

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»**

**Физический факультет  
Кафедра физики элементарных частиц**



Рабочая программа дисциплины  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

**Направление подготовки: 03.03.02 Физика  
направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференциальный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	36	16	10		8				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 28 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу  
д.ф.-м.н., профессор

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре программы бакалавриата	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Программа курса «**Экспериментальные методы ядерной физики**» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой физики элементарных частиц. Дисциплина изучается студентами четвертого курса бакалавриата физического факультета в осеннем семестре.

Основная цель курса – познакомить студентов с основными процессами, происходящими при взаимодействии элементарных частиц и гамма-квантов с веществом, а также с экспериментальными методиками использующие данные процессы для регистрации частиц, применяемыми в ядерной физике и физике элементарных частиц. Значительное внимание уделено особенностям взаимодействия заряженных и нейтральных частиц с веществом, описанию основных характеристик детекторов физики частиц, а также различным методикам идентификации. Параллельно курсу проходит «ядерный практикум», где студенты непосредственно знакомятся с пройденным материалом на экспериментальных установках.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p> <p><b>ПК 1.3.</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>Знать</b> основные понятия экспериментальных методов ядерной физики: потери энергии частиц при прохождении через вещество, многократное рассеяние, тормозное излучение, фотоэффект, Комptonовское рассеяние, рождение пар и т.д.; <b>знать</b> основные детекторные методики, их параметры и особенности применения. <b>Уметь</b> оценить характерные физические величины детекторов элементарных частиц: точность измерения ионизационных потерь, точность измерения времени пролета сцинтилляционным счетчиком, энергетическое разрешение калориметры и д.р.; <b>уметь</b> решать задачи, связанные с разработкой новых систем регистрации частиц.</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<b>Владеть</b> основными методами расчетов в экспериментальных методах ядерной физики; <b>владеть</b> простейшими методами оценки процессов, происходящих при прохождении (регистрации) частиц в детекторах элементарных частиц.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Экспериментальные методы ядерной физики» является частью программы бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02 Физика** и входит в число дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики элементарных частиц. Дисциплина должна предшествовать выполнению квалификационной работы бакалавра т.к. дает необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в области физики элементарных частиц в рамках подготовки его квалификационной работы.

Для освоения материала необходимо предшествующее успешное освоение курса «Введение в физику высоких энергий» для студентов 3-го курса.

## 3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	36	16	10		8				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 28 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, дифференциальный зачет. Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетная единица, 36 часов:

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия– 10 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 8 часов.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, семинарского типа, групповые консультации, экзамен) составляет 28 часов.

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Экспериментальные методы ядерной физики» представляет собой семестровый курс, читаемый на 6-м семестре бакалавриата физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетная единица, 36 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение	1	2	1		1	
2	Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество.	2-3	5	2	2	1	
3	Прохождение электронов через вещество.	4	3	1	2		
4	Прохождение $\gamma$ -квантов через вещество.	5-6	4	2	1	1	
5	Электромагнитные ливни	7	2	1		1	

6	Прохождение адронов через вещество	8	2	1		1	
7	Методы регистрации частиц и приборы.	9-15	12	7	3	2	
8	Радиация, радиоактивность и защита от радиации.	16	4	1	2	1	
9	Дифференциальный зачет	17	2				2
	<b>Итого по курсу:</b>		<b>36</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>2</b>

### Программа курса лекций

1. Введение. Назначение и основные параметры детекторов элементарных частиц
2. Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество.
  - 2.1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха, Эффект плотности, Плато Ферми,  $dE/dt$  (min).
  - 2.2.  $\delta$ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число  $\delta$ -электронов. Формула Резерфорда.
  - 2.3. Флуктуации ионизационных потерь. Флуктуации Гаусса. Флуктуации Ландау. Флуктуации для сверхтонких слоев.
  - 2.4. Связь пробег-энергия. Разброс пробегов.
  - 2.5. Многократное рассеяние. Среднеквадратичное значение угла. Формула Росси. Область применимости формулы Росси. Теория Мольера.
  - 2.6. Функции распределения по углу. Поперечное смещение.
3. Прохождение электронов через вещество.
  - 3.1. Особенности ионизационных потерь, многократного рассеяния, пробега.
  - 3.2. Тормозное излучение электронов. Теория Бете-Гайтлера. Спектр излучения Потери энергии на излучение. Критическая энергия. Радиационная единица.
  - 3.3. Угловое распределение  $\gamma$ -квантов. Флуктуации потерь энергии на излучение.
4. Прохождение  $\gamma$ -квантов через вещество.
  - 4.1. Особенности прохождения нейтральных частиц через вещество. Коэфф. поглощения. Длина поглощения.
  - 4.2. Фотоэффект. Сечение. Зависимость от энергии. Угловое распределение электронов.
  - 4.3. Эффект Комптона. Полное сечение. Энергетическое и угловое распределение рассеянных  $\gamma$ -квантов Энергетическое и угловое распределение электронов.
  - 4.4. Рождение пар. Порог реакции. Коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов в процессе рождения пар. Распределение энергии между электроном и позитроном. Угловое распределение электронов.
  - 4.5. Суммарный коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов.
5. Электромагнитные ливни

- 5.1. Качественная картина. Максимум энергосвечения. Продольный профиль ливня. Размерливня в тяжелых и легких веществах. Ливни от электронов и  $\gamma$ -квантов. Поперечный размер ливня.
6. Прохождение адронов через вещество
  - 6.1. Протон. Ядерный пробег.
  - 6.2.  $\pi$ -мезон. Ядерный пробег
7. Методы регистрации частиц и приборы.
  - 7.1. Назначение и основные параметры детекторов элементарных частиц. Наблюдаемые частицы (заряженные, нейтральные). Принцип идентификации заряженных частиц.
  - 7.2. Методы регистрации частиц. Обоснование необходимости усиления сигнала. Основные детекторные технологии, их параметры, преимущества и недостатки.
  - 7.3. Сцинтилляторы. Типы сцинтилляторов. Механизмы сцинтилляций. Конверсионная эффективность. Отношение  $\alpha/\beta$ . Время высвечивания.
  - 7.4. Основные методы регистрации света. ФЭУ. Типы фотокатодов. Квантовая эффективность, спектральная чувствительность, интегральная чувствительность.
  - 7.5. Коэффициент вторичной эмиссии. Основные виды. Типы динодов. Требование к стабильности напряжения питания ФЭУ.
  - 7.6. Шумы Фотоумножителей. ФЭУ в магнитном поле.
  - 7.7. Амплитудное разрешение. Флуктуации каскадных процессов. Флуктуации в случае да-нет. Флуктуация числа фотоэлектронов. Флуктуации коэффициента усиления. Энергетическое разрешение ФЭУ.
  - 7.8. Форма импульса напряжения на выходе с ФЭУ. Выбор оптимальной RC-цепочки для наилучшего амплитудного разрешения.
  - 7.9. Временное разрешение сцинтилляционного счетчика. Конечное время высвечивания сцинтиллятора. Конечное время сбора света. ФЭУ. Разброс времени прохождения лавины усиления.
  - 7.10. Черенковские детекторы. Открытие явления. Качественная природа явления. Основные свойства черенковского излучения. Черенковский угол. Интенсивность черенковского излучения. Поляризация.
  - 7.11. Пороговые счетчики. Основные материалы радиаторов излучения. Основные источники допороговых срабатываний.
  - 7.12. Счетчики с использованием черенковского угла. Дифференциальные счетчики. Счетчик Фитча. RICH. DIRC. Фокусирующий RICH.
  - 7.13. Скорость дрейфа ионов и электронов в газе. Рекомбинация. Требование на сродство к электрону для газов, используемых в детекторах.
  - 7.14. Механизм газового усиления. Коэффициент газового усиления. Первый и второй коэффициенты Таунсенда. Требование к рабочему газу. Пространственное разрешение. Кластерный эффект.
  - 7.15. Амплитудное разрешение пропорциональной камеры. Сравнение со сцинтилляционным счетчиком.
  - 7.16. Счётчики полного поглощения (калориметры). Зависимость энергетического разрешения от энергии. Основные виды калориметров. Точность измерения координаты гамма-кванта.

8. Радиация, радиоактивность и защита от радиации.
- 8.1. Основные определения. Активность радионуклидов. Поглощенная доза. Экспозиционная доза. Доза в органе или ткани. Эквивалентная доза. Эффективная доза.
- 8.2. Воздействие ионизирующего излучения на ткани и организмы.
- 8.3. Источники радиации. Естественная радиоактивность. Искусственные источники. Сопоставление доз. Оценка доз от потока минимально ионизирующих частиц и от гамма-квантов.
- 8.4. Нормы облучения. Возможные последствия. Сравнение радиационных рисков с другими источниками опасности.

## **5. Перечень учебной литературы.**

1. Мухин, Константин Никифорович. Экспериментальная ядерная физика: [учебник для физических специальностей вузов] : в 2 т. / К.Н. Мухин. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1983. ; 22 см. . Т.1: Физика атомного ядра. 1983. 616 с. : ил. (Т1-8 экз., Т2-8 экз.)
2. Бузулуцков, Алексей Федорович. Современные экспериментальные методики в физике высоких энергий: учебно-методическое пособие по курсу лекций для магистрантов / А.Ф. Бузулуцков ; Федер. агентство по образованию, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. физики элементар. частиц. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2009. 29, [1] с. : ил. ; 20 см. (3 экз.)

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

1. Passage of Particles Through Matter (review), M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 98, 030001 (2018) <http://pdg.lbl.gov/2018/reviews/rpp2018-rev-passage-particles-matter.pdf>
2. C. Grupen and B. A. Shwartz, PARTICLE DETECTORS, Cambridge University Press, <https://www.pdfdrive.com/particle-detectors-grupen-shwartz-cern-e14628751.html>

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **Интернет-ресурсы:**

1. Веб-страница кафедры теоретической физики  
<http://www.inp.nsk.su/students/theor/index.ru.html>



2. Веб-страница Particle Data Group  
<http://pdg.lbl.gov/>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО). Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

**Текущий контроль.** В течение семестра, после окончания первой части курса (взаимодействие частиц и излучения с веществом) проводится контрольная работа: после окончания каждой темы проводится дискуссия, в которой участвуют все студенты (обсуждаются особенности теоретических моделей, сравниваются различные

экспериментальные методы, анализируются возможные ошибки в экспериментах и т.д.). Участие в дискуссиях является обязательным для всех студентов, а результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

### Промежуточный контроль

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференциальном зачете. Зачет проводится в конце семестра в зачетную неделю по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	<b>Знать</b> основные понятия экспериментальных методов ядерной физики: потери энергии частиц при прохождении через вещество, многократное рассеяние, тормозное излучение, фотоэффект, Комптоновское рассеяние, рождение пар и т.д.; <b>знать</b> основные детекторные методики, их параметры и особенности применения.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.
<b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	<b>Уметь</b> оценить характерные физические величины детекторов элементарных частиц: точность измерения ионизационных потерь, точность измерения времени пролета сцинтилляционным счетчиком, энергетическое разрешение калориметры и д.р.; <b>уметь</b> решать задачи, связанные с разработкой новых систем регистрации частиц.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

<p><b>ПК 1.3.</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>Владеть</b> основными методами расчетов в экспериментальных методах ядерной физики; <b>владеть</b> простейшими методами оценки процессов, происходящих при прохождении (регистрации) частиц в детекторах элементарных частиц.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
---	---	--

**10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Экспериментальные методы ядерной физики».**

**Таблица 10.2**

Критери и оценива ния результ атов обучени я	Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформиров ан  (0 баллов)	Пороговый уровень  (3 балла)	Базовый уровень  (4 балла)	Продвинутый уровень  (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальн ых требований . Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/ несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированн о отвечает на дополнительные вопросы.

Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений.  Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Пример заданий контрольной работы:

1.  $\alpha$ -частица с кинетической энергией 40 МэВ проходит 1 см в воздухе при нормальных условиях. Оценить ионизационные потери.
2. Пороговый черенковский счетчик детектора КЕДР использует аэрогель с показателем преломления  $n=1.05$  (плотность 0.234 г/см<sup>3</sup>), толщина аэрогеля в счетчике 7 см. Оценить допороговую эффективность для каонов с энергией 1500 МэВ за счет образования  $\delta$ -электронов в аэрогеле.
3. Пион с кинетической энергией 1 ГэВ проходит 1 см воды. Найти относительные флуктуации ионизационных потерь.
4. Каон с кинетической энергией 10 МэВ проходит 1 мм воды. Найти относительные флуктуации ионизационных потерь.

5. Найти пробег пиона с энергией 10 МэВ в воздухе, зная, что для нерелятивистской  $\alpha$ -частицы пробег в воздухе дается следующей формулой:  $R_\alpha = 0.3T^{3/2}$ , где R измеряется в см, а T – в МэВ.

6. Пучок электронов с импульсом 1 ГэВ/с пролетает через магнитный спектрометр (дипольный магнит) состоящий из магнита длиной 1 метр и полем 1 Тесла. Угол влета частиц постоянный. Оценить поперечное отклонение в магнитном поле на выходе из магнита, сравнить данное отклонение с характерным сдвигом за счет эффекта многократного рассеяния в воздухе.

7. Электрон с энергией 3 ГэВ пролетает через стальную мишень и излучает тормозные  $\gamma$  – кванты. Оценить толщину мишени, при которой средний угол многократного рассеяния электрона в мишени сравнится с характерным углом тормозного излучения.

8. Оценить поглощенную дозу в течении года от потока космических мюонов ( $10^{-2}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Считать мюоны минимально ионизирующими частицами.

### **Билеты к дифференцированному зачету:**

#### Билет 1.

1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха, Эффект плотности, Плато Ферми,  $dE/dt \text{ min}$ .
2. Скорость дрейфа ионов и электронов в газе. Рекомбинация. Требование на сродство к электрону для газов, используемых в детекторах.

#### Билет 2.

1.  $\delta$ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число  $\delta$ -электронов. Формула Резерфорда.
2. Счетчики с использованием черенковского угла. Дифференциальные счётчики. Счетчик Фитча. RICH. DIRC. Фокусирующий RICH.

#### Билет 3.

1. Флуктуации ионизационных потерь. Флуктуации Гаусса. Флуктуации Ландау. Флуктуации для сверхтонких слоев.
2. Пороговые счетчики. Основные материалы радиаторов излучения. Основные источники до пороговых срабатываний.

#### Билет 4.

1. Многократное рассеяние. Среднеквадратичное значение угла. Формула Росси. Область применимости формулы Росси. Теория Мольера.
2. Черенковские детекторы. Открытие явления. Качественная природа явления. Основные свойства черенковского излучения. Черенковский угол. Интенсивность черенковского излучения. Поляризация.

Билет 5.

1. Функции распределения по углу при многократном рассеянии. Поперечное смещение.
2. Временное разрешение сцинтилляционного счетчика. Конечное время высвечивания сцинтиллятора. Конечное время сбора света. ФЭУ. Разброс времени прохождения лавины усиления.

Билет 6.

1. Тормозное излучение электронов. Теория Бете–Гайтлера. Спектр излучения. Потери энергии на излучение. Критическая энергия. Радиационная единица.
2. Форма импульса напряжения на выходе с ФЭУ. Выбор оптимальной RC-цепочки для наилучшего амплитудного разрешения.

Билет 7.

1. Угловое распределение  $\gamma$ -квантов при тормозном излучении. Флуктуации потерь энергии на излучение.
2. Амплитудное разрешение. Флуктуации каскадных процессов. Флуктуации в случае да-нет. Флуктуация числа фотоэлектронов. Флуктуации коэффициента усиления. Энергетическое разрешение ФЭУ.

Билет 8.

1. Особенности прохождения нейтральных частиц через вещество. Коэфф. поглощения. Длина поглощения.
2. Коэффициент вторичной эмиссии. Основные виды. Типы динодов. Требование к стабильности напряжения питания ФЭУ. Шумы Фотоумножителей. ФЭУ в магнитном поле.

Билет 9.

1. Фотоэффект. Сечение. Зависимость от энергии. Угловое распределение электронов. Суммарный коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов.
2. Основные методы регистрации света. ФЭУ. Типы фотокатодов. Квантовая эффективность, спектральная чувствительность, интегральная чувствительность.

Билет 10.

1. Эффект Комптона. Полное сечение. Энергетическое и угловое распределение рассеянных  $\gamma$ -квантов. Энергетическое и угловое распределение электронов. Суммарный коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов.

2. Сцинтилляторы. Типы сцинтилляторов. Механизмы сцинтилляций. Конверсионная эффективность. Отношение  $\alpha/\beta$ . Время высвечивания.

Билет 11.

1. Рождение пар. Порог реакции. Коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов в процессе рождения пар. Распределение энергии между электроном и позитроном. Угловое распределение электронов. Суммарный коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов.
2. Методы регистрации частиц. Обоснование необходимости усиления сигнала. Основные детекторные технологии, их параметры, преимущества и недостатки.

Билет 12.

1. Электромагнитные ливни – качественная картина. Максимум энергосвечения. Продольный профиль ливня. Размер ливня в тяжелых и легких веществах. Ливни от электронов и  $\gamma$ -квантов. Поперечный размер ливня.
2. Назначение и основные параметры детекторов элементарных частиц. Наблюдаемые частицы (заряженные, нейтральные). Принцип идентификации заряженных частиц.

Билет 13.

1.  $\delta$ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число  $\delta$ -электронов. Формула Резерфорда.
2. Механизм газового усиления. Коэффициент газового усиления. Первый и второй коэффициенты Таунсенда. Требование к рабочему газу. Пространственное разрешение. Кластерный эффект.

Билет 14.

1. Многократное рассеяние. Среднеквадратичное значение угла. Формула Росси. Область применимости формулы Росси. Теория Мольера.
2. Счётчики полного поглощения (калориметры). Зависимость энергетическо-разрешения от энергии. Основные виды калориметров. Точность измерения координаты гамма-кванта.

Билет 15.

1. Тормозное излучение электронов. Теория Бете–Гайтлера. Спектризлучения Потери энергии на излучение. Критическая энергия. Радиационная единица.
2. Основные определения. Активность радионуклидов. Поглощенная доза. Экспозиционная доза. Доза в органе или ткани. Эквивалентная доза. Эффективная доза. Воздействие ионизирующего излучения на ткани и организмы.

Билет 16.

1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха, Эффект плотности, Плато Ферми,  $dE/dt \text{ min.}$
2. Источники радиации. Естественная радиоактивность. Искусственные источники. Сопоставление доз. Оценка доз от потокаминимально- ионизирующих частиц и от гамма-квантов.

Билет 17.

1. Фотоэффект. Сечение. Зависимость от энергии. Угловое распределение электронов. Суммарный коэффициент поглощения  $\gamma$ -квантов.
2. Нормы облучения. Возможные последствия. Сравнение радиационных рисков с другими источниками опасности.

*Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.*



**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Экспериментальные методы ядерной физики»**

**по направлению подготовки 03.03.02 Физика**

**Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

<i>№</i>	<i>Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)</i>	<i>Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ</i>	<i>Подпись ответственного</i>