



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля): 2.1.1.1(Ф) Экспериментальные методы в ядерной физике

Научная специальность: 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 50 от «22» апреля 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
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	9
а) <i>перечень литературы</i>	9
б) <i>периодические издания</i>	9
в) <i>список авторских методических разработок</i>	9
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	9
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	10
6.2. Программное обеспечение:	10
6.3. Технические и электронные средства:	11
VII. Образовательные технологии.....	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	11

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель программы - познакомить аспирантов 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 описанию основных характеристик детекторов физики частиц, а также различным методикам идентификации.

К *задачам* изучения дисциплины относятся:

- познакомить аспиранта с общими характеристиками фотометрических приёмников;
- научить аспирантов работать с различным научным оборудованием;
- с помощью базовых методов и алгоритмов обработать полученные экспериментальные данные (включая написание компьютерной программы для такой обработки).

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 и НИИПФ ИГУ, в том числе в рамках модернизации и работы телескопа МАСТЕР-Тунка на астрофизическом полигоне университета и глубоководного нейтринного телескопа на Байкале. Методика преподавания направлена на *системный подход к обучению и интеграцию* дисциплин естественнонаучного цикла, т. к. при изучении курса используются разделы и темы следующих дисциплин предыдущего уровня образования:

- физика (молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, волновая оптика, атомная и ядерная физика, статистическая и квантовая физика, физика плазмы, физика элементарных частиц, теория относительности);
- высшая математика (дифференциальное и интегральное исчисление, элементы фрактальной геометрии).

III. Требования к результатам освоения дисциплины

В результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы в ядерной физике» аспиранты должны:

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;
- физические принципы основных методов исследования в астрофизике частиц высоких энергий;

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;
- анализировать варианты решения исследовательских и практических задач при исследовании в астрофизике частиц высоких энергий;
- применять методы и средства измерения физических величин;
- проводить измерения с помощью современного исследовательского оборудования;

Владеть, иметь представление

- простейшими методами оценки процессов, происходящих при прохождении (регистрации) частиц в детекторах элементарных частиц;
- основными приемами научно-исследовательской работы;
- навыками оформления результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 1 зачетная единица, 36 часов, в том числе 18 часов контактной работы.

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

На практическую подготовку отводится 8 аудиторных часов (во время практических занятий).

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	курс	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	
					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	Раздел 1. Прохождение тяжелых частиц через вещество.	2	4	1	1	1		2	Опрос, отчет лабораторной работы
2	Раздел 2. Прохождение электронов через вещество.	2	4	1	1	1		2	
3	Раздел 3. Прохождение γ -квантов через вещество.	2	4	1	1	1		2	
4	Раздел 4. Прохождение адронов через вещество	2	4	1	1	1		2	
5	Раздел 5. Широкие атмосферные ливни	2	4	1	1	1		2	
6	Раздел 6. Методы регистрации частиц и приборы	2	4	1	1	1		2	
7	Раздел 7. Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения	2	6	1	1	1		4	
8	Раздел 8. Калибровка сцинтилляционного счетчика заряженных частиц.	2	4	1	1	1		2	
Зачёт									
КРПА			2						
Итого часов			36		8	8		18	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
2	Все разделы	Подготовка отчётов, ответы на контрольные вопросы	В течение года	16	Отчёт, защита отчёта	[1-2]
2	Подготовка к дискуссии на практических занятиях	Работа с учебной литературой	В течение года	2	Дискуссия	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				18		

4.3. Содержание учебного материала

- Тема 1.** Исследование характеристик ФЭУ
Тема 2. Калибровка сцинтилляционного счетчика заряженных частиц.
Тема 3. Изучение состава космического излучения.
Тема 4. Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения
Тема 5. Моделирование широких атмосферных ливней космических лучей сверхвысоких энергий, обработка и анализ астрофизических данных

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства*
1	2	3	4	5
1.	Тема 1	Прохождение тяжелых частиц через вещество.	2	Выполнение эксперимента, оформление и защита отчёта
		Прохождение электронов через вещество.	2	
2.	Тема 2	Прохождение γ -квантов через вещество.	2	
3.	Тема 3	Прохождение адронов через вещество	2	
4.	Тема 4	Широкие атмосферные ливни	2	
5.	Тема 5	Методы регистрации частиц и приборы	2	

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

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуема я литература	Количес тво часов
1.	Все темы	- изучение теоретической части практических заданий; - оформление отчета; - подготовка к защите	- Оформить отчет по лаб.работе; - ответить на контрольные вопросы; - защитить работу преподавателю	Вся рекомендуема я литература	16
2.	Все темы	Подготовка к зачёту		Вся рекомендуема я литература	1
3.	Текущие консультации				1

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при решении задач.

- 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 аспирантами учебных и творческих задач.

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

Курсовые работы не планируются.

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
3. Мурзин, В. С. Астрофизика космических лучей [Текст : Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. С. Мурзин. - Москва : Логос, 2007. - 487с. ; нет. - (Классический университетский учебник). - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ.

дополнительная литература

1. 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 необходимости.

в) список авторских методических разработок

1. -.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1) <http://library.isu.ru/ru>
- 2) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 3) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 4) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 5) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>
- 6) Веб-страница Particle Data Group <http://pdg.lbl.gov/>

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). База экспериментальных астрофизических данных по широким атмосферным ливням космических лучей сверхвысоких энергий.

Оборудование:

- 1) Лабораторный стенд по исследованию характеристик ФЭУ с компьютером и соответствующим программным обеспечением.
- 2) Лабораторный стенд с сцинтилляционным счетчиком.
- 3) Лабораторный стенд для калибровки сцинтилляционного счетчика заряженных частиц, изучения состава космического излучения (КИ) с телескопом и измерения углового распределения жесткой компоненты КИ, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков.
- 4) Лабораторный комплекс NI ELVIS II.
- 5) Ноутбуки Lenovo B590 (4 шт.), с установленной на них поставщиком операционной системой Windows 8 (WIN8 EM), пакетом LibreOffice, драйверами устройств лабораторного комплекса NI ELVIS II, драйверами для управления ПЗС-камерой.
- 6) Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде, в том числе в авторском учебном пособии.

6.2. Программное обеспечение:

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

- 1) NI LabVIEW™. Имеется коммерческая лицензия для учебных заведений.
- 2) NI ELVISmx Software for NI ELVIS II & NI myDAQ NI. – National Instruments. – версия периодически бесплатно автоматически обновляется с сайта производителя через сеть Интернет. Изначально прилагается вместе с драйверами к оборудованию NI ELVIS II & NI myDAQ – (проприетарное программное обеспечение, не требующая заключения коммерческого договора)
- 3) Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету.
- 4) LibreOffice (freeware бессрочно).
- 5) AcquireControl ©. – Copyright Allied Vision Technologies GmbH. – программа управления камерой Prosilica GT 2000 NIR. – лицензия FREEWARE. – бесплатное автоматическое обновление до новых версий через Интернет с сайта производителя. – <https://www.alliedvision.com/en/products/software/acquirecontrol.html>
- 6) GNU Octave, version. – FREEWARE. – программа математической обработки данных, поддерживающая формат файлов «.m». – свободное программное обеспечение с открытым кодом. – бессрочно
- 7) SciDAVis 1.D013. – FREEWARE. – программа обработки данных и представления их в графической форме. – бессрочно

6.3. Технические и электронные средства:

Во время лекционных занятий аспирантам демонстрируются на экране материалы курса в виде презентаций.

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

VII. Образовательные технологии

Новые знания аспирантам получают самостоятельно из методических описаний. Практическим навыкам они обучаются при выполнении практических работ под руководством преподавателя.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса аспирант должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Форма текущего контроля: дискуссии и контрольные опросы во время аудиторных занятий, ответы на контрольные вопросы, проверка домашних задач, представление докладов.

Список практических работ

№ 1. Исследование характеристик ФЭУ.

Цель работы: исследовать основные характеристики ФЭУ

Оборудование: лабораторный стенд с ФЭУ, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Получить осциллограммы темнового и рабочего сигналов ФЭУ;
- 3) Оцифровать сигналы ФЭУ (темновой, рабочие сигналы с сильной засветкой) при разных напряжениях питания;
- 4) Написать программу построения амплитудного распределения импульсов ФЭУ в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Качественно оценить порог дискриминации ФЭУ.

№ 2. Калибровка сцинтилляционного счетчика заряженных частиц.

Цель работы: исследовать основные характеристики сцинтилляционного счетчика

Оборудование: лабораторный стенд с сцинтилляционным счетчиком, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Произвести набор экспериментальных данных при разных значениях высокого напряжения;
- 3) Написать программу построения амплитудного распределения одиночной частицы в сцинтилляционном счетчике в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 4) Качественно оценить эффективность сцинтилляционного счетчика.

№ 3. Изучение состава космического излучения.

Цель работы: исследовать кривую поглощения вторичного космического излучения

Оборудование: телескоп, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC, свинцовый фильтр.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Провести относительную временную и амплитудную калибровку сцинтилляционных счетчиков;
- 3) Произвести набор экспериментальных данных при разной толщине свинцового поглотителя;
- 4) Написать программу отбора событий телескопа в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Построить кривую поглощения и качественно оценить результат.

№ 4. Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения.

Цель работы: Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения, оценка время жизни мюона.

Оборудование: телескоп, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC, свинцовый фильтр.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Определить подходящую толщину свинцового поглотителя.
- 3) Произвести набор экспериментальных данных телескопа при разных зенитных углах.
- 4) Написать программу отбора событий телескопа в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Получить угловую зависимость интенсивности I жесткой компоненты вторичных космических лучей и качественно оценить результат.
- 6) По величине $I(\Theta) = I(0)$, взятой из экспериментального графика для некоторого угла (например, $\Theta = 60^\circ$), оценить время жизни мюона τ_0 .

№ 5. Моделирование широких атмосферных ливней космических лучей сверхвысоких энергий, обработка и анализ астрофизических данных.**Пример теоретических заданий:**

1. α -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^3), толщина аэрогеля в счетчике 7 см. Оценить допороговую эффективность для каонов с энергией 1500 МэВ за счет образования δ -электронов в аэрогеле.
3. Пион с кинетической энергией 1 ГэВ проходит 1 см воды. Найти относительные флуктуации ионизационных потерь.
4. Найти пробег пиона с энергией 10 МэВ в воздухе, зная, что для нерелятивистской α -частицы пробег в воздухе дается следующей формулой: $R\alpha = 0.3T^{3/2}$, где R измеряется в см, а T – в МэВ.
5. Пучок электронов с импульсом 1 ГэВ/с пролетает через магнитный спектрометр (дипольный магнит) состоящий из магнита длиной 1 метр и полем 1 Тл. 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.
6. Электрон с энергией 3 ГэВ пролетает через стальную мишень и излучает тормозные γ – кванты. Оценить толщину мишени, при которой средний угол многократного рассеяния электрона в мишени сравнится с характерным углом тормозного излучения.
7. Оценить поглощенную дозу в течении года от потока космических мюонов ($10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{с}$). Считать мюоны минимально ионизирующими частицами

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Окончательная оценка работы аспиранта в течение года происходит на зачете. Зачет проводится в конце года в зачетную неделю по билетам в устной форме. Вывод об уровне подготовленности принимается преподавателем.

Пример билетов к зачёту (всего 20 билетов):

Билет 1.

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

Билет 2.

1. δ -электроны. Первичная и полная ионизация. Число δ -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

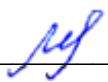
Билет 4.

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.

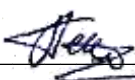
Разработчики:


(подпись)

доцент ИГУ, к.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

Р.Д. Монхоев
(инициалы, фамилия)

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.