



УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета: ФТФ
В.И.Бойко
« » 2009 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
(название дисциплины)

Рабочая программа для направления (специальности, специализации)
140300 « Ядерные физика и технологии», специальности 140307
«Радиационная безопасность человека и окружающей среды»
(номер и название направления, специальности, специализации)

Факультет Физико-технический (ФТФ)
(полное название и сокращенное обозначение)

Обеспечивающая кафедра кафедра Прикладной физики

Курс четвертый

Семестр седьмой

Учебный план набора 2006 года с изменениями _____ года

Распределение учебного времени

Лекции 32 часов (ауд.)

Лабораторные занятия 16 часов (ауд.)

Практические (семинарские) занятия _____ часов (ауд.)

Курсовой проект в _____ семестре _____ часов (ауд.)

Курсовая работа в _____ семестре _____ часов (ауд.)

Всего аудиторных занятий 48 часов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа 80 часов

Общая трудоемкость 128 часов

Экзамен в 7 семестре _____

Зачет в _____ семестре _____

Диф. зачет в _____ семестре _____



Предисловие

1. Рабочая программа составлена на основе ГОС по направлению (специальности) 140300 «Ядерная физика и технологии» специальности 140307 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды», утвержденного 02.03.2000 г. приказом МО РФ № 866.

(код и наименование)
(дата)

Номер государственной регистрации 150 ех/дс от 17.03.2000 г.
(обозначение или наименование другого документа университетского уровня по направлению, специальности, специализации)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры ПФ ФТФ, 2009, протокол № _____.

2. Разработчик(и)

доцент ПФ ФТФ В.В. Кашковский
(должность) (кафедра) (подпись) (И.О.Фамилия)

3. Зав. обеспечивающей кафедрой ПФ А.П.Потылицын
(подпись) (И.О.Фамилия)

4. Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом, выпускающими кафедрами специальности; СООТВЕТСТВУЕТ действующему плану.

Зав. выпускающей кафедрой ПФ А.П. Потылицын
(подпись) (И.О.Фамилия)

Председатель МК ФТФ, доц. _____ В.Д. Каратаев

Документ:

Дата разработки: _____

УДК 539.1.07(075.8)

Ключевые слова: Ионизация, камера, счетчик, разряд, сцинтиллятор, спектрометр, полупроводник, детектор, трек, Вильсон, Черенков, искра, стример, магнит, спектрометрия, кристалл, дифракция, спектроскопия, излучение, расшифровка, аппаратурный, спектр.



Аннотация дисциплины:
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

140300 – 140307

Каф. Прикладной физики

Доцент, к.т.н. Кашковский Виктор Васильевич

Тел. (3822)-418906, e- mail: vikt@chair12.phtd.tpu.edu.ru

Цель:

- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной ядерной физики;
- освоение богатого арсенала средств, служащих для проведения ядерно-физических экспериментов, от этапа регистрации исследуемого излучения до математической обработки получаемых данных;
- овладение современными навыками организации и проведения автоматизированного физического эксперимента;
- развитие навыков самостоятельных исследований, способностей творческого осмысления получаемых результатов и видения новых перспектив в результате ядерно-физических экспериментов.

Содержание: Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики с самостоятельным разрядом. Сцинтилляционная спектрометрия, полупроводниковые детекторы. Трековые приборы, счетчики Черенкова, магнитная спектрометрия. Расшифровка аппаратурных спектров.

Курс 4 (7 семестр – экзамен.).

Всего 128 ч, в т. ч. Лк – 32 ч, Лб – 16 ч., Сам. Раб. 80 ч.

**The summary of discipline:
Experimental methods of nuclear physics**

140300 – 140307

Applied physics chair

The senior lecturer, c. t. s. Kashkovsky Victor Vasilevich

Ph. (3822) -418906, e- mail: vikt@chair12.phtd.tpu.edu.ru

The purposes are:

- mastering by fundamental concepts, laws and theories of modern nuclear physics;
- assimilation of a rich arsenal of means serving for realization of nuclear-physical experiments, from a stage of registration of radiation under consideration before mathematical processing of the received data;
- mastering by modern skills of organization and realization of the automated physical experiment;
- development of independent radioecological research skills, abilities of a creative understanding of received results and vision of new prospects as a result of nuclear-physical experiments.

The contents: Ionization chamber, proportional counters, counters with self-maintained discharge. Scintillation spectroscopy, semi-conductor detectors. Track devices, Cherenkov counters, magnetic spectrometry. Decoding of hardware spectrum.

Forth year (7 semester - examination.).

In all 128 h., including Lect.– 32 h., Lab.– 16 h., Self-instruction – 80 h.



Проведение современного ядерно-физического эксперимента связано с использованием достижений в самых разнообразных отраслях науки: физики твердого тела и физики газового разряда, ускорительной технике, химии, математики, микроэлектроники, теории вероятностей и др. Ядерно-физический эксперимент невозможно провести без использования современных методов детектирования и применения современной быстродействующей вычислительной техники.

Методы детектирования излучений занимают особое положение в экспериментальной физике. Это обусловлено тем, что практически все сведения об окружающем нас мире мы получаем с помощью регистрации и анализа того или иного вида излучения.

Методы детектирования не только определяют возможности современного эксперимента, но и по мере своего развития открывают новые перспективы в ядерных исследованиях. Специалист, имеющий дело с ядерным излучением, должен хорошо представлять, как происходит взаимодействие излучения с веществом, что надо предпринять, чтобы это излучение уверенно зарегистрировать и какие схемные решения нужно для этого применить.

Цели и задачи учебной дисциплины

Дисциплина “Экспериментальные методы ядерной физики” является обязательной дисциплиной специального цикла и является одним из важнейших этапов подготовки специалистов.

Целью и задачами преподавания дисциплины “Экспериментальные методы ядерной физики” являются:

- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной ядерной физики;
- формирование у студентов научного мировоззрения и физического мышления;
- освоение богатого арсенала средств, служащих для регистрации исследуемого излучения;
- овладение современными навыками организации и проведения автоматизированного физического эксперимента;
- развитие навыков самостоятельных исследований, способностей творческого осмысления получаемых результатов и видения новых перспектив в результате развития методов детектирования ядерных излучений.

Цели преподавания дисциплины, характеризующие знания и умения, которыми должен владеть специалист:

специалист должен иметь представление:

- о закономерностях распространения заряженных и незаряженных частиц в веществе;
- об адекватности дозиметрических величин эффектам воздействия ионизирующих излучений на объекты живой и неживой природы;
- о статистическом характере природной и техногенной радиоактивности;
- о типах ядерного взаимодействия, радиоактивных превращениях;
- о характеристиках поля ионизирующего излучения и единицах их измерения;
- о принципах конструирования детекторов ядерного излучения;
- о методах проектирования исследовательской аппаратуры; об основных принципах построения модульных электронных систем;



- о принципах действия, характеристиках и возможностях многообразных электронных устройств, обеспечивающих осуществление анализа сигнала от применяемых в эксперименте детекторов;
- об основных типах дозиметров, радиометров, спектрометров и иной аппаратуры, применяемой в радиационной физике, экологии и биологии.

специалист должен знать и уметь использовать:

- статистическую природу радиоактивного распада радиоактивных семейств;
- свойства и характеристики ионизирующих излучений;
- природу естественного фона и его составляющие;
- физические методы регистрации излучения;
- ионизационные камеры и газовые счетчики;
- следовые детекторы;
- магнитные спектрометры;
- сцинтилляционные и полупроводниковые спектрометры;
- методы обработки экспериментальных данных, оценки погрешностей эксперимента и расчетов характеристик полей излучения;
- уметь программировать работу электронной аппаратуры, владеть основами организации измерительно-вычислительного процесса.

специалист должен уметь:

- применять достижения в области ядерно-физических исследований в других областях знаний и, в частности, в радиационной экологии;
- пользоваться современными методами обработки данных эксперимента, оценивать погрешности расчетов и экспериментов;
- применять пакеты прикладных программ для обработки экспериментальных данных;
- квалифицированно выбирать и использовать регистрирующую аппаратуру для проведения ядерно-физического эксперимента и экологического мониторинга;
- квалифицированно выбирать, производить инженерный расчет и проектировать детекторы всех видов излучений.

специалист должен иметь опыт:

- использования инженерных методов расчета защиты от источников ионизирующего излучения;
- проведения радиометрических и спектрометрических измерений;
- проектирования радиометрической и спектрометрической аппаратуры для задач ядерно-физического эксперимента и радиоэкологических исследований;
- обработки экспериментальных данных, оценки погрешностей эксперимента и расчетов характеристик полей источника излучения;

Задачи изложения и изучения дисциплины *реализуются в следующих формах деятельности:*

Лекции направлены на получение студентами необходимой информации и использование этой информации при решении практических задач.

Особенностью преподавания дисциплины является то, что дисциплина “Экспериментальные методы ядерной физики” является специальной дисциплиной и включает в себя множество разнообразных тем, влияющих непосредственно на профессиональную ориентацию студентов. Индивидуальное выполнение лабораторных



работ, знакомство с экспериментальным оборудованием, ведение журнала отчетов по лабораторным работам – все это прививает студентам навыки самостоятельного получения экспериментальных результатов и их осмысления, элементы творческого участия самих студентов в поисковых работах.

Практические занятия направлены на активизацию познавательной деятельности студентов и ориентированы на проработку теоретического материала и на приобретения студентами навыков решения задач по всем разделам дисциплины “Экспериментальные методы ядерной физики”.

Лабораторные работы выполняются в двух учебных лабораториях кафедры Прикладной физики. Общее количество лабораторных работ более 20. Общее количество лабораторных установок – 15. Часть лабораторных работ выполняется с использованием компьютеров. Все учебные лаборатории укомплектованы необходимым оборудованием и источниками излучения. Студенты обеспечены методическими указаниями к выполнению лабораторных работ, которые имеются в достаточном количестве на кафедре Прикладной физики. Лабораторный практикум направлен на закрепление теоретического материала и приобретение навыков практического выполнения экспериментальных исследований.

В программе выполнения всех лабораторных работ включены элементы научных исследований. После выполнения лабораторной работы студенты предоставляют отчеты о выполнении, где указывается цель работы, содержание и порядок выполнения, полученные результаты. Во время защиты отчета преподаватель получает ответы на контрольные вопросы.

В составе лабораторного оборудования имеется современный автоматизированный γ -спектрометрический комплекс, прошедший государственную аттестацию.

Самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине и реализуется в виде нескольких заданий на семестр по основным разделам дисциплины;

- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде 15 - минутных самостоятельных работ для оценки степени усвоения материала;
- **рубежный контроль** включает контрольные работы, которые проводятся в стандартные сроки этого контроля на Физико-техническом факультете;
- **контроль деятельности студентов** проводится в рамках рейтинговой системы, принятой в ТПУ, при этом количество баллов, получаемых студентом по каждому виду контроля, определяется в соответствии с *рейтинг-листом* дисциплины; к экзамену допускаются студенты, набравшие не менее 550 баллов по всем видам контроля.



Содержание теоретического раздела дисциплины

(7 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Введение. Ионизационные потери энергии	2
2	Радиационные потери энергии	1
3	Рассеяние частиц. Соотношение пробег - энергия	2
4	Взаимодействие γ -квантов с веществом	1
5	Ионизационные камеры. Импульсные ионизационные камеры	2
6	Пропорциональные счетчики	2
7	Счетчики с самостоятельным разрядом	2
8	Сцинтилляционные счетчики. Сцинтилляционная спектрометрия	4
9	Счетчики Черенкова	1
10	Полупроводниковые детекторы	4
11	Ядерные эмульсии	1
12	Искровая камера	2
13	Многопроволочные детекторы	2
14	Магнитные бета-спектрометры	2
15	Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	1
16	Расшифровка аппаратурных спектров	2
17	Применение детекторов	1

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

(7 СЕМЕСТР, 16 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Исследование счетных характеристик газоразрядных счетчиков	4
2	Определение энергии γ -излучения по полупоглощению	4
3	Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β -излучателя	4
4	Ознакомление с аппаратурной формой линии и понятием энергетического разрешения сцинтилляционного γ -спектрометра. Градуировка с внутренней проверкой энергетической шкалы γ -спектрометра и исследование ее нелинейности	4

Обеспечение учебной литературой

Дисциплина в полном объеме обеспечена учебниками и учебными пособиями издательств: “Энергоатомиздат”, “Мир” и др., имеющимися в достаточном количестве в НТБ, а также методическими пособиями, разработанными преподавателями кафедры ПФ и изданными издательством ТПУ. Основная литература для постоянного пользования имеется на кафедре.

Основные учебники и учебные пособия:

1. **Абрамов А.И.** Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие / А. И. Абрамов, Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 488 с.
2. **Кашковский В.В.** Специальный физический практикум. Курс лекций. Часть 1 и 2: Учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2002.



3. **Ляпидевский В.К.** Методы детектирования излучений : учебное пособие для вузов / В. К. Ляпидевский. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 408 с. : ил. — Библиогр.: с. 397-398. — Предм. указ.: с. 399-402.
4. **Клайнкнехт К.** Детекторы корпускулярных излучений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 224с., ил.
5. **Группен, Клаус.** Детекторы элементарных частиц : пер. с англ. / К. Группен. — Новосибирск : Сибирский хронограф, 1999. — 407 с.
6. **Ободовский И.М.** Сборник задач по экспериментальным методам ядерной физики : учебное пособие / И. М. Ободовский. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 280 с. : ил.
7. **Прикладная метрология ионизирующих излучений** / Ю.И. Брегадзе, Э.К. Степанов, В.П. Ярына; Под ред. Ю.И. Брегадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с.: ил.
8. **Волков Н.Г., Христофоров В.А., Ушакова Н.П.** Методы ядерной спектрометрии: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.: ил.
9. Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики: Учеб. Пособие для вузов/ В.В. Аверкиев, Н.Н. Бегляков, Т.А. Горюн и др., под ред. К.Г. Финогенова. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 432 с.: ил.
10. **Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике** / Ю.К. Акимов, О.В. Игнатъев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.

Имеются в наличии в НТБ не менее чем по 2 экземпляра.

Дополнительные учебники и учебные пособия:

11. **Бета - и гамма - спектроскопия.** Под ред. К. Зигбана: Пер. с англ. – М.: Гос. издат. Физ.- мат. литер., 1959. – 907 с.
12. **Беспалов В.И.** Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. 4-е изд., исправ./ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
13. **Стародубцев С.А., Романов А.М.** Прохождение заряженных частиц через вещество. Ташкент: ФАН, 1961.
14. **Воробьев А.А., Кононов Б.А.** Прохождение электронов через вещество. – Томск: Изд. ТГУ, 1966.
15. Кремниевые детекторы ионизирующих излучений / О.П. Федосеева, Л.С. Гаценко, О.В. Захарчук и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.

Учебные пособия, разработанные сотрудниками кафедры ПФ :

16. **Кашковский В.В.** Специальный физический практикум. Курс лекций. Часть 1 и 2: Учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2002.
17. **Кашковский В.В.** ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ. РАДОН — ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК РАДИОНУКЛИДОВ, ПОПАДАЮЩИХ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА: Метод. указ. по выполнен. лабораторной работы. -Томск: Изд. ТПУ, 1997.- 32 с.;
18. **Кашковский В.В.** Ознакомление с аппаратурной формой линии и понятием энергетического разрешения сцинтилляционного γ - спектрометра. Градуировка с внутренней проверкой энергетической шкалы γ - спектрометра и исследование ее нелинейности: Метод. указ. по выполнен. лабораторной работы. — Томск: Изд. ТПУ, 1997. - 24 с.
19. **Кашковский В.В.** Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β - излучателя.



Экспериментальные методы ядерной физики
(7^й семестр, контрольная точка 1)

Вопрос 1. Какие источники ионизирующего излучения существуют на Земле? Что такое детектор (в общем физическом смысле) и каким образом с его помощью осуществляется регистрация излучения?

Вопрос 2. Какие виды излучения Вы знаете и как их условно можно классифицировать? Что общего у всех видов излучения? Как происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?

Вопрос 3. Что такое ионизационные потери заряженных частиц? Что такое дифференциальное сечение столкновения заряженной частицы с веществом и какими максимальными и минимальными параметрами соударений (прицельными) оно характеризуется?

Вопрос 4. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением? Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.

Вопрос 5. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины. Что такое вероятные потери энергии?

Вопрос 6. Что мы понимаем под термином « радиационные потери » ? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его. Каково соотношение ионизационных и радиационных потерь энергии? Что такое критическая энергия? Какова их зависимость от Z вещества и энергии частиц? Что такое радиационная длина?

Вопрос 7. Расскажите об угловом и спектральном распределении тормозного излучения.

Вопрос 8. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц. Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях. Как сильно рассеяние электронов отличается от рассеяния тяжелых заряженных частиц? Какой закономерности подчиняется распределение электронов по углам рассеивания? Какие виды рассеивания электронов Вы знаете?

Вопрос 9. Объясните, что понимается под понятием « **флуктуации длин пробегов** » . Какому закону подчиняется распределение пробегов тяжелых заряженных частиц ? Примеры эмпирических зависимостей для пробега тяжелых заряженных частиц.

Вопрос 10. Что такое осколки деления? Расскажите об отличиях в потерях энергии при прохождении через вещество осколков деления по сравнению с протонами и α - частицами . Что такое δ - электроны?

Вопрос 11. Расскажите об отличиях в пробегах при прохождении электронов через вещество, по сравнению с прохождением тяжелых заряженных частиц. Что такое экстраполированный пробег и как он связан с энергией электронов? Приведите примеры эмпирических зависимостей для пробегов электронов.

Вопрос 12. Общие замечания о взаимодействии γ - квантов с веществом в отличие от взаимодействия заряженных частиц. Основные процессы взаимодействия и закономерность прохождения γ - квантов через вещество?



Вопрос 13. Что такое δ - электроны и что такое Оже - электроны, в каких процессах они образуются?

Вопрос 14. Эффект образования пар. Пороговая энергия и сечение образования пар. Общий характер взаимодействия фотонов высокой энергии с веществом. Суммарное сечение взаимодействия.

Вопрос 15. На каком принципе действия осуществляется работа ионизационной камеры? Нарисуйте вольтамперную характеристику и укажите рабочую область ионизационной камеры при постоянной ионизации. Объясните поведение данной характеристики. Зависимость тока насыщения от ионизации.

Вопросы к контрольной точке (экспресс-опрос, 7^й семестр)

1. Спектрометрия излучений. Основная терминология: спектр, аппаратный спектр, спектральная линия и ее ширина. Разрешение и светосила спектрометра.
2. Магнитный спектрометр с поперечным полем. Спектрометр с полукруговой фокусировкой.
3. Сферическая абберация и разрешение спектрометра с полукруговой фокусировкой. Влияние конечных размеров источника на ширину изображения.
4. Форма линии спектрометра Даниша и методы регистрации частиц.
5. Спектрометры с секторным полем.
6. Что такое светосила и разрешение спектрометра?
7. Спектральная линия. Полуширина, базисное разрешение.
8. Базисное разрешение для спектрометра Даниша. Общие понятия о влиянии размеров источника на разрешение спектрометра.
9. Каким образом формируется форма линии спектрометра Даниша?
10. Очень кратко об основных недостатках спектрометра Даниша и путях дальнейшего усовершенствования спектрометра с полукруговой фокусировкой. Примеры.
11. Основные принципы, используемые в конструкции спектрометра с двойной фокусировкой.
12. Спектрометр с секторным полем. Правило Барбера.
13. Принцип фокусировки в секторном спектрометре с полем $\sim 1/r$. Спектрометр типа «апельсин».
14. Магнитные спектрометры для измерения γ - излучения. Основные принципы.

Вопросы к экзамену по ЭМЯФ (7^й семестр)

Вопрос 1. Какие виды излучения Вы знаете и как их условно можно классифицировать? Что общего у всех видов излучения? Как происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?

Вопрос 2. Что такое ионизационные потери заряженных частиц? Что такое дифференциальное сечение столкновения заряженной частицы с веществом и какими максимальными и минимальными параметрами соударений (прицельными) оно характеризуется?

Вопрос 3. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим



выражением? Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.

Вопрос 4. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины. Что такое вероятные потери энергии?

Вопрос 5. Что мы понимаем под термином « радиационные потери » ? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его. Каково соотношение ионизационных и радиационных потерь энергии? Что такое критическая энергия? Какова их зависимость от Z вещества и энергии частиц? Что такое радиационная длина?

Вопрос 6. Расскажите об угловом и спектральном распределении тормозного излучения.

Вопрос 7. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц. Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях. Как сильно рассеяние электронов отличается от рассеяния тяжелых заряженных частиц? Какой закономерности подчиняется распределение электронов по углам рассеивания? Какие виды рассеивания электронов Вы знаете?

Вопрос 8. Объясните, что понимается под понятием « **флуктуации длин пробегов** » . Какому закону подчиняется распределение пробегов тяжелых заряженных частиц ? Примеры эмпирических зависимостей для пробега тяжелых заряженных частиц.

Вопрос 9. Что такое осколки деления? Расскажите об отличиях в потерях энергии при прохождении через вещество осколков деления по сравнению с протонами и α - частицами . Что такое δ - электроны?

Вопрос 10. Расскажите об отличиях в пробегах при прохождении электронов через вещество, по сравнению с прохождением тяжелых заряженных частиц. Что такое экстраполированный пробег и как он связан с энергией электронов? Приведите примеры эмпирических зависимостей для пробегов электронов.

Вопрос 11. Общие замечания о взаимодействии γ - квантов с веществом в отличие от взаимодействия заряженных частиц. Основные процессы взаимодействия и закономерность прохождения γ - квантов через вещество? электронами?

Вопрос 12. На каком принципе действия осуществляется работа ионизационной камеры? Нарисуйте вольтамперную характеристику и укажите рабочую область ионизационной камеры при постоянной ионизации. Объясните поведение данной характеристики. Зависимость тока насыщения от ионизации.

Вопрос 13. Импульсная ионизационная камера. Какими существенными конструктивными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с α -, β -, γ -излучениями? Приведите примеры.

Вопрос 14. Каким образом осуществляется работа пропорционального счетчика? Какие основные принципы заложены в конструкцию пропорционального счетчика (геометрия; газовое наполнение; газовое усиление) ? Укажите на вольт-амперной характеристике рабочую область пропорционального счетчика.

Вопрос 15. Газоразрядные счетчики (сравнительно с пропорциональными) : приблизительно какая точка на вольт-амперной характеристике соответствует началу области газового разряда? Чем ограничено развитие разряда в счетчике?

Вопрос 16. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время? Что Вы знаете о



самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время?

Вопрос 17. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?

Вопрос 18. Мертвое время и время восстановления: от каких параметров конструкции самогасящегося счетчика они зависят? Как влияет скорость счета на эти характеристики? Просчеты из-за мертвого времени.

Вопрос 19. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?

Вопрос 20. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.

Вопрос 21. Органические сцинтилляторы. Состав и физико-химические характеристики. Процесс сцинтилляций. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Внутреннее тушение. Сместители спектра.

Вопрос 22. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.

Вопрос 23. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.

Вопрос 24. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ. Коэффициент усиления ФЭУ. Объемный заряд и шумы ФЭУ.

Вопрос 25. Принцип действия полупроводникового детектора. Что общего имеют и чем отличаются полупроводниковые детекторы от ионизационных камер? Нарисуйте зонные модели металла и полупроводника. Опишите кратко работу полупроводникового детектора.

Вопрос 26. Расскажите об основных свойствах полупроводниковых материалов и образовании носителей под действием излучения. Дырки и электроны. Полупроводники с собственной проводимостью. Доноры и акцепторы. Компенсированные полупроводники. Образование ловушек в полупроводниках.

Вопрос 27. Расскажите о счетчиках с p-n переходом. Как образуется объемный заряд и какую роль он играет при детектировании частиц? Прямое и обратное смещение. Свободные носители. Обедненный слой и его толщина.

Вопрос 28. Расскажите о счетчиках с p-i-n переходом. Распределение объемного заряда. За счет чего в этих детекторах увеличивается чувствительный слой (укажите еще его другое название)? Токи утечки.

Вопрос 29. Энергетическое и временное разрешение ППД. Форма импульса и форма линии ППД.

Вопрос 30. Ядерные фотоэмульсии. Основные представления о фотографическом процессе. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом ядерной эмульсии. Определение пробега и энергии частиц. Толщина слоев ядерной фотоэмульсии.

Вопрос 31. Принцип действия искровой камеры. Механизм пробоя в газе между двумя плоскими электродами. Стримерная камера и особенности ее конструкции. Способы получения информации.

Вопрос 32. Многодетекторные системы: телескоп и годоскопы. Проволочная искровая камера. Многопроволочная искровая камера.



Вопрос 33. Спектрометрия излучений. Основная терминология: спектр, аппаратурный спектр, спектральная линия и ее ширина. Разрешение и светосила спектрометра.

Вопрос 34. Магнитный спектрометр с поперечным полем. Спектрометр с полукруговой фокусировкой. Сферическая абберация и разрешение спектрометра с полукруговой фокусировкой. Влияние конечных размеров источника на ширину изображения. Форма линии спектрометра Даниша.

Вопрос 35. Сцинтилляционные γ -спектрометры. Однокристалльные сцинтилляционные γ -спектрометры (общие понятия).

Вопрос 36. Аппаратурная форма линии сцинтилляционного γ -спектрометра. Физические процессы, приводящие к формированию наиболее характерных участков АФЛ.

Вопрос 37. Способы улучшения формы аппаратурной линии γ -спектрометра .

Вопрос 38. Методы определения положения и площади пика полного поглощения.

Графический метод для определения положения и площади пика полного поглощения.

Метод линеаризации для определения положения и площади пика полного поглощения.

Вопрос 39. Градуировочная характеристика спектрометра по энергии. Образцовые источники для градуировки γ -спектрометров.

Вопрос 40. Примеры применения детекторов: Детекторы в медицине; Применение в геофизике; Применение в космических исследованиях.



Пример лабораторной работы

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

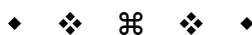
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ γ - ИЗЛУЧЕНИЯ
ПО ПОЛУПОГЛОЩЕНИЮ***

методическое описание составил:

доцент каф. ПФ ФТФ

Кашковский В.В.



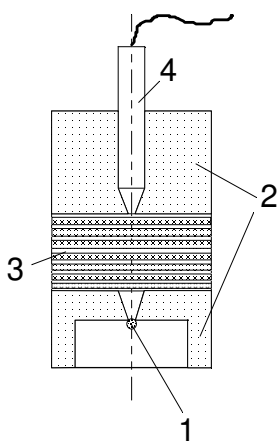
ТОМСК - 2009

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ γ - ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ПОЛУПОГЛОЩЕНИЮ

Гамма-радиоактивные вещества также, как и бета-излучатели, можно идентифицировать по энергии излучения. Одним из простейших методов определения энергии гамма-излучения является метод полупоглощения.

Этот метод может быть использован для того, чтобы получить ориентировочные данные о степени однородности исследуемого излучения и дать некоторые представления о той области энергий, в которых должны быть сделаны подробные измерения с использованием более точных методов.

При прохождении γ - излучения через вещество наиболее интенсивно протекают



три процесса: фотоэффект, комптон - эффект и рождение электронно - позитронных пар. Каждый из этих процессов приводит к удалению фотонов из пучка. Экспоненциальный закон ослабления излучения (в результате поглощения фотонов) пластинкой массовой толщиной (в $\text{г}/\text{см}^2$) R в геометрии узкого пучка для мононаправленного источника может быть описан уравнением [1]

$$I(R) = I_0 \cdot \exp(-\bar{\mu} \cdot R), \quad (1)$$

где I_0 и $I(R)$ - скорости счета импульсов гамма- или рентгеновских лучей соответственно до и после прохождения через поглотитель; $\bar{\mu} = \frac{\mu}{\rho}$ - массовый коэффициент поглощения ($\text{см}^2/\text{г}$); μ - линейный коэффициент поглощения; ρ - плотность вещества.

Рис. 1. Схема установки для измерения энергии γ - излучения:

1 - источник; 2 -

Проникающую способность гамма-излучения нельзя характеризовать толщиной полного поглощения, так как она носит экспоненциальный характер. Поэтому пользуются понятием полупоглощающего слоя $R_{1/2}$, который представляет собой толщину поглотителя, выраженную в $\text{г}/\text{см}^2$, необходимую для уменьшения интенсивности гамма- или рентгеновских лучей на половину начальной величины. Полупоглощающий слой связан с массовым коэффициентом поглощения следующим уравнением

$$R_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}. \quad (2)$$

Толщина полупоглощающего слоя зависит как от энергии фотонов, так и от атомного номера вещества поглотителя. Лучше всего гамма- и рентгеновские лучи поглощаются веществами с высоким атомным номером Z . Величина $R_{1/2}$ уменьшается при возрастании Z .

Необходимо отметить, что ослабление излучения будет экспоненциальным только в идеальном случае, когда источник и поглотитель помещаются на значительном расстоянии от счетчика и пучок гамма-лучей является *узким*. Геометрия *узкого* пучка характеризуется тем, что детектор регистрирует только нерассеянное

излучение источника, а каждая провзаимодействующая со средой частица детектором не регистрируется. Такая геометрия очень удобна для того, чтобы избежать регистрацию рассеянных гамма-лучей и вторичных электронов, возникающих в поглотителе. Экспериментально было найдено, что можно получить вполне удовлетворительные результаты, если от рассеянного излучения избавиться с помощью свинцовой диафрагмы, толщиной 60–70 мм и удалить источник и поглотитель от счетчика на 400 - 600 мм. Источник помещают в свинцовую пушку - коллиматор (рис. 1). В указанных условиях наблюдается экспоненциальная зависимость уменьшения интенсивности излучения от толщины поглотителя (прямая линия на полулогарифмическом графике рис. 2 на участке протяженностью в 5-7 полупоглощающих слоев).

В качестве поглотителя обычно используется свинец, медь, алюминий. Свинец применяется для гамма-лучей большой энергии, алюминий — для гамма-лучей малой энергии.

При наличии двух или более групп гамма- или рентгеновских излучений, энергии которых различаются в несколько раз, присутствующие компоненты можно обнаружить анализом кривой поглощения, используя прием, показанный на рис. 2.

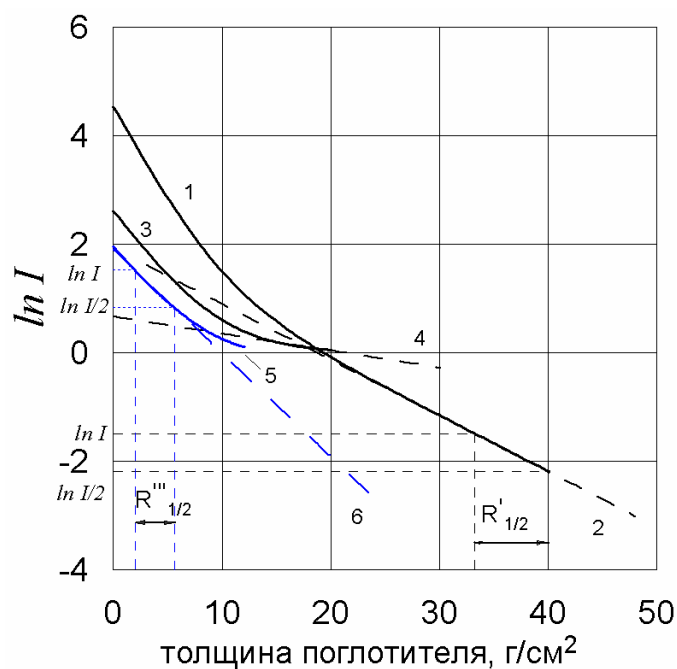


Рис. 2. Кривая поглощения сложного γ -излучения: 1 – сложная кривая распада; 2 – жесткая компонента; 3 – более мягкая компонента, образуемая γ -лучами двух различных энергий; 4 – вторая составляющая γ -излучения; 5, 6 – процесс выделения третьей компоненты

этого сначала находится коэффициент поглощения γ -лучей максимальной энергии из наклона прямолинейного участка кривой поглощения в ее конечной части. Экстраполируя указанный прямолинейный участок к $R=0$, и вычитая величины, определяемые этой экстраполированной линией, из соответствующих измеренных величин для различных значений R , можно построить новую кривую, дающую

Если источник испускает γ -лучи нескольких различных энергий, то логарифмический график показаний детектора будет представлять собой кривую, наклон которой на начальном участке имеет наибольшее значение, а затем уменьшается с ростом толщины поглотителя, так как отфильтровываются сильно поглощаемые γ -лучи. Если спектр излучения радиоактивного источника содержит γ -лучи только двух или трех различных и не слишком близких друг к другу энергий и если при больших толщинах поглотителя кривая переходит в прямую линию, указывая тем самым, что из пучка удалены все γ -лучи, кроме имеющих наибольшую энергию, тогда возможно приближенно определить коэффициенты поглощения для каждой компоненты γ -излучения. Для

суммарное поглощение остальных двух компонент γ -излучения меньшей энергии. Наклон конечной части этой второй кривой дает коэффициент поглощения для γ -лучей, имеющих наибольшую энергию из оставшихся. Повторением этого приема может быть найден также коэффициент поглощения для третьей компоненты γ -излучения. К примеру, таким образом были обнаружены γ -лучи ^{131}I с энергией 0.638 МэВ.

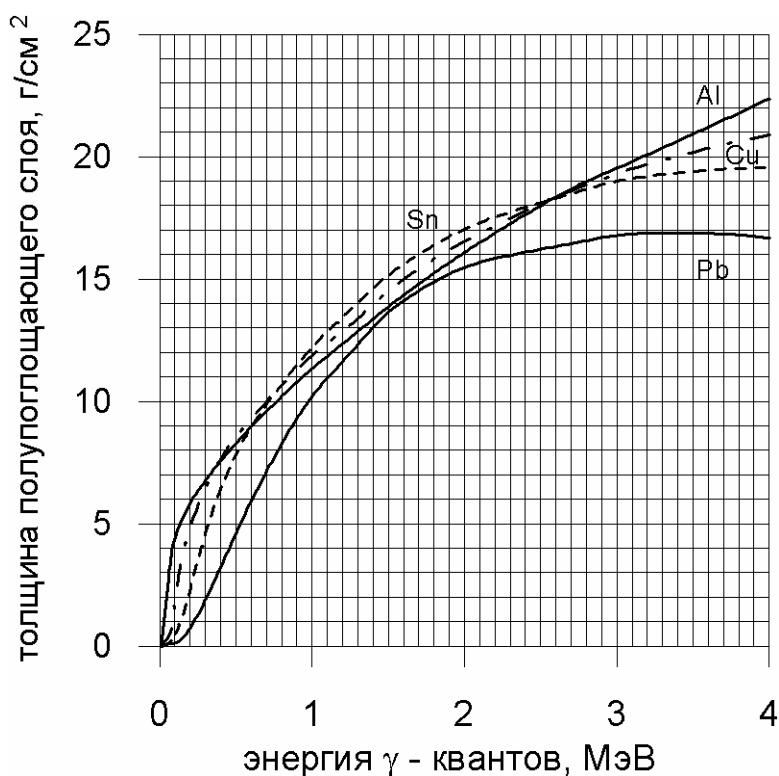


Рис. 3. Зависимость толщины полупоглощающего слоя от энергии излучения для γ -лучей [1]

близкая к экспоненциальной кривой, и указанным методом может быть найдена лишь какая-то средняя энергия сложного излучения. Решение подобной сложной задачи может быть достигнуто применением других способов исследования, например метода совпадений.

Энергия гамма-лучей простого спектра определяется по величине полупоглощающего слоя следующим образом:

На основании экспериментальных данных строят кривую поглощения в виде $\ln I(R) = f(R)$. Из графика находят μ как тангенс угла наклона этой зависимости к оси абсцисс. Затем, используя уравнение (2), определяют толщину полупоглощающего слоя $R_{1/2}$.

Если излучение сложное, то подобным образом (рис. 2) находят величину $R_{1/2}$ для каждой отдельной компоненты.

Зависимость толщины полупоглощающего слоя от энергии фотонов для различных материалов представлена на рис. 3 и в табл.1.

Разложение начинают с вычитания самой жесткой компоненты из экспериментальной кривой. Если при нанесении разностей импульсов на полулогарифмический график получится прямая линия, то данное излучение состоит только из двух компонент. Когда прямая не получается, указанное разложение необходимо продолжить дальше.

Описанный метод анализа становится невозможным, если отдельные компоненты гамма-излучения мало различаются по энергиям. В этом случае получается кривая,



ПОРЯДОК РАБОТЫ

Перед помещением источника ^{60}Co в установку необходимо измерить фон. Пушку - коллиматор требуется установить так, чтобы ось симметрии ее ствола и окошка домика лежали на одной прямой. Расстояние от препарата до счетчика необходимо установить таким образом, чтобы получить скорость счета импульсов порядка 5000-6000 имп./мин.

Бета-излучение ^{60}Co не должно проникать в счетчик, поскольку оно задерживается стенкой стеклянной ампулы, в которой находится препарат.

Таблица 1

Зависимость толщины полупоглощающего слоя в г / см² от энергии γ -квантов для разных веществ

E_γ , МэВ	Al	Fe	Cu	Pb	Sn
0.01	0.02676244	0.004101463	0.003239006	0.005635343	0.00517274
0.05	2.172875	0.3829543	0.2840767	0.09573857	0.06729584
0.1	4.41495	2.0941	1.690603	0.1302908	0.441495
0.2	5.824766	5.134423	4.847183	0.7358251	2.325997
0.4	7.558856	7.534208	7.63378	3.22394	6.418029
0.6	8.95539	9.156502	9.266674	5.924335	8.932309
0.8	10.17837	10.4705	10.64742	8.251752	10.68023
1	11.32593	11.66914	11.86896	10.19334	12.2033
1.25	12.60268	12.90777	13.10297	11.95081	13.72569
1.5	13.86294	14.29169	14.50099	13.61782	15.13422
2	16.0823	16.34781	16.54289	15.47204	17.03064
2.75	18.83552	18.73371	18.73371	16.5035	18.58303
3	19.52527	19.20075	19.30772	16.78323	18.99033
4	22.35959	20.941	20.87793	16.66219	19.52527
5	24.49283	22.00467	21.79708	16.34781	19.6359
6	26.05816	22.72614	22.35959	15.89787	19.41589
8	28.52458	23.25997	22.72614	15.10125	18.78448
10	29.87703	23.25997	22.50478	14.29169	18.00382

Снять кривую поглощения γ -лучей ^{60}Co в свинце (или в другом материале: Al, Fe, Cu, Sn) путем увеличения толщины поглотителя между источником и детектором. При этом толщину поглощающих пластинок необходимо выбирать такой, чтобы на участке кривой поглощения до момента снижения интенсивности \sim в 4 раза получить 6-8 экспериментальных точек. Толщину каждой пластинки поглотителя нужно по отдельности измерить штангенциркулем, а затем путем суммирования найти общую толщину барьера. Пластины поглотителя требуется устанавливать по возможности ближе к счетчику, в вертикальном положении и плотнее друг к другу для соблюдения условий узкой геометрии и уменьшения погрешностей в определении толщины барьера.

До снижения интенсивности в два раза каждую точку можно измерять в течение 2-4 мин. Дальнейшие измерения до снижения интенсивности в 3-4 раза необходимо проводить за более длительные промежутки времени. Результаты измерений занести в табл. 2.

Экспериментальные данные нанести на логарифмический график, откладывая по оси абсцисс толщину поглотителя, а по оси ординат – логарифм скорости счета



импульсов с поправкой на фон.

Пользуясь построенной кривой, найти значение полупоглощающего слоя (в г/см^2). По кривой, приведенной на рис. 3 или по данным табл. 1, определить энергию исследуемого излучения. На основе полученных данных рассчитать $R_{1/2}$ и E_γ .

Для справки отметим, что ^{60}Co испускает γ -кванты двух значений энергий: 1.17 МэВ и 1.33 МэВ, поэтому найденное в эксперименте значение энергии будет представлять собой среднюю энергию гамма-излучения этого изотопа.

Таблица 2

Толщина поглотителя $R, \text{г/см}^2$	Число импульсов за 1 мин. с поправкой на фон $n-n_{\text{ф}}$, имп./мин	Значение логарифма активности $\ln(n-n_{\text{ф}})$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему для измерения E_γ нельзя использовать метод полного поглощения?
2. Почему мерой энергии γ -квантов служит слой половинного поглощения?
3. Какие процессы взаимодействия γ -квантов с веществом дают наиболее весомый вклад в полное сечение взаимодействия для источника ^{60}Co ?
4. Попробуйте на основе графического материала рис. 2 и табличных значений для свинца определить энергию жесткой компоненты γ -излучения (кр. 2, рис. 2; табл.1 или рис. 3 для Pb).

Литература

1. **Машкович В.П.** Защита от ионизирующих излучений: Справочник. – М.: – Энергоатомиздат, 1995. – 496 с., ил.



ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА Прикладной физики ФТФ



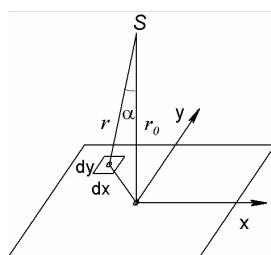
УТВЕРЖДАЮ
Декан ФТФ профессор

_____ В.И. Бойко

" " _____ 2009г.

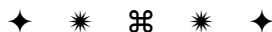
В.В. Кашковский

**Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком
при определении активности β -излучателя**



*Методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
по курсу*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ



ТОМСК 2009



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ТОРЦОВЫМ СЧЕТЧИКОМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АКТИВНОСТИ β - ИЗЛУЧАТЕЛЯ

ВВЕДЕНИЕ

При работе с радиоактивными веществами необходимо уметь точно определять количественные характеристики используемых препаратов: число ядер радиоактивного нуклида, количество испускаемых им частиц, интенсивность потока электромагнитного излучения и др.

С подобными задачами приходится сталкиваться в случае, когда требуется определить мощность или активность имеющегося в расположении экспериментатора источника излучения, количество радиоактивных веществ в различных образцах при проведении исследований.

Активностью образца называется физическая величина, измеряемая числом происходящих в этом образце распадов атомных ядер за 1 с. Из основного закона радиоактивного распада следует, что

$$dN = -\lambda \cdot N dt, \quad (1)$$

где N – число ядер; λ – константа распада (определяется через период полураспада), следует, что активность

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N. \quad (2)$$

Таким образом, активность пропорциональна числу ядер радиоактивного вещества. Поскольку при каждом акте распада образуется та или иная частица (α , β , γ), активность образца дает представление об интенсивности радиоактивного излучения.

Обычно активность препарата измеряют, регистрируя число испускаемых им за определенное время заряженных частиц. Если рядом с источником расположить соответствующий детектор, то **регистрируемый им за единицу времени эффект J будет пропорционален активности источника**

$$J = \varepsilon \cdot A. \quad (3)$$

Здесь под показаниями детектора понимается либо число отсчетов счетчика, либо показания токового детектора, либо измеряемая в эксперименте какая-нибудь другая величина. Коэффициент пропорциональности ε называется **эффективностью измерительной установки** и зависит от ряда факторов: эффективности самого детектора, геометрии и т. д. Если эффективность ε известна, то определение активности сводится к элементарной операции. Однако определение этого коэффициента оказывается весьма сложной задачей.

АБСОЛЮТНЫЕ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Абсолютными измерениями называются измерения, при которых, прежде всего, определяется коэффициент ε , а затем по показаниям детектора J находится истинное значение активности источника. Значительные трудности при выполнении этой операции заставляют всегда прибегать к **относительным** измерениям, при которых показания детектора при работе с исследуемым источником J_x сравниваются с показаниями $J_{\text{эталон}}$ от некоторого эталонного источника, активность которого $A_{\text{эталон}}$ заранее известна. Если это сравнение можно выполнить так, чтобы значения коэффициентов ε в обоих случаях были заведомо одинаковыми, то из соотношений

$$\begin{aligned} J_x &= \varepsilon \cdot A_x, \\ J_{\text{эталон}} &= \varepsilon \cdot A_{\text{эталон}} \end{aligned} \quad (4)$$

следует

$$A_x = \frac{J_x \cdot A_{\text{эталон}}}{J_{\text{эталон}}}, \quad (5)$$

и таким образом, неизвестную активность A_x можно определить по непосредственно измеряемым при эксперименте показаниям детектора J_x , $J_{\text{эталон}}$ и заранее известной величине $A_{\text{эталон}}$.

Метод малого телесного угла

Если изотропный точечный источник излучения и детектор расположены относительно друг друга на некотором расстоянии, то вероятность попадания частицы в детектор определится отношением телесного угла $\Delta\Omega$, под которым детектор виден из точки расположения источника, к 4π . Это отношение называется обычно **геометрическим фактором**

$$G = \frac{\Delta\Omega}{4\pi}. \quad (6)$$

Вероятность того, что частица вылетит в сторону детектора и будет им зарегистрирована, равна произведению $\varepsilon_d \cdot G$, где ε_d – **собственная эффективность детектора**. Чтобы получить **эффективность установки** ε , в это выражение необходимо ввести ряд поправок на некоторые побочные явления, такие как самопоглощение частиц в источнике, поглощение и рассеяние частиц в воздухе на пути к детектору и др. Эти поправки вводятся добавлением соответствующих множителей

f_1, f_2, \dots, f_n , которые зависят от вида излучения и конкретных условий проведения эксперимента.

В качестве детекторов при измерениях активности β -источников обычно используют торцовые счетчики Гейгера-Мюллера (рис.1). Эффективность установки с торцовым счетчиком в общем виде определяется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon_d \cdot G \cdot f_u \cdot f_p \cdot f_0 \cdot f_m. \quad (7)$$

где f_0 – коэффициент, учитывающий поглощение и рассеяние β -частиц в окне счетчика и в воздушной прослойке между счетчиком и источником; f_u – коэффициент самопоглощения в источнике (определяет вероятность для частицы, вылетевшей из ядра в сторону рабочего тела детектора, избежать поглощения в веществе источника и попасть в рабочее тело с энергией, достаточной для ее надежной регистрации);

f_p – коэффициент обратного рассеяния от подложки, равный единице плюс вероятность того, что частица, вылетевшая первоначально в сторону подложки, в результате рассеяния изменит направление своего движения, попадет в рабочее тело детектора и зарегистрируется в нем; f_m – поправка на мертвое время счетчика.

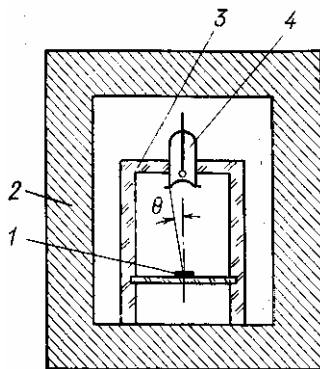


Рис. 1. Устройство для измерений с торцовым счетчиком: 1 – источник β -частиц; 2 – свинцовая защита; 3 – стойка из плексигласа; 4 – торцовый β -счетчик



ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ СЧЕТЧИКОМ

Для развития разряда в счетчике достаточно образования в его объеме одной пары ионов. Поэтому эффективность счетчика по отношению к заряженным частицам определяется вероятностью образования в объеме счетчика хотя бы одной пары ионов.

Вероятность того, что на пути l в счетчике частица не образует ни одной пары ионов, равна $\exp(-l/l_{cp})$, где l_{cp} – средняя длина, которую проходит заряженная частица в газе до образования одной пары ионов; l – длина, которую проходит частица в объеме счетчика. Так как на пути в 1 см частица образует ν пар ионов (ν – первичная удельная ионизация), то на пути l частица создает $\nu \cdot l$ пар ионов. Учитывая, что на пути l_{cp} частица образует одну пару ионов, получаем, что $l_{cp} = 1/\nu$.

Тогда вероятность того, что частица будет зарегистрирована, равна $1 - \exp(-\nu \cdot l) = 1 - \exp(-N_{cp})$, где N_{cp} – среднее число пар ионов, которое образует частица в объеме счетчика, пройдя путь l .

Таким образом, эффективность регистрации частицы, равная отношению N_{cp} / N (и равная вероятности регистрации частицы), выражается формулой

$$\epsilon_D = \frac{N_{cp}}{N} = 1 - \exp(-N_{cp}). \quad (8)$$

Если подсчитать величину эффективности при давлении аргона 90 мм рт.ст., удельной ионизации $\nu \approx 120$ пар ионов на 1 см (при атмосферном давлении для β -частиц с энергией 1 МэВ) и средней длиной пути в счетчике 2 см, то эффективность окажется равной $\epsilon_D = 1 - \exp(-30)$, т.е. эффективность получается равной 100% даже для очень малых пробегов в счетчике.

Хотя эффективность счетчика по отношению к β -частицам в самом чувствительном объеме равна 100%, величина чувствительного объема меняется от одной конструкции к другой. Для большинства торцовых счетчиков эффективность нельзя полагать равной 100% по всей площади окна. Например, часть β -частиц, попадающих в счетчик, задерживается стеклянной бусинкой, которой заканчивается анодная нить. Эту ошибку нужно иметь в виду при очень точных измерениях эффективности счетчика.

Следует, отметить также, что электроны из расходящегося пучка, прошедшие вблизи края входного окна счетчика, пересекут лишь малую часть чувствительного объема и эффективность регистрации для них может оказаться заметно меньше 1. Эффективность счетчика может изменяться в зависимости от энергии β -излучения. Практически же эффективность счетчика ϵ_D , т.е. отношение числа разрядов к числу электронов, попавших внутрь счетчика, превышает 100% за счет появления многократных и других ложных импульсов. Измерения показывают, что если рабочее напряжение на 30–50 В превышает напряжение начала плато, то эффективность $\epsilon_D = 1.01$.

В большинстве случаев $\epsilon_D = 1$, однако, из-за малой плотности ионизации некоторые β -частицы, пробегающие в чувствительном объеме счетчика малые отрезки пути, имеют заметную вероятность не создать ни одной пары ионов. В счетчиках с пониженным давлением газовой смеси этот эффект особенно заметен. Поэтому в общем случае при прецизионных измерениях приходится на основании данных о

плотности ионизации оценивать значение ϵ_D , которое может оказаться несколько меньше единицы.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Геометрический фактор для точечного источника

$$G = \frac{1 - \cos \vartheta}{2}. \quad (9)$$

Для неточечного источника, радиус которого много меньше расстояния между источником и детектором выражение получается значительно сложнее. Покажем это на примере решения следующей задачи:

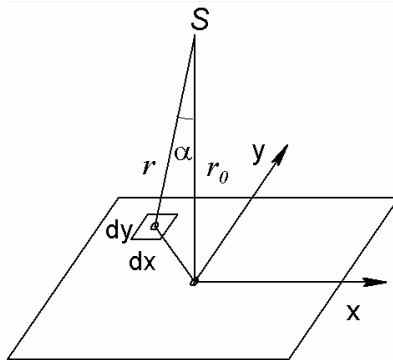


Рис. 2

Пусть, например, торцовый счетчик Гейгера, имеющий входное окно площадью S облучается β -источником, представляющим собой тонкую плоскую пластину со сторонами $a \cdot b$, расположенную на расстоянии r_0 от окна счетчика, причем радиус окна счетчика ρ много меньше расстояния r_0 между источником и детектором. Определим телесный угол, вырезаемый окном счетчика из изотропного источника излучения.

Счетчик видит каждую точку источника под разными телесными углами (рис.2). Поэтому, для учета геометрического фактора необходимо провести усреднение телесного угла по всей площади источника.

Телесный угол, под которым окно счетчика видит точечный элемент площади источника $dy dx$, не зависит от координаты z и равен

$$\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \vartheta),$$

где

$$\cos \vartheta = \frac{r_0}{l} = \frac{r_0}{\sqrt{r_0^2 + \rho^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \rho^2/r_0^2}},$$

$$\cos \vartheta \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{r_0^2}.$$

Здесь r_0 – расстояние по перпендикуляру от центра окна счетчика до источника; ρ –

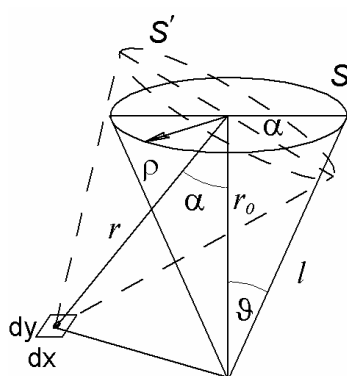


Рис. 3

радиус окна счетчика; S – площадь окна; r – расстояние от центра окна до некоторой точки источника с координатами x, y . Обозначения остальных параметров показаны на рис 3. Следовательно

$$\Omega = 2\pi \cdot (1 - 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{r_0^2}) = \pi \cdot \frac{\rho^2}{r_0^2} = \frac{S}{r_0^2}, \quad (10)$$

где S – площадь окна счетчика. Обозначим через S' – эффективную площадь окна счетчика, которую можно увидеть из элемента площади источника $dy dx$, расположенного в некоторой точке источника с координатами x, y . Причем предполагаем, что



$S'/S \approx \cos \alpha$ – приближенное представление, поскольку S' соответствует эллипсу и одновременно является проекцией окружности S (рис. 2):

$$S' = S \cdot \cos \alpha ;$$

$$\Omega = S' / r^2 ;$$

$$\cos \alpha = r_0 / r ;$$

$$\Omega = S \cdot \cos \alpha / r^2 = \frac{r_0}{r^3} \cdot S .$$

Отсюда усредненное значение телесного угла

$$\bar{\Omega} = 4 \int_0^{a/2} \int_0^{b/2} \frac{S r_0 dx dy}{(r_0^2 + x^2 + y^2)^{3/2}} \cdot \frac{1}{ab} , \quad (11)$$

$$\bar{\Omega} \approx \frac{4S}{ab} \cdot \arctg \left(\frac{ab}{4r_0 \sqrt{r_0^2 + (a^2/4) + (b^2/4)}} \right) . \quad (12)$$

По аналогии с решением этой задачи можно получить усредненное значение телесного угла для случая, когда источник будет иметь не прямоугольную форму, а будет изготовлен в форме круга определенного радиуса. Из выражения (12) получаем геометрический фактор

$$G = \frac{\bar{\Omega}}{4 \cdot \pi} . \quad (13)$$

ПОПРАВКА НА САМОПОГЛОЩЕНИЕ

При определении коэффициента f_u приходится учитывать не только поглощение, но и рассеяние β -частиц в источнике. Эти два фактора действуют в противоположных направлениях: поглощение в источнике уменьшает число отсчетов счетчика, а рассеяние электронов увеличивает число отсчетов, так как рассеиваются в основном электроны, летящие вдоль слоя. В тонких слоях эффект рассеяния компенсирует или может даже превышать эффект поглощения, однако с увеличением толщины источника поглощение становится доминирующим. Величина f_u зависит от толщины источника, энергии β -частиц и атомного номера вещества источника Z . Для средних значений Z и толщины источника порядка $1/20$ величины пробега коэффициент f_u оказывается очень близким к единице. В остальных случаях значение коэффициента f_u лучше всего находить экспериментально, приготавливая источники разной толщины и экстраполируя измеряемые удельные скорости счета, т. е. скорости счета, отнесенные к толщине слоя (в $\text{мг}/\text{см}^2$), к нулевой толщине. Однако из-за немонотонного характера зависимости f_u от толщины слоя надежность этой процедуры не очень высока и возникающие погрешности могут достигать 20% вносимой поправки, т. е. в отличие f_u от единицы.

Если источник излучения имеет значительную толщину, то часть излучения будет поглощаться в самом источнике. Поправка на самопоглощение можно рассчитать по формуле

$$f_u = \frac{R_\beta \cdot [1 - \exp(-5 \cdot t_u / R_\beta)]}{5 \cdot t_u} , \quad (14)$$



где R_β – максимальный пробег β -частиц, г/см²; t_u – толщина слоя, г/см².

Граничную энергию β -спектра находят исходя из максимального пробега β -частиц, после вычитания фона (на уровне 1÷2%). Имеется ряд эмпирических выражений, связывающих максимальный пробег R_β (в поглотителе – Al) и граничную энергию E_M β -спектра:

$$R_\beta = 0.543E_M - 0.160 \quad \text{г/см}^2; \quad E_M > 0.8 \text{ МэВ} \quad | \text{Физер} |, \quad (15)$$

$$R_\beta = 0.542E_M - 0.133 \quad \text{г/см}^2; \quad E_M > 0.8 \text{ МэВ} \quad | \text{Гленденин} |, \quad (16)$$

$$R_\beta = 0.407E_M^{1.38}; \quad 0.15 < E_M < 0.8 \text{ МэВ} \quad | \text{Гленденин} |,$$

$$R_\beta = 0.11 \cdot (\sqrt{1 + 22.4 \cdot E_M^2} - 1); \quad 0 < E_M < 0.3 \text{ МэВ} \quad | \text{Фламмерсфельд} |, \quad (17)$$

$$R_\beta = 0.571E_M - 0.161; \quad E_M > 1.0 \text{ МэВ} \quad | \text{Блейлер, Цюнти} |, \quad (18)$$

Однако точное определение максимальных пробегов R_β представляет большие трудности и применимо лишь для простых β -спектров.

ПОПРАВКА НА РАССЕЯНИЕ ОТ ДНА И СТЕНОК ПОДЛОЖКИ

Коэффициент f_p , равный отношению количеств регистрируемых импульсов с подложкой и без нее, может иметь значения от 1 до 2, в зависимости от толщины и атомного номера материала подложки. Его значение проще всего определить экспериментально, меняя материал подложки и ее толщину. Использование толстых подложек из материалов с большим атомным номером может привести к увеличению скорости счета на 50-60%. Более предпочтительно применение материалов с малым Z при толщине подложки меньше 1/5 пробега электрона с максимальной энергией, поскольку приводит к гораздо меньшим поправкам. Исходя из этих же соображений, источник не следует класть на дно защитного «домика», а располагать его на расстоянии нескольких сантиметров от поверхности свинца.

Рассеяние электронов от стенок и дна защитного домика можно значительно уменьшить, если все детали внутри защитного «домика» покрыть слоем вещества с малым Z и расположить их подальше от траекторий электронов, летящих из источника в счетчик.

Поправка определяется опытным путем по результатам измерения активности пробы в подложке из тонкой бумаги – n_1 на расстоянии 2-3 см от поверхности дна домика и в данной подложке – n_2 :

$$f_p = \frac{n_2}{n_1}. \quad (19)$$

ПОПРАВКА НА ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ

Поправку на поглощение и рассеяние f_0 можно рассчитать, учитывая тот факт, что испускаемые при β -распаде электроны имеют непрерывный энергетический спектр. Для β -спектров кривые ослабления (поглощения) имеют экспоненциальный характер. Поглощение немонотонноэнергетических электронов происходит с малых глубин, при этом число частиц убывает по глубине по экспоненциальному закону, поэтому величина

$$f_0 = \exp[-(\mu/\rho) \cdot t], \quad (20)$$

где μ/ρ – коэффициент поглощения β -излучения, $\text{см}^2/\text{г}$; t – суммарная толщина стенки счетчика (входного окна) и воздушного промежутка между источником и счетчиком, в $\text{г}/\text{см}^2$.

Зависимость коэффициента поглощения μ/ρ от максимальной энергии β -частиц в спектре для алюминиевого поглотителя можно представить в виде

$$\mu/\rho = 17 \cdot E_M^{-1.43}, \text{ см}^2/\text{г}. \quad (21)$$

Эта зависимость хорошо согласуется с экспериментальными данными, представленными на рис. 4.

Величину коэффициента f_0 можно также найти и экспериментально. Для этого между источником и счетчиком помещают алюминиевые фольги различной толщины (алюминий, слюда и воздух имеют примерно одинаковые массовые коэффициенты поглощения β -частиц), снимают зависимость числа отсчетов счетчика от нарастающей

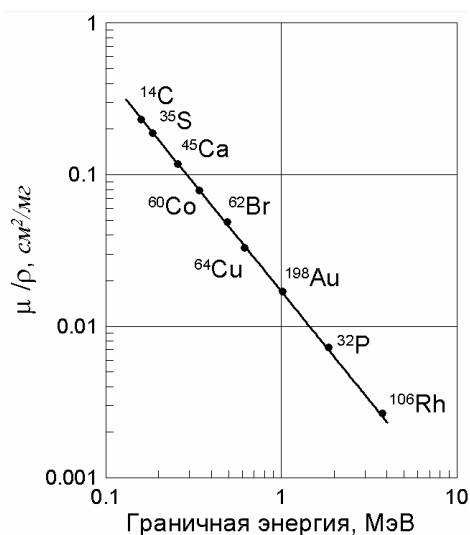


Рис. 4. Зависимость коэффициента поглощения μ/ρ от граничной энергии β -спектра

общей толщины материала (в $\text{мг}/\text{см}^2$). Зависимость показаний прибора от толщины экрана выражают в форме графика, построенного в полулогарифмическом масштабе, а затем, экстраполируя полученные результаты к нулевой толщине поглотителя, определяют поглощение в окошке счетчика и в слое воздуха. Коэффициент f_0 определяют как отношение скорости счета с дополнительным поглотителем N_{noz} к скорости счета при отсутствии последнего N_0 .

$$f_0 = \frac{N_{noz}}{N}. \quad (22)$$

Величина f_0 очень сильно зависит от энергии β -частиц. Так, окошко из слюды толщиной $3 \text{ мг}/\text{см}^2$ поглощает около 7% частиц при максимальной энергии β -спектра 1 МэВ и

30% при энергии 0.3 МэВ. Если поправка на поглощение оказывается очень большой, то определение значений f_0 методом экстраполяции оказывается ненадежным.

Рассеяние в воздухе при расстояниях между источником и окном счетчика порядка нескольких сантиметров и при малой энергии β -частиц может увеличивать число отсчетов до 5%. Соответствующую поправку можно найти, откачивая воздух из домика или изменяя расстояние между счетчиком и источником.

ПОПРАВКА НА РАЗРЕШАЮЩЕЕ ВРЕМЯ. ПРОСЧЕТЫ ИЗ-ЗА МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ

Когда в счетчике происходит разряд, счетчик не реагирует на попадание в него новой частицы до тех пор, пока разряд не закончится. Детектор, полностью теряет чувствительность к последующим импульсам на время τ . По истечении времени τ устройство вновь приобретает способность регистрировать импульсы. Время τ называют мертвым временем или разрешающим временем.

Вероятность того, что частица не попадет в интервал мертвого времени τ и, следовательно, будет сосчитана, равна $\exp(-\tau/\tau_{cp})$, где τ_{cp} – средний интервал времени между частицами.

Вероятность регистрации частицы приближенно равна частоте n_p/n , где n_p – число зарегистрированных (с учетом мертвого времени) частиц в единицу времени; n – полное число частиц, попадающих в счетчик в единицу времени.

Тогда

$$\frac{n_p}{n} = \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_{cp}}\right), \quad (23)$$

или, разлагая экспоненту в ряд, получаем

$$\frac{n_p}{n} = 1 - \frac{\tau}{\tau_{cp}} = 1 - n \cdot \tau \quad (24)$$

или

$$n \approx \frac{n_p}{1 - n_p \cdot \tau}. \quad (25)$$

Разрешающее время (мертвое время) самогасящихся счетчиков при достаточно малой постоянной времени входной цепи регистрирующего устройства обычно составляет величину порядка $(1 \div 3) \cdot 10^{-4}$ с.

Мертвое время пересчетных устройств много меньше этой величины и его можно не учитывать.

Поправка на мертвое время счетчика определится из выражения (25)

$$f_m = \frac{n_p}{n} = 1 - n_p \cdot \tau. \quad (26)$$

Однако поправку на просчеты не следует вводить, вплоть до $n = 100 \text{ сек}^{-1}$, так в этой области просчеты, компенсируются увеличением числа ложных импульсов. Наличие или отсутствие просчетов дает неточность в определении истинной скорости счета: до 3% при 100 имп./сек и около 1% при 50 имп./сек. Из указанных соображений рекомендуется использовать скорость счета 20-50 имп./сек, что позволяет за разумное время получить достаточную статистическую точность.

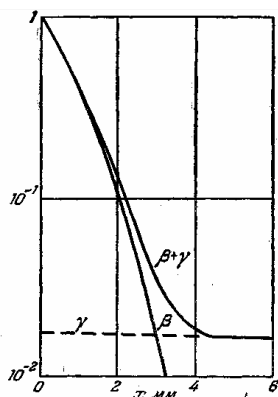


Рис. 5. Прохождение β -частиц препарата ^{28}Al через алюминий

ПОПРАВКА НА ФОН

Поправку на фон, а затем и остальные поправки вводятся после того, как скорость счета исправлена на просчеты в счетчике. Для уменьшения фона счетчик размещают в свинцовом домике. Стенки домика необходимо изнутри облицевать материалом с малым Z (например, Al), для минимизации доли, рассеянного от стенок β - и γ -излучения. Величину фона определяют помещая на пути между препаратом и окошком счетчика слой поглотителя из вещества с малым Z (алюминий, графит, полиметилметакрилат, плексиглас, бумагу). Этот слой должен быть достаточной толщины для того, чтобы полностью задержать β -излучение препарата. Полученная при этом скорость счета n_ϕ вычитается из скорости счета излучения препарата n_p



$$n_{\beta} = n_p - n_{\phi}. \quad (27)$$

При измерениях поглощения β -частиц с широким энергетическим спектром получаются кривые поглощения, подобные приведенным на рис. 5. Видно, что сначала число зарегистрированных электронов уменьшается экспоненциально с увеличением толщины поглотителя. По мере увеличения толщины, число электронов медленно приближается к уровню фона, который обычно определяется γ -компонентой. В случае позитронов аннигиляционное излучение дает добавку к фону порядка 1%. После вычитания фона можно получить максимальный пробег для β -частиц.

Если препарат испускает также и γ -излучение, то во время измерения оно также будет учтено. При точных измерениях следует иметь в виду, что скорость счета γ -излучения без поглотителя может иметь иное значение, чем при измерении фона. Это может быть обусловлено тем, что эффективность торцового счетчика к γ -излучению заметно возрастает, когда окошко счетчика закрывается поглотителем достаточной толщины. Для ряда препаратов это приводит к ошибке в определении n_{β} , достигающей 1-2%.

АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТА

Активность препарата найдем после того, как определим по выражению (7) эффективность установки с торцовым счетчиком. При этом учтем, что регистрируемый детектором за единицу времени эффект J будет пропорционален активности источника и равен скорости счета частиц n_{β} с поправкой на фон. В результате имеем¹

$$A = \frac{n_{\beta}}{\epsilon} = \frac{n_{\beta}}{\epsilon_d \cdot G \cdot f_u \cdot f_p \cdot f_0 \cdot f_m}. \quad (28)$$

Характеристика препарата используемого в работе

В данной работе используется препарат ${}^{204}_{81}\text{Tl}$ (таллий) с периодом полураспада 3.78 года и максимальной энергией β -спектра 0.766 МэВ; γ -излучение отсутствует.

Ниже приведен паспорт излучателя:

1. Описание источника: **вкладыш с радиоактивным препаратом**, вклеенный в подложку и покрытый сверху слоем клея БФ.
2. Маркировка Т 236-87.
3. Характеристика источника:
 - диаметр подложки – 66 мм;
 - толщина подложки – 1 мм;
 - площадь активной части – 10см²;
 - материал – алюминий марки АД1 (АО);
 - толщина активного слоя вместе с герметизирующим покрытием – 0.30-0.60 мг/см².
4. Внешнее излучение: в угол в 2 π стерадиан 1.7·10⁵ ($\pm 20\%$) 1/с.

¹ Типичное значение ϵ при регистрации β -частиц в геометрии с малым телесным углом с учетом всех перечисленных выше факторов оказывается порядка 0.03. Из-за большого числа поправок, многие из которых находятся с недостаточно высокой точностью, суммарная погрешность получается довольно большой, достигая 5-10%, и лишь в отдельных наиболее благоприятных случаях ее удается снизить до 2-3%. Поэтому метод малого телесного угла чаще используется для относительных измерений.



5. Неравномерность распределения радиоактивного препарата по поверхности источника $\pm 20\%$.
6. Дата измерения: март-1987 г.
7. Назначенный срок службы источника – один год.
8. Источник упакован в пенал № 260/4.
9. Источник соответствует ТУ 95 1000-82.

Порядок лабораторной работы

Цель работы: познакомиться с методом определения эффективности измерительной установки с торцовым счетчиком при измерении активности β -излучателя.

Порядок эксперимента.

1. Включить и прогреть установку.
2. Осторожно извлечь препарат из контейнера и поместить на полку стойки из плексигласа (рис. 1).
3. Поставить диафрагму перед окном счетчика.
4. Закрыть домик, подать на счётчик необходимое напряжение и определить скорость счета.
5. Не вынимая препарата поместить между ним и диафрагмой плексигласовый поглотитель и определить число импульсов фона за единицу времени.
6. Исправить получаемую скорость счета от препарата на мертвое время счетчика и на фон.
7. Для учета влияния рассеяния от подложки произвести измерение счета от вкладыша с радиоактивным препаратом, помещенного на подложку из тонкой бумаги.
8. Определить геометрический фактор установки для заданных условий измерения.
9. Определить эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком.
10. Определить активность источника и сравнить полученное значение с величиной, указанной в паспорте источника (с поправкой на уменьшение активности во времени). Определить погрешность измерения активности.
11. Необходимо найти все поправки к определению эффективности установки. Последовательно описать все операции по их нахождению.
12. Полученные данные занести в таблицу.

n_p	n_ϕ	n_β	G	f_0	f_u	f_p	f_m	ϵ_D	ϵ	A	$\Delta A / A$

Контрольные вопросы

1. Что понимается под термином «активность» источника?
2. Что называется эффективностью измерительной установки?
3. Как влияет наличие γ -излучения из источника на точность измерения эффективности?
4. Как уменьшить влияние краевых эффектов в счётчике на точность измерения?
5. Как можно учесть конечную толщину источника?
6. Как влияет геометрия эксперимента на величину поправки на обратное рассеяние от подложки?
7. Как учесть поправку на поглощение β -частиц во входном окне торцевого счётчика?



Литература

1. Абрамов А. И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. **Основы экспериментальных методов ядерной физики**. Изд. 2-е. М.: Атомиздат, 1977. –528 с.
2. Баранов В.И., Сердюкова А.С., Горбушина Л.В. и др. **Лабораторные работы и задачи по радиометрии**. М.: Атомиздат, 1964. - 308 с.
3. **Бета - и гамма - спектроскопия**. Под ред. К. Зигбана: Пер. с англ. – М.: Гос. издат. Физ.- мат. литер., 1959. – 907 с.

Содержание лабораторной работы

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ТОРЦОВЫМ СЧЕТЧИКОМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АКТИВНОСТИ β- ИЗЛУЧАТЕЛЯ.....	21
ВВЕДЕНИЕ	21
АБСОЛЮТНЫЕ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	21
МЕТОД МАЛОГО ТЕЛЕСНОГО УГЛА	22
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ СЧЕТЧИКОМ	23
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР.....	24
ПОПРАВКА НА САМОПОГЛОЩЕНИЕ	25
ПОПРАВКА НА РАССЕЯНИЕ ОТ ДНА И СТЕНОК ПОДЛОЖКИ	26
ПОПРАВКА НА ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ	26
ПОПРАВКА НА РАЗРЕШАЮЩЕЕ ВРЕМЯ. ПРОСЧЕТЫ ИЗ-ЗА МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ	27
ПОПРАВКА НА ФОН	28
АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТА	29
ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕПАРАТА ИСПОЛЬЗУЕМОГО В РАБОТЕ.....	29
ПОРЯДОК ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	30
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	30
ЛИТЕРАТУРА	31



Рейтинг – план

Оценки

«отлично» – более 850 баллов
 «хорошо» – 701-850 баллов
 «удовлет.» – 551- 700 баллов

По дисциплине “ Экспериментальные методы ядерной физики ”
 для специальности 140307 “ Радиационная безопасность человека и окружающей среды”
 на седьмой семестр 2009/2010 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Лекции – 32 час.
 Практические занятия – 16 час.
 Лабораторные занятия – 16 час.

Название модуля	Лекции		Лаб. работы		Практические занятия		Домашние занятия		Рубежный контроль	Максимальный балл модуля
	Тема	Балл	Тема	Балл	Тема	Балл	Тема	Балл		
Потери энергии и рассеяние частиц. Пробеги заряженных частиц в веществе и взаимодействии γ -квантов с веществом/ Газовые ионизационные детекторы	1. Ионизационные потери энергии.	20	1. Определение энергии γ -излучения по поглупоглощению	60			1. Ионизационные потери энергии.	10	18.10.2009 г.	350
	2. Радиационные потери энергии.	20		2. Исследование счетных характеристик газоразрядных счетчиков			60	2. Радиационные потери энергии.		
	3. Рассеяние частиц. Соотношение пробег – энергия.	20	3. Рассеяние частиц. Соотношение пробег – энергия.					20		
	4. Взаимодействие γ -квантов с веществом.	10	4. Взаимодействие γ -квантов с веществом.					10		
	5. Ионизационные камеры.	20	5. Ионизационные камеры.					20		
	6. Пропорциональные счетчики	20	6. Пропорциональные счетчики.					10		
	7. Счетчики с самостоятельным разрядом.	20	7. Счетчики с самостоятельным разрядом.	20						



	8.Сцинтилляционные счетчики. Сцинтилляционная спектрометрия	20	3. Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β -излучателя.	60			8.Сцинтилляционные счетчики. Сцинтилляционная спектрометрия	15	18.11.2009 г.	300
	9. Счетчики Черенкова 10. Полупроводниковые детекторы 11. Ядерные эмульсии 12. Искровая камера 13. Многопроволочные детекторы 14. Магнитные бета-спектрометры	10 20 10 10 10 20	4. Ознакомление с аппаратурной формой линии и понятием энергетического разрешения сцинтилляционного γ -спектрометра	60			9. Счетчики Черенкова 10. Полупроводниковые детекторы 11. Ядерные эмульсии 12. Искровая камера 13. Многопроволочные детекторы 14. Магнитные бета-спектрометры	10 15 10 10 10 10		
	15. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения 16. Расшифровка аппаратурных спектров 17. Применение детекторов	30 60 40					15. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения 16. Расшифровка аппаратурных спектров 17. Применение детекторов	20 30 20	10.12.2009 г.	200
Итого:		360		240				250		850

Утверждаю:

Зав. кафедрой

Составил:

А.П. Потылицын

В.В. Кашковский



Учебное издание

Рабочая программа для направления 140300 «Ядерные физика и технологии»,
специальности 140307
«Радиационная безопасность человека и окружающей среды»

Разработчик *КАШКОВСКИЙ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ*

Подписано к печати . .2009. Формат 60x84/16. Бумага
«Снегурочка».


Печать Херох. Усл. печ. л. 000. Уч.-изд. л. 000.

Заказ ХХХ. Тираж ХХХ экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO
9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.