



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/ Н.М. Буднев

17 апреля 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.ДВ.03.01 Моделирование процессов
прохождения частиц и излучения в средах

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Астрофизика высоких энергий

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

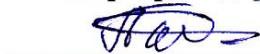
Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «22» марта 2024 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2024 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).....	8
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
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>	10
в) <i>список авторских методических разработок</i>	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	11
6.2. Программное обеспечение:	11
6.3. Технические и электронные средства:	11
VII. Образовательные технологии	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12
ПРИЛОЖЕНИЕ: Фонд оценочных средств	13

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель курса «Моделирование процессов прохождения частиц и излучения в средах» - изучение известных пакетов CORSIKA и Geant4, применяемых для моделирования процессов в различных областях физики. CORSIKA – это программа для моделирования развития широкого атмосферного ливня (ШАЛ), инициированного первичной космической частицей. Разработан командой специалистов из Технологического института Карлсруэ и центра DESY. Программа имеет возможность гибкой настройки симуляции, в ней содержатся множество функций и физических моделей, позволяющих определить в необходимой степени специфику, точность и масштаб моделирования ШАЛ. Geant4 – это программный инструментарий, разработанный для моделирования взаимодействия частиц или излучения различного типа с веществом. Разработан международной коллаборацией разработчиков, связанной с CERN, широко применяется в экспериментах на Большом адронном коллайдере. Инструментарий позволяет задавать полную геометрическую модель экспериментальной установки с учетом всех физико-химических свойств её материалов и компонентов, а также моделировать различные физические эксперименты с её участием.

Задачи курса

В результате изучения данного курса магистранты получают общее представление о программных инструментариях CORSIKA и Geant4, получают детальную информацию о структурах, функциях, методах и опциях данных пакетов. В процессе курса студенты решают задачи по моделированию ШАЛ и различных экспериментов в области физики высоких энергий, космической и медицинской физики. Также студенты получают навыки разработки программ с помощью средств инструментария Geant4 и сопутствующего ПО для обработки результатов моделирования.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование процессов прохождения частиц и излучения в средах» входит в часть, формируемую участниками образовательных соотношений, блока Б1 ОПОП по направлению 03.04.02 Физика и является дисциплиной по выбору.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин бакалавриата: «Программирование», «Вычислительная физика», «Методы обработки сигналов», «Методы обработки изображений».

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований, развиваемых кафедрами физического факультета и НИИПФ ИГУ.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- Способен выполнять математическую и компьютерную обработку, интерпретацию и анализ результатов астрофизических исследований (ПК-3);

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-3	ИДК ПК.3.1 Способен анализировать аналитические и	Знать: основные модели и опции, применяемые при работе программы CORSIKA, Уметь: составлять входные карты и

	экспериментальные результаты при исследовании астрофизических явлений и объектов	<p>запускать моделирование ШАЛ через программу CORSIKA, извлекать необходимую информацию из выходных файлов CORSIKA через библиотеку COAST.</p> <p>Иметь представление о структуре программы CORSIKA, об основных понятиях, моделях и функциях программного инструментария Geant4.</p> <p>Владеть: навыками разработки программ через стандартные шаблоны Geant4 для решения любой задачи по моделированию научных экспериментов в различных областях физики (физика высоких энергий, медицинская физика, космическая физика).</p>
--	--	--

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа,

в том числе 79 часов контактной работы.

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

На практическую подготовку отводится 36 аудиторных часов (во время лабораторных 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	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			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<i>Раздел 1. Программа CORSIKA.</i>	1	67,5	18		34	0,5	33	Отчёт по лабораторной работе, собеседование, ответы на контрольные вопросы
2	<i>Раздел 2. Инструментарий Geant4.</i>	1	66,5	18		34	0,5	32	
	Зачёт								
	КСР		2						
	КОНтроль		8						
	<u>Итого часов</u>		144			68	1	65	

4.2. 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.)		
1	Все разделы	Подготовка отчётов, ответы на контрольные вопросы	В течение семестра	60	Отчёт, защита отчёт	[1-2]
1	Подготовка к защите отчётов	Работа с учебной литературой	В течение семестра	5	Собеседование	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				65		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Программа CORSIKA.

- 1.1 Общая структура программы
- 1.2 Основные опции и функции программы
- 1.3 Модели физических взаимодействий
- 1.4 Моделирование широких атмосферных ливней
- 1.5. Библиотека COAST и обработка выходных файлов CORSIKA
- 1.6 Функции и интерфейсы библиотеки COAST

Раздел 2. Инструментарий Geant4.

- 2.1 Введение в ядро инструментария
- 2.2 Структура программ, разработанных на основе инструментария
- 2.3 Средства визуализации и графический интерфейс инструментария
- 2.4 Физические модели инструментария
- 2.5 Построение геометрии симуляционной модели
- 2.6 Взаимодействие частиц с веществом
- 2.7 Источники пуска частиц и излучения
- 2.8 Введение физических полей
- 2.9 Трекинг процессов
- 2.10 Применение маско-команд
- 2.11 Моделирование экспериментов в области физики высоких энергий и физики космических лучей
- 2.12 Моделирование распространения излучения в органических средах

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	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Темы 1-2	Общая структура и функционал программы CORSIKA	4	Собеседование, демонстрация готовой программы и результатов её работы, ответы на контрольные вопросы	ПК-3
2.	Темы 3-4	Модели физических взаимодействий. ШАЛ.	4		
3.	Тема 4-5	Библиотека COAST и обработка выходных файлов CORSIKA	8		
4.	Тема 6	Функции и интерфейсы библиотеки COAST	6		
5.	Тема 7-9	Введение в ядро инструментария Geant4. Структура программ и интерфейс.	4		
6.	Тема 10	Физические модели инструментария	4		
7.	Тема 11	Построение геометрии симуляционной модели	6		
8.	Тема 12	Взаимодействие частиц с веществом	4		
9.	Тема 13	Источники пуска частиц и излучения	4		
10.	Тема 14	Введение физических полей	4		
11.	Тема 15-16	Трекинг процессов. Применение маско-команд	4		

12.	Тема 17	Моделирование экспериментов в области физики высоких энергий и физики космических лучей	8		
13.	Тема 18	Моделирование распространения излучения в органических средах	8		

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	- изучение теоретического материала	- углубить свои знания по текущей теме - ответить на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	60
2.	Все темы	Подготовка к зачёту		Вся рекомендуемая литература	3
3.	Текущие консультации				2

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении практических работ.
- 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.

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) 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 "Руконт". - Неогранич. доступ.

дополнительная литература

- 1) Экспериментальная ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник : в 3 т. - Электрон. текстовые дан. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Т. 3 : Физика элементарных частиц / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2008. - 336 с. - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5
- 2) Поршнева, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB [Текст] / С. В. Поршнева. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань, 2011. - 736 с. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1063-7

Справочная литература

- 1) Heck D. Extensive Air Shower Simulation with CORSIKA: A User's Guide [Электронный ресурс] / D. Heck, T. Pierog. – Karlsruhe Institute for Technology, 2019. – 184 p. – Электрон. версия печат. публ. – Режим доступа: <https://web.ikp.kit.edu/corsika/usersguide/usersguide.pdf>
- 2) Heck D. CORSIKA: A Monte Carlo code to simulate extensive air showers / D. Heck [et al.] // Forschungszentrum Karlsruhe Report. FZKA. – 1998. – 6019. – 90 p. – Режим доступа: https://web.iap.kit.edu/corsika/physics_description/corsika_phys.pdf
- 3) Grupen C. Particle Detectors / C. Grupen, B. Shwartz. – Cambridge University Press, 2008. – 651 p. – Режим доступа: http://kaf07.mephi.ru/eduroom/Books/Particle_Detectors_Grupen.pdf
- 4) Agostinelli S. Geant4 – a simulation toolkit / S. Agostinelli [et al.] // Nucl. Instrum. Meth. A. – 2003. – V. 506(3). – pp. 250-303. – Режим доступа: <https://www.hep.manchester.ac.uk/u/johna/pub/Geant4/papers/GeneralPaper/GeneralPaper-NIM-Publication.pdf>
- 5) Guatelli S. Introduction to the Geant4 Simulation toolkit / S. Guatelli [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2011. – V. 1345. – pp. 303-323. – Режим доступа: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=2749&context=engpapers>
- 6) Engel R. Towards A Next Generation of CORSIKA: A Framework for the Simulation of Particle Cascades in Astroparticle Physics / R. Engel [et al.] // Comput. Softw. Big Sci. – 2019. – V. 3. – 2. – 12 p. [arXiv:1808.08226 [astro-ph.IM]].
- 7) Nelson W.R. The EGS4 Code System: Solution of gamma-ray and electron transport problems [Электронный ресурс] / W.R. Nelson and Y. Namito – Report SLAC-265, 1990. – 14 p. – Электрон. версия печат. публ. – Режим доступа: <https://www.slac.stanford.edu/pubs/slacpubs/5000/slac-pub-5193.pdf>
- 8) Ostapchenko S. Monte Carlo treatment of hadronic interactions in enhanced Pomeron scheme: I. QGSJET-II model / S. Ostapchenko // Phys. Rev. D. – 2011. – V. 83. – 014018. – 36 p. [arXiv:1010.1869 [hep-ph]].

- 9) Ahn E. J. Cosmic ray interaction event generator SIBYLL 2.1 / E. J. Ahn [et al.] // Phys. Rev. D. – 2009. – V. 80. – 094003. – 34 p. [arXiv:0906.4113 [hep-ph]].
- 10) Pierog T. EPOS LHC: Test of collective hadronization with data measured at the CERN Large Hadron Collider / T. Pierog [et al.] // Phys. Rev. C. – 2015. – V. 92. – 034906. – 27 p. [arXiv:1306.0121[hep-ph]].
- 11) Allison J. Recent developments in Geant4 / J. Allison [et al.] // Nucl. Instrum. Meth. A. – 2016. – V. 835. – pp. 186-225

б) периодические издания

- нет необходимости.

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) Публикации, связанные с Geant4 <https://geant4.web.cern.ch/publications>
- 2) Пользовательская документация по Geant4 https://geant4.web.cern.ch/support/user_documentation
- 3) COAST <https://web.iap.kit.edu/rulrich/coast.html>
- 4) <http://library.isu.ru/ru>
- 5) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 6) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 7) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 8) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Применять полученные знания на практике студенты могут в специальном дисплейном классе с современной вычислительной техникой и соответствующим программным обеспечением. В классе имеет 14 стационарных компьютеров (Intel Atom CPU D2500) с мониторами (Samsung S19A10 18.5"), WiFi-роутер 54M Wireless Router TL-WR542G, маршрутизатор DES-1005D. Компьютеры имеют доступ к локальной сети университета и выход в Интернет. Студенты могут самостоятельно закреплять полученный материал в этих классах. На занятиях могут использоваться мультимедийные средства: переносной проектор (CASIO XJ-A241), стационарный настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590. Кроме того, на факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в астрофизике высоких энергий.

6.2. Программное обеспечение:

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

- 1) Программный пакет CORSIKA – бесплатное распространение через сайт разработчиков по сети Интернет. <https://www.iap.kit.edu/corsika/79.php>
- 2) Программный инструментарий Geant4 – бесплатное распространение через сайт разработчиков по сети Интернет. <https://geant4.web.cern.ch>
- 3) COAST – бесплатный набор библиотек в дополнение к пакету CORSIKA. Бесплатное распространение через сайт разработчиков по сети Интернет. https://web.iap.kit.edu/rulrich/coast_releases.html
- 4) Anaconda (дистрибутив Python) – бесплатное распространение через сайт разработчиков по сети Интернет. <https://www.anaconda.com>
- 5) Пакет ROOT – бесплатное распространение через сайт разработчиков по сети Интернет. <https://root.cern>

6.3. Технические и электронные средства:

Во время аудиторных занятий студентам демонстрируются на экране дополнительные и вспомогательные материалы (презентации, примеры использования программных кодов).

VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лабораторные работы**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде самостоятельных работ

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет, иметь представление о работе в операционной системе Linux. Входной контроль знаний не проводится.

8.2. Оценочные средства текущего контроля

Пример практического задания

Задание №1

Цель работы: Моделирование ШАЛ через CORSIKA

Задачи работы:

- 1) Заполнить входные карты по шаблону (необходимые параметры указываются преподавателем);
- 2) Скомпилировать программу CORSIKA с выбором моделей адронных взаимодействий GHEIGHA и QGSJET-II-04;
- 3) Провести моделирование ШАЛ;
- 4) С помощью библиотеки COAST и шаблона программы на её основе перевести выходные файлы CORSIKA из бинарного в текстовый формат;
- 5) Построить пространственное и временное распределения образованных частиц на уровне наблюдения, подсчитать числа частиц различных сортов.

Задание №2

Цель работы: Моделирование работы сцинтилляционного счётчика Tunka-Grande через Geant4

Задачи работы:

- 1) Ознакомиться с технической информацией о типовом счётчике Tunka-Grande, его геометрии и компонентах;
- 2) На основе стандартного шаблона B4 написать проект, моделирующий счётчик Tunka-Grande;
- 3) С помощью предложенных входных файлов с частицами на запуск, провести моделирование работы счётчика Tunka-Grande;
- 4) Обработать результаты моделирования и построить распределения энерговыделений частиц на счётчике в зависимости от сорта частиц.

8.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список вопросов к зачёту:

1. Опишите общую структуру программы CORSIKA.
2. Какие модели адронных взаимодействий высоких энергий применяются чаще всего при работе с CORSIKA?
3. Как зависит время моделирования ШАЛ от заданной первичной энергии и углов прихода первичной частицы?
4. Какие прочие излучения ШАЛ позволяет моделировать CORSIKA помимо заряженных компонент?
5. Какие параметры частиц содержатся в стандартном выходном бинарном файле CORSIKA?
6. Опишите уровни интерфейсов COAST.
7. Перечислите основные понятия Geant4.
8. Как устроена геометрия объемов в Geant4?

9. Что такое «физический лист» в Geant4?
10. Как задается генератор частиц в Geant4?
11. Опишите общую структуру любого проекта в Geant4.
12. Как задаются физические поля в Geant4?
13. Модели каких физических процессов содержит в себе пакет Geant4?
14. Опишите типы взаимодействия пользователя с программой моделирования в Geant4.
15. Как описать отклик детектирующего объема?
16. Нарисуйте схему процесса транспортировки в Geant4 с указанием всех основных понятий.

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

1. В каком типе выходных файлов CORSIKA содержится информация о параметрах вторичных частицах смоделированного широкого атмосферного ливня (ШАЛ), вроде типа частицы, местоположения на уровне наблюдения, проекций направления импульса и т.д.?
 - 1) бинарный (файл типа DAT00001)
 - 2) текстовый (типа output.txt)
2. Какая из нижеперечисленных моделей адронных взаимодействий в CORSIKA не является моделью высоких энергий?
 - 1) QGSJET-II-04
 - 2) EPOS-LHC
 - 3) GHEISHA
 - 4) SIBYLL 2.3d
3. Для чего используется библиотека COAST в контексте работы с CORSIKA?
 - 1) моделирование черенковских процессов;
 - 2) построение графического изображения смоделированного ШАЛ;
 - 3) моделирование физики нейтрино;
 - 4) извлечение информации о параметрах частиц смоделированного ШАЛ;
4. Что такое Geant4?
 - 1) программа;
 - 2) программный инструментарий;
5. Какие три основных класса Geant4 критически важны для работы любой программы моделирования (правильный ответ содержит все три)?
 - 1) Physics, Visualization, Interfaces;
 - 2) Geometry, Physics, PrimaryGenerator;
 - 3) Geometry, SensitiveDetector, Interfaces;
 - 4) UserSteppingAction, Visualization, Interfaces;
6. Что является основной единицей моделирования в Geant4?
 - 1) Сессия (Run)
 - 2) Шаг (Step)
 - 3) Событие (Event)
 - 4) Трек (Track)
7. За какие свойства моделируемого объекта может отвечать его логический объем в Geant4?
 - 1) местоположение и ориентация объекта в пространстве;
 - 2) из какого материала состоит объект и является ли он детектором;
 - 3) физические размеры и форма объекта;
 - 4) его вложенность в другие объекты;
8. Что такое «физический лист» (physics_list) в Geant4?
 - 1) описание физических процессов и моделей;
 - 2) описание параметров элементарных частиц;
 - 3) описание работы детекторов при моделировании;
 - 4) описание работы трекинга частиц;

Разработчики:преподаватель кафедры теоретической физикиМ.Ю. Терновой

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 22 » марта 2024 __ 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.