



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

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

(название дисциплины)

Рабочая программа для подготовки магистров по направлению 010700
« ФИЗИКА » магистерская программа (специализация)
010724 «МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА »
(номер и название направления, специальности, специализации)

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

Обеспечивающая кафедра кафедра Прикладной физики

Курс пятый, шестой

Семестр девятый, десятый, одиннадцатый

Учебный план набора 2009 года с изменениями года

Распределение учебного времени

Лекции	<u> </u>	часов (ауд.)
Лабораторные занятия	<u> </u>	часов (ауд.)
Практические (семинарские) занятия	<u> </u>	часов (ауд.)
Курсовой проект в <u> </u> семестре	<u> </u>	часов (ауд.)
Курсовая работа в <u> </u> семестре	<u> </u>	часов (ауд.)

Всего аудиторных занятий **часов**

Самостоятельная (внеаудиторная) работа 164 часа

В том числе:

Теоретический раздел 64 часа

Практический раздел 48 часов

Лабораторный практикум 52 часа

Общая трудоемкость 164 **часа**

Экзамены в семестрах

Зачеты в 9; 10, 11 семестрах

Диф. зачет в семестре



Предисловие

1. Рабочая программа составлена на основе ГОС по направлению 010700 «Физика», степень – магистр физики, программа _____
(специализация) 010724 «Медицинская физика», утвержденного _____
(код и наименование)
приказом МО РФ № 686 от 17.03.2000 г.
(дата)

Приказ по Томскому политехническому университету, № 90/ ед _____
(обозначение или наименование другого документа университетского уровня по направлению, специальности, специализации)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей
кафедры ПФ ФТФ, _____, 2009, протокол № _____.
(наименование кафедры) (дата)

2. Разработчик(и)

<u>доцент</u> (должность)	<u>ПФ ФТФ</u> (кафедра)	_____ (подпись)	<u>В.В. Кашковский</u> (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)

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:
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Рабочая программа разработана для подготовки магистров по направлению 010700 "ФИЗИКА" магистерская программа 010724 "Медицинская физика".

Разработчик программы: доцент каф. Прикладной физики, к.т.н. Кашковский Виктор Васильевич

Тел. (3822)-418906,

E- mail: vikt@chair12.phtd.tpu.edu.ru

Рассматриваются следующие вопросы: Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики с самостоятельным разрядом. Сцинтилляционная спектрометрия, полупроводниковые детекторы. Трековые приборы. Магнитная бета- и гамма-спектрометрия. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения. Расшифровка аппаратурных спектров. Счетные характеристики и мертвое время газоразрядных счетчиков, эффективность счетчика при регистрации γ -квантов. Методы работы со сцинтилляционными счетчиками: калибровка сцинтилляционного γ -спектрометра, исследование формы линии однокристалльного сцинтилляционного γ -спектрометра, градуировка с внутренней проверкой энергетической шкалы γ -спектрометра и исследование ее нелинейности. Определение содержания продуктов распада радона в сухом атмосферном воздухе внутри помещения по измеренной активности фильтра. Определение верхней границы β -спектра. Измерение энергии α -частиц. Полупроводниковый спектрометр α -частиц.

The summary of discipline:
SPECIAL PHYSICAL PRACTICAL WORK

The contents: Ionization chamber, proportional counters, counters with self-maintained discharge. Scintillation spectrometry, semi-conductor detectors. Track devices. Magnetic beta- and gamma - spectrometry. A crystal - diffractive spectroscopy of γ -radiation. Decoding of hardware spectra. The accounting characteristics and dead time of discharge counters, efficiency of the counter at γ -quanta registration. Techniques of work with scintillation counters: scintillation γ -spectrometer calibration, one-crystalline scintillation γ -spectrometer line form examination, γ -spectrometer graduation with internal check of its power scale and examination of γ -spectrometer nonlinearity. Determination of the β -spectrum top border. Alfa-particles energy measurement. Semi-conductor α -particles spectrometer.

The program is developed for teaching at master of speciality 010700 "Physics"; 010724 "Medical physics".

The program is developed by the senior lecturer, c. t. s. Kashkovsky Victor Vasilevich
The Applied Physics Chair of Physical Technical Department.

E- mail: vikt@chair12.phtd.tpu.edu.ru



ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

«СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ»

Специальный физический практикум по сути дела включает в свою основу экспериментальные методы ядерной физики и содержит ряд средств и методик, необходимых для проведения физических экспериментов с исследуемым ядерным излучением.

Ядерно-физический эксперимент в большинстве случаев имеет своей целью регистрацию и исследование различного вида излучений, возникающих при радиоактивных превращениях ядер, взаимодействии частиц с ядрами вещества или друг с другом и т. д.

Детекторы ядерного излучения широко используются не только при исследованиях свойств элементарных частиц, но и в различных областях промышленности, науки, медицины и социальной сферы.

Цель «Специального физического практикума» – знакомство с фундаментальными свойствами излучения, изучение различных процессов в детекторах, их конструктивных особенностях и примеров использования.

Проведение современного ядерно-физического 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. 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.

Материал курса охватывает следующие темы:

Ионизационные потери энергии. Радиационные потери энергии. Рассеяние частиц. Соотношение пробег – энергия. Взаимодействие γ -квантов с веществом. Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики с самостоятельным разрядом. Сцинтилляционная спектрометрия. Счетчики Черенкова, полупроводниковые детекторы. Трековые приборы: камера Вильсона, искровая камера, стримерная камера. Магнитная бета- и гамма-спектрометрия. Современные многопроволочные детекторы: пропорциональные и дрейфовые камеры. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения. Расшифровка аппаратурных спектров. Использование излучений в научных целях, технике и медицине.

Изучение материала курса «Специальный физический практикум» предполагает знакомство с основами электроники, теоретической, атомной и ядерной физики, взаимодействия излучения с веществом и др.



1. Цели и задачи учебной дисциплины.

1.1. Цель преподавания дисциплины:

- 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;
- развитие навыков самостоятельных исследований, способностей творческого осмысления получаемых результатов и видения новых перспектив в результате ядерно-физических экспериментов.

1.2. 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;

Специалист должен знать и уметь использовать:

- статистическую природу радиоактивного распада радиоактивных семейств;
- свойства и характеристики ионизирующих излучений;
- физические методы регистрации излучения;
- 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;
- применять пакеты прикладных программ для обработки экспериментальных данных;
- квалифицированно выбирать, производить инженерный расчет и проектировать детекторы всех видов излучений.



1.3. Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в виде самостоятельной внеаудиторной работы, которая направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине и реализуется в виде теоретических, практических заданий и лабораторных занятий на каждый семестр по основным разделам дисциплины.

Самостоятельное освоение теоретического раздела дисциплины направлено на получение студентами необходимой информации и использование этой информации при решении практических задач.

Практические задания направлены на активизацию познавательной деятельности студентов и ориентированы на проработку теоретического материала и на приобретения студентами навыков самостоятельного решения задач по всем разделам дисциплины.

Лабораторные работы выполняются в двух учебных лабораториях кафедры Прикладной физики. Часть лабораторных работ выполняется с использованием компьютеров. Все учебные лаборатории укомплектованы необходимым оборудованием и источниками излучения. Лабораторный практикум направлен на закрепление теоретического материала и приобретение навыков практического выполнения экспериментальных исследований. В программе выполнения всех лабораторных работ включены элементы научных исследований. После выполнения лабораторной работы студенты предоставляют отчеты о выполнении, где указывается цель работы, содержание и порядок выполнения, полученные результаты.

1.4. Контроль деятельности студентов проводится в рамках рейтинговой системы, принятой в ТПУ:

- **текущий контроль** за внеаудиторной работой студентов осуществляется в виде индивидуальной защиты самостоятельных заданий;
- **рубежный контроль** включает две двухчасовые контрольные работы, которые проводятся в стандартные сроки этого контроля на Физико-техническом факультете;
- **итоговый контроль** осуществляется в конце каждого семестра.

2. Содержание теоретического раздела дисциплины

(9 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

№	Тема	Время, час
1	Введение. Ионизационные потери энергии. Радиационные потери энергии. Рассеяние частиц. Соотношение пробег – энергия. Взаимодействие γ -квантов с веществом.	6
2	Ионизационные камеры	4
3	Пропорциональные счетчики	2
4	Счетчики с самостоятельным разрядом	6
5	Сцинтилляционные счетчики	6
6	Детекторы излучения Вавилова – Черенкова	4
7	Полупроводниковые детекторы	4



(10 СЕМЕСТР, 32 ЧАС.)

№	Тема	Время, час
1	Трековые детекторы: камера Вильсона; ядерные эмульсии; искровые детекторы заряженных частиц	10
2	Сцинтилляционный метод спектрометрии	4
3	Магнитные β -спектрометры. Магнитная γ -спектрометрия	8
4	Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	6
5	Расшифровка аппаратурных спектров. Использование излучений.	4

3. Содержание практического раздела дисциплины

3.1. Практические занятия

(9 СЕМЕСТР, 24 ЧАС.)

№	Тема	Время, час
1	Введение. Ионизационные потери энергии. Радиационные потери энергии. Рассеяние частиц. Соотношение пробег – энергия. Взаимодействие γ -квантов с веществом.	4
2	Ионизационные камеры	4
3	Пропорциональные счетчики	2
4	Счетчики с самостоятельным разрядом	6
5	Сцинтилляционные счетчики	2
6	Детекторы излучения Вавилова – Черенкова	2
7	Полупроводниковые детекторы	4

(10 СЕМЕСТР, 24 ЧАС.)

№	Тема	Время, час
1	Трековые детекторы: камера Вильсона; ядерные эмульсии; искровые детекторы заряженных частиц	6
2	Сцинтилляционный метод спектрометрии	4
3	Магнитные β -спектрометры. Магнитная γ -спектрометрия	6
4	Расшифровка аппаратурных спектров	8

3.2. Лабораторные занятия

(11 СЕМЕСТР, 52 ЧАС.)

№	Тема	Время, час
1	Исследование счетных характеристик газоразрядных счетчиков. Определение мертвого времени газоразрядного счетчика	6
2	Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β -излучателя	6
3	Определение обратного рассеяния β – частиц	4



4	Ознакомление с аппаратурной формой линии и понятием энергетического разрешения сцинтилляционного γ -спектрометра. Градуировка с внутренней проверкой энергетической шкалы γ -спектрометра и исследование ее нелинейности	6
5	Исследование формы линии однокристалльного сцинтилляционного γ -спектрометра	6
6	Определение содержания продуктов распада радона в сухом атмосферном воздухе внутри помещения по измеренной активности фильтра	6
7	Определение энергии γ -излучения по полупоглощению	6
8	Измерение энергии α -частиц	6
9	Полупроводниковый спектрометр α -частиц	6

4. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

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. Игнатъев, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.



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

Дополнительные учебники и учебные пособия:

11. **Бета - и гамма - спектроскопия.** Под ред. К. Зигбана: Пер. с англ. – М.: Гос. издат. Физ.- мат. литер., 1959. – 907 с.
12. **Беспалов В.И.** Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. 4-е изд., исправ./ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
13. **Стародубцев С.А., Романов А.М.** Прохождение заряженных частиц через вещество. Ташкент: ФАН, 1961.
14. **Воробьев А.А., Кононов Б.А.** Прохождение электронов через вещество. – Томск: Изд. ТГУ, 1966.
15. **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 для самоконтроля (9 семестр)

Тема 2.

1. Какую величину называют тормозной способностью вещества?
 - Полные потери энергии частицы на ионизацию и возбуждение атомов среды;
 - Потери энергии в результате тормозного излучения.
 - Средние потери энергии частицей на ионизацию и возбуждение атомов среды на единице пути;
2. Что такое критическая энергия электронов?
 - Энергия, при которой кинетическая энергия равна энергии покоя;
 - Энергия электронов, при которой ионизационные потери энергии и потери на излучение равны;
 - Энергия, при которой скорость налетающего электрона становится сравнимой со скоростью электрона в атоме
3. Что такое экстраполированный пробег?
 - Расстояние, на котором энергия электрона в результате радиационного торможения уменьшается в $e = 2.718$ раз;
 - Расстояние, соответствующее пересечению с осью абсцисс (или с уровнем фона) продолжения спадающего линейного участка кривой поглощения электронов в веществе;
 - Расстояние, соответствующее максимальному пробегу частиц.
4. В чём заключается основная разница между пробегом в веществе осколков деления и тяжелых заряженных частиц с $Z=1;2$?
 - При торможении осколков деления в каждом ионизационном столкновении с атомом выбивается несколько электронов;
 - Осколки деления в процессе торможения непрерывно изменяют свой заряд и удельные ионизационные потери энергии имеют наибольшее значение в начале пробега осколков и непрерывно уменьшается с потерей энергии осколками;
 - Осколки деления в каждом акте взаимодействия с атомными электронами теряет лишь малую долю своей энергии.
5. В каких целях можно использовать обратный эффект Комптона?
 - С помощью этого эффекта можно получать направленные пучки монохроматичных фотонов высокой энергии;
 - Для идентификации заряда рассеянных частиц;
 - С помощью этого эффекта можно получать фотоэлектроны и сопровождающие их оже-электроны.

Тема 3.

1. Какой участок вольтамперной характеристики ионизационной камеры соответствует закону Ома?
 - Плато;
 - Начальный линейный участок;
 - Переход от линейного участка к плато.
2. Какими величинами определяется ток насыщения ионизационной камеры?
 - Разностью потенциалов, приложенных к электродам камеры;



- Интенсивностью излучения и энергией, идущей на образование одной пары ионов;
 - Ток насыщения не зависит от приложенного напряжения и его величина определяется плотностью ионизации и объемом камеры.
3. Каким образом проявляется индукционный эффект?
- Амплитуда импульса не зависит от места ионизации;
 - При этом эффекте амплитуда импульса в камере зависит от места попадания и направления движения частицы;
 - Число регистрируемых импульсов резко возрастает за счет ложных импульсов.
4. Основное отличие пропорционального счетчика от ионизационной камеры?
- Эти счетчики отличаются конструкцией электродов и счетной характеристикой;
 - Использование специальных газовых смесей и тонких анодных нитей;
 - Эти счетчики отличаются от ионизационной камеры использованием более сильного электрического поля, приводящему к тому, что импульс напряжения в результате ударной ионизации и газового усиления возрастает во много раз.
5. Чем отличается самогасящийся счетчик Гейгера-Мюллера от несамогасящегося?
- Использованием гасящих примесей в виде добавок к основному газу, которые предотвращают распространение ультрафиолетовых квантов по всему объему счетчика;
 - Использованием благородных газов;
 - Образованием положительного пространственного заряда вблизи анодной нити.
6. Какими факторами обусловлен наклон плато счетной характеристики счетчика Гейгера-Мюллера?
- Наклон плато счетной характеристики обусловлен краевыми эффектами и возникновением ложных импульсов;
 - Космическим излучением, естественной радиоактивностью среды и воздуха, а также радиоактивностью самих материалов, из которых изготовлен счетчик;
 - Наклон плато счетной характеристики обусловлен частицами, попавшие в счетчик в течение времени восстановления.

Тема 4.

1. Что такое конверсионная эффективность сцинтиллятора?
- Доля полной энергии частицы, преобразованной в тормозное излучение;
 - Отношение доли энергии, потерянной быстрой частицей в сцинтилляторе и преобразованной в световую, к полной энергии потерянной частицей в сцинтилляторе;
 - Частичное перекрытие спектров поглощения и испускания сцинтиллятора.



2. Для каких целей используют сместители спектров?
 - Для того, чтобы спектр испускания сцинтилляторов лучше соответствовал спектральной чувствительности фотоумножителя и для уменьшения самопоглощения;
 - Для изменения среднего времени высвечивания;
 - Для увеличения световыхода сцинтиллятора.
3. Причина эффекта утомления фотокатодов ФЭУ?
 - Утомление фотокатодов связано с выходом с его поверхности электронов в результате термоэмиссии;
 - При облучении фотокатода часть ионов щелочного металла (Cs), образующихся на поверхности вследствие фотоионизации атомов, диффундируют внутрь катода под действием электрического поля, при этом поверхность обедняется атомами цезия, что приводит к увеличению работы выхода и к уменьшению фототока;
 - Флуктуацией токов утечки и нестабильностью источника питания.
4. Какой материал применяют для изготовления динодов ФЭУ?
 - Алюминий;
 - Сурьмяно-цезиевое покрытие;
 - Электролитическую медь.

Тема 5.

1. От каких параметров среды зависит энергетический порог излучения Вавилова-Черенкова?
 - От атомного номера вещества;
 - От плотности среды;
 - От показателя преломления.
2. Каким образом ориентировано излучение Вавилова-Черенкова?
 - Испускается строго перпендикулярно направлению движения пучка частиц;
 - Испускается только вперед в направлении, образующем некоторый угол с направлением движения пучка частиц;
 - Распространяется вдоль направления движения частицы;
3. Чем отличается пороговый детектор Вавилова-Черенкова от детектора с фокусировкой?
 - Простотой изготовления;
 - Способностью регистрировать только те частицы, энергия которых превышает определенное значение;
 - Способностью непосредственно определять скорость частицы.

Тема 6.

1. Какие носители заряда участвуют в переносе тока в полупроводнике?
 - Электроны и позитроны;
 - Электроны и дырки;
 - Положительно заряженные ионы и электроны.
2. Проявляется ли индукционный эффект в полупроводниковом счетчике?
 - Не всегда;
 - Характерен только для полупроводника n-типа;
 - Не проявляется.



3. Отличие полупроводника с собственной проводимостью от полупроводника с компенсированной проводимостью заключается в том, что:
 - В полупроводнике имеются одновременно донорный и акцепторный уровни так, что количество электронов уходящих с донорного уровня, равняется количеству электронов, приходящих на акцепторный уровень;
 - Это идеально чистый полупроводниковый кристалл, так что число свободных электронов в полупроводнике равно числу дырок;
 - В полупроводнике имеются только донорные примеси.
4. Что такое обеднённая зона в полупроводниковом детекторе?
 - Это $p-n$ – переход, где под действием объемного заряда и напряжения обратного смещения удалены все свободные носители как из области вблизи перехода, так и из областей, лежащих по обе стороны от него;
 - Дефекты, расположенные в середине запрещенной зоны;
 - Область полупроводника с очень малым удельным сопротивлением материала, позволяющая получать большие токи.

Тесты

(9 семестр)

1. Тяжелые заряженные частицы с малым зарядом – это:
 - Нейтроны;
 - Дейтроны, протоны, α -частицы;
 - Фотоны;
 - Осколки деления ядер.
2. Энергия, теряемая тяжелой заряженной частицей при соударении, определяется в основном:
 - Массой налетающей частицы;
 - Скоростью налетающей частицы;
 - Массой ядра отдачи;
 - Скоростью электронов в атоме.
3. Тормозная способность вещества в области релятивистских энергий тяжелых заряженных частиц при $\beta \rightarrow 1$ замедляет свой ход в результате:
 - Эффекта плотности;
 - Перезарядки частицы;
 - Эффекта прилипания;
 - Эффекта связи электронов в атомах.
4. За барьером первоначальное моноэнергетическое излучение имеет некоторое распределение, которое можно характеризовать вероятной энергией. Это:
 - Энергия, соответствующая максимуму кривой распределения;
 - Средняя энергия в спектре;
 - Максимальная энергия спектра;
 - Минимальная энергия в спектре.
5. Радиационные потери энергии существенны для:
 - Фотонов;
 - Тяжелых заряженных частиц;
 - Электронов;
 - Протонов.



6. Формула Резерфорда справедлива для случая столкновения частицы с атомом, когда:
 - Прицельный параметр больше радиуса атома;
 - Прицельный параметр примерно равен радиусу ядра;
 - Прицельный параметр примерно равен радиусу налетающей частицы;
 - Прицельный параметр больше радиуса ядра, но меньше радиуса атома.
7. Упругое рассеяние электронов становится диффузным, когда:
 - Средний угол рассеяния $\leq 20^\circ$;
 - Средний угол рассеяния $\approx 33^\circ$.
 - Средний угол рассеяния $\approx 25^\circ$;
 - Средний угол рассеяния $\geq 90^\circ$.
8. Экстраполированная длина пробега – это:
 - Пробег, соответствующий максимальной энергии электронов;
 - Пробег, соответствующий граничной энергии β -спектра;
 - Продолжение спадающего линейного участка кривой поглощения моноэнергетических электронов до пересечения с уровнем фона;
 - Пробег, соответствующий средней энергии электронов.
9. Сечение фотоэффекта на К-оболочке пропорционально:
 - Zm_0c^2 ;
 - $Z^5 \cdot (h\nu)^{-7/2}$;
 - $Zh\nu$;
 - $Z^2 / h\nu$.
10. Гамма-квант может образовывать пару электрон-позитрон в поле электрона, если его энергия:
 - $\geq 2m_0c^2$;
 - $\geq 7m_0c^2$;
 - $\geq 4m_0c^2$;
 - $\approx m_0c^2$.
11. Ионизационная камера для γ -излучения изготавливается:
 - Толстостенными для поглощения γ -излучения;
 - С очень тонким входным окном;
 - С толщиной окна меньше пробега Оже-электронов;
 - Источник γ -излучения размещают внутри камеры.
12. Пропорциональные счетчики отличаются от ионизационных камер:
 - Использованием специального гасящего газа;
 - Использованием цилиндрической конструкции и более высокой напряженности поля ;
 - Применением очень тонкой анодной нити;
 - Применением большого сопротивления нагрузки.
13. Мертвое время счетчика Гейгера-Мюллера – это:
 - Время, за которое в счетчике диссоциирует половина молекул гасящих добавок;
 - Время, за которое в счетчике полностью произойдет диссоциация всех молекул гасящих добавок;



- Время, в течение которого счетчик не может регистрировать другие частицы;
 - Время, в течение которого разряд распространяется вдоль анодной нити.
14. Самой большой конверсионной эффективностью обладают сцинтилляторы:
- $NaI(Tl)$;
 - Антрацен;
 - $ZnS(Ag)$;
 - Стильбен.
15. Коэффициент усиления ФЭУ определяется:
- Числом электронов, вылетающих с фотокатода;
 - Разностью потенциалов между динодами;
 - Числом динодов;
 - Материалом анода.
16. Излучение Вавилова-Черенкова возникает в случае, когда:
- Скорость частицы превышает скорость света;
 - Если заряд атомов данной среды ≥ 47 ;
 - Скорость частицы, движущейся в прозрачной среде, превышает фазовую скорость света в данной среде;
 - Если показатель преломления среды $n = 1$.
17. Энергия, идущая на образование носителей тока в полупроводниковом детекторе:
- ≈ 34 эВ;
 - ≤ 6 эВ;
 - ≈ 12 эВ;
 - ≈ 81.4 эВ.
18. Плотность тока в полупроводниковом детекторе n -типа определяется:
- Концентрацией электронов и дырок;
 - Концентрацией электронов;
 - Концентрацией ионов;
 - Концентрацией дырок.



Вопросы к зачету

(9^й семестр, осенний семестр)

Вопрос 1. Каким образом происходит взаимодействие излучения с веществом? Какие энергетические потери существуют у заряженных частиц?

Вопрос 2. Приведите выражение для ионизационных потерь и объясните все параметры, входящие в это выражение? Какое еще другое название закреплено за этим выражением?

Вопрос 3. Нарисуйте зависимость потерь энергии на ионизацию и возбуждение от энергии заряженной частицы и объясните характер поведения данной зависимости.

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

Вопрос 5. Что мы понимаем под термином « радиационные потери » ? Приведите выражение для потерь энергии и проанализируйте его.

Вопрос 6. Каково соотношение ионизационных и радиационных потерь энергии? Что такое критическая энергия? Какова их зависимость от Z вещества и энергии частиц? Что такое радиационная длина?

Вопрос 7. Расскажите о рассеянии тяжелых заряженных частиц, Приведите формулу Резерфорда и расскажите об ее ограничениях.

Вопрос 8. Как сильно рассеяние электронов отличается от рассеяния тяжелых заряженных частиц? Какой закономерности подчиняется распределение электронов по углам рассеивания? Какие виды рассеивания электронов Вы знаете?

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

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

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

Вопрос 12. 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 13. Какими существенными конструктивными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с α -, β -, γ -излучениями? Приведите примеры.

Вопрос 14. Импульсная ионизационная камера. Расскажите о работе ионизационной камеры в импульсном режиме. Индукционный эффект и меры по его устранению.

Вопрос 15. 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 16. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время?



Вопрос 17. Что Вы знаете о самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время?

Вопрос 18. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?

Вопрос 19. 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 20. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?

Вопрос 21. Расскажите об эффективности регистрации газоразрядными счетчиками заряженных частиц, γ -излучения и нейтронов. Какие меры необходимо предпринять, чтобы увеличить эффект их регистрации?

Вопрос 22. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.

Вопрос 23. Органические сцинтилляторы. Состав и физико-химические характеристики. Процесс сцинтилляций.

Вопрос 24. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Резонансное излучение. Реабсорбция.

Вопрос 25. Внутреннее тушение. Сместители спектра. Оптическая и термическая активация.

Вопрос 26. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.

Вопрос 27. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.

Вопрос 28. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ.

Вопрос 29. Коэффициент усиления ФЭУ. Объёмный заряд и шумы ФЭУ.

Вопрос 30. Характеристики сцинтилляционных счетчиков. Схема включения и форма импульса. Временное и энергетическое разрешение. Амплитудное распределение импульсов. Эффективность регистрации.

Вопрос 31. На каком принципе осуществляется работа Черенковских счетчиков. Энергетический порог излучения. Как зависят потери на излучение от атомного номера Z среды?

Вопрос 32. Какие конструкции детекторов Вавилова-Черенкова Вы знаете? Какие вещества применяют в качестве радиаторов для этих детекторов?

Вопрос 33. 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 34. 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 35. Расскажите о счетчиках с p-n переходом. Как образуется объемный заряд и какую роль он играет при детектировании частиц? Прямое и обратное смещение. Свободные носители. Обедненный слой и его толщина.



Вопрос 36. Расскажите о счетчиках с р-і-n переходом. Распределение объёмного заряда. За счет чего в этих детекторах увеличивается чувствительный слой (укажите еще его другое название) ? Токи утечки.

Вопрос 37. Энергетическое и временное разрешение ППД. Форма импульса и форма линии ППД. Применение ППД для решения практических задач.

Вопросы к зачету

(10^й семестр, весенний семестр)

Вопрос 1. Расскажите об устройстве камеры Вильсона и физических принципах ее работы.

Вопрос 2. Цикл работы камеры Вильсона. Каким образом регистрируется частица в камере и с какой точностью?

Вопрос 3. Ядерные фотоэмульсии. Основные представления о фотографическом процессе.

Вопрос 4. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом ядерной эмульсии. Определение пробега и энергии частиц. Толщина слоев ядерной фотоэмульсии.

Вопрос 5. Принцип действия искровой камеры. Механизм пробоя в газе между двумя плоскими электродами. Проволочная искровая камера. Методы съема информации.

Вопрос 6. Стримерная камера и особенности ее конструкции. Наполнение камеры. Временные характеристики. Способы получения информации.

Вопрос 7. Многодетекторные системы: телескоп и годоскопы.

Вопрос 8. Спектрометрия излучений. Основная терминология: спектр, аппаратурный спектр, спектральная линия и ее ширина. Разрешение и светосила спектрометра.

Вопрос 9. Принцип действия магнитного спектрометра. Соотношение между магнитной жесткостью, импульсом и энергией частиц. Восстановление спектра электронов по аппаратурному.

Вопрос 10. Магнитный спектрометр с поперечным полем. Спектрометр с полукруговой фокусировкой.

Вопрос 11. Сферическая абберация 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 12. Форма линии спектрометра Даныша и методы регистрации частиц. Очень кратко об основных недостатках спектрометра Даныша и путях дальнейшего усовершенствования спектрометра с полукруговой фокусировкой. *Примеры**.

Вопрос 13. Основные принципы, используемые в конструкции спектрометра с двойной фокусировкой.

Вопрос 14. Спектрометры с секторным полем. Правило Барбера. Принцип фокусировки в секторном спектрометре с полем $\sim 1/r$.

Вопрос 15. Магнитные спектрометры для измерения γ -излучения. Основные принципы.

Вопрос 16. Кристалл-дифракционная спектроскопия ядерного γ -излучения. Дифракция γ -излучения на плоском кристалле.

Вопрос 17. Условие Вульфа-Брэгга. Толстый и тонкий кристалл, мозаичность кристалла.

Вопрос 18. Спектрометр с изогнутым кристаллом. Спектрометры Дю Монда и Кошуа.

Вопрос 19. Дифракционный спектрометр с двумя плоскими кристаллами.



Вопрос 20. Сцинтилляционные γ -спектрометры. Однокристалльные сцинтилляционные γ -спектрометры (общие понятия).

Вопрос 21. Аппаратурная форма линии сцинтилляционного γ -спектрометра. Физические процессы, приводящие к формированию наиболее характерных участков АФЛ.

Вопрос 22. Методы определения положения и площади пика полного поглощения. Графический метод для определения положения и площади пика полного поглощения.

Вопрос 23. Метод линеаризации для определения положения и площади пика полного поглощения.

Вопрос 24. Способы улучшения формы аппаратурной линии γ -спектрометра .

Вопрос 25. Градуировочная характеристика спектрометра по энергии. Образцовые источники для градуировки γ -спектрометров.

Вопрос 26. Обработка линейчатых спектров. Обработка одномерных линейчатых спектров. Основные этапы анализа. Сглаживание спектра.

Вопрос 27. Автоматический поиск пиков. Основные методы поиска пиков: Метод максимума; Метод плавающего отрезка; Метод первой производной; Метод второй производной; Метод сглаживания.

Вопрос 28. Примеры применения детекторов: Детекторы в медицине; применение в геофизике; применение в космических исследованиях.



Задание № 1

Специальный физический
Практикум

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.

1.3. Магнитная линза выделяет частицы с импульсом P/c , 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 ионизируя атомы среды. Получить выражение для удельных ионизационных потерь энергии заряженной частицы, масса которой больше массы электронов.

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.	
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

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 2

Специальный физический
практикум

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?

1.5. Найти минимум удельных потерь энергии, а также скорость и кинетическую энергию частицы (протона), соответствующие минимуму. Учесть, что средний потенциал ионизации для вещества ${}^Z X$ определяется по формуле Штернгеймера : $\bar{I} = Z \cdot (9.76 + 58.8 \cdot Z^{-1.19})$.

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 A - и B -частиц с энергией E в кристалле XY .

Таблица 2.1

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

Данные к задаче 1.7.

Таблица 2.2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Частицы, A, B	α, β	α, β	p, β	p, β	p, β	p, β	α, β	α, β	p, β	p, β	α, β	α, β
Энергия, МэВ	5	7.5	12	20	5	6	7	8	9	10	12	15
Кристалл XY	Al ₂ O ₃	Cu ₂ S	MgCl ₂	SiO ₂	NaBr	NaI	KBr	KI	CzI	ZnS	NaCl	KCl

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 .

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 3

Специальный физический
практикум

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. Что такое ливневые процессы? В результате каких взаимодействий они образуются? Состав ливней?
5. Объясните, что такое распределение остановившихся электронов? Как сильно отличается распределение остановившихся электронов от кривых поглощения электронов, или дозных кривых за барьером?

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 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 $R_p = 1.8 \cdot E_p^{1.8}$.

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 $R_1 = R_2 \cdot \frac{\rho_2 \cdot A_1^{1/3}}{\rho_1 \cdot A_2^{1/3}}$, где ρ - плотность вещества, A - атомный вес.

Таблица 3.1

Данные к задаче 1.16

Материал фольги	Ti	Be	Au	Ni	Cu	Ag	Ti	Be	Au	Ni	Cu	Ag
Толщина фольги, 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
Частица	d	d	d	d	d	d	p	p	p	p	p	p
Энергия, E МэВ	20	18	35	100	30	35	20	18	35	100	30	35

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)

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

1.8. 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



Задание № 4

Специальный физический
практикум

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

1. Общие замечания о взаимодействии γ - квантов с веществом в отличие от взаимодействия заряженных частиц. Основные процессы взаимодействия и закономерность прохождения γ - квантов через вещество?
2. Фотоэлектрическое взаимодействие γ - квантов с веществом. Характеристическое излучение. Сечение фотоэффекта и его основные закономерности. Угловое распределение фотоэлектронов.
3. Что такое δ - электроны и что такое Оже - электроны, в каких процессах они образуются?
4. Комптоновское рассеяние γ - квантов. Сечение рассеяния и зависимость дифференциального сечения от угла рассеяния.
5. Эффект образования пар. Пороговая энергия и сечение образования пар. Общий характер взаимодействия фотонов высокой энергии с веществом. Суммарное сечение взаимодействия.

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 ${}_{40}^{18}Ar$ равна 1.7837 кг/м^3 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 $\rho = 0.0708 \text{ т/м}^3$ при температуре $T = -252.8^{\circ} \text{ C}$.

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° K , если теплоемкость его равна 22 кал/К° , 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.

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 5

Специальный физический
практикум

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

1. На каком принципе 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.
2. Какими существенными конструкционными признаками различаются ионизационные камеры, предназначенные для работы с α -, β -, γ -излучениями? Приведите примеры.
3. Работа ионизационной камеры в импульсном режиме. Сущность индукционного эффекта и пути его снижения.
4. 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.
5. Газоразрядные счетчики (сравнительно с пропорциональными счетчиками): приблизительно какая точка на вольт-амперной характеристике соответствует началу области газового разряда? Чем ограничено развитие разряда в счетчике?
6. Принцип действия несамогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера. Каким образом осуществляется гашение разряда и за какое время?

2.1. Вычислить форму электронного компонента 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

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

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

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

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 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.

2.3. 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 $u^+ = 10^{-2}$ см²/с·В, а скорость дрейфа электронов почти не зависит от напряженности электрического поля и равна $v^- = 2 \cdot 10^5$ 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.

2.39. Определить порог $V_{порог}$ 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 $V_{ion} = 15.8$ 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 $l = \pi d / 4$.

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 6

Специальный физический
практикум

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

1. Что Вы знаете о самогасящихся счетчиках? За счет какого физического эффекта происходит гашение разряда и за какое время? Срок службы самогасящихся счетчиков.
2. Каким образом распространяется разряд в самогасящемся счетчике? Какие экспериментальные конструкции счетчика подтверждают данное распространения разряда?
3. Какова форма импульса в самогасящемся счетчике, как она зависит от места первичной ионизации и за счет каких компонент разряда она образуется?
4. 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.
5. Счетная характеристика самогасящегося счетчика: благодаря каким факторам возникают ложные импульсы и каков их вклад?

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.

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

2.42. 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 $n_1 = 100$, $n_2 = 155$, $n_{12} = 248$.

2.45. 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 $N = 5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$.

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.

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 7

Специальный физический
практикум

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

1. Сцинтилляционный метод. Принцип работы сцинтилляционного детектора. Неорганические сцинтилляторы, состав и характеристики.
2. Органические сцинтилляторы. Состав и физико-химические характеристики. Процесс сцинтилляций.
3. Модель центра свечения. Конфигурационные кривые и спектры высвечивания. Резонансное излучение. Реабсорбция.
4. Внутреннее тушение. Сместители спектра. Оптическая и термическая активация.
5. Дозиметрические характеристики сцинтилляторов. Медленные и быстрые компоненты высвечивания.

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

2.31. 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 ($\rho = 3.67 \text{ г/см}^3$), 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 $\mu = 0.126 \text{ см}^{-1}$.

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.

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задание № 8

Специальный физический
практикум

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

1. Свойства органических кристаллов. Кристаллические, жидкие и пластические сцинтилляторы. Газовые сцинтилляторы.
2. Фотоэлектронные умножители. Элементы ФЭУ. Фотокатод и его параметры (спектральная чувствительность, интегральная чувствительность, конверсионная эффективность), процесс утомления фотокатодов.
3. Входная камера ФЭУ. Динодная система. Коэффициент вторичной электронной эмиссии. Форма динодов ФЭУ.
4. Коэффициент усиления ФЭУ. Объёмный заряд и шумы ФЭУ.
5. Характеристики сцинтилляционных счетчиков. Схема включения и форма импульса. Временное и энергетическое разрешение. Амплитудное распределение импульсов. Эффективность регистрации.

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.

2.41. 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.

2.43. 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, $N_e = 5 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$.

ЛИТЕРАТУРА:

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



Задачи для практических занятий по Специальному физическому практикуму

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 ${}^{40}_{18}Ar$.

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 ${}^{40}_{18}Ar$ 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)

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

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 $u^+ = 10^{-2}$ см²/с·В, а скорость дрейфа электронов почти не зависит от напряженности электрического поля и равна $v^- = 2 \cdot 10^5$ 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 $r_i = 0.0125$ см и $r_a = 1.1$ см, заполненный Ar до $1.33 \cdot 10^4$ Па, облучается релятивистскими протонами, проходящими по диаметру. Коэффициент газового усиления равен $\mu = 55$. К электродам приложено напряжение $U = 800$ В.

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

2.8. Какая масса воды достаточна для насыщения парами 10-литрового объема камеры Вильсона при температуре $23^\circ C$ (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 $t_1 = 20^\circ C$, 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

Давление паров воды и этилового спирта при различных температурах

Таблица 1.1

Температура, °C	Давление, мм рт. ст.		Температура, °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.

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

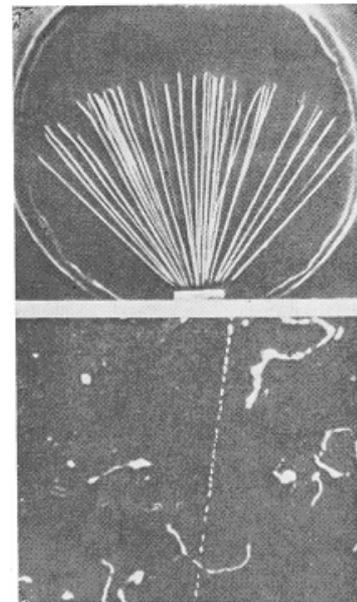


Рис.1.1



Рис. 1.2

этих фотографий.

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?

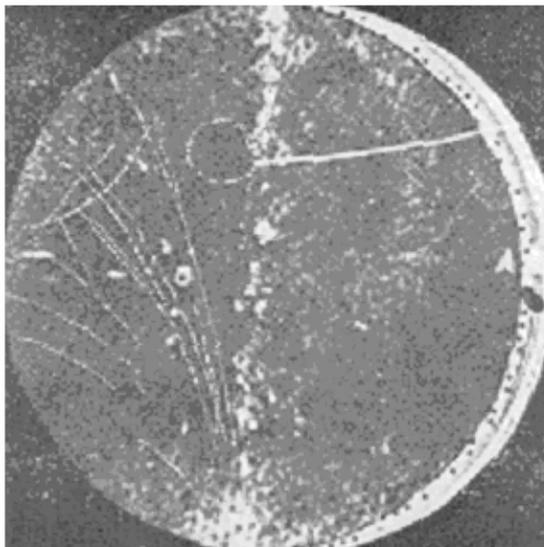


Рис. 1.3

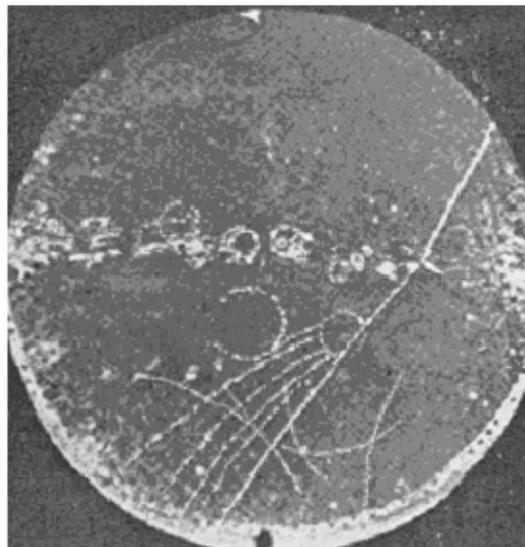


Рис. 1.4

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.

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 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.

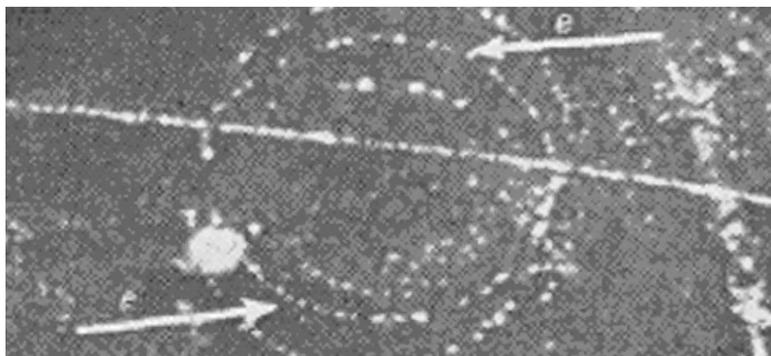


Рис. 1.5



При скоростях $v \ll c$ приближенно

$$-\frac{dE}{dx} \approx \frac{4\pi \cdot z^2 e^2 N}{mv^2},$$

где ze – заряд частицы, v – ее скорость, N – число атомов в 1 см^3 , m – масса электрона.

В удобном для вычислений виде формула для $(-dE/dx)$ имеет вид

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

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

- Как определить направление движения частицы по ее следу в эмульсии?
- Как относятся удельные потери энергии для протонов, дейтронов и α -частиц при равных скоростях и соответственно при равных энергиях частиц?
- 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)

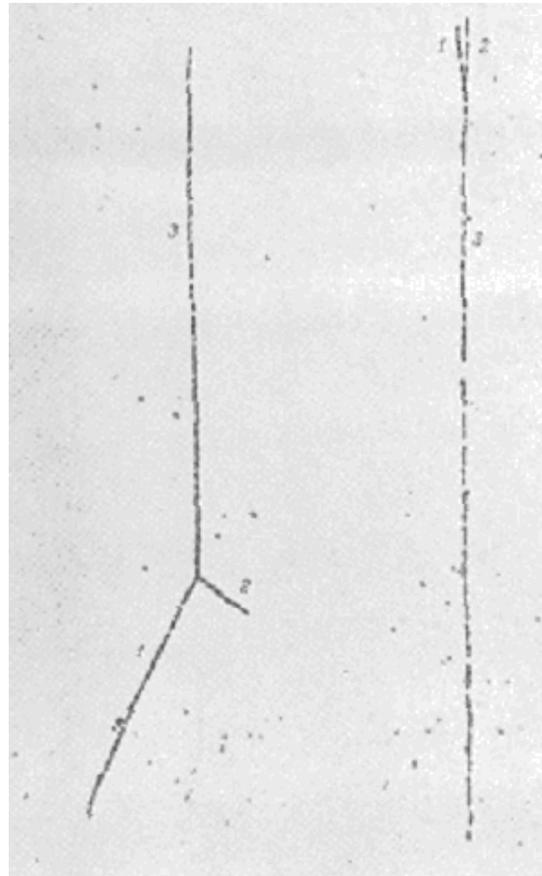


Рис. 1.6



γ -излучения в импульсе, d и U_0 – расстояние и разность потенциалов между электродами камеры. Используя эту формулу, определить, какая максимальная 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 $\mathcal{M} = 2 \cdot 10^6$, 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 $\mathcal{M} = 10^7$, 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 источника 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 ($\tau_1 > \tau_2$).

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.

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 стерадиану.

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.

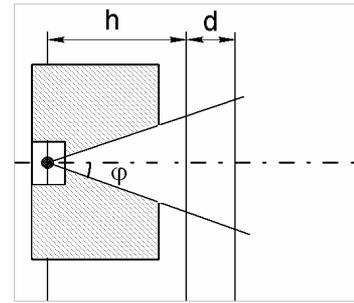


Рис. 1.7

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 ${}^{60}_{27}\text{Co}$ ($T_{1/2} = 5.271$ 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 ${}^{65}\text{Zn}$ 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?

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?

3.30. 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 “ Специальный физический практикум ”
 для специальности 010724 “*Медицинская физика*”
 на восьмой семестр 2009/2010 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Теоретические занятия – 32 час.
 Практические занятия – 24 час.

Название модуля	Теоретические занятия		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 заряж. частиц в веществе и взаимодействии γ -квантов с веществом	1. Введение. Ионизационные потери энергии.	50	–		1. Введение. Ионизационные потери энергии.	30	1. Введение. Ионизационные потери энергии.	20	18.10.2009 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	18.11.2009 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. Сцинтилляционные счетчики	50	–		10. Сцинтилляционные счетчики	20	10. Сцинтилляционные счетчики	20	15.12.2009 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 “Специальный физический практикум”
 для специальности 010724 “*Медицинская физика*”
 на девятый семестр 2009/2010 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Теоретические занятия – 32 час.
 Практические занятия – 24 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.	40	–		1. Камера Вильсона.	30	1. Камера Вильсона.	15	18.03.2010 г.	250		
	2. Диффузионная камера	20			3. Ядерные эмульсии	30	2. Диффузионная камера	10			3. Ядерные эмульсии	15
Многопроволочные детекторы и спектрометры	3. Ядерные эмульсии	30	–		6. Магнитные бета-спектрометры	40	4. Искровая камера	40	18.04.2010 г.	290		
	6. Магнитные бета-спектрометры	70					7. Магнитная гамма-спектрометрия	20			6. Магнитные бета-спектрометры	20
	7. Магнитная гамма-спектрометрия	40						30			7. Магнитная гамма-спектрометрия	30
Сцинтилляторы и расшифровка спектров	8. Сцинтилляционная спектрометрия	40	–		8. Сцинтилляционная спектрометрия	30	8. Сцинтилляционная спектрометрия	20	18.05.2010 г.	310		
	9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	40			9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	30	9. Кристалл-дифракционная спектроскопия γ -излучения	20				
	10. Расшифровка аппаратурных спектров	30			10. Расшифровка аппаратурных спектров	60	10. Расшифровка аппаратурных спектров	15				
	11. Применение детекторов	10				15	11. Применение детекторов	15				
Итого:		400		–		250		200		850		

Утверждаю:
 ЗАВ. КАФЕДРОЙ

Потылицын А.П.

Составил:
 В.В. Кашковский



Рейтинг – план

Оценки

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

По дисциплине “Специальный физический практикум”
 для специальности 010724 “*Медицинская физика*”
 на десятый семестр 2010/2011 уч. года

Лектор: Кашковский Виктор Васильевич

Лабораторные занятия– 54 час.

Название модуля	Лабораторные работы		Домашние занятия		Рубежный контроль	Максимальный балл модуля
	Тема	Балл	Тема	Балл		
1	Исследование счетных характеристик газоразрядных счетчиков.	100			18.03.2011 г.	300
	Определение мертвого времени газоразрядного счетчика.	100				
	Эффективность измерительной установки с торцовым счетчиком при определении активности β -излучателя. Определение обратного рассеяния β -частиц	100				
2	Градуировка с внутренней проверкой энергетической шкалы γ -спектрометра и исследование ее нелинейности.	100			18.04.2011 г.	300
	Исследование формы линии однокристалльного сцинтилляционного γ -спектрометра.	100				
	Определение энергии γ -излучения по полупоглощению	100				
3	Определение содержания продуктов распада радона в сухом атмосферном воздухе внутри помещения по измеренной активности фильтра.	100			18.05.2011г.	300
	Измерение энергии α -частиц.	100				
	Полупроводниковый спектрометр α -частиц	100				
Итого:		900		-		900

Утверждаю:

ЗАВ. КАФЕДРОЙ

Потылицын А.П.

Составил:

В.В. Кашковский



Учебное издание

Рабочая программа для направления 010700 «Физика», специальности 010724
«Медицинская физика»

Разработчик *КАШКОВСКИЙ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ*

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

Печать Хероx. 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.