



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

Кафедра общей и космической физики



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.05 Экспериментальные методы ядерной физики

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика и физика Космоса

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 49 от «26» марта 2025 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «24» марта 2025 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2025 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	5
4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	9
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	9
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	9
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	10
а) <i>перечень литературы</i>	10
б) <i>периодические издания</i>	11
в) <i>список авторских методических разработок</i>	11
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	11
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	11
6.2. Программное обеспечение:	11
6.3. Технические и электронные средства:	12
VII. Образовательные технологии	12
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12

ПРИЛОЖЕНИЕ: фонд оценочных средств

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Дисциплина «Экспериментальные методы ядерной физики» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

Целью 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.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Организация учебного процесса при изучении данного курса соотносится с целями образования на современном этапе, а изучение некоторых разделов ориентировано на тематику научных исследований Института солнечно-земной физики СО РАН, телескопа МАСТЕР-Тунка на астрофизическом полигоне университета и глубоководного нейтринного телескопа на Байкале. Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин бакалавриата: «Высшая математика», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика» и «Взаимодействие излучений с веществом».

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины «Введение в экспериментальные методы астрофизики высоких энергий» направлено на формирование следующих компетенций:

- Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-2	ИДК ПК.2.1 Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок	Знать: основные понятия экспериментальных методов ядерной физики, большинство из которых применяется в физике элементарных частиц: потери энергии частиц при прохождении через вещество, многократное рассеяние, тормозное излучение, фотоэффект, Комптоновское рассеяние, рождение пар и т.д. А также знать основные

		детекторные методики, их параметры и особенности применения. Уметь: оценивать характерные физические величины детекторов элементарных частиц: точность измерения ионизационных потерь, точность измерения времени пролета сцинтилляционным счетчиком, энергетическое разрешение калориметры и д.р.. Уметь решать задачи, связанные с разработкой новых систем регистрации частиц. • Владеть: простейшими методами оценки процессов, происходящих при прохождении (регистрации) частиц в детекторах элементарных частиц
--	--	--

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа,

в том числе 25 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 8 аудиторных часов (во время выполнения проверочных заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельна я работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тема 1. Введение	7	2,1	0	1			1	опрос
2	Тема 2. Прохождение тяжелых частиц через вещество.	7	8,2	1	2			6	опрос
3	Тема 3. Прохождение электронов через вещество.	7	8,1	1	2			6	опрос
4	Тема 4. Прохождение γ-квантов через вещество.	7	8,1	1	2			6	опрос
5	Тема 5. Электромагнитные ливни	7	8,1	1	2			6	опрос
6	Тема 6. Прохождение адронов через вещество	7	8,1	1	2			6	опрос
7	Тема 7. Широкие атмосферные ливни	7	8,1	1	2			6	опрос
8	Тема 8. Методы регистрации частиц и приборы	7	8,1	1	2			6	опрос
9	Тема 9.Радиация, радиоактивность и защита от радиации	7	5,1	1	1			4	опрос
Контроль			8						Тестирование
КСР									
Итого часов			72	8	16			47	

4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Все разделы	- прочитать литературу по указанной преподавателем теме; решить домашнюю задачу	В течение семестра	42	Конспект, доклад, решение задачи	Вся рекомендуемая литература
7	Все разделы	Работа с лекционным материалом и учебной литературой. Подготовка к зачёту	К концу семестра	5	Тест	Вся рекомендуемая литература
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				47		

4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

Содержание теоретического раздела дисциплины:

Тема 1. Прохождение тяжелых частиц через вещество.

1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха, Эффект плотности, Плато Ферми, $dE/dt \min$.
2. δ -электроны. Первичная и полная ионизация . Число δ -электронов. Формула Резерфорда.
3. Флуктуации ионизационных потерь. Флуктуации Гаусса. Флуктуации Ландау. Флуктуации для сверхтонких слоев.
4. Связь пробег-энергия. Разброс пробегов .
5. Многократное рассеяние. Среднеквадратичное значение угла. Формула Росси. Область применимости формулы Росси. Теория Мольера
6. Функции распределения по углу. Поперечное смещение.

Тема 2. Прохождение электронов через вещество.

1. Особенности ионизационных потерь, многократного рассеяния, пробега.
2. Тормозное излучение электронов. Теория Бете–Гайтлера. Спектр излучения Потери энергии на излучение. Критическая энергия. Радиационная единица .
3. Угловое распределение γ -квантов. Флуктуации потерь энергии на излучение.

Тема 3. Прохождение γ -квантов через вещество.

1. Особенности прохождения нейтральных частиц через вещество. Коэфф. поглощения. Длина поглощения.
2. Фотоэффект. Сечение. Зависимость от энергии. Угловое распределение электронов.
3. Эффект Комптона. Полное сечение. Энергетическое и угловое распределение рассеянных γ -квантов Энергетическое и угловое распределение электронов.
4. Рождение пар. Порог реакции. Коэффициент поглощения γ -квантов в процессе рождения пар. Распределение энергии между электроном и позитроном. Угловое распределение электронов.
5. Суммарный коэффициент поглощения γ -квантов.

Тема 4. Электромагнитные ливни

1. Качественная картина. Максимум энерговыделения. Продольный профиль ливня. Размер ливня в тяжелых и легких веществах. Ливни от электронов и γ -квантов. Поперечный размер ливня.

Тема 5. Прохождение адронов через вещество

1. Протон. Ядерный пробег.
2. π -мезон. Ядерный пробег
3. Адронные ливни в плотном веществе.

Тема 6. Широкие атмосферные ливни

1. Особенности адронных и электромагнитных ливней в атмосфере.

Тема 7. Методы регистрации частиц и приборы.

1. Назначение и основные параметры детекторов элементарных частиц. Наблюдаемые частицы (заряженные, нейтральные). Принцип идентификации заряженных частиц.

2. Методы регистрации частиц. Обоснование необходимости усиления сигнала. Основные детекторные технологии, их параметры, преимущества и недостатки.
3. Сцинтилляторы. Типы сцинтилляторов. Механизмы сцинтилляций. Конверсионная эффективность. Отношение α/β . Время высвечивания.
4. Основные методы регистрации света. ФЭУ. Типы фотокатодов. Квантовая эффективность, спектральная чувствительность, интегральная чувствительность.
5. Коэффициент вторичной эмиссии. Основные виды ФЭУ, типы динодов. Требование к стабильности напряжения питания ФЭУ.
6. Шумы Фотоумножителей. ФЭУ в магнитном поле.
7. Амплитудное разрешение. Флуктуации каскадных процессов. Флуктуации в случае да-нет. Флуктуация числа фотоэлектронов. Флуктуации коэффициента усиления. Энергетическое разрешение ФЭУ.
8. Форма импульса напряжения на выходе с ФЭУ. Выбор оптимальной RC-цепочки для наилучшего амплитудного разрешения.
9. Временное разрешение сцинтилляционного счетчика. Конечное время высвечивания сцинтиллятора. Конечное время сбора света. ФЭУ. Разброс времени прохождения лавины усиления.
10. Черенковские детекторы. Открытие явления. Качественная природа явления. Основные свойства черенковского излучения. Черенковский угол. Интенсивность черенковского излучения. Поляризация.
11. Пороговые счетчики. Основные материалы радиаторов излучения. Основные источники допороговых срабатываний.
12. Счетчики с использованием черенковского угла. Дифференциальные счетчики. Счетчик Фитча. RICH. DIRC. Фокусирующий RICH.
13. Регистрация черенковского света широких атмосферных ливней. Течение адронных и электромагнитных ливней в черенковских телескопах.
14. Скорость дрейфа ионов и электронов в газе. Рекомбинация. Требование на средство к электрону для газов, используемых в детекторах.
15. Механизм газового усиления. Коэффициент газового усиления. Первый и второй коэффициенты Таунсенда. Требование к рабочему газу. Пространственное разрешение. Кластерный эффект. Амплитудное разрешение пропорциональной камеры.
16. Счетчик полного поглощения (калориметры). Зависимость энергетического разрешения от энергии. Основные виды калориметров. Точность измерения координаты гамма-кванта.
17. Полупроводниковые детекторы. Кремниевые ФЭУ (SiPM).

Тема 8. Радиация, радиоактивность и защита от радиации.

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

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Практические и семинарские занятия по данной дисциплине не предусмотрены учебным планом

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Все темы	- решение задач	- решить задачу - вывести формулу	Вся рекомендуемая литература	40
2.	Все темы	Подготовка к зачёту		Вся рекомендуемая литература	6
3.	Текущие консультации				1

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении практических заданий.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовых работ и проектов не планируется.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) перечень литературы

основная литература

- 1) Экспериментальная ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник : в 3 т. - Электрон. текстовые дан. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. – Т. 1 : Физика атомного ядра / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2009. - 336 с. : ил. -). - ISBN 978-5-8114-0740-8
- 2) Онучин, А. П. Экспериментальные методы ядерной физики [Электронный ресурс] : учебник / А. П. Онучин. - Электрон. текстовые дан. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. - 221 с. ; нет. - ЭБС "Рукопт". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-7782-1232-9

дополнительная литература

- 1) Экспериментальная ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник : в 3 т. - Электрон. текстовые дан. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ.
Т. 1 : Физика атомного ядра / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2009. - 336 с. : ил. -). - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5
Т. 3 : Физика элементарных частиц / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2008. - 336 с. : ил. -). - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5
- 2) Теоретическая физика [Электронный ресурс] : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Электрон. текстовые дан. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002 - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 592210053X. - Т. 4 : Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. - Москва : Физматлит, 2006. - 719 с. : ил. ; 22 см. -). - Библиогр. в примеч. - ISBN 5-9221-0058-0

б) *периодические издания*

- нет.

в) *список авторских методических разработок*

1. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- 1) Сайт журнала "Успехи физических наук" <http://ufn.ru/>
- 2) Сайт журнала "Astroparticle Physics" <http://www.journals.elsevier.com/astroparticle-physics/>
- 3) Сайт журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра" http://www1.jinr.ru/Pepan/Pepan_rus.html
- 4) www.ni.com/russia
- 5) <http://www.labview.ru/>
- 6) <http://library.isu.ru/ru>
- 7) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 8) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 9) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 10) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>
- 11) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данной дисциплине.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике плазмы (в печатном и в электронном виде)

6.2. Программное обеспечение:

Стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные программы для показа презентаций и документов в формате pdf.

6.3. Технические и электронные средства:

Во время занятий (на лекциях) для пояснения поставленных в практических работах заданий студентам демонстрируются на экране с помощью проектора дополнительные и вспомогательные материалы (презентации, типичные примеры)

VII. Образовательные технологии

Проводятся следующие виды занятий: лекции. В качестве дополнительной самостоятельной студенты могут писать реферат на выбранную преподавателем тему, а также готовить доклад.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не осуществляется.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Форма текущего контроля: В течение семестра, после окончания первой части данного курса 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.

Вид промежуточной аттестации: – зачет.

Примерный список заданий для текущего контроля:

№ 1. α -частица с кинетической энергией 40 МэВ проходит 1 см в воздухе при нормальных условиях. Оценить ионизационные потери.

№ 2. Оценить поглощенную дозу в течении года от потока космических мюонов ($10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{с}$).

№ 3.

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Для допуска к зачету требуется полностью выполнить все домашние работы.

Примерный список вопросов к зачёту:

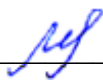
1. Ионизационные потери, формула Бете-Блоха
2. δ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число δ -электронов. Формула Резерфорда
3. Счетчики с использованием черенковского угла
4. Флуктуации ионизационных потерь
5. Многократное рассеяние

6. Временное разрешение сцинтилляционного счетчика. Конечное время высвечивания сцинтиллятора. Конечное время сбора света. ФЭУ. Разброс времени прохождения лавины усиления.

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.III:

1. Энергетический спектр космических лучей сверхвысоких энергий:
 - А) описывается степенным законом,
 - Б) подчиняется планковскому распределению.
2. Степенной вид спектра свидетельствует:
 - А) о нетепловой природе излучения;
 - Б) о том, что излучение генерируется за счет энергии теплового движения частиц.
3. 1 пк в сантиметрах составляет:
 - А) $3 \cdot 10^8$ см,
 - Б) $18 \cdot 10^3$ см,
 - С) $3 \cdot 10^{18}$ см.
4. Оцените пробег протона до взаимодействия с реликтовым излучением $l = \frac{1}{n\sigma}$ и сравните с характерным размером нашей галактики ($d = 30$ Кпк, $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{18}$ см). Концентрация реликтового излучения $n = 400$ фотонов/см³, сечение реакции $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-28}$ см².
 - А) $l < d$,
 - Б) $l > d$,
 - С) $l \approx d$.
5. Распределите в порядке возрастания: 0.01 ПэВ, 100 ТэВ, 1 ЭэВ, 100 ГэВ.
 - А) 0.01 ПэВ, 1 ЭэВ, 100 ГэВ, 100 ТэВ,
 - Б) 100 ТэВ, 0.01 ПэВ, 100 ГэВ, 1 ЭэВ,
 - С) 100 ГэВ, 0.01 ПэВ, 100 ТэВ, 1 ЭэВ.
6. Порог реакции $p + \gamma_{CMB} \rightarrow \pi^+ + n$ соответствует такому значению энергии протона, при котором кинетические энергии и соответственно импульсы образовавшихся пиона и нуклона в системе центра масс:
 - А) = 0,
 - Б) $\gg 0$,
 - С) > 0 .
7. Расстояние l , которое пройдет за время своей жизни t релятивистский мюон с энергией E , собственным временем жизни t_0 и энергией покоя E_0 , определяется соотношением:
 - А) $l = ct_0 \frac{E}{E_0} \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}$,
 - Б) $l = ct_0 \frac{E}{E_0}$.
8. Частица в среде с показателем преломления n начинает излучать черенковское излучение, если её гамма-фактор:
 - А) $\gamma < \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$,
 - Б) $\gamma > \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$,

Разработчики:



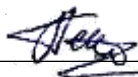
 (подпись)

к.ф.-м.н.
 (занимаемая должность)

Р.Д. Монхоев
 (инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
 « 24 » марта 2025__г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.