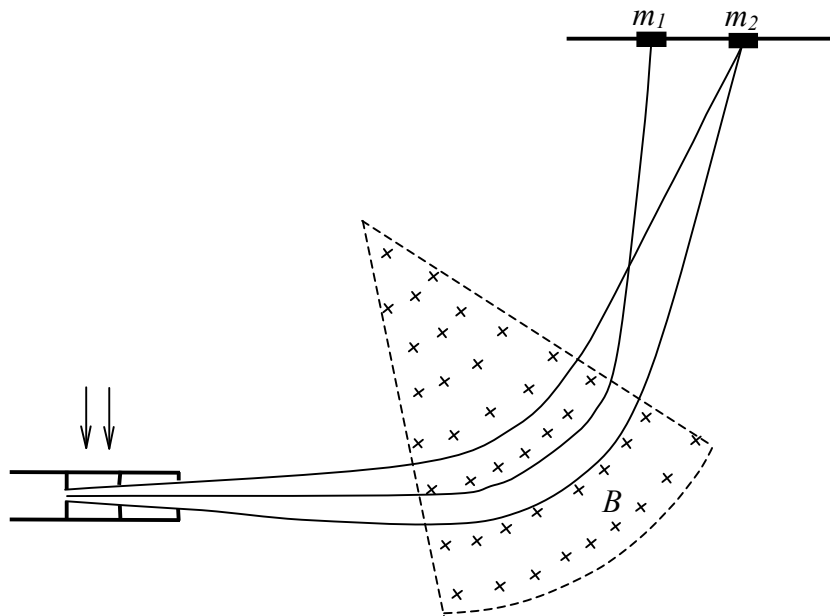


В. И. Козлов

# АНТОЛОГИЯ ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

ЧАСТЬ 5

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА



2014

Физический факультет МГУ

Козлов В.И. **Антология общего физического практикума. Часть 5. Атомная и ядерная физика** – М: Физический факультет МГУ, 2014. – 170 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. На физическом факультете МГУ в 2010 году вышли книги В.И. Козлова “Антология общего физического практикума. Часть 1. Механика” и “Антология общего физического практикума. Часть 2. Молекулярная физика”. В 2012 году вышла книга “Антология общего физического практикума. Часть 3. Электричество и магнетизм”. В 2013 году вышла книга “Антология общего физического практикума. Часть 4. Оптика”. В этих книгах собран материал о студенческих лабораторных работах по указанным соответствующим разделам курса общей физики, созданных в различных вузах нашей страны и в зарубежных учебных заведениях. Настоящая книга представляет лабораторные работы по атомной и ядерной физике, опубликованные в многочисленных сборниках лабораторных работ различных вузов, в научных журналах и в материалах ставших обычными специальных научно-методических конференций, посвященных проблемам физического практикума.

Материал в книге изложен в хронологическом порядке, что позволяет проследить представление в практикуме той или иной темы с течением времени. При этом он разбит на тематические главы, что сделано, правда, не строго.

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

#### **Рецензенты:**

Доцент, канд. физ.-мат. наук *С.С. Красильников*

Доцент, канд. физ.-мат. наук *Е.В. Широков*

© **В.И. Козлов**

© **Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2014**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Предисловие.....	4
Глава 1. Фотоны.....	5
Глава 2. Рентген.....	15
Глава 3. Электроны в ядерном эксперименте.....	18
Глава 4. $\alpha$ -частицы. ....	31
Глава 5. Опыт Резерфорда. ....	40
Глава 6. $\beta$ -лучи. ....	44
Глава 7. $\gamma$ -лучи. ....	51
Глава 8. Нейтроны. ....	60
Глава 9. Позитроны. ....	69
Глава 10. Дейтроны. ....	70
Глава 11. Z-бозоны ....	71
Глава 12. Космические лучи. ....	72
Глава 13. Камера Вильсона. ....	77
Глава 14. Эффект Комптона. ....	80
Глава 15. ЭПР. ....	87
Глава 16. ЯМР.....	89
Глава 17. Радиоактивность ....	92
Глава 18. Разное ....	109
Глава 19. Техническое оборудование. ....	125
Глава 20. Методика преподавания.....	144
Глава 21. Сборники лабораторных работ.....	146
Глава 22. Атомный практикум физического факультета МГУ.....	165
Глава 23. Ядерный практикум физического факультета МГУ.....	170

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге представлена история развития раздела “Атомная и ядерная физика” общего физического практикума с выхода в свет первой книги, посвященной практикуму, написанной профессором Московского университета А.П. Соколовым в 1908 г., — “Физический практикум”.

Лабораторные работы, созданные преподавателями различных вузов за последние сто лет как у нас в стране, так и за рубежом, сгруппированы по темам, в основе которых лежат экспериментально изучаемые физические явления: электромагнитное излучение атомов;  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения; явления, связанные с протонами, нейтронами, позитронами и другими элементарными частицами; космические лучи и другие.

Первоисточниками для написания настоящей книги послужили сборники лабораторных работ, изданные в различных вузах, материалы, опубликованные в различных журналах (в журнале “Физическое образование в вузах”, реферативном журнале “Физика” и других) и материалы специализированных научных конференций (“Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения”, Международной учебно-методической конференции “Современный физический практикум” и других, проводимых на базе отдельных вузов).

Расположение материала в хронологической последовательности позволяет проследить появление в практикуме лабораторных работ, все более глубоко раскрывающих суть физических законов, фигурирующих в курсе атомной и ядерной физики, расширяющих тематику практикума. При этом виден вклад в развитие практикума как отдельных вузов России, так и его вес в сравнении с разработками в зарубежных учебных заведениях. В изложении материала особое внимание уделяется вкладу в развитие практикума сотрудниками физического факультета МГУ, что подчеркивает ведущую роль физического факультета в этой области.

Настоящая книга представляет собой попытку собрать воедино все самое интересное, что было сделано для общего физического практикума.

Содержание книги В.И. Козлова, представляя интерес для всех преподавателей физики вузов, особую пользу может принести тем из них, которые занимаются методической работой в рамках курса общей физики.

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

## Глава 1. ФОТОНЫ (ОПТИКА В АТОМНОМ ПРАКТИКУМЕ)

**Атомные спектры.** Лабораторная работа. Stafford Fred E., Wortman James H. Atomic spectra. A physical chemistry experiment. "J. Chem. Educ.", **1962**, 39, № 12, 630–632. [РЖ 1963 10 А109].

Описана лабораторная работа для студентов по изучению спектра Na. Спектр испускания Na в области 3100–6200 Å записывается на спектрофотометре, для чего натриевая лампа помещается непосредственно перед щелью прибора. Шкала длин волн калибруется с помощью ртутной лампы. Для всех полученных линий определяется длина волны и принадлежность к резкой (*S*), главной (*P*) или диффузной (*D*) серии. Длины волн затем переводятся в волновые числа  $\nu$ . Строится график зависимости  $\nu$  от  $1/n^2$  для *S*- и *D*-серий. Наклон графика для *D*-серии дает константу Ридберга для массы 23. Далее определяются пределы *S*-, *D*- и *P*-серий; предел *P*-серии есть также потенциал ионизации. По формуле Ридберга определяются квантовые дефекты для трех серий и предсказывается положение членов серий, длины волн которых лежат вне исследованной области. Полученные в работе результаты сводятся в таблицы. Для каждого отдельного результата указывается отклонение в процентах от данных, приведенных в литературе.

**Изучение атомных спектров.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. **1962**. Омск. Лаб. работа 39. С. 113–123.

**К определению постоянной Планка при помощи УФ-лучей.** Hoffmann Gunter. Zur Messung der Planckshen Konstanten mit UV-Licht. "Prax. Naturwiss", **1964**, A13, № 1, Physik, 1–3. [РЖ 1964 7 А67].

Отмечается, что обычно при определении постоянной Планка при помощи дифракционной решетки и фотоэлемента используют спектр ртути и проводят измерения желтой, зеленой и синей линий. Но желтая и зеленая линии находятся так близко друг к другу, что разность их частот и энергий перекрывается ошибками измерений. В связи с этим рекомендуется проводить измерения с желтым, фиолетовым и УФ-фильтрами. Описывается оптическая схема установки, результаты измерений и расчеты, согласно которым получено значение постоянной Планка, близкое к табличному.

**Оптический квантовый генератор (лазер).** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. **1969**. Задача № 3, с. 56–81.

Целью задачи является изучение принципов работы оптического квантового генератора на рубине ( $\lambda=6943 \text{ \AA}$ ) и измерение некоторых характеристик его излучения, а именно: 1) порога генерации, длительность и форма импульса; 2) коэффициент полезного действия лазера; 3) ширина генерируемой линии; 4) расходимость пучка.

**Эффект Зеемана.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969, 1972, 1981. Задача № 4, с. 82–92.

В экспериментальной установке в качестве источника света служит цинковая спектральная лампа марки ДЦНС-20. Свет от источника, находящегося между полюсами магнита, попадает на щель спектрографа ИСП-51. В одном из полюсов магнита просверлено отверстие. Поворачивая магнит вокруг вертикальной оси, можно наблюдать эффект Зеемана как в продольном, так и в поперечном поле. Студент еще во время подготовки к выполнению работы должен рассчитать число компонент расщепления красной и всех трех линий голубого триплета цинка, определить состояние поляризации каждой компоненты зеемановского расщепления, а также нарисовать вид спектра цинка в фокальной плоскости спектрографа в параллельном и перпендикулярном полях. В ходе выполнения работы наблюдаются спектры расщепления. Перед щелью спектрометра устанавливается поляризатор, и при его вращении наблюдается изменение картины расщепления. Картины расщепления фотографируются при нескольких значениях напряженности магнитного поля. При этом проверяется пропорциональность величины расщепления напряженности магнитного поля.

**Спектральные закономерности атома водорода.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969, 1972, 1981. Задача № 5, с. 93–119.

Спектр атома водорода выделяется своей простотой и ясной закономерностью. Основными элементами установки, используемой в данной работе, являются водородно-дейтериевая и ртутная лампы и спектральный прибор, дающий необходимое разрешение спектральных линий. Используемая в данной работе водородно-дейтериевая лампа выполнена на базе водородной лампы ДВС-25, в которую, кроме водорода, добавляется некоторое количество дейтерия. Используются также ртутная лампа типа ДРС-50 для получения спектра ртути, необходимого для снятия дисперсионной кривой спектрального прибора. В качестве спектрального прибора используется автоколлимационная камера УФ-85 с фокусным расстоянием объектива 1300 мм в комбинации с отражательной дифракционной решеткой, имеющей 600 штрихов на мм. В ходе выполнения работы проводится наблюдение и фотонрафирование двух линий — красной и голубой серии бальмера спектра водорода в трех порядках. Измеряется расстояние между линиями желтого “дублета” и синего “триплета” ртути. По найденным расстояниям и известным длинам волн соответствующих линий строится кривая дисперсии прибора в 1, 2 и 3 порядках (зависимость  $d\lambda/dl$  от  $\lambda$ ). Используя кривую дисперсии и измеренные расстояния между линиями водорода и дейтерия, определяется величина изотопического сдвига спектра водорода в трех порядках. Вычисляются расстояния между еще некоторыми наиболее характерными линиями. Вычисляется также масса электрона.

**Изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных элементов по спектру поглощения.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969, 1972, 1981. Лаб. работа № 6, с. 120–140., с. 82–92.

Целью настоящей работы является изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных металлов, соответствующих орбитальному квантовому числу  $L$ , равному 1 (т.н.  $p$ -уровней) и проверка выражения для энергии водородоподобного атома  $E_n = hRc / (n - \Delta)^2$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света,  $n$  — целое число,  $\Delta$  — т. н. квантовый дефект,  $R$  — постоянная Ридберга. Источником света, обладающего непрерывным спектром в видимой области, является обычная осветительная лампа накаливания. Источником света, обладающего непрерывным спектром в области длин волн ниже 6000 Å, является ультрафиолетовая водородная лампа ДВС-25. Источником спектра сравнения, необходимого для построения градуировочной кривой спектрографа, является ртутная лампа типа ПРК. Анализ света производится с помощью кварцевого ультрафиолетового спектрографа (ИСП-30 или ИСП-22), позволяющего производить наблюдения в диапазоне от 2000 Å до 10000 Å. В ходе работы расшифровывается спектр ртути, определяются длины волн линий поглощения, рассчитывается потенциал ионизации щелочного металла, определяется энергия  $p$ -уровней атома натрия, строится диаграмма уровней, рассчитываются значения квантовых дефектов для  $p$ -уровней.

**Изучение линейчатого спектра атома водорода.** Работа 79. С. 357–358. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Опыт Франка-Герца.** Работа № 80. С. 358–359. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Изучение спектрограмм и спектральный анализ смеси веществ.** Работа № 81. С. 359–361. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Определение постоянной Планка.** Работа № 87. С. 375. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Эксперимент по интерференции одиночных фотонов на двойной щели.** Parker Sherwood. A single-photon double-slit interference experiment. "Amer. J. Phys.", 1971, 39, 34, 420–424. [РЖ 1971 9 А47].

Описан эксперимент по интерференции одиночных фотонов на двойной щели, доступный для студенческой физической лаборатории на младших курсах. Дано описание методики проведения лабораторной работы, указано ее место среди других работ этого же цикла. Приводится схема экспериментальной установки. В эксперименте источником света служат ртутная дуговая лампа, свет от которой последовательно проходит через регулирующую щель, зеленый, УФ- и поляризационный фильтры, которые служат для создания монохроматического света нужной интенсивности. После коллимирования свет проходит через двойную щель, создавая интерференционную картину в фокальной плоскости еще одной линзы, помещенной за щелью. Детектором света служит или ФЭУ с известной частотной характеристикой, или глаз экспериментатора. Экспериментальное доказательство интерференции фотона самого с собой проводится при помощи трех поляризаторов, устанавливаемых после каждой из щелей и перед детектором света.

**Опыт Франка и Герца.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1969. Лаб. работа 1. 1972, 1976, 1981, 1987.

В эксперименте Франка и Герца наблюдается возбуждение самого нижнего (из возбужденных) уровня, далее называемого “резонансным”. В лабораторной работе для наблюдения явления возбуждения резонансного уровня используется трехэлектродная лампа, заполненная парами исследуемого элемента. Электроны, испущенные катодом, ускоряются электрическим полем между сеткой и катодом и испытывают столкновения с атомами. По мере продвижения от катода к сетке изменяется их энергия. Тормозящее поле между сеткой и анодом является анализатором энергетического спектра электронов, пропуская к аноду лишь те электроны, энергия которых превышает тормозящую разность потенциалов. По мере повышения ускоряющего потенциала при постоянном тормозящем в районе сетки возникает первая зона неупругих столкновений электронов с атомами. Медленные (после неупругих столкновений) электроны, неспособные преодолеть задерживающий потенциал, не доходят до анода (попадают на сетку), анодный ток падает. По мере повышения потенциала сетки относительно катода появится второй минимум тока, третий и т. д. В работе измерению подлежат зависимости анодного тока от ускоряющего напряжения при постоянном задерживающем (анодные характеристики) и от задерживающего напряжения при постоянном ускоряющем (характеристики задержки).

**Изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных элементов по спектру поглощения.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1969, 1972, 1976, 1981, 1987.

Целью настоящей работы является изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных металлов, соответствующих орбитальному квантовому числу  $L = 1$  (так называемых  $P$ -уровней), и проверка выражения для энергии атомов щелочных элементов  $E_{nl} = -Rhc/(n + \sigma)^2$ . Здесь  $h$  — постоянная Планка,  $n$  — целое число (главное квантовое число),  $\sigma$  — квантовый дефект,  $R$  — постоянная Ридберга. Используемая методика позволяет легко установить положение довольно большого количества  $P$ -уровней щелочных элементов. В экспериментальной установке свет от источника конденсором направляется на кювету с парами щелочного элемента. Затем свет для анализа спектрального состава другим конденсором направляется на входную щель спектрографа. Источником света, обладающим непрерывным спектром в видимой области, в том числе и при  $\lambda > 6000 \text{ \AA}$ , является обычная осветительная лампа накаливания. Источником света, обладающим сплошным спектром в области длин волн ниже  $6000 \text{ \AA}$ , является водородная лампа типа ДВС-25. Источником света сравнения, необходимого для построения градуировочной кривой спектрографа, по которой определяются длины волн линий поглощения, является ртутная лампа типа ДРГС-12. В ходе работы выполняется фотграфирование различных спектров и их обработка. По результатам измерений строится градуировочная кривая спектрографа, расшифровывается спектр ртути — при этом промеряется на компараторе положение до 15 линий ртути в области длин волн от  $6000$  до  $2300 \text{ \AA}$ . Определяются длины волн линий поглощения. Определяется энергия  $P$ -уровней атома натрия и строится диаграмма уровней. Рассчитываются значения соответствующих квантовых дефектов для  $P$ - и  $S$ -уровней.



**Тонкая структура спектральных линий атома натрия.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1976, 1981, 1987.

Источником исследуемого спектра служит натриевая лампа ДнаС18, представляющая собой стеклянную трубку, в которой разряд происходит в парах натрия. Для исследования тонкой структуры спектра натрия используется двойной монохроматор типа ДФС-12, в составе которого имеются две отражательные дифракционные решетки. Затем световой поток попадает в фотоэлектронный умножитель и далее на автоматический потенциометр КСП-4 для записи спектра и последующей его обработки. В ходе работы записывается тонкая структура спектральных линий, возникающих при определенных переходах. При помощи полученных спектрограмм определяется величина расщепления  $3p$ ,  $4d$  уровней атома натрия.

**Оптический квантовый генератор (ОКГ) на рубине.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 3-е, 1972, лаб. работа № 11, с. 272, 306. Изд. 5-е. 1981. Лаб. работа 14, с. 279, 306. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 13, с. 220, 246.

В работе используется рубиновый лазер “Арзни-206”. Основой лазера является рубиновый кристалл длиной 80 мм, диаметром 6.5 мм. В состав установки входят также интерферометр Фабри-Перо с фотографической камерой, осциллограф С1-20, ФЭУ. В ходе работы определяется порог генерации, длительность и форма генерируемого импульса. Для определения энергии одиночных импульсов используются приборы: измеритель калориметрический твердотельный ИКЕ-1М или измеритель средней мощности и энергии импульсов ИМО-2. Ширина генерируемой линии определяется по интерференционной картине, получаемой с помощью эталона Фабри-Перо. Время жизни верхнего лазерного уровня рубина определяется по зависимости интенсивности спонтанного излучения от времени.

**Оптический квантовый генератор (ОКГ) на смеси гелия и неона.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 3-е, 1972, лаб. работа № 12, с. 272, 329. Изд. 5-е. 1981. Лаб. работа 15, с. 325. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 14, с. 220, 224.

В работе используются гелий-неоновые лазеры ЛГ-55. Измеряется коэффициент усиления инверсной среды. Выполняется настройка резонатора лазера на длину волны  $6338 \text{ \AA}$  и  $11523 \text{ \AA}$ . Определяется расходимость лазерного луча. Исследуется поляризация лазерного луча.

**Спектр поглощения паров йода.** Лаб. работа 13. Атомный практикум. Учеб. пособие для студ. физ. фак. Изд. 3-е. Моск. гос. ун-т. Физ. фак. Отд. ядерн. физ. Кафедра атом. физ. и электрон. явлений. М., Моск. ун-т, 1972, 1976, 1981, 1987.

Установка для исследования спектра состоит из дифракционного спектрографа ДФС-8, кюветы с йодом и источника света сплошного спектра (лампы накаливания). Свет лампы, коллимированный объективом, проходит через кювету с парами йода. Длина кюветы обеспечивает достаточное поглощение даже при плотности паров, соответствующей комнатной температуре. Спектр регистрируется на фотопластинке, где одновременно впечатывается шкала длин волн (в нанометрах). Дисперсионным элементом спектрографа является плоская дифракционная решетка с плотностью 600 штрихов на 1 мм и полным количеством

штрихов 60000, обеспечивающая дисперсию 6 Å/мм в первом порядке интерференции. Для обработки пластинок используется диапроектор. По полученным спектрам определяется постоянная ангармоничности, величина колебательного кванта энергии в верхнем электронном состоянии, коэффициент ангармоничности осциллятора в верхнем электронном состоянии, при помощи построенного графика определяется величина колебательного кванта энергии в нижнем электронном состоянии. Экстраполяция величины кванта энергии к нулю дает значение волнового числа кванта, соответствующего фотодиссоциации молекулы йода. Определяется энергия диссоциации в верхнем электронном состоянии и порядок величины размера молекулы. Строится кривая потенциала Морзе для возбужденного электронного состояния и кривая для осцилляторного потенциала.

**Функция возбуждения.** Лаб. работа 17. Атомный практикум. Учеб. пособие для студ. физ. фак. Изд. 3-е. Моск. гос. ун-т. Физ. фак. отд ядерн. физ. Кафедра атом. физ. и электрон. явлений. М., Моск. ун-т, 1972, 1981, 1987.

В лабораторной работе изучаются вопросы неупругого рассеяния (в отличие от опыта Резерфорда, где рассматривается упругое рассеяние), а именно, так называемая функция возбуждения – зависимость относительной интенсивности свечения спектральной линии от энергии возбуждающих электронов. Для исследования функции возбуждения линии используется оптический метод. Важнейшим элементом установки является низковольтная электронная пушка. Пучок электронов, проходя через исследуемый газ, возбуждает его. Свечение атомов, возбужденных электронным пучком, подается с помощью линзы из пространства, свободного от электрических полей, на щель спектрографа ИСП-51. При вращении призменной системы спектрографа на выходную щель фотоэлектрической приставки последовательно попадают различные участки спектра. Ток, возникающий в фотоумножителе ФЭП-1, усиливается усилителем постоянного тока и поступает на регистрирующий прибор (микроамперметр М-193 или самописец типа КСП-4). В ходе работы: снимается функция возбуждения оптической линии ртути  $\lambda=4916$  Å (зависимость интенсивности спектральной линии от энергии возбуждающих электронов); записываются на самописце функция возбуждения оптических линий ртути  $\lambda=4047$  Å,  $\lambda=4358$  Å,  $\lambda=5461$  Å; гелия  $\lambda=5048$  Å,  $\lambda=5016$  Å.

**Эффект Зеемана.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 3-е, 1972, лаб. работа №8, с. 170. Изд. 5-е. 1981. Лаб. работа 9, с. 156. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 8, с. 118.

Свет от цинковой спектральной лампы ДЦНС-20, находящейся между полюсами магнита, попадает на щель спектрографа ИСП-51. Наиболее яркими спектральными линиями цинка в видимой области спектра являются красная линия  $^1D_2 - ^1P_1$  и линии голубого триплета, обусловленные переходами с уровня  $^3S_1$  на уровни  $^3P_2$ ,  $^3P_1$ ,  $^3P_0$ . В одном из полюсов магнита просверлено отверстие. Поворачивая магнит вокруг вертикальной оси, можно наблюдать эффект Зеемана как в продольном, так и в поперечном полях. Для грубой монохроматизации излучения источника света служит спектрограф ИСП-51. Поскольку зеемановское расщепление обычно невелико, для его наблюдения применен прибор высокой разрешающей силы – интерферометр Фабри-Перо ИТ-51-30. Во время подготовки к выполнению работы нужно рассчитать число компонент расщепления красной линии и всех трех линий голубого триплета цинка, определить состояние

поляризации каждой компоненты зеемановского расщепления, а также нарисовать вид спектра цинка в фокальной плоскости спектрографа при  $H_{\text{паралл.}}$  и  $H_{\text{перп.}}$ . В ходе выполнения работы перед щелью спектрографа устанавливается поляризатор, вращая который, можно наблюдать, как при этом меняется картина расщепления. Расщепление голубого триплета в поперечном магнитном поле фотографируется в различных вариантах условий эксперимента. После обработки спектрограмм определяются величины расщеплений для красной линии  $^1D_2-^1P_1$  и двух голубых —  $^3S_1-^3P_0$  и  $^3S_1-^3P_1$ . С использованием результатов эксперимента определяется величина удельного заряда электрона.

**Сверхтонкая структура в спектре цезия.** Эксперимент для лаборатории повышенного типа. Mulligan J. F. Hyperfine structure in cesium — an advanced laboratory experiment. “Amer. J. Phys.”, 1974, 42, № 10, 883–885. [РЖ 1975 3А136].

Описан лабораторный эксперимент по измерению сверхтонкого расщепления основного состояния  $^{133}\text{Cs}$ , вызванного спином ядра ( $J=7/2$ ). Измеряется расщепление четырех интенсивных линий Cs, вызванных переходом в основное состояние  $6^2S_{1/2}$  (синих 4555 и 4593 Å и инфракрасных 8521 и 8943 Å). Приведены некоторые элементы конструкции и методика работы. Получаемые результаты легко интерпретируются. Сверхтонкое расщепление основного состояния атома Cs по результатам эксперимента равно  $(9,15 \pm 0,11) \cdot 10^9$  Гц; стандартное значение  $9,192631770 \cdot 10^9$  Гц.

**Определение  $m$ ,  $e/m$  и  $M_p/m$  по изотопической структуре [спектральных линий] водорода.** George S. Determination of  $m$ ,  $e/m$  and  $M_p/m$  by the study of the isotope structure in hydrogen. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 10, 885–887. [РЖ 1976 5 А133].

Исследование бальмеровской серии водорода и дейтерия в области 3600–6600 Å позволяет студентам не только найти постоянную Ридберга, границу серии, потенциал ионизации водорода, но также определить значения массы электрона ( $m$ ), отношение заряда электрона к его массе ( $e/m$ ) и отношение массы протона к массе электрона ( $M_p/m$ ) по следующим формулам:

- (1)  $m = H^+ D^+ (v_D - v_H) / (D^+ v_H)$ ,
- (2)  $e/m = F (D^+ v_H - H^+ v_D) / (H^+ D^+ (v_D - v_H))$ ,
- (3)  $M_p/m = \langle v \rangle / 2 \Delta v$ .

Здесь  $H^+$  и  $D^+$  — атомные (в формуле 1) или молярные (в формуле 2) массы водорода и дейтерия,  $v_H$  и  $v_D$  — волновые числа соответствующих спектральных линий,  $F$  — постоянная Фарадея в кулонах на моль. В качестве источника света используется гейслеровская трубка, содержащая по 50% водорода и дейтерия. Спектры фотографируются с помощью 3,4-м спектрографа Эберта. Расчет и эксперимент дают удовлетворительную точность определения констант.

**Изучение тонкой структуры спектральных линий в учебном практикуме по атомной физике.** Грушко Л.Ф., Матвеев Л.Г. “Вопр. физ. формообраз. И фазов. превращений”. Калинин, 1980, 150. [РЖ 1981 1 А114].

Описан разработанный для лабораторного практикума по атомной физике вариант интерферометра Фабри-Перо, рассчитанный на непрерывное изменение расстояния между зеркалами. Интерферометр позволяет наблюдать и регистрировать шесть компонент тонкой структуры зеленой линии спектра ртути.

**Атомная спектроскопия и голография. Комбинированный лабораторный учебный эксперимент.** Atomic spectroscopy and holography. A combined laboratory experiment at the intermediate undergraduate level. Bates Harry E. "Amer. J. Phys.", 1984, 52, № 5, 456–459. [РЖ 1985 1A191].

Предлагается методика учебного эксперимента по волновой оптике, состоящего из двух частей. В I части эксперимента осуществляется самостоятельное изготовление голографической дифракционной отражательной решетки. Лазерный луч после поляризатора и расширителя пучка (короткофокусной линзы с коллиматором) по диаметру 2 см направляется на полупрозрачное зеркало; два образовавшихся когерентных луча со сдвигом по фазе (отклоненный луч еще раз отражается от 2-го зеркала) встречаются в плоскости голографической пластины. Пластина затем обрабатывается в различных растворах в течение примерно 20 минут для закрепления изображения и высушивается. Вторая часть эксперимента – наблюдение полос серии Бальмера в спектре водорода и расчет постоянной Ридберга. Качество голографической дифракционной решетки позволяет достичь погрешности определения постоянной Ридберга порядка 0,11 %.

**Фоноатомный эффект.** L'effet phonoatomique. Goodstein D. L. "Recherche", 1986, 17, № 183. 1500–1508. [РЖ 1987 7 A122].

Приведены история открытия и описание фоноатомного эффекта (ФЭ), получившего название по аналогии с фотоэлектрическим эффектом и заключающимся в выбивании атомов с поверхности кристалла за счет энергии фонона (Ф). Приведен краткий исторический очерк открытия электрона, фотона, уравнения и постоянной Планка, предсказания фотоэлектрического эффекта Эйнштейном, работ Милликена, открытия Ф как кванта звуковой и тепловой энергии (Эйнштейн, 1907). Описана серия учебных экспериментов (2 подготовительных и 1 основной) с применением недорогого оборудования и материалов для обнаружения ФЭ. В экспериментах используется монокристалл сапфира объемом несколько десятков см<sup>3</sup>, в котором Ф длиной порядка сотни межатомных расстояний свободно распространяются на расстояние нескольких см. На кристалл напыляют тонкопленочный (толщина ~500 атомных слоев) нагреватель-излучатель и болометрический слой олова такой же толщины. Приведены методики проведения и интерпретации результатов экспериментов.

**Изотопический сдвиг.** Атомный практикум. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 6. 1987. Лаб. работа № 5, с. 67.

Изотопический сдвиг состоит в том, что изотопы атомов обладают спектральными линиями, немного отличающимися по длине волны. Основными элементами установки, используемой в данной работе, являются водородно-дейтериевая (на базе ДВС-25) и ртутная (типа ДРГС-12) лампы и спектральный прибор, дающий необходимое разрешение спектральных линий. В качестве последнего использовался автоколлимационная камера УФ-85 с фокусным расстоянием объектива 1300 мм в комбинации с отражательной дифракционной решеткой, имеющей 600 штрихов на мм. Для получения дисперсионной кривой прибора использовались две линии ртути: желтый "дублет" и синий "триплет". При обработке фотоснимков со спектрами вычисляется величина изотопического сдвига  $H_\alpha - D_\alpha$ ,  $H_\beta - D_\beta$  линий. Вычисляется также расстояние между линиями в тонкой структуре линии. Вычисляется масса электрона (в долях массы протона).

**Комбинационное рассеяние света.** Атомный практикум. Изд. 6-е. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1987. Лаб. работа 15, с. 278.

Целью лабораторной работы является знакомство с отдельными вопросами физики молекулы, с рядом элементов спектроскопии комбинационного рассеяния света (под этим названием обычно объединяют все вопросы, связанные с явлением комбинационного рассеяния света: теоретическое описание и объяснение явления, экспериментальные методы его исследования, используемая аппаратура, применение и результаты исследования явления). Описана блок-схема установки для получения и исследования колебательных спектров комбинационного рассеяния света в  $CCl_4$ . В качестве источника света, возбуждающего колебательный спектр, используется гелий-кадмиевый лазер ЛПМ-11 непрерывного действия. Пучок света с  $\lambda=4416 \text{ \AA}$  на стенку кюветы с исследуемой жидкостью. След лазерного луча в жидкости (область рассеяния) хорошо наблюдается визально. Свет, рассеянный молекулами  $CCl_4$ , с помощью конденсора направляется в призменный спектрограф ИСП-51 с фотоприставкой ФЭП-1. Рассеянный свет, попадающий на входную щель спектрографа, разлагается его призменной системой в спектр. При повороте призменной системы на катод фотоумножителя последовательно попадают различные участки спектра. Ток, возникающий в фотоумножителе, усиливается усилителем постоянного тока и попадает на вход самопишущего потенциометра, отклонение пера которого пропорционально интенсивности линий спектра. При повороте призменной системы спектрографа и одновременном движении диаграммной бумаги перо самопишущего потенциометра записывает спектр в виде непрерывной кривой. С помощью дисперсионной кривой ИСП-51 расшифровывается запись колебательного спектра комбинационного рассеяния  $CCl_4$ . Определяются интенсивности стоксовой и антистоксовой валентно-симметричных колебательных линий  $CCl_4$ . Определяется  $I_{\max}$  интенсивности в пике линий комбинационного рассеяния. Используя результаты экспериментального определения степени деполяризации стоксовой колебательной линии  $\nu(S) CCl_4$ , строится график  $I_{\max}=f(\alpha)$ , где  $\alpha$  – угол поворота поляроида. Оцениваются величины равновесного расстояния, квазиупругой постоянной связи  $C - Cl$ , энергия диссоциации молекулы  $CCl_4$ . Оценивается величина постоянной Планка.

**Экспериментальная проверка соотношения неопределенностей для фотонов.** Физ. практ-м. Томск. 1993. Лаб. работа 3–22. С. 85–89.

**Осцилляции Блоха в чистом виде.** Bloch-Oszillationen pur. Jorda S. *Phys. Bl.* 1996. 52, № 7–8. 653. [РЖ 1997 08A97].

Сообщается об экспериментальном наблюдении осцилляций Блоха охлажденных атомов цезия в стоячей световой волне. В этом эксперименте периодический потенциал создавался в результате взаимодействия атомов со стоячей световой волной, вызывающей отклонение от основного энергетического состояния, пропорциональное интенсивности света. Постоянная сила формировалась временной зависимостью разности частот обоих встречных лазерных лучей. В отличие от кристаллов, такая система позволяет изучать осцилляции “в чистом виде”: без помех, вызываемых фононами, дефектами кристаллической решетки или взаимодействиями между атомами. Приведены результаты исследований.

**Изучение комбинационного рассеяния в общем атомном практикуме.** Дегтярева В.В., Красильников С.С., Смирнов А.В., Чопорняк Д.Б. *Физика в системе*

современного образования: ФССО-05: Труды 8 Межд. конф. Санкт-Петербург, 29 мая–3 июня, 2005. СПб, 2005. 49–50. [РЖ 2006 12–18А.153].

Изучение процессов комбинационного рассеяния света позволяет в ходе лабораторной работы познакомить студента с рядом фундаментальных положений квантовой физики, а также прецизионной экспериментальной техникой, используемой при получении спектральных характеристик. Обработка данных позволяет провести оценку величины равновесного расстояния между атомами, квазиупругой постоянной связи, энергию диссоциации молекул, постоянной Планка. На примере данной задачи студенты оценивают возможности классического и квантово-механического описания наблюдаемых явлений. Приведено описание экспериментальной установки, разработанной унифицированной программной оболочки, позволяющей управлять различным оборудованием и отображать собранную экспериментальную информацию. В процессе выполнения заданий студенты получают постоянную поддержку от хелп-программ, где подробно, с применением мультимедийного иллюстративного материала, описана аппаратура, программное обеспечение, техника проведения эксперимента и основы теории изучаемых физических процессов.

**Новый метод определения границы К-поглощения с помощью тормозного излучения.** A novel method for determining the K-absorption edge using bremsstrahlung radiation. Nayak S.V., Badiger N.M. *Amer. J. Phys.* 2005. 73, № 4. 369–371. [РЖ 2007.01–18А.143].

Представлен новый метод определения границы К-поглощения (края полосы поглощения) тяжелых элементов, основанный на использовании непрерывного тормозного излучения от источника слабого бета-излучения. Спектр излучения, прошедший через мишень, регистрируется германиевым детектором высокой чистоты (HPGe). Резкий разрыв в спектре идентифицируется как граница энергии поглощения. Экспериментальная установка легко реализуема в студенческих лабораториях, поскольку требуется только источник бета-частиц и фольга для мишеней.

**Модернизация спектроскопических работ в лабораторном практикуме по атомной физике.** Корнев К. П., Пец А. В. *Вестн. Рос. гос. ун-та.* 2006. № 4, 101–105. [РЖ 2007 01–18А.144].

Рассматриваются проблемы, связанные с усовершенствованием методики проведения спектроскопических работ в лабораторном практикуме по атомной физике с целью повышения точности полученных результатов и параметров, рассчитанных на основе экспериментальных данных. В лаборатории атомной физики студенты выполняют три спектроскопические работы, связанные с исследованием спектров атомов и молекул. В первой из них изучается простейший спектр — спектр излучения атомарного водорода. Вторая посвящена исследованию более сложного спектра — спектра поглощения паров натрия. В третьей работе на примере спектра поглощения паров йода изучаются наиболее сложные спектры — молекулярные.

**Лабораторный эксперимент по измерению фотоэлектрического поперечного сечения К-оболочки у края К-края полосы поглощения.** Measurement of K shell photoelectric cross sections at a K edge: a laboratory experiment. Nayak S.V., Badiger N.M. *Eur. J. Phys.* 2007. 28, № 5. 859–866. [РЖ 09.02–18А.121].

## Глава 2. РЕНТГЕН

**Рентгеновское оборудование для лаборатории атомной физики.** Хилтон, Клейтон (X-ray tquipment for tht atomic physics laboratory. Hilton Wallace A., Clayton Glen T.), *Amer. J. Phys.*, **1956**, 24, № 5, 362–363. [РЖ 1956 № 12, 333628].

Указывается, что в учебных лабораториях успешно используется обычная медицинская рентгеновская аппаратура. Кратко описываются необходимые схемные изменения стандартной аппаратуры, при помощи которой можно производить эксперименты по фотографированию, определение коэффициента поглощения и показ явления дифракции.

**Методическое пособие для постановки и выполнения в физическом практикуме работы: “Исследование поглощения рентгеновского излучения различными веществами с помощью дозиметра”.** Ливенцев Н. М. 1-й Моск. мед. ин-т. М., **1961**, 18 с. [РЖ 1962 5 A97].

**Практикум по дозиметрическим приборам для рентгеновского и ядерных излучений.** Вайнберг М.Ш., Кронгауз А.Н., Мильштейн Р.С. и др. М., Медгиз, **1961**, 183 с. [РЖ 1962 9 A72].

**Эксперименты с использованием радиоизотопных источников рентгеновских лучей, предназначенные для лабораторных занятий студентов старших курсов.** Robinson W.K., Adams W.D., Duggan J.L. Some experiments with radioisotope X-ray source for the undergraduate laboratory. “*Amer. J. Phys.*”, **1968**, 36, № 8, 683–689. [РЖ 1969 1 A96].

Для проведения лабораторных занятий по изучению различных свойств характеристического рентгеновского излучения обычно в качестве источников излучения используются рентгеновские трубки, что создает ряд неудобств. Предлагается использовать флуоресцентное рентгеновское излучение, возбуждаемое в различных веществах  $\gamma$ -излучением радиоизотопов. Описаны методика и аппаратура для проведения лабораторных работ по изучению флуоресценции различных металлов в рентгеновской области, а также по изучению законов поглощения рентгеновского излучения в веществе. В качестве источников  $\gamma$ -излучения использовались изотопы  $\text{Co}^{57}$  и  $\text{Zn}^{65}$ . Детектором рентгеновского излучения служил либо обычный пропорциональный счетчик, либо Si(Li)-детектор, охлаждаемый до температуры жидкого азота. Энергетическое разрешение Si(Li)-детектора линии  $\text{Np-L}_{\alpha 1} - 13,95 \text{ кэВ}$  составляло 450 эВ.

**Рентгеновские спектры поглощения и порядковый номер элементов.** Brockmeyer Heirich. Rontgenabsorptions-spektren und die Ordnung der Elemente. “*Prax. Naturwiss.*”, **1970**, Teil 1, 19, № 1, 1-3. [РЖ 1970 6A81].

Установка состоит из рентгеновской трубки, приставки для определения углов Брэгга и поглощающих экранов. Спектр регистрируется при помощи Г.-М.-счетчика или рентгеновской пленки. По величине угла Брэгга рассчитывают длину волны и частоту, соответствующую краю спектра поглощения. Приведены результаты измерений, из которых следует закон Мозли.

**Изучение закона Мозли.** Демонстрационный эксперимент. Lazzarini E., Bettoni M. Mandelli. Teaching Moseley's law a classroom experiment. "J. Chem. Educ.", 1975, 52, 3 7, 454–456. [РЖ 1976 5 А143].

Описан вариант опыта по иллюстрации закона Мозли, в котором для изучения возбуждения излучения  $K$ -линий элемента мишени используются источники  $\gamma$ -излучения  $^{241}\text{Am}$  и  $^{141}\text{Ce}$  с энергией соответственно 59,6 и 145 кэВ. Мишень располагается над Pb-диском, имеющим отверстие в центре. На верхней поверхности диска помещается  $\gamma$ -источник с активностью  $\sim 1$  мКюри. Под отверстием в диске находится Ge–Li-детектор, который защищен от излучения источника и регистрирует только излучение мишени. Сигнал с детектора регистрируется многоканальным анализатором.  $K\alpha$ -линия излучения мишени отчетливо выделяется в получаемом спектре, и энергия ее с хорошей точностью совпадает с вычисленной по закону Мозли. Эксперимент рассчитан на 4–5 часов.

**Проверка закона Мозли.** MacLeod A. M. A verification of Moseley's law. "Phys. Educ.", 1976, 11, № 1, 38–40. [РЖ 1976 7 А128].

Подробно описывается процедура измерения энергии  $K$ -линий рентгеновского спектра, наблюдаемого при рассеянии в мишени излучения рентгеновской трубки. В качестве мишени использовались фольги и пленки из различных элементов (V, Cr, Fe, Cu, Se, Zr, Mo). Применялась стандартная аппаратура производства фирмы "Teltron Ltd.": рентгеновский источник с максимальной энергией 30 кэВ, пропорциональный счетчик и многоканальный амплитудный анализатор. Значения энергии пиков на спектрах хорошо ложатся на прямую  $E^{1/2} = 0,01490 Z - 0,00422$ . Хотя точность этих измерений не очень высока, однако относительная простота и малая радиационная опасность позволяют использовать эту работу как лабораторную для студентов старших курсов.

**Закон Мозли.** Атомный практикум. Изд. 5-е. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1981. Лаб. работа 13, с. 256. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 12, с. 198.

Закон Мозли — приближенный закон — для всех серий рентгеновского характеристического излучения устанавливает линейную связь между корнем квадратным из волнового числа  $k_i = 1/\lambda_i$  соответствующей характеристической линии и атомным номером  $Z$  элемента:  $Z - \sigma_i = A/\sqrt{\lambda_i}$ , где  $A = 1/\sqrt{R(1/n_i^2 - 1/n^2)}$ . Здесь  $R$  — постоянная Ридберга,  $n_i$  — главное квантовое число, соответствующее  $i$ -серии ( $n_i = 1$  для  $K$ -серии;  $n_i = 2$  для  $L$ -серии и т. д.);  $n$  — главное квантовое число оболочек, расположенных выше;  $\sigma_i$  — постоянная экранирования рентгеновских уровней  $i$ -оболочки. Эксперимент, выполняемый в лабораторной работе, заключается в проверке приведенного соотношения. Первичное излучение от радиоактивного источника через коллиматор в свинцовой защите попадает на образец. Возникающее при этом характеристическое рентгеновское излучение попадает на детектор (пропорциональный счетчик). В качестве детектора служит пропорциональный счетчик СРМ-19, который предназначен для регистрации и спектрального анализа рентгеновского излучения в диапазоне энергий 5–35 кэВ. Регистрирующее устройство состоит из одноканального анализатора импульсов ПД-2-1 и пересчетного устройства ПСО-2. Осциллограф, используемой в данной работе, также выполняет роль регистрирующего устройства и служит для визуального наблюдения импульсов, снимаемых с пропорционального счетчика. В



ходе работы снимается дифференциальный спектр прямого пучка  $\gamma$ -квантов, испускаемых радиоактивным источником  $^{109}\text{Cd}$ , при попадании их на детектор. Снимаются и строятся графики дифференциальных характеристических рентгеновских спектров *Fe, Cu, Ge, Ti, Br, Pb, Bi, Hg*. По дифференциальным спектрам элементов с помощью градуировочных данных определяется энергия квантов, рассчитываются длины волн наблюдаемого характеристического излучения этих элементов. Зная на основании данных эксперимента длины волн  $\lambda_i$  линий *K*-серии *Fe, Cu, Ge, Ti* и *Br* и линий *L*-серии *Pb, Bi, Hg*, построить диаграммы Мозли. Из диаграмм определить постоянные экранирования для линий *K*- и *L*-серий и сравнить их с табличными значениями.

**Определение элементов по их взаимодействию с рентгеновскими лучами.**

**Лабораторный эксперимент.** Identification of elements by X-ray interaction-A laboratory experiment / Kerur B.R., Jahagirdar H.A. Thontadarya S.R., Hanumaiah B. // Amer. J. Phys.-1989.— 57, № 12.— С. 1148—1149. [РЖ 11 А172].

Описан эксперимент по определению массового коэффициента ослабления рентгеновских лучей при их прохождении в веществе. Поскольку коэффициент ослабления сильно зависит от атомного номера, этим можно воспользоваться для определения неизвестного элемента в лабораторном опыте. Используя излучения от источника  $^{170}\text{Tl}$  с энергией квантов 52,4 кэВ и сцинтилляционный детектор NaJ(Tl), можно идентифицировать элементы с  $z$  от 13 до 82.

**Проверка закона Мозли и условия частот Бора:** лабораторный эксперимент для старшекурсников. Verification of Bohr's frequency condition and Moseley's law: An undergraduate laboratory experiment. Gudennawar S.B., Badiger N.M., Thontadarya S.R., Hanumaiah B. Amer. J. Phys. 2003. 71, № 8. 822–825. [РЖ 05.12–18А.170].

### Глава 3. ЭЛЕКТРОНЫ В ЯДЕРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

**Определение радиуса атомного ядра при помощи быстрых и медленных электронов.** Фойк (Die Bestimmung des Atomkerndurchmessers mit schnellen und langsamen Elektronen. Voit Fritz), Prax. Naturwiss., **1958**, A7, № 10 261–263. [РЖ 1959 № 10 21736].

В качестве источника быстрых электронов используется радиоактивная светящаяся краска, излучающая электроны со скоростью 0,6–0,8 с (могут быть использованы ручные часы без часового стекла). Интенсивность излучения измеряется  $\beta$ -счетчиком. Измеряют коэффициент линейного поглощения  $a$  различных веществ (Al, Sn, воздух) по известной формуле  $I=I_0e^{-ax}$ . Разделив  $a$  на количество атомов вещества в 1 см<sup>3</sup>, получают величину, близкую по значению к квадрату радиуса ядра. Аналогичный опыт можно провести с пучками электронов из трубки Ленарда.

**Усовершенствование опыта Франка-Герца.** Дьюдни (Improvement to the Franck-Hertz experiment. Dewdney John W.), Amer. J. Phys., **1959**, 27, № 9, 645–646. [РЖ 1960 № 9 21936].

Модификация опыта Франка-Герца состоит в том, что энергия электронов модулируется с частотой 60 Гц и ток регистрируется на экране трубки осциллоскопа. Приведена электрическая схема установки, при помощи которой можно получить на кривой тока до 25 и более максимумов.

**Определение постоянной Планка.** Дрост (Bepaling van de constante van Planck. Drost H, J.), Faraday, **1959**, 28, № 5, 61–68. [РЖ 1960 № 7 15793].  
Подробное описание лабораторной работы.

**Обратное рассеяние электронов.** Ostwald Ferdinand. Ruckstreuung von Elektronen an Materie. “Prax. Naturwiss.”, **1962**, A11, № 6, Physik, 148–151. [РЖ 1962 12 A107].

Описывается установка для исследования зависимости интенсивности обратного рассеяния электронов от угла падения на плоскую мишень из исследуемого материала. Источником электронов служит чистый  $\beta$ -излучатель (смесь радиоактивных изотопов Sr<sup>90</sup> и Y<sup>90</sup>) активностью ~200 мкюри, помещенный в экранирующий цилиндр. Узкий пучок  $\beta$ -лучей падает на экран, который может вращаться в вертикальной плоскости. Интенсивность обратного рассеянного излучения измеряют гейгер-мюллеровским счетчиком, соединенным с электронным счетчиком. Источник излучения и гейгер-мюллеровский счетчик помещают под прямым углом друг к другу так, чтобы прямое излучение от препарата не попадало на счетчик. Отмечается, что для всех мишеней число импульсов в интервале 0°–40° больше, чем для соответствующих дополнительных углов, а максимум излучения приходится на угол 40°. Автор объясняет это возникновением вторичного тормозного  $\gamma$ -излучения, интенсивность которого увеличивается с уменьшением угла падения.

**Определение верхней границы  $\beta$ -спектра.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живописцев, Н.И. Тулинова. МГУ. 1965, 1979. Задача 1, с. 51.

В задаче определяется максимальная энергия  $\beta$ -спектра по кривой изменения интенсивности пучка  $\beta$ -излучения радиоактивного препарата в зависимости от толщины поглотителя. Рассматриваются вопросы особенностей  $\beta$ -распада и взаимодействия  $\beta$ -излучения с веществом.

**Определение потенциалов возбуждения.** Koch F., Mastan I. Determinarea potentialelor de excitare. "Rev. fiz. si chim.", 1967, A4, № 8, 315–319. [РЖ 1968 5 A78].

Разобрана теория опыта Франка и Герца, позволяющего определять потенциалы возбуждения атомов газа в трубке по зависимости анодного тока от напряжения на сетке, ускоряющего выбрасываемые катодом электроны. Между сеткой и анодом подается напряжение, тормозящее замедленные при столкновениях с атомами электроны, которое достаточно для того, чтобы эти электроны не достигали анода. Описано осуществление этого эксперимента с помощью тиратрона с парами ртути, а также тиратрона ТГ213, заполненного смесью газов, с которым работали авторы. Для увеличения малой для тиратрона длины пробега электронов в газе применялось магнитное поле, параллельное движению электронов, которое заставляло электроны двигаться по спиральям. Приведены снятые авторами экспериментальные кривые и даны практические указания по проведению эксперимента.

**Механическое устройство для демонстрации возбужденных состояний.** Fox J.N., Arlotto J.J. Mechanical demonstration of excited states. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 1, 49–51. [РЖ 1968 8 A103].

Механическое устройство может быть использовано в общей физической лаборатории для наглядного доказательства следующих положений общего курса физики, касающихся перехода атома в возбужденное состояние: 1) соударение электрона с атомом является упругим до тех пор, пока не достигнута некоторая минимальная энергия столкновения; 2) при достижении этой минимальной энергии столкновение становится неупругим; 3) энергия, требуемая для перехода атома в возбужденное состояние, меньше, чем минимальная энергия. Механический "атом" и "электрон" представляют собой два тела, способных перемещаться (скользить) по общему основанию, причем "атом" снабжен ловушкой из двух пружин V-образной формы, прикрепленных к концам алюминиевого прутка. Когда энергия механического "электрона" достигает определенной величины при столкновении, щеколда ловушки "атома" опускается, и оба тела двигаются вместе. Тела оборудованы специальными отметчиками времени для определения начальной скорости движения "электрона" и скорости тел после соударения. Измеряется кинетическая энергия тел при соударениях для целого ряда начальных скоростей "электрона" до точки захвата его "атомом" и скоростей, больших этой минимальной скорости.

**Опыт Франка и Герца.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969, 1972, 1981. Задача № 1, с. 4–16.

Задача эксперимента заключается в подборе режима (давление, ток накала, ускоряющий и задерживающий потенциалы), обеспечивающего получение наилучших анодных характеристик и характеристик задержки ламп. Лампы наполнены парами ртути или инертным газом, выбранными для этого эксперимента из-за специфической функции возбуждения резонансного уровня (интеркомбинационный переход), облегчающей получение зон неупругих столкновений с более четкими границами, а также простоты регулирования давления насыщенных паров ртути путем нагрева. В ходе работы снимаются анодная характеристика и характеристика задержки ртутной лампы при комнатной температуре. Подбирается режим и снимаются анодные характеристики лампы с инертным газом при двух задерживающих потенциалах и определяется резонансный потенциал. Снимаются характеристики задержки лампы с инертным газом при двух ускоряющих потенциалах. Оценивается сечение возбуждения резонансного уровня атомов ртути и инертного газа электронами. Получаются анодные характеристики на экране осциллографа.

**Лабораторные измерения энергии распада при захвате орбитальных электронов по спектру внутреннего тормозного излучения.** Rau K., Ramaswamy M.K. A laboratory measurement of decay energy in electron capture from inner bremsstrahlung spectrum. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 1, 70–72. [РЖ 1969 8 А64].

В качестве учебной задачи для студентов-выпускников ядерной специальности предлагается работа по определению энергии распада ядер, испытывающих захват электронов на  $K$ -оболочке атома. Граничная энергия спектра внутреннего тормозного излучения в сумме с энергией связи  $K$ -электрона дает энергию распада ядра. Детектором служит NaJ-спектрометр, источником — препарат  $\text{Fe}^{55}$ . Граничная энергия, измеренная на этой простой установке, оказалась равной  $241 \pm 20$  кэВ, а энергия распада — 248 кэВ в хорошем согласии с известными данными. Более точные результаты можно получить, применяя Ge(Li)-детектор с высоким разрешением и многоканальный анализатор и внося поправки: 1) на поглощение фотонов, 2) изменение эффективности детектора с энергией, 3) отражение фотонов от детектора, 4) комптоновское рассеяние и 5) на конечное разрешение детектора.

**Два замечания к опыту Франка и Герца.** Ulbricht Heinz. Zwei Bemerkungen zum Franck-Hertz-Versuch. "Prax. Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 1, 19–20. [РЖ 1970 6 А82].

Предлагается наблюдать эффекты в опыте Франка и Герца не только на лампах с парами ртути, но и на лампах с инертным газом. Применение ламп с инертным газом позволяет работать без внешнего обогрева и удешевляет установку. Недостатком является то, что не у всех таких ламп геометрия электродов является подходящей. Установка может быть использована в физическом практикуме.

**Установка для определения дискретных энергетических уровней атомов в газах.** Сайфуллин Л.И., Андрушко А.И. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", 1971, № 1, 152–153. [РЖ 1971 6 А75].

Описана установка для проведения лабораторной работы в вузе по наблюдению потенциалов возбуждения и ионизации в газе (ксеноне). В установке использованы тиратрон ТГ1–0,1/1,3 и другие недефицитные детали.

**Определение максимальной энергии  $\beta$ -спектра.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, **1972, 1979**. Лаб. работа 1, с. 60.

В задаче определяется максимальная энергия  $\beta$ -спектра по кривой изменения интенсивности пучка  $\beta$ -излучения радиоактивного препарата в зависимости от толщины поглотителя. Рассматриваются вопросы особенностей  $\beta$ -распада и взаимодействия  $\beta$ -излучения с веществом.

**Движение заряженной частицы в аксиально-симметричном магнитном поле.** Лаб. работа 3. Атомный практикум. Учеб. пособие для студ. физ. фак. Изд. 3-е. Моск. гос. ун-т. Физ. фак. отд. ядерн. физ. Кафедра атом. физ. и электрон. явлений. М., Моск. ун-т, **1972, 1981**.

**Ионизация атомов в процессе столкновения с электронами.** Gubanski Zenon. Jonizacja atomow przez zderzenie z elektronami. "Fiz. Szk.", **1972**, 18, 2, 50. [РЖ 1972 10 A130].

Описан лабораторный эксперимент по изучению процесса электронной ионизации в газах. С этой целью использован тиратрон ТГ0,1/1,3, в котором анод служит коллектором ионов, а ускоряющий потенциал подается на вторую сетку. Для измерения ионного тока в анодную цепь включен микроамперметр. При повышении ускоряющего потенциала с нулевого начального значения ток в цепи коллектора появляется при достижении значения ускоряющего напряжения, приблизительно равного табличному значению потенциала ионизаций. Небольшие отклонения от табличных значений могут быть вызваны наличием контактных потенциалов в цепи катод–сетка, разбросом начальных энергий электронов и др.

**Опыт Франка и Герца в студенческом практикуме.** Работкин В.Л., Работкина Л.Р., Сидоренко А.Г. "Изв. высш. учеб. заведений. Физика", **1972**, № 3, 147–148. [РЖ 1972 11 A120].

Предложена простая установка, на которой исследуется распределение электронов по скоростям после неупругих столкновений. Для измерений используется манометрическая лампа ЛМ-2, заполненная ртутью. Изменяя давление паров ртути подогревом, на осциллографа наблюдают устойчивую вольтамперную характеристику классической формы.

**Систематика и моделирование соударений в опыте Франка–Герца.** Reichspfarr Franz. Systematik und Modellversuch zum Franck – Hertz – Elektronenstoss. "Prax. Naturwiss.", **1972**, Teil 1, 21, № 9, 225-230. [РЖ 1973 2 A77].

При моделировании опыта Франка–Герца предлагаются следующие "эквивалентные" замены: ускоряющее электрическое поле — полем тяготения, трубка Франка–Герца — наклонным желобом прямоугольного сечения, электрон — стальным шариком, атомы ртути — сильно натянутыми полосами резины,

укрепленными вдоль желоба через равные интервалы. Изменяя наклон желоба, можно изменить энергию стального шарика, приобретаемую им на участке между 2 полосами резины. При малых энергиях получается модель упругого соударения электрона с атомом ртути; при больших энергиях шарика последний либо застревает под резиной, либо проходит под ней, расходуя накопленную энергию, и таким образом получается модель неупругого соударения. Приводится подробное описание установки и полученные экспериментальные результаты.

**Получение характеристик опыта Франка–Герца с помощью регистрирующего измерительного прибора.** Seufert Wolfgang. Aufzeichnung von Kennlinien mit einem registrierenden Messgerät. Franck-Hertz-Versuch. “Prax. Naturwiss.”, 1972, Teil 1, 21, № 9, 230–234. [РЖ 1973 2 А78].

На примере записи характеристики опыта Франка–Герца (ток коллектора в функции ускоряющего напряжения) показано, как можно записать на экране осциллографа или на ленте самописца функциональную зависимость величин, зависящих от времени. Указаны приборы, применявшиеся для этой цели, и фирмы, их изготавливающие. Предлагаемая установка позволяет исследовать температурную зависимость характеристики опыта Франка–Герца.

**Опыты по интерференции электронов.** Donati O., Missiroli G.F., Pozzi G. An experiment on electron interference. “Amer. J. Phys.”, 1973, 41, № 5, 639–644. [РЖ 1973 10 А107].

Разработана упрощенная методика проведения известных опытов Молленштедта и Дюкера (см. РЖФиз., 1955, № 9, 19595). Для их выполнения был использован серийный электронный микроскоп, дополненный несложными электронно-оптическими элементами, большинство из которых можно изготовить в лабораторных условиях. Основным из этих элементов является конвергентная электронно-оптическая бипризма, технология изготовления которой с применением кварцевой или кремниевой нити подробно описана. Даны рекомендации по методике проведения эксперимента, настройке аппаратуры и т.п. Приведены фотографии полученных интерферограмм.

**Опыт Франка и Герца в физическом практикуме втуза.** Жежеров М.И., Селиванова И.А., Тихонов Н.А. и др. В сб. “Физика”. Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 60–64. [РЖ 1974 2 А91].

Описана изготовленная кафедрой физики Московского института химического машиностроения установка для выполнения лабораторной работы по доказательству дискретности энергетического спектра атома. В качестве рабочей лампы использована лампа ЛИГ, изготавливаемая по заказу физического факультета МГУ. Эта лампа наполнена химически чистым неоном или аргоном до давления 1,2 мм рт. ст. Приведена принципиальная электрическая схема установки. Питается установка с помощью силового трансформатора с тремя независимыми обмотками и тремя полупроводниковыми выпрямителями, собранными по мостовой схеме. Даны советы по проведению эксперимента и выполнению расчетов.

**Возбуждение и ионизация электронным ударом атомов ксенона.** Remy F. Excitation et ionisation par chocs électroniques de l'atome de xenon. "Bull. Union phys.", 1973, 67, № 557, 1181–1186. [РЖ 1974 2 А103].

Предложено видоизменение опыта Франка–Герца, поставленного на основе использования тиратрона 2D21, описанного Вайяном (РЖФиз, 1971, 12А131). В предложенном варианте также применяется тот же тиратрон, но он более прост и может быть использован в физических практикумах средних школ. Лабораторная работа состоит в снятии зависимости анодного тока как функции ускоряющего напряжения термоэлектронов катода. Уменьшение анодного тока при значениях напряжения между 6 и 9 В соответствует значению первого возбужденного уровня атома ксенона 8,43 эВ. Резкое возрастание анодного тока после 12 В соответствует потенциалу ионизации ксенона 12,13 эВ. Вторая лабораторная работа состоит в наблюдении нарушения линейной зависимости напряжения на одной из сеток тиратрона, играющей роль зонда в плазме, окружающей катод, от напряжения питания при 12 В. При постановке подобной задачи рекомендуется перепробовать ряд экземпляров тиратронов, т. к. индивидуальный разброс характеристик оказывает влияние на успешное обнаружение возбуждения уровней и ионизации.

**Тормозная способность тонкой мишени для электронов внутренней конверсии; лабораторный эксперимент.** Porter L. E. Stopping power of a thin target for internal conversion electrons: a laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", 1974, 42, № 7, 610–611. [РЖ 1975 2 А125].

Описана задача лабораторного физического практикума, в которой проводится измерение тормозной способности  $S_e$  алюминия и других веществ для моноэнергетических электронов. Источником служат электроны внутренней конверсии, излучаемые  $^{137}\text{Cs}$ – $^{137}\text{Ba}$  ( $E_e=624$  кэВ). Значения  $E_e$  после прохождения Al- и других фольг определяются с помощью  $\beta$ -спектрометра. Экспериментальные значения  $S_e$  сравниваются с теоретическими.

**Непосредственное изучение взаимодействия атомов в лабораторном физическом практикуме. Атомная спектроскопия поглощения с временным разрешением.** Stock Malcolm G., Little David J., Donovan Robert J. Direct studies of atomic reactions in the undergraduate laboratory. Time resolved atomic absorption spectroscopy. "J. Chem. Educ.", 1974, 51, № 1, 51–53. [РЖ 1974 7 А97].

Описан лабораторный эксперимент по изучению электронновозбужденных состояний атомов йода. Экспериментальное оборудование состоит из модернизированного коммерческого прибора для фотохимической диссоциации, работающего в импульсном режиме. Приведена теория и результаты эксперимента. Кратко перечислен ряд других экспериментов, выполненных в данной лаборатории. Результаты экспериментов хорошо согласуются с теорией и экспериментальными результатами, полученными другими исследователями.

**Сохранение массы-энергии и импульса при аннигиляции электрона с позитроном (лабораторный эксперимент).** Lagare M.T., Umakantha N. Conservation of mass-energy and linear momentum in electron-positron annihilation: a laboratory experiment, "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 2, 189-190. [РЖ 1975 8 А111].

Описан лабораторный эксперимент по изучению процессов аннигиляции электронов с позитронами. Приведена блок-схема экспериментальной установки, главной особенностью которой является наличие импульсной суммирующей цепи, работающей по схеме совпадений. Получаемые при аннигиляции фотоны регистрируются сцинтилляционными детекторами. Приведены типичные экспериментальные результаты.

**Автоматизированный эксперимент Франка-Герца с использованием двухкоординатного самописца.** Carpenter Kenneth H. An automated Franck-Hertz experiment using an X-Y recorder. "Amer. J. phys.", 1975, 43, № 2, 190–191. [РЖ 1975 8 A100].

Описана установка для автоматической регистрации вольт-амперной характеристики в эксперименте Франка-Герца. Автоматизация достигается путем свипирования напряжения с помощью дополнительного источника постоянного напряжения и конденсатора. Установка состоит из трубки Франка-Герца, помещенной в термостат, источника постоянного напряжения с максимальным напряжением в пределах 50–100 В, двухкоординатного самописца с плавающими входами, батареи смещения, переключателя и конденсатора. Требуемая величина емкости зависит от выходного напряжения источника и постоянной времени самописца. Для времени свипирования ~10 сек можно использовать электролитический конденсатор с емкостью 100–500 мкФ. Приведены типичные характеристики, полученные на описанной установке.

**Замечание к эксперименту Франка-Герца.** Huebner J.S. Comment on the Franck-Hertz experiment. "Amer. J. Phys.", 1976, 44, 3 3, 302–303. [РЖ 1976 11 A157].

При проведении студентами эксперимента Франка-Герца полезно не только регистрировать электрические характеристики разряда, но и наблюдать внешний вид свечения ртутного пара в разрядной трубке. При температуре трубки 200° С и анодном токе  $10^{-8}$  А в пространстве между сеткой и катодом наблюдаются несколько светящихся зон, количество которых зависит от напряжения сетка-катод. Между этими зонами электроны плазмы ускоряются до энергии 4,9 эВ и возбуждают атомы ртути, переводя их в состояние  $^3P_0$ ,  $^3P_1$ ,  $^3P_2$ . Свечение при переходах из этих состояний в основное (2537 Å) невидимо, но атомы могут быть переведены в более высокие состояния, если они будут дополнительно возбуждены, не успев вернуться в основное состояние. Обратные переходы с более высоких уровней в состояние с энергией 4,9 эВ сопровождаются видимым белоголубым свечением. Наиболее вероятен этот процесс для метастабильных уровней ( $^3P_0$  и  $^3P_2$ ).

**Лабораторный эксперимент: определение массы покоя электрона.** Mudhole T.S., Umakantha N. Determination of the rest-mass energy of the electron: a laboratory experiments. "Amer. J. Phys.", 1977, 45, № 11, 119–1120. [РЖ 1978 5 A89].

Описывается лабораторный эксперимент по определению массы покоя электрона при комптоновском рассеянии. Для этой цели используется  $\gamma$ -спектрометр, состоящий из кристаллического детектора, фотоумножителя и многоканального анализатора амплитуд импульсов. Из экспериментальных дан-



ных, полученных с помощью анализатора (максимальной энергии электрона и энергии рассеянных фотонов), а также из известной энергии падающего фотона, определяется масса покоя электрона.

**Лабораторная работа по определению энергии покоя  $E_0$  электронов.** Ebel Maria F. A students experiment for the determination of the rest energy  $E_0$  of electron. “Amer. J. Phys.”, 1979, 47, № 1, 96–98. [РЖ 1979 8 A151].

Для электронов с энергиями порядка нескольких килоэлектронвольт релятивистское увеличение массы составляет менее 1% от массы покоя. Это увеличение может быть зарегистрировано методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Описана практическая работа, в которой энергия покоя определяется из серии экспериментов с рентгеновским фотоэлектронным спектрографом.

**Экспериментальное изучение атомных процессов в гелии.** An experimental study of atomic processes in helium. Johansson Sveneric. “Phys. Educ.”, 1980, 15, № 4, 242–244. [РЖ 1981 1 A111].

Для доказательства существования дискретных уровней энергии атомов в физических курсах ставится классический опыт Франка и Герца. Описана модификация опыта, реализуемая с помощью трубки TEL 533. Трубка заполнена гелием при низком давлении, содержит электронную пушку, ускоряющую электроны, металлическое коллекторное кольцо и имеет внутреннее проводящее покрытие (анод). Ускоряющая разность потенциалов – 18–28 В; положительное смещающее напряжение – 0–5 В (оптимальное – 1,5 В). В ходе проведения опыта изучается функция зависимости коллекторного тока от величины ускоряющего потенциала в области 18–25 В при постоянных напряжения смещения и подогревном катодном токе. Данные регистрируются с помощью осциллографа или самопишущих устройств. На полученной графической зависимости отчетливо наблюдается плавное возрастание коллекторного тока при ускоряющей разности потенциалов  $V < 20$  В, далее несколько пиков и резкое возрастание при  $V > 24.5$  В. Отмечается, что для лучшего разрешения кривой необходимо поддерживать достаточно низкую величину подогревного тока (порядка 210 мА). Приведено краткое объяснение полученных результатов. Приведены и обсуждаются экспериментальные зависимости коллекторного тока от  $V$ , когда 1) потенциал коллектора отрицателен по отношению к потенциалу анода, 2)  $39 \text{ В} < V < 48 \text{ В}$ . Отмечается, что с помощью трубки TEL 533 можно также поставить эксперимент, в котором изучается эмиссионный спектр гелия и правила отбора. Предложенные опыты дают возможность обсудить такие концепции, как метастабильные состояния, вероятность переходов и рассмотреть схемы уровней энергии.

**Изучение линейчатых спектров поглощения в общем практикуме КГУ по атомной физике.** Сохов К.А., Грушко Л.Ф. “Вопр. физ. формобраз. и фазов. превращений”. Калинин, 1980, 149. [РЖ 1981 1 A115].

Разработана и используется в практикуме по атомной физике установка, рассчитанная на фотографическую регистрацию линейчатых спектров поглощения. Атомизаторами служит пламя и электротермический атомизатор, источниками излучения – ксеноновая лампа ДКСШ-150 и лампа накаливания.

**Экспериментальное доказательство аннигиляции электронов и позитронов.** Zum experimentellen Nachweis der  $e^+e^-$ -Vernichtung. Fichtner Richard. "Phys. und Didakt.", 1981, 9, 3 2, 132–145. [РЖ 1982 12 A219].

Рассмотрен описанный в ряде учебных пособий по физике, выпускаемых в ФРГ, эксперимент, демонстрирующий явление аннигиляции электронов и позитронов. В эксперименте в качестве источника позитронов используется  $^{22}\text{Na}$ , в качестве облучаемого вещества — железная пластинка. При этом в направлении, перпендикулярном пучку, фиксируется  $\gamma$ -излучение, происхождение которого объясняется аннигиляцией. Более тщательный анализ показал, однако, что это излучение порождается не аннигиляцией, а комптоновским рассеянием излучаемых образцом  $\gamma$ -квантов на железной пластинке. Предложены схемы проведения эксперимента, в которых факт аннигиляции фиксируется путем регистрации одновременного излучения двух  $\gamma$ -квантов в противоположных направлениях.

**Энергетические уровни атомов гелия и неона, определенные методом электронных столкновений.** Energy levels in helium and neon atoms by an electron-impact method. Taylor N., Bartle K.D., Mills D., Beard D.S. "Amer. J. Phys.", 1981, 49, № 3, 265–268. [РЖ 1981 11 A133].

Описано простое устройство, предназначенное для учебных опытов по определению потенциалов ионизации и электронных энергетических уровней инертных газов. Устройство представляет собой наполняемую исследуемым газом электронную лампу с подогревным катодом, анодом и кольцевым электродом-коллектором вторичных электронов. Получены спектры ионизации и определены энергетические уровни He и Ne, иллюстрирующие применимость к этим газам концепции Рассел-саундерсовской связи.

**Взаимодействие электронов с веществом.** Electron interaction with matter. Ouseph P.J., Hoskins K.D., Wadsworth M., Miller J.S., Merriam S. "Amer. J. Phys.", 1982, 50, № 4, 341–343. [РЖ 1982 11 A48].

Описана лабораторная работа для ознакомления студентов с различными аспектами взаимодействия моноэнергетичных электронов с веществом. Работа позволяет изучать различные аспекты взаимодействия электронов, такие, как изменение интенсивности, наиболее вероятная потеря энергии и зависимость ширины и положения пиков энергетического распределения от толщины поглотителя. Приведены графики, иллюстрирующие эти зависимости. Описанный эксперимент совместно с подобными экспериментами по поглощению  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов позволит студентам понять различия во взаимодействии этих видов излучения с веществом.

**Опыт Франка и Герца.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.22. С. 532–536.

Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием до давления  $\sim 1$  Торр. Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Роль коллектора играет полый металлический цилиндр, соосный с катодом и анодом. В ходе работы снимается зависимость силы тока коллектора от напряжения на аноде при различных значениях задерживающего потенциала. Эта зависимость представляется графически, что позволяет определить энергию возбуждения первого уровня атома гелия.

**Лабораторная работа. “Определение энергии связи электронов *L*-зон титана методом спектроскопии пороговых потенциалов”.** Мартынюк А.В. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 10, 123–130. [РЖ 1984 5 А163].

Приводится описание лабораторной установки, предназначенной для определения энергии связи электронных оболочек металлов с помощью методики спектроскопии пороговых потенциалов.

**Лабораторная работа “Определение энергии связи электронов *L*-зон титана методом спектроскопии пороговых потенциалов”.** Мартынюк А.В. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 10, 123–130. [РЖ 1984 5А159].

Приводится описание лабораторной установки, предназначенной для определения энергии связи электронных оболочек металлов с помощью методики спектроскопии пороговых потенциалов.

**Использование трубки Франка-Герца в экспериментах по спектроскопии электронов.** Electron spectroscopy using a Franck-Hertz tube. Martin A.D., Quinn P.J. “Amer. J. Phys.”, 1984, 52, № 12, 1114–1116. [РЖ 1985 8 А105].

Предлагается использовать в качестве спектрометра электронов в лабораторном практикуме стандартную трубку Франка-Герца. Полученные спектры энергии электронов имеют особенности, которые являются характеристическими для структуры энергетических уровней атомов ртути. Описанный эксперимент знакомит студентов с достижениями современной модуляционной спектроскопии, позволяет более детально исследовать энергетические состояния атомов. Разрешение в спектрах энергии электронов при использовании трубки Франка-Герца составляет 1 эВ. Электронная пушка образована катодом и первой сеткой трубки, пространство дрейфа расположено между первой и второй сеткой, распределение электронов по энергиям анализируется при модуляции напряжения на аноде трубки Франка-Герца. При высоких давлениях паров ртути в эксперименте наблюдается многократное рассеяние электронов.

**Классический опыт Франка-Герца в современной учебной лаборатории.** Розин Ю.П., Розина Е.Ю. “Изв. вузов. Физ.” 1985, 28, № 4, 100–102. [РЖ 1985 10 А81].

Описана недорогая и компактная установка для проведения опыта Франка и Герца по определению потенциалов возбуждения атомов Hg, разработанная на кафедре экспериментальной физики Одесского госуниверситета. Основными элементами установки являются: тиратрон TP1–6/3 с выносным контейнером для Hg, позволяющий при использовании двух независимых терморегуляторов поддерживать специально подобранный режим работы, и устройство для измерения микротоков. Ускоряющая разность потенциалов регулируется переменным сопротивлением.

**Опыт Франка–Герца с тиратроном, заполненным инертным газом.** Franck–Hertz-Kiserlet nemesgassal toltott tiratronnal. Molnar M., Papp K. “Fiz. tanitasa”, 1985, 24, № 2, 50–54. [РЖ 1986 2 А136].

Рекомендуется для проведения опыта Франка–Герца использовать тиратрон, заполненный инертным газом. Даны советы по проведению опыта с тиратроном, приведена схема экспериментальной установки. Показано, как по результатам эксперимента построить зависимость силы тока от напряжения и получить ее с помощью осциллоскопа.

**Изучение поглощения электронов в веществе. Определение максимальной энергии электронов  $\beta$ -спектра.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988. Лаб. работа 11. С. 155.

В лабораторной работе изучается поглощение электронов  $\beta$ -распада в веществе путем измерения зависимости интенсивности пучка электронов от толщины поглотителя. По характеристикам кривой поглощения электронов в алюминии определяется максимальная энергия электронов  $\beta$ -распада радиоактивного препарата.

**Опыт Франка и Герца в лабораторном практикуме.** Лукс Р. К.; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. Томск, 1989. 3 с. [РЖ 1989 6 А98].

Обобщен опыт эксплуатации установки “Опыт Франка и Герца” с использованием немодернизированной манометрической лампы ЛМ-2, заполненной инертным газом. Установлено, что при принудительном охлаждении корпуса лампы значительно возрастает срок ее эксплуатации, исчезает зависимость величины тока в цепи анода от времени непрерывной работы установки.

**Экспериментальная проверка соотношения неопределенностей для фотонов.** Физ. практ-м. Томск. 1993. Лаб. работа 3–22. С. 85–89.

**Демонстрация квантованности энергетических состояний с помощью эксперимента Франка–Герца: изучение энергетических состояний атома неона с помощью электронного удара.** Using the Franck-Hertz experiment to illustrate quantization: Energy states of the neon atom by electron impact. Kash M.M., Shields G. C. J. Chem. Educ. 1994. 71, № 6. 466–468. [РЖ 1995 1 А61].

**Эксперимент по изучению дуализма электронов “волна–частица”, включающий измерение постоянной Планка.** An experiment on electron wave–particle duality including a Planck constant measurement. Matteucci G., Beeli C. *Amer. J. Phys.*, 1998. 66, № 12. 1055–1059. [РЖ 1999 07 А149].

**Исследования атомной сверхтонкой структуры с помощью лазеров на диоде с регулировкой температура/ток: лабораторный эксперимент.** Atomic hyperfine structure studies using temperature/current tuning of diode lasers: An undergraduate experiment. Rao G.N., Reddy M.N., Hecht E. *Amer. J. Phys.* 1998. 66 № 8. 702–712. [РЖ 1999 17А150].

**Студенческий эксперимент по определению константы тонкой структуры.** Student experiment for determining the fine structure constant. Jin Wei-Guo, Wakui Takashi, Minowa Tatsuya, Katsuragawa Hidetsugu. *J. Phys. Soc. Jap.* 1998. 67, 3 8. 2962–2963. [РЖ 1999 05А122].

**Измерение отношения  $h/e^2$  в студенческой лаборатории продвинутого уровня.** Measurement of the ratio  $h/e^2$  in an advanced undergraduate laboratory. Schober A.M., Ruedlinger B., Dahm A.J. *Amer. J. Phys.*, 1999. 67, № 6. 524–527. [РЖ 1999 12А160].

**Определение сечения взаимодействия электронов с атомами.** Овчинников А.П., Теврюков А.А., Фрейберг Г.Н. *Физ. образ. в вузах.* **1999.** 5, № 3. 138–146, 192. [РЖ 2000 06–18А.171].

Приведено описание студенческой лабораторной работы по определению сечения  $\sigma$  взаимодействия электронов с атомами. Описан механизм рассеяния электронов на атомах. Описана установка, на которой проводятся измерения. Приведена электрическая схема, описан порядок выполнения работы. Измеряемая величина  $\sigma \approx 10^{-15} \text{ см}^2$ .

**Изучение эффекта Рамзауэра в студенческом лабораторном практикуме.** Ф.Ф. Игошин, Ю.М. Ципенюк. *ФОВ.* **2000.** Т. 6, № 4, с. 42.

В описываемой лабораторной работе по энергетической зависимости вероятности рассеяния электронов атомами ксенона определяются энергии электронов, при которых наблюдается “просветление” ксенона, и оценивается размер его внешней электронной оболочки.

**Учебно-лабораторные комплексы по атомной физике. 1. Опыт Франка и Герца.** В.А. Белавин, В.А. Квливидзе, И.К. Костин, В.В. Радченко, А.Т. Рахимов. *ФОВ.* **2002.** Т. 8, № 4, с. 78. [РЖ 03.12–18А.181].

Статья открывает цикл работ, посвященных новому подходу к созданию учебных лабораторных установок по атомной физике, представляющих собой минимально необходимый набор задач при изучении курса общей физики в университетах и технических вузах. Отдельно рассматривается проблема создания установок для средних и специальных школ. Основная идея нового подхода сводится к созданию установок-имитаторов, адекватно отражающих техническую сторону современных приборов и их возможности в проведении эксперимента, а также содержащих в себе реальные экспериментальные данные, полученные на современных исследовательских установках, но гораздо более простых в настройке и эксплуатации, безопасных и недорогих. Созданные на этой основе учебные установки, получившие название Учебных Лабораторных Комплексов (УЛК), состоят из прибора-модели, компьютера с соответствующим программным обеспечением и методического руководства-описания. В УЛК предусмотрена возможность снятия информации при отсутствии компьютера с индикатора, расположенного на панели управляющего модуля.

**Резонанс по форме электронного рассеяния от ртути в трубке Франка-Герца при 0,4 эВ.** The “0,4 eV” Shape resonance of electron scattering from mercury in a Franck-Hertz tube. Nicoletopoulos Peter. *Eur. J. Phys.* **2004.** 25, № 3. 373–383. [РЖ 05.12–18А.171].

**Опыт Франка-Герца.** А. Д. Гладун, Ф. Ф. Игошин, Ю. М. Ципенюк. *ФОВ.* **2005.** Т. 11, № 3, с. 46.

В описанной лабораторной работе методом электронного возбуждения измеряется энергия первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

**Простой эксперимент по созданию электрон-позитронных пар.** A simple electron-positron pair production experiment. Peralta Luis. *Amer. J. Phys.* **2006.** 74, № 5. 457–461. [РЖ 2008.01–18А.124].

**Определение полного сечения неупругого рассеяния электронов на атомах в опыте Франка и Герца.** М.Б. Шапочкин. *ФОВ.* **2007.** Т. 13, № 1, с. 71.

Целью описываемого учебного эксперимента является оценка полного сечения неупругого рассеяния электронов на атомах инертных газов, используя возможности метода задерживающего потенциала в опыте Франка и Герца.

**Определение полного сечения неупругого рассеяния электронов на атомах в опыте Франка и Герца.** Шапочкин М.Б. *Физ. образ. в вузах.* **2007.**13, № 1. 71–77, 127–128. [РЖ 2008 08.04–18А.135].

Целью учебного эксперимента является оценка величины полного сечения неупругого рассеяния электронов на атомах инертных газов с использованием возможностей метода задерживающего потенциала в опыте Франка и Герца. Эксперимент проводится с помощью трехэлектродной лампы, наполненной, например, инертным газом.

**Определение энергии массы покоя электрона: лабораторный эксперимент для студентов.** Determination of rest mass energy of the electron: An undergraduate laboratory experiment. Nosur S.B., Badiger N.M. *Eur. J. Phys.* **2007.** 28. № 6, 1233–1239. [РЖ 2008.12–18А.130].

**К опыту Франка и Герца на современных лабораторных установках.** Фискинд Е.Э., Ходырев А.А., Корнисик К.И. *Учеб. физ.* **2009.** № 2. 25–28. [РЖ 11.01–18А.112].

Приведены результаты воспроизведения опыта Франка и Герца на криптоне (установка НПП “Учебная техника”, г. Ровно, Украина) и ксеноне (установка НПИ “Уралучтех” ЮУрГУ). Сделан вывод о неадекватности получаемых ВАХ газового разряда выводам из классического опыта.

## Глава 4. α-ЧАСТИЦЫ

**Скорость и удельный заряд α-частиц.** Bader F. Geschwindigkeit und spezifische Ladung von Alpha-teilchen. "Math. und naturwiss. Unterr.", 1960, 12, № 9, 416–419. [РЖ 1961 5A89].

Описываются опыты по определению длины свободного пробега, знака заряда, скорости и удельного заряда α-частиц. Опыты проводятся при помощи Ро-источника α-частиц, помещенного в стеклянную трубочку, противоположный конец которой закрывают тонким слоем слюды и приставляют к α-счетчику. Для определения длины свободного пробега источник излучения перемещают внутри трубки и измеряют интенсивность излучения на разных расстояниях от источника излучения до счетчика до тех пор, пока она не делается равной 0. Для определения знака заряда посередине трубки устанавливают перегородку, закрывающую 2/3 сечения, и помещают трубку в магнитное поле. Регулировкой напряженности магнитного поля добиваются того, чтобы α-частицы вследствие искривления траектории огибали перегородку и попадали в счетчик. Знак заряда определяется по правилу левой руки. Для определения скорости α-частиц трубку помещают во взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля так, что скорость α-частиц перпендикулярна и электрическому и магнитному полю. Напряженность электрического и магнитного полей регулируют так, что силы, действующие на α-частицу, уравниваются, тогда скорость может быть определена по формуле  $v=E/B$ . При определении удельного заряда слюду заменяют листочком оловянной фольги с отверстием диаметром 1 мм. Трубку помещают в магнитное поле и изменяют напряженность магнитного поля до тех пор, пока α-частицы перестают попадать в окошко. По размерам трубки и величине отверстия может быть рассчитан радиус кривизны траектории α-частиц и отношение  $q/m=v/Br$ .

**Опыты по определению давления газа при помощи α-излучения.** Melcher Horst, Glaser Manfred. Versuche zur Druckmessung mit Alphastrahlen. "Prax. Naturwiss.", 1963, A 12, № 5, Physik, 117–121. [РЖ 1963 11 A139].

1. Измерение давления при помощи ионизационной камеры (альфатрона). В ионизационную камеру, соединенную с вакуумным насосом и высотомером, помещают источник α-излучения. По мере уменьшения давления в камере ионизационный ток также уменьшается вследствие того, что уменьшается число пар ионов, образующихся на 1 см пробега. Так как удельная ионизация для частиц одинаковых энергий зависит от рода газа, то наполняя камеру разными газами (напр., CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, светильным газом), можно показать, что результат измерения давления при помощи альфатрона зависит от рода газа. 2. Измерение давления по величине свободного пробега α-частиц. В длинную стеклянную трубку, соединенную с вакуумным насосом, помещают источник α-частиц, прикрепленный к короткой железной трубке. Эту трубку можно перемещать при помощи магнита, находящегося снаружи. Внутри трубки помещают торцовый счетчик, соединенный с усилителем. Измерения можно вести двояким образом: а) счетчик и препарат устанавливают на определенном расстоянии друг от друга и откачивают до тех пор, пока не наступит резкое увеличение числа импульсов; б) откачи-

вают трубку до определенного давления и при помощи магнита перемещают препарат до тех пор, пока пока число импульсов резко возрастет. Если при малых давлениях длина свободного пробега станет больше длины трубки, можно воспользоваться поглощающими экранами. Приведены принципиальные схемы и графические результаты измерений.

**Определение пробега  $\alpha$ -частиц с использованием фотоматериалов.** Melcher Horst, glaser Manfred. Reichweitebestimmung bei Alphastrahlen mit photographischen Hilfsmitteln. "Prax. Naturwiss.", 1963, A12, № 11, Physik, 281–288. [РЖ 1964 7 А68].

Описано несколько вариантов определения длины пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе с помощью фотографического приемника — тонкого слоя какой-либо ядерной фотоэмульсии. Определение основано на измерении максимального расстояния слоя от источника (точечного или мономолекулярной толщины), при котором пучок частиц еще регистрируется в виде почернения. Предлагаемый способ опробован и дал хорошие результаты как для моноэнергетического источника ( $\text{Po}^{210}$ ), так и для источника со сложным излучением ( $\text{Ra}^{226}$  с продуктами его распада). Подобным способом оказалось возможным определить также зависимость пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе от давления и пробег их в алюминии и бумаге, вводимых в пучок в качестве экрана. В заключение рассмотрены возможные применения указанного способа для лекционных демонстраций по радиоактивности.

**Определение пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе.** Работа 72. С. 429. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., 1964. Лаб. работа 74, с. 436. 1973. Лаб. занятия по физике. 1983. Лаб. Работа 6.1, с. 537.

Измеряется пробег  $\alpha$ -частиц, испускаемых  ${}_{84}\text{Po}^{210}$  тремя способами: 1) с помощью ионизационной камеры (при этом измеряется и скорость распада источника); 2) с помощью счетчика Гейгера-Мюллера; 3) с помощью сцинтилляционного счетчика. Из сравнения результатов определяется толщина пластинки, закрывающей торцовый счетчик. Определяется энергия  $\alpha$ -частиц полония, рассчитывается количество пар ионов, создаваемых в ионизационной камере одной  $\alpha$ -частицей. По измеренной величине тока в ионизационной камере и рассчитанному числу пар ионов, создаваемых одной  $\alpha$ -частицей, находится количество  $\alpha$ -частиц, испускаемых препаратом полония в 1 сек. С учетом знания периода полураспада  $\text{Po}^{210}$  (140 дней) и числа испускаемых источником  $\alpha$ -частиц рассчитывается число имеющихся в источнике атомов полония. Студентам предлагается также вычислить площадь, какую займут эти атомы, если их расположить в виде моноатомного слоя.

**Отклонение в магнитном поле и определение удельного заряда  $\alpha$ -частиц.** Moller Herbert. Magnetische Ablenkung und Bestimmung der spezifischen Ladung von Alphateilchen. "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 11, "Physik", 289–293. [РЖ 1966 6 А119].

Описываются два самодельных прибора для демонстрации положительного заряда  $\alpha$ -частиц и определения удельного заряда по отклонению их в магнитном поле. Приведены чертежи, расчетные формулы и результаты измерений.



**Поглощение  $\alpha$ -частиц.** Hoffmann Herbert. Streuung der  $\alpha$ -Strahlen. "Prax. Naturwiss.", 1967, A 16, № 12, Physik, 316–317. [РЖ 1968 6 A110].

На оптической скамье располагают источник  $\alpha$ -излучения (препарат Po), поглощающий экран, диафрагму и гейгер-мюллеровский счетчик со специальным окошком для регистрации  $\alpha$ -частиц. Расстояние между препаратом и счетчиком выбирают достаточно большим. Для этого помещают экран непосредственно перед окошком и отодвигают препарат вдоль скамьи до тех пор, пока счетчик регистрирует импульсы. Измерения проводятся при неизменном расстоянии между препаратом и счетчиком при двух положениях экрана: перед препаратом и перед окошком. Несмотря на то, что  $\alpha$ -лучи проходят один и тот же путь, наблюдается отчетливая разница между интенсивностью зарегистрированного излучения в этих случаях. Опыт свидетельствует о том, что медленные  $\alpha$ -частицы во втором случае поглощаются значительно сильнее, чем быстрые в первом.

**Простой стенд для определения пробега  $\alpha$ -частиц.** Borke Mitchell L. A simple stand for the determination of alpha particle range. "J. Chem. Educ.", 1967, 44, № 7, 390. [РЖ 1968 6 A111].

Описан простой прибор для определения пробега и энергии  $\alpha$ -частицы, который можно изготовить из подручных средств в любой лаборатории. Пробег и энергия  $\alpha$ -частицы определяется по зависимости активности  $\alpha$ -образца от полной толщины поглотителя. Примененный держатель образца позволяет точно измерять расстояние между источником и окном торцового счетчика, что очень важно для правильного определения интересующих величин.

**Студенческий эксперимент по изучению физических свойств корпускулярного излучения.** Kanter M., Carmon B. Physical properties of particulate radiation: a student experiment. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 6, 545–549. [РЖ 1968 11 A96].

Описан лабораторный эксперимент, в котором изучаются пробеги и поглощение  $\alpha$ -частиц и слабых  $\beta$ -излучений, относительная тормозная способность различных поглотителей (воздух, гелий, алюминий и др.). Экспериментальный прибор представляет собой стеклянную пирексовую трубку, внутри которой расположены гейгер-мюллеровский счетчик с 1,8 окошком  $mg/cm^2$  и железный держатель источника и твердых поглотителей, который с помощью внешнего магнита может перемещаться внутри трубки. Гейгер-мюллеровский счетчик соединен с простой пересчетной схемой. Стеклянная трубка снабжена двухпозиционным краном, позволяющим при желании вакуумировать ее или наполнять каким-либо газом, и соединена с ртутным манометром для измерения давления в ней. В качестве  $\alpha$ -источников используются тонкие Pu<sup>239</sup>- и два Po<sup>210</sup>-источники с медной подложкой. Слабый  $\beta$ -источник приготовлен выпариванием свободного от носителя раствора K<sub>2</sub>C<sup>14</sup>O<sub>3</sub> на медную подложку. Из тонкой Al-фольги готовится несколько идентичных поглотителей толщиной 0,5  $mg/cm^2$ . Источник помещается на таком расстоянии от счетчика, что при атмосферном давлении его излучение не регистрируется. Давление в камере и ее наполнение газами изменяются. Снимается зависимость изменения скорости счета от давления, толщины газообразного и твердого алюминиевого поглотителя, вводимого между источником и счетчиком.

**Определение удельного заряда  $\alpha$ -частиц.** Dorn F. Bestimmung der spezifischen Ladung von Alphastrahlen. "Math. und naturwiss. Unterr.", 1968, 21, № 7, 242–245. [РЖ 1968 12 А97].

Описывается установка для лабораторной работы по определению скорости и удельного заряда  $\alpha$ -частиц. Определение скорости частиц основано на том, что при движении заряженной частицы во взаимно-перпендикулярных электрическом и магнитном полях, если силы, действующие на нее, равны по величине и противоположны по направлению, частица движется равномерно и прямолинейно. В этом случае  $v=E/B$ . Удельный заряд определяется известным способом по величине отклонения частицы в магнитном поле. В статье приведены рисунки измерительных камер, методика измерений и методика обработки результатов. Полученные значения скорости  $\alpha$ -частиц и их удельного заряда хорошо согласуются с табличными данными.

**Измерение длины пролета  $\alpha$ -частиц с помощью полупроводникового детектора.** Ficken George W., Jr. Alpha particle path length measurement using a solid-state detector. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 2, 217–218. [РЖ 1969 9 А113].

В качестве работы для студентов предлагается измерение длины пролета  $\alpha$ -частиц с помощью полупроводниковых детекторов.  $\alpha$ -Источник  $\text{Po}^{210}$  помещается в вакуумную камеру и с помощью полупроводникового детектора измеряется энергия  $\alpha$ -частиц. Затем камера заполняется воздухом и измерение повторяется. По разности энергий в двух измерениях определяется длина пролета  $\alpha$ -частиц в воздухе. С простой аппаратурой может быть получена точность лучше 5%.

**Отклонение  $\alpha$ -лучей в магнитном поле.** Breitsameter Josef. Ablenkung der  $\alpha$ -Strahlen im Magnetfeld. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, № 10, 260–263. [РЖ 1970 3 А83].

Описывается установка, состоящая из электромагнита, счетной трубки и Ро-препарата, при помощи которой можно показать отклонение  $\alpha$ -лучей в магнитном поле при нормальном атмосферном давлении. Приведены методические указания и результаты измерений.

**Изучение закона поглощения при помощи полупроводникового индикатора с запирающим слоем.** Einige Messungen mit Halbleitersperrschicht-Detektoren zu Intensitäts-Abstands-Gezetzen. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, № 7, 177–181. [РЖ 1970 1 А79].

Описывается метод измерения интенсивности  $\alpha$ -излучения в зависимости от расстояния между источником и приемником внутри интервала, равного длине свободного пробега. Измерения проводятся при помощи индикатора типа А-10-2, соединенного с усилителем и счетной установкой. Приведены указания к измерениям для точечного, линейного и плоского излучателей, а также для любого соотношения между геометрией индикатора и излучателя. Побочным результатом исследований является определение длины свободного пробега  $\alpha$ -излучателя ( $\text{Am}^{241}$ ). Основная цель статьи — обратить внимание на роль полупроводниковых индикаторов в проведении опытов по ядерной физике в школах.

**Простой эксперимент для изучения разброса энергий  $\alpha$ -частиц после прохождения в воздухе.** Cochran J., Payne M. G. An elementary experiment on the energy straggling of  $\alpha$  particles in air. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 6, 762–765. [РЖ 1970 11 A73].

Описана установка, предназначенная для изучения (в частности, в учебных целях) формы линий в спектрах  $\alpha$ -частиц, прошедших через воздух и другие газы при различных давлениях  $p$ .  $\alpha$ -Частицы от источника  $\text{Po}^{210}$  проходят 4-см путь в вакууме или в газе и попадают на кремниевый поверхностно-барьерный детектор. Спектры анализируются на 100-канальном анализаторе. Ширина  $F$  на полувысоте линии  $E_\alpha = 4,71 \text{ МэВ}$  в вакууме составила  $0,232 \text{ МэВ}$ . Исследовалось смещение и уширение линий с ростом  $p$  в воздухе. Экспериментальное уширение линий сравнивалось с расчетным, учитывающим тот факт, что с уменьшением энергии  $\alpha$ -частицы потери энергии происходят более быстро. Статистические флуктуации энергий  $\alpha$ -частиц не учитывались. Расчетное уширение линий практически совпало с экспериментальным.

**Использование подвешенного проектора при моделировании эксперимента Резерфорда по рассеянию.** Eichenberger Rudolph J. Using the overheard projector in simulation of the Rutherford scattering experiment, "Phys. Teacher", 1972, 10, № 3, 147–148. [РЖ 1972 8 A72].

Описан моделированный эксперимент Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц на ядрах. Кювета, изготовленная из стеклянной пластины Ругех размерами  $19 \times 30 \text{ см}$ , устанавливается на подвешенном проекторе. Пресс-форма из пластической глины, представляющая собой "вулканообразный" потенциальный барьер, устанавливается в центре стеклянной кюветы. Картон размерами  $4,5 \times 20 \text{ см}$ , установленный прямо над потенциальным барьером, выполняет роль золотой фольги, используемой в эксперименте Резерфорда, а потенциальный барьер — роль ядер в этой фольге. Мраморные шарики или шарики от подшипника заменяют  $\alpha$ -частицы. В качестве детектора используется тонкий слой (2 мм) глины. Этот эксперимент можно использовать и для определения радиуса ядра при известном радиусе  $\alpha$ -частицы.

**Остаточная энергия и тормозная способность воздуха,  $\text{CO}_2$  и He для  $\alpha$ -частиц  $^{210}\text{Po}$ .** Huebner J. S., Skolil L. L. The residual energy and stopping power of  $^{210}\text{Po}$  alpha particles in air,  $\text{CO}_2$  and He. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 8, 1177–1178. [РЖ 1973 1 A73].

Описана методика проведения эксперимента по изучению взаимодействия  $\alpha$ -частиц с веществом, который может быть включен в физический практикум. В эксперименте используется  $\alpha$ -источник ( $^{210}\text{Po}$ ), вакуумная камера, кремниевый поверхностно-барьерный детектор и 512-канальный амплитудный анализатор импульсов, линейность которого в ходе измерений контролируется калиброванным генератором импульсов. В эксперименте измеряется остаточная энергия  $\alpha$ -частиц после прохождения ими слоя исследуемого газа, при этом варьируется давление газа и расстояние источник-детектор. Используя термодинамические законы идеального газа, данные измерений пересчитываются к нормальным условиям ( $15^\circ \text{C}$ , 760 мм рт. ст.) и представляются в виде графиков зависимостей от энергии остаточной энергии и тормозной способности для каждого исследованного газа.

**К исследованию  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучей с помощью отклонения в электрическом и магнитном полях.** Kemper Heinrich. Zu den Messungen an  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen mit Hilfe elektrischer und magnetischer Ablenkung. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 7, 189–191. [РЖ 1973 12 A113].

Прибор состоит из вакуумированной трубки с плоским конденсатором, флуоресцирующего экрана, двух катушек, создающих магнитное поле. С помощью прибора определяется знак заряда и радиус круговой орбиты электрона, движущегося в магнитном поле с определенной скоростью перпендикулярно направлению магнитного поля, и отношение заряда к массе. По полученным данным вычисляется масса электрона. Для определения масс  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц установка пригодна, если известна их скорость.

**Исследование спектров  $\alpha$ -частиц при помощи дискриминатора.** Бокова Г.И., Глеубергенова Г.А. В сб. "Физика". Вып. 1. Алма-Ата, 1974, 86–90. [РЖ 1976 5 A144].

Описывается лабораторная работа для спецпрактикума по ядерной физике для студентов старших курсов педагогических институтов. Цель работы заключается в определении энергии  $\alpha$ -излучателя. Студентам предлагается собрать схему сцинтилляционного спектрометра согласно приведенной блок-схеме, подобрать нужный коэффициент усиления, снять интегральный спектр известного и неизвестного излучателя, построить дифференциальный спектр и определить энергию неизвестного излучателя, определить разрешающую способность прибора и оценить погрешность измерения.

**Использование пластмассы в качестве детектора  $\alpha$ -частиц.** Brockmeyer Heinrich. Kunststoffe als  $\alpha$ -Strahlendetektoren. "Prax. Naturwiss.", 1976, 25, № 2, 42–43. [РЖ 1976 8 A111].

В фотоэмульсиях, подвергнутых воздействию  $\alpha$ -излучения и выдержанных в течение получаса в 50%-ном растворе едкого калия, обнаруживаются темные пятна. Это явление используется в опытах по регистрации  $\alpha$ -частиц и для проверки формулы Резерфорда.

**Определение энергии и среднего пробега  $\alpha$ -частиц.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988. Лаб. работа 4. С. 78.

В ходе выполнения работы исследуется зависимость толщины обедненного слоя кремниевого детектора от величины приложенного напряжения, измеряется энергетический спектр  $\alpha$ -частиц от источника, измеряется кривая прохождения  $\alpha$ -частиц через воздух при нормальных условиях.

**Спектроскопия  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения с помощью полупроводникового детектора и амплитудного анализатора.** Alpha- und Betastrahlungsspektroskopie mit Hilfe eines Kernstrahlungsmessgeräts mit Halbleiterdetektor und eines Impulshöhenanalysators. Brockmeyer Heinrich. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1980, 29, № 11, 341–343. [РЖ 1981 4 A144].

Описана лабораторная работа по  $\alpha$ - и  $\beta$ -спектроскопии, предназначенная для старшеклассников и студентов младших курсов. Обсуждается принцип работы и устройство простейшего спектрометра на основе полупроводникового

поверхностно-барьерного Si-детектора и 256-канального амплитудного анализатора. Предложен ряд опытов по изучению свойств  $\alpha$ -излучения (характеристики спектра  $\alpha$ -частиц, испускаемых  $^{226}\text{Ra}$ , ослабление излучения в воздухе и твердых средах) и  $\beta$ -излучения (спектр  $\alpha$ -частиц  $^{226}\text{Ra}$ , ослабление  $\beta$ -излучения в твердых средах, обратное рассеяние). Отмечается необходимость внесения релятивистских поправок при расчете энергетических характеристик  $\beta$ -излучения.

**Обнаружение  $\alpha$ -частиц с помощью пластмассовой пленки — экспериментальный подход к ядерной физике.** Alpha particle detection by plastic film — an experimental approach to nuclear physics. Jonsson G. “Phys. Educ.”, **1981**, 16, № 2, 102–103. [РЖ 1981 12 A216].

Пластмассовая пленка типа Kodak LR 115:II может быть использована в экспериментах по обнаружению  $\alpha$ -излучения радона, присутствующего в воздухе закрытых помещений, а также  $\alpha$ -излучения от различных искусственных или естественных минералов с повышенным содержанием урана. Пленка Kodak LR 115:II имеет чувствительный красный слой толщиной 12 мк, покрытый более толстым защитным слоем полиэстера. При попадании  $\alpha$ -частицы чувствительный слой разрушается, и следы  $\alpha$ -частиц могут быть сделаны видимыми посредством химического травления, при наблюдении в микроскоп с увеличением менее 100 $\times$ . Описаны два качественных эксперимента по наблюдению  $\alpha$ -частиц. В первом опыте кусок пленки размерами 2 $\times$ 2 см подвешивается в течение 1 месяца под потолком плохо вентилируемого помещения. Затем пленка подвергается травлению в 10% растворе каустической соды в дистиллированной воде при температуре 60 $^\circ\text{C}$  в течение 1,5 ч с последующей получасовой промывкой пленки в воде. Во втором опыте демонстрируется присутствие урана в минералах. Пленка прикрепляется чувствительным слоем к минералу, непосредственно или через алюминиевый экран толщиной 10 мк. Время экспозиции — от 1 недели до 1 месяца. Травление пленки производится аналогично описанному.

**Вычисление и измерение дифференциальных пробегов  $\alpha$ -частиц малой энергии в веществе.** Computation and measurement of differential ranges of flow-energy alpha particles in matter. Elliott M.J.W., Smith C.M.H. “Eur. J. Phys.”, **1981**, 2, № 2, 75–81. [РЖ 1982 5 A139].

Обсуждается формула Бете для тормозной способности и дифференциальных пробегов  $\alpha$ -частиц в воздухе, аргоне, алюминии и меди. В эксперименте использовался калиброванный источник  $\alpha$ -частиц типа AMR33 (0,1 мккюри), содержащий  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$  и испускающий  $\alpha$ -частицы с энергией 5,13; 5,48; 5,8 МэВ. Данное исследование выполняется студентами последнего курса Политехнического института (Оксфорд) в рамках учебно-исследовательской работы и является методически очень удачным и полезным сочетанием теоретической и экспериментальной работы и расчетов с использованием ЭВМ.

**Изучение темы “Строение атома”. Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.** Az atoszerkezel tanitasa: Rutherford-szorasi Kiserlet. Varadi Magdolna. “Fiz. szemle”, **1981**, 31, 3 4, 156–160. [РЖ 1982 1 A145].

Описывается модификация опыта Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Узкий пучок  $\alpha$ -частиц направляется в вакуумной камере на мишень из тонкой золотой фольги. Рассеянные  $\alpha$ -частицы регистрируются на окружающем мишень

экране, покрытом слоем нитрата целлюлозы. На основе экспериментальных данных и представлений о ядерной модели атомов Au выводится закон рассеяния.

**Определение энергии  $\alpha$ -частиц полупроводниковым детектором.** Лаб. работа 4. Практикум по ядерной физике. Бояркина А.Н. 2-е изд. Перераб. и доп.- Изд-во МГУ, 1981.

**Измерения в учебной лаборатории стимулированной  $\alpha$ -частицами внутренней ионизации.** Alpha-particle-induced, Inner-shell ionization measurements for the undergraduate laboratory. Desmarais D., Duggan J.L. "Amer. J. Phys.", 1984, 52, № 6, 507–513. [РЖ 1985 1 A196].

Описана методика экспериментов по изучению в высшей школе рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с тонким слоем алюминия. Измерительное устройство, состоящее из источника, мишени и детектора, заключено в латунную камеру, откачиваемую форвакуумным насосом. Детектор Si(Li) с энергетическим разрешением 190 эВ подключен к анализатору амплитуд импульсов с 1024 каналами. В качестве источника использован изотоп  $^{244}\text{Cm}$ , который в процессе радиоактивного превращения в  $^{240}\text{Pu}$  излучает  $\alpha$ -частицы с энергиями 5,805 МэВ (76,7%) и 5,762 МэВ (23,3%). Источник снабжен бериллиевым окном, после прохождения которого излучение имеет спектр с одним пиком при энергии 4,92 МэВ. Для получения  $\alpha$ -частиц с различными энергиями в диапазоне 1,32–4,92 МэВ применяются многослойные майларовые поглотители с толщинами  $2,3 \cdot 10^{-4}$ – $1,6 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>2</sup>. Толщина алюминиевой мишени оценивалась по потерям энергии  $\alpha$ -частиц; потери порядка 0,16 МэВ соответствовали толщине слоя алюминия  $2,654 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>2</sup>.

**Исследование рассеяния  $\alpha$ -частиц на тяжелых ядрах в лабораторном практикуме.** Балычев И.Н. Ред. ж. "Изв. вузов. Физ.", Томск, 1988, 11 с. [РЖ 1988 10 A94].

Описана установка, позволяющая воспроизвести опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц тяжелыми ядрами, определить эффективное сечение рассеяния и заряд ядра-мишени. Даны методические указания по методике измерений и расчету.

**Изучение схем альфа-распада тяжелых ядер.** The study of alpha-particle decay schemes of heavy nuclei. Desmarais D., Duggan J.L. Amer. J. Phys. 1990. 58. № 11. С. 1079–1085. [РЖ 1991 8 A115].

Предложен ядерно-физический эксперимент, который может демонстрироваться в учебной лаборатории для студентов старших курсов. Приведен полуклассический расчет полупериода альфа-распада на основе теоретических представлений о проницаемости альфа-барьера, кинематики и величины  $Q$  для альфа-распада. Приведен также более точный результат, полученный квантово-механическим расчетом. Схема распада демонстрируется с помощью трех коммерческих источников. С использованием точных величин энергий распада определены отношения ветвлений, приводящих к различным возбужденным состояниям в остаточных ядрах. Определена абсолютная активность источника  $^{241}\text{Am}$  по измерениям активности и по гамма-активности, измеренной с помощью детектора низко энергетичных фотонов.

**Простое устройство для определения концентрации радона в воздухе.** A simple system for radon-in-air concentration determinations. Howard A.J., Carroll S.E., Strange W.P. Amer. J. Phys. **1991**. 59, № 6. С. 544–550. [РЖ 1992 7A83].

Описано достаточно простое устройство на основе твердотельного детектора заряженных частиц, предназначенное для регистрации продуктов радиоактивного распада  $^{222}\text{Rn}$ . Настройка на детектирование  $\alpha$ -частиц с энергией 6003 кэВ, появляющихся в результате распада дочерних ядер  $^{218}\text{Po}$  (период полураспада 3,05 мин.), позволяет определять концентрацию радона в чистом сухом воздухе за время ~мин. с точностью ~89%. Приводится детальное описание схемы установки, порядок проведения калибровочных измерений и результаты определения абсолютной эффективности детектирования радона в воздухе в зависимости от приложенного напряжения и относительной влажности воздуха.

**Новый эксперимент по исследованию рассеяния альфа-частиц в воздухе.** A novel experiment to investigate the attenuation of alpha particles in air. Andrews D.G.H. Eur. J. Phys. **2008**. 29. № 5. 1077–1083. [РЖ 2009.11–18A.107].

## Глава 5. ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА

**Прибор для измерения Резерфордовского рассеяния  $\alpha$ -частиц тонкими металлическими фольгами.** Marcley Robert G. Apparatus for measuring the Rutherford scattering of alpha particles by thin metal foils. "Amer. J. Phys.", 1961, 29, № 6, 349–354. [РЖ 1961 12А193].

Описан прибор для измерения кулоновского рассеяния  $\alpha$ -частиц тонкими металлическими фольгами, предназначенный для использования в учебных целях в физпрактикумах институтов.

**Оптимальное планирование учебного эксперимента по рассеянию Резерфорда.** Burge E.J., Edwards V.R.W., Lewis V.E., Ganguly N.K. Optimum design of student experiments on Rutherford scattering. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 4, 351–361. [РЖ 1968 11 А95].

Рассмотрено оптимальное планирование учебного эксперимента по Резерфордовскому рассеянию  $\alpha$ -частиц на тяжелых ядрах. Описана схема эксперимента, полезная для демонстрации ряда приемов современной техники ядерных измерений и удовлетворяющая требованию минимального времени набора статистики. Источник  $\alpha$ -частиц (100 мккюри) и полупроводниковый детектор размещены на оси кольцевой тонкой ( $5 \text{ мг/см}^2$ ) мишени на равных расстояниях от плоскости мишени. Измерение сечения рассеяния при 15 значениях угла рассеяния  $\theta$  в интервале  $15^\circ$ – $90^\circ$  с точностью  $\pm 5\%$  занимает 6 часов. После введения поправок на конечные размеры источника и детектора, рассеяние и потери энергии  $\alpha$ -частиц в веществе мишени абсолютное сечение рассеяния хорошо согласуется с теорией. Геометрия опыта такова, что уменьшение сечения с ростом угла рассеяния почти полностью компенсируется увеличением площади кольцевого рассеивателя, и скорость счета остается примерно постоянной в широком интервале углов. В учебный опыт без дополнительного усложнения аппаратуры могут быть включены задания на исследование зависимости сечения от заряда ядра-мишени и энергии  $\alpha$ -частиц, влияния толщины фольги, потерь энергии  $\alpha$ -частицами в газе как функции давления и пробега и также изучение свойств полупроводниковых детекторов излучения.

**Модель опыта Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.** Lee P.M., Montagu-Pollock H.M., Perkins A.A. Rutherford alpha particle scattering analogue. "Phys. Educ.", 1968, 3, № 4, 211–212. [РЖ 1969 6 А73].

Описана механическая модель опыта Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Ядро атома представлено алюминиевым зубцом диаметром 25 см, поперечное сечение которого ограничивается кривой, совпадающей с кривой потенциальной энергии для электростатического отталкивания.  $\alpha$ -Частицы представлены стальными шариками диаметром 6 мм. Кулоновские силы заменены гравитационными. Деревянный брусок из бука, в котором помещен алюминиевый зубец, срезан на 2,5 мм от конца крепящей пластины. К нижней части крепящей пластины прикреплен желоб, сделанный из латунной трубки с внутренним диаметром 14 мм. Высота одного из концов желоба может меняться от 0 до 6 см. Эта высота определяет начальное положение шариков. Стальные шарики отклоняются алюминиевым зубцом на определенный угол согласно теории рассеяния Резерфорда.



**Опыт Резерфорда.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969, 1972, 1981, 1987. Задача № 9, с. 209–222.

Основными элементами установки являются камера, в которой размещены источник  $\alpha$ -частиц, мишень и детектор, пересчетное устройство и вакуумная система. Камера представляет собой полый металлический цилиндр с прозрачной плексигласовой крышкой. Внутри камеры параллельно ее дну укреплен диск-лимб, который при помощи ручки может поворачиваться вокруг оси камеры. На диске укреплены источник  $\alpha$ -частиц и блок сменных мишеней. В стенке камеры установлен специальный выдвижной шток, на котором закреплен полупроводниковый детектор, его выход подсоединен к зарядочувствительному усилителю. Далее сигнал подается на пересчетный прибор ПСО-2. Диск-лимб может вращаться, что приводит к изменению положения мишени и источника  $\alpha$ -частиц относительно детектора, т. е. к изменению угла рассеяния  $\theta$ . В качестве мишени используются *Au* и *Al*. Камера откачивается форвакуумным насосом до давления порядка 0,1–1 мм рт. ст. При таком давлении  $\alpha$ -частицы пролетают расстояние от источника до детектора без заметных потерь энергии. В ходе работы снимается зависимость числа частиц, попавших в единицу времени в детектор при заданном угле  $\theta$ . Эта зависимость представляется графически.

**Опыт Резерфорда.** Работа № 78. С. 355–356. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Модель к изложению опытов Э. Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.** Михалевский В.С. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1972, № 4, 147–148. [РЖ 1972 11 A121].

Описана демонстрационная модель, представляющая доску Гальтона со сменными рассеивающими “центрами”. При отношении диаметров последних 1:10 различие в распределении рассеиваемых “частиц” проявляется достаточно отчетливо, чтобы прийти к заключению о возможности наглядным образом судить по характеру рассеяния частиц о размерах рассеивающих “центров”, а следовательно, о размерах ядер атомов и о планетарной модели атома.

**Новая конструкция установки по изучению резерфордовского рассеяния.** Eaton T.W., Cheetham D. A novel design of Rutherford scattering apparatus. “Phys. Educ.”, 1973, 8, № 2, 97–101. [РЖ 1973 7 A122].

Подробно описана конструкция простой и недорогой экспериментальной установки по исследованию законов резерфордовского рассеяния. Установка смонтирована на пластмассовом диске диаметром 25 см, поддерживаемом тремя алюминиевыми стержнями, и размещена внутри стеклянного колпака, соединенного с ротационным насосом.  $\alpha$ -частицы, испускаемые полоской 50 мккюри  $^{241}\text{Am}$ , проходят через аттенюатор, представляющий диафрагму и золотую фольгу изменяющейся толщины. После аттенюатора установлены два стальных блока, коллимирующих пучок  $\alpha$ -частиц. Мишенью служит металлическая фольга различной толщины, устанавливаемая в отверстиях, расположенных на наружной части большого медного диска. В качестве счетчика частиц использован по-

лупроводниковый счетчик, укрепленный на поворотной штанге, вращающейся относительно центра мишени. Описаны несколько экспериментов, выполненных на этой установке, и приведены результаты экспериментов, которые хорошо согласуются с результатами, предсказываемыми теорией Резерфорда. Отмечается, что описанная установка позволяет поставить и выполнить несколько новых учебных экспериментов по измерению числа  $\alpha$ -частиц.

**Наглядная демонстрация закона Резерфорда.** Ramage J.C., McKeown J., Ledingham K.W.D. A convincing demonstration of the Rutherford  $\text{csc}^4(\theta/2)$  law. "Amer. J. Phys.", **1975**, 43, № 1, 51–59. [РЖ 1975 7 A101].

Описана установка для изучения резерфордовского рассеяния  $\alpha$ -частиц на металлических фольгах. Отличительная особенность установки — возможность корректной проверки зависимости числа рассеянных  $\alpha$ -частиц от угла рассеяния  $\theta$ . Источник  $\alpha$ -частиц с коллиматором расположен в вакуумной камере радиусом 17 см, высотой 37 см. В камере расположен также держатель образцов и детектор  $\alpha$ -частиц. Используется моноэнергетический источник  $\alpha$ -частиц  $^{244}\text{Cm}$  активностью 1 мкюри, периодом полураспада 18 лет и энергией частиц 5,8 МэВ. В держателе образцов расположены однородные по толщине пленки Au (0,5 мк), Ag (1 мк), Cu (1 мк), Al (4 мк). В опыте используется Si-детектор с активной поверхностью 100 мм<sup>2</sup> и разрешением по энергии 50 кэВ. Описывается используемая аппаратура, которая позволяет определить энергию рассеянных  $\alpha$ -частиц, что дает возможность рассчитать энергию ядер отдачи. Подробно обсуждаются результаты проведенных экспериментов.

**Об использовании явления обратного рассеяния, открытого Резерфордом.** Mitchell I. V. Rutherford backscattering. "Phys. Bull.", **1979**, 30, № 1, 23–25. [РЖ 1979 8 A150].

Рассматриваются возможности практического использования эффекта обратного рассеяния ионного пучка на мишени, открытого Резерфордом. Методы определения атомных масс различных элементов, их содержания и распределения по толщине мишени основаны на указанном эффекте. Чувствительность такого метода составляет  $10^{-1}$ – $10^{-4}$  мономолекулярного слоя. Преимущества метода обратного рассеяния: сохранение образца, нечувствительность к химическим и физическим свойствам мишени, невысокие требования к вакууму. Недостатки: необходимость получения пучка ионов He с энергией 1–2 МэВ, низкая чувствительность при определении содержания легких элементов и некоторая неопределенность при интерпретации измерений.

**Эксперимент по приближенному определению размера атомных ядер.** Atommagok meretenek kozelito merese  $\alpha$  sugarak segitsegevel. Varadi Magdolna. "Fiz. Tanitasa", **1981**, 20, № 1, 1–5. [РЖ 1981 12 A214].

Дано описание эксперимента по рассеянию  $\alpha$ -частиц при их прохождении через вещество (модификация известного опыта Резерфорда).

**Простой эксперимент по резерфордовскому рассеянию.** Ein einfaches Experiment zur Rutherford-Streuung. Hopenau Stefan, Eggers Jens. "Prax. Naturwiss. Phys.", **1984**, 33, № 3, 65–72. [РЖ 1984 8 A117].

Предложены простые эксперименты, демонстрирующие рассеяние  $\alpha$ -частиц на ядрах атомов. Вместо дорогого полупроводникового детектора, позволяющего измерять интенсивность рассеяния лишь под одним углом, используется диэлектрическая пленка, на которой после травления видны следы ионизирующего излучения. Излучателем  $\alpha$ -частиц служит коммерческий источник  $^{241}\text{Am}$  со средней энергией испускаемых частиц 4,3 МэВ, мишенью – Au-фольга толщиной 3 мкм. Описанная методика позволяет найти сечения взаимодействия  $\alpha$ -частиц с ядрами мишени, плотность атомов в мишени, число  $\alpha$ -частиц, падающих на мишень в единицу времени, зарегистрировать рассеяние под углами  $\geq 120^\circ$ , установить зависимость числа частиц, рассеянных под определенным углом, от порядкового номера элемента, из которого изготовлена мишень.

**Резерфордовское рассеяние как введение в атомную физику.** Die Rutherfordstreuung als Einstieg in die Atomphysik. Dirks V.H. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1987, 36, № 4, 38–41. [РЖ 1987 11 A162].

Обсуждается значение эксперимента Мадсен–Резерфорда (ЭМР) (наблюдение отклонения  $\alpha$ -частиц на углы, превышающие  $90^\circ$  — т. наз. резерфордовское рассеяние) для формирования современных представлений о строении атома. До последнего времени выполнение ЭМР в школьном практикуме было затруднено отсутствием подходящего детектора. Описаны установка и методика качественной демонстрации ЭМР и ряда количественных опытов. В состав установки входят цилиндрическая вакуумная камера с прозрачным дном и крышкой, в стенку которой встроен миниатюрный разъем для детектора – полупроводникового диода с запирающим слоем. На дне вакуумной камеры одновременно перемещаются источник Am-241 и мишень (Al-фольга), мишень поворачивается в пучке  $\alpha$ -частиц. Имеется предусилитель, счетчик импульсов, интерфейс для подключения ЭВМ. Установка позволяет демонстрировать резерфордовское рассеяние, определять угловую зависимость скорости счета  $\alpha$ -частиц. Приведены методика и расчетные формулы для определения радиуса ядра и ядерного заряда.

**Компьютерная модель лабораторной работы “Опыты Резерфорда”.** В.А. Куликов, А.С. Парахин. ФОВ. 2003. Т. 9, № 4, с. 106.

## Глава 6. β-ЛУЧИ

**Отклонение β-лучей в магнитном поле.** Reeb Knud. Quahitative Ablenkung von β-Strahlen im Magnetfeld. “Prax. Naturwiss.”, 1961, A10, № 2, Physik, 31–33. [РЖ 1961 11A109].

Описывается простая установка для определения скорости электронов по величине отклонения β-лучей в магнитном поле.

**Измерение β-спектра  $J^{128}$  в студенческой лаборатории.** Prentice J., D., McNeill K.G. Measurement of the beta spectrum of  $J^{128}$  in an undergraduate laboratory. “Amer. J. Phys.”, 1962, 30, № 1, 66–67. [РЖ 1962 10 A137].

Описана работа для студентов 3-го курса по измерению β-спектра  $J^{128}$  с помощью одноканального люминесцентного спектрометра с кристаллом NaJ толщиной ~2,5 см. Радиоактивный источник  $J^{128}$  ( $T_{1/2}=25$  мин.) получается облучением кристалла NaJ нейтронами от лабораторного источника нейтронов  $Sb^{124}$ –Be активностью 0,25 кюри ( $3 \cdot 10^5$  нейтрон/сек) по реакции  $J^{127}(n, \gamma) J^{128}$ . Облученный кристалл затем укрепляется на ФЭУ и служит таким образом в качестве источника и детектора. Градуировка спектрометра производится до облучения кристалла с помощью γ-квантов известной энергии. В полученный энергетический спектр вносятся поправки на распад  $J^{128}$  и рассчитывается график Кюри, откуда определяется граничная энергия β-спектра  $J^{128}$ .

**Опыты, поясняющие понятия “массы единицы площади” и “слоя половинного поглощения”, с использованием метода радиографии.** Melcher Horst, Glaser Manfred. Radiographische Versuche zu den Begriffen “Flächenmasse” und “Halbwertschicht”. “Prax. Naturwiss.”, 1962, A11, № 5, Physik, 124–128. [РЖ 1962 12 A108].

Восемь слабых источников β-излучения (напр., кусочки уранового стекла) покрывают тонким слоем из разных материалов (бумага, магний, алюминий, железо, медь, молибден, свинец и золото) и накрывают рентгеновской пленкой. После 14-дневной экспозиции пленку проявляют и при помощи селенового фотоэлемента исследуют зависимость поглощения от плотности слоя. Затем повторяют опыт, но рассчитывают толщину каждого слоя так, чтобы произведение плотности слоя на толщину было величиной постоянной. При этом все слои поглощают β-излучение в одинаковой степени. Сравнивая результаты двух опытов, знакомят учащихся с понятием “массы единицы площади”. Подобным образом проводится опыт по определению слоя половинного поглощения. Радиоактивный препарат покрывают 3-мм полоской алюминия, экранирующей α- и β-лучи, устанавливают сверху 16 железных столбиков толщиной 1,5–1,6 мм и накрывают рентгеновской пленкой. После проявления пленки строят график зависимости поглощения от толщины экранов в полулогарифмическом масштабе и определяют по графику толщину слоя, поглощающего наполовину. Приведены радиографические результаты опытов.

**Измерение β-спектров.** Работа 74. С. 444. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964. Работа 76, с. 460, 1973. Лаб. занятия по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина, 1983, работа 6.2, с. 554.

В работе используется спектрометр с “короткой магнитной линзой”. Электроны, испускаемые радиоактивным источником, попадают в магнитное поле катушки, обтекаемой током. Траектории электронов в магнитном поле представляют собой сложные спирали, сходящиеся за катушкой в фокусе, расположенном на оси катушки. В районе фокуса ставится детектор электронов – торцовый счетчик Гейгера. После настройки установки, изменяя силу тока в фокусирующей катушке через 0,5 А определяют число отсчетов при каждом фиксированном значении тока. Результаты измерений представляют графически и определяют константу прибора по энергии электронов внутренней конверсии. Для более точного ее определения строится график Ферми.

**Определение граничной энергии  $\beta$ -спектра по поглощению в алюминии.** Работа 75. С. 451. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964.

В нижней части массивного свинцового цилиндра помещен  $\beta$ -источник, в верхней его части — торцовый  $\beta$ -счетчик. Между  $\beta$ -счетчиком и источником имеется небольшая камера с пазами для установки алюминиевых фильтров и диафрагм. Вылетающие из источника  $\beta$ -частицы проходят через небольшое отверстие — коллиматор, выделяющий узкий пучок частиц. Сигналы со счетчика  $\beta$ -частиц подаются на пересчетную схему. Помещая между источником и счетчиком фильтры различной толщины, снимают кривую поглощения. Измеряется также угловое распределение  $\beta$ -частиц, и электронов, рассеянных фольгой.

**К оценке диаметра атомного ядра.** Fugmann Horst. Ein Experiment zur Abschätzung des Atomkerndurchmessers. “Prax. Naturwiss.”, 1964, A 13, № 12, Physik, 320–322. [РЖ 1965 6 А90].

На расстоянии 4 см от счетчика устанавливают радиоактивный препарат. Между препаратом и счетчиком помещают алюминиевые экраны толщиной 0,5 мм (от 1 до 10–12) и определяют число импульсов в 1 сек., регистрируемых счетчиком. При некоторой толщине экрана число импульсов остается постоянным, что свидетельствует о том, что все первичное  $\beta$ -излучение поглощено и регистрируется только вторичное. Затем в полулогарифмическом масштабе строят график зависимости количества импульсов от толщины экрана и рассчитывают радиус атомного ядра по формуле  $r \leq \sqrt{(|m|A)/(\pi L \rho d \lg e)}$ , где  $m$  — тангенс угла наклона прямоугольной части графика,  $A$  — и  $\rho$  — атомный вес и плотность материала, из которого изготовлен экран,  $L$  — число Лошмидта,  $d$  — толщина поглощающего слоя. Отмечается, что т. к.  $\beta$ -излучение не является монохроматическим, точной прямой на графике не получается, однако опыт дает возможность ознакомить учащихся с методом измерения диаметров ядер.

**Об экспериментальных методах определения энергии  $\beta$ - и  $\gamma$ -частиц.** Zita Kurt. Über die experimentelle Ermittlung von Beta- und Gammaenergien. “Prax. Naturwiss.”, 1968, A 17, № 1, Physik, 1–12; № 2, Physik, 33–38. [РЖ 1968 7 А108].

Приведены общие сведения об определении энергий  $\beta$ - и  $\gamma$ -частиц методом поглощения и при помощи магнитного спектрометра. Описывается также методика проведения опытов и методика обработки результатов измерений.

**Опыты Ленарда.** Hoffmann Herbert. Die Lenard-Versuche. "Prax. Naturwiss.", 1968, A 17, № 3, Physik, 65–69. [РЖ 1968 8 A100].

Описывается установка для демонстрации результатов опытов Ленарда. В качестве электронного пучка используется моноэнергетическое  $\beta$ -излучение. Для получения такого пучка электронов радиоактивный препарат помещают в длинную металлическую трубку. Электроны, вылетая из трубки со скоростью  $\sim 2,8 \cdot 10^8$  м/сек, попадают в однородное магнитное поле, создаваемое электромагнитом, где они отклоняются соответственно уравнению  $Vr = eBr$ . Измерение интенсивности излучения производится счетчиком на направлении, составляющем  $45^\circ$  с первоначальным. Перед окошком счетчика устанавливаются поглощающие экраны. Для экранов рекомендуется использовать элементы с порядковым номером менее 30, т. к. в этом случае вторичным излучением можно пренебречь. При помощи такой установки проверяют закон  $N = N_0 e^{-ax}$  и определяют массовый коэффициент поглощения. Затем рассчитывают коэффициент поглощения воздуха и определяют эффективный радиус молекул воздуха  $q$ . Повторяя опыт для электронов других энергий, можно показать, что  $q$  зависит от скорости электронов  $V$ . Для проверки соотношения  $aV^4 = const$  изменяют ток в обмотке электромагнита, соответственно этому изменяются скорости электронов. Сравнивая  $N$  и  $N_0$  электронов различных энергий, можно убедиться в том, что прозрачность экрана зависит от скорости электронов.

**К вопросу об изучении распространения  $\beta$ -излучения в воздухе.** Авотин Ю. П. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1972, вып. 2, 88–91. [РЖ 1972 8 A73].

Приводится описание двух практических работ по исследованию особенностей распространения  $\beta$ -излучения в воздухе, анализ которых доступен студентам на занятиях лабораторного типа или на лекционных демонстрациях: исследование зависимости интенсивности  $\beta$ -излучения от расстояния между радиоактивным препаратом и счетчиком; исследование рассеяния потока  $\beta$ -частиц на краях диафрагмы.

**Внутреннее тормозное излучение как функция  $Z$ ; лабораторный эксперимент.** Mudhole T. S., Umakantha N.  $Z$  dependence of external bremsstrahlung: a laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 4, 591–595. [РЖ 1972 9 A83].

Описан простой лабораторный эксперимент, позволяющий установить зависимость интенсивности внутреннего тормозного излучения от атомного номера элемента ( $Z$ ), который используется в качестве источника тормозного излучения. Кратко рассмотрена теория внутреннего тормозного излучения. Экспериментальное оборудование состоит из чистого  $^{90}\text{Sr}$ – $^{90}\text{Y}$  источника  $\beta$ -лучей с периодом полураспада 28 лет и интенсивностью 100 мкюри, помещенного в специальную камеру из плексигласа. В качестве детектора использован сцинтилляционный счетчик, представляющий собой кристалл  $\text{NaJ(Tl)}$  диаметром 25 мм, соединенный с фотоумножителем. Мишенью служили фольги различной толщины из меди, серебра, цинка и свинца. Мишени также могли устанавливаться на различных расстояниях (два фиксированных положения) от источника  $\beta$ -частиц. Эксперимент показал, что интенсивность внутреннего тормозного излучения пропорциональна  $Z^{1,97 \pm 0,6}$ , что находится в хорошем согласии с зависимостью, предсказываемой теорией ( $\sim Z^2$ ). Исследована также зависимость интенсивности внутреннего тормозного излучения от толщины мишени. Весь эксперимент выполняется в течение четырех часов.

**Лабораторный эксперимент для определения парциального периода полураспада  $^{40}\text{K}$  по  $\beta$ -излучению.** Gorai K., Sanjeevaiah H., Sanjeevaiah B. A laboratory experiment for determining the partial half-life of  $^{40}\text{K}$  for beta emission. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 5, 721–723. [РЖ 1972 12 A101].

Описывается метод измерения абсолютной  $\beta$ -активности, позволяющий прямо учесть самопоглощение  $\beta$ -частиц в образце. Метод состоит в измерении с помощью торцевого счетчика скорости счета образцов исследуемого изотопа с одинаковым сечением и различной толщиной: точное значение активности получается путем экстраполяции к нулевой толщине. С помощью предложенного метода измерена удельная активность  $^{40}\text{K}$  и получено новое значение парциального периода полураспада относительно  $\beta^-$ -распада  $T_{1/2}=(1,14\pm 0,08)\cdot 10^9$  лет.

**Монтаж и применение радиометра в практикуме по ядерной физике.** Бокова Г.И., Тлеубергенова Г.А. В сб. "Педагогика высш. школы". Вып. 5. Алма-Ата, 1975, 125–127. [РЖ 1975 1 A123].

Описана лабораторная работа, которую рекомендуется проводить для развития у студентов навыков монтажа и настройки радиометрической аппаратуры при регистрации  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений.

**Лабораторный эксперимент по изучению поглощения  $\beta$ -частиц малых энергий.** Murray David G. Introductory absorption experiment for low-energy particles. "Amer. J. Phys.", 1976, 44, № 12, 1229–1230. [РЖ 1977 7 A116].

В лабораторной работе, посвященной определению максимальной энергии  $\beta$ -частиц методом поглощения, предлагается использовать в качестве поглотителя листы туалетной бумаги вместо обычно применяемой алюминиевой фольги. Экспериментальная установка состоит из счетчика Гейгера, устройства счета импульсов, радиоактивного источника  $^{14}\text{C}$ , испускающего  $\beta$ -частицы с энергией 0,156 МэВ, набора поглотителей, расположенных между счетчиком и источником. В опытах студенты измеряют максимальную длину пробега  $\beta$ -частиц в поглотителе и по ней рассчитывают их энергию. Подробно описана методика проведения эксперимента. Отмечается, что применение поглотителей из туалетной бумаги позволяет достичь более высокой точности (лучше чем 5%) измерений энергии  $\beta$ -частиц.

**Установка для изучения прохождения бета-частиц через газы.** Гаргер К.С., Узлюк В.Н., Козлов В.М., Пабат А.И., Шрамко В.И. (Редколлегия ж. "Изв. вуз. Физика"). Томск, 1978. 9 с. [РЖ 1978 8 A109].

Описана лабораторная установка для изучения взаимодействия  $\beta$ -частиц с газами, работы газоразрядных счетчиков, несамостоятельного разряда и измерения концентрации молекул в газе или его давления при прохождении  $\beta$ -излучения. Использована зависимость интенсивности  $\beta$ -излучения, регистрируемая стандартными пересчетными установками, от параметров поглощающей среды (температуры, концентрации, давления).

**Эксперименты по отклонению  $\beta$ -излучения магнитным полем.** Wilke Hans-Joachim, Winter Rolf. Experimente zur magnetischen Ablenkung der Betastrahlung. "Phys. Sch.", 1979, 17, № 6, 254–263. [РЖ 1979 12 A124].

Предложены эксперименты, посвященные изучению отклонения  $\beta$ -излучения в поле постоянного магнита и электромагнита. Даны подробные практические указания по организации опыта и обработке результатов. Описанные эксперименты позволяют найти энергетическое распределение  $\beta$ -излучения, а также обнаружить релятивистское увеличение массы.

**Определение максимальной энергии  $\beta$ -распада.** Лаб. работа 1. Практикум по ядерной физике. Бояркина А.Н. 2-е изд. Перераб. и доп. – Изд-во МГУ, 1972, 1979.

В задаче определяется максимальная энергия  $\beta$ -спектра по кривой изменения интенсивности пучка  $\beta$ -излучения радиоактивного препарата в зависимости от толщины поглотителя. Рассматриваются вопросы особенностей  $\beta$ -распада и взаимодействия  $\beta$ -излучения с веществом.

**Прохождение  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения в воздухе.** Transmission von Beta- und Gammastrahlung in Luft. Brockmeyer Heinrich. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1981, 30, № 6, 187–189. [РЖ 1981 12 A217].

Даны подробные методические указания по определению поглощения  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений в воздухе. В качестве источника излучений рекомендуется использовать  $^{226}\text{Ra}$ , излучение регистрируется счетчиками Гейгера-Мюллера и соответствующей электронной аппаратурой.

**Эксперимент по изучению  $\beta$ -спектроскопии для студентов.** A beta spectroscopy experiment for students. Fabry M., Cussenot J. R., Picot A. “Eur. J. Phys.”, 1981, 2, № 3, 129–132. [РЖ 1982 7 A82].

Описан учебный эксперимент, в котором студенты получают  $\beta$ -спектр и изучают спектры конверсионных электронов с помощью полупроводникового детектора и стандартной спектроскопической системы, включающей детектор, многоканальный анализатор и радиоактивный источник низкой активности (менее, чем 0,1 мкКи). Эксперимент может быть выполнен в течение 4 ч.

**Определение максимального импульса  $\beta$ -частиц по отклонению в магнитном поле.** Аверьянов Г.Б. Ред. ж. “Изв. вузов” Физ. Томск, 1982, № 6085–82. [РЖ 1983 3 A133].

Описана учебная лабораторная установка для определения импульса быстрых  $\beta$ -частиц. Установка состоит из электромагнита, радиоактивного препарата и счетчика Гейгера. Измерив импульс, можно по формулам теории относительности вычислить скорость, массу и энергию  $\beta$ -частиц. Установка может быть использована в физическом практикуме при изучении теории относительности в ядерной физике.

**Изучение энергетического спектра бета-электронов с помощью магнитного поля.** Гороховатский Ю.А., Степанов А.П., Батурич Е.Л. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 10, 116–123. [РЖ 1984 6 A161].

Дается описание установки и методики определения характеристик энергетического спектра  $\beta$ -электронов для лабораторной работы физического практикума.



**Исследование спектра  $\beta$ -лучей в физическом практикуме.** Аверьянов Г.Б.; Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.” Томск, 1987. 5 с. [РЖ 1987 7 А 125].

Описана учебная лабораторная установка для исследования спектра  $\beta$ -лучей. Установка состоит из электромагнита, в зазоре которого помещена С-трубка, изогнутая по дуге окружности. Внутри трубки находится источник  $\beta$ -лучей. Если магнитное поле отсутствует, электроны летят прямолинейно и поглощаются стенками трубки. Под действием магнитного поля электроны движутся по дуге окружности, вылетают наружу и регистрируются счетчиками Гейгера. По формуле  $p = eBR$  вычисляются импульсы частиц. Затем определяется энергия.

**Изучение  $\beta$ -распада с помощью кремниевого полупроводникового детектора.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988. Лаб. работа 12. С. 146.

В лабораторной работе измеряется энергетический спектр  $\beta$ -излучения ядер с помощью спектрометра на базе полупроводникового детектора и определяется максимальная энергия  $\beta$ -спектра. В ходе выполнения работы измеряются  $\beta$ -спектры  $^{85}\text{Kr}_{36}$  и  $^{204}\text{Tl}_{81}$ . Данные измерений представляются в виде графиков Ферми-Кюри. Определяются максимальные энергии  $\beta$ -спектров  $^{85}\text{Kr}_{36}$  и  $^{204}\text{Tl}_{81}$ . Помещая между  $\beta$ -источниками и полупроводниковым детектором алюминиевые фильтры различной толщины, измеряют для  $^{85}\text{Kr}_{36}$  и  $^{204}\text{Tl}_{81}$  кривую поглощения  $\beta$ -излучения (зависимость скорости счета от толщины поглотителя). По этим данным также определяются максимальные энергии электронов в спектрах  $^{85}\text{Kr}_{36}$  и  $^{204}\text{Tl}_{81}$ .

**$\beta$ -распад. Измерение спектра электронов  $\beta$ -распада.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 3, с. 57.

В лабораторной работе измеряется энергетический спектр электронов  $\beta$ -распада ядер с помощью спектрометра на основе полупроводникового детектора и определяется максимальная энергия  $\beta$ -спектра.

**Лабораторная работа по изучению основ бета-спектроскопии.** В. П. Федорченко, В. М. Бабиив. ФОВ. 2004. Т. 10, № 1, с. 90.

**Поглощение бета-частиц в различных материалах: эксперимент для студентов.** Absorption of beta particles of different materials: An undergraduate experiment. La Rocca P., Riggi F. *Eur. J. Phys.* 2009. 30, № 6. 1417–1426. [РЖ 10.10–18А.106].

**Учебное исследование прохождения  $\beta$ -излучения через вещество.** В.А. Белянин. ФОВ. 2010. Т. 16, № 2, с. 69.

Выполнены экспериментальные исследования прохождения  $\beta$ -излучения через твердое, жидкое и газообразное вещество. В качестве радиоактивного источника излучения использован изотоп калия  $^{40}\text{K}_{19}$ , содержащийся в соли КСl. Показана возможность постановки соответствующих лабораторных работ по курсу общей физики.

**Изучение поля  $\beta$ -излучения протяженного толстого источника радиоактивности.** В.А.Белянин. *ФОВ*. 2010. Т. 17, № 1, с. 37–46.

Выполнены экспериментальные исследования поля  $\beta$ -излучения толстого плоского и цилиндрического источников радиоактивности большой поверхностной площади. В качестве радиоактивного источника излучения использован изотоп калия  $^{40}_{19}\text{K}$ , содержащийся в соли КСl. Показана возможность постановки соответствующих лабораторных работ по общей физике.

**Учебное исследование прохождения  $\beta$ -излучения через вещество.** Белянин В.А. *Физ. образ. в вузах*. 2010. 16, № 2. 69–82, 123. [РЖ 10.12–18А.102].

Выполнены экспериментальные исследования прохождения  $\beta$ -излучения через твердое, жидкое и газообразное вещество. В качестве радиоактивного источника излучения использован изотоп калия  $^{40}_{19}\text{K}$ , содержащийся в соли КСl. Показана возможность постановки соответствующих лабораторных работ по курсу общей физики.

**Сравнительное изучение взаимодействия  $\beta$ -излучения изотопов  $^{40}_{19}\text{K}$  и  $^{90}_{38}\text{Sr}$  с веществом в лабораторном практикуме.** Белянин В.А. *Физ. образ. в вузах*. 2011. 17, № 3. 30–35, 136. [РЖ 12.04–18А.90].

Разработана методика сравнительного эксперимента и выполнены исследования поглощения  $\beta$ -излучения изотопов калия  $^{40}_{19}\text{K}$  и  $^{90}_{38}\text{Sr}$  твердыми и жидкими материалами. Показана возможность постановки соответствующих лабораторных работ по ядерной физике.

**Сравнительное изучение поглощения твердыми телами  $\beta$ -излучения изотопов  $^{40}_{19}\text{K}$  и  $^{90}_{38}\text{Sr}$ .** Белянин В.А. *Физика в системе соврем. образ. (ФССО-11): Материалы 11 Межд. конф., Волгоград, 19-23 сент., 2011*. Т.1. Волгоград, 2011. 283–286. [РЖ 12.09–18А.107].

Сопоставление особенностей различных радиоактивных источников, которые находят применение при изучении физики, представляет интерес для инженерно-технического персонала и преподавателей кафедр, занимающихся постановкой работ учебного лабораторного практикума в вузах. Проведены сравнительные эксперименты, изложены результаты, показано, что при необходимости или в случае отсутствия в лаборатории специализированных источников для учебного процесса можно использовать лабораторные работы с естественно-радиоактивными источниками.

**Изучение поля  $\beta$ -излучения протяженного толстого источника радиоактивности.** Белянин В.А. *Физ. образ. в вузах*. 2011. 17, № 1, с. 37–46. [РЖ 12.11–18А.74].

Выполнены экспериментальные исследования поля  $\beta$ -излучения толстого плоского и цилиндрического источников радиоактивности большой поверхностной площади. В качестве радиоактивного источника излучения использован изотоп калия  $^{40}_{19}\text{K}$ , содержащийся в соли КСl. Показана возможность постановки соответствующих лабораторных работ по общей физике.

## Глава 7. γ-ЛУЧИ

**Лабораторные опыты по поглощению γ-излучения.** Taylor H.W., Whyte G.N. Student experiment of the attenuation of gamma radiation. "Amer. J. Phys.", **1961**, 29, № 5, 315–318. [РЖ 1961 12 А 194].

Описывается установка и порядок проведения опытов, при помощи которых можно вывести экспоненциальный закон поглощения для узкого пучка γ-лучей, наблюдать рассеяние излучения в широком пучке и получить представление о факторе накопления. Установка состоит из источника излучения  $\text{Co}^{60}$ , гейгер-мюллеровского счетчика с защитным экраном и поглощающих алюминиевых экранов.

**Учебный метод определения энергии связи дейтрона.** Ortiz Eddie. Students method for determining the binding energy of the deuteron. "Amer. J. Phys.", **1961**, 29, № 10, 684–686. [РЖ 1962 4 А68].

Дано описание учебной задачи для студентов по определению энергии связи дейтрона путем измерения энергии γ-лучей, испускаемых при захвате тепловых нейтронов водородом. Pu-Be-источник нейтронов активностью 1 *кюри* помещался в цилиндрический контейнер с водой или парафином, которые служили для замедления нейтронов. Замедлившиеся нейтроны захватывались содержащимся в замедлителе водородом. γ-лучи регистрировались промышленным спектрометром с кристаллом NaJ(Tl). Прибор градуировался по γ-лучам  $\text{Na}^{24}$ . Измеренная энергия γ-лучей, испускаемых при захвате, равна 2,21 МэВ. Она равна энергии связи дейтрона при условии, что энергия нейтрона, H' и дейтрона малы по сравнению с энергией испускаемых γ-лучей.

**Определение активности радиоактивных веществ по γ-излучению.** Zur Aktivitätsbestimmung radioaktiver Stoffe mit Hilfe der γ-Strahlung. "Leybold-Welle", **1961**, 2, № 7, 15–18. [РЖ 1964 2 А87].

Описывается метод определения учащимися активности препарата, содержащего Ra в равновесии с продуктами распада, по интенсивности γ-излучения. Приводится методика калибровки прибора, регистрирующего γ-излучение, расчеты и номограмма для определения γ-активности точечного источника Ra, экранированного 5-мм слоем свинца, поглощающим α- и β-лучи. Отмечается, что номограмма не может быть использована для количественного определения активности других радиоактивных препаратов, однако она может служить для ориентировочного определения их активности.

**Измерение коэффициентов поглощения γ-лучей в свинце, железе и алюминии.** Лаб. работа 71. С. 422. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1964**. Работа 73, с. 436, **1973**. Работа 6.3, с. 561, **1983**.

Свинцовый коллиматор выделяет узкий почти параллельный пучок γ-квантов, проходящий через набор поглотителей и регистрируемый сцинтилляционным счетчиком. Сигналы от счетчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором. В ходе работы снимается т. н. счетная характеристика и шумовая, которые представляются графически. В результате обработки результатов измерений определяется средняя энергия γ-лучей, испускаемых источником.

**Определение энергии  $\gamma$ -излучения методом поглощения.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живописцев, Н.И. Тулинова. МГУ. 1965, 1972, 1979, 1988, 2004. Задача 2, с. 63.

В задаче определяется энергия монохроматического пучка  $\gamma$ -излучения по коэффициенту поглощения в различных веществах. Для этого снимаются кривые изменения интенсивности пучка  $\gamma$ -излучения в зависимости от толщины поглотителя. Рассматриваются вопросы, связанные с происхождением  $\gamma$ -излучения и его взаимодействием с веществом.

**Эксперименты по эффекту Мессбауэра для студентов старших курсов.** Haskins J. R. Advanced Mossbauer-effect experiments. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 8, 646–656. [РЖ 1966 2 А81].

Обсуждается широкий круг вопросов, связанных с постановкой различных экспериментов по эффекту Мессбауэра на ядрах  $\text{Fe}^{57}$  в процессе учебной подготовки студентов американских высших учебных заведений. Рассматриваются характеристики источников резонансного излучения и поглотителей, методы детектирования резонансного  $\gamma$ -излучения и применение различных скоростных мессбауэровских спектрометров. Описывается ряд основных экспериментов по эффекту Мессбауэра на ядрах  $\text{Fe}^{57}$ , в том числе, измерение вероятности эффекта Мессбауэра (доли безотдачных  $\gamma$ -квантов), наблюдение сверхтонкого магнитного и квадрупольного взаимодействия, измерение смещения резонансной линии поглощения за счет квадратичного эффекта Допплера, наблюдение изомерных сдвигов энергии  $\gamma$ -перехода 14,4 кэВ и т. п.

**Получение кривых самопоглощения с помощью обычных данных по поглощению  $\gamma$ -лучей.** Rabinopff Carter V., Boekelheide Irwing. Graphing self-absorption curves with ordinary gamma-ray absorption data. "Amer. J. Phys.", 1966, 34, № 2, 130–132. [РЖ 1966 8 А95].

В работе Диксона (Dixon W.R., "Nucleonics", 1951, 8, 68) обсуждаются методы расположения радиоактивных источников с целью получения источника большой активности (с учетом эффектов самопоглощения). Предложена методика получения кривых самопоглощения (аналогичных приведенным в работе Диксона) путем измерения поглощения  $\gamma$ -лучей. Методика предназначена для лабораторных работ студентов и предполагает наличие обычного лабораторного оборудования колледжей.

**Спектральный анализ  $\gamma$ -излучения.** Hoffmann Herbert. Spektralanalyse der Gamma-Strahlung. "Prax. Naturwiss.", 1967, A 16, № 10, Physik, 257–260. [РЖ 1968 5 А86].

Радиоактивный препарат, помещенный в свинцовом цилиндре, устанавливают отверстием к щели, образованной между двумя свинцовыми блоками. Под блоками помещают поглощающий экран и вплотную к экрану — счетчик. При помощи такой установки можно исследовать зависимость интенсивности излучения от толщины экрана. Приведены графические результаты измерений, на которых отчетливо видны многочисленные максимумы, свидетельствующие о существовании отдельных линий в спектре излучения. Описывается также метод градуировки спектра для получения количественных результатов.

**Измерение эффекта Мессбауэра при синусоидальном движении источника.** Bryant Howqrd C. Mossbauer effect with a sinusoidal Doppler shift. "Amer. J. phys.", **1967**, 35, № 12, 1159–1160. [РЖ 1968 10А75].

Предложена методика обработки данных, получаемых с помощью прибора для лекционных демонстраций эффекта Мессбауэра. Прибор состоит из резонансного счетчика с внутренним покрытием из нержавеющей стали и источника  $\text{Co}^{57}$ , внедренного в матрицу нержавеющей стали. Источник укреплен на вибраторе, имеющем синусоидальный закон движения. Прибор демонстрирует изменение скорости счета резонансного счетчика при увеличении амплитуды колебаний источника вследствие уменьшения интенсивности резонансного поглощения  $\gamma$ -квантов в покрытии счетчика с ростом средней скорости движения источника. Автор предлагает графический метод, с помощью которого из кривой зависимости скорости счета от амплитуды колебаний легко могут быть определены основные параметры, характеризующие резонансное поглощение  $\gamma$ -лучей: ширина резонансной кривой и отношение этой ширины к величине энергии  $\gamma$ -квантов. Предложенный способ обработки достаточно нагляден и может быть использован во время лекционных демонстраций.

**Моделирование опыта Резерфорда по рассеянию  $\gamma$ -частиц.** Reichspfarr Franz. Modellversuch zur Rutherford-Streuung von  $\alpha$ -Teilchen. "Prax. Naturwiss.", **1968**, A17, № 9, "Physik", 244–250. [РЖ 1969 3 А94].

Для моделирования опыта Резерфорда рекомендуется использовать одноименные магнитные полюса вместо применяемых обычно одноименно заряженных шаров. В связи с этим описывается установка, при помощи которой можно показать зависимость угла рассеяния от скорости и параметра удара и вывести формулу Резерфорда. Установка состоит из электромагнита с сердечником, относительно которого перемещается керамический магнит. В магнит вмонтированы источник света и лампочка, что позволяет фиксировать траекторию подвижного магнита в поле электромагнита на фотопленке. Эта же установка может быть использована для моделирования опыта Чедвика. В этом случае по обмотке электромагнита пропускают токи различной величины и таким образом, ток является мерой заряда ядра.

**Мессбауэровский спектрометр для студенческих лабораторных работ.** Iyengar P.K., Nathan P.S.P. Student-type Mossbauer spectrometer. "Amer. J. Phys.", **1969**, 37, 3 7, 754–755. [РЖ 1970 2 А85].

Описана конструкция простого мессбауэровского спектрометра, который может быть использован для выполнения лабораторных работ студентами вузов. Спектрометр представляет собой механическое устройство с поглотителем в виде фольги, расположенной на периферии вращающегося диска. Неподвижный источник  $\gamma$ -квантов расположен внутри круга, образованного поглотителем, и жестко связан с детектором, расположенным вне этого круга. Необходимое доплеровское смещение энергии  $\gamma$ -квантов осуществляется простым перемещением системы источник–детектор.

**Введение в метод совпадений, примененный для изучения  $\gamma$ -излучения.** Galloway R.B. An introduction to the use of coincidence counting techniques in the study of  $\gamma$ -rays. "Phys. Educ.", **1970**, 5, № 1, 25–34. [РЖ 1970 6 А92].

Излагаются основные сведения, необходимые для ознакомления студентов с методом совпадений, одного из наиболее широко используемых методов экспериментальной ядерной физики и физики элементарных частиц. На примере двухканальной схемы совпадений с двумя сцинтилляционными детекторами рассмотрен основной параметр, характеризующий схемы совпадений — время разрешения  $\tau$  — и описано его определение по кривой задержанных совпадений. Приводятся блок-диаграммы схем совпадений обычного типа и так называемых “быстро-медленных” схем совпадений. Обсуждается применение метода совпадений в  $\gamma$ -спектроскопии атомного ядра для измерения пространственных и временных корреляций  $\gamma$ -квантов. Приводятся принципиальные схемы ядерной электроники, которые могут быть использованы для постановки лабораторной работы студентов III года обучения по изучению схемы распада  $\text{Na}^{22}$  методом совпадений.

**Модифицированная аппаратура для наблюдения эффекта Мессбауэра.** Price Joseph E. Modified Mossbauer effect apparatus. “Amer. J. Phys.”, 1970, 38, № 9, 1161–1162. [РЖ 1971 1 А88].

Рассмотрена улучшенная конструкция простого мессбауэровского спектрометра, который может быть использован для демонстрационных опытов и в студенческом практикуме. Спектрометр представляет собой механическое устройство с вращающимся резонансным поглотителем и с неподвижным источником  $^{57}\text{Co}$  и детектором  $\gamma$ -излучения. Изменение относительной скорости источника и поглотителя осуществляется простым перемещением источника и детектора (а также изменением скорости вращения поглотителя). Выполнение работы для студентов на таком спектрометре рассчитано на два занятия: на первом студент знакомится с прибором и выполняет предварительные измерения, а на втором получает экспериментальные данные и обрабатывает их на вычислительной машине с использованием программы метода наименьших квадратов.

**Определение энергии  $\gamma$ -излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972, 1979, 1988, 2004. Лаб. работа 2. С. 82.

Источником излучения является кристалл  $\text{NaJ(Tl)}$ , упакованный в алюминиевую коробочку со стеклянной крышкой. В качестве диффузного отражателя света использован порошок окиси магния. В ходе работы спектрометр градуируется, т. е. снимаются спектры от двух радиоактивных изотопов с известной энергией  $\gamma$ -лучей. Затем определяется энергия  $\gamma$ -излучения неизвестного радиоактивного изотопа. Учитывая, что разрешающая способность спектрометра для данной энергии  $E$  определяется как  $R = \Delta E/E$ , где  $\Delta E$  — полуширина пика, определяется разрешающая способность по фотопикам в измеренных спектрах.

**“Одновременное” накопление стандартного и неизвестного мессбауэровских спектров.** Price Joseph E. “Simultaneous accumulation of standart and unknown Mossbauer spectra. “Amer. J. Phys.”, 1972, 40, № 3, 477–478. [РЖ 1972 9 А84].

В применяемом в студенческой лаборатории мессбауэровском спектрометре с 400-канальным анализатором импульсов были отмечены случайные изменения калибровочной константы. С целью исключить возникающие погрешности предложено пожертвовать разрешением, поочередно используя 200 каналов для накопления спектра неизвестного источника и 200 каналов для одновременного накопления спектра стандартного источника, и менять через короткие промежутки времени накопление из первых 200 во вторые 200 каналов.

**Корреляционный  $\gamma\gamma$ -эксперимент лабораторного курса по ядерной физике для студентов старших курсов.** Avignone F.T., I I I, Pinkerton J.E. Gamma-gamma directional correlation experiment for the nuclear or advanced laboratory. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 10, 1542–1543. [РЖ 1973 4 A129].

Описывается эксперимент, рекомендуемый авторами в качестве лабораторной учебной задачи для студентов последних курсов вуза, специализирующихся по ядерной физике. Предметом исследования является изучение угловой  $\gamma\gamma$ -корреляции для каскада 622–512 кэВ в  $^{106}\text{Pd}$ , описываемой функцией  $W(\theta)=1+0,356P_2(\cos\theta)+1,14P_4(\cos\theta)$ . Высокая интенсивность этого каскада, большая анизотропия углового распределения и значения 0–2–0 угловых моментов начального, промежуточного и конечного состояний ядра  $^{106}\text{Pd}$ , соответственно, в значительной степени снижают трудности, связанные с выполнением корреляционных экспериментов и с интерпретацией полученных результатов. В опыте используется источник  $^{106}\text{Ru}$ , распадающийся по схеме  $^{106}\text{Ru}$  (1 год)  $\rightarrow$   $^{106}\text{Rh}$  (30 сек)  $\rightarrow$   $^{106}\text{Pd}$ , в виде активного (0,1 мкюри) раствора  $\text{RuCl}$ , помещенного в узкий люцитовый цилиндр. Детекторами  $\gamma$ -квантов служат сцинтилляционные  $\text{NaI(Tl)}$ -счетчики в сочетании со стандартной техникой совпадений. Приводится типичный результат, полученный студентами при измерении корреляции для значений углов  $\theta$ :  $A_{22}=0,33\pm 0,04$  и  $A_{44}=1,12\pm 0,09$ .

**Измерение абсолютной активности препарата  $\text{Co}^{60}$  методом гамма-гамма-совпадений.** Работа 77. С. 467. Рук-во к лаб. занятиям по ф-ке. Изд. 2-е, доп. и перераб. Учеб. пособие для студ. физ. спец. высш. учеб. заведений. Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М. и др. "Наука", 1973. Работа 6.4, с. 575, 1983.

Гамма-кванты от источника  $^{60}\text{Co}$  регистрируются двумя сцинтилляционными счетчиками, каждый из которых состоит из кристалла  $\text{NaI(Tl)}$  и фотоэлектронного умножителя ФЭУ-19М. При поглощении  $\gamma$ -кванта кристаллом возникает световая вспышка, которая преобразуется с помощью ФЭУ в электрический импульс, передаваемый через катодный повторитель на схему совпадений.

**Исследование резонансного поглощения гамма-квантов (эффект Мессбауэра).** Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. 1973. Работа 82, с. 501. Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 6.6. С. 590–603.

В данной работе эффект Мессбауэра изучается на ядрах олова  $^{119}\text{Sn}$  в соединении  $\text{BaSnO}_3$ . Гамма-излучение источника пропускается через поглотитель и регистрируется сцинтилляционным спектрометром, состоящим из счетчика и соединенной с ним электронной аппаратуры. Назначение этой аппаратуры заключается в том, чтобы выделить  $\gamma$ -лучи с нужной энергией, отбросив все постороннее излучение. Результаты измерений представляются графически, находится положение максимума резонансного поглощения, амплитуда резонансного поглощения, ширина линии. Определяется величина химического сдвига.

**Определение энергии гамма-квантов с помощью сцинтилляционного спектрометра.** Работа 80. С. 480. Рук-во к лаб. занятиям по ф-ке. Изд. 2-е, доп. и перераб. Учеб. пособие для студ. физ. спец. высш. учеб. заведений. Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М. и др. “Наука”, 1973. Работа 6.5, с. 582, 1983.

В работе используется кристалл NaI(NI). Его диаметр равен 40 мм, а высота 30 мм. Кристалл упакован в герметический контейнер, стенки которого покрыты окисью магния, хорошо отражающей свет. Выходное окно контейнера находится в оптическом контакте с фотокатодом электронного умножителя, работающего в спектрометрическом режиме. Сигнал, возникающий на аноде ФЭУ, через катодный повторитель подается на амплитудный анализатор. Линейный усилитель анализатора имеет коэффициент усиления 100 и рассчитан на входные амплитуды щт 0.02 до 1 В. После усиления сигнал поступает на дифференциальный анализатор, а затем регистрируется пересчетным прибором ПСТ-100. Измеряя число импульсов в единицу времени в зависимости от “порога” анализатора, получают дифференциальный спектр импульсов. Экспериментальная часть работы делится на две: градуировку спектрометра по гамма-излучению  $\text{Co}^{60}$ , испускающего две гамма-линии с энергиями  $E_1 = 1,17$  МэВ и  $E_2 = 1,33$  МэВ, и определение энергии гамма-квантов “неизвестного” препарата.

**Простая установка для учебных измерений эффекта Мессбауэра.** Hesse J. Simple arrangement for educational Mossbauer-effect measurements. “Amer. J. Phys.”, 1973, 41, № 1, 127–129. [РЖ 1973 6 А111].

Описана конструкция простого прибора, предназначенного для демонстрационных и учебных измерений мессбауэровских спектров. Используется синусоидальное движение источника мессбауэровского излучения и одноканальный амплитудный анализатор в качестве регистрирующего устройства. Получены некоторые формулы, характеризующие качество установки, показано, что искажения формы спектров, связанные с синусоидальным движением источника, не очень велики и ими можно пренебречь при демонстрационных измерениях или при постановке задач в студенческом практикуме.

**$^{116}\text{In}$  – источник для экспериментов по  $\gamma$ -спектроскопии.** Ouseph P. J.  $\text{In}^{116}$ , a source for gamma spectroscopy experiments. “Amer. J. Phys.”, 1973, 41, № 4, 589–591. [РЖ 1973 9 А93].

Отмечается относительная простота изготовления  $\gamma$ -активного препарата  $^{116}\text{In}$  в реакции  $^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116}\text{In}$  с применением Pu–Be-источника, приводится спектр  $\gamma$ -квантов в интервале энергий 0,137–2.112 МэВ для  $^{116}\text{In}$  ( $T_{1/2}=54$  мин) и даются методические указания по использованию  $^{116}\text{In}$ -источника в лабораторном практикуме студентов старших курсов для калибровки системы детектор-анализатор, для изучения зависимости эффективности регистрации по фотопику от энергии при использовании сцинтилляционного счетчика с кристаллом NaI, а также по  $\gamma$ -спектроскопии с помощью Ge(Li)-детекторов.

**Эксперимент, демонстрирующий уширение гамма-пика аннигиляции.** Ouseph T.J., Du Bard James L. An experiment to demonstrate the energy broadening of annihilation gamma rays. “Amer. J. Phys.”, 1978, 46, № 7, 740–741. [РЖ 1978 12 А151].

Описана методика проведения студенческой исследовательской работы, посвященной наблюдению явления уширения  $\gamma$ -пика аннигиляции. При аннигиляции позитрона в большинстве случаев испускаются два  $\gamma$ -кванта в противопо-



ложных направлениях. Однако величины энергии и угла выхода указанных квантов имеют некоторое распределение из-за того, что позитрон и электрон не неподвижны до аннигиляции. Оказывается, что, если измерять только один квант из пары, то с помощью полупроводникового детектора с хорошим разрешением можно заметить уширение  $\gamma$ -пика аннигиляции, превышающее аппаратную ширину прибора. Путем несложных расчетов показано, что из-за влияния импульса электрона на распределение энергии между квантами изменение энергии их может достигать 0,75 кэВ при энергии электрона всего 2,2 эВ.

**Измерение скорости света с помощью радиоактивных источников.** Measurement of the speed of light using nuclear timing techniques. Sherbini Sami S. "Amer. J. Phys.", **1980**, 48, № 7, 578–579. [РЖ 1981 3 А134].

Описан лабораторный эксперимент по измерению скорости света, основанный на измерении времени прохождения определенного расстояния  $\gamma$ -квантами высоких энергий, испускаемых радиоактивным веществом. Для эксперимента был использован изотоп Na-22, который испускает одновременно два  $\gamma$ -кванта с энергией 0,51 МэВ, с углом разлета  $180^\circ$ . Сцинтилляционные датчики размещались по обе стороны от радиоактивного источника. Первый датчик, запускающий таймер, был расположен на фиксированном расстоянии 0,2 м от источника. Второй датчик, останавливающий таймер, мог перемещаться в пределах 1,5–3,5 м. Измерения дали значение скорости света  $3,009 \cdot 10^{10}$  см/сек с точностью около 0,43%. Приводится схема и методика проведения эксперимента, описано лабораторное оборудование и даны рекомендации по повышению точности результатов измерений.

**Идентификация гамма-источника в лабораторных работах студентов старших курсов (или: не выбрасывайте старый источник  $^{113}\text{Sn}$ ).** Unknown gamma emitter identification for an advanced physics laboratory class, or don't throw away your old Sn-113 source. Fiske Thomas G., Jadrich James R., Zender Michael J. "Amer. J. Phys.", **1984**, 52, № 1, 76–77. [РЖ 1984 8 А118].

В статье выдвигается идея использования старого  $\gamma$ -источника с изотопом  $^{113}\text{Sn}$  для проведения лабораторных работ со студентами старших курсов. Идея основана на том, что если такой источник был изготовлен посредством нейтронной активации природного Sn, то образуются радиоактивные изотопы Sn с различными периодами полураспада. Состав, а, следовательно, и спектр излучения в процессе распада меняется, что маскирует первоначальный состав источника. На этом и основано его использование для идентификации первоначального состава.

**Лабораторная работа по атомной физике. Корпускулярная структура электромагнитного излучения. Опыт Боте.** Геринг Г.И., Макиенко А.В., Флешенр Г.И.; **1984**. 13 с. [РЖ 1984 9А164].

Описан разработанный для лабораторного практикума по атомной физике модифицированный вариант опыта Боте с использованием современных методов экспериментальной физики. Источником электромагнитного излучения служит образцовый спектрометрический  $\gamma$ -препарат  $\text{Co}^{60}$  слабой интенсивности. Предлагается вариант методического описания лабораторной работы по изучению корпускулярной структуры электромагнитного излучения.

**Лабораторная работа “Пропорциональный счетчик, измерение сечения фотоэффекта с помощью пропорционального счетчика.”** Аминева Т.П., Назарова Н.И., Яковлева Г.Н. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 11, 113–121. [РЖ 1985 1А195].

Описана теоретическая и экспериментальная часть лабораторной работы “Пропорциональный счетчик; измерение сечения фотоэффекта с помощью пропорционального счетчика”, разработанной в НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова. Целью работы является измерение сечения фотоэффекта и его зависимости от энергии  $\gamma$ -кванта и атомного номера  $z$  и исследование характеристик счетчика: зависимости коэффициента газового усиления от напряжения на счетчике, линейной характеристики счетчика, энергетической разрешающей способности, эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов в интервале энергии 1–100 кэВ.

**Изучение двухфотонной аннигиляции при распаде системы  $e^+e^-$ .** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988, 2004. Лаб. работа 1. С. 51.

Экспериментальными доказательствами изучаемого эффекта являются: 1) наличие в  $\gamma$ -спектре линии с энергией 0,511 МэВ; 2) совпадение по времени моментов регистрации двух фотонов; 3) максимум числа совпадений при разлете фотонов в противоположные стороны. Источником позитронов служит  $\beta^+$ -активный изотоп  $^{22}\text{Na}_{11}$ . Позитроны с энергией 0,55 МэВ тормозятся в веществе источника и его защитной оболочке и аннигилируют. В ходе выполнения работы измеряется энергетический спектр аннигиляционных  $\gamma$ -квантов и измеряется зависимость интенсивности совпадений от угла разлета фотонов  $e^+e^-$ -аннигиляции.

**Изучение резонансного поглощения гамма-квантов (эффект Мессбауэра) в общезначимом практикуме МФТИ.** Игошин Ф.Ф., Самарский Ю.А., Ципенюк Ю.М. *Физ. образ. в вузах*. 1999. 5, № 3. 147–155, 193. [РЖ 2000 06–18А.172].

Описана установка, позволяющая в условиях студенческого лабораторного практикума по общей физике изучать процесс резонансного поглощения гамма-квантов ядрами (эффект Мессбауэра). С помощью метода доплеровского сдвига мессбауэровских линий испускания и поглощения исследуется резонансное поглощение  $\gamma$ -лучей, испускаемых ядрами олова Sn в соединении  $\text{BaSnO}_3$  при комнатной температуре. Определяется положение максимума резонансного поглощения, его величина, а также экспериментальная ширина линии  $\Gamma_{\text{экс}}$  и соответственно время жизни изомерного уровня ядра  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ .

**Электромагнитные взаимодействия. Определение энергии  $\gamma$ -квантов с помощью сцинтилляционного спектрометра (лабораторная работа): Учебное пособие.** Гончарова Н.Г., Ишханов Б.С., Пронкина Н.Д. М.: Изд-во УНЦ ДО, 2004. 17 с. [РЖ 2005 02–18А.134].

Пособие представляет собой описание одной из лабораторных работ общего ядерного практикума для студентов 3 курса физического факультета МГУ, не специализирующихся по ядерной физике. Она знакомит с физикой электромагнитных взаимодействий, с методами проведения экспериментов, измерения, обработки и анализа спектров  $\gamma$ -квантов. Целью работы является определение энергии  $\gamma$ -излучения неизвестного источника. Измерения проводятся с помощью сцинтилляционного спектрометра.

**Определение эффективного сечения взаимодействия  $\gamma$ -квантов с веществом методом поглощения.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 6, с. 138.

Целью работы является изучение физики взаимодействий  $\gamma$ -квантов с веществом и определение эффективного сечения взаимодействия  $\gamma$ -квантов с поглотителями (свинец, алюминий, медь).

**Лабораторная работа “Эффект Мессбауэра”.** В.А. Андрианов, В.А. Белавин, Д.В. Дьячков, В.А. Квливидзе, И.К. Костин, В.В. Радченко. ФОВ. 2005. Т. 11, № 1, с. 68. [РЖ 05.10–18А142].

Излагается лабораторная работа “Эффект Мессбауэра”, выполненная на основе компьютерного моделирования реального эксперимента. Лабораторная установка состоит из экспериментального блока (модель мессбауэровского спектрометра) и персонального компьютера и позволяет провести все этапы мессбауэровского эксперимента: настроить спектрометр, зарегистрировать амплитудные и мессбауэровские спектры, выполнить математическую обработку спектров методом наименьших квадратов. Работа знакомит с основными типами сверхтонких взаимодействий. На примере одиночной линии изучается изомерный (химический) сдвиг и форма линии. Предлагается методика изучения ядерного эффекта Зеемана на примере поглотителя альфа-железа.

**Лабораторная работа “Корпускулярные свойства  $\gamma$ -излучения”.** Макиенко А.В., Чернявский Б.Г. *Физ. образ. в вузах*. 2006. 12, № 3. 105–108, 135. [РЖ 2007.03–18А.144].

Описана лабораторная установка по изучению корпускулярных свойств  $\gamma$ -излучения, отличающаяся от известных работ физического практикума. Важным отличием является возможность изменения положения  $\gamma$ -источника относительно двух детекторов с применением схемы совпадений. Кроме того, установка также позволяет исследовать статистическое распределение вероятности попадания  $\gamma$ -фотонов в детекторы.

**Практикум по мессбауэровской спектроскопии для студентов физических специальностей.** Серегин П.П., Марченко А.В., Жаркой А.Б. *Физика в системе соврем. образ. (ФССО-07): Материалы 9 Междунар. конф., С.-Пет., 4–8 июня, 2007.* Т. 1. СПб, 2007, 124–125. [РЖ 2008 07–18А.142].

Мессбауэровская учебная лаборатория может быть использована как для выполнения части практикума по общей физике, так и в качестве спецлаборатории для студентов старших курсов соответствующих специальностей (работы повышенной трудности). Непосредственному выполнению физического практикума должны предшествовать вводное занятие, поясняющее теоретические принципы мессбауэровской спектроскопии, а также приборный семинар, проводимый для ознакомления студентов с основами работы на современном мессбауэровском спектрометре.

## Глава 8. НЕЙТРОНЫ

**Эксперимент по отражению и поглощению нейтронов.** Стивенсон, Самсел (Experiment on the reflection and absorption of neutrons. Stephenson R.J., Sam-sel T.F.), *Amer. J. Phys.*, **1957**, 25, № 9, 632–635. [РЖ 1958 № 11 24372].

Описан учебный эксперимент по определению сечения поглощения медленных нейтронов в Al и демонстрации отражения нейтронов парафином. [College of Wooster, Вустер, Огайо, США].

**Экранированный источник нейтронов для лабораторных работ и демонстрационных опытов по физике.** Эрнст (Eine abgeschirmte Neutronenquelle für physikalische Arbeitsgemeinschaften und Demonstrationen, Ernst Hans Wolfgang), *Prax. Naturwiss.*, **1958**, A7, 3 10, 278–280. [РЖ 1959 № 7 14525].

Ra–Be- источник нейтронов интенсивностью 3 *мкюри* помещают эксцентрично в свинцовый цилиндр и устанавливают в центре сосуда диаметром 50 см, заполненного парафином. В парафине на разных расстояниях от источника нейтронов имеются отверстия диаметром 30 мм для исследуемых веществ. Сосуд помещают эксцентрично в защитную цилиндрическую подставку. Эксцентричное расположение источника нейтронов в свинце и сосуда с парафином в подставке обеспечивает защиту экспериментатора от излучения и удобство в работе. При помощи этой установки можно показать ряд опытов: 1) по  $\beta$ -излучению и определению периода полураспада искусственных радиоактивных элементов (серебро, индий и др.); 2) по обогащению этилйодида или этилбромидом искусственными радиоактивными J или Вг или перманганата калия марганцем и химическим реакциям с искусственными радиоактивными Br, J или Mn; 3) по защитному действию Cd или В при облучении тепловыми нейтронами и значению стержней из Cd и В в реакторах.

**Опыты по ядерной физике с источником нейтронов.** Шнейдер (Kernphysik-Unterricht miteiner Neutronenquelle. Schneider W.), *Math. Und naturwiss. Unterr.*, **1959**, 12, № 6, 255–262. [РЖ 1960 № 8 18888].

При помощи Ra–Be-источника нейтронов (см. РЖФиз, 1959, № 7, 14525) и измерительного устройства, состоящего из счетной трубки, источника высокого напряжения и усилителя импульсов, связанного с электро-механическим счетчиком, громкоговорителем и микроамперметром, может быть показан ряд опытов по ядерной физике: активация серебра и определение периода полураспада из кривой распада; активация индия и качественное определение отношения эффективных сечений двух радиоактивных изотопов из анализа кривой распада; активация йода; определение зависимости активности от плотности нейтронного потока и от времени облучения; обогащение радиоактивным изотопом по методу Сцилларда–Чалмерса; дозиметрия нейтронного источника; эффекты замедления, отражения и поглощения нейтронов кадмием в реакторе. Описаны опыты, приведены графики и расчеты.

**Определение плотности нейтронного потока и сечений некоторых веществ для медленных нейтронов.** Muller Gerhard. Bestimmung der Neutronenflussdichte und einiger Wirkungsquerschnitte gegenüber langsamen Neutronen. “*Prax. Naturwiss.*”, **1961**, A10, № 5, Physik, 115–121. [РЖ 1962 1A102].

Лабораторная работа для старших школьников. Описываются способ градуировки счетного устройства при помощи естественного препарата калия, определение плотности нейтронного потока путем активации марганца (раствор перманганата калия), определение нейтронных сечений йода и индия для медленных нейтронов и некоторые другие опыты с нейтронами.

**Оборудование для ядерных исследований и обучения.** Joklik Otto. Nuclear training and research equipment. “Nucl. Energy”, 1961, Sept., 364–372. [РЖ 1962 4А66].

Описан лабораторный источник нейтронов, заключенный в специальный контейнер, позволяющий проводить различные измерения и облучать фольги. Источник поставляется с комплектом счетчиков и электронной аппаратуры. Описаны некоторые эксперименты, которые можно проводить с этим источником. Описаны автоматизированные установки для облучения образцов нейтронами и  $\gamma$ -лучами. Даны подробные конструкции облучателей разной мощности. В приложении приведена учебная программа по атомной энергии для студентов.

**Деление урана под действием тепловых нейтронов.** Работа 79. С. 471. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964. Работа 83, с. 514, 1973.

Используемый для исследования уран нанесен очень тонким слоем на поверхность медной фольги. Для собирания осколков к фольге со стороны урана прикладывается толстая бумага (коллектор). Фольга с бумагой наматывается на алюминиевый цилиндр и закрепляется с помощью резинового кольца. При измерении пробега осколков между коллектором и фольгой прокладываются слои папиросной бумаги. Исследование осколков на  $\beta$ -счетчике производится после облучения урана в парафиновом блоке. Результаты измерений представляются графически в координатах  $(\ln N, t)$ , где  $N$  — число отсчетов за 3 минуты, а  $t$  — время, прошедшее после облучения. Из графика определяется средний период полураспада. Далее исследуется пробег осколков деления, для чего между коллектором и фольгой помещается фильтр из четырех слоев тонкой бумаги. После облучения исследуется активность каждого слоя бумаги. Результаты измерений также представляются графически. В заключение выполняется проверка того, что деление урана вызывается именно тепловыми нейтронами.

**Изучение диффузии тепловых нейтронов в парафине.** Работа 80. С. 479. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964.

Измерения на установке для получения медленных нейтронов производятся с помощью серебряного детектора, приобретающего активность под действием нейтронного облучения, и  $\beta$ -счетчика, служащего для измерения активности. Пластика, служащая для измерения потока нейтронов, содержит серебро естественного изотопного состава. Пластику облучают в течение 10–15 минут и устанавливают под  $\beta$ -счетчик. Число отсчетов измеряют без перерыва, записывая отсчеты через каждые 3 минуты. Результаты измерений — за вычетом фона — изображают графически. Откладывая по оси абсцисс время, прошедшее после начала измерения, а по оси ординат — логарифм отношения числа отсчетов в данный момент к соответствующему числу в начале опыта. Из прямолинейного участка графика определяют период полураспада  $T_1$  долгоживущего изотопа. экстраполируя прямолинейный участок в сторону оси ординат, определяют

вклад долгоживущего изотопа в полную активность образца в начале опыта. Вычитая этот вклад из полной активности, находят активность, связанную с короткоживущим изотопом, и определяют его период полураспада  $T_2$ . В работе определяется альбеда (обозначается  $\beta$ ) — вероятность того, что нейтрон, пройдя через некоторую плоскость слева направо, вновь пересечет эту плоскость справа налево. Затем вычисляется величина  $n$  — среднее число раз, которое нейтроны пересекают плоскость. Вычисляются также длина поглощения нейтрона в водороде  $\lambda_c$ , длина свободного пробега нейтрона для рассеяния  $\lambda$ , диффузионная длина  $L$ .

**Исследование расщепления легких ядер нейтронами.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живописцев, Н.И. Тулинова. МГУ. 1965, 1972, 1979, 1988. Задача 4, с. 89.

Задача знакомит с фотоэмульсионным методом регистрации ядерных излучений. Рассматривается кинематический анализ реакции расщепления ядер  ${}^6\text{C}^{12}$  и  ${}^8\text{O}^{16}$  на  $\alpha$ -частицы под действием нейтронов и определяется спектр источника нейтронов по протонам отдачи.

**Определение массы нейтрона (студенческая лабораторная работа).** Banta H.E., Noakes John E. Mass of the neutron: a student exercise. "Amer. J. Phys.", 1967, 35, № 8, 739–742. [РЖ 1968 3 А89].

Предложена лабораторная работа по определению массы нейтрона для студентов физиков. Для определения массы нейтрона используется реакция захвата тепловых нейтронов ядрами водорода  $n+p=d+\gamma$ . Массы протона и дейтрона берутся из таблиц, поэтому главную неопределенность в определении массы нейтрона вносит неточность измерения энергии  $\gamma$ -кванта. Для измерения энергии  $\gamma$ -квантов предлагается использовать либо германиевый полупроводниковый детектор, либо сцинтилляционный счетчик с кристаллом NaJ(Tl). В последнем случае точность определения массы нейтрона получается более низкой. Детектор  $\gamma$ -квантов связан с 400-канальным амплитудным анализатором. Описан удобный источник тепловых нейтронов. Рекомендуются подходящие радиоактивные источники, необходимые для калибровки  $\gamma$ -спектрометров с кристаллом NaJ(Tl). Подробно изложена методика измерения  $\gamma$ -квантов полупроводниковыми детекторами. Предложенной методикой получено значение массы нейтрона  $1,0086654 \pm 0,0000008$ .

**Использование нейтронного генератора в учебной лаборатории.** Veit J.J., Lindsay R.H. Use of a neutron generator in an undergraduate laboratory. "Amer. J. phys.", 1968, 36, № 5, 432–440. [РЖ 1968 11 А97].

Для обучения студентов старших курсов ядерной физике предлагается использовать нейтронный генератор. В связи с этим обсуждаются эксперименты, которые могут служить лабораторными работами по соответствующему курсу.

**Лабораторная работа для студентов-дипломников по определению размеров ядер путем измерения полных сечений быстрых нейтронов.** Minor T.C., Martin F.D., Montgomery H.E., Jr., Okun L.M., Fowler J.L. Undergraduate experiment to find nuclear sizes by measuring total cross sections for fast neutrons. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 6, 649–654. [РЖ 1970 2 А83].

Описана лабораторная работа для студентов, специализирующихся по ядерной физике, по измерению эффективных сечений взаимодействия быстрых

нейтронов с рядом элементов. Для выполнения работы необходимы Pu–Be-источники быстрых нейтронов, стильбеновые кристаллические детекторы и соответствующая электронная аппаратура. Полученные сечения позволяют вычислить размеры ядер и в широком диапазоне массовых чисел показать независимость плотности ядер от числа нуклонов.

**Опыты по ядерной технике с нейтронной пушкой.** Bensch Friedrich, Buchtela Karl. Kerntechnische Versuche mit Neutronenhaubitzen. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, 3 6, 141–150. [РЖ 1970 3 А84].

Описан ряд опытов по ядерной технике с использованием нейтронной пушки: опыт, подтверждающий наличие ядерного излучения, серия опытов по радиационной химии (выделение  $J^{128}$  из этилийодида, облученного нейтронами; выделение  $Mn^{56}$  из марганцевокислого калия, облученного нейтронами; выделение изомеров  $Br^{80}$ ; использование метода меченых атомов для наблюдения явления диффузии веществ, находящихся в одинаковых или различных фазах; анализ смеси из Ду и Но как иллюстрация методов активационного анализа), опыты, иллюстрирующие работу ядерного реактора и защиту от радиоактивного излучения.

**Эксперимент, использующий время пролета нейтронов, предназначенный для лаборатории повышенного типа.** Robinson W.K., Nagi J.L., Duggan J.L. A time-of-flight neutron experiment for the undergraduate laboratory. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 5, 482–488. [РЖ 1970 4 А136].

Описана постановка эксперимента в лаборатории повышенного типа по изучению полного сечения взаимодействия нейтронов с веществом (Al, Cu, Fe и Pb) методом времени пролета с регистрацией сопутствующей частицы. Эксперимент предусматривает использование небольшого ускорителя типа Кокрофт-Уолтона для генерации нейтронов по реакции  $T(d, n)He^4$ . Сопутствующие  $\alpha$ -частицы регистрировались полупроводниковым детектором под углом  $180^\circ$  к направлению вылета нейтронов. Нейтроны регистрировались жидкостным сцинтилляционным детектором. Временное разрешение время-пролетной системы составляло 2 нсек. Подавление  $\gamma$ -фона дополнительно осуществлялось дискриминацией по форме импульсов от нейтронного детектора. Отмечается хорошее согласие результатов измерения полного сечения взаимодействия нейтронов с веществом в описываемом эксперименте с известными значениями. На основании результатов опыта получено соотношение для радиуса ядра  $\sim 1,3 \cdot 10^{-13}$  А.

**Измерение энергетического спектра осколков деления, вызванного нейтронами, в лаборатории повышенного типа.** French W.R., Jr., Bunting R.L. Measurement of neutron-induced, Fission-fragment energy spectra in the advanced laboratory. "Amer. J. Phys.", 1969, 37, № 6, 637–645. [РЖ 1970 4 А137].

Описан демонстрационный эксперимент по физике деления атомного ядра, предназначенный для постановки в лаборатории повышенного типа. Для эксперимента используется вакуумная камера, в которой располагаются делящееся вещество (уран с природным изотопным составом или обогащенный изотопом  $U^{235}$ ), источник нейтронов и полупроводниковый детектор осколков деления, вместо обычно используемой ионизационной камеры, и стандартная электронная аппаратура, включающая зарядочувствительный предусилитель. Подробно изложена методика калибрования поверхностно-барьерного детектора по энер-

гиям. В качестве источника нейтронов используется Pu–Be-источник активностью 5 кюри. Делящимся материалом служат тонкие пленки из двуокиси урана. Эксперимент позволяет демонстрировать основные свойства деления атомного ядра нейтронами, в частности, характерный для реакции деления двугорбый вид распределений осколков деления по массам. Отмечается, что на том же экспериментальном оборудовании можно демонстрировать спонтанное деление  $\text{Cf}^{252}$ .

**Определение мощности нейтронного источника в учебных лабораториях.** McGhee B.W., Graham W.W., I I I, Haroon M.R. Neutron source-strength determination by student laboratories. “Nucl. Appl. and Technol.”, 1970, 8, № 6, 531–535. [РЖ 1970 12 A73].

Описан метод определения выхода нейтронов  $Q$  (нейтрон/сек) для нейтронных источников Pu–Be,  $\text{Cf}^{252}$  и др. Источник помещается в центре цилиндрического контейнера диаметром и высотой  $\sim 40$  см, заполненного дистиллированной водой, в которой растворено  $\sim 2.3$  кг  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и 150 г  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . На поверхности контейнера располагается  $\sim 10$  In-фольг. Время облучения  $\geq 24$  ч. С помощью  $\gamma$ -спектрометра определяется активность  $\text{Mn}^{56}$  и активность In-фольг (контроль утечки нейтронов из контейнера). Точность определения  $Q$  составляет  $\pm 5\%$ . Метод определения  $Q$  использован в лабораторном практикуме.

**Нейтронный генератор для обучения студентов старших курсов.** Oldham G., Roxon D.W., Ware A.R. The neutron generator in undergraduate teaching. “Nucl. Instrum. And Meth.”, 1971, 92, № 4, 619–620. [РЖ 1971 12 A135].

Рассмотрим возможность использования нейтронного генератора Kaman 1003A в учебных целях. Нейтроны образуются в реакции  $\text{T}(d, n)^4\text{He}$  в титантриетивой мишени. Пиковое значение выхода нейтронов составляет  $10^{11}$  нейтрон/сек. Радиоактивность, наведенная в исследуемых образцах, регистрируется сцинтилляционным счетчиком с кристаллом  $\text{NaJ}(\text{Tl})$  и многоканальным анализатором. Даются методические указания по вопросам использования нейтронного генератора для изготовления короткоживущих изотопов; для изучения ядерных реакций, вызванных нейтронами; для проведения активационного анализа, а также для изучения радиационных повреждений при относительно низких дозах облучения.

**Учебные эксперименты по дифракции нейтронов на реакторе Лондонского университета.** Alston W.C.H. Teaching experiments in neutron diffraction at the University of London reactor. “Phys. Educ”, 1971, 6, № 6, 413–417. [РЖ 1972 3 A67].

Для иллюстрации принципов дифракции нейтронов при обучении студентов на физическом факультете был разработан недорогой нейтронный спектрометр, при помощи которого можно было выполнять следующие эксперименты: 1) применение методов дифракции нейтронов для измерения максвелловского распределения по энергиям; 2) измерение зависимости полного сечения нейтронных реакций от энергии, обнаружение резонансных пиков; 3) изучение процессов рассеяния нейтронов. Подробно описана экспериментальная аппаратура, методика исследований и результаты, полученные в каждом опыте.



**Исследование реакций расщепления легких ядер нейтронами.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, **1972, 1979**. Лаб. работа 7. С. 119.

В задаче проводится кинематический анализ реакций расщепления ядер  $^{12}\text{C}_6$  и  $^{16}\text{O}_8$  на  $\alpha$ -частицы под действием нейтронов и определяется спектр нейтронов по протонам отдачи на основе фотоэмульсионного метода регистрации.

**Некоторые соображения о нейтронных источниках для учебных целей.** Bodemann M., Wiesemes J. Überlegungen zu einer Neutronenquelle für Ausbildung und Unterricht. "Naturwiss. Unterr.", **1972**, 20, № 5, 199–201. [РЖ 1972 12 A102].

Перечислены типы лабораторных работ, в которых используются нейтронные источники. Рассмотрены основные источники нейтронов: ядерные реакторы, ускорители, радиоактивные источники. Отмечается, что по соображениям удобства использования и стоимости для учебных целей наиболее пригодны радиоактивные источники нейтронов. Приведены основные ядерные реакции, в которых образуются свободные нейтроны. Описана конструкция радиоактивных источников нейтронов. Обсуждаются критерии, которым должны удовлетворять радиоактивные нейтронные источники, применяемые для учебных целей.

**Учебный нейтронный генератор в обучении.** Gueth Sandor, Kurucz Istvan, Pongracz Csaba, Sukosd Csaba. Neutrongenerator az oktatásban. "Fiz. szemle", **1973**, 23, № 8, 251–254. [РЖ 1974 8 A110].

Обсуждается 3-летний опыт работы студентов-физиков с нейтронным генератором на лабораторных занятиях. Изучаемый материал объединяется в 3 темы: 1) знакомство с генератором как установкой; 2) изучение нейтронного генератора как источника нейтронов; 3) опыты с 14-МэВ нейтронами. В рамках этих тем студенты знакомятся с работой вакуумного насоса и проводят измерения его параметров, изучают источник ионов генератора и ионную оптику, измеряют распределение нейтронного потока и его абсолютную величину и определяют силу излучения генератора, измеряют энергию нейтронов и потерю энергии при неупругом столкновении на углеродной мишени.

**Нейтронная активация и  $\gamma$ -спектроскопия на службе у археологии; лабораторный проект.** Smyth A.J.M. Where angels fear to tread. "Phys. Educ.", **1974**, 9, № 5, 352–356. [РЖ 1974 12 A94].

Описана лабораторная работа по нейтронной активации и  $\gamma$ -спектроскопии для проведения исторического и геологического анализа. Подробно описана процедура активации исследуемых образцов, методика выполнения эксперимента и обработки результатов. При выполнении эксперимента полностью соблюдается техника безопасности, предъявляемая к таким исследованиям. Отмечается, что использование более современного лабораторного оборудования позволит значительно сократить длительность выполнения эксперимента.

**Нейтронная активация марганца в двуокиси марганца.** Rophael M.W., Malati M.A. Neutron activation of manganese in manganese dioxide. "Prax. Naturwiss.", 1974, Teil 1, 23, № 10, 262–265. [РЖ 1975 4 А108].

Описана методика опыта, иллюстрирующего принципы нейтронной активации. В большинстве описанных опытов используется спектрально чистая  $MnO_2$ , преимущественно в  $\beta$ -форме. Образцы  $MnO_2$ , упакованные в полиэтиленовые трубки диаметром 1,6 мм, активировались нейтронами, образующимися в реакции  ${}^9Be$  с  $\alpha$ -частицами и замедленными до тепловых скоростей слоем парафина толщиной  $\sim 5$  см. В качестве источника  $\alpha$ -частиц использовался радиоактивный изотоп  ${}^{241}Am$ . Активность  ${}^{56}Mn$  измерялась по  $\beta$ -излучению с помощью гейгер-мюллеровского счетчика. Приводятся результаты опытов для различных образцов.

**Определение энергии нейтронов по протонам отдачи.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, 1979, 1988. Лаб. работа 10, с. 145.

Наиболее наглядными способами регистрации нейтронов по протонам отдачи являются методы пузырьковой камеры и ядерных эмульсий, где следы протонов отдачи непосредственно видны соответственно в виде цепочки пузырьков или зерен проявленного серебра. В настоящей лабораторной работе предлагается метод ядерных фотоэмульсий. Энергия протонов отдачи определяется на основании графика зависимости энергии протонов от длины следа в ядерной эмульсии.

**Радиальное распространение потока нейтронов с низкой энергией.** Radial flux distribution of low-energy neutrons. Higinbotham J. "Amer. J. Phys.", 1979, 47, № 8, 730–734. [РЖ 1980 3 А108].

Приведено описание экспериментальной установки, предназначенной для измерения радиального распределения потока нейтронов, возникающих при замедлении в дистиллированной воде быстрых нейтронов  $Am-Be$ -источника. Установка предназначена для учебных целей; большое внимание было уделено обеспечению ее радиационной безопасности. Измерения потоков нейтронов проводились активационным методом с использованием  $In$ -индикатора. Обработка результатов измерений позволяет получить среднеквадратичное значение расстояния от источника  $\langle r^2 \rangle$ , на котором поток нейтронов с низкой энергией имеет максимальное значение. Измеренное значение  $\langle r^2 \rangle$  сравнивается с результатами расчетов распределения потока нейтронов в диффузионном приближении. Показано, что наблюдаемое пространственное распределение потока нейтронов может быть условно разделено на две области. Для  $r > 16$  см распределение потока медленных нейтронов хорошо описывается диффузионно-возрастным приближением Ферми, а для  $r < 16$  см это распределение хорошо совпадает с результатами расчетов в приближении одного столкновения.

**Измерения периодов полураспада нейтронно-активных веществ.** Neutron-activated sources for half life experiments. Ahmad Roedar, Mian Hayat-Ullah. "Pakistan J. Sci.", **1980**, 32, № 1–2, 72–77. [РЖ 1981 12 A215].

Описываются эксперименты и приводятся данные по определению периодов полураспада радиоактивных веществ, испускающих нейтроны. Выбор источника определялся активностью составляющих его изотопов и зависел от сечения захвата нейтронов. Были определены периоды полураспада для  ${}_{46}\text{In}^{116}$  для изотопов  ${}_{47}\text{Ag}^{110}$  и  ${}_{47}\text{Ag}^{108}$ , для изотопа  ${}_{29}\text{Cu}^{64}$ . Рассмотрены также соединения с изотопами  ${}_{13}\text{Al}^{28}$ ,  ${}_{17}\text{Cl}^{38}$ ,  ${}_{29}\text{Cu}^{66}$ .

**Количественные эксперименты по активации с школьным источником нейтронов.** Quantitative Aktivierungsexperimente mit einer Schulneutronenquelle. Bormann Manfred, Kramer Klaus, Reichert Peter. "Phys. Und Didakt.", **1987**, 15, 3 2, 132–148. [РЖ 1988 2 A99].

Изложена теория активации, т. е. получения радиоактивного образца при облучении нейтронами. Как правило, активированные образцы  $\beta$ -радиоактивны. Описан способ изготовления образцов в виде полых цилиндров, в которые помещается стеклянный счетчик. В опытах использованы порошки ванадия, двуокиси марганца, иодоформа, дающие после активации радионуклиды с малым периодом полураспада. Связь частоты импульсов и активности препарата содержит вероятность регистрации счетчиком акта распада, которая является произведением пяти физических и геометрических факторов в экспериментах с использованием стандартных образцов — солей калия. Приводятся результаты измерения активности облученных образцов и плотности потока нейтронов из источника. Эксперименты имеют точность 10–15%.

**Нейтронный интерферометр.** Neutronski interferometr. Drevensek Y. "Obz. Mat. In fiz.", **1988**, 35, № 1–2, 55–59. [РЖ 1988 5 A100].

Описано устройство и принцип действия нейтронного интерферометра, с помощью которого можно поставить все основные эксперименты при изучении вводного курса квантовой механики. В интерферометре падающий пучок тепловых нейтронов расщепляется монокристаллом на два когерентных пучка, которые проходят различные пути и при наложении интерферируют. Один из пучков пропускают через магнитное поле или какое-то вещество и затем измеряют результирующий фазовый сдвиг.

**Изучение волновой оптики с помощью холодных нейтронов.** Wave-optical experiments with very cold neutrons. Gahler R., Zeilinger A. Amer. J. Phys. **1991**. 59. № 4. С. 316–324. [РЖ 1992 8 A140].

Описан набор экспериментов по точному измерению дифракции медленных нейтронов, аналогичных классическим экспериментам по дифракции света, включая дифракцию на краю непрозрачного экрана, на непрозрачной проволоке, на одной и двух щелях. На сегодня нейтроны — самые тяжелые частицы, на которых возможно сравнение эксперимента с теорией волн де Бройля. Результаты экспериментов с высокой точностью подтверждают выводы теории Френеля-Кирхгофа. Интенсивность использованных в эксперименте нейтронных пучков

была настолько мала, что обеспечивала наблюдение дифракционной картины от двух нейтронов. Описание методики экспериментов и анализ полученных результатов даны на уровне изложения материала в курсе общей физики.

**Создание модулярной нейтронной установки: коллаборационный подход к исследованиям студентов последнего года обучения.** Fabrication of a modular neutron array: A collaborative approach to undergraduate research. Howes R.H., Baumann T., Thoennessen M. a. o. *Amer. J. Phys.* **2005**. 73, № 2. 122–126. [РЖ 2006 06–18А.141].

При взаимодействии нескольких физических факультетов для студентов последнего года обучения завершено создание модулярной нейтронной установки – высокоэффективного время-пролетного детектора. Эта установка предназначена для использования в реконструируемом циклотронном комплексе Национальной сверхпроводящей циклотронной лаборатории. Коллаборация демонстрирует способ включения студентов небольших физических факультетов в исследования по ядерной физике и физике частиц, физике конденсированного состояния, биофизике и астрономии на большом оборудовании.

## Глава 9. ПОЗИТРОНЫ

**Измерение энергии Ферми с помощью аннигиляции позитронов в студенческом лабораторном практикуме.** McGervey John D. Student measurement of Fermi energy by positron annihilation. “Amer. J. Phys.”, **1963**, 31, № 9, 713–718. [РЖ 1964 3 А98].

Угловая корреляция излучения при аннигиляции позитронов в поликристаллическом металле дает величину энергии Ферми электронов проводимости, находящуюся в отличном согласии с моделью свободного электронного газа. В статье описано устройство, с помощью которого студент, работающий в проблемной лаборатории, за 2 часа счетного времени может провести измерения и получить величину импульса Ферми с точностью до 3%.

**Высокотемпературная установка для изучения аннигиляции позитронов.** Burton L.D., Huang W.F. A high-temperature apparatus for positron annihilation studies. “Amer. J. Phys.”, **1978**, 46, № 11, 1199–1200. [РЖ 1979 5 А96].

Угловые зависимости распределения фотонов, образующихся при аннигиляции низкоэнергетических позитронов в металле, отражают распределение импульсов электронов. В присутствии дефекта в изучаемом материале форма угловой зависимости искажается, что свидетельствует об изменении концентрации дефектов в образце. Описана лабораторная установка для проведения подобных исследований.

**Лабораторная работа по ядерной физике.** Димитров Христо, Христова Хайгануш. Лабораторна работа по ядрена физика. “Физика” (НРБ), **1978**, 3, № 2, 12–15. [РЖ 1978 9 А90].

Описана лабораторная работа для старших классов гимназии по изучению следов заряженных частиц, полученных в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле. Целью работы является определение импульса и энергии позитрона на основе измерения по фотографии радиуса кривизны его траектории в магнитном поле.

**Простая экспериментальная установка для демонстрации основ позитронной эмиссионной томографии.** A simple experimental setup to demonstrate the basics of positron emission tomography. Sonnabend K., Bayer W., Mohr P., Zilges A. *Amer. J. Phys.*, **2002**. 70, № 9. 929–934. [РЖ 2003.06–18А.171].

## Глава 10. ДЕЙТРОНЫ

**“Эксперимент” по изучению Резерфордского упругого рассеяния.** Duggan Jerome L., Yegge John F. a Rutherford elastic scattering “experiment”. “J. Chem. Educ.”, 1968, 45, № 2, 85–87. [РЖ 1968 12 А96].

Описан эксперимент учебного характера по изучению упругого рассеяния заряженных частиц атомными ядрами. Дейтронами, ускоренными на каскадном генераторе до энергии 150 кэВ, бомбардировалась никелевая мишень. Рассеянные частицы регистрировались полупроводниковым детектором. Подробно рассмотрены вывод пучка дейтронов из ускорителя, камера рассеяния, методика измерения дифференциального сечения рассеяния, обработка результатов эксперимента и сравнение их с теоретической зависимостью, даваемой формулой Резерфорда.

**Энергия связи дейтрона. Лабораторный эксперимент.** Mudhole T.S., Umakantha N. Binding energy of the deuteron: a laboratory experiment. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 1, 104–105. [РЖ 1975 7 А102].

Для определения энергии связи дейтрона предлагается измерять энергию  $\gamma$ -квантов, излучаемых при захвате нейтронов протонами. Используется источник нейтронов  $^{241}\text{Am}-\alpha\text{-Be}$  ( $T_{1/2}=458$  лет), который испускает  $10^5$  нейтронов/сек. Источник находится в центре стеклянного сосуда с дистиллированной водой емкостью 5 л. Источник экранируется свинцовым диском толщиной 1 мм. Для экранирования от тепловых нейтронов детектор  $\text{NaJ(Tl)}$  покрывается порошком  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  толщиной 3 см. Импульсы с ФЭУ, соединенного с детектором, подаются на многоканальный анализатор. Система калибруется по энергиям с помощью источников  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{65}\text{Zn}$ . Наблюдаемый в эксперименте поток моноэнергетических  $\gamma$ -квантов с энергией 2,22 МэВ определяется захватом нейтронов протонами, и соответствует энергии связи дейтрона 2,22 МэВ.

## Глава 11. z-БОЗОНЫ

**Рождение и распад z-бозонов — лабораторная работа нового поколения.** Гончарова Н.Г., Джигоев А.А., Ишханов Б.С., Сивоклоков С.Ю., Смиронова Л.Н. *Физ. образ. в вузах.* **2001.** 7, № 1. 49–58,130. [РЖ 2002 02–18А.117].

Преподавание физики высоких энергий как составной части курса “Физика ядра и частиц” (последней главы общего курса физики) сталкивается с проблемой организации физического практикума по этому разделу физики, поскольку реальные экспериментальные исследования в этой области связаны с действием грандиозных измерительных комплексов, базирующихся на ускорителях высоких энергий. Выходом из этой ситуации является использование компьютерной имитации регистрации частиц, рождающихся на современных ускорителях. В статье дано краткое описание лабораторной работы по изучению распадов Z-бозонов по лептонным каналам в физике высоких энергий. В работе используется многофункциональный пакет программ, созданный в международном центре CERN для анализа и моделирования процесса регистрации протон-протонных соударений в коллайдере LHC при помощи детектора ATLAS. Дается описание порядка выполнения работы на компьютере.

## Глава 12. КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

**Индикатор радиоактивных и космических лучей.** Смилов Г. Регистратор на радиоактивни и космични лъчи. “Матем. и физика” (Бълг.), 1963, 6, № 6, 49. [РЖ 1964 5 А102].

Описывается самодельный прибор для регистрации радиоактивного и космического излучения, состоящий из Гейгер-мюллеровского счетчика, сопротивления порядка 5–10 МОм, блока конденсаторов емкостью 20 нФ и телефона.

**Исследование схемы распада  $\pi$ -мезонов.** Работа 73. С. 434. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964. Работа 75, с. 450, 1973.

Для исследования различных ядерных процессов и превращений удобно пользоваться специальными (ядерными) фотографическими эмульсиями. Фотопластинки, используемые в настоящей работе. Облучены на синхротроне потоком  $\pi$ -мезонов с энергией около 50 МэВ. Их почти параллельные друг другу треки хорошо видны на пластинке и при внимательном наблюдении легко могут быть отличены от треков посторонних заряженных частиц. Для измерений в фотоэмульсии используется биологический бинокулярный микроскоп МБИ. Измерения проводят с окуляром 10 $\times$  и объективом 10 $\times$ . До начала основных измерений рассчитывается ожидаемая величина энергии, передаваемая  $\mu$ -мезону при  $\pi$ - $\mu$ -распаде. По найденной величине энергии следует определить ожидаемый пробег  $\mu$ -мезона и сопоставить этот пробег с шириной поля зрения микроскопа. Для каждого случая  $\pi$ - $\mu$ -распада из всех произведенных измерений вычисляется среднее значение пробега. Полученные результаты изображаются на графике, по оси абсцисс которого наносятся пробеги в микронах, а по оси ординат — число случаев, в которых пробег лежит внутри данного интервала. График состоит, таким образом, из ряда прямоугольников, основания которых равны длине выбранного интервала пробегов (в нашем случае 25 мкм), а высота равна числу наблюдаемых случаев. Такой график называется гистограммой. Вид гистограммы указывает на схему распада  $\pi$ -мезона. Если  $\pi$ -мезон распадается на две частицы, то все пробеги  $\mu$ -мезонов должны лежать в узком интервале значений: на гистограмме должны резко выделиться один или два прямоугольника, а высота остальных должна быть существенно меньше. Вычисляется средний пробег и энергия  $\mu$ -мезонов.

**Исследование кривой поглощения космических лучей.** Работа 77. С. 463. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964. Работа 78, с. 471, 1973.

Установка для измерения кривой поглощения состоит из трех рядов счетчиков и схемы совпадений марки ССА. Нити счетчиков каждого ряда соединены друг с другом и через сопротивление  $R$  подключены к земле. Сигналы от каждого из рядов счетчиков через емкость  $C$  подаются на соответствующий вход схемы совпадений. Используемая установка сконструирована так, что она способна регистрировать только те частицы, которые летят внутри определенного телес-



ного угла. Переключив схему ССА на счет тройных совпадений, определяют число отсчетов в отсутствие свинцового фильтра. Затем, устанавливая над нижним рядом счетчиков свинцовые пластинки, точка за точкой снимается кривая поглощения космических лучей. При каждой толщине фильтра следует набирать не менее 100 отсчетов. Строится график зависимости числа отсчетов от толщины фильтра. Из графика вычисляются коэффициенты поглощения для мягкой и жесткой компонент космического излучения (по участкам 0–4 и 8–12 см).

**Исследование углового распределения космических лучей.** Работа 78. С. 468 Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964. Работа 79, с. 477, 1973.

Основной целью работы является проверка эмпирической формулы  $I(\theta) = I_0 \cos^2 \theta$ . В этой формуле  $I(\theta)$  — интенсивность космического излучения, составляющего с вертикалью угол  $\theta$ ,  $I_0$  — значение  $I(\theta)$  для угла  $\theta = 0$ . В предлагаемой работе угловое распределение космических лучей исследуется с помощью телескопа, состоящего из двух рядов счетчиков Гейгера типа СГ-5. Результаты опыта изображаются в координатах  $I(\theta)$ ,  $\cos^2 \theta$ . В этих координатах приведенная выше формула имеет вид прямой линии.

**Определение магнитного момента  $\mu$ -мезонов космических лучей.** Amsler C. The determination of the muon magnetic moment from cosmic rays. “Amer. J. Phys.”, 1974, 42, 3 12, 1067–1069. [РЖ 1975 6 А127].

Описан эксперимент по определению магнитного момента  $\mu$ -мезона космических лучей, проводимый студентами в лаборатории по физике элементарных частиц. Поляризованные космические  $\mu$ -мезоны тормозятся в Си-мишени, которая расположена в известном магнитном поле. Магнитное поле создается катушкой (1000 витков) размерами 100×63×10 см. Размеры Си-мишени 80×63×2,5 см. С помощью сцинтилляционных детекторов размерами 80×55×2 см измеряется угловое распределение позитронов распада в зависимости от времени. Описана используемая логическая схема, дана характеристика преобразователя время–амплитуда. Показано, что магнитный момент  $\mu$ -мезона может быть определен с точностью  $\pm 5\%$ . Описанный эксперимент знакомит студентов с законом о несохранении четности, с поляризацией космических лучей, с предсказанием Дирака магнитных моментов лептонов.

**Счетчик на интегральных схемах для экспериментов с космическими лучами.** Gould C. R., Ives R. L. Integrated circuit counter for cosmic ray experiments. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 10, 918–920. [РЖ 1976 3 А112].

Описано экспериментальное оборудование, предназначенное для изучения космических лучей и состоящее из 2 счетчиков Гейгера, схемы совпадений, пересчетного устройства и дисплея на светодиодах. Счетчики Гейгера установлены вертикально на поверхности А1-ящика, поворачивающегося вокруг вертикальной оси в диапазоне  $0^\circ$ – $90^\circ$ . Приведена принципиальная схема электронной части счетчика, использующая интегральные схемы с транзисторной логикой с транзисторными связями типа 7400. Описан принцип ее работы. Кратко описана методика проведения эксперимента.

**Работа практикума “Исследование космического фона и радиоактивных излучений при помощи газоразрядного счетчика”.** Иванов А.К., Безродных И.П. В сб. “Некоторые вопр. физ.” Якутск, **1975**, 59–64. [РЖ 1976 7 A142].

Приводится содержание лабораторной работы. Отмечается, что применение различных экранов, схемы совпадений и различных индикаторов повышает эффективность работы практикума.

**Измерение угла испускания черенковского излучения для релятивистских частиц в воде.** Grupen Claus, Zech Gunner. Messung des cerenkov-Winkels fur relativistische Teilchen in Wasser. “Phys. Und Didakt.”, **1976**, 4, 3 3, 224–232. [РЖ 1977 7 A117].

Описана установка лабораторного практикума по измерению угла испускания черенковского излучения в воде мюонов космического излучения, интенсивность которых на уровне моря  $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ . Регистрация пролета частиц в нужном направлении осуществляется по схеме тройных совпадений (счетчика Черенкова и двух сцинтилляционных счетчиков). Регистрация излучения производится фотоумножителем. Угол испускания излучения вычисляется из зависимости вероятности срабатывания счетчиков от расстояния фотоумножителя до линии пролета частицы. При теоретическом значении  $\theta$  для ультрарелятивистских частиц  $41,3^\circ$ . Экспериментально полученное значение  $43^\circ$ .

**Простой метод определения времени жизни  $\mu$ -мезонов в космических лучах.** Owens A., Macgregor A.E. Simple technique for determining the mean lifetime of the cosmic ray  $\mu$ -meson. “Amer. J. Phys.”, **1978**, 46, № 8, 859–860. [РЖ 1979 1 A128].

Проводится описание метода определения времени жизни  $\mu$ -мезонов. Экспериментальная установка состоит из сцинтиллятора, фотоумножителя, усилителя импульсов, дискриминатора, управляющего логического элемента, преобразователя импульсов и анализатора. Отмечается преимущество этого метода по сравнению с методом, основанным на схеме совпадений.

**Лабораторная работа по определению времени жизни мю-мезона.** Laboratory study of the cosmic ray muon lifetime. Ward T., Barker M., Breeden J., Komisarck K., Pickar M., Wark D., Wiggins J. “Amer. J. Phys.”, **1985**, 53, № 6, 542–546. [РЖ 1986 3 Ф115].

Описан лабораторный эксперимент, предназначенный для студентов-физиков старших курсов. Определяется время жизни мю-мезона в пустоте и время жизни до захвата ядрами различных сред с  $Z = 3$  до  $Z = 92$ . Зависимость от  $Z$  определяется сравнением результатов, полученных с помощью детекторов различных типов (пластиковых и жидких сцинтилляторов, Pb-стекла и воды) с различными растворенными веществами. Водный детектор признан идеальным детектором для учебных экспериментов.

**Физика и измерения космического излучения.** Physics and measurements of cosmic radiation. Fujitaka K.J. *Radiat. Res.* **2000**. 41, 3 4. 395. [РЖ 2003 07–18A.173].

**Космические лучи в учебной лаборатории физики.** Гладун А.Д., Игошин Ф.Ф., Ципенюк Ю.М. *Физ. образ. в вузах.* 2002. 8, № 4, 33–35, 153. [РЖ 03.12–18А182].

Описаны достаточно простые лабораторные работы по ядерной физике, которые могут проводиться с помощью исследования космического излучения в рамках курса физики в высших учебных заведениях любого направления. Они позволяют студентам познакомиться как с основными свойствами частиц космического излучения и особенностями их взаимодействия с веществом, так и такими фундаментальными понятиями как сечение ядерной реакции, ионизационные и радиационные потери энергии заряженными частицами, процессами распада и рождения элементарных частиц. Кроме того, студенты знакомятся с методами регистрации заряженных частиц и дозиметрией излучения. Измерения проводятся стандартным газовым счетчиком Гейгера-Мюллера, выходные импульсы с которого поступают в компьютер для накопления и дальнейшей обработки полученной информации. В статье приведены схемы некоторых более сложных по своему техническому уровню работ, которые могут также успешно применяться в учебной лаборатории.

**Изучение космических лучей в физическом практикуме МГТУ им. Н.Э. Баумана.** Граменицкий П.В. *Физ. образ. в вузах.* 2003. 9, № 2. 76–83, 127. [РЖ 2003 03–18А.159].

Общий физический практикум 2 курса радиотехнического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана имеет несколько задач по измерению потока и изучению свойств космических лучей (КЛ) на поверхности Земли. 1) Изучение состава КЛ. Разделение мягкой и жесткой компонент КЛ, определение коэффициентов поглощения. 2) Изучение углового распределения КЛ. 3) Измерение полного потока КЛ. В статье описаны лабораторные работы общего физического практикума по изучению космических лучей, сочетающие реальные измерения и компьютерное моделирование. Описана аппаратура, обсуждается методика измерений, а также перспективы использования описанных установок в спецпрактикуме.

**Практикум по физике космических лучей.** Ред. Ильина Н.П. и др. М.: Изд-во УНЦ ДО. 2004. 195 с. [РЖ 2005 01–18А.161].

Пособие содержит описание лабораторных работ, имеющихся в практикуме по физике космических лучей. Дано теоретическое введение, описаны экспериментальные методы, приведены сведения об используемой аппаратуре, приемы измерений и обработки результатов, в том числе и с помощью специальных компьютерных программ. Тематика лабораторных работ как традиционно космическая, связанная с изучением свойств космического излучения, так и ядерно-физическая, когда космические частицы используются как источник частиц высоких энергий. В практикум включены задачи, в которых изучаются процессы под действием частиц высоких энергий, полученных на современных ускорителях. Издание предназначено для студентов физического факультета МГУ и слушателей факультета повышения квалификации.

**Космическая научно-образовательная программа МГУ.** Красоткин С.А., Панасюк М.И., Радченко В.В. *Труды 8 Межд. учебно-методич. Конф. “Совр. физ. практ-м”*, Москва, 22–24 июня, 2004. М., 2004. 40. [РЖ 2006 01–18А.157].

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова приступил к реализации космической научно-образовательной программы “МГУ-250”, приуроченной к 250-летию Московского университета в 2005 году. Программа включает в себя разработку, создание и запуск малого космического аппарата. На базе производимых на борту космического аппарата измерений разрабатывается набор задач практикума, которые предназначены как для студентов, специализирующихся в области космофизики, геофизики и астрономии, так и для студентов младших курсов, старшеклассников. Задачи специального космофизического практикума строятся по принципу самостоятельной работы студентов с полученными с борта спутника данными об измерении потоков заряженных частиц, а также магнитных полей. Для старшеклассников и студентов младших курсов создается цикл электронных лабораторных работ-демонстраций, позволяющих на основе полученных с борта спутника данных о потоках заряженных частиц и магнитных полей проиллюстрировать физические процессы, происходящие в ближнем космосе, причем в режиме квазиреального времени. В дополнение к разрабатываемым задачам готовится базисный мультимедийный курс “Жизнь Земли в атмосфере Солнца”.

**Компактная аппаратура для измерения времени жизни мюонов и демонстрации растяжения времени в лабораторной работе для студентов.** A compact apparatus for muon lifetime measurement and time dilation demonstration in the undergraduate laboratory. Coan T., Liu T., Ye J. *Amer. J. Phys.* 2006. 74, № 2. 161–164. [РЖ 2007.09–18А.152].

**Измерение температуры звезд: астрофизическая лаборатория для студентов.** Measuring stellar temperatures: An astrophysical laboratory for undergraduate students. Cenadelli D., Zeni M. *Eur. J. Phys.* 2008. 29, № 1. 113–121. [РЖ 09.02–18А.122].

**Измерения космических лучей сцинтилляторами с металлическими резисторными полупроводниковыми лавинными фотодиодами.** Cosmic ray measurements by scintillators with metal resistor semiconductor avalanche photo diodes. Blanco F., La Rocca P., Riggi F. a. o. *Phys. Educ.* 2008. 43, № 5. 536–539. [РЖ 10.05–18А.91].

### Глава 13. КАМЕРА ВИЛЬСОНА

**Камера Вильсона, сконструированная студентами старших курсов.** Таннер (An advanced laboratory project: Construction of a Wilson cloud chamber. Tanner Raymond L.), *Amer. J. Phys.* **1958**, 26, № 1, 12–13. [РЖ 1958 № 12 26655].

Автор подробно описывает устройство камеры. Камера заполняется парами спирта, поле создается батареей на 45 В. При работе с камерой уже через 5–10 сек. можно получить фотографии туманных следов частиц, например,  $\alpha$ -частиц, испускаемых  $\text{Pu}^{239}$ .

**Простая камера Вильсона.** Эхтнер (Eine einfache Expansions nebelkammer aus Aufbauteilen. Aechtner Gerhard), *Math. Und Phys. Schule.* **1959**, 6, № 9, 487–493. [РЖ 1960 № 7 15815].

Камера Вильсона представляет собой стеклянный колпак, установленный на диске с отверстием в центре. Воздух из камеры откачивают через отверстие в диске ручным поршневым насосом, уплотнителем служит кольцевая резиновая прокладка. Внутри камеры находится толстое кольцо из войлока, смоченное смесью метилового спирта и воды (1:1) и покрытое зачерненным алюминиевым диском (для того, чтобы следы частиц были более контрастными). На черный диск помещают радиоактивный препарат. При откачивании воздуха в камере возникает радиальное движение пара, в котором отчетливо видны следы ионизирующих частиц. Для уничтожения фона внутри камеры к потолку приклеивают алюминиевое кольцо, а к диску — алюминиевую шайбу, на которые подается разность потенциалов порядка 100–400 В.

**Модель камеры Вильсона и ядерных фотоэмульсий.** Кауан (Dust-track model of cloud chamber and nuclear emulsion events. Cowan E. W.), *Amer. J. Phys.*, **1959**, 27, № 2, 118. [РЖ 1959 № 12 26463].

Моделью камеры Вильсона или ядерных фотоэмульсий служит стеклянная пластина, покрытая сухим порошком мела; моделями заряженных частиц, атомов и молекул — металлические диски и железные кубики. Располагая на пути движущихся частиц различные препятствия и помещая их в магнитное поле, можно имитировать явления ионизации, рассеяния и другие виды ядерных взаимодействий. Следы перемещения частиц проектируются на экран.

**Опыты, демонстрирующие процессы, происходящие в камере Вильсона.** Kolb Josef. Handversuche zur Erklärung der Funktionsweise der Wilsonschen Nebelkammer. “Prax. Naturwiss.”, **1961**, A10, № 2, Physik, 39–40. [РЖ 1961 11A111].

Для проведения опытов используется круглая колба, закрытая резиновой пробкой, в которую вставлена стеклянная трубочка с краном. Колба на  $\frac{1}{4}$  напол-

няется дистиллированной водой. Если ввести в колбу небольшое количество дыма, сжать воздух и затем дать ему возможность быстро расшириться, над водой образуется туман. Если же производить сжатие и расширение воздуха в колбе в отсутствие дыма, то туман не образуется. Таким образом, опыт свидетельствует о том, что конденсация водяных паров происходит в том случае, когда в воздухе имеются ядра конденсации. Вместо дыма в колбу можно ввести проволоку с радиоактивным препаратом.

**Фотографирование следов заряженных частиц в камере Вильсона.** Funk Helmut. Nochmals: Nebelkammeraufnahmen. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 4, Physik, 99–101. [РЖ 1962 1A100].

В связи с тем, что установка для проектирования и фотографирования следов заряженных частиц в камере Вильсона (РЖФиз, 1960, № 12, 31764) требует больших затрат, описывается более простой метод фотографирования.

**Самодельная камера Вильсона.** Bezler Robert. Nebelkammer-Aufnahmen mit einfachen Schulmitteln. "Prax. Naturwiss.", 1961, A 10, № 8, Physik, 226–231. [РЖ 1962 3A84].

Описывается устройство самодельной камеры Вильсона, при помощи которой можно фотографировать следы слабо ионизирующих заряженных частиц: фотоэлектронов, быстрых и медленных электронов, испускаемых препаратом радия и др.

**Новая камера Вильсона непрерывного действия.** Kontinuierliche Nebelkammer in neuer Ausführung. "Leybold-Welle", 1961, 2, № 8, 19–23. [РЖ 1963 12 A82].

Описывается устройство простой камеры Вильсона непрерывного действия, которая может работать в течение нескольких часов.

**Непосредственная проекция явлений, происходящих в камере Вильсона.** Richter Walter, Eggert Ewald. Die unmittelbare Projection der Vorgänge in der Nebelkammer. "Math. Phys. Schule", 1963, A10, № 2, 172–175. [РЖ 1963 10A110].

Описана специально сконструированная камера, дающая резкие следы и в то же время позволяющая проектировать происходящие в камере явления на экран. Приведены фотоснимки камеры и изображения следов на экране.

**Несколько простых диффузионных камер Вильсона.** Melcher Horst, Glaser Manfred. Einige einfache Diffusionsnebelkammern. "Prax. Naturwiss.", 1963, A12, № 6, Physik, 141–145. [РЖ 1964 1 A95].

Описывается устройство нескольких самодельных диффузионных камер Вильсона: 1) диффузионная камера из коробки из прозрачного органического стекла, 2) диффузионная камера из сосудов Бехера, 3) диффузионная камера для практических занятий, 4) диффузионная камера с непрерывным подводом охлаждающего вещества. Приведены фотографии и чертежи.

**Камера Вильсона для специального физического практикума в педагогическом институте.** Соловьев А.Н. "Изв. высш. учеб. заведений. Физика", 1963, № 6, 58–61. [РЖ 1964 6 A98].

Описывается устройство простой и удобной в работе камеры Вильсона с автоматическим управлением, сконструированной в Черкасском педагогическом институте из имеющихся в продаже или легко изготавливаемых деталей и узлов.

**К фотографированию следов в камере Вильсона.** Seus Erwin. Photographie von Nebelkammerbildern. "Prax. Naturwiss.", 1965. A 14, № 5, Physik, 130–131. [РЖ 1966 1 А77].

Предназначенное для физических практикумов устройство фотографирования следов частиц состоит из поршневой расширительной камеры, контактного релейного устройства, которое в момент расширения камеры включает электрическую лампу, и системы формирования луча света, проходящего сквозь камеру. Использование реле позволяет производить фотографирование не сразу после расширения камеры, а с некоторой задержкой, регулируемой упругостью пружинного контакта реле.

**Определение радиуса ядра атома по длине пробега ядер атомов гелия в камере Вильсона.** Sabak Ivan. Urceni polomeru jadra atomu z doletu helionu v mlznej komore. "Fiz. skole", 1967, 5, № 9, 401–408. [РЖ 1968 1 А82].

Приводится расчет радиуса ядра атома, исходя из предположения, что кинетическая энергия выбрасываемых ядер He равна энергии электростатического отталкивания их от ядра, а также исходя из формулы де-Бройля для длины волны частицы. Описана методика проведения опыта по определению длины пробега частицы в камере Вильсона, приведен числовой пример на вычисление радиуса ядра и рассмотрены причины, которые могут влиять на точность расчетов: неточность в определении длины пробега, зависимость массы частицы от скорости, приобретение ядром, выбросившим  $\alpha$ -частицу, энергии и т. д.

**Снимки в камере Вильсона с помощью камеры Поляроид-Лэнд.** Coenders W.J., Steketee J. Wilsonophamen met een polaroidlandcamera. "Nederl. Tijdschr. natuurkunde", 1967, 33, № 8, 253–258. [РЖ 1968 7 А106].

Описывается простая установка, с помощью которой можно получать фотоснимки явлений, происходящих в камере Вильсона. Указывается, что использование поляроидной фотокамеры обладает тем преимуществом, что позволяет большому количеству учащихся воспринимать детали, а также производить некоторые расчеты. Описана установка и приведены результаты наблюдений.

**Учебные эксперименты в камере Вильсона.** Bonincontro A. Esperienze didattiche in camera di Wilson. "G. fis. Soc. ital. fis.", 1970 11, № 3, 171–182. [РЖ 1971 5 А126].

Рассматривая различные приборы по изучению элементарных частиц в дидактическом аспекте, автор отдает предпочтение камере Вильсона. Описываются эксперименты, проведенные с  $\alpha$ -частицами при энергии 5,3 МэВ.

**Количественные измерения с камерой Вильсона.** Quantitatives Arbeiten mit Diffusions-Nebelkammer. Bartsch J., Kunze R. "Prax. Naturwiss, Phys.", 1983, 32, № 12, 372–375. [РЖ 1984 6 А162].

Описана экспериментальная методика количественных измерений времени полураспада в процессе  $^{220}_{86}\text{Rn}-(\alpha_1)\rightarrow^{216}_{84}\text{Po}-(\alpha_2)\rightarrow^{212}_{82}\text{Pb}$  с помощью камеры Вильсона для учебных лабораторий в высших учебных заведениях. В камере размещается препарат и ведется телевизионная видеозапись треков. Используя видеоманитофон как лупу времени, определяют длину треков и время пробега частиц. Полученные данные легко поддаются обработке на ЭВМ и позволяют рассчитать период полураспада  $^{216}_{84}\text{Po}$  и погрешность измерений.





## Глава 14. ЭФФЕКТ КОМПТОНА

**Комптон-эффект.** Hoffmann Herbert. Der Compton-Effekt. “Prax. Naturwiss.”, 1962, A11, № 10, Physik, 259–261. [РЖ 1963 3 A75].

В предложенном Полем качественном эксперименте для демонстрации комптон-эффекта, в котором  $\gamma$ -лучи направляются на угольную пластину и счетчики, поставленные на пути прямого и рассеянного излучений, обнаруживают разность интенсивностей, свидетельствующую об изменении жесткости излучения, рекомендуется заменить угольную пластину свинцовой и произвести некоторые другие изменения, улучшающие результаты эксперимента. Приведена видоизмененная схема эксперимента.

**Эффект Комптона. Простой лабораторный эксперимент.** Bartlett Albert Allen. Compton effect: a simple laboratory experiment. “Amer. J. Phys.”, 1964, 32, № 2, 127–134. [РЖ 1964 10 A115].

Описывается демонстрационный эксперимент, позволяющий определить  $\Delta\lambda$  и зависимость этой величины от угла при комптоновском рассеянии фотонов. Эксперимент может быть выполнен простыми средствами и представляет модификацию опытов, выполненных еще до 1904 года, в которых был обнаружен сдвиг длины волны  $\gamma$ -квантов при рассеянии.

**Эффект Комптона. Эксперимент для лаборатории повышенного типа.** Bartlett A.A., Wilson J.H., Lyle O.W., Jr, Wells C.V., Kraushaar J.J. Compton effect: an experiment for the advanced laboratory. “Amer. J. Phys.”, 1964, 32, № 2, 135–142. [РЖ 1964 10 A116].

Описывается эксперимент для учебной лаборатории повышенного типа, на котором студент может детально изучить эффект Комптона. Эксперимент позволяет измерить угловую зависимость энергии кванта и электрона, причем существенно используется одновременность появления рассеянного кванта и электрона отдачи. Он позволяет также проверить закон сохранения энергии и импульса при комптоновском рассеянии.

**Прецизионный опыт по Комптон-эффекту.** French Walter R., Jr. Precision Compton-effect experiment. “Amer. J. Phys.”, 1965, 33, № 7, 523–527. [РЖ 1966 2 A79].

Источником служит изотоп  $\text{Cs}^{137}$ , помещенный в свинцовый коллиматор. На расстоянии  $\sim 2,5$  м по лучу расположен портативный ионизационный детектор излучения, который служит для юстировки луча. В углах лабораторного стола 2 измерительных детектора (кристаллы NaJ) так, что при вращении стола детектор № 1 остается на пути луча, а коллимированный детектор № 2 располагается под некоторым углом  $\theta$  к лучу. Кристалл детектора № 1 служит в качестве рассеивающей среды и для измерения энергии комптоновского электрона отдачи; детектор № 2 служит для измерения энергии рассеянного  $\gamma$ -кванта. С помощью этой установки можно довольно точно измерить энергию электрона и  $\gamma$ -кванта при углах рассеяния  $15^\circ$ – $165^\circ$ .

**Германиевые детекторы и эффект Комптона.** VcDaniels David K., Battleson Kirk. Germanium detectors and the Compton effect. “Amer. J. Phys.”, 1967, 35, № 9, 837–843. [РЖ 1968 8 A102].

Успехи в развитии полупроводниковых детекторов заряженных частиц и  $\gamma$ -лучей, обладающих очень высоким энергетическим разрешением, оказали большое влияние на экспериментальную технику в области ядерной физики малых энергий. Так, литий-дрейфовые германиевые детекторы имеют в 20 раз большее разрешение, чем сцинтилляционные счетчики с кристаллом NaJ(Tl). В связи с этим точность измерений в ядерной спектроскопии стала сравнимой с точностью оптических спектров. Германиевые детекторы открывают интересные возможности за пределами ядерных исследований. В частности, они позволяют осуществить в учебной лаборатории ряд экспериментов по “новейшей физике”. Так, например, студенты могут проверить некоторые аспекты квантовой электродинамики, измеряя картину распределения, полученную при комптоновском рассеянии фотонов, а также могут измерить массу покоя электрона с точностью, превышающей 0,1%. Кроме того, сборка и операции с полупроводниковыми детекторами дают возможность студентам освоиться с техникой высокого вакуума и некоторыми другими сторонами лабораторной практики. В статье дан обзор основных областей применения литий-дрейфовых германиевых детекторов и рассмотрен метод точного измерения энергии и интенсивности  $\gamma$ -лучей низкой энергии ( $\leq 3,5$  МэВ). Описано также применение таких детекторов для сравнения комптоновского распределения электронов, рассеянных внутри кристалла, с формулой Клейна-Нишина.

**Эффект Комптона.** Hoffmann Herbert. Der Compton-Effekt. “Prax. Naturwiss.”, 1968, A17, № 1, Physik, 16–17. [РЖ 1968 8 A101].

Описывается метод использования  $\gamma$ -спектрометра (см. РЖФиз, 1968, 4A405) для экспериментальной проверки эффекта Комптона и доказательства зависимости изменения длины волны от угла рассеяния. Препарат и отражающий экран помещают так, чтобы отраженные лучи падали на щель спектрометра. Измерения интенсивности проводят для углов между падающим и отраженным лучами  $90^\circ$  и  $45^\circ$ . В спектрах  $\gamma$ -лучей, полученных в результате измерений, нет резко ограниченных линий, что указывает на изменение длины волны излучения, благодаря эффекту Комптона. Величину рассеяния можно оценить, если сравнивать спектры рассеянного излучения со спектрами  $\gamma$ -лучей того же источника, полученными непосредственно.

**Эффект Комптона.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. 1969. Задача № 7, с. 141–159.

Эффект Комптона — рассеяние квантов света на свободных электронах — описывается соотношением  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = h(1 - \cos\varphi)/m_0c$ , где  $\lambda$  и  $\lambda'$  — длина волны фотонов до и после рассеяния соответственно,  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света,  $\varphi$  — угол рассеяния,  $m_0$  — масса покоящегося электрона. Для измерения длин волн используется метод фильтров, что предполагает измерение интенсивности излучения до и после прохождения фильтра известной толщины, изготовленного из определенного материала, например, меди. Установка для измерения комптоновского смещения состоит из источника  $\gamma$ -квантов, двух детекторов  $\gamma$ -квантов (сцинтиллятор + ФЭУ), блоков питания и пересчетного устройства. Источником  $\gamma$ -квантов служит радиоактивный препарат  $\text{Cs}^{137}$ . Детектор состоит из сцинтиллирующего кристалла и фотоумножителя. Регистратор типа “Яблоня” имеет на входе 4 канала, которые могут быть использованы в режиме отдельных каналов, совпадений или антисовпадений. В ходе выполнения работы измеряется фон космического излучения. Определяется длина волны и энергия

первичных, еще не рассеянных квантов. Затем измеряется длина волны и энергия  $\gamma$ -квантов под углом рассеяния  $45^\circ$  и  $90^\circ$ . Определяются средние значения длин волн  $\lambda_{45^\circ}$  и  $\lambda_{90^\circ}$ . Вычисляется энергия, соответствующая этим длинам волн. Определяется величина комптоновского сдвига для углов рассеяния  $45^\circ$  и  $90^\circ$ .

**Демонстрация комптоновского рассеяния при помощи  $\gamma$ -квантов.** Foll Helmut. Nachweis der Compton-Steuerung mit Gamma-Quanten. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, № 8, 202–205. [РЖ 1970 2 А82].

Установка состоит из препарата  $\text{Cs}^{137}$  активностью 100 мююри, рассеивателя и  $\gamma$ -спектрометра. Для демонстрации эффекта Комптона измеряют спектр  $\gamma$ -излучения при определенном угле рассеяния и фон. Затем графически получают спектр Комптона. Приведены результаты измерений при угле рассеяния  $40^\circ$ , согласно которым энергия рассеянного излучения определена с ошибкой 9% относительно рассчитанной теоретически.

**Простой лабораторный опыт для изучения комптоновского смещения.** Sanjeevaiah H., Gopal S., Venkataramaiah P., Sanjeevaiah B. A simple laboratory experiment for studying the Compton shift. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 4, 530–532. [РЖ 1970 11 А74].

Описана лабораторная установка, предназначенная для определения изменения длины волны  $\gamma$ -излучения  $\Delta\lambda$  при комптоновском рассеянии. Установка состоит из коллимированного источника  $\gamma$ -излучения ( $\text{Co}^{60}$ ), кассеты для помещения рассеивателей (цилиндры сечением 2,5 см из Al, Cu и Zn) и коллимированного детектора излучения [NaJ(Tl)]. Энергия рассеянного  $\gamma$ -излучения определяется по ослаблению пучка в Al-шайбах, которые помещаются между коллиматором детектора и детектором. Определяется  $\Delta\lambda$  и сопоставляется с теоретическим значением  $\Delta\lambda = (h/m_0c)(1 - \cos\theta)$ , где  $\theta$  — угол между коллиматором детектора и осью пучка принимается равным  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$ . Установка предназначена для учебных целей.

**Эффект Комптона.** Работа № 84. С. 370–372. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Эффект Комптона (метод фильтров).** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 3-е, 1972, лаб. работа № 10, с. 237. Изд. 5-е. 1981. Лаб. работа 11, с. 212, 224. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 10, с. 163, 174.

Установка по измерению комптоновского смещения состоит из источника  $\gamma$ -квантов (сцинтиллятор и ФЭУ), блока питания, схемы совпадения (регистратор "Яблоня") и пересеченного устройства. Источником  $\gamma$ -квантов служит радиоактивный препарат  $^{137}\text{Cs}$ . Детектор — сцинтилляционный счетчик — состоит из сцинтиллятора (фосфора), в котором  $\gamma$ -кванты вызывают вспышку люминесценции, и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), преобразующего вспышку в импульс электрического тока. В начале работы измеряется фон космического излучения. Затем, используя три медных фильтра с указанной на них толщиной, определяется длина волны и энергия первичных, еще не рассеянных квантов. Измеряется длина волны и энергия  $\gamma$ -квантов под углами рассеяния  $45^\circ$  и  $90^\circ$ . Определяется величина комптоновского сдвига для этих углов.

Возможность использовать органический кристалл стибьбен как в качестве рассеивателя (благодаря тому, что он состоит из легких элементов), так и в качестве сцинтиллятора (с малым временем высвечивания) позволяет объеди-

нить в сцинтилляционном детекторе две функции: рассеивателя  $\gamma$ -квантов и их регистрацию. Используемый метод фильтров весьма чувствителен к геометрии эксперимента. Это означает, например, что необходимо правильно подобрать толщину фильтров, учесть конечность размеров телесного угла рассеяния  $\gamma$ -квантов и т. д. В ходе выполнения эксперимента измеряется длина волны и энергия  $\gamma$ -квантов под углами рассеяния  $45^\circ$  и  $90^\circ$  и для этих углов определяется величина комптоновского сдвига.

**Эффект Комптона (метод сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра).** Атомный практикум. Изд. 5-е. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. **1981.** Лаб. работа 12, с. 112, 241. Изд. 6-е. **1987.** Лаб. работа 11, с. 163, 183.

Изучение эффекта Комптона состоит в проверке соотношения  $\Delta\lambda = \lambda(1 - \cos\varphi)$ , где  $\Delta\lambda$  — изменение длины волны рассеянного кванта,  $\varphi$  — угол рассеяния, а величина  $\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = h/m_0c = 0,0242$  А. Для определения длин волн рассеянного ( $\lambda_1$ )  $\gamma$ -излучения в данном варианте опыта Комптона используется сцинтилляционный  $\gamma$ -спектрометр. Основными его элементами являются сцинтилляционный счетчик и анализатор импульсов с ФЭУ, пропорциональных интенсивности сцинтилляционных вспышек, пропорциональной, в свою очередь, энергии  $\gamma$ -квантов, поглощенных в веществе сцинтиллятора. Целью настоящей работы также является оценка сечения комптоновского рассеяния с помощью специально разработанной методики. Установка для выполнения лабораторной работы состоит из радиоактивного источника  $^{137}\text{Cs}$ , экранированного толстым слоем свинца, рассеивателя, детектора, в котором объединены фосфор (кристалл NaJ) и фотоэлектронный умножитель. Сигнал с ФЭУ поступает на электронное устройство, которое состоит из катодного повторителя, амплитудного анализатора и пересчетного устройства. В ходе работы получается дифференциальный спектр прямого потока  $\gamma$ -квантов; по полученным результатам строится зависимость скорости счета от амплитуды импульсов — это и есть дифференциальный аппаратный спектр; на дифференциальном спектре определяется пик полного поглощения; находится положение “пика обратного рассеяния” и определяется энергия  $\gamma$ -квантов, рассеянных на  $180^\circ$ ; вычисляется длина волны первичных и рассеянных на  $180^\circ$   $\gamma$ -лучей и определяется комптоновский сдвиг  $\Delta\lambda_{180^\circ}$ . Оценивается сечение процессов комптоновского рассеяния и фотопоглощения. Получается дифференциальный спектр  $\gamma$ -квантов, рассеянных под углами  $30^\circ$  и  $45^\circ$ .

**Использование комптоновского рассеяния для изучения скоростей электронов.** Nha S.K., McIntyre J.A. The use of Compton scattering for the study of electron velocities. “Amer. J. Phys.”, **1972**, 40, № 11, 1618–1624. [1973 4 A130].

Описан эксперимент, демонстрирующий движение электронов в атомах. Эксперимент основан на эффекте комптоновского рассеяния. Доплеровское уширение линии комптоновского рассеяния определяется импульсами электронов, на которых происходит рассеяние  $\gamma$ -квантов. Применение  $\gamma$ -излучения со сравнительно высокой энергией (1,33 МэВ) позволило авторам наблюдать эффект Комптона на электронах, для которых энергия связи с ядром составляет величину порядка десятков килоэлектронвольт. В эксперименте источником  $\gamma$ -излучения служил  $^{60}\text{Co}$ , рассеивающими материалами  $\text{CH}_2$ , Al, латунь, Pb. Для регистрации  $\gamma$ -излучения использовался Ge(Li)-детектор, который обеспечивал разрешение порядка нескольких килоэлектронвольт. Приводятся экспериментальные результаты, демонстрирующие различие скоростей электронов для ис-

следованных материалов, дается теоретический расчет спектра  $\gamma$ -лучей в зависимости от распределения электронов по скоростям и сравнение эксперимента с теорией, проводится краткое обсуждение возможности использования  $\gamma$ -спектров рассеяния для изучения волновых функций электронов.

**Эксперимент по комптоновскому рассеянию.** Stamatelatos Michael. Compton scattering experiment. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 12, 1871–1872. [РЖ 1973 5 А82].

Описан эксперимент, предназначенный для ознакомления студентов старших курсов с эффектом Комптона. В эксперименте измеряется энергетический спектр  $\gamma$ -квантов, претерпевших комптоновское рассеяние на угол  $\theta$ , при условии совпадения момента его регистрации с моментом регистрации электрона отдачи. Экспериментальная установка включает в себя: источник  $\gamma$ -квантов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $E_\gamma=0,662$  кэВ); рассеиватель (свинцовая фольга толщиной несколько мил, 1 мил =  $2,54 \cdot 10^{-5}$  М), непосредственно примыкающий к нему пластиковый (Pilot В) сцинтилляционный детектор комптоновских электронов; сцинтилляционный детектор  $\gamma$ -квантов с кристаллом NaJ(Tl), укрепленный на вращающейся относительно центра рассеивателя платформе, что позволяет регистрировать  $\gamma$ -кванты под различными углами  $\theta$ , и электронную часть, содержащую в качестве основных элементов схему пропускания с разрешающим временем  $\tau \approx 100$  нсек и 256-канальный амплитудный анализатор импульсов. Электронная часть установки выполнена на стандартизованных блоках ядерной электроники (NIM). Приводится измеренный энергетический спектр  $\gamma$ -квантов источника  $^{137}\text{Cs}$ , на котором для сравнения показано положение измеренной фотолинии энергетического спектра рассеянных на угол  $\theta=60^\circ$   $\gamma$ -квантов. Положение фотолинии совпадает с рассчитанным по формулам комптоновского рассеяния в пределах 2%.

**Лабораторная работа "Изучение комптон-эффекта".** Кузнецов В.Д., Лебедев Р.В., Стугарев Ю.Н., Сидоренко Л.З., Зудинов И.М. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1975, вып. 4, 79–82. [РЖ 1976 5 А 146].

В физических практикумах большинства вузов отсутствует работа по наблюдению комптон-эффекта. Объясняется это громоздкостью и ненадежностью аппаратуры, а также сложностью проведения самого эксперимента. Однако современное развитие сцинтилляционной  $\gamma$ -спектрометрии позволяет создать простую и надежную установку для студенческой лабораторной работы. В установке применяется  $\gamma$ -источник ничтожно малой активности, не представляющей никакой опасности для человеческого организма. Дается теоретическое введение к работе, описываются установка и порядок выполнения работы.

**Закон Мозли.** Лаб. работа 12. Атомный практикум. Изд. 4-е. Изд. Московского ун-та. 1976, 1981, 1987. Под ред. Г.И. Горяги.

Изучение эффекта Комптона состоит в проверке соотношения  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \Lambda(1 - \cos\varphi)$ , где  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$  — длины волн фотонов до и после рассеяния соответственно, а величина  $\Lambda = h/m_0c = 0,0242$  Å называется комптоновской длиной волны. Для определения длин волн рассеянного  $\lambda_1$   $\gamma$ -излучения в данном варианте опыта Комптона используется сцинтилляционный  $\gamma$ -спектрометр, основными элементами которого являются сцинтилляционный счетчик и анализатор импульсов с ФЭУ, пропорциональный интенсивности сцинтилляционных вспышек, пропорциональных, в свою очередь, энергии  $\gamma$ -квантов, поглощенных в веществе сцинтиллятора. В составе установки имеется радиоактивный источник  $\text{Cs}^{137}$ ,

экранированный толстым слоем свинца, рассеивателя, детектора, в котором объединены фосфор (кристалл NaJ) и фотоэлектронный умножитель. В ходе выполнения работы снимаются дифференциальные спектры прямого потока  $\gamma$ -квантов и  $\gamma$ -квантов, рассеянных под углами  $30^\circ$  и  $45^\circ$ .

**Количественная обработка данных по эффекту Комптона.** Junge Hartwig. Eine quantitative Versuchsauswertung zum Compton-Effekt. "Math. und naturwiss. Unterr.", 1977, 30, № 4, 229–232. [РЖ 1978 2 А81].

Предлагается наблюдать эффект Комптона на рентгеновской установке с напряжением 100 кВ, луч от которой падает под углом  $45^\circ$  на Al-рассеиватель. Детектором служит ионизационная камера. Измеряется интенсивность рассеянного излучения в отсутствие поглотителей и затем с поглотителем из листовой меди, поставленным до и после рассеяния. Поскольку поглощение зависит от длины волны, то интенсивность регистрируемого излучения зависит от того, где поставлен поглотитель — до или после рассеивателя. По разнице в поглощении можно найти комптоновское смещение длины волны. В одном из опытов при первоначальной длине волны 71 пм получилось смещение 3,2 пм, т. е. 4,5%. Проводится сравнение с опытом, в котором используются  $\gamma$ -излучения.

**Проверка формул комптоновского столкновения и Клейна-Нишины — лабораторный опыт.** Singhal R.P., Burns A.J. Verification of Compton and Klein-Nishina formulas — an undergraduate laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 6, 646–649. [РЖ 1978 11 А104].

Приводятся схема установки и методика проведения лабораторной работы на старших курсах вузов, посвященной изучению комптоновского рассеяния  $\gamma$ -квантов на электронах и проверке формулы для энергии рассеянных квантов и формулы Клейна — квантов на электронах и проверке формулы для энергии рассеянных квантов и формулы Клейна-Нишины для сечения рассеяния. Установка состоит из экранированного источника  $\gamma$ -излучения, создающего узкий пучок  $\gamma$ -квантов с известной энергией, падающих под углом  $\theta$  на цилиндрический металлический рассеиватель (например, Al), Pb-коллиматора, NaJ-детектора, фотоумножителя, усилителя, 100-канального анализатора, высоковольтного питания и регистрирующего телетайпа. Эксперимент занимает два лабораторных дня по 5 часов каждый. В течение первого дня студент знакомится с установкой и получает градуировочную кривую для эталонного источника  $\gamma$ -излучения. Во второй день проверяется градуировка и регистрируются фотопики, создаваемые  $\gamma$ -квантами, рассеянными на электронах металлического рассеивателя, при различных углах падения  $\theta = k \cdot 15^\circ$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ). Для каждого значения  $\theta$  измерения занимают около 30 мин, из которых 15 мин расходуется на измерение фона установки, который затем вычитается из результатов измерения рассеяния. При численной обработке результатов необходимо также учесть ослабление  $\gamma$ -излучения в рассеивателе, эффективность NaJ-детектора и погрешности фотоумножителя. Приводятся типичные данные измерений и результаты их обработки, обсуждаются возможности установки.

**Количественные эксперименты по исследованию эффекта Комптона (часть 2).** Quantitative Experimente zum Compton-Effekt (2). Gohler Horst. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1980, 29, № 12, 377–381. [РЖ 1981 5 А76].

Описана методика проведения учебных экспериментов по комптоновскому рассеянию  $\gamma$ -квантов на различных материалах и проанализированы получа-

емые при этом спектры. Проведенный анализ подтверждает формулу для энергии квантов рассеяния и позволяет объяснить имеющиеся отклонения фактических спектров от ожидаемых.

**Наглядное представление комптоновского эксперимента.** Visualisation au retroprojecteur de l'experience de Compton. Laurant Annie. "Bull. Union phys.", **1982**, 76, № 642, 583–586. [РЖ 1982 9 A53].

Представлена схема комптоновского процесса.

**Установка для лабораторного исследования эффекта Комптона.** Montaje sencillo de una practica de laboratorio para el estudio del efecto Compton. Espinosa Hechavarria Rogelio R. "Rev. cub. Fis.", **1984**, 4, № 1, 161–172. [РЖ 1985 4 A136].

**Определение момента Ферми с помощью комптоновского рассеяния.** Эксперимент для студентов выпускного курса. Determination of Fermi momentum using Compton scattering. An undergraduate experiment. Manninen S., Hamalainen K., Paakkari T. Amer. J. Phys. **1988**. 56, 3 10. С. 928–933. [РЖ 1989 4 A112].

Отмечена сложность подбора экспериментальных лабораторных работ по курсу физики твердого тела. Для изучения свойств поверхности Ферми обычно требуются низкие температуры и/или очень чистые образцы. Описан метод определения момента Ферми в простых металлах на основе комптоновского рассеяния с точностью порядка 1%. Эта работа может быть использована во вводном курсе физики твердого тела. Установка состоит из источника  $\gamma$ -излучения ( $^{241}\text{Am}$ ), твердотельного Si (Ge)-детектора и многоканального анализатора. Измерения проводятся при комнатной температуре на стандартных металлических образцах Be и Al. Кратко описана теория комптоновского рассеяния, модель газа свободных электронов, методика проведения лабораторного эксперимента.

**Учебный эксперимент по измерению комптоновского рассеяния.** Misura della diffusione Compton in un esperimento a scopo didattico. Alessandrello A., Gervasio G., Zanotti L. a. o. G. fis. Soc. Ital. fis. **1994**. 35, № 3. 193–205. [РЖ 1995 1 A60].

**Применение детектора с высокочистым германием (HPGe) в лабораторном эксперименте повышенной сложности для изучения эффекта Комптона.** Application of High-purity germanium (HPGe) detector to advanced laboratory experiment on the Compton effect. Hieronymus S.A., Lundquist L.L., Cornell D.A. Amer. J. Phys., **1998**. 66, № 9. 836. [РЖ 1999 07 A151].

**Эффект Комптона в курсе общей физики.** С.В. Фомин, Д.Н. Лукичев, А.С. Красников. ФОВ. **2009**. Т. 15, № 4, с. 93. [РЖ 10.10–18A.104].

Описана лабораторная работа по изучению эффекта Комптона – классического эксперимента, подтверждающего корпускулярную природу света, с использованием прибора-имитатора. Особенности эффекта Комптона очень легко объяснить, если считать, что излучение имеет чисто корпускулярную природу, т. е. представляет собою поток фотонов, и что в рассеянии принимают участие не все электроны, а только незначительная часть их, но каждый электрон рассеивает целый фотон. В лабораторной работе определяется изменение длины волны при комптоновском рассеянии. Полученный результат сравнивается с теоретическим.

## Глава 15. ЭПР

**Простая установка для наблюдения электронного спинового резонанса в слабых магнитных полях.** Grossberg Alan B. Simple ESR experiments at low magnetic fields. "Amer. J. Phys." **1962**, 30, № 126 927–928. [РЖ 1964 2 А79].

Описывается установка для наблюдения электронного спинового резонанса в слабом поле, которая предлагается для лабораторного практикума и может быть использована как магнетометр, дающий возможность измерять слабые магнитные поля с точностью до 0,2%. Основными элементами схемы являются: катушка Гельмгольца от лабораторной установки для определения удельного заряда электрона, лампа БАК5 и осциллоскоп с чувствительностью по вертикали в 20 мВ/см. Приводится фотография резонансной кривой, полученной от стандартной поликристаллической смеси DPPH (1,1-дифенил-2 пикрилгидразил). G-фактор

**Электронный парамагнитный резонанс.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г.И. **1969, 1972, 1976, 1981.** Задача № 8, с. 160–208. Изд. 6-е. **1987.** Лаб. работа 9, с. 128.

Исследуемый образец помещается в резонатор. Для прохождения максимальной мощности СВЧ через резонатор производится настройка клистрона на собственную частоту резонатора, что контролируется по величине тока с детектора, подаваемого на миллиамперметр. При работе с осциллографом включаются модулирующие катушки. Затем подается напряжение на обмотки электромагнита и, изменяя напряженность магнитного поля, находят сигнал резонансного поглощения на экране осциллографа. Одна из установок состоит из собственно установки ЭПР и установки ЯМР, служащей для определения напряженности постоянного магнитного поля. Другая установка представляет собой электронный парамагнитный анализатор (ЭПА-2), выполненный по схеме с двойной модуляцией магнитного поля, синхронным детектированием, записью сигнала на самописце. На первой установке объектом исследования является свободный радикал дифенилпикрилгидразила. На второй исследуется сверхтонкая структура спектра  $Mn^{2+}$ . Также измеряется содержание парамагнитных частиц и интенсивность линии ЭПР при температуре жидкого азота.

**Электронный парамагнитный резонанс.** Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. **1973.** Работа 85, с. 533. **1983.** Работа 7.2, с. 616.

В данной работе используется радиоспектроскоп, работающий в диапазоне 100÷200 МГц. Основной частью радиоспектроскопа является колебательный контур. Он состоит из катушки индуктивности и плоского конденсатора. Контур заключен в латунный посеребренный изнутри контейнер. Ампула с исследуемым образцом вставляется в катушку индуктивности контура. В ходе работы получается сигнал ЭПР на свободном радикале дифенил пикрилгидразила и измеряется g-фактор для электрона, определяется ширина линии ЭПР, наблюдается сверхтонкое расщепление линии ЭПР в растворе дифенилпикрилгидразила, а также наблюдается тонкая и сверхтонкая структура при помощи электронного спектрометра ЭПА-2А.

В лабораторной работе исследуются спектры ЭПР свободных радикалов дифенилпикрилгидразила (ДФПГ) и ультрамарина и иона  $Mn^{2+}$ , содержащегося в кристалле сфалерита (ZnS). Физическое содержание исследований сводится к



следующему: 1) Измерение  $g$ -фактора ДФПГ. 2) Исследование сверхтонкой структуры спектра. 3) Измерение содержания парамагнитных частиц в ультрамарине. 4) Измерение интенсивности сигнала ЭПР при комнатной и азотной температурах на различных образцах. В одной из установок для наблюдения ЭПР используется СВЧ генератор ГЗ-26, к которому подключен резонатор — отрезок прямоугольного волновода длиной  $l = 3\lambda/2$ . Поле электромагнита меняется в широком диапазоне — до 4000 Э. Напряженность магнитного поля измеряется с помощью прибора Ш1-1, в котором используется явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Сигналы ЭПР и ЯМР наблюдаются на двухлучевом осциллографе С1-18. Частота ЯМР измеряется электронносчетным частотомером ЧЗ-22. На другой установке используется электронный парамагнитный анализатор ЭПА-2. Он работает с использованием двойной модуляции магнитного поля с последующим синхронным детектированием, что позволяет увеличить чувствительность установки по отношению к полезному сигналу (сигналу ЭПР). При этом имеется возможность регистрировать сигнал на самописце. Имеется также установка на базе спектрометра ЭПА-2М. На первой установке исследуется образец ДФПК. При наблюдении сигнала ЭПР от него измеряется частота генератора СВЧ, резонансное значение магнитного поля и вычисляется величина  $g$ -фактора. На промышленных спектрометрах исследуется сверхтонкая структура спектра  $Mn^{2+}$ .

**Лабораторная работа повышенного уровня по электронному спиновому резонансу в монокристалле рубина.** Collins Lee A., Morrison Michael A., Donoho Paul L. Advanced undergraduate-laboratory experiment on electron spin resonance in single-crystal ruby. “Amer. J. Phys.”, 1974, 42, № 7, 560–571. [РЖ 1974 12 А93].

Описана лабораторная работа повышенного уровня по исследованию ЭПР ионов хрома в монокристалле синтетического рубина. Регистрация сигналов ЭПР проводится с помощью сравнительно простой аппаратуры на частоте 9,33 ГГц при изменении напряженности магнитного поля от 0 до 7,5 кЭ. Экспериментальные результаты по измерению положения и интенсивностей линий ЭПР сравниваются с теоретическими значениями, полученными на основе простого гамильтониана для эффективного спина. Отмечается, что, несмотря на достаточную сложность работы и теоретических расчетов, у студентов стимулируется интерес к квантовой механике.

**Методика изучения ЭПР в лабораторной работе общего атомного практикума.** Богомолова Л.Д., Коропченко Н.В., Чопорняк Д.Б. *Физика в сист. соврем. образ.(ФССО-07): Материалы 9 Межд. конф.. С.-Петербург., 4–8 июня, 2007.* Т. 2. СПб. 2007. 204–206. [РЖ 2008.10–18А.119].

Цель лабораторной работы по электронному парамагнитному резонансу (ЭПР), выполняемой на физическом факультете МГУ в рамках общего физического практикума, — ознакомить студентов с физическими основами явления ЭПР: фактором спектроскопического расщепления, сверхтонкой структурой, концентрацией парамагнитных центров и др. Для автоматизации сбора и обработки данных разработаны собственные аппаратные и программные средства. Создан ряд хелп-программ, позволяющих непосредственно в ходе эксперимента просматривать подробные описания выполняемых лабораторных работ с гипертекстовыми, гиперграфическими и мультимедийными элементами.

## Глава 16. ЯМР

**Ядерный магнитный резонанс.** Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред Л.Л. Гольдина. 1973, работа 84, с. 521. 1983, работа 7.1, с. 604.

В данной работе используется индикаторная установка с генератором слабых колебаний. Образец помещен внутри катушки, входящей в состав генератора. Сигнал ЯМР наблюдается на экране осциллографа. В ходе работы наблюдается сигнал ЯМР от ядер водорода, имеющихся в резиновом образце, и измеряется ширина линии поглощения. При использовании образца из тефлона — в нем содержатся ядра фтора — определяется  $g$ -фактор для ядер фтора. Затем наблюдается температурная зависимость и насыщение ЯМР.

**Простой метод изучения ядерного магнитного резонанса в физическом практикуме.** Черенков Ю.А. Всес. заоч. электротехн. ин-т связи. М., 1980. 12 с. [РЖ 1981 7 A131].

Описана несложная экспериментальная установка для изучения ядерного магнитного резонанса в условиях физического практикума ВТУЗов. Приведена методика измерения резонансной частоты ядерного магнитного резонанса в Со.

**ЯМР-спектрометр и его применения в специальном лабораторном курсе.** Advanced laboratory NMR spectrometer with applications. Biscegli Clovbis, Panerucci Horacio, Farach Horacio A., Poole Charles P. “Amer. J. Phys.”, 1982, 50, № 1, 48–50. [РЖ 1982 8 A133].

Дано описание экономичного ЯМР-спектрометра, который можно использовать для проведения лабораторных занятий. Приведены примеры использования спектрометра для измерения содержания жиров в зерне и скорости полимеризации материалов.

**Учебный ЯМР-спектрометр для проточных жидкостей.** Пряхин А.Е., Воробей И.О., Нгуен Хак Хьеу, Фидель Медина; Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.”. Томск, 1984. [РЖ 1985 1 A197].

Описан учебный ЯМР-спектрометр для проточных жидкостей с совмещенными поляризатором и анализатором, реализующий синхронный (или модуляционный) метод регистрации спектра, позволяющий снимать зависимость интенсивности сигнала ЯМР от скорости движения жидкости и наблюдать влияние нутаций вектора ядерной намагниченности и продольного градиента магнитного поля на форму первой производной кривой поглощения. Разрешающая способность спектрометра 100 мГц. Приведены принципиальные схемы узлов спектрометра: автодинного спинового детектора, блока регистрации, блока развертки магнитного поля, генератора нутации и частотомера. Приведенные экспериментальные данные демонстрируют особенности явления ЯМР в движущихся образцах.

**Сравнение гиромангнитных отношений для ядер  $^1\text{H}$  и  $^{19}\text{F}$ . Лабораторный эксперимент.** Comparison of the gyromagnetic ratios of the  $^1\text{H}$  and  $^{19}\text{F}$  nuclei. A student experiment. Davies G.R. Amer. J. Phys. 1990. 58, 3 12. С. 1212–1213. [РЖ 1991 10 A170].

На основе лабораторного эксперимента по определению гиромангнитного отношения для протонов методом магнитного резонанса предложена модификация задачи, целью которой является сравнение гиромангнитных отношений для ядер  $^1\text{H}$  и  $^{19}\text{F}$ . В этом случае не требуется измерений магнитного поля. В качестве соединений, содержащих ядра  $^1\text{H}$  и  $^{19}\text{F}$ , используется глицерин и политетрафторэтилен. Поскольку гиромангнитные отношения для этих ядер отличаются только на 6%, резонансные частоты для достаточно широкого интервала магнитных полей будут лежать в диапазоне 8–12 МГц. Сначала определяется резонансная частота для  $^1\text{H}$ , а затем, при уменьшении частоты на несколько процентов, для  $^{19}\text{F}$ . Результаты измерений приводятся в виде графика  $f_{\text{H}}(f_{\text{F}})$  для различных значений магнитного поля в диапазоне 0,2–0,3 Тл.

**Ядерный магнитный резонанс в лабораторном практикуме** / Луке Р.К., Мушаров Ю.В.; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. – Томск, 1990. – 3 с. – Библиогр.: 1 назв. – Рус.–Деп. в ВИНТИ 23.04.90, № 2147–В90 [РЖ 1990 А134].

Приведен перечень оборудования, необходимого для постановки лабораторной работы "Ядерный магнитный резонанс" Описано, как можно получить высокооднородное магнитное поле в межполюсном зазоре электромагнита ЭМ-1.

**Эксперименты по ядерному магнитному резонансу в учебном практикуме.** Ажеганов А.С., Горинов Д.А., Измestьев И.В. *Физ. образ. в вузах.* 1999. 5, № 2. 94–102. [РЖ 2000 05–18А.163].

Описан учебный ЯМР-релаксометр, предназначенный для проведения лабораторных работ по ядерному магнитному резонансу в ферромагнетиках. Рассмотрены методы определения частоты линии ЯМР и нахождения времен релаксации. Выполняя опыты по ядерному магнитному резонансу, студенты знакомятся на практике с квантовым характером поглощения и излучения электромагнитного поля, с эффектами, в которых экспериментально наблюдается существование спина и магнитного момента атомного ядра. Такие опыты позволяют изучать взаимодействия внутри спиновых систем, релаксационные процессы, внутренние поля в ферромагнетике. В качестве объекта исследования предлагается использовать порошок кобальта.

**Структура и ядерный магнитный резонанс: эксперимент в общем химическом лабораторном практикуме.** Structure and nuclear magnetic resonance. An experiment for the general chemistry laboratory. Davila Rosa M., Widener R.K. *Chem.Educ.* 2002. 79, № 8. 997–999. [РЖ 2004 01–18А.164].

Описан опыт в курсе "Структура и ЯМР" с использованием прибора Anasari EFT-60, с помощью которого можно быстро снять спектры  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Опыт предполагает изучение прибора и снятие спектров изомерных 1- и 2-пропанола. Опыт дает наглядное представление о связи структуры и ее косвенном отражении в методах анализа и может быть использован в химических и инженерных программах обучения.

**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. 12, № 4. 63–75, 121. [РЖ 2007.08–18А.138].

Описана лабораторная работа по вычислению магнитных моментов протона, дейтрона и ядра фтора на основе измерения из  $g$ -факторов методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Полученные данные сравниваются с вычислениями магнитных моментов на основе кварковой модели адронов. Работа предназначена для использования в учебных лабораториях по общей физике высших учебных заведений любого направления. Описываемая работа позволяет знакомить студентов с различными аспектами физики: зеемановским расщеплением ядерных уровней, правилами отбора при излучении (поглощении) фотонов, одночастичной оболочечной моделью ядра, связью между угловым моментом ядра и его магнитным моментом, кварковой структурой протона и нейтрона.

## Глава 17. РАДИОАКТИВНОСТЬ

**Опыты со слабым радиоактивным препаратом.** Фаттер. (Versuche mit schwachen radioaktiven Preparaten. Vatter Hans), Prax. Naturwiss., **1958**, A7, № 10, 280–281. [РЖ 1959 № 7 14524].

В качестве слабого радиоактивного препарата используются ручные часы, у которых стрелки и цифры покрыты радиоактивной светомассой. Интенсивность излучения “препарата” измеряется при помощи Гейгер-Мюллеровского счетчика на расстоянии 5 см в течение 5–10 мин. Проводят ряд измерений интенсивности, когда циферблат часов открыт или закрыт экраном из бумаги, алюминия, свинца, и рассчитывают интенсивность  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения в импульсах в единицу времени.

**Основной опыт по дозиметрии.** Бартлетт (Basic experiment in radiological physics. Bartlett Albert A.), Amer. J. Phys., **1958**, 26, № 5, 281–286. [РЖ 1959 № 4 7246].

Приведены определения основных дозиметрических единиц: кюри, рентгена, физического эквивалента рентгена и рада; дано соотношение между активностью препарата и создаваемой им дозой ( $\gamma$ -постоянная изотопа) для различных изотопов. Обсуждены простейшие практические работы, которые могут быть выполнены студентами.

**Основной опыт по методике ядерных излучений.** Ульмер (Ein Grundversuch zur Kernstrahlungsmesstechnik. Ulmer Kurt), **1959**, 1, № 1, 28–31. [РЖ 1960 № 7 15812].

Описывается эксперимент, служащий введением в область радиоактивных измерений. Задача состоит в проверке зависимости интенсивности излучения точечного источника от расстояния и определения местоположения источника. Источник радиоактивностью 0,1 мКюри помещается в центр одного из 64 деревянных кубиков, сложенных в куб со стороной 8 см. Вдоль одной из сторон куба может перемещаться как по вертикали, так и по горизонтали малый счетчик с эффективным объемом  $\sim 2 \text{ см}^3$ . приводится методика проверки зависимости интенсивности излучения от расстояния.

**Простые опыты по естественной радиоактивности.** Мельхер, Глезер (Einführende Versuche mit einfachen Hilfsmitteln zur natürlichen Radioaktivität. Melcher Horst, Glaser Manfred), Math. und Phys. Schule, **1959**, 6, № 9, 472–481. [РЖ 1960 № 7 15813].

Описана конструкция электроскопа Вульфа и несколько опытов, которые проводятся при помощи электроскопа и счетной трубки типа АММ7: измерение фона в *имп/мин*, измерение интенсивности излучения радиоактивного препарата в *имп/мин*, уменьшение фона экранированием трубки свинцом, зависимость величины фона от объема трубки (две трубки соединяют параллельно), снятие характеристики трубки и др. При проведении опытов положительный полюс трубки соединяют с электродом наведения, отрицательный — с нитью электроскопа и заземляют через сопротивление утечки порядка  $10^{10}$  Ом. Движение нити электроскопа проецируется на экран. Для подсчета числа импульсов на слух параллельно электроскопу подключается радиоприемник.

**Использование ионизационной камеры для вывода закона радиоактивного распада Резерфорда–Содди.** Виттенбург ( *Benutzung der Ionisations-kammer zur induktiven Herleitung des Zerfallsgesetzes von Rutherford–Soddy. Wittenburg W.*), *Praz. Naturwiss.*, **1959**, A8, № 10, Physik, 275–278. [РЖ 1960 № 8 18885].

Электроскоп Вульфа соединяют с ионизационной камерой и заряжают до потенциала 1200 В. В камеру вводят некоторое количество эманации тория и отсчитывают время, необходимое для перемещения нити электроскопа вдоль шкалы на одно деление по следующей системе. Перед наблюдателем лежит несколько секундомеров. При первом отсчете наблюдатель включает правой рукой секундомер и переключает его в левую, одновременно берет правой рукой другой секундомер. При втором отсчете он включает второй секундомер и выключает первый, передает его помощнику, переключает второй секундомер из правой руки в левую и берет правой рукой третий секундомер и т.д. до тех пор, пока практически весь  $Ra^{220}$  не распадется. Из графика зависимости ионизационного тока от времени, построенного в полулогарифмическом масштабе, выводят закон радиоактивного распада, рассчитывают постоянную распада, период полураспада. Зная “порцию заряда” (см. реф. 18871), можно рассчитать количество атомов Th, находившихся в ионизационной камере перед началом опыта. Приведены выводы формул и расчеты.

**Основы практикума по физике и химии излучений.** Herforth Lieselott, Koch Hartwig. *Radiophysikalisches und radiochemisches Grundpraktikum*, Berlin, Dtsch. Verl. Wiss., **1959**, XIV. [РЖ 1961 1A170 K].

**К экспериментальному обоснованию закона [радиоактивного] распада.** Petry Siegfried. *Zur experimentellen Begründung des Zerfallsgesetzes.* “*Prax. Naturwiss.*”, **1960**, A9, № 10, Physik, 263–266. [РЖ 1961 5A90].

В ионизационную камеру вводят некоторое количество эманации тория и при помощи зеркального гальванометра или электроскопа Вульфа измеряют скорость распада как функцию времени. Приведены результаты измерений, расчет периода полураспада и расчет средней относительной ошибки при измерениях ионизационного тока различными приборами.

**Построение кривой распада радиоактивных газов при помощи счетчика импульсов.** Melcher Horst, Glaser Manfred. *Bestimmung der Zerfallskurven von radioaktiven Gasen mit einem Impulszahlgerat.* “*Prax. Naturwiss.*”, **1960**, A9, 3 12, Physik, 313–318. [РЖ 1961 8A83].

В закрытом сосуде помещают торцевой счетчик, соединенный со счетчиком импульсов, который в свою очередь соединен с громкоговорителем или интегрирующим измерительным прибором. В сосуд вводят некоторое количество торона и измеряют число импульсов, регистрируемых в равные последовательные промежутки времени (через 15 сек.). Приведены результаты измерений и описана методика построения кривой распада.

**Простые опыты по радиоактивности.** Novakov Tihomir. *Jednostavni eksperimenti iz radioaktivnosti.* Beograd, “*Savremena skola*”, **1960**, 104 s. [РЖ 1962 9 A36].

**Указания к работе с пластинками для регистрации ядерных излучений.** Melcher Horst, Gerth Ewald. Bemerkungen und Hinweise zum Arbeiten mit Kernspurplatten. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 7, Physik. 181–188. [РЖ 1962 1A101].

Описывается метод идентификации следов элементарных частиц в фотоэмульсиях и несколько опытов, проведенных при помощи пластинок: образование звезд в эмульсии, наблюдение следов  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, доказательство существования нейтронов и др.

**Измерение поглощения радиоактивного излучения радиометром типа Б-2.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 40. С. 124–133.

**Эксперимент по изучению радиоактивности, выделенной фильтром из воздуха.** Whyte G. N., Taylor H. W. A radioactivity experiment using activities filtered from the air. "Amer. J. Phys.", 1962, 30, № 2, 120–124. [РЖ 1962 9 A35].

Описан эксперимент по изучению радиоактивного распада и последующих превращения членов радиоактивного ряда. В качестве источника активности использована пыль, выделенная с помощью фильтра из атмосферы и содержащая продукты радиоактивного распада радона и торона. Приведены уравнения, описывающие предполагаемую зависимость скорости счета от времени, кратко описана методика эксперимента и приведены примерные результаты. Указан метод оценки концентрации радона в воздухе. Эксперимент предназначен для студентов последнего курса физического факультета и студентов, изучающих ядерную технику.

**Определение периода полураспада  $UX_1$  при помощи самодельного листочкового электроскопа.** Nagel Wilhelm. Die Bestimmung der Halbwertszeit von  $UX_1$  mit einem selbstgebaute Goldblattelektrometer. "Math., Phys. Schule", 1962, A9, № 2, 137–142. [РЖ 1962 9 A37].

Описывается устройство самодельного электроскопа с золотым листочком и метод получения  $UX_1$  из нитрата уранила. Фильтр, содержащий  $UX_1$ , вносят в электрометр ежедневно в одно и то же время и определяют интенсивность излучения в относительных единицах в течение 16 дней. Затем по известным уравнениям рассчитывают постоянную распада, определяют период полураспада по графику зависимости интенсивности излучения от времени, построенному в полулогарифмическом масштабе.

**Гидродинамическое моделирование радиоактивного распада.** Somogyi Gyorgy, Szabo Gyula. Radioactiv bomlas modellezese hidrodinamikai uton. "Fiz. szemle", 1963, 13, № 6, 189–192. [РЖ 1964].

Отмечается, что при изучении курса физики в высшей школе приходится сталкиваться с явлениями, в которых протекание определенных процессов подчиняется экспоненциальному закону (напр., радиоактивный распад, поглощение излучения в твердом теле, разряд конденсатора в цепи и т.п.). Вместе с тем наглядная демонстрация этих явлений с возможностью количественных измерений не всегда и не везде возможна. В связи с этим весьма желательно подобрать простой и доступный эксперимент, на примере которого с максимальной

наглядностью можно было бы наблюдать протекание экспоненциального процесса и получить основные количественные соотношения. В качестве такого эксперимента автор предлагает рассматривать процесс вытекания жидкости из сосуда с вертикальными стенками через узкий капилляр. Путем несложных вычислений можно получить закон изменения во времени высоты столба жидкости в вертикальном сосуде и выражение для “времени полураспада” — времени, в течение которого высота столба жидкости уменьшится вдвое. Можно показать, что это время пропорционально длине капилляра. Это дает возможность, изменяя длину капилляра, наблюдать процессы с различным временем полураспада и экспериментально проверить эту зависимость. Другой количественный эксперимент связан с измерением столба жидкости в процессе ее вытекания. Изменяя длину капилляра при одном и том же начальном уровне в вертикальном сосуде, можно получить в полулогарифмическом масштабе семейство прямых зависимости высоты столба жидкости от времени. Описана экспериментальная установка для проведения этих опытов, состоящая из трех последовательно соединенных, находящихся на разных уровнях вертикальных цилиндрических сосудов. Излагается также вариант опыта, в котором форма сосуда выбрана так, что уменьшение высоты столба жидкости пропорционально времени, а количество жидкости уменьшается по экспоненциальному закону, “постоянная полураспада” которого зависит от поперечного сечения выходного отверстия.

**Исследование радиоактивного излучения.** Marreaux J. Etude de la radioactivite. “Bull. Union physiciens”, 1964, 59, № 480, 192–198. [РЖ 1965 6 А91].

Описывается лабораторная работа по измерению интенсивности радиоактивного излучения с помощью электронного счетчика. Предлагаемая схема счетчика состоит из трех электронных ламп, первая из которых (ЕСС 82) усиливает сигнал ионизирующей частицы, поступающей на вход лампы; усиленный по амплитуде сигнал поступает на вход второй лампы (ЕСС 81), работающей в режиме одновибратора. Длительность выходного сигнала одновибратора определяется конденсатором емкостью  $100 \text{ нФ}$  и цепочкой разрядных сопротивлений  $1 \text{ МОм}$  и  $47 \text{ кОм}$ . Для устранения ложных срабатываний одновибратора на его входе установлен диод типа ОА 202. Выходные сигналы одновибратора поступают на двухполупериодный мост, состоящий из четырех диодов типа ОА 202, а затем на емкость  $1 \text{ мкФ}$  (типа Styroflex). Величина заряда емкости прямо пропорциональна числу импульсов, т. е. ионизирующих частиц, поступающих на вход счетчика. Разряд емкости осуществляется цепочкой, состоящей из четырех сопротивлений. Величина разрядного сопротивления устанавливается отдельным переключателем, являющимся таким образом регистратором чувствительности. Показания счетчика фиксируются или микроамперметром, включенным между двумя анодами третьей лампы (ЕСС 81), сетка которой соединена с цепочкой  $RC$ , или дополнительным регистратором, непосредственно отсчитывающим количество поступивших ионизирующих частиц. Калибровка микроамперметра производится с помощью специального импульсного генератора, подключенного к входу счетчика. Рассматриваемый счетчик может быть использован для разделения магнитным полем  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей. Приводятся схема электронного счетчика и схема калибровки.

**Изучение явления искусственной радиоактивности и определение периодов полураспада.** Практикум по ядерной физике. И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живописцев, Н.И. Тулинова. МГУ. 1965, 1979. Задача 3, с. 78.



В данной работе изучается искусственная радиоактивность изотопов серебра, возникающая при облучении естественной смеси изотопов серебра  $\text{Ag}^{107}$  и  $\text{Ag}^{109}$  тепловыми нейтронами. По кривой активации и кривым распада определяются соответствующие периоды полураспада обоих изотопов серебра.

**Моделирование радиоактивного распада.** Katz Robert, Butts J. J Simulated radioactivity. “Amer. J. Phys.”, 1966, 34, № 10, 986. [РЖ 1967 2 А77].

Радиоактивный распад моделируют с помощью генератора случайных чисел, например, вертушки со 120 позициями. Появление определенного номера при вращении вертушки имеет вероятность  $p = 1/120$ . Предположим, что вначале имеется 100 радиоактивных ядер. При каждом вращении вертушки выпадает номер распавшегося ядра. Выпадение номера больше 100 или повторное выпадение номера распавшегося ядра не считается распадом. Откладывая по оси  $X$  число вращений  $n$ , а по оси  $Y$  число “выживших” ядер  $N$ , получаем кривую, очень близкую к экспоненте  $N=100 \exp(-n/120)$ .

**Опыты по естественной радиоактивности.** Heise H. Versuche zur natuerlichen Radioaktivitat. “Math. und naturwiss. Unterr.”, 1966, 19, № 4, 128–132. [РЖ 1967 2А78].

Описаны простые опыты по определению толщины слоя насыщения, поглощению излучений различными экранами, определению периода полураспада ( $\text{Rb}^{87}$ ) и др. Опыты могут быть проведены при помощи любой счетной установки с механическим или электронным счетчиком, счетной трубки с окошком и штатива для исследуемого препарата; в качестве препаратов могут быть использованы различные соединения калия и рубидия, кремни для зажигалок, соединения церия (церий в природе, как правило, встречается вместе с торием). Для исключения фона рекомендуется использовать свинцовый экран толщиной 8–10 мм. Приведенные опыты углубляют знания учащихся по естественной радиоактивности, знакомят с методикой измерений интенсивности излучений и могут быть проведены самими учащимися на практических занятиях по физике.

**Детектирование  $\text{K}^{40}$  в условиях лаборатории общей физики.** Bradley George, Dewitt Jacob.  $^{40}\text{K}$  detection in general physics laboratory. “Amer. J. Phys.”, 1968, 36, № 10, 920–921. [РЖ 1969 3 А99].

Предлагается использовать естественную радиоактивность изотопа  $\text{K}^{40}$  для проведения лабораторных занятий студентов младших курсов по изучению метода меченых атомов. Присутствие изотопа  $\text{K}^{40}$  в исследуемом веществе можно обнаружить путем регистрации электронов или  $\gamma$ -квантов при его распаде. Для регистрации электронов предлагается использовать газовые счетчики с тонким окном, а для регистрации  $\gamma$ -квантов — сцинтилляционный счетчик с коллоидом. В качестве примера указывается на возможность проведения лабораторной работы по установлению различия между  $\text{KCl}$  и  $\text{NaCl}$  и  $\text{KClO}_3$  и  $\text{KCl}$  на основании измеренной радиоактивности. Отмечается, что при необходимости усложнить лабораторную работу можно предложить студентам выполнить теоретические расчеты поправок на самопоглощение электронов в источнике радиоактивного излучения.

**Исследование схемы распада  $\text{In}^{116\text{m}}$ . Задача для студенческого практикума.** Banta H.E., Gleason G.I.A student exercise on the decay scheme of  $^{116}\text{In}$ . “Amer. J. Phys.”, **1969**, 37, № 6, 605–610. [РЖ 1970 2 А84].

Описывается экспериментальное исследование схемы распада 54-мин.  $\text{In}^{116\text{m}}$ , предлагаемое в качестве упражнения для студентов и разработанное в специальном учебном отделе Окриджского университета. Опыт может быть осуществлен (частично или полностью) в лабораториях, имеющих в своем распоряжении полупроводниковые детекторы, многоканальные анализаторы и изотопные нейтронные источники. Выбор в качестве исследуемого объекта  $\text{In}^{116\text{m}}$  обусловлен следующими факторами: 1) большое сечение ( $n, \gamma$ )-реакции с образованием  $\text{In}^{116\text{m}}$  при облучении естественного  $\text{In}$ , позволяющее получать исследуемый изотоп в условиях учебной лаборатории; 2) наибольший период полураспада по сравнению с периодами других радиоактивных изотопов, образующихся в реакции; 3) широкий диапазон энергий  $\gamma$ -переходов с малыми коэффициентами конверсии и 4) наличие нескольких достаточно хорошо разделяющихся  $\beta$ -компонент. В описываемом опыте источник  $\text{In}^{116\text{m}}$  активностью 4 кюри получался облучением  $\text{In}$ -фольг тепловыми нейтронами от  $\text{Am-Be}$ -источника, помещенного в парафиновый куб. Исследуются: 1) спектры  $\gamma$ -лучей с  $\text{Ge(Li)}$ -детектором и 2048-канальным анализатором. Проводится градуировка установки по энергии и эффективности с использованием калибровочных источников; 2) спектры  $\gamma\gamma$ -совпадений; 3)  $\beta$ -спектр с помощью  $\text{Si (Li)}$ -детектора; 4)  $\beta\gamma$ -совпадения; 5) измеряется период полураспада  $\text{In}^{116\text{m}}$ . Полученные данные сравниваются с результатами опубликованных работ по исследованию распада  $\text{In}^{116\text{m}}$  и на основании их анализа строится схема распада  $\text{In}^{116\text{m}} \rightarrow \text{Sn}^{116\text{m}}$ .

**Определение периода полураспада короткоживущих изотопов.** Богданов А.И. “Уч. зап. Душанбин. гос. пед. ин-т”, **1970**. 72, ч. 1, 78–79. [РЖ 1970 11 А72].

Кратко описана лабораторная работа по определению периода полураспада короткоживущих изотопов методом снятия кривой распада изотопа, поставленная в лаборатории ядерной физики Душанбинского государственного педагогического института.

**Эксперименты Резерфорда с торием.** Flower N. C. Ernest Rutherford's experiments on thorium. “Phys. Educ.”, **1970**, 5, № 4, 214–220. [РЖ 1971 1 А87].

Дается подробное описание экспериментальных исследований Резерфорда и его сотрудников радиоактивных свойств тория. Подчеркивается простота экспериментальных средств и глубина результатов, полученных в итоге исследований. Утверждается, что с использованием современных средств (гейгер-мюллеровских счетчиков, пересчетных устройств, ионизационных камер и усилителей постоянного тока) все эксперименты Резерфорда становятся доступными для студенческой или школьной лабораторий, причем время проведения опытов сокращается до нескольких минут. В статье дано описание трех методов измерения времени полураспада торона и методов регистрации  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений.

**Радиоактивный распад смеси двух изотопов.** Работа № 85. С. 353–374. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., **1970**.

**Определение периода полураспада радиоактивного элемента.** Работа № 89. С. 376. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Зависимость концентрации радиоактивных атомов от времени.** Работа № 90. С. 376. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Учебный эксперимент по изучению последовательного радиоактивного распада.** Scobie J., Scott R.D. A student experiment on successive radioactive decay. "Amer. J. Phys.", 1971, 39, № 8, 962–963. [РЖ 1972 1 А149].

Описывается эксперимент, предлагаемый в качестве студенческой учебной задачи. Цель работы – определение констант распада  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  радиоактивной цепочки  $^{101}\text{Mo} \xrightarrow[14,6 \text{ мин}]{\beta} ^{101}\text{Tc} \xrightarrow[14 \text{ мин}]{\beta} ^{101}\text{Ru}$  (ст.). Выбор  $^{101}\text{Mo}$  в качестве

предмета исследования определен следующими требованиями: 1) периоды полураспада радиоактивных ядер должны быть порядка нескольких минут с тем, чтобы время измерений занимало не более 3 ч; 2) материнский изотоп должен получаться в измеримых количествах путем облучения в потоке нейтронов  $10^{12}$  нейтрон/см<sup>2</sup>·сек в течение нескольких секунд; 3) распад радиоактивных ядер должен сопровождаться  $\gamma$ -излучением, регистрируемым сцинтилляционным счетчиком; 4) вклад излучений радиоактивных ядер, содержащихся в образце в качестве примесей, должен быть пренебрежимо малым. Активность образца (100 мг  $\text{MoO}_3$ ) после облучения в течение 5 сек позволяла проводить измерения с большой статистической точностью. Измеряется зависимость от времени интенсивности  $\gamma$ -излучения  $^{101}\text{Mo}$  с энергией выше 1 МэВ, активность дочернего  $^{101}\text{Tc}$  детектируется по пику полного поглощения линий 307 кэВ. Обсуждаются способы определения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  согласно закону радиоактивного распада ряда и трудности достижения хорошей точности нахождения  $\lambda_2$  в случае  $\lambda_1 \approx \lambda_2$ . Для более точного определения  $\lambda_2$  предлагается использовать соотношение

$$e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} / e^{-\lambda_1 t'} - e^{-\lambda_2 t'} = 1,$$

получающееся из закона изменения активности дочернего вещества  $A_2$ , для двух моментов времени:  $t$  (до прохождения интенсивности через максимум) и  $t'$  (после прохождения через максимум), соответствующих одному и тому же значению  $A_2$ .

**Альфа-радиоактивность.** Практикум по ядерной физике. Уч. пособие для студ. высш. учебных заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972. Лаб. работа 4.

**Определение периодов полураспада серебра  $^{108}\text{Ag}_{47}$  и  $^{110}\text{Ag}_{47}$ .** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972, 1979, 1988, 2004. Лаб. работа 5. С. 110.

В данной работе изучается искусственная радиоактивность изотопов серебра, возникающая при облучении естественной смеси изотопов серебра  $^{107}\text{Ag}_{47}$  и  $^{109}\text{Ag}_{47}$  тепловыми нейтронами. По кривой активации и кривым распада определяются соответствующие периоды полураспада изотопов серебра.

**Изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, 1979, 1988. Лаб. работа 9, с. 127.

Целью работы является изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  под действием тепловых нейтронов. В качестве нейтронного источника используется сплав PuBe (плутония и бериллия). Ядра плутония в результате естественного радиоактивного распада испускают  $\alpha$ -частицы. В ходе выполнения работы измеряется энергетический спектр  $\alpha$ -частиц. Затем измеряется энергетический спектр осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами. Результаты измерений представляются графически.

**Деление урана под действием тепловых нейтронов.** Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. 1973. Работа 83, с. 514.

Для исследования активности используется установка типа Б-2, состоящая из пересчетной схемы, выносного блока с  $\beta$ -счетчиком и высоковольтного выпрямителя. Облучение образца проводится в установке для генерации медленных нейтронов. Источник быстрых нейтронов  $\text{Po} + \text{Be}$  укреплен на конце длинного штока, с помощью которого он может перемещаться вдоль вертикального канала. Хранится источник в нижней части канала (колодце). Верхняя часть канала окружена парафином, который служит для замедления нейтронов. В парафиновом блоке сделаны полости для облучения образцов. Используемый для деления уран нанесен очень тонким слоем на поверхность медной фольги. Для собирания осколков к фольге со стороны урана прикладывается толстая бумага (коллектор). Фольга с бумагой наматывается на алюминиевый цилиндр и закрепляется с помощью резинового кольца. При измерении пробега осколков между коллектором и фольгой прокладываются слои папиросной бумаги. Результаты измерений (за вычетом фона) изображаются на графике в координатах  $\ln N, t$ , где  $N$  — число отсчетов за 3 минуты, а  $t$  — время, прошедшее после облучения. Из графика определяется средний период полураспада осколков. Далее исследуется пробег осколков деления и выполняется проверка того, что деление урана вызывается тепловыми нейтронами.

**Эксперимент Беккереля в преподавании физики.** Bodemann M., Erichsen L. von. Das Becquerel-experiment im Physikunterricht. "Naturwiss. Unterr.", 1974, 22, № 3, 96–100. [РЖ 1974 8 А109].

Предложена современная модификация классического эксперимента Беккереля по обнаружению радиоактивности. Рассмотрены варианты эксперимента с радиоактивными препаратами U и с  $^{137}\text{Cs}$ . Описана методика приготовления радиоактивных препаратов и техника получения автордиограмм. Эксперимент Беккереля может быть использован в качестве демонстрационного опыта при преподавании курса общей физики.

**Изображение закономерностей радиоактивного распада и ядерных реакций на экране осциллографа.** Hoffmann P., Nessel R. Darstellung der Gesetzmäßigkeiten bei radioaktivem Zerfall und bei Kernreaktionen mit einem Oszillograhen. “Math. und naturwiss. Unterr.,” 1974, 27, № 2, 90–96. [РЖ 1974 10 A105].

Описывается построение электронной модели процесса, затухающего экспоненциально во времени. Модель изготавливается как последовательность 3 RC-цепочек с различными постоянными времени, имитирующими последовательность трехстадийного радиоактивного распада. Напряжения с них через коммутатор подаются на осциллограф, где видны 4 кривые, соответствующие активности каждого нуклида и их сумме. Указываются примеры моделирования конкретных реакций распада.

**Оптимизация времени счета при измерении радиоактивности.** Sedgwick D. Estimating the optimum counting time of a radionuclide. “Phys. Educ.,” 1975, 10, № 5, 371–372. [РЖ 1976 1 A124].

При измерении активности радиоизотопов общий отсчет является суммой активности измеряемого радиоизотопа и фона, который должен быть измерен отдельно. Если период полураспада радиоизотопа сравним с временем измерения, то заметная часть ядер его успеет распасться и скорость счета уменьшится. Важно выбрать оптимальное время счета с целью минимизировать статистическую ошибку, присущую любому измерению радиоактивности. По результатам численного расчета выведенного уравнения построен график зависимости оптимального времени счета от времени, прошедшего от начала измерения до того момента, когда интегральная активность радиоизотопа вместе с фоном вдвое превысит значение одного только фона за это же время. Если это время выразить через  $x$ , а оптимальное время измерения через  $C$  периодов полураспада, то при  $x=0,1; 1; 10; 100$  значение  $C$  принимает значения соответственно 2,1; 2,2; 3,0; 5,6.

**Цепочка радиоактивных распадов: цифровой метод.** Berridge H.J.J. Radioactive decay chains – a digital method. “Phys. Educ.,” 1975, 10, № 6, 437–439. [РЖ 1976 3 A111].

Описан эксперимент по моделированию цепочки радиоактивных распадов. Моделирование выполняется на цифровой ЭВМ и заключается в решении с помощью ЭВМ двух дифференциальных уравнений, описывающих цепочку радиоактивных распадов в различные моменты времени. Программа написана на языке Фортран и может быть использована на любой ЭВМ, имеющей транслятор с Фортрана. Приведен текст программы, обсуждается принцип ее работы, а также даны результаты расчетов, представленные в виде графиков, полученных с печатающего устройства, соединенного с ЭВМ. Отмечается, что изменение одной или нескольких конструкций программы может менять начальные условия, число переменных и т. д. Кратко обсуждаются преимущества и недостатки цифрового моделирования по сравнению с аналоговым. Отмечается, что хорошей задачей для учащихся является также сравнение цифровых и аналоговых методов для решения одной и той же задачи.

**Лабораторная работа для студентов старших курсов по определению времени жизни ядер электронным методом.** Shapiro Mark H. Electronic nuclear life-

time experiment for the senior laboratory. "Amer. J. Phys.", **1976**, 44, № 4, 380–383. [РЖ 1976 11 A161].

С целью иллюстрации некоторых принципов измерений малых отрезков времени производилось определение времени жизни уровня  $E=482,0$  кэВ  $^{181}\text{Ta}$  дифференциальным методом совпадений. Мишень, используемая в экспериментах, готовилась путем облучения 25 г естественного металлического гафния нейтронами Pu–Be-источника в течение 90 дней. В работе применялись сцинтилляционный детектор и электронная аппаратура с разрешающим временем 3,5 нсек.

**Ядерная физика в основной школе и реальном училище. Ч. III. Определение периода распада возбужденных ядер бария-137.** Volkmer M. Kernphysik in der Haupt- und Realschule. Teil III: Ermittlung der Halbwertzeit von Barium-137 m. "Naturwiss. Unter. Phys./Chem.", **1977**, 25, № 5, 136–139. [РЖ 1977 12 A128].

Опыты по определению периода распада радиоактивных ядер, проводимые с изотопами радона, по многим причинам неудобны для школы. Предлагается определять период распада с помощью препарата цезия-137, который при  $\beta$ -распаде с периодом распада 30 лет дает возбужденное ядро бария-137, переходящее в основное состояние с излучением  $\gamma$ -кванта с периодом распада 2,6 мин. В работе проводятся измерения периода распада для последнего процесса. В опытах регистрируется число импульсов за определенное время и строится график зависимости скорости счета от времени. По графику определяется период распада. Приведены типичные результаты.

**Период полураспада тория-232: лабораторный эксперимент.** Chikkur G.C., Umakantha N. Half-life of thorium-232: a laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", **1977**, 45, № 1, 1120–1122. [РЖ 1978 5 A87].

Описывается простая лабораторная работа по определению периода полураспада  $^{232}\text{Th}$ , позволяющая ближе познакомить студентов с техникой абсолютного счета ионизирующих частиц в  $4\pi$ -геометрии с использованием жидкого сцинтиллятора. Т. к. наиболее долгоживущим дочерним элементом в данном случае является  $^{228}\text{Ra}$  с периодом полураспада 5,75 лет, то можно считать, что применяемый образец, имеющий возраст 35 лет, содержит равновесные концентрации всех продуктов распада  $^{232}\text{Th}$ . Измерялся выход  $\alpha$ -частиц с энергией от 4 до 9 МэВ и  $\beta$ -частиц с энергиями 0.012–2,25 МэВ. В качестве сцинтиллятора использовался раствор  $p$ -терфенила в диоксане с добавкой на 2 мл раствора 2 мг  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Для измерения и счета сцинтилляций использовался фотоумножитель RCA 6199 и одно- или многоканальный анализатор амплитуд импульсов.

**Опыты с активированной металлической фольгой.** Malati M. A. Experiments with activated metal foils. "Phys. Educ.", **1978**, 13, № 6, 353–357. [РЖ 1979 3 A89].

Описаны опыты по изучению естественной и искусственной радиоактивности фольг различных металлов, облученных нейтронами. Приводятся схема экспериментальной установки, методика проведения экспериментов и меры радиационной безопасности, типичные результаты измерений и их обработка. В качестве источника нейтронов используется смесь изотопов  $^{241}\text{Am}$ – $^9\text{Be}$ . Достоинства используемого источника — большой период полураспада Am (458 лет) и низкая энергия  $\gamma$ -излучения. Активируются фольги In; In, покрытого Cd; Cu и сплава Cu–Be. Интенсивность радиоактивного излучения фольг измеряется с

помощью счетчика Гейгера-Мюллера. Опыты позволяют исследовать экспоненциальное затухание  $\beta$ -радиоактивности и период полураспада, зависимость интенсивности излучения от времени облучения, поглощение нейтронов в Cd и обусловленную этим слабую его интенсивность излучения, разрешение составных кривых затухания искусственного радиоактивного излучения в смесях двух источников с различными периодами полураспада, нейтронную активацию Cu–Be-сплава, обратное рассеяние  $\beta$ -частиц. Отмечается, что некоторые из описанных опытов могут также демонстрироваться в школах.

**Получение и идентификация изотопов в процессе обучения.** Fawcett L., Jr. Isotope production and identification in teaching. "Phys. Teach.", 1978, 16, № 6, 382–383. [РЖ 1979 3 А90].

Описана лабораторная работа для студентов вузов, в которой изучаются ядерные превращения. Стабильный изотоп  $^{27}\text{Al}$  облучается нейтронами, источником которых служит  $^{241}\text{Am}$ . В результате облучения образуется радиоактивный изотоп  $^{28}\text{Al}$ . Последний превращается в  $^{28}\text{Si}$  с испусканием  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения. В работе производится идентификация энергии  $\gamma$ -излучения с помощью многоканального анализатора. Описанная методика позволяет изучать и другие ядерные реакции, инициируемые нейтронами.

**Простое измерение распространенности изотопа  $^{40}\text{K}$ .** Green M.G. A simple measurement of the isotopic abundance of  $^{40}\text{K}$ . "Phys. Educ.", 1978, 13, № 6, 348–351. [РЖ 1979 3 А91].

Описан метод определения содержания  $\beta$ -радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$  в природной соли KCl, используемый в студенческом практикуме. Радиоактивность KCl измеряется с помощью счетчика Гейгера. Основное внимание уделено эффективности счета, учету фона и поглощения  $\beta$ -частиц воздухом, образцом и материалом окна счетчика.

**Эксперимент повышенного уровня для старшекурсников по определению времени жизни ядер.** Rollefson A.A., Prior R.M. An advanced undergraduate nuclear lifetime experiment. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 10, 1007–1008. [РЖ 1979 4 А133].

Описан эксперимент по определению времени жизни возбужденного состояния ядра  $^{237}\text{Np}$ , получающегося при  $\alpha$ -распаде ядра  $^{241}\text{Am}$ . Используется метод запаздывающих совпадений. В эксперименте детектируется совпадение  $\alpha$ -частиц с энергией 5 МэВ и  $\gamma$ -лучей с энергией 60 кэВ. Эффективность детекторов высокая, что позволяет провести весь опыт за 3 часа. Приводятся схема распада  $^{241}\text{Am}$ , блок-схема установки, типичные результаты. Электронная аппаратура стандартна. Описываются 3 метода определения периода полураспада  $^{237}\text{Np}$ , приводящие к значению  $\sim 67$  нсек.

**Ядерная изомерия и определение периодов полураспада изомеров родия  $^{104}\text{Rh}$  и  $^{104\text{m}}\text{Rh}$ .** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, 1979. Лаб. работа 6, с. 100.

В данной работе изучается искусственная радиоактивность изомеров  $^{104}\text{Rh}$ , возникающая при облучении  $^{103}\text{Rh}$  тепловыми нейтронами. По кривым распада определяют соответствующие периоды полураспада изомеров родия.

**Изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, **1979, 1988**. Лаб. работа 9, с. 127.

Целью работы является изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  под действием тепловых нейтронов. В качестве нейтронного источника используется сплав PuBe (плутония и бериллия). Ядра плутония в результате естественного радиоактивного распада испускают  $\alpha$ -частицы. В ходе выполнения работы измеряется энергетический спектр  $\alpha$ -частиц. Затем измеряется энергетический спектр осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами. Результаты измерений представляются графически.

**Эксперимент по изучению радиоактивного распада  $^{58}\text{Co}$ .** An experiment on the decay of  $^{58}\text{Co}$ . Ledingham K.W.D., Callaghan A.N, C. "Phys. Educ.", **1979**, 14, № 5, 322–324. [РЖ 1980 2 A119].

Некоторые виды радиоактивного распада происходят при испускании ядром позитрона или при поглощении им электрона. Первый процесс можно фиксировать по появлению заряженных частиц (позитронов) или по аннигиляции позитронов. Второй процесс обнаружить труднее. Однако в ряде случаев ядро после захвата им электрона оказывается в возбужденном состоянии и при переходе в нормальное состояние испускает  $\gamma$ -лучи. В этом случае легко найти отношение числа распадов с испусканием позитрона к числу распадов с поглощением электрона. Описан эксперимент по определению этого отношения при распаде радиоактивного Co с использованием несложной аппаратуры.

**Опыт, моделирующий процесс радиоактивного распада.** Bierschaumzerfall im Unterricht/ Sciler Tbeo. "Prax. Naturwiss.", **1979**, 28, № 12, 322–324. [РЖ 1980 5 A136].

Описан модельный лабораторный эксперимент, в котором изучается процесс радиоактивного распада. Процесс радиоактивного распада вещества имитируется уменьшением объема пивной пены в мензурке. Увеличение количества пива аналогично накоплению продуктов радиоактивного распада. Приведены рекомендации по постановке опыта.

**Моделирование радиоактивного распада.** Sommer Dieter. Simulation des radioactiven Zerfalls. "Prax. Naturwiss.", **1979**, 28, № 1, 1–3. [РЖ 1979 6 A103].

Описано устройство экспериментальной установки, предназначенной для моделирования процессов простого и сложного радиоактивных распадов. В модели используется несколько расположенных друг над другом пластмассовых чашек, в днищах которых имеются отверстия. Количество отверстий и их диаметры в разных чашках различные. В верхнюю чашку насыпается определенное количество шариков и затем чашкам сообщается вибрационное движение. В экспериментах определяется зависимость количества шариков в каждой чашке от времени. Показано, что полученные зависимости аналогичны зависимостям,



свойственным процессам радиоактивного распада. Определены константы “распадов” и показано, от каких параметров они зависят. Проведение школьниками таких экспериментов позволяет им лучше усвоить физические процессы радиоактивного распада.

**Учебный эксперимент: период полураспада тория 232 и радона 220.** Undergraduate experiment: Half-lives Thorium-232 and Radon-220. Cussenot J.R., Fabry M. “Amer. J. Phys.”, [РЖ 1981 3 A137].

Описан несложный лабораторный эксперимент, в котором определяются периоды полураспада  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Эксперимент состоит в нахождении периода полураспада  $^{220}\text{Rn}$  с помощью электроскопа и нахождении активности  $^{220}\text{Rn}$  с помощью калибровочного источника  $^{235}\text{U}$  (активность 7350  $\alpha$ /мин.,  $E_\alpha=4,39$  МэВ), помещаемого в камеру электроскопа. Для проведения эксперимента используется двухкамерное устройство; в одну из камер помещается исследуемый образец  $\text{ThO}_2$  (4,3 г), эмиттирующий газообразный радон. Все продукты распада находятся в вековом равновесии с торием. Вторая камера имеет изолирующую перегородку, сквозь которую пройдет металлический стержень электроскопа. Электроскоп заряжается до потенциала 400 В. Газообразный  $^{220}\text{Rn}$  накачивается в ионизационную камеру пульверизатором; ионизируя воздух в камере,  $^{220}\text{Rn}$  вызывает стекание электрического заряда со скоростью, пропорциональной активности источника. Скорость спадания листочков электроскопа измеряется с помощью микрометра при наблюдении в микроскоп. Определяется период полураспада  $^{220}\text{Rn}$  ( $55\pm 1$  сек, что находится в хорошем согласии с литературными данными) и его активность (из известной активности калибровочного источника). Для нахождения периода полураспада  $^{232}\text{Th}$  используется закон векового равновесия.

**Ядерная статистика. Лабораторный эксперимент.** Nuclear statistics with a 'poor man's detector': Nand, Nagpaul K.K. “Eur. J. Phys.”, 1980, 1, № 3, 133–137. [РЖ 1981 8 A127].

Описан простой лабораторный эксперимент по статистике ядерного деления, имеющий цель ознакомить студентов с работой твердотельных детекторов для обнаружения следов атомных ядер. Используемый в качестве источника частиц  $^{252}\text{Cf}$  в виде тонкого слоя диаметром 1,25 см помещался под предметное стекло микроскопа в геометрии  $< 2\pi$ . Треки продуктов деления наблюдались в микроскопе, результаты наблюдений обрабатывались методами статистики.

**Обеспечение безопасности работ с радиоактивными веществами в процессе обучения.** Sicherheitsbestimmungen im naturwissenschaftlichen Unterricht beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Bodemann Manfred. “Natur und Heimat”, 1980, 28, № 3, 78–81. [РЖ 1980 10 A105].

Разъясняются положения новых норм защиты от радиоактивного излучения, принятых в ФРГ в 1976 г. Введены новые единицы измерения радиоактивности, ионизирующей способности, введено понятие эквивалентной дозы для сравнения различных видов излучения. Все единицы даны в системе СИ, приведены связи новых единиц со старыми, которые останутся в обращении наряду с новыми до 1985 г. Большое внимание уделено нормам работы с радиоактивными веществами в школах. Установлены предельные дозы облучения во время работ

независимо от уровня естественной радиоактивности в данной местности. В нормах перечислены также меры предосторожности при проведении экспериментов с радиоактивными веществами.

**Радиационная безопасность в учебной лаборатории.** Radiation safety in the lab. Stroink G. "Phys. Teach.", **1980**, 18, № 3, 207. [РЖ 1980 12 A166].

Описан типичный случай нарушения техники безопасности при выполнении лабораторных работ с радиоактивными источниками. При обсуждении этого случая в студенческих группах был проведен элементарный расчет, показавший, что возможная доза облучения могла превысить допустимую. В связи с этим рекомендованы для обязательного выполнения следующие правила техники безопасности: 1) радиоактивные источники необходимо пересчитывать перед каждой лабораторной работой, 2) источники должны быть перенумерованы и маркированы и храниться в запертых шкафах, 3) при выполнении лабораторных работ с радиоактивными препаратами обязательно присутствие преподавателя.

**Учебные эксперименты по спонтанному делению.** Student experiments in spontaneous fission. Vecchetti F. D., Ying J. S. "Amer. J. Phys." **1981**, 49, № 12, 1162–1171. [РЖ 1982 7 A83].

Дано детальное научно-методическое описание учебного эксперимента по исследованию спонтанного деления. Отмечен приоритет советских ученых Г.Н. Флерова и К.А. Петржака в открытии этого явления. В качестве делящегося вещества использованы  $^{252}\text{Cf}$ . Дано теоретическое введение, описание экспериментального оборудования, рассмотрены вопросы обработки результатов эксперимента. Сформулированы типичные вопросы, на которые должны ответить студенты, участвовавшие в подготовке и проведении эксперимента. Указаны меры по технике безопасности и приведены некоторые данные справочного характера.

**Моделирование радиоактивного распада с помощью кубиков.** Simulating radioactive decay with dice. Kowalski Ludwik. "Phys. Teach.", **1981**, 19, № 2, 113. [РЖ 1981 9 A140].

Описан модельный эксперимент, с помощью которого можно наглядно продемонстрировать явление радиоактивного распада. Методика проведения эксперимента состоит в бросании на плоскую поверхность большого (более 1000) числа  $N_0$  кубиков с каким-либо образом отмеченной гранью, выпадение которой идентифицируется как "распад атома". После удаления из множества  $N_0$  тех кубиков, которые выпали отмеченной гранью вверх (число  $N_d$ ), бросок повторяется и т. д. Последовательность чисел  $N_d$  и  $N_s = N_0 - N_d$  имеет экспоненциальный характер. Обсуждаются причины расхождения результатов модельного опыта с формулой  $N_s = N_0 \exp(-\lambda t)$ .

**Эксперименты по изучению проникающей способности радиоактивных лучей.** Оока Кити. "Isotope News", **1983**, № 348, 2–5. [РЖ 1984 2 A114].

**Измерение периодов радиоактивного полураспада в учебной лаборатории.** Radioactive half-life measurements in a freshman or sophomore laboratory. Supon F.W., Kraushaar J.J. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 8, 761763. [РЖ 1984 2 A115].

Приведено описание лабораторной экспериментальной установки для измерения периода полураспада радона, излучающего  $\alpha$ -частицы с энергией 6,29 МэВ. Установка предназначена для лабораторных работ в курсе физики для студентов первого или второго курсов. Установка представляет собой сосуд с  $\text{ThO}_2$ , из которого радон, образующийся при распаде тория, поступает по трубке в люцитовую камеру, стенки которой покрыты слоем сульфида цинка. Одна из стенок камеры примыкает к фотоумножителю, регистрирующему сцинтилляции на поверхности сульфида цинка, возникающие при взаимодействии его с  $\alpha$ -частицами, излучаемыми радоном. Электронная система, обеспечивающая работу установки, состоит из системы питания фотоумножителя, комбинации усилителя и одноканального дискриминатора, пересчетного устройства и таймера. В сосуде содержится около 40 г  $\text{ThO}_2$ . Через 7 мин после поступления радона в камеру скорость счета составляет  $4 \text{ с}^{-1}$ . Точность измерения периода полураспада радона составляет  $\pm 0,6 \text{ с}$ . Полученные значения хорошо согласуются с опубликованным значением  $T_{1/2} = 55,66 \pm 0,04 \text{ с}$ . Период полураспада тория, вычисленный в условиях учебной лаборатории, имеет значение  $(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$  лет при точном значении  $1,41 \cdot 10^{10}$  лет.

**Определение большого полупериода полураспада в учебной лаборатории.** Фетисов И.Н. “Изв. вузов. Физ.”, 1987, 30, № 8, 91–92. [РЖ 1988 1 А129].

Период полураспада  $T_{1/2}$  естественного изотопа калия  $^{40}\text{K}$  ( $T_{1/2} \approx 10^9$  лет) определяется в простом опыте путем измерения абсолютной активности  $a$  и массы  $m$  препарата  $\text{KCl}$ :

$$T = \frac{\ln 2 \cdot N}{a} = \frac{\ln 2 \cdot N_A^{\epsilon m}}{aM},$$

где  $N$  — число атомов  $^{40}\text{K}$ ,  $\epsilon$  — доля данного изотопа ( $\epsilon = 1,18 \cdot 10^{-4}$ ),  $N_A$  — число Авогадро,  $M$  — молярная масса  $\text{KCl}$ . Активность измеряется по  $\gamma$ -излучению относительным методом — сравнением с известной активностью  $a'$  образцового источника  $^{60}\text{Co}$ .

**Измерение постоянной распада долгоживущего калия-40.** Фетисов И.Н. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). 1988. № 14. С. 103–107. [РЖ 1989 2 А174].

Разработана методика лабораторной работы по измерению постоянной распада изотопа  $^{40}\text{K}$ , присутствующего в естественном калии. Измеряются абсолютная активность препарата хлористого калия и его масса. Методика опыта проста, оборудование доступно. Для работы с калиевой солью и калибровочным гамма-источником активностью 1 мкК и не требуется разрешения.

**Автоматизированный эксперимент по определению периода полураспада короткоживущих изотопов.** An automated short half-life experiment / Taylor В.Е. // Amer/ J/ Phys/ — 1989. — 57, № 11. — С. 1051 — 1052. — [РЖ 1990 11 А171].

Описана установка по определению периода полураспада для изотопов, период распада которых составляет несколько секунд. В качестве детектора используется счетчик Гейгера–Мюллера, питаемый стабилизированным высоковольтным источником напряжения. Вся установка включена в замкнутую систему, содержащую ЭВМ типа Apple II с интерфейсом. Установка содержит элементы и микросхемы, серийно выпускаемые промышленностью США. Приводится принципиальная схема установки. Кратко поясняется принцип ее действия

**Определение естественной радиоактивности растений** / Фаттоев Ж. // Физ. в шк. – 1990. – № 2. – С. 60–61. [РЖ 1990 А132].

Многие растительные организмы имеют способность накапливать в себе радиоактивные элементы. Они могут быть обнаружены в золе растений с помощью индикатора ионизирующих излучений. Дано описание лабор. работы по обнаружению ионизирующих частиц, образующихся при радиоактивном распаде золы сожженного растения, сравнению интенсивности радиоактивного излучения различных источников и наблюдение его проникающей способности в зависимости от толщины слоя вещества.

**Лабораторная работа “Определение уровня радиоактивного загрязнения воздуха и оценка меры его опасности. Исследование сложных законов распада радиоактивных рядов”.** Бабенко С.П., Павлов К.Б. Сб. науч.-метод. ст. по физ. 1991. № 16. С. 109–118. [РЖ 1991 9 А72].

Определяется мера загрязнения атмосферы радиоактивными элементами. За эту меру принимается отношение объемной активности продуктов распада радона в атмосфере к объемной активности равновесного радона, допускаемой нормами радиационной безопасности.

**Лабораторные работы с экологическим содержанием в практикуме по общей физике.** Виноградова Н.Б., Ильин В.А. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1994. № 1, 15–16. [РЖ 1997 08А110].

Описан “экологический” цикл лабораторных работ в практикуме по общей физике, при выполнении которого студенты знакомятся с различными видами радионуклидов, их распространением в окружающей среде, методами защиты от проникающих излучений, а также приобретают практические навыки работы с дозиметрической аппаратурой.

**Лабораторная работа “Основы дозиметрии”.** Виноградова Н.Б., Ильин В.А. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1995. № 2. 35–40. [РЖ 1997 04А97].

Описана поставленная в практикуме по ядерной физике работа, посвященная вопросам знакомства с видами ионизирующих излучений, способами измерения их параметров и методами биологической защиты. Наряду с теоретическими знаниями студенты получают навыки работы с бытовыми дозиметрами.

**Изучение радиоактивного распада радона.** Лабораторная работа в практикуме по общей физике педагогического вуза. Виноградова Н.Б., Ильин В.А. *Изв. вузов. Физ.* 1996. 39, № 1 119–120. [РЖ 1996 10А76].

Исследовано отношение концентраций  $Rn^{222}$  и продуктов его распада в помещении и на открытом воздухе. Определен эффективный период полураспада смеси  $Rn^{222}$  и его дочерних  $\beta$ -излучающих изотопов ( $RaB$  и  $RaC$ ). Установлено, что концентрация радона в помещении лаборатории превышает его уровень на открытом воздухе в 3–4 раза. Приведена структурная схема установки для проведения измерений.

**Радиоактивность и методы элементного анализа.** Остроумов Г.В., Якубович А.Л., Карпов Ю.А. *Завод. лаб.* 1996. 62, № 11. 21–28. [РЖ 1997 10А170].

Краткий обзор ядерно-физических методов элементного анализа, оценено их место в комплексе существующих методов анализа вещества, намечены некоторые перспективы их дальнейшего развития.

**Мониторинг естественной радиоактивности воздуха с помощью простого учебного оборудования.** Сметанин А.С. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2001. № 12. 38–41, 87. [РЖ 01.09–18А.155].

Из стандартного оборудования сконструирована рабочая установка, с помощью которой были проведены измерения радиоактивной загрязненности на улице и в рекреационных помещениях учебного заведения Вятского госуд. Педагогического университета.

**Измерение естественной радиоактивности солей калия:** Методические указания к лабораторной работе № 12 по курсу “Строение вещества”. Бажутов Ю.Н., Белкова Ю.А. М.: Изд-во МАДИ, 2002. 17 с. [РЖ 03. 10–18А.179].

Целью данной работы является измерение естественной радиоактивности солей калия и степени ее поглощения пассивной защитой. В конце работы даются Приложение, содержащее определения рассмотренных физических величин и явлений, и комплекты вопросов для домашней подготовки.

**Радиоактивность, альфа-распад, взаимодействие альфа-частиц с веществом.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 2, с. 31.

Целью лабораторной работы является изучение  $\alpha$ -радиоактивности, механизма образования  $\alpha$ -частиц и их взаимодействия с веществом. Для этого измеряются энергетические спектры  $\alpha$ -частиц от нескольких источников, измеряются потери энергии  $\alpha$ -частиц в воздухе.

**Радиация.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 12, с. 286.

Работа “Радиация” знакомит с основными источниками воздействия радиоактивного излучения на живой организм и последствиями, к которым может привести облучение человека. Она дает представление о методах защиты от источников радиации и организации безопасной работы с радиоактивными препаратами. Описание используется совместно с компьютерной программой. Программа генерирует каждому студенту индивидуальное задание, состоящее из нескольких задач, и проверяет правильность ответов.

**Деление ядер (лабораторная работа): Учебное пособие.** Воротник Р.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Кэбин Э.И., Морозов С.Б. М. Изд-во УНЦ ДО. 2004. 34 с. [РЖ 2005 03–18А.150].

Пособие представляет собой описание одной из лабораторных работ общего ядерного практикума для студентов 3 курса физического факультета МГУ, не специализирующихся по ядерной физике. Оно знакомит с явлением деления ядер, с методом проведения экспериментов, измерения, обработки и анализ спектров осколков деления. Целью работы является изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}_{92}\text{U}$  под действием тепловых нейтронов.

**Измерение излучения радиоактивного источника в классной комнате.** Measuring the activity of a radioactive source in the classroom. Peralta L. *Eur. J. Phys.* 2004. 25. № 2. 211–219. [РЖ 2005 07–18А.140].

## Глава 18. РАЗНОЕ

**Омегатрон для определения отношения  $e/m$  протона в учебной лаборатории.** Marley 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 11А106].

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.

**Имитация эксперимента по рассеянию частиц.** Brody H. A simulated scattering experiment. “Amer. J. Phys.”, 1963, 31, № 9, 729–730. [РЖ 1964 6 А97].

Студентам часто трудно понять, как можно определить размеры атома или ядра из результатов обстрела пучком частиц случайного набора аналогичных частиц в “черном ящике” и наблюдений числа рассеянных частиц. Описан эксперимент, имитирующий рассеяние частиц и дающий наглядное представление о статистических флуктуациях, который приводится в курсе атомной физики для студентов II курса. В качестве мишени используется доска размерами 60×60 см с 6 приклеенными к ней в “случайном” расположении шариками диаметром 1,5 см; доска положена с незначительным уклоном, чтобы ударяющиеся шарики могли скатываться. На второй доске, приложенной вплотную к первой под углом 10°, происходят ускорение, рассеяние и упорядочение движения шариков. Для этого в верхней части доски набиты в произвольном порядке тонкие гвоздики (“рандомизатор”) а в нижней части доски, примыкающей к первой доске, положена полоска гофрированной бумаги или резины (“коллиматор”). В эксперименте шарики по одному скатываются с верхней части доски, проходят через частотол гвоздиков и попадая в один из гофров полоски, направляются на нижнюю доску; число “рассеяний” регистрируется. Доля скатывающихся шариков, испытывающих соударения с закрепленными шариками, приближенно определяется формулой  $f = 2dN/W$ , где  $f$  — доля соударяющихся шариков,  $N$  — число закрепленных шариков,  $d$  — диаметр шариков,  $W$  — ширина доски. Дан вывод приближенной формулы. Результаты экспериментов используются также для демонстрации статистических флуктуаций. Для этого студенты отмечают на графике значения  $f$  после скатываний 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 125, 150, 200 шариков. Приведен график для 100 шариков в случае, когда  $2dN/W=0,33$ .

**Опыты, связанные с измерением высоты уровня жидкостей с помощью радиоактивных изотопов и гейгер-мюллеровских счетчиков.** Melcher Horst, Glaser Manfred. Versuche zu Fullstandsmessungen mit Radionukliden und Geiger-Muller-Zahlrohren. “Prax. Naturwiss.”, 1963, А12, № 2, Physik, 29–33. [РЖ 1964 1 А96].

Описаны 6 опытов, при помощи которых можно установить различную степень поглощаемости  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений, закон изменения интенсивности излучения с расстоянием, законы поглощения  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей, определить глубину

слоя половинного ослабления излучения различными материалами, произвести подсчет отдельных импульсов, воспринимаемых гейгер-мюллеровским счетчиком, а также суммарных значений импульсов. Описанные опыты могут быть использованы в качестве демонстрационных, а также включены в состав физического практикума.

**Демонстрационные опыты и задачи практикума по ядерной физике и технике работы с изотопами, проводимые с помощью галогенного счетчика.** Ч. I, II. Melcher Horst, Glaser Manfred. Demonstrations- und Praktikumversuche zur Kernphysik und Isotopentechnik mit einem Halogenzählrohr. I, II. "Math., Phys. Schule", 1963, A 10, № 2, 152–158; № 3, 260–268. [РЖ 1963 10 A111].

Описаны 22 эксперимента, в том числе: принцип действия счетчика, характеристики галогенного счетчика, измерение нулевого эффекта, определение чувствительности счетчика, удельная активность радиоактивных препаратов, неконтактные измерения толщины при помощи  $\beta$ -лучей, изучение поведения  $\beta$ -лучей в магнитном поле, определение содержания калия в растворе по его природной радиоактивности, определение расхода и расхода жидкости с помощью радиоактивных изотопов, наблюдение ослабления  $\gamma$ -лучей при прохождении через вещество, наблюдение ослабления  $\gamma$ -лучей с расстоянием, контроль над уровнем жидкости в сосуде,  $\gamma$ -дефектоскопия и др.

**Изучение каскадных переходов в ядре  $\text{Co}^{60}$  и измерение абсолютной активности источника методом бета-гамма-совпадений.** Работа 76. С. 457. Рук-во к лаб. занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964.

В экспериментальной установке радиоактивный  $\text{Co}^{60}$  помещен в центре свинцового цилиндра, в котором проделан сквозной канал. Одной стороны канала находится счетчик  $\gamma$ -квантов, с другой – торцовый счетчик  $\beta$ -частиц. После усиления сигналы от счетчиков подаются на вход стандартной схемы совпадений ССА. Для измерения числа совпадений служит десятичная пересчетная схема с выходом на механический счетчик. Для обнаружения каскадных переходов нужно найти скорости счета  $N_1$  и  $N_2$  каждого из счетчиков в отдельности и скорость счета совпадений  $N_{\text{совп}}$ .

**Ядерный фотоэффект в лаборатории.** Кузьменко Г.И. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", 1965, № 3, 145–146. [РЖ 1966 2 A80].

Ядерный эффект в лаборатории и в лекционных условиях может быть продемонстрирован на примере облучения тяжелой воды  $\gamma$ -излучением  $\text{Ra-Nh}$  ( $D^2(\gamma, n) H^1$ ) при использовании в качестве счетной аппаратуры пересчетного устройства типа СЧ-3 со счетчиком СНМ-5. Причем для простого фиксирования фотоэффекта (в течение 2–3 часов работы) достаточно иметь 5 г тяжелой воды и 4 препарата  $\text{Ra-Th}$  из учебных камер Вильсона, даже в условиях неблагоприятной геометрии опыта: препараты не снимаются с камер. Для лекционных демонстраций (в течение 1–2 минут) и для определения сечения фотоэффекта следует использовать большее количество воды (50 г) и лучшую геометрию.

**Лабораторная работа: "Использование радиоактивных изотопов при зонной плавке".** Mikhail S. Z. Radioisotopes in zone refining – a student experiment. "Amer. J. Phys.", 1965, 33, № 5, 399–403. [РЖ 1966 1 A78].

Для наблюдения перераспределения загрязнений между расплавленной зоной и затвердевшим расплавом предлагается использовать в качестве основного материала нафталин, а в качестве окрашенной радиоактивной примеси – облученный нейтронами бромфенол (содержит  $\text{Br}^{82}$  с  $T=50$  час.). С этими материалами можно наблюдать и экспериментально проверить расчетные формулы по очистке нафталина методом зонной плавки. Точные измерения делают с помощью измерений радиоактивности, грубое наблюдение возможно визуально.

**Эксперимент в области физики элементарных частиц для лаборатории высших учебных заведений.** Whiteside H., Palmieri J.N., Burnsiein R.A. An experiment in elementary particle physics for the elementary laboratory. “Amer. J. Phys.”, **1966**, 34, № 11, 1005–1011. [РЖ 1967 4 А107].

Предложена лабораторная работа в области физики элементарных частиц для студентов высших учебных заведений. В первой части лабораторной работы путем количественных измерений фотографий пузырьковых камер с учетом законов релятивистской механики студент может произвести полный анализ изучаемых событий. Анализ события включает идентификацию нескольких “неизвестных” частиц и определение времени их жизни. В части второй лабораторной работы производится просмотр различных событий взаимодействия  $K$ -мезонов и протонов. Приведены фотографии взаимодействий элементарных частиц в пузырьковой камере.

**Фотографический эксперимент со слабыми естественными радиоизотопами.** Melcher H., Glaser M. Photographische Versuche mit schwachstrahlenden natürlichen Radionucliden. “Math. Und naturwiss. Unterr.”, **1967**, 20, № 2, 49–56. [РЖ 1968 3 А88].

Рассмотрена постановка автордиографического эксперимента с изотопами, обладающими слабой радиоактивностью ( $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Rb}^{87}$ ,  $\text{In}^{115}$  и т. д.).

**Опыт, моделирующий “окно Ленарда”.** Hoffmann Herbert. Modellversuch zum Lenard-Fenster. “Prax. Naturwiss.”, **1967**, A 16, № 6, Physik, 141–143. [РЖ 1968 2 А64].

Окном Ленарда называют тонкую фольгу, через которую быстрые электроны проникают в вакуумную трубку. Сечение взаимодействия молекул материала фольги обратно пропорционально 4-ой степени скорости электронов. Это свойство моделируют следующим опытом. По наклонной стеклянной пластине скатываются вниз небольшие стальные шарики (диаметр 1–2 мм). К обратной стороне пластины, вблизи конца траектории шариков прикреплен сильный магнит, отклоняющий шарики от своего пути. Чем больше скорость шарика, тем меньше угол его отклонения. Скорость шариков регулируется углом наклона пластины. Измеренные на опыте величины приблизительно согласуются с формулой Ленарда.

**Модель для демонстрации опыта Ленарда по поглощению электронов.** Reichspfarr Franz. Modellversuch zu Lenards Elektronenabsorption. “Prax. Naturwiss.”, **1968**, A 17, № 7, Physik, 173–176. [РЖ 1969 1 А91].

Несколько листов бумаги или картона пробивают канцелярским дыроколом так, чтобы количество отверстий на единице площади было одинаковым.



Листки представляют собой модели поглощающих экранов. Из фанеры делают ящик, в котором на некотором расстоянии друг от друга устанавливают модели экранов. В ящик помещают листки фотобумаги так, чтобы свет проходил на бумагу через один, два и т. д. экрана и после проявления подсчитывают отношение  $a$  светлой поверхности  $N_0$  к темной  $N$ . Опыт показывает, что  $N_1/N_0=a$ ,  $N_2/N_1=a$  и т. д., это означает, что  $N_k=N_0a^k$ . График зависимости  $N_k$  от  $k$  дает хорошее соответствие с результатом опыта Ленарда по поглощению электронов. Аналогичным образом можно рассчитать, что если на 1 см длины ящика будет  $r$  экранов, расстояние между которыми равно  $b$ , при  $r \rightarrow \infty$  и  $b \rightarrow 0$ , где  $rb = \text{const}$ . Если обозначить  $rb = \lambda$ , получим  $N_x = N_0 e^{-\lambda x}$ , где  $x$  – расстояние между первым и последним экраном. Вывод формулы приводится.

**Омегатрон.** Атомный практикум. Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. 2. Под ред. Горяги Г. И. 1969, 1972, 1976, 1981, 1987. Задача № 2, с. 17–55.

Целью настоящей задачи является знакомство с различными масс-спектрометрическими устройствами и прежде всего с устройством и принципом действия омегатрона, а также анализ легких масс-ионов газовой смеси. Омегатрон — высокочастотный масс-спектрометр — представляет собой миниатюрный циклотрон. Это — металлическая камера, заключенная в небольшой стеклянный баллон, внешне выглядящий как радиолампа. В ходе выполнения работы определяют зависимость величины ионного тока от частоты. По построенному графику этой зависимости оценивается процентный состав газа в лампе, разрешающая сила для различных ионов. Определяются массы ионов остаточного газа в лампе омегатрона и эти ионы отождествляются.

Омегатрон — высокочастотный масс-спектрометр, представляет собой миниатюрный циклотрон. В области легких масс он обладает сравнительно высокой разрешающей способностью (до  $\approx 3 \cdot 10^2$ ), высокой чувствительностью, простотой конструкции. К числу его достоинств следует отнести также то, что в нем не используются высокие напряжения. Главным недостатком омегатрона является малая точность измерений в области средних и тяжелых масс. Целью настоящей задачи является знакомство с различными масс-спектрометрическими устройствами и, прежде всего, с устройством и принципом действия омегатрона, а также анализ легких масс-ионов газовой смеси. Омегатрон представляет собой металлическую камеру, заключенную в небольшой стеклянный баллон. Внешне он выглядит как радиолампа. Камера является одновременно и источником и анализатором ионов. Электронный пучок создается катодом и напряжениями, приложенными к различным элементам камеры. Фокусируется пучок магнитным полем и электронно-оптической системой. Пучок электронов, проходя через камеру, ионизирует газ в приборе. На две пластинки, расположенные параллельно оси электронного пучка, подается высокочастотное напряжение. Измерения состоят в снятии зависимости ионного тока от частоты этого напряжения. В этой зависимости наблюдаются пики, характеристики которых позволяют определить массы и отождествить ионы остаточного газа в омегатронной лампе.

**К одному из основных опытов атомной физики.** Skorsky Gunter. Betrachtungen zu einem grundlegenden Versuch der Atomphysik. "Prax. Naturwiss.", 1969, Teil 1, 18, № 2, 31–33. [РЖ 1969 8 А52].

Рассматриваются возможные ответы на вопрос, почему разряжается конденсатор, если к нему поднести радиоактивный препарат. Для доказательства того, что конденсатор разряжается вследствие ионизации воздуха между его пластинами, рекомендуется провести опыт в вакууме. Приведены схема установки и методические указания.

**Зависимость резонансного потенциала от температуры.** Работа № 88. С. 376. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**Определение заряда ядра атома.** Работа № 86. С. 375. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган, М., 1970.

**К вопросу об эффективном сечении объектов.** Smith Frank A., Jr. The cross-sectional area of objects in a hat box. "Phys. Teacher", 1970, 8, № 9, 524–525. [РЖ 1971 4 A101].

Описан модельный эксперимент, поясняющий понятие эффективного сечения частиц при ядерных взаимодействиях. Для эксперимента предлагается использовать коробку, в которую помещается металлическое тело. В крышке коробки прорезаются отверстия, через которые бросают металлические шарики внутрь коробки. Если шарик попадает в металлическое тело, то слышится звук от удара, если шарик пролетел мимо — звука не слышно. Приводится методика определения эффективного сечения, дается список вопросов для обсуждения результатов эксперимента.

**Студенческий эксперимент по статистике отсчетов.** Mathieson E., Harris T.J. A student experiment on counting statistics. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 10, 1261–1262. [РЖ 1971 4 A102].

В общих чертах описан эксперимент, целью которого является ознакомление студентов с пуассоновским характером распределения отсчетов детекторов, регистрирующих продукты радиоактивного распада. Для постановки эксперимента использовался сцинтилляционный счетчик, импульсами которого запускался генератор сигналов ступенчатой формы. При поступлении на вход генератора  $n$  импульсов за фиксированный интервал времени (19 мсек) на выходе появлялся сигнал с амплитудой  $H = nh + h_0$  (где  $h$  — амплитуда одной ступеньки 1 В,  $h_0$  — амплитуда выходного сигнала при отсутствии импульсов от детектора, т.е. при  $n = 0$ ). Амплитудный анализ осуществлялся с помощью 11-канального преобразователя типа цифра–аналог. Результаты эксперимента оформляются в виде гистограммы, характеризующей распределение вероятности регистрации  $n$  отсчетов за фиксированный интервал измерений. Проверка по  $\chi^2$ -критерию указывает на согласие получаемых в эксперименте распределений с распределением Пуассона. Улучшение согласия можно добиться путем введения поправки на мертвое время 11-канального анализатора.

**Новый подход к постановке работ в лаборатории техники изотопов.** Miller Charles W. Using a problem-approach in a radioisotope techniques laboratory. "Amer. J. Phys.", 1971, 39, № 6, 681–682. [РЖ 1971 12 A134].

Описан курс лабораторных работ по технике радиоизотопов, проведенный авторами. Начало курса состоит из традиционных работ по изучению свойств излучений. Затем студентам предлагаются такие задачи: измерение толщины, определение объема жидкости, изнашиваемости дерева, количественный анализ урановой руды, применение радиоактивных индикаторов. Подробные инструкции к их решению отсутствуют. Цель такого подхода — научить студентов пользоваться методом радиоизотопов для решения различных проблем в дальнейшей самостоятельной работе.

**Практические занятия по физике элементарных частиц.** Flechon J., Baumann G., Annoni H. Travaux pratiques sur la physique des particules. “Bull. Union phys.”, 1971, 65, № 532, 485–491. [РЖ 1971 8 А87].

Предложено учебное пособие, состоящее из описания и 12 диапозитивов, при помощи которых можно решать ряд интересных задач и упражнений по физике элементарных частиц. Диапозитивы составлены на материале оригинальных исследований по динамике движения и ядерных взаимодействиях  $K^-$ -мезонов, протонов и электронов, выполненных при помощи 2-м пузырьковой камеры в Европейском центре ядерных исследований в Женеве. Приводятся примеры фотографий, описана методика определения ряда параметров и характеристик, раскрывающих природу и детали механизма взаимодействия элементарных частиц.

**Хронотрон.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1972. Изд. 3-е. Лаб. работа № 2, с. 38. 1981. Изд. 5-е. Лаб. работа 2, с. 31.

Хронотрон — это один из времяпролетных масс-спектрометров. В нем анализируемый газ ионизируется электронным пучком. Образовавшийся пакет ионов находится в ионном источнике между двумя эквипотенциальными сетками I и II до прихода на них выталкивающего импульса. С приходом импульса, формируемого импульсным генератором, сгусток ионов выталкивается в пространство между сетками II и III, к которым приложено постоянное ускоряющее напряжение  $U$ , ускоряется здесь, а затем попадает в свободное от полей пространство пролета (дрейфа). Вследствие того, что в ускоряющем поле ионы разных масс получают разные скорости, они проходят пространство пролета за разное время, послк чего воспринимаются коллектором. Воемя пролета определяют как  $t = L\sqrt{M/2eU}$ , где  $L$  — длина пространства пролета;  $U$  — ускоряющая разность потенциалов, одинаковая для всех ионов;  $e$ ,  $M$  — заряд и масса ионов. Таким образом, пакеты ионов разных масс, поступая через определенные промежутки времени на коллектор, создают в его цепи кратковременные импульсы тока. Если эти импульсы усилить и подать на вертикальные пластины осциллографа, то на его экране можно получить спектр масс ионов, образуемых в ионном источнике. При линейной развертке осциллографа шкала масс на экране получится квадратичной в соответствии с приведенной формулой. В работе изучается смесь газов  $Ar$  и  $He$ . Изучается также зависимость разрешающей силы  $R$  от параметров прибора.

**Движение заряженной частицы в аксиально-симметричном магнитном поле.** Атомный практикум. Изд. Московского ун-та. Под ред. Г.И. Горяги. 1972. Изд. 3-е, Лаб. работа № 3, с. 65. 1981. Изд. 5-е. Лаб. работа 3, с. 51. Изд. 6-е. 1987. Лаб. работа 2, с. 28.

Основным элементом установки является электронно-лучевая трубка, представляющая собой запаянный стеклянный баллон, с вмонтированной в него электронной пушкой. Баллон наполнен инертным газом при давлении  $\sim 10^{-3}$  мм рт. ст. Работа начинается с проверки адиабатической инвариантности магнитного момента частицы в магнитном поле, т.е. его сохранения при ее движении. Следствием этой инвариантности является отражение вращающейся частицы от области увеличивающейся напряженности магнитного поля. В ходе работы траектории частиц фотографируются и обрабатываются — определяются радиусы их кривизны и координаты определенных точек. Во втором упражнении изучается тонкая магнитная линза — определяется ее фокус при различных режимах.

**Изучение распада  $\pi$ -мезона.** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972, 1979, 1988. Лаб. работа 8. С. 133.

Фотоэмульсии, на которых производится изучение ( $\pi - \mu$ ) распада в данной работе, экспонированы в потоке  $\pi$ -мезонов, полученных в результате фоторождения на водородной мишени. Мишень облучалась  $\gamma$ -квантами высокой энергии ( $E = 250$  МэВ) на синхротроне. После экспонирования пачка фотоэмульсий проявляется и наклеивается на стекло. В ходе выполнения работы фотоэмульсии просматриваются на всю глубину эмульсионного слоя от стекла до поверхности. Все события (распады и реакции), видимые в эмульсии, зарисовываются, их координаты фиксируются. При обнаружении ( $\pi - \mu$ ) распада определяется глубина следа  $\mu$ -мезона и рассчитывается длина его пробега, находится кинетическая энергия  $\mu$ -мезона, определяется разность масс  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов.

**Ядерная изомерия и определение периодов полураспада изомеров родия  $^{104}\text{Rh}$  и  $^{104\text{m}}\text{Rh}$ .** Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972, 1979, 1988. Лаб. работа 6. С. 114.

В данной работе изучается искусственная радиоактивность изомеров  $^{104}\text{Rh}$ , возникающая при облучении  $^{103}\text{Rh}$  тепловыми нейтронами. По кривым распада определяют соответствующие периоды полураспада изомеров родия.

**Практическая работа по физике элементарных частиц.** Flechon J., Baumann G., Annoni H. T. P. sur la physique des particules. "Bull. Union phys.", 1972, 66, № 547, 1209–1218. [РЖ 1973 3 А130].

Дано описание практической работы для студентов по физике элементарных частиц. Работа заключается в обработке фотографий, полученных в пузырьковой камере. На фотографиях зарегистрированы события упругого  $Kp$ -рассеяния. Даны указания по обработке этих фотографий, в частности по определению энергий и импульсов частиц. В ходе работы студенты проверяют выполнение законов сохранения, определяют потери энергии частиц в водороде, решают простые кинематические задачи.

**Теория относительности в студенческой лаборатории. Измерение релятивистского возрастания массы.** Parker Sherwood. Relativity in an undergraduate laboratory — measuring the relativity mass increase. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 2, 241–244. [РЖ 1972 8 А75].

Описан простой, недорогой эксперимент, целью которого является ознакомление студентов старших курсов с одним из эффектов, вытекающих из специальной теории относительности, а именно. С релятивистским возрастанием массы. В экспериментальное оборудование входят:  $\beta$ -источник  $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ , анализирующий магнит и сцинтилляционный детектор с кристаллом NaJ. Учащимся предлагается сравнить кинетическую энергию, измеренную сцинтилляционным детектором, с импульсом, вычисленным по радиусу кривизны траектории электрона в магнитном поле, с использованием нерелятивистского  $K=p^2/2m$  и релятивистского  $K=(p^2c^2+m^2c^4)^{1/2}-mc^2$  соотношений между энергией и импульсом.

**Простой метод определения массы ядра дейтерия.** Eaton T.W., Smith R.A simple edetermination of the nuclear mass of deuterium. "Phys. Educ.", 1974, 9, № 7, 485–486. [РЖ 1975 5 A105].

Описан простой лабораторный эксперимент, в котором измеряется масса ядра дейтерия. Лабораторное оборудование состоит из интерферометра Фабри-Перо, газовой дуговой лампы и красного светофильтра с шириной пропускания, равной 10 нм. В качестве газа используется смесь из равных объемов водорода и дейтерия. Определение массы ядра основано на измерении разности длины волны красной линии в сери Бальмера в спектрах водорода и дейтерия. Описана теория и методика выполнения эксперимента, приведены результаты.

**Нейтронная активация и  $\gamma$ -спектроскопия на службе у археологии; лабораторный проект.** Smyth A. J. M. Where angels fear to tread. "Phys. Educ.", 1974, 9, № 5, 352–356. [РЖ 1974 12 A94].

Описана лабораторная работа по нейтронной активации и  $\gamma$ -спектроскопии для проведения исторического и геологического анализа. Подробно описана процедура активации исследуемых образцов, методика выполнения эксперимента и обработки результатов. При выполнении эксперимента полностью соблюдается техника безопасности, предъявляемая к таким исследованиям, Отмечается, что использование более современного лабораторного оборудования позволит значительно сократить длительность выполнения эксперимента.

**Оценка эффективных поперечных сечений взаимодействия первичных частиц с ядрами.** Тлеубергенова Г.А., Бокова Г.И. В сб. "Физика". Вып. 1. Алма-Ата, 1974, 105–110. [РЖ 1976 5 A145].

Описана лабораторная работа по оценке эффективных сечений взаимодействия бомбардирующей частицы с ядрами фотоэмульсии, которая может быть включена в практикум по ядерной физике. Студентам предлагается отыскать и зафиксировать взаимодействия первичных частиц с ядрами фотоэмульсии на 100 полях зрения по всей ее глубине и подсчитать число взаимодействий (звезд) в  $1\text{ см}^3$  фотоэмульсии; вычислить эффективное сечение образования звезд с числом лучей  $N \geq 2$  и  $N > 9$  и сопоставить их с числом, полученным в результате вычислений, найти отношение эффективного сечения взаимодействия к геометрическому и объяснить, на каких ядрах происходит расщепление с образованием лучей  $N > 9$ , оценить статистические погрешности измерений.

**Простая лабораторная установка для контроля за отжигом цветных центров в стекле.** Toth M.J., Newman R.W. Simple laboratory apparatus for monitoring the annealing of color centers in glass. "Amer. J. Phys.", 1976, 44, № 8, 787–788. [РЖ 1977 2 A114].

Описан принцип действия и устройство несложного электроннооптического прибора, позволяющего в учебной лаборатории выполнить работу по изучению процесса отжига цветных центров в стекле, образованных при облучении его  $\gamma$ -лучами. Подробно описана процедура эксперимента и приведены результаты измерений для нескольких температур отжига. Отмечается, что полученные данные позволяют количественно оценить энергию активации. Эксперимент рассчитан на студентов старших курсов институтов и университетов.

**Кинетика упругого столкновения нерелятивистских частиц.** Тлеубергенова Г.А., Бокова Г.И. В сб. "Физ. науки." Вып. 3. Алма-Ата, 1976, 70–77. [РЖ 1977 12 A131].

Предлагается вариант лабораторной работы по ядерной физике, посвященной изучению кинематических закономерностей в упругих столкновениях нерелятивистских частиц. Рассмотрена элементарная теория упругих столкновений нерелятивистских частиц, приведены формулы, связывающие углы вылета рассеянной частицы и ядра отдачи в Л-системе, энергии налетающей и рассеянной частиц и их импульсы. Описана методика выполнения работы для изучения случаев упругого взаимодействия частиц  $p$ - $p$ ,  $d$ - $p$ ,  $T$ - $p$  и  $\alpha$ - $p$ . Для анализа столкновений используются фотоэмульсии типа "Илфорд", облученные ионами с энергией 17,5 ГэВ. Для выполнения работы необходим микроскоп и фотоэмульсии со случаями взаимодействия частиц, поэтому работа может быть поставлена в любом вузе как в практикуме по общему курсу физики, так и в спецпрактикуме по ядерной физике.

**Два эксперимента на ускорителе Ван-дер-Граафа для студентов последних курсов.** Chai J., McClelland J. B., Spinka H. Two Van de Graaff experiments for the senior laboratory. "Amer. J. Phys.", 1977, 45, № 7, 611–617. [РЖ 1977 12 A129].

Описаны две экспериментальные работы, выполняемые студентами старших курсов на ускорителе Ван-де-Граафа. Первый эксперимент посвящен исследованию резонансов в ядерных реакциях. Используется хорошо известная реакция  $^{19}\text{F}(p, \alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ . Для проведения эксперимента необходимы: Сцинтилляционный детектор с кристаллом NaJ, Система для напыления в вакууме тонких пленок на металлическую подложку и прибор для измерения величины поля в магнитном анализаторе ускорителя. Второй эксперимент состоит в измерении поперечного сечения упругого рассеяния протонов на протонах на угол  $45^\circ$  в Л-системе координат при энергии ускоренных протонов 400 кэВ. Изучается кулоновское и ядерное рассеяние. В работе используются газовая мишень, полупроводниковый детектор и стандартная электронная аппаратура.

**Кинетика рекомбинации атомов азота.** Brown G. Roland, Winkler C.F. The kinetics of nitrogen atom recombination. An undergraduate physical chemistry experiment. "J. Chem. Educ.", 1977, 54, № 3, 185–187. [РЖ 1977 10 A30].

Предлагается простой в выполнении и интерпретации эксперимент по изучению кинетики рекомбинации атомов азота ( $N^4S$ ), в котором зависимость концентрации от времени определяется по интенсивности свечения. В опытах струя атомарного азота пропускалась с известной скоростью через трубку с несколькими поперечными соплами, через которые впрыскивалась  $NO$ , и проходила реакция  $N+NO \rightarrow N_2+O$ . Для получения атомарного азота используется либо разряд с полым катодом, либо безэлектродный ВЧ-разряд (2450 МГц, 85 Вт).

**Электромагнитные ливни при высоких энергиях.** Loos J.S., Dawson S.L. Electromagnetic showers at high energy. "Amer. J. Phys.", **1978**, 46, № 5, 560–564. [РЖ 1978 10 A138].

Описаны лабораторные эксперименты по наблюдению электромагнитных ливней в пузырьковой камере. Ливни индуцировались потоком позитронов с энергией 1,57 ГэВ, бомбардирующих танталовую пластинку. Измерено тормозное излучение, комптоновское рассеяние электромагнитного излучения и зафиксировано образование электрон-позитронных пар. Отдельные результаты измерений сравниваются с результатами численных расчетов физических моделей наблюдаемых процессов.

**Измерения степени заполнения и толщины слоя вещества в качестве примера использования радиоактивных изотопов в измерительной технике.** Volkmer Martin. Kernphysik in der Haupt- und Realschule (VI). Fullstandarts- und Schichtdickenmessung als Beispiel für die Anwendung von Radionukliden in der Messtechnik. "Naturwiss. Unterr, Phys./Chem.", **1979**, 27, 3 4, 97–102. [РЖ 1979 9 A97].

Предложен простой эксперимент по измерению степени заполнения пробирки свинцовой дробью с помощью радиоактивного источника и счетчика излучения. Описаны также эксперименты по определению толщины слоя вещества. В первом опыте наблюдают ослабление интенсивности  $\gamma$ -излучения при его прохождении через Pb-пластинки. Во втором опыте регистрируют ослабление интенсивности  $\beta$ -излучения, отраженного от свинцовой подложки, при покрытии подложки слоями бумаги.

**Определение масс  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов в школьном физическом практикуме, основанное на обработке фотографий, полученных в пузырьковой камере.** Rratschmer Bernd. Bestimmung der Muonen- und  $\pi$ -Mesonen-Masse durch Auswertung von Blaskammaraufnahmen in Schulunterricht. "Prax. Naturwiss. Phys.", **1979**, 28, № 1, 5–8. [РЖ 1979 6 A136].

Отмечается, что при изучении в школьном курсе физики раздела "Элементарные частицы" мало проводится лабораторных занятий. Это приводит к снижению качества усвоения учащимися данного раздела. Подробно описана методика проведения лабораторной работы по определению масс  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов на основе анализа набора фотографий, получаемых в пузырьковой камере. Рассмотрена постановка физических экспериментов по созданию пучков  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов и исследованию вызываемых ими ядерных реакций.

**Самодельная модель элементарных частиц.** Ein Elementarteilchenmodell für den Unterricht zum Selbstbauen. Herrmann Friedrich, Koler Andreas. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1982, 31, № 3, 73–76. [РЖ 1982 9 А54].

Установка содержит 50 небольших маятников, каждый из которых представляет собой груз массой 11 г, прикрепленный отрезком проволоки длиной 75 мм к трубке длиной 40 мм. Все трубки насаживаются на стальную проволоку, натягиваемую между двумя стойками. Грузы всех маятников соединяются резиновой нитью, концы которой прикрепляются к стойкам. Элементарная частица моделируется возмущением в цепи связанных маятников, вызванных поворотом одного из них на угол  $360^\circ$ ; поворот маятника на угол  $-360^\circ$  служит моделью античастицы; двукратный поворот маятника моделирует частицы с удвоенным электрическим или барионным зарядом. Установка позволяет демонстрировать соударение двух элементарных частиц, одна из которых покоится, соударение частицы и античастицы, сохранение электрического или барионного заряда.

**Экспериментальная проверка принципа эквивалентности масс.** Мамаев Ю.А., Мишин А.Н., Макаров Б.С., Яшин Ю.П.; Ред. ж. "Изв. вузов. Сер. физ." Томск, 1982, 6 с. [РЖ 1982 12 А131].

Описана лабораторная работа для практикума по общему курсу физики (I семестр обучения), иллюстрирующая один из фундаментальнейших физических принципов — принцип эквивалентности. Приводится описание схемы лабораторной установки и анализ возможных случайных и систематических погрешностей. Применение лазера и быстродействующей автоматической схемы регистрации обеспечивает ее компактность и надежность.

**Модельные опыты по ядерной физике.** Modellversuche zur Kernphysik. Berge Otto Emst.. "Naturwiss. Unterr. Phys., Chem.", 1982, 30, 3 5, 165–173. [РЖ 1983 1 А132].

**Учебные эксперименты с твердотельными детекторами треков частиц в курсе ядерной физики.** Educational experiments with solid state track detectors in the nuclear physics. Nagy Mihaly, Somogyi Gyorgy. "Nucl. Phys. Nucl. Power. Semin. Teach. Phys. Sch., Balatonfüred, 6–12 Sept., 1981". Budapest, 1982, 575–576. [РЖ 1983 2 А118].

Заряженные частицы, проходя через твердотельные диэлектрики, оставляют в них следы, регистрируемые с помощью оптического микроскопа. При этом возможно наблюдение следующих явлений: рассеяние  $\alpha$ -частиц в газовом слое, содержащем торий; распад урана; появление двойных траекторий при распаде, вызванном столкновениями с нейтронами.

**Лабораторная работа "Альбедный метод зондирования потенциалов в диэлектриках"**. Андреев О.В., Евдокимов О.Б., Степанов Ю.М., Шошин Э.Б.; Ред. ж. "Изв. вузов. Физ.". Томск, 1983. 17 с. [РЖ 1983 5 А119].

Разработана лабораторная работа для проведения занятий по разделам "Взаимодействие излучения с веществом", "Экспериментальные методы ядерной физики" для вузов. Лабораторная установка состоит из  $\beta$ -монохроматора с тонкой линзой, высоковольтной измерительной ячейки и серийной регистриру-



ющей аппаратуры. Дается теоретическое обоснование альбедного метода зондирования потенциалов в диэлектрике.

**Измерение времени жизни метастабильного состояния.** Measuring the lifetime of a metastable state. Feinberg Richard. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 6, 573–574. [РЖ 1984 2 A116].

Обычно в лабораторных работах по атомной физике структура атомных уровней изучается с помощью спектроскопических измерений частот или длин волн переходов между энергетическими уровнями атомов. Предлагается лабораторный эксперимент по измерению времен жизни долгоживущих состояний атомов распространенных лазерных сред – кристаллов рубина и Nd:YAG, а также стекол, содержащих неодим. Эксперимент осуществляется при помощи стробоскопа (с частотой повторений 10 Гц) и комбинации фототранзистор– операционный усилитель. Образец объемом  $\sim 1 \text{ см}^3$  помещается перед стробоскопом; свет, рассеянный образцом, направляется на фототранзистор. Сигнал с выхода усилителя поступает на осциллограф. Время релаксации для указанных сред  $\sim 2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ .

**Лабораторная работа “Изучение проявления релятивистского закона сохранения энергии-импульса при взаимодействии элементарных частиц”.** Михальчук С.М., Чопчиц Н.И., Гладыщук А.А., Гладковский В.И., Кандилян Г.С. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), **1984**, № 11, 103–106. [РЖ 1984 12 A134].

Описана методика постановки лабораторной расчетно-графической работы по изучению релятивистских и квантовых законов сохранения при взаимодействии элементарных частиц, предназначенной для студентов технических вузов. Студентам предоставляются специально подготовленные картины треков релятивистских частиц в пузырьковой камере, помещенной в магнитное поле с известной индукцией. Треки заряженных частиц считаются идентифицированными. Модуль индукции поля, ее направление и масштаб указываются на рисунке. Студенты определяют радиусы кривизны треков, импульсы заряженных частиц, массы покоя, время жизни и тип взаимодействия, ответственного за распад; производят идентификацию частиц, контролируют выполнение законов сохранения и определяют пороговую энергию реакции. При выполнении работы предполагается применение микрокалькуляторов.

**Измерение величины  $l/m_0$  методом Даннингтона.** Эксперименты для старшекурсников. Measurement of  $l/m_0$  using Dannington's method. Whyte T.D., Rummills N.P.J., Willis J.S. "Amer. J. Phys.", **1984**, 52, № 8, 706–710. [РЖ 1985 5 A132].

**Студенческий эксперимент по статистике и ошибкам с использованием радиоактивного источника и компьютера.** An undergraduate experiment on statistics and errors using a radioactive source and a microcomputer. McFarland Ernie, MacKenzie Innes, Stone Robert. "Amer. J. Phys.", **1987**, 55, № 7, 650–653. [РЖ 1988 2 A98].

С целью исправления неудовлетворительного состояния, в котором находится изучение ошибок эксперимента в студенческом практикуме рассмотрено явление радиоактивного распада, изучаемое с помощью современных высоко-

скоростных детекторов и многоканальных анализаторов. Для обеспечения случайного характера распределения экспериментальных данных используются не счетчики Гейгера, а детекторы на основе  $\text{NaI(Tl)}$ , имеющие гораздо меньшее (по сравнению с первыми) “мертвое время”. Студенты обрабатывают четыре набора данных: два со средним числом отсчетов в интервале от 100 до 200 и два с существенно меньшим средним числом отсчетов. Последние два набора (со средним числом отсчета 9 и 3) позволяют изучить отступления от нормальных распределений Гаусса и Пуассона. Расчет стандартных отклонений проводится с использованием микрокомпьютера, причем студент сам пишет программу обработки экспериментальных результатов на языке Фортран или Бейсик, что делает их работу менее рутинной.

**Атомы в полете.** Atoms flight /Barnett Sarah M., Mason Nigel J. // Phys. Educ. 1990, №2 -С 114–118 - Англ. [РЖ 1990 11 А169].

Описан ряд экспериментов, в которых; исследовались распределения атомов по скоростям. Результаты экспериментов рекомендуется использовать при рассмотрении темы об атомарной структуре материи. Подробно обсуждается блок-схема современной экспериментальной времяпролетной установки для работы с молекулярными и атомарными пучками. Обсуждается влияние времени жизни возбужденных состояний массы атомов, т-ры в пучке на наблюдаемое распределение по скоростям.

**Применение метода совпадений в лабораторном практикуме по ядерной физике.** Горбунов В.Ф., Леухин А.В. *Метод. преп. физ. в соврем. условиях: Матер. межвуз. Семина, Йошкар-Ола, 26–29 марта, 1995.* Йошкар-Ола, 1995. 20–21. [РЖ 1997 № 6 А94].

Разработаны специальные макеты и блоки, позволяющие применять метод совпадений как один из наиболее универсальных, легко реализуемых методов для измерения абсолютной активности источников излучений, коэффициента внутренней конверсии, времени жизни возбужденного состояния, двух- и трехфотонной аннигиляции позитронов. Этот метод особенно удобен при использовании источников излучения с простой схемой распада, когда эмиссия бета-частицы сопровождается вылетом одного или нескольких гамма-квантов и электронов внутренней конверсии. Установка состоит из набора промышленных сцинтилляционных детекторов, амплитудных и дифференциальных дискриминаторов, формирователей импульсов, усилителей, пересчетных схем, анализатора импульсов АИ-1024, схем совпадений и др. Часть блоков изготовлена студентами в ходе выполнения курсовых и дипломных работ.

**Изотоп  $\text{K}^{40}$  и оценка его активности в организме человека.** Виноградова Н.Б., Ильин В.А. *Преподавание физики в высш. шк.* 1995, № 2. 32–34. [РЖ 1997 04А96].

Описана лабораторная работа в практикуме по общей физике, входящая в “экологический” цикл. При ее выполнении студенты знакомятся с особенностями накопления в органах и тканях долгоживущего изотопа  $\text{K}^{40}$ , поступающего в организм человека через желудочно-кишечный тракт и ответственного за его “внутреннее” облучение.

**Методические указания к лабораторному практикуму “Строение вещества” Т-7-4.** Сост. Гасников Н.К., Игнатов В.Н., Калашников Н.П. и др. Изд-во МГИУ, 2002. 202 с. [РЖ 2003 09–18А.182].

Сборник методических указаний содержит описания лабораторных работ, относящихся к разделам: “Атомная физика”, “Ядерная физика”, “Квантовая физика” типовой программы по физике для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений.

**Эксперимент по измерению поперечных сечений общего рассеяния Ми и Рэлея.** An experiment to measure Mie and Rayleigh total scattering cross sections. Cox A.J., DeWeerd A.J., Linden J. *Amer. J. Phys.*, 2002. 70, № 6. 620. [РЖ 2003 11–18А.174].

**Применение акустических методов при исследовании взаимодействия пучков ионов с веществом.** Волошинов В.Б., Голубев А.А., Канцырев А.В., Смоляков А.А., в В. И. *Научная сессия МИФИ-2003, Москва, 2003: Сборник научных трудов.* Т. 4. Лазерная физика. Физика плазмы. Сверхпроводимость и физика наноструктур. Физика твердого тела. Фотоника. М., 2003. 95–96. [РЖ 2005 03–18А.149].

Одним из методов исследования состояния вещества является измерение скорости звука в веществе акустооптическим методом. Приводится описание и результаты эксперимента по измерению скорости звука в кристалле SiO<sub>2</sub> при бомбардировке протонным пучком.

**Деление ядер.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 7, с. 159.

Целью работы является изучение энергетического спектра осколков деления <sup>235</sup>U<sub>92</sub> под действием тепловых нейтронов.

**e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>-аннигиляция.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 8, с. 189.

Целью работы является наблюдение двухфотонной e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>-аннигиляции. Экспериментальными доказательствами этого являются: наличие в  $\gamma$ -спектре линии с энергией 0,511 МэВ, совпадение по времени моментов регистрации двух фотонов с энергиями 0,511 МэВ, максимум числа совпадений при разлете фотонов в противоположные стороны.

**Рождение и распад Z-бозонов.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 9, с. 207.

Целью настоящей работы является изучение процессов взаимодействия элементарных частиц при высоких энергиях. Изучение таких процессов является основой физической программы современных ускорителей. В работе используется компьютерное моделирование регистрации продуктов протон-протонных столкновений при энергиях, соответствующих энергиям коллайдера LHC. Исследуются процессы рождения Z-бозонов и их последующие распады.

**Свойства атомных ядер.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 10, с. 244.

Цель лабораторной работы — дать более углубленное представление о материале, изучаемом на лекциях и семинарских занятиях по ядерной физике, научить студента пользоваться современными базами данных в научно-исследовательской работе.

**Космическое излучение на уровне моря.** Частицы и атомные ядра. Практикум. Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004. Лаб. работа 11, с. 268.

В работе изучается состав и интенсивность космического излучения на уровне моря. Измеряется кривая поглощения частиц космического излучения в свинце.

**Дифракция ионов.** Ларин В.Л., Назаров П.А., Сотириади Г.Н. *Проблемы учебного физ. эксп-та: Материалы 11 Всеросс. научно-практ. конф. “Учебн. физ. эксп.: Актуальные проблемы. Современ. решения”*, Москва, 2006: Сб. научн. тр. Вып. 23. М., 2006. 61. [РЖ 09.03–18А.99].

Ранее в литературе предлагалось описание установки и методик для изучения дифракции ионов на различных экранах с использованием электролитической ванны с раствором медного купороса, в которую опущены два электрода — медный анод и угольный катод. Перед катодом установлен диэлектрический экран с круглым отверстием. Определяя дифракцию как дифракцию Френеля, по числу максимумов (или минимумов) находят число зон Френеля в отверстии. Тогда из известных аналитических выражений легко подсчитать длину волн де Бройля для ионов меди и оценить постоянную Планка. Авторы используют экран с несколькими отверстиями разного диаметра. Это позволяет из сравнения дифракционных картин от разных отверстий рассчитывать скорость ионов с хорошей (~5–10%) экспериментальной ошибкой. Кроме этого авторы работают с юнговским экраном (две щели в диэлектрической пластине), где все расчеты проводятся через параметры интерференционных картин. Эксперименты могут быть использованы в виде лекционных демонстраций и в лабораторном практикуме.

**Автоматизированный метод обработки визуальной информации с трековых детекторов.** Александров А.Б., Гончарова Л.А., Давыдов Д.А. и др. *Изв. вузов. Физ.* 2007. 50, № 10. 61–65. [РЖ 2008.09–18А.135].

Новые автоматизированные методы существенно упростили и ускорили обработку данных с эмульсионных детекторов. Кроме ускорения, автоматизация измерений позволяет обрабатывать большие массивы экспериментальных данных и существенно улучшает их статистическую обеспеченность, а также определяет разработку проектов новых экспериментов, предполагающих использование крупнообъемных мишеней и эмульсионных и твердотельных трековых детекторов большой площади. В этой связи крайне насущной становится проблема увеличения количества ученых, имеющих соответствующий уровень подготовки и способных работать на автоматизированной технике такого класса. Около десяти московских студентов ежегодно осваивают новые методы, работая в ФИАНе на комплексе ПАВИКОМ (Полностью Автоматизированный Измерительный Комплекс). Большая часть студентов, занимающихся сейчас физикой высоких энергий, при обучении получает представление лишь об устаревших ручных методиках обработки данных с трековых детекторов. В 2005 г. на базе комплекса ПАВИКОМ и физпрактикума физфака МГУ была подготовлена новая

учебная работа по определению энергии нейтронов, проходящих через ядерную эмульсию, которая дает возможность приобрести начальные навыки автоматизированной обработки трековых детекторов и может быть включена в учебный процесс студентов любых физических факультетов.

**Лабораторная работа по водородной энергетике в курсе физики для бакалавров.** Ларионов В.В., Никитенков Н.Н., Тюрин Ю.И., Чернов И.П. *Физ. образ. в вузах.* **2011.** 17, № 3. 36–41, 136. [РЖ 12.04–18А.92].

Представлена лабораторная работа по изучению неравновесного выхода молекул водорода и дейтерия из металлов под действием пучка электронов. Несмотря на сложность конструкции, связанной с получением вакуума, методика изучения, основанная на снятии вольтамперной характеристики, ее обработке, позволяет получать физически интересные результаты, и делает работу легкой для восприятия студентами.

**Работающая модель атомно-силового микроскопа.** Working model of an atomic force microscope. Bonson K., Headrick R.L., Hammond D., Hambin M. *Amer. J. Phys.* **2011.** 79, 3 2ю 189–192. [РЖ 12.09–18А.100].

**Повышение точности измерений в лабораторном практикуме по атомной физике в БФУ им. И. Канта.** Корнев К.П. *Физика в системе соврем. образ. (ФССО-11): Материалы 11 Межд. конф., Волгоград, 19-23 сент. 2011.* Т. 1. Волгоград, **2011.** 53–56. [РЖ 12–09–18А.108].

Студенты выполняют три спектроскопические работы, связанные с исследованием спектров атомов и молекул. В первой из них изучается простейший спектр излучения атомарного водорода. Вторая посвящена изучению более сложного спектра поглощения паров натрия. Для реализации точности измерений, характерной для оптической спектроскопии, необходимы два условия: наличие хороших спектральных приборов — монохроматоров, спектрографов для получения спектров и компараторов для их обсчета. Методика измерения и обработки не должна ухудшать точности, которую позволяют получать спектральные приборы.

**Лабораторные эксперименты по исследованию поверхностного плазмонного резонанса.** Laboratory experiments for exploring the surface plasmon resonance. Pluchery O., Vayron R., Van K.-M. *Eur. J. Phys.* **2011.** 32, № 2. С. 28. [РЖ 12.10–18А.91].

## Глава 19. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

**Счетчик заряженных частиц.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 90. С. 572–580.

**Лабораторная работа спецпрактикума “Масс-спектрометр”.** Ланге В.Н., Регель А.Р. Уч. зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. А.И. Герцена, 1958, 197, 223–228. [РЖ 1959 № 12 26461].

Цель работы состоит в том, чтобы ознакомить студентов IV курса с масс-спектрометрией, разделением изотопов, методами получения и измерения высокого вакуума, элементами электронной оптики, получением ионных пучков и регистрацией слабых токов. Описаны основные узлы установки и порядок выполнения работы.

**Спектрометр для заряженных частиц, предназначенный для студенческой лаборатории.** Hogg B., Kerr D., Reed L. Charged particle spectrometer for an undergraduate laboratory. “Amer. J. Phys.”, 1961, 29, № 1, 57–58. [РЖ 1961 9A58].

Приводятся схема конструкции и некоторые характеристики спектрометра, в котором заряженные частицы регистрируются полупроводниковым детектором Au-Ge, находящимся при температуре жидкого азота. На электроды детектора подается от батареи постоянное напряжение 2 В. Положительный полюс батареи присоединяется к Ge, а отрицательный — к Au. Импульсы заряженных частиц усиливаются и подаются на вход амплитудного анализатора. Для  $\alpha$ -частиц ThC + C' энергетическое разрешение спектрометра 4%. Зависимость амплитуды импульса от энергии  $\alpha$ -частиц — линейная вплоть до энергии 10 МэВ. При помощи данного спектрометра регистрировался энергетический спектр осколков при спонтанном делении Cf<sup>252</sup>.

**Учебный дозиметр со счетчиком.** Kraemer Adolf. Zahlrohrdosimeter im Unterricht. “Prax. Naturwiss.”, 1961, A10, № 3, Physik, 78–80. [РЖ 1961 11A112].

Описывается конструкция  $\beta$ - и  $\gamma$ -дозиметра со сменным детектором излучения, предназначенного для демонстрации опытов с  $\beta$ - и  $\gamma$ -источниками. В приборе используются:  $\beta$ - $\gamma$ -счетчик VALIO 18503, торцовые счетчики 18504, 18505, 18506 и торцовый  $\beta$ -счетчик В6Н. Транзисторный блок питания дает постоянные напряжения 4,5 В/400 В; схемы усилителя импульсов и формирующая схема собраны на транзисторах. На выходе прибора использован микроамперметр, служащий измерителем скорости счета; к выходу прибора может быть подключен внешний демонстрационный микроамперметр.

**Декадная пересчетная схема для учебных лабораторий.** East Larry V., Rous Paul A. Decade scaler for college laboratory use. “Amer. J. Phys.”, 1961, 29, № 5, 307–309. [РЖ 1961 12A191].

Описана декадная пересчетная схема, которая может быть использована для счета импульсов, регистрируемых гейгер-мюллеровским счетчиком. Разрешающее время пересчетного устройства для входных импульсов порядка  $0,3 B$  составляет 250 мкс.

**Счетчик с усилителем на кристаллическом триоде.** Room G.H. A transistor amplified ratemeter. “J. Inst. Sci. Technol.”, 1961, 7, № 3, 91–92. [РЖ 1962 1A99].

Гейгер-мюллеровский счетчик, питаемый батареей 400 В, соединен с базой германиевого триода ОС70, который в цепи коллектора содержит последовательно громкоговоритель и трансформатор. Вторичная обмотка трансформатора через кристаллический диод ОА71 заряжает конденсатор в 1000 мкФ, который разряжается плавно через регистрирующий микроамперметр. Происходит усиление по мощности за счет питания триода.

**Эманационный электроскоп.** Hilton Wallace A. Emanation electroscope. “Amer. J. Phys.”, 1961, 29, № 11, 789–790. [РЖ 1962 4A67].

Описывается устройство эманационного электроскопа для учебных лабораторий. Электроскоп состоит из трех цилиндров, вертикально установленных один на другом. В верхнем цилиндре помещается измерительная система. Средний цилиндр является ионизационной камерой, в которую при помощи резиновой груши нагнетают эманацию тория из первого цилиндра, где расположены окись тория и фильтр. При помощи описанного электроскопа может быть определен период полураспада эманации тория.

**Гейгер-мюллеровский счетчик с уплотнением ввода из эпоксидной смолы.** Davis William P., Worthington William C. Epoxy-resin seals for GM counter construction. “Amer. J. phys.”, 1961, 29, № 12, XV–XVI. [РЖ 1962 7 A70].

Отмечается, что при изготовлении гейгер-мюллеровских счетчиков в условиях учебных лабораторий наибольшие трудности возникают при выводе металлического анода из стеклянной трубки. В связи с этим рекомендуется воспользоваться обыкновенной стеклянной трубкой диаметром 2,5 см из пирекса, суженной на концах до  $\sim 0,4$  мм. Вольфрамовый анод припаивают к медной проволоке, которую пропускают через вводы. Вводы заполняют эпоксидной смолой и прогревают при температуре  $60^\circ$  в течение 1,5 часа. Таким образом обеспечивается вакуумное уплотнение.

**О приборе для наблюдения рассеяния частиц.** Prowse D.J. Note on the “Welch” scattering apparatus. “Amer. J. Phys.”, 1961, 29, № 12, 854–855. [РЖ 1962 8 A39].

Принцип атомного и ядерного рассеяния обычно демонстрируется при помощи рассеивающего цилиндра, лежащего на плоскости, и упругих шариков. Шарики катятся в направлении цилиндра и отскакивают от него, причем угол рассеяния  $\theta$  зависит от радиусов шариков  $r$ , радиуса цилиндра  $R$  и параметра удара  $b$ . Цель опыта — проверка приближенного соотношения  $\cos 1/2\theta = b/R + r$ . Автор считает, что можно гораздо лучше показать принцип рассеяния, если ознакомить учащихся с понятием дифференциального сечения. Для этого рассеивающий цилиндр обертывают бумагой, чувствительной к давлению, и покрывают непрозрачным колпаком с отверстием в нижней части для прохождения шариков. Ширину отверстия подбирают так, чтобы не был виден диаметр цилиндра. Шарики, имитирующие изотропный пучок, “ширина” которого больше

параметра удара, катятся в направлении цилиндра и рассеиваются под колпаком. После многократного повторения опыта, по отношению числа пропущенных шариков к числу рассеянных и относительной величине давления, зависящей от угла рассеяния, может быть рассчитана величина дифференциального сечения без знания диаметра рассеивающего цилиндра.

**Гейгер-мюллеровский счетчик.** Breitsameter Josef. Geiger-Muller-Zahlgerat. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 11, Physik, 300–304. [РЖ 1962 12 A106].

Описывается схема самодельного гейгер-мюллеровского счетчика с декадным электронным счетчиком, в которой, в отличие от приборов промышленного производства, все детали и узлы смонтированы в наглядной и доступной для учащихся форме, что способствует усвоению принципа работы установки.

**Недорогая ядерная лаборатория.** Zucker Charles. An inexpensive nuclear laboratory. "Amer. J. Phys.", 1962, 30, № 1, 16–19. [РЖ 1962 9 A34].

Описывается оборудование, требующееся для проведения экспериментов по изучению свойств нейтрона в учебных заведениях. Оборудование состоит из электронных приборов: пересчетной схемы, линейного усилителя, амплитудного анализатора, источника питания, сцинтилляционных  $\beta$ - и  $\gamma$ -счетчиков, Гейгер-мюллеровских счетчиков и борного (с  $\text{BF}_3$ ) счетчика, свинцовой защиты, нейтронного  $\text{Po-Be}$ - или  $\text{Pu-Be}$ -источника активностью 1–5 *кюри*, блока замедлителя, фольг индия, серебра, золота. Блок замедлителя служит как хранилище источника и как экспериментальное устройство. Он представляет собой парафиновый цилиндр, заключенный в алюминиевую оболочку, выложенную изнутри кадмием. В блоке просверлено семь каналов, используемых для облучения фольг и размещения источника. В каналы вставляются пробки из парафина или люцита, в которые помещаются облучаемые фольги. Описываются эксперименты с нейтронным источником. Оценивается стоимость оборудования.

**Несколько простых установок с гейгер-мюллеровскими счетчиками.** Melcher Horst, Joricke Heinz. Einige einfache Versuchsanordnungen zum Betrieb von Geiger-Muller-Zahlrohren. "Math., Phys. Schule", 1962, A9, № 8, 597–610. [РЖ 1963 1 A132].

Описываются электрические схемы простых и дешевых установок с галогидными счетчиками, высоковольтными счетными трубками, при помощи которых могут быть проведены лабораторные работы и демонстрационные опыты по ядерной и атомной физике. Перечислены 33 опыта, разработанные автором, описание которых будет в дальнейшем опубликовано.

**Лабораторные и демонстрационные ускорители тяжелых частиц.** Кузьменко Г.И. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", 1965, № 4, 174–175. [РЖ 1966 4 A132].

Описываются изготовление и эксплуатация ускорителей-разрядников, позволяющих провести некоторые демонстрации и лабораторные работы по ядерным реакциям в вузах.

**Применение установки Б-2 для целей физического лабораторного практикума.** Клименко И.Г. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", 1965, № 2, 47–51. [РЖ 1965 9 A53].



Предлагается применить радиометр Б-2 для дискретных отсчетов малых промежутков времени продолжительностью до  $5 \cdot 10^{-5}$  сек., что позволяет увеличить точность определяемых величин при проведении ряда лабораторных работ по физике: изучение законов свободного падения тел, изучение законов кинематики и динамики поступательного движения на машине Атвуда, определение скорости полета пули мелкокалиберной или воздушной винтовки, определение скорости распространения пламени, определение послесвечения люминофоров; снятие временных характеристик электромагнитных реле. Постановка лабораторных работ, предлагаемая автором, знакомит студентов с принципами практического применения электроники и счетно-решающих устройств. Приведена схема быстродействующего пускового устройства, позволяющая применять радиометр Б-2 для научно-исследовательских работ.

**Прибор для лекционной демонстрации и для выполнения в лаборатории эксперимента по Резерфордовскому рассеянию.** Lindsay Richard H., Ehlers David H., McLeod Raymond R. Rutherford scattering apparatus for laboratory and lecture demonstration. "Amer. J. Phys.", **1965**, 33, № 12, 1055–1060. [РЖ 1966 6 А118].

Эксперимент Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц редко выполнялся в студенческих лабораториях, несмотря на то, что преподаватели считают постановку и демонстрацию этого эксперимента весьма желательными. Это связано в основном с дороговизной необходимой для эксперимента аппаратуры. В статье описаны сравнительно дешевые приборы, представлены фотоснимки и чертежи этих приборов, позволяющих повторять опыт Резерфорда. Приведены результаты, полученные с этой аппаратурой при проведении лекционных демонстраций.

**Источники для опытов по измерению периодов полураспада.** Taylor Jolius H. West Andrea P. Sources for half-life experiments. "Amer. J. Phys.", **1965**, 33, № 12, 1061–1063. [РЖ 1966 8 А94].

**Простая установка для проведения качественных опытов по радиоактивности.** Siering Richard. Eine Einfache Versuchsanordnung fur qualitative Versuche zur Radioaktivitat. "Prax. Naturwiss.", **1966**, А15, № 12, "Physik", 317–319. [РЖ 1967 8 А55].

Установка для демонстрации трех видов радиоактивных излучений и их свойств состоит из торцового счетчика и полупроводникового диода, соединенного с громкоговорителем и демонстрационным измерительным прибором. Когда излучение отсутствует, между эмиттером и коллектором триода течет небольшой постоянный ток. Если поднести к счетчику радиоактивный препарат, то при каждом разряде базис заряжается отрицательно относительно эмиттера и возникают импульсы тока, частота которых зависит от интенсивности излучения. При помощи описанной установки можно измерить длину пробега  $\alpha$ -частиц (препарат  $\text{Po}^{210}$ ), поглощение  $\alpha$ -лучей писчей бумагой (препарат  $\text{Po}^{210}$ ), поглощение  $\beta$ -лучей свинцовым экраном толщиной 1 мм (препарат  $\text{Cs}^{137}$ ), отклонение  $\beta$ -лучей магнитным полем (препарат  $\text{Sr}^{90}$ ), поглощение  $\gamma$ -лучей свинцовым экраном толщиной 2 см. Приведены электрические схемы установок.

**Регистрация импульсов счетчика заряженных частиц с помощью магнитофона.** Brockmeyer Heinrich. Registrierung von Zahlrohrimpulsen mit dem Tonbandgerat. "Prax. Naturwiss.", 1967, F16, № 2, Physik, 29–30. [РЖ 1967 10 A135].

Напряжение с нагрузочного сопротивления счетчика подается на вход усилителя магнитофона. Если импульсы идут часто, то они записываются на большой скорости, а потом прослушиваются на малой скорости. Это дает возможность вести устный счет импульсов. Если соотношение скоростей (обычно 4:1) недостаточно, то путем перезаписи на другой магнитофон (также с изменением скоростей записи и прослушивания) можно получить соотношение 16:1. Если начальная скорость счета так велика, что и в этом случае устный счет невозможен, то можно сделать запись на магнитной ленте видимой (РЖФиз, 1966, 12А67) и сосчитать число импульсов на единице длины ленты.

**Эксперимент по ядерной физике для студентов старших курсов.** Jordan J.A.Jr., Duval J.S., Jr. Nuclear physics experiment for the senior physics laboratory. "Amer. J. Phys.", 1967, 35, № 7, 595–602. [РЖ 1967 12 A92].

Описана методика и оборудование эксперимента по ядерной физике, разработанные в физической лаборатории университета Райса (Хаустон, штат Техас). Эксперимент предназначен для изучения реакции  $F^{19}(p, \alpha) O^{16}$ , которая, по мнению авторов, является наиболее интересной в качестве введения в ядерную спектроскопию. Оборудование эксперимента почти полностью идентично обычному исследовательскому оборудованию, в частности, используется ускоритель Ван-де-Граафа на энергию 5 МэВ и электронная вычислительная машина, непосредственно связанная с экспериментальной аппаратурой. Отмечается, что методика эксперимента предусматривает большую свободу в выборе студентами набора измеряемых параметров и возможность проявления изобретательности при обработке накопленных данных.

**Эксперименты с использованием полупроводникового детектора заряженных частиц в современной физической лаборатории.** Duggan Jerome L., Adams William D., Scroggs Robert J., Anthony Lee S. Charged-particle detector experiments for the modern physics laboratory. "Amer. J. Phys.", 1967, 35, № 7, 631–637. [РЖ 12 A93].

Обсуждаются вопросы, связанные с использованием полупроводниковых детекторов в лабораторном практикуме по ядерной физике для студентов старших курсов. Кратко рассмотрены основные рабочие характеристики полупроводниковых детекторов. Описана методика проведения четырех экспериментов по ядерной физике, в которых наряду с другими типами детекторов используются полупроводниковые детекторы. Эксперименты расположены в последовательности по возрастающей степени трудности. Наиболее простой эксперимент (измерение энергетических потерь  $\alpha$ -частиц в воздухе) предполагает ознакомление студентов с определением энергетического разрешения и калибровкой детектирующих систем с полупроводниковыми детекторами. Второй эксперимент состоит в измерении схемы распада  $\alpha$ -источника  $Am^{241}$  с одновременной регистрацией  $\gamma$ -излучения, сопутствующего  $\alpha$ -распаду. Третий эксперимент заключается в измерении удельных потерь энергии в металлических фольгах и в воздухе. Этот эксперимент предусматривает теоретические вычисления по полуэмпирическим формулам и сравнение расчетов с результатами измерений. В четвертом эксперименте измеряются  $\alpha\gamma$ -совпадения источника  $Cm^{244}$ . В этом эксперименте

студенты знакомятся с методом обработки временных распределений импульсов, полученных с помощью преобразователя типа время–амплитуда. Каждый эксперимент снабжен библиографией, которая рекомендуется для более глубокого ознакомления студентов с изучаемым явлением и использованной аппаратурой. В заключение приводится ориентировочное время, в течение которого студенты обязаны выполнить каждый из описанных экспериментов.

**Мертвое время счетчика радиоактивных излучений.** Hoffmann Herbert. Totzeit eines Zahlrohres. “Prax. Naturwiss.”, 1967, A 16, № 11, Physik, 297–298. [РЖ 1968 5 A85].

Описывается опыт, демонстрирующий мертвое время счетчика радиоактивных излучений. Источником излучения служит чистый  $\alpha$ -излучатель (препарат Po). Между препаратом и окошком счетчика помещают затвор фотоаппарата без линз. Путем изменения времени экспозиции измеряют зависимость количества регистрируемых импульсов от времени. При этом можно ожидать, что зависимость между ними будет прямо пропорциональной и график зависимости будет представлять собой прямую линию. В действительности для небольших интервалов времени пропорциональность нарушается. Мертвое время можно оценить, если провести касательную к точке перегиба на графике и продолжить ее до пересечения с осью времени.

**Аппаратура для проведения опыта Штерна-Герлаха в Университете шт. Нью-Мексико (США).** Daybell Melvin D. The New Mexico State University Stern-Gerlach apparatus. “Amer. J. Phys.”, 1967, 35, № 7, 637–641. [РЖ 1968 2 A65].

Описан прибор, смонтированный силами учебной лаборатории из имеющихся в продаже узлов: электромагнита, вакуумного насоса, кварцевой печи и т. п. Индикатором пуска атомов Na служил детектор с “горячей нитью”. Опыт состоит в снятии двух кривых: при выключенном магните при перемещении детектора перпендикулярно пучку фиксируется острый максимум, при включенном магните наблюдается двугорбая кривая с провалом на том месте, где раньше был максимум.

**Коррекция показаний электронных пересчетных устройств, регистрирующих импульсы от гейгер-мюллеровских счетчиков.** Brockmeyer Heinrich. Zahlkorrektur bei einer elektronischen Zahlapparatur für GM-Zahlrohrimpulse.”Prax. Naturwiss.”, 1968, A 17, № 5, 132–134. [РЖ 1968 12 A99].

Показания пересчетного устройства, регистрирующего число импульсов в секунду от гейгер-мюллеровского счетчика, растут с уменьшением расстояния между гейгер-мюллеровским счетчиком и источником излучения. Достигнув определенной величины, они перестают увеличиваться или даже падают. Так например, пересчетное устройство “Neva”, работая с гейгер-мюллеровским счетчиком типа Valvo 18504, дает максимальный отсчет 2000 при 3500 *имп/сек*. Величины максимального отсчета и погрешностей зависят от ряда факторов (число импульсов в секунду, чувствительность, на которую установлен счетчик, напряжение питания гейгер-мюллеровского счетчика, мертвое время последнего), что делает их расчет чрезвычайно затруднительным. Приводятся кривые коррекции для пересчетного устройства “Neva”, полученные автором с помощью метода ослабления интенсивности  $\beta$ -излучения препарата Tl-204. Между препаратом и счетчиком помещался свинцовый экран с отверстием, закрытым тонким

листом алюминия. Для ряда различных диаметров отверстий, начиная с 2 мм, снимались зависимости показаний счетчика от толщины алюминия, доводимой до 0,5 мм (предел, до которого поглощение излучения в алюминии подчиняется экспоненциальному закону). Кривые наносились в полулогарифмическом масштабе, в котором для отверстия диаметром 2 мм, соответствующего не более чем 100 имп/сек, а следовательно работе счетчика без погрешности, получалась прямая линия. Начальные участки кривых, соответствующих большим числам импульсов в секунду, оказываются отклоненными вниз, если эти кривые совмещать с кривой для отверстия диаметром 2 мм, путем параллельного переноса последней. Это позволяет построить кривые коррекции в виде зависимости действительного числа импульсов в секунду от регистрируемого счетчиком при различных значениях его чувствительности. Описанный метод проще и быстрее метода двух источников и точнее метода вариации расстояния до источника  $\gamma$ -излучения.

**Мертвое время гейгер-мюллеровских счетчиков.** Horbelt Karl. Totzeit von Zahlrohren. "Praz. Naturwiss.", 1968, A 17, № 5, 123–124. [РЖ 1968 12 A100].

Мертвое время  $T$  гейгер-мюллеровского счетчика можно определить методом, аналогичным методу двух источников, пользуясь всего лишь одним источником. Для этого последний помещают на расстоянии  $\sim 1$  см от окошечка счетчика и измеряют число импульсов в секунду на выходе счетчика  $n_{12}$ . Затем экранируют половину потока излучения, поступающего от препарата в окошечко счетчика, и измеряют снова число импульсов  $n_2$ , экранируют вторую половину потока и измеряют  $n_0$  и, убрав первый экран, измеряют  $n_1$ . При этом  $n_1$  и  $n_2$  соответствуют замерам при воздействии на счетчик излучений двух различных препаратов, а

$$T = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_0}{n_{12}^2 + n_0^2 - n_1^2 - n_2^2}.$$

При  $T \sim 10^{-4}$  сек и  $n_{12} \cong 2000$  имп/сек средняя ошибка не превышает 10% при длительности каждого из замеров  $\sim 100$  сек.

**Дешевый Rb-D<sub>2</sub>-фильтр.** Fiester A.H. Inexpensive rubidium-D<sub>2</sub> filter. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 4, 366. [РЖ 1969 1 A94].

Предложена рекомендация по конструкции дешевого фильтра для учебных целей, пропускающего D<sub>2</sub>-резонансное излучение Rb в области 7775–8000 Å. Раствор хлористого неодима 0,4 М толщиной 1 см, пропускающий 60% D<sub>2</sub>-излучения Rb (7948 Å), заливается в подходящую кювету. Такой фильтр может быть сделан как угодно большим. Он удовлетворяет всем необходимым требованиям, предъявляемым к интерференционным фильтрам.

**Мертвое время счетного устройства.** Muller Gerhard. Totzeit einer Zahlanordnung. "Prax. Naturwiss.", 1968, A17, № 6, Physik, 158–160. [РЖ 1969 3 A98].

Описывается схема для определения мертвого времени счетного устройства, состоящего из двух счетчиков, лампы типа ЕН-90 с двумя управляющими сетками и высокоомного громкоговорителя. Препарат располагают симметрично относительно счетчиков и подключают счетчики поочередно к обеим сеткам лампы. Затем каждый счетчик подключают к одной сетке. В этом случае в анодной цепи возникают лишь те импульсы, которые регистрируются одним счетчиком в мертвое время другого счетчика. Приведен метод расчета мертвого време-

ни, согласно которому получено время  $\tau = 100$  мсек., соответствующее паспорту счетчика. С учетом мертвого времени количество импульсов от препарата  $n_0$  может быть рассчитано по формуле  $n_0 = n / (1 - n\tau)$ , где  $n$  — количество зарегистрированных импульсов.

**Простой прибор для изучения закона Мозли.** Hohenemser C., Asher I.M. A simple apparatus for Moseley's law. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, № 10, 882–885. [РЖ 1969 3 А95].

Описан прибор для измерения энергий характеристического излучения с целью проверки закона Мозли. Прибор состоит из источника  $\text{Co}^{57}$ , пропорционального счетчика, предусилителя, осциллоскопа и покрыт свинцовой защитой толщиной 1 см. Приведена принципиальная схема прибора. Излучение, рассеянное образцом, через предусилитель попадает на пропорциональный счетчик, соединенный с осциллоскопом, на котором фотографируются импульсы. Пропорциональный счетчик размером 16 см × 5 см имеет бериллиевое окно размером 2,5 см × 2,5 см × 0,025 см и заполнен смесью из 95% ксенона 5% метана. Для разрешения импульсов с энергией 0,1 кэВ счетчик соединен с предусилителем. Приведены фотографические данные для Ti, Cu, Zn и Ag и диаграмма Мозли, построенная по этим данным для  $K_\alpha$ -серии. При использовании системы счета, состоящей из линейного усилителя, одноканального анализатора и схемы пересчета, описанный прибор можно использовать также и для изучения разрешения счетчика, характеристики счетчика при энергиях, превышающих энергию связи в  $K$ -оболочке Хе, ослабления рентгеновских лучей, включая явление критического поглощения.

**Методическое письмо PD-1 по детекторам частиц.** Trower W. Peter. Resource Letter PD-1 on particle detectors. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 7, 795–805. [РЖ 1970 12 А72].

Приводятся список рекомендуемой литературы и методические указания, составленные автором по просьбе специальной комиссии Американской ассоциации учителей физики, для того, чтобы ознакомить студентов колледжей с литературой по детекторам частиц. Статья не дает исчерпывающей информации, в основном в ней перечислены монографии и обзоры американских авторов, а также материалы международных конференций по вопросам взаимодействия элементарных частиц с веществом, методам детектирования с помощью эмульсий, ионизационных камер, газонаполненных, сцинтилляционных и черенковских счетчиков, полупроводниковых детекторов искровых, пузырьковых и других камер.

**Как использовать счетчик?** Tawney D.A. How do you use a scaler? "Phys. Educ.", 1970, 5, № 6, 344–348. [РЖ 1971 3 А77].

Описаны применения в учебных лабораториях счетчиков для регистрации ионизирующего излучения (счетчик Гейгера-Мюллера, твердотельный счетчик, сцинтилляционный счетчик), а также их применения (с использованием генератора на 1 кГц) как миллисекундных хронометров для измерения скорости и ускорения в лабораторных работах по динамике. Кроме того, предполагается использовать счетчик для определения частоты звуковых колебаний, поступающих на микрофон. Этот способ измерения частоты может быть использован для раз-

личных целей: калибровки звукового генератора и стробоскопа, определения высоты звукового тона, частоты генератора развертки электронно-лучевого осциллографа.

**Минигенератор — миниатюрный радиоизотопный источник для учебных целей.** McKee Alfred D., Stengel Paul, Burt R. E., Jr. The minigenerator, an evaluation. "Phys. Teacher", 1970, 8, № 8, 463–465. [РЖ 1971 5 А127].

Приведены характеристики и оценка эффективности использования для учебных целей миниатюрного радиоизотопного источника "минигенератор" производства фирмы Union Carbide. Источник представляет собой небольшой герметичный цилиндр с фильтровальным устройством, в котором помещен препарат радиоактивного изотопа с большим периодом полураспада. При распаде образуется короткоживущий изотоп, раствор которого можно многократно получать, пропуская растворитель через фильтровальное устройство. Таким образом, минигенератор является безопасным и удобным источником короткоживущего изотопа, пригодного для разнообразных учебных и лабораторных опытов по курсу атомной физики (измерение периода полураспада, определение энергии  $\gamma$ -излучения, изучение условия равновесия между первичным и вторичным элементом и т. п.). В минигенераторе применяются два типа изотопных источников: 1)  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{\alpha}=30$  лет)  $\rightarrow$   $^{137}\text{Ba}$  ( $T_{\alpha}=2,6$  мин);  $^{113}\text{Sn}$  ( $T_{\alpha}=115$  дней)  $\rightarrow$   $^{113}\text{In}$  ( $T_{\alpha}=100$  мин). Стоимость источника 40 долларов.

**Использование твердых детекторов следов частиц в преподавании радиоактивности.** Medveczky Laszlo, Somogyi Gyorgy, Nagy Mihaly. Szilardtestnyomdetektorok felhasznalasa a radioaktivitas tanitasaban. "Fiz. tanitatasa", 1972, 11, № 2, 48–51. [РЖ 1972 10 А136].

**Применение поверхностно-барьерного кремниевого счетчика для спектрометрии заряженных частиц.** Рук-во к лаб. занятиям по физике. Изд. 2. Под ред. Л.Л. Гольдина. Работа 81, с. 487. 1973.

Источник  $\alpha$ -излучения ( $\text{Pu}^{239}$  с энергией частиц  $E_{\alpha} = 5,15$  МэВ) и поверхностно-барьерный кремниевый счетчик помещены в вакуумную камеру на расстоянии 70 мм друг от друга. Это расстояние почти вдвое превышает пробег  $\alpha$ -частиц в воздухе при атмосферном давлении. После того, как воздух из камеры откачивается,  $\alpha$ -частицы беспрепятственно достигают детектора. Возникающие на нем сигналы поступают на зарядочувствительный усилитель. С усилителя сигнал подается на импульсный осциллограф СИ-1 для наблюдения и контроля и на вход амплитудного анализатора ААДО для измерений. Импульсы, возникающие на выходе амплитудного анализатора, сосчитываются пересчетным прибором ПСТ-100. В заключение работы определяется энергетическое разрешение кремниевого счетчика.

**Недорогой проточный газовый пропорциональный счетчик без окна.** Himmel Albert A. An inexpensive windowless gas flow proportional detector/ "J. Chem. Educ.", 1973, 50, № 12, 853. [РЖ 1974 6 А88].

Описана конструкция и приведены основные рабочие характеристики (в том числе счетная характеристика) проточного газового пропорционального счетчика. Прибор прост в изготовлении, работает на He–Ar-газовой смеси и от-

личается малым расходом рабочего газа. Эффективность регистрации счетчика составляет 42% для стандартного источника  $^{60}\text{Co}$  (0,02 мкюри) при напряжении на счетчике 2200 В.

**Опыты со счетчиком Гейгера–Мюллера.** Jaroszynski Edward. Cwiczenia z licznikiem Geigera-Mullera. “Fiz. Szk.”, 1973, 19, № 2, 19–26. [РЖ 1973 10 A115].

Описаны изготовленный автором индикатор излучений и методика проведения с ним пяти опытов: определение темного фона счетчика, проверка квантовой природы ультрафиолетового и рентгеновского излучений, исследования поглощения  $\gamma$ -излучения различными веществами и сравнение активности двух источников  $\gamma$ -излучения. Рекомендуются обращать внимание на погрешности измерений, обусловленные статистическим характером исследуемых явлений.

**Цепочки радиоактивного распада; электронный аналог.** Evans G. R. Radioactive decay chains— an electronic analogue. “Phys. Educ.”, 1974, 9, № 7, 487–489. [РЖ 1975 5 A104].

Описана конструкция аналогового вычислительного устройства, предназначенного для одновременного решения дифференциальных уравнений, описывающих образование и распад атомных ядер в простой трехзвенной радиоактивной цепочке распада. Представлены функциональная и принципиальная схемы компьютера, основными элементами которого являются операционные усилители, работающие либо в качестве интеграторов, либо в качестве усилителей. Отмечается, что описываемый компьютер может служить простым примером аналогового компьютера, пригодного для решения задач, представляющих практический интерес.

**Полупроводниковый детектор ядерного излучения.** Voit Fritz. Der Halbleiter-Kernstrahlungsdetektor. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1975, 24, № 6, 141–152. [РЖ 1976 1 A125].

Рассмотрен принцип действия полупроводникового детектора ядерных излучений, оценена его чувствительность для разных видов излучений ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Описано 16 опытов с использованием детектора, в том числе визуализация энергетического спектра  $\alpha$ -частиц, длина пути  $\alpha$ -частиц в воздухе, отклонение  $\alpha$ -частиц в магнитном поле, Резерфордское рассеяние на фольге и т.д. Описаны также аналогичные опыты с  $\beta$ -излучением.

**Циклотронный резонанс электронов, удерживаемых в микроволновом резонаторе.** Elmore W. C. Cyclotron resonance of electrons trapped in a microwave cavity. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 4, 305–307. [РЖ 1975 12 A190].

Приведено описание лабораторной установки для наблюдения циклотронного резонанса свободных электронов, захваченных в микроволновом резонаторе. Ошибка в определении резонансной частоты не больше  $20 \cdot 10^{-6}$ . Конструкция предложенного резонатора значительно проще обычно используемого для наблюдения циклотронного резонанса.

**Новые детекторы частиц – многопроволочный пропорциональный счетчик и дрейфовая камера.** Charpak G., Southworth Brian. New particle detectors – the multiwire proportionals chamber and the drift chamber. “Phys. Teach.”, 1977, 15, № 1, 26–31. [РЖ 1977 11 A137].

Подробно описаны устройство и механизм работы многопроволочного пропорционального счетчика и дрейфовой камеры. Особо подчеркивается, что эти детекторы частиц, обладая таким же энергетическим разрешением, как обычный пропорциональный счетчик, имеют лучшее временное и пространственное разрешение.

**Раздельное обнаружение  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений с помощью счетчика VALVO-18505.** Moller Herbert. Getrennter Nachweis von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen mit dem VALVOZahlrohr 18505. "Prax. Naturwiss.", 1977, 26, № 4, 93–94. [РЖ 1977 11 A138].

Описано применение пропорционального счетчика VALVO-18505 для обнаружения  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений. Выход счетчика соединяется с осциллографом (схема приведена).  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения различаются по амплитуде сигналов на экране осциллографа и по разной величине поглощения в воздухе, бумаге и свинце. Может быть зарегистрировано и  $\gamma$ -излучение.

**О принципе работы счетчика Гейгера-Мюллера.** Balter Horst. Zur Arbeitsweise eines Geiger-Muller-Zahlrohres. "Phys. Schule", 1977, 15, № 3, 94–98. [РЖ 1977 12 A127].

Описывается устройство и схемы включения двух типов современных счетчиков Гейгера-Мюллера: 1) заполненного аргоном или гелием с парами спирта в качестве гасящего газа; 2) заполненного неоном с галогеном в качестве гасящего газа. Рассмотрен механизм развития разряда в счетчике. Анализируется зависимость мертвого времени и разрешающей способности счетчика от его параметров. В качестве демонстрации влияния мертвого времени описан опыт с использованием двух радиоактивных препаратов. Суммарное число импульсов, регистрируемое счетчиком при последовательном воздействии препаратов, больше числа импульсов, фиксируемого за то же время при одновременном воздействии препаратов.

**Проведение опытов с использованием новых приборов.** Voit Fritz. Versuche mit neuen Geraten. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1977, 26, № 11, 283–292. [РЖ 1978 6 A139].

Описаны конструкции новых приборов – микроволнового радиопередатчика и полупроводникового детектора ядерного излучения. Первый прибор используется в экспериментах, посвященных изучению поляризации микроволнового излучения. С помощью второго прибора исследуются распад ряда радиоактивных изотопов, влияние магнитного поля на траектории заряженных частиц. Приведены примеры измерений, даны графики и таблицы с результатами измерений.

**Источники излучений на основе  $^{40}\text{K}$  для учебных целей.** Левкович А.Д. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1978, № 6, 71–77. [РЖ 1978 10 A137].

Обосновывается применение естественного радиоизотопа  $^{40}\text{K}$  для учебных экспериментов по ядерной физике. Приводятся результаты экспериментального изучения свойств  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения  $^{40}\text{K}$  в плане использования источников на основе соединений калия для лекционных демонстраций и работ физического практикума. Описываются источники  $\beta$ -излучения,  $(\beta+\gamma)$ -излучения и  $\gamma$ -излучения, отмечаются их особенности и достоинства.



**Учебно-исследовательский реактор Дрезденского технического университета.** Der Ausbildungs- und Forschungsreaktor der Technischen Universität Dresden. Adam E., Knorr J., Kohler D., Wengors H., Gestrich J., Welzel L. “Kernenergie”, 1979, 22, № 9, 320–326. [РЖ 1980 4 A133].

При Дрезденском техническом университете создан и начал работу первый реактор, предназначенный для исследовательских работ студентов. Реактор является гомогенным, с твердотельным замедлителем нулевой мощности. ТВЭЛ изготовлены из смеси полиэтилена с окисью U по новой технологии. Обогащение U составляет 20%. Наряду с физическими свойствами активной зоны и новейшими электронными устройствами контроля, четырехкратный защитный барьер обеспечивает максимальную безопасность персонала и окружающей среды.

**Учебно-исследовательский реактор Инженерной высшей школы в г. Циттау.** Der Lehr- und Forschungsreaktor der Ingenieurhochschule Zittau. Ackermann G., Hampel R., Kenschak K. “Kernenergie”, 1979, 22, № 9, 314–320. [РЖ 1980 6 A112].

Описан реактор с водяным замедлителем, мощностью 10 Вт, предназначенный для обучения и профессиональной подготовки студентов. Высокая безопасность и экономичность эксплуатации обеспечиваются благодаря применению специальных ТВЭЛ, особой конструкции активной зоны реактора, СУЗ, дозиметрических устройств.

**Регистрирующие приборы в физике высоких энергий. Ч. 2.** Nachweisgerate der Hochenergiephysik. 2. Teil, Leutz Heinrich, Minten Adolf. “Phys. Unserer Zeit”, 1980, 11, № 3, 78–82. [РЖ 1980 10 A106].

Описаны приборы, используемые для регистрации различных явлений в экспериментах по физике высоких энергий. Вначале для обнаружения ионизирующего излучения использовался простейший сцинтиллятор, работа которого основана на способности некоторых веществ люминесцировать при бомбардировке их электронами. Возникающие при этом световые импульсы усиливаются фотоумножителем, на выходе которого получают электрический сигнал с амплитудой, пропорциональной энергии регистрируемого электрона. Другой прибор для регистрации заряженных частиц — гейгер-мюллеровский счетчик. В этом счетчике заряженная частица, попадающая в трубку, ускоряется под действием электрического поля и ионизует газ, заполняющий трубку. Величина амплитуды электрического сигнала на выходе счетчика также пропорциональна первоначальной энергии частицы. Описаны различные модификации приборов, позволяющие определять траекторию полета частицы в пространстве. Для разделения заряженных частиц по энергиям используются спектрометры. Двигаясь в магнитном поле, частицы разделяются в пространстве. По траекториям их движения можно реконструировать элементарное событие, вызвавшее образование этих частиц. Рассматриваются проблемы автоматизации отбора редких событий. Обсуждены возможности, открывающиеся с повышением предельной энергии частиц, достигаемой в современных ускорителях.

**О возможности применения в физическом обучении фотоумножителей со сцинтилляторами.** Ein Fotovervielfacher/Szintillationszahler-Geat mit weitgefächerten Anwendungsmöglichkeiten im Physikunterricht. Hilscher Helmut. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1981, 30, № 6, 174–182. [РЖ 1982 1 A148].

Описан принцип действия сцинтилляционных счетчиков. Излучаемый сцинтиллятором свет усиливается фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). С вы-

хода ФЭУ сигнал подается на осциллограф. Подробно описаны конструкция и принцип действия ФЭУ. Обсуждаются свойства органических и неорганических сцинтилляторов, проводится сравнительный анализ их чувствительности к различным видам радиоактивного излучения. Описана конструкция импульсного генератора, предназначенного для возбуждения световых вспышек, используемых для изучения реакции прибора на световой сигнал. Приведены результаты экспериментов по регистрации излучения образцов радиоактивных минералов с помощью сцинтилляционного счетчика. Небольшое изменение конструкции счетчика позволяет регистрировать также  $\alpha$ -частицы.

**Измерение ядерных излучений с помощью счетчиков Гейгера-Мюллера.** Die Messung von Kernstrahlung mit Geiger-Muller-Zahlrohren. Bodemann Manfred, Wehler Hermann-Josef. "Naturwiss. Unterr. Phys./Chem.", 1982, 30, №5, 159–164. [РЖ 1982 12 А129].

Обоснованы и достаточно подробно рассмотрены методические рекомендации по изучению принципов действия, устройства и применения счетчиков Гейгера-Мюллера для регистрации ядерных излучений. Даны примеры демонстрационных экспериментов.

**Диффузионная камера непрерывного действия для демонстрации следов ионизирующих излучений в ядерной физике.** Kontinuierlich arbeitende adiffusionsnebeckammer zur Demonstration von Bahnen ionisierender Strahlungen in der Kernphysik. Reihls Karsten: Phywe AG. Заявка 3103052, ФРГ. Заявл. 30.01.81, опублик. 12.08.82. МКИ G 01 T 5/04. [РЖ 1983 10 А101].

Предложена простая конструкция диффузионной камеры непрерывного действия, предназначенной для демонстрации следов ионизирующих излучений в лабораторном практикуме школ и институтов.

**$\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектроскопия с помощью сцинтилляционного счетчика.**  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Spektroskopie mit einem Szintillationszahler. Hilscher Helmut. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1984, 33, № 3, 75–81. [РЖ 1984 8 А115].

В школьных условиях для регистрации энергетических спектров  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений целесообразно использовать один и тот же приемник. Для этой цели разработан специальный сцинтилляционный счетчик. Одной из особенностей его конструкции является возможность менять расстояние между источником и детектором в пределах до 10 см. Это позволяет, в частности, измерить длину пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе. Используемый в счетчике пластмассовый сцинтиллятор позволяет лишь регистрировать  $\gamma$ -излучение, для  $\gamma$ -спектроскопии приходится использовать сцинтилляционный кристалл NaI(Tl). Приведены спектры, полученные с помощью описанного счетчика, и проведено их сравнение со спектрами, полученными с использованием промышленных спектрометров ядерного излучения.

**Оптическая искровая камера в специальном ядерном практикуме.** Богословский Г.В., Горячев Б.И., Ковалев А.К., Хренов Б.А., Ярочкина З.В. "Сб. науч.-метод. ст. по физ." (Москва), 1984, № 11, 107–113. [РЖ 1984 12 А135].

Описано устройство и приведена блок-схема оптической искровой камеры, используемой в работах специального ядерного практикума физического факультета МГУ. В состав установки входит многоэлектродный блок искровых промежутков, электронное логическое устройство, блок формирования высоко-

вольтного импульса и набор панелей газоразрядных детекторов. Описано содержание следующих лабораторных работ: 1. Изучение зависимости эффективности икровой камеры от времени задержки высоковольтного импульса и напряжения очищающего поля; 2. Фотографирование событий в искровой камере; 3. Изучение распределения длительностей интервалов между последовательными событиями. Обсуждается методический аспект разработанной задачи.

**«Мертвое время» счетчика Гейгера—Мюллера.** The dead time of a Geiger—Miiller tube / Bridges Richard // Phys. Educ— 1990. — 25, № 1. — С 60–65 — Англ. [РЖ 1990 11 А170].

Приводятся результаты исследований, проведенных в учебной лаборатории со счетчиком Гейгера-Мюллера, поставленного в различные режимы счета. Счетчик Гейгера-Мюллера через интерфейс подключался к микро-ЭВМ типа ВВС В, позволяющей собрать большое количество данных и произвести их статистическую обработку. Рассмотрены случаи применимости распределения Пуассона и его переход в гауссовское в соответствии с центральной предельной теоремой. Дается метод определения "мертвого времени" прибора. Приведено большое кол-во экспериментальных данных для типичных опытов.

**Применение высокотемпературной конденсационной камеры в физическом эксперименте.** Клячин Н.А., Ляпидевский В.К., Максимов В.Ю. Эксперим. методы в задачах прикл. и фундам. ядер. физ. Моск. инж.-физ. ин-т. М., 1991. С. 23–27. [РЖ 1992 9 А108].

Высокотемпературная конденсационная камера (ВКК) — детектор ионизирующего излучения, позволяющий наблюдать и фотографировать треки заряженных частиц в пересыщенном паре. От камеры Вильсона ВКК отличается тем, что обладает непрерывной чувствительностью. Ее отличие от обычной диффузионной камеры заключается в том, что чувствительный слой в ВКК формируется при температуре выше комнатной. Это дает возможность существенно упростить конструкцию и эксплуатацию камеры путем исключения системы охлаждения на хладагенте (жидкий азот, уголекислота) и расширить область ее применения. ВКК может применяться как в лабораторных, так и в полевых условиях, для работы в помещениях, в целях обнаружения следов радиоактивных веществ. Камера является идеальным демонстрационным прибором.

**Установка для выполнения лабораторных работ по ядерной физике в техническом вузе.** Барвинко Г.Г.; Кременчуг. Фил. Харьк. Политехн. ин-та. Кременчуг, 1993. 7 с. [РЖ 1994 2 А95].

Кафедры физики технических вузов, выпускающих инженеров, не специализирующихся в области ядерной физики и технологии, испытывают трудности в организации лабораторных практикумов по разделу “Ядерная физика”. Исключить раздел из курса общей физики нельзя, приобретение выпускаемых промышленностью радиоактивных изотопов требует выделения дополнительных учебных площадей и организации специальных служб. Для решения учебных лабораторных задач по данному разделу можно применить установку, состоящую из выпускаемых промышленностью измерительных приборов и изготавливаемых силами кафедры излучателей, уровень излучения которых мало отличается от уровня фона естественной радиации и ослабителей из различных материалов. При помощи установки можно решать несколько учебных лабораторных задач,

проводить лабораторные учебные занятия целой академической группой, ставить студентам индивидуальные задачи.

**Применение источников малой интенсивности в лабораторных работах по ядерной физике.** Белянин В.А. Методика преподавания физ. в техн. вузе: Матер. межвуз. семин., Йошкар-Ола, 16-18 марта, 1994. Йошкар-Ола, **1994**. 38–39. [РЖ 1995 9 А142].

На кафедре физики Марийского педагогического института разработаны и внедрены в учебный процесс 7 лабораторных работ, позволяющих изучать свойства ядерных излучений и методы их регистрации счетчиками Гейгера-Мюллера.

**Экологически и физически безопасные приборы в практикуме.** В.А. Квливидзе, В.А. Белавин, В.П. Петухов, В.В. Радченко. ФОВ. **1999**. Т. 5, № 4, с. 142.

**Ловушки для нейтральных радиоактивных атомов.** Traps for neutral radioactive atoms. Sprouse G.D., Filler R.P., (III), Grossman J.S., Orozco L.A., Person M.R. *Nucl. Phys.. A.* **2002**. 701. № 1–4. 597–603. [РЖ 2006 №2–18А.163].

Описаны несколько методов для эффективной инъекции малого числа радиоактивных атомов в лазерную ловушку. Обсуждаются характеристики лазерных ловушек, которые делают их подходящими для физических экспериментов. Сообщается о некоторых направлениях различных экспериментальных исследований, в том числе об экспериментах с щелочным элементом Fr и по захвату в ловушки нейтральных атомов.

**Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант.** *Мир измерений.* **2002**. № 2–3. 119–121. [РЖ 2003.06-18А.172].

Кратко сообщаются назначение и технические характеристики спектрометров фирмы “PerkinElmer Instruments” (торговая марка ORTEC, США): портативных многоканальных гамма- и рентгеновского излучения DART, цифровых многоканальных гамма- и рентгеновского излучения DSРес (модель Plus). Сообщаются также данные о системах индивидуального дозиметрического контроля “Флюорад ДВГ-713-РФЛ”, радиометре-дозиметре МКС-15ЭЦ, радиометре альфа- и бета-излучений, низкофоновом универсальном УРФ-1.

**Лабораторная установка для проведения цикла работ по теме “Ядерная физика”.** Выборнов Ф.И., Чандаева С.А. *Учебный физ. эксп-т.и и его соверш-е: Науч.-методич. конф., Пенза, 22–24 нояб., Межвуз. Сборник научных трудов.* Пенза. **2002**. 54–55. [РЖ 03.10–18А.180].

Представлена схема лабораторной установки, включающая измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5Б, измерительный зонд, источник радиоактивного излучения Б-8, счетчик программный реверсивный Ф5007, контрольный динамик с резонатором, таймер, барометр, термометр и штатив с измерительной линейкой. Установка используется для проведения лабораторных работ: “Измерение эффективного сечения рассеяния молекул воздуха”, “Определение активности источника” и “Исследование ослабления  $\beta$ -излучения при прохождении через вещество”. Дано краткое описание процедуры измерений.

**Светочувствительные приборы с зарядовой связью в атомном практикуме физического факультета МГУ.** Красильников С.С., Красильникова Н.А., Са-

вченко И.А., Смирнов А.В. *Физ. образ. в вузах*. **2003**. 9, № 2. 84–90, 127. [РЖ 2004 02-18А.174].

Излагается опыт применения светочувствительных линейных приборов с зарядовой связью в оптическом подразделении атомного практикума для студентов 3-го курса физического факультета МГУ. Светочувствительные линейные Приборы с Зарядовой Связью (ПЗС-линейки) — оптические многоканальные анализаторы радикально изменили спектральный эксперимент, устранив долгий (и “мокрый”) фотопроект и кропотливую обработку пластинок и пленок на микрофотометре или компараторе “по точкам”. Компьютер с ПЗС-линейкой (и соответственно интерфейсным модулем) позволяет регистрировать, хранить и обрабатывать спектры значительно более быстро, оперативно и точно, на более высоком уровне обработки результатов эксперимента. Малый шаг ПЗС-линейки (~10 мкм) позволяет за одну экспозицию получать многотысячный массив чисел — спектр и использовать все возможности, предоставляемые компьютером — трансформировать, масштабировать, складывать, применять современные методы анализа и т. д.

**Изображение на атомном уровне: лабораторная работа со сканирующим микроскопом.** Atomic scale imaging: a hands-on scanning probe microscopy laboratory for undergraduates. Zhong Ch., Han L., Maye M. M. a. o. *Chem. Educ.* **2003**. 80, № 2. 194–197. [РЖ 03.12–18А.169].

Разработан новый лабораторный эксперимент, использующий сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы для получения изображений на атомном уровне хорошо известных кристаллических материалов: пиролютического графита с высокой степенью упорядоченности и слюды. Приведены полученные снимки и дана их интерпретация.

**Лабораторная работа № 2. Полупроводниковый детектор.** Галкин В.И., Горячев Б.И., Силаев А.А. и др. *Спец. практ-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М.*, **2004**. 41–68. [РЖ 05.05–18А.122].

В работе изучаются основные характеристики полупроводникового детектора и методика обработки экспериментальных данных при регистрации случайных процессов. Работа знакомит с  $\alpha$ -спектрометром на базе полупроводникового счетчика, дает представление об амплитудных спектрах импульсов на выходе такого счетчика, когда он регистрирует электроны и  $\gamma$ -кванты.

**Лабораторная работа № 3. Газовые ионизационные детекторы.** Мурзина Е.А., Нижельский А.Ф., Харюков И.И. *Спец. практ-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М.*, **2004**. 69–102. [РЖ 05.05–18А.122].

**Спец. практ-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М.**, **2004**. 41–68. [РЖ 05.05–18А.123].

При движении заряженных частиц в газах в результате ионизации вдоль траекторий каждой частицы образуются электроны и ионы. Ионизационные ме-

тоды регистрации основаны на измерении заряда и тока, создаваемого заряженными частицами при прохождении газового детектора. Заряд же, созданный частицей, будет определяться ее ионизационными потерями в газе детектора. Поэтому очень важно знать, какая энергия в среднем расходуется на создание одной пары ионов в том или ином газе и как эта средняя энергия зависит от природы и скорости заряженной частицы. По измерению в газовых ионизационных детекторах количества созданных пар ионов можно легко определить энергию, затраченную частицей на ионизацию газового промежутка детектора. Это позволяет использовать некоторые газовые ионизационные детекторы для спектрометрических целей. С помощью газовых ионизационных детекторов можно определить и интенсивность, и энергетический спектр исследуемого потока заряженных частиц. Простота, дешевизна и надежность этих детекторов привели к широкому применению их в различных областях науки и техники. Все газовые детекторы представляют собой конденсаторы, в которых пространство между электродами заполнено каким-либо газом. В зависимости от величины и распределения напряженности электрического поля в газовом промежутке эти детекторы обладают разными свойствами. Рассматриваются принципы работы импульсных ионизационных камер, пропорциональных счетчиков, газоразрядных счетчиков Гейгера-Мюллера.

**Пропорциональный счетчик. Измерение сечения фотоэффекта с помощью пропорционального счетчика.** Аминова Т.П., Яковлева Г.Н., Кузнецова Г.П., Сомиков А.В. *Спец. практик-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М., 2004.* Лабораторная работа № 4. 103–132. [РЖ 05.05–18А.124].

Целью задачи является знакомство с ионизационной камерой, пропорционального счетчика и исследование его характеристик, а также измерение с его помощью сечения фотоэффекта. Преимуществом пропорционального счетчика перед другими детекторами заряженных частиц является то, что он может быть использован для регистрации и измерения малых энергий (например, мягкого рентгеновского излучения или электронов с энергиями в сотни или даже десятки килоэлектронвольт), т. е. тогда, когда другие детекторы не могут работать из-за слишком малого превышения амплитуды импульсов над амплитудой шумов. Пропорциональный счетчик имеет весьма высокую временную и энергетическую разрешающую способность и достаточно большую эффективность регистрации мягкого излучения. Кроме того, пропорциональные счетчики достаточно просты в эксплуатации по сравнению, например, с германиевыми и кремниевыми полупроводниковыми счетчиками, которые также используются для регистрации излучения малых энергий, но требуют громоздких охлаждающих систем (криостатов) для обеспечения их нормальной работы. Все это обусловило широкое применение пропорционального счетчика в рентгеновской и гамма-астрономии, при изучении солнечного излучения, в нейтринной астрофизике, при исследовании многих вопросов физики ядра и прикладной ядерной физики, в частности для регистрации нейтронов, мягкого рентгеновского и гамма-излучения и электронов малых энергий. Малые размеры и надежность работы

позволяют применять пропорциональные счетчики для различных исследований на Искусственных Спутниках Земли.

**Искровая камера.** Горячев Б.И. *Спец. практик-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М., 2004.* Лабораторная работа № 5. 133–161. [РЖ 05.05–18А.125].

Искровая камера представляет собой управляемый трековый прибор. Принцип действия основан на том, что электроны, возникающие в газе камеры на пути заряженной частицы, ускоряются сильным импульсным электрическим полем и создают светящиеся области газа, локализованные вблизи траекторий. Искровые камеры обладают короткой “памятью” и небольшим мертвым временем. Кроме того, они относительно просты в изготовлении и эксплуатации. Наряду с пузырьковыми камерами и сцинтилляционными счетчиками искровые камеры стали одним из основных экспериментальных средств исследования элементарных частиц. Хотя в экспериментах на ускорителях на смену искровым камерам пришли более быстрые детекторы с позиционной чувствительностью – многонитяные пропорциональные камеры, искровые камеры как более простые и дешевые приборы широко применяются в исследованиях по физике космических лучей и других экспериментах по физике высоких энергий, где скорость срабатывания детекторов не слишком высока. Большой вклад в развитие и становление искровых камер внесли работы отечественных ученых. Здесь в первую очередь следует отметить создание камер с большим межэлектродным промежутком — трековой искровой и стримерной камер. Настоящая работа позволяет практически познакомиться с принципом действия простой оптической искровой камеры, а также получить основные представления о физических свойствах, классификации и применении искровых камер.

**Ошибки измерений при счете частиц.** *Спец. практик-м по соврем. методам физ. иссл-й. Ч. 1. МГУ. М., 2004.* 185–193. [РЖ 05.05–18А.126].

Результат физического измерения всегда отклоняется от действительного значения измеряемой величины. Это отклонение (ошибка измерения) складывается из большого числа малых случайных и систематических ошибок, допускаемых при измерении. Ошибка, обусловленная случайными отклонениями, подчиняется известному закону распределения Гаусса для случайных величин. Приводя результаты измерений, необходимо всегда указывать их среднеквадратичную ошибку.

**Лабораторная работа № 6. Черенковский детектор.** *Спец. практик. по соврем. методам физ. иссл. Ч. 1. МГУ. М., 2004.* 162–184. [РЖ 2005.11–18А.140].

Во введении к лабораторной работе рассказывается об истории открытия черенковского излучения и его объяснения, излагается теория и суть этого физического явления. Затем дано описание черенковских детекторов и принципа их действия. В процессе выполнения лабораторной работы проводится параллельное исследование некоторых характеристик черенковского и сцинтилляционного детекторов. Кратко излагается порядок выполнения трех упражнений, приводятся контрольные вопросы.

**Источники спонтанного и вынужденного мягкого рентгеновского излучения (МРИ).** Кротов Ю.А. *Лазер-информ. 2004.* № 21, 2–10. [РЖ 05.10–18А135].

В обзоре рассматриваются различные источники рентгеновского излучения большой интенсивности, высокой спектральной плотности и узкой направленности, обеспечивающие значительную яркость рентгеновского излучения.

**Светочувствительные приборы с зарядовой связью в атомном практикуме физического факультета МГУ.** С.С. Красильников, Н.А. Красильникова, И.А. Савченко, А.В. Смирнов. *ФОВ.* **2005.** Т. 11, № 1, с. 47–53. [РЖ 05.10–18А.140].

Оптические многоканальные анализаторы — светочувствительные линейные приборы с зарядовой связью (ПЗС-линейки), радикально изменили спектральный эксперимент, устранив долгий (и “мокрый”) фотопроект и кропотливую обработку пластинок и пленок на микрофотометре или компараторе “по точкам”. Компьютер с ПЗС-линейкой (и соответствующим интерфейсным модулем) позволяет регистрировать, хранить и обрабатывать спектры значительно более быстро, оперативно и точно, на более высоком уровне культуры обращения с результатом эксперимента. Малый шаг ПЗС-линеек  $\sim 10$  мкм позволяет за одну экспозицию получать многотысячный массив чисел — спектр и использовать все возможности, предоставляемые компьютером — трансформировать, масштабировать, складывать, применять современные методы анализа. В статье излагается опыт применения светочувствительных ПЗС-линеек в оптическом подразделении атомного практикума для студентов 3-го курса физического факультета МГУ.

**Макроскопическая модель атомно-силового микроскопа в лабораторной работе.** The macroscopic model of an atomic force microscope in the students' laboratory. Greczulo T., Debowska E. *Eur. J. Phys.* **2006.** 27, 3 3. 501–513. [РЖ 2007.12–18А.152].

**Хронометрирование случайных и аномальных приходов частиц в счетчиках Гейгера с помощью GPS устройств.** Timing the random and anomalous arrival of particles in a Geiger counter with GPS devices. Blanco F., La Rocca P., Riggi F., Riggi S. *Eur. J. Phys.* **2008.** 29. № 2, 355–368. [РЖ 2009 04–18А.85].

**Практика и перспективы применения высокотемпературной диффузионной камеры.** Калашников Н.П., Клячин Н.А., Поваляев О.А. и др. *Физ. образ в вузах.* **2011.** 17, № 3. 42–53, 137. [РЖ 12.04–18А.91].

Решающее значение в учебном эксперименте имеет его наглядность и информативность. Наглядную и всестороннюю информацию об ионизирующих частицах позволяют получить трековые приборы. Трековые приборы не только фиксируют факт прохождения заряженной частицы, но и позволяют определить ее характеристики по плотности ионизации, величине пробега, числу дельта-электронов. Возможности трековых приборов значительно возрастают, если они помещаются в магнитное поле. В этом случае, измерение радиуса кривизны трека дает дополнительную информацию о заряде, импульсе и массе частицы. Технические трудности, связанные с использованием источников ионизирующего излучения, изготовления и эксплуатацией трековых приборов, устраняются применением высокотемпературной диффузионной камеры (ВТДК). Представлены характеристики фотографии треков, описание лабораторной работы по курсу



атомной физики. Проведен анализ вариантов применения ВТДК в ВУЗе, школе, а также в экологии.

## **Глава 20. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ**

**О возможности совершенствования учебного эксперимента по ядерной физике.** Антонов А.Д., Митрткова А.С., Андреева С.В. Върху възможността за обогатяване на учебния експеримент по ядрена физика. “Физика” (НРБ), 1977, 2 № 3, 27–32. [РЖ 1978 1 А64].

Кратко описана методика проведения лабораторной работы по ядерной физике: регистрация радиоактивного излучения с использованием счетчика Гейгера-Мюллера. Эксперимент состоит из 4 частей: измерение фона внешнего излучения, определение природы излучения неизвестного источника, определение максимальных пробега и энергии  $\beta$ -частиц, измерение энергии  $\gamma$ -частиц методом поглощения.

**Методика проведения спецпрактикума по ядерной физике.** Тлеубергенова Г.А., Бокова Г.И. “Вопр. теор. и эксперим. физ.”, Алма-Ата, 1978, 127–131. [РЖ 1979 1 А129].

Сообщается о разработке и проведении на физическом факультете Казахского педагогического института им. Абая спецпрактикума по ядерной физике. Характеризуются учебные задачи спецпрактикума, его содержание и методика проведения работ. Спецпрактикум содержит 16 работ, охватывающих наиболее важные вопросы ядерной физики, часть из которых разработана и поставлена впервые (напр., “Изучение энергетического спектра  $\alpha$ -частиц”, “Определение сечения взаимодействия протонов и пионов с ядрами фотоэмульсии”, “Монтаж портативного радиометра и его применение” и др.). При проведении работ студенты работают с такими приборами, как одноканальный анализатор, амплитудный дискриминатор. Каждая работа спецпрактикума рассчитана на 6 ч. Контроль подготовки студентов к работе осуществляется как с помощью общего опроса (30–40 мин), так и с помощью программированного контроля; текущий контроль также осуществляется преподавателем.

**Комплексно-цикловая методика выполнения лабораторных работ по ядерной физике.** Ананьин В.М. “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), 1984, № 11, 85–87. [РЖ 1984 12А133].

Обсуждаются преимущества комплексно-цикловой методики проведения лабораторного практикума по ядерной физике, когда цикл работ по ядерной физике каждый студент выполняет на одной и той же установке: выигрыш времени за счет изучения только одной установки, последовательное изучение всей программы лабораторного практикума, фронтальное выполнение работ при индивидуальных заданиях, введение элементов научного исследования в задания. На первых занятиях цикла изучается установка: ее устройство, принципы работы основных узлов; экспериментально определяются необходимые характеристики счетчика и установки в целом. Затем студенты приступают к исследованию

свойств излучений с использованием  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -источников. К каждому заданию дается перечень вопросов теоретического курса, список рекомендованной литературы. В качестве примера приведен перечень заданий одного из циклов.

**Развитие исследовательских навыков в курсе практикума по атомной и ядерной физике.** Леухин А.В., Горбунов В.Ф., Ситников Г.А. Метод. преп. физ. в соврем. условиях: Матер. межвуз. семин., Йошкар-Ола, 26–29 марта, 1995. Йошкар-Ола, 1995. 21–22. [РЖ 1997 №6 А 95].

Краткий обзор ядерно-физических методов элементного анализа, оценено их место в комплексе существующих методов анализа вещества, намечены некоторые перспективы их дальнейшего развития. Практикум содержит два раздела. Первый посвящен изучению спектра испускания атома водорода, исследованию неупругих столкновений электронов с атомами инертного газа, изучению взаимодействия квантовой системы с электромагнитной волной. Студенты усваивают постулаты Бора, основные квантовые эффекты и методы изучения структуры вещества. Второй раздел посвящен физическим основам и принципам регистрации ядерных излучений с помощью газоразрядных и сцинтилляционных детекторов. Особое внимание уделяется свойствам ядерных излучений — альфа, бета, гамма, нейтронного, процессам взаимодействия их с веществом, изучению состава и свойств космического излучения. В ходе практикума студенты осваивают экспериментальную аппаратуру: импульсные усилители и формирователи, дискриминаторы, схемы совпадений и антисовпадений, фотоэлектронные умножители, органические и неорганические сцинтилляторы и анализаторы импульсов. В отличие от лабораторий ядерной физики многих вузов в практикуме используется большое количество источников ионизированного излучения: кобальт-60, цезий-137, кобальт-57, олово-119, плутоний-бериллиевые источники нейтронов.

**О новом подходе к созданию учебных лабораторных установок для физических практикумов.** Квливидзе В.А., Белавин В.А., Петухов В.П., Радченко В.В. *Физ. образ. в вузах.* 1998. 4, № 4. 93–106, 160. [РЖ 1999 12А164].

Изложены концептуальные основы создания учебных систем — тренажеров (УСТ) для обучения физике. Описаны установки по атомной физике — УСТ “Рентгеновский спектрометр” и УСТ “Опыт Франка и Герца”.

**Новые концепции задач общего ядерного практикума.** Василенко О.И. *Физ. образ. в вузах.* 1998. 4. № 3. 73–78, 172. [РЖ 1999 06А140].

Описан новый подход к модернизации и организации задач общего ядерного практикума физического факультета МГУ на основе использования ЭВМ. Он включает компьютерный допуск, создание справочной системы, компьютерное моделирование, обработку результатов, возможность дистанционного обращения к задаче. Описана новая реализация задачи о делении урана с использованием Интернет.

## Глава 21. СБОРНИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**Введение в экспериментальную физику.** Фреттер. Introduction to experimental physics. Fretter William B. 349 p., ill., Prentice-Hall, N. Y., 1954, 9.00 doll.) [Рецензия: Малдоэр (Muldawer Leonard), J. Frankiin Inst., 1954, 258, № 1, 70–71].

Книга рассчитана на студентов старших курсов и содержит описание аппаратуры и методов современной физики, главным образом ядерной физики.

**Опыты для практикума повышенного типа по физике.** Браун (Advanced undergraduate experiments in physics. Brown Thomas B.), Amer. J. Phys., 1955, 23, № 1, 54–57. [РЖ 1955 № 11 23784].

При участии широкого коллектива физиков готовится руководство в помощь преподавателям, планирующим и ведущим повышенный физический практикум, с подробными указаниями по каждому опыту. В статье публикуется детальный план вступительной главы по вопросам определения качества и вопросам обработки экспериментальных данных и план разделов пособия с перечислением включенных опытов. Публикуются планы разделов: механики, теплоты, акустики, оптики, атомной физики, радиоактивности и ядерной физики. Разделы: электричество и магнетизм, электроника и микроволны еще не разработаны.

**Простейшие опыты по радиоактивности.** Чжао Го-цюань. Ули тунбао, 1955, № 4, 244 (кит.).

**Ядерно-физические измерения в будапештском техническом университете Беркеш** (Magfizikai meresek a Budapesti Muszaki Egyetemen. Berkes Istvan), Energia es Atomtechnika, 1958, 11, № 3, 148–150 (венг.). [РЖ 1959 № 4 7219].

Дается краткое описание студенческого практикума по ядерно-физическим измерениям, поставленного в будапештском техническом университете.

**Лабораторные работы для студентов 3-го курса.** Ч. И. Барна, Грома, Куруц (Meresi feladatok a III. Eves fizikus hallgatok laboratoriumaban. I. Barna Peter. Groma Geza, Kurucz Istvan), Fiz. szemle, 1958, 8, № 3, 94–96. [РЖ 1959 № 4 7217].

Приводится описание работ, включенных в лабораторный практикум по атомной физике: исследование зависимости плотности эмиссионного тока от температуры проводника по формуле Ричардсона; исследование формулы Эйнштейна для фотоэффекта; определение заряда электрона по методу Милликена и с использованием эффекта Шоттки; измерение ионизационных потенциалов по методу Франка-Герца; изучение люминесценции твердых тел, исследование точки Кюри для ферромагнетиков; изучение закона Пашена при разряде в газах.

**Ядерно-физические измерения в Будапештском техническом университете. Беркеш** (Magfizikai meresek a Budapesti Muszaki Egyetemen. Berkes Istvan), *Energia es Atomtechnika*, **1958**, 11, № 3, 148–150. [РЖ 1959 № 4 7219].

Дается краткое описание студенческого практикума по ядерно-физическим измерениям, поставленного в Будапештском техническом университете.

**Практикум по ядерной физике** (Praktikum jaderne fysiky. Praha, SPN, **1958**, 100 s. [РЖ 1959 № 6 12127].

**Работы по ядерной физике в учебной лаборатории.** Рогозинский К.А. *Вестн. высш. школы*, **1959**, № 3, 47–50.

Приводится перечень лабораторных работ с указанием необходимого оборудования по атомной и ядерной физике, которые могут быть включены в практикум по физике в высших учебных заведениях.

**Несколько опытов по ядерной физике.** Шнейдер, Жимский (Einige Versuche zur Atomphysik. Schneider Ernst, Pzyski Wolfgang), *Math, und Phys. Schule*, **1959**, 6, 3 7, 350–353. [РЖ 1959 № 7 15814].

1. Электрогидравлический метод счета заряженных частиц. Из небольшого отверстия горизонтально расположенной трубки вытекает струйка воды диаметром  $\sim 1$  мм. Над струйкой расположен электрод, выполненный из толстой железной проволоки. Между струйкой воды и электродом приложена разность потенциалов порядка  $2$  кВ, в результате чего струйка приближается к электроду. При прохождении заряженной частицы в пространстве между струйкой и электродом воздух ионизируется, что вызывает нарушение электрического поля, поэтому струйка возвращается в первоначальное положение. Отклонения струйки регистрируются визуально или на слух при помощи радиоприемника, вход которого связан с электродом. 2. Простая диффузионная камера Вильсона. Стекланый сосуд помещают в деревянную подставку, на дне которой находится металлическая пластина, покрытая слоем твердой двуокиси углерода (сухой лед). К стекляннй крышке с внутренней стороны приклеена алюминиевая фольга и кольцо из войлока, смоченное метанолом. В результате охлаждения нижней части сосуда в нем устанавливается вертикальное течение пара. В пространстве, насыщенном паром, могут быть зарегистрированы следы  $\alpha$ -частиц от препарата, помещенного внутри сосуда. Для удаления фона между металлической пластиной на дне камеры и алюминиевой фольгой крышки создается разность потенциалов порядка  $100$  В.

**Атомная физика в опытах.** Шредер (Atomphysik in Versuchen. Schroder H. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, **1959**. [РЖ 1960 № 7 15850].

**Практические работы по ядерной физике и радиохимии.** Duquesne M., Gregoire R., Lefort M. *Travaux pratiques de physique nucleaire et de radiochimie*. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>, **1960**, 39 NFr. [РЖ 1961 1Ф169 К].

Книга представляет собой руководство для студентов Высшей школы Франции. Она содержит теоретическую часть и описание практических работ. Содержание: 1. Введение (теория). 2. Ионизационная камера (5 работ); 3. Им-

пульсная ионизационная камера (1 работа); 4. Статистические ошибки измерений (2 работы); 5. Счетчики частиц (9 работ); 6. Ядерные эмульсии (1 работа); 7. Время жизни ядер (1 работа); 8. Альфа-, бета- и гамма-спектрометрия (4 работы); 9. Метод совпадений (4 работы); 10. Квантовые характеристики уровней (2 работы); 11. Кулоновское возбуждение ядер (1 работа); 12. Ядерные реакции (4 работы); 13. Радиационная химия (3 работы); 14. Применение радиоактивных изотопов (3 работы).

**Практикум по ядерной физике.** Ч. I. Paic Mladen, Paic Valerija. Praktikum Is nuklearne fizike. I. dio. Zagreb, Komisija za uzb. I skripte Sveucilista, **1960**. [PЖ 1961 7A136 K].

**Практикум по ядерной физике. Для студентов технических факультетов.** Изд. 2-е. Praktikum jaderne fyziky. Urceno pro posluchace fak. Techn. A jaderne fyziky. 2., nezm. Vyd. Praha, SNTL., **1960**, 85 s. [PЖ 1962 11 A147].

**Лабораторные работы по ядерной физике и технике.** Pearson F.J., Osborne R.R. Practical nucleonics. S. 1., E. and F. N. Spon, **1960**. [PЖ 1961 12A248 K].

**Опыты по атомной физике.** Изд. 2-е. Friedrich Artur, Langenheine Herbert, Ulbricht Heinz. Versuche zur Atomphysik, 2. Aufl. Koln, Aulis-Verl., **1960**, 116 S. [PЖ 1962 2 A95].

**Практические работы по ядерной физике и радиохимии.** Duquesne M., Gregoire R., Lefort M. Travaux pratiques de physique nucleaire et de radiochimie. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>, **1960**, 324 p. [PЖ 1961 № 1 1A169].

Книга представляет собой руководство для студентов высшей школы Франции. Она содержит теоретическую часть и описание практических работ. Содержание: 1. Введение (теория). 2. Ионизационная камера (5 работ); 3. Импульсная ионизационная камера (1 работа); 4. Статистические ошибки измерений (2 работы); 5. Счетчики частиц (9 работ); 6. Ядерные эмульсии (1 работа); 7. Время жизни ядер (1 работа); 8. Альфа-, бета- и гамма-спектрометрия (4 работы); 9. Метод совпадений (4 работы); 10. Квантовые характеристики уровней (2 работы); 11. Кулоновское возбуждение ядер (1 работа); 12. Ядерные реакции (4 работы); 13. Радиационная химия (4 работы); 14. Применение радиоактивных изотопов (3 работы).

**Практикум по ядерной физике.** Ч. I. Paic Mladen, Paic Valerija. Praktikum Iz nuklearne fizike. I. dio. Zagreb, Komisija za uzb. i skripte Sveucilista, **1960**, 85 s. [PЖ 1961 7A136].

**Лабораторные работы по ядерной физике и технике.** Pearson F. J., Osborne R., R. Practical nucleonics. S. 1., E. and F. N. Spon, **1960**, 208. [PЖ 1961 12A248].

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", **1961**, July, 282–285. [PЖ 1961 12A189].

Кратко описаны приборы и опыты, применявшиеся в учебных лабораториях: рассеяние частиц, обнаружение радона в атмосфере, простой спинтари-

скоп, хроматографический метод разделения RaD, RaE и RaF, радиометрический анализ калия, расчет времени экспозиции рентгеновских пленок и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, March, 121–123. [РЖ 1961 11A107].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: рассеяние  $\beta$ -частиц, камера Вильсона, фотоэлектрический эффект, счетчик  $\alpha$ -частиц, модель стоячих волн, прибор для демонстрации дифракции рентгеновских лучей и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Apr., 151, 153–155. [РЖ 1961 11A108].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: источник  $\alpha$ -частиц, потенциал ионизации, разделение RaD, RaE и RaF хроматографическим методом, период полураспада  $J^{128}$  и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Febr., 66–69. [РЖ 1961 8A81].

Публикуются 15 сообщений преподавателей разных стран (США, Австралия, Франция, Германия и др.) о приборах и методах исследования, применяющихся в учебных лабораториях: отделение  $Ce^{144}$  от  $Pr^{144}$ , электролиз раствора Th с целью отделения  $Pb^{212}$  и  $Bi^{212}$  от Th, источники  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, изучение процесса термической диффузии, измерение концентрации радиоактивным методом, масс-спектрометр, электрометр, модель ускорителя заряженных частиц, замедлитель нейтронов и др.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества.** А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Под ред. А.Л. Рвачева. Одесса. 1961.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Aug., 317, 319–321. [РЖ 1962 1A96].

Кратко описаны приборы и опыты, применяющиеся в учебных лабораториях: измерение толщины с применением гейгер-мюллеровского счетчика, химические свойства изотопов некоторых элементов, пробник с гейгер-мюллеровским счетчиком, измерения  $\gamma$ -излучения при помощи ионизационной камеры, камера Вильсона, модель уран-графитового реактора, источник нейтронов, опыты по автордиографии и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Sept., 359, 361–363. [РЖ 1962 1A97].

Кратко описаны приборы и опыты, применяющиеся в учебных лабораториях: фотоэлектрический эффект, изменение энергии радиоактивного излучения в зависимости от расстояния, острый счетчик для регистрации излучений, схема для счета излучения малой интенсивности др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Nov., 447, 449–451. [РЖ 1962 3A83].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: опыты по сравнению энергии излучений различных радиоак-

тивных материалов; применение рентгеновских лучей в науке и технике; устройство двоичной пересчетной схемы; приборы и установки, применяемые в ядерной физике, опыты по дезактивации.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Oct., 403, 405–407. [РЖ 1962 4А65].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: получение рентгенограмм листа растений, опыт по выпадению радиоактивных осадков в результате взрыва модели “атомной бомбы”, исследования излучений ядра, измеритель скорости счета, обращение с изотопами в сухом виде, спектрография рентгеновских лучей и др.

**Руководство к лабораторным работам по атомной физике. (Для физико-математического факультета Софийского ун-та).** Митрани Л., Бончев Цв, Василев Н. Ръководство за лабораторни работи по атомна физика. (За Физ.-матем. фак. при Соф. Унив.). София, Наука и изкуство, 1961, 170 с. [РЖ 1962 5 А96].

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Aug., 317, 319–321. [РЖ 1961 1 А96].

Кратко описаны приборы и опыты, применяющиеся в учебных лабораториях: измерение толщины с применением ееман-мюллеровского счетчика, химические свойства изотопов некоторых элементов, пробник с ееман-мюллеровским счетчиком, измерения  $\gamma$ -излучения при помощи ионизационной камеры, камера Вильсона, модель уран-графитового реактора, источник нейтронов, опыты по автордиографии и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1961, Apr., 151, 153–155. [РЖ 1961 11А108].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: источник  $\alpha$ -частиц, потенциал ионизации, разделение RaD, RaE и RaF хроматографическим методом, период полураспада  $J^{128}$  и др.

**Практикум по дозиметрическим приборам для рентгеновского и ядерных излучений.** Вайнберг М.Ш., Кронгауз А.Н., Мильштейн Р.С. и др. М., Медгиз, 1961, 183 с.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1962, Jan., 24–27. [РЖ 1962 7 А69].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: биохимическое действие ионизирующих излучений, рекомендации по проведению учебных опытов с рентгеновскими лучами, действие ультрафиолетового излучения на бактерии, изучение химических реакций при помощи меченых атомов, метод изотопного разбавления, микроопределение Ag при помощи радиоактивных реактивов, поглощение  $Zn^{65}$  водорослями, облучение семян рентгеновскими лучами, эффект Эдисона, опыты с триодом.

Pearson F. J., Osborne R., R. Practical nucleonics. London, F. N. Spon Ltd., 1961, XVI. [РЖ 1962 7 А87].

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. “Nucl. Energy”, 1962, March, 107–110. [РЖ 1962 10 А136].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: определение  $e/m$  для электрона, характеристика гейгера-мюллеровского счетчика, камера Вильсона, дешевая установка для получения рентгеновских лучей, действие излучения на биологические объекты.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, June., 252–253. [РЖ 1962 11 А99].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: набор радиоактивных образцов, определение  $e/m$  для электрона, диффузионная камера Вильсона с электромагнитом.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, Febr., 58–61. [РЖ 1962 10 А135].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: действие излучений на биологические объекты, отделение  $\text{Ce}^{144}$  от  $\text{Pr}^{144}$ , использование керамик при изучении радиоактивности, разделение Ni и Co при помощи ионного обмена.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, Sept., 359–362. [РЖ 1963 1 А131].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: поглощение продуктов деления растениями, центрифуга для получения радиоактивных препаратов, период полураспада  $\text{Ra}^{234}$ , небольшой линейный ускоритель, радиоактивация галогенов и др.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, May, 217–218. [РЖ 1962 11 А98].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: Зееман-эффект, метод ионного обмена, биологическое действие излучений.

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, Aug., 317–319, 322. [РЖ 1962 12 А105].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: разложение радиоактивных растворов, нейтронный источник, разделение неорганических и органических соединений  $\text{J}^{131}$ , изучение радиоактивности воздуха, применение радиоактивности в биологии, применение метода радиоактивных индикаторов в химических исследованиях, изучение характеристик Г.-М.-счетчика, распределение  $\text{P}^{32}$  в организме животных.

**Изучение атомных спектров.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ.-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 39. С. 113–123.

**Руководство для практических работ по ядерной физике.** Panakova Viera. Navedy pre prakticke cvicenia z jadrovej fyziky. 1. vyd. Bratislava, SVST, 1962, 58 s. [РЖ 1963 10 А136].

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1962, Oct., 386–387, 390–391. [РЖ 1963 1 А80].



Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: стабильность сложных ионов, работы с радиоактивными веществами в английских школах, разделение  $\text{La}^{140}$  и  $\text{Ba}^{140}$ , сравнение характеристик вакуумных и газонаполненных ламп.

**О расширении демонстраций и лабораторных работ по ядерной физике.** Кузьменко Г.И., Семенко В.В. В сб. "Применение техн. средств и программир. Обуч. В средн. и высш. школе. Т. I". М., Акад. пед. наук РСФСР, 1963, 257–261. [РЖ 19646 А99].

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Jan., 18–21, 390–391. [РЖ 1963 9 А59].

Приведены краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: камера Вильсона, изучение фотоэлектрического эффекта, определение константы Планка, опыт Франка и Герца, дозиметрия  $\gamma$ -лучей.

**Демонстрационные опыты и задачи практикума по ядерной физике и технике работы с изотопами, проводимые с помощью галогенного счетчика.** Ч. I, II. Melcher Horst, Glaser Manfred. Demonstrations- und Praktikumsversuche zur Kernphysik und Isotopentechnik mit einem Halogenzählrohr. I, II. "Math. Phys. Schule", 1963, A 10, № 2, 152–158; № 3, 260–268. [РЖ 1963 10 А111].

Описаны 22 эксперимента, в том числе: принцип действия счетчика, характеристики галогенного счетчика, измерение нулевого эффекта, определение чувствительности счетчика, удельная активность радиоактивных препаратов, неконтактные измерения толщины при помощи  $\beta$ -лучей в магнитном поле, определение содержания калия в растворе по его природной радиоактивности, определение объема и расхода жидкости с помощью радиоактивных изотопов, наблюдение ослабления  $\gamma$ -лучей при прохождении через вещество, наблюдение ослабления  $\gamma$ -лучей с расстоянием, контроль над уровнем жидкости в сосуде,  $\gamma$ -дефектоскопия и др.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Aug., 228–233. [РЖ 1964 4 А106].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: действие магнитного поля на пучок электронов; 2) гидродинамические аналогии радиоактивного распада; 3) простая ионизационная камера и ее применение; 4) эффективность Г.-М.-счетчика; 5) длина свободного пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе; 6) определение длины свободного пробега и энергии  $\alpha$ -частиц; 7) регистрация  $\beta$ -частиц; 8) определение содержания железа в растворе методом меченых атомов; 9) камера Вильсона; 10)  $\beta$ -толщиномеры; 11) опыты с рентгеновскими лучами.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Nov., 319–324. [РЖ 1964 4 А108].

Приводятся описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: 1) новый дозиметр с ионизационной камерой; 2) извлечение  $\text{J}^{131}$  из раствора и его очистка; 3) определение выхода радиоактивных изотопов при количественном анализе; 4) извлечение  $\text{Ru}^{106}$  из раствора и его очистка; 5) отделение  $\text{Tl}^{208}(\text{ThC})$  от  $\text{Pb}^{212}(\text{ThB})$  и  $\text{Bi}^{212}(\text{ThC})$  методом  $\alpha$ -частиц отдачи; 6) отделение

$\text{Po}^{210}$  (RaD) на серебряной фольге; 7) применение радиохроматографии на бумаге для количественного и качественного анализов; 8) описание универсального масс-спектрометра.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, March., 77–820. [РЖ 1964 10 A118].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: равновесие твердой и жидкой фаз в растворах, применение метода изотопного разбавления, абсолютный радиоактивный анализ и Г.-М.-счетчики, радиохимическое и гравиметрическое изучение сульфатов, рост кристаллов и площадь поверхности  $\text{AgCl}$ , поисковый Г.-М.-счетчик, удельная ионизация под действием  $\alpha$ -частиц и  $\beta$ -лучей, температурная зависимость эманационной способности  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , обмен между ионами  $\text{Cs}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  (III) и цезия в водных растворах.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Apr., 101–102. [РЖ 1964 6 A100].

Кратко описаны магнит для наблюдения эффекта Холла в антимониде индия и в германии и работа по исследованию содержания радиоактивных веществ в атмосфере.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Sept., 259–261. [РЖ 1964 4 A107].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: 1) Определение минимального количества  $\text{P}^{32}$  в растениях, которое может быть обнаружено; 2) основной эксперимент по измерению радиоактивности; 3) радиоактивность калия; 4) выпадение радиоактивных осадков с дождем и снегом.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1963, Dec., 358–360. [РЖ 1964 5 A101].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: 1) фотоэлектрический усилитель; 2) модель для демонстрации ряда принципов и явлений электроники; 3) недорогой генератор нейтронов; 4) простая установка с Г.-М.-счетчиками.

**Руководство к лабораторным занятиям по физике.** Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1964.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1964, Jan., 17–24. [РЖ 1964 10 A117].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: прибор для демонстраций по кинетической теории, прибор для демонстрации столкновений на плоскости, трубка для демонстрации серии Бальмера в спектре водорода, сцинтилляционный счетчик, изучение распределения  $\text{P}^{32}$  в растениях, определение  $e/m$  при помощи катодного осциллографа, определение длины свободного пробега ионов калия в аргоне, опыты по переносу  $\text{P}^{32}$  мелкими животными и насекомыми.

**Лабораторные работы по атомной и ядерной физике.** Classroom and laboratory. "Nucl. Energy", 1964, March., 77–82. [РЖ 1964 10 A118].

Приводятся краткие описания приборов и опытов, применяющихся в учебных лабораториях: равновесие твердой и жидкой фаз в растворах, применение метода изотопного разбавления, абсолютный радиоактивный анализ и гейгер-мюллеровские счетчики, радиохимическое и гравиметрическое изучение сульфатов, рост кристаллов и площадь поверхности AgCl, поисковый гейгер-мюллеровский счетчик, удельная ионизация под действием  $\alpha$ -частиц и  $\beta$ -лучей, температурная зависимость эманационной способности  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , обмен между ионами  $\text{Cs}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  (III) и цезия в водных растворах.

**Экспериментальные методы ядерной физики. Методы измерений ядерных излучений. Учебник для студентов естественного факультета университета.** Usacev Sergej. Experimentálne metódy jadrovej fyziky 1. Meracie metódy jadroveho žiarenia... ucebn. Text internu potrebu posluch. Prirodoved. Fak. UK Bratislava, SPN, 1964, 140 s. [РЖ 1966 1 A86].

**Лабораторные работы по современной физике; радиоактивность и заряженные частицы.** Avery John Henry, Ingram Albert William Kemp. Laboratory work in modern physics: radioactivity and charged particles. London, Heineman, 1965, VIII, 120 pp. [РЖ 1965 9 A81].

**Практикум по ядерной физике.** И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живриписцев, Н.И. Тулинова. МГУ им. М.В. Ломоносова. 1965.

**Практикум по ядерной физике.** Учебное пособие для студ. физико-матем. фак. пед. ин-тов. Кабардин О.Ф. М., "Просвещение", 1965, 215 с. [РЖ 1966 6 A140].

**Лабораторные работы по ядерной физике.** Karaba Jaroslav, Karabov'a Marianna. Laboratorne cvicenia z jadrovej fyziky. Bratislava, VST v SVTL, 1965, 48 s. [РЖ 1966 8 A116].

**Руководство для выполнения лабораторных работ по физике атома и атомного ядра.** Под ред. А.Г. Граммакова. Л., 1965.

**Практикум по ядерной физике и электронике.** Учебник для естественных факультетов университетов. Usacev Sergej. Praktikum z jadrovej fyziky a elektroniky...ucebn. Text internu potrebu posluch. Prirodoved. Fak. UK ... Bratislava, SPN, 1965, 153 s. [РЖ 1967 9 A47].

**Разработка некоторых новых экспериментов в области ядерной физики и физики элементарных частиц.** Development of some new experiment in nuclear and particle physics. "Amer. J. Phys.", 1966, 34, № 1, 9–18. [РЖ 1966 8 A86].

1–3 июня 1964 г. в Колумбийском университете (США) состоялась неофициальная конференция, посвященная разработке физических экспериментов для лабораторных работ учащихся колледжей и университетов. Подробно обсуждаются следующие работы: измерение энергетических потерь  $\alpha$ -частиц в сцинтилляционных счетчиках и полупроводниковых счетчиках с поверхностным барьером; измерение энергий осколков деления и измерение угловых  $\gamma$ - $\gamma$ -

корреляций, изучение распада  $\mu$ -мезона и использование искровых камер для измерений с частицами небольших энергий.

**Практикум по экспериментальным методам ядерной физики.** Hozza Viktor, Lipka Jozef, Prejsa Mikulas. Navody na cvicenia z experimental-nuch metod jadrovej fyziky. Bratislava, SVTL, 1966, 190 s. [РЖ 1968 2 А91].

**Некоторые опыты по радиоактивности.** Melcher H. einige Versuche zur Radioaktivitat. "Math. Und naturwiss.", 1967, A16, № 2, Physik, 29–30. [РЖ 1967 10 А134].

Приводится описание ряда приборов и опытов по ядерной физике.

**Практикум по прикладной радиоактивности. Изд. 3-е.** Herforth L., Koch H. Praktikum der angewandten Radioaktivitat. 3. Aufl. Berlin, Deutsh. Verl. Der Wissenschaften, 1968, XI, 515 S. [РЖ 1971 3 А87].

Книга представляет собой сборник задач, предназначенный для работы физического практикума в высших учебных заведениях.

**Атомный практикум.** Учебное пособие для студентов физического факультета. Изд. второе. 1969. Ред. выпуска Г.И. Горяга.

**Несколько опытов по оптике и атомной физике.** Перкальскис Б.Ш., Ларин В.Л., Елисеев А.А. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", 1969, № 4, 135–137. [РЖ 1969 11 А68].

Приводится классическое объяснение явления вращения плоскости поляризации света в парах натрия, помещенных в магнитное поле, и описывается упрощенная модификация установки для демонстрации этого явления, а также порядок проведения опыта. Для демонстрации квантовой природы ультрафиолетового излучения в опыте Боте предлагается установка, в которой источником рентгеновского излучения служит анод катодной трубки.

**Три лабораторных работы по ядерной физике.** Сушкина Е.И., Сушкин И.В. "Уч. зап. Ивановск. гос. пед. ин-т", 1969, 78, 54–63. [РЖ 1970 4 А132].

Кратко описаны две работы с радиоактивными препаратами и одна, посвященная нахождению свойств элементарных частиц по фотографиям путей в пузырьковой камере: 1. Оценка размеров атомного ядра по поглощению быстрых электронов; 2. Пробег  $\alpha$ -частиц в воздухе, оценка их энергии и толщины источника; 3. Элементарные частицы и их свойства.

**Руководство к лабораторным занятиям по физике.** Н.Н. Евграфова, В.Л. Коган, М., 1970.

**Сборник лабораторных работ по ядерной физике.** Учебн. пособие для студ. высш. учебн. заведений. Гришкина Т.В., Добрецов Ю.П., Климова Г.И. и др. М., Атомиздат, 1970, 275 с. [РЖ 1971 3 А86].

Предлагаемые лабораторные работы дают возможность студентам получить необходимый комплекс практических знаний и навыков работы с современным оборудованием и методами исследования в области ядерной физики. В сборнике рассмотрены задачи из области ядерной электроники, методики реги-

страции частиц, ядерной спектроскопии, радиоактивности, нейтронной физики, физики элементарных частиц и т. д. Сборник предназначен для студентов старших курсов физико-технических и инженерно-физических институтов, специализирующихся в области ядерной и прикладной физики, а также для студентов тех вузов, где читается курс ядерной физики.

**Экспериментальная ядерная физика. Изд. 2-е.** Obel Stig, Kristensen Knud, Heydorn K. *Experimental kernfysik*. 2. opl. Copenhagen, Gyldendal, 1970. 80 s. [РЖ 1975 9 А66].

Руководство по лабораторным работам, предназначенное для преподавателей физики в гимназиях и семинариях Дании. Описаны наиболее простые опыты по ядерной физике с краткими теоретическими пояснениями по теме. Все опыты базируются на использовании радиоактивных препаратов, выпускаемых Атомным исследовательским центром в Рисе (Дания). Имеется раздел, посвященный методам биологической защиты от излучений и применению радиоизотопов в промышленности.

**Практические занятия по ядерной физике и электронике [для вузов].** *Svicenia z jadrovej fyziky a elektroniky* Bratislava, UK, 1971. 268 s. [РЖ 1973 4 F139 K].

**Атомный практикум. Учеб. пособие для студ. физ. фак.** Изд. 3-е. Моск. гос. ун-т. Физ. фак. отд. ядерн. физ. Кафедра атом. физ. и электрон. явлений. М., Моск. ун-т, 1972. 435 с. [РЖ 1974 1 А92].

**Практикум по ядерной физике.** Учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г. и др. Моск. ун-т, 1972. 160 с. [РЖ 1973 5 А91 K].

**Практикум по ядерной физике для студентов естественных факультетов вузов.** Karabova Mariana, Karaba Jaroslav, Seman Michal. *Praktikum z jadrovej fyziky. Pre internu potrebu posl. Prirodoved. Fak. UPJS v Kosiciach.* Bratislava, SPN, 1972. 96 s. [РЖ 1974 5 А123].

**Практикум по ядерной физике для студентов естественных факультетов вузов.** Karabova Mariana, Karaba Jaroslav, Seman Michal. *Praktikum z jadrovej fyziky. Pre internu potrebu posl. Prirodoved. Fak. UPJS v Kosiciach.* Bratislava, SPN, 1972. 96 s. [РЖ 1974 5 А123].

**Простые опыты по физике атома. II.** Сушкина Е.И. “Уч. зап. Иванов. гос. пед. ин-т”, 1973, 121, 33-43. [РЖ 1973 7 А121].

Описываются следующие модельные опыты: 1. Модели атомного ядра (модель независимых частиц, капельная модель); 2. Модели ускорителей; 3. Моделирование ядерных столкновений; 4. Соударение быстрой частицы с ядром. Ч. I.

**Руководство к лабораторным занятиям по физике. Изд. 2-е, доп. и перераб. Учеб. пособие для студ. физ. спец. высш. учеб. заведений.** Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М., Колачевский Н.Н., Мазанько И.П., Ногинова Л.В., Радке-

вич И.А., Рогозинский К.А., Самарский Ю.А. М., “Наука”, 1973. 687 с. [РЖ 1974 4 А120].

Книга содержит описание работ практикума по общей физике Московского физико-технического института и рассчитана на студентов физического и физико-технического профиля. В отличие от обычных руководств к лабораторным занятиям, книга имеет вводный раздел, работы которого знакомят студентов с основами измерительной техники и с наиболее употребительными физическими приборами: с весами, с термопарой, с мостиком Уитстона, с потенциометром, с микроскопом, с осциллографом и т. д. В состав руководства входят работы по атомной физике, по физике твердого тела, и по ядерной физике. В отличие от некоторых других высших учебных заведений, в МФТИ эти разделы изучаются в курсе общей физики и представлены в общем практикуме. В конце руководства содержатся приложения, в которые внесено изложение некоторых вопросов измерительной техники, описание электронных приборов, выпускаемых промышленностью, сведения о простейших электронных схемах, описание методов обработки результатов измерений и т. д. Эти сведения позволяют студентам, еще не подготовленным к чтению специальной литературы, сознательно пользоваться современными приборами и методами измерений. Большое внимание уделено оценкам точности измерений и различным способам обработки экспериментальных результатов, в особенности простым графическим методам.

**Лабораторный практикум по ядерной физике.** Araminowicz Janusz, Maluszynska Krystyna, Przutula Marian. Laboratorium fizyki jądrowej. Warszawa, PWN, 1974, 236 s. [РЖ 1975 1 А124 К].

**Практикум по радиоактивности. Учеб. пособие для студ. мед. ин-тов.** Авотин Ю.П. М., “Высш. школа”, 1974. 134 с. [РЖ 1974 11 А143].

**Современный лабораторный курс по ядерной физике.** Avignone F.T., I I I. A modern nuclear laboratory course. Columbia, S. C., Univ. S. C. Press, 1975. 167 pp. [РЖ 1977 8 А160].

Книга представляет собой учебное пособие по методам экспериментальной ядерной физики. Пособие содержит описания экспериментов по ядерной физике, выполняемых с использованием модульной электроники (исследование статистики случайных процессов, угловая корреляция аннигиляционного излучения, измерение коэффициента внутренней конверсии на  $K$ -оболочке и т. д.

**Атомный практикум.** Учебное пособие для студ. III курса физич. ф-та МГУ. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 4, 1976.

**Оптика и атомная физика. Лабораторный практикум по физике.** Арбузов В.А., Захарова Е.И., Папырин А.Н., Смирных В.А., Солоухин Р.И., Уколов А.И. Новосибирск, “Наука”, 1976, 454 с. [РЖ 1976 8 А121].

Книга содержит описания лабораторных работ (экспериментальных методов и практических упражнений) по количественной молекулярной и атомной спектроскопии, по применению явлений интерферометрии в оптических методах измерений (включая приборы с высокой спектральной разрешающей способностью) и по изучению оптических квантовых генераторов (лазеров). Главная особенность подбора материала и его изложения — стремление связать серию

наиболее интересных и принципиальных оптических явлений с основными законами атомной физики. Лабораторные работы подготовлены сотрудниками кафедры общей физики НГУ с использованием опыта преподавания в университете специалистов академических институтов Новосибирского научного центра. Книга рассчитана на студентов физических специальностей университетов и физико-технических факультетов вузов, а также на преподавателей и инженеров-исследователей.

**Оптика и атомная физика.** Лабораторный практикум по физике. Арбузов В.А., Захарова Е.И., Папырин А.Н. и др. Новосибирск, “Наука”, 1976. 454 с. [РЖ 1976 8 A121].

Книга содержит описания лабораторных работ (экспериментальных методов и практических упражнений) по количественной молекулярной и атомной спектроскопии, по применению явлений интерферометрии в оптических методах измерений (включая приборы с высокой спектральной разрешающей способностью) и по изучению оптических квантовых генераторов (лазеров). Главная особенность подбора материала и его изложения — стремление связать серию наиболее интересных и принципиальных оптических явлений с основными законами атомной физики. Лабораторные работы подготовлены сотрудниками кафедры общей физики НГУ с использованием опыта преподавания в университете специалистов академических институтов Новосибирского научного центра. Книга рассчитана на студентов физических специальностей университетов и физико-технических факультетов вузов, а также на преподавателей и инженеров-исследователей.

**Практикум по ядерной физике.** Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов. Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, 1979. 190 с.

**Сборник лабораторных работ по ядерной физике.** Учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов. Ред. Мухин К. Н. 2-е изд., перераб. и доп. М., Атомиздат. 1979. 271 с. [РЖ 1979 8 A153].

В книге рассмотрены задачи из области радиоактивности, ядерной спектроскопии, нейтронной физики, физики элементарных частиц, физики космических лучей, прикладных методов ядерной физики и т.д. Предлагаемые лабораторные работы дают возможность студентам получить необходимый комплекс практических знаний и навыков работы с современным оборудованием и с современными методами исследования в области ядерной физики. В сборник включен и такой материал, как работа с ЭВМ в линию, обработка результатов измерений на ЭВМ, применение современной электроники в ядерном физическом эксперименте. Книга предназначена для студентов старших курсов физико-технических, инженерно-физических институтов, специализирующихся в области ядерной и прикладной физики, а также студентов вузов и втузов, в которых читается курс ядерной физики.

**Физический практикум.** Praktikum der Physik. Wachter W. e. a. 4. neubearb. Und erw. Aufl. Stuttgart, B.G. Teubner, 1979. 408 S. [РЖ 1980 4 A134].

Учебное пособие содержит следующие разделы: 1. Введение. 2. Механика и акустика. 3. Теплота. 4. Оптика. 5. Электричество. 6. Атомная физика. 7. Элементарное рассмотрение уравнений колебаний. 8 Цифровые приборы.

**Практикум по ядерной физике на линии с ЭВМ.** Абрамчук Н.М., Гурачевский В.Л., Шушукевич С.С. Редкол. ж. “Вестн. Белорус. Ун-та. Физ., мат., мех. Минск, 1980. 14 с. [РЖ 1980 10 А104].

Описаны принципы построения практикума по ядерной физике с применением мини-ЭВМ “Электроника-100И”. Модульная организация интерфейса позволяет осуществить простое сопряжение с магистралью ЭВМ различных экспериментальных установок. Применение ЭВМ в реальном масштабе времени предоставляет широкие возможности для постановки содержательных физических работ, а также для обучения методам автоматизации исследований.

**Атомный практикум.** Изд. 5-е. Изд. Московского ун-та. 1981. Под ред. Г.И. Горяги.

Пособие, составленное в соответствии с программой общего курса “Атомная физика” для физического факультета МГУ, содержит описания лабораторных работ, выполняемых студентами параллельно со слушанием курса лекций. В пособие входят описания 17 лабораторных работ, включающие краткое теоретическое введение, изложение экспериментального метода и сведения об используемой аппаратуре, приемах наблюдения и измерений. Для студентов III курса физического факультета МГУ и слушателей факультета повышения квалификации.

**Практикум по атомной физике.** Вайсбурд Д.И., Макиенко А.В., Москалев В.А. “Вестн. высш. шк.”, 1982, № 8, 71–72. [РЖ 1982 12 А128].

**Лабораторные занятия по физике.** Ред. Гольдин Л.Л. Учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов. М.: Наука, 1983. 704 с. [РЖ 1984 3 А30].

В книге описаны лабораторные работы, которые входят в программу обучения студентов Московского физико-технического института в рамках курса общей физики (общий физический практикум). Вводный раздел знакомит студента с методами обработки экспериментальных данных и с правилами ведения лабораторного журнала. Каждая работа содержит теоретическую часть, описание экспериментальной установки и задание. Во многих работах содержатся рекомендации по методам обработки и представления результатов. Большое количество работ, включенных в книгу, дает возможность преподавателям варьировать их подбор в соответствии с успеваемостью и личными наклонностями студентов.

**Практикум по ядерной физике.** Ред. Барышевский В.Г., Учеб. Пособие для студ. физ. спец. вузов. Минск. Изд-во ун-та. 1983. 141 с. [РЖ 1983 5 А118].

Практикум содержит 19 лабораторных работ по ядерной физике. Наиболее полно представлены работы, соответствующие программе общего курса ядерной физики. Рассчитан на преподавателей и студентов вузов, в которых читается общий курс ядерной физики. Предлагаемый цикл лабораторных работ не требует специальной экспериментальной базы (ядерный реактор, ускоритель и т. д.). Некоторые работы выполняются без использования радиоактивных источников и на простейшем стандартном оборудовании. Они могут быть поставлены в лаборатории общей физики. Поскольку для выполнения лабораторных работ по



ядерной физике часто необходимы знания теоретического материала, еще не излагавшегося в соответствующем лекционном курсе, описания их составлены подробно, с таким расчетом, чтобы нужные сведения содержались в вводной части описания. Используемые в практикуме экспериментальные установки не конкретизируются. Особое внимание обращается на статистический характер изучаемых процессов и необходимость корректной оценки погрешностей измеряемых величин. Работы № 1 и 2 посвящены изучению статистических свойств радиоактивного распада ядер. В работах № 3, 4, 5 изучается взаимодействие разного вида излучения с веществом. Работа № 6 — “Дозиметрия и защита от излучений”. В работах № 7, 8, 9, 17 изучаются различные типы детекторов ядерных излучений (счетчик Гейгера-Мюллера, сцинтилляционный детектор, полупроводниковый детектор  $\alpha$ -частиц, ядерные фотоэмульсии). В работах № 10, 11, 15, 16 рассматривается спектрометрия ядерного  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений. Работы № 18, 19 посвящены изучению космических лучей. В одном из упражнений работы № 19 измеряется время жизни космических мюонов. Раздел “Ядерные реакции” представлен работой № 17, где используется наиболее простой для обработки случай упругого рассеяния нейтрона на протоне. Небольшой цикл работ (№ 12–14) посвящен изучению эффекта Мессбауэра.

**Атомный практикум.** Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 6. 1987.

**Лабораторный цикл по атомной физике. “Ядерная модель атома”.** Макиенко А. В., Соколов О.В.; Ред. ж. “Изв. вузов. Физ.”. Томск, 1984. [РЖ 1985 4 А135].

Предлагается разработанный для лабораторного практикума по атомной физике цикл лабораторных работ, который ставит целью улучшить методику проведения лабораторных занятий в вузе. Этот цикл посвящен экспериментальному изучению структуры атома с помощью  $\alpha$ -частиц. В основе цикла лежит классический опыт Резерфорда. Цикл включает работы “Изучение торможения  $\alpha$ -частиц в веществе и оценка их энергии по пробегу в воздухе”, “Исследование рассеяния  $\alpha$ -частиц на тяжелых атомах (опыт Резерфорда)” и приложение. Описываются схемы установок и методика проведения лабораторных работ.

**Практикум по ядерной физике.** И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд. Моск. ун-та. Изд. 4. 1988.

**Руководство к лабораторным работам по ядерному практикуму.** Аннаев К., Аннатаганов Н.А., Колачев Н.М., Курбанниязов Н.Н. Ашхабад. 1990.

**Цикл лабораторных работ по разделу “Физика атомного ядра и элементарных частиц” курса ОФ.** Лошкарев В.А., Левшенков В.Н., Тенякова Н. А. и др. *Физ. образ. в вузах.* 1998. 4, № 1. 93–97. [РЖ 1999 04А146].

Описан комплекс, обеспечивающий выполнение лабораторных работ научно-исследовательского плана по основам физики атомного ядра и элементарных частиц, а также прикладным задачам экспериментальной ядерной физики: спектрометрии, радиометрии, дозиметрии, ядерно-физического анализа состава веществ и материалов и других задач, связанных с измерением ионизирующих излучений.

**Лабораторный практикум по квантовой физике — цели, задачи, содержание.** Королева Л.В., Демин Е.В. *Физика в системе соврем. образ. ФССО–03:*

*Труды 7 Межд. конф., С.-Пб, 14–18 окт., 2003.* Т. 2. СПб, **2003** 173–174. [РЖ 05.12–18А.168].

Отмечается необходимость создания методического комплекса с использованием информационных технологий, включающий в себя демонстрационный эксперимент и лабораторные работы по квантовой физике по следующим темам; волновые свойства частиц; моделирование поведения микрочастиц; квантовое описание водородоподобных систем; многоэлектронные атомы; атом в магнитном поле; статистическая модель поведения электронного газа. Разработаны и апробированы несколько лабораторных работ, по которым также разработаны демонстрационные эксперименты.

**Оптика и ядерная физика:** Учебное пособие для выполнения лабораторных работ. Максutow И.А., Матюшина Л.Н., Мишина Л.А. и др. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, **2003**. 45 с. [РЖ 2005 04–18А.130].

Пособие составлено с учетом программы лабораторного практикума по разделу “Оптика и ядерная физика” в курсе общей физики. Рассмотрены вопросы теории тех тем, которые включены в лабораторный практикум. Приведены описания 10 лабораторных работ: определение радиуса кривизны линзы, измерение длины световой волны, исследование зависимости показателя преломления воздуха от давления, определение угла полной поляризации и проверка закона Малюса, изучение дифракции Фраунгофера от двух щелей, определение поглощательной способности вольфрама, исследование спектра испускания твердых тел, снятие спектральной характеристики фотоэлемента и определение работы выхода электрона, изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации проводимости, изучение  $\alpha$ -распада. Даны инструкции по их выполнению.

**Частицы и атомные ядра.** Практикум. Изд. 5. Под общей ред. Б.С. Ишханова. М., **2004**.

**Элементы квантовой оптики и атомной физики:** Методическое пособие. Абдрахманова А.Х., Шмакова О.П., Нефедьев Е.С. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та. **2004**. 108 с. [РЖ 05.12–18А.169].

Кратко изложены сведения по квантовым свойствам излучения и микрочастиц, а также строению атома и ядра. Дано описание одиннадцати лабораторных работ, в том числе восьми “настоельных” лабораторных работ и трех работ, моделирующих на персональном компьютере фундаментальные эксперименты по корпускулярно-волновым свойствам излучения и микрочастиц. Программное обеспечение к компьютерным работам выполнено компанией “Физикон”. Пособие предназначено для студентов всех специальностей механического и технологического профиля.

**Физика атома: Лабораторный практикум.** Алексеев В.П., Папорков В.А., Рыбникова Е.В. Ярославль: Изд-во Яросл. Гос. ун-та, **2004**. 83 с. [РЖ 2005 04–18А.133].

Руководство к выполнению физического эксперимента по дисциплине “Физика атома и атомных явлений” (блок ЕН) содержит краткую теорию физических явлений, методику измерений и обработки результатов, перечень контрольных вопросов по каждой лабораторной работе. Практикум предназначен для студентов третьего курса очной формы обучения специальностей 010400

“Физика”, 013800 “Радиофизика и электроника”, 014100 “Микроэлектроника и полупроводниковые приборы”, а также для студентов очно-заочной формы обучения специальности “Физика”.

**Практикум по регистрации заряженных частиц:** Учебное пособие. Бакаев В.А., Бердников А.Я., Бердников Я.А. и др. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2004. 49 с. [РЖ 05.09–18А.141].

Пособие представляет собой часть общего практикума и является руководством к проведению трех научно-исследовательских работ, выполнение которых позволит познакомиться с основными методами регистрации заряженных частиц. Рассмотрены математические методы обработки результатов измерений, основы дозиметрии и защиты от ионизирующих излучений, возможности практического применения методов регистрации заряженных частиц в промышленности и экологическом контроле. Пособие предназначено для студентов СПб-Петербургского гос. политехнического университета и лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений, осуществляющих производственный радиационный контроль и обеспечивающих радиационную безопасность.

**Строение вещества: Лабораторный практикум по физике.** Белкова Ю.А., Ипполитова Г.К., Тимофеева Г.Ю. Ткачева Т.М. М.: Издательство МАДИ (ГТУ), 2004. № 6, 38–40. [РЖ 05.09–18А.142].

**Измеритель мощности дозы радиоактивных излучений.** Выборнов Ф.И., Чандаева С.А. *Учеб. физ.* 2004. № 6. 38–40. [РЖ 05.09–18А.143].

Дано описание установки на основе измерителя мощности дозы радиоактивных излучений (рентгенметра) ДП-5Б, которая обеспечивает постановку пяти лабораторных работ по ядерной физике. Радиоактивным препаратом в контрольном источнике рентгенметра является стронций-90 с периодом полураспада 28,6 лет. Приведена схема базовой экспериментальной установки, перечень используемого оборудования. Излагается процедура измерения во всех работах: “Измерение эффективного сечения взаимодействия  $\beta$ -частиц с молекулами воздуха”, “Определение активности  $\beta$ -источника”, “Измерение коэффициента поглощения  $\beta$ -излучения веществом”, “Изучение работы счетчика Гейгера-Мюллера” и “Изучение статистических закономерностей при регистрации радиационного фона и излучения радиоактивных источников”.

**Универсальный лабораторный практикум по ядерной физике.** Э.А. Авданина, М.Д. Дежурко, И.Я. Дубовская и др. ФОВ. 2004. Т. 10, № 1, с. 71.

**Универсальный лабораторный комплекс по ядерной спектрометрии.** Э.А. Авданина, М.Д. Дежурко, И.Я. Дубовская и др. ФОВ. 2005. Т. 11, № 1, с. 41. [РЖ 05.10–18А.141].

Традиционно для постановки различных работ по ядерной спектроскопии используют набор стандартных блоков, что требует больших материальных ресурсов и существенно ограничивает разнообразие лабораторных работ. Описана установка, позволяющая на единой элементной базе выполнить целый ряд лабораторных работ по ядерной спектрометрии. Для этого разработан универсальный электронный блок, предназначенный для сопряжения детектора с ЭВМ, в котором осуществляется преобразование амплитуды электрического импульса в код.

Приведены краткие методические указания для выполнения 10 лабораторных работ.

**Лабораторный общефизический практикум по атомной физике.** Малышев Л.Г., Гофман А.Г., Повзнер А.А. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования: Сб. научн. тр. 4 Российской науч.-методич. конф. учителей школ и преп. вузов., Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург, 2006. 72–82. [РЖ 2007.10–18А.149].

На кафедре физики Уральского гос. технического университета (УГТУ-УПИ) создан лабораторный комплекс по атомной физике, оснащенный установками, разработанными в НИИЯФ МГУ. Эти устройства являются действующими моделями реальных установок, которые были использованы при проведении экспериментов, сыгравших решающую роль в процессе создания современной физики. Рассмотрены учебные лабораторные установки и работы по изучению опытов Резерфорда, опытов Франка и Герца, эффекта Комптона, теплового излучения, а также проведения спектральных исследований.

**Общая физика. Руководство по лабораторному практикуму.** Учебное пособие. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., – 598 с.

**Лабораторный практикум по радиоактивности и радиоактивным излучениям.** В.А. Белянин. ФОВ. 2008. Т. 15, № 1, с. 60.

Обсуждается структура и содержание учебного лабораторного практикума по исследованию явления радиоактивности и радиоактивных излучений, а также опыт его использования при подготовке будущих учителей физики. Описаны особенности лабораторных работ, составляющих практикум. Рассматриваются варианты включения компьютера в состав лабораторных установок.

**Лабораторный практикум по ядерной физике.** Белянин В.А. *Физика и ее преп-е в шк. и в вузе.: 7 Емельяновские чтения. Йошкар-Ола, 27–28 апр., 2009: Материалы Региональной научно-практич. конф. Йошкар-Ола, 2009.* Йошкар-Ола, 2009. 159–166. [РЖ 10.12–18А.101].

В учебном пособии “Лабораторный практикум по ядерной физике” описываются физические принципы возникновения радиоактивных излучений, а также принципы действия и работы детекторов радиоактивных излучений. Подробно рассмотрены источники радиоактивных излучений, используемые в данном лабораторном практикуме: изотоп калия  ${}_{19}\text{K}^{40}$ , космическое излучение и радиоактивность атмосферного воздуха. Лабораторные работы практикума предназначены для практического ознакомления студентов с методами регистрации ядерных излучений счетчиками Гейгера-Мюллера; а также изучения взаимодействия  $\beta$ -излучения с веществом, распада радиоактивных изотопов, состава и свойств космического излучения. Работы дают возможность студентам возможность проводить самостоятельные исследования физических процессов в области ядерной физики, получать комплекс экспериментальных данных для достаточной физической интерпретации изучаемого физического явления.

**Лабораторный практикум по общей физике. Учебное пособие для вузов.** Под ред. А.Н. Варава. М., Изд. дом МЭИ. 2010 г. 357 с.

В основе лабораторного практикума по курсу общей физики лежат как классические лабораторные работы, так и оригинальные, разработанные авторами.

ми. В практикуме использовано лабораторное оборудование, ранее выпускавшееся на специализированных предприятиях, а также установки, спроектированные и изготовленные на кафедре общей физики и ядерного синтеза МЭИ (ТУ). Материал, представленный в практикуме, подобран по принципу, сочетающему тематическую фронтальность, индивидуальный метод обучения и элементы научного исследования. Для студентов высших учебных заведений, прежде всего энергетического профиля, в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

## Глава 22.

### АТОМНЫЙ ПРАКТИКУМ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ

**Атомный практикум.** Учебное пособие для студентов физического факультета. Ред. выпуска Г.И. Горяга. Изд. второе. 1969.

Настоящее учебное пособие по экспериментальной физике содержит описание экспериментальных задач (упражнений), выполняемых индивидуально студентами физического факультета МГУ параллельно со слушанием курса лекций по атомной физике и работе в семинарах по этому курсу.

Описание каждой задачи содержит краткое изложение существа изучаемого явления, экспериментального метода, положенного в основу изучения данного явления, сведения об используемой аппаратуре.

Описания задач предполагают обязательное знакомство с литературой, которая существенно, особенно в отношении теории, дополняет каждую работу. Ссылки на литературу притворяются в конце описания.

Без предварительного ознакомления с этой литературой работа по выполнению задач малоэффективна.

Задачи, описания которых включены в настоящее учебное пособие, избирательно отражают курс атомной физики, т. к. использованы лишь описания задач, которые прошли апробацию в ходе студенческих занятий, в течение длительного срока.

Первые описания лабораторных работ по курсу атомной физики были составлены в 1955 г. коллективом преподавателей кафедры атомной физики, руководимой академиком Л.А. Арцимовичем — организатором кафедры и атомного практикума.

Задача № 1. Опыт Франка и Герца.

Задача № 2. Омегатрон.

Задача № 3. Лазер.

Задача № 4. Эффект Зеемана.

Задача № 5. Спектральные закономерности атома водорода.

Задача № 6. Изучение расположения энергетических уровней щелочных металлов по спектру поглощения.

Задача № 7. Эффект Комптона.

Задача № 8. Электронный парамагнитный резонанс.

Задача № 9. Опыт Резерфорда.

**Атомный практикум.** Учеб. пособие для студ. физ. фак. Изд. 3-е. Моск. гос. ун-т. Физ. фак. Отд ядерн. физ. Кафедра атом. физ. и электрон. Явлений. М., Моск. ун-т, 1972. 435 с. [РЖ 1974 1 А92].

Настоящее учебное пособие по экспериментальной физике содержит описание экспериментальных задач (упражнений), выполняемых индивидуально студентами физического факультета МГУ параллельно со слушанием курса лекций по атомной физике и работе в семинарах по этому курсу.

Описание каждой задачи содержит краткое изложение существа изучаемого явления, экспериментального метода, положенного в основу изучения данного явления, сведения об используемой аппаратуре.

Описания задач предполагают обязательное знакомство с литературой, которая существенно, особенно в отношении теории, дополняет каждую работу. Ссылки на литературу притворяются в конце описания.

Без предварительного ознакомления с этой литературой работа по выполнению задач малоэффективна.

Задачи, описания которых включены в настоящее учебное пособие, избирательно отражают курс атомной физики, т. к. использованы лишь описания задач, которые прошли апробацию в ходе студенческих занятий, в течение длительного срока.

Первые описания лабораторных работ по курсу атомной физики были составлены в 1955 г. коллективом преподавателей кафедры атомной физики, руководимой академиком Л.А. Арцимовичем — организатором кафедры и атомного практикума.

Настоящее учебное пособие по экспериментальной физике содержит описание экспериментальных задач (упражнений), выполняемых индивидуально студентами физического факультета МГУ параллельно со слушанием курса лекций по атомной физике и работе в семинарах по этому курсу. Описание каждой задачи содержит краткое изложение существа изучаемого явления, экспериментального метода, положенного в основу изучения данного явления, сведения об используемой аппаратуре. Описания задач предполагают обязательное знакомство с литературой, которая существенно, особенно в отношении теории, дополняет каждую работу. Ссылки на литературу приводятся в конце описания. Без предварительного ознакомления с этой литературой работа по выполнению задач мало эффективна. Задачи, описания которых включены в настоящее учебное пособие, избирательно отражают курс атомной физики, т.к. использованы лишь описания задач, которые прошли апробацию в ходе студенческих занятий, в течение длительного срока. Первые описания лабораторных работ по курсу атомной физики были составлены в 1955 г. коллективом преподавателей кафедры атомной физики, руководимой академиком Л.А. Арцимовичем — организатором кафедры и атомного практикума.

Лаб. работа 1. Омегатрон.

Лаб. работа 2. Хронотрон.

Лаб. работа 3. Движение заряженной частицы в аксиально-симметричном магнитном поле.

Лаб. работа 4. Опыт Резерфорда.

Лаб. работа 5. Опыт Франка и Герца.

Лаб. работа 6. Спектральные закономерности атома водорода.

Лаб. раб. 7. Изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных элементов по спектру поглощения.

Лаб. работа 8. Эффект Зеемана.

Лаб. работа 9. Электронный парамагнитный резонанс.

Лаб. работа 10. Эффект Комптона (метод фильтров).

Лаб. работа 11. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на рубине.

Лаб. работа 12. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на смеси гелия и неона.

Лаб. работа 13. Спектр поглощения паров иода.

Лаб. работа 17. Функция возбуждения.

**Атомный практикум.** Учебное пособие для студентов III курса физического факультета МГУ. Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 4, 1976.

Из предисловия к первому изданию.

Настоящее учебное пособие по экспериментальной физике содержит описание экспериментальных задач (упражнений), выполняемых индивидуально студентами физического факультета МГУ параллельно со слушанием курса лекций по атомной физике и работе в семинарах по этому курсу. Описание каждой задачи содержит краткое изложение существа изучаемого явления, экспериментального метода, положенного в основу изучения данного явления, сведения об используемой аппаратуре. Описание задач предполагает обязательное знакомство с литературой, которое существенно, особенно в отношении теории, дополняет каждую работу. Ссылки на литературу приводятся в конце описания. Без предварительного ознакомления с этой литературой работа по выполнению задачи малоэффективна. Задачи, описания которых включены в настоящее учебное пособие, избирательно отражают курс атомной физики, так как использованы лишь описания задач, которые были опробованы в ходе студенческих занятий в течение длительного срока. Первые описания лабораторных работ по курсу атомной физики были составлены в 1955 г. коллективом преподавателей кафедры атомной физики, руководимой академиком Л.А. Арцимовичем — организатором кафедры и атомного практикума.

Предисловие к четвертому изданию. В четвертом издании “Атомный практикум” описания многих задач значительно изменены с целью сделать изложение более отчетливым, ряду из них предпослано общее введение. В него включены описания трех новых задач: “Тонкая структура спектральных линий атома натрия”, “Эффект Комптона (метод сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра)” и “Закон Мозли”. Кроме того, устранены замеченные неточности, неясности и опечатки, пересмотрен указатель литературы к задачам.

Лаб. работа № 1. Омегатрон.

Лаб. работа № 2. Хронотрон.

Лаб. работа № 3. Движение заряженной частицы в аксиально-симметричном магнитном поле.

Лаб. работа № 4. Опыт Резерфорда.

Лаб. работа № 5. Опыт Франка и Герца.

Лаб. работа № 6. Спектральные закономерности атома водорода.

Лаб. работа № 7. Изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных элементов по спектру поглощения.

Лаб. работа № 8. Тонкая структура спектральных линий атома натрия.

Лаб. работа № 9. Эффект Зеемана.

- Лаб. работа № 10. Электронный парамагнитный резонанс.  
 Лаб. работа № 11. Эффект Комптона (метод фильтров).  
 Лаб. работа № 12. Эффект Комптона (метод сцинтилляционных  $\gamma$ -спектрометра).  
 Лаб. работа № 13. Закон Мозли.  
 Лаб. работа № 14. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на рубине.  
 Лаб. работа № 15. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на смеси гелия и неона.  
 Лаб. работа № 16. Спектр поглощения паров иода.

**Атомный практикум.** Изд. 5-е. Изд. Московского ун-та. 1981. Под ред. Г.И. Горяги.

Пособие, составленное в соответствии с программой общего курса “Атомная физика” для физического факультета МГУ, содержит описания лабораторных работ, выполняемых студентами параллельно со слушанием курса лекций. В пособие входят описания 17 лабораторных работ, включающие краткое теоретическое введение, изложение экспериментального метода и сведения об используемой аппаратуре, приемах наблюдения и измерений. Для студентов III курса физического факультета МГУ и слушателей факультета повышения квалификации.

Кроме 16 лабораторных работ, вошедших в 4-е издание, в 5-е издание включена Лаб. работа 17. Функция возбуждения.

**Атомный практикум.** Под ред. Г.И. Горяги. Изд. 6, 1987.

- Лаб. работа № 1. Омегатрон. С. 6.  
 Лаб. работа № 2. Движение заряженной частицы в аксиально-симметричном магнитном поле. С. 28.  
 Лаб. работа № 3. Опыт Резерфорда. С.45.  
 Лаб. работа № 4. Опыт Франка и Герца. С. 58.  
 Лаб. работа № 5. Изотопический сдвиг.  
 Лаб. работа № 6. Изучение расположения энергетических уровней атомов щелочных элементов по спектру поглощения. С. 96.  
 Лаб. работа № 7. Тонкая структура спектральных линий атома натрия. С. 111.  
 Лаб. работа № 8. Эффект Зеемана. С. 118.  
 Лаб. работа № 9. Электронный парамагнитный резонанс. С. 128.  
 Лаб. работа № 10. Эффект Комптона (метод фильтров). С. 174.  
 Лаб. работа № 11. Эффект Комптона (метод сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра). С. 183.  
 Лаб. работа № 12. Закон Мозли.  
 Лаб. работа № 13. Оптический квантовый генератор (ОКГ) на рубине.  
 Лаб. работа № 14. Оптический квантовый генератор на смеси гелия и неона.  
 Лаб. работа № 15. Комбинационное рассеяние света. С. 278.  
 Лаб. работа № 16. Спектр поглощения паров иода. С. 320.

**Общая физика. Руководство по лабораторному практикуму.** Учебное пособие. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., 2008. 598 с.

Изучение спектра атомарного водорода и качественный спектральный анализ. Задача № 56. С. 482–495.

Опыт Франка и Герца. Задача № 57. С. 496–506.



## Глава 23.

### ЯДЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ

**Практикум по ядерной физике.** И.А. Антонова, Н.Г. Гончарова, Ф.А. Живописцев, Н.И. Тулинова. МГУ им. М.В. Ломоносова. 1965.

Настоящий сборник практических задач по ядерной физике является руководством к одному из разделов общего физического практикума. Он посвящен ознакомлению с основными свойствами ядерных излучений и наиболее распространенным методам их регистрации в том объеме, который может понадобиться физику-экспериментатору, не специализирующемуся в области ядерной физики. Кроме того, сборник может быть использован в качестве учебного пособия для геофизиков, физхимиков и студентов высших технических учебных заведений, где читается курс ядерной физики. При составлении сборника авторы использовали многолетний опыт работы в общем ядерном практикуме физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

В главах I, II и III кратко изложены физические основы регистрации радиоактивных излучений, описаны конструкции и принципы действия наиболее распространенных детекторов ядерных излучений — газоразрядных и сцинтилляционных счетчиков, а также изложена методика математической обработки результатов измерений. В главе IV дано описание четырех задач:

1. Определение верхней границы  $\beta$ -спектра.
2. Определение энергии  $\gamma$ -излучения методом поглощения.
3. Изучение явления искусственной радиоактивности и определение периодов полураспада.
4. Исследование расщепления легких ядер нейтронами.

В главе V изложены основные положения дозиметрии и защиты от действия ионизирующих излучений, приведены описания упражнений.

В задачах 1 и 2 используются радиоактивные  $\beta$ - и  $\gamma$ -источники, в задаче 3 искусственная радиоактивность изотопов серебра получается при воздействии потока нейтронов полониево-бериллиевого источника нейтронов мощностью  $10^6$ – $10^7$  нейтр/сек. В задаче 4 используются ядерные фотопластинки, облученные быстрыми нейтронами.

Отсутствие в учебном плане физических факультетов семинарских занятий по курсу ядерной физики заставило нас — преподавателей — частично компенсировать этот пробел: при сдаче той или иной лабораторной работы мы предлагаем студенту решение некоторых задач из области ядерной физики. В

связи с этим в конце сборника прилагается перечень типовых задач по ядерной физике, дозиметрии и обработке результатов измерений.

Сборник снабжен приложениями в виде схем и таблиц некоторых физических величин, которые могут понадобиться при выполнении задач.

**Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп.** Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. М., Моск. ун-т, 1972. 160 с. [РЖ 1973 5 А91].

Книга является частью общего физического практикума для университетов, инженерно-технических и физико-технических высших учебных заведений. Содержит описание восьми задач, выполнение которых позволит студентам, не специализирующимся в области ядерной физики, познакомиться с основными явлениями ядерных превращений и свойствами ядерных излучений. В книге рассмотрены физические основы регистрации ядерных излучений и математические методы обработки результатов измерений, а также дано описание упражнений по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений. Книга рассчитана на студентов и преподавателей физических, химических, геологических факультетов университетов и высших технических учебных заведений, где читается курс ядерной физики.

Второе издание сборника задач по ядерной физике значительно переработано и дополнено. В сборник наряду с прежними лабораторными работами вошли описания новых работ: “Изучение распада  $\pi^+$ -мезона”, “ $\gamma$ -спектроскопия с помощью люминесцентного спектрометра”, “ $\alpha$ -спектрометрия с помощью полупроводникового счетчика”, “Изучение изомерного состояния  $^{104}\text{Rh}$ ”. Кроме того, введено новое упражнение — исследование распределения Гаусса. Эти задачи иллюстрируют такие разделы ядерной физики, как элементарные частицы,  $\alpha$ -спектроскопия, изомерия атомных ядер, которые ранее не были представлены, расширены разделы  $\gamma$ -спектроскопии и ядерных реакций. Описания лабораторных работ дополнены контрольными вопросами и задачами по соответствующим разделам ядерной физики.

Лаб. работа 1. Определение максимальной энергии  $\beta$ -спектра. С. 60.

Лаб. работа 2. Определение энергии  $\gamma$ -излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра. С. 82.

Лаб. работа 3. Определение энергии  $\gamma$ -излучения методом поглощения. С. 86.

Лаб. работа 4. Искусственная радиоактивность и определение периодов полураспада. С. 103.

Лаб. работа 5. Определение периодов полураспада серебра  $^{108}\text{Ag}_{47}$  и  $^{110}\text{Ag}_{47}$ . С. 110.

Лаб. работа 6. Ядерная изомерия и определение периодов полураспада изомеров родия  $^{104}\text{Rh}$  и  $^{104\text{m}}\text{Rh}$ . С. 114.

Лаб. работа 7. Исследование реакций расщепления легких ядер нейтронами. С. 119.

Лаб. работа 8. Изучение распада  $\pi$ -мезона. С. 133.

**Практикум по ядерной физике. Учеб. пособие для студ. естеств. спец. вузов.** Антонова И.А., Бояркина А.Н., Гончарова Н.Г., Гришин В.К., Живопис-

цев Ф.А., Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Сухаревский В.Г., Тулинова Н.И. 3-е изд., перераб. и доп. М., МГУ, 1979. 190 с.

Пособие содержит описание 10 задач практикума, рассчитанных на выполнение студентами, не специализирующимися в области ядерной физики. Предложена следующая тематика лабораторных работ:  $\beta$ -Распад. Энергия  $\gamma$ -излучения.  $\alpha$ -Радиоактивность. Искусственная радиоактивность и определение  $T_{1/2}$ . Исследование ядерных реакций. Распад  $\pi$ -мезона. Изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами. Определение энергии нейтронов по протонам отдачи. Приведены необходимые при выполнении лабораторных работ методы математической обработки результатов измерений, включая проведение численных расчетов на ЭВМ "Мир-1". Описания работ дополнены контрольными вопросами и задачами по соответствующим разделам ядерной физики. Изложены основные положения дозиметрии и защиты от действия ионизирующих излучений.

Лаб. работа 1. Определение максисальной энергии  $\beta$ -спектра.

Лаб. работа 2. Определение энергии  $\gamma$ -излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра.

Лаб. работа 3. Определение энергии  $\gamma$ -излучения методом поглощения.

Лаб. работа 4. Искусственная радиоактивность и определение периодов полураспада.

Лаб. работа 5. Определение периодов полураспада серебра  $^{108}\text{Ag}_{47}$  и  $^{110}\text{Ag}_{47}$ .

Лаб. работа 6. Ядерная изомерия и определение периодов полураспада изомеров родия  $^{104}\text{Rh}$  и  $^{104\text{m}}\text{Rh}$ .

Лаб. работа 7. Исследование реакций расщепления легких ядер нейтронами.

Лаб. работа 8. Изучение распада  $\pi$ -мезона.

Лаб. работа 9. Изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами.

Лаб. работа 10. Определение энергии нейтронов по протонам отдачи.

**Практикум по ядерной физике.** И.А. Антонова, А.Н. Бояркина, Н.Г. Гончарова и др. Изд-во Моск. ун-та. Изд. 4. 1988.

Пособие представляет собой часть общего физического практикума для студентов, не специализирующихся по ядерной физике, и знакомит с основными явлениями ядерных превращений, вопросами методики эксперимента и элементами обработки результатов. В четвертом издании большое внимание уделяется применению ЭВМ для обработки результатов измерений. Предлагается перечень контрольных вопросов и типовых задач по ядерной физике. При постановке задач авторы использовали достаточно простые технические средства, что делает доступным постановку практикума во многих вузах страны.

Лаб. работа 1. Изучение двухфотонной аннигиляции при распаде системы  $e^+e^-$ . С. 51.

Лаб. работа 2. Определение энергии  $\gamma$ -излучения с помощью сцинтилляционного спектрометра. С. 61.

Лаб. работа 3. Определение энергии  $\gamma$ -излучения методом поглощения. С. 61.

Лаб. работа 4. Определение энергии и среднего пробега  $\alpha$ -частиц. С. 78.

Лаб. работа 5. Определение периодов полураспада серебра  $^{108}\text{Ag}_{47}$  и  $^{110}\text{Ag}_{47}$ . С. 88.

Лаб. работа 6. Ядерная изомерия и определение периодов полураспада изомеров родия  $^{104}\text{Rh}$  и  $^{104\text{m}}\text{Rh}$ . С. 88.

Лаб. работа 7. Исследование реакций расщепления легких ядер нейтронами. С. 102.

Лаб. работа 8. Изучение распада  $\pi$ -мезона. С. 114.

Лаб. работа 9. Изучение энергетического спектра осколков деления  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами. С. 124.

Лаб. работа 10. Определение энергии нейтронов по протонам отдачи. С. 141.

Лаб. работа 11. Изучение поглощения электронов в веществе. Определение максимальной энергии электронов  $\beta$ -спектра. С. 146.

Лаб. работа 12. Изучение  $\beta$ -распада с помощью кремниевого полупроводникового детектора. С. 146.

**Частицы и атомные ядра. Практикум.** Изд. 5. Под общей редакцией Б.С. Ишханова. М., 2004.

В настоящем пособии описаны задачи Общего ядерного практикума Физического факультета МГУ. Ядерный практикум является составной частью курса “Частицы и атомные ядра”, преподаваемого кафедрой Общей ядерной физики для студентов факультета в пятом семестре. В состав курса входят лекции, семинары и практикум, причем последний рассматривается не как иллюстрация к предыдущим двум, а как самостоятельная и эффективная форма обучения. Ряд тем курса изучается только в практикуме.

Целью практикума является предоставление студентам возможности: 1) практически познакомиться с разными видами и свойствами радиоактивного излучения; 2) получить представление об основных механизмах взаимодействия излучения с веществом; 3) узнать о методах регистрации излучений и разных типах детекторов; 4) исследовать реакции с участием ядер и элементарных частиц и освоить простейшие методы обработки экспериментальных данных; ознакомиться с радиацией в окружающей среде, биологическим действием ионизирующих излучений, их опасности и мерах защиты.

Разнообразие и сложность задач практикума ограничены временем, отводимым на курс факультета МГУ. Ядерный практикум является составной частью курса “Частицы и атомные ядра, и уровнем общей подготовки студентов к началу 5 семестра. Тем не менее, спектр представленных в курсе тем достаточно широк. Они включают  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -распады, деление ядер, искусственную радиоактивность, прохождение излучений через вещество, спектрометрические методы, разнообразные типы детекторов, изучение физики частиц и др.

Задачи практикума подвергаются непрерывной модернизации. Наиболее существенные и качественные изменения в последнее время связаны с развитием вычислительной техники. Оно позволило не только автоматизировать процессы измерения и обработки данных, но и создать ряд новых задач, полностью основанных на использовании ЭВМ.

Среди них отметим задачу “Радиация”, содержащую информацию о типах радиации, источниках, взаимодействии с веществом, действии излучений на человека, дозах, различных справочный материал, а также формулы, необходимые

для расчетов и примеры решения типовых задач в области радиозэкологии и радиационной защиты. Задача полностью автоматизирована. ЭВМ выдает студенту индивидуальное задание, которое он должен выполнить в течение дня. Ответы вводятся в машину, которая оценивает их правильность.

Другой тип задач, основанных на компьютерном моделировании, представляет задача по изучению  $Z$ -бозона. В настоящее время в практикуме разработаны и внедряются еще несколько подобных задач. Они в принципе не могут быть поставлены как экспериментальные, что кстати не является их недостатком, а скорее отражает усиливающийся в физике ядра и частиц процесс разделения получения экспериментальных данных, их обработки и анализа. Подобные задачи в перспективе можно будет выполнять в режиме удаленного доступа. Их количество и охват тем будут расти, предоставляя всем желающим возможность глубже познакомиться с разделом современной физики “Частицы и атомные ядра”.

Описания лабораторных работ дополнены контрольными вопросами и задачами, что позволяет студенту самостоятельно проверить свои знания и степень подготовки к выполнению лабораторной работы.

В приложениях приводятся краткое описание методов обработки результатов измерений, таблицы частиц и атомных ядер и ряд других.

В настоящее время на сайте “Ядерная физика в Интернете” <http://nuclphys.sinp.msu.ru> размещены обширные материалы по курсу, включая описания задач практикума.

1. Искусственная радиоактивность изотопов серебра  $^{108}\text{Ag}$  и  $^{110}\text{Ag}$ .
2. Радиоактивность, альфа-распад, взаимодействие альфа-частиц с веществом.
3.  $\beta$ -распад. Измерение спектра электронов  $\beta$ -распада.
4. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Определение пробега электронов  $\beta$ -распада методом поглощения.
5. Электромагнитные взаимодействия. Определение энергии  $\gamma$ -квантов с помощью сцинтилляционного спектрометра.
6. Определение эффективного сечения взаимодействия  $\gamma$ -квантов с веществом методом поглощения.
7. Деление ядер.
8.  $e^+e^-$ -аннигиляция.
9. Рождение и распад  $Z$ -бозонов.
10. Свойства атомных ядер.
11. Космическое излучение на уровне моря.
12. Радиация.

**В.И. Козлов**

**АНТОЛОГИЯ ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА**

**Часть 5**

**Атомная и ядерная физика**

Подписано в печать 22.01.2014

Объем 10,75 п.л. Тираж 30 экз.

Заказ \_\_\_\_\_

Физический факультет

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Отпечатано в отделе оперативной печати Физического факультета МГУ

В. И. Козлов

АНТОЛОГИЯ  
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО  
ПРАКТИКУМА

ЧАСТЬ 5

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

