



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 140302 «Физика атомного ядра и частиц»
(номер и название направления, специальности, специализации)

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

Обеспечивающая кафедра кафедра Прикладной физики

Курс четвертый, пятый

Семестр восьмой, девятый, десятый

Учебный план набора 2006 года с изменениями года

Распределение учебного времени

Лекции	<u>64</u>	часов (ауд.)
Лабораторные занятия	<u> </u>	часов (ауд.)
Практические (семинарские) занятия	<u>80</u>	часов (ауд.)
Курсовой проект в <u>10</u> семестре	<u> </u>	часов (ауд.)
Курсовая работа в <u> </u> семестре	<u> </u>	часов (ауд.)
Всего аудиторных занятий	<u>144</u>	часов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа 304 часов

Общая трудоемкость 448 часов

Экзамены в 8; 9 семестрах

Зачеты в 9 семестре

Диф. зачет в 10 семестре



Предисловие

1. Рабочая программа составлена на основе ГОС по направлению (специальности) 140300 «Ядерная физика и технологии» специальности

(код и наименование)

140302 «Физика атомного ядра и частиц», утвержденного 02.03.2000 г.

(дата)

приказом МО РФ № 866. Номер государственной регистрации 150 ех/дс от

(обозначение или наименование другого документа университетского уровня по направлению, специальности, специализации)

17.03.2000 г.

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

(наименование кафедры)

(дата)

2. Разработчик(и)

доцент

(должность)

ПФ ФТФ

(кафедра)

(подпись)

В.В. Кашковский

(И.О.Фамилия)

(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. КАТАЕВ

Документ:

Дата разработки: _____

УДК 539.1.07(075.8)

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



Аннотация дисциплины:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

140300 – 140302

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. Счетчики Черенкова, полупроводниковые детекторы. Трековые приборы: камера Вильсона, искровая камера, струйная камера. Многопроволочные пропорциональная и дрейфовая камеры. Магнитная бета- и гамма-спектрометрия. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения. Расшифровка аппаратурных спектров. Использование излучений.

Курс 4,5 (8 семестр – экзамен; 9 семестр – экзамен, зачет; 10 семестр – диф. зачет).

Всего 448 ч, в т. ч. Лк – 64 ч, Пр – 80 ч, Кп.

The summary of discipline:

Experimental methods of nuclear physics

140300 – 140302

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 researched radiation before mathematical processing of the received data;
- mastering by modern skills of organization and realization of the automated physical experiment;
- development of independent 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 spectrometry. Cherenkov counters, semi-conductor detectors. Track devices: Vilson chamber, spark chamber, streamer chamber. Multiwire proportional and drift chambers. Magnetic beta- and gamma - spectrometry. A crystal - diffractive spectroscopy of γ -radiation. Decoding of hardware spectra. Use of radiations.

4, 5 year (8 semester - examination; 9 semester - examination, test; 10 semester – dif. test).

In all 448 h., including Lect.– 64 h., Pract. – 80 h., Project.



Экспериментальные методы ядерной физики включают в себя весь богатый арсенал средств, служащих для проведения ядерно-физических экспериментов, от этапа регистрации исследуемого излучения до математической обработки результатов измерений. Проведение современного эксперимента связано с использованием достижений в самых разнообразных отраслях науки: физики твердого тела и физики газового разряда, химии, математики, микроэлектроники, теории вероятностей и др. Ядерно-физический эксперимент невозможно провести без использования современной быстродействующей вычислительной техники. Экспериментальные методы ядерной физики 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, завершает обучение студентов Физико-технического факультета специальности 140302 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 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.

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

специалист должен иметь представление:

- о статистическом характере природной и техногенной радиоактивности;
- о типах ядерного взаимодействия, радиоактивных превращениях;
- о характеристиках поля ионизирующего излучения и единицах их измерения;
- об основных закономерностях в процессе взаимодействия заряженных и незаряженных частиц с веществом;
- о принципах конструирования детекторов ядерного излучения;
- о методах проектирования исследовательской аппаратуры, способах компоновки блоков и узлов; 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:

- владеть математическим аппаратом, позволяющим осуществлять предварительные оценки планируемого эксперимента;
- применять достижения в области ядерно-физических исследований в других областях знаний;
- планировать эксперименты по изучению ядерно-физических закономерностей;
- пользоваться современными методами обработки данных эксперимента, оценивать погрешности расчетов и экспериментов;
- применять пакеты прикладных программ для обработки экспериментальных данных;
- производить моделирование с использованием математических методов различных физических процессов;
- квалифицированно выбирать и использовать аппаратуру для ядерно-физического эксперимента;
- 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 конкретных задач;
- 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 заключительного цикла обучения студентов и включает в себя множество разнообразных тем, влияющих непосредственно на профессиональную ориентацию студентов. Реальность тем курсового проектирования, 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”. Темы практических занятий соответствуют лекционному материалу. Практические занятия проводятся в форме экспресс - опроса по теоретическому материалу и решения одной – двух и более задач каждым студентом. Имеется перечень задач, необходимый для усвоения студентами материала практических занятий. Результаты работы студентов на практических занятиях оцениваются по рейтинговой системе.

Самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине и реализуется в виде нескольких практических 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, а также в виде защиты индивидуальных заданий;
- **рубежный контроль** включает две двухчасовые контрольные работы, которые проводятся в стандартные сроки этого контроля на Физико-техническом факультете, и тестовые испытания;
- **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.

Курсовой проект “Экспериментальные методы ядерной физики” завершает изучение данной специальности 140302 и является одним из важнейших этапов подготовки специалистов. Задачей курсового проектирования является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами во время обучения, использование этих знаний для решения конкретных инженерных задач, развитие навыков самостоятельной творческой работы.

В процессе курсового проектирования студенты должны научиться пользоваться учебной и научно-технической литературой, стандартами, периодическими изданиями и другими источниками, содержащими информацию о современных достижениях науки и техники в ядерной физике.

Конкретно назначение проекта состоит в следующем:



- привить студентам навыки самостоятельного поиска научно-технической литературы и работы с ней, реферирования по узкому вопросу;
- научить студентов анализу технического задания, понимания сущности задачи и путей ее решения;
- научить методам инженерного расчета (физического процесса, детектора, прибора и т.п.);
- ознакомить с элементами конструирования приборов экспериментальной физики;
- научить кратко и ясно выражать результаты своих исследований и расчетов;
- привить студентам навыки оформления научной и технической документации.

Тематика проектов соответствует программе курса "Экспериментальная ядерная физика" и включает её основные разделы. Задание на курсовое проектирование является, как правило, индивидуальным и реальным. Характер задания предусматривает привлечение для его исполнения смежных специальных (например, ядерная и теоретическая физика, дозиметрия) и общетеоретических и инженерных дисциплин (математики, радиотехники и др.). Студенту, активно занимающемуся НИР, курсовой проект предлагается по тематике его НИР. Объем курсового проекта определяется временем, отведенным студенту учебным планом и планом самостоятельной работы.

Проект состоит из пояснительной записки с расчетами и обоснованием выбора параметров, величин, схем, конструкции и т.п. проектируемого устройства и 1-2 листов инженерной графики. Пояснительная записка, как правило, содержит 25-30 стр. стандартного формата А4. Чертежи выполняются на листах формата А1. Оформление и содержание пояснительной записки производится в соответствии с методическими указаниями по курсовому проектированию. Защита проектов проходит в виде студенческого научного семинара в присутствии не менее двух преподавателей. Рейтинговую оценку, помимо общего содержания и оформления, получают доклад и ответы на вопросы.

Содержание теоретического раздела дисциплины
(8 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Введение. Ионизационные потери энергии	2
2	Радиационные потери энергии	2
3	Рассеяние частиц	2
4	Соотношение пробег – энергия	2
5	Взаимодействие γ -квантов с веществом	2
6	Ионизационные камеры	4
7	Импульсные ионизационные камеры	2
8	Пропорциональные счетчики	2
9	Счетчики с самостоятельным разрядом	4
10	Сцинтилляционные счетчики	4
11	Счетчики Черенкова	2
12	Полупроводниковые детекторы	4



ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ
(8 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Введение. Ионизационные потери энергии	2
2	Радиационные потери энергии	2
3	Рассеяние частиц	2
4	Соотношение пробег – энергия	2
5	Взаимодействие γ -квантов с веществом	2
6	Ионизационные камеры	4
7	Импульсные ионизационные камеры	2
8	Пропорциональные счетчики	2
9	Счетчики с самостоятельным разрядом	4
10	Сцинтилляционные счетчики	4
11	Счетчики Черенкова	2
12	Полупроводниковые детекторы	4

Содержание теоретического раздела дисциплины
(9 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Камера Вильсона	2
2	Диффузионная камера	1
3	Ядерные эмульсии	3
4	Искровая камера. Стримерная камера и особенности ее конструкции	4
5	Многопроволочные детекторы	4
6	Магнитные бета-спектрометры	4
7	Магнитная гамма-спектрометрия	2
8	Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	4
9	Сцинтилляционная спектрометрия	4
10	Расшифровка аппаратурных спектров	2
11	Применение детекторов	2

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ
(9 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

	Тема	Время, час
1	Камера Вильсона	3
2	Ядерные эмульсии	3
3	Искровая камера. Стримерная камера и особенности ее конструкции	4
4	Магнитные бета-спектрометры	4
5	Магнитная гамма-спектрометрия	4
6	Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	2
7	Сцинтилляционная спектрометрия	4
8	Расшифровка аппаратурных спектров	8



Обеспечение учебной литературой.

Дисциплина в полном объёме 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. Игнатьев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.

Имеются в наличие 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. **Иванов В.И.** Курс дозиметрии. Изд. 2. Учебник для вузов. М.: Атомиздат, 1970. – 392 с.



16. **Зрелов В.П.** Излучение Вавилова - Черенкова и его применение в физике высоких энергий. – М.: Атомиздат, 1968.
17. **Кремниевые детекторы ионизирующих излучений** / О.П. Федосеева, Л.С. Гаценко, О.В. Захарчук и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.
18. **Дж. Дирнли, Д. Нортроп.** Полупроводниковые счетчики ядерных излучений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 360 с.
19. **Столяров Е.Л.** Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений. – М.: Атомиздат, 1964.

Учебные пособия, разработанные сотрудниками кафедры ПФ :

20. **Кашковский В.В.** Специальный физический практикум. Курс лекций. Часть 1 и 2: Учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2002.
21. **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.;
22. **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.
23. **Кашковский В.В.** Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β - излучателя.

Вопросы к контрольной точке № 1 по ЭМЯФ

(8^й семестр, март)

- Вопрос 1. Какие источники ионизирующего излучения существуют на Земле?
- Вопрос 2. Что такое детектор (в общем физическом смысле) и каким образом с его помощью осуществляется регистрация излучения?
- Вопрос 3. Какие виды излучения Вы знаете и как их условно можно классифицировать? Что общего у всех видов излучения?
- Вопрос 4. Как происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?
- Вопрос 5. Что такое ионизационные потери заряженных частиц? Дать кратко постановку задачи по нахождению данного вида потерь энергии.
- Вопрос 6. Что такое дифференциальное сечение столкновения заряженной частицы с веществом и какими максимальными и минимальными параметрами соударений (прицельными) оно характеризуется?
- Вопрос 7. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением?
- Вопрос 8. Проанализируйте кратко выражение для потерь энергии заряженной частицы.
- Вопрос 9. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.
- Вопрос 10. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины.



- Вопрос 11. Что такое вероятные потери энергии и как соотносятся экспериментальные и теоретические результаты при исследовании этих потерь?
- Вопрос 12. Что мы понимаем под термином « радиационные потери » ? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его.
- Вопрос 13. Каково соотношение ионизационных и радиационных потерь энергии? Что такое критическая энергия? Какова их зависимость от Z вещества и энергии частиц?
- Вопрос 14. Что такое радиационная длина?
- Вопрос 15. Расскажите об угловом и спектральном распределении тормозного излучения.
- Вопрос 16. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц, Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.
- Вопрос 17. 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 18. Получить выражение для соотношения пробег – энергия. Объяснить поведение этого соотношения в зависимости от скорости и заряда частицы, от характеристики среды.
- Вопрос 19. 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 20. 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 21. 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 22. Объясните, что такое распределение остановившихся электронов? Как сильно отличается распределение остановившихся электронов от кривых поглощения электронов, или дозных кривых за барьером?
- Вопрос 23. Что такое ливневые процессы? В результате каких взаимодействий они образуются? Состав ливней ?
- Вопрос 24. Состав первичного и вторичного космического излучения. Какие наиболее существенные процессы взаимодействия происходят в атмосфере Земли?
- Вопрос 25. Наиболее общие свойства ливневых процессов и характеристики каскадных кривых на примере взаимодействия излучения со свинцом.
- Вопрос 26. 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 27. Фотоэлектрическое взаимодействие γ - квантов с веществом. Характеристическое излучение. Сечение фотоэффекта и его основные закономерности. Угловое распределение фотоэлектронов.
- Вопрос 28. Комптоновское рассеяние γ - квантов. Сечение рассеяния и зависимость дифференциального сечения от угла рассеяния.
- Вопрос 29. Что такое δ - электроны и что такое Оже - электроны, в каких процессах они образуются?



Вопрос 30. Эффект образования пар. Пороговая энергия и сечение образования пар. Общий характер взаимодействия фотонов высокой энергии с веществом. Суммарное сечение взаимодействия.

Вопрос 31. Удельная ионизация и энергия ионообразования. В чем заключаются основные отличия взаимодействия позитронов с веществом по сравнению с электронами?

Вопрос 32. На каком принципе действия осуществляется работа ионизационной камеры? Нарисуйте вольт-амперную 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, 9^й семестр, ноябрь)

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 Даныша и методы регистрации частиц.
5. Улучшенные варианты магнитных спектрометров с поперечным полем.
6. Спектрометры с секторным полем.
7. Торoidalные спектрометры. Спектрометр с круговыми орбитами.
8. Комптоновские магнитные спектрометры.
9. Парный магнитный спектрометр.
10. Что такое светосила и разрешение спектрометра?
11. Какие типы магнитных спектрометров Вы знаете. Что их объединяет и в чем их различие?
12. Спектральная линия. Полуширина, базисное разрешение.
13. Базисное разрешение для спектрометра Даныша. Общие понятия о влиянии размеров источника на разрешение спектрометра.
14. Каким образом формируется форма линии спектрометра Даныша?
15. Очень кратко об основных недостатках спектрометра Даныша и путях дальнейшего усовершенствования спектрометра с полукруговой фокусировкой. Примеры.
16. Основные принципы, используемые в конструкции спектрометра с двойной фокусировкой.
17. Спектрометр с секторным полем. Правило Барбера.
18. Принцип фокусировки в секторном спектрометре с полем $\sim 1/r$. Спектрометр типа «апельсин».
19. Магнитные спектрометры для измерения γ -излучения. Основные принципы.
20. Комптоновский спектрометр. Конвертор и ширина изображения источника.



Вопросы к экзамену по ЭМЯФ
(8^й семестр)

- Вопрос 1. Как происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?
- Вопрос 2. Что такое ионизационные потери заряженных частиц? Дать кратко постановку задачи по нахождению данного вида потерь энергии.
- Вопрос 3. 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?
- Вопрос 5. Проанализируйте кратко выражение для потерь энергии заряженной частицы.
- Вопрос 6. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.
- Вопрос 7. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины.
- Вопрос 8. Что мы понимаем под термином « радиационные потери » ? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его.
- Вопрос 9. 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 10. Расскажите об угловом и спектральном распределении тормозного излучения.
- Вопрос 11. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц, Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.
- Вопрос 12. 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 13. 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 14. 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 15. 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 16. Что такое ливневые процессы? В результате каких взаимодействий они образуются? Состав ливней ?
- *Вопрос 17. Наиболее общие свойства ливневых процессов и характеристики каскадных кривых на примере взаимодействия излучения со свинцом.
- Вопрос 18. 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 19. Фотоэлектрическое взаимодействие γ -квантов с веществом. Характеристическое излучение. Сечение фотоэффекта и его основные закономерности. Угловое распределение фотоэлектронов.

Вопрос 20. Комптоновское рассеяние γ -квантов. Сечение рассеяния и зависимость дифференциального сечения от угла рассеяния.

Вопрос 21. Что такое δ -электроны и что такое Оже-электроны, в каких процессах они образуются?

Вопрос 22. Эффект образования пар. Пороговая энергия и сечение образования пар. Общий характер взаимодействия фотонов высокой энергии с веществом. Суммарное сечение взаимодействия.

*Вопрос 23. Удельная ионизация и энергия ионообразования. В чем заключаются основные отличия взаимодействия позитронов с веществом по сравнению с электронами?

Вопрос 24. На каком принципе действия осуществляется работа ионизационной камеры? Нарисуйте вольт-амперную характеристику и укажите рабочую область ионизационной камеры при постоянной ионизации. Объясните поведение данной характеристики. Зависимость тока насыщения от ионизации.

Вопрос 25. Ионизационные камеры для α -излучения. Ионизационные камеры для β -излучения и для дозиметрии быстрых электронов. Примеры использования.

Вопрос 26. Какими существенными конструктивными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с α -, β -, γ -излучениями? Приведите примеры.

Вопрос 27. Импульсная ионизационная камера. Расскажите о работе ионизационной камеры в импульсном режиме..

Вопрос 28. 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 29. Газоразрядные счетчики (сравнительно с пропорциональными) : приблизительно какая точка на вольт-амперной характеристике соответствует началу области газового разряда? Чем ограничено развитие разряда в счетчике?

Вопрос 30. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время?

Вопрос 31. Что Вы знаете о самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время?

Вопрос 32. Каким образом распространяется разряд в самогасящемся счетчике? Какие экспериментальные конструкции счетчика подтверждают данное распространения разряда?

Вопрос 33. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?

Вопрос 34. 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 35. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?



Вопрос 36. Расскажите об эффективности регистрации газоразрядными счетчиками заряженных частиц, γ -излучения и нейтронов. Какие меры необходимо предпринять, чтобы увеличить эффект их регистрации?

Вопрос 37. Галогенные счетчики. Принцип работы, достоинства и недостатки.

Вопрос 38. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.

Вопрос 39. Органические сцинтилляторы. Состав и физико-химические характеристики. Процесс сцинтилляций.

Вопрос 40. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Резонансное излучение. Реабсорбция.

Вопрос 41. Внутреннее тушение. Сместители спектра. Оптическая и термическая активация.

Вопрос 42. Дозиметрические характеристики сцинтилляторов. Медленные и быстрые компоненты.

Вопрос 43. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.

Вопрос 44. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.

Вопрос 45. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ.

Вопрос 46. Коэффициент усиления ФЭУ. Объемный заряд и шумы ФЭУ.

Вопрос 47. Характеристики сцинтилляционных счетчиков. Схема включения и форма импульса. Временное и энергетическое разрешение. Амплитудное распределение импульсов. Эффективность регистрации.

Вопрос 48. На каком принципе осуществляется работа Черенковских счетчиков. Энергетический порог излучения. Как зависят потери на излучение от атомного номера Z среды?

Вопрос 49. Какие конструкции детекторов Вавилова-Черенкова Вы знаете? Какие вещества применяют в качестве радиаторов для этих детекторов?

Вопрос 50. 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 51. 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 52. Расскажите о счетчиках с р-п 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 53. Расскажите о счетчиках с р-і-п переходом. Распределение объемного заряда. За счет чего в этих детекторах увеличивается чувствительный слой (укажите еще его другое название)? Токи утечки.

Вопрос 54. Энергетическое и временное разрешение ППД. Форма импульса и форма линии ППД. Применение ППД для решения практических задач.



**Вопросы к экзамену по ЭМЯФ
(9^й семестр)**

- Вопрос 1. Расскажите об устройстве камеры Вильсона и физических принципах ее работы. Цикл работы камеры Вильсона. Каким образом регистрируется частица в камере, и с какой точностью?
- Вопрос 2. Расскажите об устройстве диффузионной камеры. В чем ее отличие от камеры Вильсона?
- Вопрос 3. Ядерные фотоэмульсии. Основные представления о фотографическом процессе.
- Вопрос 4. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом ядерной эмульсии. Определение пробегов и энергии частиц. Толщина слоев ядерной фотоэмульсии.
- Вопрос 5. Принцип действия искровой камеры. Механизм пробоя в газе между двумя плоскими электродами.
- Вопрос 6. Стримерная камера и особенности ее конструкции. Наполнение камеры. Временные характеристики. Способы получения информации.
- Вопрос 7. Проволочная искровая камера. Методы съема информации.
- Вопрос 8. Многодетекторные системы: телескоп и годоскопы.
- Вопрос 9. Многопроволочная пропорциональная камера. Конструкция, силовые линии, образования лавин, механическая прочность. Съём сигнала.
- Вопрос 10. Плоская дрейфовая камера. Принцип действия, отличие от пропорциональной камеры, право-левая неоднозначность. Безэлектродная дрейфовая камера.
- Вопрос 11. Спектротрометрия излучений. Основная терминология: спектр, аппаратный спектр, спектральная линия и ее ширина. Разрешение и светосила спектрометра.
- Вопрос 12. Принцип действия магнитного спектрометра. Соотношение между магнитной жесткостью, импульсом и энергией частиц. Восстановление спектра электронов по аппаратному.
- Вопрос 13. Магнитный спектрометр с поперечным полем. Спектрометр с полукруговой фокусировкой.
- Вопрос 14. Сферическая абберрация и разрешение спектрометра с полукруговой фокусировкой. Влияние конечных размеров источника на ширину изображения. Базисное разрешение для спектрометра Даныша. Общие понятия о влиянии размеров источника на разрешение спектрометра.
- Вопрос 15. Форма линии спектрометра Даныша и методы регистрации частиц. Очень кратко об основных недостатках спектрометра Даныша и путях дальнейшего усовершенствования спектрометра с полукруговой фокусировкой.
- Вопрос 16. Улучшенные варианты магнитных спектрометров с поперечным полем. Основные принципы, используемые в конструкции спектрометра с двойной фокусировкой.
- Вопрос 17. Спектрометры с секторным полем. Правило Барбера. Принцип фокусировки в секторном спектрометре с полем $\sim 1/r$.
- Вопрос 18. Спектрометр типа «апельсин». *Тороидальные спектрометры**. Спектрометр с круговыми орбитами.
- Вопрос 19. Магнитные спектрометры для измерения энергии γ -излучения. Основные принципы.
- Вопрос 20. Комптоновские магнитные спектрометры. Конвертор и ширина изображения источника.



- Вопрос 21. Парный магнитный спектрометр.
- Вопрос 22. Кристалл-дифракционная спектроскопия ядерного γ -излучения. Дифракция γ -излучения на плоском кристалле.
- Вопрос 23. Условие Вульфа- Брэгга. Толстый и тонкий кристалл, мозаичность кристалла.
- Вопрос 24. Спектрометр с изогнутым кристаллом. Спектрометры Дю Монда и Кошуа.
- Вопрос 25. Дифракционный спектрометр с двумя плоскими кристаллами.
- Вопрос 26. Сцинтилляционные γ -спектрометры. Однокристалльные сцинтилляционные γ -спектрометры (общие понятия).
- Вопрос 27. Аппаратурная форма линии сцинтилляционного γ -спектрометра. Физические процессы, приводящие к формированию наиболее характерных участков АФЛ. Способы улучшения формы аппаратурной линии γ -спектрометра .
- Вопрос 28. Методы определения положения и площади пика полного поглощения. Графический метод для определения положения и площади пика полного поглощения.
- Вопрос 29. Метод линеаризации для определения положения и площади пика полного поглощения.
- Вопрос 30. Метод среднего взвешивания для определения положения и площади пика полного поглощения. Метод параболы для определения положения и площади пика полного поглощения.
- Вопрос 31. Расшифровка спектра (уравнение Фредгольма, анализ ППП, энергетическое разрешение). Эффективность регистрации.
- Вопрос 32. Градуировочная характеристика спектрометра по энергии. Образцовые источники для градуировки γ -спектрометров.
- Вопрос 33. Многокристалльные сцинтилляционные γ -спектрометры. Комптоновские сцинтилляционные γ -спектрометры. Спектрометр со сложением импульсов.
- Вопрос 34. Сцинтилляционные парные γ -спектрометры. Сцинтилляционные γ -спектрометры с защитой антисовпадениями.
- Вопрос 35. Обработка линейчатых спектров. Обработка одномерных линейчатых спектров. Основные этапы анализа. Сглаживание спектра.
- Вопрос 36. Автоматический поиск пиков. Основные методы поиска пиков: Метод максимума; Метод плавающего отрезка; Метод первой производной; Метод второй производной; Метод сглаживания.
- Вопрос 37. Примеры применения детекторов: Детекторы в медицине; применение в геофизике; применение в космических исследованиях и ядерной физике.



ЗАДАНИЕ № 1

Экспериментальные методы ядерной физики

ТПУ, ФТФ, Кафедра ПФ, 2009 г.
Составил: доцент Кашковский В.В.

1. Какие источники ионизирующего излучения существуют на Земле? Что такое детектор (в общем физическом смысле) и каким образом с его помощью осуществляется регистрация излучения? Приведите примеры.
2. Каким образом происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?
3. Что такое ионизационные потери заряженных частиц? Дать кратко постановку задачи по нахождению данного вида потерь энергии.
4. Что такое дифференциальное сечение столкновения заряженной частицы с веществом и какими максимальными и минимальными параметрами соударений (прицельными) оно характеризуется?
5. Проанализируйте выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением?
6. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.

1.1. Получить выражения, связывающие кинетическую энергию и импульс частиц в релятивистском случае. Убедиться, что при $E \leq mc^2$, выражения переходят в классические.

1.2. Экспериментатору предстоит исследовать спектр электронов в диапазоне кинетических энергий от 0.1 до 10 МэВ. На какой диапазон импульсов должна быть настроена магнитная система спектрометра.

Таблица 1.1

Заданные значения импульсов и скоростей к задаче 1.3

Скорость v , в единицах c	Импульс P , МэВ/ c	Частица ?	Энергия полная	Энергия кинет.	№ п/п
0.96	1.752				1
0.95	1.55468				2
0.94	1.4079				3
0.93	1.29293				4
0.95	321.4608				5
0.94	291.1106				6
0.93	267.3388				7
0.92	248.0269				8
0.94	384.5345				9
0.93	353.1337				10
0.92	327.6243				11
0.91	306.3284				12
0.93	1249.078				13
0.92	1158.848				14
0.91	1083.522				15
0.90	1019.295				16
0.92	2202.543				17
0.91	2059.376				18
0.90	1937.305				19
0.89	1831.449				20

1.3. Магнитная линза выделяет частицы с импульсом Pc , а затем черенковский детектор измеряет их скорость, которая оказалась равной v . Чему равна кинетическая энергия частиц? Чему равна полная энергия и что это за частицы?

1.4. При прохождении заряженной частицы через вещество ее электрическое поле взаимодействует с полем атомных электронов и может передавать им энергию, возбуждая или ионизуя атомы среды. Получить выражение для удельных ионизационных потерь энергии заряженной частицы, масса которой больше массы электронов.

ЛИТЕРАТУРА:

- Кашковский В.В., Лекции;
- Список рекомендованной литературы



ЗАДАНИЕ № 2

Экспериментальные методы ядерной физики

ТПУ, ФТФ, Кафедра ПФ, 2009 г.
Составил: доцент Кашковский В.В.

1. Насколько сильно различается взаимодействие электронов с веществом от взаимодействия тяжелых заряженных частиц. Приведите рисунок распределения электронов по энергии после прохождения барьеров различной толщины.
2. Что такое вероятные потери энергии и как соотносятся экспериментальные и теоретические результаты при исследовании этих потерь?
3. 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?
4. Расскажите об угловом и спектральном распределении тормозного излучения.
5. Каким образом происходит рассеяние тяжелых заряженных частиц. Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.
6. Как сильно рассеяние электронов отличается от рассеяния тяжелых заряженных частиц? Какой закономерности подчиняется распределение электронов по углам рассеивания? Какие виды рассеивания электронов Вы знаете?

Таблица 2.1

1.5. Найти минимум удельных потерь энергии, а также скорость и кинетическую энергию частицы (протона), соответствующие минимуму. Учесть, что средний потенциал ионизации для вещества ${}^Z_A X$ определяется по формуле Штернгеймера :

$$\bar{I} = Z \cdot (9.76 + 58.8 \cdot Z^{-1.19}).$$

Данные к задаче 1.5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
${}^Z X_A$	Be	C	Mg	Si	Cl	K	Ti	Ni

Вариант	9	10	11	12	13	14	15
${}^Z X_A$	Mo	Au	Pb	W	U	Ag	B

1.6. Вычислить удельные потери энергии α -частицы с энергией 5.15 МэВ в газообразном аргоне ${}^{18}_{40}Ar$.

1.7. Сравните удельные потери энергии в начальных участках треков А- и В-частиц с энергией E в кристалле XY.

Таблица 2.2

Данные к задаче 1.7.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Частицы, А, В	α, β	α, β	p, β	p, β	p, β	p, β	α, β	α, β	p, β	p, β	α, β	α, β	p, β	p, β	α, β
Энергия, МэВ	5	7.5	12	20	5	6	7	8	9	10	12	15	20	10	20
Кристалл XY	Al_2O_3	Cu_2S	$MgCl_2$	SiO_2	$NaBr$	NaI	KBr	KI	CzI	ZnS	$NaCl$	KCl	$C_{14}H_8$	$C_{14}H_{10}$	$C_{14}H_{12}$

1.12. При взаимодействии заряженной частицы с зарядом ze и массой m , движущейся со скоростью v на расстоянии b от покоящейся частицы с зарядом $z'e$, налетающая частица отклоняется на угол ϑ . Определить этот угол.

1.13. Определить, как различаются углы, на которые рассеется заряженная частица с зарядом ze и массой m , движущаяся со скоростью v , при столкновении с электроном или ядром с зарядом Ze . Параметр соударения (прицельный параметр) равен b .

ЛИТЕРАТУРА:

- Кашковский В.В., Лекции;
- Список рекомендованной литературы



ЗАДАНИЕ № 3

Экспериментальные методы ядерной физики

ТПУ, ФТФ, Кафедра ПФ, 2009 г.
Составил: доцент Кашковский В.В.

1. Объясните, что понимается под понятием « флуктуации длин пробегов ». Какому закону подчиняется распределение пробегов тяжелых заряженных частиц? Примеры эмпирических зависимостей для пробега тяжелых заряженных частиц.
2. Что такое осколки деления? Расскажите об отличиях в потерях энергии, при прохождении через вещество осколков деления по сравнению с протонами и α - частицами.
3. 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.
4. Объясните, что такое распределение остановившихся электронов? Как сильно отличается распределение остановившихся электронов от кривых поглощения электронов, или дозных кривых за барьером?

1.14. Найти дифференциальное сечение рассеяния на угол ϑ заряженных частиц с зарядом ze и массой m , движущихся со скоростью v , на покоящихся атомных ядрах с зарядом Ze . Вычислить дифференциальное сечение рассеяния α -частиц с энергией 5.15 МэВ в телесный угол $d\Omega$ на угол $\vartheta = 60^\circ$ в Cu .

1.15. Соотношение пробег-энергия для протонов в воздухе в диапазоне энергий протонов 2 - 200 МэВ имеет вид $R_p = 1.8 \cdot E_p^{1.8}$. Получить соотношение пробег - энергия для дейтронов в воздухе. Указать диапазон энергий, для которого это соотношение справедливо.

1.16. Частицы с энергией E попадают в ионизационный детектор через окошко из металлической фольги толщиной Δ см. Определить энергию частиц в детекторе. Учесть, что соотношение пробег-энергия для протонов в воздухе в диапазоне энергий протонов 2 - 200 МэВ имеет вид $R_p = 1.8 \cdot E_p^{1.8}$.

Подсказка: условно можно принять, что детектор выполнен из того же самого материала, что и окошко, а пробег в веществе 1 связан с пробегом в веществе 2 зависимостью $R_1 = R_2 \cdot (\rho_2 \cdot A_1^{1/3}) / (\rho_1 \cdot A_2^{1/3})$, где ρ - плотность вещества, A - атомный вес.

1.17. Считая, что на всем пробеге выполняется условие $R = a \cdot E^b$ получить выражение для

Таблица 3.1

Данные к задаче 1.16

Материал фольги	Ti	Be	Au	Ni	Cu	Ag	Ti	Be	Au	Ni	Cu	Ag	Ta	Al
Толщина фольги Δ , см	0.01	0.02	0.015	0.025	0.015	0.02	0.01	0.02	0.015	0.025	0.015	0.02	0.005	0.01
Частица	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p	p	d
Энергия, E МэВ	20	18	35	100	30	35	20	18	35	100	30	35	65	10

распределения ионизации по длине пробега (для кривой Брэгга)

$$\frac{d(E_0 - E_x)}{dx} = \bar{w} \cdot \frac{dn}{dx}$$

1.8. Образование δ -электрона обычно рассматривают, считая соударения налетающей частицы с атомными электронами упругими, т.е. пренебрегая энергией связи атомных электронов, а также энергией их кинетического движения. Пусть заряженная частица с импульсом P , упруго рассеивается на покоящемся электроне. Вычислить импульс рассеянной частицы, как функцию угла, под которым вылетают δ -электроны. Найти максимальную энергию, теряемую частицей при столкновении.

ЛИТЕРАТУРА:

- Кашковский В.В., Лекции;
- Список рекомендованной литературы



Сборник задач по ЭМЯФ к зачету
(9^й семестр)

Задача 1. Считая, что пик полного поглощения в амплитудном распределении описывается кривой нормального распределения, выразить площадь под пиком через значения n_{\max} и Γ .

Задача 2. При вычислении площади, высоты и ширины реальных пиков, при проверке соответствия этих пиков нормальному распределению нужно знать многие характеристики нормального распределения. Найти:

- Абсциссы и ординаты точек перегиба;
- Уравнение касательных в точках перегиба;
- Высоту и основание треугольника, образуемого касательными и осью абсцисс.

Задача 3. Выразить площадь под нормальным распределением через площадь треугольника, образованного касательной в точке перегиба и осью абсцисс.

Задача 4. Найти связь между энергетическим и амплитудным разрешением.

Задача 5. Сравнить относительные энергетические разрешения спектрометра при выделении в нем энергии E одной порцией и при выделении в нем той же энергии, но в виде двух порций $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon$. Причем относительное энергетическое разрешение зависит от энергии по закону

$$\omega = (A + B / \varepsilon)^{1/2} , \quad (1)$$

где A и B соответствуют характеристикам сцинтилляционного детектора.

Задача 6. В сцинтилляционном γ -спектрометре энергетическое разрешение зависит от энергии квантов по закону

$$\omega = (A + B / \varepsilon)^{1/2} , \quad (1)$$

где $A=4.5 \cdot 10^{-3}$; $B=1.57 \cdot 10^{-3}$ МэВ.

Вычислить ожидаемое разрешение в пике суммирования каскадных γ -квантов ${}^{60}_{27}\text{Co}$ ($T_{1/2}=5.271$ года; $\varepsilon_1=1.173$ МэВ, ; $\varepsilon_2=1.332$ МэВ). Сравнить это разрешение с тем, которое получалось бы, если бы суммарная энергия выделилась одной порцией.

Задача 7. Тщательными измерениями было установлено, что пик полного поглощения полупроводникового γ -спектрометра при регистрации γ -излучения ${}^{65}\text{Zn}$ хорошо описывается нормальным распределением с шириной на половине высоты, равной 0.4 кэВ.

Как изменится ширина пика, если измерения проводятся амплитудным анализатором с шириной канала 0.1 кэВ?

Задача 8. Сколько каналов должен занимать пик в амплитудном распределении, чтобы его уширение за счет анализатора не превышало 15 %.

Задача 9. Регистрация пиков в амплитудном распределении анализатором с конечной шириной канала ΔA приводит к деформации пика: его ширина увеличивается, а высота падает. Определить во сколько раз уменьшается скорость счета в максимуме пика, если $\Gamma = 10\Delta A$.

Задача 10. Можно ли разделить протоны и α -частицы, измеряя кривизну их траектории в магнитном поле и время пролета?

Задача 11. Параллельный пучок частиц падает на поверхность сферического детектора. Вычислить средний путь частицы через детектор (в полярной системе координат).



Задача 12. Частицы падают на тонкий диск в плоскости, перпендикулярной оси диска, так, что любые углы в этой плоскости между нормалью к поверхности диска и направлением движения частиц равновероятны. Определить средний путь через диск.

Задача 13. Вычислить телесный угол, охватываемый конусом, угол раствора которого равен 15° .

Задача 14. Вычислить телесный угол, под которым детектор в виде плоского диска диаметром 4 см видит точечный источник, расположенный над центром диска на расстоянии 6 см.

Задача 15. Какому углу при вершине конуса соответствует телесный угол, равный 3.141592 стерадиана.

Задача 16. Для регистрации излучения от заданного источника и для защиты от фона используют коллиматоры. Вычислить долю полного потока от изотропного источника, вырезаемую цилиндрическим коллиматором длиной 5 см и диаметром 1 см.

Задача 17. Для регистрации излучения от заданного источника и для защиты от фона используют коллиматоры. Вычислить долю полного потока от изотропного источника, вырезаемую цилиндрическим коллиматором длиной 10 см и диаметром 0,5 см.

Задача 18. Торцовый счетчик Гейгера, имеющий входное окно площадью 0.4 см^2 облучается β -источником, представляющим собой тонкую плоскую пластину со сторонами $2,2 \cdot 3,8 \text{ см}^2$, расположенную на расстоянии 5 см от окна счетчика.

Вычислить телесный угол, вырезаемый окном счетчика из изотропного источника излучения.

Задача 19. На детектор в виде плоской пластинки толщиной d падает параллельный пучок квантов плотностью n_0 . Вычислить число квантов, поглощенных в детекторе, если коэффициент поглощения равен μ , а площадь детектора S .

Задача 20. На плоский сцинтилляционный детектор с кристаллом $NaI(Tl)$ толщиной 2 см падает узкий параллельный пучок γ -квантов ^{65}Zn . Вычислить полную эффективность регистрации.

Задача 21. Сцинтилляционный детектор с кристаллом $NaI(Tl)$, работающий в счетном режиме, имеет время разрешения 0,5 мкс. Детектор регистрирует поток $3 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Чему равна относительная погрешность измерения?

Задача 22. Какие меры необходимо принять, чтобы отношение амплитуд импульсов от осколков деления и α -частиц было больше отношения их энергий?



Задание № 1 к курсовому проекту по ЭМЯФ

Расчет и конструирование секторного магнитного спектрометра

Использование магнитных полей для изучения энергетических распределений основано на зависимости силы F , действующей на заряженную частицу (электрон), от величины ее скорости:

$$F = e \cdot [V \cdot B]$$

и, в конечном счете, от энергии. Траектория движения электрона в магнитном поле удовлетворяет уравнению

$$\frac{m \cdot V^2}{r} = e \cdot \sin(V \cdot B),$$

где m , e – масса и заряд электрона, V – скорость, B – индукция магнитного поля, r – радиус кривизны траектории частицы. Вводя вместо скорости величину импульса электрона, движущегося в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной осевой линии, получим:

$$p = e \cdot B \cdot r.$$

На основании этого соотношения в β -спектрометрии импульс электрона принято выражать в единицах $B \cdot r$, так как произведение $B \cdot r$ наглядно показывает необходимые размеры прибора и требуемую индукцию магнитного поля.

В магнитном спектрометре непосредственно измеряют распределение электронов по импульсам $N(p)dP$. Для того, чтобы перейти к распределению по энергиям $N(E)dE$, необходимо учесть связь энергии с импульсом. Воспользуемся релятивистским выражением для кинетической энергии электрона:

$$E = m_0 \cdot c^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{e^2 \cdot (Brc)^2}{(m_0 \cdot c^2)^2} + 1} - 1 \right].$$

Продифференцируем это соотношение, находим связь между dE и dP :

$$dE = \frac{E}{Br} \cdot \frac{E + 2 \cdot m_0 \cdot c^2}{E + m_0 \cdot c^2} \cdot d(Br) = f(Br)d(Br).$$

Определив $f(Br)$, легко перейти от $N(p)$ к $N(E)$.

Магнитный спектрометр является электронно-оптической системой с детектором, помещенным в месте расположения изображения источника электронов. Конечные размеры источника и счетчика, а также наличие aberrаций системы приводит к тому, что моноэнергетические электроны регистрируются как линия конечной ширины ΔHr . За ширину линии обычно принимают ее значение на половине высоты (полуширина).

При использовании однородного поля в поперечном спектрометре, траектории электронов являются окружностями. Поперечное однородное магнитное поле фокусирует электроны только в одной плоскости.

Проектируемый магнитный спектрометр предназначен для измерения энергетического распределения электронов в пучке, выведенном из линейного ускорителя или бетатрона, а также для измерения энергетического распределения электронов, испускаемых β -источником. Магнитопровод выполняется из мягкого железа (типа трансформаторной стали) с наиболее высокими магнитными характеристиками.

1. Максимальная энергия электронов в пучке – 6 МэВ.
2. Требуется рассчитать габаритные размеры секторного спектрометра с однородным полем и углом поворота $\sim 90^\circ$. Индукцию магнитного поля необходимо выбрать исходя из наилучших магнитных характеристик используемого железа.
3. Рассчитать силовую обмотку спектрометра исходя из того, что питание магнита необходимо осуществлять от стандартного стабилизированного регулируемого источника с током 3А и максимальным напряжением 30 В.
4. Рассчитать траектории частиц в спектрометре и ожидаемое фокусное пятно.
5. Сконструировать вакуумную камеру спектрометра. Предусмотреть либо размещение β -источника внутри камеры либо окно для входа пучка от ускорителя (и то и другое).
6. Определить размещение, тип и размеры детектора для съема информации.
7. Рассчитать энергетическое разрешение спектрометра.
8. Начертить общий вид разработанного устройства и деталировку (желательно) камеры.
9. В отчете должны быть отражены все результаты расчетов, все графики, приведен список использованной литературы.



Задание № 3 к курсовому проекту по ЭМЯФ

Расчет и конструирование магнитного спектрометра с полукруговой фокусировкой

Использование магнитных полей для изучения энергетических распределений основано на зависимости силы F , действующей на заряженную частицу (электрон), от величины ее скорости:

$$F = e \cdot [V \cdot B]$$

и, в конечном счете, от энергии. Траектория движения электрона в магнитном поле удовлетворяет уравнению

$$\frac{m \cdot V^2}{r} = e \cdot \sin(V \cdot B),$$

где m , e – масса и заряд электрона, V – скорость, B – индукция магнитного поля, r – радиус кривизны траектории частицы. Вводя вместо скорости величину импульса электрона, движущегося в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной осевой линии, получим:

$$p = e \cdot B \cdot r.$$

На основании этого соотношения в β -спектрометрии импульс электрона принято выражать в единицах $B \cdot r$, так как произведение $B \cdot r$ наглядно показывает необходимые размеры прибора и требуемую индукцию магнитного поля.

В магнитном спектрометре непосредственно измеряют распределение электронов по импульсам $N(p)dP$. Для того, чтобы перейти к распределению по энергиям $N(E)dE$, необходимо учесть связь энергии с импульсом. Воспользуемся релятивистским выражением для кинетической энергии электрона:

$$E = m_0 \cdot c^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{e^2 \cdot (Brc)^2}{(m_0 \cdot c^2)^2} + 1} - 1 \right].$$

Продифференцируем это соотношение, находим связь между dE и dP :

$$dE = \frac{E}{Br} \cdot \frac{E + 2 \cdot m_0 \cdot c^2}{E + m_0 \cdot c^2} \cdot d(Br) = f(Br)d(Br).$$

Определив $f(Br)$, легко перейти от $N(p)$ к $N(E)$.

Магнитный спектрометр является электронно-оптической системой с детектором, помещенным в месте расположения изображения источника электронов. Конечные размеры источника и счетчика, а также наличие aberrаций системы приводит к тому, что моноэнергетические электроны регистрируются как линия конечной ширины ΔHr . За ширину линии обычно принимают ее значение на половине высоты (полуширина).

При использовании однородного поля в поперечном спектрометре, траектории электронов являются окружностями. Поперечное однородное магнитное поле фокусирует электроны только в одной плоскости.

Проектируемый магнитный спектрометр предназначен для измерения энергетического распределения электронов в пучке, выведенном из линейного ускорителя или бетатрона, а также для измерения энергетического распределения электронов, испускаемых β -источником. Магнитопровод выполняется из мягкого железа (типа трансформаторной стали) с наиболее высокими магнитными характеристиками.

1. Максимальная энергия электронов в пучке – 10 МэВ.
2. Требуется рассчитать габаритные размеры спектрометра с полукруговой фокусировкой (с однородным полем и углом поворота $\sim 180^\circ$). Напряженность магнитного поля необходимо выбрать исходя из наилучших магнитных характеристик используемого железа.
3. Рассчитать силовую обмотку спектрометра исходя из того, что питание магнита необходимо осуществлять от стандартного стабилизированного регулируемого источника с током 3А и минимальным напряжением.
4. Рассчитать траектории частиц в спектрометре и ожидаемое фокусное пятно.
5. Сконструировать вакуумную камеру спектрометра. Предусмотреть либо размещение β -источника внутри камеры либо окно для входа пучка от ускорителя (и то и другое).
6. Определить размещение, тип и размеры детектора для съема информации.
7. Рассчитать энергетическое разрешение спектрометра.
8. Начертить общий вид разработанного устройства и детализировку (желательно) камеры.
9. В отчете должны быть отражены все результаты расчетов, все графики, приведен список использованной литературы.



Задание № 5 к курсовому проекту по ЭМЯФ

Расчет и конструирование магнитного спектрометра с двойной фокусировкой

Использование магнитных полей для изучения энергетических распределений основано на зависимости силы F , действующей на заряженную частицу (электрон), от величины ее скорости:

$$F = e \cdot [V \cdot B]$$

и, в конечном счете, от энергии. Траектория движения электрона в магнитном поле удовлетворяет уравнению

$$\frac{m \cdot V^2}{r} = e \cdot \sin(V \cdot B),$$

где m , e – масса и заряд электрона, V – скорость, B – индукция магнитного поля, r – радиус кривизны траектории частицы. Вводя вместо скорости величину импульса электрона, движущегося в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной осевой линии, получим:

$$p = e \cdot B \cdot r.$$

На основании этого соотношения в β -спектрометрии импульс электрона принято выражать в единицах $B \cdot r$, так как произведение $B \cdot r$ наглядно показывает необходимые размеры прибора и требуемую индукцию магнитного поля.

В магнитном спектрометре непосредственно измеряют распределение электронов по импульсам $N(p)dP$. Для того, чтобы перейти к распределению по энергиям $N(E)dE$, необходимо учесть связь энергии с импульсом. Воспользуемся релятивистским выражением для кинетической энергии электрона:

$$E = m_0 \cdot c^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{e^2 \cdot (Brc)^2}{(m_0 \cdot c^2)^2} + 1} - 1 \right].$$

Продифференцируем это соотношение, находим связь между dE и dP :

$$dE = \frac{E}{Br} \cdot \frac{E + 2 \cdot m_0 \cdot c^2}{E + m_0 \cdot c^2} \cdot d(Br) = f(Br)d(Br).$$

Определив $f(Br)$, легко перейти от $N(p)$ к $N(E)$.

Магнитный спектрометр является электронно-оптической системой с детектором, помещенным в месте расположения изображения источника электронов. Конечные размеры источника и счетчика, а также наличие aberrаций системы приводит к тому, что моноэнергетические электроны регистрируются как линия конечной ширины ΔHr . За ширину линии обычно принимают ее значение на половине высоты (полуширина).

При использовании однородного поля в поперечном спектрометре, траектории электронов являются окружностями. Поперечное однородное магнитное поле фокусирует электроны только в одной плоскости.

Проектируемый магнитный спектрометр предназначен для измерения энергетического распределения электронов в пучке, выведенном из линейного ускорителя или бетатрона, а также для измерения энергетического распределения электронов, испускаемых β -источником. Магнитопровод выполняется из мягкого железа (типа трансформаторной стали) с наиболее высокими магнитными характеристиками.

1. Максимальная энергия электронов в пучке – 12 МэВ.
2. Требуется рассчитать габаритные размеры спектрометра с полем изменяющимся по радиусу по закону $\sim r^{-1/2}$ и углом поворота $\sim 255^\circ$ (спектрометр с двойной фокусировкой). Индукцию магнитного поля необходимо выбрать исходя из наилучших магнитных характеристик используемого железа.
3. Рассчитать силовую обмотку спектрометра исходя из того, что питание магнита необходимо осуществлять от стандартного стабилизированного регулируемого источника с током 3А и минимальным напряжением.
4. Рассчитать траектории частиц в спектрометре и ожидаемое фокусное пятно.
5. Сконструировать вакуумную камеру спектрометра. Предусмотреть либо размещение β -источника внутри камеры либо окно для входа пучка от ускорителя (и то и другое).
6. Определить размещение, тип и размеры детектора для съема информации.
7. Рассчитать энергетическое разрешение спектрометра.
8. Начертить общий вид разработанного устройства и детализовку (желательно) камеры.
9. В отчете должны быть отражены все результаты расчетов, все графики, приведен список использованной литературы.



Задание №15 к курсовому проекту по ЭМЯФ
Устройство для измерения средней энергии электронного пучка ускорителя

Известно, что для моноэнергетического излучения энергию электронного пучка наиболее просто можно определить по величине экстраполированного пробега электронов в веществе. Энергия электронов в пучке и величина экстраполированного пробега частиц в алюминии связаны эмпирической зависимостью

$$R = 0.526 \cdot E - 0.094, \quad (1)$$

где: R – экстраполированный пробег в г/см²; E – кинетическая энергия электронов, МэВ. Экстраполированный пробег определяют тремя способами:

- по кривой пропускания;
- по распределению дозы за барьером;
- по распределению остановившихся электронов.

При определении экстраполированного пробега по кривой пропускания прибегают к следующей процедуре.

На пути пучка между выпускным окном ускорителя и приемником тока (цилиндром Фарадея) помещают тонкую пластинку из алюминия и измеряют ток, затем прибавляют еще следующую пластинку и опять регистрируют ток, значение его должно начать уменьшаться. Затем повторяют эту процедуру до окончательного уменьшения тока и строят график. По графику можно увидеть, что ток в цилиндре Фарадея сначала убывает медленно, затем следует участок быстрого спада, заканчивающийся пологим хвостом. За экстраполированный пробег принимают толщину поглотителя, получающуюся при пересечении касательной к резко падающей части графика с осью абсцисс. Таким образом, для определения энергии необходимо провести значительное количество измерений. Каждое такое измерение при ручной установке пластин связано с необходимостью периодического выключения ускорителя и затем последующего его включения. Поэтому вся эта процедура требует больших затрат времени, но а точность измерения при этом остается невысокой из-за неидентичности восстанавливаемых условий.

Метод определения экстраполированного пробега по распределению дозы за барьером (или по распределению остановившихся электронов) подобен описанной выше процедуре и обладает теми же самыми недостатками.

Существует экспресс-методика определения энергии электронов с помощью секционированного цилиндра Фарадея. Сущность её заключается в том, что весь набор изолированных друг от друга пластин помещен в единый корпус и от каждой пластины сигнал через переключатель выводится к измерительному прибору на пульте. Подключая последовательно к измерительному прибору сигналы с пластин, строят график, по которому затем находят экстраполированный пробег и энергию электронов. Измерение энергии электронов в пучке таким способом также требует достаточно большого времени, при этом на точность измерения влияет нестабильность интенсивности излучения ускорителя, поскольку на опрос всех пластин уходит несколько минут. Много времени уходит на графические построения.

Цель проекта заключается в разработке автоматического устройства для измерения средней энергии электронов в пучке за время, соответствующее одному импульсу излучения ускорителя.

Основные данные для расчета:

1. Диаметр входного отверстия коллиматора электронного пучка 20-40 мм.
2. Материал пластин – алюминий.
3. Ориентировочное значение потока частиц на входе устройства 10^6 - 10^8 частиц за импульс излучения.
4. Частота импульсов излучения 50-200 гц.
5. Длительность импульса излучения ~ 3-7 мкс.



Задание

1. Устройство для автоматического измерения энергии должно представлять собой прибор, типа секционированного цилиндра Фарадея, электронную схему деления сигналов, снимаемых с разных частей секционированного цилиндра Фарадея, и схему преобразования информации в численное значение энергии.
2. По заданным граничным значениям энергии электронов (нижнему и верхнему) E_1 и E_2 рассчитать распределение поглощенной дозы за барьером из алюминия. Расчет производить по программе, разработанной на основе алгоритма, предложенного Tatsuo Tabata.
3. В графическом редакторе по данным расчета построить распределение дозы за барьером от электронного пучка со значениями энергии, равными E_1 и E_2 .
4. Определить число пластин из алюминия, толщиной по 1 мм, соответствующее максимальному пробегу электронов верхней граничной энергии E_2 .
5. Из общего набора пластин выделить две группы пластин, чередующихся по порядку таким образом, чтобы отношение суммарной дозы за пластинами первой группы к суммарной дозе за пластинами второй группы для значения энергии E_1 электронов, находилось бы в такой же пропорции к аналогичному отношению суммарных доз за пластинами первой и второй групп для значения энергии E_2 , как отношение значений энергий E_1/E_2 (исходя из выбранной электронной схемы эти отношения можно поменять на им обратные). При этом измеряемая энергия в выбранном интервале между E_1 и E_2 будет определяться из соотношения

$$E = E_1 \cdot \frac{\sum D_1(E) / \sum D_2(E)}{\sum D_1(E_1) / \sum D_2(E_1)}, \quad (3)$$

где: $\sum D_1(E)$ и $\sum D_2(E)$ – суммарные дозы за пластинами первой и второй групп при измеряемой энергии электронов E . Аналогично и для других энергий, в том числе и для граничных значений.

6. Рассчитать погрешность прибора внутри заданного диапазона энергии, как отклонение определяемых по данным соотношениям значений энергии от линейной зависимости, проходящей через граничные значения.
7. Исходя из полученного распределения пластин по двум группам, рассчитать и сконструировать однотипные проходные ионизационные камеры с тонкими собирающими электродами. Эти камеры должны быть встроены между пластинами.
8. Рассчитать или подобрать из литературы подходящую схему деления суммарных сигналов. Разработать схему обработки информации, таким образом, чтобы сигнал на выходе соответствовал численно измеряемому значению энергии.
9. Начертить общий вид разработанного устройства; детализировку ионизационной камеры.
10. Начертить электронную схему прибора и сделать описание её работы.
11. В отчете должны быть отражены все результаты расчетов, все графики, приведен список использованной литературы.



1. ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1.1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

1.1. Получить выражения, связывающие кинетическую энергию и импульс частиц в релятивистском случае. Убедиться, что при $E \leq mc^2$, выражения переходят в классические.

1.2. Экспериментатору предстоит исследовать спектр электронов в диапазоне кинетических энергий от 0.1 до 10 МэВ. На какой диапазон импульсов должна быть настроена магнитная система спектрометра.

1.3. Магнитная линза выделяет частицы с импульсом 1.55 МэВ/С, а затем черенковский детектор измеряет их скорость, которая оказалась равной $v=0.95 \cdot c$. Чему равна кинетическая энергия частиц? Чему равна полная энергия и что это за частицы?

1.4. При прохождении заряженной частицы через вещество ее электрическое поле взаимодействует с полем атомных электронов и может передавать им энергию, возбуждая или ионизуя атомы среды.

Получить выражение для удельных ионизационных потерь энергии заряженной частицы, масса которой больше массы электронов.

1.5. Найти минимум удельных потерь энергии, а также скорость и кинетическую энергию частицы, соответствующие минимуму. Учесть, что средний потенциал ионизации (для водорода и урана) равен $\bar{I} = 15.6$ эВ для H_2 и $\bar{I} = 810$ эВ для U .

1.6. Вычислить удельные потери энергии α -частицы с энергией 5.15 МэВ в газообразном аргоне ${}^{18}_{40}Ar$.

1.7. Сравните удельные потери энергии в начальных участках треков α - и β -частиц с энергией 1 МэВ в кристалле NaI (${}^{23}_{11}Na$ ${}^{127}_{53}I$).

1.8. Образование δ -электрона обычно рассматривают, считая соударения налетающей частицы с атомными электронами упругими, т.е. пренебрегая энергией связи атомных электронов, а также энергией их кинетического движения. Пусть заряженная частица с импульсом P , упруго рассеивается на покоящемся электроне. Вычислить импульс рассеянной частицы, как функцию угла, под которым вылетают δ -электроны. Найти максимальную энергию, теряемую частицей при столкновении.

1.9. Получить выражение для спектра δ -электронов, рассматривая образование δ -электронов как результат упругого соударения налетающей частицы с атомными электронами и считая, что энергия, передаваемая частицей δ -электрону, равна энергии, потерянной частицей в столкновении.

1.10. Вычислить число δ -электронов, имеющих энергию >1 кэВ и образованных на 1 см пробега протоном с энергией 500 МэВ в газообразном аргоне при нормальном давлении (плотность ${}^{18}_{40}Ar$ равна 1.7837 кг/м³ при нормальном давлении и температуре).

1.11. В пузырьковой камере пузырьки вырастают на следах δ -электронов, если их энергия больше некоторой критической, равной 165 эВ в жидком водороде. Вычислить число пузырьков на 1 см пути мюона с энергией 314 МэВ в жидководородной пузырьковой камере. Масса мюона равна $1.8835 \cdot 10^{-28}$ кг или 0.113428 а.е.м.; $m_\mu \cdot c^2 = 105.658389$ МэВ; плотность жидкого водорода $\rho = 0.0708$ т/м³ при температуре $T = -252.8^\circ C$.



1.12. При взаимодействии заряженной частицы с зарядом ze и массой m , движущейся со скоростью v на расстоянии b от покоящейся частицы с зарядом $z'e$, налетающая частица отклоняется на угол ϑ . Определить этот угол.

1.13. Определить, как различаются углы, на которые рассеется заряженная частица с зарядом ze и массой m , движущаяся со скоростью v , при столкновении с электроном или ядром с зарядом Ze . Параметр соударения (*прицельный параметр*) равен b .

1.14. Найти дифференциальное сечение рассеяния на угол ϑ заряженных частиц с зарядом ze и массой m , движущихся со скоростью v , на покоящихся атомных ядрах с зарядом Ze . Вычислить дифференциальное сечение рассеяния α -частиц с энергией 5.15 МэВ в телесный угол $d\Omega$ на угол $\vartheta = 60^\circ$ в Cu .

1.15. Соотношение пробег-энергия для протонов в воздухе в диапазоне энергий протонов 2 - 200 МэВ имеет вид $R_p = 1.8 \cdot E_p^{1.8}$. Получить соотношение пробег - энергия для дейтронов в воздухе. Указать диапазон энергий, для которого это соотношение справедливо.

1.16. Дейтроны с энергией 15 МэВ попадают в ионизационный детектор через окошко из Al фольги толщиной 0.02 см. Определить энергию частиц в детекторе. Учесть, что соотношение пробег-энергия для протонов в воздухе в диапазоне энергий протонов 2 - 200 МэВ имеет вид $R_p = 1.8 \cdot E_p^{1.8}$.

1.17. Считая, что на всем пробеге выполняется условие $R = a \cdot E^b$ получить выражение для распределения ионизации по длине пробега (для кривой Брэгга)

$$\frac{d(E_0 - E_x)}{dx} = \bar{w} \cdot \frac{dn}{dx}.$$

1.2. ИОНИЗАЦИОННЫЕ И СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ. ТРЕКОВЫЕ ПРИБОРЫ

2.1. Вычислить форму электронной компоненты импульса тока в плоской ионизационной камере для частицы, вылетевшей из расположенного на отрицательном электроде источника перпендикулярно его плоскости. Пробег частицы распределен по пробегу в соответствии с кривой Брэгга

$$\frac{dn}{dx} = \frac{E_0}{\bar{w} \cdot b \cdot R_0} \cdot \left(1 - \frac{x}{R_0}\right)^{\frac{1}{b}-1}.$$

2.2. Получить выражение для импульса напряжения, возникающего на выходе детектора, который включен последовательно с сопротивлением нагрузки, если в детекторе формируется импульс тока $i(t)$.

2.3. Вычислить форму ионной компоненты импульса тока в цилиндрической камере для заряженной частицы, пролетевшей параллельно оси камеры на расстоянии r_0 от оси и образовавшей заряд q_0 . Радиус анода r_i , катода – r_a . К электродам приложено напряжение U .

2.4. Вычислить время собирания заряда в цилиндрической камере, заполненной жидким ксеноном – Xe . Заряды образуются при поглощении γ -квантов равномерно по объему камеры. Образованный в центре камеры заряд можно считать точечным. Радиус анода $r_i = 0.05$ см, радиус катода – $r_a = 1.1$ см. К электродам приложено напряжение $U = 6.2$ кВ. Принять, что для жидкого Xe подвижность положительных ионов $u^+ = 10^{-2}$



$\text{см}^2/\text{с}\cdot\text{В}$, а скорость дрейфа электронов почти не зависит от напряженности электрического поля и равна $v^- = 2 \cdot 10^5 \text{ см/с}$

2.5. Плоская камера облучается таким образом, что заряды образуются равномерно по объему камеры с постоянной скоростью. Пренебрегая рекомбинацией, диффузией и образованием объемных зарядов, получить выражения для плотности тока положительных и отрицательных зарядов.

2.6. Получить выражение для формы импульса на выходе пропорционального счетчика при RC много больше времени собирания положительных ионов.

2.7. Пропорциональный счетчик с электродами радиусами $r_i = 0.0125 \text{ см}$ и $r_a = 1.1 \text{ см}$, заполненный Ar до $1.33 \cdot 10^4 \text{ Па}$, облучается релятивистскими протонами, проходящими по диаметру. Коэффициент газового усиления равен $\mu = 55$. К электродам приложено напряжение $U = 800 \text{ В}$.

Вычислить полную амплитуду импульса заряда, полное время собирания ионов, а также время достижения амплитуды $0.5 Q_{\text{max}}$ и $0.25 Q_{\text{max}}$.

2.8. Какая масса воды достаточна для насыщения парами 10-литрового объема камеры Вильсона при температуре 23°C (воспользуйтесь данными табл. 1.1).

2.9. Определить температуру t_2 в камере Вильсона непосредственно после ее быстрого расширения. Камера наполнена смесью воздух – водяной пар, для которой $\gamma = C_p/C_v = 1.4$.

Температура стенок камеры $t_1 = 20^\circ \text{C}$, температурный коэффициент объемного расширения $k = V_2/V_1 = 1.25$ (V_1 – начальный, V_2 – конечный объем камеры).

2.10. Пересыщением S в камере Вильсона называют отношение плотности пара ρ_1 непосредственно после расширения (но до конденсации) к

Таблица 1.1
Давление паров воды и этилового спирта при различных температурах

Температура, $^\circ\text{C}$	Давление, мм рт. ст.		Температура, $^\circ\text{C}$	Давление, мм рт. ст.	
	вода	этиловый спирт		вода	этиловый спирт
35	42.188		5	6.54	17.70
30	31.834	78.41	4	6.01	16.62
28	28.35	70.09	3	5.68	15.69
25	23.76	59.03	2	5.29	14.60
24	22.38	55.70	1	4.92	13.65
23	21.07	52.54	0	4.58	12.73
22	19.83	49.54	-1	4.25	–
21	18.65	46.69	-2.0	3.95	–
20	17.54	44.00	-2.8	–	9.49
19	16.48	41.45	-3.0	3.67	–
18	15.48	39.05	-4.0	3.40	–
17	14.53	36.77	-5.0	3.16	–
16	13.64	34.62	-6.0	2.93	–
15	12.79	32.60	-7.0	2.71	–
14	11.99	30.69	-8.0	2.51	–
13	11.23	28.89	-9.0	2.32	–
12	10.52	27.19	-10.0	2.14	6.47
11	9.84	25.59	-10.6	–	5.20
10	9.21	24.08	-11.0	1.98	–
9	8.61	22.66	-12.0	1.83	–
8	8.05	21.31	-13.0	1.68	–
7	7.51	20.04	-16.5	–	3.23
6	7.01	18.84	-24.5	–	1.72

плотности насыщенного пара ρ_2 при температуре T_2 также непосредственно после

расширения. Найти выражение для пересыщения в функции от парциальных давлений p_1 и p_2 пара до, и после расширения, температурного коэффициента объемного расширения $k = V_2 / V_1$ и отношения удельных теплоемкостей $\gamma = C_p / C_v$ смеси.

2.11. Если γ_g и $\gamma_{нар.}$ – отношения удельных теплоемкостей C_p / C_v газа и пара в камере Вильсона, то коэффициент γ – смеси может быть определен по формуле Рихарца

$$\frac{1}{\gamma - 1} = \frac{1}{\gamma_g - 1} \cdot \frac{p_g}{p_g + p_{нар.}} + \frac{1}{\gamma_{нар.} - 1} \cdot \frac{p_{нар.}}{p_g + p_{нар.}},$$

где p_g и $p_{нар.}$ – парциальные давления газа и пара. Камера Вильсона работает на смеси воздуха с водяным паром.

Найти ее пересыщение для: 1) $p = 200$ мм рт. ст., 2) $p = 11400$ мм рт. ст. Начальная температура камеры 25°C ; температурный коэффициент объемного расширения $k = 1.2$; $\gamma_{воздух} = 1.4$; $\gamma_{H_2O} = 1.3$. Найти пересыщение при тех же давлениях, когда вместо водяного пара используется спирт ($\gamma_{спирт} = 1.25$).

2.12. Когда температурный коэффициент объемного расширения (в системе пар – воздух) превосходит 1.37, то даже при отсутствии ионизирующего источника во всей камере Вильсона появляется густой туман, который затем оседает. Определить, какое пересыщение соответствует такому расширению, если начальная температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$, а $\gamma = 1.374$.

2.13. Из-за соударения α -частиц с ядрами атомов в конце прямолинейных треков иногда заметны резкие изломы. Обычно на 100 следов α -частиц один след имеет излом. Вдоль трека α -частицы образуется $\sim 3 \cdot 10^5$ капелек тумана, из которых около одной трети возникает при первичной передаче энергии электрону атома. Определить относительную вероятность соударения α -частицы с ядром по сравнению с вероятностью соударения с атомом.

2.14. По сравнению с α -частицами (см. задачу 2.13) β -частицы образуют в камере Вильсона значительно более тонкие следы (около 50 ионов на 1 см длины). Следы β -частиц имеют прерывистый характер. Следы медленных β -частиц чрезвычайно извилисты. Определить на рис. 1.1 следы α -частиц, а также быстрых и медленных β -частиц.

2.15. На рис. 1.2 приведена фотография, полученная в камере Вильсона, находящейся в магнитном поле. Свинцовая фольга подвергалась просвечиванию γ -лучами с энергией 17 МэВ. Определить частицы, наблюдаемые в камере, и направление полета γ -квантов.

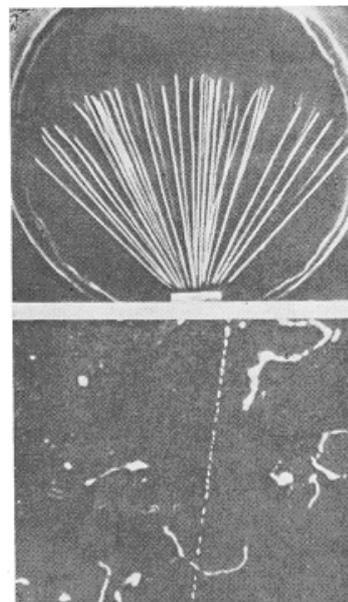


Рис.1.1

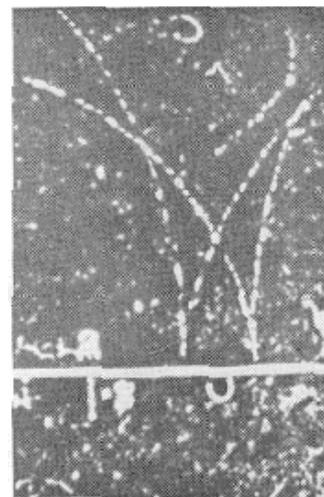


Рис. 1.2

2.16. На рис. 1.3, 1.4 приведены две фотографии камеры Вильсона, наполненной гелием и работающей в пучке γ -излучения синхротрона с энергией не более 150 МэВ. Определить следы каких частиц зарегистрированы на этих фотографиях.

2.17. На рис. 1.5 изображена фотография, полученная в камере Вильсона в магнитном поле с индукцией 1.8 Тл. Треки, указанные стрелками, вызваны электронами. Какой частице принадлежит центральный след?

2.18. С помощью камеры Вильсона производится попытка обнаружения двойного β -распада в Ca^{48} . С этой целью достаточно тонкий образец кальция массой 5 г, обогащенный до 85% изотопом Ca^{48} , помещается в камеру таким образом, что двойной β -распад, происходящий во время фотографирования, длящегося 0.15 с, может быть зарегистрирован. Геометрическая эффективность установки составляет 0.75. Определить, какое количество фотографий необходимо получить, чтобы убедиться, что период полураспада ядра превышает 10^{19} лет.

2.19. Определить энергию электрона E , если радиус кривизны r его следа в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле $B = 1.0$ Тл, составляет 2 м.

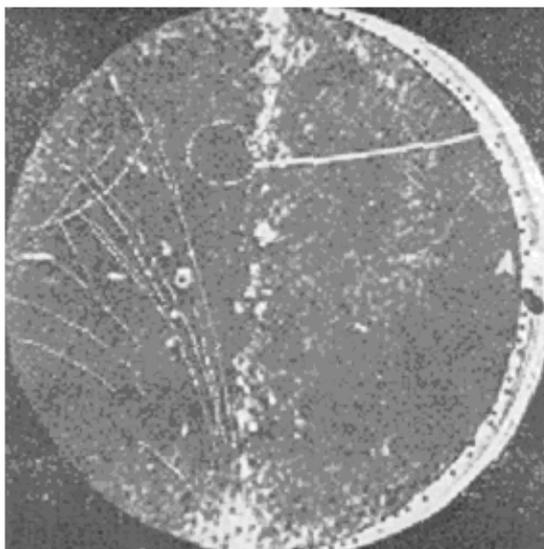


Рис. 1.3

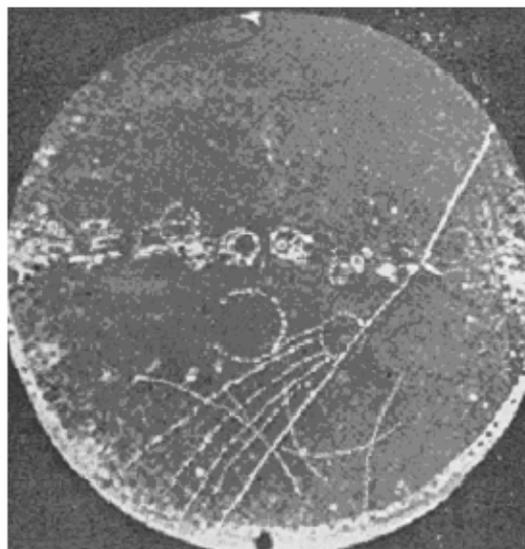


Рис. 1.4

2.20. Определить кинетическую и полную энергии протона по кривизне его следа в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле $B = 1.0$ Тл, если измеренная длина стрелы сегмента $h = 2.5$ мм при хорде $a = 20$ см.

2.21. Ионизирующие частицы, проходя через фотоэмульсию, воздействуют на

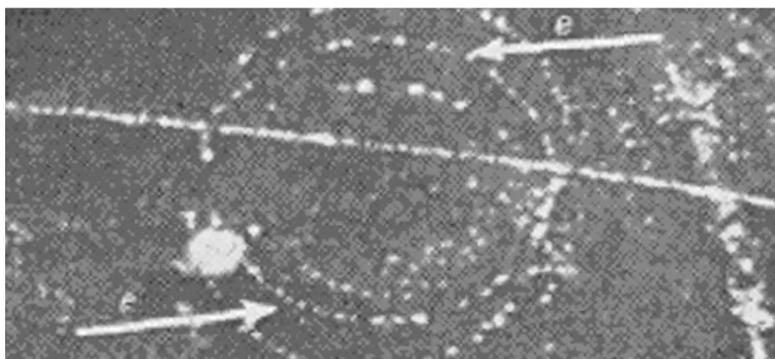


Рис. 1.5

кристаллы бромистого серебра таким образом, что после проявления они образуют ряд черных зерен галоидного серебра, расположенных вдоль следа частицы. Плотность зерен зависит от типа эмульсии, способа проявления и возрастает с увеличением удельных



потерь энергии ионизирующей частицы.

Выражение для средней потери энергии частицей на единице пути имеет вид

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi \cdot z^2 e^4 \cdot NZ}{(4\pi \cdot \epsilon_0)^2 m v^2} \cdot \left[\ln \frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 - \delta - u \right],$$

где ze – заряд частицы, v – ее скорость, NZ – число электронов в 1 см^3 вещества (с атомным номером Z , атомным весом A), m – масса электрона.

В удобном для вычислений виде формула для $(-dE/dx)$ может быть записана следующим образом

$$\left(-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dx} \right)_{\text{иониз}} \approx 2C \cdot \left[\ln \frac{1.02 \cdot 10^6 \cdot \beta^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 - \delta - u \right],$$

где $C = 0.154 \cdot \frac{z^2 Z}{\beta^2 A} \left[\frac{\text{МэВ} \cdot \text{см}^2}{\epsilon} \right]$; $\beta = v/c$ – отношение скорости частицы к скорости света.

а) Как определить направление движения частицы по ее следу в эмульсии?

б) Как относятся удельные потери энергии для протонов, дейтронов и α -частиц при равных скоростях и соответственно при равных энергиях частиц?

в) Протоны, дейтроны и α -частицы имеют в эмульсии одинаковый пробег 100 мкм. Как относятся их удельные потери энергии в начале пробега?

2.22. Зависимость пробега заряженной частицы в веществе от ее скорости имеет следующий вид:

$$R = \frac{M}{mz^2} g(v),$$

где M – масса частицы, z ее заряд (элементарный заряд принят за единицу), v – скорость частицы, m – масса электрона, $g(v)$ – функция, не зависящая ни от заряда, ни от массы (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Соотношение пробег — энергия для частиц в эмульсии									
Пробег, мкм	Энергия, МэВ				Пробег, мкм	Энергия, МэВ			
	p	d	t	α		p	d	t	α
5	0.47	0.58	0.63	1.50	60	2.60	3.37	3.80	10.30
10	0.78	0.98	1.10	2.84	70	2.88	3.79	4.20	11.35
20	1.26	1.60	1.82	4.86	80	3.10	4.05	4.60	12.35
30	1.66	2.10	2.40	6.47	90	3.35	4.35	5.00	13.25
40	2.00	2.55	2.89	7.85	100	3.60	4.65	5.30	14.23
50	2.32	2.97	3.37	9.10	150	4.60	6.00	7.00	18.25

а) Следы протонов, дейтронов и тритонов в эмульсии имеют на равных участках следа одинаковое число зерен. Как относятся между собой остаточные пробеги и энергии этих частиц?

б) Известно соотношение пробег – энергия для протонов (табл. 1.2). Найти соотношение пробег – энергия для тритонов в том же веществе.

в) Для протонов известна зависимость числа зерен N (на участке τ) от пробега R и $E = f(R)$. Как определить энергию дейтронов и тритонов, следы которых не оканчиваются в эмульсии?

2.23. По каким признакам можно различить следы медленных π^- - и π^+ - мезонов, оканчивающихся в эмульсии?

2.24. В состав ядерных эмульсий входят легкие элементы H, C, N, O и тяжелые Ag, Br (~0.6% составляют S, I, Au). При исследовании взаимодействия частиц с указанными ядрами фотоэмульсии могут быть использованы в качестве мишеней, являясь одновременно детекторами заряженных продуктов реакции.

На рис. 1.6 показаны случаи расщепления легкого ядра γ -квантом на три одинаковые частицы. Определить, на каком ядре и какая произошла реакция.

2.25. На уровне моря плотность потока мюонов космических лучей составляет $1/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$, причем каждый мюон на 1 см пути в воздухе при нормальном атмосферном давлении создает 85 пар ионов. Вычислить ток, создаваемый мюонами в цилиндрической ионизационной камере с радиусом 20 см и высотой 30 см, наполненной воздухом при давлении 5 атм. Камера расположена вертикально. Считать, что ионизация создается только частицами, падающими на камеру вертикально.

2.26. Определить число космических частиц, прошедших через ионизационную камеру диаметром 8 см, если изменение потенциала собирающего электрода составило 0.2 В. Камера наполнена воздухом при давлении 1 атм. Емкость системы собирающего электрода равна 10 пФ. В среднем на 1 см пути в воздухе одна космическая частица создает 60 пар ионов. Частицы падают перпендикулярно к оси камеры.

2.27. Определить средний путь электронов в рабочем объеме камеры (так называемую *эффективную* глубину камеры), если угловое распределение электронов, попадающих в камеру, изотропно. Геометрическая глубина камеры равна d .

2.28. При работе с ионизационными камерами на электронных ускорителях следует учитывать, что рекомбинация ионов в камере в этом случае будет определяться не средней интенсивностью, а интенсивностью в импульсе, длительность которого обычно бывает порядка 10^{-5} с. Степень достижения режима насыщения в плоскопараллельной ионизационной камере в этом случае определяется уравнением

$$\frac{I}{I_{\text{нас}}} = \frac{\ln(1 + \Lambda)}{\Lambda},$$

где $\Lambda = \frac{2.09 \cdot 10^9 \alpha \cdot d^2 J}{(u^+ + u^-) \cdot U_0}$; α – коэффициент рекомбинации ионов, u^+ и u^- –

подвижности положительных и отрицательных ионов, J – интенсивность (в рентгенах) γ -излучения в импульсе, d и U_0 – расстояние и разность потенциалов между электродами камеры. Используя эту формулу, определить, какая максимальная

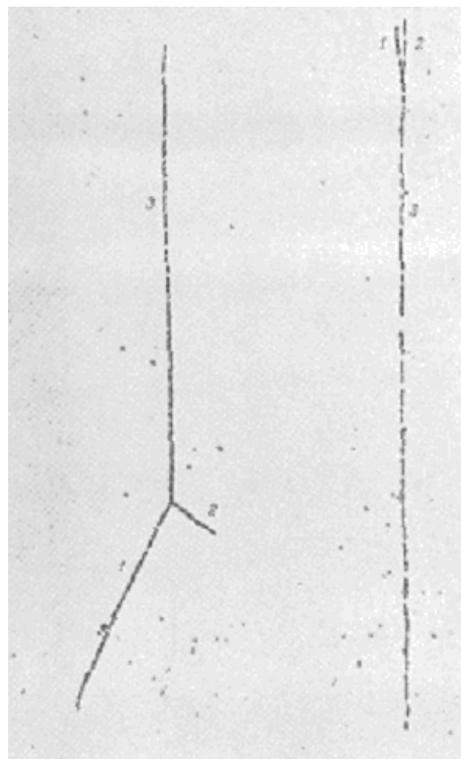


Рис. 1.6



интенсивность может быть измерена с помощью ионизационной камеры, расстояние между электродами которой равно 1 см, а напряженность поля 3000 В/см, при условии, что ионизационный ток должен составлять не менее 98% от тока насыщения. За секунду через камеру проходит 25 импульсов γ -излучения; $\alpha = 1.6 \cdot 10^{-6}$; $u^+ = 1,3$ см/с, $u^- = 1,8$ см/с.

2.29. Калориметрические измерения часто используются для определения интенсивности γ -излучения мощных радиоактивных источников и электронных ускорителей. Предназначенный для этих целей калориметр представляет собой свинцовый цилиндр, установленный в вакуированном сосуде на подставках, обладающих ничтожно малой теплопроводностью. Размеры цилиндра должны быть таковы, чтобы измеряемое излучение поглощалось полностью. Определить, за какое время температура такого калориметра повысится на 5° К, если теплоемкость его равна 22 кал/К $^\circ$, а внутрь цилиндра помещен источник ^{60}Co активностью 2 Ки. При одном распаде ^{60}Co выделяется энергия 2.6 МэВ.

2.30. Препарат полония активностью 0,1 Ки помещен в калориметр теплоемкостью 1 кал/К. Найти повышение температуры, происходящее за 1 ч, если известно, что полоний испускает α -частицы с энергией 5.3 МэВ.

2.31. Число фотонов N_ϕ , образуемых в сцинтилляционном счетчике при прохождении через него заряженной частицы, можно определить по формуле $N_\phi = \eta_k \cdot E_n / E_\phi$, где E_n – энергия, теряемая частицей в кристалле, E_ϕ – средняя энергия спектра испускаемых фотонов, а η_k – эффективность счетчика. Для антрацена $\eta_k = 0.04$, а средняя длина волны спектра излучения 445 нм. Определить энергию, идущую на образование одного фотона.

2.32. Определить число фотонов в световом импульсе, создаваемом в кристалле фосфора NaI(Tl) релятивистским протоном, если энергия, теряемая протоном в кристалле, равна 2 МэВ, а эффективность и средняя длина волны спектра излучения равны соответственно 0.084 и 410 нм.

2.33. Сцинтилляционные счетчики используются как для регистрации заряженных частиц, так и для регистрации рентгеновских и γ -лучей. Определить эффективность регистрации сцинтилляционным счетчиком γ -квантов, если эффективность регистрации заряженных частиц равна 100% (использовать следующие величины: d – толщина счетчика, μ – коэффициент поглощения γ -квантов в кристалле).

2.34. Вследствие относительно большой плотности ($\rho = 3.67$ г/см 3), а также вследствие относительно большого атомного номера йода ($Z = 53$) кристаллы фосфора NaI(Tl) особенно удобны для регистрации рентгеновских и γ -лучей. Какова интенсивность потока γ -квантов N_ϕ , если в кристалле NaI(Tl) толщиной $d = 2$ см за 1 мин возникло 240 световых импульсов? Коэффициент поглощения фотонов в кристалле равен $\mu = 0.126$ см $^{-1}$.

2.35. Импульс света в сцинтилляционном счетчике регистрируется с помощью фотоумножителя. Определить величину импульса напряжения V на выходе фотоумножителя, если при очередном световом импульсе в кристалле из фотокатода умножителя было выбито $N_0 = 500$ электронов. Коэффициент умножения



фотоумножителя $M = 2 \cdot 10^6$, а емкость анода (по отношению к Земле) составляет $C = 10$ пФ.

2.36. Определить амплитуду импульса напряжения на выходе фотоумножителя при прохождении через антраценовый кристалл быстрых электронов, если известно, что каждый электрон теряет при этом 2.5 МэВ, а на фотокатод умножителя попадает около 70% от образовавшихся в кристалле фотонов. Эффективность фотоумножителя $C_\phi = 0.05$. Остальные характеристики фотоумножителя и кристалла даны в задачах 2.31 и 2.35.

2.37. На выходе фотоумножителя регистрируются импульсы с амплитудой $V \geq 10$ В. Определить минимальную энергию протонов, регистрируемых схемой, если эффективность фотоумножителя равна 0.07; коэффициент умножения фотоумножителя $M = 10^7$, емкость анода (по отношению к Земле) 8 пФ, а в качестве сцинтиллятора используется стильбен (средняя длина волны спектра излучения $\lambda = 410$ нм, эффективность фотоумножителя $C_\phi = 0.024$). На фотокатод падает около 65% от полного числа фотонов, образуемых при отдельном световом импульсе.

2.38. Через счетчик Гейгера – Мюллера проходит 10^9 электронов за один разряд. Вычислить средний ток, проходящий через счетчик, если происходит 600 разрядов в минуту.

2.39. Определить порог $V_{\text{порог}}$ пропорциональной области счетчика, наполненного аргоном при давлении $p = 60$ мм рт. ст. При достижении порога напряженность электрического поля вблизи нити становится такой, что электрон на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для ионизации ударом. Радиус счетчика $r_a = 1$ см, радиус нити $r_i = 0.005$ см. Средняя длина пробега электрона в аргоне при давлении 1 мм рт. ст. $\lambda_0 = 6.8 \cdot 10^{-2}$ см; потенциал ионизации аргона $V_{\text{ion}} = 15.8$ В.

2.40. Найти амплитуды импульсов напряжения от пропорционального счетчика при прохождении через него: а) α -частицы с энергией 3.5 МэВ, б) быстрого электрона. Счетчик имеет диаметр $d = 2.2$ см и наполнен аргоном при давлении 100 мм рт. ст. Удельная ионизация быстрыми электронами в аргоне – 70 пар ионов на 1 см при давлении 1 атм. Пробег α -частицы в аргоне – 1.9 см. Средняя энергия образования одной пары ионов – 25.4 эВ. Коэффициент газового усиления счетчика $\mu = 10^4$. Емкость нити $C = 15$ пФ.

Указание. Средний путь, проходимый α -частицами в счетчике, равен 1.7 см; средний путь, проходимый электроном, определяется по формуле $l = \pi d / 4$.

2.41. Разрешающим временем счетчика называется время, необходимое счетчику для возвращения в рабочее состояние после срабатывания. Для сцинтилляционного счетчика разрешающее время определяется временем высвечивания. Пусть N – истинное число частиц, проходящих через счетчик в 1 с, а n – полученное экспериментально число срабатываний счетчика в секунду. Найти разрешающее время счетчика.

2.42. При снятии характеристики счетчика Гейгера – Мюллера использовались два радиоактивных источника неизвестной интенсивности. Каждый из источников можно было закрывать экраном. При попеременном перекрытии экраном первого или второго источников было зарегистрировано n_1 и n_2 срабатываний счетчика в секунду.



Когда оба экрана были убраны, счетчик срабатывал n_{12} раз в секунду. Определить разрешающее время счетчика, если $n_1 = 100$, $n_2 = 155$, $n_{12} = 248$.

2.43. Счетчик срабатывает 1000 раз в секунду. Разрешающее время счетчика равно $2 \cdot 10^{-4}$ с. Найти истинную частоту исследуемого события.

2.44. Время высвечивания стильбена равно приблизительно $\tau = 7 \cdot 10^{-9}$ с. Разрешающее время фотоумножителя $1.5 \cdot 10^{-9}$ с.

Определить число импульсов n на выходе фотоумножителя, если число электронов, падающих на стильбен, $N_e = 5 \cdot 10^7$ с $^{-1}$.

2.45. Разрешающее время счетчика $\tau_1 = 3 \cdot 10^{-5}$ с, разрешающее время регистрирующего устройства $\tau_2 = 2.5 \cdot 10^{-4}$ с ($\tau_2 > \tau_1$).

Найти число зарегистрированных частиц, если число частиц, падающих на счетчик, равно $N = 5 \cdot 10^3$ с $^{-1}$.

2.46. Два одинаковых счетчика соединены по схеме совпадений, т. е. регистрируются только те случаи, когда одновременно через оба счетчика проходит ионизирующая частица. Пусть разрешающее время счетчиков равно τ , среднее число частиц, прошедших через первый счетчик, равно n_1 , а через второй – n_2 . Определить число случайных совпадений.

1.3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ И МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

3.1. Из источника в случайном направлении вылетают частицы, причём все направления равновероятны. Вычислить вероятность частицам вылететь из источника под полярным углом φ и азимутальным углом ψ .

3.2. Параллельный пучок частиц падает на поверхность сферического детектора. Вычислить средний путь частицы через детектор (в полярной системе координат).

3.3. Параллельный пучок частиц падает на поверхность цилиндрического детектора перпендикулярно его оси. Вычислить средний путь частицы через детектор.

3.4. Вычислить телесный угол, охватываемый конусом, половина угла раствора которого равна 15° .

3.5. Вычислить телесный угол, под которым детектор в виде плоского диска радиусом 3 см видит точечный источник, расположенный над центром диска на расстоянии 4 см.

3.6. Какому углу при вершине конуса соответствует телесный угол, равный 1 стерadianу.

3.7. Для регистрации излучения от заданного источника и для защиты от фона используют коллиматоры. Вычислить долю полного потока от изотропного источника, вырезаемую цилиндрическим коллиматором длиной 5 см и диаметром 1 см.

3.8. Торцовый счетчик Гейгера, имеющий входное окно площадью 0.4 см 2 облучается β -источником, представляющим собой тонкую плоскую пластину со сторонами $2.2 \cdot 3.8$ см 2 , расположенную на расстоянии 5 см от окна счетчика.

Вычислить телесный угол, вырезаемый окном счетчика из изотропного источника излучения.

3.9. На детектор в виде плоской пластинки толщиной d падает параллельный пучок квантов плотностью n_0 . Вычислить число квантов, поглощенных в детекторе, если коэффициент поглощения равен μ , а площадь детектора S .

3.10. В две идентичные ионизационные камеры помещены 2 источника: в одну ^{226}Ra , а в другую ^{60}Co .

Активность источников подобрана таким образом, чтобы токи в камерах оказались одинаковыми и равными $3 \cdot 10^{-10}$ А. Камеры включены навстречу друг другу, так, что разностный ток почти равен нулю с погрешностью $5 \cdot 10^{-14}$ А. Через 115 часов ток в цепи стал равным $5.3 \cdot 10^{-13}$ А. Чему равен период полураспада ^{60}Co . Какова погрешность его определения. Для радия период полураспада равен 1600 лет.

3.11. Планарный Ge(Li) детектор толщиной $d = 1.3$ см облучается точечным источником γ -квантов с энергией 1 МэВ через коллиматор. Угол при вершине конуса, вырезаемого коллиматором из изотропного источника, равен $2\varphi = 36^\circ 50'$ (рис. 1.7). Вычислить полную эффективность регистрации γ -квантов.

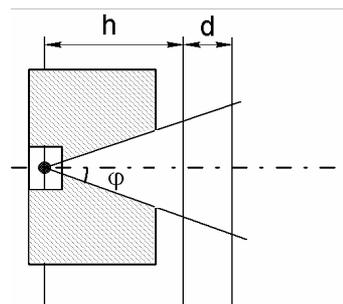


Рис. 1.7

3.12. Точечный источник излучающий γ -кванты с $E = 0.8$ МэВ, находится на оси цилиндрического сцинтилляционного детектора NaI(Tl) на расстоянии от него 5 см. Диаметр сцинтиллятора 40 мм. Вычислить полную эффективность регистрации γ -квантов.

3.13. Во многих случаях форму спектральной линии можно описать нормальным распределением. Мерой ширины распределения является параметр σ , который равен расстоянию от абсциссы максимума, до абсциссы точки перегиба. Однако на практике принято пользоваться шириной распределения на половине высоты Γ . Получить формулу, связывающую σ и Γ .

3.14. Считая, что пик полного поглощения в амплитудном распределении описывается кривой нормального распределения, выразить площадь под пиком через значения n_{max} и Γ .

3.15. При вычислении площади, высоты и ширины реальных пиков, при проверке соответствия этих пиков нормальному распределению нужно знать многие характеристики нормального распределения. Найти:

- Абсциссы и ординаты точек перегиба;
- Уравнение касательных в точках перегиба;
- Высоту и основание треугольника, образуемого касательными и осью абсцисс.

3.16. Выразить площадь под нормальным распределением через площадь треугольника, образованного касательной в точке перегиба и осью абсцисс.

3.17. При анализе экспериментальных пиков трудно отделить точки, лежащие на нормальное распределение, от точек на краях распределения, определяющихся фоном или соседними пиками и не соответствующих исследуемому пику.

Существует специальный метод Циммермана, пользуясь которым пик удается линеаризовать и тем самым легко определить, какие точки ложатся на прямую, а какие нет. Доказать, что логарифм отношения числа импульсов в каналах, взятых через один, есть линейная функция номера канала.

3.18. Найти связь между энергетическим и амплитудным разрешением.

3.19. Сравнить относительные энергетические разрешения спектрометра при выделении в нем энергии E одной порцией и при выделении в нем той же энергии, но



в виде двух порций $E_1 + E_2 = E$. Причем относительное энергетическое разрешение зависит от энергии по закону

$$\omega = (A + B/E)^{1/2}, \quad (1)$$

где A и B соответствуют характеристикам сцинтилляционного детектора.

3.20. В сцинтилляционном γ -спектрометре энергетическое разрешение зависит от энергии квантов по закону

$$\omega = (A + B/E)^{1/2}, \quad (1)$$

где $A = 4.5 \cdot 10^{-3}$; $B = 1.57 \cdot 10^{-3}$ МэВ.

Вычислить ожидаемое разрешение в пике суммирования каскадных γ -квантов ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.271$ года; $E_1 = 1.173$ МэВ, $E_2 = 1.332$ МэВ). Сравнить это разрешение с тем, которое получалось бы, если бы суммарная энергия выделилась одной порцией.

3.21. Тщательными измерениями было установлено, что пик полного поглощения полупроводникового γ -спектрометра при регистрации γ -излучения ^{65}Zn хорошо описывается нормальным распределением с шириной на половине высоты, равной 0.4 кэВ.

Как изменится ширина пика, если измерения проводятся амплитудным анализатором с шириной канала 0.1 кэВ?

3.22. Сколько каналов должен занимать пик в амплитудном распределении, чтобы его уширение за счет анализатора не превышало 10 %.

3.23. Регистрация пиков в амплитудном распределении анализатором с конечной шириной канала ΔA приводит к деформации пика: его ширина увеличивается, а высота падает. Определить во сколько раз уменьшается скорость счета в максимуме пика, если $\Gamma = 5\Delta A$.

3.24. Можно ли разделить дейтроны и α -частицы, измеряя кривизну их траектории в магнитном поле и время пролета?

3.25. Можно ли разделить протоны и α -частицы, измеряя кривизну их траектории в магнитном поле и время пролета?

3.26. Можно ли разделить протоны и дейтроны, измеряя кривизну их траектории в магнитном поле и время пролета?

3.27. Можно ли разделить протоны и μ -мезоны, измеряя кривизну их траектории в магнитном поле и время пролета?

3.28. При обработке аппаратурных спектров применяются различные методы нахождения положения максимума **пика полного поглощения** и определения числа импульсов, зарегистрированных в пике (площади пика). Для определения положения максимума **ППП** используют **метод линеаризации**, который заключается в построении зависимости $y_i = \ln(N_i / N_{i+1}) = f(n_i)$, где N_i и N_{i+1} – число отсчетов в n_i и n_{i+1} каналах анализатора соответственно. Он основан на предположении, что **ППП** описывается гауссовым распределением. При таком предположении зависимость $y_i = f(n_i)$ будет выражаться уравнением прямой линии $y_i = an_i + b$. Учитывая, что N_Σ – суммарное число отсчетов в пике полного поглощения, а n_0 – оценка положения максимума пика, определить методом наименьших квадратов значения коэффициентов a и b . Найти положение максимума пика, т. е. \hat{p} .



Рейтинг – план

Оценки

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

По дисциплине “ Экспериментальные методы ядерной физики”
 для специальности 140302 “ *Физика атомного ядра и частиц*”
 на восьмой семестр 2009/2010 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Лекции – 32 час.

Практические занятия – 32час.

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 взаимодействие γ -квантов с веществом	1. Введение. Ионизационные потери энергии.	50	-		1. Введение. Ионизационные потери энергии.	30	1. Введение. Ионизационные потери энергии.	20	20.03.2010 г.	310	
	2. Радиационные потери энергии.	35			2. Радиационные потери энергии.	20		2. Радиационные потери энергии.			10
	3. Рассеяние частиц.	15			3. Рассеяние частиц.	20		3. Рассеяние частиц.			10
	4. Соотношение пробег – энергия.	10			4. Соотношение пробег – энергия.	20		4. Соотношение пробег – энергия.			10
	5. Взаимодействие γ -квантов с веществом.	40			5. Взаимодействие γ -квантов с веществом.			5. Взаимодействие γ -квантов с веществом.			20
Газовые ионизационные детекторы	6. Ионизационные камеры.	50	-		6. Ионизационные камеры.	40	6. Ионизационные камеры.	25	20.04.2010 г.	335	
	7. Импульсные ионизационные камеры.	10			7. Импульсные ионизационные камеры.	10		7. Импульсные ионизационные камеры.			15
	8. Пропорциональные счетчики.	30			8. Пропорциональные счетчики.	20		8. Пропорциональные счетчики.			15
	9. Счетчики с самостоятельным разрядом.	60			9. Счетчики с самостоятельным разрядом.	30		9. Счетчики с самостоятельным разрядом.			30
Твердотельные детекторы. Практические примеры	10. Сцинтилляци-онные счетчики	50	-		10. Сцинтилляци-онные счетчики	20	10. Сцинтилляци-онные счетчики	20	15.05.2010 г.	205	
	11. Счетчики Черенкова	20			11. Счетчики Черенкова	20		11. Счетчики Черенкова			10
	12. Полупроводниковые детекторы	30			12. Полупроводниковые детекторы	20		12. Полупроводниковые детекторы			15
Итого:		400				250		200		850	

Утверждаю:
Зав. кафедрой

А.П. Потылицын

Составил:
В.В. Кашковский



Рейтинг – план

Оценки

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

По дисциплине “ Экспериментальные методы ядерной физики”
 для специальности 140302 “ *Физика атомного ядра и частиц* ”
 на девятый семестр 2009/2010 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Лекции – 32 час.

Практические занятия – 32 час.

Название модуля	Лекции		Лаб. Работы		Практические занятия		Домашние занятия		Рубежный контроль	Максимальный балл модуля
	Тема	Балл	Тема	Балл	Тема	Балл	Тема	Балл		
Трековые детекторы	1. Камера Вильсона. 2. Диффузионная камера 3. Ядерные эмульсии 4. Искровая камера	40 20 30 40	-		1. Камера Вильсона. 3. Ядерные эмульсии	30 30	1. Камера Вильсона. 2. Диффузионная камера 3. Ядерные эмульсии 4. Искровая камера	15 10 15 20	18.10.2010 г.	250
Многопроволочные детекторы и спектрометры	5. Многопроволочные детекторы 6. Магнитные бета-спектрометры 7. Магнитная гамма-спектрометрия	40 20 40	-		6. Магнитные бета-спектрометры 7. Магнитная гамма-спектрометрия	30 20	5. Многопроволочные детекторы 6. Магнитные бета-спектрометры 7. Магнитная гамма-спектрометрия	20 20 30	18.11.2010 г.	270
Сцинтилляторы и расшифровка спектров	8. Сцинтилляционная спектрометрия 9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения 10. Расшифровка аппаратурных спектров 11. Применение детекторов	40 40 30 10	-		8. Сцинтилляционная спектрометрия 9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения 10. Расшифровка аппаратурных спектров	20 20 50	8. Сцинтилляционная спектрометрия 9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения 10. Расшифровка аппаратурных спектров 11. Применение детекторов	20 20 15 15	15.12.2010 г.	280
Итого:		400	-			200		200		800

Утверждаю:
Зав. кафедрой

Потылицын А.П.

Составил:
В.В. Кашковский



Учебное издание

Рабочая программа для направления 140300 «Ядерная физика и технологии»,
специальности 140302 «Физика атомного ядра и частиц»

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.