



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): 2.1.1.2(Ф) Экспериментальные методы в астрофизике высоких энергий

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 . Ошибка! Закладка не определена.	
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля) Ошибка! Закладка не определена.	
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 лекционных занятий.....	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	8
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
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:.....	12
6.3. Технические и электронные средства:	12
VII. Образовательные технологии.....	12
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Дисциплина «Экспериментальные методы в астрофизике высоких энергий» входит образовательный компонент учебного плана специальности 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики, и является факультативной.

Целью изучения дисциплины является углубить понимание студентами фундаментальных открытий в новейшей физике, научить решать вопросы современной науки с позиций системного подхода на основных этапах научно-исследовательской деятельности.

К **задачам** изучения дисциплины в соответствии с требованиями к компетенции направления подготовки магистров относятся:

- познакомить студента с основными закономерности в области теоретической и экспериментальной физики высоких энергий;
- научить студентов решать типичные задачи с основными процессами физики элементарных частиц.

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 базового института кафедры – Института солнечно-земной физики СО РАН, 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).

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

Знать:

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в астрофизике частиц высоких энергий;

- физические принципы основных методов исследования в астрофизике частиц высоких энергий;
- отечественный и международный опыт в астрофизике высоких энергий

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании в астрофизике частиц высоких энергий;
- применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования в астрофизике частиц высоких энергий;

Владеть, иметь представление

- методиками построения моделей, описывающих процессы и детекторы в астрофизике частиц высоких энергий;
- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (ядерная астрофизика, физика космических излучений, физика звезд, космология).

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	Тема 1. Введение. Предмет изучения астрофизики высоких энергий.	2	3	1	0,5	0,5		2	Опрос, дискуссия
2	Тема 2. Особенности энергетического спектра ПКЛ.	2	4	1	1	1		2	
3	Тема 3. Геомагнитные эффекты в космических лучах.	2	4	1	1	1		2	
4	Тема 4. Происхождение космических лучей (КЛ)	2	4	1	1	1		2	
5	Тема 5. Происхождение космических лучей	2	4	1	1	1		2	
6	Тема 6. Прохождение космических лучей через атмосферу земли	2	4	1	1	1		2	
7	Тема 7. Обзор методов регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты)	2	4	1	1	1		2	
8	Тема 8. Гамма-астрономия высоких энергий	2	4	1	1	1		2	
9	Тема 9-10. Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения	2	3	1	0,5	0,5		2	
	Зачет								
	КРПА		2						
Итого часов			36	8	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	Решение задач	В течение года	16	Готовое решение задачи в письменном виде	[1-2]
2	Подготовка к дискуссии на аудиторных 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.** Введение. Предмет изучения астрофизики высоких энергий. Первичные космические лучи (ПКЛ) сверхвысоких энергий. История открытия. Основные свойства.
- Тема 2.** Особенности энергетического спектра ПКЛ. Степенной характер спектра космических частиц. Обрезание спектра Грейзена-Зацепина-Кузьмина. Химический состав первичного космического излучения.
- Тема 3.** Геомагнитные эффекты в космических лучах.
- Тема 4.** Происхождение космических лучей (КЛ). Механизмы ускорения заряженных частиц в КЛ. Требования к мощности источников КЛ.
- Тема 5.** Происхождение космических лучей. Продолжение. Источники первичного космического излучения (диффузные, точечные, внегалактические). Галактические, внегалактические космические лучи.
- Тема 6.** Прохождение космических лучей через атмосферу земли. Основные процессы взаимодействия. Широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Общие сведения. Компоненты ШАЛ.
- Тема 7.** Обзор методов регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты).
- Тема 8.** Гамма-астрономия высоких энергий. Механизмы рождения гамма-квантов высоких энергий. Методы наблюдений.
- Тема 9.** Нейтрино в первичном космическом излучении. Источники нейтрино в природе. Нейтринная астрофизика высоких энергий. Методы детектирования нейтрино.
- Тема 10.** Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения при высоких энергиях. Обсерватория TAIGA.

4.3.1 Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудовое мощность (часы)	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1.	Тема 1	Вводная лекция	0,5	нет
2.	Темы 2	Информационная лекция с элементами лекции-визуализации	1	Выполнение эксперимента, оформление и защита отчёта
3.	Тема 3		1	
4.	Тема 4		1	
5.	Тема 5		1	
6.	Тема 6		1	
7.	Тема 7		1	
8.	Тема 8		0,5	
9.	Тема 9		0,5	
10.	Тема 10		0,5	

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	-внеаудиторная -аудиторная	- прочесть литературу по указанной преподавателем теме; - подготовить доклад; написать реферат; решить домашнюю задачу. - ответить на контрольный вопрос; - представить доклад в устной форме и/или участвовать в дискуссии.	Вся рекомендуемая литература	16
2.	Темы 6,7, 10	аудиторная	- выполнить все задания самостоятельной работы; - ответить на контрольные вопросы.		1
3.	Все темы	Подготовка к зачету (и к тестированию)		Вся рекомендуемая литература	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.

Примерный список тем рефератов (в случае выдачи соответствующего задания):

- Наземные, подземные, глубоководные и космические лаборатории.
- Примеры подземных лабораторий.
- Высокогорные эксперименты.
- Глубоководные исследования.
- Баллонные эксперименты.
- Использование спутников и межпланетных станций.

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

а) перечень литературы

основная литература

- 1) Мурзин, В. С. Астрофизика космических лучей [Текст : Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. С. Мурзин. - Москва : Логос, 2007. - 487 с. ; нет. - (Классический университетский учебник). - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ.
- 2) Синеговский, Сергей Иванович. Космические нейтрино высоких энергий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. Синеговский. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотек". - Неогранич. Доступ

дополнительная литература

- 1) Бережко, Евгений Григорьевич. Введение в физику космоса [Текст] : учеб. пособие для вузов по напр. подгот. 03.04.02 - Физика / Е. Г. Бережко. - М. : Физматлит, 2014. - 264 с. : ил. ; 21 см. - ISBN 978-5-9221-1587-2 – (1 экз)
- 2) Ишханов, Борис Саркисович. Частицы и атомные ядра : Учебник / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во ЛКИ, 2007. - 581 с. : ил. ; 22 см. - (Классический университетский учебник). - Библиогр.: с. 572. - Предм. указ.: с. 573-576. - ISBN 978-5-382-00060-2 – (1 экз)
- 3) Клапдор-Клайнротхаус, Ганс Волкер. Астрофизика элементарных частиц [Текст] / Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, Кау Цюбер ; Пер.с нем.,Под ред.А.А.Беднякова. - М. : Ред.журн."Успехи физич.наук", 2000. - 496 с. ; 22см. - ISBN 5855040127 – (1 экз)
- 4) Хлопов, Максим Юрьевич. Основы космофизики [Текст] : научное издание / М.Ю. Хлопов ; Моск. инж.-физич. ин-т, Науч.-учеб. центр по космофизике "Космион". - М. : Едиториал УРСС, 2004. - 366 с. ; 21 см. - Библиогр.: с. 351-366. - ISBN 5-354-00291-5 – (1 экз)
- 5) Горбунов, Дмитрий Сергеевич. Введение в теорию ранней Вселенной : Теория горячего Большого взрыва / Д. С. Горбунов ; Рос. акад. наук, Ин-т ядерных исслед. - М. : Изд-во ЛКИ, 2008. - 543 с. : ил. ; 24 см. - Библиогр.: с. 537-539. - Предм. указ.: с. 540-543. - ISBN 978-5-382-00657-4. – (1 экз)
- 6) Биленький, Самоил Михелевич. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов [Текст] : курс лекций / С. М. Биленький. - М. : Энергоиздат, 1981. - 213 с. – (3 экз)
- 7) Зацепин, Георгий Тимофеевич. Нейтрино и нейтринная астрофизика [Текст] / Г. Т. Зацепин, А. Ю. Смирнов ; МГУ им. М. В. Ломоносова, НИИ ядер. физики, Физ. фак., Отд-ние ядер. физики, Каф. косм. лучей и физики космоса. - М. : Изд-во МГУ, 1984 - . - 21 см. - Ч. 1 : Нейтрино. - 1984. - 235 с. – (2 экз)

б) периодические издания

- нет необходимости.

в) список авторских методических разработок

1. нет

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>

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.

6.2. Программное обеспечение:

- 1) Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету.
- 2) LibreOffice 5.3.2 (freeware бессрочно).

6.3. Технические и электронные средства:

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

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 предусмотрен.

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.

Вид промежуточной аттестации: – зачет.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Допуск зачету: успешное выполнение практических работ.

Примерный список вопросов к зачету:

1. Энергетический спектр первичного космического излучения и его основные особенности
2. Ядерный состав космического излучения и его особенности.
3. Механизмы ускорения заряженных частиц в КЛ.
4. Требования к мощности источников КЛ.
5. Источники ПКЛ сверхвысоких энергий (диффузные, точечные, внегалактические)
6. Широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Общие сведения. Компоненты ШАЛ.
7. Методы регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты).
8. Черенковское излучение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие черенковское излучение ШАЛ.
Мюонная компонента ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие мюонную компоненту ШАЛ.
9. Ионизационное свечение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие ионизационное свечение ШАЛ.

10. Радиоизлучение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие радиоизлучение ШАЛ.

11. Обсерватория TAIGA.

12. Гамма-астрономия высоких энергий. Механизмы рождения гамма-квантов высоких энергий.

13. Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения при высоких энергиях.

14. Источники нейтрино в природе. Методы регистрации природных потоков нейтрино высоких энергий.

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) $\gamma > \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$,

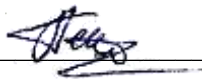
Разработчики:


(подпись)

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

А.Л. Иванова
(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.