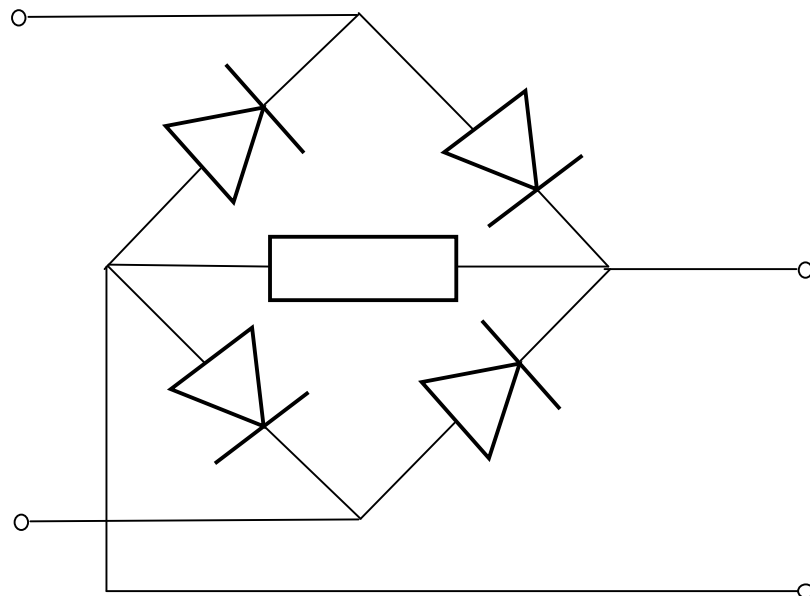


**В.И. Козлов**

# **АНТОЛОГИЯ ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА**

**ЧАСТЬ 3**

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**



**2011**

**Физический факультет МГУ**

В.И. Козлов

**АНТОЛОГИЯ  
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО  
ПРАКТИКУМА**

ЧАСТЬ 3

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

2011

Физический факультет МГУ

Козлов В.И. **Антология общего физического практикума. Часть 3. Электричество и магнетизм** – М: Физический факультет МГУ, 2011. – 252 с.

Общий физический практикум – весьма эффективная форма учебного процесса, позволяющая студенту увидеть изучаемые им физические явления как бы “живьем” и, более того, принять участие в их развитии. Очень важным при этом является необходимость студенту в беседах с преподавателями правильно, грамотно выражать свои мысли, свое понимание данного физического явления, понимание физических законов, описывающих это явление. За сто лет существования физического практикума созданы многие сотни лабораторных работ. В 2010 году на физическом факультете МГУ вышли книги В. И. Козлова “Антология общего физического практикума. Часть 1. Механика” и “Антология общего физического практикума. Часть 2. Молекулярная физика”. В них собран материал о студенческих лабораторных работах по механике и молекулярной физике, созданных в различных вузах нашей страны и в зарубежных учебных заведениях. Настоящая книга представляет лабораторные работы по электричеству и магнетизму, опубликованные в многочисленных сборниках лабораторных работ различных вузов, в научных журналах и в материалах ставших обычными специальных научно-методических конференций, посвященных проблемам физического практикума.

Издание предназначено для преподавателей высшей школы, занимающихся научно-методической работой.

#### Рецензенты:

Доцент кафедры общей физики и магнитоупорядоченных сред  
физического факультета МГУ,  
зав. практикумом кафедры Ю. И. Авксентьев

Заведующий практикумом по радиоэлектронике  
и автоматизации физического эксперимента  
ст. преп. кафедры фотоники и физики микроволн  
к. ф.-м.н. Ю. К. Алешин

© В.И Козлов

© Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание .....	3
Предисловие .....	5
Глава 1	
Электростатика .....	9
1.1. Электростатика в вакууме.....	9
1.2. Диэлектрики .....	31
Глава 2	
Постоянный ток .....	38
2.1. Обычные проводники.....	38
2.2. Сверхпроводники.....	52
Глава 3	
Электролиз.....	57
Глава 4	
Электронные явления.....	61
Глава 5	
Полупроводники .....	73
Глава 6	
Магнетизм.....	92
6.1. Магнитное поле Земли .....	92
6.2. Эффект Холла .....	96
6.3. Измерение индукции магнитного поля .....	100
6.4. Температурные эффекты.....	111
6.5. Магнитные резонансы .....	114
6.6. Магнитные характеристики материалов .....	119
6.7. Магнетизм и системы единиц.....	127
6.8. Определение физических констант.....	129
6.9. Остальное .....	130
Глава 7	
Переменный ток.....	145
7.1. Определение L-, C-, R-элементов.....	145
7.2. Мостовые схемы .....	147
7.3. Резонанс в цепи переменного тока.....	149
7.4. Электромагнитная индукция .....	152
7.5. Скин-эффект.....	155
7.6. Разное .....	159
Глава 8	
Радиофизика .....	166
8.1. Колебательные процессы.....	166

8.2. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Определение $e/m$ .....	173
8.3. Электронные лампы .....	188
8.4. Явления в конденсаторах .....	192
8.5. Явления в газах .....	196
8.6. Электро- и радиотехнические устройства.....	197
8.7. Измерение физических величин. Определение физических констант.....	204
8.8. Фотоэлектрический эффект .....	208
8.9. Разное .....	208
 Глава 9	
Электромагнитные волны .....	214
 Глава 10	
Разное .....	228
 Глава 11	
Сборники лабораторных работ.....	239
 Дополнение.....	250

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2010 году на физическом факультете МГУ вышли в свет книги: В. И. Козлов “Антология общего физического практикума. Часть 1. Механика” и “Антология общего физического практикума. Часть 1. Молекулярная физика”. В них представлен материал, воссоздающий историю развития общего физического практикума. Настоящая книга является следующей частью составляемой Антологии, посвященной электричеству и магнетизму

В России первая книга, в которой были собраны описания лабораторных работ для студентов, вышла в свет в 1909 году. Это был “Физический практикум” профессора Московского университета А. П. Соколова. В последующие годы практикум физического факультета развивался, обогащался все новыми и новыми лабораторными работами. Большой вклад в развитие общего физического практикума внесли профессоры и преподаватели физического факультета К. П. Яковлев, А. А. Глаголева-Аркадьева, С. И. Вавилов, И. И. Васильева, Б. А. Введенский, Е. С. Четверикова, И. А. Яковлев, В. И. Иверонова, Р. В. Телеснин, К. Н. Баранский, Т. С. Величина, А. Г. Белянкин, Л. П. Стрелкова, И. В. Митин, А. М. Салецкий и многие другие.

Большой вклад в расширение тематики лабораторных работ общего физического практикума внесли преподаватели других ведущих вузов (МФТИ, МИФИ и др.). В последние годы стали чаще публиковаться научно-методические статьи в различных журналах, стали проводиться специально посвященные практикуму научно-методические конференции. В связи с этим возникла необходимость собрать воедино все самое интересное, что было сделано для общего физического практикума, и сделать это легко доступным для преподавателей всех вузов. Антология общего физического практикума и представляет собой попытку реализовать эту идею.

В описаниях большинства лабораторных работ, как и в журнальных статьях и докладах на научно-методических конференциях, акцент авторами делается на какой-либо характеристике физического процесса, характеристике вещества, характеристике физического закона. Это, конечно, вполне оправданно. Но мне представляется, что в физическом практикуме, когда студент выполняет эксперимент, главным для него должен быть физический эффект, физическое явление, которое разворачивается перед его глазами. Исходя из этого, в настоящей книге я стремился произвести разбиение собранного материала по главам так, чтобы отдельные работы группировались именно по тому, какое физическое явление воспроизводится студентом в данной работе. Правда, при этом оказалось, что в

ряде лабораторных работ реализуется не одно явление, а два или даже больше. Встречаются лабораторные работы, в которых авторами акцент делается на характеристике процесса, лишь формально используемой при его теоретическом описании. Так что произведенное распределение лабораторных работ по тематическим главам не является бесспорным.

Предназначение аннотаций, приводимых в большинстве ссылок на лабораторные работы – дать представление о физическом явлении, изучаемом в данной лабораторной работе, о методе его наблюдения. Они не предназначены ни для детального знакомства с устройством экспериментальной установки, ни для руководства при выполнении работы, ни для создания более или менее полного представления об изучаемом в лабораторной работе физическом явлении. При этом некоторые аннотации, пожалуй, чрезмерно длинны, но это можно объяснить еще невыработанностью критериев ограничения текста аннотаций и, в какой-то мере, личным интересом автора книги к тем или иным лабораторным работам.

В настоящей книге ссылка на ту или иную научно-методическую работу начинается с названия этой работы, как выражающего ее физическое содержание. Жирным шрифтом выделен год публикации каждой работы, что позволяет проследить хронологию представления той или иной темы в практикуме.

Основным источником материала для данной книги послужили следующие учебные пособия:

1. Соколов А. П. Физический практикум. Руководство к упражнениям для начинающих в физической лаборатории, состоящей при физическом институте Московского университета. М., **1909**.
2. Соколов А. П. Физический практикум. Руководство к практическим работам по физике. Изд. второе, дополненное и переработанное проф. А. П. Соколовым и проф. К. П. Яковлевым. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1926**. 374 с.
3. Соколов А. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Изд. третье, значительно дополненное и переработанное В. Г. Корицким, Е. С. Четвериковой, Е. С. Щепотьевой. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1937**. 464 с.
4. Соколов А. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Изд. четвертое, значительно дополненное и переработанное В. Г. Корицким, Е. С. Четвериковой, Е. С. Щепотьевой. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1938**. 464 с.
5. Яковлев К. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Т. 3. Интерполирование и гармонический анализ. Элементы номографии. Лабораторная техника. Таблицы и формулы., ОГИЗ, Гостехиздат. М.-Л. **1945**. 235 с.
6. Яковлев К. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Т. 1. Механика и общие свойства тел. Упругие колебания. Акустика. М.-Л., Гостехиздат, **1946**. 239 с.
7. Соколов А. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Т. 1. Механика и общие свойства тел. Упругие колебания. Акустика. ОГИЗ. Государственное изд-во технико-теоретической литературы. М.-Л. **1946**.

8. Яковлев К. П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Том второй. Молекулярные и тепловые явления. Электричество и магнетизм. Оптика и строение атома. М.-Л. **1949**.
9. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Сост.: А. Г. Белянкиным, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Изд. 2-е. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1951**.
10. Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1953**, 636 с.
11. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Для физ. и физ.-матем. фак. гос. ун-тов. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1955**, 636 с.
12. Прокофьев В. И., Майсова Н. Н. Физический практикум. М., **1958**.
13. Физический практикум. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Томск. **1959**. 137 с.
14. Вердеревская Н. Н., Иродов И. Е., Майкова В. И. и др. Под ред. проф. Савельева И. В. Физический практикум. МИФИ. М. **1960**. 119 с.
15. Вердеревская Н. Н., Иродов И. Е., Майкова В. И. и др. Под ред. проф. И. В. Савельева. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть I. Москва, **1961**.
16. Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Г. П. Мотулевич, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1962**, 956 с.
17. Физический практикум. Под ред. Н. И. Гольдфарба и Г. И. Пантюхова. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть II. МИФИ. Кафедра общей физики. **1962**. В составлении сборника принимали участие: Г. Г. Аксенов, К. Т. Басова, Н. Н. Взоров и др.
18. Кортнев А. В., Рублев Ю. В., Куценко А. Н. Практикум по физике. Учебное пособие для студ. высш. техн. заведений. Изд. 2-е, доп. М., "Высш. школа", **1963**, 516 стр.
19. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. докт. физ.-мат. наук Л. Л. Гольдина. Составлено: Л. Л. Гольдиным, С. М. Козелом, Н. Н. Колачевским и др. Изд. "Наука". М., **1964**, 580 с.
20. Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1965**.
21. И. Е. Иродов, Г. Н. Кутузова, В. И. Майкова и др. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть I. Москва, **1965**.
22. Г. Г. Аксенова, К. Т. Басова, Н. Н. Взоров и др. Под ред. Н. И. Гольдфарба и Г. И. Пантюхова. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть II. Москва, **1965**.
23. Физический практикум. Механика и молекулярная физика. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлен: А. Г. Белянкиным, Г. П. Мотулевич, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Изд. "Наука". М., **1967**, 352 с.



24. Л. Л. Гольдин, Ф. Ф. Игошин, С. М. Козел и др. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. Изд. "Наука". М., 1973, 688 с.

25. Л. Л. Гольдин, Ф. Ф. Игошин, С. М. Козел и др. Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. Изд. "Наука". М., 1983, 704 с.

Кроме того, были обработаны научные журналы, публикующие научно-методические работы, материалы научно-методических конференций, а также реферативный журнал "Физика".

Я надеюсь, что собранный в настоящей книге материал окажется полезным для многих преподавателей высшей школы, занимающихся научно-методической работой.

*Доцент кафедры общей физики  
физического факультета МГУ  
доктор физ.-мат. наук В.И. Козлов*

## Глава 1

### ЭЛЕКТРОСТАТИКА

#### 1.1. Электростатика в вакууме

**Определение емкости конденсатора по сравнению с емкостью шара при помощи электрометра Эльстера и Гейтеля.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача.6. С. 227.

**Определение емкости конденсатора посредством баллистического гальванометра.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 52. С. 271-277. 1937, 1938. Задача 44. С. 251.

Постоянный ток от батареи аккумуляторов замыкается через некоторое сопротивление. От части этого сопротивления напряжение подводится к конденсатору. Посредством ключа с пружиной конденсатор быстро переключается на баллистический гальванометр, вследствие чего заряженный конденсатор получает возможность разрядиться через баллистический гальванометр с подвижной катушкой. Если сначала включить в цепь конденсатор неизвестной емкости  $C$  и измерить вызываемое его разрядом отклонение  $\alpha$ , а затем включить конденсатор известной емкости  $C_0$  и измерить соответствующее отклонение  $\alpha_0$ , то неизвестная емкость найдется по формуле  $C=C_0(\alpha/\alpha_0)$ .

**Градуирование электрометра и определение его емкости электростатическим методом.** Работа 36 а. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. С. 116.

**Определение емкости конденсатора при помощи баллистического гальванометра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 36 с. С. 123.

**Изучение электростатического поля.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М. 1953, 1955. Работа 34. С. 185. 1962. Задача 51. С. 257–263. 1968. Задача 65. С. 9-15. Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Ионов В. И., Яковлев И. А. Лаб. работа 1. С. 6-12.

В основу изучения распределения потенциалов в электростатическом поле положен так называемый метод зондов. Его сущность заключается в следующем: в исследуемую точку поля вводится специальный электрод – зонд, по возможности устроенный так, чтобы он минимально нарушал своим присутствием исследуемое поле. Этот зонд соединяется проводником с прибором, измеряющим приобретенный зондом в поле потенциал относительно потенциала какой-нибудь точки поля, принятого за нулевой. При этом прямое изучение электростатического поля заменено изучением его точной, но более удобной модели. Оказывается, что при некоторых условиях распределение потенциала в среде, по

которой течет ток между установленными в ней электродами, может быть сделано тождественным с распределением потенциалов между теми же электродами, когда между ними имеется электростатическое поле в вакууме или в однородном диэлектрике. Измерения же распределения потенциалов в проводящей среде, по которой течет постоянный ток, – сравнительно легкая экспериментальная задача.

**Определение емкости конденсатора посредством баллистического гальванометра.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 47. С. 257. 1962. Задача 70. С. 355–360. 1968. Задача 84. С. 105-110.

В основу измерения емкости положено соотношение между зарядом конденсатора  $q$ , его емкостью  $C$  и разностью потенциалов на конденсаторе  $V$ . Если применить это соотношение к двум конденсаторам, заряженным до одной и той же разности потенциалов  $V$ , то легко прийти к соотношению  $C_2 = C_1 q_2 / q_1$ . Из него видно, что если емкость одного из конденсаторов известна, то относительное измерение емкости двух конденсаторов сводится к сравнению их зарядов (при условии, что  $V_1 = V_2$ ). Заряды на конденсаторах измеряются с помощью баллистического гальванометра, краткая теория которого дана.

**Изучение колебаний рамки гальванометра при помощи фоторегистрации.** Грийе, Брюэль (Etude par enregistrement photographique des oscillations du cadre d'un galvanometer. Grillet Leon, Bruel Y.), Bull. Soc. scient. Bretagne. Sci. math., phys. et nature., 1955 (1956), 30, № 1-4, 113-116. [РЖ 1957 № 9 21695].

Описаны схемы, позволяющие провести исследование за несколько минут. Приведены типичные кривые, получаемые при регистрации.

**Применение простой электролитической ванны постоянного тока при изучении электростатики.** (The use of a simple direct current electrolytic tank in teaching electrostatics. Auliffe S. H.), School Sci. Rev., 1957, 38, № 135, 274-276. [РЖ 1958 № 1 90].

Недостатком электролитической ванны, работающей на переменном токе, является сложность применяемого оборудования. Если в качестве электролита использовать раствор медного купороса, а в качестве материалов для электродов – медь, то большинство демонстрационных опытов по исследованию электростатических полей может быть проведено на постоянном токе со значительным упрощением применяемого оборудования. Подробно описана методика работы с такой ванной.

**Изучение омметра в практикуме по электростатике.** Иванов А. И., Политехн. обучение, 1958, № 4, 48-50.

Приводится описание омметра, принципа его работы, а также описана лабораторная работа по изучению омметра с указанием хода ее выполнения.

**Определение элементарного электрического заряда методом Милликена.** Надь (Az elektromossag elemi toltesenek meghatarosa Milliken módszerrel. Nady Zoltan), Fiz. Szemle, 1959, 9, № 1, 26-29. [РЖ 1959 № 12 26460].

Приведено подробное описание установки для определения элементарного заряда методом Милликена в условиях лаборатории вузов. Установка представляет собой конденсатор, края которого прикрыты плексигласовыми пластинками; капли распыляются пульверизатором, насаженным на велосипедный насос. Радиус капель

$\sim 5 \cdot 10^{-5}$  см. Для таких капель достаточно напряжение между пластинами конденсатора  $\sim 100 \div 300$  В. Для наблюдений используется микроскоп, дающий увеличение в 22 раза. Точность результата составляет  $\pm 10 \div 15$  %.

**Определение порции заряда, полученной электроскопом Вульфа.** Виттенбург (Bericht über die Messung der Tropfladung des Wulf-Elektroskops. Wittenburg W.), Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 10, Physik, 279-280. [РЖ 1960 № 8 18871].

Порцией заряда называют  $\Delta Q = C_a \cdot U_a$ , где  $C_a$  – емкость электроскопа,  $U_a$  – напряжение, поданное на электроскоп. Измерения порции заряда проводятся при помощи плоского конденсатора, одна из пластин которого заземлена, а другая через большое сопротивление соединена с нитью электроскопа, у которого заземлены корпус и электрод наведения (ЭН). Перед началом работы ЭН оттягивают назад, заряжают конденсатор, приближают ЭН к нити и отмечают положение нити на экране. Затем увеличивают расстояние между пластинами конденсатора. Вследствие увеличения напряжения нить отклоняется сильнее и касается ЭН, заряд мгновенно стекает на землю и нить оттягивается обратно, разрывая связь с землей. Через некоторое время электрическое поле между нитью и ЭН восстанавливается, нить снова касается ЭН. Это повторяется до тех пор, пока напряжение на пластинах конденсатора не делается равным начальному и нить займет на экране прежнее положение. Приведены расчеты заряда, стекающего с конденсатора во время опыта, порции заряда, стекающей с нити электроскопа в течение одного прикосновения к ЭН, емкости электроскопа и средней величины тока в зависимости от частоты касания.

**Опыты со статическим вольтметром.** Heise H. Versuche mit dem statischen Voltmeter. "Math. Und naturwiss. Unterr." 1960, 13, № 7, 312-314. [РЖ 1961 6A73].

Описываются способ определения емкости статического вольтметра и два опыта, которые могут быть проведены при помощи него. 1. Определение заряда капли воды. Из капельницы капли стекают по желобку в сосуд, связанный с изолированным полюсом вольтметра. При этом потенциал увеличивается. Заряд капли  $q$  рассчитывают по формуле  $nq = C\Delta U$ , где  $n$  – число капель,  $C$  – емкость конденсатора,  $\Delta U$  – изменение разности потенциалов между полюсами вольтметра. 2. Измерение больших сопротивлений. Заряженный вольтметр накоротко замыкают на сопротивление порядка  $10^{12} - 10^{15}$  Ом и наблюдают как изменяется потенциал вольтметра во времени. Величину сопротивления рассчитывают по времени  $T$ , которое потребовалось, чтобы потенциал уменьшился наполовину,  $RC = T/\ln 2$ . Описанный метод может быть применен для определения удельного сопротивления стекла.

**О свойствах вещества в опыте Милликена с масляной каплей.** Foland W.D. On characteristics of materials and the Millikan oil-drop experiment. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 11, 787-788. [РЖ 1962 5A70].

При проведении опыта Милликена в лаборатории рекомендуется обратить внимание студентов на особенность, связанную с определением свойства вещества, а именно на то, что поверхностное натяжение увеличивает плотность капли по сравнению с измеряемой объемной плотностью масла. Учет этого увеличения представляет поучительную и доступную для учащихся задачу. Приведен расчет.

**Простой метод доказательства квантовой структуры заряда и определение элементарного заряда.** Scholz Oskar. Über eine einfache Method zum Nachweis der gequantelten Struktur den Ladung und zur Bestimmung der Elementarladung. “Prax. Naturwiss.”, **1961**, A10, № 3, Physik, 71-76. [РЖ 1961 11 A105].

Опыты проводятся при помощи прибора Милликена, состоящего из ящика с конденсатором Милликена, осветителя и микроскопа. На пластины конденсатора подают постоянное напряжение такого порядка, чтобы капельки масла между пластинами находились в равновесии, затем постоянное напряжение заменяют переменным той же величины, при этом заряженные капельки масла совершают колебательные движения относительно положения равновесия, а в поле зрения микроскопа наблюдаются светлые полосы, длина которых зависит от величины эффективного напряжения, поданного на конденсатор, частоты, массы и заряда капелек. Если массы капелек примерно одинаковы, длины полос оказываются пропорциональными заряду и кратными длине наименьшей полосы. Для определения величины заряда наблюдают за одной капелькой, заряд которой в процессе наблюдения изменяют при помощи ионизирующего излучения, при этом амплитуда колебаний и скорость движения капли изменяются соответственно изменению величины заряда. Величину заряда рассчитывают согласно закону Стокса. Приведены формулы и расчеты. Ошибка в определении заряда составляет 5-6 % от величины, принятой в литературе.

**Увеличение напряжения при зарядке конденсатора.** Brosch Herbert. Spannungsanstieg beim Laden eines Kondensators. “Prax. Natrwiss”, **1961**, A10, № 2, Physik, 35-36.

Описывается опыт, демонстрирующий пропорциональность разности потенциалов на обкладках конденсатора его заряду. Измерительная схема состоит из конденсатора большой емкости (10 мкФ), источника напряжения ~1000 В и зарядного сопротивления порядка нескольких мегаом. Зарядный ток измеряется микроамперметром, напряжение – статическим вольтметром, время – электрическим секундомером, который включается и выключается одновременно с источником напряжения. Для экспериментальной проверки соотношения  $U=const \cdot Q$  при помощи схемы потенциометрического регулирования поддерживается постоянный зарядный ток, при этом напряжение на конденсаторе пропорционально времени зарядки.

**Изучение процессов зарядки и разрядки конденсатора.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 77. С. 397–399.

Эксперимент выполняется на электрической схеме, в которой испытуемый конденсатор  $C$  включается последовательно с резистором с большим сопротивлением  $R$  и микроамперметром. Эта цепочка с помощью ключа может быть подсоединена к источнику постоянного напряжения 24 В в одном положении ключа – при этом идет процесс зарядки, и может быть своими концами замкнута коротко – при этом идет процесс разрядки. При замыкании ключа в первом положении включается секундомер, и измерения силы тока производятся сначала через каждые 15 с, а через 1,5 минут – через каждые 30 с вплоть до убывания ее до нуля. По окончании измерений в процессе зарядки конденсатора немедленно переходят к измерениям силы тока в процессе разрядки конденсатора, для чего

ключ переодят в другое его положение. Результаты измерений представляются в виде графиков  $I/I_0 = f(t)$  и  $\ln(I/I_0) = \varphi(t)$ .

**Градуирование электростатического вольтметра по абсолютному электрометру.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 52. С. 264–270. 1968. Задача 66. С. 16-21. Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Буховцев Б. Б., Никольский В. С. Лаб. работа 2. С. 13-18.

Измерения физической величины являются абсолютными, если они состоят в измерении физических величин другого рода. В настоящей лабораторной работе абсолютные измерения разности потенциалов состоят в измерении геометрических размеров элементов экспериментальной установки и силы их взаимодействия. Измерение с помощью абсолютного электрометра сводится к измерению силы притяжения между двумя пластинами плоского конденсатора, которая может быть выражена через разность потенциалов пластин.

**Определение элементарного заряда методом измерения скорости перемещения заряженных частиц в поле конденсатора.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 53. С. 270–277. 1968. Задача 6. С. 22-28. Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Определение элементарного заряда. Лаб. работа 3. С. 18-24.

В настоящей работе используется метод измерения скорости заряженных частиц в электрическом поле, являющийся к тому же наиболее прямым и убедительным доказательством прерывного строения электрических зарядов. В основу метода положено изучение движения заряженных капелек жидкости (масла) в однородном электрическом поле известной напряженности. Измеряя скорость капелек, падающих в поле силы тяжести при отсутствии электрического поля, и скорости капелек, поднимающихся в поле силы тяжести при наличии электрического поля, можно вычислить действующую на капельку силу электрического поля. Затем, зная величину напряженности электрического поля, вычисляют заряд капельки. Сравнивая величины заряда одной и той же капли, полученные из различных опытов, можно убедиться, что величина изменения заряда и сам заряд капли являются целыми кратными одной и той же величины. Эту величину естественно считать элементарным зарядом  $e_0$ .

**Измерение силы, действующей на заряд, помещенный в однородное электрическое поле.** Grull Kurt. Kraftmessung im homogen elektrischen Feld mit einfachen Mitteln. "Prax. Naturwiss.", 1962, A11, Physik, 288-290. [РЖ 1963 4A74].

Описывается ряд простых опытов, при помощи которых можно показать однородность электрического поля между пластинами плоского конденсатора, пропорциональность напряженности поля заряду на пластинах, пропорциональность напряженности поля разности потенциалов между пластинами и определить величину  $\epsilon_0$ . Опыты проводятся при помощи плоского конденсатора, между пластинами которого на перлоновых нитях бифилярно подвешивают заряженную тонкую пластинку из медной или алюминиевой фольги. Например, чтобы показать пропорциональность напряженности поля заряду на пластинах, заряженную пластину подвешивают параллельно пластинам, и перед началом работы обе пластины заземляют. Затем одну из пластин соединяют с цилиндром Фа-

радея и при помощи изолированного металлического шарика сообщают пластине заряд. При этом подвешенная пластинка отклоняется на некоторое расстояние. При увеличении заряда расстояние соответственно увеличивается. Величину отклонения измеряют на экране, на который при помощи осветителя и линзы проектируется изображение пластинки.

**Измерение напряженности электрического поля между большими параллельными пластинами.** Tompson C. W., Holroyd L. V. Measurement of the electrostatic field between large parallel plates. "Amer. J. Phys.", 1963, 31, № 5, 396-397. [РЖ 1964 7А61].

Описан прибор для экспериментального исследования задачи о заряженном теле, помещенном между заряженными пластинами. Прибор состоит из двух пластин (25×25 см), одна из которых неподвижна. Между пластинами помещен шарик из бузины ~1 см в диаметре, окрашенный серебряной проводящей краской. Шарик подвешен на непроводящей нити к подставке, которая может перемещаться между пластинами. Эксперимент состоит из двух частей. 1. Шарик заряжается наэлектризованной палочкой и приближается к одной из заземленных и максимально разведенных пластин. Нить шарика отклоняется на некоторый угол, что позволяет определить заряд шарика методом "зеркального отражения". 2. На пластины прибора подается разность потенциалов ~5-10 кВ; при этом в любой точке между пластинами может быть определена сила, с которой поле действует на заряженный шарик. Поскольку заряд шарика известен, можно определить и напряженность поля. Прибор рекомендован для лучшего усвоения понятия силы, напряженности и потенциала электрического поля.

**Определение  $\epsilon_0$  с помощью крутильных весов.** Harder Max. Eine Bestimmung von  $\epsilon_0$  mit der Drehwaage. "Prax. Naturwiss.", 1963, A12, № 6, Physik, 154-155. [РЖ 1964 2А74].

Предлагается следующий метод определения диэлектрической проницаемости вакуума  $\epsilon_0$ . Металлический шарик радиусом  $r \approx 1$  см, массой  $m \approx 10$  г приклеивается к легкому стерженьку длиной 20 см. Стерженек подвешивается на упругой нити. Система способна совершать крутильные колебания с периодом  $\tau = 2\pi\sqrt{m/D}$ , где  $D$  – коэффициент упругости нити. На расстоянии  $a \approx 5$  см от шарика помещается квадратная металлическая пластинка (50×50 см). Если шарик зарядить до потенциала  $V$  (автор предлагает  $V \approx 8 \cdot 10^3$  В), то заряд его будет  $q = CV = 4\pi\epsilon_0 V$ . Этот заряд будет взаимодействовать с его зеркальным изображением с силой  $F = q^2 / [4\pi\epsilon_0(2a)^2]$ . При зарядении шарика период крутильных колебаний изменится, причем  $\Delta\tau = (\tau/2)(\Delta D/D)$ ,  $\Delta D = F/l$ . Измеряя периоды колебаний шарика до и после зарядения, можно определить величину  $\epsilon_0$ . Точность измерения зависит от точности отсчета времени (у автора  $\Delta\tau$  составляла 0,8 сек.), которое измерялось с помощью специальных часов.

**Исследование электростатических полей с помощью электролитической ванны.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 31. С. 182. 1973. Р 34. С. 214.

**Определение заряда электрона по методу Милликена (метод масляных капель).** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 32. С. 189. 1973. Р 35. С. 224.

**Исследование гальванометра.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 44. С. 260.

**Экспериментальное исследование плотности электрического смещения.** Jfland Rudolf. Die experimentelle Untersuchung der elektrischen Verschiebungsdichte. "Prax. Naturwiss.", 1964, A13, № 1, Physik, 5-6. [РЖ 1964 7A60].

Описан ряд опытов, при помощи которых можно показать пропорциональность плотности смещения напряженности электрического поля и рассчитать коэффициент пропорциональности. Опыты проводятся при помощи плоского конденсатора с большими пластинами, расстояние между которыми можно менять, высоковольтного блока питания, измерительного усилителя и нескольких пар металлических пластин разных размеров.

**Исследование электрического поля методом аналогии.** Grillet Leon. Etude d'un champ électrique par une méthode analogique. "Bull. Union physiciens", 1965, 59, № 483 (615-618). [РЖ 1966 1A61].

Предлагается модификация известного потенциометрического метода нахождения эквипотенциальных кривых электрического поля, в котором вместо электролита, заполняющего междуэлектродное пространство, используется проводящая бумага.

**Простой прибор для измерения статического заряда.** Brown R. G. Simple device for measurement of static charge. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 4, 340. [РЖ 66 7A35].

Прибор представляет собой сферический конденсатор, состоящий из двух концентрических сфер, смонтированных на серийном электрометре, и действующий по принципу цилиндра Фарадея. Меньшая сфера диаметром 10,2 см снабжена отверстием диаметром 3,3 см для введения образцов. Для установки прибора служит пластмассовый стержень, высверленный вдоль оси. Один конец стержня имеет нарезку, соответствующую нарезке цилиндрического выступа на шаре, другой конец нарезан в соответствии с штекером. Электрическое соединение между штекером и сферой осуществляется посредством пружины, вставляемой в канал стержня. Для установки прибора достаточно просто вставить штекер в гнездо электрометра. Чувствительность прибора лимитируется сеточным током и несовершенством экранирования из-за необходимости оставлять отверстие в сфере. Эти факторы устанавливают предельный сигнал, считываемый с точностью  $\approx 10\%$  и равный  $\approx 0,2$  В; это определяет нижний предел чувствительности к заряду, равный 4 пКл.

**Новый прибор для демонстрации эксперимента Милликена с падением масляной капли.** Olson Donald E. A new Millikan oil-drop apparatus. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 10, 858-859 (англ.). [РЖ66 7A36].

Описан новый прибор для наблюдения эксперимента с падением масляной капли, выпущенный фирмой Pasco Scientific, в котором на устойчивом основа-



нии смонтированы микроскоп, источник света и конденсатор. Боковое освещение позволяет рассматривать капли на темном фоне. К прибору прилагаются: пульверизатор, сосуд с маслом, стеклянные пластинки с делениями для измерения расстояния между пластинами конденсатора и выключатели, смонтированные на конце 75-см шнура. Для использования прибора лаборатория должна иметь источник постоянного тока 400–600 В, соответствующий вольтметр, секундомер, позволяющий отчет интервалов времени в 0,1 сек., и микрометр. Струя из пульверизатора заполняет камеру, и через 2–3 мин после осаждения больших капель в поле зрения легко наблюдать более мелкие капельки, падающие со скоростью 0,5 мм за 10–20 сек. Рычаг, расположенный сбоку, позволяет вводить и выводить источник ионизации в конденсатор для зарядки капель и для изменения их заряда. Расстояние между пластинами конденсатора 0,6 см. разность потенциалов между пластинами 400–600 В. Капля, свободно падающая со скоростью 0,5 мм за 15 сек., легко наблюдается в течение 10–15 мин. На этом приборе студенты второго курса получали точность в определении элементарного заряда 2–4%.

**К опыту Милликена.** Bader Franz, Peter Gerhard. Zur Auswertung des Millikan versuches. "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 5, Physik, 116–118 (нем.). [РЖ 65 12Ф102].

Во многих школах имеется установка для проведения опыта Милликена, однако чаще всего с ее помощью показывают броуновское движение или определяют знак заряженных капелек масла. Учащиеся не могут сделать количественных расчетов, даже если их познакомить с законом Стокса и дать значение вязкости воздуха, т. к. для маленьких капелек нужно принимать во внимание поправку Гуннингама. В связи с этим рекомендуется проводить опыт с помощью диаграммы, на которой в двойном логарифмическом масштабе построена зависимость скорость капельки от ее веса в отсутствие электрического поля. Диаграмма может быть использована двояким образом: 1) измеряют с помощью микроскопа скорость капельки в отсутствие поля, по диаграмме определяют вес  $G$ , затем увеличивают напряжение на обкладках конденсатора до тех пор, пока капелька не сделается взвешенной, и рассчитывают заряд обычным образом по формуле  $q = G/E$ ; 2) если капелька, находящаяся в электрическом поле, настолько мала, что броуновское движение мешает падению, измеряют скорость  $v_1$  при движении вверх и скорость  $v_2$  при движении вниз. В этом случае скорость капельки в отсутствие поля можно считать равной  $v_0 = (v_2 - v_1)/2$ . Пользуясь значением скорости, по диаграмме определяют вес капельки и рассчитывают заряд по формуле

$$q = \frac{G}{E} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} .$$

Приведены вывод расчетной формулы и результаты измерений, согласно которым получено близкое к табличному значение заряда электрона.

**Удобный способ изменения заряда в эксперименте Милликена с падением масляной капли.** Bottoms Byron D., Faller James E. A convenient method for changing the charge in the Millikan oil-drop experiment. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 5, 411 (англ.). [РЖ 66 3А81].

Эксперимент Милликена часто воспроизводится для наглядной демонстрации существования элементарного электрического заряда. Для выполнения эксперимента необходимо каким-нибудь способом изменять заряд капли, тогда наблюдаемые дискретные изменения скорости падения капли можно истолковать, как наглядное доказательство существования единичного заряда. В Колорадском университете вместо применявшихся Миллиkenом рентгеновских лучей пользуются для этой цели радиоактивным источником (1,5 мКюри), помещаемым на несколько секунд вблизи установки. Однако использование радиоактивного источника сопряжено со многими неудобствами. Поэтому рекомендуется другой способ, в котором для повышения (или уменьшения) заряда капли используется ионизация, возникающая в результате искрового разряда.

**Конденсаторные весы.** Schlee Heinz. Zur Kondensatorwaage. "Prax. Naturwiss.", 1965, A 14, № 8, Physika, 221-222 (нем.). [РЖ 66 3А84].

Напряжение от ленточного электростатического генератора подается на конденсатор. Верхняя пластина конденсатора жестко укреплена на стержне из изоляционного материала и соединена с корпусом генератора. Нижняя пластина также укреплена на изолирующем стержне, установленном на чашке рычажных весов. Между пластинами конденсатора помещают кусочки из оргстекла толщиной несколько миллиметров, отделяющие пластины друг от друга, и уравнивают весы. При помощи описанной установки можно определить силу взаимодействия между пластинами конденсатора, определить зависимость этой силы от расстояния между пластинами и рассчитать энергию электрического поля.

**Экспериментальное определение количественных характеристик поля.** Grossberg Alan B. Quantitative field mapping experiments. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 8, 698-701. [РЖ 1969 4А31].

В лаборатории общей физики Висконсинского университета поставлена работа, в ходе которой студенты определяют с помощью вычислительной машины конфигурацию двумерного поля с заданными граничными условиями и затем проверяют полученные результаты посредством электрического моделирования. Для вычислений используется несложная программа FORTRAN. Моделирование осуществляется с помощью прибора фирмы Senco-Overbeek с графитовой пластиной, питаемой током звуковой частоты. Эквипотенциальные точки на пластине находятся с помощью осциллографа. Наиболее сложным из приводимых примеров является моделирование поля температур в сечении прямоугольной трубы с горячей жидкостью, вытекающей через круглое отверстие.

**Утраченная задача Милликена.** Nhomsen John S. Millikan's lost problem. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 4, 368.

Милликен описал развитие и усовершенствование своего метода определения заряда электрона при помощи падающей масляной капли в целой серии статей. В одной из ранних статей (1911 г) он рассматривал ошибку в оценке вязкости воздуха  $\mu$  и между прочим заметил, что он предложил два видоизменения этого метода определения  $e$ , в которых не содержится значения  $\mu$ , и что едва ли возможно, чтобы неизбежные экспериментальные ошибки в этих методах были меньше ошибки в определении  $\mu$ . Если бы подобные видоизменения были фактически осуществлены экспериментально, они бы выявили, что значение  $\mu$  явля-

ется главным источником ошибки в значении  $\epsilon$ , полученном методом Милликена, задолго до того, как это было обнаружено экспериментально с рентгеновскими лучами. Автор ставит перед читателями вопрос: возможны ли такие видоизменения, и если возможны, то каковы они.

**Аппаратура для изучения заряженных твердых частиц и капель.** Owe Berg N. G., Gauklev T. A. Apparatus for the study of charged particles and droplets. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 10, 1013-1018. [РЖ 1970 5A46].

Описана экспериментальная установка, которая может быть использована в лабораторном практикуме по курсам физики, химии и смежным дисциплинам. Экспериментальная установка предназначена для изучения поведения заряженных твердых частиц и капель размером 5-200 мкм, подвешенных в поле тяжести в произвольной газообразной среде с помощью неоднородного электрического поля. Приводится схематический чертеж камеры и блок-схема электронного устройства, с помощью которых можно создавать неоднородное электрическое поле с осевой симметрией. Подробно изложены методики фотографического измерения размера частиц и определения конфигурации электрического поля в камере. На примере изучения взаимодействия частиц AgI размером 15-20 мкм в атмосфере влажного воздуха, температура которого варьировалась, показано, что при помощи подобного экспериментального оборудования можно проводить разнообразные исследования поведения заряженных частиц и капель в указанных условиях.

**Особый способ измерения напряженности электрического поля.** Kemper Heinrich. Uber eine besondere Art, die Kraft elektrischer Felder zu messen. "Prax. Naturwiss", 1969, Teil 1, 18, № 3, 65-67. [РЖ 1969 9A97].

Описывается лабораторная работа по измерению напряженности электрического поля между пластинами конденсатора с помощью заряженных капель воды. Конденсатор состоит из двух плексигласовых пластин, покрытых металлической фольгой размером 30×30 см, установленных на расстоянии 5 см друг от друга. Правая пластина заземлена, а к левой подводят напряжение 3000, 4000, 6000 В. Сосуд с водой, находящийся на высоте верхнего края конденсатора, и улавливающий стакан укрепляют на штативах с помощью изолированных кронштейнов. Конец пипетки находится на одном уровне с верхним краем пластин конденсатора. Для измерения заряда используют статический электрометр. Для определения массы 100-200 капель используют рычажные весы. Измеряется расстояние между точками падения капли в улавливающий стакан при наличии напряжения на конденсаторе и без него. Измеряя вес 100 капель, находят средний вес каждой капли. По второму закону Ньютона  $F=am$ , с другой стороны  $F=q \cdot E$ , следовательно,  $E=ma/q$ . Ускорение  $a$  находят из формул пути для горизонтального и вертикального движения капли:  $S_b=gt^2/2$ ,  $S_{гор}=at^2/2$ , откуда  $a=S_{гор} \cdot g/S_b$ . Для определения заряда капли предварительно подносят улавливающий стакан к левой пластине конденсатора. Капля, попадая в заряженный стакан, будет разряжать его. Полный заряд регистрируется нулевым показанием электрометра. Зная электроемкость стаканчика, напряжение на конденсаторе и количество капель, необходимых для полной нейтрализации заряда, можно определить заряд одной капли  $q=C_{cm} \cdot U/n$ , где  $n$  – число капель. Из приведенной выше формулы определяют  $E$ . Можно также определить  $\epsilon_0$ , для чего необходимо

найти среднюю плотность заряда  $\sigma$ , которую определяют с помощью плексигласовой пластины размером  $4 \times 4$  см. Снимая этой пластиной заряд с разных частей конденсатора и измеряя его электроскопом, можно определить среднюю плотность заряда, откуда  $\varepsilon_0 = \sigma/E$ .

**Определение электрической постоянной в учебной лаборатории.** Насолюк В. М., Міненко І. Л. Визначення електричної сталої в навчальній лабораторії. “Методика викладання Фіз. Респ. наук.-метод. Зб.”, вип. 5, 98-101. [РЖ 1971 № 5А115].

С учетом краевого эффекта формулу емкости плоского конденсатора для вакуума или воздуха можно записать так:  $C = k(d)\varepsilon_0 S/d$ , где  $k(d)$  – множитель, зависящий от расстояния между пластинами. При сближении пластин (когда  $d \rightarrow 0$ )  $k \rightarrow 1$ . Это свойство множителя  $k$  используется для определения электрической постоянной  $\varepsilon_0$ . С этой целью измеряется емкость конденсатора для нескольких значений  $d$ , наименьшее из которых приближается к предельному. Емкость измеряется прибором Е12-1А, предназначенным для измерения малых емкостей, а расстояние – микрометрическим индикатором часового типа. Даны также советы, как можно повысить точность измерений.

**Получение эквипотенциальных линий на металлизированной бумаге.** Auschra Max Georg. Darstellung von Aquipotentiallinien auf Metallpapier. “Prax. Naturwiss.”, 1970, Teil 1, 19, № 9, 240-243. [РЖ 1971 № 2А91].

Рекомендуется при исследовании электростатического поля вместо проводящей жидкости использовать металлизированную бумагу. Бумагу прикрепляют к деревянной доске и располагают на ней электроды любой формы. Электроды соединяют с источником напряжения и исследуют электрическое поле обычным образом при помощи зонда, соединенного с вольтметром.

**Измерение сил в электрическом поле.** Gerhardt Friedrich. Messung von Kräfte im elektrischen Felfd. “Prax. Naturwiss.”, 1970, Teil 1, 19, № 4, 85-88. [РЖ 1970 № 9А90].

Описывается экспериментальная установка для исследования зависимости между силой, действующей на заряженное тело в однородном электрическом поле, и величиной заряда тела. Необходимое оборудование: плоский конденсатор, пробная пластинка-диск в конденсаторе, рычажные весы с демпферным устройством для измерения силы в относительных единицах, зеркальный гальванометр для измерения заряда пробной пластины в относительных единицах, источник постоянного напряжения. Приведены параметры важнейших узлов установки.

**Измерение электрического заряда и магнитного поля с помощью маятника.** Baldini L., Calderoni F., Zoli P. Misura della carica elettrica e dei campi elettrici, mediante l'uso del pendolo. “G. fis. Soc. Ital. Fis.”, 1971, 12, 3 3–4, 269-279 (итал.). [РЖ 72 9А62].

Цель эксперимента – определить величину элементарного электрического заряда без использования микроскопа, как это делается в опытах Милликена, путем сопоставления колебания заряженного маятника в жидкости в присутствии и

отсутствии электрического поля. Определив разницу между периодами колебаний в том и другом случае, можно определить величину заряда маятника.

**Установка для измерения удельного заряда электрона.** Zouzelka Jan, Siroka Miroslava. *Souprava pro mereni specifickeho naboje elektronu*. “*Mat. A fiz. Sk.*”, 1972, 2, № 8, 501-504 (чеш.). [РЖ 72 9А63].

Описано устройство выпускаемой фирмой RHYWE установки для измерения удельного заряда электрона и методика проведения этого опыта. Подчеркивается, что установку можно также использовать для наблюдения движения электронного пучка в магнитном поле, как в случае влетания пучка перпендикулярно к вектору магнитной индукции, так и под иным углом.

**Лазерное освещение для опыта Милликена с масляными каплями.** Spenceley B., Hastings L. *Laser illumination for the Millican oil-drop experiment*. “*Amer. J. Phys.*”, 1972, 40, № 3, 474-475 (англ.). [РЖ 72 9А64].

Обычно основная трудность в этом опыте состоит в настройке вольфрамовой лампы с рефлектором для освещения капель, находящихся между пластинами. Кроме того, опыт по необходимости должен производиться в темной комнате. Эти недостатки легко устраняются при использовании для освещения капель газового (аргонового или гелий-неонового) лазера. Введение лазера в хорошо известный эксперимент не только облегчает его, но и повышает интерес у студентов.

**Возможности постановки лабораторных работ по электростатике.** Дуков В. М. “Сб. науч.-метод. Статей по физ. М-во высш. и средн. Спец. Образования СССР”, 1972, вып. 2, 50-56. [РЖ 1972 8А59].

Рассматриваются основные трудности постановки электростатических работ (утечка заряда через изоляцию по объему и поверхности, утечка заряда с острий, возникновение зарядов на диэлектрических деталях установки, влияние внешних электрических полей и емкостные влияния, трудности хорошего заземления, нестабильность источников напряжения) и пути их устранения. Кратко описаны некоторые задачи, которые можно включить в лабораторный практикум: измерение напряжения источника э. д. с. электростатическим и токовым вольтметрами; измерение напряжения в зависимости от емкости системы; измерение времени релаксации, последовательное соединение конденсаторов, деление напряжения, измерение собственной емкости вольтметра; измерение малых потенциалов; измерение диэлектрической проницаемости и проводимости диэлектриков.

**Эксперименты с макроскопическими заряженными частицами.** Straubel H. *Experiment mit makroskopischen geladenen Teilchen*. “*Phys. Bl.*”, 1972, 28, № 2, 65-70 (нем.). [РЖ 72 8А61].

Предлагается модернизировать опыт Милликена по определению отношения заряда частицы к ее массе ( $e/m$ ). Заряженные частицы попадают в проводящее кольцо, присоединенное к одной клемме источника (вторая клемма заземлена) переменного напряжения (10 кВ, 50 Гц), и при определенном отношении  $e/m$  не выходят из плоскости кольца, т. к. по обе стороны кольца имеются пластины, к которым (как в опыте Милликена) приложено постоянное напряжение достаточной величины. Описан способ определения  $e/m$  для указанного случая, когда частица выходит из кольца и приобретает определенную скорость, зависящую от сопротивления среды.

**Эксперименты с системой параллельных проводов по изучению стационарного электрического поля.** Stahl Wilhelm. Experimente zum stationären elektrischen Feld – an einem Parallel-Leitersystem. “Prax. Naturwiss.”, 1972, Teil 1, 21, № 3, 73-78 (нем.). [РЖ 72 8А65].

В электростатическом случае электрическое поле внутри проводника отсутствует; заряды находятся на поверхности проводника; линии напряженности электрического поля перпендикулярны поверхности. В случае стационарного электрического тока внутри проводника существует электрическое поле и электрические заряды; вне проводника существует электрическое поле, но линии напряженности не перпендикулярны поверхности проводника. Приводится ряд экспериментов, доказывающих приведенные выше положения. Необходимое оборудование: система параллельных проводников, источник постоянного напряжения (6000 В), электрометр, микроамперметр.

**Опыты на потенциометрической кювете.** Seufert Wolfgang. Versuche an einem Potentialtrog. “Prax. Naturwiss.”, 1972, Teil 1, 21, № 8, 200-293 (нем.). [РЖ 73 1А57].

Описывается демонстрация эквипотенциальных линий электрического поля в плоской горизонтальной кювете (25×25×3 см), где в электролите помещены электроды, к которым подведено переменное напряжение 6 В. С помощью дополнительного электрода-щупа и вольтметра с высоким внутренним сопротивлением (осциллографа) измеряется разность потенциалов по отношению к одному из электродов. Изображение кюветы с системой электродов и щупом проецируется на классную доску, где мелом отмечаются эквипотенциальные линии. Приводятся результаты опытов для некоторых расположений электродов.

**Проверка пропорциональности между  $F$  и  $q$  в электрическом поле.** Huttli Ingo. Messungen zur Proportionalität von  $F$  und  $q$  in elektrischen Feld. Eine verbesserte Versuchsanordnung. “Prax. Naturwiss.”, 1972, Teil 1, 21, № 11, 298-302 (нем.). [РЖ 73 4А100].

При неизменном поле сила, действующая со стороны электрического поля на заряд, пропорциональна заряду. Проверка этой закономерности затруднительна из-за зарядов, индуцируемых пробным зарядом в теле, в поле заряда которого он вносится. Чтобы избежать этого, заряженное пробное тело в виде диска вносится в пространство между пластинами плоского конденсатора на одинаковое расстояние от каждой из пластин. Тогда заряды, наводимые в каждой из пластин, действуют на пробное тело с силами, одинаковыми по величине и противоположно направленными. Сила, действующая со стороны плоского конденсатора на внешнее пробное тело, может быть измерена с помощью рычажных весов; указаны параметры установки и подробная методика измерений.

**Электростатический вольтметр.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1973. Р 33. С. 214.

**Исследование баллистического гальванометра.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1973. Р 45. С. 274. 1983. Работа 4.9. С. 317.

**Баллистический метод измерения заряда с помощью демонстрационного магнитоэлектрического прибора.** Buth Manfred. Ballistische Ladungsmessung mit Demonstrationsdrehspulgerat. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 4, 102-105 (нем.). [РЖ 73 9A71].

Рассматривается использование магнитоэлектрического гальванометра для измерения заряда и емкости конденсатора. Гальванометр снабжен равномерной шкалой по току, вращательный момент его пружины пропорционален углу поворота стрелки, демпфирование пропорционально скорости колебаний и оставляет только апериодические колебания. Выводится формула связи заряда, протекающего через прибор при заряде конденсатора, с величиной максимального отклонения стрелки гальванометра и его механической постоянной.

**Опыты с заряженными каплями воды.** Krumm Erich. Versuche mit geladenen Wassertropfen. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 6, 159-162 (нем.). [РЖ 73 11A72].

Описываются семь опытов с простым самодельным электростатическим генератором. Генератор состоит из капельницы, сделанной из корпуса пластмассового шприца, металлической чашки на изолирующей подставке и электрода, наводящего заряды в падающих из капельницы каплях воды. Соединяя крестобразно две таких установки (чашку одной с электродом другой), получают самовозбуждающийся электростатический генератор.

**Повышение точности измерений при доказательстве  $F \sim Q_0$  в постоянном во времени электрическом поле.** Gericke C.-D. Erhöhung der Messgenauigkeit beim Nachweis  $F \sim Q_0$  im zeitlich konstanten homogenen elektrischen Feld. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 6, 162-163. [РЖ 73 11A73].

Рассматриваются источники погрешностей в опыте по проверке пропорциональности между силой  $F$ , действующей на пробный заряд в однородном электростатическом поле, и величиной заряда  $Q_0$ , а также условия их устранения. Рекомендуется для пробного заряда и для переносчика заряда на пробный использовать посеребренные стеклянные шары, сам перенос осуществлять внутри заземленного "ящика Фарадея", ручку для переносчика заряда и подвеску для пробного заряда делать из хорошего изолятора (к примеру из стекла). Описывается методика серебрения стеклянных шаров.

**$C \sim 1/d$  при больших расстояниях между пластинами.** Luysberg Johannes.  $C \sim 1/d$  bei grosseren Plattenabstanden. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 6, 147-151 (нем.). [РЖ 73 11A74].

Указывается, что точность проверки зависимости емкости плоского конденсатора от расстояния между пластинами падает на больших расстояниях вследствие возрастания поля рассеяния и на малых – из-за неточности измерения расстояния. Для повышения точности опытов рекомендуется применить металлический экран, соединенный с одной из пластин. Приводимые картины силовых линий показывают резкое уменьшение поля рассеяния, что позволяет в 10 раз увеличить допустимые расстояния между пластинами и, следовательно, точность измерений.

**Электрокардиограмма как пример [при изучении] электростатики в общем курсе физики.** Hobbie Russell K. The electrocardiogram as an example of electrostatics. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 6, 824-831 (англ.). [РЖ 73 11А75].

Обсуждается простая электростатическая модель, позволяющая объяснить качественные особенности электрокардиограммы. Модель разработана для случая полного отсутствия электропроводимости человеческого тела. Описываемая модель использована для объяснения серии кардиограмм. Отмечается возможность использования описываемой модели в ряде других медико-биологических экспериментов.

**Возможности введения омической сетки в преподавание физики и физический практикум.** Pacena Rainer. Möglichkeiten des Einsatzes eines ohmschen Netzwerkes im Physikunterricht und im physicalischen Praktikum. "Math. Und naturwiss. Unterr.", 1973, 26, № 4, 234-236 (нем.). [РЖ 73 11А77].

Предлагаются основные эксперименты, разъясняющие понятия поля и потенциала, проводить на модели в виде прямоугольной сетки, составленной из одинаковых омических сопротивлений. Подводя к внутренним или граничным точкам сетки постоянное напряжение, легко зафиксировать картину эквипотенциальных линий. Если сеть составлена из двух и более областей, образованных разными по величине сопротивлениями, можно наблюдать преломление эквипотенциальных линий на границе разных сред. Проведение опытов с омической сеткой проще и нагляднее, чем с электролитической ванной.

**К вопросу баланса энергии при параллельном включении конденсаторов.** Berge Otto Ernst. Zur Frage der Energiebilanz bei der Parallelschaltung von Kondensatoren. "Math. Und naturwiss. Unterr.", 1973, 26, № 4, 242-243 (нем.). [РЖ 73 11А78].

Рассматривается схема из двух параллельно включенных конденсаторов равной емкости, один из которых был предварительно заряжен. Показывается, что уменьшение вдвое полной энергии конденсаторов при перезаряде, строго равно омическим потерям в цепи во время перезаряда.

**Измерение отношения  $e/m$  для заряженных капель воды.** Введение к изучению действий электрических сил. Hart Francis X. Measuring  $q/m$  for water drops. An introduction to the effects of electrical forces. "Amer. J. Phys.", 1974, 42, № 2, 141-147 (англ.). [РЖ 74 7А87].

Описана возможность экспериментального определения действия электрических сил на заряженный макроскопический объект. Рассмотрены два метода измерения отношения заряда к массе для капель воды, образованных при вытекании из капилляра, к кончику которого приложено высокое напряжение. При использовании первого метода капли падают между двумя параллельными пластинами, к которым приложено известное напряжение. Отношение  $q/m$  определяется по отклонению капли от вертикального направления. При втором методе измерения определенное число капель собирается в мензурку для определения их массы и в цилиндр Фарадея для определения их заряда. Проводится сравнение результатов измерения отношения  $q/m$  двумя описанными методами.



**Опыт Милликена с масляными каплями во вводном практикуме.** Heald Mark. Millican oil drop experiment in the introductory laboratory. "Amer. J. Prac.", 1974, 42, № 3, 244-246 (англ.). [РЖ 74 9А90].

Во вводном практикуме на простой установке поставлен опыт Милликена, в котором можно "видеть" отдельный электрон. Студент находит подходящую капельку и делает измерения напряжения, необходимого для остановки капли  $\Delta v$ , и времени, в течение которого капля проходит определенное расстояние под действием только силы тяготения  $\Delta t$ . Затем вычисляется величина  $\Delta v^{-1} \Delta t^{-3/2}$ , которая пропорциональна заряду капли. В описываемой аппаратуре напряжение изменяется от 700 до 3500 В, время падения капли 4–40 сек. Предложенный упрощенный вариант опыта Милликена позволяет проиллюстрировать основные положения опыта, дать каждому студенту индивидуальное задание и использовать статистический метод анализа результатов эксперимента.

**Установка для проверки закона Кулона и закона Ампера.** Stngharhan Wijt, Fry Richard K. Current balance and Coulomb's law apparatus. "Phys. Teacher", 1974, 12, № 7, 435-437 (англ.). [РЖ 75 4А88].

Описаны конструкция и методика использования комбинированной установки для количественной проверки зависимости силы взаимодействия неподвижных зарядов от величины зарядов и расстояния между ними, а также зависимости силы взаимодействия проводников с током от величины токов, длины проводников и расстояния между ними.

**Два варианта опыта Милликена с полистироновыми шариками.** Wall C. N., Christensen F. E. Dual-purpose Millican experiment with polystyrene spheres. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 5, 408-413 (англ.). [РЖ 75 12А177].

Серьезным недостатком традиционного опыта Милликена по определению заряда электрона с использованием масляной капли является то, что он часто приводит к большим ошибкам. В данной работе показано, что при использовании полистироновых шариков точность измерений улучшается. При такой замене устраняется необходимость определения размера капельки. Поскольку размер шарика известен, можно провести два независимых опыта по определению  $e$ : одно – с использованием закона Стокса, другое – без него. Кроме того, используя малость размера шарика, можно по броуновскому движению оценить постоянную Больцмана.

**Об опыте Милликена в физическом практикуме.** Buck Hartwin. Zum Milika-Versuch im Physikalischen Praktikum. "Phys. Und Didakt.", 1978, 6, № 4, 291-300 (нем.). [РЖ 79 5А81].

Описана методика измерения элементарного электрического заряда в эксперименте, в котором капли масла падают под действием силы тяжести в поле заряженного конденсатора. Указаны оптимальные условия опыта, обсуждаются вопросы, связанные с точностью измерения физических величин, необходимых для определения заряда. Даны рекомендации по математической обработке результатов. Описан метод определения постоянной Больцмана из опыта Милликена.

**Измерение электростатических сил.** Hale D. P. A measurement of electrostatic forces. "Phys. Educ.", 1978, 13, № 6, 344-347 (англ.). [РЖ 79 5А82].

Подробно описана методика проведения эксперимента по измерению с помощью электростатических весов силы, действующей между пластинами плоского конденсатора, частично заполненного диэлектриком. Описано применяемое оборудование, обсуждаются результаты эксперимента.

**Об опытной проверке закона Кулона.** Върху опитната проверка на закона на Кулон. Иванов Д., Кръстев Г. “Науч.тр. Пловдив. ун-т. Физ.”, **1978** (1979), 16, № 2, 335-347 (болг.; рез. рус., англ.). [РЖ 81 3А110].

Представлена методика проведения лабораторных работ по экспериментальной проверке закона Кулона путем прямого измерения силы электростатического взаимодействия.

**Демонстрация опытов по электростатике с помощью крутильных весов.** Demonstrace s torznými vahami pro pokusy z elektrostatiky. Zouzelka Jan. “Acta Univ. palack. Olomunc. Fac. Rerum. Natur, Phys.”, **1980**, 65, 225-227. [РЖ 82 2А92].

Описаны крутильные весы, служащие как для демонстрации закона Кулона, так и для проведения ряда опытов по электростатике. После градуировки весов (для измерения силы) можно с помощью электрометра оценить численное значение коэффициента  $K$  в законе Кулона. Преимуществом данных весов является упрощение вычисления взаимного расстояния между центрами двух заряженных шариков.

**Электростатический потенциал в лабораторном эксперименте.** Electrostatic potential on a laboratory measurement experiment. Murata Hiroshi, Sakuraoka Mitsuru. “Amer. J. Phys.”, **1981**, 48, № 9, 763-766 (англ.). [РЖ 81 3А118].

**Проницаемость вакуума и измерение диэлектрической постоянной.** Permittivity of free space and dielectric constant measurement. Chakravarti S. K. “Phys. Teach.”, **1981**, 19, № 2, 120-121 (англ.). [РЖ 81 8А117].

Описана лабораторная работа, в которой измеряется величина электрической постоянной  $\epsilon_0$  и диэлектрических постоянных различных твердых и жидких веществ с помощью простейшего лабораторного оборудования. В работе используется модифицированный электрический звонок (220 В, 50 Гц); плоскопараллельный конденсатор из двух алюминиевых дисков диаметром 30 см, с расстоянием между дисками 0,2 см; микроамперметр постоянного тока. Для зарядки конденсатора используется источник постоянного тока на 300 В. С помощью электрического звонка конденсатор заряжается и разряжается с известной частотой  $n$ . Учащиеся измеряют величины тока разряда  $I$  для различных величин разности потенциалов между пластинами. Величина  $\epsilon_0$  может быть найдена по формуле  $\epsilon_0 = dI/AnV$ , где  $A$  – площадь пластин конденсатора,  $d$  – расстояние между пластинами. Далее опыт проводится для конденсатора с диэлектриком между пластинами (бакелит, картон, стекло и др.); в случае жидких диэлектриков (керосин, спирт, органические жидкости) к нижней пластине конденсатора приклеивается кольцо из изолирующего материала известной толщины, с диаметром, равным по величине диаметру пластины. Диэлектрическая постоянная находится из соотношения  $k_1/k_2 = I_1/I_2 \cdot V_1/V_2$ , где  $k_1$  и  $k_2$  – диэлектрические постоянные двух диэлектриков, одна из которых должна быть известна заранее. Отмечается, что для уменьшения ошибок эксперимента величина  $d$  должна измеряться с по-

мощью микроскопа по периметру конденсатора, а затем усредняться; при изменении величины разрядного тока может быть использован осциллограф или гальванометр со световым пятном. С помощью описанного устройства можно изучать также последовательное и параллельное соединение конденсаторов.

**Заметка об экспериментальном определении закона Кулона.** Note on the experimental determination of Coulomb's law. Akinrimisi Jibayo. "Amer. J. Phys.", 1982, 50, № 5, 459-460 (англ.). [РЖ 83 1A120].

Простой эксперимент по определению закона Кулона был описан Wiley и Stutzman (Am. J. Phys., 1978, 48, 1131); существенной его особенностью было то, что в нем для определения силы, действующей между точечными зарядами, не измерялись ни величина заряда, ни масса, ни сила, но было сделано предположение о линейной зависимости силы от величины каждого из взаимодействующих зарядов. Предложен простой вариант этого эксперимента, в котором используется тот же подход, за исключением предположения о линейности зависимости силы от заряда. Закон Кулона определяется полностью экспериментально, с точностью до постоянного множителя, причем предполагается, что зависимость силы имеет вид  $F = k(Q_a^x Q_b^y / r^x) \mathbf{l}_r$ , где  $Q_a$  и  $Q_b$  – взаимодействующие точечные заряды,  $r$  – расстояние между ними,  $\mathbf{l}_r$  – единичный вектор,  $k$  – постоянная. Отличные от нуля положительные постоянные  $x$  и  $y$  определяются экспериментально. Для их определения одинаковые легкие шарики с проводящим покрытием, одинаково заряженные, подвешиваются на длинных нейлоновых нитях. Подход, предложенный автором, состоит в изменении длины нитей, что влечет появление новой равновесной конфигурации, а также в изменении величины заряда. Измеряются: длина нитей и расстояние между зарядами. Приведен вывод расчетных формул. Экспонента  $y$  вычисляется с помощью предварительно определенной экспоненты  $x$ ; однако они могут быть определены и независимо. Результаты (численные) могут быть получены также графическим способом.

**Лабораторная работа “Измерение элементарного электрического заряда”.** Лабораторна работа “Измерване на елементарния електричен заряд”, Суербаев Ахмед, Бахирев Владимир, Жиряков Александър. “Физика” (НРБ), 1983, 8, № 4, 33-34 (болг.). [РЖ 84 1A111].

Приводится описание лабораторной работы, проводимой на внеклассных занятиях. При электролизе водного раствора соли NaCl водород собирается в стеклянной трубке с пробкой, насаженной на угольный катод. Зная значения силы тока (0,1 А), время его прохождения через раствор и объем выделившегося водорода, можно вычислить элементарный электрический заряд.

**Лабораторная работа практикума “Определение емкости конденсатора”.** Кубицкий В. А. “Физ. в шк.”, 1985, № 1, 49-51. [РЖ 85 5A123].

В лабораторной работе предусмотрено несколько способов измерения емкости конденсатора, в основе которых – определение ее как отношения заряда на обкладках конденсатора к разности потенциалов между ними. При этом исследуется процесс зарядки или разрядки конденсатора, устанавливается зависимость силы тока  $i$  от времени  $t$ ; из графика  $i=f(t)$  определяется площадь, ограниченная графиком и осями координат, и емкость находится как отношение этой

величины к разности потенциалов между обкладками. Предложены варианты определения емкости.

**Экспериментальная проверка электростатической теоремы Гаусса в лабораторном практикуме курса общей физики втуза.** Кабасов Ю. К., Показаньев В. Г., Шишмаков А. С., Жебердяев И. Ф.; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. Томск, 1985, 8 с., ил. Библиогр. 2 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 10.10.85, № 7152–В). [РЖ 86 1А129 ДЕП.].

Разработаны методика проведения эксперимента и лабораторная установка по проверке теоремы Гаусса в электростатике. Основными элементами указанной установки являются: плоский конденсатор (источник электрического поля), электронный коммутатор, резистор и электронный осциллограф. Заряженный конденсатор разряжается через резистор, напряжение с которого подается для исследования на осциллограф. Разработанный электронный коммутатор позволяет получать на экране осциллографа устойчивую кривую разряда. По кривой разряда, представляющей собой зависимость напряжения от времени, определяют заряд на обкладках конденсатора. Зная параметры конденсатора и подаваемое на него начальное напряжение, находят поток вектора напряженности электрического поля. Результаты эксперимента подтверждают линейную зависимость между электрическим зарядом и потоком вектора напряженности электрического поля.

**Два эксперимента по измерению электрического поля Земли вблизи ее поверхности и зависимости разности потенциалов от высоты. Two experiments to measure the electric field at the Earth's surface and the variation of potential difference with height.** Brown L. W. "Phys. Educ.", 1985, 20, № 6, 287-291 (англ.). [РЖ 86 9А109].

Подробно описаны две учебные экспериментальные установки для измерения напряженности электрического поля Земли вблизи ее поверхности. Напряженность либо измеряется непосредственно и сравнивается со специально созданным лабораторным полем, либо с помощью предварительно откалиброванного, как и в первом случае, многошкального электрометра, через индуцированный на пластине электрический заряд. Измеряемое поле имеет величину от 50 В/м до 300 В/м. Погрешность измерений  $\approx 2\%$ . Третий эксперимент – измерение распределения потенциала по высоте. Роль регистрирующего устройства выполняет либо электроскоп, либо квадрантный электрометр. Погрешность измерений около 10% при напряженности поля более 200 В/м.

**Учебный прибор для определения параметров электростатического заряда :** Пат. 2058050 Россия, МКИ <sup>6</sup> G 09 В 2318. Шевченко С. Я. № 5062419/12 : Заявл. 18.09.92. Оpubл. 10.04.96. Бюл. № 10. [РЖ 97 12А175П].

Устройство содержит металлический шар-кондуктор, внутренний стержень, проводящую трубку, изолирующую втулку, динамический конденсатор. Прибор позволяет регистрировать величину и знак малых зарядов, возникающих на окружающих предметах, например, при их трибоэлектризации, а также демонстрировать опыты по всем разделам электростатики в курсе электричества. Благодаря большей чувствительности прибора можно измерять взаимные емкости отдельных проводящих предметов, демонстрировать принципы суперпозиции и

зеркальных изображений в курсе электричества, измерять статическую диэлектрическую проницаемость вещества.

**Определение заряда иона водорода.** Работа 2-07. С. 39-42. Физический практикум. В.В.Ларионов, М.С.Иванкина, Л.Т.Мурашко, и др. Томский политехнический университет. **1993**. 91 с.

**Измеритель электрического заряда.** Meric elektrickeho naboje. Zouzelka J. *Acta Ujiv. Palack. olomuc. Fac. Rerum natur. Phys.* **1995**. 120, № 34. 233-252. Чеш.; рез. англ. [РЖ 96 10А73].

**Определение элементарного электрического заряда и удельного заряда электрона в учебной лаборатории физического практикума.** А. С. Богатин, Ю.Ф. Мальцев, А. П. Землянов и др. ФОВ. **1997**. Т. 3, № 3, 137-138.

**Экспериментальная установка и проверка решения некоторых задач по курсу “Электричество и магнетизм”.** Дивин Н. П., Яковлева Т. А. ФССО-99, С.-Пб-г, **1999**. Тез. Докл. Т. 3, с. 29-30.

**Получение картин электростатических полей.** Easy fields too. Murgatroyd P. N., Jones M. A. *Amer. J. Phys.* **1999**. 67. № 2. 156-157. [РЖ 99 12А131].

**Потери на излучение при перезарядке конденсаторов.** Семин В. Н., Кравцов В. И., Абрамович Т. М. Преподавание физики в высш. школе. № 19. Москва. **2000**. С. 97.

**Измерение энергии стационарных электрического и магнитного полей с помощью калориметра.** Фетисов И. Н. ФССО-01. Шестая Межд. конф. Ярославль. **2001**. Том. 2. С. 150.

**Учебный эксперимент по измерению напряженности электрического поля Земли.** Выборнов Ф. И., Чандаева С. А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2001**. № 13. 35-37, 92. [02.03-18А.129].

В отличие от работ, посвященных измерению индукции геомагнитного поля, определение напряженности электрического поля Земли не входит в обычный перечень работ практикума. В введении в лабораторный практикум курса физики Нижегородского филиала Военного инженерного университета работы по измерению напряженности электрического поля Земли стало возможным только после изготовления электрометра и разработки приемов его абсолютной калибровки. Даны техническое описание установки, методика калибровки и проведения учебного эксперимента по определению вертикальной составляющей вектора напряженности электрического поля Земли.

**Использование электропроводной бумаги при изучении электростатики.** Дивин Н. П., Оноприенко О. В., Яковлева Т. А. *Учеб. физ.* **2001**. № 2. 22-24, 59. [02.05-18А.139].

Описана простая установка для моделирования электростатических полей стационарными. Установка состоит из источника постоянного напряжения, мил-

лиамперметра, вольтметра, зонда и планшета с листом электропроводящей бумаги, на которую наклеены металлические электроды.

**Движение заряженного шарика перпендикулярно силовым линиям электрического поля.** Walking a charged pith ball perpendicular to an electric field. Ouseph P. J., Davis C. L. *Am. J. Phys.* **2001**. 69. № 1. 88-90. [02.08-18A. 165].

**Учебный эксперимент по измерению напряженности электрического поля Земли.** Выборнов Ф. И., Чандаева С. А. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 13. **2001**. С. 35-37.

MaK S.-J. *Phys. Educ.* **2002**. 37. № 2. 154-155. [PЖ 03.01-18A. 169].

**Определение диэлектрической постоянной.** Finding the dielectric constant. Jogad M. S., Jagnamurthy A. *Phys. Educ.* **2002**. 37. № 1. 69-70 [02.06-18A135].

**Измерение электростатических сил между двумя параллельными проводящими цилиндрами.** Measurement of forces between two parallel conducting cylinders. Corona Cruz A., Ley-Koo E. *Rev. mex. fis.* **2002**. 48. № 5. 485-489. [03.06-18A.158].

**Эффективные меры для улучшения точности эксперимента Милликена с масляной каплей.** Zhu J., Wang Y. *dalian qingongye xueyuan xuebao = J. Dalian Inst. Liglu Ind.* **2002**. 21. № 4. 311-312. Кит. ; рез. англ. [03.06-18A.162].

**Эффективные меры для улучшения точности эксперимента Милликена с масляной каплей.** Fei Y. *Jinzhou shifan xueyuan xuebao. Ziran kexue ban = J. Jinzhou Norm. Coll. Natur. Sci. Ed.* **2002**. 23. № 4. 36-40. Кит. ; рез. англ. [03.07-18A.172].

**Опыты по электростатике.** Громыко Г. Г. *Учеб. физ.* **2002**. № 1. 16-18, 62. [03.09-18A.172].

Предлагаются простые опыты по преобразованию электрической энергии в механическую. Рассмотрены автоколебания электростатического маятника и инерционно-электростатический двигатель.

**Оценка и измерение сил между двумя проводящими сферами.** Evaluation and measurement of Forces between two conducting spheres. Corona Cruz A., Ley-Koo E. *Rev. mex. Fis.* **2002**. 48. № 6. 579-585. [03.09-18A.174].

**Измерение напряженности электрического поля Земли и характеристик рассеянного акустического сигнала в предгрозовые периоды.** Выборнов А. Ф., Выборнов Ф. И. Преп. физики в высш. шк. № 23. Москва. **2002**. С. 207-209.

**Совершенствование физического эксперимента по теме “Электростатика”.** Саманов В. В. Преп. физики в высш. шк. № 23. Москва. **2002**. С. 177-178.

**Совершенствование физического эксперимента по теме “Электростатика”.** Саманов В. П. *Преподавание физ. в высш. шк.* **2002.** № 23. 207-209. [04.06-18A.138].

Предлагается измерительный зонд (схема представлена) на основе КМОП-микросхем, светодиодов и миниатюрных гальванических элементов в качестве демонстрационного прибора для наглядного изучения понятий электрического заряда, электрического поля и их свойств. Инверторы микросхемы К561ЛН2 позволяют получить ток выхода  $I_{\text{вых}}=3,2$  мА, что достаточно для интенсивного свечения светодиода (преобразование электрической энергии в световую). Увеличение числа инверторов, подключенных параллельно, приводит к возрастанию выходного тока. Так как работоспособность микросхемы сохраняется при 2–3 В, то для питания прибора можно использовать батарею из 2–3 гальванических элементов. Возрастание светимости светодиода соответствует повышению потенциала поля, а по скорости изменения интенсивности свечения можно ввести понятие напряженности электрического поля как  $\text{grad}U$ . Подключение к комплементарному усилителю микросхемы демонстрационного гальванометра позволит провести количественные прямые измерения потенциала электрического поля и электрических зарядов, а также косвенные измерения напряженности электрического поля и электрической емкости.

**Электростатический генератор Кельвина.** Майер В. В., Майер Р. В. *Учеб. физ.* **2004.** № 4. 3-14. [05.08-18A.121].

Предложена методика изучения принципа действия электростатических машин индукционного типа на примере генератора Кельвина. Дано описание нескольких опытов с генератором Кельвина.

**Лабораторный эксперимент с использованием метода четырехточечного зонда.** A laboratory on the four-point probe technique. Schuetze Andrew P., Lewis Wayne, Brown Chris, Geerts Wilhelmus J. *Amer. J. Phys.* **2004.** 72. № 2. 149-153. [05.11-18A.132].

**Магнит и аналогия ВВ для эксперимента Милликена с масляной каплей.** Magnet and BB analogy for Millikan’s oil-drop experiment. Pearson Earl F. J. *Chem. Educ.* **2006.** 83. № 9. 1313-1316. [07.07-18A.149].

**Количественные измерения электрического поля в лабораторных работах.** Quantitative electric field measurements in a intermediate laboratory. Thomas Bruce R. *Amer. J. Phys.* **2006.** 74. № 4. 255-259. [08.04-18A.123].

**К задаче об электрической зарядке двух шаров при их соприкосновении.** В. А. Саранин, О. Е. Данилов. *ФОВ.* **2008.** Т. 14, № 4. С. 20-25.

**Лабораторный эксперимент по демонстрации закона Гаусса для электрических полей.** A laboratory experiment to demonstratt Gauss’s law for electric fields. Donjho J. Patrick. *Amer. J. Phys.* **2008.** 76. № 10. 963-967. [РЖ 09.06-18A.100].

**Учебно-исследовательская задача "Геометрическое построение и вывод уравнений силовых линий и линий равного потенциала электростатического поля двухпроводной линии"** в курсе физики "Электричество и магнетизм". Дивин Н.П., Яковлева Т.А. С-Пб-г, Россия, РГПУ им. А.И.Герцена. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня 2009 г. С. 375-378.

**Электролитическая ванна переменной глубины.** Глушкова Т. М., Киселев Д. Ф. МГУ им. М. В. Ломоносова. ФССО-09. Мат-лы X Межд. конф. Т. 1. С.-Петербург. 2009. С. 50-52.

Метод электролитической ванны может быть использован для изучения электростатического поля в неоднородных средах, если дно ванны сделать рельефным. В этом случае толщина слоя электролита не будет оставаться постоянной величиной, и участкам ванны с разными значениями удельной электропроводности (или диэлектрической проницаемости) будут соответствовать участки с разными значениями толщины проводящего слоя.

**Постановка учебно-исследовательской работы "Моделирование электростатических полей"**. Дивин Н.П., Андреев С.А., Яковлева Т.А. С-Пб-г, Россия, РГПУ им. А.И.Герцена. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня 2009 г. С. 370-372.

Электростатическое поле стационарного тока является потенциальным, это позволяет использовать его для моделирования электростатического поля заряженных тел в вакууме. В данной работе для моделирования электростатического поля используется поле стационарного тока в электропроводной бумаге.

**Абсолютный электрометр для лабораторных работ по физике. An absolute electrometer for the physics laboratory.** Straulino S., Cartacci A. *Phys. Educ.* 2009. 44. № 3. 301-305. [09.12-18A.113].

Представлен недорогой простой в использовании абсолютный электрометр для измерения электрических потенциалов. В нем используются две тонкие металлические пластины и электронные весы, обычно имеющиеся в распоряжении в лаборатории. Прибор имеет очень хорошие характеристики и позволяет точно измерять силу, действующую между двумя заряженными пластинами.

## 1.2. Диэлектрики

**Исследование сегнетоэлектриков.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 56. С. 321. 1973. Р 55. С. 322.

**Демонстрация петли гистерезиса сегнетоэлектрика.** Штрапенин Л. Б. "Уч. зап. Омск. пед. ин-т", вып. 33, 76-78. [РЖ 1969 1A86].

Описана установка, в которой для получения гистерезиса используется пьезоэлемент от адаптера, а в качестве источника питания включен звуковой генератор ЗГ-2А. Изменяя частоту колебаний, можно получить петли при разных частотах и выяснить зависимость петли от частоты переполяризации. Приведена схема установки и изображения полученных петель на разных частотах.



**Определение пьезомодуля поляризованной керамики.** Стафийчук Е.А., Кирш И.В., Мартынова С.В. и др. Физический практикум. Раздел III. Электричество. Часть I. Методическое пособие для студентов физического факультета. Днепропетровский гос. ун-т. Днепропетровск. **1970**. С. 13-19.

**Лабораторная работа по исследованию диэлектрической постоянной льда** [для студентов старших курсов]. Gingle A., Knasel T. M. Undergraduate laboratory investigation of the dielectric constant of ice. "Amer. J. Phys.", **1975**, 43, № 2, 161-167 (англ.). [РЖ 75 8A85].

Для анализа влияния полярных молекул на электрические свойства тел и введения понятия комплексной диэлектрической проницаемости (ДП) предложена лабораторная работа по определению ДП льда. Используя самодельное оборудование, состоящее из плоского конденсатора емкостью 10 пФ, дьюара с жидким азотом и самодельного моста переменного тока, исследовали частотную зависимость ДП льда в диапазоне 10 Гц – 100 кГц. ДП изменяется от 50 до 2–3, что связано с наличием полярных молекул в кристаллическом льду. Изложена теория рассматриваемого явления, даны рекомендации по увеличению точности измерений.

**Электреты и электростатические измерения.** Varney R. N., Hahn H. T. Electrets and electrostatic measurement. "Amer. J. Phys.", **1975**, 43, № 6, 509-513 (англ.). [РЖ 75 12F178].

Описаны процедуры изготовления электретов в учебной физической лаборатории. Электрет является аналогом магнита, в котором ориентированы определенным образом электрические диполи, а не магнитные. Электрет можно изготовить из небольшого кусочка майларовой пластмассы толщиной 2-5 мм. Кусочек такой пластмассы помещается между двумя отполированными пластинками из меди или латуни и зажимается струбциной; пластины соединяются с источником постоянного тока напряжением 200 В. Электризация выполняется в течение 1 часа при температуре 125<sup>0</sup> С. Под действием электрического поля майларовый лист поляризуется таким образом, что одна его поверхность заряжается положительно, а вторая – отрицательно. С помощью электрометра измеряется величина заряда электрета, которая используется при расчете поверхностной плотности заряда. Обсуждается теория электрета. Описано несколько простых экспериментов с электретами. Анализируется возможность применения электретов в учебном процессе.

**Изготовление электретов и опыты с ними.** Кузнецов А. А., Федонина О. И. В сб. "Методика и техн. физ. эксперимента". Вып. 3. Саратов, **1975**, 12-18. [РЖ 75 8A87].

Кратко изложены теоретические основы электретного состояния вещества, описано изготовление термоэлектретов с помощью поляризующей головки, схема которой приведена. Под электретом понимают диэлектрик, длительно сохраняющий поляризацию после удаления внешнего электрического поля и создающий в окружающем его пространстве электрическое поле. Проще всего электрет изготовить из смеси пчелиного воска и канифоли. В качестве источника высокого напряжения можно использовать не только схему умножения, но и электростатическую машину или источник высокого напряжения типа ИВН-1. Студен-

тов и учащихся средней школы предлагается знакомить с применением электретов на модели электронного микрофона. Электреты используются в учебном процессе как учебно-наглядное пособие при изучении различных тем курса общей физики (поляризация, электрическое поле, электроизмерительные приборы и т. д.

**Измерение диэлектрических потерь в естественных минералах.** Dielectric loss measurements on raw materials. Mwanje J. "Amer. J. Phys.", 1980, 48, № 10, 837-839 (англ.). [РЖ 81 7A119].

Описана лабораторная работа по определению величины потерь в диэлектрике для диапазона частот 1–500 Гц генератора переменного напряжения. Сигнал с генератора подается на последовательно включенные конденсатор и активное сопротивление, причем диэлектриком в конденсаторе является диск, изготовленный из исследуемого образца (образца горной породы). Напряжение с конденсатора и активного сопротивления подается на пластины осциллографа. Наблюдаемый на экране осциллографа эллипс имеет ориентацию, зависящую от фазового сдвига между напряжениями  $U_x$  и  $U_y$ , который в свою очередь определяется соотношением между действительной и мнимой частями диэлектрической проницаемости.

**Изучение диэлектрических свойств сегнетоэлектриков в физическом практикуме вуза.** ДЕП. Таран В. Г., Рязанцев О. В.; Ред. ж. "Изв. вузов. Физ.". Томск, 1985, 10 с., ил. Библиогр. 8 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 7 янв. 1985, № 218–85 Деп.). [РЖ 85 4A124].

Описана лабораторная установка для изучения диэлектрических свойств сегнетоэлектриков методом петель гистерезиса. Приведены рекомендации по постановке лабораторной работы, методике выполнения эксперимента и обработке результатов измерений. Указаны различные варианты использования установки в учебном процессе.

**Сегнетоэлектрики.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 6. С. 43-49.

Изучается зависимость диэлектрической проницаемости титаната бария от напряженности поля и от температуры. Образец представляет собой небольшой диск с посеребренными поверхностями – сегнетоконденсатор. Электрическая схема позволяет наблюдать на экране осциллографа петлю гистерезиса – зависимость поляризации образца от напряженности электрического поля, в котором он находится. Для температурных исследований образец помещается в печь, где он может быть нагрет до  $180^{\circ}\text{C}$ .

**Исследование зависимости диэлектрической проницаемости от влажности вещества.** Ретивов Н. А., Ретивова Л. Д. "Сб. науч.-метод. ст. по физ." (Москва). 1989. № 15. С. 104-106. [РЖ 90 3A155].

Дано описание лабораторной работы по изучению зависимости диэлектрической проницаемости вещества (зерна) от содержания в нем влаги. Эта работа может быть предложена студентам в качестве научно-исследовательской работы в учебное время, если для исследования предлагать вещества, представляющие интерес для той или иной специальности, и ставить соответствующие задачи.

**Методика применения электретных керамических материалов в физическом эксперименте.** Семин В. Н., Абрамович Т. М., Панченко Е. М. Таганрог. гос. пед. ин-т. 1990. 8 с. [РЖФиз. 1991-2.А158]. (Есть реферат – 20 стр.).

**О возможности изучения физических свойств твердого тела на примере сегнетоэлектрика.** Шилова А. С., Шилов В. Е. *Метод. преп. физ. в соврем. условиях* : Матер. межвуз. семина., Йошкар-Ола, 26-29 марта, 1995. Йошкар-Ола, 1995. 15-17. Рус. [РЖ 97 6А92].

Для изучения процессов поляризации и переполяризации сегнетоэлектриков используется схема Соьера-Тоуэра, состоящая из конденсатора с сегнетоэлектрическим диэлектриком, эталонного конденсатора и омического делителя напряжения.

**Определение температуры Кюри сегнетокерамики.** Шеффер Н. И. *Физ. в шк.* 1997. № 1. 40-42. [РЖ 97 8А107].

При углубленном изучении физики для закрепления материала о свойствах сегнетоэлектриков и явлении пьезоэлектрического эффекта целесообразно поставить в физическом практикуме две лабораторные работы: “Определение температуры Кюри сегнетокерамики” и “Определение пьезомодуля”. Описана лабораторная установка, которая может быть использована для демонстрации пьезоэлектрического эффекта.

**Лабораторная работа по исследованию анизотропии электрических и оптических свойств одноосного кристалла.** Н.Я.Молотков, А.В.Постульгин. Т. 3, № 2, 1997. С. 103–110.

**Исследование нелинейных диэлектрических свойств сегнетоэлектриков в лабораторном практикуме по курсу общей физики.** Ефимов В. В., Еремин Н. В. *Исполь. науч.-техн. чеб. физ. эксперим. Пенз. гос. пед. ун-т.* Пенза. 1997. 12-15. Рус. [РЖ 99 1А118].

Дано краткое теоретическое введение. Изложена методика эксперимента. Описаны три экспериментальные задачи: осциллографическое наблюдение петли диэлектрического гистерезиса, определение ее параметров; определение зависимости дифференциальной диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от электрического поля; изучение температурной зависимости спонтанной поляризованности сегнетоэлектрического кристалла и коэрцитивного поля.

**Изучение тензоров в практикуме: диэлектрическая проницаемость и электросопротивление древесины.** Examining tensors in the lab: The dielectric permittivity and electrical resistivity of wood. Perkalskis B. S., Freeman J. R. *Amer. J. Phys.* 1998. 66. № 9. 816-820. Англ. [РЖ 99 9А100].

**Пьезоэлектрический эффект в учебных опытах по физике.** Каган Э. Л., Панченко В. В. ФССО-99, С.-Пб-г, 1999. Тез. Докл. Т. 3, с. 37-38.

**Лабораторный практикум по специализации “Физика сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков.”** Богомоллов А. А., Иванов В.В. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 162-163.

**Измерение диэлектрической проницаемости и угла диэлектрических потерь в твердых диэлектриках в диапазоне СВЧ (С).** Шилова М. В., Федосеева Н. В., Планкина С. М. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум: Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 167-187. [02.12-18А.179].

Целью работы является знакомство с принципом измерения параметров диэлектриков на СВЧ и освоение методики определения параметров диэлектриков с помощью коаксиальной линии. Метод определения  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$ , использующий коаксиальную линию, является разновидностью волноводного метода. При использовании этого метода для расчета  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  необходимо решить уравнения электромагнитного поля для определенной конфигурации передающей линии с учетом влияния на электромагнитное поле исследуемого диэлектрика. Рассматривается решение этого трансцендентного уравнения, не имеющего решения в общем виде, с помощью ЭВМ. Для проведения численных расчетов, не накладывающих никаких дополнительных ограничений, используется программа, написанная на языке ПАСКАЛЬ.

**Определение собственного дипольного момента полярной молекулы (Б, С).** Федосеева Н. В., Шилова М. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 110-122. [02.12-18А.176].

Экспериментальное определение собственного дипольного момента полярной молекулы осуществляется двумя методами Дебая. Рассматриваются общие понятия о полярных диэлектриках, дипольно-ориентационная поляризация, методы определения собственного дипольного момента полярной молекулы.

**Исследование упругих видов поляризации в твердых диэлектриках. (С).** Шилова М. В., Федосеева Н. В., Курильчик Е. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 123-139. [РЖ 02.12-18А.177].

Целью работы является: 1) освоение методики определения диэлектрической проницаемости на низких частотах с учетом особенностей измерения малых значений емкости; 2) измерение диэлектрической проницаемости и показателя преломления твердых диэлектриков с упругим механизмом поляризации; 3) сравнение значений диэлектрической проницаемости с квадратом показателя преломления.

**Диэлектрические потери в материалах с тепловыми видами поляризации (Б, С).** Федосеева Н. В., Шилова М. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 140-155. [02.12-18А.178].

В работе исследуются частотно-температурные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь для диэлектрика с тепловым механизмом поляризации. Объектом исследования являлась 15%-ная смесь трансформаторного масла с канифолью.

**Изучение пьезоэлектрических свойств кварца (Б).** Федосеева Н. В., Шилова М. В., Попов Ю. С. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное*

*пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 188-203. [РЖ 02.12-18А.180].

В работе исследуются резонансные кривые пьезоэлектрического кварца и определяются из них параметры как самого кварца, так и эквивалентной схемы пьезоэлектрического резонатора. Рассматриваются общие представления о пьезоэффекте, влияние симметрии на вид матрицы пьезомодулей, колебания пьезокристалла, теория пьезоэлектрического вибратора, пьезокристалл как преобразователь энергии.

**Измерение силы, действующей на диэлектрик, с помощью электронных весов.** Measuring the force on a dielectric with an electronic balance. Digilov R., Reiner M. *Phys. Educ.* 2002. 37. № 1. 70-72. [РЖ 02.06-18А130].

**Электромеханический резонанс.** Кашицын А. С., Тимофеев Г. А., Шклярук Д. С. *Учеб. физ.* 2002. № 1. 38-41, 63. [РЖ 03.09-18А.170].

Дано описание ряда учебных физических экспериментов, целью которых является изучение закономерностей поведения кристаллов кварца, помещенных в переменное электрическое поле. В качестве объекта исследования предлагается использовать пьезоэлектрический резонатор, который представляет собой кварцевую пластину с нанесенными электродами, закрепленную в держателе. Кварцевые резонаторы различного типа выпускают серийно и доступны для проведения исследований в учебных целях. Действие пьезорезонатора основано на явлении прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта, и поэтому кварцевая пластинка в электрическом поле проявляет свойства электрической цепи.

**О перераспределении электрического заряда у поверхностей ионных кристаллов при нагреве в электрическом поле.** Карыев Л. Г., Федоров В. А., Мексичев О. А. *Вестн. Тамб. ун-та. Сер. естеств. и техн. н.* 2002. 7. № 1. 95-96. [РЖ 03.09-18А.178].

Получены экспериментальные и теоретические данные, доказывающие, что уменьшение размера частиц до десятков и единиц нанометров приводит к изменению физико-химических свойств, в том числе фазового состава как индивидуальных наночастиц, так и их ансамблей. Описана методика получения наночастиц термодинамически равновесным методом из растворов солей, позволяющая обратно менять размеры частиц в ходе их исследования. Экспериментально установлено, что зародыши кристаллической фазы в ряде случаев могут иметь другой фазовый состав, чем массивные кристаллы. Рассмотрены механизмы взаимодействия ансамблей наночастиц с электромагнитным излучением.

**Определение диэлектрической проницаемости с помощью плоского конденсатора.** Determining dielectric constants using a parallel plate capacitor. Grove T. T., Masters M. F., Miers R. E. *Amer. J. Phys.* 2005. 73. № 1. 52-56. [06.10-18А.148].

**Исследование электрических свойств биологических тканей в лабораторном практикуме.** Тарасова А. В. *Физ. вестн. Помор. ун-та.* 2005. № 4. 97-102. [06.08-18А.139].

Описана лабораторная работа, посвященная изучению зависимости импеданса живых тканей от частоты переменного тока. Приведены схемы экспериментальной установки и анализ полученных результатов. Источником переменного тока является звуковой генератор, измерения импеданса производятся осциллографом. Об-

суждается лабораторная работа по моделированию пассивных электрических свойств тканей организма с помощью эквивалентных схем.

**Измерение диэлектрической проницаемости твердых тел, порошков и жидкостей.** Permittivity measurements in solids, powders and liquids. Thompson Frank. *Amer. J. Phys.* **2005**. 73. № 8. 787-789. [07.04-18A.135].

**Диэлектрическая спектроскопия в специальном физическом практикуме.** Аванесян В.Т., Заграничек А.Л., Коршунова М.К. и др. С-Пб-г, Россия, РГПУ им. А.И.Герцена. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня **2009** г. С. 306-308.

**Учебно-экспериментальный комплекс для исследования диэлектрических свойств материалов.** Бордовский В.А., Бордовский Г.А., Кастро Р.А. С-Пб-г, Россия, РГПУ им. А.И.Герцена. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня **2009** г. С. 335.

## Глава 2

### ПОСТОЯННЫЙ ТОК

#### 2.1. Обычные проводники

**Определение электродвижущей силы постоянного элемента в абсолютных единицах при помощи тангенс-буссоли.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 57. С. 170.

**Измерение сопротивления проволок мостиком Уитстона.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 58. С. 174.

**Определение сопротивления жидкостей и его температурного коэффициента по способу Кольрауша.** Соколов А. П. Физ. практикум. 1909. Задача 59. С. 177.

**Сравнение двух электродвижущих сил методом компенсации.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 60. С. 180.

**Определение электродвижущей силы элемента капиллярным электрометром Оствальда.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 61. С. 183.

**Определение электрохимических эквивалентов при помощи тангенс-буссоли.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 62. С. 185. 1926. Задача 50. С. 266-269.

Чтобы определить электрохимический эквивалент вещества – его количество, выделенное из электролита одним кулоном прошедшего через последний электричества – достаточно пропустить один и тот же ток через ванну, в которой данное вещество выделяется, и через тангенс-буссолю, которою производится измерение силы тока в абсолютных единицах.

**Сравнение электрохимических эквивалентов.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 63. С. 188.

**Определение температурного коэффициента сопротивления металлов.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 64. С. 191.

**Определение сопротивления электролитов и внутреннего сопротивления гальванического элемента мостиком Кольрауша.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 46. С. 243-249. Задача 35. 1937, 1938. С. 220.

Мостик Кольрауша отличается от обыкновенного тем, что в нем измерительная проволока навита спирально на мраморном барабане, при вращении которого подвижной контакт скользит по проволоке. Вместо постоянного гальванического элемента включается т. н. индукторий, посылающий переменный ток в мостик от своей вторичной обмотки. Вместо гальванометра употребляют чувствительный телефон, при помощи которого выслушивают индуктивные токи. В ходе работы подбирают сопротивление реостата, включенного в цепь мостика так, чтобы звук в телефоне был возможно слаб.

**Градуирование термоэлемента и определение его термоэлектродвижущей силы.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 39. С. 236.

Термоэлемент состоит из двух разнородных проволок 1-2 мм диаметром, для лучшего контакта спаянных или сваренных своими концами. Материал проволок бывает различный. Наиболее употребительны “пары”: константан-железо, константан-медь, никель-железо, платина-железо и др. Для поддержания постоянства температуры одного из контактов последний погружается в пробирку, наполненную керосином или парафиновым маслом, опущенную в свою очередь в сосуд, наполненный тающим льдом или водой комнатной температуры; последняя должна быть точно измерена. Другой спай тем или иным способом приводится в соприкосновение с исследуемым телом. Для градуировки же он помещается, так же как и первый, в пробирку, температура которой может изменяться путем подогревания воды в сосуде, куда опущена эта пробирка.

**Градуирование амперметра и вольтметра.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 43. С. 234-238. Задача 32. 1937, 1938. С. 212. 1968. Задача 68. С. 29-34.

**Определение сопротивлений мостиком Уитстона.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 44. С. 238-242. Задача 33. 1937, 1938. С. 215.

Мостик Уитстона состоит из четырех проводников, которые соединены между собою так, что образуют замкнутый четырехугольник. При этом два проводника выполняются в виде длинной металлической проволоки со скользящим по ней контактом. Два противоположных угла мостика соединяются проводами с полюсами гальванического элемента, а два других угла – с чувствительным гальванометром. При определенном соотношении между сопротивлениями плеч мостика (при определенном положении скользящего контакта) ток через гальванометр идти не будет. Соотношение между сопротивлениями плеч мостика при этом и позволяет вычислить величину неизвестного сопротивления.

**Определение сопротивления гальванометра и внутреннего сопротивления гальванического элемента.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 36. С. 224.

Для определения сопротивления гальванометра и внутреннего сопротивления гальванического элемента пользуются методом мостика Уитстона с некоторыми изменениями в расположении его отдельных частей. Сопротивление гальванометра удобно измерять по способу, предложенному В. Томсоном, а сопротивление гальванического элемента – по способу Манса. Амперметр или гальванометр, который желают проградуировать, включают в цепь элемента с известной электродвижущей силой. В этой же цепи есть сопротивления, величина которых известна. Применяя законы Кирхгофа к анализу токов в измерительной схеме, выводят формулу, выражающую силу тока в ветви, содержащей градуируемый прибор, через известные сопротивления. Градуируемый вольтметр включают в цепь так, что он оказывается включенным параллельно магазину сопротивлений. Меняя величину сопротивления этого магазина, фиксируют показания вольтметра. Графическое представление зависимости между этими величинами позволяет найти связь между отклонениями стрелки вольтметра и величиной действующего на нем напряжения.



**Определение температурного коэффициента сопротивления металлов.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 45. С. 242-243. Задача 34. 1937, 1938. С. 218.

Прибор состоит из латунной ванны, в которую погружена U-образная стеклянная трубка, левая и правая части которой в нижней точке не соединяются. В эту трубку, в ее левую и правую части налита ртуть. На трубку навито несколько витков проволоки из исследуемого металла (платина), концы которой через стенки трубки введены в ртуть ( в левой и в правой частях трубки). В те же части трубки погружены концы проводов, идущих к мостику Уитстона, с помощью которого и измеряют сопротивление проволоки. Температуру ванны можно изменять до  $50^{\circ}\text{C}$  с помощью пламени горелки.

**Определение электродвижущей силы гальванического элемента в абсолютных единицах при помощи тангенсбуссоли.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 48. С. 257-260. 1937, 1938. Задача 42. С. 247.

Определение электродвижущей силы постоянного элемента в абсолютных единицах может быть сделано на основании закона Ома, если будут измерены в тех же единицах сила тока и известно сопротивление цепи. Для этой цели в цепь, состоящую из элемента и тангенс-буссоли, вводят сначала одно сопротивление, а затем другое. Двойное измерение необходимо для того, чтобы исключить неизвестное нам сопротивление гальванического элемента, соединительных проводов и буссоли. Тангенс-буссоль состоит из кольцевого проводника, в центре которого подвешен на тонкой нити короткий магнит. Плоскость проводника устанавливают в плоскости магнитного меридиана. Для измерения углов отклонения магнита буссоли используется зрительная труба.

**Определение малых сопротивлений при помощи двойного мостика В.Томсона.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 51. С. 269-271. 1937, 1938. Задача 37. С. 229.

Если при помощи мостика Уитстона измерять небольшие сопротивления, которые приближаются по величине к сопротивлениям подводящих проводников и контактов, то результат измерений, вычисленный по общей формуле мостика Уитстона, оказывается ошибочным, и ошибка будет тем больше, чем меньше измеряемое сопротивление. Схема, предложенная В. Томсоном и носящая название двойного мостика, свободна от таких ошибок. Разница ее от обычной схемы мостика Уитстона заключается в том, что один конец моста Уитстона с гальванометром присоединен к добавочной цепи, в которой вставлены два значительных в сравнении с уже имеющимися в плечах мостика сопротивления.

**Определение электрохимических эквивалентов и градуирование амперметра при помощи вольтметра.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 41. С. 241. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 82. С. 89-93.

Для определения электрохимического эквивалента достаточно пропустить один и тот же ток через специальный прибор – вольтметр, в котором данное вещество выделяется, – и через точный амперметр, которым производится измерение силы тока. Медный вольтметр состоит из стеклянного сосуда, в который опущены три медные пластинки. Из них две крайние, служащие анодом, соединены друг с другом, а третья пластинка служит катодом. В сосуд наливают

насыщенный раствор медного купороса. При пропускании тока через цепь, в которую включен вольтметр, происходит разложение медного купороса, и на катодной пластинке осаждается чистая медь, количество которой определяется путем взвешивания пластинки. Согласно первому закону Фарадея  $Q = \alpha_c i t$ , где  $Q$  – вес осажденной на катоде меди,  $\alpha_c$  – электрохимический эквивалент меди и  $t$  – время прохождения тока  $i$ . Подставляя сюда измеренные значения  $Q$ ,  $i$  и  $t$ , находят  $\alpha_c$ .

**Изучение мотора и динамомашинны постоянного тока.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 51. С. 281.

В описании лабораторной работы даются краткие сведения об устройстве и работе динамо и моторов постоянного тока. В экспериментальной части работы снимаются характеристики мотора и динамомашинны, определяются величины вращающего момента мотора и коэффициента полезного действия всего агрегата в целом.

**Определение температурного коэффициента сопротивления металлов.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 42 а. С. 152.

**Определение температурного коэффициента сопротивления электролитов.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 42 б. С. 154.

Из теории разветвленных токов известно, что если два элемента введены в две ветви электрической схемы так, что они одноименными полюсами сходятся в одной точке, то, при определенном соотношении между элементами схемы, в одной из ветвей ток будет равен нулю. На этом основан метод Поггендорфа-Боша, используемый в данной лабораторной работе. Капиллярный электромметр Оствальда основан на свойстве ртути в соприкосновении с водным раствором серной кислоты изменять свою капиллярную постоянную в зависимости от разности потенциалов между ртутью и раствором серной кислоты.

**Градуирование электромметра и определение его емкости электростатическим методом.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 36 а. С. 118.

**Градуирование амперметра при помощи магазина сопротивлений.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 37. С. 126.

**Градуирование вольтметра при помощи магазина сопротивлений.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 38 а. С. 127.

**Определение электродвижущей силы гальванических элементов компенсационным методом.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 38 б. С. 129.

**Определение электродвижущей силы гальванических элементов при помощи капиллярного электромметра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 38 с. С. 133.

**Градуирование технических эталонов сопротивлений при помощи мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 39 а. С. 136.

**Определение сопротивления гальванометра методом мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 39 б. С. 138.

**Определение удельного сопротивления металлов при помощи двойного мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 40. С. 140.

**Определение внутреннего сопротивления гальванического элемента методом мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 41 а. С. 146.

**Определение удельного сопротивления электролитов при помощи мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 41 б. С. 148.

**Градуирование амперметра и вольтметра.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 35. С. 190. 1962. Задача 54. С. 277–282. 1968. Задача 68. С. 29–34.

Амперметр включается в электрическую цепь с известным сопротивлением, питаемую источником тока с известной электродвижущей силой. Сила тока в этой цепи вычисляется по закону Ома, и показания амперметра сопоставляются с этими вычисленными значениями. Для градуирования вольтметра на него подаются известные напряжения с делителя напряжения, соединенного с источником известной электродвижущей силы, представляющим собой батарею аккумуляторов.

**Измерение сопротивлений при помощи мостика постоянного тока.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 36. С. 195. 1962. Задача 55. С. 283–288. 1968. Задача 69. С. 34–40.

В обычную мостовую схему введен коммутатор, позволяющий обмен местами сопротивлений, включенных в плечи моста, без переключения для этого соединительных проводов схемы. В схеме применяется двойной ключ, которым можно замыкать и размыкать не только цепь источника тока, но и цепь включенного в мост гальванометра. Конструкция ключа такова, что при нажиме на него сначала замыкается цепь источника тока и лишь затем – цепь гальванометра. При прекращении нажима на ключ размыкание указанных цепей происходит в обратном порядке. Таким образом, цепь гальванометра бывает замкнутой только при установившемся режиме работы схемы. Дело в том, что в моменты замыканий и размыканий цепи источника электродвижущей силы в схеме возникают электродвижущие силы самоиндукции. Текущие под действием этих электродвижущих сил экстратоки могут быть значительны и портят гальванометр. Гальванометр шунтирован переменным сопротивлением, для того, чтобы предохранить его подвижную систему от сильных толчков. По мере улучшения равнове-

сия моста сопротивление переменного шунта можно увеличивать. Окончательное уравнивание моста производится при разомкнутом шунте.

**Изучение зависимости сопротивления металлов от температуры.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 37. С. 200. 1962. Задача 56. С. 288–290. 1968. Задача 70. С. 40–42.

Электрическая часть установки представляет собой мостовую схему. Термостат для нагревания исследуемого сопротивления – это водяная ванна, в которую погружены U-образная стеклянная трубка, электрический нагреватель и мешалка. В нижнюю часть U-образной трубки вложена спираль изучаемой платиновой проволоки. По результатам измерений сопротивления проволоки при разных температурах строится график зависимости сопротивления от температуры и составляется таблица значений температурного коэффициента сопротивления  $\alpha$

**Изучение зависимости сопротивления электролитов от температуры.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 38. С. 203. 1962. Задача 57. С. 290–293. 1968. Задача 71. С. 42–45.

Измерения выполняются при помощи так называемого универсального моста, в который вместо источника постоянной электродвижущей силы можно включать индуктор, питающий мост переменным током. Роль индуктора выполняет зуммер с механическим прерывателем, который производит периодические замыкания и размыкания цепи обмотки индуктора. Применение переменного тока при измерении сопротивления электролитов необходимо потому, что под действием постоянного тока происходит поляризация электродов продуктами электролиза и измеренное сопротивление не соответствует истинному значению сопротивления объемного слоя электролита. При использовании переменного тока в цепь гальванометра вводятся купроксные выпрямители, так как без них гальванометр магнитоэлектрической системы при переменном токе показаний давать не сможет. Результаты измерений сопротивления электролита в зависимости от температуры представляют в виде графика. При этом вычисляют температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$ . **Измерение сопротивления гальванометра и внутреннего сопротивления гальванического элемента.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 39. С. 206. 1962. Задача 58. С. 293–298. 1968. Задача 72. С. 45–49.

Для измерений пользуются методом мостика на постоянном токе с некоторыми изменениями обычного его использования.

**Определение малых сопротивлений при помощи двойного мостика.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Е. С. Четвериковой, И. А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., 1953, 1955. Работа 40. С. 211. 1962. Задача 59. С. 298–300. 1968. Задача 73. С. 49–52.

Применение двойного моста позволяет измерять небольшие сопротивления, которые по величине приближаются к сопротивлениям подводящих проводников и контактов.

**Измерение электродвижущей силы гальванических элементов методом компенсации и при помощи капиллярного электрометра.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 41. С. 214.

**Определение электрохимических эквивалентов и градуирование амперметра при помощи вольтметра.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 45. С. 241.

**Изучение гальванометра магнитоэлектрической системы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 46. С. 245. 1968. Задача 83. С. 93-104.

Дано описание и теория гальванометра магнитоэлектрической системы. Определяются: чувствительность гальванометра к току, период свободных колебаний рамки гальванометра, внешнее критическое сопротивление гальванометра, зависимость декремента затухания колебаний рамки гальванометра от величины внешнего сопротивления.

**Опыты по изучению законов электрической цепи.** Тиллотсон (Experiment of circuit theorems. Tillotson J. G.), *Amer. J. Phys.*, 1958, 26, № 2, 130-131. [РЖ 1959 № 2 2438].

Описывается опыт по определению эквивалентной схемы цепи с использованием трех сухих элементов по 1,5 В. В качестве измерительных приборов применяется вольтметр с большим сопротивлением (20000 Ом) и миллиамперметр. Эквивалентные сопротивления определяются методом вольтметра. Второй опыт состоит в определении, при каком нагрузочном сопротивлении отдается максимальная мощность.

**Новый вариант ампер-весов Эдвардса.** Вильямсон (New version of Edwards' ampere balance. Williamson Charles), *Amer. J. Phys.* 1958, 26, № 8, 577-579. [РЖ 1959 № 11 24100].

Автор описывает видоизмененные им ампер-весы Эдвардса, построенные для студенческой лаборатории как пособие при определении ампера в системе единиц МКС. При пользовании оптической трубкой и шкалой на расстоянии 2 м от зеркальца весов чувствительность весов по весу  $\sim 5$  мг/см и по току  $2$  А<sup>2</sup>/см. Амперметр с пределом на 5 А может быть проградуирован с погрешностью не более 1 %.

**Опыты по определению зависимости сопротивления от температуры.** Вермеш (Merohiserletek az ellenallasnak a homerseklettol valo fuggesere. Vermes Miclos). *Fiz. szemle.* 1959, 9, № 7, 219-220. [РЖ 1960 № 12 31752].

Для опыта используется нить накала от обычной электрической лампочки, с которой осторожно снят баллон. Нить накала помещается в сосуд, наполненный нитробензолом или керосином, который можно подогревать на горелке до температуры 150-170<sup>0</sup> С. Сопротивление нити определяется по известному напряжению цепи и измеряемой силе тока, которая может меняться в зависимости от температуры жидкости в сосуде. По результатам этого опыта могут быть получены графики зависимости сопротивления от температуры.

**Измерение весьма малых сопротивлений.** Джонс (Measurement of a very low resistance. Jones E. M. Royds), *School Sci.*, 1959, 40, № 142, 561-562. [РЖ 1960 № 10 25191].

Предлагается метод измерения сопротивлений в несколько сотых Ома. Собираются две цепи: одна из последовательно соединенных элемента, амперметра, измеряемого сопротивления (реохорда) и другая из последовательно соединенных элемента, миллиамперметра, магазина сопротивлений и известного сопротивления. Цепи соединяются перемычками, между которыми оказываются включенными известное сопротивление и участок проволоки (реохорда), сопротивление которой определяется. В одну из перемычек включается гальванометр. Отсутствие тока в последнем говорит о равенстве падения напряжения на сопротивлениях. Определение длины участка проволоки позволяет вычислить сопротивление всей проволоки. Указанный метод позволяет обойтись без калиброванных проводов для перемычек и обеспечивает точность измерений порядка 1 %.

**Температурная зависимость сопротивления.** Коллинс (Resistance as a function of temperature. Collins Phillip), School Sci. and Math., **1959**, 59, № 6, 443-444. [РЖ 1960 № 5 10235].

Описывается лабораторная установка для иллюстрации явления увеличения сопротивления проводников с ростом температуры. Измерения сопротивления проводника проводятся методом вольтметра-амперметра, нагревание проводника осуществляется пропусканием через него тока, температура проводника вычисляется по отмечаемому в опыте линейному расширению проводника и известному значению коэффициента линейного расширения данного проводника.

**Простая экспериментальная работа по электричеству, содержащая измерение и обобщение.** Smith Wesley R. Elementary electricity experiment involving measurement and synthesis. "Amer. J. Phys.", **1960**, 28, № 2, 144-146. [РЖ 1961 1A101].

Автор разработал 3-часовую лабораторную работу по изучению свойств цепей постоянного тока, содержащих как линейные, так и нелинейные элементы. Студент получает закрытые коробки, в которых собрана некоторая неизвестная ему электрическая схема, содержащая линейные и нелинейные сопротивления; в коробках использованы селеновые выпрямители на 65 мА и 130 В максимального напряжения, 1-Вт угольные сопротивления, 3-Вт лампы накаливания на 120 В, неоновые лампы, транзисторные батареи на 22,5 В и батареи на 45 В. Для облегчения работы выдается несколько примерных возможных схем и типичные вольтамперные характеристики. Студент получает следующие приборы: миллиамперметр на 15 и 150 мА, вольтметр на 150 В с сопротивлением на 1000 Ом, источник постоянного напряжения на 120 В. Студенту предлагается исследовать электрические схемы, собрать такие же схемы и сопоставить вольтамперные характеристики исследованной схемы и схемы, собранной им.

**Зависимость электрического сопротивления от температуры.** Friessem Gunter. Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes. "Prax. Naturwiss.", **1961**, A10, № 2, 43-44. [РЖ 1961 11A89].

Описывается простой опыт, при помощи которого можно установить зависимость сопротивления от температуры и определить температуру нити лампочки накаливания с вольфрамовой нитью, амперметра, вольтметра и потенциометра, позволяющего изменять напряжение, подаваемое на лампу, от десятых долей до 220 В. Сопротивление лампы  $R$  рассчитывается по закону Ома. Температура нити определяется по уравнению  $R = R_0 T$ , где  $R_0$  – коэффициент пропорцио-

нальности, который может быть определен, если на лампу подать столь малое напряжение ( $U \leq I B$ ), что она практически не нагревается. В этом случае  $R_0 = R/T$ , где  $R_{am}$  – сопротивление лампы при температуре окружающей среды  $T$ .

**Опыт по определению зависимости электрического сопротивления от механической нагрузки (растяжения или сжатия).** Morass Hans. Versuch zur Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der mechanischen Druck – bzw. Zugbeanspruchung des Widerstandsdrachtes, “Prax. Naturwiss.”, 1961, A10, № 9, Physik, 245-248. [РЖ 1962 3A69].

Опыт проводится при помощи стальной пластинки (620×20×1,5 мм), помещенной на две опоры. На пластинке укрепляют четыре одинаковых сопротивления:  $R_1$  и  $R_2$  на верхней поверхности и  $R_3$  и  $R_4$  на нижней. К концам пластинки подвешивают одинаковые грузы, при этом  $R_1$  и  $R_3$  растягиваются, а  $R_2$  и  $R_4$  сжимаются. Сопротивления соединяют с источником постоянного тока и измерительным прибором по схеме моста, в качестве регулируемого сопротивления включают  $R_5$ . Перед началом измерений мостик уравнивают, затем подвешивают грузы, при этом равновесие нарушается. Измерения показывают пропорциональность тока величине нагрузки. Приведены электрические схемы и методические указания к проведению опыта.

**Изучение гальванометра магнитоэлектрической системы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 69. С. 343–355. Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Ионов В. И., Яковлев И. А. Гальванометр магнитоэлектрической системы. Лаб. работа 5. С. 31-43.

Изучаются устройство и принцип действия гальванометра магнитоэлектрической системы, измеряются его параметры: чувствительность по току и напряжению, период свободных колебаний, величина внешнего критического сопротивления, декремент затухания колебаний рамки.

**Изучение принципа электрических компенсационных измерений.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 60. С. 300–308. 1968. Задача 74. С. 52–58. Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Яковлев И. А. Электрические компенсационные измерения. Лаб. работа 4. С. 24-31.

Изучаются компенсационные методы измерения электродвижущих сил, токов и сопротивлений.

**Изучение работы мотора и генератора постоянного тока.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 96. С. 549–552. 1968. Задача 113. С. 324-327.

Изучаются включение, пуск и регулирование числа оборотов мотора и генератора постоянного тока, получают их основные рабочие характеристики, определяется к. п. д. установки, состоящей из мотора и генератора

**Абсолютный вольтметр.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1964. Работа 30. С. 179. 1983. Работа 4.1. С. 262.

Основной составной частью экспериментальной установки являются аналитические весы, одна из чашек которых заменена подвижной пластиной плоского воздушного конденсатора. Эта пластина заземлена. Высоковольтная неподвижная пластина помещена внутри заземленного электростатического экрана. Опыты проводятся как при постоянном, так и при переменном напряжении на пластинах конденсатора. Опыты на постоянном напряжении используются для определения электрической постоянной и для измерения коэффициента, переводящего напряжение, выраженное в вольтах, в единицы системы СГС. Квадратичный характер связи между силой и напряжением позволяет измерять с помощью весов и переменные напряжения, например, напряжение электрической сети. Исследуется зависимость силы притяжения пластин  $F$  от напряжения  $U$  на конденсаторе. Результаты этих измерений представляются графически в виде  $F(U^2)$ . По наклону этой линейной зависимости вычисляется величина электрической постоянной  $\varepsilon_0$ .

**Измерение сопротивлений.** Speidel Alfred. Widerstands-Messung. "Prax. Naturwiss.", 1966, A 15, № 8, Physik, 204-208 (нем.). [РЖ 67 2A66].

Описываются электрические схемы и расчетные формулы для измерения сопротивлений по напряжению и току, амперметр с омической шкалой, вольтметр с омической шкалой, тераомметр, измерительные мосты.

**Экспериментальное изучение закона Джоуля.** Eimer Michel. Etude experimentale de la loi de Joule. "Bull. Union physiciens", 1968, 63, № 510, 515-516. [РЖ 1969 9A98].

Описан прибор для изучения закона Джоуля, имеющий большие преимущества перед обычно применяемыми для этой цели приборами, т. к. он позволяет производить измерения быстро и с достаточно большой точностью. Прибор представляет собой тонкую горизонтальную трубку с проточной водой, через которую протянута проволока. Трубка присоединяется к крану так, что устанавливается постоянный дебит воды. На другом конце трубки помещен термометр. При пропускании тока через проволочку происходит повышение температуры воды, пропорциональное количеству тепла, полученного по закону Джоуля. Приведены результаты экспериментов, проведенных с этим прибором.

**О сохранении энергии в электрических цепях.** Cuvaj Camillo. On conservation of energy in electric circuits. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 10, 909-910. [РЖ 1969 6A50].

Отмечается, что иногда студенты и некоторые преподаватели неясно понимают задачу-парадокс об изменении энергии, запасенной в цепи, при замыкании заряженного конденсатора на такой же незаряженный. Выведено выражение для потерь энергии в проводах, соединяющих конденсаторы. Показано, что это выражение не зависит от величины сопротивления и справедливо даже при  $R=0$ . Предлагается объяснять решение этой задачи студентам именно таким образом после ознакомления их с переходными процессами в электрических цепях.

**Градуирование амперметра и вольтметра. Расчет шунтов и добавочных сопротивлений.** Руководство к лабораторным работам по физике. Часть II.



Электричество и магнетизм. Днепропетровск. 1973. Под ред. доцента А. П. Максименко. Работа № 2-5. С. 51.

**Исследование изменения полезной мощности и к. п. д. аккумуляторной батареи в зависимости от изменения нагрузки.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. Под ред. доцента А. П. Максименко. Днепропетровск. 1973. Работа № 2-6. С. 59.

**Исследование мостика Уитстона.** Стонкус С. И. Препоод. физики в высш. школе. Калининград. 1976. С. 224-228.

**Определение внутреннего сопротивления источника тока.** Noll Ellis D. Determining the internal resistance of an energy source,"Phys. Teach.", 1978, 16, № 7, 478 (англ.). [РЖ 79 4A120].

Предложен новый метод определения внутреннего сопротивления источника тока. При обычном способе внутреннее сопротивление источника определяют графически, измеряя силу тока в цепи и падение напряжения на источнике при изменении внешнего сопротивления цепи. Предложенный метод основан на том, что мощность, рассеянная на сопротивлении нагрузки в цепи, максимальна, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника. Внутреннее сопротивление источника определяется из графика мощности, рассеянной на сопротивлении нагрузки, в зависимости от величины сопротивления нагрузки  $P(R)$ , по максимуму этого графика. При проведении опыта необходимо включить в цепь последовательно с источником дополнительное сопротивление  $r$  и измерять мощность, в совокупности рассеиваемую на источнике и сопротивлении  $r$ , т. к. внутреннее сопротивление источника слишком мало, чтобы обеспечить требуемую точность.

**Потенциометр с реохордом. Новый подход.** The slide-wire potentiometer. A new approach. Otto Fred B. "Phys. Teach.", 1985, 23, № 4, 232 (англ.). [РЖ 86 1A127].

Описываются изменения в проведении лабораторной работы с потенциометром, имеющим реохорд. Предложено заменить реохорд, расположенный по верхней и нижней частям доски с суммарной длиной 2 м, на реохорд с длиной 1 м. Добавлен предварительный эксперимент по измерению напряжения 1,5 В на реохорде. Реохорд потенциометра калибруется с помощью стандартного элемента. Сам потенциометр стандартизуется с помощью дополнительного резистора так, чтобы потенциометр имел разрешение 2 В/м. После этого проводят измерения неизвестного источника напряжения. Указывается, что измененная постановка лабораторной работы позволяет студентам быстрее овладевать материалом по сравнению с обучением по обычной методике.

**Сопротивление между двумя контактами на плоскости и емкость между параксиальными цилиндрами.** The resistance between two contacts in a plane and the capacitance between paraxial cylinders. Edmonds Dean S., Corson Michael R. "Amer. J. Phys.", 1986, 54, № 9, 811-816 (англ.). Место хранения ГПНТБ СССР. [РЖ 87 7A112].

Описан лабораторный эксперимент для старшекурсников. Получено выражение для емкости между двумя параксиальными цилиндрами, и на основе этого выражения – формула для сопротивления  $R$  между двумя цилиндрическими контактами на плоскости. Проверка полученной формулы для  $R$  проведена при измерениях сопротивления между двумя электродами, помещенными в электролитическую ванну.

**Установка для экспериментального изучения конвекционных токов.** Pristroy k experimentalnimu studiu konvekcnich proudu. Kalas V. “Mat. A fyz. zk”, 1987, 17, № 6, 405-410 (чеш.). [РЖ 87 7A113].

Кратко описаны опыты по наблюдению магнитного поля конвекционных токов, проведенные в начале XX века А. А.Эйхенвальдом. Предложена самостоятельная установка для наблюдения конвекционных токов, состоящая из электродвигателя, диска с прорезью и датчика. Для проведения опытов требуется осциллограф, милливольтметр переменного тока и счетчик оборотов диска. Описана методика проведения опыта по наблюдению конвекционных токов при вращении диска из диэлектрика и металлического диска.

**Самодельные усилители для измерения слабых зарядов и токов.** Eigenbau eines Ladungs- und Strommessverstärkers. Poiratz R. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1987, 36, № 2, 14-16 (нем.). [РЖ 87 7A114].

Даны рекомендации по изготовлению усилителей для практических занятий по курсу физики, дающие возможность измерять заряды порядка нК и токи порядка нА. Описан принцип работы усилителя, построенного путем инвертирования схемы операционного усилителя и введения цепей обратной связи двух типов. Приведены принципиальные схемы усилителей, чертежи печатной монтажной платы, схема расположения элементов, перечень элементов с рекомендациями по их подбору, общий вид конструкции усилителя.

**Температурный коэффициент сопротивления.** Temperature coefficient of resistance. Fox John N. “Phys. Educ.” 1990. 25, № 3. С. 167-169. (англ.). [РЖ 91 3A139].

Предлагается модернизация известной лабораторной установки для снятия линейной зависимости сопротивления проводника от температуры. Как и в традиционной установке, здесь используется мостик Уитстона со вспомогательной термисторной цепью, благодаря которой обеспечивается пропорциональность выходного напряжения установки температуре печи и таким образом исключается необходимость в дополнительной калибровке. Выходное напряжение с мостика Уитстона поступает на 12-битовый интерфейс типа АІВ для дальнейшей машинной обработки результатов эксперимента. Приводятся результаты типичного эксперимента на Cu-проводнике.

**Выполнение практических работ по теме “Постоянный ток” в форме постановки “проблемных ситуаций”.** Une sequence d’apprentissage en electrociencetique sous forme de “Situations-Problemes”. Pinelli P. Bull. Union Phys. 1994. 88, № 768, С. 1509-1525. Фр. [РЖ 95 7A43].

Предложено выполнение практических работ студентами университета проводить в форме постановки проблемных ситуаций. Предлагается несколько “черных ящиков” с выводами и набор измерительных приборов. Необходимо

определить, что находится в “черном ящике” и провести небольшое исследование по определению характеристик и зависимостей. В “черных ящиках” находятся батареи питания с разными э. д. с. и внутренними сопротивлениями, линейные и нелинейные резисторы, диод и т. д.

**Измерение внутреннего сопротивления гальванического элемента.** Старшов М. А. *Вопр. прикл. физ.* **1999.** № 5. 29-30. [01.02-18А.130].

Внутреннее сопротивление источника тока представляет собой один из важнейших параметров, от которого зависит сила тока в цепи, а также коэффициент полезного действия элемента. Анализ многочисленных руководств по физическому практикуму различных вузов приводит к выводу, что в большинстве случаев есть лабораторные работы по измерению электродвижущей силы источника, тогда как исследованию внутреннего сопротивления практически не уделяется внимания. Предлагается лабораторная работа по исследованию источников тока различных типов как в вузовском практикуме, так и в средней школе.

**Платиновый термометр сопротивления (датчик температуры на основе электросопротивления платины).** Capteur de temperature a resistance de platine. Nosel P.H., Martin F. *Bull. Union phys.* **2000.** 94. № 825.1207-1212. Фр. [03.02-18А.141].

**Проблемные ситуации при решении экспериментальных задач на определение электрических величин.** Фискинд Е. Э. *Учеб. физ.* **2002.** № 1. 225-228, 83. [03.09-18А.173].

Предлагаются экспериментальные задачи на закон Ома, при решении которых возникают проблемные ситуации, вызванные неидеальностью электроизмерительных приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем.

**К определению погрешности измерения сопротивлений мостиком Уитстона.** В. С. Булыгин. МФТИ. ФОВ. **2005.** Т. 11. № 2. С. 45-50.

С помощью полученного выражения для тока через гальванометр в диагонали моста проведен анализ влияния погрешности отсчета переменного сопротивления и погрешности установления показаний гальванометра на нуль на погрешность определения неизвестного сопротивления.

**Электрическая проводимость в гранулированных средах и когерер Бранли: простой эксперимент.** Electrical conductivity in granular media and Branly's coherer: A simple experiment. Falcon Eric, Castaing Bernard. *Amer. J. Phys.* **2005.** 73. № 4. 302-307. [07.04-18А.138].

Показано, как простой лабораторный эксперимент может проиллюстрировать свойства переноса электронов в металлических гранулированных средах. При малых критических внешних напряжениях наблюдается переход из непроводящей фазы в проводящее состояние. Этот переход возникает в результате электротепловой связи вблизи микроконтактов между гранулами при микроплавлении. Аппаратура позволяет получать точное значение температуры микроконтакта. Эксперимент позволяет объяснить также старую проблему – эффект когерера Бранли, используемый в качестве радиоволнового детектора в первых передачах сигналов без проводов.

**Лабораторная работа “Исследование отступлений от закона Ома для участка цепи”.** Богатин А. С., Богатица В. Н., Куропаткина С. А. и др. ФССО-07, Мат. IX межд. конф. С.-Пб-г, 2007, с. 41-44.

**Определение удельного сопротивления полимерных пленок в рамках лабораторного практикума магистров.** Викторovich А. А., Тазенков Б. А., Темнов Д. Э. ФССО-07. Мат. IX Межд. конф. С.-Пб-г, 2007, с. 388-389.

**Электрический метод измерения силы.** Красавин Г. В. *Пробл. Учеб. физ. эксперим.* 1997. № 3. 44, 100. Рус. [РЖ 97 12А157].

Предлагается метод, основанный на линейной зависимости силы упругости от удлинения пружины, с одной стороны, и напряжения на выходе потенциометра от сопротивления, с другой стороны.

**Модернизация лабораторной установки для исследования зависимости сопротивления проводников (металлов) от температуры.** Чувашов В. Н., Кошечев Г. В. *Проблемы учебного физического эксперимента : Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции “Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”, Москва, 2005: Сборник научных трудов.* Вып. 21. М., 2005. 83. [07.02-18А.140].

Для изучения зависимости сопротивления проводника от температуры предлагается установка, состоящая из мультиметра, к которому подключены проводочное сопротивление или полупроводниковый диод, находящиеся внутри нагревательного элемента. Для контроля температуры используется термомпара.

**К определению погрешности измерения сопротивлений мостиком Уитстона.** Булыгин В. С. Физ. образ. в вузах. Т. 11. № 2. 2005. С. 45-50.

**Лабораторная работа “Исследование отступлений от закона Ома для участка цепи”.** Богатин А. С., Богатина В. Н., Куропаткина С. А. и др. *Учеб. физ.* 2007. № 1. 107-110. [08.06-18А.142].

Обсуждена возможность иллюстрации фрагмента лекции по физике лекционным экспериментом и лабораторной работой. Проанализирована возможность автоматизации наблюдения вольтамперных характеристик резисторов. Разработана осциллографическая установка, позволяющая проводить лабораторные работы по исследованию вольтамперных характеристик резонаторов, в том числе и с отступлениями от закона Ома, и наблюдать эти характеристики в ходе лекции.

**Малогобаритная установка для экспериментального изучения закона Ома и уравнений Кирхгофа.** Сеин А. А., Тимошенко Ю. А. *Учеб. физ.* 2007. № 1. 118-121. [08.06-18А.143].

Предлагается малогобаритная установка для измерений неизвестных сопротивлений, разности потенциалов и токов на участках цепи, содержащей ЭДС. Установка удобна для проведения практических и лабораторных занятий по теме “Постоянный ток”, особенно со студентами, обучающимися дистанционным методом, а также в школах.

**Определение удельного сопротивления полимерных пленок в рамках лабораторного практикума магистров.** Викторovich А. А., Тазенков Б. А.,

Темнов Д. Э. *Физика в системе современного образования (ФССО-07) : Материалы 9 Международной конференции, Санкт-Петербург, 4-8 июня 2007. Т. 1. СПб, 2007. 388-389. [08.06-18А.150].*

В рамках создания лабораторного практикума магистров, обучающихся по программе 010700 Физика, разработана методика определения удельного сопротивления полимерных пленок толщиной 15–300 мкм в электронном режиме. Эта методика основана на исследовании изотермической релаксации потенциала в пленочном электроде.

### **Измерение амперовской силы тока и установка для ее демонстрации.**

Кувандиков О. К., Салахитдинова М. К., Эшмирзаева М. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-П-г. 2009, 92-94.

Опыт состоит из двух частей. Основная часть установки состоит из двух электрических цепей. Первая цепь состоит из рамки с током, источника тока, реостата, амперметра и чашки с ртутью, которые подвешены на правую чашу весов. Вторая электрическая цепь состоит из кругового проводника, реостата, амперметра и источника тока. При отсутствии тока в электрических цепях рамка располагается перпендикулярно относительно плоскости кругового проводника. При прохождении электрического тока в проводниках возникает момент пары сил между рамкой и круговым витком. В результате этого рамка отклонится на некоторый угол, расположится параллельно относительно неподвижной катушки и тем самым равновесие весов нарушается. Для того, чтобы привести весы в положение равновесия, в левую чашу весов ставятся гири и величина веса этих гирь равна величине силы Ампера.

Во втором опыте рамка с током располагается горизонтально, устанавливается на подставку, и она выполняет роль весов. Момент пары сил, возникших при прохождении электрического тока, уравнивается гирями различной массы, прикладываемыми по левой стороне рамки. Значение веса гирь при равновесии весов равно величине силы Ампера.

## **2.2. Сверхпроводники**

**Измерение магнитных свойств сверхпроводников.** Hendricks J. B., Bloom R. W., King C. A. Measurement of the magnetic properties of superconductors. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 2, 221-223 (англ.). [РЖ 72 7А112].

Описаны эксперименты для студенческой лаборатории, в которых используются сверхпроводниковый магнит, коммерчески доступный магнетометр для измерения критической температуры, ширины перехода и эффекта Мейснера в сверхпроводниках первого рода при малых напряженностях внешнего магнитного поля. Эксперимент предполагается как вводный для изучения низкотемпературной техники, магнитных свойств сверхпроводников и их применения.

**Проведение экспериментов с использованием генератора на туннельном диоде.** Fox John., Trefny John U. Experiments using a tunnel diode oscillator. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 7, 622-623 (англ.). [РЖ 76 1А112].

Описано несколько простых лабораторных экспериментов по измерению магнитной проницаемости парамагнитных солей и сверхпроводников. Метод измерения основан на принципе магнитной индукции, и при проведении измерений используется генератор колебаний на туннельном диоде. Приведены принципиальная схема генератора и схема всей установки. Представлены экспериментальные результаты. Приведено описание криогенной установки, используемой в экспериментах. Обсуждаются возможности использования данной методики для проведения экспериментов в других областях физики.

**Магнитное поведение сверхпроводников. Эксперимент для лабораторного практикума повышенного уровня.** Magnetic behavior of superconductors. An experiment for the advanced laboratory. Behrooz F. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, 3 1, 28-32 (англ.). [РЖ 83 8A121].

Обсуждаемый метод измерения кривой намагничивания сверхпроводника использует электронное интегрирование разности сигналов от двух одинаковых катушек, одна из которых содержит образец, а другая пустая. При циклическом изменении поля в определенном интервале проинтегрированный сигнал пропорционален магнитному моменту образца и может быть изображен как непрерывная функция поля. Этот метод можно использовать для изучения диамагнитного поведения олова и ванадия, которые представляют два типа сверхпроводников (1-го и 2-го рода). Их кривые намагничивания качественно различны. В первых – наблюдается полный эффект Мейсснера до термодинамического поля  $H_c$ , а в полях  $H > H_c$  сверхпроводимость исчезает. Во вторых – полный эффект Мейсснера существует до поля  $H_{c1}$ , в полях  $H_{c2} > H > H_{c1}$  диамагнитный момент падает из-за появления вихрей, а в полях  $H > H_{c2}$  сверхпроводимость исчезает.

**Высокотемпературные сверхпроводники и их использование в учебном эксперименте по физике.** Высокотемпературные сверхпроводники и приложения им в учебном эксперименте по физике Попов Ц., Денчева Н. "Физика." **1992**. 17, № 2. С. 23-26. Болг. [РЖ 92 11A71].

Кратко рассмотрена история открытия А. Мюллером и Г. Беднорцом высокотемпературной сверхпроводимости керамики, сущность эффекта Мейсснера-Оксенфельда. Показано, что при наличии таблетки высокотемпературной керамики, термоса с жидким азотом и платинового термометра сопротивления можно продемонстрировать эффект Мейсснера-Оксенфельда, выполнить много интересных лабораторных упражнений по изучению температурной зависимости сопротивления таблетки высокотемпературной сверхпроводящей керамики. Описана методика выполнения опытов.

**Изучение сверхпроводимости в практикуме по физике.** Ильин В. А., Красников А. С., Петрова Е. Б., Семин И. А. Вестн. Ряз. пед. ин-та. **1993**. № 1. С. 28-30. [РЖ 94 4A152].

Целью лабораторной работы является изучение температурного перехода высокотемпературного сверхпроводника в нормальное состояние, а также изучение конструкции простейших криогенных устройств и получение элементарных навыков работы с ними.

**Новые возможности в лабораторной работе "Изучение высокотемпературной сверхпроводимости".** Горин В. В. Преподавание физики в высш. шк. № 11. **1997**. С. 12-15.

**Опыты по высокотемпературной сверхпроводимости.** Кренцис Р. П., Костенко А. П. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. 1998. С. 36-37.

**Исследование параметров высокотемпературных сверхпроводников (Б. С).** Демидов Е. С., Горшков О. Н., Доброхотов Э. В., Попов Ю. С. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 407-421. [02.12-18А.189].

Сверхпроводимость – свойство многих проводников, состоящее в том, что их сопротивление постоянному току скачком падает до нуля при температуре ниже критической, характерной для данного материала. К началу 1986 г. Насчитывалось более 1000 низкотемпературных сверхпроводников. Наивысший сверхпроводящий материал был зафиксирован при 22,3 К в пленке из интерметаллида  $Nb_3Ge$ . В 1986 г. швейцарские ученые К. А. Мюллер и Дж. Т. Беднорц открыли высокотемпературную сверхпроводимость, обнаружив в синтезированном ими купрате в системе La–Ba–Cu–O падение удельного сопротивления  $\rho$  до нуля при температуре около 35 К. В 1987 г. американский ученый Чу обнаружил в соединении Y–Ba–Cu–O сверхпроводящий переход при  $T=90$  К. В настоящее время достигнута величина  $T_c=150$  К в соединении  $Hg_1Ba_2Ca_2Cu_3O_8$ . Сверхпроводящее состояние вещества характеризуется не только  $\rho=0$ , но и почти идеальным диамагнетизмом, особыми свойствами теплоемкости, теплопроводности, термоэлектрических и механических величин, взаимодействия с внешними полями и других характеристик материала. Целью даной работы является изучение явления сверхпроводимости в высокотемпературном сверхпроводящем материале на основе оксидной керамики.

**Измерение температуры сверхпроводящего перехода и токонесущей способности пленки  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (Б, С).** Стриковский М. Д. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 422-430. [02.12-18А.194].

Явление сверхпроводимости (СП) было открыто в 1911 г. Камерлинг-Оннесом при изучении зависимости электросопротивления ртути от температуры. При  $T \approx 4$  К сопротивление образца внезапно исчезло и не было обнаружено при всех достижимых температурах ниже этой. Свойством СП обладают другие металлы: Sn, Pb, Al, а также многие сплавы и интерметаллические соединения. Температура перехода из нормального состояния в сверхпроводящее называется критической  $T_c$  и до недавнего времени ее максимальная величина составляла 20 К, и СП могла изучаться и применяться только в устройствах с гелиевым охлаждением. В 1986 г. был открыт класс сложных оксидов, в которых  $T_c$  достигла 100 К, то есть превысила температуру кипения жидкого азота (77 К). Перспективы “азотной” криоэлектроники на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) инициировали поиск новых ВТСП материалов и исследование их свойств. Целью лабораторной работы является определение критической температуры сверхпроводящего перехода высокотемпературных сверхпроводников  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  и изучение токонесущей способности этого сверхпроводника.

**Эффект Джозефсона (С. М).** Курин В. В., Антонов А. А. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 431-443. [02.12-18А.195].

В слабых контактах сверхпроводников наблюдается один из макроскопических квантовых эффектов – эффект Джозефсона. Ток через такие контакты, называемые джозефсоновскими, содержит сверхпроводящую компоненту (сверхток), которая имеет необычную и сильно нелинейную зависимость от электромагнитного поля. Эффект является общим свойством слабых контактов сверхпроводников и не связан жестко с природой контакта. Джозефсоновские контакты находят широкое применение в сверхпроводниковой электронике. Их использование позволило создать целый ряд радиоэлектронных устройств с рекордно высокими характеристиками. Например, системы с джозефсоновскими контактами используются для усиления, генерации и преобразования в СВЧ схемах ( $\approx 100\text{--}500$  ГГц), точных измерений магнитного поля, создания стандартного вольта, хранения и обработки информации. Целью лабораторной работы является исследование свойств туннельного перехода между двумя сверхпроводниками и определение его основных характеристик. В автоматизированном варианте установка управляется компьютером с подключенным модулем аналогово-цифрового и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП и АЦП).

**Магнитные свойства  $\text{YBaCuO}$  пленок (М).** Ноздрин Ю. Н., Токман И. Д. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 445-455. [02.12-18А.196].

Открытый как ВТСП оксид  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  является сверхпроводником II рода с критической температурой  $T_c \sim 90$  К. Величина  $T_c$  зависит от термообработки и концентрации кислорода. В большинстве своем образцы  $\text{YBaCuO}$  являются поликристаллами, и в этом смысле по отношению к ним используется термин “керамика”. Поскольку  $\text{YBaCuO}$  является сверхпроводником Ii рода, проникновение внешнего магнитного поля в СП образец возможно в виде вихрей. В линейном приближении это можно рассматривать как линейную суперпозицию вихревых состояний и мейснеровского тока. Структура их при этом существенно зависит от формы образца. Целью работы является экспериментальное исследование процессов намагничивания  $\text{YBaCuO}$  пленок однородными магнитными полями, перпендикулярными плоскости пленок. Для управления экспериментом и сбора данных используется компьютер.

**Исследование магнитных свойств сверхпроводящей керамики, монокристаллических пленок и монокристаллов в слабых магнитных полях магнитооптическим методом.** Носова Е. М. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 195-196.

**Практикум по основам сверхпроводниковой электроники: джозефсоновские переходы, СКВИДы.** Гудошников С. А., Скомаровский В. С. Преподавание физики в высшей школе. № 30. М. 2005. С. 109-120.

**Специальный практикум по сверхпроводимости.** Гудошников С. А., Скомаровский В. С. Препо. физики в высш. школе. № 31. Москва. 2005. С. 97-104.

Практикум включает в себя следующие лабораторные работы:

1. Измерение зависимости сопротивления ВТСП образца от температуры, определение критической температуры.
2. Измерение критического тока, и критического магнитного поля в образце.
3. Измерение вольтамперных характеристик джо-



зефсоновского контакта. 4. Измерение вольтамперных и вольт-полевых характеристик СКВИДа. 5. Изучение работы СКВИД-магнитометра.

**Изучение законов постоянного тока в лаборатории практикума вуза.** Богатин А. С., Богатина В. Н., Куропаткина С. А. *Проблемы учебного физического эксперимента : Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции “Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”*, Москва, 2006: Сборник научных трудов. Вып. 23. М., 2006. 41-42. [08.12-18А.117].

Описана лабораторная работа по изучению законов постоянного тока. Работа состоит из нескольких упражнений. Исследуемые цепи могут содержать несколько простых контуров. С помощью оборудования в этих цепях может быть реализовано до трех источников ЭДС. Токи измеряются с помощью многоканального амперметра, одновременно позволяющего измерять 2 значения сил токов.

**Измерение электропроводности металлов: простой лабораторный эксперимент с индуцированными токами.** Measurement of conductivity in metals: A simple laboratory experiment on induced currents, Iniguez J., Raposo V. *Eur. J. Phys.* 2007. 28. № 6. 1125-1129. [08.12-18А.118].

**Разработка лабораторно-практического занятия “Исследование свойств сверхпроводников”.** Жидкая А. И. *Информатика и проблемы телекоммуникаций : Российская научно-техническая конференция, Новосибирск, 26-28 апр., 2007: Материалы конференции. Т. 1. Новосибирск. 2007.* 301-302. [08.01-18А.120].

Введение в учебный план СибГУТИ дисциплины “Наноэлектроника” обусловило изучение явления сверхпроводимости, как одного из разделов данного курса. Целью занятия является понять физическую сущность явления сверхпроводимости, исследовать основные параметры и свойства сверхпроводников и овладеть техникой их анализа. В ходе работы студенты изучают факторы, влияющие на сверхпроводящее состояние вещества, исследуют влияние температуры на глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник, изучают такие явления, как стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

## Глава 3

### ЭЛЕКТРОЛИЗ

**Определение электродвижущей силы гальванического элемента методом компенсации и при помощи капиллярного электрометра Оствальда.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 49. С. 260-265. 1937, 1938. Задача 38. С. 231.

**Определение электрохимического эквивалента меди при помощи медного вольтметра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 43. С. 156.

**Проведение лабораторной работы на тему: “Определение электрохимического эквивалента меди”.** Панов (Как провечидам лабораторната работа “Определяне електрохимичния еквивалент на медта”. Панов Иван), Матем. и физика (Бълг.), 1958, 1, № 6, 53-55. [РЖ 1959 № 8 16919].

**Лабораторный эксперимент для измерения семи атомных постоянных.** Сартейн. Laboratory experiment for measuing seven atomic constants. Sartain Carl C. *Amer. J. Phys.*, 1959, 27, № 8. С. 605-606. [РЖФиз. 1960 № 8 18868].

Описан эксперимент по электролизу воды, позволяющий в течение 3 часов, измерив ток  $I$ , время  $t$ , необходимое для освобождения массы  $M$  кислорода при давлении  $p$ , объеме  $v$  и абсолютной температуре  $T$ , определить следующие семь атомных постоянных (с ошибкой  $< 2\%$ ): число Фарадея  $F$ , массу  $m$  атома кислорода, массу  $M_0$  одной атомной единицы, число Авогадро  $N_0$ , постоянную Больцмана  $k$ , универсальную газовую постоянную  $R$  и объем одного моля газа при стандартных условиях. Эксперимент рассчитан на студентов колледжа, изучающих элементарный курс атомной физики и требует лишь простой и недорогой аппаратуры.

**Определение числа Фарадея титрованием.** Wolf Lotar. Bestimmung der Faradayschen Konstanten durch Titration. “Prax. Naturwiss.”, 1960, A9, № 4, Physik, 85-88. [РЖ 1961 1A117].

Для определения числа Фарадея используется “йодный вольтметр”. Йод, электролитически осажденный из йодида цинка, титруется тиосульфатом натрия ( $Na_2S_2O_3$ ), при этом плотное коричневое облако йода вблизи анода обесцвечивается. Приведены расчеты, согласно которым  $F = It/V \cdot 10^4$  А·сек/г·эquiv, где  $F$  – число Фарадея,  $I$  – ток,  $t$  время,  $V$  – объем 10%-го нормального раствора  $Na_2S_2O_3$  в  $l$  см<sup>3</sup>. Описывается методика подготовки и проведения опыта.

**Определение константы Фарадея.** Reichspfar Franz. Bestimmungen der Faraday-Konstanten. “Prax. Naturwiss.”, 1960, A9, № 11, Physik, 283-285. [РЖ 1961 5Ф78].

Сосуд для электролита представляет собой кусок цилиндрической стеклянной трубки, закрытый снизу резиновой пробкой с двумя отверстиями, в которые вводят угольные электроды. На катод ставят стеклянную трубочку, закрытую

сверху резиновой пробкой, предварительно взвешенную вместе с пробкой в электролите. При пропускании тока в трубке собирается водород, и через некоторое время трубочка отрывается от дна. В состоянии равновесия можно считать вес трубочки с водородом в электролите  $G$  приблизительно равным выталкивающей силе  $s_E \cdot V$ , где  $V$  – объем, занимаемый газом,  $s_E$  – удельный вес электролита. Если в качестве электролита использовать весьма слабый раствор соляной кислоты,  $s_E=1$ , следовательно, объем газа в трубочке численно равен весу трубочки в электролите. Число Фарадея  $F$  рассчитывается по формуле  $F = It/sG$ , где  $I$  – ток,  $t$  – время прохождения тока,  $s$  – плотность водорода. Приведены формулы для расчета плотности водорода в трубочке в условиях опыта.

**Определение атомного веса меди методом электролиза.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть II. Г. Г. Аксенова, К. Т. Басова, Н. Н. Взорев и др. Под ред. Н. И. Гольдфарба и Г. И. Пантюхова. Москва, 1965. Работа 10. С. 53-56.

**Исследование зависимости полезной мощности и КПД аккумуляторной батареи от нагрузки.** Стафийчук Е. А., Кирш И. В., Мартынова С. В. и др. Физический практикум. Раздел III. Электричество. Часть I. Днепропетровский гос. ун-т. Днепропетровск. 1970. Работа 6. С. 32-36.

**Использование электролиза воды для определения элементарного электрического заряда.** Манушев Б., Василев Д. Използуване на електролизата на водата за определяне на елементарния електрически заряд. “Мат. И физика”, (НРБ), 1973, 16, № 1, 33-34 (болг.). [РЖ 73 8A75].

Описано изготовление самодельного прибора для проведения опыта по электролизу раствора серной кислоты. На основе полученного в ходе опыта объема водорода можно вычислить значение элементарного электрического заряда.

**Действие силы Лорентца на ионы, движущиеся в электролите.** Saxler Josef. Die Lorentz-Kraft auf bewegte Ionen in Elektrolyten. “Prax. Naturwiss.”, 1973, Teil 1, 22, № 3, 59-61 (нем.). [РЖ 73 8A76].

Предлагается опыт, демонстрирующий взаимодействие между магнитным полем и зарядами, движущимися в электролите. Приводятся описания опытов для случаев, когда ток через электролит постоянен и магнитное поле постоянно; возникающая при этом сила Лорентца  $F=qvB\sin\alpha$ ; когда ток в цепи переменный и магнитное поле переменное, возникающая при этом сила Лорентца  $F=(1/2)I_0B_0\sin(2\omega t)$ . Цепь подключается к сети с напряжением 220 В через потенциометр на 320 Ом. В опытах используется кювета высотой 65 мм и основанием  $70 \times 5$  мм, склеенная из плексигласа. К одной из широких стенок кюветы приклеиваются две планки из плексигласа так, чтобы они не доходили до основания кюветы на 5 мм; расстояние между планками 52 мм. В верхней части планок имеются крепления для электродов. Кювета заполняется раствором серной кислоты, так чтобы высота жидкости составляла 55 мм, и устанавливается между полюсами электромагнита. В качестве электромагнита используется трансформатор фирмы Leybold. В опытах используются также амперметр и конденсатор на 25 мкФ. В результате проявления силы Лорентца наблюдаются искривления поверхности жидкости как в первом, так и во втором опытах.

**Исследование характеристик аккумуляторной батареи.** Корнел В., Куду К., Тамм Э., Таммет Х. Физический практикум. II. Тартуский гос. ун-т. Тарту. 1976. Работа 8. С. 76-80.

**Изготовление и калибровка термоэлемента.** Корнел В., Куду К., Тамм Э., Таммет Х. Физический практикум. II. Тартуский гос. ун-т. Тарту. 1976. Работа 9. С. 81-91.

**Исследование гальванического элемента.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. Авторы: Л. Л. Гольдин, Ф. Ф. Игошин, С. М. Козел и др. Москва. Наука. 1983. Работа 3.12. С. 239-244.

Гальванический элемент помещен в термостат, позволяющий изменять его температуру. В начале работы проверяется обратимость процесса зарядки элемента путем отключения его от источника питания и замыкания накоротко – при этом элемент разряжается через свое внутреннее сопротивление. После этого элемент вновь заряжают и измеряют зависимость э. д. с.  $E$  от температуры  $T$ , вычисляется величина  $\partial E/\partial T$  и рассматривается, как зависит от температуры теплообмен элемента с термостатом (по уравнению  $\partial Q/\partial q = T \cdot (\partial E/\partial T)$ , где  $q$  – переносимый заряд,  $Q$  – тепло, которым элемент обменивается с окружающей средой), и какова внутренняя энергия  $U$ , приходящаяся на единицу заряда (по уравнению  $E - T \cdot (\partial E/\partial T) = -\partial U/\partial q$ ).

**Исследование электропроводности электролитов.** Ретивов Н. А., Сарсенбаев Е. С. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 10, 98-101. [РЖ 84 5A143].

Предлагается количественное исследование электропроводности электролитов.

**Измерение температурной зависимости электропроводности при помощи ПЭВМ С-64.** A vezetokepesseg hofokfuggesenek merese C-64-ES szanitcgeppel. Sardi Akos. “Fiz.szem.”. 1989. 39, № 10. С. 390-392. (венгр.). [РЖ 90 9A94].

Описана установка для изучения температурной зависимости электропроводности электролитов KCl и NH<sub>4</sub>Cl в интервале температур 0–50<sup>0</sup> С с точностью 5/100<sup>0</sup> С, что обусловлено линейной характеристикой кремниевого диода, используемого в качестве термометра. Данные обрабатываются и выводятся на дисплей.

**Исследование изменения полезной мощности и к. п. д. аккумуляторной батареи в зависимости от изменения нагрузки.** Руководство к лабораторным???

**Определение молекулярных характеристик в лабораторной работе по электролизу.** Богданов А. А., Полянский А. М., Фих А. Я. Совр. физ. пр-м. Сб. трудов IX Межд. учебно-методич. конф. Волгоград. 19-21 сент. 2006. г. 2006. С. 134-135.

**Демонстрационные и лабораторные опыты по измерению термоэдс электролитов.** Комаров В. А., Климантов М. М., Иванов А. Ю. *Физика в системе современного образования (ФССО-0-7) : Материалы 9 Международной кон-*

*ференции, Санкт-Петербург, 4-8 июня 2007. Т.1. СПб, 2007. 423-424. [08.06-18А.151].*

Исследуется эффект Зеебека в растворах электролитов. При нагреве одного конца трубки с раствором электролита появляется разность температур, вследствие которой на электродах, опущенных в раствор, возникает разность потенциалов. На основе данных о разности температур и потенциалов, а также данных о растворе электролита и материале электродов можно изучать поведение термоэдс в растворах электролитов. Такие опыты позволяют получить температурную зависимость коэффициента термоэдс, его концентрационную зависимость, найти характерные значения термоэдс и ее знак для разных растворов электролитов. Из полученных результатов можно делать предположения о вкладах в термоэдс тех или иных носителей заряда. Разработанные опыты могут быть использованы как для лекционных демонстраций, так и для постановки новых лабораторных работ по физике конденсированного состояния.

**Лабораторная работа по исследованию нового термоэлектрокинетического эффекта в водных растворах электролитов.** Зайцев А.А., Киселева Н.И., Кузнецов Д.В., Трофимова Е.И. Елец, Россия, Елецкий гос. ун-т им. И.А.Бунина. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня 2009 г. С. 389-391.

## Глава 4

### ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**Изучение фотоэлектрических явлений.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 59. С. 304-308.

Фотоэлектрический эффект состоит в том, что заряженное отрицательно тело под действием лучей света теряет свой отрицательный заряд. Прибор для изучения фотоэлектрических явлений состоит из двух электродов – сплошного диска и сетчатого, укрепленных так, что плоскости их параллельны. Исследуемый электрод освещается лучами ртутной лампы. Снимается зависимость силы фототока от величины разности потенциалов электродов. Снимается также зависимость величины фототока от времени освещения (“фотоэлектрическое утомление”).

**Изучение явления испускания электронов раскаленными металлами.** А.П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 61. С. 312-315.

Для изучения этого явления раскаленный металл, обычно в виде тонкой проволоки, помещают в стеклянный сосуд, воздух в котором доведен до высшей достижимой степени разрежения. Проволока накаливается электрическим током. Для суждения о числе электронов, вылетающих с проволоки, ее окружают металлическим цилиндром. При помощи батареи создают разность потенциалов между проволокой и цилиндром и измеряют силу тока между ними.

**Определение электродвижущей силы термоэлементов.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 47 а. С. 177.

**Градуирование термопары.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 47 б. С. 179.

**Градуирование термоэлемента и определение его термоэлектродвижущей силы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 42. С. 220.

**Изучение генератора и мотора постоянного тока.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 52. С. 285.

**Изменение электрического сопротивления термисторов в зависимости от температуры.** Грийе, Эвено (Variation de resistance electrique d'une thermistance en fonction de la temperature. Grillet Leon, Eveno M.), Bull. Soc. Scient. Bretagne. Sci. math., phys. et nature., 1955 (1956), 30, № 1-4, 77-78. [РЖ 1957 № 9 21 692].

Указан способ применения, позволяющий быстро проводить исследование.

**Опыт по термоэлектричеству для студентов второго курса.** Нун, О'Брайен (Sophomore experiment in thermoelectricity, Noon J. H., O'Brien V. J.), Amer. J. Phys., 1958, 26, № 6, 373-375. [РЖ 1959 № 5 9734].

Описан опыт, демонстрирующий явление охлаждения одного из спаев термопары при пропускании через нее электрического тока. Элементы пары состо-

ят: один – из сплава висмута (91 вес. ч.) с сурьмой (9 вес. ч.); в другой добавляется еще 5 вес. ч. олова. Изменяя величину тока, можно регулировать степень охлаждения. Так, при токе 5 А можно достичь понижения температуры на  $7^{\circ}$ . Приведен ряд формул, по которым можно рассчитать электрические и тепловые параметры установки.

**Две лабораторные работы по электронике.** Крафтмахер Я. А. Изв. вузов. Физика. 1959, № 4, 95-97. [РЖ 1960 № 5 10222].

Приводится описание двух лабораторных работ по электронике: 1) Определение потенциалов возбуждения и ионизации; 2) Определение работы выхода методом компенсации охлаждения нити.

**Об одной экспериментальной оценке контактной разности потенциалов в курсе общей физики.** Помазанов И. Н., Парчевский Г. Ф. “Изв. вузов. Физика.” 1960, № 5, 170-172. [РЖ 1961 6A77].

Отмечается, что при конденсаторном методе измерения контактной разности потенциалов (КРП), описанном в учебной литературе, наблюдаемые разности потенциалов не связаны с КРП, т. к. в результате электризации диэлектрического слоя, разделяющего пластинки конденсатора, на пластинках индуцируются заряды, создающие разность потенциалов, значительно превосходящую КРП; кроме того, чувствительность демонстрационного электрометра недостаточна. Описывается схема установки, свободной от указанных недостатков, которая может быть использована для демонстрации КРП в курсе физики, а также для выполнения лабораторных работ по определению КРП различных металлов.

**Изучение эффекта Пельтье.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. Под ред. А. Л. Рвачева. Одесский политехн. ин-т. 1960. Задача № 2-14. С. 107.

**Замечание к эксперименту по термоэлектричеству.** Lucke William H. Reply to experiment in thermoelectricity. “*Amer. J. Phys.*”, 1960, 28, № 6, 653. [РЖ 1961 6A72].

В заметке Бреннана (РЖФиз, 1960, № 9, 21925) доказывается, что все тепло в термоэлементе истекает из холодного спая; однако анализ не доведен до конца. Полный анализ показывает, что половина джоулева тепла действует на теплый спай, а половина – на холодный; это не эквивалентно утверждению, что половина джоулева тепла притекает к каждому концу. По закону Фурье проводимое тепло можно найти, взяв произведение  $k$  (теплопроводность, в данном случае постоянная) на градиент температуры. Физически это значит, что джоулево тепло изменяет градиент таким образом, что кажется, будто бы половина джоулева тепла течет по градиенту, а половина – против него.

**Изучение распределения термоэлектронов по скоростям.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероной. М., 1962. Задача 64. С. 321–325. 1968. Задача 78. С. 72–76.

В основе работы – метод задерживающего потенциала. Если на анод вакуумной лампы с накаливаемым катодом подавать отрицательные напряжения, препятствующие попаданию электронов на анод, то попадать на анод будут лишь те

электроны, энергия которых больше работы сил электрического поля по их торможению. Измеряя анодный ток при изменении величины отрицательного анодного напряжения, можно непосредственно исследовать распределение электронов по энергиям или по скоростям. Используется радиолампа типа 6Х6С – двойной диод с подогревным оксидным катодом (в цепь включен один диод лампы). Изучается зависимость анодного тока  $I$  от анодного напряжения  $U$  при изменении его от +0,5 В до -0,5 В при токах накала 0,20; 0,22; 0,24; 0,26 А. по полученным данным строится график зависимости  $\ln I$  от  $U$ , по которому определяется величина и знак контактной разности потенциалов между катодом и анодом при указанных выше токах накала. По этим графикам рассчитывается также температура катода.

**Определение работы выхода электрона методом компенсации охлаждения нити.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 62. С. 312–316. 1968. Задача 76. С. 63–67.

Этот метод основан на том, что при электронной эмиссии каждый электрон, покидающий катод, уносит с собой энергию, равную работе выхода электрона  $\varphi$ . Если катод электронной лампы нагреть до температуры, достаточной для термоэлектронной эмиссии, то в случае разомкнутой анодной цепи устанавливается равенство числа электронов, покидающих катод, и числа электронов, возвращающихся на катод, из области пространственного заряда. При замыкании анодной цепи возникает движение электронов от катода к аноду, создающее анодный ток  $i$ . Вследствие этого происходит понижение температуры катода, связанное с указанным выше переносом энергии каждым электроном. Можно подобрать приращение тока накала  $\Delta i_n$  так, чтобы восстановить прежнее значение температуры нити катода. Тогда для работы выхода электрона будет справедливо выражение  $\varphi = 2eRi_n \Delta i_n / i$  где  $R$  – сопротивление нити накала (катода),  $e$  – заряд электрона.

**Изучение явления термоэлектронной эмиссии и определение работы выхода электрона.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 63. С. 316–321. 1968. Задача 77. С. 67–72.

Исследуется зависимость плотности тока при термоэлектронной эмиссии от температуры катода и определяется работа выхода электрона из вольфрама методом прямых Ричардсона.

**Определение электрохимических эквивалентов и градуирование амперметра при помощи вольтметра.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 68. С. 339–343.

Электролиз ведется в приборе, называемом вольтметром. Он состоит из стеклянного сосуда, в который опущены три медные пластины. Из них две крайние, служащие анодом, соединяются между собой медным полупоясом, облегающим стеклянный сосуд по внешней стороне. Катодом служит третья медная пластинка. В сосуд наливают насыщенный раствор медного купороса. При пропускании тока через цепь, в которую включен вольтметр, на катодной пластинке осаждается чистая медь. Ток  $I$  пропускают в течение времени  $t$ , составляющему примерно 30 минут. По окончании опыта вынимают пластинку, промывают ее, высушивают и взвешивают. Вес осажденной на катоде меди  $Q$  получают как



разницу между весами пластинки до и после пропускания тока. Из первого закона Фарадея для медного вольтметра следует:  $Q = \alpha_{Cu}it$ . Отсюда находят значение электрохимического эквивалента меди  $\alpha_{Cu}$ . Пользуясь значением атомного веса меди и зная валентность иона меди, вычисляют заряд отдельного иона меди и заряд электрона.

**Определение числа Фарадея и заряда иона.** Simons P. Bepaling van de constante van Faraday en de lading van het electron. "Dokumentation. 24." Bruxelles. s. a., 8-9. [РЖ 1964 9A45].

В сосуд емкостью 250-500 см<sup>3</sup> наливается сильно разбавленная серная кислота. В нее погружается бюретка емкостью 50 см<sup>3</sup>, закрытая сверху краном, и два электрода. Катод делается в виде S-образной металлической проволоочки, анодом служит угольный стержень. Через раствор пропускается ток ~0,5 А. Выделяющийся водород собирается в бюретку. По измеренным давлению и температуре измеряется объем выделившегося водорода и вычисляется его масса  $m$ . По закону Фарадея  $m = m_a It / nF$ , откуда  $F = m_a It / mn$  и  $e = F/N$ . Точность метода 0,06 %.

**Определение потенциала ионизации.** Warneke Rarl Friedrich. Bestimmung einer Ionisierungsarbeit. "Prax/ Naturwiss.", 1965, А 14, № 11, "Physik", 307-308 (нем.). [РЖ 66 6A99].

Электрическая схема состоит из тетрода, двух амперметров, двух вольтметров и двух потенциометров, включенных соответственно в цепь сеток  $G_1$  и  $G_2$ . Анод и  $G_2$  соединяют накоротко, тетрод подключают к источнику напряжения так, что потенциал катода и  $G_2$  отрицателен по отношению к  $G_1$ . При проведении опыта снимают зависимость  $J_{G_2}$  от  $J_{G_1}$  при постоянном значении  $U_{G_2}$ . Из результатов опыта следует, что, когда  $U_{G_2} = 0$  В или 5 В, при увеличении  $U_{G_1}$  ток  $J_{G_2}$  неограниченно возрастает. При  $U_{G_2} = 10$  В  $J_{G_2}$  сначала возрастает, но при значении  $U_{G_1} = 12$  В начинает убывать, при  $U_{G_2} = 15$  В  $J_{G_2} = 0$ . Это свидетельствует о том, что электроны, ускоренные разностью потенциалов 12 В, теряют энергию в результате ионизации газа внутри лампы и не достигают  $G_2$ . Таким образом может быть измерен потенциал ионизации газа, наполняющего лампу.

**Определение концентрации ионов в воздухе.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Ч. 2. Электричество. Под ред. И. И. Портнягина. Челябинск. 1966. Работа Э-2. С. 11-16.

**Определение удельного заряда электрона по методу магнитной фокусировки.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Ч. 2. Электричество. Под ред. И. И. Портнягина. Челябинск. 1966. Работа Э-12. С. 76-83.

**К доказательству эффекта Пельтье.** Kroncke Helmut. Zum Nachweiss des Peltier-Effectes. "Prax. Naturwiss.", 1968, А17, № 12, Physik, 320-321 (нем.). [РЖ 68 8A57].

Опыт проводится при помощи термопары железо-константан. Т. н. эффект Пельтье пропорционален току, а джоулево тепло пропорционально квадрату силы тока, необходимо, чтобы ток был малым. В этом случае величину термо-э. д.

с., возникающую в результате охлаждения или нагревания спая, рекомендуется измерять гальванометром чувствительностью  $\sim 50$  делений/град. Приведены электрическая схема и графические результаты измерений зависимости термо-э. д. с. От тока, из которых следует, что при пропускании тока в направлении константан–железо происходит нагревание спая, а в направлении железо–константан происходит охлаждение.

**Изучение термоэлектронной эмиссии и определение работы выхода.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. Под ред. О. И. Замша. МИФИ. М., 1969. Работа 10. С. 101-106.

**Лабораторная работа по изучению вторичной эмиссии электронов.** Сушкина И. В. “Уч. зап. Ивановск. гос. пед. ин-т”, 1969, 78, 64-67. [РЖ 1970 № 4А109].

Описана лабораторная работа, задачей которой является ознакомление студентов с простейшим фотоэлектронным умножителем ФЭУ-2 или ФЭУ-1 и определение коэффициента вторичной эмиссии в зависимости от скорости первичных электронов.

**Эксперимент по определению дифференциальной термо-э.д.с. в лабораторном спецпрактикуме.** Greenslade Thomas B., Jr. Thermoelectric power experiment for the advanced laboratory. “*Amer. J. Phys.*”, 1970, 38, № 4, 480-486. [РЖ 1970 9А92].

Подробное описание лабораторной работы повышенной трудности по определению температурной зависимости термо-э. д. с. чистых металлов в лабораторном спецпрактикуме для студентов последнего курса. Дается вывод основных теоретических соотношений, описана экспериментальная установка. Измерение термо-э. д. с. велось интегральным методом. Холодный спай помещался в жидкий азот. Приводятся результаты измерений термо-э.д.с. для золота, алюминия и железа в диапазоне температур 77-300<sup>0</sup> К.

**Лабораторная работа “Вторичная электронная эмиссия”.** Правдин Н. А. “С науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1972, вып. 2, 56-58. [РЖ 72 8А63].

Описана лабораторная работа по определению коэффициента вторичной эмиссии.

**Лабораторное изучение рассеяния электронов (эффект Рамзауера).** Савчин Л. С., Злупко В. Н. “Изв. Высш. учеб. заведений. Физика”, 1972, № 11, 152-154. [РЖ 73 4А121].

Описано лабораторное изучение закономерностей рассеяния электронов при малых энергиях. В качестве откачного вакуумного поста предлагается использовать тиратрон ТГ-1-2/8, наполненный Хе, конструкция которого дает возможность с достаточной точностью определять эффективные сечения рассеяния при малых энергиях. Уменьшение давления в баллоне тиратрона осуществляется путем его охлаждения. Приведены расположение электродов в тиратроне и схема измерения. Подробно обсуждается теория эксперимента. Абсолютные значения эффективного сечения упругого рассеяния электронов лежат в пределах ошибок

измерений. Основной ошибкой измерений является неопределенность давления в тиратроне.

**Эксперимент по определению электронного шума в лаборатории первого курса.** Livesey D. L., McLeod D. L. An experiment on electronic noise in the freshman laboratory. "Amer. J. Phys.", **1973**, 41, № 12, 1364-1367 (англ.). [РЖ 74 5A86].

Предложена электронная схема для определения среднего квадрата напряжения дробового шума на сопротивлении, соединенном последовательно с диодом, имеющим термоэлектронный катод, в зависимости от среднего тока диода. Используя полученные экспериментальные данные, а также формулу Найквиста для среднего квадрата напряжения теплового шума, можно получить отношение заряда электрона к постоянной Больцмана.

**Определение ионизационных потенциалов.** Аверьянов Г. Б. "Изв. высш. учеб. заведений. Физика", **1974**, № 1, 123-124. [РЖ 74 6A78].

Описана лабораторная установка студенческого лабораторного практикума по теме "Электропроводность газов", предназначенная для определения потенциалов ионизации ксенона и аргона. Работа выполняется согласно классической схеме Франка и Герца. В работе используют тиратрон ТГ-1-0,1/1,3 и ТГ-1-0,1/0,3. Значения ионизационных потенциалов близки к табличным значениям.

**Эксперимент по термоэлектронной эмиссии с использованием триода-нувистора.** Luke Keung L. An experiment on thermionic emission using a nuvistor triode. "Amer. J. Phys.", **1974**, 42, № 10, 847-856 (англ.). [РЖ 75 3A130].

Для учебной лаборатории повышенного типа предложен эксперимент по изучению термоэлектронной эмиссии с использованием триода-нувистора. В эксперименте проверяется возможность применения распределения Максвелла к термоэлектронам и сравнения температуры электронного газа с температурой катода; исследуется температурная зависимость эмиссии; определяется работа выхода для вещества катода и анода; определяется контактная разность потенциалов. Рассмотрены некоторые теоретические вопросы работы цилиндрического диода в разных режимах. Предложен ряд расчетных формул и рабочая схема.

**Распределение термоэлектронов по скоростям.** Корнел В., Куду К., Тамм Э., Таммет Х. Физический практикум. II. Тартуский гос. ун-т. Тарту. **1976**. Работа 19. С.106-110.

**Определение потенциала возбуждения атома.** Корнел В., Куду К., Тамм Э., Таммет Х. Физический практикум. II. Тартуский гос. ун-т. Тарту. **1976**. Работа 23. С. 189-197.

**Термоэлектрические явления.** Физический практикум с применением ЭВМ. Выпуск 2. О. Б.Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. **1977**. Работа № 10. С. 101-108.

Вычисление некоторых физических параметров полупроводникового термоэлектрического модуля. – аппроксимация входной (вольт-амперной) и выходной

(тепловой) характеристик модуля. Оценка коэффициентов аппроксимирующих полиномов и их доверительных границ по методу наименьших квадратов.

**Определение температуры электронного газа в магнетроне, нахождение отношения заряда электрона к его массе и контактной разности потенциалов между анодом и катодом магнетрона.** Физический практикум с применением ЭВМ. Выпуск 2. О. Б. Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. 1977. Работа № 6. С. 71-79.

Аппроксимация функциональных зависимостей степенными полиномами, дифференцирование полиномов, обратная интерполяция, решение задач на экстремум функций, нахождение ряда физических параметров методом наименьших квадратов.

**Изучение энергетического распределения электронов, выходящих из электронной пушки.** Физический практикум с применением ЭВМ. Выпуск 2. О. Б. Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. 1977. Работа № 7. С. 79-84.

Аппроксимация экспериментальных кривых полиномами, дифференцирование полиномов, нахождение максимального значения функции.

**Новые элементарные эксперименты по физике плазмы.** Alexeff I., Pytlinski J. T., Oleson N. L., New elementary experiments in plasma physics. "Amer. J. Phys.", 1977, 45, № 9, 860-866 (англ.). [РЖ 78 3A117].

Используя промышленные газоразрядные лампы, такие, как газотроны и тиратроны, и стандартные лабораторные электронные приборы, можно поставить несколько интересных лабораторных работ по физике плазмы для студентов старших курсов. С помощью диода или триода с хорошей цилиндрической геометрией при анодных напряжениях, меньших потенциала ионизации, можно измерять отношение  $e/m$  для электрона, воспользовавшись известной формулой Ленгмюра. Управляющий электрод тиратрона используется как зонд Ленгмюра для измерения температуры электронов и плотности плазмы и исследуется зависимость этих параметров от тока, протекающего через тиратрон. С помощью газотрона со стеклянным баллоном и гетеродинного индикатора резонанса можно определить плазменную электронную частоту. Распад плазмы можно наблюдать, если после зажигания разряда в лампе отключить источник анодного напряжения и тут же включить вспомогательный источник напряжения обратного знака. При постепенном увеличении напряжения вспомогательного источника время распада плазмы скачком увеличивается при достижении напряжения, превышающего потенциал ионизации газа, заполняющего лампу.

**Лабораторная работа на тему "Изучение анизотропии эффектов Зеебека и Пельтье текстурированных гексагональных металлов".** Иваний В. С., Мороз И. А. (Редколлегия ж. "Изв. ВУЗ. Физика"). Томск, 1978. 7 с., ил., библиогр 10 назв. (Рукопись деп. В ВИНТИ 16 февраля 1978 г., № 534-78 Деп.). [РЖ 78 6A137].

Предложена лабораторная работа по изучению анизотропии термоэлектрических свойств гексагональных металлов в курсах общей физики, физики твердого тела, металловедения в технических вузах. Целью работы является исследование

анизотропии эффетов Зеебека и Пельтье поликристаллических текстурированных гексагональных металлов с заведомо известной текстурой, описание полученных результатов с помощью тензорных представлений и вычисление анизотропии термоэлектрических постоянных соответствующих монокристаллов исследуемых металлов. Описана методика проведения лабораторной работы, предлагается схема соответствующих экспериментальных устройств для ее выполнения. Приведены экспериментальные данные по анизотропии эффетов Зеебека и Пельтье, измеренные на текстурированном технически чистом листовом титане.

**Некоторые плазмофизические эксперименты по исследованию электропроводности и законов подобия.** Pytlinski J. T., Alexeff I. Some plasma physics experiments on electrical conductivity and similarity laws. "Amer. J. Phys.", 1977, 45, № 12, 1196-1199 (англ.). [РЖ 78 6A138].

Приводится описание двух лабораторных работ по исследованию электропроводности и законов подобия в плазме. Плазма генерируется в газовой трубке. Используемое оборудование имеет низкую стоимость и доступно для использования в учебных лабораториях.

**Экспериментальное исследование распределения электронов в "электронном облаке" по скоростям на факультативных занятиях в средней школе.** Коротаев Е. А., Пивоварова Н. Б. "Изв. Воронеж. гос. пед. ин-та", 1978, 185, 34-39. [РЖ 80 1A88].

Приведена схема установки для исследования распределения электронов по скоростям в "электронном облаке" вблизи нагретой металлической нити. Описана методика проведения опыта. В опыте исследуется характер изменения кривой распределения при увеличении или уменьшении температуры нити.

**Учебная лабораторная установка для исследования плазмы.** Мамаев Ю. А., Мишин А. Н. Редкол. ж. "Изв. вузов. Физ.", Томск, 1981, 5 с., 4 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 14 мая 1981 г., № 2256-81 Деп.). [РЖ 81 8A120].

Описана экспериментальная установка для лабораторной работы "Исследование плазмы методом электрического зонда" по общему курсу физики. Основные отличительные особенности установки: 1) применение долговечной отпаянной газоразрядной трубки с алюминиевым наполнением; 2) низковольтная схема питания; 3) использование цифровых измерительных приборов. Все это позволило сочетать наглядность и информативность данных, получаемых студентами, с надежностью конструкции установки и простотой ее эксплуатации.

**Метод измерения сопротивления контакта между двумя материалами.** Method for measuring the resistance of the contact between two materials. Wrobel Z. "Wiss. Beitr. M.-Luther-Univ. Halle – Wittenberg", 1986, Reihe O., 171-174 (англ.). [РЖ 87 3A80].

Метод основан на использовании термоэлектрических явлений, возникающих в системе из двух контактирующих материалов при протекании тока через контакт. Контактующие электроды соединены с регулируемым источником тока через электронный переключатель, управляемый импульсным генератором. К месту контакта материалов и к их свободной поверхности вдали от контакта

подсоединены температурные зонды. При измерениях выбирают направление тока  $I$ , соответствующее поглощению теплоты Пельтье, и величину тока  $I_0$ , соответствующую нулевой разнице температур контакта материалов и их поверхности вдали от контакта. Величину сопротивления  $R$  контакта определяют из равенства в этом случае джоулевой теплоты и теплоты Пельтье по соотношению  $R=(\alpha_1-\alpha_2)T/I_0$ , где  $T$  – температура материалов,  $\alpha_{1,2}$  – коэффициент Зеебека материалов, образующих контакт.

**Разработка лабораторной работы “Термоэлектрические явления”.** Шепелевич В. Г. Редкол. ж. “Вестн. Белорус. ун-та. Сер. физ., мат., мех.”. Минск, 1981.

Приведены методические указания по постановке лабораторной работы “Термоэлектрические явления”. Дано описание установок и методики измерения дифференциальной термо-э. д. с.

**Лабораторная установка для определения работы выхода электрона методом прямых Ричардсона.** Версоций В. С., Красненко М. А. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва) 1984, № 10, 111-116. [РЖ 84 5A141].

Приводится описание лабораторной установки, предназначенной для регистрации вольт-амперных характеристик двухэлектродной лампы для определения работы выхода электрона.

**Определение заряда иона водорода.** В. В. Ларионов, М. С. Иванкина, Л. Т. Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. 1993. Работа 2-07. С. 39-42.

**Изучение термоэлектрических явлений.** В. В. Ларионов, М. С. Иванкина, Л. Т. Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. 1993. Работа 2-10. С. 47-50.

**Изучение термоэлектронной эмиссии и определение работы выхода электронов из металла.** В. В. Ларионов, М. С. Иванкина, Л. Т. Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. 1993. Работа 2-12. С. 51-55.

**Экспериментальное изучение функции распределения термоэлектронов.** Попов С. Е., Колесников Н. И., Фискинд Е. Э. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 7. 1998. С. 67-70

**Ионные приборы тлеющего разряда в демонстрационном и лабораторном эксперименте.** Царев А. С. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 7. 1998. С. 74-78

**Новые достижения в экзоэмиссии и учебный эксперимент в высшей школе.** Крылова И. В. Учеб. эксперим. в высш. шк. 1999. № 1. 13-26. [РЖ 00.03-18A.150].

Экзоэмиссия-низкотемпературная (4–700 К) эмиссия электронов и ионов происходит с поверхности твердых тел – металлов, полупроводников и диэлектриков

после различных воздействий на них (возбуждения) и обладает значительной инерционностью. Возбуждение экзоэмиссии может осуществляться действием ионизирующих излучений, газового разряда, механическими воздействиями или в результате протекания физикохимических превращений на поверхности твердых тел (адсорбции, десорбции, катализа, окисления, коррозии, фазовых превращений). Результаты новых исследований экзоэмиссии при различных способах возбуждения рассмотрены с единой точки зрения физикохимических превращений на поверхности твердых тел. Обсуждаются способы регистрации экзоэмиссии в научных исследованиях и в практике. Приведена схема и методология учебного эксперимента в высшей школе.

**Исследование газоразрядной плазмы.** В. Г. Аверин, А. А. Теврюков, Г. Н. Фрейберг. *ФОВ.* 2001. Т. 7, № 1, 84-90, 131. [02.02-18А.109].

Приведено описание лабораторной работы по исследованию плазмы, получаемой при помощи высокочастотного разряда, методом двойного зонда. В статье рассмотрены теоретические предпосылки по определению основных параметров газоразрядной плазмы, описывается экспериментальная установка для исследования плазмы в условиях студенческой лаборатории в разделе “Электричество” курса общей физики и предлагается методика проведения эксперимента и обработки полученных данных.

**Изучение эмиссии электронов в компьютерном лабораторном практикуме.** А. М. Толстик, А. М. Оловянишникова. *ФОВ.* 2001. Т. 7, № 2, 114-118.

**Лабораторный практикум по термоэлектричеству.** Накоряков А. П. *ФССО-01.* Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 193.

**Эксперименты с термокрестом Пельтье.** Корнисик К. И., Фискинд Е. Э. *Учеб. физ.* 2002. № 2. 16-20, 63. [03.10-18А.157].

Предлагается лабораторная работа исследовательского характера по изучению основных термоэлектрических явлений. Одним из первых экспериментов в области термоэлектричества является поставленный в 1834 г. французским физиком Пельтье опыт с так называемым “крестом”, позволяющим демонстрировать одновременно эффекты Зеебека и Пельтье. “Крест” Пельтье представляет собой две идентичные термопары с общим спаем. В работе использован термокрест из железной и константановой проволоки. Приведена электрическая схема опыта.

**Изучение плазмы в общем физическом практикуме.** Булкин П. С., Миронова Г. А., Малова Т. И. *ФССО-01.* Ярославль. Тезисы докладов. Том. 2. С. 151-152.

**Лабораторная работа по изучению электрических явлений в контактах.** Иванов В. Е. *Физ. образ. в вузах.* 2003. 9. № 4. 100-105, 147. [04.09-18А.175].

Приводится описание лабораторной работы, посвященной изучению термоэлектрических явлений в курсе общего физического практикума. Предложен подход, позволяющий изучать явление Пельтье, не используя традиционные калориметрические методы. С целью изучения явления Пельтье предлагается использовать эффект Зеебека. Для этого был изготовлен термоэлемент, образованный парой металлических проводников (сталь-константан или медь-константан), контакт между которыми представляет собой сварное соединение. Изложены основные фи-

зические принципы постановки экспериментов, представлены результаты и методы их обработки. Данная работа отражает физический смысл таких понятий как внешняя и внутренняя разность потенциалов, работа выхода электрона из металла, диффузионный электронный и тепловой потоки, демонстрирует кинетику процессов теплопроводности и степень их влияния на изучаемые явления, а также может составить основу лабораторной работы по изучению контактных явлений в металлах и полупроводниках.

**Лабораторная работа по изучению электрических явлений в контактах.** Иванов В. Е. Физ. образ. в вузах. Т. 9. № 4. **2003**. С. 100-105.

Приводится описание лабораторной работы, посвященной изучению термоэлектрических явлений в курсе общего физического практикума. Предложен новый подход, позволяющий изучать явление Пельтье, не используя традиционные калориметрические методы. Изложены основные физические принципы постановки экспериментов, представлены результаты и методы их обработки.

**О лабораторных исследованиях бароэлектрического эффекта.** Григорьев В. И., Ростовский В. С. *Вестн. МГУ. Сер. 3*. **2004**. № 3. 55-57. [05.03-18А.148].

Перераспределение зарядов в проводнике, порождаемое перепадами давлений, приводит к образованию электрического поля (бароэлектрический эффект). Этот эффект пока не получил прямого и наглядного подтверждения в лабораторном эксперименте. Фактически первой попыткой постановки такого эксперимента были опыты П. Н. Лебедева в 1911 г. для проверки гипотезы Сазерленда о влиянии гравитационного поля на распределение электронов в проводнике. В статье предложена идея нового метода экспериментального исследования бароэлектрического эффекта и приведены количественные оценки его реализуемости.

**Распределение термоэлектронов по скоростям.** Козловский С. А. *Соврем. физ. практикум. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М.* **2004**. С. 91.

**Реализация исследовательских аспектов при изучении эффекта Пельтье в технологическом образовании.** Швец В. В. С.-Пб. РГПУ им. А. И. Герцена. ФССО-05. Мат. 8-й межд. конф. С.-Пб-г. **2005**. С. 199-201.

**Термоэлектрические явления в полиморфных сплавах.** Горовой А. М., Шелковников В. Н. *Преподавание физики в высшей школе. № 30. Москва.* **2005**. С. 107-109.

**Измерение удельного сопротивления нихромовой проволоки.** Шварев К. М. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования : Сборник научных трудов 4 Российской научно-методической конференции учителей школ и преподавателей вузов, Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург, **2006**. 129-132. [07.10-18А.136].

Нихромовая проволока из-за высокой термостойкости (температура плавления  $\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ) и высокого удельного сопротивления является основой для изготовления нагревательных элементов в различной технике. В работе измерение удельного сопротивления нихромовой проволоки осуществляется с помощью вольтметра и амперметра. Рассматриваются принципы работы этих электрических приборов.



Вольт-амперный метод измерений предложен в двух вариантах: 1) при известном сопротивлении амперметра и 2) при известном сопротивлении вольтметра.

**Изучение эффекта Рамзауэра и определение потенциалов возбуждения атомов криптон-ксеноновой смеси в тиратроне ТГЗ-0,1/1,3 осциллографическим методом.** Вязовский М. В., Попов Э. С., Сыродоев Г. А., Харькин В. С. Совр. физ. практикум. Сб. трудов IX Межд. уч.-методич. конф. Г. Волгоград. 19-21 сент. 2006 г. 2006. С. 75-76.

**Работа выхода и энергия межатомного взаимодействия в лабораторной работе по термоэлектронной эмиссии.** Петров М. И., Полянский А. М., Фих А. Я. Совр. физ. практикум. Сб. трудов IX Межд. учебно-методич. конф. Волгоград. 19-21 сент. 2006. г. 2006. С. 133-134.

**Изучение физических характеристик газовых ионизационных детекторов.** Виноградова Н. Б., Руснак А. И. Препод. физики в высшей школе. № 33. Москва. 2006. С. 69-73.

**Определение отношения коэффициентов теплопроводности и электропроводности металлов.** Булыгин В. С. Физ. образ. в вузах. 2006. Т. 12. № 4. С. 58-62.

**Экспериментальное изучение максвелловского распределения термоэлектронов в курсе общей физики.** Козловский С. А. МГОУ- XXI – Нов. технол. 2007. № 1. 50-53. [07.11-18А.117].

Предлагается вести подсчет термоэлектронов с помощью метода магнетрона. Этот метод для определения удельного заряда электрона описан ранее и используется в других лабораторных практикумах. Магнетрон – это устройство, в котором электроны двигаются сразу в двух взаимно перпендикулярных полях: электрическом и магнитном. В рассматриваемом случае магнетрон представляет собой электронную лампу – диод, помещенный в магнитное поле соленоида. Диод располагается в соленоиде таким образом, что направление напряженности магнитного поля соленоида, направленное по оси соленоида, совпадает с осью симметрии диода.

**Измерение удельного заряда электрона по термоэлектрическому эффекту.** П. М. Меднис. ФОВ. 2008. Т. 14, № 4. С. 57-67. [09.09-18А.106].

Описан метод измерения удельного заряда электрона, основанный на той части вольтамперной характеристики, которая определяет электрический ток вакуумного диода при нагретом катоде в отсутствии внешнего источника тока.

**Распределение термоэлектронов по энергиям и скоростям.** С. В. Фомин, Д. Н. Лукичев, А. С. Красников. Рязанский гос. ун-т. ФОВ. Т. 16, № 1, 2010.

Рассматривается механизм передачи силы Лоренца проводнику в целом (силы Ампера) от носителей тока. Разбираются неточности в изложении этого вопроса в современных учебниках физики. Обсуждается связь силы Ампера с силой Лоренца.

## Глава 5

### ПОЛУПРОВОДНИКИ

**Исследование характеристик триода и определение его параметров.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 55 в. С. 231.

**Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 76. С. 391–397. 1968. Задача 90. С. 140-145.

Метод измерения указанных величин основан на измерении электропроводности или удельного сопротивления полупроводников и постоянной Холла. Исследуемые образцы германия имеют форму прямоугольных пластинок шириною 4 мм, толщиной 2 мм и длиной около 20 мм. Зонды для измерения удельного сопротивления и э. д. с. Холла представляют собою заостренные проволоки.

**Изучение работы полупроводниковых выпрямителей.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 84. С. 432–447. 1968. Задача 99. С. 189-205.

Объектом изучения являются селеновые выпрямители. Дано их описание, изложена теория выпрямления переменного тока на границе металла с полупроводником. Экспериментально снимается вольтамперная характеристика селенового выпрямителя. По результатам измерений характеристика строится в линейных и полулогарифмических координатах:  $I = f(U)$ ,  $\lg I = f(U)$ . Также строится график зависимости сопротивления  $R$  выпрямителя в прямом и обратном направлениях от напряжения в координатах  $(\lg R, U)$ , где  $R=U/I$ . Измеряется коэффициент полезного действия селенового выпрямителя.

**Изучение работы полупроводниковых диодов и триодов.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1968. Задача 100. С. 206-213.

Снимается вольтамперная характеристика кристаллического диода в проводящем и непроводящем направлениях, после чего строится график зависимости тока  $I$  от напряжения  $V$ , по которому определяется внутреннее сопротивление диода. Снимается также характеристика диода с нагрузкой и изображается графически. Вольтамперная характеристика диода и его выпрямляющие свойства исследуются с помощью осциллографа. Для триода снимаются коллекторные и базовые характеристики.

**Температурная зависимость электропроводности полупроводников.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, А. И. Башев и др. Под ред. доц. О. И. Замша. Москва, 1965. Работа 17. С. 139-145.

**Опыты с термоэлектрическим тепловым насосом.** Mortlock A. J. Experiments with a thermoelectric heat pump. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 10, 813-815. [РЖФиз. 1966 5A87].

Описана лабораторная работа с полупроводниковыми термобатареями из теллурида висмута. В первой части работы определяют чувствительность термобатареи в режиме Пельтье, т. е. зависимость  $\Delta T$  от силы тока. Во второй части работы находят к. п. д. термобатареи, используемой как тепловой насос. Исследуют зависимость к. п. д. от силы тока через батарею. Находят максимальное значение к. п. д. и сравнивают его с теоретическим значением, вычисленным из цикла Карно. Определяют потери, связанные с необратимым процессом выделения джоулева тепла.

**Термоэлектрический эффект и его применения.** Tudose Cosma C. Efectul termoelectric si aplicatiile lui. "Rev. fiz. sichim.", 1965, В2, № 5, 161-169. [РЖ 1966 2A39].

Разобраны закономерности термоэлектрического эффекта. Дано качественное объяснение большей эффективности полупроводниковых термопар по сравнению с металлическими. Рассмотрена возможность увеличения тока и мощности в нагрузке путем увеличения числа питающих ее последовательно соединенных термопар. Описано применение термопар для измерения температур, интенсивности радиации и в термоэлектрических амперметрах. Материал статьи может быть использован в педагогической практике.

**Изучение полупроводниковых приборов в учебной лаборатории.** Елисеев Р. Е., Морозова И. Г. В сб. "Физ. электроника". Вып. 2. М., Атомиздат, 1965, 118-134. [РЖ 65 11A73].

Рассмотрен комплект лабораторных работ по полупроводниковым приборам: 1) точечные и плоскостные диоды; 2) опорный диод (стабилизатор); 3) туннельный диод; 4) характеристика транзистора; 5) параметры транзистора; 6) триод (полупроводниковый тиратрон). На выполнение каждой работы отводится 4 академических часа.

**Исследование студентами термоэлектрического охлаждающего элемента в физическом практикуме.** Zsoldos Lehel. Termoelektromos Hutoelemek vizsgalata a hallgatoi laboratoriumban. "Fiz. szemle", 1966, 16, № 3, 97-98 (венг.). [РЖ 66 1A51].

Описан простейший полупроводниковый термоэлектрический элемент, состоящий из двух рядов полупроводниковых пластин *n*- или *p*-типа. Пластины с одной стороны нагреваются от термостатированного медного бака. Отвод тепла осуществляется отдельно от каждого ряда пустотелыми, охлаждаемыми водой контактами. При помощи описанного термоэлемента исследуются различные тепловые явления и эффекты в полупроводниках.

**Эффект Холла. (Лабораторная работа).** Богма К. К., Скребнева М. И. "Изв. Высш. учебн. заведений. Физика", 1966, № 4, 159-160. [РЖ 66 1A54].

Предложена лабораторная установка для измерения эффекта Холла в тонких металлических пластинках. В качестве исследуемого материала выбрана медь. Установка собрана из простого стандартного оборудования. Электромагнитом служит разборный школьный трансформатор.

**Простой метод измерения больших сопротивлений.** Bruce C.W. Measurement of moderately high resistance – a simple method. “Amer. J. Phys.”, 1966, 34, № 9, Part 1, 819 (англ.). [РЖ 67 2A67].

Измеряемое сопротивление включается в  $RC$ -контур. В цепь включены также две металлические фольги  $F_1$  и  $F_2$ , геометрически расположенные одна под другой на определенном расстоянии. Фольга  $F_1$  блокирует конденсатор, фольга  $F_2$  включена последовательно с сопротивлением. Над фольгами висит на нити груз. При пережигании нити груз падает и вначале разрывает фольгу  $F_1$  (конденсатор начинает заряжаться), затем фольгу  $F_2$  (зарядка прекращается). Заряд конденсатора измеряют баллистическим гальванометром. По величине заряда и времени зарядки вычисляют величину сопротивления.

**К определению диэлектрической постоянной жидкостей, в частности воды.** Sudbeck Walter. Zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Flüssigkeiten, insbesondere von Wasser. “Prax. Naturwiss.”, 1966, A15, № 7, Physik, 169-172 (нем.). [РЖ 67 2A68].

Для определения диэлектрической постоянной  $\varepsilon$  предлагается использовать тонкий пластиковый мешок, который заполняют исследуемым веществом и помещают между пластинами воздушного конденсатора. Конденсатор включают в резонансный контур, собственную частоту которого измеряют с помощью ВЧ-частотомера (0,45–150 МГц). Если жидкость проводит электрический ток, то изменение частоты контура не зависит от расстояния между пластинами конденсатора, т. к. его емкость в этом случае определяется только толщиной пластикового мешка. Если же жидкость непроводящая, то изменение собственной частоты контура зависит только от расстояния между пластинами. Измеряя отношение частот при разных расстояниях, находим  $\varepsilon$ . Для дистиллированной воды в условиях школьного опыта получена величина  $\varepsilon=62$  (что довольно близко к табличному значению  $\varepsilon=81$ ). Хотя это значение, с учетом погрешности, близко к табличному ( $\varepsilon=81$ ), но в случае недистиллированной воды и следует ожидать меньшего значения  $\varepsilon$  вследствие обрыва цепочек молекул воды атомами примесей.

**Определение диэлектрической постоянной дистиллированной воды с помощью электромагнитных волн.** Hormann Winfried. Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Leitungswasser mittels elektromagnetischer Wellen. “Prax. Naturwiss.”, 1967, A 16, № 3, Physik, 75-76 (нем.). [РЖ 67 11A104].

В стеклянный сосуд размером  $36 \times 23 \times 26$  см наливают недистиллированную воду. Снаружи к стенке сосуда прикрепляют генератор СВЧ-колебаний с  $\nu=433,9$  МГц ( $\lambda_{\text{воздух}}=70$  см) и направляют луч в сосуд. В качестве детектора используют погруженный в воду точечный германиевый диод, который с подводщими усиками образует диполь длиной  $3,8$  см (это соответствует примерно длине полуволны в воде). Расчет показывает, что в воду проникает волна с амплитудой  $\approx 24\%$  от начальной. В сосуде вследствие многократных отражений от стенок (коэффициент отражения  $\approx 90\%$ ) образуется четко выраженная стоячая волна. Передвигая детектор вдоль луча, фиксируют максимумы и минимумы и определяют  $\lambda_{\text{вода}}=8,0$  см. Из соотношения  $\lambda_{\text{вода}} = \lambda_{\text{воздух}} / \sqrt{\varepsilon}$  находят  $\varepsilon=73,5$  с погрешностью  $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 13\%$

**Изучение зависимости диэлектрической проницаемости титаната бария от температуры и напряженности поля.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероной. М., 1968. Задача 98. С. 182–189.

Измерение температурного хода диэлектрической проницаемости титаната бария сводится к измерению температурного хода емкости образца, представляющего собой небольшой диск из этого материала с посеребренными плоскостями. Этот образец закрепляется в контактной рамке и помещается в печь. Емкость такого конденсатора измеряется в интервале температур от 20 до 180°С с помощью моста переменного тока. По результатам измерений вычисляется тангенс угла диэлектрических потерь в образце в функции напряженности поля в образце и строится соответствующий график. По петле гистерезиса находят полную поляризацию, поляризацию смещения и спонтанную поляризацию

**Установка для лабораторного изучения полупроводниковых приборов и использование ее для других опытов.** Смилев Г. Уред за лабораторно изучавано на полупроводници и използването му за други упражнения. “Матем. и физика” (Бълг.), 1968, 11, № 1, 22024.

Установка состоит из подставки, на которой монтируют электромагнитное реле, гнезда для полупроводникового диода, триода, термосопротивления, фотосопротивления и клеммы для соединительных проводов. При помощи описанной установки можно показать зависимость электропроводности термосопротивления от температуры, зависимость фототока от освещенности, одностороннюю проводимость полупроводникового диода, усилительные свойства полупроводникового триода. Установка может быть также использована для демонстрации термо-э. д. с., изучения э. д. с. индукции, проверки закона Ома для разветвленных цепей, определения удельного сопротивления и др. Приведены электрические схемы.

**Явление Холла в полупроводниках.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. Под ред. О. И. Замша. МИФИ. М., 1969. Работа 15. С. 136-141.

**Температурная зависимость электропроводности полупроводников.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. Под ред. О. И. Замша. МИФИ. М., 1969. Работа 17. С. 150-157.

**Схема установки для наблюдения ЭДС Холла на экране осциллографа.** Кузнецов А. А., Федонина О. И. В сб. “Исслед. по физ. Вопр. Методики демонстрац. эксперимента”. Вып. 2. Саратов, 1971, 21-24. [РЖ 73 1А68].

Описана схема установки для наблюдения э. д. с. Холла на экране электронного осциллографа при использовании переменного тока. Схема содержит следующие элементы: датчик Холла, электромагнит, выпрямитель с регулируемым выходным напряжением 0–120 В, компенсационную схему на лампе 6Н1П, выпрямитель на 250 В, звуковой генератор, электронный осциллограф.

**Установка для исследования электрических свойств сегнетоэлектриков.** Андрушко А. И., Сайфуллин Л. И., Усачев Е. П. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1972, № 10, 152-153. [РЖ 73 3А106].

Лабораторная установка позволяет исследовать зависимость относительной диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля и температуры, наблюдать петлю гистерезиса, определять температуру Кюри по вырождению петли гистерезиса. Установка компактна, собрана из легкодоступных деталей и предназначена для физических практикумов вузов.

**Определение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть III. Под ред. к.ф.-м.н. доц. А. А. Лучиной. М. 1973. Работа № 170. С. 158.

**Непосредственное наблюдение характеристик полупроводниковых диодов.** Rudden Michael N. Direct observation of semiconductor diode characteristics. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 1, 122-123 (англ.). [РЖ 73 6A99].

Описан лабораторный эксперимент, объединяющий непосредственное визуальное наблюдение характеристик диода на экране осциллографа и простое определение фундаментального свойства полупроводника – положение уровня Ферми. Экспериментальная установка содержит переключатель, позволяющий наблюдать на экране осциллографа одну за другой характеристики различных диодов. Контроль чувствительности горизонтального и вертикального входов осциллографа обеспечивает непосредственный отсчет сопротивлений, соответствующих прямой и обратной ветви характеристики, и величину пробивного напряжения. По характеристике диода, при различных температурах ( $T$ ) строится график зависимости логарифма обратного тока насыщения от величины  $1/T$ . Этот график представляет прямую, наклон которой, в соответствии с теорией, дает значения энергии уровня Ферми.

**Лабораторная работа “Диэлектрические потери в твердых диэлектриках”.** Губкин А. Н., Романовская Н. Н. В сб. “Физика”. Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 52-58. [РЖ 74 2A81].

При изучении в курсе общей физики диэлектриков предлагается проводить лабораторную работу, целью которой является изучение особенностей поляризации диэлектриков в переменном электрическом поле (исследование температурно-частотных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь у диэлектрика, обладающего релаксационной поляризацией.) Приведены теоретические сведения о поведении диэлектриков в переменном поле, формальная теория диэлектрических потерь и физический механизм их возникновения. Описана установка для проведения лабораторной работы.

**Определение ширины запрещенной зоны германия по обратному току в плоскостных диодах.** Санина Т. А. В сб. “Физика”, Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 50-52. [РЖ 74 2A82].

Описан простой метод определения ширины запрещенной зоны германия с помощью мощных плоскостных германиевых диодов (Д7Ж); приведена формула для силы обратного тока насыщения.

**Запись характеристик  $I_K-U_{KЭ}$  транзистора на осциллографе.** Schmidt Klaus. Darstellung des  $I_C-U_{CE}$ -Kennlinienfelds eines Transistors auf dem Oszillographen. “Prax. Naturwiss.”, 1973, Teil 1, 22, № 96 235-237 (нем.). [РЖ 74 2A86].

Пониженное с помощью трансформатора напряжение сети подается на последовательное соединение полупроводникового диода, сопротивления и участка коллектор-эмиттер транзистора. Ток базы нарастает скачкообразно (за один период сетевого напряжения – один скачок); после нескольких скачков тока его значение возвращается к исходному. Напряжение с участка коллектор-эмиттер подается на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа; напряжение с сопротивления подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа; внутренняя развертка осциллографа отключена. В результате на экране осциллографа вычерчивается семейство характеристик  $I_K=f(U_{кэ})$  для фиксированных значений тока базы. Приводится подробное описание схемы.

**Простой способ косвенного определения постоянной Больцмана.** Szabo Jozsef, Sztaricskai Tibor. Egyszeru moddszer a Boltzmann-allando kozvetett meghatarozasara. “Fiz. szemle”, 1976, 26, № 4, 152-153 (венг.). [РЖ 77 5А98].

Описан метод определения постоянной Больцмана, основанный на нелинейной зависимости тока коллектора транзистора от напряжения на эмиттере. Определялось отношение элементарного заряда к постоянной Больцмана при различной температуре, для чего транзистор помещался в миниатюрный термостат, обеспечивающий стабилизацию температуры в интервале от +25 до +75<sup>0</sup> С. Проводится сравнение измеренного значения постоянной Больцмана с литературными данными.

**Основные физические характеристики п-р перехода в полупроводниковых диодах.** Физический практикум с применением ЭВМ. Выпуск 2. О. Б. Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. 1977. Работа № 9. С. 94-100.

Некоторые фундаментальные параметры полупроводников. Аппроксимация эмпирической зависимости и расчет коэффициентов, аппроксимирующих полиномов по методу наименьших квадратов. Обратная интерполяция и табулирование эмпирической зависимости.

**Измерение диэлектрических постоянных и потерь в конденсаторах с помощью резонансных цепей.** Jupin W. R. Measurement of dielectric constants and capacitor dissipation using resonant circuits. “Amer. J. Phys.”, 1977, 45, № 7, 663-666 (англ.). [РЖ 77 12А111].

Описан учебный эксперимент лабораторного курса по электричеству и магнетизму “Теория диэлектриков” среднего и повышенного уровня. В эксперименте измеряются емкость и проводимость, а диэлектрические постоянные и потери в конденсаторах находятся из измерений резонансной частоты и полосы пропускания последовательного *RLC*-контура. Представлены теория метода, описание экспериментальной установки, приведены таблицы полученных результатов, дан анализ точности измерений.

**Измерение постоянной Больцмана.** Mereni Boltzmannovy konstanty. Fiala Frantisek. “Sb. Ped. Fak. Usti nad Labem R. fyz. A techn. vychovy”, 1978, 59-73 (чеш.; рез. англ., рус.). [РЖ 80 4А104].

Описан учебный опыт по измерению постоянной Больцмана новым способом. Отношение заряда электрона к постоянной Больцмана можно определить

путем измерения тока коллектора кремниевого транзистора при коротком замыкании его цепи в зависимости от напряжения эмиттера, работающего с заземленной базой.

**О постановке лабораторной работы “Исследование эффекта Холла в полупроводниках”.** Бринкевич Д. И., Курганский В. К., Сасим А. С., Уренев В. И. Редкол. Ж. “Вестн. Белорус. Ун-т. Мат., физ., мех.” Минск, 1979, 11 с., ил., библиогр. 5 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 21 сент. 1979 г., № 3369-79 Деп.). [РЖ 80 1А 89].

Описана конструкция установки для измерения эффекта Холла при различных температурах. Использована малогабаритная система криостат-магнит, позволяющая снизить мощность, потребляемую электромагнитом, до 2–3 Вт, проводить измерения эффекта Холла в области температур 100–500<sup>0</sup> К. Измерители э. д. с. и тока через исследуемый образец выполнены на интегральных схемах. Небольшой размер установки позволил добиться наглядности в конструкции узлов, имеющих принципиальное значение, простоты управления и низких питающих напряжений.

**Изучение работы и применения полупроводникового стабилитрона.** Королева Л. В. “Сб. науч.-метод. статей по физ.” (Москва), 1979, № 7, 52-57. [РЖ 807А98].

Описана лабораторная работа, в которой изучается принцип действия полупроводникового стабилитрона и его применение в качестве стабилизатора напряжения и формирователя импульсов.

**Простое измерение ширины запрещенной зоны в кремнии и германии.** Simple measurement of the band gap in silicon and germanium. Collings Peter J. “Amer. J. Phys.”, 1980, 48, № 3, 197-199 (англ.). [РЖ 80 11А108].

Описан учебный эксперимент, позволяющий определить ширину запрещенной зоны в энергетическом спектре *Si* и *Ge*. Используются данные температурной зависимости вольт-амперной характеристики *p-n*-перехода. Отмечается высокая точность метода, обсуждаются его возможные приложения.

**Постановка лабораторной работы учебного практикума на тему: “Изучение прыжкового механизма электропроводности”.** Доброго В. П., Ермолаев О. П. Редкол. Ж. “Вестн. Белорус. ун-та. Сер. Физ., мат., мех.” Минск, 1980. 6 с., библиогр. 5 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ № 27 нояб. 1980 г., № 4969–80 Деп.). [РЖ 81 3А120].

Описана разработанная авторами лабораторная работа для студентов, специализирующихся по курсу “Физика полупроводников и диэлектриков”. Целью лабораторной работы является ознакомление с особенностями электропроводности полупроводников в области прыжковой проводимости. В качестве объекта изучения выбран Si, который обладает хорошо выраженной прыжковой проводимостью при температуре ниже 20<sup>0</sup> С. Для упрощения установки в данной работе вместо специального исследовательского криостата использован транспортный гелиевый сосуд Дьюара типа СТГ. Располагая образец на различной глубине в СТГ, а также регулируя мощность, подводимую к нагревателю образ-



ца, можно регулировать температуру в интервале  $80-4,2^0$  К. Выполнение работы дает возможность ознакомиться с техникой низкотемпературного эксперимента.

**Влияние магнитного поля на проводимость полупроводников.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.12. С. 342.

Исследование магнетосопротивления и геометрического резистивного эффекта проводится с помощью низкоомного потенциометра Р-306. Образец имеет форму диска, что позволило поставить его в режим “диска Корбино” – электрическое поле прикладывается между его центром и периферией, а магнитное поле направлено поперек диска.

**Лабораторная работа по проверке соотношения  $F=kI$ .** Travaux pratiques en classe de seconde:  $F=kI$  à l'aide d'un haut-parleur. Mancini M. *Bull. Union phys.* 1996. 90, № 781. 361-364. Фр. [РЖ 97 2А81].

Предложена методика по проверке соотношения Лоренца с использованием громкоговорителя и визуальных оптических методов с лучом лазера. Подробно описана оптическая схема и ход проведения работы.

**Простой метод измерений ширины запрещенной зоны и диффузионного потенциала в  $p-n$ -переходах.** Elementary technique to measure the energy band gap and diffusion potential of  $pn$  Junctions. Fischer Charles W. “*Amer. J. Phys.*”, 1982, 50, 3 12, 1103-1105 (англ.). [РЖ 83 6А89].

Предложена лабораторная работа для студентов, в которой изучаются свойства полупроводниковых  $p-n$ -переходов. Работа включает три эксперимента: измерение вольт-амперной характеристики диода, измерение температурной зависимости прямого напряжения на диоде и измерение вольт-фарадной характеристики перехода. Из анализа указанных зависимостей определяются ширина запрещенной зоны полупроводника, диффузионный потенциал, коэффициент идеальности и степень резкости перехода. В качестве образцов применяются промышленные диоды из германия, кремния, а также GaP и GaAs<sub>0,6</sub>P<sub>0,4</sub>.

**Лабораторная работа “Изучение температурной зависимости электропроводности полупроводников”.** Денисов П. П., Красников В. В., Тимошкин Е. И. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1982, № 9, 45-48. [РЖ 83 8А120].

Предлагается лабораторная работа по изучению температурной зависимости электропроводности полупроводников, в которой для измерения удельной электропроводности используется четырехзондовый потенциометрический метод.

**Определение ширины запрещенной зоны полупроводника.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.3. С. 627.

Работа состоит в измерении проводимости  $\sigma$  полупроводников компенсационным методом и с помощью моста переменного тока. В первом случае измеряемыми величинами являются сила тока  $I$  через образец, длина  $l$ , поперечное сечение образца  $S$  и падение напряжения на исследуемой части образца  $U_x$ . При этом  $\sigma = I \cdot l / U_x S$ . Во втором случае измеряются величины сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , соответствующих балансу моста. При этом  $\sigma = lR_1 / SR_2R_3$ . По результатам измерений строятся графики  $\sigma(T)$  и  $\ln \sigma = f(1/T)$ . По наклону прямо-

линейной части последнего графика определяется ширина запрещенной зоны исследуемого полупроводника.

**Исследование собственной и примесной фотопроводимости в полупроводниках.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.4. С. 638.

В состав экспериментальной установки входят; источник света – ртутная лампа, монохроматор УМ-2, усилитель У1-2. Снимается зависимость фототока от длины волны возбуждающего света, строится кривая спектральной зависимости фототока для исследуемого образца, по которой определяется энергия ионизации примесного уровня и ширина запрещенной зоны.

**Измерение контактной разности потенциалов в полупроводниках.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.5. С. 644.

С помощью мостиковой схемы измеряется сопротивление диода в диапазоне температур от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и строится график зависимости  $\ln R = f(T^{-1})$ . По наклону полученной прямой находится значение контактной разности потенциалов  $p$ - $n$  перехода исследуемого диода

**Определение времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводниках.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.6. С. 655.

Концентрацию носителей электрического тока (электронов и дырок) можно изменять, воздействуя на полупроводник светом, частота которого достаточна для того, чтобы переводить электроны из валентной зоны в зону проводимости. Источником света в экспериментальной установке служит ленточная лампа накаливания СИ8-200У. Свет от лампы через узкую щель попадает на призму, которая может вращаться, что приводит к тому, что полоска света движется вдоль образца с определенной скоростью. Образцом служит тонкая ( $\approx 0,5$  мм) и длинная ( $\approx 50$  мм) пластинка монокристалла германия. На экране осциллографа наблюдается сигнал, пропорциональный концентрации неосновных носителей заряда в полупроводнике. Определяется время жизни неравновесных носителей, их подвижность, а также их диффузионная длина.

**Простой способ измерения ширины запрещенной зоны полупроводников.** Quick and easy measurement of the band gap in semiconductors. Canivez Y. "Eur. J. Phys.", 1983, 4, № 1, 42-44 (англ.). [РЖ 84 1A112].

Описана методика проведения лабораторной работы по определению ширины запрещенной зоны полупроводников  $E_g$ . В основе метода лежит зависимость обратного тока насыщения  $p$ - $n$ -перехода от температуры  $T$  и  $E_g$ . Показано, что при достаточно больших напряжениях в прямом направлении ( $V(qV) > 3kT$ ;  $q$  – заряд электрона,  $k$  – постоянная Больцмана) и в пренебрежении изменением  $\ln T$  в диапазоне температур  $T=200 \div 400$  К напряжение на  $p$ - $n$ -переходе  $V$  прямо пропорционально  $\ln T$  и  $T$  ( $I$  – полный ток через  $p$ - $n$ -переход). Если измерения зависимости  $V(T)$  проводить при постоянном токе  $I$ , то экстраполяция этой зависимости к значению  $T=0$  даст искомое значение  $E_g$ . Приведена схема регулируемого источника постоянного тока в диапазоне значений 1–5 мА. Даны результаты измерений  $E_g$  для Ge, Si, GaAs с применением  $p$ - $n$ -переходов транзисторов (Ge,

Si) и светодиода (GaAs). Измерения проводились при 5 фиксированных температурах с использованием термостатирующих смесей. Указан способ уточнения полученных значений  $E_g$  на основе справочных данных о зависимости подвижности от температуры.

**Определение концентрации и типа носителей тока с помощью эффекта Холла.** Определяне концентрацията и типа на токовите носители чрез ефекта на Холл. Кръстев Кръстю. “Физика”, 1985, 10, № 4, 31-34 (болг.). [РЖ 6А108].

По пластинке из проводящего вещества, помещенного в межполюсное пространство школьного электромагнита, пропускают электрический ток. Исследуется зависимость обусловленного эффектом Холла напряжения между торцевыми гранями пластинки от силы тока. Получаемые экспериментальные данные позволяют определить концентрацию и тип носителей тока вещества пластинки.

**Опыты на тему об электропроводности полупроводников.** Experimente zum elektrischen Leitungsverhalten von Halbleitern. Ganz P., Schwarz G. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1986, 35, № 8, 38-41 (нем.). [РЖ 87 5А113].

Рассмотрены физические основы свойств полупроводников, приведены методические приемы изложения материала. Описаны демонстрационные эксперименты по изучению температурной зависимости свойств примесного Ge. Приведены схемы и описания экспериментальных установок, описан порядок проведения экспериментов по определению температурной зависимости электрического сопротивления и напряжения Холла в Ge различного типа проводимости, а также зависимость силы тока от температуры в беспримесном Ge. На основе полученных результатов делаются выводы о характере подвижности носителей в полупроводнике и о скорости передачи сигнала в полупроводниковых электронных элементах.

**Сегнетоэлектрики.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Венкина В. С. Лаб. работа 6. С. 43-49.

Изучается зависимость диэлектрической проницаемости титаната бария от напряженности поля и от температуры. Образец представляет собой небольшой диск с посеребренными поверхностями – сегнетоконденсатор. Измерения емкости такого конденсатора проводится на переменном токе. На экране осциллографа наблюдается петля гистерезиса зависимости заряда на конденсаторе от напряжения, на нем действующего. Из этой кривой рассчитывается величина диэлектрической проницаемости в функции напряжения. Вычисляется поляризация титаната бария. Температурные измерения выполняются в диапазоне от комнатной до  $180^{\circ}\text{C}$ , при этом фиксируется температура фазового перехода при  $120^{\circ}\text{C}$ .

**Полупроводниковый диод.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 10. С. 69-72.

В данной лабораторной работе снимается вольт-амперная характеристика диода, изучается применение диодов в различных схемах выпрямления переменного тока.

**Тиристор.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Тихонов Ю. В. Лаб. работа 11. С. 72-79.

Тиристор относится к классу переключающих устройств. Он обладает способностью открываться при подаче на него управляющего сигнала, пропуская электрический ток, и закрываться, прекращая пропускать ток. В ходе выполнения работы на экране осциллографа наблюдается вольт-амперная характеристика тиристора, снимаются его пусковая и вольт-амперная характеристики.

**Транзистор.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Тихонов Ю. В. Лаб. работа 12. С. 80-87.

В данной лабораторной работе снимаются входные и выходные характеристики транзистора, вычисляются коэффициент усиления транзистора по току, величины входного и выходного сопротивлений транзистора, наблюдается эффект усиления переменного сигнала с помощью транзистора.

**Измерение скорости дрейфа дырок в полупроводнике.** Gawlik Bronislaw. "Fiz. Szk.", 1987, 33, № 1, 13-19 (пол.). [РЖ 87 9A93].

Опыт Поля является разновидностью более известных интерференционных опытов, в которых формирование второго когерентного источника достигается путем разделения излучения от первого источника на два канала. В опыте Поля излучение от ртутной лампы направляется на очень тонкую плоскопараллельную стеклянную пластинку. В результате отражения от поверхностей пластинки возникает два когерентных луча, испускаемых парой мнимых источников, являющихся изображениями лампы. Показано, что применение лазера в качестве источника света позволяет увеличить толщину пластинки, однако не снижает высоких требований к ее плоскопараллельности. Даются практические советы по постановке лекционной демонстрации.

**Дисперсия диэлектрической проницаемости льда – работа практикума.** Перскальскис Б. Ш., Островский В. А., Михайличенко А. П. "Изв. вузов. Физ.", 1987, 30, № 5, 106-107. [РЖ 87 10A103].

Для осуществления лабораторной работы изготовлены три одинаковых конденсатора из дюралевых пластин размером  $180 \times 180 \text{ мм}^2$  с одинаковым зазором 3 мм. Они соединены изолирующими стержнями и расположены на расстоянии 15 мм друг от друга. Верхний конденсатор полый, во втором имеется диэлектрик из тефлона (можно использовать и полиэтилен с  $\epsilon=2,26$ ), нижний помещают в кювету с дистиллированной водой и замораживают. Обозначив емкость полого конденсатора  $C$ , а паразитную емкость между проводами и землей (корпусом) и между соединительными проводами  $C_0$ , получим уравнения  $C_1=C+C_0$ ,  $C_2=\epsilon_T \cdot C+C_0$ ,  $C_3=\epsilon_L \cdot C+C_0$ , где  $\epsilon_T=2,1$  – диэлектрическая проницаемость тефлона, не меняющаяся при частотах от  $10^2$  до  $10^{10}$  Гц;  $\epsilon_L$  – диэлектрическая проницаемость льда. Из уравнений получаем  $\epsilon_L=\epsilon_T+K(\epsilon_T-1)$ , где  $K=(C_3-C_2)/(C_2-C_1)$ . Для определения  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  собрана мостовая схема.

**Простой и поучительный вариант эксперимента Хайнса-Шоккли.** A simple and instructive version of the Haynes-Shockley experiment. Sconza A., Torzo G. "Eur. J. Phys.", 1987, № 1, 34-40 (англ.). [РЖ 87 10A106].

Описывается лабораторная работа для студентов, посвященная измерению подвижности электронов и дырок в полупроводниках с помощью методики Хайнса-Шоккли. Отмечается, что для проведения лабораторной работы требует-

ся только полупроводниковый кристалл, набор электронных компонент и осциллограф. Описываются методика приготовления омических и выпрямляющих контактов к Ge-образцу, схемы импульсного генератора, таймера и дифференциального усилителя. Указываются варианты проведения лабораторной работы для студентов различного уровня подготовленности.

**Экспериментальная установка для измерения диэлектрической проницаемости при высоких плотностях.** Бекетов А. П., Голубев Б. П., Смирнов С. Н. ; Ред. ж. Теплофиз. высоких температур. М., 1988, 8 с.: ил. Библиогр. 6 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 14.11.88., № 8064–В88. [РЖ 89 2А162].

Описана экспериментальная установка по измерению диэлектрической проницаемости неполярных газов и жидкостей в диапазоне 77÷600 К до 60 МПа. Приведены результаты исследования диэлектрической проницаемости двуокиси углерода.

**Определение контактной разности потенциалов между полупроводниками с различным типом проводимости.** Харланов Н. А. Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.” Томск, 1988, 9 с., ил. Библиогр. 2 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 29.12.88, № 9193–В88. [РЖ 89 4А106 ДЕП.].

Представлена разработка и конструкция установки к лабораторной работе по курсу общей физики высшей школы, посвященной определению контактной разности потенциалов между двумя полупроводниками с различным типом проводимости. Дано краткое теоретическое введение, посвященное существу вопроса, приведены характеристики используемых приборов и материалов, описаны методики проведения экспериментов и обработки результатов эксперимента.

**Лабораторный эксперимент по измерению ширины запрещенной зоны полупроводников в курсе общей физики.** An undergraduate laboratory experiment for measuring the energy gap in semiconductors. Sconza A., Torzo G. “Eur. J. Phys.” 1989. 10, № 2. С. 123-126. (англ.;рез. ит.). [РЖ 89 11А114].

Описывается простая установка, позволяющая определить зависимость электрической проводимости образца от температуры. Благодаря экспоненциальному характеру этой зависимости, где ширина запрещенной зоны входит в показатель экспоненты, график  $\ln R = f(1/T)$  ( $R$  – сопротивление образца,  $T$  – его температура) имеет вид прямой, причем тангенс угла наклона прямой позволяет непосредственно определить ширину зоны. Установка использует термостат, выполненный в виде сосуда Дьюара, в котором образец (германий или кремний) медленно нагревается при помощи специального электронного устройства. Измерение температуры осуществляется при помощи термопары. Приводятся результаты эксперимента и характерные значения для ширины запрещенной зоны.

**Анализ термических свойств полупроводниковых сопротивлений способом измерения ширины запрещенной зоны (при обучении физике).** Felvezetoellenallasok termikus tulajdonsagainak elemzése, a tiltott sávzelesseg merese. Ronyecz Jozsef. Fiz. szem.” 1989. 39, № 7. С. 274-277. (венгр.). [РЖ 90 4А169].

Для изучения температурной зависимости сопротивления полупроводника используется германиевая пластинка. Нагрев осуществляется мощным дарлингтоновским транзистором. Температура снимается термодатчиком на 2 мА с номи-

нальным сопротивлением 1 кОм с точностью 1% и номинальной чувствительностью 0,75%/К. В измеряемом интервале 20–100<sup>0</sup> С тепловая характеристика квазилинейная. Термодатчик через преобразователь соединяется с цифровым вольтметром. Другой цифровой прибор дает мгновенное значение сопротивления. На основе измерений строится график зависимости  $\ln 1/R$  от  $1/T$ , наклон которой позволяет определить ширину запрещенной зоны, которая равна 0,69 эВ.

**Лабораторный эксперимент по изучению статических характеристик приборов на  $p-n$ -переходе.** A laboratory experiment for the characterization of  $p-n$  devices. Martil I., Diaz G. G. "Eur. J. Phys." **1991**. 12, № 3. С. 149-152. (англ.). [РЖ 91 11A108].

Описан простой эксперимент по измерению характеристик  $I(U)$  в широком диапазоне  $I=10^{-12}-1$  А для трех серийных полупроводниковых диодов. Цель эксперимента состоит в идентификации различных механизмов проводимости через  $p-n$ -переход (рекомбинация в зоне объемного заряда, диффузия носителей и интенсивная инжекция). Результаты измерений представляются в виде графика  $\lg I(U)$ , на котором выделяются участки разного наклона. Предусмотрено также изучение роли омического сопротивления и инжекции в ограничении тока через прибор.

**Исследование зависимости сопротивления полупроводников и металлов от температуры с применением термоэлектрических микрохолодильников (в физическом практикуме в 10 и 11 классах.** Регель А. А. "Соврем. тенденции обуч. физ. в сред. шк." Рос. гос. пед. ун-т. Л., **1991**. С. 61-68. [РЖ 92 1A178].

Предложена работа, позволяющая изучить экспериментально самим ученикам нелинейную зависимость сопротивления полупроводников от температуры с использованием термоэлектрического микрохолодильника, который все шире применяется в технике и народном хозяйстве.

**Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации проводимости.** В. В. Ларионов, М. С. Иванкина, Л. Т. Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. **1993**. Работа 2-09. С 43-47.

**Лабораторная работа в общефизическом практикуме МФТИ "Туннелирование в полупроводниках".** Ф. Ф. Игошин, И. Г. Почернин. ФОВ. **1999**. Т. 5, №. 3, с. 125-137.

**Динамическая выходная характеристика биполярного транзистора на экране осциллографа.** Иноземцев В. А., Иноземцева С. В., Степанищева М. Н. *Преподавание физики в высш. шк.* **1995**. № 3. 83-85, 119. Рус. [РЖ 97 8A95].

Рассматривается принцип работы устройства для наблюдения на экране осциллографа семейства статических и динамических выходных характеристик биполярного транзистора.

**Изучение диэлектрической проницаемости электронного газа.** Ивлиев С. В. препод. ф-ки в высш. шк. **1995**. № 2. С. 61-66.

**Новая лабораторная работа физического практикума: “Изучение ионной проводимости и диффузии в суперионных проводниках”.** М. Х. Балапанов, Г. Р. Акманова, А. К. Галиев. *ФОВ*. 1999. Т. 5, № 2, 92-93.

**Простая установка для изучения полупроводникового диода.** Антипенко В. С., Козлов В. И., Терешина И. С. *ФССО-1999*. С. Пб-г, Тез. Докл. Т. 3. С. 8-9.

**Изучение в физпрактикуме зависимости сопротивления полупроводника и металла в большом диапазоне температур.** Фетимов И. Н. *Учеб. эксперим. в высш. шк.* 1999. № 1. 56-59. [00.03-18А.149].

Приводится описание оригинальной малоинерционной установки для изучения температурной зависимости сопротивления терморезистора и вольфрама в интервале температур 300–750 К, методики измерений для миниатюрных образцов и результаты лабораторной работы.

**К определению контактной разности потенциалов р-п-перехода.** Антипенко В. С., Козлов В. И., Терешина И. С. *Физ. образ. в вузах*. 1999. 5. № 2. 90-91. [00.05-18А.161].

Предлагается лабораторная работа, в которой температурные измерения обратного тока при малом обратном напряжении, необходимые для определения контактной разности потенциалов р-п-перехода, выполняются с помощью специально сконструированного простого устройства.

**Новая лабораторная работа физического практикума: “Изучение ионной проводимости и диффузии в суперионных проводниках”.** Балапанов М. Х., Акманова Г. Р., Галиев А. К. *Физ. образ. в вузах*. 1999. 5. № 2. 94-102. [00.05-18А.162].

Предлагается лабораторная работа для физического практикума, где исследуется температурная зависимость ионной проводимости высокотемпературной фазы соединения  $\text{Cu}_2\text{Se}$  в области температур 320–400<sup>0</sup>С, определяется энергия активации ионной проводимости, рассчитываются коэффициенты самодиффузии меди.

**Лабораторная работа в общефизическом практикуме МФТИ “Туннелирование в полупроводниках”.** Игошин Ф. Ф., Почернин И. Г. *Физ. образ. в вузах*. 1999. 5. № 3. 125-137, 192. [00.06-18А168].

Исследуется принцип действия туннельного диода, измеряются его вольтамперная характеристика и основные параметры, изучается принцип работы генератора гармонических колебаний на основе туннельного диода.

**Метод определения термического сопротивления контакта двух тел.** Ю. П. Мордвинов, А. Д. Лобанов. *ФОВ*. 2001. Т. 7, № 4, 82-86.

**Экспериментальное изучение туннельного эффекта и физических основ его применения.** Булатов М. Ф., Карпасюк В. К. *ФССО-01*. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 152.

**Электронно-дырочный переход в полупроводниках: учебный физический эксперимент.** Быков А. В., Козлов В. И., Червяков А. В. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 153-154.

**Исследование инерционности полупроводниковых термоэлементов.** Фискинд Е. Э., Корнисик К. И. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 213-214.

**Исследование фазового перехода белое олово–серое олово (С, М).** Щуров А. Ф., Перевошиков В. А. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 456-461. [02.12-18А.197].

Начало изучения фазового перехода белое олово–серое олово было положено в 1870 г. работами петербургского ученого Ю. Фрицше. Было установлено, что это есть процесс полиморфного превращения белого олова в серое со структурой типа алмаза. Целью работы является исследование фазового перехода в твердом состоянии при низких температурах из металлической тетрагональной  $\beta$ -модификации белого олова в полупроводниковую кубическую  $\alpha$ -модификацию серого олова, изучение факторов, влияющих на скорость и степень фазового превращения.

**Исследование фазового перехода металл–диэлектрик в диоксиде ванадия (С, М).** Щуров А. Ф., Грачева Т. А., Малыгин Н. Д. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 462-472. [02.12-18А.198].

Ряд материалов совершает переход из слабопроводящего полупроводникового состояния в состояние с металлическим типом проводимости лишь под воздействием температуры, не изменяя при этом своего агрегатного состояния. Целью работы является изучение кристаллической структуры тонких слоев диоксида ванадия, а также исследование влияния температуры на структурный фазовый переход металл– полупроводник в тонких пленках, получаемых методом терморазложения металлорганических соединений.

**Исследование полиморфных превращений в кристаллах стабилизированного диоксида циркония (М).** Щуров А. Ф., Малыгин Н. Д., Перевошиков В. А. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 473-812. [02.12-18А.199].

Новым явлением при исследовании механических свойств оксидных керамик оказалось открытие сверхпластичности в диоксиде циркония. Твердые образцы керамики при растяжении показывают удлинение на 200%. Такое удлинение получено на тетрагональной модификации  $ZrO_2$ , стабилизированной до комнатной температуры путем введения оксида иттрия. Высокие механические свойства и, в первую очередь, значительная трещиностойкость керамики на основе диоксида циркония связаны с полиморфным превращением тетрагональной фазы в моноклинную (переход Т→М) под воздействием механических напряжений. Целью работы является изучение полиморфного превращения диоксида циркония в поле механических напряжений на керамических образцах, полученных методом высокочастотного плавления.



**Измерение времени жизни свободных носителей в полупроводниках.** Во-еводин Е. И., Гуревич Ю. Л., ко В. И. *Математические модели физических процессов и их свойства: Сборник научных трудов, представленных на 7 Международную научную конференцию, Таганрог, 28-30 июня, 2001.* Таганрог. **2001.** 123-125. [03.04-18А.168].

Время жизни свободных носителей определяет быстродействие всех полупроводниковых приборов и является одной из основных характеристик, которая, как правило, определяется экспериментальным путем. Известно несколько способов измерения времени жизни стационарными методами, которые широко используются в учебных лабораториях. Предлагается лабораторная работа, поставленная одним из нестационарных методов, в котором время жизни свободных носителей определяется из частотной характеристики фоторезистора, измеренной с использованием синусоидальной модуляции света  $I=I_0(1-\cos\omega t)$ .

**Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы в полупроводниках (Б).** Шилова М. В., Курильчик Е. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., **2001.** 204-219. [02.12-18А.181].

В работе рассматриваются понятие электропроводности и термоэлектрические явления. Исследуются температурная зависимость электропроводности и термоЭДС. Из этих зависимостей определяются ширины запрещенной зоны и отношения подвижностей исследуемого материала.

**Определение параметров неосновных носителей заряда в полупроводниках (Б, С).** Шилова М. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., **2001.** 236-249. [02.12-18А.183].

В проводниках всякое нарушение нейтральности, т. е. появление нескомпенсированных объемных зарядов и электрических полей, приводит к появлению токов, направленных так, чтобы восстановить нейтральность. В работе экспериментально определяются подвижность, время жизни и длина диффузии неосновных носителей заряда в германии.

Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 7. **1998.** С. 67-70

**Электретный микрофон в учебном эксперименте по акустике.** Акатов Р. В. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 11. **2001.** С. 34-36.

**Лабораторная работа “Определение степени компенсации носителей заряда в полупроводниках”.** Зюзин С. Е.. Преп. физики в высш. шк. № 20. Москва. **2002.** С.56-57

**Лабораторный практикум по радиоэлектронике как средство совершенствования профессиональной подготовки радиомехаников.** Винокуров Е. Б. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2002.** № 15. 40-45, 91. [02.11-18А. 147].

В современных социально-экономических условиях, сложившихся в последнее десятилетие, важными качествами работника, обеспечивающими его конкурентоспособность и социальную защищенность, становятся: профессиональная мобильность, компетентность и общее развитие, которые создают необхо-

димые предпосылки для возможной переквалификации и адаптации к изменяющимся условиям на рынке труда. Рассмотрены психолого-педагогические основы организации практикума и проанализированы дидактические функции лабораторных работ по радиоэлектронике. Описана работа по исследованию туннельного диода.

**Измерение коэффициента Пельтье термопары железо-константан.** Камынин А. А. *Наука XXI века: проблемы и перспективы : Материалы 24 преподавательской 42 студенческой научно-практической конференции, Оренбург, 4-5 апр., 2002.* Ч.1. Физико-математические секции. Оренбург, **2002.** 36-39. [03.09-18А.167].

Представлена лабораторная работа из области термоэлектрических явлений по определению коэффициента Пельтье. Для работы требуется оборудование: школьные термопары типа ФЭП, гальванометр М203/8, источник питания ВС-24, два термоса, переключатель, провода. Представлена схема установки, описан принцип ее работы, выведена формула для коэффициента Пельтье, определен водяной эквивалент. В результате измерений значение коэффициента Пельтье оказалось равным  $\Pi=0,04$  В, что по порядку величины соответствует паре металлов железо-константан. Преимущество опыта в том, что термопары выполняют две функции: создают разность температур и используются для ее измерения.

**Лабораторная работа по изучению электрических явлений в контактах.** В. Е. Иванов. ФОВ. **2003.** Т. 9, № 4, 100-105.

**Постановка лабораторной работы специального практикума “Определение удельного сопротивления, концентрации, подвижности и знака носителей заряда в полупроводниковых кристаллах”.** Ермолаев О. П. Минск. **2003.** 34 с. [05.07-18А.137].

Дано описание учебной экспериментальной работы специального практикума для студентов физического факультета Белорусского государственного университета, специализирующихся по атомной физике и физической информатике. Лабораторная работа посвящена методам определения основных электрических характеристик полупроводниковых материалов из измерения электропроводности и постоянной Холла.

**Постановка лабораторной работы специального практикума “Определение типа проводимости полупроводникового материала”.** Ермолаев О. П. Минск. **2003.** 35 с. [05.07-18А.138].

Дано описание учебной экспериментальной работы специального практикума для студентов физического факультета Белорусского государственного университета, специализирующихся по атомной физике и физической информатике. Лабораторная работа посвящена методам определения типа проводимости полупроводниковых материалов. Это метод термоэлектродвижущей силы, измерение знака постоянной Холла и метод изучения характеристик  $[V=f(I)]$  на точечном контакте металл-полупроводник.

**Постановка лабораторной работы специального практикума “Определение ширины запрещенной зоны полупроводника”.** Ермолаев О. П. Минск. 2003. 33 с. [05.07-18А.139].

Дано описание учебной экспериментальной работы специального практикума для студентов физического факультета Белорусского государственного университета, специализирующихся по атомной физике и физической информатике. Лабораторная работа посвящена методу определения ширины запрещенной зоны полупроводникового материала из изучения температурной зависимости проводимости.

**Экспериментальная проверка формулы Шокли для  $p$ - $n$ -перехода.** Фетисов И. Н. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 69.*

**Изучение поляризации сегнетоэлектриков вблизи фазового перехода в рамках лабораторного физического практикума.** Ким Де Чан, Кропотов А. А. *Соврем. физ. практикум. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 1780-180.*

**Реализация исследовательских аспектов при изучении эффекта Пельтье в технологическом образовании.** Швец В. В. *Физика в системе современного образования : ФССО-5: Труды 8 Международной конференции, Санкт-Петербург, 29 мая-3 июня, 2005. СПб, 2005. 199-201. [07.01-18А.136].*

Предлагается постановка лабораторной работы “Исследование коэффициента полезного действия термоэлектрического холодильного агрегата”, которая позволит дополнить и развить изучение теоретических аспектов эффекта Пельтье в рамках дисциплины “Прикладная физика” практическим применением этого явления в бытовых и сервисных технологиях. Приведена принципиальная схема лабораторной установки, перечислены задачи, которые могут решаться с ее помощью. Выполнение такой исследовательской работы обеспечивает межпредметные связи между дисциплинами общеобразовательного и профессионального циклов, такими как “Прикладная физика”, “Современные исследования в машиноведении”, “Основы спецтехнологий”, и “Наукоемкие технологии”. Исследования, проводимые студентами в области термоэлектрических холодильных агрегатов, обеспечивают научность технологического образования и повышают интерес к изучению физических явлений.

**Установка для изучения фотопроводимости низкоомных полупроводниковых материалов.** Щетинин А. М. *Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 24. Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции “Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”.* Москва. 2006. М., 2006. 61-63. [09.01-18А.116].

Низкоомные полупроводниковые материалы – это полупроводники с малой шириной запрещенной зоны. Они светочувствительны как правило в инфракрасной области спектра. Для разложения излучения в спектр используются монохроматоры типа ИКМ, не пригодные для видимой области. Рассмотрена установка для исследования фотопроводимости низкоомных полупроводниковых материалов. Приведена схема установки. Установка состоит из блока источника излучения, блока

модулятора, диспергирующего блока (монохроматора), фокусирующего оптического блока, блока питания образцов и блока регистрации изменения фотопроводимости и визуального контроля. На установке проведены исследования спектров фотопроводимости кристаллов твердых растворов CdTe–HgTe.

**Измерение времени жизни неосновных носителей в полупроводнике.** Вязовский М. В., Коробов В. Е., Марков Б. Г. *Совр. физ. пр-м. Сб. трудов IX Межд. учебно-методич. конф. Г. Волгоград. 19-21 сент. 2006. г. 2006. С. 69-70.*

**Исследование емкости р-п-перехода варикапа КВ-105.** Иванов Г. М., Босов А. Д. *Труды 50-й Научной конференции МФТИ “Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук” Долгопрудный, Моск. обл., 2007. Ч. 2. Общая и прикладная физика. М.; Долгопрудный (Моск. обл.), 2007. 124-125. [09.07-18А.97].*

Сообщается о возможностях лабораторной работы “Колебательный контур с нелинейной емкостью”, поставленной в курсе общей физики. В рамках этой работы экспериментально исследованы емкостные характеристики нелинейного элемента контура варикапа, получены простая модель распределения зарядов в р-п-переходе, простые уравнения, описывающие нелинейные колебания. Проведены измерения зависимости емкости варикапа от величины обратного смещения.

**Туннельный диод.** Бовкун Л. С., Каразанов В. В. *Структура и свойства твердых тел : Сборник научных трудов учащихся физико-математических классов средних школ г. Нижнего Новгорода, студентов, аспирантов и молодых ученых физического факультета ННГУ и НИФТИ. Вып. 12. Н. Новгород. 2008. 71-77. [10.03-18А.98].*

Сообщается об изучении принципа работы, свойств и основных параметров туннельных диодов. По результатам работы создан измерительный макет лабораторной работы. Измерения проведены на двух типах туннельных диодов: германиевый Р1Е и арсенид-галлиевый ЗИ301Е. Отмечено, что германиевые диоды имели большой разброс в параметрах, в отличие от образцов из арсенида галлия.

## Глава 6

### МАГНЕТИЗМ

#### 6.1. Магнитное поле Земли

**Сравнение горизонтальной составляющей земного магнетизма в двух местах местным вариометром Кольрауша.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 56. С. 167.

**Определение наклоения магнитной стрелки инклинатором.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 4. С. 209. 1926. Задача 41. С. 223-228. Задача 30. С. 203.

Угол, образуемый направлением магнитной силы Земли с горизонтом, называется углом магнитного наклоения. Если же плоскость стрелки не совпадает с магнитным меридианом, то стрелка образует с горизонтом угол  $I'$ , который назовем видимым наклоением для рассматриваемого азимута. Основным элементом экспериментального устройства является магнитная стрелка, имеющая возможность вращаться вокруг горизонтальной оси. Если стрелка расположена в плоскости магнитного меридиана, то она образует с горизонтом угол, который и есть угол наклоения. Если же наблюдать наклоение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, образующих с меридианом по разные его стороны углы  $\alpha$  и  $\beta=90^\circ-\alpha$ , то угол наклоения  $I$  вычисляется на основании соотношения

$$\operatorname{ctg}^2 I = \operatorname{ctg}^2 I' + \operatorname{ctg}^2 I'', \text{ где } I' \text{ и } I'' - \text{видимые наклоения для углов } \alpha \text{ и } \beta.$$

**Определение горизонтальной составляющей земного магнетизма по Гауссу.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 5. С. 219.

**Определение магнитного наклоения инклинатором.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 41. С. 223-228. Задача 30. С. 203.

Угол, образуемый направлением магнитной силы земли с горизонтом, называется углом магнитного наклоения. Если же плоскость стрелки не совпадает с магнитным меридианом, то стрелка образует с горизонтом угол  $I'$ , который назовем видимым наклоением для рассматриваемого азимута. Основным элементом экспериментального устройства является магнитная стрелка, имеющая возможность вращаться вокруг горизонтальной оси. Если стрелка расположена в плоскости магнитного меридиана, то она образует с горизонтом угол, который и есть угол наклоения. Если же наблюдать наклоение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, образующих с меридианом по разные его стороны углы  $\alpha$  и  $\beta=90^\circ-\alpha$ , то угол наклоения  $I$  вычисляется на основании соотношения

$$\operatorname{ctg}^2 I = \operatorname{ctg}^2 I' + \operatorname{ctg}^2 I'', \text{ где } I' \text{ и } I'' - \text{видимые наклоения для углов } \alpha \text{ и } \beta.$$

**Определение горизонтальной составляющей земного магнетизма по Гауссу.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 42. С. 228-234. 1937, 1938. С. 207.

Определение горизонтальной составляющей земного магнетизма производится путем сравнения ее величины  $H$  с полем определенного стального магнита. Методы, применяемые при этом, были разработаны Гауссом. Один из наибо-

лее простых методов приводит определение  $H$  к двум измерениям. Первое из них дает численное значение величины  $A$ , равной  $A=MH$ , где  $M$  – магнитный момент взятого для измерений стального магнита, т. н. главного. Второе измерение дает численное значение величины  $B=M/H$ . Для определения первой величины  $A$  необходимо определить период колебания главного магнита, подвесив его горизонтально на вертикальной нити. Для определения второй величины  $B$  придется измерять угол отклонения некоторого вспомогательного магнита, подвешенного на той же нити, под действием главного магнита, установив последний в т. н. первое гауссово положение – в этом положении ось главного магнита располагается перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана места наблюдения, а центр вспомогательного магнита лежит на продолжении оси главного магнита.

**Определение магнитного наклона инclinатором.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 49 а. С. 185.

**Определение горизонтальной составляющей земного магнетизма при помощи магнитометра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 49 б. С. 189.

**Измерение магнитного поля Земли для опыта Бейнбриджа по определению удельного заряда электрона.** Эйнсли (Measurement of the earth's magnetic field for the Bainbridge e/m experiment. Ainslie D. S.), *Amer. J. Phys.*, 1958, 26, № 7, 496. [РЖ 1960 № 8 18867].

Описан метод измерения магнитного поля Земли и учета его при определении  $e/m$  в опыте, описанном Бейнбриджем (Bainbridge K. T., *Amer. Phys. Teacher*, 1938, 6, 35).

**Измерения в магнитном поле Земли.** Wiederkehr K. H. *Erdmagnetische Messungen im Physikunterricht der Oberstufe*. "Math. Und naturwiss. Unterr.", 1962, 15, № 7, 306-314. [РЖ 1963 4A75].

Описывается ряд простых опытов по магнетизму: модель компаса, намагничивание железного стержня в магнитном поле Земли, определение магнитного склонения и наклона, определение напряженности магнитного поля Земли методом Гаусса, при помощи тангенс-буссоли, по отклонению стрелки зеркального гальванометра при градуировке, крутильным магнетометром.

**Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли и отношения единиц в электромагнитной и электростатической системах с помощью магнитометра.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 37. С. 230.

**Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли и значения электродинамической постоянной.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. М., 1973. Р 39. С. 252.

**Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.** Simons P. Bepaling van de horizontale componente van het aardmagnetisch veld. "Documentation. 24." Bruxelles, s., a., 10-12. [РЖ 1964 10A109].

Внутри соленоида, смонтированного на панели из плексигласа, помещается магнитная стрелка. Соленоид ориентируется в направлении восток-запад; по нему пропускается постоянный ток такой величины, чтобы стрелка установилась под углом  $45^{\circ}$  к направлению оси соленоида. При этом напряженность поля соленоида будет равна искомой горизонтальной составляющей магнитного поля Земли:  $H_{гориз.} = nI/l$ , где  $n$  – число витков соленоида,  $l$  – его длина,  $I$  – сила тока. По углу наклона определяется величина вектора напряженности магнитного поля Земли. Найденная величина  $H$  используется при определении удельного заряда электрона с помощью осциллоскопа. Приводится вывод формулы

$$e/m = \frac{8Uy^2}{\mu_0^2(y^2 + l^2)H^2},$$

где  $l$  – расстояние от к-ра до экрана,  $U$  – напряженность ускоряющего электрического поля,  $y$  – смещение электронного луча под действием электрического и магнитного полей.

**Вращающийся проводящий контур в магнитном поле Земли.** Sudbeck Walter. Rotierende Leiterschleife im Erdmagnetfeld. "Prax. Naturwiss.", 1972, Teil 1, 21, № 11, 293-295 (нем.). [РЖ 73 4A109].

Предлагается установка для обнаружения горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля Земли и проверки некоторых следствий закона индукции, состоящая из плоской катушки с изменяемым числом витков, мотора, усилителя и милливольтметра. Измерения можно проводить, изменяя число витков катушки, их диаметр и частоту вращения катушки. При частоте 20 об/мин. индуцируемая э. д. с. достигает 21 мкВ, что позволяет достаточно хорошо индцировать ее при использовании для этой цели усилителя напряжения. Указаны параметры установки.

**Эксперимент по изучению магнитного поля Земли и магнитного дипольного момента.** Friedrickson J/ E/ Magnetic field of earth and magnetic dipole moment – an experiment. "Amer. J. Phys.", 1975, 43 № 2, 186-187 (англ.). [РЖ 75 8A88].

Предложено усовершенствование метода Гаусса для определения абсолютного значения напряженности магнитного поля Земли. Для точного определения нулевого положения магнитной стрелки плоский магнит со стрелкой помещается на систему из двух чашек Петри, одна из которых плавает в дистиллированной воде, налитой в другую чашку. Полученная система представляет собой гармонический осциллятор с малым затуханием. Измеряя частоту колебаний такой системы в магнитном поле Земли, можно, после предварительного расчета момента инерции системы, определить произведение магнитного момента магнита на напряженность магнитного поля Земли. Затем исследуется результирующее магнитное поле, создаваемое Землей и вспомогательным магнитом. Совместный анализ описываемых экспериментов позволяет точно определить напряженность магнитного поля Земли.

**Колебания магнитной стрелки в магнитном поле Земли.** Drgania igly magnetycznej v polu magnetycznym Ziemi. Tratkiewicz Tomasz. “*Fiz. Szk.*, **1979**, 25, № 5, 228-230 (польск.). [РЖ 80 2A108].

Описывается установка, которая используется в лабораторных работах по определению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Установка содержит магнитную стрелку на острие, помещенную в катушку, по которой пропускается постоянный ток от 0 до  $\pm 1$  мА. Период малых гармонических колебаний стрелки определяется ее моментом инерции, магнитным моментом и индукцией магнитных полей катушки и Земли. По измеренным значениям периода колебаний стрелки  $T$  и соответствующего значения силы тока  $I$ , протекающего через катушку, строится зависимость  $1/T^2=f(I)$ , по углу наклона которой рассчитывается горизонтальная составляющая магнитного поля Земли, а также отношение магнитного момента стрелки к ее моменту инерции. Относительная погрешность в определении индукции магнитного поля составляет 17%.

**Простой опыт по определению магнитного поля Земли.** Uber ein einfaches Verfahren zur Bestimmung des magnetischen Feldes der Erde. Bents Antje, Seibert Joachim. “*Prax. Naturwiss. Phys.*”, **1984**, 33, № 3, 93 (нем.). [РЖ 848A97].

Один из методов определения отношения заряда электрона к его массе, описанный в учебнике экспериментальной физики Харивелла и Ливингуда (1933 г.), основан на измерении отклонения электронного пучка в магнитном поле. Предлагается обратная задача: зная  $e/m$ , по величине отклонения пучка, распространяющегося перпендикулярно линиям индукции  $B$  магнитного поля Земли, определить величину  $B$ . Получено значение  $B=4,09 \cdot 10^{-5}$  Тл. Этот опыт можно использовать и в курсе электродинамики для демонстрации силы Лоренца.

**Определение напряженности магнитного поля Земли.** Bestimmung der magnetischen Feldstarke der Erde. Drudik Wemer. “*Prax. Naturwiss. Phys.*”, **1985**, 34, № 5, 36-37 (нем.). [РЖ 86 1A131].

Описан простой способ измерения напряженности магнитного поля Земли, основанный на явлении электромагнитной индукции. Соленоид, ось которого расположена горизонтально, вращается в горизонтальной плоскости в магнитном поле Земли. При этом магнитный поток в плоскости, перпендикулярной оси соленоида, меняется по гармоническому закону. Индуцированное в катушке напряжение после усиления регистрируется на двухкоординатном самописце, рисующем зависимость напряжения от периода вращения. Горизонтальная компонента магнитного поля вычисляется по величине площади поперечного сечения соленоида, числу витков, периоду вращения и напряжению, индуцированному в катушке.

**Одновременное измерение магнитного поля  $B$  прямого провода и Земли.** Simultaneous measurement of the straight wire and the Earth's  $B$  field. Pernick V. J., “*Amer. J. Phys.*”, **1989**, 57, № 1. С. 90-91. (англ.). [РЖ 89 11A105].

Описана лабораторная установка, содержащая компас, источник тока, амперметр, реостат и провод. Студенты фиксируют тангенс угла отклонения стрелки компаса. Даны расчетные формулы. Представлены экспериментальные графики зависимости тангенса угла отклонения стрелки от тока, проходящего по проводу, а также от величины  $1/R$ , где  $R$  – расстояние от провода до точки изме-



рения. Обе экспериментальные зависимости близки к линейным, что соответствует теории.

**Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли: Методические указания.** Запорожский В. И., Крамарь Е. И. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2000. 11 с. [02.05-18F. 137K].

Даны методические указания к работе.

**Изучение магнитного поля Земли в новом лабораторном практикуме кафедры физики МИСиС.** Часть 1. Теория и экспериментальная установка. С. М. Курашев. С. 82-92.

Изложение проводится максимально приближенно к тексту студенческого описания работы нового лабораторного практикума, созданного на кафедре физики МИСиС на базе оборудования фирмы-производителя RHYWE (Германия).

**Магнитное поле Земли.** Смирнова Т. П. *Учеб. физ.* 2007. № 1. 84-100. [08.11-18A.113].

Традиционной работой физического практикума по общему курсу физики для физических и естественнонаучных специальностей вузов является определение горизонтальной составляющей напряженности геомагнитного поля. В работе детально рассмотрены элементы земного магнетизма, конфигурация магнитного поля Земли, простейшая модель геомагнитного поля, поле магнитного диполя, составляющие напряженности реального магнитного поля Земли. Приведены исторические сведения изучения земного магнетизма, показана роль, которую играет магнитное поле в жизни нашей планеты.

**Измерение магнитного поля Земли в лаборатории.** Measuring the Earth's magnetic field in a laboratory. Cartacci A., Straulino S. *Phys. Educ.* 2008. 43. № 4. 412-416. [10.02-18A.110].

**Магнитное поле Земли в лабораторном практикуме для естественнонаучных специальностей вузов.** Смирнова Т. П. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-П.-г. 2009, 296-297.

В учебно-методическом пособии введена декартова система координат, определены силовые и угловые элементы земного магнетизма и установлена связь между ними. Рассмотрена простейшая модель магнитного поля Земли – поле магнитного диполя. Рассмотрены составляющие напряженности реального магнитного поля Земли, приведены и кратко описаны карты элементов нормального геомагнитного поля.

## 6.2. Эффект Холла

**Измерение магнитного поля по эффекту Холла.** Бауман (Messung der magnetischen Induktion beim Fadenstrahlrohr mit dem Hall-effekt. Baumann Hans), *Prax. Naturwiss.*, 1960, A9, № 1, Physik, 3-6. [РЖ 1960 № 10 25195].

Описываются общая теория гальваномагнитных явлений и электрическая схема для измерения э. д. с. Холла. Генератор Холла выполнен в виде медной или никелевой пластины и двух электродов из антимонида индия или арсенида индия. Разность потенциалов, возникающая при прохождении электрического тока через пластину, помещенную в магнитное поле, перпендикулярное плоскости пластины, измеряется при помощи обычного милливольтметра. Приведены формулы и расчеты константы Холла, э. д. с. Холла и магнитной индукции.

**Исследование полупроводников с помощью эффекта Холла.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 48. С. 283. 1973. Р 49. С. 296.

**Явление Холла в металлах.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, И. А. Виноградов и др. Под ред. доц. О. И. Замша. Москва, 1965. Работа 14. С. 131-137.

**Лабораторная работа “Эффект Холла”.** Богма К. К., Скребнева М. И. “Сб. научно-метод. статей по физике. М-во высш. и спец. средн. образ. СССР”, 1968, вып. 1, 72-74. [РЖ 1969 1A88].

Описана установка и порядок проведения лабораторной работы по измерению эффекта Холла с использованием образца, сделанного из медной фольги. Несмотря на малость эффекта, такой выбор образца оправдывается простотой и прочностью образцов, а также стабильностью результатов измерений.

**Эффект Холла в текущем электролите.** Wright John J., Van Der Bekern Stephen. The Hall effect in a flowing electrolyte. “Amer. J. Phys.”, 1972, 40, № 2, 245-247 (англ.). [РЖ 72 7A109].

Описан эксперимент по наблюдению эффекта Холла в текущем электролите. Электролитом служит раствор NaCl, который откачивается сифоном через трубку Тигона к горизонтально расположенной стеклянной трубке, изготовленной из тугоплавкого борного стекла и находящейся между полюсами электромагнита, а затем через стопорный кран – в нижний резервуар. Два электрических зонда, впаянные в стеклянную трубку, соединены проводниками с электрометром, к которому приложено переменное напряжение. При протекании электролита через магнитное поле на ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  будут действовать равные, но противоположно направленные силы Лорентца. Система достигает равновесия, когда сила, действующая на ионы со стороны электрического поля, становится равной силе, действующей на ионы со стороны магнитного поля. Из этого условия определяется разность потенциалов на противоположных сторонах трубки (поперечная разность потенциалов). Показано, что поперечная разность потенциалов является линейной функцией средней скорости движения ионов и магнитной индукции. Описан метод измерения средней скорости ионов. Описанный эксперимент охватывает сразу несколько физических явлений (эффект Холла, электрохимический потенциал, краевые магнитные поля, гистерезис, законы движения жидкости) и позволяет получить количественные результаты, согласующиеся с теоретическими предсказаниями.

**Недорогостоящая лабораторная установка для изучения эффекта Холла.** Kortright J. M. Low-cost Hall effect lab exercise. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 12, 1875-1876 (англ.). [РЖ 73 5A70].

Описана установка, состоящая из небольшого постоянного магнита (зазор  $\approx 63,5$  мм, поле 2,3 кГс), прозрачного держателя, германиевого образца (размером  $1 \times 3 \times 15$  мм) и соответствующей схемы измерения, предназначенной для определения величины и знака коэффициента Холла для германия при комнатной температуре. Геометрия образца допускает определение электрической проводимости образца и оценку подвижности холловских носителей. В заметке дано описание крепления образца в держателе и методика измерений.

**Сила Лорентца и эффект Холла.** Keiser Kurt. Lorentzkraft und Hall effekt. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1977, 26, № 11, 281-283. [РЖ 78 6A132].

Описан лабораторный эксперимент по определению силы Лорентца ( $F$ ), действующей на проводник длиной  $l$  с током  $I$ , находящийся в магнитном поле  $B$  катушек Гельмгольца. Ось катушек устанавливается так, что на горизонтальный проводник сила  $F$  действует по вертикали. Сила  $F$  измеряется с помощью лабораторных весов, магнитная индукция  $B$  – с помощью зонда с датчиком Холла и усилителем. В опытах варьируется угол  $\alpha$  между проводником и магнитной индукцией  $B$ . Учащиеся проверяют формулу  $F = Ibl \sin \alpha$ . В другом эксперименте учащиеся измеряют э. д. с. Холла в проводнике, имеющем форму плоской ленты, и определяют среднюю скорость носителей тока.

**Эффект Холла в полупроводниках и металлах.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.11. С. 332.

Большая концентрация носителей тока в металлах приводит к очень малым значениям э.д.с.Холла, что сильно затрудняет измерения. Исследуемые образцы имеют вид тонких металлических пластинок. Для измерений используется фотокомпенсационный усилитель – микровольт-микроамперметр постоянного тока Ф-116/1. Минимальный предел измерения напряжения составляет 1,5 мкВ, потребляемый ток – всего  $10^{-8}$  А. В полупроводниках э.д.с. Холла  $E_H$  измеряется компенсационным методом с помощью низкоомного потенциометра постоянного тока Р-306. Исследуемым образцом служит легированный германий. По результатам измерений графически представляется семейство характеристик  $E_H(I)$ , где  $I$  – сила тока через образец, при разных значениях магнитной индукции  $B$ , создаваемой электромагнитом. Находятся угловые коэффициенты  $K$  получаемых прямых, строятся графики  $K(B)$ . По угловому коэффициенту полученной прямой определяется величина э.д.с. Холла. Вычисляется концентрация носителей тока в образце, измеряется проводимость образца, вычисляется подвижность носителей тока в образце.

**Исследование магнитных полей холловскими зондами.** Untersuchung von Magnetfeldern mit Hallsonden. Noller Van Herbert. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1985, 34, № 5, 7-10 (нем.). [РЖ 86 1A127].

При протекании электрического тока в проводнике, находящемся в магнитном поле, лоренцевская сила, действующая на движущиеся заряды, разделяет в пространстве положительные и отрицательные заряды до тех пор, пока возникшая при этом разность потенциалов не воспрепятствует их дальнейшему разделению (эф-

фekt Холла). На этом явлении основано действие полупроводниковых холловских зондов, применяемых для измерения величины магнитной индукции  $B$  с помощью зонда внутри соленоида с током и вблизи длинного прямого проводника с током.

**Эффект Холла.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 18. С. 135-143.

Изучается зависимость ЭДС Холла в полупроводниковом образце от напряженности магнитного поля, определяется электропроводность образца, концентрация носителей тока.

**Датчик Холла и закон Ампера.** Hall effect probe and Ampere's law. Leclerc M. "Amer. J. Phys.", 1988, 56. № 10. С. 954-955. (англ.). [РЖ 89 4A105].

Обычно датчик Холла используется для измерения значения индукции магнитного поля  $B$ . Предлагается лабораторная работа по определению циркуляции  $B$ , которая основана на том, что датчик Холла измеряет компоненту индукции  $B$ , перпендикулярную плоскости датчика. Описана лабораторная установка, методика измерения и расчета. Погрешность установки составляет около 2%, что дает возможность студентам "открыть" закон Ампера.

**Измерение полей магнитных диполей с использованием датчиков на эффекте Холла.** Measuring magnetic dipole fields using Hall effect sensors. Benadero L., Gorri J, A, Villar J. and other. "Eur. J. Phys." 1991. 12, № 3. С. 146-148. (англ.). [РЖ 91 11A109].

Описано применение холловского датчика в лабораторной работе по изучению поля магнитного диполя. Одна из целей задачи – убедиться в том, что индукция магнитного поля  $B$  является векторной величиной. Обособывается преимущество разложения вектора  $B$  на радиальную и угловую компоненты ( $B_r$  и  $B_\theta$ ) при измерении поля магнитного диполя в дальней зоне. В процессе выполнения работы студенты измеряют зависимости компонент  $B_r$  и  $B_\theta$  от  $r$  и  $\theta$  и сопоставляют экспериментальные данные с расчетными. Приводится описание устройства датчика и схемы его включения.

**Лабораторная установка для изучения эффекта Холла.** Полосин В. Г., Першенков П. П. Учеб. эксперим. в высш. шк. 1999. № 1. 51-56. [РЖ 00.03-18A.127].

Приводится схема установки для лабораторных исследований гальваномагнитных явлений и результаты исследований. Основной трудностью при разработке подобных установок является создание эталонного магнитного поля с высоким значением напряженности порядка 10...1000 кА/м. Применение для этой цели постоянных магнитов и ферромагнитных концентраторов связано с использованием предварительной градуировочной характеристики поля, что значительно осложняет лабораторные исследования. Предлагаемая конструкция для исследования гальваномагнитных явлений позволяет концентрировать и линейно изменять магнитное поле в области исследуемого образца в зависимости от тока в катушках.

**Лабораторная работа "Эффект Холла".** Антонов В. В., Пулин В. Ф., Соколов М. Н. Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та. 2000. 13. с. [02.07-18A143K].

Цель работы: изучение эффекта Холла в полупроводнике; исследование ЭДС Холла от индукции внешнего постоянного магнитного поля; определение посто-

янной Холла, концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводнике; исследование распределения магнитного поля по оси короткого соленоида, сравнение с теоретической зависимостью. В работе дано описание основных понятий, методики эксперимента, порядка выполнения работы, обработки результатов измерений, расчет погрешностей. Представлены вопросы для самопроверки, изложены требования к оформлению отчета.

**Эффект Холла (Б).** Шилова М. В., Карзанов В. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 220-235. [02.12-18А.182].

Работа знакомит с основными методами измерения эффекта Холла и определения типа, концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниковых образцах. Рассматривается эффект Холла в слабых магнитных полях и в классически сильном магнитном поле, измерение проводимости и постоянной Холла методом Ван-дер-Пау.

**Определение с помощью эффекта Холла атомных радиусов щелочных металлов.** Hall determination of atomic radii of alkali metals. Houari Ahmed. *Phys. Educ.* 2008. 43. № 5. 519-521. [09.12-18А.120].

Показано, что атомные радиусы щелочных металлов могут быть экспериментально определены из измерений их электронной плотности. В этом подходе, кроме интереса к разнообразию методов, продемонстрировано, что определение атомных радиусов щелочных металлов через измерение их электронных плотностей с помощью эффекта Холла концептуально проще и экспериментально более доступно по сравнению с традиционным кристаллографическим методом.

**Наблюдение и изучение доменной структуры в ферритмагнитной пленке железо-иттриевого граната.** А. Н. Гладун, Ф. Ф. Игошин, Ю. М. Ципенюк. *ФОВ*. 2009. Т. 15, № 3, 28-42.

**Измерение амперовской силы в установке для ее демонстрации.** Кувандиков О.К., Салахитдинова М.К., Эшмирзаева М. ФССО-09. Материалы X Междунар. конф. С.-Петербург, 2009. Т. 1. С. 92-94.

### 6.3. Измерение индукции магнитного поля

**Определение напряженности магнитного поля соленоида при помощи баллистического гальванометра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 48. С. 181.

**К экспериментальному определению напряженности поля внутри катушки, обтекаемой током.** Иннерлинг (Zur experimentellen Ableitung der Gesetze über die Feldstärke innerhalb stromdurchflossener Spulen. Innerling L.), *Prax. Naturwiss.*, 1959, 8, № 1, Physik, 18-19. [РЖ 1959 № 11 24103].

Для демонстрации учащимся зависимости напряженности магнитного поля внутри катушки, обтекаемой током, рекомендуется использовать “вставной”

гальванометр и катушки различного сечения с числом витков от 125 до 1000 и изменять ток от 1 до 5 А.

**Простой метод измерения магнитной индукции.** Read Albert J. Simple method for measuring magnetic induction. “*Amer. J. Phys.*”, 1960, 28, № 8, 745. [РЖ 1961 5A80].

Описывается метод непосредственного измерения силы, действующей на проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле. Вдоль одной стороны прямоугольного деревянного бруска высверливают отверстие и пропускают через него ось, вокруг которой брусок может вращаться. К противоположной стороне бруска прикрепляют нить, связанную с коромыслом лабораторных весов. На боковую поверхность бруска наматывают несколько десятков витков изолированной медной проволоки. Брусок устанавливают в магнитном поле так, что плоскость бруска параллельна магнитному потоку, а нить перпендикулярна магнитному потоку и плоскости бруска, и уравнивают весы. При пропускании тока по проволоке равновесие нарушается и сила, действующая на витки может быть легко измерена. При помощи описанной установки могут быть проведены несколько лабораторных опытов: исследование магнитного поля в различных участках воздушного промежутка между полюсами магнита, изучение влияния уменьшения величины воздушного промежутка на магнитное поле и др.

**Определение напряженности магнитного поля соленоида на его оси.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 49. С. 270. 1962. Задача 72. С. 369–373. 1968. Задача 86. С. 118-122.

Измерения производятся баллистическим методом. Установка состоит из баллистического гальванометра с нормальной катушкой и измерительной катушки, помещаемой в исследуемое поле многослойного соленоида. По результатам измерений строится график зависимости напряженности магнитного поля от координаты исследуемой точки на оси соленоида.

**Магнитное поле проводника.** Зигель (Das Magnetfeld eines Leiters. Siegel Heinrich), Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 9, Physik, 249-254. [РЖ 1960 № 5 10238].

Описаны простые опыты по исследованию напряженности магнитного поля катушки, длинного проводника, двух параллельных проводников, тороидальной катушки, сплошного и полого цилиндрических проводников, обтекаемых током. Исследования проводятся при помощи крутильного магнетометра или маленькой магнитной стрелки. Для наглядности к одному из концов стрелки приклеивают бумажный флажок.

**Генератор Холла.** Harbeck Gerdt. Der Hall-Generator. “Prax. Naturwiss.”, 1961, A10, № 8, Physik, 212-214. [РЖ 1962 3A72].

Описывается методика измерения магнитных полей при помощи эффекта Холла. Генератор Холла представляет собой пластинку InAs размером 9×19 мм, укрепленную на полоске из органического стекла (пертинакс). Ток, протекающий через пластинку, поддерживают постоянным и равным 400 мА. Э. д. с. Холла измеряется стрелочным прибором или (в слабых магнитных полях) методом компенсации. Магнитное поле рассчитывают по уравнению  $U_H = R_H(IB/d)$ , где  $R_H$  – постоянная Холла. Описанный метод может быть использован для из-

мерения земного магнитного поля, а также вследствие малых размеров зонда для измерения неоднородных магнитных полей.

**К определению напряженности поля, создаваемого катушками Гельмгольца.** Hortling Otto. Zur Feldstärkebestimmung der Helmholtz-Spulen. "Prax. Naturwiss.", **1964**, A13, № 8, Physik, 206-208. [РЖ 1965 3A87].

Отмечается, что при определении отношения  $e/m$  при помощи электронной лампы с цилиндрическим катодом и анодом, помещенной в магнитное поле катушек Гельмгольца, точность определения напряженности магнитного поля по закону Био-Савара недостаточна. В связи с этим описываются два способа определения  $H$ : при помощи баллистического гальванометра и при помощи переменного тока, обтекающего катушки.

**Исследование магнитного поля соленоида.** Bukovszky Ferenc. Hengeres tekercs mágneses terének vizsgálata. "Fiz. szemle", **1968**, 18, № 3, 96-98. [РЖ 1968 10A66].

Опытным путем найдено, что участок неоднородного магнитного поля в соленоиде простирается на расстояние  $4R$  от края соленоида. Для лабораторных опытов с однородным магнитным полем необходимо применять соленоид, в котором  $10^3 R < l$  ( $R$  – радиус соленоида,  $l$  – его длина).

**Многоцелевой соленоид для лаборатории общей физики.** Petz John I., Jr. A versatile solenoid for general Physics laboratory. "Amer. J. Phys.", **1968**, 36, № 7, 641-642 (англ.0. [РЖ 69 1A85].

Описан недорогой соленоид, сконструированный и испытанный в общей физической лаборатории. Соленоид может быть применен в качестве электромагнита при измерении эффекта Холла, для определения отношения заряда к массе электрона магнетронным методом и для демонстрации магнитного затухания. Источником питания является выпрямитель с фильтром, подключаемый к обычному автотрансформатору переменного тока на 110 В.

**Измеритель циркуляции магнитного поля.** Phillips Melba, French A. P., Rosenfeld Jon. A magnetic curl meter. "Amer. J. Phys.", **1972**, 40, № 2, 330-334 (англ.). [РЖ 72 7A71].

Обсуждается возможность использования для измерения циркуляции индукции ( $B$ ) магнитного поля явления вращения 4 магнитных диполей, расположенных симметрично относительно оси вращения в исследуемом магнитном поле. Показано, что величина вращательного момента, действующего на магнитный диполь в магнитном поле определяется величиной  $rotB$  в месте нахождения диполя. Приводится схема экспериментальной установки для проверки полученных соотношений. Величина вращательного момента, действующего на диполь, определялась по величине закручивающего момента нити, на которой подвешивались магниты. Полученные результаты находятся в согласии с теорией и показывают возможность использования такого устройства для измерения циркуляции  $B$ .

**К экспериментальному определению  $B$ .** Moring Martin. Zur experimentellen Definition von  $B$ . "Prax. Naturwiss.", 1972, Teil I, 21, № 1, 11-15 (нем). [РЖ 72 6A91].

Делается обзор различных методов определения напряженности магнитного поля и магнитной индукции. В основе предлагаемого способа определения магнитной индукции лежит закон электромагнитной индукции. Измерив э. д. с. индукции, время изменения магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур при изменении площади этого контура, изменение площади контура и подставив все измеренные величины в формулу Фарадея, определяют магнитную индукцию. Описан прибор фирмы Leibold-Heraeus, позволяющий в школьных условиях выполнить названные выше измерения.

**Магнитные поля токов, текущих через проволоки – студенческий лабораторный эксперимент.** Genova James J. Magnetic fields of current carrying wires – an undergraduate laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 5, 694-696 (англ.). [РЖ 73 1A60].

Предлагается лабораторный эксперимент, позволяющий студенту экспериментально проверить формулы теории электричества. С помощью компаса измеряются магнитные поля двух типов: а) поле  $B_R$  на оси круговой петли из проводящей проволоки, направленное вдоль оси; зависимость  $B_R$  от радиуса петли, тока  $i$ , расстояния вдоль оси  $x$  задается явно; б) поле  $B_L$  прямой проволоки длиной  $L$  на расстоянии  $x$  от проволоки. При измерениях рекомендуется избегать соединительных деталей из ферромагнетиков. Приводятся результаты экспериментов для обоих случаев, данные измерения расстояния, угла отклонения стрелки компаса, тока. По полученным данным рассчитываются значения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

**Индикация магнитного поля с помощью спицы.** Pape Bodo von. Aufnahme magnetischer Felder mit Hilfe eines Stricknadel-Magnetometers. "Prax. Naturwiss.", 1972, Teil 1, 21, № 12, 320-325 (нем.). [РЖ 73 5A71].

Дается подробное описание магнетометра, основной частью которого является намагниченная железная спица, подвешенная на кронштейне. Отклонение спицы в поле постоянного магнита характеризует напряженность магнитного поля в данной точке. Положение отклоненной спицы отмечается по ее теневой проекции на бумагу с нанесенной координатной сеткой. С помощью такого магнетометра удобно находить линии одинаковых по величине напряженностей магнитного поля и линии одинаковых направлений напряженности магнитного поля, которые позволяют затем построить картину силовых линий магнитного поля. Приводятся результаты испытаний магнетометра.

**Измерение магнитного поля с помощью крутильных весов с приставкой.** Ziebur Fredi. Magnet-Feldmessungen mit erweiterter Drehwaage. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 5, 125-128 (нем.). [РЖ 73 11A81].

Для выполнения количественных измерений с помощью крутильных весов Leibold предлагается использовать приставку, которая может быть легко установлена при помощи медной проволоки диаметром  $d=1\div 2$  мм, двух однополюсных штепсельных вилок с пружинящими контактами и двух крокодиловых клемм. В качестве приставки можно использовать двойную испытательную пет-



лю и простую испытательную петлю. Магнитное поле создается подковообразным магнитом. При работе с прибором используется нулевой метод измерения. Предлагаются следующие опыты: 1. Измерение силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле. Световой указатель прибора устанавливается на нуль в случаях, когда цепь разомкнута и когда цепь замкнута. Сила, действующая на проводник с током, определяется по углу поворота крутильных весов. При измерении вторым способом изменяют угол поворота диска, а затем компенсируют отклонение светового указателя, изменяя ток. Обработка результатов приводит к выводу закона Ампера  $F=BI$ . 2. Определение величины вектора магнитной индукции магнитного поля катушки с током. Наблюдают смещение катушки и проводника относительно друг друга при пропускании тока через последний. Получают, что  $B = \mu_0 \frac{n}{l} I_{\text{катуш.}}$ . 3. Определение  $\mu_0$ . Используется схема предыдущего опыта, но проводится измерение дополнительных параметров. Приводится фотография установки, схема подключения, а также результаты проведенных опытов.

**Измерение магнитного поля с помощью короткопериодного гальванометра.** Aitchison G. J. Measurement of magnetic field using a current galvanometer. "Phys. Educ.", 1973, 8, № 4, 257-258 (англ.). [РЖ 73 11A82].

Описано устройство прибора для измерения напряженности магнитного поля. Маятник, представляющий собой тонкую стальную нить с тяжелым грузом на конце, через сопротивление соединен гибкими проводами с обычным гальванометром. Синусоидальное напряжение, индуцированное в маятнике при его колебании в поле постоянного магнита, измеряется гальванометром. Приведен аналитический вывод формулы для расчета напряженности магнитного поля постоянного магнита при известном напряжении на концах маятника.

**Измерение магнитной индукции с помощью колебаний магнитной стрелки.** Koubek Vaclav. Meranie magnetickej indukcie metodou kmitov mafneyky. "Mat. A fyz. Sk.", 1973, 3, № 8, 616-626 (словац.). [РЖ 73 11A83].

Показано, как можно экспериментально установить зависимость между периодом гармонических колебаний магнитной стрелки в магнитном поле и индукцией этого поля и использовать эту зависимость для измерения магнитной индукции поля. Подчеркивается, что этот метод может быть использован также для измерения магнитной индукции поля на оси катушки и витка с током, поля вблизи прямолинейного проводника с током и т. д.

**Датчик для исследования свойств магнитного поля в пространстве.** Slaffer M. Probe for three dimensional magnetic field plotting. "Phys. Educ.", 1973, 8, № 5, 344-346 (англ.). [РЖ 73 12A107].

Описано устройство магнитного датчика для измерения величины напряженности магнитного поля в любой исследуемой точке пространства. Датчик представляет собой небольшой постоянный магнит, закрепленный с помощью качающегося подшипника и подшипника на камнях в жестком немагнитном каркасе, который в свою очередь с помощью подобных подшипников закреплен во внешнем каркасе. Магнит и внутренний каркас поворачиваются вдоль осей, перпендикулярных друг к другу. С внешним каркасом жестко связана игла, являю-

щаяся собственно зондом, который может вноситься в любую исследуемую точку поля. Кратко описан принцип работы датчика.

**Напряженность поля постоянного магнита.** Mahoney Brother James. The field strength of a permanent magnet. "Phys. Teacher.", 1975, 13, № 8, 507 (англ.). [РЖ 75 4А99].

Описан эксперимент по определению напряженности магнитного поля  $B$  постоянного магнита. Определение  $B$  проводится путем использования соотношения  $B=F/IL$ , где  $F$  – сила, с которой токовая катушка, содержащая 20 витков, втягивается в зазор между полюсами магнита. Величина силы измеряется демонстрационным динамометром. При токе 8 А сила равна 2,7 Н. Вес токовой катушки с блоком 0,4 Н. Для используемого в эксперименте магнита  $B=0,15$  Н/А·м.

**Построение линий магнитной индукции.** Майер В. В., Касаткин В. А. *Проблемы учебного физического эксперимента : Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции "Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения"*, Москва, 2005: Сборник научных трудов. М., 2005. 68-69. [07.03-18А.138].

Предложен усовершенствованный вариант эксперимента по построению линий индукции магнитного поля постоянного магнита. В нем используются короткие магниты, расположенные вертикально.

**Прибор для измерения магнитных полей.** Apparatus for magnetic field measurements. Gluck P. *Phys. Educ.* 2007. 42. № 2. 201-205. [09.03-18А.98].

**Разработка лабораторной работы "Изучение магнитных полей".** Шепелевич В. Г., Прокошин В. И., Король Е. Н., Ярмолевич В. А. Ред. ж. "Вестн. Белорус. Ун-та. Сер. 1. Физ.-мат., мех." Минск, 1982. [РЖ 83 5А105 ДЕП.].

Приведены методические указания по постановке лабораторной работы "Изучение магнитных полей". Для создания магнитных полей используется электромагнит со сменными полюсными наконечниками. Индукция магнитного поля измеряется с помощью миниатюрного датчика Холла.

**Измерение магнитной индукции и магнитного потока.** Pomiar indukcji magnetycznej i strumienia indukcji. Palat Przemyslaw. "Fiz. Szk.", 1983, 29, № 2, 106-109 (пол.). [РЖ 84 2А95].

Приводятся методические рекомендации по постановке и проведению лабораторных работ "Изучение зависимости магнитного потока от площади поперечного сечения участка магнитной цепи" и "Измерения магнитной индукции и магнитной проницаемости. Снятие кривой намагничивания". Работы выполняются с использованием флюксметра.

**Изучение магнитного поля прямого тока и определение магнитной постоянной в физическом практикуме вуза.** Гене В. В., Рязанцев О. В., Шульга В. И. Ред. ж. "Изв. вузов. Физ." Томск, 1984. 4 с., ил. Библиогр. 2 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 2 февр. 1984 г., № 638–84 Деп.). [РЖ 84 6А153].

Описана лабораторная установка для изучения магнитного поля прямого тока. Приведены методика выполнения эксперимента и результаты измерений. Рекомендованы различные варианты использования установки.

**Изучение поля электромагнита.** Пестряев Е. М. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва). 1984, № 11, 92-94. [РЖ 85 1A177].

В связи с изучением теоремы о циркуляции магнитного поля предлагается ввести в лабораторный физический практикум работу, в которой реализуются следствия этой теоремы. В работе изучается индукция магнитного поля электромагнита с регулируемой шириной зазора между полюсами. Электромагнит представляет собой железный сердечник сложной формы, на который насажены питаемые постоянным током катушки. Разомкнутые и обращенные друг к другу концы сердечника являются полюсами электромагнита, между которыми измеряется индукция магнитного поля.

**Лабораторная работа по изучению распределения индукции магнитного поля переменного тока вдоль оси соленоида.** Магидсон И. А., Вайнрот В. И. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва). 1984, № 11, 94-98. [РЖ 85 1A179].

Изучение распределения индукции магнитного поля вдоль оси соленоида производится обычным баллистическим методом или магнитометром. В этих случаях через обмотку соленоида пропускают постоянный электрический ток. От выпрямителя или универсального источника питания. В отличие от традиционного предлагается другой подход к решению этой задачи, основанный на применении переменного электрического тока, в частности от городской сети. Измерительным прибором может служить электронный осциллограф или потенциометр постоянного тока (при наличии выпрямительного мостика). В таком варианте лабораторная работа предпочтительна при заочной или вечерней форме обучения, особенно в случае проведения занятий на УКП или в филиалах, т. е. используются приборы, не требующие специальной установки или отладки и имеющиеся в физической лаборатории любого вуза.

**Методы создания магнитного поля и измерения его индукции.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 14. С. 97-115.

В данной лабораторной работе изучается магнитное поле, создаваемое соленоидом, катушками Гельмгольца, электромагнитом. При измерении величины индукции магнитного поля используется баллистический гальванометр, а также приборы, работа которых основана на эффекте Холла и ядерном магнитном резонансе.

**Импульсное магнитное поле.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 15. С. 115-123.

Магнитное поле создается при разряде конденсатора на соленоид. При разрядном токе 2 кА напряженность магнитного поля в небольшом однослойном соленоиде достигает 2 кЭ.

**Простой эксперимент по измерению индукции магнитного поля в курсе общей физики.** An introductory low-cost magnetic field experiment. Golden Law-

rence B., Klein James R., Tongson Luisito. "Amer. J. Phys.", **1988**, 56, № 9, С. 846-848ю (англ.). [РЖ 89 2A152].

Описывается эксперимент по измерению индукции магнитного поля реального соленоида (для лекционных демонстраций либо для лабораторных работ). Основным элементом эксперимента является холловский датчик с усилителем напряжения, выпускаемые промышленностью США в виде единого блока (любой другой холловский датчик также может быть использован). Выходной сигнал регистрируется при помощи осциллографа или другого прибора. Перемещение датчика вдоль оси соленоида позволяет измерить соответствующее значение осевой компоненты вектора индукции. Приводятся типичные результаты эксперимента и методические рекомендации по его проведению.

**Твердотельные датчики магнитного поля и закон Ампера.** Solid-state magnetic-field transducers and Ampere's law. Kromminga A. J., Van Baak D. A. "Amer. J. Phys.", **1988**, 56, № 7. С. 622-627. (англ.). [РЖ 89 2A161].

Описывается применение недорогих, выпускаемых промышленностью США, твердотельных датчиков на эффекте Холла для измерения индукции магнитного поля и для проверки справедливости закона Ампера. Описываются различные способы включения датчиков и соответствующие электронные узлы, а также методика измерений. Приводятся таблицы типичных результатов, полученных студентами при выполнении лабораторных работ с холловскими датчиками. Обращается особое внимание на то, что холловские датчики позволяют не только измерить значение магнитной индукции, но также показать векторный характер этой величины и вычислить циркуляцию вектора  $\mathbf{B}$ .

**О магнитном поле, создаваемом малым сегментом тока.** On the magnetic field generated by a short segment of current. Hovey A. "Amrer. J. Phys.", **1989**, 57, № 7. С. 613-616. (англ.). [РЖ 90 6A88].

Описана серия простых экспериментов, которые могут быть предложены студентам для выполнения в физическом практикуме с целью проверки формулы Био-Савара для магнитного поля, создаваемого элементарным сегментом тока. В ходе выполнения работы исследуются источники магнитного поля, направление и симметрия магнитного поля от различных источников, зависимость величины поля в точке наблюдения от расстояния до источника, проверяется справедливость принципа суперпозиции и формулы Био-Савара. При выполнении работы используются простейшие приборы, включая магнитную стрелку, источник постоянного тока, проводники различной формы, а также железные опилки. Величину магнитного поля предлагается измерять в единицах магнитного поля Земли.

**Измерение магнитной индукции абсолютным методом.** Mereni magneticke indukce metodou absolutni. Havel V. Sb. Ped. Fak. Plzni Fyz. **1991**. № 7. С. 105-107. Чеш. [РЖ 92 11A69].

Описан метод измерения магнитной индукции постоянного магнита на основе измерения силы его взаимодействия с длинной катушкой, на которую намотан проводник в один слой, при пропускании по катушке тока. Выведена формула для вычисления силы взаимодействия.

**Измерение магнитных полей с помощью крутильных колебаний кольцевого керамического магнита.** Смыслов Е. Ф. *Ред. ж. Изв. вузов. Физ.* Томск. **1996.** 5 с. ДЕП. в ВИНТИ 20.06.96. № 2036-В96. Рус. [РЖ 96 10А72ДЕП].

Для демонстрационных и лабораторных опытов по физике предложен метод измерения индукции магнитного поля, основанный на наблюдении периода колебаний керамического магнита. Показана возможность измерения таким способом слабых магнитных полей с индукцией от 1 до  $10^4$  мкТл. Приведены примеры использования предложенного метода в практике демонстрационного и лабораторного эксперимента по физике.

**Физические основы и методы получения магнитного поля.** Гайдуков Ю. П. *Сорос. Образ. ж.* **1996.** № 4. 97-105. Рус. [РЖ 97 10А80].

Качественно рассмотрены физические основы генерации магнитных полей в широком диапазоне значений, применяемых в лабораторных исследованиях, главным образом в физике твердого тела. Схематически представлены конструкции электромагнитов, различного рода соленоидов и взрывных устройств. Обсуждаются физические и технические ограничения на величину максимально достижимого поля различными методами.

**Измерение температуры Кюри для гадолиния: лабораторный эксперимент для студентов.** Measurement of Curie temperature for gadolinium: A laboratory experiment for students. Lewowski T., Wozniak K, *Eur. J. Phys.* **1997.** 18. № 6. 453-455. Англ.; рез. фр. [РЖ 98 9А147].

**Использование геркона для изучения магнитного поля катушки с током.** Балабанова Т. Е., Балабанов Е. Т. *Преподавание физ. в высш. шк.* **1998.** № 12, 1. 52-56. Рус. [РЖ 99 1А117].

Предлагается прибор, который может быть использован в учебном процессе средней школы, колледжа, профессионально-технического училища, вуза.

**Прибор для исследования магнитного поля прямолинейного проводника с током :** Пат. 2170459 Россия, МКИ <sup>7</sup> G 09 В 23/18. Ковнацкий В. К. : ВКУ им. А. Ф. Можайского ; Заявл. **09.06.00** ; Опубл. 10.07.01. Бюл. № 19. [02.07-18А.144П].

Прибор предназначен для использования в лабораторном практикуме в высших и средних специальных учебных заведениях по курсу физики и электротехники. Он позволяет расширить функциональные возможности и повысить точность измерений известного прибора по физике. Прибор содержит общий ключ, амперметр, измерительную катушку, n параллельных цепей, состоящих из последовательно соединенных ключей и катушек индуктивности. Катушки индуктивности установлены одинаково в виде столбца, параллельно друг другу, и магнитно связаны с измерительной катушкой. Предлагаемый прибор позволяет определить взаимные индуктивности между произвольными катушками индуктивности и рассчитать электрическую цепь с параллельным соединением нескольких индуктивностей.

**Исследование магнитных полей с помощью пояса Роговского.** Дивин Н. П., Оноприенко О. В., Яковлева Т. А., Биляшева О. В. *Учебный физический экс-*

*перимент и его совершенствование: Научно-методическая конференция, Пенза, 22-24 нояб., 2000: Межвузовский сборник научных трудов. Пенза. 2002. 3-6. [03.08-18А.162].*

Особенные трудности при изучении магнитных явлений и характеристик магнитного поля возникают у студентов при введении понятий “магнитное напряжение”, при рассмотрении закона полного тока и т. д. Одна из причин этого – недостаточное экспериментальное оснащение занятий по этой теме. Авторами для измерения магнитного напряжения изготовлен пояс Роговского. Подробно рассматривается методика изготовления пояса, методика определения основных характеристик этого прибора и методика работы с ним.

**Феррорезонанс и его изучение в лабораторном практикуме.** Витвицкий В. Г., Федотов В. И. *Учебный физический эксперимент и его совершенствование: Научно-методическая конференция, Пенза, 22-24 нояб., 2000: Межвузовский сборник научных трудов. Пенза. 2002. 159-163. [03.08-18А.165].*

Предложена разработка лабораторной работы по изучению феррорезонанса напряжений с помощью графического анализа электрических цепей переменного тока с использованием вольтамперных характеристик отдельных элементов цепи для действующих значений тока и напряжения, полученных опытным путем. Метод графического анализа предполагает, что несинусоидально изменяющиеся токи и напряжения могут быть заменены эквивалентными им синусоидальными токами и напряжениями на основе эквивалентности их действующих значений. Построены графики вольтамперных характеристик и напряжения на зажимах последовательного колебательного контура, на основании которых, используя графический анализ, прослежены изменения условий в электрической цепи переменного тока при постепенном повышении напряжения на зажимах. Графический анализ феррорезонанса напряжений проверяется путем снятия амплитудно-частотной характеристики.

**Установка для изучения магнитного поля стационарного тока.** Дивин Н. П., Оноприенко О. В., Яковлева Т. А. *Учеб. физ. 2002. № 1. 42-44, 63. [03.09-18А.171].*

Описана установка для исследования магнитных полей стационарных токов, представляющая собой набор плоских катушек различной формы, вписанных в окружность одного и того же радиуса. Рассмотрена система задач, которые могут быть поставлены и решены экспериментально с помощью данной установки.

**Тороподобные катушки и сердечники в приборах для лабораторного практикума и научных исследований.** Свиридов В. И. *преподавание физ. в высш. шк. 2004. № 28. 58-62. [04.12-18А.158].*

Тороидальные обмотки и сердечники широко используются в лабораторном физическом практикуме, а также в научных приборах и промышленных устройствах. В статье рассматривается идея создания тороподобного сердечника или тороподобной катушки с однородным магнитным полем по всему сечению.

**Упрощенный вариант экспериментального исследования электрического и магнитного полей с помощью датчика Холла.** Янко В. М. *Соврем. физ.*

пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 132-133.

**Простая установка физического практикума для изучения поля магнитного диполя.** Авксентьев Ю. И., Овчинникова Т. Л. Совр. физ. пр-м. Сб. тр. IX Межд. уч.-методич. конф. 2006 г. С. 67-68.

**Изучение закона изменения напряженности магнитного поля витка с током с помощью нелинейного индукционного датчика.** Б. В. Карелин, Н. Р. Кустова. Воронежский филиал Росс. Гос. открытого технич. Ун-та путей сообщения. ФОВ. Т. 16, № 1, 2010.

Предлагается метод изучения магнитного поля витка с током путем сравнения экспериментально полученной зависимости напряженности вдоль оси витка с соответствующей теоретической зависимостью с использованием индуктивного датчика с ферритовым сердечником. Описывается соответствующая лабораторная установка, приводятся результаты эксперимента.

**Модульный комплекс для исследования магнитного поля.** Буров Л. И., Горбачевич А. С., Кембровская Н. Г., Медведь И. Н. Белорусск. гос. ун-т, Минск. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября 2010 г., с. 100-101.

Предлагаемая установка “Кольца Гельмгольца” представляет собой модульный комплекс, который включает программно-измерительный блок, позволяющий реализовать различные режимы измерений и решать широкий спектр исследовательских задач на достаточно современной аппаратурной базе.

Разработанный комплекс позволяет реализовать следующие задачи:

- 1) изучать характеристики магнитного поля кругового тока в различных точках, расположенных на его оси;
- 2) исследовать индукцию магнитного поля кругового тока в фиксированной точке в зависимости от силы тока;
- 3) исследовать суперпозицию магнитных полей, т. е. измерять индукцию результирующего магнитного поля двух круговых токов при протекании тока в них в одном направлении;
- 4) получить в некоторой точке индукцию результирующего поля равной нулю при протекании тока в противоположных направлениях;
- 5) изменяя расстояние между круговыми токами, изучать изменение конфигурации результирующего магнитного поля;
- 6) получить практически однородное поле в некоторой ограниченной области пространства на оси симметрии системы;
- 7) рассчитать параметры катушки, моделирующей круговой виток, по измеренной индукции магнитного поля.
- 8) изучать характеристики магнитного поля кругового тока в различных точках, расположенных на его оси;
- 9) исследовать индукцию магнитного поля кругового тока в фиксированной точке в зависимости от силы тока;
- 10) исследовать суперпозицию магнитных полей, т. е. измерять индукцию результирующего магнитного поля двух круговых токов при протекании тока в них в одном направлении;

- 11) получить в некоторой точке индукцию результирующего поля равной нулю при протекании тока в противоположных направлениях;
- 12) изменяя расстояние между круговыми токами, изучать изменение конфигурации результирующего магнитного поля;
- 13) получить практически однородное поле в некоторой ограниченной области пространства на оси симметрии системы;
- 14) рассчитать параметры катушки, моделирующей круговой виток, по измеренной индукции магнитного поля.

**О методах измерения магнитного поля, используемых в лабораторном практикуме “Электричество” НИЯУ МИФИ.** Аксенова Е. Н., Белова И. В., Взоров Н. Н. и др. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября 2010 г., с. 147-148.

В настоящее время на кафедре “Общая физика” МИФИ вводится новый физический практикум, основу которого составляют лабораторные работы, поставленные с использованием оборудования фирмы “RHYWE” и российской фирмы “ВЛАДИС”.

В новом практикуме большое внимание уделено исследованию магнитных полей различных токовых систем: прямого тока, кругового витка с током, соленоида, катушек Гельмгольца. Измеряется магнитное поле Земли. Для измерения магнитного поля, используются тесламетры с датчиками Холла, индукционные датчики и тангенс-буссоль (магнитный компас с катушкой). Определяется магнитная проницаемость и изучается петля гистерезиса ферромагнетиков.

**Изучение закона изменения напряженности магнитного поля витка с током с помощью нелинейного индукционного датчика.** Карелин Б. В., Кустова Н. Р. *Физ. образ. в вузах.* 2010. 16. № 1. 46-49. [10.12-18A.98].

Предлагается метод изучения магнитного поля витка с током путем сравнения экспериментально полученной зависимости напряженности вдоль оси витка с соответствующей теоретической зависимостью с использованием индуктивного датчика с ферритовым сердечником. Описывается соответствующая лабораторная установка, приводятся результаты экспериментов.

#### **6.4. Температурные эффекты**

**Автоматизированная лабораторная работа “Изучение магнитных свойств ферромагнетика. Точка Кюри.”** Боков П.Ю., Митин И.В., Червяков А.В. Москва, Россия, МГУ им. М.В.Ломоносова. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня. 2009 г. Т. 1. С. 31-33.

В ходе выполнения работы студенты производят размагничивание ферромагнитного образца, строят кривую его намагниченности по результатам обработки петель магнитного гистерезиса, определяют точку Кюри, наблюдают фазовый переход “ферромагнетик-парамагнетик”.

**Вариант установки для лабораторного исследования температурной зависимости эффекта Холла в полупроводниках.** Семенов И. Т., Федосеев В. П. *Вестн. Хакас. Гос. ун-та. Сер. 9.* 2009. № 5. 35-36. [10.08-18A.100].



Предлагается простой вариант установки для лабораторного физического практикума по курсу общей физики, позволяющий иллюстрировать применение эффекта Холла для исследования температурной зависимости концентрации носителей тока в полупроводнике. Исследования в полупроводниковом образце проводились при температурах выше комнатной – в интервале от 20 до 140<sup>0</sup>С. В качестве исследуемого полупроводникового материала в установке используется образец кремния, слабо легированного фосфором. При комнатной температуре в условиях истощения примесных центров концентрация свободных электронов составляет порядка  $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Образец-1 имеет классическую форму гантели. Измерение температуры проводилось цифровым термометром, в котором используются мультиметр DT838 и термоэлектрический датчик.

**Определение точки Кюри ферромагнитных металлов.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 54. С. 279-282.

Исследованию подвергаются палочки различных металлов, нагреваемые в электрической печи, температура которой определяется электрическим пирометром. Наличие ферромагнитных свойств обнаруживается при помощи магнетометра. Магнетометр состоит из системы магнитных стрелок с зеркальцем, подвешенных на нити, которая заключена в футляр с передней стеклянной стенкой. Под действием внешнего магнитного поля система отклоняется из своего положения равновесия, что наблюдается методом зеркала и шкалы. Результаты измерений изображают в виде кривой, откладывая по оси абсцисс температуры и по оси ординат – отклонения магнетометра. Вблизи точки Кюри кривая, которая до сих пор слегка поднималась, начинает довольно круто падать; затем она делается параллельной оси абсцисс (отклонения магнетометра происходят здесь только под действием тока в обмотке трубки, в которой находится палочка ферромагнитного металла). Точка, где начинается низкая горизонтальная часть кривой, и соответствует температуре Кюри.

**Определение точки магнитного превращения ферромагнитных металлов.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 50. С. 195.

**Определение точки Кюри ферромагнитных металлов.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 51. С. 281.

**Магнитометрический метод измерения кривой намагничения, петли гистерезиса и точки Кюри.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 74. С. 380–385.

Используется астатический магнитометр, позволяющий производить измерения магнитного момента ферромагнетика в слабых (по сравнению с магнитным полем Земли) магнитных полях. Идея метода заключается в сравнении магнитного момента исследуемого образца с магнитным моментом соленоида. После измерений объема образца  $v$  и определения магнитного момента  $M$  в поле  $H$  вычисляются намагничение  $I=M/v$  и восприимчивость  $\chi = I/H$  и представляются графически.

**Демонстрация вырождения петли гистерезиса ферромагнетика при температуре Кюри.** Трофимов В. А. “Изв. высш. учебн. заведений. Физика.”, **1969**, № 1, 133-135. [РЖ 1969 7A95].

Описывается ферромагнитный образец тороидального вида для получения петли гистерезиса, изготовленный из пермаллоевой ленты и нагреваемый путем пропускания через него электрического тока. Во избежание влияния магнитного поля, созданного этим током, на форму петли гистерезиса, пермаллоевая лента наматывается бифилярно. Приводится принципиальная схема для получения петли гистерезиса и фотографии осциллограмм нескольких форм петли гистерезиса при нагревании образца от комнатной температуры до точки Кюри.

**Определение точки Кюри ферромагнетика с помощью магнитометра.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. Работа 54. С. 314. **1973**. Р 53. С. 315.

**Метод определения температуры Кюри.** An apparatus for the determination of Curie temperature. Bates P. A., Kent A. M. “Phys. Educ.”, **1980**, 15, № 6, 386-389 (англ.). [РЖ 81 11A130].

**Определение температуры Кюри.** Bestimmung der Curie-Temperatur. Schmitz Josef, “Naturwiss. Unterr. Phys./Chem.”, **1985**, 33, № 2, 54 (нем.). [РЖ 85 7A91].

Предлагается простое устройство для определения температуры Кюри по эффекту Баркгаузена. Проволока из железа диаметром 0,2 мм и длиной 20 см, скрученная в спираль, подключается к источнику с напряжением 15 В и помещается в керамическую печь, находящуюся в постоянном магнитном поле. При медленном увеличении напряжения, подаваемого на проволоку, последняя постепенно нагревается до температуры Кюри (768<sup>0</sup> С), вблизи которой возникают шумы перемагничивания. Удельное электросопротивление проволоки при нагревании до температуры Кюри возрастает примерно в четыре раза и составляет 101,7 мкОм·см.

**Определение температуры Кюри ферромагнетиков.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. **1987**. Козлова Т. М. Лаб. работа 17. С. 132-135.

Объектом изучения является магнитный сплав с точкой Кюри  $t_K=135^0\text{C}$ . Изучаются его магнитные характеристики при комнатной температуре осциллографическим методом, а при последующем нагревании по исчезновению петли перемагничивания определяется температура Кюри.

**Эксперимент в студенческой лаборатории по определению температуры Кюри никеля путем измерения сопротивления.** Undergraduate laboratory experiment to determine the Curie temperature of nickel using a resistance technique. Sullivan R. A. L., Dunk A., Ford P. J., Hampton R. N., Hopkins J. C. “Eur. J. Phys.”, **1987**, 8, № 4, 300-305 (англ.; рез. фр.). [РЖ 88 7A76].

Описывается задача для физического практикума, при выполнении которой студенты изучают переход в никеле из ферромагнитного состояния в парамагнитное и определяют температуру Кюри посредством измерения температурной

зависимости сопротивления никеля в области фазового перехода. Для накопления и обработки экспериментальных данных используется ВВС-микрокомпьютер. При выполнении задачи студенты должны произвести сопряжение экспериментальной установки с компьютером и составить программу обработки экспериментальных данных. Задача может быть также использована с целью ознакомления студентов с критическими явлениями.

**Лабораторная установка для изучения температурной зависимости намагниченности в ферромагнитных материалах.** Мындыев В., Курбанниязов Н., Мындыев Р. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.”. (Москва). **1988**, № 14. С. 111-112. [РЖ 89 2А156].

Рассмотрен экспериментально доступный метод измерения температурной зависимости намагниченности ферромагнитных материалов. На простой установке можно наблюдать кривую намагниченности в зависимости от напряженности магнитного поля и температуры и определить точку Кюри для данного ферромагнетика.

**Определение температуры Кюри ферромагнитных сплавов (Б).** Каразанов В. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие*. Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., **2001**. 343-612. [02.12-18А.190].

Рассматриваются основные представления о магнитных свойствах вещества, природа магнитной упорядоченности, температурная зависимость намагниченности ферромагнетика, легированные ферромагнетики. Определение температуры Кюри показано на примере ферромагнитных сплавов Ni-Cu и Fe-Al.

## 6.5. Магнитные резонансы

**Прибор для демонстрации ЯМР.** Киндер, Фелленцер (Ein Great zur Demonstration der magnetischen Kernresonanz. Kinder E., Fellenzer H.), Prax. Naturwiss., **1960**, A9, № 1, Physik, 6-12. [РЖ 1960 № 11 28397].

Предложен и осуществлен демонстрационный прибор для имитации явления ядерного магнитного резонанса. Прибор представляет собой волчок, помещенный в магнитное поле. Дано описание конструкции.

**Механический аналог магнитного резонанса.** Fowler R. A., Story Y. S. Mechanical analog of magnetic resonance. “*Amer. J. Phys.*”, **1961**, 29, № 10, 709. [РЖ 1962 4А59].

Волчок Максвелла подвешивают на специальной подставке таким образом, что ось вращения волчка образует некоторый угол с линиями сил гравитационного поля. При этом волчок прецессирует относительно направления поля. Если во время вращения волчка приложить к подставке периодическую силу, имеющую частоту, близкую к частоте прецессии и находящуюся в фазе с ней, то угол прецессии начнет возрастать и волчок может выпасть из удерживающей его петли. Чтобы вернуть его к исходному положению, достаточно изменить фазу периодической силы на  $180^{\circ}$ . Такой “гиросгравитационный резонанс” является механической аналогией гиромагнитного резонанса.

**Прибор для наблюдения спектров электронного парамагнитного резонанса в слабых полях.** Marcley Robert G. Apparatus for electron paramagnetic resonance at low fields. *“Amer. J. Phys.”*, **1961**, 29, № 8, 492-497. [РЖ 1962 2A89].

Детально описаны схема и конструкция простого ЭПР-спектрометра, работающего на частоте 315 МГц. В приборе использованы некоторые блоки и детали спектрометра ЯМР. Генератор собран на лампе 6AF4A. Магнитное поле (до 100 Гс) создавалось катушками Гельмгольца, обеспечивающими однородность поля не хуже 0,001. Спектр предназначен для демонстрации некоторых характеристик системы электронных спинов.

**Механический аналог магнитного резонанса.** Fowler R. A., Story Y. S. Mechanical analog of magnetic resonance. *“Amer. J. Phys.”*, **1961**, 29, № 10, 709. [РЖ 1962 4A59].

Волчок Максвелла подвешивают на специальной подставке таким образом, что ось вращения волчка образует некоторый угол с линиями сил гравитационного поля. При этом волчок прецессирует относительно направления поля. Если во время вращения волчка приложить к подставке периодическую силу, имеющую частоту, близкую к частоте прецессии и находящуюся в фазе с ней, то угол прецессии начнет возрастать и волчок может выпасть из удерживающей его петли. Чтобы вернуть его к исходному положению, достаточно изменить фазу периодической силы на  $180^{\circ}$ . Такой “гирогравитационный резонанс” является механической аналогией гиромагнитного резонанса. ]

**Феррорезонансный стабилизатор напряжения.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 75. С. 385–391. **1968**. Задача 89. С. 134-140.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения представляет собой трансформатор с железным сердечником, в цепи первичной обмотки которого последовательно включен конденсатор. На клеммах вторичной обмотки трансформатора напряжение остается постоянным при изменении напряжения сети, питающей первичную обмотку, в пределах нескольких десятков вольт.

**Эксперимент по магнитному резонансу для студенческих лабораторий.** Limon Peter J., Webb Robert H. A magnetic resonance experiment for the undergraduate laboratory. *“Amer. J. Phys.”*, **1964**, 32, № 5, 361-364. [РЖ 1965 2A84].

Описан простой эксперимент по наблюдению ЭПР, который хорошо иллюстрирует основные понятия, характерные для этого эффекта. Парамагнитным веществом служит раствор дисульфонатпероксиламина, спиновая система которого в магнитном поле имеет 6 энергетических уровней. Переходы наблюдаются в магнитном поле 0-30 Гс на рабочей частоте 40-70 МГц. На установке можно снять ход уровней энергии в зависимости от магнитного поля, измерить ширину линии ЭПР, установить правила отбора для различных переходов.

**Недорогостоящая аппаратура для ядерного магнитного резонанса.** Tricson T/ J/ Nuclear magnetic resonance apparatus at low cost. *“Phys. Educ.”*, **1972**, 7, № 2, 107-111 (англ.). [РЖ 72 7A117].

Отмечается, что обычно исследование и применение ЯМР требует дорогостоящего (>1000 фунтов стерлингов) оборудования, включающего радиочастотную электронику и стабильные источники мощных магнитных полей. Однако

существует ряд задач, в которых ЯМР наблюдается в магнитном поле Земли на частотах  $\approx 2$  кГц. В этом случае цена оборудования  $\approx 10$  фунтов стерлингов. ЯМР на звуковых частотах при сравнительно небольших значениях величины индукции магнитного поля можно наблюдать на протонах, входящих в ядра воды или метилового спирта. Дано описание установок для наблюдения ЯМР для этих веществ, подробно описана радиотехническая схема регистрации ЯМР, включающая электронные переключатели и узкополосный транзисторный усилитель с отрицательной обратной связью. Отмечается, что дифференциальная схема регистрации ЯМР может быть использована для определения возраста археологических объектов, для определения мест затонувших кораблей, скоплений железа и т. д.

**Изучение ЯМР в поликристалле.** Физический практикум с применением ЭВМ. Выпуск 2. О. Б. Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. 1977. Работа № 8. С. 85-94.

**Эксперимент по изучению электронного спинового резонанса, проводимый на старших курсах вузов.** Undergraduate electron-spin-resonance experiment. Willis James S. "Amer. J. Phys.", 1980, 48, № 9, 732-736 (англ.). [РЖ 81 5A69].

**Простой метод изучения ядерного магнитного резонанса в физическом практикуме.** Черенков Ю. А. Всес. Заоч. Электротехн. Ин-т связи. М., 1980, 12 с., ил., библиогр. 3 назв. Рукопись деп. в ВИНТИ 7 апр. 1981, № 1551-81 Деп.). [РЖ 81 7A131].

Описана несложная экспериментальная установка для изучения ядерного магнитного резонанса в условиях физического практикума ВТУЗов. Приведена методика измерения резонансной частоты ядерного магнитного резонанса в кобальте.

**Ядерный магнитный резонанс.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.1. С. 604.

Используется т. н. индикаторная установка с генератором слабых колебаний, представляющий собою усилитель с положительной обратной связью. Катушка с образцом и конденсатор переменной емкости образуют сеточный контур генератора, помещаемый в зазор электромагнита. Меняя емкость конденсатора, можно менять частоту генератора. При наступлении ядерного магнитного резонанса поглощение энергии в образце существенно увеличивается, добротность сеточного контура падает и амплитуда генерации уменьшается. Высокочастотный сигнал с генератора усиливается и детектируется. Выпрямленный сигнал усиливается с помощью усилителя низкой частоты и наблюдается на экране осциллографа. Развертка осциллографа осуществляется напряжением, синфазным с электрическим током, модулирующим постоянное магнитное поле электромагнита. В ходе работы определяется g-фактор для ядер фтора, изучается температурная зависимость и насыщение ядерного магнитного резонанса.

**Электронный парамагнитный резонанс.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 7.2. С. 616.

Для наблюдения электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) нужно поместить исследуемое вещество в магнитное поле и измерить поглощение электромагнитного поглощения, частота которого удовлетворяет соотношению  $h\omega_0/2\pi = \Delta E = 2\mu B$ , где  $h$  постоянная Планка,  $\omega_0$  частота электромагнитного поля,  $\Delta E$  расщепление энергетического уровня электрона,  $\mu$  – магнитный момент электрона, индукция магнитного поля. Используется радиоспектрометр не сложной конструкции, позволяющий наблюдать электронный парамагнитный резонанс на дифенилпикрилгидразиле, и в его растворе. Охлаждая образец, можно исследовать зависимость ширины линии поглощения от температуры и установить характер уширения – спиновый или спин-решеточный. В ходе работы измеряется величина  $g$ -фактора электрона ( $g = h\omega_0/2\pi\mu_B B$ ), и определяется ширина линии ЭПР.

**Радиоспектроскопические методы исследования вещества в школьных экспериментах.** Ч.І. Radiospektroskopowe metody badania materii w eksperymentach szkolnych. Szachowicz Jan. “Fiz. Szk.”, 1986, 32, № 4, 200-207 (польск.). [РЖ 87 3А81].

Предполагается в небольшой серии статей изложить в популярной форме основные принципы радиоспектроскопии и ее методы в применении к анализу структуры материи. Описывается ларморова прецессия, ЭПР и ЯМР, а также прибор для демонстрации сигнала свободной прецессии, основанный на эффекте Паккарда-Вариана, который заключается в том, что при выключении магнитного поля (перпендикулярного земному) в катушке, содержащей пробирку с водой, индуцируется сигнал слышимого диапазона. Эффект связан с переориентацией магнитных моментов протонов при включении внешнего поля и позволяет измерить напряженность магнитного поля Земли. Описываются отдельные блоки магнетометра.

**Ларморова прецессия.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 20. С. 151-157.

Исследуется одно из магнетомеханических явлений – ферромагнитный резонанс. Выполняемые измерения позволяют проверить теорему Лармора, определить природу элементарных носителей ферромагнетизма и обнаружить анизотропию магнитных свойств ферромагнетиков. Объектом исследования является шарик диаметром 0,9 мм из монокристаллического феррита-ганата иттрия. Измерения ведутся при частоте СВЧ поля 9,3 ГГц.

**Лабораторная установка для демонстрации особенностей спектров ЯМР в многоподрешеточном ферримагнетике.** Кунцевич С. П., Безлепкин А. А., Палехин В. П., Костюков В. И.; Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.” Томск, 1987, 6 с., ил. Библиогр. 4 назв. Рус. (Рукопись деп. в ВИНТИ 08.06.87, № 4106-В87). [РЖ 87 10А105 ДЕП.].

Создана лабораторная установка, позволяющая наблюдать особенности спектров ЯМР в многоподрешеточном ферримагнетике от ядер в блоховской доменной границе (ДГ) с использованием пассивного резонансного контура при очень низких уровнях радиочастотной мощности ( $\sim 10^{-7}$  Вт). В качестве объекта исследования использовался монокристалл гексаферрита структурного типа  $M$ , имеющий 96%-ное обогащение изотопом  $^{57}\text{Fe}$ . Установка позволяет демонстриро-

вать следующие особенности спектров: 1) наблюдать ЯМР во внешнем магнитном поле и убедиться в принадлежности спинов ядрам в ДГ; 2) фиксировать при 77 К для всех подрешеток двулинейчатые спектры ЯМР, соответствующие группам ядер на краю и середине ДГ; 3) наблюдать явление насыщения сигналов ЯМР при увеличении радиочастотного напряжения, подаваемого на  $LC$ -контур с образцом; 4) определить анизотропию частот ЯМР от ядер на краю и середине ДГ; 5) наблюдать превращение двулинейчатого спектра ЯМР в однолинейчатый при совпадении частот от ядер на краю и середине ДГ для подрешеток  $e$  и  $d$ . Лабораторная установка может быть использована в спецпрактикуме лекционного курса “Физика магнитных явлений”.

**Эксперименты по ядерному магнитному резонансу в учебном практикуме.** Ажеганов А. С., Горинов Д. А., Измestьев И. В. Физ. образ. в вузах. Т.5. № 2. 1999. С. 94-102.

**Ларморова прецессия протонов.** В. И. Козлов, И. С. Терешина. ФОВ. 1999. Т. 5, № 2, 103-104. [00.05-18А144].

Описана лабораторная работа по исследованию ларморовой прецессии магнитных моментов протонов, – эффекта, являющегося основой ядерного магнитного резонанса.

**Радиочастотный ЭПР-спектрометр для студенческого практикума.** Игошин Ф. Ф., Ципенюк Ю. М. Физ. образ. в вузах. Т. 6. № 3. 2000. С. 39-45.

**Задачи лабораторного практикума по изучению явления ферромагнитного резонанса и его применений.** Карпасюк В. К., Гаранин И. М. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 178-179.

**Измерения и закон Био-Савара.** Wang J. *Sichuan shifan daxue xuebao. Ziran kexue ban* = *J. Sichuan Norm. Univ. Natur. Sci.* 2001. 24. № 6. 614-617. Кит.; рез. англ. [02.06-18А.140].

**Кривая намагничивания ферро- и ферримагнетиков (Б).** Карзанов В. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 328-342. [02.12-18А.189].

Рассматриваются ферромагнетик в нулевом магнитном поле и его доменная структура; изменение доменной структуры ферромагнетика в ненулевом магнитном поле, гистерезис кривой намагничивания. Целью работы является изучение процессов перемагничивания ферро- и ферримагнетиков в переменных магнитных полях.

**Электронный парамагнитный резонанс в твердых телах (М).** Демидов Е. С., Карзанов В. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум : Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 362-382. [02.12-18А.191].

Работа знакомит с сутью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), возможностями метода ЭПР для исследования свойств различных физических объектов, основами техники ЭПР. Получение практических навыков в использовании метода показано на примере изучения примесных парамагнитных центров

железа в арсениде или фосфиде галлия, азота в алмазе, электронов проводимости в кремнии.

**Изучение ядерного магнитного резонанса на фармацевтическом факультете БГМУ.** Сетченков М. С., Хайбуллина И. Р., Загидуллин С. Н. *Актуальные проблемы физического образования на рубеже веков в педагогических вузах : Материалы 3 Уральской региональной научно-практической конференции, Уфа, [2001].* Уфа, **2001**. 162-163. [03.08-18А.178].

На кафедре медицинской физики Башкирского государственного медицинского университета студенты фармацевтического факультета на теоретических и практических занятиях изучают физические основы ядерного магнитного резонанса. Занятия проводятся на спектрометре BS 497, работающем как при развертке частоты, так и в импульсном режиме с Фурье преобразованием и системой сбора и обработки информации L-305. Полученные результаты химических сдвигов, соотношения химически неэквивалентных групп, время релаксации, позволяют в дальнейшем получить с помощью математического моделирования – программы “гиперхимия”, структуру молекулы. Студенты могут наблюдать структуры молекул непосредственно на мониторе компьютера, поворачивая их под разными углами при изменении определенных входных параметров, влияющих на их конформацию.

**Импульсный ЯМР-релаксометр “Эхо”.** Нестеренко А. Р., Шубин Е. И. Нестеренко И. Н., Дружков А. В. ФССО-05, Мат. 8-ой межд. конф. С.-Пб-г, **2005**, с. 333-334

**Вычисление магнитных моментов легких ядер по результатам измерений их g-факторов методом ядерного магнитного резонанса.** Гладун А. Д., Игошин Ф. Ф., Ципенюк Ю. М. Физ. образ. в вузах. **2006.** Т. 12. № 4. С. 63-75.

## 6.6. Магнитные характеристики материалов.

**Определение кривых намагничивания железа баллистическим гальванометром.** А. П. Соколов. Физический практикум. **1926.** Задача 55. С. 283-289.

Баллистический гальванометр позволяет по углу его отклонения судить о величине изменения магнитного потока, в свою очередь связанного с изменением индукции исследуемого образца. Существенной частью используемого прибора является ярмо Гопкинсона.

**Исследование магнитной индукции в железе баллистическим методом.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1953, 1955.** Работа 48. С. 263. **1962.** Задача 71. С. 361–369. **1968.** Задача 85. С. 110-118.

Впервые полное экспериментальное исследование зависимости магнитной индукции вещества  $B$  от напряженности магнитного поля  $H$  внутри вещества было произведено в 1871 г. профессором Московского университета А. Г. Столетовым. Исследуемый в настоящей лабораторной работе образец имеет тороидальную форму. Главным элементом экспериментальной установки является баллистический гальванометр. Отброс баллистического гальванометра пропор-



ционален количеству пртекшего через него электричества, и при достаточно быстром изменении магнитного потока в катушке, соединенной с гальванометром, его отброс пропорционален изменению магнитного потока. Величина изменения магнитного потока определяется из измеренной величины отброса гальванометра. Результаты работы представляются в виде графика зависимости  $B(H)$ .

**Изучение влияния геометрической формы тела на магнитную восприимчивость и петлю гистерезиса ферромагнетика.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., 1953, 1955. Работа 50. С. 274. 1962. Задача 73. С. 373–380.

**Получение петли гистерезиса.** Брюкнер (Die Aufnahme des Hystereseschleife im Unterricht. Bruckner Freimut). Math. Und Phys. Schule, 1959, 6, № 9, 493-501. [РЖ 1960 № 7 15807].

Приведена электрическая схема для получения петли гистерезиса, в которой используется демонстрационный магнитоэлектрический нуль-гальванометр с подковообразным постоянным магнитом. Из прибора вынимают магнит и вместо него на полюсные наконечники устанавливают подковообразную испытуемую полосу мягкого железа, на которую навито несколько сот витков медной проволоки. На обмотку подается напряжение. При изменении тока в обмотке по величине и направлению соответственно изменяется напряженность магнитного поля, при этом рамка прибора, обтекаемая током, поворачивается на угол, пропорциональный индукции поля.

**Определение магнитной индукции в железе по подъемной силе электромагнита.** Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960. Работа 29. С. 109-112.

**Измерение магнитной восприимчивости в учебных лабораториях.** Brubacher Lewis J., Stafford Fred E. Magnetic susceptibility. "J. Chem. Educ.", 1962, 39, № 11, 574-575. [РЖ 1963 4A78].

Описан эксперимент, целью которого является установление зависимости между измеренными макроскопическими величинами, определяющими магнитную проницаемость некоторых твердых веществ, и их электронной структурой. В качестве материала для измерений выбраны твердые химические соединения, устойчивые в воздухе и обладающие наиболее интересной электронной конфигурацией. Эксперимент позволяет также определить присутствие в парамагнитных образцах следов ферромагнитных примесей, объясняющих отклонения от ожидаемых результатов эксперимента.

**Определение магнитных моментов твердых тел, жидкостей и растворов.** Kirschner S., Flbinak M. J., Bergman J. G. Determination of magnetic moments of solids, liquids and solutions. "J. Chem. Educ.", 1962, 39, № 11, 576-578. [РЖ 63 4A79].

Отмечается, что в связи с возросшим за последние годы интересом к магнетохимии стало необходимым включить в учебные лаборатории для студентов старших курсов и аспирантов работы по изучению магнитных свойств атомов и молекул. Рассматривается вопрос об аналитической зависимости магнитного момента от

магнитной восприимчивости и температуры. Доказывается, что определение молярной магнитной восприимчивости химических соединений при данной температуре теоретически можно свести к определению числа непарных электронов. Сделать это для многих металлических соединений сравнительно легко, а это, в свою очередь, бросает свет на тип межмолекулярной связи и на структуру соединения. Выясняются возможности экспериментального нахождения эффективного момента чистого образца твердого тела или жидкости и того же образца в растворе. В заключение приведены краткие сведения о применяемой аппаратуре, таблица значений магнитных моментов, полученных теоретически и экспериментально.

**Исследование кривых намагничивания ферромагнетиков баллистическим методом.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 50. С. 293.

**Исследование кривых намагничивания ферромагнетиков магнитометрическим методом.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 51. С. 298.

**Измерение магнитных характеристик ферромагнитных материалов с помощью двойного ярма.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа. 52. С. 303. 1973. Р. 51. С. 305.

**Исследование кривых гистерезиса ферромагнетиков в переменном магнитном поле с помощью осциллографа.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 53. С. 309. 1973. Р 52. С. 310.

**Изучение свойств ферромагнитных пленок в специальном физическом практикуме.** Христосенко В. С., Неделько А. А. “Успехи физ. наук”, 1967, 92, № 2, 351-354. [РЖ 1967 12А83].

Описана лабораторная работа по изучению доменной структуры ферромагнетиков и магнитооптических явлений студентами педагогического института с использованием в качестве ферромагнитных образцов пермалловых и железных пленок, получаемых методом термического испарения в вакууме. Для измерения магнитных характеристик ферромагнитных пленок используется установка, которая может быть собрана на базе любого поляризационного или биологического микроскопа из приборов, серийно выпускаемых промышленностью. В основу метода исследования положено использование магнитооптических эффектов Фарадея и Керра. В статье кратко изложена сущность этих эффектов, описана конструкция и приведена принципиальная схема установки для наблюдения доменной структуры и осциллографирования петель гистерезиса ферромагнитных пленок, описана методика работы.

**Изучение влияния геометрической формы тела на магнитную восприимчивость и петлю гистерезиса ферромагнетика.** 1968. Физический практикум. Электричество и магнетизм. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 87. С. 122-129.

Кривая намагничивания образцов изучается баллистическим методом и с помощью осциллографа. Опыт выполняется с тороидом и двумя цилиндрическим образцами.

**Магнитометрический метод измерения кривой намагничивания, петли гистерезиса и точки Кюри.** Физический практикум. Электричество и магнетизм. Под ред. В. И. Ивероной. 1968. Задача 88. С. 129-134.

Задача знакомит студента с магнитометрическим методом измерения магнитных моментов. Используемый для этой цели астатический магнитометр позволяет производить измерения магнитного момента ферромагнетика в слабых (по сравнению с магнитным полем Земли) магнитных полях. Идея метода заключается в сравнении магнитного момента исследуемого образца с магнитным моментом соленоида. Для определения точки Кюри включается нагреватель, в который помещен образец. Температура определяется термпарой, вставленной в нагреватель.

**Измерение магнитной проницаемости диа- и парамагнетиков.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. Работа 47. С. 280. 1973. Р 48. С. 293.

**Измерение магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.13. С. 347.

Магнитное поле с индукцией  $1,5 \text{ Тл}$  создается в зазоре электромагнита, питаемого постоянным током. Исследуемые образцы (из меди и алюминия), имеют форму тонких цилиндров с диаметром сечения  $1 \text{ см}$ . При измерениях образцы поочередно подвешиваются к одной из чашек аналитических весов так, что один конец образца оказывается в зазоре электромагнита, а другой – вне зазора, где напряженностью магнитного поля можно пренебречь. С помощью аналитических весов измеряется сила, действующая на образец со стороны магнитного поля. Снимается зависимость этой силы от величины магнитного поля в зазоре электромагнитного поля (от силы тока в обмотках). Полученные результаты изображаются графически в координатах  $P$  (величина перегрузки на чаше без образца, уравновешиваемой силой со стороны магнитного поля, действующей на образец, расположенный на другой чаше весов) и  $H^2$ . По угловым коэффициентам полученных прямых вычисляется величина магнитной восприимчивости для меди и алюминия.

**Исследование намагничивания ферромагнетиков с помощью осциллографа.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.14. С. 352.

Напряжение сети  $50 \text{ Гц}$  с помощью регулировочного автотрансформатора подается на разделительный понижающий трансформатор и далее на намагничивающую обмотку исследуемого образца. Измерительная обмотка присоединена к интегрирующей RC-ячейке. Через намагничивающую обмотку от источника напряжения пропускается переменный ток. В этой цепи включен резистор, на котором возникает сигнал напряжения, пропорциональный току в намагничивающей обмотке, и, следовательно, напряженности  $H$  магнитного поля в образце. Этот сигнал подается на вход “X” осциллографа. Сигнал с интегрирующей емко-

сти пропорционален величине вектора магнитной индукции  $B$  в образце и подается на вход “У”. Возникающая на экране осциллографа картина в некотором масштабе воспроизводит петлю гистерезиса исследуемого образца. Проводится калибровка горизонтального и вертикального каналов осциллографа. По результатам измерений строится график зависимости напряженности магнитного поля в зазоре электромагнита от силы тока в его обмотке  $H(I)$ . По кривой гистерезиса определяются основные характеристики исследуемого ферромагнитного материала: индукция насыщения, остаточная индукция, коэрцитивная сила.

**Экспериментальная проверка закона Кюри-Вейсса.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. **1983**. Работа 4.15. С. 366.

У ферромагнетиков закон Кюри видоизменяется в закон Кюри-Вейсса:  $\chi \approx 1/(T - T_C)$ , где  $\chi$  – магнитная восприимчивость вещества,  $T_C$  – температура Кюри,  $T$  – температура образца. Целью настоящей работы является изучение температурной зависимости  $\chi(T)$  гадолиния при температурах выше точки Кюри. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) располагается внутри пустотелой катушки самоиндукции, которая является индуктивностью колебательного контура, входящего в состав  $LC$ -генератора. Генератор собран на полевом транзисторе КП103. Гадолиний является хорошим проводником электрического тока, а рабочая частота генератора достаточно велика ( $\approx 50$  кГц); поэтому для уменьшения вихревых токов образец изготовлен из мелких кусочков размером  $\approx 0,5$  мм. Катушка с образцом помещена в стеклянный сосуд, залитый трансформаторным маслом. Масло улучшает тепловой контакт между образцом и водой в термостате. Кроме того, она предохраняет образец от окисления и способствует ухудшению электрического контакта между отдельными частичками образца. Магнитная восприимчивость образца определяется по изменению самоиндукции катушки. Исследуется зависимость периода колебаний  $LC$ -генератора от температуры образца. В диапазоне  $14 - 50$  °С. По результатам измерений строится зависимость  $f^2 f_0^2 / (f_0^2 - f^2)$ , где  $f$  – резонансная частота контура с образцом,  $f_0$  – частота колебаний в отсутствие образца. Экстраполяцией полученной прямой определяется точка Кюри.

**Экспериментальное снятие кривой намагничивания тонкого слоя.** Experimentelle Aufnahme der Magnetisierungskurve einer dünnen Schicht. Hese Reinhard V. “Prax. Naturwiss. Phys.”, **1985**, 34, № 5, 29-30 (нем.). [РЖ 86 1А130].

В тонкослойном образце сильномагнитного вещества домены располагаются так, что направления их магнитных моментов перпендикулярны плоскости образца. Используя эффект Фарадея, можно наблюдать в микроскоп ориентацию доменов: различным ориентациям отвечает разная освещенность. Средняя по полю зрения освещенность является мерой намагниченности образца. Помещая образец в переменное магнитное поле соленоида, можно по изменению освещенности наблюдать его перемагничивание. Предложена схема эксперимента, позволяющего с помощью фотодиода, помещенного перед окуляром микроскопа, наблюдать петлю гистерезиса на экране осциллографа. Приводится электронная схема усилителя сигнала. Представлены некоторые результаты измерений.

**Магнитная индукция в ферромагнетиках.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Канавина Н. Г., Лексина И. Е. Лаб. работа 16. С. 123-132.

Изучаются процессы намагничивания и перемагничивания ферромагнетика путем наблюдения петли перемагничивания на экране осциллографа, а также путем снятия кривой намагничивания и петли перемагничивания баллистическим методом.

**Доменная структура ферромагнетика.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Канавина Н. Г., Шишков А. Г. Лаб. работа 19. С. 143-151.

Доменная структура и петли гистерезиса наблюдаются на прозрачных монокристаллических пленках редкоземельных ферритов со структурой граната  $R_3Fe_5O_{12}$  толщиной 5–10 мкм, имеющих ось легкого намагничивания, ориентированную по нормали к поверхности пленки. Состояние намагниченности образца выявляется с помощью магнитооптического эффекта Фарадея, заключающегося в том, что при прохождении плоскополяризованного света через намагниченное тело плоскость поляризации поворачивается на угол, пропорциональный компоненте намагниченности вдоль светового луча и длине пути света в магнетике. Антипараллельно намагниченные соседние домены поворачивают плоскость поляризации в противоположные стороны соответственно. Поворотом анализатора можно погасить свет от доменов с одним направлением намагниченности, т. е. получить контрастное изображение доменной структуры. Изменение намагниченности образца вызовет изменение светового потока, регистрируемого фотоприемником.

**Исследование свойств ферромагнетиков при помощи сердечников с зазором.** Павленко Т. М., Сусь Б. А. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.”. (Москва). 1988, № 4. С. 55-60. [РЖ 89 2A153].

Приводится описание лабораторной работы по исследованию ферромагнетиков с разработанной программой для расчета характеристик и параметров при помощи микрокалькуляторов. Измерение индукции магнитного поля осуществляется при помощи датчика Холла, а напряженность магнитного поля рассчитана на основе теоремы о циркуляции.

**О проблемном методе изучения ферромагнитных явлений на основе эксперимента.** Юнусов А. Х., Сагатов М. А. Актив. Методы преподавания физ. в вузе. Ташкент, 1988. С. 79-82. [РЖ 89 7A130].

Описана экспериментальная работа “Изучение ферромагнетика в переменном магнитном поле”. В качестве проблемного задания студентам после выполнения эксперимента предлагается вопрос: почему для наблюдения петли гистерезиса необходим осциллограф?

**Выполняется ли третий закон Ньютона при взаимодействии проводников с током.** Малов Н. Н. Методич. рекомендации по курсу общей физики. 1981. Вып. 1. С. 56-57.

**Измерение магнитной восприимчивости с помощью электронных весов.** Itami Y. *Ragaku to kyoiku = Chem. And Educ.* **1998.** 46. № 10. 652-655. [РЖ 99 10A141].

**Магнитно-силовая микроскопия: прикладной метод наблюдения магнитных доменов и их границ.** La microscopia de fuer zas magneticas: Una tecnica avan zada para la observacion de dominios magneticos. Asenjo A., Garcia J. M., Vazquez M. *Rev. esp, fis,* **2001.** 15. № 1. 15-23. Исп. [03.10-18A.178].

**Измерения магнитных параметров ферромагнитных пленок.** Антонов Л. И., Коренкова Л. М., Летова Т. Н. и др. *Вестн. МГУ. Сер. 3.* **2002.** № 1. 41-44. [03.02-18A.149].

Основными параметрами ферромагнитных пленок являются спонтанная намагниченность  $M_s$  и постоянная магнитной анизотропии  $K$ , а также их удвоенное отношение  $H_K=2K/M_s$ , называемое полем анизотропии. Очень часто для определения этих параметров используются косвенные методы, например, метод, основанный на коллапсе цилиндрического магнитного домена или на ферромагнитном резонансе, и др. Однако существует прямой метод измерения, связанный с определением пондеромоторного взаимодействия намагниченного магнетика с внешним магнитным полем. Основу этого метода, отличающегося простотой и высокой точностью, составляет магнитный вращательный (торсионный) магнитометр. Представлен метод вычислений магнитных параметров ферромагнитной пленки, основанный на измерениях вращающего механического момента, действующего на пленку в условиях ее равновесия в магнитном поле.

**Работа физического практикума по исследованию основной кривой намагничивания.** Байков Ю. Г., Жутов А. С. *Учебный физический эксперимент и его совершенствование: Научно-методическая конференция, Пенза, 22-24 нояб., 2000: Межвузовский сборник научных трудов. Пенза.* **2002.** 101-104. [03.08-18A.161].

Описывается метод исследования основной кривой намагничивания кольцевых образцов, предлагаемый для физических практикумов в вузах. В работе взят один из наиболее простых для реализации методов магнитных измерений – параметрический резонансный метод, который позволяет изучать характеристики магнитного поля путем измерения параметров катушки, помещенной в это поле.

**Спецпрактикум “Использование современных магнитных материалов в учебном эксперименте”.** Скроботова Т. В., Власенко И. А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2002.** № 16. 24-26, 100. [03.09-18A.169].

Основной целью спецпрактикума является развитие у будущих учителей школ и преподавателей вузов психологической готовности и мотивационной направленности совершенствования экспериментальной части курса физики. В качестве магнитного материала предлагается использовать одну из разработок последних десятилетий.

**Исследование пленки феррита-граната методом магнитооптического эффекта Фарадея.** Щербаков Ю. И. *Учеб.эксперим. в высш. шк.* **2003.** № 1. 49-54. [03.12-18A.177].

Описана учебная экспериментальная установка и методика для определения угла поворота плоскости поляризации света в пленке феррита-граната и поля насыщения пленки  $H_s$ .

**Простой магнитометр с вибрирующим образцом для использования в курсе физики по материаловедению.** A simple vibrating sample magnetometer for use in a materials physics course. Burgei W., Pechan M. J., Jaeger H. *Amer. J. Phys.* **2003.** 71. № 8. 825-828. [05.04-18A.124].

**Изучение обменного взаимодействия на примере магнитных свойств гадолиния.** Гладун А. Д., Игошин Ф. Ф., Ципенюк Ю. М. *Физ. образ. в вузах.* **2004.** 10. 3 4. 49-60, 126. [05.06-18A.146].

Дано описание лабораторной работы, в которой в рамках курса общей физики исследуется температурная зависимость магнитной восприимчивости ферромагнетика в парамагнитной области – выше точки Кюри. По полученной в работе температуре Кюри оценивается энергия обменного взаимодействия, которое хотя и является по своей природе электростатическим взаимодействием, – чисто квантовомеханический эффект, не имеющий аналога в классической физике. Объектом исследования является металлический гадолиний.

**Установка для изучения свойств ферромагнитных материалов.** Беляев И. П., Травин Д. А. *Учеб. физ.* **2004.** № 3. 19-21. [05.10-18A.136].

Характерной особенностью ферромагнитных материалов является их способность сильно намагничиваться. Кроме того, ферромагнетики обладают рядом свойств, существенно отличающих их от диа- и парамагнетиков. Предлагается установка для исследования свойств ферромагнитных материалов, индикатором магнитного поля в которой является магнитная стрелка. Простота изготовления и доступность оборудования позволяют использовать установку как в демонстрационном, так и в лабораторном эксперименте. Прибор позволяет изучать температурную зависимость параметров ферромагнитных материалов и определить точку Кюри, если каркас намагничивающей катушки изготовить из термостойкого материала.

**Измерение магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков в лабораторном практикуме по курсу “Физика магнитных явлений”.** Нищев К. Н. *Новые магнитные материалы микроэлектроники : Сборник трудов 19 Международной школы-семинара, Москва, 28 июня-2 июля, 2004.* М., **2004.** 55-56. [05.12-18A.167].

Представлена автоматизированная установка для измерения магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков методами Фарадея и Торпа-Сефтла, используемая в лабораторном практикуме по курсу “Физика магнитных явлений” в Институте физики и химии МГУ им. Н. П. Огарева. Работа позволяет проводить измерения магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков в интервале температур от 100 К до 700 К и магнитных полей в интервале от 10 до 6000 Э. Описан процесс измерений. Для управления измерительной установкой и обработки

экспериментальных данных используется персональный компьютер. Наряду с лабораторным практикумом, данная установка используется студентами при выполнении курсовых и дипломных работ.

**Изучение свойств магнетиков при помощи метода Монте-Карло.** С. А. Безносиков, А. М. Толстик. С. 45-52.

В данной работе рассматривается применение метода Монте-Карло для создания нескольких учебных компьютерных экспериментов по изучению свойств магнетиков: переходу ферромагнетик-парамагнетик, процессам намагничивания различных магнетиков в магнитных полях и гистерезисным явлениям в ферромагнетках.

**Магнитооптический лабораторный практикум в педвузе.** Прокопенко В. С., Живаев В. П. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004.* С. 79-80.

**Особенности исследования кривой Столетова.** Саламахо И. К. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004.* С. 208-209.

**Спонтанное намагничивание ферромагнитов.** Spontaneous magnetization of ferromagnets. Kraftmacher Yaakov. *Amer. J. Phys.* **2005.** 73. № 12. 1191-1194. [07.05-18A.140].

Дано описание экспериментов под управлением компьютера для наблюдения петель гистерезиса ферромагнитов в широкой области температур, включая точку Кюри, и для определения температурной зависимости самопроизвольного намагничивания. В качестве примера используется сплав на основе никеля Monel 400.

**Лабораторная работа “Снятие начальной кривой намагничивания и петли гистерезиса ферромагнетика с помощью милливеберметра”.** Белоусов В. Н., Белоусова Е. Ф., Корнисик К. И., Ходырев А. А. *Учеб. физ.* **2007.** № 1. 111-117. [08.06-18A.145].

В лабораторной работе определяются основные характеристики ферромагнитного образца (напряженность коэрцитивного поля, остаточная индукция магнитного поля и т. п.) и строится петля гистерезиса. Предложена новая методика построения кривой намагниченности с помощью милливеберметра.

**Понимание результатов измерений магнитной восприимчивости с помощью аналитической шкалы.** Understanding the magnetic susceptibility measurements by using an analytical scale. Cano M. E., Cordova-Fraga T., Sosa M. et al. *Eur. J.Phys.* **2008.** 29. № 2. 345-354. [09.03-18A.97].

**Наблюдение и изучение доменной структуры в ферримагнитной пленке железо-иттриевого граната.** Гладун А. Д., Игошин Ф. Ф., Ципенюк Ю. М. *Физ. образ. в вузах.* **2009.** 15. № 3. 28-42, 121. [10.10-18A.105].

Описана лабораторная работа по наблюдению с помощью эффекта Фарадея доменной структуры в ферримагнитной пленке железо-иттриевого граната. В работе изучается поведение магнитной структуры во внешнем магнитном поле – переход от лабиринтной структуры к однодоменному состоянию и возникновению цилиндрических магнитных доменов (ЦМД). Измеряются зависимость раз-



мера ЦМД от величины внешнего магнитного поля, поле эллиптической неустойчивости ЦМД, по полученным результатам оценивается толщина исследуемой пленки.

### 6.7. Магнетизм и системы единиц

**Определение отношения абсолютных электромагнитной и электростатической единиц.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 53. С. 277-279. 1937, 1938. Задача 43. С. 249.

Если имеется конденсатор с емкостью в  $C$  эл.-ст. единиц емкости, заряженный до разности потенциалов на обкладках в  $V$  эл.-ст. ед. разности потенциала, то его заряд  $Q = CV$  эл.-ст. ед. Будем заряжать и разряжать конденсатор  $C$   $n$  раз в секунду через обмотку тангенс-буссоли. Тогда через тангенс-буссоль будет идти ток силой  $I_e = nQ = nCV$  эл.-ст. ед. Та же сила тока в электромагнитных ед., по основной формуле для тангенс-буссоли, выразится так:  $I_m = (rH/2\pi N) \operatorname{tg} \alpha$  эл.-магн. ед., где  $N$  число витков обмотки буссоли,  $r$  – радиус катушки этой обмотки,  $H = 0,2$  – горизонтальная составляющая земного поля,  $\alpha$  – отклонение стрелки буссоли, и  $I_m$  – сила тока в эл.-магн. ед. Сравнивая обе величины  $I_e$  и  $I_m$ , находим искомое отношение  $c$ :

$$\frac{I_e}{I_m} = \frac{nCV}{rH/2\pi N \operatorname{tg} \alpha} \text{ см/сек.}$$

$c$  есть отношение электромагнитной единицы количества электричества к электростатической единице; размерность  $c$  есть размерность скорости.

**Определение постоянной закона Био и Савара для кругового тока.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 51 а. С. 199.

**Определение отношения электромагнитной и электростатической единиц силы тока** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 51 б. С. 202.

**Определение отношения электромагнитной и электростатической единиц тока.** Работа 8. Практикум. Часть III. К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, И. А. Виноградов и др. Под ред. доц. О. И. Замша. Москва, 1965. С. 81-87.

**Динамический метод определения  $\mu_0$ .** *Dynamische  $\mu_0$ -Btstimmung.* "Prax. Naturwiss.", 1967, A16, № 8, Physik, 215-217. [РЖ 1968 4A36].

Между двумя длинными цилиндрическими катушками помещают замкнутую накоротко квадратную рамку. Рамка насажена на вал, который приводится во вращение системой зубчатых колес и груза, повешенного на нити, намотанной на шкив. Скорость вращения устанавливается при помощи стробоскопа. При вращении рамки в магнитном поле в ней возникает переменная э. д. с., причем электрическая энергия, выделяющаяся в рамке в течение  $N$  периодов, равна энергии магнитного поля и изменению потенциальной энергии опускающегося груза. Приведены соответствующие уравнения и результаты измерений, из которых получено значение  $\mu_0$ , близкое к табличному.

**Действие магнитного поля на проводник с током. Определение  $\mu_0$  простейшими средствами.** Luysberg Johannes. Die Kraft des magnetischen Feldes auf einen stromdurchflossenen Leiter.  $\mu_0$ -Bestimmung mit einfachen Mitteln."Prax. Naturwiss.", 1972, Teil 1, 21, № 6, 141-147 (нем.). [РЖ 72 11 A105].

Для измерения силы взаимодействия магнитного поля с проводником, обтекаемым током, предлагается использовать специальные токовые весы из двух прямых гибких стальных проводов длиной 30 см и сечением 0,2 мм, закрепленных вертикально в изолированных клеммах. Через стальные проводники подводится постоянный ток до 600 мА к припаянному на их концах в перпендикулярном направлении прямому отрезку медного провода длиной 15 см и сечением 0,4 мм, обладающему достаточной изгибной жесткостью. Сила взаимодействия тока в медном проводнике с внешним магнитным полем направлена горизонтально и может быть измерена по величине пропорционального ей изгиба стальных проводов, измеряемого по вертикальной шкале. Приведены метод градуировки прибора, результаты измерения силы взаимодействия в зависимости от силы тока и числа витков соленоида, создающего внешнее магнитное поле, и от силы тока в проводнике и его длины. По результатам измерений вычислены чувствительность прибора 2 мг/мм и постоянная магнитного поля  $\mu_0$ . Прибор предлагается использовать для демонстраций и индивидуальной работы учащихся.

**Сила Лорентца и магнитная проницаемость вакуума.** Keiser Kurt. Lorentzkraft und Induktionskonstante. "Prax. Naturwiss.", 1974, Т. 1, 23, № 9, 236-238 (нем.). [РЖ 75 2A73].

Точное установление зависимости силы Лорентца от силы тока, магнитной индукции, длины проводника и угла между направлениями магнитной индукции и проводника в условиях учебного практикума затруднительно. Проще установить пропорциональность силы Лорентца каждой из этих величин. Основной трудностью осуществления этого является неоднородность магнитного поля. Предлагаются два пути ее преодоления: точное определение либо размеров области однородного магнитного поля, либо длины проводника, уместающегося в этой области. Экспериментальное определение коэффициента пропорциональности в этих зависимостях дает приближенное значение магнитной проницаемости вакуума.

## 6.8. Определение физических констант

**Применение переменного магнитного поля для определения  $e/m$ .** Иванов Г. А. Уч. Зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. А. И. Герцена. 1958, 197, 215-222. [РЖ 1959 № 12 26458].

Описана лабораторная работа "Определение  $e/m$  методом фокусировки в продольном переменном магнитном поле".

**Магнитоупругий метод определения  $g$ .** Мирошниченко Ф. Д. "Изв. Вузов. Физика", 1960, № 6, 89-92. [РЖ 1961 8A59].

Обсуждается принципиальная возможность лабораторного определения  $g$  магнито-упругим методом. Используется полученная ранее автором ("Навукові Записки Запорожского пед. ин-та", 1958, 6, 151) экспоненциальная зависимость магнитной восприимчивости от величины внешних упругих натяжений в форме  $\chi_m = \chi_0 e^{-b\sigma}$ . После логарифмирования этой зависимости и использования соот-

ношения  $\sigma = nmg$  получается формула  $g = (1/nmb) \ln(\chi_0/\chi_m)$ , по которой определяется величина  $g$ . Кратко излагаются требования, которым должна удовлетворять установка и ее отдельные элементы.

**Проверка закона  $K = \mu_0 I h l$  при помощи крутильных весов.** Harder Max. Bestimmung von  $K = \mu_0 I h l$  mit Hilfe einer Drehwaage. "Prax. Naturwiss.", **1962**, A11, № 12, Physik, 323-324. [РЖ 1963 6A96].

Опыт проводится при помощи круглой катушки длиной  $\sim 40$  см и диаметром 10 см. Катушка состоит из двух половинок, между которыми имеется узкая щель. Над щелью установлен круглый столик такого размера, что миллиметровая бумага, наклеенная на его краю, дает градусную шкалу. Внутри катушки на двух тонких токопроводящих проводниках подвешивают маятник, представляющий собой четырехугольную рамку с планкой с двумя свинцовыми шариками на концах. Внутри одной половинки катушки помещены также прозрачная шкала и линза, при помощи которых можно получать увеличенное изображение шкалы на экране. Сначала при помощи секундомера определяют период колебаний рамки и рассчитывают момент инерции и коэффициент возвращающего момента. Затем включают ток в цепи катушки и в цепи рамки и по величине отклонения рассчитывают силу, действующую на рамку. Результаты получаются более точными, если нижнюю часть рамки с планкой и шариками заменить толстой медной проволокой и измерять угол отклонения рамки в магнитном поле катушки. Приведены расчетные формулы и результаты измерений.

**Фотоэлектрическое измерение величины  $h/e$ . Новый подход к старой проблеме.** The photoelectric determination of  $h/e$ ; A new approach to an old problem. Knudsen Artur W. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51. № 8, 725-729 (англ.). [РЖ 84 2A97].

Предложенный новый подход к измерению отношения  $h/e$  основан на классической теории Фаулера о частотной зависимости коэффициента фотоэмиссии. Эксперимент предназначен для факультативных лабораторных курсов. Для достижения высокой точности измерения отношения  $h/e$  (до 2-3%), эксперимент должен выполняться очень тщательно. Особое внимание уделяется геометрии расположения электродов в фототрубке. Они могут быть либо строго плоскопараллельными пластинами, либо концентрическими сферами, либо коаксиальными цилиндрами. В описанных опытах применялась специально изготовленная фототрубка с плоскопараллельными электродами. Чистота поверхности и высокий вакуум в трубке должны обеспечивать отсутствие темнового тока и обратных токов с анода фототрубки, а также отсутствие пространственных зарядов между электродами.

**Экспериментальное изучение магнитного взаимодействия токов и определение магнитной потоянной.** Майер Р. В. Пробл. учеб. физ. эксперим. **1998**. № 4. 37-39. Рус. [РЖ 99 1A120].

Предлагается методика экспериментального изучения зависимости силы магнитного взаимодействия проводников с током от величины силы тока с помощью магнитных весов. Экспериментальная установка, состоящая из коромысла, чашечки для гирь, двух обмоток, амперметра и ЛАИРа, позволяет измерить магнитную постоянную с точностью до 10%.

## 6.9. Разное

**Определение фокусного расстояния короткой магнитной линзы.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 59. С. 249.

**Эксперимент, демонстрирующий закон обратных квадратов.** Lufburrow Robert A. Inverse-square law experiment. "Amer. J. Phys.", 1963, 31, № 1, 60-62. [РЖ 1963 6A97].

Обычно в лабораторных экспериментах студенты непосредственно не имеют дела с силами, изменяющимися обратно пропорционально квадрату расстояния. Описан эксперимент, имеющий целью заполнить этот пробел. К короткому плечу неравноплечного рычага длиной 1 м, шарнирно закрепленного в точке, отстоящей на 25 см от конца, прикреплены цилиндрический постоянный магнит и (близ точки опоры) груз весом 50 г; вблизи длинного конца помещен другой груз, перемещаемый вдоль рычага для достижения равновесия. Непосредственно под магнитом закреплен подобный ему магнит, отталкивающий первый магнит кверху. Против длинного конца рычага устанавливается стрелка, фиксирующая равновесное положение. Пользуясь добавочным грузиком в 1 г, подвешиваемым к короткому концу, и изменяя расстояние между магнитами путем смещения вверх или вниз нижнего магнита, можно определять зависимость силы притяжения от расстояния. При достаточном терпении и аккуратности получаются достаточно точные количественные результаты. В качестве побочного результата обнаруживается, что магнитные полюса расположены на некотором расстоянии вглубь от плоскостей оснований магнитов.

**Исследование явления магнитоотрикции.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 55. С. 317. 1973. Р 54. С. 318.

**Волчок в магнитном поле.** Behringer Josef. Kreisel unter dem Einfluss magnetischer Kräfte. "Prax. Naturwiss.", 1965, A 14, № 2, Physik, 41-42 (нем.). [РЖ 65 9A66].

Описывается несколько опытов с намагниченным волчком, демонстрирующих принцип устройства гиромангнитного компаса. В качестве волчка используется подвешенный на нитке шарик для настольного тенниса, на который по трем взаимно перпендикулярным окружностям навиты 1 медная и 2 железных обмотки. Если направить на такой мячик поток воздуха и заставить его вращаться в магнитном поле, мячик всегда будет ориентироваться так, чтобы магнитное поле было перпендикулярно плоскости медной обмотки. Аналогичный опыт можно провести с мячиком, вдоль диаметра которого вмонтирован керамический магнит.

**Установка для проведения опытов с магнитной цепью.** Sprawls Perry, Jr. Apparatus for magnetic circuit experiments. "Amer. J. Phys.", 1966, 34, № 7, 623-624 (англ.). [РЖ67 1A57].

Описывается прибор для лекционных демонстраций и студенческих лабораторных работ, с помощью которого могут изучаться магнитный гистерезис, магнитное насыщение и другие характеристики ферромагнитных материалов. Основу аппарата составляет магнитная цепь из четырех одинаковых кусков железа, в двух из которых сделаны вырезы для замены железа другим (неферромагнитным) материалом и для измерителя магнитного потока. Дается краткое описание отдельных частей установки.

**Использование моделей магнитного вещества в демонстрациях и лабораторных работах.** Shilton A. The use of models of a magnetic substance in demonstration and laboratory work."Phys. Educ.", 1968, 3, № 4, 184-188. [РЖ 1069 6А69].

Описаны различные модели магнитного вещества для демонстрации доменной структуры ферромагнетиков, явлений диамагнетизма и парамагнетизма. Эти модели использованы в лабораторных работах для получения кривой намагничивания и кривой зависимости магнитной индукции от напряженности для различных ферромагнетиков. Для демонстрации таких явлений необходимы большие магнитные взаимодействия, поэтому во всех моделях использовались ферритовые керамические магниты в виде кольца толщиной 12,5 мм с внутренним и внешним диаметрами 12,5 и 31,7 мм соответственно. Эти магниты обладали большим магнитным потоком и непроводящими свойствами, поэтому вихревые токи в сильных магнитных полях не мешали вращению этих магнитов. Направление магнитных моментов показывалось небольшими плексигласовыми стрелками, помещенными внутри колец. Эти кольца, представляющие собой модели доменов, ориентировались в постоянном магнитном поле, создаваемом парой катушек Гельмгольца. Предложена электрическая схема для получения кривой намагничивания, а также для исследования явлений остаточного намагничивания и насыщения.

**К вопросу о постановке лабораторной работы по изучению линейного магнитоотрицательного эффекта с помощью микроинтерферометра Линника – МИИ-4.** Истин С. Г. "Сб. н.-метод. Статей по ф-ке. М-во высш. и ср. спец. образ. СССР", 1968, вып. 1, 74-75. [РЖ 1969 1А87].

Описана установка и порядок проведения лабораторной работы по измерению линейного магнитоотрицательного эффекта. Для измерения приращения длины используется микроинтерферометр Линника. Образец, помещаемый внутрь соленоида, намагничивается, вследствие чего увеличивается его длина. Увеличение длины вызывает перемещение зеркала, укрепленного на держателе образца, что вызывает смещение интерференционной картины. Т. к. смещение интерференционной картины на ширину одной интерференционной полосы соответствует перемещению зеркала на  $\lambda/2$ , то удлинение образца может быть определено по формуле  $\Delta l/l = (\lambda/2) \cdot (n/l)$ , где  $l$  – длина образца.

**Проводник, обтекаемый током в магнитном поле.** Hoffmann Herbert. Der stromdurchflossene Leiter in Magnetfeld. "Prax/ Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 11, 296-299. [РЖ 1971 № 4А85].

Внутри катушек Гельмгольца помещают алюминиевую проволоку, бифилярно подвешенную на двух металлических полосках, соединенных последовательно с источником постоянного напряжения и амперметром. При помощи такой установки можно показать зависимость силы, действующей на проводник, от ве-

личины тока, текущего по проводнику, длины проволоки и индукции магнитного поля. Приведен также вывод формулы, из которой по экспериментальным данным можно рассчитать значение  $\mu_0$ .

**Интерференционное измерение магнитоотрицательности.** Brickmeyer Heinrich. Interferometrische Messung der Magnetostriktion. "Prax/ Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 7, 178-179. [РЖ 1971 № 1А75].

Опыт проводится при помощи интерферометра Майкельсона, одно из зеркал которого помещено на сердечнике электромагнита. Если направить в центр луч лазера и по обмотке электромагнита пропустить постоянный ток, то вследствие магнитоотрицательности изменится длина сердечника и соответственно произойдет изменение интерферограммы. Опыт можно проводить и в том случае, когда к обмотке подведено переменное напряжение. Если амплитуда напряжения настолько велика, что длина образца изменится на  $\lambda/2$ , наступает эффект, подобный стробоскопическому.

**О введении в лабораторный практикум по физике работы "Исследование продольной динамической магнитоотрицательности в ферромагнитных стержнях"**. Волков А. С., Чиненкова С. В. "Тр. учебн. ин-тов связи. М-во связи СССР", 1970, вып. 50, 234-241. [РЖ 1971 № 3А72].

Приводится описание лабораторной работы, содержащее подробное теоретическое введение, порядок выполнения работы. В конце статьи имеются контрольные вопросы по описанной лабораторной работе.

**О введении в лабораторный практикум по физике работы "Исследование продольной динамической магнитоотрицательности в ферромагнитных телах"**. Волков А. С., Чиненкова С. В. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. Спец. Образования СССР", 1972, вып. 2, 71-76. [РЖ 1972 8А54].

Для лабораторного практикума по физике предлагается оригинальная лабораторная работа, заключающаяся в измерении скорости распространения коротких УЗ-импульсов и монохроматических волн в тонких магнитоотрицательных стержнях. Измерение производится с помощью магнитоотрицательной линии задержки, в которой исследуемый образец используется в качестве звукопровода. Полезность введения этой работы в лабораторный практикум обусловлена отсутствием в нем работ по изучению УЗ-волн радиочастотного диапазона и динамических магнитоотрицательных эффектов. Приводится подробное описание лабораторной работы: перечень оборудования, теоретическое введение, описание экспериментальной установки, порядок выполнения работы, контрольные вопросы по работе.

**Экспериментальное доказательство соленоидальности магнитного поля и проверка теоремы Ампера.** Sabaino G., Serrano S., Succi M. Dimostrazione sperimentale della solenoidalita del campo magnetico prodotto da uan corrente e verifica del teorema di Ampere. "G. fis. Soc. Ital. Fis.", 1972, 13, № 2, 130-141 (итал.). [РЖ 73 2А70].

Исходя из того, что в магнитном поле соленоида силовые линии магнитной индукции замкнуты и работа, совершаемая полем, при перемещении пробного элемента вдоль линии магнитной индукции не равна нулю, автор предлагает

схему опыта, доказывающего солениоидальность магнитного поля прямого и постоянного тока и одновременно подтверждающего теорему Ампера: в магнитном поле такого тока помещается северный или южный полюс магнита, после чего показывается, что магнит описал замкнутую линию, приобретая при этом некоторую кинетическую энергию.

**Исследование эффекта Баркгаузена в ферромагнетиках.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1973. Р 56. С. 325.

**Исследование доменной структуры ферромагнитной пленки при помощи магнитооптического эффекта Керра.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1973. Р 57. С. 331.

**Природа магнетизма.** Щеголев Н. Н., Щепилов И. Т. “Изв. Воронеж. гос. пед. ин-та”, 1973, 133, 82-130. [РЖ 73 10А70].

Кратко излагается материал по изучению природы магнетизма на факультативных занятиях. В статье имеются некоторые вопросы, не предусмотренные программой. Материал рассчитан на 10-12 двухчасовых занятий. Порядок распределения материала следующий: 1 Опыт Роуланда-Эйхенвальда; Сила Лорентца; 2. Орбитальный и спиновый магнитные моменты электронов в атоме; гиромангнитные явления; 3. Полная энергия электрона; энергетические уровни; 4. Объяснение диа- и парамагнетизма; 5. Ферромагнетизм; петля гистерезиса; 6. Антиферромагнетизм; ферримагнетизм; ферриты; 7. Магнитные материалы и их характеристики; 8. Область применения магнитных материалов; 9. Магнитная дефектоскопия; понятие о магнитном структурном анализе. Приводятся задачи с решениями.

**Магнитное отталкивание: вводный эксперимент.** Romer Alfred. Magnetic repulsion: an introductory experiment. “Amer. J. Phys.”, 1973, 41, № 12, 1332-1336 (англ.). [РЖ 74 5А80].

Описана методика измерения зависимости силы взаимодействия между полюсовыми магнитами, один из которых закреплен на конце рычага сбалансированных весов, от расстояния между ними. В качестве теоретической модели, описывающей полученную зависимость, студентам предлагается использовать модель взаимодействия магнитных “зарядов” или полюсов. Проверка экспериментальной зависимости проводится в рамках двухполюсной и четырехполюсной моделей, последняя учитывает магнитную индукцию на близких расстояниях. Хотя такие модели не являются корректными, авторы считают их использование в данном случае полезным в качестве примера построения модели в физике.

**Простой эксперимент по определению величины магнитной силы.** Wood Lowell T. Inexpensive magnetic force laboratory experiments. “Amer. J. Phys.”, 1974, 42, № 6, 516-517 (англ.). [РЖ 74 11А115].

Описан простой лабораторный эксперимент по измерению значения магнитной силы, действующей на проводник, помещенный в магнитное поле. Особенностью данного эксперимента является использование большого числа одинаковых проводов для создания магнитного поля, что не требует дорогостоящего источника питания. Измерение величины магнитной силы производится с помо-

щью магнитных крутильных весов. Изложен принцип действия этих весов, описано их устройство. Представлена теория эксперимента и его результаты.

**Экспериментальный вывод основных закономерностей для индукции магнитного поля петли с током – лабораторная работа.** Deriving empirical laws in the lower division physics lab. Magnetic field due to a current loop. Alfrey Anthony J. “Amer. J. Phys.”, **1979**, 47, № 10, 918-919 (англ.). [РЖ 80 6А99].

Описана лабораторная работа, при выполнении которой учащиеся сами должны установить соотношение  $B \sim NI/r$  между магнитной индукцией  $B$ , числом витков  $N$  соленоида радиуса  $r$  и током  $I$ , протекающим через соленоид. Установка представляет собой небольшой вертикальный щиток с укрепленными на нем кольцевыми держателями из немагнитного материала. Кольца держателей расположены концентрически так, что на них можно располагать небольшие катушки (соленоиды), варьируя таким образом  $r$ . По углу отклонения магнитной стрелки компаса и известному значению  $B_{\text{земли}}$  устанавливается зависимость между  $B$ ,  $N$ ,  $I$  и  $r$ .

**Утяжеление проводящей жидкости в магнитном поле.** Годес О. М., Лугченко А. К. “Сб. науч.-метод. статей по физ.” (Москва), **1979**, № 7, 49-52. [РЖ 80 7А96].

Описана лабораторная работа, в которой изучается механическое действие магнитного поля на ток. Для этого рассматривается поведение в магнитном поле проводящей жидкости, по которой течет электрический ток; регистрируется изменение давления жидкости на дно сосуда, что может быть обнаружено по повышению или понижению уровня жидкости в манометре, содержащем ту же жидкость, что и во всем сосуде, но через которую электрический ток не пропускается. Описана экспериментальная установка и методика измерений. В качестве проводящей жидкости предложено использовать сплав галлия (75%), индия (20%) и олова (5%), имеющий температуру плавления  $17^{\circ}\text{C}$ .

**Простой эксперимент по измерению магнитной силы.** A simple magnetic force experiment. Piowaty James M. “Phys. Teach.”, **1980**, 18, № 8, 598-599 (англ.). [РЖ 81 5А66].

Описан учебный эксперимент, в котором измеряется величина магнитной индукции. Тонкая проволока длиной 2 м располагается горизонтально, один конец ее закреплен, другой перекинут через блок и нагружен. Сильный подковообразный магнит помещается таким образом, чтобы центральная часть проволоки находилась между его полюсами. Концы проволоки присоединяются к батарее, при протекании тока проволока отклоняется. Положение проволоки и магнита затем регулируется так, чтобы проволока вновь располагалась между полюсными наконечниками. Сила, действующая на проволоку, может быть найдена из геометрии системы и величины натяжения проволоки. Для определения величины магнитной индукции  $B$  измеряется величина отклонения проволоки  $d$ , ее общая длина  $2L$ , длина полюсных концов  $a$ , расстояние между полюсами магнита  $b$ , величина тока  $I$ . Затем  $B$  рассчитывается по формуле  $B = 2Mgd/IL(a+2/b)$ , где  $g$  – ускорение свободного падения,  $f=2/3$ . Точность полученного результата – порядка 10%.



**Использование электрического маятника при изучении физики.** Electrical pendulum for educational purpose. Wilkening G., Hesse J. "Amer. J. Phys.", **1981**, 49, № 1, 90-91 (англ.). [РЖ 81 6A93].

Предложена конструкция прибора, предназначенного для демонстрации явления магнитной индукции при наблюдении периодических колебаний достаточно низкой частоты. Прибор состоит из двух керамических пластин, намагниченных в направлении, перпендикулярном их плоскостям, и скрепленных с помощью подковообразной скобы. Между полюсами магнита на алюминиевой рамке подвешивается катушка из медной проволоки диаметром 0,1 мм (число витков равно 1200, длина катушки 15 мм, внутренний диаметр 12 мм); высота рамки составляет 250 мм. Период колебаний рамки с катушкой ~1 с. Рамка подвешена с помощью опорных призм; этим обеспечивается минимальное трение в подвесе и связь с электроизмерительной частью установки. Величина индуцируемого напряжения при максимальной амплитуде составляет 100 мВ. Для проведения опытов требуются также *RC*-генератор, самопишущий потенциометр или гальванометр, переменный резистор. С помощью описанного прибора можно изучать свободные и вынужденные колебания, принцип действия генератора и мотора и связанные механические колебания.

**Эксперименты по магнитному отталкиванию.** Experiments on magnetic repulsion. DeFrancesco S., Zanetti V. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 11, 1023-1025 (англ.). [РЖ 84 6A150].

В качестве лабораторной работы для студентов, а также демонстрационных опытов для школьников предложены эксперименты по определению закона взаимодействия между одноименными полюсами цилиндрических постоянных магнитов. Основу экспериментов составляет недорогое оборудование, состоящее из прозрачной цилиндрической трубки и нескольких цилиндрических постоянных магнитов, которые могут свободно перемещаться внутри трубки вдоль ее оси. Предложено несколько способов определения зависимости силы отталкивания от расстояния между полюсами: прямое измерение расстояния при равновесии в поле сил тяжести; измерение резонансной частоты колебаний системы из двух магнитов, помещенной в переменное подмагничивающее поле и т. п.

**Высокочастотные магнитные измерения с использованием небольших индуктивных датчиков.** High-frequency magnetic measurements using small inductive probes. Beiersdorfer Peter, Clothiaux Eugene J. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 11, 1031-1036 (англ.). [РЖ 84 6A152].

Описаны эксперименты с небольшими катушками индуктивности в качестве датчиков переменного магнитного поля, которые могут быть использованы в лабораторном практикуме для студентов. При помощи простых измерительных средств (ВЧ-генератора, усилителя мощности в диапазоне 1–100 МГц для питания катушек Гельмгольца и осциллографа) определяются индуктивность, емкость, сопротивление и эффективная площадь датчика; демонстрируется работа датчика в области резонанса с индуктивным и емкостным возбуждением. Показаны возможности датчика при измерениях проводимости тонких слоев меди и алюминия на основе ослабления магнитного потока токами Фуко.

**Измерение магнитного дипольного момента.** Magnetic dipole moment measurement. Levin Eugene. "Amer. J. Phys.", **1984**, 52, № 3, 248-250 (англ.). [РЖ 84 12A119].

Предлагается методика лабораторной задачи физического практикума для студентов второго курса. Цель работы – экспериментальное определение магнитного момента стрелки компаса, Приобретаются навыки расчета магнитного поля, составления простых программ для обработки с помощью ЭВМ результатов измерений: применение метода наименьших квадратов при оценке наклона линейной зависимости, решение системы линейных уравнений. В ходе работы изготавливается легкий крутильный маятник для измерения малых моментов инерции, производится измерение момента инерции стрелки компаса, полевой зависимости периода колебаний маятника со стрелкой. Осваиваются дополнительные экспериментальные приемы, например использование стробоскопического освещения для измерения периода колебаний. По результатам измерений производится расчет магнитного момента стрелки.

**Переориентация индуктора в поле Земли.** [Измерение геомагнитного поля с помощью переориентации катушки индуктивности]. Recycling the earth inductor. Smith Robert D., Eggert Steven B. "Amer. J. Phys.", **1984**, 52, №3, 279-280 (англ.). [РЖ 84 12A121].

Описана модернизированная лабораторная задача по измерению геомагнитного поля (ГП) с помощью катушки индуктивности (КИ). Исключен баллистический гальванометр. Вместо этого ЭДС, возбуждаемая в КИ при ее повороте на  $180^0$  относительно направления измеряемой составляющей ГП, визуализируется на экране осциллографа. При этом студент непосредственно наблюдает следствия законов Ленца и Фарадея, приобретает навыки работы с осциллографом, осваивает графическое интегрирование при подсчете напряженности поля путем определения площади под кривой зависимости напряжения от времени.

**Определение энергии магнитного поля катушки с током.** Гайдучок Г. М. "Физ. в шк.", **1985**, № 1, 47-48. [РЖ 85 5A124].

Описан учебный опыт, в котором энергия магнитного поля катушки с током определяется как количество выделившейся на активном сопротивлении теплоты при прохождении тока самоиндукции. В качестве сопротивления используется константановая проволока, в качестве измерителя выделившейся теплоты – самодельный "термоскоп", совмещающий калориметр и термометр. Описаны методика проведения демонстрационного эксперимента и работы физического практикума, основанные на этом опыте.

**Потенциальная энергия – лабораторный практикум.** Energy laboratory. Dart S. Leonard. "Amer. J. Phys.", **1985**, 53, № 4, 320-322 (англ.). [РЖ 86 1A145].

Описана серия опытов и лабораторная установка для изучения потенциальной энергии. Установка представляет собой монорельс треугольной призматической формы, на котором перемещается каретка с постоянным магнитом. На краях монорельса расположены сильный постоянный магнит и электронное финишное устройство для точной фиксации момента достижения кареткой конца монорельса. Опыты включают изучение поля постоянного магнита, модель простой потенциальной ямы, модель движения частицы в прямоугольной и парабо-

лической потенциальных ямах, модель связанной частицы. Опыты-анalogии служат улучшению восприятия таких понятий современной физики, как энергия связи в атомах и молекулах, колебательная спектроскопия, ЯМР и т. д., ориентированы на студентов, изучающих вводный курс атомной физики.

**Магнитные силы и цепи.** Magnetic forces and circuits. Benenson R. E., Faffaeke R. "Amer. J. Phys.", 1986, 54, № 6, 525-527 (англ.). Место хранения ГПНТБ СССР. [РЖ 87 3А79].

Предложен эксперимент и создана установка для проверки формулы магнитного напряжения  $B^2/2\mu$  в учебных студенческих лабораториях. Расчет напряжений проводится путем измерения силы, необходимой для раздвигания полюсных наконечников, являющихся частью магнитной цепи, в которую входят также железные сердечники электромагнитов. Индукция магнитного поля  $B$  в воздушном зазоре между полюсными наконечниками определяется с помощью измерителя с холловским датчиком магнитного поля. Эта величина  $B$  служит для оценки магнитной проницаемости ферромагнитных материалов, входящих в состав магнитной цепи. При работе на установке получено хорошее согласие экспериментальных значений магнитных сил с результатами теоретического расчета.

**Модифицирование катушек Гельгольца для магнитного возбуждения небольшого диполя.** Modifying Helmholtz coils to magnetically drive a small dipole. Lucas Paul A. "Amer. J. Phys.", 1986, 54, № 7, 666-667 (англ.). Место хранения ГПНТБ СССР. [РЖ 87 7А115].

Предлагается использовать встречное включение катушек Гельмгольца (КГ) для создания однородного градиента магнитного поля вдоль оси  $z$ , проходящей через их центры. Численные расчеты показали, что градиент магнитного поля оказывается постоянным с точностью около 2% на расстоянии 0,6 размера радиуса КГ вдоль оси  $z$ . Учитывая тот факт, что сила, действующая на магнитный диполь во внешнем магнитном поле пропорциональна градиенту этого поля, модифицированные КГ были использованы для демонстрации и изучения явления вынужденных колебаний. С этой целью небольшой магнит подвешивался на пружинках вертикально вдоль оси КГ, а возбуждение последних осуществлялось от функционального генератора с изменяющейся частотой.

**Магнитострикция.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Венкина В. С. Попова И. И. Лаб. работа 21. С. 158-162.

Изучается зависимость магнитострикции железа, никеля и пермаллоя от величины внешнего магнитного поля, создаваемого соленоидом, внутрь которого и помещается образец. Образцы представляют собой пластины с размерами  $100 \times 10 \times 0,2$  мм<sup>3</sup>. Измерение магнитострикции производится тензометрическим методом. Проволочный тензометр в виде плоской спирали из тонкой нихромовой проволоки диаметром 20 мкм общим сопротивлением 98,6 Ом наклеивается непосредственно на поверхность исследуемого образца. Величина изменения омического сопротивления датчика служит мерой наблюдаемой магнитострикции.

**Магнитные поля, кручение нитей и эффект Зеебека: эксперимент для первого цикла студенческого практикума.** Campos magneticos, torsion de hilos

у efecto Seebeck: un experimento para el primer ciclo. Garcia de abajo J., Tello M. J. "Rev. esp. Fis.", 1987, 1, № 1, 20-23 (исп.; рез. англ.). [РЖ 88 11A116].

Предлагается экспериментальная установка и методика проведения лабораторных работ на ней для студенческого практикума по механике, электромагнетизму и термодинамике. Основу установки составляет оборудование, не требующее больших затрат: крутильные весы, постоянный магнит, соленоиды, миллиамперметр, терморезистор. Производя несложные расчеты с использованием закона Био-Савара-Лапласа и закона Гука, по измеренным значениям угла закручивания нити можно определить: магнитный дипольный момент постоянного магнита, модуль кручения нити и зависимость э. д. с. терморезистора (используется эффект Зеебека) от разности температур контактов. При расчете угла поворота постоянного магнита в магнитном поле кроме поля соленоидов учитывается также горизонтальная составляющая магнитного поля Земли.

**Потенциальная энергия взаимодействия двух магнитных шайб.** Potential energy of interaction for two magnetic pucks. Shelton D. P., Kettner M. E. "Amer. J. Phys.", 1988, 56, № 1, 51-52 (англ.). [РЖ 88 11A101].

Описана методика лабораторного эксперимента по измерению силы  $F$  и потенциальной энергии  $U$  взаимодействия двух магнитных шайб на воздушной подушке в зависимости от расстояния  $x$  между ними. Одна из целей эксперимента – графическая демонстрация взаимосвязи между  $F(x)$  и  $U(x)$ . Отмечается, что для проведения эксперимента удобнее использовать "воздушный" трек, а не столик.

**Измерение магнитостатической силы, действующей со стороны контура с током на участок контура.** Measurement of the magnetostatic force of a current circuit on a part of itself/ Peoglos V. "J. Phys. D." 1988, 21, № 7, 1055-1065. (англ.). [РЖ 89 2A151].

Проведены измерения силы  $F$ , действующей со стороны прямоугольного контура с током на участок контура. Усовершенствование методики эксперимента позволило ограничить величину тока  $I$  в контуре до 1 А, максимально уменьшить магнитогидродинамические и другие эффекты в ртутных контактах подвижного участка с контуром, повысить эффективность теплоотвода. Использование малоинерционных крутильных весов обеспечило повышение чувствительности при измерении силы до  $10^{-9}$  Н. Экспериментальные зависимости  $F(I)$  совпадают в пределах ошибки измерений с результатами расчетов на основе законов Био-Савара-Лапласа и Ампера.

**Электродинамические измерения момента импульса.** Electrodynamic momentum measurements. Graneau P., Graneau P. N. "J. Phys. D." 1988. 21. № 12. С. 1826. (англ.). [РЖ 89 11A103].

Письмо редактору является ответом на статью, опубликованную в журнале (Ptjglos V. "J. Phys. D: Appl. Phys." 1988. 21. С. 1055), в которой подвергаются критике результаты эксперимента, описанного в статье (Graneau P., Graneau P. N. "Nuovo Cim. D." 1986. С. 31). Авторы отмечают, что целью их эксперимента была демонстрация закона сохранения импульса в рамках электродинамики Ампера. Если электродинамический импульс приложен к маятнику, то только часть силы создает импульс. Это зависит от системы подвески маятника и подводящих

проводов. Подчеркивается также, что законы Ампера и Био-Савара-Лоренца говорят о разных силах.

**Устройство для демонстрации свойств магнитного поля:** Пат. 2003180С1 RU, МКИ<sup>5</sup> G 09 В 23/18. Чумаченко А. Д. Брян. технол. ин-т. Чумаченко А. Д. № 4936993/12. Заявл. 17.05.91. Опубл. 15.11.93. Бюлл. № 41-42. [РЖ 94 7А94 П].

Использование: вспомогательное учебное оборудование для постановки лабораторного практикума. Цель: расширение функциональных возможностей. Сущность изобретения: для достижения поставленной цели в устройстве, источник магнитного поля и емкость с жидкостью с помещенным в нее с возможностью плавления на поверхности элемента из магнитного материала, емкость представляет собой цилиндрический сосуд со шкалой на поверхности, соединенный шлангом через клапан с другой такой же емкостью, в которой установлен обратный клапан, а элемент из магнитного материала закреплен на поплавке с диаметром, близким к внутреннему диаметру цилиндра. Положительный эффект: позволяет проводить исследование изменения напряженности магнитного поля с получением количественных характеристик, демонстрирует практическое применение магнитного поля.

**Лабораторная работа “Исследование магнитной цепи”.** Миллер А. Н. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 1998. № 7. 57-61, 99. [РЖ 99 11А129].

Для неэлектрических специальностей техникума в практикуме по общей электротехнике предлагается лабораторная работа по исследованию магнитных цепей. Она позволяет уяснить роль ферромагнитных магнитопроводов в измерительных приборах, трансформаторах, электродвигателях, влияние неферромагнитных зазоров на величину магнитного потока и, как следствие, на массу, размеры и мощность перечисленных устройств.

**Оптические эффекты в тонких магнитных пленках (М).** Ноздрин Ю. Н., Сапожников М. В. *Физика твердого тела: Лабораторный практикум: Учебное пособие.* Т. 2. Физические свойства твердых тел. М., 2001. 389-406. [02.12-18А.192].

В веществе с магнитными свойствами оптические явления можно разделить на две основные группы: фотомангнитные и магнитооптические. Фотомангнитные эффекты проявляются в изменении магнитных свойств вещества под действием падающего света. К ним относятся наведенная фотомангнитная анизотропия, фотомангнитная запись и др. подобные эффекты. Магнитооптические эффекты возникают под влиянием внешнего магнитного поля и спонтанной намагниченности вещества на его оптические свойства. Одно из наиболее известных магнитооптических явлений – эффект Зеемана, заключается в изменении частоты света излучаемого либо поглощаемого атомом, если он помещен во внешнее магнитное поле. В работе предлагается осуществить изучение магнитооптических явлений с помощью эффектов Фарадея и Керра.

**Исследование взаимодействия магнитного поля с электрическим током в учебном физическом эксперименте.** Майоров М. И., Масленникова Л. В. *Учеб. эксперим. в высш. шк.* 1999. № 1. 48-51. [00.03-18А.129].

Описан лабораторный эксперимент и конструкция установки по исследованию взаимодействия магнитного поля с электрическим током. Лабораторная

установка по изучению проводника с током и магнитного поля изготовлена на основе электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы. Основной конструкции является миллиамперметр.

**Эксперименты по ядерному магнитному резонансу в учебном практикуме.** А.С. Ажеганов, Д. А. Горинов, И. В. Измestьев. *ФОВ*. 1999. Т. 5, № 2, 94-102.

**Применение двойного станка Фарадея при изучении электромагнитных явлений.** Дивин Н. П., Яковлева Т. А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2000. № 10. 65-67, 140. [01.02-18А.136].

Приведено описание экспериментальной установки – двойного станка Фарадея. Показано применение этой установки при постановке работ физического практикума “Магнитное поле стационарного тока” и “Изучение явления электромагнитной индукции”.

**О взаимодействии электрических токов.** Ампер А. -М. *Учеб. физ.* 2001. № 5. 9-11, 63. [03.11-18А.167].

Для учебной физики большой интерес представляют фундаментальные эксперименты, выполненные классиками физической науки. Учебные варианты таких экспериментов имеют особое значение, так как позволяют убедительно продемонстрировать существование физических явлений, обосновать определенные зависимости между физическими величинами, определить значения фундаментальных констант. Воспроизводится фрагмент “Электродинамики” Ампера, в котором описан прибор, предназначенный для экспериментального исследования взаимодействия параллельных токов.

**Действие магнитного поля на движущиеся заряды.** Громько Г. Г. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2002. № 15. 47-48, 91. [02.11-18А.146].

Описаны два опыта: 1) перпендикулярно индукции поля постоянного магнита движется металлическая полоска, касаясь неподвижных электродов, которые соединены с зеркальным гальванометром; 2) на магниты установлен плоский сосуд с электролитом, в который погружены два электрода, соединенные с источником тока.

**Магнитный маятник как прибор для физического лабораторного практикума.** Свиридов В. И. *Преподавание физ. в высш. шк.* 2003. № 26. 78-79. [04.12-18А.160].

В физических лабораторных практикумах в школах и в ВУЗах для демонстрации явления индукции обычно используется маятник, выполненный из диамагнитного или парамагнитного материала, например, меди, алюминия или т. п., часть траектории колебаний которого проходит между полюсами магнита. Предлагается включить в лабораторный практикум прибор, который представляет собой маятник, выполненный из ферромагнитного материала. Кроме демонстрации явления индукции (маятник совершает колебания между двумя металлическими алюминиевыми экранами) прибор демонстрирует принцип Кюри. При этом вектор магнитной индукции направлен перпендикулярно плоскостям экранов.

**Введение в основы магнетизма через эксперименты. Часть III.** Mizoguchi T., Anjo K., Okuyama D. *Nihon oyo jiki gakkaiishi = J. Magn. Soc. Jap.* **2004** 28. № 8. 906-912. Яп. [05.01-18A.144].

**О лабораторном исследовании униполярного вращения.** Герасимов С. А., Гороховников С. Л. *Учеб. физ.* **2004.** № 4. 32-37. [05.08-18A.122].

Описан вариант униполярного устройства, демонстрирующего нарушение третьего закона Ньютона в магнитостатике. Представлены результаты измерения величин вращательного момента, действующего на подвижную часть униполярной машины.

**Демонстрация и измерение относительной молекулярной магнитной восприимчивости с помощью неодимового магнита.** Demonstrating and measuring relative molecular magnetic susceptibility using a neodymium magnet. Malerich Charles, Ruff Patricia K, Bird Aubrey. *J. Chem. Educ.* **2004.** № 8. 1155-1160. [05.12-18A.154].

Описан способ демонстрации и измерения силы магнитного поля между неодимовым магнитом и парамагнитными веществами: кристаллогидратами  $MnCl_4$ ,  $FeSO_4$ ,  $CoCl_2$ ,  $NiCl_2$ ,  $CuCl_2$ . Приведены схемы экспериментальной установки и размещения образца, а также дано описание установки.

**Падение магнитного диполя через сплошную и разрезанную проводящую трубу.** Braking of a magnetic dipole moving through whole and cut conducting pipes. Cherkassky Valery S., Knyazev Boris A., Kotelnikov Igor A., Tyutin Alexander A. *Препр./Ин-т ядер. физ. СО РАН.* **2005.** № 31. 1-23. [06.05-18A.150].

В известном демонстрационном опыте, часто сопровождающем лекции по электромагнитной индукции, магнит падает через длинную проводящую трубку. Возникающие в трубке токи Фуко создают тормозящую силу, которая существенно замедляет падение магнита. В работе показано, что тормозящая сила пропорциональна скорости  $v$  при малых скоростях, но уменьшается при возрастании скорости сначала пропорционально  $v^{-1}$ , а затем пропорционально  $v^{-1/2}$ . Обсуждается также влияние продольного разреза на величину тормозящей силы и дано описание экспериментов по измерению тормозящей силы.

**О возможности изучения явления магнитной вязкости в курсе общей физики.** Л. М. Коренкова, Т. Н. Летова. *ФОВ.* **2005.** Т. 11, № 3, с. 119-126.

Статья приурочена к 100-летию со дня рождения профессора Р. В. Телеснина. Предлагается использовать некоторые данные научных исследований Р. В. Телеснина по магнитной вязкости ферромагнитных материалов при преподавании раздела “Вещество в магнитном поле” в курсе общей физики.

**Лабораторная работа “Определение зависимости удельного сопротивления полупроводника от температуры с помощью производных”.** Демидов Е., Климантов М. РГПУ им. А. И. Герцена. С.-Пб-г. ФССО-05, Мат. 8-ой межд. конф. С.-Пб-г, **2005**, с. 290-291.

**Изучение связанных колебаний в лабораторной работе со звуковой картой компьютера.** Моисеев А. И., Муркин Л. П. Самарский гос. аэрокосм. ун-т. ФССО-05, Мат. 8-ой межд. конф. С.-Пб-г, **2005**, с. 572-573.

**Закон Ленца и анализ размерностей.** Lenz's law and dimensional analysis. Pelesko John A., Cesky Michael, Huertas Sharon. *Amer. J. Phys.* **2005**. 73. № 1. 37-39. [06.06-18A.144].

Показано, что время падения магнита в немагнитной металлической трубе можно найти из размерностей. Простой анализ делает эту классическую демонстрацию закона Ленца количественно и качественно доступной студентам с небольшими знаниями по электромагнетизму и элементарными навыками расчетов. Анализ дает новый пример мощности и ограничений метода анализа размерностей.

**Установка для исследования движения магнита в металлической трубе.** Маслов М. Е., Кузнецов А. С., Гребенев И. В. *Структура и свойства твердых тел : Сборник научных трудов учащихся физико-математических классов средних школ г. Нижнего Новгорода, студентов, аспирантов и молодых ученых физического факультета ННГУ и НИФТИ*. Вып. 9. Н. Новгород. **2005**. 27-32. [07.09-18A.144].

Рассмотрены эффекты, возникающие при падении магнита в длинной металлической неферромагнитной трубе и проявляющиеся в замедлении движения, уменьшении скорости и увеличении времени падения. Автоматизированы процессы измерения и повышена их точность, созданы цифровое измерительное устройство и программное обеспечение для обработки результатов измерений.

**О направлении силы Ампера.** Закинян Р. Г., Лавриненко А. В. Левшенков В. Н. *Современные проблемы радиоэлектроники: Материалы 1 Межрегиональной научной конференции, Ростов-на Дону, 2006: Сборник научных трудов*. Вып. 1. Ростов н/Д. **2006**. 68-69. [РЖ 18. Физика Ч. I. 2007. № 1. 18A.90].

Для объяснения силы Ампера, как силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, очень важно подчеркнуть, что в действительности взаимодействуют друг с другом магнитные поля. Внешнее магнитное поле взаимодействует с магнитным полем, создаваемым вокруг проводника с током. Изложенная "полевая" интерпретация силы Ампера ставит ее в один ряд с консервативными силами, и направление действия ее не должно вызывать удивления учащихся.

**Намагниченность ферромагнетика в неоднородном магнитном поле.** Гуцин В. С., Костенко А. П., Мезенин А. А. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования : Сборник научных трудов 4 Российской научно-методической конференции учителей школ и преподавателей вузов, Екатеринбург, 2006*. Екатеринбург, **2006**. 107-112. [07.10-18A.138].

Описан опыт по зависанию тонкого ферромагнитного кольца над магнитом. Дано объяснение необычного взаимодействия сильного магнетика с магнитным полем.

**Взаимодействие магнитного диполя, измеренное пружинными динамометрами.** Castaner R., Medina J. M., Cuesta-Bolao M. J. *Amer. J. Phys.* **2006**. 74. № 6. 510-513. [08.02-18A.126].



**Изучение электромагнитного демпфирования на воздушном треке.** Investigation of magnetic damping on an air track. Xie X., Wang Z.-y., Gu P., Jian Z.-l., Xie Z. *Amer. J. Phys.* **2006.** 74. № 11ю 974-978. [08.09-18A.126].

**Как студент магнитное поле измерял.** Стасенко А. *Квант.* **2007.** № 5. 64-66. [08.08-18A.133].

Рассмотрен метод измерения индукции магнитного поля внутри длинного соленоида, подключенного к источнику переменного тока с регулируемой частотой. Идея эксперимента сводится к измерению амплитуды колебаний заряженного шарика внутри соленоида в электрическом поле, созданном переменным магнитным полем.

**Простая демонстрация магнитного поля тока смещения.** В. В. Майер. *ФОВ.* **2008.** Т. 14, № 4. С. 84-91.

**Лабораторный комплекс ЛКЭ-5 для изучения ферромагнитных явлений студентами технических вузов.** Радченко М. Г.<sup>1</sup>, Радченко Г. С.<sup>2</sup> <sup>1</sup>Ростовский филиал МГТУ гражд. авиации, г. Ростов-на Дону; <sup>2</sup>Пед. ин-т Южного федер. Ун-та, г. Ростов-на Дону.

В работе проводится экспериментальное исследование электрического и магнитного отклика основных элементов электрических цепей.

## Глава 7

### ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

#### 7.1. Определение L-, C-, R-элементов

**Определение коэффициента самоиндукции, емкости конденсатора и коэффициента взаимной индукции через сравнение с эталоном самоиндукции.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 7. С. 231.

**Определение коэффициента самоиндукции катушек по способу Максвелла.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 46. С. 256.

Используется схема моста Уитстона, состоящего из четырех безиндукционных “омических” сопротивлений и двух катушек самоиндукции. В качестве указателя тока используется телефонная трубка.

**Определение коэффициента самоиндукции, емкости и проверка закона Ома для переменного тока.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 47. С. 259.

Катушка с неизвестной самоиндукцией, реостат и амперметр соединяются последовательно. Через эту цепочку можно пропускать как переменный, так и постоянный ток, сила которого измеряется амперметром. Напряжение на катушке измеряется вольтметром. Анализ схемы с помощью законов постоянного и переменного токов приводит к формулам, позволяющим по результатам измерений вычислить интересующие нас величины.

**Определение коэффициента самоиндукции катушек методом вольт-амперметра.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 53 а. С. 216.

**Измерение коэффициента самоиндукции, емкости и проверка закона Ома для переменного тока.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 55. С. 311. 1962. Задача 82. С. 417–422. 1968. Задача 96. С. 167–172.

Активное сопротивление катушки  $R_0$  определяется по результатам измерения силы постоянного тока через катушку и падения напряжения на ней. Полное сопротивление катушки Полное сопротивление катушки  $R_1 = \sqrt{R_0^2 + \omega^2 L^2}$  определяется по результатам измерения силы переменного тока через катушку и падения напряжения на ней. В цепи, содержащей активное сопротивление катушку индуктивности и конденсатор, с помощью электронного осциллографа измеряется сдвиг фаз между током и напряжением на этих элементах и выделяемая мощность – при этом измеряемыми величинами являются длины осей эллипса, наблюдаемого на экране осциллографа.

**Определение сопротивления железных проводов переменному току.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 57. С. 326.

**Измерение модуля полного сопротивления.** Houldin J. E. Measurement of modulus of impedance. "Phys. Educ.", **1968**, 3, № 4, 213-214. [РЖ 1969 6А67].

Описан метод измерения полного сопротивления в широкой области частот. Неизвестное сопротивление, содержащее емкость, индуктивность и активное сопротивление, подключается параллельно к вольтметру. Вольтметр, соединенный последовательно с углеродистым сопротивлением  $R$  и генератором сигнала, показывает на шкале определенное значение. Затем неизвестное сопротивление, модуль которого  $|Z|$ , отключается. К вольтметру параллельно подключается магазин сопротивлений, в котором подыскивается такое сопротивление  $R_1$ , при котором вольтметр показал бы то же значение, что и в первом случае. Найденная в магазине сопротивлений величина  $R$  равна модулю полного сопротивления  $|Z|$ . Это равенство  $R=|Z|$  справедливо только в том случае, когда  $R_1 \gg R$  (например, в 100 раз). Систематическая ошибка метода меньше 1 % даже в том случае, когда полное сопротивление полностью реактивное. Представлена схема соединений и график зависимости  $\log |Z|$  от  $\log (f)$ , где  $f$  – частота сигнала для чисто емкостного, чисто индуктивного сопротивлений, а также для последовательного и параллельного соединенных конденсатора и катушки индуктивности.

**Абсолютный метод определения сопротивления.** Lindsay F. J. V. Absolute method for the determination of resistance. "Phys. Educ.", **1970**, 5, № 6, 372-373. [РЖ 1971 № 4А84].

Обсуждается учебный метод измерения сопротивлений на переменном токе, предложенный Белхамом. В отличие от метода, в котором используется диск Лоренца, данный метод требует меньшего уровня образования учащихся. Описаны параметры конкретной схемы, результаты измерений сопротивлений на разных частотах и указываются возможные источники ошибок.

**Определение емкости конденсатора с помощью пересчетного прибора ПС-100.** Еремин Д. М., Крыхтин В. С. В сб. "Физика". Вып. 5. М. "Высш. школа", **1977**, 44-50. [РЖ 77 8А134].

Описана лабораторная работа по определению емкости конденсатора, в которой используются интегратор тока, преобразующий разрядный ток конденсатора в импульсы, пересчетный прибор ПС-100 с емкостью счета  $10^5$  импульсов, вольтметр, источник тока, эталонный конденсатор. Приведена схема установки.

**Экспериментальное изучение сопротивлений в  $RLC$ -цепи.** Etude experimentale des resistances dans un circuit RLC. Laugier J.-M. "Bull. Union Phys." **1991**, 85, № 738. С. 1357-1368. Фр. [РЖ 92 9А90].

Для определения активного сопротивления в цепи переменного тока при изменении частоты использованы следующие методики: 1) с помощью задающего генератора и переменной емкости  $C$  настраивают контур на резонанс; 2) используют схему генератора электромагнитных колебаний с отрицательным сопротивлением; подбирая  $C$  и  $L$ , получают соответствующую частоту колебаний. Для измерения сопротивления в цепи переменного тока использован анализатор HP 5423 А. Представлена кривая зависимости действительной части сопротивления от частоты. Изменение сопротивления не связано ни с ошибками измерения, ни с приборами, используемыми в электрических схемах, а вызвано явлениями, имеющими место при использовании  $L$  и  $C$  в цепи переменного тока.

**Сопротивление  $R, L, C$ -цепи.** Resistance d'un circuit  $R, L, C$ . Kovacic S. "Bull. Union Phys." **1991**. 85, № 738. С. 1369-1378. Фр. [РЖ 92 9А91].

Описана лабораторная работа по измерению частоты колебаний в  $RLC$ -контуре с использованием генератора с отрицательным сопротивлением и переменной емкости. Приведены таблицы численного значения  $R$  для разных используемых катушек и различных частот колебаний. Рассмотрены возможные источники ошибок измерения. Делается вывод, что изменение сопротивления в зависимости от частоты обусловлено скин-эффектом в катушке.

**Шесть способов измерения индуктивности.** Six ways to measure inductance. Mak S. **2002**. 37. № 5. 439-445. [03.03-18А.160].

## 7.2. Мостовые схемы

**Определение емкости конденсаторов мостиком Соти.** А. П. Соколов. Физический практикум. **1937, 1938**. Задача 45. С. 254.

Мостик Соти для измерения емкости представляет собой обыкновенный мостик, собранный по схеме Кольрауша, в котором вместо известного и неизвестного сопротивлений включены известная и неизвестная емкости. В качестве известной емкости используется магазин емкостей, а измеряемыми емкостями являются два конденсатора в несколько десятых микрофарады.

**Определение емкости конденсатора методом мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. **1949**. Работа 36 б. С. 121.

**Определение коэффициента самоиндукции катушек методом мостика.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. **1949**. Работа 53 б. С. 218.

**Измерение емкости конденсаторов при помощи мостиковой схемы на переменном токе.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. **1953, 1955**. Работа 53. С. 302.

**Измерение коэффициента самоиндукции катушек при помощи мостиковой схемы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. **1953, 1955**. Работа 54. С. 305.

**Измерение емкости конденсаторов при помощи мостовой схемы на переменном токе.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 78. С. 399–401.

**Измерение емкости мостовым методом с учетом утечки в конденсаторах.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 79. С. 402–407.

**Измерение индуктивности катушек при помощи мостовой схемы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 80. С. 407–413. 1968. Задача 94. С. 157-163.

Два плеча мостовой схемы содержат катушку индуктивности и магазин сопротивлений каждый, а два противоположно расположенных плеча представляют собой реохорд со средней точкой. Измерения состоят в поочередной балансировке моста на постоянном и переменном токе, в расчет принимаются значения сопротивлений магазинов, при которых мост уравнивается при одном и том же положении реохорда.

**Определение индуктивности мостовым методом с использованием постоянной емкости.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 81. С. 413–417. 1968. Задача 95. С. 163-167.

Используется четырехплечный мост с гальванометром в одной из его диагоналей. Определяются коэффициенты самоиндукции двух индуктивно связанных катушек, а также общая индуктивность при “прямом” и “обратном” соединении этих катушек, т. е. когда магнитные потоки складываются и когда вычитаются.

**Измерение емкости конденсаторов и коэффициента самоиндукции катушек с помощью мостов переменного тока.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 43. С. 254. 1973. Р 44. С. 269.

**Измерение емкости конденсаторов при помощи мостовой схемы на переменном токе.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 92. С. 150-152.

В два плеча схемы включены конденсаторы, один из них – емкость которого надо определить, другой – магазин емкостей; два других плеча моста представляют собой реохорд.

**Измерение емкости мостовым методом с учетом утечки в конденсаторах.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 93. С. 152-157.

Для учета утечки исследуемого конденсатора в плечо моста с известной емкостью включается переменное сопротивление.

**Определение индуктивности металлического кольца.** Determination of the self-inductance of a metal ring. Mak S. Y., Young K. “Phys. Educ.”, 1986, 21, № 2, 111-115 (англ.). [РЖ 86 10A112].

Предложена схема простого эксперимента по определению индуктивности  $L$  маленьких металлических ферромагнитных колец ( $L \sim 10^{-8}$  Гн) с точностью 10%. Метод основан на измерении разности фаз между э. д. с. индукции и током, наводимым в кольце, которое пронизывает переменный магнитный поток. Установка состоит из соленоида, на который подается сигнал переменного тока частотой 500 Гц, одновитковой измерительной катушки, находящейся внутри соленоида, и осциллографа. На вход “X” осциллографа подается сигнал, пропорциональный току через соленоид, а на вход “Y” – сигнал, наведенный в измерительной катушке. Снимаются осциллограммы в двух случаях: когда внутрь из-

мерительной катушки помещается исследуемое кольцо и без него. По изменению амплитуды и фазы сигнала рассчитывается индуктивность кольца.

**Измерения в цепях переменного тока мостовыми методами.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 25. С. 190-196.

Измеряется емкость конденсатора и сопротивление утечки; коэффициент самоиндукции и активное сопротивление катушки индуктивности; активное сопротивление катушки индуктивности с использованием фазовых соотношений в мостовой схеме

### 7.3. Резонанс в цепи переменного тока

**Изучение явлений электрического резонанса при разрядах лейденской банки.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 10. С. 241.

**Определение емкости, самоиндукции и взаимной индукции методом резонанса.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 58. С. 299-304. 1937, 1938. Задача 50. С. 275.

**Исследование колебаний в простом колебательном контуре при различных условиях.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 56 а. С. 235.

**Резонансные кривые при малом и большом сопротивлении контура.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 57 а. С. 240.

**Определение емкости и коэффициентов самоиндукции методом резонанса.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 57 с. С. 244.

**Изучение собственных электромагнитных колебаний в контуре.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 60. С. 357. 1962. Задача 86. С. 458-467.

**Экспериментальное изучение контуров переменного тока, содержащих сопротивления и емкости.** Грийе, Тьебо (Etude experimentale des circuits a resistances et condensateurs en courant alternative. Grillet Leon, Thiebaunt G.). Bull. Soc. scient. Bretagne. Sci. math., phys. et nature., 1955 (1956), 30, № 1-4, 117-124. [РЖ 1957 № 9 21696].

**Экспериментальное изучение колебательного контура высокой частоты.** Грийе, Годен (Etude experimentale d'un circuit oscillant et haute frequence. Grillet Leon. Gaudin E.). Bull. Soc. scient. Bretagne. Sci. math., phys. et nature., 1955 (1956), 30, № 1-4, 125-128. [РЖ 1957 № 9 21697].

**Применение резонанса напряжения для классификации трансформаторного железа.** Грийе, Пелон (Application de la resonance de tension an classement des toles pour transformateurs. Grillet Leon, Pelon L.), Bull. Soc. scient. Bretagne. Sci. math., phys. et nature., **1955** (1956), 30, № 1-4, 147-148. [РЖ 1957 № 9 21698].

Экспериментальное изучение потерь.

**Лабораторная установка для изучения колебательного контура.** Габович А. А., Гаврилица Э. И. Вестник высш. школы, **1959**, № 9, 75-76. [РЖ 1960 № 5 10245].

Описана конструкция учебного электронного осциллографа с двухканальным электронным коммутатором, работающим на трубке с длительным послесвечением (13ЛО36). Рекомендуются способ запуска, в результате которого на экране получается стабильная осциллограмма затухающих колебаний. В качестве отсчетчика времени применен звуковой генератор ГЗ-1М. При помощи отметок времени рассчитывают период колебаний, по масштабной сетке экрана определяют коэффициент и декремент затухания. Полученные результаты сравнивают с теоретическими значениями, вычисленными по известным формулам.

**Устройство для регистрации резонансных кривых.** Wittmann Josef. Ein Resonanzkurvenschreiber aus Aufbauteilen. "Prax. Naturwiss.," **1961**, A10, № 12, Physik, 328-330. [РЖ 1962 5A71].

**Изучение вынужденных колебаний и явления резонанса в колебательном контуре.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 88. С. 477-483.

**Изучение явлений в колебательном контуре, включенном параллельно источнику электродвижущей силы переменной частоты.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 89. С. 483-490. **1968**. Задача 108. С. 274-280.

**Изучение собственных электромагнитных колебаний в контуре.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1968**. Задача 102. С. 224-232.

Изучаемый контур состоит из последовательно соединенных конденсатора  $C$ , индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$ . Параллельно конденсатору через ключ может подсоединиться источник постоянного тока, а индуктивность с помощью другого ключа может быть отсоединена от схемы. Переключение контактов ключей производится механическим маятниковым приспособлением. Для измерения изучаемой величины – разности потенциалов на конденсаторе – служит баллистический гальванометр, отбросы которого пропорциональны заряду на конденсаторе, а следовательно, при неизменной его емкости пропорциональны разности потенциалов на конденсаторе. Выполняя определенные действия с указанными ключами, можно исследовать собственные колебания с малым затуханием, со значительным затуханием. Результаты опытов представляют в виде графиков, изображающих ход изменения во времени разности потенциалов на пластинах конденсатора. Определяется декремент затухания. Изучается апериодический разряд конденсатора.

**Резонанс токов и собственная емкость длинной катушки.** Kern Manfred. Stromresjnanz und Eigenkapazität bei einer langen Spule. "Prax. Naturwiss", 1968, A17, № 9, "Physik", 242-244 (нем.). [РЖ 69 3А74].

Можно показать, что сопротивление длинной низкоомной катушки прямо пропорционально частоте звукового генератора, если подключить один слой катушки к генератору и измерить зависимость  $I_{эфф}$  и  $U_{эфф}$  от частоты. Если подключить два слоя последовательно, получается резонансная кривая с острым максимумом, что свидетельствует о том, что катушка обладает собственной емкостью, т. е. имеет свойства колебательного контура. Емкость может быть подсчитана по формуле  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , при этом индуктивность двух обмоток рассчитывают, исходя из геометрических размеров катушки. Приведены результаты измерений и расчетов.

**Запись резонансных кривых на осциллографе.** Jordan Jurgen. Darstellung von Resjnanzkurven auf dem Oszillografen. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 9, 225-227. [РЖ 74 2А85].

Напряжение генератора сигналов модулируется по частоте пилообразным напряжением развертки осциллографа, в результате в течение периода развертки имеет место линейная зависимость частоты сигнала от времени. Модулированные таким образом колебания, пройдя через исследуемый четырехполюсник, изменяют свою амплитуду в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой четырехполюсника. Если затем колебания подать на вертикальный вход осциллографа, напряжением развертки которого производилась частотная модуляция колебаний генератора сигналов, то на экране осциллографа получается амплитудно-частотная характеристика устройства (например, резонансная кривая) с ее зеркальным отображением и высокочастотным заполнением между ними. Чтобы наблюдать резонансную кривую в чистом виде, необходимо между резонансным контуром и вертикальным входом осциллографа включить детектор с фильтром. Приводятся соответствующие схемы.

**Изучение фазовых соотношений в резонансных RCL-контурх с помощью двухлучевого осциллографа.** Hurych Zdenek. Study of the phase relationships in resonant RCL circuits using a dual-trace oscilloscope. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 11, 1011-1012 (англ.). [РЖ 76 5А123].

На экране осциллографа одновременно воспроизводятся формы входного и выходного сигналов резонансного контура. Метод позволяет (в отличие от фигур Лиссажу) непосредственно измерять сдвиг фаз и изменение амплитуд. Можно детально исследовать эти изменения при переходе через резонанс.

**Эффекты собственного резонанса в катушках индуктивности и конденсаторах: эксперимент.** Derman Samuel. Self resonant effects in coils and capacitors: an experiment. "Phys. Teacher", 1976, 14, № 6, 362-365 (англ.). [РЖ 77 2А105].

Отмечается, что любой реальный реактивный элемент ( $L$  или  $C$ ) не может быть на 100% емкостным или индуктивным. Каждый конденсатор имеет собственную индуктивность, а каждая катушка индуктивности имеет собственную емкость. С помощью гетеродинного индикатора резонанса можно обнаружить существование собственной резонансной частоты конденсатора с замкнутыми выводами или катушки индуктивности с разомкнутыми концами. Зная частоту собственного резонанса, можно вычислить паразитные реактивности этих компонентов и найти зависимость реактивности от частоты. На частоте выше резонансной реактивность ме-



няет знак, т. е. конденсатор ведет себя как индуктивность, а катушка индуктивности – как емкость. Эти эксперименты могут быть использованы для иллюстрации неидеальности реальных физических компонентов, а также как введение к изучению цепей с распределенными параметрами.

**Резонанс в цепи переменного тока.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. **1987**. Тихонов Ю. В., Штыркова А. П. Лаб. работа 24. С. 178-189.

Изучаются установившиеся вынужденные колебания в цепях переменного тока. Снимаются резонансные кривые последовательного и параллельного контуров, изучаются фазовые соотношения в последовательном контуре, а также зависимость резонансной частоты и добротности контура от емкости конденсатора.

**Резонанс в RLC-цепях с частотной модуляцией.** Circuit RLC-resonance wobulation. Keravec R. Bull. Union phys. **1990**. 84, № 727. С. 1033-1046. [РЖФиз. 1991. Т. 4. Часть I. 4A114].

Представлено описание макета лабораторной установки для изучения с применением электронного осциллографа процессов генерации электрических колебаний в RLC-цепях. Рассмотрены процессы возникновения затухающих и незатухающих колебаний в электрических цепях разного типа и методика изучения взаимосвязи между характеристиками электрических колебаний и параметрами электрических цепей. Установка позволяет исследовать механизм модуляции частоты колебаний посредством изменения электрического напряжения в различных участках цепи.

**Пример параметрического резонанса.** Власов А. И. Преподавание физики в высш. шк. № 19. **2000**. С. 109-113.

**Определение резонансной частоты в электрической цепи переменного тока.** Лобанов В. В., Рукавичников Б. В. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования : Сборник научных трудов 4 Российской научно-методической конференции учителей школ и преподавателей вузов, Екатеринбург, 2006*. Екатеринбург, **2006**. 119-122. [07.10-18A.136].

Изложение предложенного метода содержит описание физических основ, схемы эксперимента и порядка его проведения. Представленные данные могут служить основой для постановки лабораторной работы.

**Изучение необычного колебательного контура.** Митин И. В., Полевой П. В. МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября **2010** г., с. 181-182.

Сообщается о задаче практикума, посвященной изучению вынужденных колебаний в контуре, состоящем из конденсатора и учебного реостата.

## 7.4. Электромагнитная индукция

**Исследование электромагнитной индукции при движении сплошного проводника в магнитном поле.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. **1949**. Работа 52 а. С. 206.

**Исследование электромагнитной индукции при работе электродинамического счетчика постоянного тока.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 52 в. С. 208.

**Экспериментальное исследование зависимости наведенной э. д. с. от скорости пересечения магнитного поля проводником.** Fox Jay A. An experiment on velocity and induced emf. “*Amer. J. Phys.*”, 1965, 33, № 5, 408-410. [РЖ 1965 1A63].

Ряд небольших катушек располагают на определенном расстоянии друг от друга по вертикали. Все катушки подсоединены параллельно к катодному осциллографу. Параллельно линии расположения катушек устанавливают стеклянную трубку, в которой может свободно падать небольшой магнитный брусок. Поскольку квадрат скорости бруска пропорционален высоте, а наводимый в катушке сигнал пропорционален скорости бруска, то квадрат амплитуды импульса от очередной катушки пропорционален ее расстоянию от точки начала падения бруска.

**Исключения из правила о потоке электромагнитной индукции.** Tilley Donald E. Exceptions to the flux rule for electromagnetic induction. “*Amer. J. Phys.*”, 1968, 36, № 5, 458. [РЖ 1969 5A30].

Автор отмечает, что нельзя применять безоговорочно утверждение о том, что э. д. с., индуцируемая в цепи, пропорциональна изменению магнитного потока в цепи. Например, это правило нарушается в тех случаях, когда материал в точках пространства, где находятся токи, изменяется. Сам Фарадей понимал ограниченность “правила потока” и в качестве примера ситуации, в которой существует э. д. с., но нет изменения магнитного потока, предложил “диск Фарадея”. В заметке предложен простой, но поучительный пример противоположной ситуации, когда имеется большое изменение потока, но нет индуцируемой э. д. с.

**Электромагнитная индукция; эксперимент с применением ЭВМ.** Fredrickson J. E., Moreland L. Electromagnetic induction: a computer-assisted experiment. “*Amer. J. Phys.*”, 1972, 40, № 9, 1202-1205 (англ.). [РЖ 73 3A115].

Описан простой лабораторный эксперимент для студентов второго курса физических специальностей, демонстрирующий закон Фарадея. Экспериментальное оборудование состоит из полосового постоянного магнита, закрепленного с помощью пружины в вертикальном положении, и соленоида, соединенного с осциллографом. При колебании магнита вдоль оси соленоида в последнем индуцируется э. д. с., изменение которой отображается в виде функции времени на экране осциллографа. Проведен аналитический вывод уравнения, описывающего изменение э. д. с., и решение этого уравнения с помощью ЭВМ IBM 360 модель 40 и программы APL, сравниваются с решением, полученным экспериментально для тех же параметров; последние представлены в виде осциллограмм. Экспериментальные результаты с точностью 10% совпадают с результатами, полученными расчетным путем.

**Установление соотношения  $V=L(dI/dt)$  непосредственно из эксперимента.** Duffy Richard J., Haber-Schaim Uri. Establishing  $V=L(dI/dt)$  directly from experiment. “*Amer. J. Phys.*”, 1977, 45, № 2, 170-172 (англ.). [РЖ 10A28].

Описана методика лабораторного эксперимента, в котором исследуется связь между напряжением на индукционной катушке и пилообразным током, протекающим через нее. В эксперименте использовались катушка с индуктивностью  $3,9 \text{ мГн}$  и сопротивлением  $1,3 \text{ Ом}$  и последовательно подключенный резистор. Для получения пилообразных колебаний применяли установку, включающую генератор прямоугольных импульсов и операционный усилитель.

**Электромагнитная индукция.** L'induction electromagnetique. Ghazarossian J. "Bull. Union phys.", 1987, 81, № 691, 287-294 (фр.). [РЖ 87 8A140].

Описана методика подготовки и проведения учебных экспериментов по изучению явления электромагнитной индукции (ЭИ). В основе методики лежит выполнение экспериментальной проверки закона ЭИ, т. е. установление связи между э. д. с. ЭИ на выводах катушки и производной тока, подаваемого в нее. Рассматриваются два варианта эксперимента. В первом подают ток симметричной треугольной формы, при этом на экране осциллографа наблюдают э. д. с. ЭИ, имеющую вид прямоугольных импульсов разных знаков с равной высотой. В этом варианте возможно применение стандартной аппаратуры. Более полное и наглядное представление о количественных соотношениях ЭИ дает эксперимент с несимметричным током, при котором амплитуда импульсов э. д. с. ЭИ пропорциональна крутизне тока. Для реализации второго варианта предложено несколько схемных решений с рекомендацией по их выполнению и подбору ИС. Оптимальным решением является применение двух ИС операционных усилителей  $\mu A741$ , один из которых включен по схеме компаратора, второй – по схеме интегратора.

**Прибор для демонстрации электромагнитной индукции** : Пат. 2058049 Россия, МКИ  $G 09 B 23/18$ . Майер Р. В № 5047931/12 ; Заявл. 15.06.92. ; Оpubл. 10.04.96. Бюл. № 10. [РЖ 97 12A176П]

Прибор для демонстрации электромагнитной индукции содержит один привод вращения, одну обмотку, один сердечник, два светодиода, один магнит. Использование данного устройства обеспечивает полноту и наглядность демонстрации возникновения переменной ЭДС в контуре, вращающемся в магнитном поле, позволяет установить равенство между частотой вращения обмотки и частотой ЭДС индукции и связать величину и направление ЭДС со скоростью изменения магнитного потока через контур.

**Экспериментальное наблюдение закона электромагнитной индукции Фарадея.** An experimental observation of Faraday's law of induction. Kingman R., Rowland S., Popescu S. *Amer. J. Phys.* 2002. 70. № 6. 595-598. [03.05-18A.151].

**Исследование явления самоиндукции.** Гуревич Ю. Л., Савченко В. А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2002. № 14. 35-36, 87. [02.10-18A.152].

Предлагается демонстрационно-лабораторная установка, позволяющая исследовать зависимость электродвижущей силы самоиндукции от индуктивности катушки и скорости изменения силы тока.

**Электромагнитная индукция и демпфирование: количественные эксперименты с использованием интерфейса РС.** Elektromagnetic induction and damping: Quantitative experiments using a PC interface. Sing A., Mohapatra, Kumar S. *Amer. J. Phys.* 2002. 70. № 4. 424-427. [03.04-18A.151].

**Эксперимент для объяснения явления самоиндукции.** Молотков Н. Я., Ломакина О. В., Егоров А. А. *Физ. образ. вузах.* **2008.** 14. № 2. 106-113, 143. [09.11-18A.100].

С помощью электронного осциллографа исследованы переходные процессы в электрических цепях, имеющих одинаковое активное сопротивление, но различную индуктивность ( $L=0$ ;  $L\neq 0$ ). Наглядно показано, что в случае замыкания цепи возникает ЭДС самоиндукции  $\mu_{si} < 0$ , а в случае размыкания —  $\mu_{si} > 0$ .

**Условия справедливости закона Фарадея для индукции и его экспериментальное подтверждение.** Conditions for the validity of Faraday's law of induction and their experimental confirmation. Lopez-Ramos A., Menendez J. R., Pique C. *Eur. J. Phys.* **2008.** 29. № 5. 1069-1076. [10.02-18A.108].

## 7.5. Скин-эффект

**Изучение классического скин-эффекта в студенческой лаборатории.** Hansen O. P. Classical skin effect for the undergraduate laboratory. "Phys. Educ.", **1972,** 7, № 2, 100-103 (англ.). [РЖ 72 7A114].

Описан эксперимент, целью которого является изучение зависимости ширины скин-слоя от частоты изменения магнитного поля  $\omega$ . В основе эксперимента лежит теория классического скин-эффекта, когда отношение времени релаксации электронов к периоду переменного поля и длины свободного пробега электронов к величине скин-слоя меньше единицы. Экспериментальная установка состоит из соленоида (С), по которому протекает переменный ток. Внутри С расположена измерительная катушка с металлическим сердечником, положение которого можно изменить. Так как размеры измерительной катушки малы по сравнению с длиной С, то магнитное поле на длине измерительной катушки можно считать однородным. Измерение скин-слоя при некотором значении производится по изменению величины взаимной индукции катушек при вдвинутом и выдвинутом сердечнике. Приведены чертеж, поясняющий устройство установки, электрическая схема эксперимента, графики с результатами измерений.

**Вихревые токи.** Wirbelströme. Ruhbeck Christian. "Prax. Naturwiss. Phys.", **1980,** 29, № 2, 52-57 (нем.). [РЖ 80 8A76].

В проводнике, находящемся в переменном магнитном поле или движущемся в постоянном неоднородном магнитном поле, возникают индукционные токи. Появление этих токов обычно объясняют действием на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, силы Лоренца. Однако методически более предпочтительно для объяснения причин возникновения вихревых токов использовать закон Ленца, сформулированный в следующей форме: система, способная накапливать магнитную энергию, стремится сохранить свое состояние. Описана серия мысленных экспериментов, в которых рассматривается возникновение вихревых токов при движении проводников в постоянных магнитных полях различной конфигурации. Описан также ряд учебных экспериментов, позволяющих наблюдать магнитное поле, обусловленное вихревыми токами. Рассмотрено явление проникновения магнитного поля внутрь проводника.

**Учебный эксперимент по исследованию вихревых токов в проводниках цилиндрического сечения.** Study of eddy currents in a cylindrical wire: an undergraduate laboratory experiment. Gosselin J. R., Rochon P., Gauthier N. "Amer. J. Phys.", **1982**, 50, № 5, 440-443 (англ.). [РЖ 83 1A124].

Описывается оборудование и методика проведения учебного эксперимента по исследованию скин-эффекта в проводниках. Кратко рассматриваются теоретические вопросы и формулируются начальные и граничные условия возникновения скин-эффекта при различной форме проводника и направления магнитного поля. Приводится схема и технические данные экспериментальной установки, основу которой составляют генератор переменного тока и вольтметр с усилителем, обеспечивающие раздельное измерение активной и реактивной составляющей. Даются формулы для вычисления зависимости сопротивления и индуктивности проводника от частоты, а также для определения толщины скин-слоя. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований скин-эффекта в медном проводнике цилиндрического сечения (диаметр  $1,922 \pm 0.003$  мм) при частотах 1–30 кГц.

**Частотная зависимость толщины скин-слоя в металлическом цилиндре.** Frequency dependence of the skin depth in a metal cylinder. Wiederick H. D., Gauthier N. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 2, 175-176 (англ.). [РЖ 83 11A150].

В связи с растущим прикладным значением скин-эффекта рекомендуется уделять большее внимание его изучению в курсе физики. В предлагаемых экспериментах толщина скин-слоя определяется по величине напряжения, индуцируемого в металлическом кольцевом образце при пропускании тока по соленоиду, надеваемому на указанный образец. Результаты опытов с образцами из меди, алюминия и латуни подтверждают установленную теоретически зависимость напряжения от частоты изменения магнитного поля:  $U = \alpha \cdot \nu + \beta \cdot \nu^{1/2}$ . Частота изменяется в пределах  $0 \div 7000$  Гц.

**Замечания об экспериментальном наблюдении скин-эффекта в учебной лаборатории.** Remarks on the skin-effect experiment in an undergraduate laboratory. Ziolkowska E. A., Szydlowski H. "Amer. J. Phys.", **1984**, 52, № 9, 857 (англ.). [РЖ 85 3 A77].

Приведено описание экспериментальной установки, позволяющей наблюдать скин-эффект в учебной лаборатории. Установка состоит из соленоида, генерирующего магнитное поле, и катушки, расположенной коаксиально с соленоидом в его геометрическом центре и выполняющей функцию детектора. Между этими катушками устанавливаются цилиндры из различных материалов и с различными толщинами стенок. Использование двухлучевого осциллографа позволяет измерять одновременно фазовый сдвиг и отношение амплитуд магнитных полей. Этих данных достаточно для вычисления глубины скин-слоя  $\delta$  в зависимости от частоты переменного поля. Оцененное таким образом значение  $\delta$  студенты сравнивают с теоретическим значением.

**Демонстрация скин-эффекта.** A demonstration of skin effect. Ye Shengxiu. "хуачжун шифань дасюэ сюэбао, J. Cent. China Norm. Univ. (natur. Sci.)", **1988**, 22, № 2, 255-256 (кит.; рез. англ.). [РЖ 88 12A149].

**Компьютерная демонстрация скин-эффекта.** Романов Р. В. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 7. 1998. С. 90-91

**Приближение скин-эффекта.** On the skin effect approximation. Glenn S. "Amer. J. Phys.". 1990. 58, № 10. С. 996-1002. Англ. [РЖ 91 10А117].

Представлен простой вывод для приближения классического скин-эффекта в хорошем проводнике произвольной формы. Ясно сформулированы требования, которые необходимо выполнить для того, чтобы приближение было справедливым. В то время как два из этих требований часто высказываются, третье, которое служит ограничением на изменение поля вдоль поверхности проводника, редко упоминается в учебниках промежуточного уровня по электромагнетизму. Требования проиллюстрированы простыми примерами, в которых рассмотрены: плоская электромагнитная волна, падающая на плоскую поверхность проводящего полупространства; бесконечно длинная токнесущая проволока и, наконец, линия тока над плоской поверхностью проводящего полупространства.

**Скин-эффект в цилиндрическом проводнике.** В. И. Козлов. ФОВ. 2002. Т. 8, № 3, 24-26, 108-109. [03.05-18А.149].

Скин-эффект в цилиндрическом проводнике (проводе) можно обнаружить по изменению его активного сопротивления с изменением частоты текущего по нему переменного тока. Однако, это изменение теряется на фоне других факторов, приводящих к увеличению потерь энергии в измерительной схеме. Создана лабораторная работа, в которой активное сопротивление провода находится с помощью специального приема, состоящего в использовании катушки, намотанной в два провода.

**Установление распределения тока в полосковом проводнике.** О. С. Колотов, В. А. Погожев. ФОВ. 2002. Т. 8, № 3, 67-69.

**Эксперимент по определению глубины скин-эффекта и скорости Ферми в металлах.** An experiment to determine the skin depth and Fermi velocity in metals. Singh N. P., Gupta S. C., Sood B. R. *Amer. J. Phys.* 2002. 70. № 8. 845-846. [03. 06-18А.170].

**К методике изучения скин-эффекта в общем курсе физики.** Ю. К. Кабасов, В. О. Филимоненков, М. П. Кагало. ФОВ. 2004. Т. 10, № 1, 39-54.

**Скин-эффект в ферромагнитном цилиндрическом проводнике.** Закиров Р. Р. *Учеб. физ.* 2004. № 2. 38-44. [05.08-18А.123].

Для демонстрации скин-эффекта рекомендуется использовать звуковой генератор и электрически подобные железную и медную проволоки одинаковой длины, которым придана форма бифиляра. Для получения количественных данных в качестве параметра, позволяющего отслеживать состояние скин-эффекта, предлагается использовать его полное внутреннее сопротивление.

**Цикл лабораторных работ (раздел "Электричество и магнетизм"), основанных на эффектах вихревых токов.** Коршаковский С. И., Красненков М. А., Соловьев В. А. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М.* 2004. С. 80-81.

При движении электропроводного тела в постоянном магнитном поле в нем возникают вихревые токи, создающие собственное (вторичное) магнитное поле, измерение и анализ которого дает информацию об электрофизических свойствах движущегося объекта. Физические основы лабораторных работ базируются на создании постоянного магнитного поля (магнитная индукция  $B \sim 10^{-2}$  Тл) в зоне движения (вращения) электропроводного тела и последующего измерения и анализа вторичного магнитного поля вихревых токов. На кафедре физики МИРЭА разработаны следующие лабораторные работы.

1. Измерение скорости движения тела. Определение скорости движения (вращения) тела, имеющего характерную технологическую неоднородность, основано на измерении интервала времени между импульсами величин вторичного магнитного поля вихревых токов.

2. Определение температуры движущегося тела. Измерение температуры основано на анализе магнитного поля, создаваемого вихревыми токами, а также магнитного поля элементов ферромагнетиков, внедренных в тело. При достижении температуры Кюри (превращение ферромагнетика в парамагнетик) магнитное поле резко уменьшается, что дает информацию о температуре тела.

3. Определение механической целостности движущегося тела. Оценка механической целостности (образование и развитие трещин, сколов и т. п.) основана на сравнении магнитного поля вихревых токов кондиционного тела с магнитным полем тела, имеющего характерные механические разрушения.

**Эффект близости в курсе общей физики.** Моисеев А. И., Маркелов А. А. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 140-141.*

Скин-эффект обусловлен перераспределением тока в проводнике под влиянием магнитного поля этого проводника и наблюдается в проводниках при повышенных частотах.

Вихревые токи ответственны и за повышение активного сопротивления проводника на частотах звукового диапазона из-за эффекта близости, обусловленного перераспределением тока в проводнике под влиянием магнитного поля соседних проводников с синфазным током.

**Скин-эффект в ферромагнитном проводнике: прямой показ и количественная интерпретация.** Закиров Р. Р., Латыпов И. И. *Физ. образ в вузах. 2005. 11. № 2. 75-83, 126-127. [06.04-18А.160].*

Предложен простой эксперимент для наблюдения скин-эффекта в ферромагнитном (железном) проводнике, используя низкочастотный (“звуковой”) генератор и электронный вольтметр. Величина внутреннего импеданса провода была выбрана в качестве основного управляющего параметра. Экспериментальные результаты исследования нормализованного внутреннего импеданса как функции переменного тока текущей частоты находятся в полном соответствии с теорией скин-эффекта для случая цилиндрического проводника. Величина магнитной проницаемости может быть немедленно получена из экспериментальных данных.

**Скин-эффект в ферромагнитном проводнике: прямой показ и количественная интерпретация.** Закиров Р. Р. Десятая Всеросс. конф.: “Акт. проблемы. Современ. решения.” Глазов. 2005. С. 17.

Предложен простой эксперимент по наблюдению скин-эффекта в ферромагнитной (железной) проволоке с использованием звукового генератора и электронного вольтметра. В качестве основного контролируемого параметра выбрано полное внутреннее сопротивление. Экспериментальные результаты исследования зависимости приведенного полного внутреннего сопротивления от частоты переменного тока находятся в полном согласии с теорией скин-эффекта для цилиндрического проводника. Величина магнитной проницаемости проводника может быть определена непосредственно из результатов опыта.

## 7.6. Разное

**Определение сдвига фаз между током и напряжением при помощи калориметра.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 48. С. 265.

Внутри калориметра, на внутренней стороне крышки, укреплена катушка самоиндукции, сделанная из толстой медной проволоки (1-1,5 мм в диаметре). К катушке подводится постоянный либо переменный ток. Параллельно катушке присоединяется вольтметр. Для определения количества тепла, выделяющегося в катушке при прохождении через нее переменного тока, предварительно определяется теплоемкость калориметра.

**Закон Ома для цепи переменного тока.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 54 а. С. 221.

**Определение коэффициента мощности однофазного переменного тока при помощи трех приборов.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 54 б. С. 222.

**Исследование переменного тока при помощи катодного осциллографа.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 54 с. С. 224.

**Руководство по лабораторным работам с переменным током.** Калантаров. Перев. с русск. (Indreptar pentru lucrari de laborator in current alter native. Kalantarov P. L. Trad. Din limba rusia. Bucuresti, Ed. Tehn., 1956, 210 p. [РЖ 1957 № 4 8334К].

**Определение индуктивности и коэффициента мощности в цепи переменного тока.** Шрейер (Bestimmung der Wechselstromgrossen “Induktivitat” und “Leistungsfaktor”. Schreier Wolfgang). Math. Und Phys. Schule, 1958, 5, № 7, 396-398. [РЖ 1959 № 1 2439].

Описаны опыты по определению индуктивности и коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) в цепи переменного тока, содержащей катушку самоиндукции без железного сердечника и с сердечниками различной формы (открытый, U-образный и замкнутый). [РЖ 1959 № 1 2439].



**Изучение однофазного трансформатора.** Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. **1960.** Работа 23. С. 84-86.

**Измерение частоты и сдвига фаз методом пылевых фигур.** Groeneveld J. Frequenz- und Phasenwinkelmessungen mit Staubfiguren. "Math. und naturwiss. Unterr.", **1961**, 13, № 10, 465-468. [РЖ 1961 11А98].

Описывается ряд опытов, при помощи которых можно демонстрировать сдвиг по фазе в сети трехфазного тока, измерение малых емкостей, измерение частоты затухающих и незатухающих колебаний и частоты импульсов радиоактивного излучения. Опыты проводятся методом пылевых фигур Гренивельда (РЖФиз, 1960, № 8, 18878).

**Измерение мощности переменного тока и сдвига фаз между током и напряжением.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. **1953, 1955.** Работа 56. С. 317. **1962.** Задача 83. С. 423-325.

**Закон Ома для цепи переменного тока.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 42. С. 250. **1973.** Р 43. С. 265. **1983.** Работа 4.8. С. 312.

В цепи используется катушка самоиндукции с выдвигным сердечником, при перемещении которого измеряется сила тока в цепи последовательно с катушкой соединенных активного сопротивления и конденсатора, а также напряжения, действующие на активном сопротивлении, катушке самоиндукции и конденсаторе. Имеющийся в схеме ваттметр измеряет мощность, выделяемую в катушке самоиндукции. По результатам этих измерений вычисляются коэффициент самоиндукции  $L$  и активное сопротивление  $r_L$  катушки. Значения этих величин представляются графически в зависимости от положения сердечника. Также исследуется резонанс напряжений в цепи переменного тока.

**Проверка некоторых следствий из закона Лапласа с использованием переменного тока.** Zouzelka Jan, Siroka Mirislava. Overeni nekterych dusledku Laplaceova zakona s pouzitim stridaveho proudu. "Acta Univ. palack, olomuc.", **1966**, 21, 205-212 (чешск.). [РЖ 68 10А65].

Описан простой способ определения напряженности магнитного поля проводника, по которому течет переменный ток. Для проведения измерений используются пять кольцевых проводников различного диаметра и соленоид. Рассчитывают напряженность магнитного поля по измеренному напряжению тока, индуцируемого переменным током в малом кольцевом проводнике. Определенная таким образом напряженность магнитного поля сравнивается с вычисленной по формуле закона Лапласа.

**Измерение мощности переменного тока и сдвига фаз между током и напряжением.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1968.** Задача 97. С. 172-181.

Работа выполняется с использованием ваттметра, а также с помощью осциллографа.

**Эксперименты с “прыгающим кольцом”.** Sumner D. J., Thakkrar A. K. Experiments with a ‘jumping ring’ apparatus. “Phys. Educ.”, **1972**, 7, № 4, 238-242 (англ.). [РЖ 72 10А123].

Описана серия лабораторных экспериментов по изучению законов электромагнитной индукции на установке с “прыгающим кольцом”. Установка состоит из сильного электромагнита с выносным вертикальным стержнем, на который свободно насаживаются легкие алюминиевые кольца. В момент включения электромагнита (переменный ток до 8 А, 50 Гц, до 100 В), в кольце индуцируется э. д. с. И оно поднимается по стержню на определенную высоту, которая зависит от величин тока, напряжения, размеров и веса кольца и т. п. Подробно описана методика проведения опытов и различные варианты студенческих лабораторных заданий.

**Сдвиг фазы на конденсаторе.** Seufert Wolfgang. Phasenverschiebung am Kondensator. “Prax. Naturwiss.”, **1972**, Teil 1, 21, № 11, 289-290 (нем.). [РЖ 73 4А101].

Описывается постановка опыта по регистрации сдвига фаз между током и напряжением на конденсаторе с помощью 2-канального самописца с временем установления 0,5 сек. В опыте предлагается использовать генерацию синусоидального напряжения очень низкой частоты вращением плоской катушки в однородном магнитном поле.

**Определение коэффициента трансформации и коэффициента полезного действия трансформатора.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. Под ред. доцента А. П. Максименко. Днепропетровск. **1973**. Работа № 2-15. С. 122.

**Черный ящик с неизвестной схемой для лабораторных занятий.** Bates Harry E. Black box electronic unknown for the scientific instruments laboratory. “Amer. J. Phys.”, **1977**, 45, № 5, 497-498 (англ.). [РЖ 77 10А29].

При обучении студентов работе с различными электронными приборами большую помощь оказывает черный ящик с неизвестной схемой (ВВБУ). Этот ящик может быть использован как для текущих занятий, так и во время экзаменов. Студенты должны, пользуясь лабораторными приборами, определить электрическое состояние двух клемм. Чтобы устранить возможность угадывания студентами, необходима схема с большим количеством вариантов. Автор предлагает схему ВВТУ с 9 возможными состояниями.

**Изучение переменных токов сверхнизкой частоты.** Ebenstein R., Ro A. Enseignement des sciences dans les L.E.P. “Bull. Union phys.”, **1979**, 73, № 616, 1269-1274 (франц.0. [РЖ 80 1А85].

Приведена электрическая схема установки, предназначенной для изучения характеристик переменного тока в курсе общей физики. Частота генерируемого тока находится в интервале 0,008÷20 Гц, что позволяет построить синусоидальную зависимость тока от времени по точкам. Путем плавного изменения частоты в указанных пределах можно выявить тепловую инерцию нити накала электрической лампы, продемонстрировать периодическое воздействие магнитного поля индукционной катушки на магнитную стрелку, изучить процесс выделения продуктов электролиза.

**Исследование сдвига фаз в цепи переменного тока.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 41. С. 236. 1973. Р 42. С. 262. 1983. Работа 4.7. С. 305.

В работе изучается влияние активного сопротивления  $R$ , индуктивности  $L$  и емкости на сдвиг фаз  $\psi$  между током и напряжением в цепи переменного тока частоты  $\Omega$ . Результаты измерений представляются графически – для цепи, содержащей емкость и сопротивление, в координатах  $\sin\psi$  и  $1/\sqrt{1+(\Omega CR)^2}$ , для цепи, содержащей индуктивность и сопротивление, в координатах  $\sin\psi$  и  $1/\sqrt{1+(R/\Omega L)^2}$ , для цепи, содержащей индуктивность, емкость и сопротивление, в координатах  $\sin\psi$  и  $1/\sqrt{1+(R/(\Omega L - 1/\Omega C))^2}$ . Исследуется также зависимость угла  $\psi$  от частоты  $\Omega$ , и также представляется графически.

**Комплексное изучение закона полного тока в физическом практикуме вуза.** Рязанцев О. В., Шульга В. И. Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.”, Томск, 1983. [РЖ 83 8A118].

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование закона полного тока в классической электродинамике с помощью тороидального датчика. Рассмотрены особенности работы датчика в этих условиях.

**Амплитудные и фазовые соотношения в цепях переменного тока.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 23. С. 159-178.

Изучаются изменения амплитуды и фазы напряжения при прохождении переменного тока через простейшие цепи из R-, L- и C-элементов, в частности, RC-цепь, фазовращатель, двойной T-мост.

**Исследование мощности, выделяемой во внешней цепи источника тока.** Badanie mocy wydzielanej w obwodzie zewnetrznym zrodlo pradu. Bogacz Eugeniusz. “Fiz. Szk.”, 1988, 34, № 1, 33036 (пол.). [РЖ 88 9A163].

Предлагается лабораторная работа по теме “Постоянный ток”, цель которой установление линейной зависимости напряжения на внешней нагрузке от тока в цепи ( $U = \varepsilon - ir$ ) при постоянных параметрах источника  $\varepsilon$  и  $r$  (ЭДС и внутреннее сопротивление), которые можно определить непосредственно из графика. По полученным экспериментальным данным предлагается строить зависимость мощности во внешней цепи от сопротивления внешней нагрузки. Зависимость имеет вид кривой с максимумом, приходящимся на значение сопротивления нагрузки, равное сопротивлению источника. Приводятся формулы для расчета погрешности измерений. Даны методические рекомендации по постановке лабораторной работы и использованию приборов.

**Учебный прибор по физике.** Пат. 2018973 RU, МКИ<sup>5</sup> G 09 В 23/08. Лямин А. Е., Лямин В. А., Лямин К. А. и др. Воен. инж.-косм. акад. им. А. Ф. Можайского. № 5029187/12. Заявл. 24.02.92. Оpubл. 30.08.94. Бюл. № 16. [РЖ 95 1A58 П].

Изобретение относится к учебным пособиям по физике. Прибор содержит размещенный в полости электромагнита-соленоида сосуд из токопроводящего материала, частично заполненный ферромагнитной жидкостью, с крышкой из диэлектрика, в направляющих которой установлен токопроводящий стержень, снабженный

возвратной пружинкой с кнопкой и диэлектрическим наконечником, взаимодействующим с жидкостью, а также сигнализатор, соединенный последовательно с источником тока через ключ, стержень и корпус сосуда, что позволяет демонстрировать изменение агрегатного состояния ферромагнитной жидкости под действием магнитного поля.

**Последовательность конденсаторов: лабораторное задание для развития критического осмысления.** Capacitors series: a laboratory activity to promote critical thinking. Noll E. D. , Kowalski L. *Phys. Educ.* **1996.** 31, № 6. 393-396. Англ. [РЖ 97 3А72].

**Два новых эксперимента по электродинамике.** Плесовский А. С. *Пробл. Учеб. физ. эксперим.* **1996.** № 2. 64-66, 106. [РЖ 97 10А152].

Рассматривается эксперимент по явлению самоиндукции на базе электромеханического реле, а также демонстрация когерера Бранли и радиоприемника А. С. Попова.

**Исследование зависимости вращающего момента трехфазного асинхронного двигателя от скольжения.** Преподавание физики в высш. шк. № 12(1). **1998.** С. 81-82.

**Определение спектра сигнала и импеданса электрической цепи.** Авдеев Н. А., Исаев М. С. ФССО. Тезисы докл. Т. 3. **1999.** С. 3-4.

**Изучение фазовых соотношений в цепи переменного тока.** Кудряш А. П., Щелкунова З. В., Щелкунов Н. Г. ФССО-99, С.-Пб-г, **1999.** Тез. Докл. Т. 3, с. 42.

**Цепь переменного тока.** Кравцов В. И. Преподавание физики в высш. шк. № 19. **2000.** С. 98.

**Лабораторный прибор на основе маятника для демонстрации вихревых токов в массивном проводнике.** Свиридов В. И. Преподавание физики в высш. шк. № 19. **2000.** С. 9.

Предлагаемый прибор может быть использован в лабораторном практикуме по физике и электротехнике.

**Электрические измерения скорости света.** An electrical measurement of the speed of Light. Clark G. W. *Am. J. Phys.* **2001.** 69. № 2. 110-112. [02.08-18А173].

**Исследование колебательного контура.** Гильманов Ю. Р., Ермолаева Е. К. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 12. **2001.** С. 24-25.

**Разработка и создание лабораторного комплекса по исследованию синхронного генератора и трехфазных цепей.** Кудринский А. А. *Учебный физический эксперимент и его совершенствование: Научно-методическая конференция, Пенза, 22-24 нояб., 2000 : Межвузовский сборник научных трудов. Пенза. 2002.* 7-9. [03.10-18А.169].

Рассмотрены основные сложности при создании учебных установок для изучения процессов генерирования, передачи и распределения электромагнитной энергии. Приведены схемы лабораторного стенда по изучению устройства и принципа действия синхронного трехфазного генератора и двигателя постоянного тока, авиационного преобразователя тока и демонстрационной установки действующей электрической системы. Перечислены исследования, которые могут быть проведены на этих установках. Кроме физических процессов в трехфазных цепях демонстрационная установка позволяет понять принципы построения высоковольтных линий электропередач (опор высоковольтных линий, подвеса проводов к опорам и построения изоляторов на высоковольтных линиях). Установка демонстрирует принципы распайки высоковольтных линий и построения распаячных опор, принципы построения низковольтных линий электропередач.

**Трансформатор для лабораторных работ физического практикума.** Свиридов В. И. Преп. физики в высш. шк. № 20. Москва. 2002. С.76-78

**Методические аспекты применения основных законов электрических цепей.** И. М. Мухити. ФОВ. 2003. Т. 9, № 1, 70-79.

**Закон Фарадея, закон Ленца и сохранение энергии.** Faraday's law, Lenz's law, and conservation of energy. Wood Lowell T., Rottmann Ray M., Barrera Regina. *Amer. J. Phys.* 2004. 72. № 3. 376-380. [05.11-18A.130].

**Знакомство с трехфазным переменным током в практикуме по общей физике.** Богатина В. Н., Богатин А. С. Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 109-110.

**Лабораторная работа по изучению цепей переменного тока в физическом практикуме.** Богатин А. С., Богатина В. Н., Куропаткина С. А. Совр. физ. пр-м. Сб. трудов IX Межд. учебно-методич. конф. Г. Волгоград. 19-21 сент. 2006. г. 2006. С. 103-104.

**Вариант эксперимента Эрстеда.** A modification of the Oersted experiment. Stoyanov D. G. *Eur. J. Phys.* 2009. 30. № 3. 641-650. [10.09-18A.90].

**Экспериментальное изучение электродвижущей силы, возбуждаемой только механическим движением.** Then John W. Experimental study of the motional electromotive force. "Amer. J. Phys.", 1962, 30, № 6, 411-415 (англ.). [РЖ 63 3А69].

Описаны эксперименты, в которых э. д. с. возбуждается только механическим движением магнитного поля и проводника. Экспериментальная установка позволяла: 1) вращать магнитное поле относительно неподвижного проводника; 2) вращать проводник относительно неподвижного магнитного поля; 3) вращать магнитное поле и проводник вместе, как единую систему. Эти вращения осуществлялись как с однородным, так и с неоднородным полем. Таким образом проверялись условия относительного движения магнитного поля и проводника, необходимые для возбуждения э. д. с. чисто механическим движением. Рассматривается униполярная индукция при наличии однородного или симметричного магнитного поля; особое внимание уделяется вращению неоднородных полей; в последнем случае результаты заметно отличаются от предыдущего случая. Кратко рассмотрены понятия мак-

роструктурного и микроструктурного магнитных полей в применении к описываемым экспериментам. Рассуждения проводятся в пределах экспериментального, более качественного, чем количественного подхода.

**Лабораторный эксперимент с параллельной  $LC$ -цепью, содержащей реальную индуктивность ( $R_L \neq 0$ ).** Harris Ronald W. A laboratory experiment involving a parallel  $LC$  circuit containing a real inductor ( $R_L \neq 0$ ). "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 11, 1653-1656 (англ.). [РЖ 73 4A117].

Проведен теоретический расчет амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристик параллельного  $LC$ -контурa с учетом сопротивления  $R_L$ . При определенных ограничениях на значения параметров получены упрощенные выражения для АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи. Описана постановка эксперимента по измерению АЧХ и ФЧХ параллельного контурa. Полученные экспериментальные характеристики очень хорошо согласуются с рассчитанными по упрощенным формулам. В то же время АЧХ и ФЧХ, рассчитанные без учета сопротивления  $R_L$ , существенно отличаются от экспериментальных. Так, при уменьшении частоты ФЧХ цепи с реальной индуктивностью ( $R_L \neq 0$ ) в отличие от цепи с идеальной индуктивностью ( $R_L = 0$ ) стремится не к  $\pi/2$ , а к нулю. Этот теоретический результат подтвержден экспериментально.

## Глава 8

### РАДИОФИЗИКА

#### 8.1. Колебательные процессы

**Изучение явлений электрического резонанса при разрядах лейденской банки.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 56. С. 289-294.

В цепи контура, содержащего емкость  $C$  и индуктивность  $L$  и сопротивление  $R$ , имеется искровой промежуток. При проскакивании искры возникают электрические колебания, которые могут возбудить колебания в другом, рядом расположенном, контуре. Амплитуда колебаний в этом контуре будет зависеть от разницы между периодами свободных колебаний этих контуров. Задача формулируется так, что нужно измерить величину энергии колебаний вторичного контура для различных значений периода колебаний первичного контура.

**Изучение вынужденных колебаний и явления резонанса в колебательном контуре.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 62. С. 379.

**Изучение явлений в колебательном контуре, включенном параллельно источнику электродвижущей силы переменной частоты.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 63. С. 385.

**Релаксационные колебания в схеме с неоновой лампой.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 65. С. 411.

**Электрические колебания высокой частоты.** Groeneveld Jan. Elektrische Schwingungen im Hobbereich. "Prax. Naturwiss.", 1960, A9, № 8, Phys., 211-212.

Описывается способ регистрации и измерения электрических колебаний высокой частоты при помощи двойных пылевых фигур (РЖФиз, 1960, № 8, 18878). Для получения затухающих электрических колебаний используется колебательный контур, состоящий из индуктивности и емкости, источник напряжения. Для получения незатухающих электрических колебаний используется триод, включенный в электрическую цепь по трехточечной схеме. Из наблюдений колебаний может быть довольно точно рассчитана величина индуктивности  $L$  или емкости  $C$  по известной формуле Томсона  $LC = (4\pi^2 f_1^2)^{-1}$ , где  $f_1 = (n_1/n)f$  – частота колебаний контура,  $n_1$  – количество периодов колебательного контура, совпадающее по времени с  $n$  периодами переменного тока с частотой  $f$ . Приведены электрическая схема, результаты измерений и расчетов и фотографии пылевых фигур.

**Определение емкостей и больших сопротивлений методом релаксационных колебаний.** Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960. Работа 25. С. 89-92.

**Устройство для регистрации резонансных кривых.** Wittmann Josef. Ein Resonanzkurvenschreiber aus Aufbauteilen. "Prax. Naturwiss.", **1961**, A10, № 12, Physik, 328-330. [РЖ 1962 5A71].

**Устройство для регистрации резонансных кривых.** Wittmann Josef. Ein Resonanzkurvenschreiber aus Aufbauteilen. "Prax. Naturwiss.", **1961**, A10, № 12, Physik, 328-330. [РЖ 1962 5A71].

**Измерение частоты и сдвига фаз методом пылевых фигур.** Groeneveld J. Frequenz- und Phasenwinkelmessungen mit Staubfiguren. "Math. und naturwiss. Unterr.", **1961**, 13, № 10, 465-468. [РЖ 1961 11A98].

Описывается ряд опытов, при помощи которых можно демонстрировать сдвиг по фазе в сети трехфазного тока, измерение малых емкостей, измерение частоты затухающих и незатухающих колебаний и частоты импульсов радиоактивного излучения. Опыты проводятся методом пылевых фигур Гренивельда (РЖФиз, 1960, № 8, 18878).

**Гармонический анализ.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 93. С. 524–540. **1968**. Задача 111. С. 306-320.

Исследуются напряжение пилообразной формы и напряжение, имеющее форму прямоугольной симметричной волны. С генератора, выдающего такие напряжения, сигнал подается на анализатор, представляющий собой селективный узкополосный усилитель гармонического напряжения. Период первоначального напряжения разбивается на 12 равных интервалов, для каждого из которых производится измерение амплитуд гармоник. Измеренные значения амплитуд гармоник суммируются для каждого момента времени, что позволяет представить графически сигнал, синтезированный по гармоникам, и сравнить его с первоначальным.

**Релаксационные колебания в схеме с неоновой лампой.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 91. С. 509–517.

**Затухающие электрические колебания.** Stauch Carlo. Die gedampfte elektrische Schwingung all Beispiel fur die exemplarische Methode. "Prax. Naturwiss.", **1963**, A12, № 1, Physik, 15-19. [РЖ 1963 9A50].

Описываются опыты, демонстрирующие зависимость периода затухающих колебаний и логарифмического декремента затухания от омического, емкостного и индуктивного сопротивлений. Опыты проводятся при помощи электронного осциллографа, колебательного контура и двух генераторов релаксационных колебаний. Приведены электрические схемы, выводы уравнений и методические указания к проведению опытов.

**Исследование затухающих колебаний в колебательном контуре при помощи осциллографа.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 39. С. 238. **1973**. Р 40. С. 256. **1983**. Работа 4.5. С. 288.

**Исследование вынужденных колебаний в колебательном контуре.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 40. С. 232. **1973**. Р 41. С. 259. **1983**. Работа 4.6. С. 294.



**Изучение параметрического возбуждения электрических колебаний.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 46. С. 274. 1973. Р 47. С. 287.

**Изучение колебательного разряда при помощи маятника Гельмгольца.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 38. С. 234.

**Исследование фазовых соотношений и резонансных явлений с помощью лампы тлеющего разряда для переменных токов.** Bodocs Istvan. Fasisviszonyok es rezonanciajelensdek vizsgalata kodfenylampakkal valtakoza aramoknal. "Fiz. szemle", 1965, 3 2, 50-51. [РЖ 1966 2A71].

С помощью неоновых лампочек и стробоскопа демонстрируются сдвиги фазы переменного тока на элементах контура, состоящего из емкости, индуктивности и сопротивления. Для этой же цепи демонстрируется явление резонанса напряжения. Описана система коммутации на щитке для подобных демонстраций.

**Исследование затухающих колебаний, возбуждаемых с помощью мульти-вибратора, в контуре, содержащем индуктивность, емкость и сопротивление.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероной. 1968. Задача 103. С. 233-240.

Исследуемые колебания наблюдаются на экране осциллографа.

**Изучение вынужденных колебаний и явления резонанса в колебательном контуре.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероной. 1968. Задача 107. С. 268-274.

Источник электродвижущей силы переменной частоты соединен с простейшим колебательным контуром последовательно. При снятии резонансных кривых напряжение генератора варьируется от 100 до 500 кГц. Полученные результаты всех измерений представляют в виде графиков, безразмерных резонансных кривых, строя зависимости  $(U_0/E_0)^2$  от  $\gamma$ , где  $U_0$  – амплитуда напряжения на конденсаторе,  $E_0$  – амплитуда напряжения генератора,  $\gamma = \omega/\omega_0$ , где, в свою очередь,  $\omega_0$  – резонансная частота,  $\omega$  – частота, на которой производятся измерения. Для каждого контура по этим графикам определяются добротность и декремент затухания.

**Последовательное включение нелинейных элементов в RLC-контуре.** Radnai Julius, Schuster Franz. Reichenschaltung nichtlinearer Elemente in einem RLC-Kreis. "Prax. Naturwiss.", 1968, F17, № 5, 134-137. [РЖ 1968 12A92].

Описывается методика исследования RLC-контура, в котором в качестве нелинейного элемента используется катушка индуктивности с железным сердечником.

**Релаксационные колебания в схеме с неоновой лампой.** Стафийчук Е. А., Кирш И. В., Мартынова С. В. и др. Физический практикум. Раздел III. Электричество. Часть I. Днепропетровский гос. ун-т. Днепропетровск. 1970. С. 71-77.

**Использование метода Фурье для вычисления характеристик RC-контура и сравнение их с экспериментом.** Jones H. W., Walingford J. S. Circuit response using Fourier series with experimental verification. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 4, 507-510. [РЖ 1970 9A93].

Отмечается, что метод Фурье, который является очень эффективным средством при исследовании периодических процессов, до настоящего времени не пользовался популярностью в практике учебного процесса вследствие большой трудоемкости вычислительных работ. Использование вычислительных машин позволяет студентам освоить методы гармонического анализа и проверить их практическую ценность при исследованиях цепей переменного тока. Описана лабораторная работа по вычислению и экспериментальному определению кривой напряжения на конденсаторе  $RC$ -контура при подаче на него периодического прямоугольного сигнала разной частоты. Экспериментальная кривая фотографировалась с экрана осциллографа и сравнивалась с вычисленной для частот 50, 500 и 5000 Гц. Оценивается величина погрешностей и предельное число членов ряда Фурье, которые целесообразно учитывать, исходя из разрешающей способности печатающего устройства вычислительной машины (для данной работы это число оказалось равным 173 для 50 Гц, 17 для 500 и 5000 Гц).

**Лабораторное исследование свободных и вынужденных колебаний с использованием  $RLC$ -цепи.** Luce keung L. Laboratory investigation of free and driven oscillations using  $RLC$ -цепи. "Amer. J. Phys.", 1975, 43. № 7, 610-614 (англ.). [РЖ 76 2A135].

Описывается лабораторная работа для студентов старших курсов, посвященная проверке математической теории свободных и вынужденных колебаний. Все измерения производятся в последовательно параллельной  $RLC$ -цепи, возбуждаемой импульсным генератором при исследовании свободных колебаний или генератором синусоидальных колебаний с низкоомным выходом, когда исследуются вынужденные колебания. Отмечается хорошее согласие результатов измерений с теоретическими расчетами.

**Усовершенствованный вариант лабораторной работы "Изучение затухающих электромагнитных колебаний".** Кириленко Р. В., Магидсон И. А. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. Спец. образования СССР", 1975, вып. 4, 76-79. [РЖ 76 5A124].

Предлагается вариант лабораторной работы по изучению затухающих электромагнитных колебаний, в которой полностью отсутствуют механические элементы и специальные импульсные генераторы. Описанный вариант лабораторной работы имеет ряд преимуществ: 1. Благодаря отсутствию механических элементов значительно упрощается изготовление материальной части лабораторной работы, она становится более компактной; 2. Отпадает необходимость в дополнительных электронных приборах; 3. Студенты могут более полно ознакомиться с возможностями электронной схемы осциллографа и ее работой; 4. Параметры катушки индуктивности и конденсатора контура можно варьировать в широких пределах, необходимо лишь, чтобы собственная частота контура оставалась больше частоты развертки и выполнялось условие  $\lambda \leq 1$  ( $\lambda$  – логарифмический декремент).

**Наблюдение затухающих колебаний и резонанса в  $LCR$ -контуре.** Display of oscillations and resonance in tuned circuits. Beeston J. A. "Phys. Educ.", 1981, 16, № 1, 55-57 (англ.). [РЖ 81 8A118].

Описано лабораторное оборудование и методика проведения экспериментов, в ходе которых изучаются явления затухания колебаний и резонанса в  $LCR$ -контуре. Рассматриваются различные методы ударного возбуждения колебаний в контуре. Обсуждаются результаты учебных экспериментов.

**Лабораторная работа “Изучение спектров Фурье простейших периодических сигналов”.** Мартынюк А. В., Халимонова И. Н. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 10, 107-111. [РЖ 84 5A125].

Приводится описание лабораторной установки для изучения спектра Фурье простейших периодических сигналов.

**Изучение колебаний с помощью “электронного маятника”.** Schwingungslehre mit “elektronischen Pendel”. Hubel Horst. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1984, 33, № 2, 40-49 (нем.). [РЖ 7A97].

Описано устройство колебательной системы (“электронного маятника”) с периодом колебаний в несколько десятков секунд. В системе происходит перезарядка двух конденсаторов через сопротивления с использованием операционных усилителей. Изучается закон изменения во времени напряжений на конденсаторах, измеряемых вольтметром или регистрируемых самописцем. Частота колебаний определяется величинами емкостей и сопротивлений. Изменяя соотношения между ними, можно моделировать свободные затухающие и незатухающие колебания, вынужденные колебания, колебания в связанных системах, а также исследовать условия резонанса.

**Переходные процессы в  $L$ -,  $C$ - и  $R$ -цепях.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Петерсон В. К., Штыркова А. П. Лаб. работа 22. С. 163-169.

Цель работы – изучение характера изменения тока и напряжения в цепях, содержащих разные комбинации  $L$ -,  $C$ - и  $R$ -элементов, при включении и выключении постоянной ЭДС. В частности, изучается процесс перезарядки конденсатора через резистор, затухающие колебания в  $LCR$ -контуре.

**Гармонический анализ.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Попова И. И., Слудский В. Н. Лаб. работа 29. С. 217-221.

Определяются амплитуды и частоты гармоник колебаний сложной формы, которые затем используются для синтеза колебаний, сравниваемых с исходными. В частности, исследуются сигналы прямоугольной, пилообразной и треугольной формы.

**Исследование спектров затухающих колебаний.** Молотков Н. Я. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва). 1989. № 15. С. 75-78. [РЖ 89 12 3A141].

Описано исследование спектров затухающих колебаний в электрическом контуре при различной добротности. Демонстрируется возникновение ЭДС самоиндукции при замыкании и размыкании цепи с помощью герконов. Приведен опыт по наблюдению комбинационных колебаний в нелинейной цепи.

**Резонанс в  $RLC$ -цепях с частотной модуляцией.** Circuit RLC-resonance wobulation. Keravec R. "Bull. Union phys." **1990**. 84, № 727. С. 1033-1046. (Фр.). [РЖ 91 4A114].

Представлено описание макета лабораторной установки для изучения с применением электронного осциллографа процессов генерации электрических колебаний в  $RLC$ -цепях. Рассмотрены процессы возникновения затухающих и незатухающих колебаний в электрических цепях разного типа и методика изучения взаимосвязи между характеристиками электрических колебаний и параметрами электрических цепей. Установка позволяет исследовать механизмы модуляции частоты колебаний посредством изменения электрического напряжения в различных участках цепи.

**Фурье-синтез гармонических составляющих в учебной лаборатории.** Harmonic or Fourier synthesis in the teaching laboratory. Whaite Geoffrey, Wolfe Joe. "Amer. J. Phys." **1990**. 58, № 5. С 481-483. (англ.). [РЖ 91 5A88].

Приводится описание сложного учебного прибора, представляющего собой Фурье-синтезатор, позволяющий из набора синусоидальных гармонических составляющих восстановить данный сложный сигнал. Прибор собран на базе цифровых логических схем и удовлетворяет следующим требованиям: 1) гармонические составляющие стабилизированы по амплитуде, частоте и фазе, значения которых могут регулироваться в широких пределах; 2) искажения гармонических составляющих малы ( $-48$  дБ). Приводится блок-схема прибора и краткое описание элементной базы. Предлагается использовать прибор для демонстрации на занятиях по теории колебаний и музыкальной акустике.

**Новая система самовозбуждающихся колебаний: магнитный маятник с автоматическим переключением магнитного поля.** A new system of self-excited oscillations magnetic pendulum with swing-controlled switch. Chen Zh., Ban J. Hangzhou Univ. Natur. Sci. Ed. **1994**. 21, № 4. С. 395-399. [РЖФиз. 1995-12.A121].

**Методика изучения вынужденных электрических колебаний в лабораторном физическом практикуме.** Шишляникова Л. М. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1995**. № 1. 101-102, 134. Рус. [РЖ 98 1A115].

Для изучения вынужденных электрических колебаний в резонансном контуре изготовлена экспериментальная установка, состоящая из набора колебательных контуров, генератора высокочастотных сигналов и электронного осциллографа.

**Непосредственное наблюдение действия обратной связи в колебательном контуре.** Закиров Р. Р. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1995**. № 1. 62-64, 132. Рус. [РЖ 97 12A168].

При изучении электрических автоколебаний в качестве примера автоколебательной системы учащиеся знакомят с генератором незатухающих колебаний на транзисторе. Для большей наглядности демонстрационных опытов авторы предлагают модифицированный вариант установки. Смысл эксперимента на этой установке состоит в визуальном контроле по осциллограмме реакции контура на имитируемые "случайные первотолчки" при различном характере обратной связи.

**О линеаризации теоретических зависимостей в лабораторной работе общего физического практикума, посвященной изучению последовательного резонансного контура.** Козлов В. И. Терешина И. С. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 181-182.

**Резонанс в контурах с емкостной связью.** Козлов В. И., Штыркова А. П. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 182-183.

**Особенности исследования затухающих электрических колебаний.** Иноземцев В. А., Иноземцева С. В. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 155-156.

**Изучение частотной характеристики импеданса соленоида.** Фискинд Е. Э., Рыльцев Р. Е. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 13. 2001. С. 56-58.

**Автоматизированная лабораторная работа “Резонанс в связанных колебательных контурах”.** Боков П. Ю., Митин И. В., Полевой П. В., Салецкий А. М., Червяков А. В. Современ. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 44-46, 68-69.

**Изучение электромеханического резонанса в лабораторном эксперименте.** Кашыцын А. С., Пронин А. А. *Учеб. физ.* 2004. № 4. 38-41. [05.09-18А.126].

Рассмотрена методика изучения явления электромеханического резонанса в лабораторном эксперименте при использовании типового герметизированного кварцевого резонатора, имеющего высокую добротность (более 40000) и небольшой резонансный интервал. Показано, что реакция кварцевого резонатора на внешнюю электрическую цепь эквивалентна реакции некоторого LC-контура, имеющего индуктивность  $L_K$ , емкость  $C_K$  и сопротивление  $R_K$  (параллельно этой цепи подключена межэлектродная статическая емкость  $C_0$ ).

**Исследование вынужденных колебаний в электрических цепях с помощью ЭВМ.** Красненков М. А., Маслов В. Ю., Матвеева Т. П. Современ. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф. М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 75-76.

**Параметрическое возбуждение электрических колебаний.** Теврюков А. А., Усков В. В. *Физ. образ.ах.* Т. 11. № 3. 2005. С. 38-45.

В статье приводится описание лабораторной работы по исследованию параметрических колебаний в параллельном резонансном контуре с нелинейной индуктивностью.

**Использование измерительного комплекса при изучении “Затухающих электрических колебаний”.** Комаров В. А., Шуркин А. С., Яковлева Т. А. РГПУ им. А. И. Герцена, С.-Пб-г. ФССО-05, Мат 8-ой межд. конф. С.-Пб-г, 2005, с. 306-308.

**Параметрическое возбуждение электрических колебаний.** Теврюков А. А., Усков В. В. *Физ. образ. в вузах.* 2005. 11. № 3. 38-45, 145. [06.03-18А.146].

Колебания в резонансном контуре можно возбуждать разными методами: например, питая контур от внешнего источника, или периодически меняя его параметры. Если периодически изменять емкость конденсатора или самоиндукцию

катушки, входящей в состав колебательного контура, то при определенных условиях в контуре возбуждаются незатухающие электрические колебания. Такой способ возбуждения называется параметрическим, поскольку колебания возникают не под действием внешней ЭДС, а вследствие изменения параметров контура. В статье приводится описание лабораторной работы по исследованию параметрических колебаний в параллельном резонансном контуре с нелинейной индуктивностью. Рассматривается колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных емкости  $C$ , индуктивности  $L$  и сопротивления  $R$ . В силу неизбежных внешних влияний и тепловых флуктуаций в контуре всегда имеют место небольшие колебания с частотой  $\omega_0$ , которая при малых потерях зависит только от реактивных параметров  $L$  и  $C$ .

**Методика изучения переходных процессов при замыкании и размыкании цепи.** Кравцов В. И., Кравцова Т. И. *Математические модели и алгоритмы для имитации физических процессов : Материалы Международной научно-технической конференции, Таганрог, 11-14 сент., 2006.* Т. 2. Моделирование процессов обучения в естественных и гуманитарно-социальных науках. Таганрог. **2006.** 35-37. [07.09-18А.143].

Для проведения работы используется источник ЭДС, катушки индуктивности с сердечником, набор сопротивлений, осциллограф и реле. При замыкании цепи, составленной из последовательно соединенных источника ЭДС, катушки индуктивности и сопротивления, возникает ЭДС самоиндукции, препятствующая, по закону Ленца, изменению тока. Поэтому ток в цепи устанавливается не мгновенно, а в течение конечного промежутка времени. Реле периодически замыкает и размыкает цепь, благодаря чему можно добиться на экране осциллографа неподвижной картины нарастания тока. Приведены последовательности действий при измерении экстратоков замыкания и размыкания.

**Исследование затухающих вынужденных колебаний.** Аймаков Ю.В., Жарков А.М. ФССО-09. Материалы X Междунар. конф. С.-Петербург, **2009.** Т. 1. С. 16-20.

**Изучение необычного колебательного контура.** Митин И. В., Полевой П. В. МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября **2010** г., с. 181-182.

Сообщается о задаче практикума, посвященной изучению вынужденных колебаний в контуре, состоящем из конденсатора и учебного реостата.

## **8.2. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Определение $e/m$**

**Определение отношения заряда электрона к массе методом Дж. Томсона.** А. П. Соколов. Физический практикум. **1926.** Задача 60. С. 308-312.

Определение отношения заряда электрона к его массе  $e/m$  основано на наблюдении величины отклонений движущихся электронов в магнитном и электрическом полях, причем нет необходимости определять скорость электронов. В

т. н. трубке Брауна электрон сначала движется в области существования однородного электрического поля, затем – в области магнитного поля. Измерение отклонений направления движения электрона в этих двух ситуациях от первоначального позволяет определить  $e/m$ .

**Определение скорости и удельного заряда электронов методом скрещенных полей.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 45. С. 164.

**Определение удельного заряда положительных лучей методом параллельных полей.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 46. С. 171.

**Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 67. С. 428.

**К измерению радиуса при определении отношения  $e/m$ .** Мельхер (Zur Radius messung beim Fadenstrahlrohr fur die Bestimmung von  $e/m$ / Melcher Horst), Praxis Phys., Chem., Photogr., 1957, 6, № 3, 72-73.

В дополнение к опубликованной ранее работе Зейса (Seis E., Geiger A. Praxis Phys., Chem., Photogr., 1954, 3, 120) указывается, что измерения радиуса могут быть произведены катетометром или простым визирным прибором, описание которого приводится.

**Измерение  $e/m$ .** Осборн (The measurement of  $e/m$ . Osborn J. M.), School Sci. rev., 1958, 39, № 138, 293-296. [РЖ 1959 № 1 106].

Для измерения отношения  $e/m$  можно использовать телевизионную трубку. Даются технические указания и размеры самодельной установки. Приводятся результаты опыта.

**К измерению отношения  $e/m$  методом Хога.** Сумитро, Правировардойо, Диккинсон (Note on the measurement of  $e/m$  by the Hoag method. Soemitro, Prawirowardojo Susilo, Dickinson W. C.), Amer. J. Phys., 1958, 26, № 5, 316-318. [РЖ 1959 № 1 107].

Приводятся дополнения и замечания к методу определения отношения  $e/m$ , предложенному Хогом и Корфом (Hoag J. B., Korf S. A. Electron and Nuclear physics. D. van Nostrand Co. Inc., Princeton, 1948, p. 32, 38). Описано, как изменится положение пятна на экране в зависимости от изменения магнитного поля, величины электрического поля, относительной длины пластин (пробега) и других факторов, а также оценка ошибки определения  $e/m$  вследствие расхождения между теоретическими и фактическими условиями опыта.

**Применение переменного магнитного поля для определения  $e/m$ .** Иванов Г. А. Уч. Зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. А. И. Герцена. 1958, 197, 215-222. [РЖ 1959 № 12 26458].

Описана лабораторная работа “Определение  $e/m$  методом фокусировки в продольном переменном магнитном поле”.

**К определению  $e/m$  при помощи электроннолучевой трубки.** Шнейдер (Zur  $e/m$ -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr. Schneider Richard). Prax. Naturwiss., **1958**, A7, № 11, Physik, 304-306. [РЖ 1960 № 2 2532].

Рекомендуется способ определения  $e/m$  при помощи электроннолучевой трубки. Исследуется зависимость диаметра ( $D$ ) окружности, по которой движется электрон в магнитном поле, от напряжения между анодом и катодом  $U$  и от величины тока  $I$  в катушках, создающих магнитное поле. Для этого проводят два ряда измерений: измеряют  $D$  при постоянном  $U$  и разных  $I$  и при постоянном  $I$  при разных  $U$ . Из измерений следует, что величины  $c=DI$  и  $C = D^2 I^2 / U^2$  являются постоянными. Известно, что  $D^2 = (4/B_1^2)[2/(e/m)] \cdot (U/I^2)$ , где  $B_1$  – поток индукции, соответствующий току 1 А, отсюда  $(e/m) = (8/CB_1^2)$ . Приведены результаты измерений и расчеты, из которых получилось значение  $e/m=1,785 \cdot 10^{11}$  К/кг.

**К измерению радиуса траектории электронов в электроннолучевой трубке.** Lange Klaus-Eberhard. Zur Messung von  $r$  beim Fadenstrahlrohr. "Prax. Naturwiss.", **1961**, A10, № 10, Physik, 280-281. [РЖ 1962 4A58].

**К определению  $e/m$  при помощи электроннолучевой трубки.** Шнейдер (Zur  $e/m$ -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr. Schneider Richard). Prax. Naturwiss., **1958**, A7, № 11, Physik, 304-306. [РЖ 1960 № 2 2532].

Рекомендуется способ определения  $e/m$  при помощи электроннолучевой трубки. Исследуется зависимость диаметра ( $D$ ) окружности, по которой движется электрон в магнитном поле, от напряжения между анодом и катодом  $U$  и от величины тока  $I$  в катушках, создающих магнитное поле. Для этого проводят два ряда измерений: измеряют  $D$  при постоянном  $U$  и разных  $I$  и при постоянном  $I$  при разных  $U$ . Из измерений следует, что величины  $c=DI$  и  $C = D^2 I^2 / U^2$  являются постоянными. Известно, что  $D^2 = (4/B_1^2)[2/(e/m)] \cdot (U/I^2)$ , где  $B_1$  – поток индукции, соответствующий току 1 А, отсюда  $(e/m) = (8/CB_1^2)$ . Приведены результаты измерений и расчеты, из которых получилось значение  $e/m=1,785 \cdot 10^{11}$  К/кг.

**Видоизмененный метод продольного магнитного поля для определения  $e/m$ .** Миллер (Modified helical method for determining  $e/m$ . Miller Bernhard L.), Amer. J. Phys., **1959**, 27, № 4, 256-259. [РЖ 1960 № 8 18877].

Электроннолучевая трубка помещается в однородное магнитное поле соленоида, питаемого не постоянным током, как это практиковалось ранее, а синусоидальным промышленным током, который подается от трансформатора через сопротивление. Напряжение на концах сопротивления подается на пару пластин для сообщения электронам поперечного импульса. Такое видоизменение приводит к тому, что все электроны пучка будут двигаться по винтовым линиям с одним и тем же радиусом. Проекция этих винтовых линий на плоскость экрана электроннолучевой трубки представляет часть окружности. Путем изменения силы тока в соленоиде можно получить на экране полную окружность. Удельный заряд электрона определяется по формуле  $e/m=2\pi^2 V/B_0^2 l^2$ , где  $V$  – ускоряющий потенциал,  $B_0$  – амплитуда магнитного поля соленоида в момент замыкания окружности,  $l$  – расстояние от центра отклоняющих пластин до экрана. Приво-



дится вывод формулы. Удельный заряд электрона этим способом определяется с ошибкой 2 %.

**Определение  $e/m$  методом Хога.** Миллер ( $e/m$  by the Hoag method. Miller Bernard L.), *Amer. J. Phys.*, **1959**, 27, № 2, 120-121. [РЖ 1959 № 12 26459].

В дополнение к статье Сумитро и др. (РЖФиз, 1959, № 1, 107) и неопубликованному выступлению автора на собрании Американской ассоциации учителей физики в январе 1958 г., обсуждается вопрос об определении расстояния от центра рассеивающей пластины до экрана. Выводится также формула для определения  $e/m$ .

**Определение заряда электрона по эффекту Шоттки.** Крафтмахер Я. А. Изв. вузов. Физика. **1959**, № 3, 172-173.

Заряд электрона определяется по эффекту влияния внешнего электрического поля на работу выхода электрона из металла. Заряд электрона рассчитывается по формуле

$$e = \left[ \frac{kT(\ln i_2 - \ln i_1)}{E_2^{1/2} - E_1^{1/2}} \right]^{3/2},$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура катода,  $i_1$  и  $i_2$  – токи эмиссии при напряженностях внешнего поля  $E_1$  и  $E_2$ . Приведена схема установки, в которой используется электронная лампа с коаксиальными электродами. Анодное напряжение изменяется потенциометром и измеряется вольтметром. Анодный ток измеряется методом компенсации при помощи магазина сопротивлений, нормального элемента и микроамперметра. При расчете можно воспользоваться тем, что приращения логарифма анодного тока равны абсолютным величинам логарифма сопротивления в цепи компенсации. Температура нити определяется по току накала на основании таблиц. Измерения производят быстро друг за другом, чтобы избежать влияния разряда аккумуляторов накала. Точность определения студентами заряда электрона предложенным методом составляет 1-2 %.

**Прибор для определения удельного заряда электрона в практикуме по общей физике.** Гальперн В. В. “Изв. вузов. Физика”, **1960**, № 6, 169-170.

Описан прибор для определения удельного заряда электрона методом Буша. Электроннолучевая трубка 8Л029 помещается внутри соленоида длиной 28 см и диаметром 9 см. Она расположена таким образом, что участок траектории электронов от ускоряющего электрода до экрана находится в центральной части соленоида, вследствие чего неоднородность магнитного поля у краев соленоида не влияет на результаты измерений. В соленоиде применена многослойная обмотка, отдельные слои которой соединены параллельно. Это дает возможность получать больше ампер-витков при данной э. д. с. Батареи аккумуляторов. Ускоряющее напряжение, осуществляющее питание электроннолучевой трубки, прикладывается между соединенными накоротко катодом и модулятором и соединенными накоротко анодами и отклоняющими пластинами. При этом электроны вылетают расходящимся пучком с углом  $\approx 2^\circ - 3^\circ$ , поэтому не требуется специально создавать отклоняющее электрическое поле. При ускоряющем напряжении 300-350 В от обычного кенотронного выпрямителя и э. д. с. аккумуляторной батареи 4,5 – 4,8 В можно проводить измерения, получая последовательно 3 фо-

куировки. Результаты измерений отличаются от табличных не более чем на 2 – 3 %.

**Метод Классена для определения  $e/m$ .** Marcley Robert G. Classen's method  $e/m$  of electrons apparatus. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 1, 26-29. [РЖ 1961 8A80].

Описывается устройство самодельного прибора для определения  $e/m$ , построенного на принципе масс-спектрографа. Прибор состоит из вакуумной трубки, в которой помещены вольфрамовая нить, пластина с двумя щелями и приемник электронов, соединенный с гальванометром. Магнитное поле создается при помощи колец Гельмгольца и составляет величину 60-70 Гс. Величина ускоряющего поля 750-1500 В. Ошибка в определении не превышает 2 %.

**Омегатрон для определения отношения  $e/m$  протона в учебной лаборатории.** Marcley Robert G. Omegatron for undergraduate laboratory determination of the ratio  $e/m$  of the proton. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 2, 90-94. [РЖ 1961 11A106].

Описан простой омегатрон, рассчитанный на регистрацию резонансной частоты протонов, образующихся при электронной бомбардировке водорода в вакуумной камере омегатрона. По резонансной частоте и напряженности магнитного поля рассчитывается  $e/m$  для протонов. Прибор работает на частоте 5 МГц, напряженность магнитного поля 4000 Гс.

**Лабораторные работы по определению заряда электрона.** Крафтмахер Я. А. "Изв. вузов. Физика.", 1961, № 2, 138-142. [РЖ 1961 12A 178].

Описываются электрические схемы и методика определения заряда электрона по дробовому эффекту, на основании изучения распределения термоэлектронов по скоростям и по эффекту Шоттки модуляционным методом.

**Трубка Буша для определения  $e/m$  электрона.** Neker H. V. Bush Tube for determining  $e/m$  for the electron. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 8, 471-475. [РЖ 1962 1A95].

Описывается устройство трубки, при помощи которой отношение заряда электрона к его массе может быть определено с точностью до 0,2-0,3 %. Одновременно при проведении опыта может быть определена напряженность магнитного поля Земли.

**Метод экспериментального определения скорости электронов.** Skorsky G. Eine Method zur experimentellen Bestimmung der Elektronenschwindigkeit. "Math. Und naturwiss. Unterr.", 1961-1962, 14, № 4, 176. [РЖ 1962 2A97].

Для определения скорости электронов используется электроннолучевая трубка, в которой при помощи катушки, обтекаемой током, и пары отклоняющих пластин могут быть созданы взаимно-перпендикулярные магнитное и электрическое поля. Регулируя ток или напряжение между пластинами, можно добиться того, чтобы электронный луч не отклонялся. В этом случае  $eE=Ve$  и скорость электронов может быть определена из уравнения  $v=E/B$ . Погрешность определения скорости электронов указанным методом ~15 %.

**Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 61. С. 308–311.

**Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 94. С. 540–543. 1968. Задача 112. С. 321-324.

Сущность метода магнетрона заключается в том. Что электронная лампа с коаксиальными цилиндрическими катодом и анодом – в данной лабораторной работе диод 2Ц2С – помещается в аксиальное магнитное поле. Поле создается питаемым постоянным током соленоидом. Этот соленоид надевается на баллон электронной лампы, и направление напряженности магнитного поля совпадает с осью симметрии лампы, вдоль которой расположен подогревный катод. В отсутствие магнитного поля электроны, вылетающие с поверхности катода, движутся на анод прямо по радиусам. После включения постоянного тока в соленоид его магнитное поле начинает действовать на электроны и отклонять их перпендикулярно к направлению вектора скорости электронов в каждый данный момент времени. Под действием отклоняющей силы траектория электронов становится криволинейной, оканчивающейся на аноде лампы. При определенном соотношении между их скоростью и значением вектора магнитного поля электроны совсем перестают достигать анода и анодный ток в лампе прекращается. Зная геометрию магнетрона, т.е. радиусы его цилиндрических катода и анода, величину анодного напряжения и напряженность критического значения напряженности магнитного поля, при котором прекратился анодный ток, можно вычислить и величину отношения заряда электрона  $e$  к его массе  $m$ .

**Определение удельного заряда электрона при помощи электронной лампы.** Burmeister Rolf. Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons mit einer Elektronenrohre. "Math., Phys. Schule", 1962, A9, № 11, 861-864. [РЖ 1963 3A73].

Удельный заряд электрона определяется при помощи электронной лампы со стержневым катодом и цилиндрическим анодом. Лампу помещают внутрь катушки, обтекаемой током. Для регулирования напряженности магнитного поля в цепь катушки вводят переменное сопротивление. В отсутствие магнитного поля электроны в лампе движутся по прямым линиям. Если включить ток в цепи катушки, то сила, действующая на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, искривляет траекторию электронов. При увеличении напряженности магнитного поля электроны вовсе не попадают на анод, а образуют электронное облачко, препятствующее дальнейшей эмиссии. Измерения сводятся к снятию сбросовой анодной характеристики при увеличении тока в катушке при постоянном анодном напряжении. Удельный заряд электрона рассчитывают по уравнению  $e/m = 2U_A/r^2 \mu_0 2H^2$ , где  $U_A$  – анодное напряжение,  $r$  – радиус окружности, по которой движется электрон, равный  $b/2$ , где  $b$  – расстояние между анодом и катодом,  $H$  – магнитное поле, при котором электроны не достигают анода. Так как вследствие теплового движения скорости электронов не одинаковы, анодный ток не прекращается сразу, а падает постепенно, поэтому значение тока в катушке  $I_0$ , которому соответствует  $H_0$ , определяется по первому перегибу характеристики. Кроме того, для учета экранирующего действия корпуса лампы вводится

поправочный коэффициент, т. е.  $H_{крит.} = 0,73 H_0$ . Приведены методика измерений и расчеты.

**Измерение удельного заряда электрона (отношение заряда электрона к его массе).** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 33. С. 195. 1973. Р 36. С. 230. 1983. Работа 4.3. С. 273.

Основной частью установки является электронный осциллограф С1-1, трубка которого вынута и установлена в соленоиде, создающем магнитное поле, направленное вдоль ее оси. К отклоняющим пластинам трубки прикладывается небольшое переменное напряжение. Угол  $\alpha$  отклонения пучка от оси трубки, таким образом, зависит от времени, и на экране трубки электроны прочерчивают светящуюся линию. При увеличении магнитного поля линия на экране осциллографа сокращается, постепенно стягиваясь в точку, а затем снова удлиняется. Измерение индукции магнитного поля, при котором происходит описанная фокусировка электронного пучка, и позволяет определить отношение заряда электрона  $e$  к его массе  $m$ .

**Два новых опыта с электронными трубками фирмы Leybold.** Skorsky G. Zwei neue Versuche mit dem LEYBOLD-Fadenstrahlrohr. "Leybold-Welle", 1965, 6, № 22, 1-7 (нем.). [РЖ 65 8A73].

1. Определение скорости электронов, основанное на том, что во взаимно-перпендикулярных электрическом и магнитном полях электрон движется равномерно и прямолинейно, если силы  $eE$  и  $Bve$  равны по величине и направлены в противоположные стороны. При проведении опыта трубку, на отклоняющие пластины которой подано напряжение, помещают в однородное магнитное поле, созданное парой колец, обтекаемых током. Сначала электронный пучок отклоняют электрическим полем, а затем включают магнитное поле и изменяют его величину до тех пор, пока луч не вернется в первоначальное положение. При этом  $v = E/B$ . Приведены результаты измерений, хорошо совпадающие с измерениями скорости обычным способом по формуле  $v = \sqrt{2(e/m)V_b}$ , где  $V_b$  – ускоряющая разность потенциалов. 2. Определение  $e/m$  по Бушу. Электронную трубку помещают в магнитное поле так, чтобы скорость электрона составила некоторый угол с направлением индукции магнитного поля. При этом электрон движется по винтовой линии. Если на отклоняющие пластины подать переменное напряжение, на экране возникнет прямая линия. При увеличении магнитного поля она поворачивается и становится короче, пока не стянется в точку. Тогда  $e/m$  определяют по формуле  $e/m = 8\pi^2 V_b B^2 l^2$ , где  $V_b$  – ускоряющая разность потенциалов,  $B$  – индукция магнитного поля,  $l$  – расстояние между отклоняющими пластинами и экраном. Теорию опыта см. в книге Шредера "Атомная физика в опытах" (Schroder H., Atomphysik in Versuchen. Verlag Vieweg u. Sohn, Braunschweig).

**Определение удельного заряда электрона с помощью магнетрона.** Мажара В. П. "Изв. высш. уч. зав. Физика". 1965, № 2, 169-170. [РЖ 1965 9A71].

Для определения удельного заряда электрона в лабораторном практикуме по курсу физики предлагается применять современные маломощные непакетные магнетроны, т. к. магнетрон имеет для этой цели преимущество по сравнению с электронной лампой, а именно: по достижении критического значения индукции

магнитного поля, в которое помещается магнетрон или электронная лампа, анодный ток в случае магнетрона гораздо круче спадает, чем в случае электронной лампы, и поэтому значительно точнее можно определить критическое значение индукции магнитного поля, а следовательно, и удельный заряд электрона. Из многократно проведенного эксперимента получено значение  $e/m = (1,76 \pm 0,01) \cdot 10^{11}$  К/кг. Кратко описаны также технические и методические стороны эксперимента.

**Определение отношения  $e/m$ .** Ulbricht Heinz.  $e/m$  Bestimmung. "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 6, "Physik", 161-164. [РЖ 1966 2A70].

Предлагается простой метод определения отношения  $e/m$ , который можно осуществить в школьных лабораториях. Лампа-индикатор настройки (т. н. "магический глаз") дает обычно на аноде светящееся кольцо с небольшим темным сектором. Границы темного сектора прямолинейны, т. к. электроны, излученные центральным катодом, летят по радиусу. Если лампу-индикатор поместить в магнитное поле, направленное вдоль корпуса лампы, т. е. перпендикулярно направлению полета электронов, то границы темного сектора будут представлять собой дуги с радиусом кривизны  $R$ . Для определения  $R$  рекомендуется иметь набор бумажных шаблонов. Искомое отношение определяется из уравнения  $e/m = 2U/b^2R^2$ , где  $U$  – напряжение ускорения электронов,  $B$  – магнитная индукция. Точность определения  $e/m$  при тщательном проведении опыта может достигать 2 %.

**Учебная лабораторная установка для измерения отношения  $e/m$  в зависимости от скорости.** I. Bartlett A. A., Correll Malcolm. An undergraduate laboratory apparatus for measuring  $e/m$  as a function of velocity. I. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 4, 327-339 (англ.). [РЖ 65 10A89].

Описана конструкция установки для измерения отношения  $e/m$  электронов как функции скорости. Установка предназначена для проведения лабораторных работ студентами старших курсов. Источником  $\beta$ -частиц служит препарат  $\text{Sr}^{90}$  или  $\text{Cs}^{137}$  активностью 10 мкюри. Для выделения электронов заданного импульса и заданной скорости используется магнитный анализатор и анализатор со скрещенными электрическим и магнитным полями. В обоих анализаторах использован один и тот же магнит. Для регистрации электронов используются Г.-М.- или полупроводниковый счетчики. Подробно описана программа проведения экспериментов.

**Измерение удельного заряда электрона методами Томсона и Буша-Вольфа.** Posoisil Jaroslav, Zahejsky Jiri. Mereni specifickeho naboje elektronu Thomsonovou a Bush-Wolfovou metodou. "Acta Univ. palack. olomuc.". 1966, 21, 195-204. [РЖ 1968 10A61].

Подробно изложены теоретические основы определения отношения заряда электрона к его массе методами Томсона и Буша-Вольфа. Описан прибор, с помощью которого можно в физическом практикуме вуза выполнить работу по определению удельного заряда электрона этими методами. Приведены результаты определения удельного заряда с помощью этого прибора и дается сравнение их с табличными значениями.

**Определение  $e/m$  на медленных электронах при помощи фотоэлементов.** Wolf Lothar.  $e/m$ -Bestimmung an langsamen Elektronen in Photozellen. "Prax.Naturwiss.", 1966, A 15, № 1, "Physik", 8-11. [РЖ66 8A88].

Описывается метод определения  $e/m$  при помощи вакуумного фотоэлемента, помещенного в однородное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. На фотоэлемент, соединенный с амперметром, направляют пучок света и измеряют ток насыщения. Затем включают ток в катушках, при этом фототок уменьшается. Магнитное поле отклоняет электроны, и они не достигают анода. Чем больше анодное напряжение, тем сильнее должно быть отклоняющее магнитное поле. Для более полного исследования этих явлений используют микроамперметр, соединенный с измерительным усилителем, и строят график зависимости фототока  $I_m$  от тока в катушках  $I_z$ . По графику методом экстраполяции определяют величину  $I_m$ , при которой электроны, имеющие среднюю скорость, не достигают анода, и рассчитывают  $e/m$  по формуле  $e/m = 2U_a / \mu_0^2 r^2 H^2$ , где  $U_a$  анодное напряжение,  $r$  – радиус кривизны траектории электрона,  $H$  – напряженность магнитного поля. Приведены методические указания к расчету величин, входящих в формулу, и результаты измерений.

**Некоторые лабораторные работы с обычной электронно-лучевой трубкой.** Norlind Nils. Nagra laborationer med ett enkelt katodstraleror. "Elementa." 1967, 50, № 4, 283-290. [РЖ 1968 №6A88].

Описаны следующие опыты: изучение отклонения луча в катодно-лучевой трубке, измерение емкостей, изучение взаимодействия между электрическими зарядами и измерение напряжения на конденсаторе, калориметрическое определение силы тока, изучение электромагнитных сил.

**Дальнейшая модификации эксперимента по определению  $e/m$ .** Ficken George W., Jr. Further modification of  $e/m$  experiment. "Amer. J. Phys.", 1967, 35, № 10, 968. [РЖ 1968 7A101].

Указывается, что метод, впервые описанный в журнале в 1960 г. (РЖФиз. 1961, 9A55) и применяемый в течение ряда лет автором, заключающийся в нагреве нити лампы для определения  $e/m$  фирмы Welch, имеет ряд преимуществ по сравнению с методом, описанном в заметке, опубликованной в феврале 1967 г. (РЖФиз. 1967, 10A119). В заметке описано применение переменного тока вместо постоянного, но переменный ток приводит к малой интенсивности пучка. В экспериментах автора было применено выходное напряжение трансформатора, соединенного с простым полупроводниковым выпрямителем, использующим кремниевый диод. Ток накала регулируется 2,3 Ом сопротивлением. Такая схема сохраняет преимущества как постоянного, так и переменного тока.

**Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 75. С. 59-62.

**Определение отношения  $e/m$  с помощью прибора фирмы Leybold.** Martinez Achaval Cezar. Medicion de la relacion carga/mase del electron con el aparato Leybold. "Rev. Fac. Cienc. Exactas, fis. Y nature. Univ. nac. Cordoba", 1968, 29, № 3-4. 31-43. [РЖ 1970 № 6A80].

Описан простой метод определения  $e/m$ -отношения для электрона путем измерения радиуса кривизны тонкого пучка электронов в однородном магнитном поле.

**Измерение отношения заряда электрона к его массе с помощью лампы Брауна.** Rzeszowsky Ryszard. Pomiar stosunku ładunku elektronu do jego masy przy użyciu lampy Brauna. "Fiz. szkole", **1970**, 16, № 4, 33-34. [РЖ 1971 № 4A81].

Описана методика выполнения работы по экспериментальному определению величины удельного заряда электрона с помощью осциллографической трубки, помещенной в однородное магнитное поле катушки с током. Выведена расчетная формула для определения удельного заряда электрона.

**Критическая оценка последней модели учебного прибора для определения  $e/m$ .** Guernsey Janet B., Haynes Sherwood K. Apparatus to measure  $e/m$ , on evaluation. "Phys. Teacher", **1971**, 9, № 9, 538-541. [РЖ 1972 5A42].

Описаны результаты проверки, испытаний и оценки новой модели прибора фирмы Klingler KA6010 для учебных опытов по определению отношения  $e/m$  электрона. Для определения  $e/m$  в приборе измеряются радиусы траекторий заряженных частиц в газовом разряде при одновременном воздействии электрического и магнитного полей. Отмечается, что новая модель имеет ряд недостатков методического и конструктивного характера. Вследствие этого основной принцип эксперимента недостаточно понятен учащимся, а измеряемые значения  $e/m$  значительно больше действительных. Сделан вывод о необходимости доработки прибора и даны соответствующие рекомендации по устранению отмеченных недостатков.

**Измерение удельного заряда электрона магнетронным методом.** Stch Frantisek, Pospisil Jaroslav. Merení merneho naboje elektronu magnetronovou metodou. "Acta Univ. palack. Olomuc. Fac. Rerum nature.", **1971**, 33, 207-216 (чеш.; рез. рус, англ.). [РЖ 73 11A71].

Описана лабораторная работа физического практикума вуза по измерению удельного заряда электрона магнетронным методом. Приведен вывод формулы, описан прибор и представлены результаты измерений.

**Непосредственное определение скорости электрона и отношения  $e/m$ .** Voit Fritz. Die direkte Messung der Elektronengeschwindigkeit und eine  $e/m$  Bestimmung. "Prax. Naturwiss." **1972**, Teil 1, 21, 3 1, 1-5. [РЖ 1972 № 6A88].

В трубке, выпускаемой фирмой NEVA, имеются 2 отклоняющие пластины, к которым подводится ВЧ-напряжение. Впереди пластин имеются ширмы с небольшими отверстиями, а в конце трубки – люминесцирующий экран. Электроны проходят через 2 ширмы, 2 отклоняющие пластины и попадают на экран лишь в том случае, если расстояние между двумя пластинами электроны проходят через целое число полупериодов ВЧ-напряжения, приложенного к пластинам, и в момент прохождения электронов через пластины ВЧ-напряжение равно нулю. По частоте колебаний генератора и расстоянию между пластинами определяют скорость электрона. При известной скорости электрона можно легко определить  $e/m$ , если приложить ко вторым отклоняющим пластинам известное постоянное напряжение и измерить смещение пятна на люминесцирующем

экране по сравнению со случаем отсутствия отклоняющего напряжения. Соответствующие расчетные формулы приводятся.

**Эксперимент по измерению отношения  $e/m$  с использованием магнитного поля плоской катушки.** Reynolds James M. An  $e/m$  experiment employing the magnetic field of a flat circular coil. "Amer. J. Phys.", 1972, 10, № 2, 347-348 (англ.). [РЖ 72 8A60].

Описан эксперимент для студенческого практикума по измерению  $e/m$ -отношения для электронов. Использована плоская круглая магнитная катушка, для которой расчеты магнитного поля очень просты и могут быть сделаны с необходимой точностью на основе закона Био-Савара.

**Уточненный эксперимент Томсона по определению  $e/m$ .** Glascock Michael, Sparlin D. M. Thomson's  $e/m$  experiment revisited. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 11, 1663-1668 (англ.). [РЖ 73 4A120].

Рассмотрена теория эксперимента Томсона по определению  $e/m$  для электронов без ограничения на однородность магнитного поля и малые углы отклонения электронов. Дается описание экспериментальной установки и методика измерения. Исследуется влияние различных систематических ошибок на результаты измерений с использованием модельных расчетов на небольшом компьютере.

**Определение элементарного заряда электрохимическим способом.** Квашнин Е. Б. В сб. "Методика и техн. физ. эксперимента". Вып. 3. Саратов, 1975, 24-25. [РЖ 75 8A84].

При проведении опытов по определению элементарного заряда электрохимическим способом предлагается массу меди, откладывающуюся на катоде, определять путем взвешивания катода, находящегося в подвешенном состоянии в растворе медного купороса, до пропуска и после пропуска тока. Это позволяет сократить время опыта и избавиться от погрешностей, вызванных очисткой и осушкой катода после каждого опыта.

**Магнетронный метод определения заряда электрона.** Płowiec Krzysztof, Tratkiewicz Tomasz. Magnetrónowa metoda wyznaczania ładunku właściwego dla elektronu. "Fiz. Szk.", 1975, 21, № 3, 42-49 (польск.). [РЖ 76 1A110].

Описан метод измерения заряда электрона с помощью простой установки, состоящей из вакуумного диода, источника однородного магнитного поля, источника постоянного тока регулируемого напряжения, амперметра. Рассмотрены теоретические основы метода, приведены параметры деталей установки, даны советы по монтажу аппаратуры и проведению измерений, а также рассмотрены вопросы обработки результатов измерений.

**Определение  $e/m$  электрона методом Буша.** Voit Fritz. Die Busch-Methode zur Bestimmung von  $e/m$  für Elektronen. "Prax. Naturwiss.", 1975, 24, № 7, 171-174 (нем.). [РЖ 76 2A129].

Предложена модификация метода Буша для определения удельного заряда электрона. Приведены схема установки, способ юстировки и методика работы. При использовании типичного учебного оборудования получено значение  $e/m=(1,4-1,7) \cdot 10^{11}$  А·сек/кг.



**Измерение удельного заряда электрона методом компенсации отклонений в однородном магнитном и электрическом полях.** Длужневский Г. И. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1975, № 5, 146-148. [РЖ 75 11А92].

В электронно-лучевой трубке можно добиться взаимной компенсации отклонений луча электрическим полем отклоняющих пластин и магнитным полем Земли. Выведено соотношение, определяющее условие такой компенсации

$$e/m = \frac{2}{U_0} \left[ \frac{U \cdot l}{Bd(L+l)} \right]^{-2},$$

где  $e/m$  – удельный заряд электрона,  $U_0$  – анодное напряжение трубки,  $U/d$  – напряженность электрического поля между отклоняющими пластинами. Кратко описан держатель трубки, позволяющий придавать ей нужное положение в поле Земли. Работу рекомендуется выполнять во время лабораторного практикума по физике.

**Определение  $e/m$  по методу Буша.** Uffrecht Ulrich.  $e/m$ -Bestimmung nach der Methode von Busch. “Math. Und naturwiss. Unterr.”, 1976, 29, № 3, 162-163 (нем.). [РЖ 76 10А113].

Описывается лабораторная работа по определению  $e/m$  электрона методом Буша. На электронно-лучевую трубку с парой отклоняющих пластин накладывается однородное аксиальное магнитное поле. При определенном соотношении напряженности магнитного поля и амплитуды синусоидального напряжения, поданного на пластины, на экране трубки наблюдается светящееся пятно. Показано, как из полученного соотношения можно определить  $e/m$  электрона.

**Методические заметки по постановке лабораторной работы “Определение удельного заряда электрона методом магнетрона”.** Петров О. С. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1976, № 4, 79-88. [РЖ 76 10А114].

Обсуждена довольно распространенная принципиальная ошибка, допускаемая при постановке лабораторной работы “Определение удельного заряда электрона методом магнетрона”, а именно, использование, за неимением диода, ламп со многими сетками, закороченными на катод. Показано, что в этом случае экспериментальное значение удельного заряда, определяемое по известной формуле, становится функцией анодного напряжения. При этом, начиная с некоторого анодного напряжения, называемого критическим, зависимость от анодного напряжения становится линейной. Поэтому, увеличивая анодное напряжение, можно получить для удельного заряда значение, в несколько раз превышающее табличное. Табличное же значение может быть получено лишь при одном единственном значении анодного напряжения. Однако именно это значение лежит в области напряжений, где используемая расчетная формула является неприменимой, поэтому такая постановка работы является чистой подгонкой результата под табличное значение.

**Об определении удельного заряда электрона методом магнетрона.** Найденов В. А. В сб. “Физика”. Вып. 5. М., “Высш. школа”, 1977, 38-40. [РЖ 77 8А142].

Описывается лабораторная работа по определению  $e/m$  электрона, позволяющая визуализировать движение электронных пучков в скрещенных электрическом и магнитном полях магнетрона.

**О неточностях, допускаемых в учебниках при изложении метода Буша определения удельного заряда электрона.** Петров О. С. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1977, № 9, 20-25. [РЖ 78 2А80].

В 1922 г. Буш предложил метод магнитной фокусировки для определения удельного заряда электрона (“Phys. Lett.”, 1922, 23, 438). В современном физическом практикуме вузов этот метод применяется в несколько измененном виде, что связано с появлением электронно-лучевых трубок с отклоняющими пластинами, расположенными за последним анодом. Однако, в учебниках, описывающих этот модифицированный вариант, приводятся рассуждения, справедливые лишь для первоначального варианта метода Буша и несправедливые в модифицированном варианте. Обсуждаются неточности изложения самого метода и описания картины, наблюдаемой на экране электронно-лучевой трубки.

**Определение удельного заряда электрона.** Минеев М. Р., Димитров Е. И. Определење специфичнија заряд на електрона. “Физика” (НРБ), 1978, 3, № 1, 26-28 (болг.). [РЖ 78 11А103].

Для определения удельного заряда электрона по методу его отклонения при движении в электрическом и магнитном полях предлагается воспользоваться электронно-лучевой трубкой и катушкой Гельмгольца для получения однородного магнитного поля. Даны советы по изготовлению катушки и проведению опыта. Приведены расчетные формулы для вычисления магнитной индукции на оси катушки, а также удельного заряда электрона по данным измерений.

**Способ определения кинетической энергии электронов.** Verfahren zur Bestimmung der kinetischen Elektronenenergie. Pleul Dieter, Schumann Wolfgang, Heeger Adolf, Dorschner Helmut. ПАТ. 207772, ГДР, Заявл. 04.06.82, № 2404535, опубл. 14.03.84. МКИ G 01 T 1/29. [РЖ 85 7А102 П].

Способ основан на измерении отклонения электронного пучка силой Лоренца в однородном магнитном поле ограниченной протяженности с вектором индукции, перпендикулярным вектору скорости электронов. Угол отклонения пучка связан с импульсом электронов и интегралом от индукции магнитного поля, характеризующим степень его однородности. Импульс электронов выражается через искомую кинетическую энергию (с учетом релятивистских поправок), а интеграл неоднородности магнитного поля определяется экспериментально путем измерения силы, действующей в том же магнитном поле на проводник с током известной величины. Для измерения указанной силы сконструированы специальные весы. Метод позволяет определять кинетическую энергию электронного пучка на выходе ускорителя в диапазоне 0,4–3 МэВ с погрешностью менее 4%.

**Измерение заряда электрона по дробовому эффекту.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.2. С. 266.

Прохождение электрического тока через вакуумную лампу связано с движением электронов, испускаемых накаливаемым катодом движущихся к аноду под действием электрического поля. Прохождение электрического тока не является поэтому непрерывным процессом. Ток состоит из наложения кратковременных импульсов, возникающих при прохождении отдельных электронов. Эти импульсы случайным образом распределены во времени, вследствие чего электрический ток флуктуирует. При этом на средний – постоянный – ток накладывается флуктуационный

шум. Наличие в токе шумовой составляющей, связанной с дискретностью заряда электрона, носит название *дробового эффекта Шоттки*. Флуктуации анодного тока – при заданной его величине – пропорциональны заряду электрона, поэтому, исследуя их, можно измерить заряд электрона. Это измерение является целью данной работы.

**Измерение удельного заряда электрона по вольтамперной характеристике ненасыщенного вакуумного диода.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. **1983**. Работа 4.4. С. 283.

В работе исследуется зависимость прямого тока, проходящего через вакуумный диод, от напряжения на нем (положительная ветвь вольтамперной характеристики). Наибольший физический интерес представляет та область положительных напряжений на диоде, в которой пространственный заряд (электронное облако) существенно влияет на распределение электрического поля между катодом и анодом. В этой области ток диода меньше тока эмиссии катода из-за того, что электрическое поле пространственного заряда препятствует движению электронов, испущенных катодом, и часть их возвращается на катод. В этом случае величина тока пропорциональна напряжению на диоде в степени  $3/2$ :  $I \sim U^{3/2}$  (“закон трех вторых”). Коэффициент пропорциональности в этой формуле зависит от удельного заряда электрона (от отношения заряда электрона к его массе). Цель работы состоит в измерении удельного заряда электрона из вольтамперной характеристики диода в области, описываемой “законом трех вторых”.

**Выполнение в больших учебных лабораториях экспериментов по измерению отношения  $e/m$  электрона.** Instrumenting an  $e/m$  experiment for use in large enrollment courses. Peterson F. C. “Amer. J. Phys.”, **1983**, 51, № 4, 320-322 (англ.). [РЖ 83 11A157].

На физическом факультете университета штата Айова (США) в учебной лаборатории для данного эксперимента смонтированы 12 установок, достаточно простых, надежных и безопасных, на которых одновременно работают 24 студента; в течение учебного года эксперимент выполняют около 2000 человек. Даны подробные описания схем, элементов и блоков источников питания, а также спецификация всех используемых элементов. Приведено подробное методическое описание проведения эксперимента и мер, обеспечивающих как безопасность студентов, так и надежность установок.

**К определению отношения  $e/m$  – дальнейшие попытки по разделению труда при групповом обучении.** Zur Bestimmung von  $e/m$  – ein weiterer Versuch auch für den arbeitsteiligen Gruppenunterricht. Rode Michael. “Prax. Naturwiss. Phys.”, **1983**, 32, № 6, 191-193 (нем.). [РЖ 83 12A105].

Приведен теоретический вывод отношения заряда электрона к его массе  $e/m$ . Описана установка для измерения  $e/m$  и приведены экспериментальные результаты. Ошибка в определении искомой величины составляет 8,8% по сравнению с литературными данными. Отмечаются преимущества предлагаемой экспериментальной установки для использования при групповом методе обучения.

**Электронно-лучевая трубка с тонким пучком как прибор для самостоятельной учебно-исследовательской работы студентов.** The fine-beam cath-

**oderay tube and the observant and enquiring student.** P. 8. Webb Johnle P. “Phys. Teach.”, 1985. 23, № 5, 277-282 (англ.). [РЖ 86 1A133].

Описана учебно-исследовательская работа по определению  $e/m$  электрона с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), основанная на расщеплении пучка и фокусировании его в нарастающем аксиально-однородном магнитном поле. Приводятся расчетные формулы для обработки результатов эксперимента. Описан качественный демонстрационный эксперимент для объяснения принципа определения величины  $e/m$ . С помощью изучения работы ЭЛТ и принципов управления траекторией электронов с помощью поперечного однородного магнитного поля рассматривается принцип работы синхротрона, явления тормозного излучения и излучения движущегося электрона в магнитном поле, возникновение синхротронного излучения.

**Определение удельного заряда электрона.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Попова И. И. Лаб. работа 8. С. 55-59.

Экспериментально определяется удельный заряд электрона  $e/m$  двумя методами. Первый основан на использовании закона Богуславского-Ленгмюра или закона “трех вторых”. Во втором, так называемом “методе магнетрона”, рассматривается движение электронов в пересекающихся однородном магнитном и радиальном электрическом полях.

**Определение отношения  $e/m$  при помощи трубки Бэйнбриджа. Поменьше чисел – побольше физики.** Determining  $e/m$  with a Bainbridge tube: Less data? More physics. Thompson William J. “Amer. J. Phys.” 1990. 58, 3 10. С. 1019-1020. Англ. [РЖ 91 10A169].

Описывается модернизированный метод измерения удельного заряда электрона по известному радиусу орбиты в присутствии внешних электрического и магнитного полей (также известных). В основе предлагаемого метода запись известной формулы Бэйнбриджа в линеаризованном виде. В этом случае графическая зависимость тока от величины, обратной радиусу орбиты, представляет собой прямую линию, наклон которой (угловой коэффициент) дает искомую величину, а точка пересечения с осью ординат – значение магнитного поля. Приводятся соображения по увеличению точности предлагаемого метода, а также соображения по его практической реализации.

**Эксперименты по определению отношения  $e/m_e$ .** Low cost measuring aid:  $e/m_e$  experiment. Trainer Matthew. Meas. Sci. And Technol. 1993. 4, № 11. С. 1297-1298. Англ. [РЖ 94 4A159].

**Сочетание компьютерного моделирования и экспериментального изучения движения заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях.** Ийхоки И. Я. Физ. образ. в вузах. Т. 11. №. 2. 2005. С. 113-115.

**Изучение движения заряженной частицы в скрещенных стационарных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ.** Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская. Томский политехн. ун-т. ФОВ. 2006. Т. 12. № 3. С. 109-116.

Рассмотрение движения заряженных частиц во внешних полях различной конфигурации имеет большое методическое значение при изучении раздела “Электричество и магнетизм” курса общей физики. В двух случаях движения можно пред-

ставить в виде суперпозиции поступательного и вращательного движения (трохоида, винтовая линия). В ходе работы у студентов формируются не только предметные знания, но и обобщенные навыки исследования теоретических моделей.

**Изучение движения заряженной частицы в скрещенных стационарных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ.** Кравченко Н. С., Ревинская О. Г. *Физ. образ. в вузах.* **2006.** 12. № 3. 109-116, 135. [07.07-18А.130].

Анализ движения заряженных частиц во внешних полях различной конфигурации имеет большое методическое значение при изучении раздела “Электричество и магнетизм” курса общей физики. В двух случаях движения можно представить в виде суперпозиции поступательного и вращательного движения (трохоида, винтовая линия). Разработаны виртуальные лабораторные работы “Движение заряженной частицы в перпендикулярных электрическом и магнитном полях” и “Движение заряженной частицы в параллельных электрическом и магнитном полях”, моделирующие данные физические явления на компьютере. Под моделирующей виртуальной работой авторы понимают компьютерную реализацию физической модели, которая преследует цель развития навыков изучения известных теоретических моделей. Методика выполнения представленных в данной публикации виртуальных работ опирается на общую методику изучения физических моделей. В ходе работы у студентов формируются не только предметные знания, но и обобщенные навыки исследования теоретических моделей.

**Пересмотр использования магнетронного метода для определения отношения  $e/m$  для электронов.** The magnetron method for the determination of  $e/m$  for electrons: Revisited. Azooz A. A. *Eur. J. Phys.* **2007.** 28. № 1. 1-7. [08.09-18А.134].

### 8.3. Электронные лампы

**Снятие характеристик катодной лампы.** А. П. Соколов. Физический практикум. **1937, 1938.** Задача 40. С. 240.

Лампа включена в электрическую схему, позволяющую изменять накал ее нити, менять напряжение сетки и анода. Снимаются анодные характеристики лампы при разном токе накала. Измеряют также зависимость анодного тока от напряжения на сетке при разных напряжениях на аноде.

**Исследование характеристики кенотрона и определение его параметров.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. **1949.** Работа 55 а. С. 231.

**Изучение работы электронной лампы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1953, 1955.** Работа 43. С. 224.

**Изучение работы многоэлектродных ламп и наблюдение явления вторичной эмиссии электронов.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1953, 1955.** Работа 44. С. 232. **1962.** Задача 66. С. 330–334.

**Сеточный ток обратного направления в триоде.** Грийе, Бодуан (Courant inverse de grille d'une triode. Grillet Leon, Beaudoin C.), Bull. Soc. scient. Bretagne. Sci. math., phys. et natur., **1955** (1956), 30, № 1-4, 47-48. [РЖ 1957 № 9 21689].

Описаны практические работы с триодом с непосредственным накалом. Построены кривые зависимости сеточного тока от анодного напряжения для различных напряжений на сетке.

**Исследование триода в лаборатории элементарной физики.** Кланси (Study of the triode in the elementary laboratory. Clancy Edward P.). *Amer. J. Phys.*, **1957**, 25, № 3, 204-205. [РЖ 1958 № 2 2584].

**Исследование многоэлектродных ламп.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. Под ред. А. Л. Рвачева. Одесский политехн. ин-т. **1960**. Задача № 2-28. С. 187.

**Зависимость сопротивления электрической лампочки от напряжения.** Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. **1960**. Работа 2. С. 7-8.

**Ознакомление с работой трехэлектродной лампы.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 65. С. 325–330. **1968**. Задача 79. С. 76–81.

В работе снимаются анодные и сеточные характеристики лампы, изучается влияние анодной нагрузки на сеточные характеристики.

**Изучение работы тиратрона.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., **1962**. Задача 67. С. 334–339. **1968**. Задача 81. С. 84-88.

Снимаются пусковые характеристики тиратрона, наблюдается форма тока и напряжения при помощи осциллографа, изучается фазовое управление анодным током тиратрона.

**Исследование электронной лампы (триода).** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 34. С. 205. **1973**. Р 37. С. 239.

**Лампы с холодным катодом в лабораторных работах по физике.** Еркин А. М. “Вестн. высш. шк.”, **1964**, № 9, 82-83. [РЖ 1965 2A79].

Кратко описана лабораторная работа на тему “Изучение тиратронов с холодным катодом и построение их пусковых характеристик”. Для изучения ламп с холодным катодом рекомендуется также проводить еще две лабораторные работы: “Изучение нормального и аномального тлеющего разряда” и “Исследование влияния света на напряжение зажигания разряда”.

**Испытания электровакуумных приборов в учебной лаборатории.** Морозова И. Г. В сб. “Физ. Электроника.” Вып. 2. М., Атомиздат, **1965**, 88-117. [РЖ 1965 12A84].

Описывается методика проведения лабораторных занятий по электровакуумным приборам в Московском инженерно-физическом институте. Лаборатория

оборудована универсальными стендами, на каждом из которых можно выполнить все поставленные практикумом задачи. Приведено описание стендов и схемы для снятия характеристик электронных ламп и электронно-лучевых трубок.

**Ознакомление с работой многосеточных радиоламп и наблюдение явления вторичной эмиссии электронов.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероной. 1968. Задача 80. С. 81-84.

Снимаются анодные и сеточные характеристики пентода и тетрода при отсутствии нагрузки и при различных нагрузках., а также наблюдается динатронный эффект, изучается роль антидинатронной сетки.

**Тиратрон.** Scheiff Christa. Die Gas-Triode. "Leybold-Welle", 1968, 9, № 31, 1-20. [РЖ 1968 12A91].

Описывается установка для проведения ряда опытов, демонстрирующих процесс прохождения электрического тока через разреженные газы: несамостоятельный разряд, происходящий под действием ионизаторов; самостоятельный разряд; зажигание несамостоятельного разряда с последующим поддержанием самостоятельного разряда; поглощение энергии квантами после неупругого столкновения атомов *He* с электронами соответствующих энергий (упрощенная схема опыта Франка-Герца); использование тиратрона в технике для получения релаксационных колебаний различной частоты и как усилителя импульсов, регистрируемых электроизмерительным прибором.

**Зависимость сопротивления лампы от температуры.** Лаб. работа. Физический практикум. Учебное пособие для студентов биологического факультета. С. И. Голуб, Д. И. Полищук, В. Г. Заремба. Одесский гос. ун-т. Одесса. 1969. 120 стр.

**Метод полуавтоматического определения параметров электронной лампы в зависимости от рабочих режимов ее работы.** Kaszlo T. I. Metoda semiautomata penyu determinarea parametrilor tuburilor electronice in functie de regimul lor de lucru. "Bull. Sti. Inst.ped.", 1970, Ser. B, 169-172 (рум.; рез. англ.). [РЖ 73 3A120].

Описан вариант распространенной осциллографической схемы определения параметров электронной лампы в зависимости от режимов ее работы. Горизонтальное отклонение электронного луча пропорционально анодному току или напряжению. Источник переменного напряжения включается либо в анодную, либо в сеточную цепь в зависимости от того, какой параметр определяется (крутизна или внутреннее сопротивление). Приведены принципиальные схемы устройства, описана методика проведения эксперимента.

**Вакуумный диод с подвижными электродами.** Febmer Dietrich. Eine Vakuumdiode mit beweglichen Elektroden. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1978, 27, № 2, 46-52 (нем.). [РЖ 78 7A154].

Описаны лабораторные опыты в курсе физики средней школы с применением выпускаемых промышленностью демонстрационных вакуумных диодов с подвижными электродами. Лабораторная установка позволяет менять и измерять межэлектродное расстояние  $d$ , ток  $I_a$  и напряжение  $U_a$  анода, ток  $I_n$  и напряжение  $U_n$  накала подогревного катода. Измеряя зависимость  $I_a$  от  $U_a$  при различных  $U_n$

и  $d$ , можно изучать особенности работы диода и законы термоэлектронной эмиссии, вольт-амперную характеристику диода, насыщение, свойства объемного заряда и т. п. Лабораторная работа способствует усвоению учащимися основ физической электроники и облегчает последующее изучение более сложных вакуумных и полупроводниковых электронных приборов (многоэлектродных ламп, кинескопов, транзисторов и др.).

**Электронная лампа.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 9. С. 59-69.

Изучается устройство вакуумного пентода, снимаются его анодно-сеточные и анодные характеристики, определяются его основные параметры: крутизна анодно-сеточной характеристики  $S$ , внутреннее сопротивление  $R_i$ , коэффициент усиления лампы  $\mu$ . В заключение студенты знакомятся с простейшим усилителем на пентоде.

**Лабораторная работа по определению градиента потенциала линейной люминесцентной лампы.** Куренчиков А. В. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 14. 2002. С. 46.

**Эксперимент по термоэлектронной эмиссии: назад к хорошему старому триоду.** An experiment on thermionic emission: Back to the good old triode, Azooz A. A. *Eur. J. Phys.* 2007. 28, № 4. 635-642. [08.09-18A.127].

**Экспериментальное изучение распределения термоэлектронов по энергиям и скоростям.** Фомин С. В., Лукичев Д. Н., Красников А. С. *Учеб. физ.* 2009. № 2. 35-42. [11.01-18A.115].

Предлагается методика экспериментального изучения распределения термоэлектронов по энергиям и скоростям. В лабораторной работе студенты снимают вольтамперную характеристику вакуумного триода, по которой, проводя графическое дифференцирование, получают функции распределения и затем определяют ширину функции распределения термоэлектронов по энергиям. В процессе работы студенты знакомятся с основными положениями квантовой статистики Ферми-Дирака и предельным переходом ее в классическую статистику Максвелла.

**Совершенствования физического практикума для снятия вольтамперной характеристики диода.** Пулатов Ю. П.<sup>1</sup>, Гозиев З.<sup>1</sup>, Рустамов Г.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Ферганский гос. ун-т, г. Фергана; <sup>2</sup>Академический лицей, г. Фергана. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября 2010 г., с. 169-170.

**Максвелловское распределение термоэлектронов в курсе общей физики.** Козловский С. А. *Проблемы физики и физических технологий : Сборник научных трудов.* М., 2010. 296-302. [10.11-18A.96].

Предлагается вести подсчет термоэлектронов с помощью метода магнетрона. Приведено описание установки, изложены идея метода и порядок выполнения работы. К достоинствам метода отнесены изучение студентами широкого круга во-



просов, что важно при ограниченном ресурсе времени и числе лабораторных работ, а также возможность выполнения разных заданий на одной и той же установке.

#### 8.4. Явления в конденсаторах

**Изучение колебательного разряда конденсатора при помощи маятника Гельмгольца.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1937, 1938. Задача 49. С. 269

Основными элементами установки являются конденсатор, аккумулятор, катушка самоиндукции, магазин сопротивлений и зеркальный гальванометр, и специальный механизм, служащий для размыкания цепей зарядки и разрядки конденсатора. В работе снимается кривая колебательного разряда с малым затуханием и определяется период этого процесса, снимается кривая колебательного разряда при сильном затухании и определяется декремент затухания, снимается кривая апериодического разряда конденсатора.

**Разряд конденсатора.** (Демонстрационный опыт и его количественная интерпретация). Кемпер (Die Entladung eines Kondensators. (Ein lehrreicher Versuch und seine quantitative Auswertung in der Prima). Kemper Heinrich), Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 12, Physik, 325-327. [РЖ 1960 № 8 18870].

Конденсатор заряжается от источника постоянного тока и затем разряжается через сопротивление порядка  $10^7$ - $10^8$  Ом, параллельно которому подключен зеркальный гальванометр. Разрядный ток  $I$  измеряется через равные промежутки времени и строится график зависимости  $I$  от времени  $t$ . Описан количественный метод определения заряда конденсатора из графика  $I=f(t)$  и дан вывод уравнения полученной экспериментальной кривой.

**Действие конденсаторов и катушек.** Гиллессен (Die Wirkung von Kondensatoren und Spulen. Gillessen Heinrich). Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 6, Physik, 141-149. [РЖ 1960 № 5 10236].

Описываются опыты, дающие возможность количественного изучения процесса зарядки и разрядки конденсаторов, параллельного и последовательного соединения конденсаторов, изучения процесса изменения тока в цепи с самоиндукцией, определения энергии магнитного поля катушек, индуктивного сопротивления как функции числа ампервитков, емкостного сопротивления конденсаторов. Опыты проводятся при помощи простейших школьных приборов. Приведены примеры количественных определений, описаны детали соответствующих установок, даны схемы опытов с указанием параметров всех элементов.

**Измерение напряженности поля и работа переноса заряда в электрическом поле плоского конденсатора.** Грейнер (Messung der Feldstärke und der Überföhrungsarbeit im elektrischen Feld des Plattenkondensators. Greiner Emil). Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 9, Physik, 247-248. [РЖ 1960 № 7 15803].

Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин диаметром 24,5 см, находящихся на расстоянии 3-6 см друг от друга. Одна пластина соединена с положительным полюсом высоковольтного выпрямителя, второй полюс которого заземлен. Другая пластина через чувствительный зеркальный гальванометр со-

единена с землей. Между пластинами на тонкой нейлоновой нити бифилярно подвешен стеклянный шарик диаметром 8 мм. Для измерения напряженности поля  $E=F/q$  определяют силу  $F$ , действующую на заряд  $q$ . Чтобы найти заряд, шарик приводят в колебательное движение. Ударяясь о каждую пластину  $n$  раз в минуту, шарик переносит заряд, равный  $2nq$ , при этом через гальванометр проходит ток  $I$ . Величина заряда равна  $q=I/2n$ . Для измерения силы определяют расстояние от плоскости подвеса  $a$ , на которое переместится заряженный шарик между заряженными пластинами в положение равновесия. Величину смещения определяют теневым способом с 10-кратным увеличением. Т. о.,  $F=p \cdot a/10$ , где  $p$  – вес шарика. Работа перемещения заряда от отрицательно заряженной пластины к положительно заряженной равна  $A=F \cdot d$ , где  $d$  – расстояние между пластинами. Если определить напряжение  $U$ , как частное от деления работы переноса на заряд, получится  $U=A/q=F \cdot d/q$ . Приведены результаты измерений, из которых следует, что величина напряжения, определенная из опыта, хорошо совпадает с величиной напряжения, измеренного при помощи электрометра.

**Определение емкости конденсатора.** Stockman Harry E.  $C = i/(dv/dt)$  demonstrator. “*Amer. J. Phys.*”, **1960**, 28, № 7, 675-676. [РЖ 1961 5A75].

Электрическая схема для определения емкости конденсатора состоит из конденсатора, микроамперметра, потенциометра и источника напряжения. Движок потенциометра перемещают так, что напряжение, подаваемое на конденсатор, увеличивается от нуля до максимального значения и при этом ток остается постоянным. Емкость конденсатора может быть рассчитана по формуле  $C = i/(v/t)$ , где  $i$  – ток,  $v$  – максимальное напряжение,  $t$  – время, в течение которого изменяется напряжение.

**Исследование токов заряда и разряда конденсатора с помощью лампы тлеющего разряда.** Bodocs Istvan. Suvitoh aramviszongainak vizsgolata kodfenylampaval. “*Fiz. szemle*”, **1960**, 10, № 7, 220-222. [РЖ 1961 12 A157].

При изучении процессов заряда и разряда конденсатора в качестве индикатора тока иногда применяется небольшая лампочка накаливания, включаемая последовательно с конденсатором. Замена ее лампой тлеющего разряда (например, ксеноновой) дает возможность более подробно исследовать течение процесса заряда и разряда, получить дополнительные сведения о характере количественных закономерностей. Подробно описана работа схемы с последовательным и параллельным включением неоновой лампочки, обсуждаются особенности выбора режима схемы и параметров ее элементов. На основании описанных опытов получены и проанализированы формулы для зарядного и разрядного токов. Рассмотрен принцип работы простейшего релаксационного генератора, рассчитан период его колебаний.

**Опыты со статическим вольтметром.** Heise H. Versuche mit dem statischen Voltmeter. “*Math. Und naturwiss. Unterr.*” **1960**, 13, № 7, 312-314. [РЖ 1961 6A73].

Описываются способ определения емкости статического вольтметра и два опыта, которые могут быть проведены при помощи него. 1. Определение заряда капли воды. Из капельницы капли стекают по желобку в сосуд, связанный с изолированным полюсом вольтметра. При этом потенциал увеличивается. Заряд капли  $q$  рассчитывают по формуле  $nq = C\Delta U$ , где  $n$  – число капель,  $C$  – емкость

конденсатора,  $\Delta U$  - изменение разности потенциалов между полюсами вольтметра. 2. Измерение больших сопротивлений. Заряженный вольтметр накоротко замыкают на сопротивление порядка  $10^{12} - 10^{15}$  Ом и наблюдают как изменяется потенциал вольтметра во времени. Величину сопротивления рассчитывают по времени  $T$ , которое потребовалось, чтобы потенциал уменьшился наполовину,  $RC = T/\ln 2$ . Описанный метод может быть применен для определения удельного сопротивления стекла.

**Определение емкости конденсатора.** Stockman Harry E.  $C = i/(dv/dt)$  demonstrator. "Amer. J. Phys.", 1960, 28, № 7, 675-676. [РЖ 1961 5A75].

Электрическая схема для определения емкости конденсатора состоит из конденсатора, микроамперметра, потенциометра и источника напряжения. Движок потенциометра перемещают так, что напряжение, подаваемое на конденсатор, увеличивается от нуля до максимального значения, и при этом ток остается постоянным. Емкость конденсатора может быть рассчитана по формуле  $C = i/(v/t)$ , где  $i$  - ток,  $v$  - максимальное напряжение,  $t$  - время, в течение которого изменяется напряжение.

**Разрядка конденсатора.** Brosch Herbert. Entladung eines Kondensators. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 1, 10-11. [РЖ 1961 11A87].

Описывается электрическая схема для демонстрации экспоненциального закона уменьшения тока при разрядке конденсатора. Для получения точных количественных результатов используется конденсатор большой емкости (порядка нескольких микрофарад). В качестве измерительного прибора может быть использован обычный миллиамперметр. Для расчета количества электричества на обкладках конденсатора применяется потенциометрическое регулирование тока. В этом случае величина заряда равна произведению тока на время зарядки.

**Увеличение напряжения при зарядке конденсатора.** Brosch Herbert. Spannungsanstieg beim Laden eines Kondensators. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 2, Physik, 35-36.

Описывается опыт, демонстрирующий пропорциональность разности потенциалов на обкладках конденсатора его заряду. Измерительная схема состоит из конденсатора большой емкости (10 мкФ), источника напряжения ~1000 В и зарядного сопротивления порядка нескольких мегаом. Зарядный ток измеряется микроамперметром, напряжение - статическим вольтметром, время - электрическим секундомером, который включается и выключается одновременно с источником напряжения. Для экспериментальной проверки соотношения  $U = const \cdot Q$  при помощи схемы потенциометрического регулирования поддерживается постоянный зарядный ток, при этом напряжение на конденсаторе пропорционально времени зарядки.

**Конденсатор, катушка индуктивности, колебательный контур, электронные трубки - детали радиотехнических устройств.** Ч. V. Hjffmann W. Kondensator, Spule, Schwingkreis, Elektronenrohren - Elemente des Radiogerates. Teil V. "Z. Naturlehre und Naturkunde", 1965, 13, № 12, 329-338 (нем.). [РЖ 66 6A100].

Описываются опыты, демонстрирующие возникновение незатухающих колебаний в параллельном резонансном контуре, соотношения между омическим и индуктивным сопротивлениями, напряжением и током в последовательном резонанс-

ном контуре, исследование резонансных кривых, термоэлектронную эмиссию и эффект Эдисона и ряд опытов, имитирующих процессы в электронных трубках.

**Экспоненциальный закон зарядки конденсатора.** Hoffmann Herbert. Das Exponentialgesetz beim Kondensator. "Prax, Naturwiss.", 1966, A15, № 8, Physik, 201-204. [РЖ 67 2А64].

Описывается ряд опытов, демонстрирующих экспоненциальную зависимость заряда на обкладках конденсатора от сопротивления ( $Q = Q_0 e^{-t/RC}$ ) и зависимость заряда от напряжения ( $Q=CU$ ). Приведены электрические схемы, методические указания и графические результаты измерений.

**Экспериментальное определение времени зарядки конденсатора.** Zimmermann Otto. Experimentelle Herleitung des zeitlichen Ablaufs bei der Aufladung eines Kondensators. "Prax. Naturwiss.", 1966, F 15, № 7, Physik, 178-181 (нем.). [РЖ 67 2А65].

Описывается способ определения времени зарядки конденсатора, при помощи которого может быть также экспериментально определено число  $e$ . Электрическая схема состоит из  $RC$ -контра, параллельно которому через телеграфный ключ присоединен электрический секундомер, амперметра, вольтметра, высокоомного сопротивления и источника напряжения. Секундомер включен так, что он регистрирует время, в течение которого в  $RC$ -контуре есть ток. Приведены результаты измерений зависимости времени зарядки от емкости и от сопротивления; методика расчета числа  $e$  и вывод формулы  $I = I_0 e^{-t/RC}$  проводятся элементарным способом.

**Изучение процессов зарядки и разрядки конденсатора.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 91. С. 145-150.

**Измерение емкости плоского конденсатора с помощью радиочастотного резонансного измерителя.** Sudbeck Walter. Messung der Kapazität des Plattenkondensators mit Hilfe des HF-Resonanzmeters. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil I, 18, № 3, 75-77. [РЖ 1969 9А69].

Для определения емкости плоского конденсатора на примере конденсатора Leybold, диаметр которого 26,0 см, измеряют собственную частоту параллельного колебательного контра. В качестве индуктивности используется катушка Leybold, имеющая 46 витков. Значение собственной частоты контра снимают с радиочастотного резонансного измерителя, который представляет собой контур, возбуждающий колебания в измерительном контуре. В момент резкой потери энергии в возбуждающем контуре прибор покажет скачок. Зная индуктивность катушки и определив собственную частоту контра, рассчитывают измеряемую емкость  $C$  по формуле Томсона. Устройство и инструкция по использованию радиочастотного резонансного измерителя описаны в предыдущих работах автора (РЖФиз, 1967, 2А68; 1968, 2А63).

**Измерение емкости конденсатора путем определения постоянной его разряда на известное сопротивление.** Буриев В. Измерване на капацитет на кондензатор чрез разтоварването му през съпротивление. "Физика", (НРБ), 1977, 2, № 3, 33-34 (болг.). [РЖ 78 1А55].

Для измерения емкости конденсаторов порядка 1–10 мкФ предлагается использовать в качестве разрядного сопротивления и регистратора напряжения вольтметр постоянного тока с входным сопротивлением около 1 МОм. При этом постоянная

времени достаточно велика и для ее измерения можно пользоваться обычным секундомером.

**Учебные эксперименты по изучению разряда конденсаторов в сдвоенных RC цепочках.** Two component exponential decay experiment. Powlette Joseph L. "Amer. J. Phys.", 1979, 47, № 5, 471-472 (англ.). [РЖ 80 1A84].

Приведена схема, состоящая из двух RC-цепочек и трех операционных усилителей (ОУ), предназначенная для изучения процесса разряда одиночной RC-цепочки или суперпозиции разрядов двух цепочек RC, имеющих разные постоянные времени (20 и 100 сек.). Все ОУ работают в режиме эмиттерных повторителей. Первые два ОУ, на которые поступают напряжения с цепочек RC, имеют высокое входное сопротивление (около  $10^7$  Ом). Сигналы с их выходов суммируются и поступают на третий ОУ. Приводятся рекомендации по выбору элементов схемы, описывается ее работа и дается методика проведения учебного эксперимента.

**Новый метод экспериментального изучения процесса зарядки конденсатора.** Une nouvelle etude experimentale du condensateur, Roulet B. «Bull Union Phys.», 1987, 81, № 691, 241—246 (фр.). [РЖ 87 8A136].

Метод основан на использовании для зарядки конденсатора источника тока (ИТ) вместо источника напряжения. Приведена теория метода, схемы и методика построения ИТ на основе линейной ИС. Оптимальные результаты получены при применении двойной линейной ИС типа TL 083 с входными полевыми транзисторами. Описаны порядок проведения экспериментов, метод качественной оценки процесса с помощью осциллографа с медленной разверткой, метод количественной оценки с помощью осциллографа с послесвечением, с помощью 2-координатного графопостроителя, с помощью вольтметра и хронометра.

**Элементарные опыты с конденсаторами для физического образования.** Elementary experiments using capacitor for education of physics. Asai F. Nara koge koto сэммон гакко кэнкю кие-Res. Repts Nara National of Technol. Coll. 1989. № 25. С. 45-50. (Яп.). [РЖ 91 6A102].

Описан ряд простых опытов, предназначенных для учебных целей в курсах физики: параллельное и последовательное соединение конденсаторов – распределение напряжений и зарядов, переходные процессы – заряд и разряд в цепях с конденсаторами.

**Исследование зависимости заряда конденсатора от времени при помощи компьютера.** Абросимов П. В., Ельцов А. В., Мурзин С. В. Преподавание физики в высш. шк. № 12(1). 1998. С. 48-51.

**Проверка падения напряжения в цепи диод–конденсатор.** Verifying the diode–capacitor circuit voltage decay. Hellen E. H. Amer. J. Phys. 2003. 71. № 8. 797-800. [05.02-18A.115].

## 8.5. Явления в газах

**Исследование тока насыщения в газах.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 44. С. 160.

**Исследование газового разряда.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 49. С. 287. 1973. Р 50. С. 299.

**Исследование плазмы тлеющего разряда в газе.** Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. 1983. Работа 4.16. С. 372.

В работе исследуется плазма газового разряда в воздухе. В ходе работы с помощью форвакуумного насоса газоразрядная трубка откачивается до давления  $10^{-2} - 10^{-1}$  Торр. При постоянном давлении снимается вольтамперная характеристика разряда, возникающего при подаче на электроды трубки высокого напряжения (не больше 3 кВ). Исследуется распределение потенциала вдоль газоразрядной трубки, представляемое графически. Снимается вольтамперная характеристика двойного зонда (при постоянном давлении газа и постоянном токе газового разряда). При различных значениях вводимой в разряд мощности, регулируемой путем изменения тока, проходящего через трубку, определяется температура электронов и концентрация электронов (ионов). Результаты этих измерений представляются графически.

**Изучение плазмы в общем физическом практикуме.** П. С. Булкин, Г. А. Миронова, Т. И. Малова. ФОВ. 2001. Т. 7, № 4, 70-76.

**Тиратрон как генератор низкотемпературной плазмы.** Булкин П. С., Миронова Г. А., Малова Т. И. Физ. образ. в вузах. Т. 11. № 3. 2005. С. 64-67.

**Тиратрон как генератор низкотемпературной плазмы.** П. С. Булкин, Г. А. Миронова, Т. И. Малова. ФОВ. 2005. Т. 11, № 3, с. 64-67.

Знакомство студентов с плазмой в курсе общей физики, как правило, связано с изучением статистических законов, а также кинетических и газодинамических процессов в плазме. Одним из наиболее распространенных методов исследования свойств плазмы является метод зондов, предложенный Ленгмюром. В общем физическом практикуме физически наглядно дается интерпретация вольтамперных характеристик (ВАХ) лишь в случае одного зонда. На практике же применяются как однозондовый, так и двухзондовый методы. Причем двухзондовый метод более предпочтителен, так как в нем используются небольшие зондовые токи и нет опасности перегрева зондов, их распыления. В данной работе приводится 1) методика графического построения ВАХ для двухзондовой системы на основе однозондовой ВАХ и вывод ее аналитической зависимости; 2) метод определения температуры и средней энергии, приходящейся на один электрон в плазме из полученной экспериментально двухзондовой ВАХ.

## 8.6. Электро- и радиотехнические устройства

**Ламповый генератор незатухающих колебаний.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 56 в. С. 236.

**Определение увеличения электронного микроскопа.** Работа 60. Физический практикум. Том второй. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. С. 255.

**Ознакомление с работой простейшего лампового генератора электромагнитных колебаний и исследование вынужденных колебаний в контурах с разной добротностью.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1953, 1955. Работа 61. С 367.

**Изучение работы контактных выпрямителей.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 58. С. 331.

**Изучение кенотронного выпрямителя.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 59. С. 345. 1962. Задача 85. С. 447–457. 1968. Задача 101. С. 214–223.

**Изучение работы катодного осциллографа.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 64. С. 393. 1962. Задача 90. С. 490–509.

**Изучения характеристик усилителя низкой частоты на сопротивлениях.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1953, 1955. Работа 66. С. 418.

**Лабораторные опыты с двигателем постоянного тока малой мощности.** Бейкер, Брэдли (A small scale de motor experiment for the elementary laboratory. Baker Grover C., Bradley George E.), *Amer. J. Phys.*, 1953, 21, № 9, 689-690. [РЖ 1954 № 9 9682].

Изучение нагрузочных характеристик электродвигателей малой мощности при помощи нажима Прони невозможно из-за малой точности метода при небольших мощностях. Автор предлагает использовать двухобмоточный генератор постоянного тока авиационного типа, причем одна из обмоток служит якорем, а другая, соединенная с подходящим реостатом, является потребителем мощности. При благоприятном соотношении сечений проволок разных обмоток одна и та же машина может быть использована в качестве двигателя последовательного и параллельного возбуждения.

**Осциллографическая регистрация.** Грийе, Грийе (Enregistrements oscillographiques. Grillet Leon, Grillet M.-T.). *Bull. Soc. Scient. Bretagne. Sci. math., phys. Et nature.*, 1955 (1956), 30, № 1-4, 76. [РЖ 1957 21691].

Заметка о применении фотобумаги при регистрации.

**Изучение работы катодного осциллографа фотографическим методом.** Грийе, Грийе (Etude par photographie du fonctionnement d'un oscillographe cathodique. Grillet Leon, Grillet M.-T), *Bull. Soc. Scient. Bretagne. Sci. math., phys. Et nature.*, 1955 (1956), 30, № 1-4, 97-108. [РЖ 1957 № 9 21693].

**Осциллографическая регистрация. Действие и применение двухлучевого осциллографа.** Грийе, Жоливе (Enregistrements oscillographiques. Fonctionnement et employ d'un oscillographe bicourbe. Grillet Leon. Jolivet), *Bull. Soc. Scient. Bretagne. Sci. math., phys. Et nature.*, 1955 (1956), 30, № 1-4, 109-112. [РЖ 1957 № 9 21694].

Кратко описан двухлучевой осциллограф. Приведены различные осциллограммы и указаны условия, при которых они получаются.

**Применение электронного нуль-индикатора в некоторых лабораторных работах по электричеству.** Бушманов Б. Н., Шерстнев Ю. В., Тр. Казанск. Авиаци. Ин-та, **1955**, 29, 105-108. [РЖ 1958 № 2 2561].

**Опыт с селективным усилителем несинусоидального напряжения.** Грийе, Жорже (Etude a l'amplificateur selectif d'une tension non sinusoidale. Grillet Leon, Georget J.). Bull. Soc. Scient. Bretagne. Sci. math., phys. Et natur., **1955** (1956), 30, № 1-4, 65-68. [РЖ 1957 № 9 21690].

**Три лабораторных работы с применением электронного осциллографа.** Крафтмахер Я. А. "Уч. Зап. Елабужск. Гос. пед. ин-та", **1959**, 7, 71-77.

Описываются три лабораторных работы, которые не только знакомят с разнообразными применениями осциллографа, но имеют и самостоятельный интерес. 1. Изучение собственных колебаний электрического контура. Работа знакомит с принципами действия осциллографа и его использованием для изучения периодических процессов. 2. Изучение зависимости скольжения асинхронного двигателя от нагрузки. Работа знакомит с применением осциллографа для сравнения близких частот методом фигур Лиссажу. 3. Изучение процесса деионизации газа. Работа знакомит с использованием ждущей развертки и меток времени для изучения временного хода процесса деионизации газа в тиратроне и оценка времени деионизации.

**Изучение работы контактных выпрямителей.** Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. **1960**. Работа 26. С. 92-96.

**Определение влияния различных элементов электрических фильтров на картину выпрямленного тока.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. Под ред. А. Л. Рвачева. Одесский политехн. ин-т. **1960**. Задача № 2-31. С. 211.

**Применение электронного осциллографа в физическом практикуме вуза.** Габович А. А. "Тр. Кишиневск. с.-х. ин-та", **1961**, 23, 231-240. [РЖ 1962 1A90].

Изучение кенотронного выпрямителя при помощи электронного осциллографа. Для изучения однополупериодного и двухполупериодного кенотронных выпрямителей предлагается схема лабораторной установки, снабженной двухпроцессным электронным осциллографом. В установке используется устройство, представляющее совокупность двух однополупериодных выпрямителей, которые при переключении могут быть сведены в один двухполупериодный. Приведены принципиальная схема и описание установки. Описаны опыты по исследованию работы выпрямителя при помощи осциллографа.

Изучение основных процессов радиосвязи при помощи электронного осциллографа. Описывается лабораторная установка, при помощи которой можно получить и изучить процессы радиоприема и радиопередачи амплитудно-модулированных колебаний. Приведена схема установки, дано описание узлов, процесса сборки и наблюдения радиопередачи и радиоприема с использованием осциллографа.



**Ознакомление с работой лампового генератора электромагнитных колебаний и исследование вынужденных колебаний в контурах с разной добротностью.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероной. М., 1962. Задача 87. С. 467–477.

**Изучение характеристик усилителя низкой частоты на сопротивлениях.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероной. М., 1962. Задача 92. С. 517–524. 1968. Задача 110. С. 299–306.

Снимается амплитудная характеристика усилителя, определяется коэффициент усиления на средних частотах, снимается частотная характеристика усилителя.

**Ламповый вольтметр.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 35. С. 216. 1973. Р 38. С. 247. 1983. Работа 4.10. С. 326.

**Релаксационный генератор с газоразрядной лампой.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 45. С. 269. 1973. Р 46. С. 283.

**Демонстрационные и измерительные приборы с неоновой лампой.** Попов Б. Демонстрационни и измерителни уреди с неоновии лампи. “Матеем. И физика” (Бългр.), 1965, 8, № 5, 56–60 (болг.). [РЖ 65 6A103].

Приводится описание простейшего релаксационного генератора, метронома и Г.-М.-счетчика с оптическим и звуковым индикаторами, а также схем с неоновыми лампами для измерения больших сопротивлений и малых емкостей.

**Катодный осциллограф и его применения.** Vieru P., Bostan M. Oscilograful catodic si aplicatiile lui. “Rev. Fiz. Si chim.”, 1965, B2. № 10, 401–407 (рум.). [РЖ 66 6A101].

Выведены формулы, определяющие отклонение электронного луча в электростатическом и магнитном полях. Описан принцип действия катодного осциллографа и его применение для измерения переменных напряжений или токов, емкости (сравниваемой с образцовой по измеряемым на экране осциллографа напряжениям), мощности и частоты. Материал статьи может быть использован в педагогической практике.

**Получение осциллограмм двух одновременных периодических процессов.** Костов Хр. Попов Б. Получаване на осцилограми едновременно от два периодични процеси. “Матеем. И физика” (Бълг.), 1965, 8, № 6, 54–58 (болг.). [РЖ 66 6A102].

Описываются схемы демонстрационного электронного осциллографа и коммутатора, которые могут быть использованы для ознакомления учащихся с принципом получения осциллограмм двух одновременных периодических процессов, а также для проведения ряда опытов: индуктивность и емкость в цепи переменного тока, последовательный резонанс, фазовые соотношения между анодным и сеточным напряжениями в генераторе гармонических колебаний и др.

**Изучение работы электронного осциллографа.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 109. С. 281-299.

**Электронная модель колебательной системы с одной степенью свободы.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 115. С. 343-355.

**Исследование работы генератора синусоидальных колебаний типа "RC".** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 104. С. 241-247.

**Тиратронный генератор релаксационных колебаний.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 105. С. 248-257.

**Ознакомление с работой лампового генератора электромагнитных колебаний и исследовании е вынужденных колебаний в контурах с разной добротностью.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 106. С. 258-267.

**Изучение работы операционного элемента на усилителе постоянного тока.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 114. С. 327-342.

**Опыт с RC-ячейкой.** Brosch Herbert. Das Boucherot-Glied im praktischen Schulversuch. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, № 11, 300-301. [РЖ 1970 № 4A116].

Приведена электрическая схема, при помощи которой можно показать роль RC-ячейки при коррекции частотной характеристики НЧ-генератора. Колебания, возбуждаемые генератором, регистрируются осциллографом. При этом без RC-ячейки получается осциллограмма, богатая гармониками. Если параллельно входу осциллографа подключить RC-ячейку, возникают колебания хорошей синусоидальной формы.

**Триггеры.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Снегирев В. В. Лаб. работа 35. С. 255-265.

Триггер – устройство с двумя устойчивыми состояниями, переходящее из одного состояния в другое под действием внешних напряжений. Триггер способен сохранять устойчивое состояние сколь угодно и после снятия внешнего воздействия, поэтому он используется в качестве элемента памяти. Простейший триггер – бистабильная ячейка – является двухкаскадным усилителем. Конкретно в лабораторной работе изучается работа т. н. Е-триггера, D-триггера, JK-триггера и работа четырехразрядного двоичного счетчика на триггерах.

**Электронный осциллограф.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Слудский В. Н. Лаб. работа 26. С. 197-205.

Цель рабты – ознакомление с устройством осциллографа, определение его чувствительности, изучение систем развертки и синхронизации, применение осциллографа для исследования сигналов.

**RC- генератор гармонических колебаний.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Слудский В. Н., Стрелкова Л. П. Лаб. работа 27. С. 205-211.

Изучается принцип действия транзисторного генератора гармонических колебаний RC-типа, экспериментально проверяются условия возбуждения генератора, проверяются условия баланса фаз и баланса амплитуд.

**Тиратронный генератор релаксационных колебаний.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Венкина В. С. Лаб. работа 28. С. 211-217.

Изучается характер и условия возникновения релаксационных колебаний в тиратроном генераторе. В ходе выполнения работы снимается пусковая характеристика тиратрона, изучается зависимость частоты колебаний от режима работы тиратрона и от входящих в его схему величин R и C, определяется время деионизации тиратрона.

**Рекомендации по изготовлению статического вольтметра с примером его использования при изучении фотоэффекта и термоэлектронной эмиссии.** Bauanleitung für ein statisches Voltmeter mit Anwendungsbeispiel zum Fotoeffekt und zum gluhelktrischen Effekt. Potratz R. "Prax. Naturwiss.", 1987, 36, № 2, 10-14 (нем.). [РЖ 87 8A141].

Приведена принципиальная схема устройства на основе операционного усилителя (ОУ), предназначенного для измерения электрического заряда тел. Измерение проводится с использованием конденсатора емкостью 1 нФ, который подключен ко входу ОУ (разность потенциалов между пластинами пропорциональна заряду на них). В качестве примера использования устройства приведены эксперименты по электронной эмиссии, в которых устройство применяется для регистрации факта излучения электронов из электрода, который находится под воздействием света или подвергается нагреву.

**Эксперименты с фазочувствительным детектором в учебной лаборатории.** Phase-sensitive detector experiments in the teaching laboratory. Bissell P. R., Webster E., Babasanya-Craig C. F. "Phys. Educ.", 1987, 22, № 2, 122-126 (англ.). [РЖ 87 8A145].

Описан фазочувствительный детектор (ФЧД) на нескольких микросхемах и три примера его применения, демонстрирующих принцип его работы. В описанных экспериментах ФЧД используется как усилитель в дифференциальном трансформаторе линейного напряжения для измерения перемещения датчика, как фазовый детектор для фазометра и как интегратор в приборе, измеряющем зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля.

**Установка для измерения индуктивности катушки и зависимости косинуса угла сдвига фаз от индуктивности.** Мындыев В., Курбанниязов Н., Мындыев Р. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). 1988, № 14. С. 109-110. [РЖ 89 2A155].

Рассмотрен простой экспериментальный метод определения индуктивности катушки и зависимости угла сдвига фаз от индуктивности в цепи переменного тока. Приведены данные установки.

**Импульсный генератор. Генератор тока. Электронный прерыватель.** *Generateur d'impulsions. Generateur de courant. Interrupteur electronique.* Keravec R. "Bull. Union phys." **1990**. 84, № 727. С. 1085-1094. (Фр.). [РЖ 91 4А116].

Представлено описание задачи лабораторного практикума, целью которой является изучение принципов работы импульсного генератора, генератора тока и электронного прерывателя. При выполнении работы исследуется прохождение импульсов напряжения или тока прямоугольной или синусоидальной формы через различные элементы схем, а также работа электронных коммутаторов, управляемых импульсным генератором.

**Визуализация мгновенных напряжений, токов и мощностей в RLC-цепях.** *Visualisation de la tension, de l'intensite, de la puissance instantanee dans un circuit RLC.* Le Moal Josette. "Bull. Union phys." **1990**. 84, № 727. С. 1095-1104. (Фр.). [РЖ 91 4А117].

Рассмотрена методика применения электронного осциллографа для наблюдения и измерения временных зависимостей токов, напряжений и мощностей на различных участках электрических цепей, включающих омические сопротивления, емкости и индуктивности. Предложена схема электронного коммутатора, который дает возможность одновременно наблюдать зависимости этих величин от времени на экране осциллографа при подаче на вход цепи синусоидального напряжения в широком диапазоне частот. Рассмотрена методика расчета мощности в различных участках электрических цепей.

**Динамическая выходная характеристика биполярного транзистора на экране осциллографа.** Иноземцев В. А., Иноземцева С. В., Степанищева М. Н. Препод. ф-ки в высш. шк. **1995**. № 3. С. 83-85.

**Радиочастотный ЭПР-спектрометр для студенческого практикума.** Ф. Ф. Игошин, Ю. М. Ципенюк. ФОВ. **2000**. Т. 6, № 3, 39-45.

**Больше экспериментов с микроволновыми печами.** *More experiments with microwave ovens.* Vollmer Michael, Mollmann Klaus-Peter, Karstadt Detlef. *Phys. Educ.* **2004**. 39. № 4. 343-351. [06.07-18А.141].

**Эксперименты с микроволновыми печами, металлами и источниками освещения.** *Microwave oven experiments with metals and light sources.* Vollmer Michel, Mollmann Klaus-Peter, Karstadt Detlef. *Phjys. Educ.* **2004**. 39. № 6. 500-508. [06.07-18А.142].

**Простой недорогой синхронный усилитель для лабораторных работ.** *A simple low-cost lock-in amplifier for the laboratory.* Sengupta Sandip K., Farnham Jessica M., Whitten James E. *J. Chem. Educ.* **2005**. 82. № 9. 1399-1401. [06.06-18А.143].

Представлен синхронный усилитель в интегральном исполнении для выполнения лабораторных работ.

**Экспериментальная установка для наблюдения термоэлектрокинетического эффекта.** Грабов В. М., Зайцев А. А., Кузнецов Д. В., Сидоров А. В. *Акту-*

*альные проблемы естественных наук и их преподавания : 4 Школа молодых ученых Липецкой области, Липецк, 24-25 сент., 2008. Липецк. 2008. 86-91. [10.03-18A.99].*

В отличие от материалов для традиционных термоэлектрических преобразователей энергии, в которых используются твердые материалы, предлагается изучение термоэлектрокинетического эффекта в электропроводящей среде с возможностью не только теплопереноса, но и массопереноса. Предлагается создание динамической неоднородности среды, обусловленной ее течением. Принципиально важной является возможность протекания термоэлектрических явлений, когда неоднородность среды формируется как самоорганизованная структура в сильнонеравновесных условиях, когда в первоначально однородной среде формируется самоорганизующийся термоэлемент. Разработанная методика и техника эксперимента позволяет во всех растворах нажежно наблюдать термоэлектрокинетический эффект и измерять термоэлектрокинетическую ЭДС при минимизации сопутствующих эффектов.

**Разработка и испытание копии “маленькой машины” Эйнштейна.** Construction and testing of a replica of Einstein's “little machine”. Segers D., Wautier K., Uyttenhove J. *Amer. J. Phys.* **2009.** 77. № 1. 10-12. [10.11-18A.97].

Алберт Эйнштейн предложил “маленькую машину” для измерения небольших электрических зарядов, но не описал в публикациях о разработке собственной конструкции такой “маленькой машины” и испытании ее характеристик.

**Релаксационный генератор с нетрадиционной времязадающей цепочкой.** Закиров Р. Р. *Учеб. физ.* **2009.** № 1. 44-48. [11.01-18A.106].

Предлагаемый генератор релаксационных электрических колебаний предназначен для использования в вузовском и школьном физическом эксперименте. Главная отличительная особенность прибора (он питается непосредственно от сети переменного тока) состоит в том, что вместо резистора, обычно применяемого во времязадающей цепочке, задействовано емкостное сопротивление, то есть конденсатор. В остальном схема практически следует ее прототипу – “классическому” генератору с неоновой лампой; поэтому физика основополагающих процессов та же самая. Однако особенности механизма действия прибора принципиально иные, что позволяет считать его релаксационным генератором совершенно другого типа. Фактически по сути это аналоговый делитель частоты. Величина коэффициента деления согласно теоретически полученной формуле определяется отношением емкостей конденсаторов – накопительного и “токоограничивающего”, а также зависит от пороговых напряжений неоновой лампы. Опытная проверка подтверждает правильность расчетных результатов. Прибор характеризуется предельной простотой, удовлетворяет требованиям электробезопасности, удобен в применении.

## **8.7. Измерение физических величин. Определение физических констант**

**Об одном методе определения электродинамической постоянной.** Счастнев В. В., Уч. Зап. Коломенск. Пед. ин-та, **1958,** 2, 151-155.

Описана лабораторная работа по определению электродинамической постоянной: теория вопроса и указания по выполнению работы.

**Измерение малых емкостей простыми средствами. Определение диэлектрической проницаемости  $\epsilon_0$ .** Кренке (Messung kleiner Kapazitäten mit einfachen Mitteln. Bestimmung der Influenzkonstanten  $\epsilon_0$ . Kroncke H.), Prax. Naturwiss., **1959**, A8, № 5, Physik, 116-119. [РЖ 1960 № 8 18873].

Описывается методика, позволяющая измерить малые электроемкости путем измерения емкостного сопротивления. Последовательно к конденсатору подключается переменное омическое сопротивление и пропускается переменный ток известной частоты. Путем изменения омического сопротивления  $R$  добиваются одинаковых напряжений у двух вольтметров, подключенных к конденсатору и сопротивлению. Тогда  $1/\omega C=R$ , где  $R$  – омическое сопротивление реостата. Разработанная методика затем применяется для определения диэлектрической проницаемости вакуума в системе МКСА, причем теперь последовательно к конденсатору подключаются два сопротивления. Сначала выключается одно сопротивление, и при заданном расстоянии между пластинами плоского конденсатора  $1/\omega C_1=R_1$ . Затем подключается второе сопротивление, и при другом расстоянии между пластинами  $1/\omega C_2=R_1+R_2$ . Отсюда  $1/\omega C_2-1/\omega C_1=R_2=(d_2-d_1)/(\epsilon_0\omega f)$ ,  $\epsilon_0=(d_2-d_1)/(\omega f R_2)$ , где  $d_2$  и  $d_1$  – расстояния между пластинами,  $f$  – площадь пластин конденсатора.  $\epsilon_0$  определяется этим способом с ошибкой 2,5 %.

**Определение  $\epsilon_0$  с использованием секундомера.** Reichspfar Franz.  $\epsilon_0$  - Bestimmung mit der Stoppuhr. "Prax. Naturwiss.", **1960**, A9, № 10, Physik, 266-268. [РЖ 1961 7A91].

Описан эксперимент, в котором  $\epsilon_0$  определяется из сравнения времен спада заряда двух конденсаторов, весьма различающихся по емкости. Даны теория эксперимента и практические указания к его проведению.

**Определение  $\epsilon_0$  с использованием секундомера.** Reichspfar Franz.  $\epsilon_0$  - Bestimmung mit der Stoppuhr. "Prax. Naturwiss.", **1960**, A9, № 10, Physik, 266-268. [РЖ 1961 7A91].

Описан эксперимент, в котором  $\epsilon_0$  определяется из сравнения времен спада заряда двух конденсаторов, весьма различающихся по емкости. Даны теория эксперимента и практические указания к его проведению.

**Определение постоянной Планка в практикуме по общей физике.** Сушкин И. В. "Изв. вузов. Физика.", **1963**, № 2, 172-173. [РЖ 1963 11A135].

Описывается способ определения постоянной Планка, основанный на измерении понижения потенциала зажигания  $\Delta V_3$  неоновой лампы при ее освещении. Т. к.  $\Delta V_3$  составляет 1-2 % от  $V_3$  и потому трудно измеримо, при проведении опыта используется изменение периода колебаний неоновой лампы, включенной по схеме генератора релаксационных колебаний, при изменении  $V_3$ . Приведены расчетные формулы и методические указания.

**Измерение скорости света через посредство  $\mu_0$  и  $\epsilon_0$ .** Stephens William E. Measurement of the velocity of light through  $\mu_0 \epsilon_0$ . "Amer. J. Phys.", 1963, 31, № 2, 105-108. [РЖ 1963 10A105].

Описан лабораторный эксперимент, в котором для определения скорости света используется резонанс в цепи с последовательно включенными стандартной индуктивностью и стандартной емкостью, причем измеряются геометрические размеры сопротивлений и резонансная частота. При внесении соответствующих поправок в простые формулы можно получить точность  $\sim 1\%$ . Цель эксперимента – разъяснение физической основы проводимых измерений и принятых допущений.

**Изучение электронного осциллографа.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М. 1964. Работа 36. С. 220.

**Измерение сопротивления волокнистых материалов методом заряда конденсатора.** Физический практикум. Электричество. Сучков А. И. и Замотаев Н. П. Иваново, 1964. Работа № 2. С. 17-20.

**Индуктивные измерения длины и толщины.** (Демонстрационные опыты и практические работы). Tille Helmut. Induktive Längen- und Dickenmessung. (Demonstrationsversuche und Schulerübungen). "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 1, Physik, 14-17 (нем.). [РЖ 65 7A47].

Описываются простые электрические схемы для измерения толщины магнитных и немагнитных слоев, толщины непроводящих слоев на магнитной подложке и др. Измерения проводятся при помощи катушки индуктивности с подвижным сердечником и трансформатора.

**Определение отношения электромагнитной и электростатической единиц тока.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, И. А. Виноградов и др. Под ред. доц. О. И. Замша. Москва, 1965. Работа 8. С. 81-87.

**К измерению больших сопротивлений.** Kroncke Helmut. Zur Messung grosser Widerstände. "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 7, Phys., 181-182. [РЖ 1966 2A63].

Конденсатор емкостью  $C_0$  и электромметр емкостью  $C_E$  подключают параллельно большому сопротивлению  $R$  (до 10 Ом) и соединяют с источником напряжения  $U_1$ . Затем источник напряжения отключают. Конденсатор разряжается, при этом  $T=0,7RC$ , где  $C=C_0+C_E$ ,  $T$  – половинное время разряда. Если время разряда велико,  $R$  может быть рассчитано по формуле  $\Delta t=RC \ln[U_1/(U_1-\Delta U)]$ , где  $\Delta t$  – любой промежуток времени. Приведены методические указания и оценка ошибок измерений, обусловленных тем, что  $C_E$  во время измерений изменяется в зависимости от положения стрелки.

**Простой метод измерения больших сопротивлений.** Bruce C.W. Measurement of moderately high resistance – a simple method. "Amer. J. Phys.", 1966, 34, № 9, Part 1, 819 (англ.). [РЖ 67 2A67].

Измеряемое сопротивление включается в  $RC$ -контур. В цепь включены также две металлические фольги  $F_1$  и  $F_2$ , геометрически расположенные одна под другой на определенном расстоянии. Фольга  $F_1$  блокирует конденсатор, фольга  $F_2$  включена последовательно с сопротивлением. Над фольгами висит на нити груз. При пережигании нити груз падает и вначале разрывает фольгу  $F_1$  (конденсатор начинает заряжаться), затем фольгу  $F_2$  (зарядка прекращается). Заряд конденсатора измеряют баллистическим гальванометром. По величине заряда и времени зарядки вычисляют величину сопротивления.

**Простой эксперимент по определению скорости света.** Gough W. A simple experiment to determine the speed of light. "Phys. Educ.", 1972, 7, № 7, 413-414 (англ.). [РЖ 73 2A79].

Обсуждается косвенный метод определения скорости света. В отличие от прямых методов, требующих сравнительно длинных оптических путей, регистрирующей аппаратуры с временным разрешением порядка наносекунд или измерения небольших фазовых задержек, в предлагаемом методе используется простая, дешевая аппаратура. Измерения в этом случае сводятся к измерению геометрических размеров плоского конденсатора и катушки, образующих колебательный контур, и к изменению собственной частоты этого контура. В статье описан метод определения собственной частоты контура, основанный на резонансном поглощении энергии. Приводятся расчетные формулы, позволяющие определить скорость света из данных эксперимента. Точность определения предполагаемым методом 5-10%.

**Больцманова температура: учебный эксперимент для лаборатории повышенного типа.** Boltzmann temperature: An instructional experiment for the advanced laboratory. Knudsen Arthur W. "Amer. J. Phys.", 1985, 53, № 5, 409-415 (англ.). [РЖ 86 3A101].

Больцманова температура (БТ) определяется из формулы экспоненциальной зависимости анодного тока  $I$  электронной лампы от задерживающего потенциала  $V$ . Описан эксперимент по измерению БТ катода электронной лампы. БТ определяется по углу наклона графика  $\log I(V)$ . В реальных экспериментах только часть графика прямолинейна. Обсуждается влияние на результат формы электродов и требования к лампе для получения лучших результатов.

**Определение работы выхода электрона.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Крафтмахер Я. А. Лаб. работа 7. С. 6-12.

Работа выхода электрона из оксидного катода определяется методом компенсации охлаждения нити. Этот метод основан на том, что при электронной эмиссии каждый электрон, покидающий катод, уносит с собой энергию, часть которой составляет работа выхода электрона. Если катод электронной лампы нагреть до температуры, достаточной для термоэлектронной эмиссии, то в случае разомкнутой анодной цепи устанавливается равенство числа электронов, покидающих катод, и числа электронов, возвращающихся на катод из области пространственного заряда. При замыкании анодной цепи возникает движение электронов от катода к аноду. Вследствие этого происходит понижение температуры катода, связанное с указанным выше переносом энергии каждым электроном.



**Электрический шум и измерение абсолютной температуры, постоянной Больцмана и числа Авогадро.** Electrical noise and measurement of absolute temperature, Boltzmann's constant and Avogadro's number. Ericson T. J. "Phys. Educ.", 1988, 23, № 2, 112-116 (англ.). [РЖ 88 9A164].

Предлагаемая измерительная установка имеет в качестве основного элемента колебательный контур. Средняя энергия, запасенная в конденсаторе, связана с абсолютной температурой соотношением  $\varepsilon = \frac{C(v^2)_{\text{средн.}}}{2} = \frac{kT_{\text{средн.}}}{2}$  и, следовательно, по измеренному среднеквадратичному значению напряжения на конденсаторе можно вычислить либо постоянную Больцмана  $k$  (считая, что известны  $C$  и  $T$ ), либо  $T$  (считая, что известны  $k$  и  $C$ ). Приводятся практические схемы измерительных установок с указанием номинальных параметров используемых элементов, а также результаты проведенных измерений, из которых следует, что  $V$  уменьшается на 2% при увеличении активного сопротивления от 2 до 20 Ом. Причина такого хода зависимости не исследована.

**Измерение скорости света как нахождение значения "критической константы". Предложение об эксперименте, основанное на историческом опыте Р. Кольрауша и В. Вебера.** Messung der Lichtgeschwindigkeit als "kritische Konstante" Ein Versuchs vorschlag in anlehnung an das historische Experiment von R. Kohlrausch und W. Weber. Becker-Bender G., werninghaus R. "Prax. Naturwiss. Phys." 1989. 38, № 1. С. 40-46. (нем.). [РЖ 89 10A58].

В опыте Кольрауша-Вебера (1857 г.) с помощью тангенс-гальванометра определялась средняя сила тока, возникавшего при разряде плоского конденсатора. Формула, получаемая из уравнений электродинамики, позволяет вычислить константу  $c$  на основе предварительного измерения ряда физических величин (емкости, сопротивления, частоты и др.). В предлагаемом варианте опыта Кольрауша-Вебера используются осциллограф, современные источники тока и электроизмерительные приборы. Отмечается познавательное значение экспериментально-расчетного определения скорости света  $c$ .

**Определение заряда иона водорода.** Работа 2-07. С. 39-42. В.В.Ларионов, М.С.Иванкина, Л.Т.Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. 1993. 91 с.

**Определение отношения коэффициентов теплопроводности и электропроводности методом Кольрауша.** В. С. Булыгин. ФОВ. 2004. Т. 10. № 4. С. 75-80.

**Определение отношения коэффициентов теплопроводности и электропроводности металлов.** В. С. Булыгин. ФОВ. 2006. Т. 12, № 4, с. 58-62.

**Недорогие высокоточные измерения емкости и их применения в учебных лабораториях.** Inexpensive highprecision capacitance measurements and their applications in undergraduate laboratories. Clayhold Jeffrey, Priest Joseph, *Amer. J. Phys.* 2008. 76. 3 12. 1167-1171. [10.06-18A.92].

## 8.8. Фотоэлектрический эффект

**Опыты по фотоэлектрическому эффекту.** Davis Sumner P. Photoelectric effect experiment. “*Amer. J. Phys.*”, **1961**, 29, № 10, 706-707. [РЖ 1962 5А 72].

**Вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента.** Майер В. В., Стрелков В. М. *Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 24. Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции “Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”*. Москва. 2006. М., **2006**. 51-54. [09.01-18А.115].

При изложении основ квантовой физики, касающихся внешнего фотоэффекта, как правило, рассматриваются: устройство и принцип действия вакуумного фотоэлемента, законы фотоэффекта, уравнение Эйнштейна. Вводятся понятия: вольтамперная характеристика, ток насыщения, задерживающая разность потенциалов, красная граница фотоэффекта. В работе теоретически обоснована реальная вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента. С этой целью введены два понятия, в соответствии с которыми ток через фотоэлемент, текущий от анода к катоду, называется прямым, а от катода к аноду – обратным. Указан способ определения задерживающей разности потенциалов в учебном эксперименте.

## 8.9. Разное

**Из опыта постановки лабораторного практикума по радиотехнике в Орехово-Зуевском пединституте.** Лукацкая Р. А., Шапиев Ш. И., Агранович Ю. А. “Уч. Зап. Орехово-Зуевск. Пед. ин-т”, **1962**, 18, 18-23. [РЖ 63 1А124].

Отмечается, что лабораторные работы по радиотехнике должны воспитывать у студентов интерес к радиотехнике, содействовать закреплению знаний, полученных на лекциях, способности самостоятельно разбираться в принципиальных и монтажных схемах и получению практических навыков по монтажу и наладке радиосхем. Исходя из этих требований, работы в практикуме разделены на два цикла. В I цикл входят восемь работ по изучению основных радиотехнических элементов и процессов (изучение характеристик ламп, колебательный контур, гетеродин, детектирование и т. п.). II цикл состоит из трех работ, которые проводятся фронтально: усилитель низкой частоты (расчет, монтаж и наладка), изучение схем супергетеродинных приемников (обнаружение и устранение неисправностей), изучение телевизоров и устранение простых неисправностей в них. Опыт работы учителей – выпускников института показал, что такая постановка практикума способствует развитию самостоятельности будущих учителей физики.

**Использование пучка метастабильных атомов в качестве зонда для исследования динамического распределения электронов.** Dickinson J. Thomas, Lockhart James M., Zorn Jens C. Use of metastable atom probe for the study of electron dynamics. “*Amer. J. Phys.*”, **1971**, 39, № 9, 993-996 (англ.). [РЖ 72 1А136].

Описан метод определения траекторий электронов в электронных пушках, основанный на использовании пучка нейтральных атомов аргона, которые при столкновении с электронами переходят в метастабильное состояние и регистри-

руются соответствующими датчиками. При помощи зонда метастабильных атомов (ЗМА) можно определять плотности электронов в поперечном сечении электронного пучка с пространственной разрешающей способностью не более 0,5 мм. ЗМА чувствителен к воздействию всех факторов, которые могут влиять на траектории электронов и, вместе с тем, его плотность может быть настолько малой, что практически не возникает никаких нарушений в первичном распределении электронов. Описанный метод может быть применен для количественных прикидок при расчете электронных пушек в студенческих лабораторных практикумах. Приведена блок-схема экспериментальной установки. Отмечается, что ее настройка и использование доступны для хорошо подготовленных студентов.

**Силы между резонаторами, связанными одним динамическим видом связи.** Козаков М. И., Дубошинский Д. Б., Пеннер Д. И. “Уч. зап. Владимир. гос. пед. ин-т”, 1972, 40, 47-49. [РЖ 72 12А92].

Рассматривается задача взаимодействия резонаторных систем, между которыми существует динамическая связь. В качестве конкретной системы использовались два резонансных контура, один из которых был закреплен, а второй мог совершать вращательное движение по отношению к первому. Исследовано влияние переходных процессов на динамику взаимодействия между контурами. Показано, что эти процессы являются существенными уже для простейшей системы в динамическом режиме взаимодействия при одном изменяющемся виде связи. Так, при подаче питающего напряжения (через катушку связи) силы, возникающие между контурами, стремятся повернуть подвижный контур параллельно неподвижному. Положения максимального отклонения подвижного контура характеризуются разной величиной энергии, накопленной в системе (одному из положений предшествовали малая индуктивная связь и большая добротность). Это обстоятельство и способствует возникновению колебательного или вращательного движения подвижного контура.

**Установка для лабораторного практикума по электронной оптике.** Rodriguer Rivero Armando, Fuentes Cobas Luis. Montaje de una practica de laboratirio sobre balistica electrica. “Ciencias”, 1972 (1974), Ser. 2, № 14, 55 p., il. (исп.; рез. англ.). [РЖ 75 7А 100].

Описаны лабораторные эксперименты, в которых используется электронно-лучевая трубка для измерения отношения заряда электрона к его массе; измерения скорости электронов пучка; измерения напряженности магнитного поля Земли. Приведены подробности устройства экспериментальных установок, анализируются возможные источники погрешностей измерения.

**Триггеры.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Снегирев В. В. Лаб. работа 35. С. 255-265.

**Выделение сигнала из шума.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Лаб. работа 36. С. 265-267.

Наблюдается слабый сигнал электронного парамагнитного резонанса, выделяемый из шума методом накопления с помощью ЭВМ.

**Радиоспектроскопические методы исследования вещества в школьных экспериментах. Ч. II.** Radiospektroskopowe metody badania materii w eksperymentach.

tach szkolnych. Czesc II. Szachowisz J. "Fiz. Szk.", 1987, 33, № 2, 76-81 (пол.). [РЖ 87 10A107].

Рассматривается пространственное квантование спина электрона, процесс намагничивания макроскопических образцов, релаксационные процессы, возбуждение сигнала свободной прецессии, устройство системы для возбуждения такого сигнала и устройство катушки зонда, использующегося в установке для возбуждения сигнала свободной прецессии.

**Пример совершенствования практической работы. Обучение и контроль.** Exemple de progression de TP (TC ou TD). Apprentissage et controle. Tinnes J. "Bull. Union Phys." 1989. 83, 3 715. С. 748-749. (фр.). [РЖ 89 12A138].

Предложена методика работы с осциллографом и его применение для исследования электрической цепи: сдвига фаз, зависимости э. д. с. индукции от числа витков катушки и частоты тока. В каждом случае предлагается на предшествующих практической работе занятиях решить задачи на изучаемые темы. В этом случае практическая работа явится подтверждением теоретических исследований, проведенных при решении задач.

**Отрицательное сопротивление.** Resistance negative. Keravec R. "Bull. Union phys." 1990. 84, № 727. С. 1047-1060. (Фр.). [РЖ 4A115].

Представлено описание макета лабораторной установки для изучения явления отрицательного сопротивления и роли этого явления в процессах генерации электрических колебаний. Установка позволит исследовать взаимосвязь между распределением напряжений и токов в электрических цепях и условиями генерации колебаний, а также зависимость частоты и формы колебаний от параметров электрических цепей. Рассмотрена методика измерений напряжений, токов и частоты колебаний в различных точках электрической цепи с помощью электронного осциллографа.

**Электродвижущая сила в цепях с самоиндукцией.** Force electromotrice d'auto-induction. Le Moal Josette. "Bull. Union phys." 1990. 84, № 727. С. 1105-1110. (Фр.). [РЖ 91 4A118].

Дано описание лабораторного эксперимента по определению коэффициента самоиндукции. С помощью электронного осциллографа производятся измерения временных зависимостей напряжений и токов в электрической цепи, включающей генератор тока, индукционную катушку и омическое сопротивление. Измерения проводятся на частоте 2 кГц при подаче на вход цепи импульсов тока прямоугольной формы. Рассмотрена методика расчета коэффициента самоиндукции, а также э. д. с., которая создается при прохождении импульсов тока через катушку.

**Современный физический практикум по электромагнетизму.** Показаньев А. В., Жеберляев И. Ф., Кабасов Ю. К. *Пробл. учеб. физ.эксперим.* 1995. № 1. 82-84, 133. Рус. [РЖ 97 12A177].

Установка "Изучение электромагнитных колебаний в колебательном контуре" позволяет наблюдать на экране осциллографа колебания, изучать зависимость амплитуды колебаний от времени при различных значениях активного со-

противления и изменение периода колебаний и времени их затухания в зависимости от параметров контура.

**Устройство для демонстрации явления электромагнитной индукции.** Свиридов В. И. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1999. № 17. 42-44. [00.01-18A.135].

Представлены результаты экспериментов с лабораторным устройством, содержащим подвижные (вращающиеся) тороидальные сердечники и тороидальные обмотки с постоянным током. Обнаружено явление трансформации постоянного тока.

**Электромагнитное взаимодействие индукционных токов.** Морозова Е. О., Лозовская Л. Б. *Структура и свойства твердых тел. : Сборник научных трудов учащихся физико-математических классов средних школ г. Нижнего Новгорода, студентов, аспирантов и молодых ученых физического факультета ННГУ и НИФТИ.* Вып. 9. Н. Новгород. 2005. 137-141. [07.08-18A.131].

Рассмотрено возникновение ЭДС в контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур, а также взаимодействие индукционного тока с магнитным полем. Проведена опытная проверка взаимодействия индукционных токов с использованием разработанного макета “электромагнитной пушки”. Выполнено компьютерное моделирование работы экспериментальной установки, рассчитаны токи и напряжения в индукционной катушке и замкнутом кольце при разрядке конденсатора на катушку. Компьютерное моделирование работы установки проводилось с использованием программного пакета схемотехнического моделирования Micro-Cap. Приведена упрощенная электрическая схема экспериментальной установки.

**Силовые свойства вихревых токов.** Force characterization of eddy currents. Pellicer-Porres J., Lacomba-Pertales R., Ruiz-Fuertes J., Martinez-Garcia D., Andres M. V. *Amer. J. Phys.* 2006. 74. № 4. 267-271. [08.04-18A.124].

**Сочетание лабораторного и компьютерного экспериментов при изучении квазистационарных процессов.** Ондрикова Т. В., Яковлева Т. А. *Физика в системе современного образования (ФССО-07) : Материалы 9 Международной конференции, Санкт-Петербург, 4-8 июня, 2007.* Т. 2. СПб, 2007. 284-288. [07.12-18A.146].

Рассмотрена постановка в физическом практикуме лабораторных работ “Исследование процессов зарядки и разрядки конденсатора”, “Исследование экстра-токов замыкания и размыкания”. Проведен как лабораторный эксперимент по данной теме, так и компьютерный эксперимент с помощью модулей программы “Открытая физика”. Показано, что компьютерный эксперимент может выступать в качестве альтернативного варианта лабораторного исследования. Сравнение экспериментального и теоретического решения проблемы приводит к более глубокому осмыслению рассматриваемого явления. Однако не следует злоупотреблять заменой лабораторных экспериментов компьютерными моделями, она должна рассматриваться как временный выход из затруднительного положения (отсутствие приборов, их неисправность) или как расширение возможностей

изучения данного явления, так как “живой” эксперимент всегда был и остается основой познания окружающего мира.

**Учет влияния вращения магнетрона.** Кострикина Ю. В. *Актуальные проблемы физики : Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов.* Вып. 6. Ярославль. **2007.** 159-164. [08.09-18А.128].

Принцип действия магнетрона основан на возможности преобразования в скрещенных электрическом и магнитном полях энергии постоянного тока в энергию колебаний. Наиболее распространен цилиндрический многорезонаторный магнетрон – вакуумный прибор, где цилиндрический катод помещен внутрь сегментированной анодной системы, выполняющей роль собственно анода и содержащей систему резонаторов (колебательных контуров). Магнитное поле, параллельное оси магнетрона, создается электромагнитом. Проведен анализ влияния вращения магнетрона вокруг собственной оси на кинетическую энергию электрона вблизи анода.

## Глава 9

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

**Изучение распространения электрических волн в проволоках.** Соколов А. П. Физический практикум. 1909. Задача 11. С. 245.

**Определение показателя преломления электрических волн в жидкостях по способу Друде.** Соколов А.П. Физический практикум. 1909. Задача 12. С. 247.

**Изучение явления распространения электрических волн в проволоках и определение их показателя преломления в жидкостях.** А. П. Соколов. Физический практикум. 1926. Задача 57. С. 294-298.

Две параллельные медные проволоки натянуты на расстоянии 1,5 см друг от друга и проходят через отверстие в передней стенке наполненного керосином сосуда. Против концов проволок укреплены два медных стержня, которые вместе с дополнительными элементами образуют возбуждающий вибратор. В системе возбуждаются колебания, распространяющиеся по проволокам, где и измеряется длина волны. Для определения электрического показателя преломления используется метод электрических волн в проволоках. Основным элементом установки является система двух находящихся в керосине полукругов, сделанных из медной проволоки. Для определения длины волны на проволоках устанавливается передвижной мост с указателем, перемещающимся по шкале, а в середине между мостами подвешивается индикаторная трубка. При некотором вполне определенном положении моста трубка очень ярко светится. Это происходит в том случае, когда мост находится в узле, что позволяет определить длину волны. Отношение длины полуволны в воздухе к длине полуволны в жидкости дает величину электрического коэффициента преломления жидкости, а квадрат этого отношения равен величине диэлектрической постоянной жидкости.

**Исследование элементарных условий радиосвязи.** Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 57 б. С. 242.

Определение длины волны и скорости распространения электрических волн в проволоках. Физический практикум. Том второй. Проф. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 58. С. 247.

**Определение электродинамической постоянной.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. Под ред. А. Л. Рвачева. Одесский политехн. ин-т. 1960. Задача № 2-38. С. 247.

**Экспериментальное определение скорости распространения волны.** Rossing Thomas D. Velocity of wave propagation experiment. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 2, 123-124. [РЖ 1961 11A100].

Приведена схема генератора импульсов с крутым фронтом, получаемых на сопротивлении 50 Ом при разряде конденсатора через ртутное реле, позволяющего студентам с использованием осциллографа определять: скорость распространения,

затухание и коэффициент отражения импульсов в коаксиальном кабеле с полиэтиленовой изоляцией длиной  $\sim 90$  м, при различных нагрузках на его конце.

**Электромагнитные волны в двухпроводной линии.** Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. М., 1962. Задача 95. С. 543–549. 1968. Задача 121. С. 379–383.

**Измерение поля за отражающей границей при полном внутреннем отражении на волнах длиной в 3,6 см.** Стрелкова Л. П. “Изв. вузов. Физика”, 1962, № 5, 175–176. [РЖ 1963 3А74].

Описывается опыт, демонстрирующий проникновение электромагнитных волн во вторую среду и закон убывания амплитуды волны при полном внутреннем отражении. Экспериментальная установка состоит из генератора 3-см волн с рупором, двух прямоугольных призм из оргстекла и двух одинаковых приемников энергии. Изменяя величину зазора  $x$  между призмами, регистрируют преломленную и отраженную энергию в зависимости от  $x$ . Приведены результаты измерений, из которых следует, что экспериментальные данные с учетом потерь на излучение хорошо совпадают с теоретическими. Работа может быть использована как задача общего и специального физических практикумов.

**Измерение скорости распространения электромагнитных волн.** Leute Richard. Die Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischen Wellen. “Prax. Naturwiss”, 1963, A12, № 2, Physik, 41–42. [РЖ 1964-А90].

Автор дает некоторые практические рекомендации для проведения опыта с использованием системы Лехера. Витки магнитной связи между колебательным контуром генератора и резонансной двухпроводной линией Лехера должны быть выбраны так, чтобы частота возникающих в линии колебаний варьировала в пределах 88–100 МГц. В качестве измерителя частоты колебаний предлагается использовать обычный приемник, допускающий прием на УКВ. Кроме того, даны рекомендации для выбора лампочек накаливания, служащих индикаторами резонанса в линии; приведены также сведения, обеспечивающие легкость настройки линии и точность определения скорости распространения электромагнитных колебаний с точностью  $\sim 1\%$ .

**Двоукрепляющая призма для сантиметровых волн.** Horbelt Karl. Ein doppelbrechendes Prisma für cm-Wellen. “Prax. Naturwiss”, 1965, A14, № 11, “Physik”, 305–307 (нем.). [РЖ 66 6А105].

Классическая теория дисперсии света объясняет преломление как результат действия атомных резонаторов – электронов. Для сантиметровых волн роль таких резонаторов могут играть небольшие металлические диполи. Чтобы получить  $n > 1$  при  $\lambda = 3$  см, в качестве диполей использованы латунные штифты размером  $1,2 \times 1$  мм. Для построения призмы взят листовой пористый материал “стиропор” толщиной в 1,5–2 см. В этот материал на всю глубину вертикально воткнуты штифты, образующие квадратные ячейки с расстоянием между узлами 1 см. Четыре куса стиропора, имеющие вид треугольника с размерами сторон 15 см, наложены друг на друга и образуют призму. При угле преломления призмы  $45^\circ$  наименьший угол отклонения луча равен  $15^\circ$ , что соответствует  $n = 1,3$ . Однако при горизонтальном расположении штифтов луч не претерпевает преломления.



**Интерферометр электромагнитных трехсантиметровых волн.** (Задача общего физического практикума). Стрелкова Л. П. “Изв. Высш. учебн. Заведений. Физика”, 1965, № 6, 177-179. [РЖ 66 6A106].

Описан интерферометр на 3-см электромагнитных волнах, позволяющий измерить интенсивность возмущения в заданной точке интерференционного поля в зависимости от изменения разности хода волн  $\delta$ . Разность хода волн  $\delta$  меняется в пределах от  $0,015 \lambda$  до  $4 \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны излучателя. В качестве источника волн использован клистронный генератор К-19, четвертьволновая антенна которого помещена в прямоугольный волновод, оканчивающийся пирамидальным рупором. Система расщепления волны на две когерентные состоит из полупрозрачного слоя, образованного двумя призмами из оргстекла. Величина полупрозрачности может регулироваться изменением толщины слоя. Индикация поля производится антенной-детектором, описанным в работе автора (Вестник МГУ, Физика–Астрономия, 1963, № 2). Кроме указанных измерений можно измерить длину волны излучателя и диэлектрический коэффициент  $\epsilon$  тонких пластин.

**Определение скорости распространения электромагнитной волны.** Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Ч. 2. Электричество. Под ред. И. И. Портнягина. Челябинск. 1966. Работа Э-14. С. 88-94.

**Изучение волнового поля трехсантиметровых электромагнитных волн, излучаемых рупором.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 116. С. 356-366.

**Измерение коэффициента отражения  $R$  электромагнитной волны от металлических шероховатых поверхностей.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 117. С. 366-369.

**Преломление волн диэлектрической призмой и учет потерь при отражении от граней призмы и на поглощение призмы.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 118. С. 369-373.

**Изучение явления полного внутреннего отражения волны при тонком пограничном слое.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 119. С. 373-376.

**Измерение интенсивности электромагнитных колебаний в заданной точке интерференционного поля в зависимости от разности хода интерферирующих волн.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 120. С. 376-379.

**Электромагнитные поверхностные волны в однопроводной линии.** Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В. И. Ивероновой. 1968. Задача 122. С. 384-388.

**“Оптическая скамья” для микроволнового диапазона.** Silbernagel V. G., Worster Bruce W. A microwave “optical bench”. “*Amer. J. Phys.*”, 1969, 37, № 4, 450. [РЖ 1970 № 2A78].

Лабораторные работы по распространению и поляризации микроволн выполнялись с оборудованием, входящим в набор фирмы Niscook, который содержит микроволновые передающую и приемную рупорные антенны, пластинки Фабри-Перо и алюминиевые отражатели для изучения распространения микроволн при наличии металлических границ. Опыт работы с этим набором показал, что для улучшения работы приборов необходимо их усовершенствование; отдельные части приборов должны иметь строго линейное расположение; пластинки Фабри-Перо должны оставаться перпендикулярными к направлению распространения микроволн и параллельными друг другу в течение всего эксперимента, в особенности, когда расстояние между ними изменяется; отражатели должны оставаться параллельными направлению распространения и друг другу при смещении; в эксперименте должна быть сохранена определенная симметрия, и при изменении расстояния между отражателями они должны оставаться симметричными относительно средней линии пластинок Фабри-Перо; необходимо иметь возможность измерять расстояние между отражателями и пластинками, по крайней мере, с точностью до 0,5 мм. В заметке приведена схема расположения отдельных деталей, позволяющая устранить указанные дефекты. Указано, что улучшение прибора дало возможность получить воспроизводимые результаты в экспериментах более 2000 студентов.

**Вводный эксперимент по определению фазовой и групповой скорости.** Dourlent M. Introduction experimental aux notions de vitesse de phase et de vitesse de groupe. "Bull. Union phys.", 1970, 65, 3 530, 235-243. [РЖ 1971 № 6A74].

Описаны методика и экспериментальная установка, при помощи которых осуществляется четкое разделение фазовой и групповой скорости распространения электромагнитных волн. Предложенная методика измерения сдвига фаз (запаздывания) дает возможность количественно определять соотношение между двумя скоростями и закон распространения электромагнитного излучения. Визуальное наблюдение на экране двухлучевого осциллографа дает наглядное представление о механизме явления и содействует глубокому пониманию различной физической природы групповой и фазовой скорости. Экспериментальная установка, кроме генератора низкой частоты и осциллографа, содержит схему, которая представляет собой пассивный четырехполюсник, обладающий по отношению к прикладываемому электрическому напряжению свойствами диспергирующей среды. Описанный эксперимент может быть поставлен в начальной лаборатории на 1-2 курсах вуза.

**Измерение времени распространения импульса напряжения при помощи осциллографа.** Werner Arno. Laufzeitmessung von Spannungsimpulsen mittels Oszillograph. "Prax. Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 11, 294-296. [РЖ 1971 № 4A91].

Для измерения времени распространения импульса напряжения вдоль коаксиального кабеля используется генератор и осциллограф с градуированной осью времен. Продолжительность импульса должна быть меньше, чем удвоенное время распространения импульса вдоль кабеля. Коаксиальный кабель подключают к выходу генератора и к вертикальному входу осциллографа. Импульсы от генератора распространяются вдоль кабеля, отражаются от его конца и возвращаются к началу. При этом на экране возникают 2 импульса на определенном расстоянии

друг от друга. По величине этого расстояния определяют время распространения импульса вдоль кабеля.

**Измерение скорости распространения электромагнитных волн в проводах и кабелях.** Sudbeck Walter. Laufzeit-Messungen an Drahten und Kabeln. "Prax. Naturwiss.", 1970 Teil 1, 19, 3 10, 268-272. [РЖ 1971 № 4А92].

Приводятся опыты по определению скорости распространения электромагнитных колебаний в однородном проводнике. Даны основные соотношения теории распространения электромагнитных волн в длинных линиях. Показана возможность измерения параметров длинных линий в школьных условиях и обсуждаются различные пути их осуществления. С помощью установки, которая состоит из генератора ВЧ-колебаний, работающего на частоте 80 кГц, триггера и отрезка коаксиального кабеля длиной 1 м, активного сопротивления  $R=10 \text{ кОм}$ , трехполосного переключателя и катодного двухлучевого осциллографа, демонстрируют распространение электромагнитных колебаний в кабеле, работающем в режиме стоячей и бегущей волны. Возможность одновременного наблюдения временного масштаба и осциллограммы распространения электромагнитной волны позволяет вычислить период и скорость распространения электромагнитной волны в кабеле. Приведена схема установки. Приведены также полученные в ходе опыта осциллограммы и результаты вычислений. На основании полученных результатов вычисляются погонные параметры линии и ее волновое сопротивление.

**Два учебных опыта с трехсантиметровыми волнами.** Молотков Н. Я. "Успехи физ. наук", 1971, 103, № 3, 549-552. [РЖ 1971 7А85].

Описаны опыты по распространению электромагнитных волн в анизотропной среде с использованием "пачек", спаянных из большого числа (49 и 56) жестяных волноводов сечением  $27 \times 23 \text{ мм}$ . Рассмотрен также опыт, иллюстрирующий явление поляризации света, рассеянного в мутных средах. Роль "мутной среды" выполняет кусок пенопласта размером  $200 \times 200 \times 200 \text{ мм}$ , в котором располагаются хаотическим образом ориентированные в пространстве 300 медных диполей длиной 3,2 см.

**Высокочастотная двухпроводная линия в качестве реактивного сопротивления.** Meissner Arthur. HF-Doppelleitung als Blindwiderstand. "Prax. Naturwiss.", 1972, Teil 1, 21, № 3, 67-73 (нем.). [РЖ 72 8А64].

Если двухпроводную линию (линию Лехера) закоротить на одном из концов, то входное сопротивление линии носит реактивный характер при длине линии, соизмеримой с длиной волны электромагнитных колебаний. Характер реактивности (емкость, индуктивность) определяется длиной линии. Аналогичные результаты получаются, если линия разомкнута с обоих концов. Эти положения иллюстрируются рядом опытов, где индуктивность или емкость в резонансном контуре заменяется отрезками линии. Резонанс в контуре индицируется низкоомной лампой накаливания. Эксперименты производятся с генератором ВЧ-колебаний ( $\lambda=2,1 \div 2,2 \text{ м}$ ), схема которого приводится.

**Два лабораторных эксперимента с СВЧ, дающих неожиданные результаты.** Reichert Jonathan F. Two undergraduate microwave experiments giving unexpected data. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 4, 584-587 (англ.). [РЖ 72 10А127].

Описаны два лабораторных эксперимента с СВЧ. Изучаются работа СВЧ-приемника и свойства двух различных рупорных и одной дипольной антенн в передаче энергии СВЧ через изоляторы. Приведена блок-схема эксперимента с указанием необходимого оборудования и его краткой характеристики. В качестве источника СВЧ используется стандартный 2К25 клистрон. Отмечается, что описываемые эксперименты входят в категорию экспериментов, дающих "удивительные или неожиданные результаты": студент знаком с приборами, которые он намеревается использовать, знает принцип работы установки и думает, что знает результаты, которые он получает в ходе эксперимента, но, в действительности, получает результаты, которых он не ожидал.

**Изучение стоячих электромагнитных волн в двухпроводной линии.** Рук. к лаб. раб. по ф-ке. Часть II. Электричество и магнетизм. Под ред. доцента А. П. Максименко. Днепропетровск. 1973. Работа № 2-16. С. 127.

**Усовершенствованный эксперимент Лехера.** Allenson M. B., Piercy A. R., Taylor K. N. R. An improved Lecher wire experiment. "Phys. Educ.", 1973, 8, № 1? 47-49 (англ.). [РЖ 73 5А68].

Описан модифицированный лабораторный эксперимент Лехера, в котором, кроме определения распределения напряжения в замкнутой и незамкнутой цепях и длины волны, исследуются активное и реактивное сопротивления цепи и определяются неизвестные комплексные сопротивления цепи. Это достигается путем увеличения действующей частоты (до 450 МГц) и использования кристаллического детектора с высоким входным сопротивлением, который калибруется по отношению к генератору стандартных сигналов для определения коэффициента стоячей волны напряжения. Обсуждаются теория эксперимента, методика измерений и результаты эксперимента.

**Микроволновые эксперименты в лабораторном практикуме для студентов старших курсов.** Elmore W. C. Microwave experiments for an advanced laboratory. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 7, 865-870 (англ.). [РЖ 73 12А104].

Описаны четыре цикла лабораторных работ для студенческого практикума, в которых используются электромагнитные волны 3-см диапазона. В первом цикле предполагается экспериментальное изучение аппаратуры и техники измерений в 3-см диапазоне длин волн. Здесь изучаются особенности распространения волн в волноводах, соотношение между длиной волны в волноводе и свободном пространстве, свойства направленного ответвителя с применением калиброванного аттенюатора, проводится измерение импедансов с использованием диаграммы Смита. Во втором цикле предлагается исследовать электронный спиновый резонанс, с использованием эффекта поглощения 3-см волн в образце на основе дифенилпикрилгидразида. В третьем цикле экспериментально исследуется циклотронный резонанс электронов. Измеряется отношение циклотронной частоты электронов низкой энергии к частоте ЯМР протонов в воде (или нефти) в общем магнитном поле. В четвертом цикле микроволны используются для изучения зависимости плотности электронов в плазме газоразрядной трубки от ве-

личины разрядного тока, давления и природы газа. Описываются экспериментальные методики, приводятся некоторые результаты экспериментов.

**Изучение стоячих электромагнитных волн в двухпроводной линии.** Руководство к лабораторным работам по физике. Часть II. Электричество и магнетизм. Днепропетровск. 1973. Под ред. доцента А. П. Максименко. Работа № 2-16. С. 127.

**Определение скорости электромагнитных волн на системе Лехера с использованием частотомера.** Dimpfl Volkmar. Lichtgeschwindigkeitsbestimmung mit Frequenzzahler und Lecherleitung. "Phys. Und Didakt.", 1976, 4, № 1, 58-63 (нем.). [РЖ 76 9A123].

Предлагается использовать двухпроводную линию Лехера для определения скорости электромагнитных волн в воздухе. Длина волны в линии измеряется обычным методом. Для определения частоты применяется делитель частоты и цифровой частотомер. Приводится схема делителя частоты.

**Определение показателя преломления и диэлектрической проницаемости среды методом стоячих электромагнитных волн.** Сауров Ю. А., Бутырский Г. А. "Физ. в школе", 1978, № 1, 61-63. [РЖ 78 8A100].

Описана лабораторная работа по курсу физики средней школы: определение показателя преломления и диэлектрической проницаемости среды методом стоячих электромагнитных волн. Для проведения работы требуются выпрямитель, генератор СВЧ, приемник без рупора, узкая металлическая пластина, УНЧ, гальванометр, стеклянная ванна с керосином, оптическая скамья, штатив. Используется методика измерений, предложенная в статье В. М. Зыкова (РЖФиз, 1972, 10A124). Показатель преломления среды вычисляется по формуле  $n = \lambda / \lambda_1$ , где  $\lambda$  и  $\lambda_1$  – длина электромагнитной волны в вакууме и диэлектрике (керосине). Кратко рассмотрены теоретические основы работы, приведен список заданий для учащихся.

**Распространение микроволн в жидких диэлектриках.** Microwave propagation in dielectric fluids. Long W. P. "Amer. J. Phys.", 1980, 48, № 8, 648-649 (англ.). [РЖ 81 3A107].

Описан лабораторный эксперимент, в котором изучается распространение электромагнитной волны в диэлектрических жидких средах, в частности, зависимость длины волны микроволнового излучения, распространяющегося в неограниченном жидком диэлектрике, от диэлектрической постоянной среды. Используется метод стоячей волны; она создается в пластмассовом контейнере размерами 30×15×15 см, размещенного на каретке микроскопа с горизонтальной микрометрической подачей. Измеряется длина волны излучения в воздухе и в касторовом масле. Полученные результаты согласуются с теоретическими с точностью порядка 5%. Измеренная величина диэлектрической постоянной для касторового масла оказалась равной  $2,65 \pm 0,05$  при длине волны 3 см. Обсуждаются ограничения эксперимента, связанные с несоблюдением условий неограниченности среды.

**Студенческий эксперимент по измерению микроволнового Доплер-эффекта.** Student microwave experiments involving the Doppler effect. Weber F. Nelf, Helminger Paul, Moulds Delores Lynn. "Amer. J. Phys.", **1980**, 48, № 9, 737-738 (англ.). [РЖ 81 4A131].

**Лабораторный эксперимент по наблюдению прохождения и отражения электромагнитных волн вблизи частоты отсечки в плоскопараллельном волноводе.** A laboratory experiment to demonstrate the transmission a parallel plate wave guide. Maisel James E., Tice Thomas E. "IEEE Trans. Educ.", **1980**, 23, № 4, 207-209 (англ.). [РЖ 81 8A119].

Обычно в учебных экспериментах с волноводами работают на частотах не менее, чем в 1,5 раза превышающих граничную. С целью расширения области наблюдаемых явлений, предлагается эксперимент по изучению прохождения и отражения волн в плоскопараллельном волноводе вблизи граничной частоты. Для наблюдения используются колебания типа  $TE_{10}$ , что позволяет выполнить волновод в виде двух параллельных пластин и осуществлять настройку волновода путем изменения расстояния между пластинами. Приводится схема экспериментальной установки, состав оборудования и методика проведения эксперимента. Описывается конструкция перестраиваемого волновода, который может быть изготовлен студентами самостоятельно.

**Собрать разбегающиеся лучи...** . Новодворский И. "Наука в СССР", **1982**, № 6, 8-9. [РЖ 83 11A156].

В популярной форме описано открытие профессором МФТИ А. Л. Микаэляном явления многократной фокусировки электромагнитных волн в непрерывных, неоднородных средах, показатель преломления которых в радиальном направлении убывает по закону экспоненциальных функций, а вдоль направления распространения меняется непериодически. Явление положено в основу нового принципа передачи информации в направляющих системах, в которых сигналы передаются без искажений. Создан новый класс волноводов, получивших название "селфоки". Приведены примеры наблюдения явления многократной фокусировки в природе при аномальном распределении плотности в атмосфере.

**Микрополосковые цепи для лабораторного практикума.** Microstrip circuits for the classroom laboratory. Sayre C L. «IEEE Trans. Educ.», **1985**, 28, № 1, 28—31. [РЖ 85 10A68].

Описан лабораторный эксперимент, который позволяет познакомить студентов с принципами работы и конструкцией различных микрополосковых устройств. Рассматривается технология изготовления микрополосковых устройств, которая не требует фотографических способов и легко выполняется в лаборатории. В лабораторном практикуме изучаются несколько микрополосковых резонаторов различного типа в диапазоне частот 1—5 ГГц.

**Изучение волнового поля трехсантиметровых электромагнитных волн, излучаемых рупором.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. **1987**. Стрелкова Л. П. Лаб. работа 30. С. 222-226.

В лабораторной работе изучаются основные характеристики излучаемого рупором потока энергии. Определяются длина волны и характер поляризации излучения.

**Электромагнитные поверхностные волны в однопроводной линии.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Стрелкова Л. П. Лаб. работа 31. С. 226-229.

Изучается распространение электромагнитной волны вдоль одиночного проводника. Выясняются условия получения бегущей волны в проводнике конечной длины, при этом измеряется распределение интенсивности волны вдоль линии, измеряется также распределение интенсивности в плоскости, перпендикулярной проводу, в зависимости от расстояния до провода. Наблюдаются стоячие волны в однопроводной линии и измеряется распределение интенсивности вдоль линии. По графику распределения интенсивности определяется длина стоячей волны.

**Электромагнитные волны в двухпроводной линии.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Стрелкова Л. П. Лаб. работа 32. С. 229-232.

Измеряется распределение амплитуд напряжения и тока вдоль двухпроводной линии при различных режимах ее работы на ультравысоких частотах ( $f=6$  ГГц).

**Определение скорости электромагнитных волн в воде.** Определяется скорость на электромагнитных волнах в воде. Иванов Д. "Физика" (НРБ), 1987, 12, № 2, 15-17 (болг.). [РЖ 87 12 А124].

Для определения скорости электромагнитных волн в воде используется генератор дециметровых электромагнитных волн, система Лехера и чувствительный индикатор электромагнитного поля. Предлагается простая схема генератора на двойном триоде 6Н15П. Даны советы по монтажу схемы генератора, изготовлению индикатора поля. Определяют длину электромагнитной волны в воздухе  $\lambda_0$  и в воде  $\lambda$  и вычисляют скорость электромагнитной волны в воде  $v = \frac{\lambda}{\lambda_0} c$ . С по-

мощью опыта можно определить диэлектрическую проницаемость воды  $\epsilon = \frac{\lambda_0}{\lambda} \epsilon_0$ .

**Учебный прибор по физике для исследования движения электронов в электрических и магнитных полях:** А. с. СССР 1536431 А1, МКИ 5G 09 В 23/18. Орицин Ю. М., Савчин И. М.; Львов. Гос. ун-т, Львов. Лесотехн. Ин-т. № 4267325/31-12; Заявл. 24.06.87. Оpubл. 15.01.90., Бюл. № 2. [РЖ 90 6А87].

Изобретение относится к учебным приборам и может быть использовано при изучении движения электронов в электрических и магнитных полях. Учебный прибор содержит электронно-лучевую трубку, электронная пушка которой подключена к блоку питания, пластины горизонтального отклонения связаны с первым источником регулируемого напряжения, система магнитного отклонения выполнена в виде диаметрально расположенных проводников, размещенных вдоль пластин вертикального отклонения соосно горловине электронно-лучевой трубки и подключенных к источнику регулируемого напряжения. Пластины вер-

тикального отклонения подсоединены ко второму источнику регулируемого напряжения через параллельно включенные эталонный конденсатор и переключатель. Параллельно пластинам вертикального отклонения подключены герконный прерыватель и дополнительный конденсатор в виде двух параллельных пластин, площадь которых больше площади пластин вертикального отклонения, а расстояния между пластинами равны.

**Изучение двойного поглощения электромагнитных волн анизотропной средой в лабораторном практикуме.** Островский В. А., Имбер Л. И. "Изв. вузов. Физ." 1988. 31, № 8. С. 119-120. [РЖ 89 2A164].

Указанный учебный эксперимент осуществляется с использованием древесины в качестве анизотропной среды и сантиметровыми электромагнитными волнами. Фронт линейно поляризованной промодулированной по амплитуде радиоволны от клистронного генератора перекрывается металлическим экраном с отверстием в центре. Вплотную к отверстию поочередно помещаются плоскопараллельные бруски из сухой прямослойной древесины, вырезанные так, чтобы вектор  $E$  падающей волны составлял с направлением волокон углы 0, 30, 60, 90° соответственно. Для возможности изменения толщины каждый образец составлен из пары клиньев. Определяя изменение интенсивности принимаемой волны (с помощью приемного рупора и осциллографа) при изменении толщины пластин на величину  $d$  по формуле  $k = \ln[(I/I_0)/d]$ , авторы находят значения коэффициента поглощения  $k$  по различным направлениям. Получен эллипс – геометрический образ тензора II ранга.

**Резонанс в RLC-цепях с частотной модуляцией. Circuit RLC-resonance wobulation.** Keravec R. Bull. Union phys. 1990. 84, № 727. С. 1033-1046. [РЖФиз. 1991. Т. 4. Часть I. 4A114].

Представлено описание макета лабораторной установки для изучения с применением электронного осциллографа процессов генерации электрических колебаний в RLC-цепях. Рассмотрены процессы возникновения затухающих и незатухающих колебаний в электрических цепях разного типа и методика изучения взаимосвязи между характеристиками электрических колебаний параметрами электрических цепей. Установка позволяет исследовать механизм модуляции частоты колебаний посредством изменения электрического напряжения в различных участках цепи.

**Демонстрационно-лабораторный комплект для изучения принципов радиопередачи и радиоприема.** Никифоров Г. Г., Либерман Л. С. Пробл. Учеб. физ. эксперим. 1995. № 1. 77-80, 133. Рус. [РЖ 97 12A169].

Комплект приборов состоит из демонстрационных передатчика и приемника и радионабора для сборки различных приемников самими учащимися при выполнении самостоятельного эксперимента.

**Измерение скорости электромагнитной волны и диэлектрической проницаемости сред в учебном физическом эксперименте.** Байков Ю. Г., Кистанов А. В., Самышин А. В. *Использ. Науч.-техн. достиж. В уче. Физ. эксперим. Пенз. гос. ун-т.* Пенза, 1997. 3-7. Рус. [РЖ 99 1A114].



Описывается учебный эксперимент с серийным скоростным осциллографом, позволяющим измерять длину электромагнитной волны, диэлектрическую проницаемость среды, интерференцию электромагнитных волн, коэффициент отражения и угрозу отраженной волны. В этом эксперименте используются серийные радиоизмерительные приборы: в качестве источника электромагнитных волн используют генераторы высокочастотных сигналов Г4-122, Г3-10А, Г4-44 и др.; раздвижные линии, коаксиальные кабели в качестве трактов; ферритовые вентили – для уменьшения влияния отражений на работу генераторов; ответвители – для наблюдения и измерения параметров сигналов и результатов их взаимодействия.

**Поляризационные двоякопреломляющие призмы для сантиметровых электромагнитных волн.** Молотков Н. Я., Постульгин А. В. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. 1998. С. 44-48.

**Прибор для исследования многолучевой интерференции в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн.** Молотков Н. Я., Шальнев В. В., Хвостова Н. В., Постульгин А. В. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. 1998. С. 55-58.

**Эффект Фарадея в намагниченном феррите.** Молотков Н. Я., Дивак В. Б. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. 1998. С. 61-64.

**Лабораторная работа по исследованию отражения электромагнитных волн от диэлектрика.** Молотков Н. Я., Осипова И. А. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 7. 1998. С. 74-76

**Моделирование директорной антенны в СВЧ диапазоне.** Лобова Г. Н. Преп. физики в высш. шк. № 20. Москва. 2002. С.81-84.

**Моделирование нелинейных явлений в специальном практикуме педагогического вуза.** Ильин В. А., Масленников Н. М., Федорова Ю. В. ФССО-01. Тезисы докладов. Ярославль, 2001. С. 154-156.

**Экспериментальные задачи – путь к ликвидации формализма в знаниях (двухпроводная линия).** Дивин Н. П., Оноприенко О. В., Яковлева Т. А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2001. № 11. 40-41, 101. [02.01-18А.105].

Для устранения формализма в знаниях предлагается включить в процесс обучения систему экспериментальных задач по электродинамике двухпроводной линии. Физика двухпроводной линии включает в себя практически все разделы курса “Электричество и магнетизм”. Представлена система экспериментальных задач, созданная на основе задачника Сахарова Д. И. (1967 г.). В перечисленных задачах рассматриваются вопросы, связанные с электрическим и магнитным полем двухпроводной линии, ее емкостью и индуктивностью, а также проводится аналогия между электростатическим полем и электрическим полем в проводящей среде. Последнее дает возможность моделировать электростатическое поле двухпроводной линии с помощью электрических полей стационарных токов в электропроводной бумаге. В качестве примера рассматривается задача по исследованию магнитного поля двухпроводной линии.

**Лабораторная работа по исследованию явления Брюстера в сантиметровом диапазоне радиоволн.** Молотков Н. Я., Дивак В. Б., Осипова И. А. Проблемы учеб. физ. эксп-та. Глазов. Вып. 12. **2001**. С. 35-37.

**Лабораторная работа “Определение длины волны и частоты СВЧ генератора с помощью системы Лехера”.** Ларионов В. В., Гаранин Г. В. *Физ. образ. в вузах*. **2004**. 10. № 3. 68-72, 136. [05.02-18A.114].

Описаны конструктивные особенности лабораторной работы для изучения электромагнитных волн двухпроводной линии Лехера, а также опыт применения этой работы в лабораторном практикуме технических университетов. В лабораторной работе использован высокочастотный генератор сигналов Г4-79 с выходом – 40 дБ. Приведены полные технические параметры установки, что позволяет воспроизвести ее в экспериментальных мастерских вузов. Для изготовления прибора рекомендуется использовать светодиоды и цифровые индикаторы на жидких кристаллах.

**Простые опыты по двойному лучепреломлению в сантиметровом диапазоне радиоволн.** Молотков Н. Я., Егоров А. А. *Учеб. физ.* **2004**. № 4. 42-47. [05.08-18A.128].

Предложена серия учебных экспериментов по двойному лучепреломлению электромагнитных волн сантиметрового диапазона в треугольных призмах из искусственных сред. Двойкопреломляющие призмы можно изготовить на базе металлоленточных, волноводных или слоистых диэлектрических структур.

**Волновая лаборатория внутри коаксиального кабеля.** A wave lab inside a coaxial cable. Serra Joao M., Brito Miguel C., Alves Maria J., Vallera A. M. *Eur.J. Phys.* **2004**. 25. № 5. 581-591. [05.09-18A.133].

**Измерение электромагнитных полей в окружающей среде в учебном физическом эксперименте.** Measurement of EMF in living environment in class “Physics Experiment”. Masuda Hiroyo, Katsuyama Tomoo. *Numazu kogyo koto senton gakko kenkyu hokoku = Numazu Coll. Technol. Res. Annu.* **2004**. № 39. 205-210. [06.04-18A.151].

**Лабораторная работа “Сложение электрических колебаний”.** Андреев А. Г., Фетисов И. Н. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф.* М., 22-24 июня 2004 г. М. **2004**. С. 76-77.

**Измерение скорости радиоволн: метод стоячих волн.** Measuring the speed of a radio wave: The standing-wave method. Se-yuen M. *phys. Educ.* **2004**. 39. № 6. 464-466. [06.07-18A.136].

**СВЧ-генераторы на лавинно-пролетных диодах в физическом практикуме.** Выборнов Ф. И., Чандаева С. А. *Проблемы учебного физического эксперимента : Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции “Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”*, Москва, 2005: Сборник научных трудов. М., **2005**. 66-67. [06.12-18A.147].

Предложены описания конструкций простых лабораторных СВЧ-устройств, выполненных на лавинно-пролетных диодах. Разработанный макет состоит из приемника и передатчика с рупорными антеннами, закрепленными на подставках и легко ориентируемыми. Предлагаемый комплекс СВЧ-устройств может быть использован как для лекционных демонстраций, так и для проведения лабораторных работ по теме “Электромагнитные колебания и волны”.

**Лабораторная работа “Определение длины волны и частоты СВЧ генератора с помощью системы Лехера”.** Ларионов В. В., Гаранин Г. В. *Физ. образ. в вузах.* 2005. 11. № 1. 54-58, 99-100. [05.10-18А.131].

Описаны конструктивные особенности лабораторной работы для изучения электромагнитных волн двухпроводной линии Лехера. Приведены полные технические параметры установки, что позволяет воспроизвести ее в экспериментальных мастерских вузов. В лабораторной работе кафедры общей физики Томского политехнического университета использован высокочастотный генератор сигналов Г4-79 с выходом – 40 дБ. Для сопряжения лабораторной установки с ПЭВМ используется плата ввода-вывода аналоговых и цифровых сигналов и интегрированный в плату усилитель аналоговых сигналов. В работе используется также плата сбора данных на основе графической программной технологии LABVIEW фирмы National Instruments. На основе пакета LABVIEW созданы необходимые виртуальные приборы, позволяющие проводить занятия в натурном или виртуальном режиме, а также использовать смешанный вариант. Опыт показывает, что особый интерес у студентов вызывает работа с управляющими схемами пакета LANVIEW, а также с возможностью статистической обработки результатов эксперимента.

**Волновая природа явления электромагнитной индукции.** П. М. Меднис. *ФОВ.* 2006. Т. 12, № 3, с. 43-48.

**Малогобаритная двухпроводная линия и исследование свойств стоячих электромагнитных волн в диапазоне 1,4 ГГц.** Вязовский М. В., Попов Э. С., Сыродоев Г. А. *ФССО-07. Мат. IX Межд. конф. С.-Пб-г,* 2007, с. 56-57.

**Новый лабораторный практикум на основе поверхностного волновода.** Лобова Г. Н. *Физ. образ. в вузах.* 2007. 13. № 2. 99-103., 135. [08.05-18А.136].

Дано описание принципиально нового лабораторного практикума из 12 работ. В основу практикума положены современные результаты исследования поверхностного волновода в виде линии Губо. Этот волновод представляет собой проводник, покрытый тонким слоем диэлектрика (линия Губо), вдоль которого распространяется поверхностная волна. Исследования волновода открыли возможность разработки новой технологии построения антенны.

**Малогобаритная двухпроводная линия и исследование свойств стоячих электромагнитных волн в диапазоне 1,4 ГГц.** Вязовский М. В., Попов Э. С., Сыродоев Г. А. *Физика в системе современного образования (ФСС)-07) : Материалы 9 Международной конференции, Санкт-Петербург, 4-8 июня, 2007.* Т. 1. СПб, 2007. 56-57. [08.07-18А.132].

Двухпроводная линия (линия Лехера) и лабораторная работа на ее основе относятся к числу важных, широко используемых в учебном процессе в ВУЗах. Однако чаще всего реализуются стационарно установленные устройства, работающие в диапазоне метровых волн. В этих установках используют ламповые генераторы и высокий уровень сигнала, а в качестве индикаторов тока и напряжения – лампы накаливания и газоразрядные соответственно. Современные полупроводниковые приборы (СВЧ транзисторы, диоды Ганна) позволяют модернизировать оборудование и существенно при этом уменьшить габариты установки, а применение СВЧ диодов (типа Д-605) – снизить уровень сигнала. Использование частоты 1,4 ГГц (длина волны 21,5 см) мотивировано тем, что это практически не используемый радиоловительский диапазон, так что исключается проблема помех действующим системам связи. Использование различных схем реализации установки позволяет студентам глубже понять физические причины возникновения и распространения электромагнитных волн.

## Глава 10

### РАЗНОЕ

**Универсальные стенды в лабораторном практикуме.** Тягунов Г. А., Морозова И. Г., Кушманов И. В., Бестужев Б. Ф., Вестн. высш. школы. 1959, № 12, 68-73. [РЖ 1960 № 9 21913].

На кафедре электрофизических установок Московского инженерно-физического института разработана новая методика проведения практикума, согласно которой лабораторные работы выполняются студентами совершенно самостоятельно и параллельно с изучением соответствующих тем лекционного курса. Лаборатория оборудована универсальными стендами для испытания электровакуумных и полупроводниковых приборов. Каждый стенд позволяет выполнить все лабораторные работы во многих вариантах. В лаборатории электронных приборов Московского электротехнического института связи сконструирован универсальный лабораторный стенд. С помощью стенда и комплектующей измерительной аппаратуры могут быть сняты статические и динамические характеристики приемно-усилительных и маломощных генераторных ламп, ряда ионных приборов и др. Приведены описания стендов, схемы и фотографии.

**Новая техника в физическом практикуме.** Лелюк И. Ф. “Вестн. Высш. школы”, 1965, № 1, 78-82. [РЖ 65 7A50].

Описывается аппаратура и методика проведения физического практикума и лекционных демонстраций в Артиллерийской радиотехнической академии по теме “Электромагнитные колебания и волны”: демонстрационная передающая и приемная установка электромагнитных волн, демонстрационные и лабораторные работы по интерференции, дифракции и поляризации, опыты с диэлектрической призмой. Все установки собраны из типовой аппаратуры. Рупорные антенны, зональные пластинки, анализаторные сетки и другие необходимые детали могут быть изготовлены механиком средней квалификации.

**Лаборатория типа проектной по электричеству и магнетизму.** Shonle John. Project laboratory in electricity and magnetism. “*Amer. J. Phys.*”, 1967, 35, № 9, 792-796. [РЖ 1968 7A90].

В последнее время часто высказывалось мнение, что студенческие лаборатории не дают студентам никакого стимула и имеют отдаленное отношение к физическим исследованиям. Для изменения такого положения предлагается сделать лабораторию менее жесткой. Реализовать это можно двумя путями, не исключаящими друг друга: лабораторией с открытыми экспериментами в лабораторией типа проектной. В первом случае преподаватель только начинает эксперимент, а студенты могут продолжать данный эксперимент любым способом. Во втором случае каждый студент (или группа студентов) выбирает желаемую тему и исследует ее в течение длительного периода времени. Однако идея проектной лаборатории не применяется широко. В статье описан трехлетний опыт применения в колледже Рид (штат Орегон) лабораторного курса такого типа по электричеству и магнетизму. Описывая преимущества и недостатки такого курса, автор указывает, что основным и безусловным преимуществом является живой интерес студентов. К статье приложен список оборудования лаборатории.

**Эксперименты по физике льда.** Martin P.F., Murkett A.J., Roe W.C. Experiments in ice physics. "Phys. Educ." 1978. 13, № 7. 420-423. [РЖ 1979 7A84].

Описаны лабораторные эксперименты для изучения электрических свойств льда, предназначенные для студентов высших учебных заведений. Эксперименты проводятся в холодильной камере, которая может быть сконструирована на основе домашнего холодильника. Для измерения проводимости льда деионизированная вода наливается в U-образную трубку, которая помещается в бак с антифризом для обеспечения постоянства температуры образца. Отмечается, что необходимо обеспечить полное отсутствие включений воздуха в образце. Напряжение от батарей через делитель подается на Hg-электроды, находящиеся в контакте с образцом. Так как сопротивление льда велико (порядка  $10^{10}$  Ом), ток через образец измеряется электрометром Гриффина. Проводимость определяется из графика зависимости разности потенциалов от тока. Кривая зависимости проводимости льда от температуры  $\sigma(T)$  снималась при охлаждении образца со скоростью порядка  $2^{\circ}$  К/ч. Далее оценивалась величина энергии активации  $E_A$  из соотношения  $\sigma \sim \exp(-E_A/kT)$ . Отмечается, что описанные измерения занимают более 10 ч, т. к. проводимость льда зависит от его термической предыстории, и необходимо выдержать образец при определенной температуре около 2 ч, прежде чем начинать измерения. Для исследования диэлектрической постоянной льда используется плоский конденсатор с Cu-пластинами площадью  $78 \text{ см}^2$ . Измерения емкости конденсатора, заполненного льдом, в частотном диапазоне 0,4-50 кГц производятся с помощью универсального моста Керра. Температура измеряется медно-константановой термопарой. Снимаются частотные зависимости емкости и активной проводимости для нескольких значений температуры. Строятся графики частотной зависимости действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической постоянной. Проводится сравнение полученных высоко- и низкочастотной зависимостей диэлектрической постоянной. Обсуждается механизм электрической проводимости льда. Проведено теоретическое обоснование эксперимента.

**Электронное аналоговое моделирование.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Кандидов В. П., Кульман Н. К. Лаб. работа 33. С. 233-241.

Изучается операционный усилитель постоянного тока, позволяющий выполнять с аналоговыми сигналами операции умножения на коэффициент, суммирования, дифференцирования, интегрирования. В заключение изучается работа электронной схемы из четырех операционных элементов, позволяющей "электронным образом" решать дифференциальное уравнение второго порядка.

**Физическая реализация элементов алгебры логики.** Козлов В. И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. 1987. Снегирев В. В. Лаб. работа 34. С. 241-254.

Изучаются способы создания электронных схем, выполняющих различные логические операции, в частности, изучается работа элемента "2И-НЕ", элемента "НЕ", синтез элемента "2 ИЛИ" из элементов "2И-НЕ" и изучение его работы, синтез сумматора по модулю "2" из элементов "2И-НЕ" и проверка его работы.

**Изучение импеданса живой ткани.** Физический практикум для медиков. Часть II. Т. К. Мюйрисепп, Х. В. Тераль. Тарту. 1987. Лаб. работа 3. С. 29-40.

Изучается зависимость импеданса, емкости, сдвига фаз между током и напряжением для листка растения от частоты (в случае определенной эквивалентной схемы). Строится векторная диаграмма напряжений для разных частот.

**Изучение усилителя фонокардиографа.** Физический практикум для медиков. Часть II. Т. К. Мюйрисепп, Х. В. Тераль. Тарту. 1987. Лаб. работа 7. С. 78-86.

**Ознакомление с принципами ЭКГ.** Физический практикум для медиков. Часть II. Т. К. Мюйрисепп, Х. В. Тераль. Тарту. 1987. Лаб. работа 10. С. 120-133.

**Эксперимент Томсона как пример поэтапного моделирования.** Experience d'Élihi Thomson, un exemple de modelisation par etapes. Durey A., Journeaux R. "Eur. J. Phys.", 1987, 8, № 1, 18-23 (фр.; рез. англ.). [РЖ 87 10А104].

Описывается лабораторная работа для студентов по электромагнитным явлениям, особенностью которой является прогрессивное моделирование от первых качественных наблюдений до конечной количественной модели. Приводится описание этапов моделирования, указывается на взаимосвязь теоретических представлений и экспериментальных данных.

**Высокотемпературный сверхпроводник – студенческий проект.** High-temperature superconductors – a student project. Campbell K., Henderson C. "Phys. Educ." 1988, 23, № 6. С. 372-373. (англ.). [РЖ 89 3А151].

Описан простой эксперимент, который может быть предложен студентам в качестве выпускной работы, а также использован в школе, по демонстрации свойств высокотемпературного сверхпроводника – ВТСП  $\text{YBa}_2\text{O}_{7-x}$ . Для демонстрации используется цилиндрический образец ВТСП диаметром 8 мм, длиной 8 мм, который находится внутри вторичной катушки трансформатора (250 витков). Вторичная катушка находится в сосуде Дьюара и заливается жидким азотом. Сосуд Дьюара помещается внутри первичной обмотки (1000 витков), обмотка рассчитана на ток силой до 1 А. На первичную катушку подается ток (0,1 А) с частотой 50–300 Гц, который создает магнитное поле с максимальной индукцией  $25 \cdot 10^{-4}$  Тл. Если сердечник (образец ВТСП) сконструированного трансформатора находится при комнатной температуре, то на частоте 100 Гц напряжение, снимаемое со вторичной обмотки, равно 50 мВ, которое легко регистрируется школьным осциллографом. При температуре жидкого азота наблюдается уменьшение этого напряжения, что объясняется выталкиванием магнитного потока из ВТСП – эффект Мейснера. Кроме того, в форме напряжения наблюдаются “вигли” при максимальных значениях магнитного поля. Этот эффект, по видимому, связан с существованием критического магнитного поля. Описана методика синтеза ВТСП.

**Ускоренное движение металлического кольца, полученное путем разрядов в диэлектрической среде.** Accelerated motion of a metal ring by discharges with a dielectric substance. Murakati H. Jap. J. Appl. Phys. Pt. 1. 1990. 29, № 3. С. 576-579. [РЖФиз. 1991-1.А79].

Экспериментально исследовано движение металлического кольца, ускоренное с помощью зарядов на диэлектрических поверхностях. При проведении опы-

та тефлоновая пластина, положенная на стеклянную пластину, натиралась сукном, после чего устанавливалась на расстоянии нескольких сантиметров от нее. Пластиковое кольцо с алюминиевым покрытием начинает вращаться на стеклянной пластине при импульсных разрядах между тефлоном и поверхностью кольца. Ускорение кольца измерялось по фотографиям. Предложено объяснение механизма ускорения кольца, согласно которому оно вызывается кулоновскими силами, сопровождающими импульсные разряды. Рассчитанное ускорение оказалось обратно пропорциональным массе кольца.

**Фронтальный лабораторный комплекс по электричеству и магнетизму.** Иванов Д. Ю., Костко А. Ф. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” 1991. № 16. С 63-67. [Н: 91 9F57].

Рассмотрены структура, особенности реализации и технические характеристики фронтального лабораторного комплекса по электричеству и магнетизму.

**Учебно-исследовательская работа студентов на базе фронтального лабораторного комплекса по электричеству и магнетизму.** Иванов Д. Ю. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” 1991. № 16. С. 68-74. [РЖ 91 9A58].

Рассмотрены принципы организации учебно-исследовательской работы студентов. Приведен перечень возможных лабораторных работ.

**Экзаменационная работа в физической лаборатории.** Ч. 2. Epreuve: pratique de laboratoire В<sub>3</sub>. 2<sup>ème</sup> Partie. “Bull. Union Phys.” 1991. 85, № 739. Suppl. С. 79-88. Фр. [РЖ 92 9A83].

Предложено 47 вариантов практических работ: 7 работ из раздела “Электричество”, включая изучение генератора электромагнитных колебаний, определение к. п. д. преобразования переменного тока в постоянный и т. д. ; 6 работ из раздела “Оптика”, включая определение методом Корню фокусного расстояния рассеивающей оптической системы, определение коэффициента преломления призмы и т. д. ; две работы из раздела “Механика” и две работы из раздела “Электрохимия”. Каждая работа снабжена кратким описанием экспериментальной установки или электрической схемы, краткой методикой выполнения работы и заданием.

**Эксперименты по электричеству и магнетизму: развитие и прогресс.** ZAP! Freshman electricity and magnetism using desktop experiments: a progress report. King John G., Morrison Philip.” Amer. J. Phys.” 1992. 60, № 11. С. 973-987. Англ. [РЖ 93 9A125].

Сообщается о постановке новых экспериментов для лекционных демонстраций и лабораторных работ по электричеству и магнетизму, осуществленных на физическом факультете Калифорнийского технологического института силами студентов под руководством преподавателей. Эксперименты, описанные в общих чертах, без приведения подробных схем установок, отличаются нетрадиционным подходом и непосредственным использованием конкретных физических явлений из области электричества и магнетизма. Анализируется психологический аспект всей программы постановки экспериментов с точки зрения отношения студента к идее разработки нетрадиционных экспериментов.



**Изучение движения шарика в трубке.** Etude du mouvement d'une bille dans un tube. Laverdet N. "Bull. Union Phys." **1994**. 88, № 763. С. 691-693. Фр. [РЖ 94 10А 217].

Общеизвестный опыт по определению коэффициента трения в жидкой среде модифицирован таким образом, что можно наблюдать различные виды движений: равноускоренное, равномерное, равнозамедленное и измерить среднюю скорость движения. Суть сводится к следующему: диаметр шарика подбирается немного меньше внутреннего диаметра трубки ( в опыте 6,3 мм и 6,5 мм), снаружи трубки вдоль нее устанавливается ферромагнитный стержень, который и меняет характер движения.

**Исследование инструкционных моделей в курсах физического эксперимента.** Эксперименты по электромагнетизму. Gao Y. *Ningxia daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Ningxia Univ., Nat. Sci. Ed.* **1995**. 16. № 4. 56-59. Кит. ; рез. англ.

**Фонтан воды в электрическом поле.** Проказов А. В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1995**. № 1. 44-46, 133. Рус. [РЖ 97 12А178].

Предлагается простой опыт со струей воды, фонтанирующей в пространстве между двумя плоскими разноименно заряженными электродами.

**Электронная память для осциллографа.** Акатов Р. В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1995**. № 1. 41-45, 131. Рус. [РЖ 98 1А116].

Предлагается простой регистратор формы сигнала, позволяющий записывать в электронную память четыре различные зависимости входного напряжения от времени или координаты, если она пропорциональна времени, и выводить на экран осциллографа любую из этих зависимостей.

**Лабораторная работа по исследованию анизотропии электрических и оптических свойств одноосного кристалла.** Н.Я.Молотков, А.В.Постульгин. Т. 3, № 2, **1997**. С. 103–110.

**Изучение дисперсии электрического сопротивления на примере растительной ткани.** Белоглазова В. А. ФССО-1999. С. Пб-г. Тезисы докладов. Т. 3. С. 15-16.

**Определение скорости течения крови с использованием электромагнитного измерителя.** Determination of Blood Flow Velocity Using the Electromagnetic Measurer. V. K. Koumykov, Kh. M. Gouketlov. ФОВ. **2001**. Т. 7, № 1, 91-93.

**Учебно-исследовательский эксперимент в техническом вузе.** Идиатулин В. С., Русских И. Т., Ульянов А. И. *Физ. образ в вузах.* **2001**. 7. № 1. 74-77, 131. [02.02-18А108].

Описаны простые учебные эксперименты, которые вводят студента в исследования в процессе разработки, сборки и использования лабораторных установок. В студенческом научном кружке (Ижевская госуд. Сельскохозяйственная академия) возникла и успешно реализовалась идея лабораторного эксперимента по моделированию и изучению распределений электрического поля, создаваемое электродами разной формы и размеров. Основным элементом лабораторной

установки является лист проводящей бумаги размером  $30 \times 30 \text{ см}^2$  с высоким удельным сопротивлением и нанесенной на нее координатной сеткой. Исследование зависимости намагниченности от температуры может быть сделано конструктивно более простым и надежным способом, если измерительную катушку поместить на выступающем на 10 мм из индукционного конца образца, представляющего собой цилиндрический стержень размером  $5 \times 100 \text{ мм}^2$ , из Fe-Ni сплава с температурой Кюри  $220^\circ\text{C}$ . Появление относительно дешевых и доступных полупроводниковых лазеров (лазерные указки) позволяет переориентировать ряд лабораторных работ на эти источники оптического излучения, повышая точность измерения наблюдаемых эффектов. Удобно перевести такой источник с батарейного на сетевое питание.

**Применение цифровых амперметров в лабораторных экспериментах по разделу “Электромагнетизм”.** Enhancing electromagnetism experiments with clamp-on ammeters. Henry D. C. *Am. J. Phys.* **2001**. 69, № 1. 76-78. [02.08-18A164].

**Лабораторная работа по определению градиента потенциала линейной люминесцентной лампы.** Куренщиков А. В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2002**. № 14. 46, 87. [02.10-18F 157].

Предлагается лабораторная работа по определению градиента потенциала и приэлектродных падений потенциала положительного столба разряда в линейной люминесцентной лампе с помощью внешнего зонда. Работа может быть использована при изучении электродинамики.

**Преобразование энергии в нелинейных процессах.** Байков Ю. Г., Казаков А. Ю., Тужилкина Е. В. *Учебный физический эксперимент и его совершенствование: Научно-методическая конференция, Пенза, 22-24 нояб., 2000 : Межвузовский сборник научных трудов.* Пенза. **2002**. 67-68. [03.10-18A. 167].

Предлагается учебный эксперимент, позволяющий проиллюстрировать закон сохранения при нелинейных процессах. Представлены блок-схема эксперимента и упрощенная схема макета.

**Вводная часть по электричеству 2: электричество, законы, теории и физика.** Intriducing electricity 2: Electricity, laws, theories and physics. Monk M. *Educ.* **2002**. 37. № 5, 427-529. [04.08-18A.171].

Описана методология проведения лабораторных работ по электротехнике, позволяющих студентам быстро и надежно усвоить материал и понять основные электротехнические законы. Студенты работают с различными “ящичками”, в которых заключены различные активные элементы, такие как электрическая лампочка, диод с сопротивлением, набор соединенных параллельно и последовательно резисторов и т. д. Студенты снимают токовые характеристики при различного типа нагрузках, позволяющие на практике воспринимать действие физических законов в электротехнике.

**Оперативное сравнение поглощающих свойств материалов.** Лобова Г. Н. *Преп. физики в высш. шк.* № 20. Москва. **2002**. С.79-81.

**Изучение полевых уравнений электродинамики в физическом практикуме.** Рязанцев О. В., Таран В. Г., Шульга В. И. ; Днепродзерж. гос. техн. ун-т. Днепродзержинск, **2003**. 12 с. ДЕП. в НИИТЭхим (Черкассы) 11.03.2003, № 3-хп2003. [03.07-18А.159].

Проведен теоретический анализ возможности непосредственного экспериментального изучения полевых уравнений Максвелла в условиях физического практикума вуза. Структура лабораторной установки и методика измерений получены непосредственно как результат наиболее простого перехода от локального к макропредставлению уравнений. Приведены схемы установки и результаты измерений, которые подтверждают указанную возможность. Предложены варианты модификации методики проведения измерений.

**Изучение некоторых вопросов электромагнитных явлений в специальном физическом практикуме для студентов физиков.** Хабаров П. С., Козлов А. А. *Выездная секция по проблемам магнетизма в магнитных пленках, малых частицах и наноструктурных объектах : Труды Международного семинара, Астрахань, 10-14 сент. 2003.* Астрахань. **2003**. 9-10. [05.05-18А.117].

Специальный физический практикум “Электроника” отражает опыт преподавания физического практикума коллектива кафедр общей физики, теоретической физики и методики преподавания физики Астраханского государственного университета. Изложение материала, посвященного электромагнитным явлениям, несколько отличается от общепринятого. Лабораторные работы сгруппированы в трех крупных разделах: “Электроника”, “Электродинамика”, “Магнетизм”. Изложение краткой теории явлений для каждой работы построено по единой схеме. В работах используются все виды эмиссии: термоэлектронной, фотоэлектронной (внешний фотоэффект), вторичной электронной, автоэлектронной. Разработанный спецфизпрактикум является введением в лабораторную практику по физике, который позволяет сначала ознакомиться с основными методами физических измерений, а затем завершить подготовку специалиста в соответствии с потребностями специализации. После выполнения экспериментальных работ студенты оценивают погрешность измерений с использованием компьютера и стандартных программ расчета. Результаты математического моделирования на компьютере сравнивают с экспериментальными. Специальный физический практикум предназначен для студентов физико-математических факультетов вузов, преподавателей. На его основе разработан спецкурс “Электронные явления в школьном курсе физики”, который может использоваться в физико-математических школах.

**Использование универсальных учебно-лабораторных комплексов при изучении электрорадиотехники и основ электроники.** Алыкова О. М., Смирнов В. В. *Естеств. науки.* **2004**. № 7. 181-184. [05.12-18А.160].

Дан предварительный анализ универсального учебно-лабораторного практикума, предназначенного для изучения электрорадиотехники и основ электроники, и органично сочетающего в себе совместное использование лабораторных стендов и компьютерного моделирования с использованием виртуальной лаборатории Electronics Workbench. Рассматривается реализация данного подхода на примере изучения темы “Комбинационные микросхемы”.

**Применение системы “LabVIEW” к постановке лабораторных работ по курсу “Электротехника”.** Устимов Д. А. *Международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments”*, Москва, 18-19 ноябр., 2005 : Сборник трудов конференции. М., 2005. 341. [РЖ 18. Физика Ч. I. 2007. № 1. 18A.125].

В лабораторной работе по курсу “Электротехника” в среде LabVIEW проведено исследование явления резонанса в последовательном колебательном контуре. Были получены как экспериментально, так и с применением LabVIEW, характеристики контура и построены амплитудно-частотные характеристики для нагруженного и ненагруженного контуров. Отмечено совпадение по большинству измеренных параметров обоими методами и большой недостаток виртуальных измерительных систем, не позволяющих оценивать погрешности измерений.

**Изучение эффекта втягивания жидкого диэлектрика в неоднородное электрическое поле. Методика выполнения лабораторной работы.** Губкин М. К., Дедов А. В., Манухин В. В. *Соврем. физ. пр-м. Труды VIII Межд. учебно.-научн. конф.* М., 22-24 июня 2004 г. М. 2004. С. 102-103.

**Исследование задачи о гравитационно-электрическом маятнике.** А. Д. Терентьев, А. Н. Клинецвич. *Калинингр. гос. техн. ун-т. ФОВ.* 2005. Т. 11. № 3. С. 26-37.

Обсуждается популярная задача о подвешенных на нитях шариках, имеющих электрические заряды. Показано, что в гравитационном поле такая система представляет собой нелинейный осциллятор типа гравитационно-электрического маятника.

**Изучение движения заряженной частицы в скрещенных стационарных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ.** Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская. *ФОВ.* 2006. Т. 12, № 3, с. 109-116.

**Лабораторные исследования обратного разряда в частице сажи.** Laboratory studies of back-discharge in fly ash. Jaworek A., Czech T., Raych E., Lackowski M. *J. Electrostatics.* 2006. 64. № 5. 326-337. [07.04-18A.137].

Приведены результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик и светового излучения при разряде на частицах сажи в воздухе между плоским электродом и стержнем при покрытии плоского электрода частицами сажи.

**Лабораторны эксперимент по теории протекания в физическом практикуме вуза.** Дашина А. Ю., Соловьев В. Г., Ханин С. Д., Шаронов В. А. *Соврем. физ. практикум. Сб. трудов IX Межд. уч.-методич. конф.* 2006. Волгоград. 2006. С. 155.

**Учебный физический эксперимент по теории протекания в лабораторном практикуме педагогического вуза.** Дашина А. Ю., Соловьев В. Г., Ханин С. Д., Шаронов В. А. *Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов.* Вып. 24. Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции

“Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”, Москва, 2006. 37-38. [09.03-18A.102].

Теория протекания широко применяется в физике конденсированного состояния вещества при описании явлений переноса в неупорядоченных сплошных средах (например, прыжковой проводимости), магнитных свойств твердых тел, фазовых переходов и др. В работе рассматриваются известные из литературы и предложенные авторами учебно-исследовательские задания для студентов физических специальностей педагогических вузов, включающие в себя физическое и компьютерное моделирование перколяционных процессов протекания с помощью электропроводящей бумаги и математическое моделирование на ЭВМ. В предлагаемой учебной физической лаборатории порог протекания  $\chi_c$  определяется также и в натурном эксперименте с квадратной решеткой из медной проволоки, содержащей  $N=20 \times 20=400$  пронумерованных узлов. Другая возможность физического моделирования эффектов протекания реализуется посредством экспериментального определения электрического сопротивления системы из хорошо перемешанных пластмассовых и металлических шариков.

**Формирование навыков научно-исследовательской работы у студентов-физиков младших курсов средствами практикума.** Агибова И. М., Федина О. В., Беджанян М. А. *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. н.* 2007. № 1. 16-118. [08.01-18A.107].

Высокий профессионализм человека в той или иной области зависит, по мнению авторов, от того, как сформированы у него исследовательские умения. Для формирования исследовательских навыков с первых лет обучения в университете авторами составлены творческие задания к практикуму по курсу “Электричество и магнетизм”. Практикум состоит из 15 лабораторных работ, в каждой из которых описаны цели, идея эксперимента, теоретическая часть, установка, проведение опыта. Несмотря на то, что работы имеют традиционные названия, для проведения некоторых из них разработаны более точная методика и техническое решение. Приводятся примеры заданий, учитывающих индивидуальные способности каждого обучающегося. Для того чтобы преподавателю было проще организовать творческую работу студентов, формулировка задания имеет два или три уровня сложности или включает в себя карточки помощи. Опыт показывает, что организация учебного процесса с применением исследовательских заданий различной степени сложности способствует формированию у всех студентов творческого подхода к решению экспериментальных задач.

**Эксперимент по спектроскопии внутрирезонаторного затухания для продвинутой лабораторной работы студентов.** *Cavity ring down spectroscopy experiment for an advanced undergraduate laboratory.* Stacewicz T., Wasylczyk P., Kowalczyk P., Semcuk M. *Eur. J. Phys.* 2007. 28. № 5. 789-796. [09.01-18A.112].

**Создание вращения жидкости: круговое вращение слабопроводящей жидкости, индуцированное силой Лоренца.** *Making a fluid rotate: Circular flow of a weakly conducting fluid induced by a Lorentz body force.* Digilov Rafael M. *Amer. J. Phys.* 2007. 75. № 4. 361-367. [09.02-18A.108].

Описывается магнитогидродинамическое (МГД) течение вязкой, электрически проводящей, несжимаемой жидкости под действием силы Лоренца внутри плоского кольца между двумя стационарными коаксиальными цилиндрическими электродами с наложенными электрическим и магнитным полями. Показано, что

для чисел Хартмана  $H_a \leq 1$  МГД поток ведет себя как обычный гидродинамический поток под действием азимутальной силы Лоренца.

**Формирование представлений и понятий теории протекания в физическом практикуме вуза.** Дашина А. Ю., Соловьев В. Г., Ханин С. Д., Шаронов В. А. *Физ. образ. в вузах*. **2008**. 14. № 3. 121-125, 141. [09.10-18A.119].

Одним из наиболее интенсивно развивающихся разделов физики конденсированного состояния вещества на протяжении последних десятилетий является физика неупорядоченных и сильно неоднородных систем. Разработан подход к изучению базовых понятий теории протекания как основы физики структурно разупорядоченных и сильно неоднородных систем. Предлагается ряд известных учебных исследовательских заданий, представляющих собой физическое моделирование эффектов протекания и их изучение в натурном эксперименте на модельных объектах – нанокompозитах. В предлагаемом авторами эксперименте определяются электропроводность и диэлектрическая проницаемость синтетических опалов, регулярная система пор которых заполнена дистиллированной водой или водными растворами солей. Измерения электрических характеристик полученного нанокompозита проводятся по мере “высыхания” опала.

**Два эксперимента в физике, основанные на электроформировании полимерных нановолокон с помощью центрифуги.** Two experiments in physics based on electrospun polymer nanofibers. Pinto Nicholas J, *Amer. J. Phys.* **2008**. 76. № 12. 1163-1167. [10.01-18A.99].

Простая конструкция аппаратуры электроформирования позволяет с помощью центрифуги изготавливать проводящие нановолокна, которые используются в нанорезисторах и нанодиодах Шоттки. Модификация простых камер позволяет проводить эксперименты с нанорезисторами и превратить их в сверхчувствительные датчики паров спирта.

**Дифференциальное детектирование для измерения фарадеевского вращения с помощью переменных магнитных полей.** Differential detection for measurements of Faraday rotation by means of ac magnetic fields. Valev V. K., Wouters J., Verbiest T. *Eur. J. Phys.* **2008**. 29. № 5. 1099-1104. [10.01-18A.104].

**Увлекательный эксперимент для студентов технических и физических специальностей: создание электродвигателя постоянного тока с использованием силы Лоренца.** An exciting experiment for pre-engineering and introductory physics students: creating a DC motor using the Lorentz force. Adbul-Pazzaq W. N., Boehm M. H., Bushey R. K, *Phys. Educ.* **2008**. 43. № 2. 206-210. [10.03-18A.100].

В лаборатории для изучения вводного курса физики создана работа, позволяющая знакомить учащихся с понятием силы Лоренца и построить нетрадиционный электродвигатель постоянного тока из легко доступных материалов. Базовые понятия электричества и магнетизма соединены в простом и интересном эксперименте, что позволяет студентам самим принимать участие в демонстрации физической стороны явления без использования сложных материалов.

**Исследование электромагнитного фона окружающей среды.** Exploration of the electromagnetic environment. Fullekrug M. *Phys. Educ.* **2009.** 44. № 2. 133-137. [10.09-18A.91].

**Лабораторный комплекс ЛКЭ-5 для изучения ферромагнитных явлений студентами технических вузов.** Радченко М. Г.<sup>1</sup>, Радченко Г. С.<sup>2</sup> <sup>1</sup>Ростовский филиал МГТУ гражд. Авиации, г. Ростов-на Дону; <sup>2</sup>Пед. ин-т Южного федер. Ун-та, г. Ростов-на Дону.

В работе проводится экспериментальное исследование электрического и магнитного отклика основных элементов электрических цепей.

## Глава 11

### СБОРНИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**Физический практикум. Руководство к упражнениям для начинающих в физической лаборатории, состоящей при физическом институте Московского университета.** Соколов А. П. 1909.

**Лабораторный практикум по физике. Электричество и магнетизм.** Сост. Гонгадзе Д. Н., Хуцишвили Ф. Л., Сараджев М. И., Гуляев Г. В. Груз. Политехн. Ин-т, Тбилиси, 1955, 100 стр. [РЖ 1957 № 2 2850К].

**Физический практикум. Электричество.** Сперанская Е. А. (Моск. авиац. ин-т), М., Оборонгиз, 1956, 95 стр.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть 2. Электричество.** Сост. Маренина К. Н. Ленингр. технол. ин-т им. Ленсовета. Л., 1958, 120 стр.

**Практикум по физике. 2. Руководство к практическим работам по электричеству и магнетизму.** Гриач (Fyzikalne praktikum 2. Navady pre prakticke cvicena z elektring a magnetizmu. Griac Juraj. Bratislava, SPN, 1958. 95 s. [РЖ 1959 № 9 19440].

**Лабораторные работы в политехнической школе.** Мукке. (Schulerubungen in der erweiterten polytechnischen Oberschule. Mucke Helmut), Math. Und Phys. Schule, 1959, 6, № 7, 340-345. [РЖ 1960 № 5 10221].

Даны описания и контрольные вопросы к шести лабораторным работам по теме “Электромагнитная индукция и электрические машины”: 1. Определение сопротивления при помощи закона Ома. 2. Измерение напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора без нагрузки и с нагрузкой. 3. Определение коэффициента трансформации в следующих случаях: а) сердечник и ярмо из листового железа, ярмо замкнуто; б) сердечник и ярмо из листового железа, ярмо приподнято на 1 см; в) сердечник из листового железа без ярма; г) сердечник и ярмо из сплошного железа, ярмо замкнуто; д) сплошной сердечник без ярма. 4. Передача мощности в трансформаторе. 5. Ознакомление с двигателем постоянного тока. 6. Ознакомление с двигателем трехфазного тока.

**Физический практикум. Ч. 2 и 3. Электричество магнетизм. Оптика.** Ред. Большанина М. А. Томск. Томский ун-т, 1960, 190 стр.

**Радиофизический практикум.** Изд. 2-е, доп. и переработ. Акиндинов В. В., Герштейн Г. М., Дашенков В. М. и др. (сост.). Саратов, Саратовск. Ун-т. 1961. [РЖ 1962 3А109К].

**Физический практикум.** Руководство к практическим занятиям в физ. лабораториях. Часть 2. Электричество. Под ред. Е. И. Сизяковой. М., 1958. 68 стр.

**Лабораторные работы по физике. Т. 2. Теплота, магнетизм и электричество.** Линдстрем, Юнгквист (Laborationer i fysik. D. 2. Varmelara, magnetism och



ellara. Lindstrom Ragnar, Ljungquist Sven. Gavle, Skolforl. Gavle, **1958**, 32 s. [РЖ 1960 № 8 18933].

**Описание лабораторной работы по физике с указаниями к ним.** Коцман (Opisy i instrukcje do cwiczen laboratoryjnych z fizyki. Wud. 2 przejrz, Kosman Irena. Warszawa. Panstw. Zaklad Wydawn. Lekars., **1958**, 184 s. [РЖ 1959 № 8 16918].

**Практикум по физике. Часть 2. Электричество и магнетизм.** Лукшин А. А., Широбокова А. П. Ижевск, Удмурдск. изд-во. **1959**. [РЖ 1960 № 2 2575К].

**Физический практикум.** Руководство к лаб. занятиям по физике. Часть III. К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, И. А. Виноградов и др. Под ред. О. И. Замша. МИФИ. М., **1960**. 123. стр.

**Физический практикум. Ч. 2 и 3. Электричество магнетизм. Оптика.** Ред. Большанина М. А. Томск. Томский ун-т, **1960**, 190 стр.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть II. Электричество и магнетизм.** А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. Под ред. А. Л. Рвачева. Одесский политехн. ин-т. **1960**. 258 стр.

**Физический практикум по электричеству.** Алленбах М. И., Живолупова М. И., Корякина А. В. и др. Харьковск. инж.-строит. ин-т. Харьков, **1960**. 100 стр.

**Руководство к лабораторным работам по физике (Для высших технических учебных заведений).** Изд. 2-е. Иванчев Нено П., Стайкоив Боян Ст., Петков Иван Ст. и др. София, Техника, **1960**. 200 стр. [РЖ61 3А100].

**Радиофизический практикум.** Изд. 2-е, доп. и переработ. Акиндинов В. В., Герштейн Г. М., Дашенков В. М. и др. (сост.). Саратов, Саратовск. Ун-т. **1961**. [РЖ 1962 3А109К].

**Радиофизический практикум.** Изд. 2-е, доп. и переработ. Акиндинов В. В., Герштейн Г. М., Дашенков В. М. и др. (сост.). Саратов, Саратовск. Ун-т. **1961**. [РЖ 1962 3А109К].

**Практикум по общей физике. (Электричество).** Для физ.-мат. ф-тов. Авксентьев С. И. (сост.) Моск. обл. пед. ин-т. М., **1962**, 152 стр. [РЖ 1963 2А121К].

**Физический практикум. Электричество.** Сучков А. И. и Замотаев Н. П. Иваново, **1964**. 67 стр.

**Физический практикум. (Электричество).** Юрков В. А., Околыхина Л. Б. (Архангельск), Сев.-Зап. Кн. Изд-во, **1964**, 91 стр. [РЖ 65 7А91 К.].

**Практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III.** К. Т. Басова, Ю. А. Быковский, И. А. Виноградов и др. Под ред. доц. О. И. Замша. Москва, **1965**.

**Радиофизический практикум.** Изд. 2-е, доп. и переработ. Акиндинов В. В., Герштейн Г. М., Дашенков В. М. и др. (сост.). Саратов, Саратовск. Ун-т. **1961**. [РЖ 1962 3A109K].

**Физический практикум.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Ч. 2. Электричество. Под ред. И. И. Портнягина. Челябинск. **1966**. 95 стр.

**Сборник руководств к практическим занятиям по общей физике. 2. Электричество.** Тартуск. Ун-т. Тарту, 1965, 185 стр. [РЖ 66 7A66 K].

**Электричество и магнетизм. Лабораторные работы.** Vaughan Geoffrey Alison. Electricity and magnetism. Practical experiments using the Stenzl Apparatus. Leeds, Reynolds and Branson, **1965**, № 842, 13 (англ.). [РЖ 66 7A67 K].

**Лабораторные упражнения по курсу классической теории электромагнитного поля.** Atwater H. A. Laboratory exercises in classical electromagnetic field theory. "Amer. J. Phys.", **1968**, 36, № 8, 672-682. [РЖ 1969 5A39].

Описан цикл работ по разделу "Классическая теория электромагнитного поля" вводного курса "Электричество и магнетизм", поставленных на физическом факультете университета штата Пенсильвания (США). Работы не требуют трудоемких измерений и не связаны с применением сложной аппаратуры, но требуют от студента серьезной самостоятельной подготовки к работе или трудоемкой обработки полученных данных. Цикл состоит из 9 работ: 1. Измерительные приборы: авометр и осциллограф; 2. Распределение электростатического потенциала в двумерном поле; 3. Магнитное поле простой катушки; 4. Дипольный момент; 5. Магнитная индукция; 6. Передающая линия; бегущие и стоячие волны; 7. Связанные контуры и бегущие волны в цепи с периодической структурой; 8. Объемный резонатор; 9. Распространение электромагнитных волн.

**Физический практикум.** Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть III. Под ред. О. И. Замша. МИФИ. М., **1969**. 176 стр.

**Физический практикум.** Учебное пособие для студентов биологического факультета. С. И. Голуб, Д. И. Полищук, В. Г. Заремба. Одесский гос. ун-т. Одесса. **1969**. 120 стр.

**Руководство к лабораторным работам по физике (Электричество).** И. И. Березина, В. В. Голованова, В. П. Кондаков и др. Владимирский вечерний политехн. ин-т. М. **1969**.

**Новые опыты для I физического практикума. Постоянный ток и электростатика.** Szydlowski Henryk. Nowe doswiadczenia dla I pracowni fizycznej. Prad staby I elektrostatyka. "Pastepy fiz.", **1969**, 20, № 1, 107-117. [РЖ 1969 9A64].

По электричеству студенты выполняют 9 работ, что составляет 35 % от общего числа работ I физического практикума. Тематика работ охватывает все разделы электричества и подобраны таким образом, чтобы в процессе их выполнения студент ознакомился с наиболее употребительными приборами: ампермет-

ром, вольтметром, ваттметром, мостиком Уитстона, различными реостатами, трансформатором и автотрансформатором, электронной лампой и осциллографом, полупроводниковым диодом, генератором и приемником электромагнитных волн. Приводится краткое описание 8 лабораторных работ по электростатике и постоянному электрическому току; определение характеристик электрической дуги, определение напряжения через измерение количества теплоты по закону Джоуля-Ленца, градуировка электроизмерительных приборов, измерение заряда конденсатора и т. д.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Методические разработки. Часть II. Электричество и магнетизм.** Под ред. В. А. Найденова. Смоленский филиал МЭИ. 1970.

**Физический практикум. Раздел III. Электричество. Часть I.** Стафийчук Е. А., Кирш И. В., Мартынова С. В. и др. Днепропетровский гос. ун-т. Днепропетровск. 1970. 84 с.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть II. Электричество.** Челябинский политехн. ин-т. 1971.

**Руководство к лабораторным работам по физике.** Под ред. Никитина Н. А. и Длужневского Г. И. МИРЭА. М. 1971.

**Введение современных методов исследования в студенческий практикум по электричеству и магнетизму.** Adelberger E. G., Mischke R. E., Strovink M. Bringing modern research techniques to a freshman electricity and magnetism laboratory. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 2, 276-280 (англ.). [РЖ 72 7A80].

Описан односеместровый практикум из 9 работ для студентов младших курсов по электричеству и магнетизму. Весь практикум делится на 3 части, каждая из которых содержит 3 работы. В 1-й части практикума студенты знакомятся с электрическими компонентами и методами измерений; во 2-й части каждая пара студентов конструирует небольшой пропорциональный счетчик с усилителем; в 3-й части студенты используют этот счетчик для исследования излучения радиоактивных материалов и измерения отношения  $e/m$  для электронов с энергией 1 Мэв от  $^{207}\text{Bi}$  – источника. Приводятся схемы устройств и обсуждается методика проведения занятий.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть II. Электричество и магнетизм.** Днепропетровск. 1973. Под ред. доцента А. П. Максименко.

**Руководства к лабораторным работам по физике.** Таллиннский политехн. Ин-т. Кафедра физики. Таллин. 1973. Составители: В. Бендер, Т. Руус, М. Яагус. Содержание: Работы по электричеству.

**Введение к практическим занятиям по физике. Электрические, магнитные и оптические измерения.** Pavlus Ivan, Kovar Jaroslav. Navody pre prakticke cvicenia z fyziky. Elektricke, magneticke a opticke merania. 2. Preprac. Vyd. Bratisla-

va, Alfa, 1973. 140 s., 7,50 Kcs. (словац.) “Slov. Narodna bibliogr.”, 1974, A25, № 3, 203. [РЖ 75 5А 118 К].

**Практикум по физике.** Изд. 3-е, переработанное и дополненное. Walcher W. Praktikum der Physik. 3. uberarb. Und erw. Aufl. Stuttgart, B. G. Teubner, 1974. 378 S., ill. (нем.). [РЖ 75 5А119 К].

**Физический практикум с применением ЭВМ.** Выпуск 2. О. Б.Васильев, М. Ф. Вукс, Р. В. Григорьев и др. Ленинград. 1977. 128 стр.

**Физический практикум.** Под ред. Г. С. Кембровского. Минск. 1986. 352 стр.

**Общий физический практикум. Электричество и магнетизм.** В. И. Козлов. Под ред. А. Н. Матвеева, Д. Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. 1987. 290 с.

**Физический практикум для медиков.** Часть II. Т. К. Мюйрисепп, Х. В. Тераль. Тарту. 1987. 134 стр.

**Физический практикум. Электричество и магнетизм.** Часть 2. Ю.И. Левин, Ю.П. Шараевский. Под ред. В.С. Стальмахова. Изд. Саратовского ун-та. 1987. 118 стр.

**Физический практикум. Электричество и магнетизм.** Часть I. Ю. И. Левин, Ю. П. Шараевский. Под ред. В. С. Стальмахова. Изд. Саратовского ун-та. 1988. 118 стр.

**Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ.** Б. П. Никифоров, М. И. Игнатьева, Г. П. Сопыряева и др. Томск. 1988. 94 стр.

**Специальный практикум педагогического вуза: концепция и воплощение.** Ильин В. А., Петрова Е. Б. Препод. физики в высш. шк. 1995. № 2. С. 67-73.

**Лабораторный практикум по общей физике.** М. Б. Шапочкин. ФОВ. 1997. Т. 3, № 3, 39-42.

**Лабораторный практикум по радиоспектроскопии.** Чернов В. М., Валеев Р. И. Физ. образ. в вузах. Т. 3. № 3. 1997. С. 79-81.

**Современный физический практикум по электромагнетизму и колебательным процессам.** Жеберляев И. Ф., Показаньев В. Г., Кабасов Ю. К. Физ. образ. в вузах. 1998. 4. № 4. 58-67, 159. [РЖ 99 12А141].

На кафедре физики Академии путей сообщения разработан Физический практикум по электромагнетизму, который около 5 лет используется многими средними и высшими учебными заведениями для проведения лабораторных работ с учащимися. В настоящее время установки выпускает “НПП Солитон-1”, г. Екатеринбург.

**Лабораторный комплекс для физического практикума по курсу “Электромагнетизм”.** Григорьев Л. А. *Преподавание естественнонаучных дисциплин в современных условиях : Материалы методической конференции, Йошкар-Ола, март, 2001.* Йошкар-Ола, **2001.** 82-86. [03.09-18А.168].

Лабораторный комплекс в СТАНДАРТАХ ВЛАДИС позволяет изучать электрические и магнитные поля, электрические и магнитные свойства веществ, переменные токи, электрические колебания. Он включает каркас с электропитанием, осциллограф, многофункциональный генератор, измерительные приборы, функциональные модули “Поле в веществе” и “Конденсатор разборный”, изучаемые объекты. Конструкция каркаса обеспечивает оперативное, надежное и наглядное воспроизведение изучаемых явлений. Широкий диапазон сложности изучаемых задач обеспечивает многоуровневое развивающее обучение. В статье приведен перечень основных тем курса “Электромагнетизм”, по которым комплекс обеспечивает оптимальную реализацию экспериментов.

**Базовый естественнонаучный практикум. Физика и др.** Светозаров В. В., Светозаров Ю. В. *Каталог-2001.* Физ. образ в вузах. Т. 7. №.3. 2001. С. 118-190.

**Модульный учебный комплекс по электричеству и магнетизму в лабораторном практикуме курса общей физики.** Морозов А. В., Погорельский А. М., Христофоров В. В., Шевченко А. А. *Материалы 6 Международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения”, Новосибирск; 23-26 сент. 2002 г.; АПЭП-2002.* Т. 2. Электронно-физическая секция (Физические процессы. Технология, оборудование, приборы. Лазеры, электрооптика, оптоэлектроника. Жидкие кристаллы. Новосибирск. **2002.** 48-49. [03.04-18А.152].

С методической точки зрения современный физический практикум должен позволять: формировать индивидуальные маршруты обучения с учетом специализации и творческих способностей каждого студента; обеспечивать фронтально-тематическую технологию проведения занятий; использовать лабораторные установки для сопровождения опытами теоретические занятия и семинары по решению задач; развивать самостоятельность и активность, предоставляя студенту выбор методов и средств исследования; обеспечивать быстрый доступ к любому эксперименту (за ~5 мин.). Перечисленным требованиям соответствует лабораторный практикум, построенный на базе модульных учебных комплексов (настольных микролабораторий). Разработка и изготовление которых осуществляется в Новосибирском государственном техническом университете и других организациях, например, фирмой ВЛАДИС. Модульный учебный комплекс по электричеству и электромагнетизму представляет собой базовый комплект из трех электронных блоков: источника напряжения; блока вольтметра и амперметра; звукового генератора. Блоки крепятся друг над другом, занимая очень мало места. Этот комплект оборудования позволяет проводить десятки лабораторных работ по электростатике, законам постоянного тока, магнетизму, электромагнитным колебаниям (приведены темы некоторых из них). Модульная структура комплекса позволяет неограниченно наращивать его возможности путем добавления как приборных блоков, так и стендов с объектами исследования. Разработаны и изготавливаются также комплексы по механике, волновой оптике, квантовой оптике, по физике твердого тела с такими же широкими методическими

возможностями. Все специализированные комплексы совместимы друг с другом, из них можно составить единый учебный измерительный комплекс.

**Электричество. Магнетизм. Электромагнитные колебания. Оптика. Квантовая физика: Лабораторные работы по физике. : Учебное пособие.** Титоренко Е. И., Ткачева Ю. И. Комс. На Амуре : Изд-во КнАГТУ, 2002. 78 с. [03.11-18А.170К].

Приводится описание лабораторных работ по разделам курса физики: “Электричество”, “Магнетизм”, “Электромагнитные колебания”, “Оптика”, “Квантовая физика”. Каждая работа содержит теоретический материал, необходимый для понимания изучаемого явления или процесса, протокол измерений, тест для защиты и контрольные вопросы. Предлагаемый лабораторный практикум соответствует программе инженерно-техническим специальностям. Издание предназначено для студентов дистанционной формы обучения технических вузов. Также может использоваться в качестве учебного пособия для студентов заочной и вечерней формы обучения.

**Магнетизм: Лабораторный практикум по курсу общей физики.** Новиков В. Ф., Федоров В. Ф. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2002. 64 с. [03.12-18А.166К].

Практикум лабораторных работ является теоретическим и практическим руководством для студентов очного обучения при работе в лаборатории “Электричество и магнетизм”, содержит теоретическое описание физических процессов в каждой работе и практическое описание выполнения работы. Данный практикум может быть использован для самостоятельной работы студентов.

**Практикум по магнитному резонансу: Учебное пособие.** Ред. Чижик В. И. СПб : Изд-во СПбГУ, 2003. 184 с. [05.01-18А.160К].

Предлагаемое пособие содержит описание комплекса лабораторных работ, которые поставлены на кафедре квантовых магнитных явлений физического факультета С.-Петербургского государственного университета для студентов 4 и 5 курсов, проходящих обучение в бакалавриате и по магистерской программе “Магнитный резонанс. Физические аспекты и приложения”. Целью Практикума является выработка у студентов навыков решения основных радиоспектроскопических задач. Для этого часть заданий к лабораторным работам сформулирована как фрагменты научных исследований. Причем для осуществления одних работ используется специально изготовленная аппаратура, при выполнении других студенты проходят практику на радиоспектрометрах, которые применяются в С.-Петербургском университете для научной работы. Пособие подготовлено в соответствии с учебной дисциплиной “Квантовая радиофизика”. В нем отражены экспериментальные методы наблюдения магнитного резонанса, его применений для изучения физико-химического состояния вещества и для решения прикладных задач. Приведена программа обучения. Пособие предназначено для студентов старших курсов и аспирантов физических, химических, биологических и геологических факультетов университетов и других вузов, а также для специалистов, исследующих молекулярную структуру и молекулярное движение в веществах, находящихся в различных агрегатных состояниях.

**Электричество и магнетизм: Лабораторный практикум по физике.** М. : Изд-во МИРЭА, 2004. 165 с. [05.02-18а,113К].

Учебное пособие содержит описания лабораторных работ по физике для студентов всех специальностей дневного, вечернего и заочного отделений МИРЭА. В состав сборника входят описания работ, предлагаемых студентам для выполнения во втором семестре обучения физике. Все работы написаны по единому плану. Описание каждой из них включает в себя следующие части: задание, подготовка к выполнению работы, список рекомендуемой литературы, контрольные вопросы, теоретическое введение, описание аппаратуры и методики измерений, порядок выполнения работы и обработки результатов измерений.

**О методах определения параметров электрической цепи, используемых в лабораторном практикуме “Электричество”.** НИЯУ МИФИ. Е. Н. Аксенова, Н. Н. Взорв, А. Н. Долгов и др. С. 53-57.

Приводится краткое описание новых лабораторных работ, поставленных с использованием оборудования фирм RHYWE и ВЛАДИС. Основное внимание уделено работам, в которых определяются параметры электрической цепи. Выделены наиболее распространенные резонансный метод и метод мостовой схемы. Рассматриваются и другие методы, например, определение параметров цепи по изучению переходных процессов.

**Применение системы “LabVIEW” к постановке лабораторных работ по курсу “Электротехника”.** Устимов Д. А. Международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments”, Москва, 18-19 ноябр., 2005 : Сборник трудов конференции. М., 2005. 341. [РЖ 18. Физика Ч. I. 2007. № 1. 18А.125].

В лабораторной работе по курсу “Электротехника” в среде LabVIEW проведено исследование явления резонанса в последовательном колебательном контуре. Были получены как экспериментально, так и с применением LabVIEW, характеристики контура и построены амплитудно-частотные характеристики для нагруженного и ненагруженного контуров. Отмечено совпадение по большинству измеренных параметров обоими методами и большой недостаток виртуальных измерительных систем, не позволяющих оценивать погрешности измерений.

**Электромагнетизм: Практикум по физике.** Колесниченко А. Н., Харченко В. Н., Козловская Е. П. и др. Изд-во МГУЛ, 2005. 91 с. [06.04-18А.152].

В практикуме представлены описания лабораторных работ и контрольные задания для проведения расчетно-графических работ по разделу “Электромагнетизм” во второй части курса общей физики. Цель лабораторного практикума заключается в том, чтобы дать возможность студенту самому воспроизвести основные физические явления, научить его обращению с измерительными приборами, а также с основными методами измерений и обработкой результатов измерений. Описания к лабораторным работам начинаются с методики эксперимента. Все лабораторные работы имеют несколько независимых заданий, отличающихся как формулировкой задачи, так и методом исследования.

**Физика металлов, полупроводников и диэлектриков: Лабораторный практикум.** Дубский Г. А., Дубская Т. Я., Бутаков С. А., Вечеркин М. В. Магнитогорск : Изж-во МГТУ, **2005**. 168 с. [06.05-18А.155К].

Дано описание 12 лабораторных работ. Каждая лабораторная работа содержит краткое теоретическое описание метода измерения, описание экспериментальной основы ее проектирования, устройство, принцип действия, методы измерения и несколько вариативных заданий для проведения учебного эксперимента и последующей его обработки. Учебно-методическое пособие, составленное на основании ГОС профессионального образования по направлению “Приборостроение”, предназначено для студентов, изучающих физику металлов, полупроводников и диэлектриков.

**Лабораторная установка ELVIS как база для экспериментального изучения курса “Основы теории цепей”:** принципы построения лабораторного практикума. Васьковская Т. А., Елистратова В. И., Золотухин И. А., Каратаев В. В., Немов Ю. Н., Никифоров В. Ф., Севостьянов А. О. *Международная научно-практическая конференция “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments”*, Москва, 18-19 ноябр., **2005** : Сборник трудов конференции. М., 2005. 351. [РЖ 18. Физика Ч. I. 2007. № 1. 18А.123].

Лабораторный практикум содержит 18 работ и рассчитан на проведение занятий в течение двух семестров. Охватываются разделы: линейные цепи постоянного тока, линейные цепи переменного тока (синусоидального и несинусоидального), переходные процессы, нелинейные цепи постоянного и переменного тока. Для проведения работ по теории линейных цепей установка ELVIS, работающая в среде LabVIEW, является самодостаточной. Здесь имеются и источники питания (источники постоянной, синусоидальной и несинусоидальной ЭДС), и виртуальные приборы (стандартные или создаваемые специально). При работе с нелинейными цепями установка ELVIS должна быть снабжена звуковым генератором, поскольку мощности источников, создаваемых самой установкой, как правило, недостаточно для того, чтобы нелинейные эффекты могли проявиться в должной степени.

**Новые лабораторные работы физического практикума Военно-инженерного университета.** Выборонв Ф. И., Чандаева С. А. Физ. образ. в вузах. Т. 11. № 3. **2005**. С. 57-63.

**Лабораторный практикум по электромагнетизму в курсе общей физики.** Повзнер А. А., Лобанов В. В. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования : Сборник научных трудов 4 Российской научно-методической конференции учителей школ и преподавателей вузов, Екатеринбург, 2006*. Екатеринбург, **2006**. 69-72. [07.10-18А.135].

Перечислены основные задачи практикума. Разработанный практикум достаточно полно охватывает содержание программы курса и включает 18 лабораторных работ, условно распределенных по семи разделам: электростатика, электрический ток в металлических проводниках, изучение магнитных полей, изучение ферромагнетиков, явление электромагнитной индукции, электромагнитные колебания, электропроводность полупроводников.



**Лабораторный практикум по электричеству и магнетизму для студентов инженерных направлений.** Левин Д. М. *Инновационные технологии и средства обучения физике, химии, биологии : Материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 12-13 апр., 2007.* Астрахань. **2007.** 62-66. [07.12-18А.145].

Предлагается ряд комплексов лабораторных работ по темам: 1) датчики, градуировка, использование в промышленности; 2) изучение электрических и магнитных полей; 3) полупроводниковые устройства и их использование в технике. Каждая работа комплекса содержит рабочий стенд, принципиальную электрическую схему, краткое описание работы стенда, таблицы для занесения результатов эксперимента, краткую теоретическую часть изучаемого явления и список литературы, рекомендованный для изучения работы.

**Электромагнетизм : Учебно-методическое пособие. Ч. 1.** Казаков А. Ю., Ляпина Т. В., Зайцев Р. В. Пенза: ПГПУ. **2007.** 34 с. [08.12-18А. 119К].

Даны элементы теории, описание лабораторных работ, поэтапные инструкции по их выполнению, контрольные вопросы и задания. Пособие предназначено студентам, изучающим физику на физико-математическом и других факультетах.

**Общий физический практикум в курсе общей физики.** Митин И. В., Салецкий А. М., Слепков А. И. *Физ.образ. в вузах.* Т. 13. № 4. **2007.** С. 16-24.

**Гальваномагнитные явления в полупроводниках : Учебно-методическое пособие.** Витвицкий В. Г., Казаков А. Ю., Федотов В. И., Журунова М. А. Пенза.: ПГПУ, **2008.** 28 с. [10.04-18А.113К].

В пособии излагаются основные гальвано-магнитные явления: эффект Холла, эффект Гаусса, магнитодиодный и гальваномагниторекомбинационный эффекты, а также принцип действия магнитодиода. Приводится описание измерительной установки и метод определения основных параметров полупроводников на основе измерений ЭДС Холла и удельной проводимости.

**Лабораторный практикум по электромагнетизму и электротехнике на базе миниатюрного стенда МЭЛ.** В. А. Алехин, А. Н. Анищенко, Н. Г. Анищенко и др. *ФОВ.* **2009.** Т. 15, № 2, 110-118.

**Разработка электронного учебно-методического комплекса по физике (раздел “Электричество и магнетизм”).** Лихтер А.М., Нуралиева Д.М., Моисеев Б.В. ФССО-09. Материалы X Межд. конф. С.-Пб-г, 31 мая–4 июня **2009** г. С.94-95.

**Методическое пособие “Физика. Часть II. Электричество и магнетизм. Лабораторный практикум”.** Босенко А. А. Старооскольский технол. ин-т, г. Старый Оскол. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября **2010** г., с. 122-123.

Настоящее пособие разработано в основном на базе оборудования производства НПО “РОСУЧПРИБОР” и содержит 15 лабораторных работ.

**Автоматизированный практикум по общей физике. Разделы: “Механика”, “Электричество и магнетизм”, “Колебания и волны”, “Волновая оптика”.**

Зотеев А. В.<sup>1</sup>, Алекперов С. Д.<sup>2</sup> <sup>1</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, <sup>2</sup>Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Баку. Современный физ. практикум, Материалы XI Межд. учебно-методич. конф. Минск, 12-14 октября 2010 г., с. 129-131.

Данный автоматизированный учебно-лабораторный комплекс (изготовитель – ТД “Светоч”), включающий 15 лабораторных работ по курсу общей физики, предназначен для студентов I и II курсов химического факультета.

## ДОПОЛНЕНИЕ

На физическом факультете МГУ – более 40 кафедр, половина из которых располагает собственными специальными практикумами, в которых работают их студенты 3 и 4 курсов (распределение студентов по кафедрам происходит после второго курса). В конце прохождения общего физического практикума (механика, молекулярная физика, электричество, оптика, атомная физика, ядерная физика) все студенты проходят “Практикум по радиоэлектронике”, созданный при Отделении радиофизики (это отделение состоит из 8 кафедр).

**Практикум по радиоэлектронике.** Под ред. проф. А. П. Сухорукова. Изд. Московского ун-та. 1997. 317 с.

Часть I. Аналоговые схемы.

Лабораторная работа 1. Простейшие линейные RC-цепи. С. 11-33.

Лабораторная работа 2. Усилитель низкой частоты на транзисторе. С. 34-66.

Лабораторная работа 3. Операционный усилитель. С. 67-85.

Лабораторная работа 4. Операционный усилитель в схеме компаратора. С. 86-90.

Лабораторная работа 5. RC-генератор гармонических колебаний. С. 91-100.

Часть II. Цифровые схемы.

Лабораторная работа 6. Логические элементы. С. 101-116.

Лабораторная работа 7. Триггеры. С. 117-135.

Лабораторная работа 8. Счетчики и регистры. С. 136-150.

Лабораторная работа 9. Формирователи кода. С. 151-170.

Лабораторная работа 10. Цифроаналоговый преобразователь. С. 171-180.

Часть III. Лабораторные работы повышенной сложности.

Лабораторная работа 11. Характериограф. С. 181-186.

Лабораторная работа 12. Цифровой фазометр. С. 187-192.

Лабораторная работа 13. Знаковый коррелятор. С. 193-202.

**В.И. Козлов**

**АНТОЛОГИЯ  
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА**  
Часть 2  
Молекулярная физика

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Объем 10,75 п.л. Тираж 100 экз.  
Заказ \_\_\_\_\_

Физический факультет Московского государственного  
университета имени М.В. Ломоносова

Отпечатано в отделе оперативной печати  
Физического факультета МГУ