погрешности и в измеренном значении представлены в табл. 2 и 3.

**Примеры ограничения числа значащих цифр
и округления погрешности**

Пример	Пояснения
$0,154 \approx 0,15$ $1,967 \approx 2,0$ $19,37 \approx 19$ $144,1 \approx 0,14 \cdot 10^3$	Первая значащая цифра погрешности 1 , поэтому оставляем две значащие цифры. Замечание. При необходимости число записывают с множителем 10^n , где n – показатель степени.
$0,394 \approx 0,39$ $3,94 \approx 3,9$	Первая значащая цифра погрешности 3 , поэтому оставляем две значащие цифры.
$0,397 \approx 0,4$ $3,97 \approx 4$	Первая значащая цифра погрешности 3 , поэтому оставляем две значащие цифры, но так как при округлении цифра 3 превращается в цифру 4 , то оставляем только одну значащую цифру.
$0,461 \approx 0,5$ $4,78 \approx 5$ $41,1 \approx 4 \cdot 10$ $4123 \approx 4 \cdot 10^3$	Первая значащая цифра погрешности 4 , поэтому оставляем одну значащую цифру.
$0,917 \approx 0,9$ $9,17 \approx 9$ $91,7 \approx 9 \cdot 10$ $9123 \approx 9 \cdot 10^3$	Первая значащая цифра погрешности 9 , поэтому оставляем одну значащую цифру.
$0,0977 \approx 0,10$ $0,956 \approx 1,0$ $956 \approx 1,0 \cdot 10^3$	Первая значащая цифра погрешности 9 , поэтому оставляем одну значащую цифру, но так как при округлении цифра 9 превращается в число 10 , т. е. первая значащая цифра 1 , то оставляем две значащие цифры.
$2,45 \approx 2,4$ $2,35 \approx 2,4$	Первая значащая цифра погрешности 2 , поэтому оставляем две значащие цифры. Отбрасывается только одна цифра 5 , а за ней нет значащих цифр, поэтому округление производим до ближайшего четного числа.
$2,451 \approx 2,5$ $2,351 \approx 2,4$	Первая значащая цифра погрешности 2 , поэтому оставляем две значащие цифры. Первая из отбрасываемых цифр 5 , но отбрасываются две цифры, поэтому предыдущий разряд числа увеличиваем на единицу.

**Примеры ограничения количества значащих цифр
в измеренном значении и его погрешности**

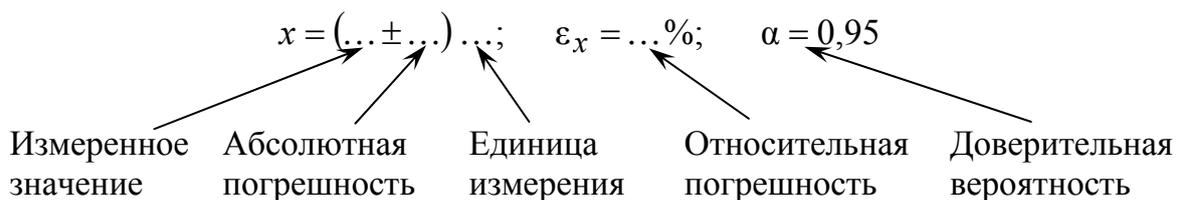
Пример	Пояснения
$43,234 \pm 0,0417 \approx 43,23 \pm 0,04$ $32,3754 \pm 0,0917 \approx 32,38 \pm 0,09$	<p>В погрешности оставляем одну значащую цифру, младший разряд – сотые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – сотые.</p>
$4,3234 \pm 0,0397 \approx 4,32 \pm 0,04$ $43,2364 \pm 0,0522 \approx 43,24 \pm 0,05$ $432,37 \pm 0,0917 \approx 432,37 \pm 0,09$	<p>В погрешности оставляем одну значащую цифру, младший разряд – сотые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – сотые.</p>
$432,37 \pm 0,956 \approx 432,4 \pm 1,0$ $432,3477 \pm 2,45 \approx 432,3 \pm 2,4$ $432,134 \pm 2,86 \approx 432,1 \pm 2,9$ $43,234 \pm 3,94 \approx 43,2 \pm 3,9$	<p>В погрешности оставляем две значащие цифры, последний разряд – десятые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – десятые.</p>
$43,234 \pm 0,297 \approx 43,2 \pm 3,0$ $432,345 \pm 1,441 \approx 432,34 \pm 1,4$	<p>В погрешности оставляем две значащие цифры, младший разряд – десятые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – десятые.</p>
$43,234 \pm 3,97 \approx 43 \pm 4$ $432,364 \pm 5,55 \approx 432 \pm 6$ $432,34 \pm 39,4 \approx 432 \pm 39$ $432,34 \pm 19,37 \approx 432 \pm 19$	<p>В погрешности оставляем одну значащую цифру, младший разряд – единицы.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – единицы.</p>
$432,34 \pm 49,1 \approx (43 \pm 5) 10$ $426,34 \pm 41,1 \approx (43 \pm 4) 10$	<p>В погрешности оставляем одну значащую цифру. Так как за скобки выносим общий множитель 10, то младший разряд – единицы.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – единицы.</p>

Пример	Пояснения
$432,34 \pm 39,7 \approx (4,3 \pm 0,4) 10^2$ $437,34 \pm 59,7 \approx (4,4 \pm 0,6) 10^2$	<p>В погрешности оставляем одну значащую цифру. Так как за скобки выносим общий множитель 10^2, то младший разряд – десятые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – десятые.</p>
$4326,4 \pm 211 \approx (4,33 \pm 0,21) 10^3$ $4323,4 \pm 219 \approx (4,32 \pm 0,22) 10^3$	<p>В погрешности оставляем две значащие цифры. Так как за скобки выносим общий множитель 10^3, то младший разряд – сотые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – сотые.</p>
$0,0004623 \pm 0,00017 \approx$ $\approx (4,6 \pm 1,7) 10^{-4}$	<p>В погрешности оставляем две значащие цифры. Так как за скобки выносим общий множитель 10^{-4}, то младший разряд – десятые.</p> <p>В измеренном значении оставляем также младший разряд – десятые.</p>

Если табличные или экспериментальные данные приводятся без указания погрешности, то обычно считается, что эта погрешность составляет $\pm 0,5$ последней значащей цифры.

ФОРМА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Результат измерений записать в виде



СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1

Единицы СИ

Физическая величина	Единица измерения		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
<i>Основные единицы</i>			
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Температура	кельвин	К	K
Сила электрического тока	ампер	А	A
Количество вещества	моль	моль	mol
Сила света	кандела	кд	cd
<i>Дополнительные единицы</i>			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
<i>Производные единицы</i>			
Период	секунда	с	s
Частота периодического процесса	герц	Гц	Hz
Частота вращения	секунда в минус первой степени	с ⁻¹	s ⁻¹
Волновое число	метр в минус первой степени	м ⁻¹	m ⁻¹
Коэффициент затухания	секунда в минус первой степени	с ⁻¹	s ⁻¹
Коэффициент ослабления	метр в минус первой степени	м ⁻¹	m ⁻¹
Сила	ньютон	Н	N
Энергия	джоуль	Дж	J
Работа	джоуль	Дж	J

Продолжение табл. 1

Физическая величина	Единица измерения		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
Мощность	ватт	Вт	W
Электрический заряд	кулон	Кл	C
Линейная плотность электрического заряда	кулон на метр	Кл/м	C/m
Поверхностная плотность электрического заряда	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	C/m ²
Объёмная плотность электрического заряда	кулон на кубический метр	Кл/м ³	C/m ³
Напряжённость электрического поля	вольт на метр	В/м	V/m
Потенциал электрического поля	вольт	В	V
Электрическое смещение	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	C/m ²
Поток смещения	кулон	Кл	C
Электрический момент диполя	кулон-метр	Кл·м	C·m
Поляризованность	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	C/m ²
Электрическая ёмкость	фарад	Ф	F
Напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	V
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω
Удельное электрическое сопротивление	ом-метр	Ом·м	Ω·m
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Удельная электрическая проводимость	сименс на метр	См/м	S/m
Плотность тока	ампер на квадратный метр	А/м ²	A/m ²

Физическая величина	Единица измерения		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
Индукция магнитного поля	тесла	Тл	Т
Напряжённость магнитного поля	ампер на метр	А/м	А/м
Магнитный поток	вебер	Вб	Wb
Магнитный момент контура с током	ампер-квадратный метр	А·м ²	А·м ²
Намагниченность	ампер на метр	А/м	А/м
Индуктивность	генри	Гн	Н

ДЕСЯТИЧНЫЕ КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ

Таблица 2

Десятичные кратные приставки и множители

Приставка			Множитель	Пример
Наименование	Обозначение			
	русское	международное		
экса	Э	E	10^{18}	1 Эм = 10^{18} м
пета	П	P	10^{15}	1 Пм = 10^{15} м
тера	Т	T	10^{12}	1 Тм = 10^{12} м
гига	Г	G	10^9	1 Гм = 10^9 м
мега	М	M	10^6	1 Мм = 10^6 м
кило	к	k	10^3	1 км = 10^3 м
гекто	г	h	10^2	1 гм = 10^2 м
дека	да	da	10^1	1 дам = 10^1 м

Таблица 3

Десятичные дольные приставки и множители

Приставка			Множитель	Пример
Наименование	Обозначение			
	русское	международное		
деци	д	d	10^{-1}	1 дм = 10^{-1} м
сантиметры	с	с	10^{-2}	1 см = 10^{-2} м
милли	м	m	10^{-3}	1 мм = 10^{-3} м
микро	мк	μ	10^{-6}	1 мкм = 10^{-6} м
нано	н	n	10^{-9}	1 нм = 10^{-9} м
пико	п	p	10^{-12}	1 пм = 10^{-12} м
фемто	ф	f	10^{-15}	1 фм = 10^{-15} м

Правила образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

1. Приставку или её обозначение следует писать слитно с наименованием единицы, к которой она присоединяется, или с её обозначением.

2. Присоединение двух и более приставок подряд не допускается.

Правильно:

мегапаскаль

МПа

микрометр

мкм

нанофарад

нФ

Неправильно:

килокилопаскаль

ккПа

миллимиллиметр

ммм

миллимикрофарад

ммкФ

3. Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставку или ее обозначение присоединяют к наименованию или обозначению первой единицы, входящей в произведение или в отношение.

Правильно:	Неправильно:
килопаскаль-секунда на метр	паскаль-килосекунда на метр
$\frac{\text{кПа} \cdot \text{с}}{\text{м}}$	$\frac{\text{Па} \cdot \text{кс}}{\text{м}}$
килоньютон на метр	ньютон на миллиметр
$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$\frac{\text{Н}}{\text{мм}}$

Присоединять приставку ко второму множителю произведения или к знаменателю допускается лишь в обоснованных случаях, когда такие единицы широко распространены и переход к единицам, образованным по правилу, связан с трудностями, например: тонна-километр (т·км), вольт на сантиметр (В/см), ампер на квадратный миллиметр (А/мм²).

Рекомендации по выбору десятичных кратных и дольных единиц СИ

Выбор десятичной кратной или дольной единицы СИ определяется удобством ее применения.

Кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне от 0,1 до 1000.

Для уменьшения вероятности ошибок при расчётах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10, т. е. множителями 10^n .

В десятичных единицах СИ нет множителей 10^{-4} , 10^4 , 10^{-5} , 10^5 , 10^{-7} , 10^7 и т. п. Поэтому следует применять только те множители, которые приведены в табл. 1, 2.

В десятичных единицах СИ множители 10^{-2} , 10^{-1} , 10^1 , 10^2 используются очень редко, только в виде исключения, поэтому не следует их применять.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Таблица 4

Основные физические постоянные (округленные значения)

Величина	Обозначение	Значение величины
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м ² /кг ²
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
	\hbar	$1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Элементарный электрический заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Комптоновская длина волны электрона	Λ_K	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Число Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Стефана–Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² · К ⁴)
Боровский радиус	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6 эВ)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
Лабораторная работа № 1. Измерение зависимости мощности и КПД источника от силы тока.	4
Лабораторная работа № 2. Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли	13
Лабораторная работа № 3. Измерение удельного заряда электрона методом магнетрона.	22
Приложение 1. Оформление протокола и отчета по лабораторной работе	30
Приложение 2. Правила построения графиков.	31
Приложение 3. Определение наклона прямой на графике	36
Приложение 4. Правила представления результатов измерений.	38
Приложение 5. Справочные материалы.	43

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ФИЗИКИ

Кафедра Физики как общеобразовательная кафедра университета обеспечивает преподавание курса общей физики по двум (стандартной и расширенной) учебным программам в количестве 324 и 500 аудиторных часов для всех дневных факультетов, а также заочного и вечернего отделений. Лекции, практические и лабораторные занятия проводятся в течение 1-4 семестров на 1 и 2 курсах и заканчиваются сдачей зачетов и экзаменов в конце каждого семестра. Также на кафедре физики разработаны и реализуются специализированные дисциплины для студентов старших курсов – физика низких температур, биофизика, специальные и дополнительные главы физики.

Кафедра оснащена учебно-лабораторным оборудованием по всем разделам физики и имеет, помимо традиционных, специализированные компьютеризированные учебные лаборатории по электромагнетизму, колебательным процессам, волновой и квантовой оптике, физике низких температур.

В 2011 г. в соответствии с приказом Министра образования и науки Российской Федерации от 18.08.2011 г. № 2209 произошло объединение Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) и Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ). После реорганизации в структуре Университета ИТМО с 01.01.2012 г. по 31.08.2015 г. функционировали две кафедры физики: 1) физики-1, заведующий д.т.н., профессор Стафеев Сергей Константинович; 2) физики-2, заведующий д.т.н., профессор Баранов Игорь Владимирович. С 01.09.2015 г. с целью оптимизации образовательного процесса вышеуказанные кафедры объединены в единую кафедру Физики.

Учитывая богатую и плодотворную историю педагогической и научной работы кафедр физики Университета ИТМО и СПбГУНиПТ, ниже представлена краткая историческая справка об их развитии образовательной и научной деятельности.

Кафедра физики Университета ИТМО (1930-2011 гг.).

Преподавание физики как учебной дисциплины велось в Ремесленном училище цесаревича Николая всегда с момента его создания. Механико-оптическое и часовое отделение, а затем — Техникум точной механики и оптики имели в своем составе Физический кабинет. Преподаванию дисциплины Физика для учащихся всегда уделялось большое внимание. В 1930 году при организации вуза — Ленинградского института точной механики и оптики — была организована кафедра Физики как одна из общеобразовательных кафедр.

Организатором и первым заведующим кафедрой Физики явился профессор А.П. Ющенко. Затем в довоенные годы кафедру возглавляли: профессора В.Ф. Трояновский, Л.С. Полак. С 1935 года кафедру возглавил известный специалист в области рентгенометрии профессор И.В. Поройков.

В эвакуации в г. Черепаново Новосибирской области кафедру Физики возглавил известный ученый, сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (ВНИИМ), занимавшийся дозиметрией и метрологией рентгеновских лучей, профессор К.К. Аглинцев.

С 1945 года кафедру Физики возглавил крупный специалист в области рентгенографии и физики твердого тела профессор Д.Б. Гогоберидзе. В 1946 году профессор Д.Б. Гогоберидзе стал первым деканом нового Инженерно-физического факультета.

Во второй половине 1940-ых годов на кафедре работал выдающийся советский физик-теоретик, член-корреспондент Академии наук СССР Я.И. Френкель. Впоследствии кафедру Физики возглавляли: основоположник теплофизической школы ЛИТМО профессор Г.М. Кондратьев, профессор Н.А. Толстой, доцент С.В. Андреев, доцент А.Ф. Бегункова, профессор А.Я. Вяткин и профессор Н.А. Ярышев.

В течение 16 лет с 1957 по 1973 г. под руководством доктора физико-математических наук, профессора А.Я. Вяткина на кафедре было сформулировано научное направление по исследованию физики взаимодействия электронных пучков с веществом.

С 1973 года на кафедре под руководством профессора Н.А. Ярышева получили развитие научные исследования в области теплофизики, в частности, изучение нестационарной теплопроводности и теплотрии.

В 1987 году сотрудником кафедры стал С.А. Козлов (ныне декан факультета фотоники и оптоинформатики), Лауреат премии Ленинского ком-

сомола по науке и технике, в 1998 году им была открыта лаборатория волновых процессов.

С конца XX века на кафедре проводится комплексная работа по совершенствованию всего учебного процесса, включая создание фронтальных компьютеризированных учебных лабораторий, банков контроля и проверки усвоения знаний, подготовку программно-методического обеспечения по дистанционному обучению студентов через компьютерные сети RUNNET и INTERNET. В этих учебно- и научно-методических направлениях деятельности кафедры принимали активное участие ведущие сотрудники кафедры доценты С.К. Стафеев (ныне профессор, декан естественнонаучного факультета), Ю.Л. Колесников (ныне профессор, проректор по учебно-организационной и административной деятельности), А.В. Смирнов, А.А. Королев, Г.Л. Башнина, ст.преподаватель С.А. Курашова.

С 2000 по 2015 годы кафедрой заведовал профессор, декан естественнонаучного факультета С.К. Стафеев. Под его руководством было сформировано научное направление, связанное с оптическими методами неразрушающего контроля, сотрудники кафедры А.А. Зинчик, Я.А. Музыченко подготовили и защитили кандидатские диссертации. С.К.Стафеев является организатором и научным руководителем первой в России интерактивной образовательной экспозиция "Музей оптики", созданной в рамках инновационной образовательной программы Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Расположена экспозиция на стрелке Васильевского острова, на первом этаже бывшего дома купца Елисеева. Знакомит с широким кругом применений оптических и оптико-информационных технологий, стимулирует дальнейшее изучение оптики. Главная цель Музея оптики — не только произвести впечатление, но и помочь в обучении школьникам и студентам профильных вузов. Для этого действуют залы практикумов и демонстраций.

Также С.К. Стафеев является куратором выставки Magic of light (Магия света) проходящей с России в рамках в рамках международного Года света, проводимого в 2015 г. в соответствии с решением Генеральной Ассамблеи ООН.

Кафедра физики СПбГУНиПТ (1931-2011 гг.).

В составе Университета низкотемпературных и пищевых технологий кафедра физики существовала с момента его основания в 1931 г. и обеспечивала фундаментальную общенаучную подготовку инженеров по всем специальностям.

Кафедрой руководили известные в СССР и России ученые, авторы многочисленных научных работ, монографий, учебников и учебных посо-

бий по физике: доцент А.Н. Святозаров (1931 – 1942 гг.), профессор Л.М. Розенфельд (1942-1949 гг.), доцент Е.А. Штрауф (1949-1959 гг.), доцент К.В. Струве (1960-1968 гг.), профессор Н.В. Солнцев (1969-1975 гг.), заслуженный деятель науки РФ профессор Е.С. Платунов (1975-2002 гг.), профессор С.Е. Буравой (2002-2010 гг.), профессор И.В. Баранов (2010-2011 гг.).

В 1976-1985 гг. по инициативе заведующего кафедрой Е.С. Платунова коллективом кафедры была осуществлена коренная реконструкция учебно-лабораторной базы. Была переосмыслена логика проведения лабораторных и практических занятий и их связь с лекционной теоретической частью курса. В основу реорганизации была положена идея системного объединения всех видов занятий в логически обоснованную схему фронтального обучения «лекция – практическое занятие – лабораторная работа». Было создано 5 оригинальных учебных лабораторий стендового типа, охватывающих основные разделы курса: 1) Лаборатория физической механики (авторы - профессор Е.С. Платунов, доценты В.В. Курепин, З.В. Сигалова, старший преподаватель Л.В. Соколова); 2) Лаборатория термодинамики и молекулярной физики (Е.С. Платунов, В.В. Курепин, З.В. Сигалова); 3) Лаборатория электромагнетизма (доценты Д.Ю. Иванов, Э.Л. Китанина, А.Ф. Костко, С.М. Бунин); 4) Лаборатория оптики и атомной физики (доценты Л.С. Крайнова, С.Е. Буравой, В.А. Самолетов, преподаватели В.А. Павлов, В.А. Рыков); 5) Лаборатория физики твердого тела (доцент В.И. Соловьев, профессор Н.В. Солнцев, доцент В.М. Козин).

Каждая лаборатория имеет в своем составе 15 стендов, рассчитанных на проведение от 10 до 20 различных лабораторных работ по всем основным темам соответствующего раздела курса. Многие лабораторные работы отличаются оригинальным содержанием и не имеют аналогов в других учебных заведениях. Стенды оснащены современными приборами (цифровыми вольтметрами, лазерами, монохроматорами и т. п.).

Преподавателями кафедры был выполнен большой объем методической работы: составлено и издано около 100 новых оригинальных методических указаний по выполнению лабораторных работ, В.В. Курепиным, И.В. Барановым и В.Е. Куцаковой разработано пособие по оценке погрешностей в лабораторных работах, выдержавшее более 5 изданий.

В 1995-2005 г.г. профессором Е.С. Платуновым подготовлено и дважды издано учебное пособие по курсу общей физики в четырех томах общим объемом около 80 печ. листов.

В 2002 – 2006 гг. для студентов, обучающихся по специальности «Техника и физика низких температур», и магистров всех специальностей создана не имеющая аналогов учебно-исследовательская лаборатория «Физика низких температур» (авторы проф. Е.С. Платунов, проф.

И.В. Баранов, проф. В.В. Курепин, доценты В.М. Козин, С.С. Прошкин). Авторским коллективом (Е.С. Платунов, И.В. Баранов, Е.В. Тамбулатова, А.Е. Платунов) издано учебное пособие для этой лаборатории с аналогичным названием. Лаборатория оснащена 15 автоматизированными стендами каждый из которых позволяет выполнить 13 лабораторных работ по изучению физических свойств веществ в области температур от минус 196 °С до 100 °С.

В 2002 – 2004 гг. преподавателями кафедры С.С. Прошкиным, Н.В. Нименским, В.А. Самолетовым подготовлено и издано учебное пособие «Сборник задач» с методическими указаниями и примерами решения. Сборник содержит около 1700 задач в трех книгах по разделам «Молекулярная физика и термодинамика», «Электродинамика и электромагнитные волны», «Квантовая физика».

Сотрудниками кафедры (проф. Е.С. Платунов, проф. В.А. Самолетов, проф. С.Е. Буравой) подготовлен и дважды издан словарь-справочник «Физика», объемом 40 печ. листов. Доцентом С.С. Прошкиным подготовлено и издано в 2009 году учебное пособие «Физика. История и развитие» объемом около 40 печатных листов для студентов, обучающихся по специальности «Экономика и менеджмент», а также аспирантов и магистров всех специальностей.

На кафедре физики под руководством профессора Е.С. Платунова к началу 80-х годов прошлого столетия сложилась оригинальная самостоятельная научная школа теплофизиков-прибористов, получившая мировое признание и известность.

В 1977 г. при кафедре была открыта Отраслевая научная лаборатория динамических методов теплофизических измерений и приборов. Лаборатория стала базой для научного роста аспирантов и инженеров, формирования нового поколения преподавателей кафедры.

Совместно с ГСКБ теплофизического приборостроения (ГСКБ ТФП) за 15 лет функционирования лаборатории было создано более двадцати различных образцов приборов для изучения теплофизических свойств веществ, охватывающих в совокупности диапазон температур от 4,2 до 1200 К. Некоторые из них были приняты к промышленному производству и выпускались серийно на опытном производстве ГСКБ ТФП и на одном из заводов Казахстана вплоть до распада СССР в 1991 году. По своей методической сути эти разработки значительно превышали уровень таких известных фирм, как «Dynatech» (США), «Feuotron» (ФРГ), «Setaram» (Франция). Созданные приборы обладали большой производительностью, позволяя за один эксперимент изучать температурную зависимость измеряемых параметров (теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность). В Советском Союзе основной объем информации о теплофизи-

ческих свойствах твердых веществ в области от 200 до 700 К был получен на приборах, разработанных научной школой профессора Е.С. Платунова. Во многих научных и учебных лабораториях стран СНГ эти приборы успешно функционируют и в настоящее время.

По данной научной тематике к 1992 году было опубликовано свыше 150 статей, получено 40 авторских свидетельств на изобретения. Разработаны оригинальные методы исследования теплофизических свойств в области криогенных температур (от 4,2 до 300 К). Созданы средства измерения, не требовавшие специальных криостатирующих устройств, экспрессные по своей сути, что означало значительный прорыв в области техники низкотемпературного теплофизического эксперимента.

Сотрудниками кафедры проведены оригинальные исследования в области создания методов и средств неразрушающего контроля тепловых свойств материалов и изделий. Эти разработки стали основой кандидатских диссертаций Е.А. Белова и Г.Я. Соколова.

В 1976 г. на кафедре развивалась научное направление, связанное с поиском методов построения уравнений состояния и расчетом свойств индивидуальных веществ идеальных газов, имеющих широкое применение в холодильной и криогенной технике. По результатам этих исследований были защищены 4 кандидатских и 2 докторские диссертации, опубликовано более 70 научных статей в отечественных и зарубежных журналах.

С 1992 года ведется поиск новых методов определения тепловых и влажностных характеристик разнообразных групп дисперсных влагосодержащих материалов в условиях их промерзания и размораживания. В настоящее время создан комплекс автоматизированных приборов, позволяющих изучать кинетику изменения энтальпии, дифференциальной теплоты плавления, теплопроводности и влагосодержания пищевых материалов животного и растительного происхождения в области температур от минус 30 °С до 40 °С, в условиях замораживания и размораживания продуктов, разработаны приборы, предназначенных для измерения интенсивности внутренних тепловых источников, непрерывно действующих в пищевых продуктах в условиях их производства и хранения.

При кафедре под руководством профессоров Е.С. Платунова и И.В. Баранова с 2008 г. функционирует научная лаборатория «Теплофизические измерения и приборы». В лаборатории создан комплекс методов автоматизированных приборов для изучения теплопроводности, теплоемкости, теплоты структурных и фазовых переходов в различных веществах, в том числе в процессах замораживания, оттайки, исследуются свойства пищевых продуктов и конструкционных материалов холодильной и криогенной техники.

Коллективом преподавателей кафедры по этому направлению подготовлена к изданию фундаментальная монография «Теплофизические измерения», обобщающая исследования авторов за последние 30 лет.

С конца 60-х годов на кафедре проводятся экспериментальные и теоретические исследования фазовых переходов и критических явлений. Начало этим работам было положено исследованием гравитационного эффекта вблизи критической точки парообразования, проведенным доцентом Д.Ю. Ивановым. В 80-ые годы группой сотрудников кафедры были проведены работы по корреляционной спектроскопии многократно рассеянного света. По результатам этих исследований опубликована серия научных статей, сделано более 10 докладов на конференциях и защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В 90-х годах совместно с одним из ведущих университетов Франции проводились исследования процессов нуклеации наночастиц в растворах. Совокупные результаты исследований критических явлений легли в основу докторской диссертации доцента Д.Ю. Ивановым (2001 г.) и его монографии «Критическое поведение неидеализированных систем».

Научные исследования в области фазовых переходов, предпереходных явлений и рассеяния света в сложных жидких системах успешно развивает доцент, кандидат физико-математических наук А.Ф. Костко. Во время многолетней стажировки в ведущих университетах США А.Ф. Костко совместно с американскими коллегами методами рассеяния света проводил исследования растворов полимеров, водных растворов электролитов, биогелей и лиотропных хромонических жидких кристаллов в широком диапазоне температур и давлений. Результаты этих исследований, проведенных А.Ф. Костко после 2000 года, опубликованы в 13 статьях в ведущих международных научных журналах по физике и химии, а также доложены на 15 международных конференциях.

На сегодня кафедра Физики – одна из крупнейших в университете – представляет собой динамично развивающийся творческий коллектив, способный решать масштабные задачи развития и подготовки инженерных и научно-педагогических кадров. В связи с реорганизацией и объединением кафедр с 1 сентября 2015 года кафедра Физики находится под руководством доктора технических наук, профессора Игоря Владимировича Баранова.

С 2010 г. Игорь Владимирович является членом докторского диссертационного Совета Д 212.234.01. Им опубликовано 57 научных и 7 учебно-методических работ. За последние 3 года издано: 21 научная работа и 2 учебно-методических работы, в том числе в соавторстве Барановым И.В. в 2010 г. издано учебное пособие «Теплофизические измерения» с грифом УМО по политехническому образованию. Баранов И.В. выступал с докла-

дами на 25 международных и всероссийских научных конференциях. Баранов И.В. является с 2008 г. академиком Международной академии холода. Исполняет обязанности заместителя главного редактора научно-технического журнала "Вестник МАХ".

В настоящее время коллектив кафедры включает в себя 30 преподавателей и 10 учебно-вспомогательного персонала.

Под руководством профессора кафедры физики ИТМО Чирцова А.С. и доцента Демидова В.И. из Университета Западной Вирджинии работает Международная лаборатория «Нелокальная плазма в нанотехнологиях и медицине, которая ведет исследования по следующим направлениям:

- Исследование параметров нелокальной плазмы модифицированного короткого газового разряда постоянного тока с накаливаемым катодом
- Плазмохимическое моделирование разрядов в газах SF₆ и O₂
- Изучение особенностей дрейфа микрочастиц в плазме, обусловленных спецификой функции распределения электронов по энергиям в нелокальной плазме

• Моделирование разряда с использованием аналитических методов
Силами профессора А.С.Чирцова и старшего преподавателя С.А.Курашовой создаются on-line курсы по физике, которые размещены в Lectorium на сайте Университета ИТМО.

Под руководством С.К.Стафеева на кафедре Физики в 2016 году открыта программа подготовки магистров по уникальному в России направлению Science communications.

Костко Андрей Федорович
Самолетов Владимир Александрович

**ФИЗИКА
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49**