



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.06 Введение в физику космических лучей

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)	5
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	6
4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	7
4.3. Содержание учебного материала	8
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	8
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	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:	Ошибка! Закладка не определена.
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 «Введение в физику космических лучей» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области физики космических лучей, необходимых для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности.

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

- знакомство студентов с представлениями о происхождении, свойствах и регистрации космического излучения;
- получение современных теоретических представлений об источниках, механизмах ускорения и распространения космических лучей;
- ознакомление с основными современными экспериментальными методами исследования космических излучений;
- знакомство с базовыми методами обработки и анализа экспериментальных данных.

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 базовых институтов кафедры – НИИПФ ИГУ и Института солнечно-земной физики СО РАН, экспериментального комплекса TAIGA и телескопа МАСТЕР-Тунка на астрофизическом полигоне университета и глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD 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

Изучение дисциплины «Введение в физику космических лучей» 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
<i>ПК-2.</i>	<i>ИДК ПК.2.1</i> Выявляет перспективные проблемы и формулирует принципы решения актуальных научно-исследовательских задач в области физики космических лучей.	Знает: • достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области физики частиц, современные методы и средства исследования космических лучей. Умеет: • сформулировать конкретную физическую задачу, выбрать метод реализации эксперимента и решить его с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта. Владет: • методами и способами постановки и решения задач физических исследований, пониманием принципов действия, функциональными особенностями современной аппаратуры для физических исследований
	<i>ИДК ПК.2.2</i> Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам	Знает: • методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в физике космических лучей. Умеет: • анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании в физике космических лучей;

		• применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования в физике космических лучей. Владеет: • навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (гамма-астрономия, нейтринная астрофизика, физика звезд, космология) • основными приемами научно-исследовательской работы.
--	--	--

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа, в том числе 33 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 12 аудиторных часов (во время выполнения практических 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)			Самостоятельна я работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тема 1. Введение. История открытия КЛ	8	5	2	2			3	опрос
2	Тема 2. Особенности энергетического спектра ПКЛ	8	6,1	2	2		0,1	4	отчёт, защита отчёта
3	Тема 3. Геомагнитные эффекты в космических лучах	8	6		2			4	опрос
4	Тема 4. Происхождение космических лучей	8	6,1	2	2		0,1	4	отчёт, защита отчёта
5	Тема 5. Источники первичного космического излучения	8	6		2			4	опрос
6	Тема 6. Прохождение космических лучей через атмосферу земли	8	8,1	1	4		0,1	4	отчёт, защита отчёта
7	Тема 7. Обзор методов регистрации первичного космического излучения	8	8,2	1	4		0,2	4	отчёт, защита отчёта
8	Тема 8. Гамма-астрономия высоких энергий	8	6,2	1	2		0,2	4	отчёт, защита отчёта
9	Тема 9. Нейтрино в первичном космическом излучении	8	6,2	1	2		0,2	4	отчёт, защита отчёта
10	Тема 10. Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения при высоких энергиях	8	6,1	2	2		0,1	4	отчёт, защита отчёта
Контроль			8						
КСР									
Итого часов			72	12	24	0	1	39	

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.)		
8	Все разделы	- прочитать литературу по указанной преподавателем теме; - решить домашнюю задачу	В течение семестра	4	Конспект, решение задачи	Вся рекомендуемая литература
8	Все разделы	- подготовка реферата по заданной теме	В течение семестра	16	реферат	Методические описания к лабораторным работам
8	Все разделы	- подготовка устного доклада по заданной теме	В течение семестра	16	Презентация доклада, собеседование	
8	Все разделы	Работа с лекционным материалом и учебной литературой. Подготовка к зачёту	К концу семестра	3	Тест	Вся рекомендуемая литература
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				39		

4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

Содержание теоретического раздела дисциплины:

- 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 семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Семинарские и практические занятия в 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	ИДК
1.	Все темы	-внеаудиторная -аудиторная	- прочитать литературу по указанной преподавателем теме; - подготовить доклад; написать реферат; решить домашнюю задачу. - на практическом занятии выполнить текущее задание; - представить доклад в устной форме и/или участвовать в дискуссии.	Вся рекомендуемая литература	ИДК ПК.2.1

2.	Темы 6,7, 8, 9, 10	аудиторная	- разделив этапы практической работы в команде, выполнить подготовку совместного доклада; - ответить на контрольные вопросы.	Вся рекомендуемая литература	<i>ИДК ПК.2.2</i>
3.	Все темы	Подготовка к зачёту (и к тестированию)		Вся рекомендуемая литература	<i>ИДК ПК.2.1</i>

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):

- Широкие Атмосферные Ливни (ШАЛ) – косвенные методы исследования КЛ.
- Прямые и косвенные методы исследований космических лучей: наземные, баллонные и космические детекторы КЛ.
- Исследование гамма-излучения: источники, сравнение с заряженными КЛ.
- Гамма-всплески, история открытия.
- Нейтринные эксперименты в естественных средах (во льду, в воде, подземные).

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 "Библиотех". - Неогранич. Доступ
- 3) 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)
- 4) 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)

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) Высоцкий, М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий [Электронный ресурс] / М. И. Высоцкий. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Физматлит, 2011. - 150, [1] с. [1] с. : ил. ; 22. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр. в конце кн. (6 назв.). - ISBN 978-5-9221-1263-5
- 3) Проскурякова, Е. А. Физика элементарных частиц [Электронный ресурс] / Е. А. Проскурякова. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань, 2016. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2232-6

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) <http://inspirehep.net/>
- 8) ЭЧЗ «Библиотек» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 9) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 10) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 11) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>
- 12) 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). База экспериментальных астрофизических данных по широким атмосферным ливням космических лучей сверхвысоких энергий.

6.2. Технические и электронные средства:

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

VII. Образовательные технологии

В качестве самостоятельной студенты готовят реферат на выбранную преподавателем тему, а также устный доклад.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не осуществляется.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Форма текущего контроля: собеседование во время проверки домашних задач, проверка рефератов, ответы на контрольные вопросы, представление докладов. Для допуска к зачету требуется полностью выполнить и обсудить с преподавателем все домашние задачи и сдать рефераты, получив при этом отметку о сдаче.

Вид промежуточной аттестации: – зачет.

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Для допуска к зачету требуется полностью выполнить и обсудить с преподавателем все домашние задачи и сдать рефераты, получив при этом отметку о сдаче.

Примерный список вопросов к зачёту:

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, 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, $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}$). Концентрация реликтового излучения $n = 400$ фотонов/см³, сечение реакции $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$.
 - 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:

$$\text{A) } l = ct_0 \frac{E}{E_0} \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2},$$

$$\text{B) } l = ct_0 \frac{E}{E_0}.$$

8. Частица в среде с показателем преломления n начинает излучать черенковское излучение, если её гамма-фактор:

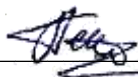
$$\text{A) } \gamma < \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}},$$

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

Разработчики:
(подпись)доцент, к.ф.-м.н.
(занимаемая должность)А.Л. Иванова
(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.