Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

филиала МГУ в г. Дубне

_____ / Э.Э. Боос /

«01» сентября 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Моделирование прохождения элементарных частиц через вещество

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки / специальность:

01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Направленность (профиль) ОПОП:

Методы и технологии обработки данных в гетерогенных вычислительных средах

Форма обучения:

очная

Дубна 2025

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от _____20__ г.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:
Дисциплина относится к вариативной части ОПОП ВО.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):
Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Содержание и код компетенции.	**Индикатор (показатель) достижения компетенции**	**Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций**
СПК-1. Способность применять классические и современные математические методы для постановки задач математического моделирования в различных областях науки и техники, осуществлять математическое моделирование физических, технологических и природных процессов	СПК-1.1 Применяет классические и современные математические методы для постановки задач математического моделирования в различных областях науки и техники СПК-1.2. Осуществляет математическое моделирование физических, технологических и природных процессов	**Знать** Цели и способы моделирования Метод Монте-Карло Структура программ в пакете Geant4 Цикл моделирования события **Уметь** Выполнять построение модели детектора и моделирование отклика детектора, моделирование физических процессов. Трекинг. Исследовать модели электромагнитных взаимодействий, модели взаимодействий адронов Иметь навыки Моделирования прохождения элементарных частиц через вещество с использованием современных информационных технологий

4. Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**	**Номинальные трудозатраты обучающегося**			**Всего академических часов**	**Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)**
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		**Самостоятельная работа обучающегося, академические часы**		
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Цели и способы моделирования		1	1	2	опрос
Тема 2. Метод Монте-Карло		2	2	4	опрос
Тема 3. Структура программ в пакете Geant4		2	2	4	опрос
Тема 4. Цикл моделирования события		2	2	4	опрос
Тема 5. Интерфейс пользователя		1	1	2	опрос
Тема 6. Построение модели детектора		2	2	4	опрос
Тема 7. Моделирование отклика детектора		2	2	4	опрос
Тема 8. Описание электрического и магнитного полей		2	2	4	опрос
Тема 9. Визуализация детектора и событий		4	4	8	опрос
Тема 10. Описание элементарных частиц.		2	2	4	опрос
Тема 11. Генераторы первичной вершины		2	2	4	опрос
Тема 12. Моделирование физических процессов. Трекинг.		4	4	8	опрос
Тема 13. Модели электромагнитных взаимодействий.		4	4	8	опрос

Тема 14. Модели взаимодействий адронов		2	2	4	опрос
Тема 15. Сохранение результатов моделирования		2	2	4	опрос
Тема 16. Применение пакета Geant4 в современных экспериментах		2	2	4	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—	—	—	—
Промежуточная аттестация (зачет)					
Итого		*36*	*36*	72	—

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Цели и способы моделирования	Цели и способы моделирования физических процессов в детекторах. Цели и задачи моделирования. История развития специализированных программ. Сравнение существующих программ (FLUKA, GEANT3, GEANT4, MCNP).
2.	Тема 2. Метод Монте-Карло	Общая схема метода Монте-Карло. Моделирование распределений. Имитация случайных процессов.
3.	Тема 3. Структура программ в пакете Geant4	Ядро Geant4. Иерархия классов. Понятия сеанс, событие, трек.
4.	Тема 4. Цикл моделирования события	Цикл моделирования события. Создание простой программы моделирования. Цикл моделирования события. Обязательные блоки: модель детектора, генератор первичной вершины, набор моделей физических процессов. Создание простой программы моделирования.
5.	Тема 5. Интерфейс пользователя	Работа в интерактивном режиме. Пакетный режим. Создание новых команд. Действия, определяемые пользователем.
6.	Тема 6. Построение модели детектора	Способы описания материалов. Описание объема: форма, логический объем, физический объем. Параметризация физического объема. Системы координат. Вложенность объемов.
7.	Тема 7. Моделирование отклика детектора	Понятие чувствительного объема. Срабатывание. Оцифровка сигналов.
8.	Тема 8. Описание электрического и магнитного полей	Принцип моделирования полей в Geant4. Задание однородного магнитного поля. Сложные поля. Поля, меняющиеся во времени.
9.	Тема 9. Визуализация детектора и событий	Какие элементы детектора можно визуализировать. Графические драйверы. Управление визуализацией.

10.	Тема 10. Описание элементарных частиц.	Частицы, моделируемые в Geant4. Конструкторы частиц. Особенности моделирования тяжелых ионов. Как создать новую частицу.
11.	Тема 11. Генераторы первичной вершины	Генераторы первичной вершины. Использование внешних программ-генераторов событий. Интерфейсы к форматам HEPEVT и HepMC.
12.	Тема 12. Моделирование физических процессов. Трекинг.	Задание набора физических процессов, учитываемых в моделировании. Стандартные наборы. Описание новой частицы. Описание нового процесса. Пороги рождения частиц. Ограничения, определяемые пользователем. Как происходит один шаг в моделировании.
13.	Тема 13. Модели электромагнитных взаимодействий.	Стандартный набор электромагнитных процессов. Набор процессов для частиц низких энергий. Моделирование многократного рассеяния. Моделирование ионизации. Моделирование оптических явлений.
14.	Тема 14. Модели взаимодействий адронов	Таблицы сечений. Схема моделирования адрон-ядерных взаимодействий. Использование параметризации экспериментальных данных (GHEISHA). Струнные модели. Каскадные модели. Модели возбуждения ядер. Взаимодействие нейтронов. Распады.
15.	Тема 15. Сохранение результатов моделирования	Способы использования возможностей пакета ROOT для сохранения данных. Как управлять сохранением в «дерево» ROOT.
16.	Тема 16. Применение пакета Geant4 в современных экспериментах	Особенности моделирования сложных установок. Перспективы развития Geant4.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры тем для устного опроса:

1. Концепция метода Монте-Карло.
2. Промежуточные бозоны электрослабых взаимодействий.
3. Геометрия объемов в Geant4.
4. «Физический лист» в Geant4.
5. Генератор частиц в Geant4.
6. Общая структура проекта в Geant4.
7. Физические поля в Geant4.
8. Модели физических процессов в пакете Geant4.
9. Процесс транспортировки в Geant4.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Вопросы к зачету

1. Зачем нужно моделировать физические процессы в детекторе?
2. Можно ли заменить реальный эксперимент моделированием?
3. Основная схема метода Монте-Карло.
4. Как смоделировать случайные точки, равномерно распределенные по поверхности шара?
5. В чем различие объекта-элемента (G4Element) и объекта-материала (G4Material)?
6. К чему приводит пересечение объемов при построении модели детектора?
7. Для чего применяется параметризация физических объемов?
8. Для чего применяются внешние программы-генераторы событий?
9. Какова последовательность действий GEANT4 при расчете одного шага при трекинге?
10. Как работают и когда применяются пороги образования частиц?

Примерные темы семинарских заданий

1. Запуск пакета моделирования Geant4, освоение интерфейса и командных макросов
2. Описание различных геометрий, реплики объемов и задание материалов физического детектора.
3. Моделирование физических взаимодействий при регистрации нейтронов в детекторах.
4. Моделирование электромагнитных процессов при разных энергиях и типах заряженных частиц.
5. Моделирование адронных процессов при разных энергиях и типах частиц.
6. Моделирование электростатического и магнитного полей в физических установках.
7. Моделирование распространения и регистрации оптических фотонов.
8. Моделирование генерации черенковского излучения.
9. Визуализация элементов детектора и траекторий частиц.
10. Организация ввода-вывода информации в пакете Geant4.
11. Изучение программного инструментария для отладки и поиска ошибок в пакете Geant4, поиск пересекающихся объемов.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка виды оценочных средств	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
Знания *(виды оценочных средств: опрос, тесты)*	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения *(виды оценочных средств: практические задания)*	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт	Отсутствие навыков (владений,	Наличие отдельных навыков (наличие	В целом, сформированные навыки (владения),	Сформированные навыки (владения),

деятельности) *(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)*	опыта)	фрагментарного опыта)	но используемые не в активной форме	применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. И.М. Соболь, Численные методы Монте-Карло, М., Наука, 1973
2. С.М. Ермаков, Метод Монте-Карло и смежные вопросы, М., Наука, 1975
3. Е. Бюклинг, К. Каянти, Кинематика элементарных частиц, М., Мир, 1975
4. Г.И.Копылов, Основы кинематики резонансов, М., Наука, 1970
5. Руководство пользователя Geant4 (http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/fo /BookForAppliDev.pdf).

Дополнительная литература

1. I. Antcheva «ROOT — A C++ framework for petabyte data storage, statistical analysis and visualization» Computer Physics CommunicationsVolume 180, Issue 12, December 2009, Pages 2499-2512
2. J. Allison et al., «Geant4 Developments and Applications», IEEE Transactions on Nuclear Science 53 No. 1 (2006) 270-278.
3. ROOT, http://cern.ch/geant4 и ROOT (http://root.cern.ch).

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Ubuntu 18.04.
2. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
3. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
4. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
5. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
6. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
7. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. http://www.edu.ru – портал Министерства образования и науки РФ

2. http://www.ict.edu.ru – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. http://www.openet.ru - Российский портал открытого образования
4. http://www.mon.gov.ru - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. http://www.fasi.gov.ru - Федеральное агентство по науке и инновациям

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Math-Net.Ru [Электронный ресурс] : общероссийский математический портал / Математический институт им. В. А. Стеклова РАН ; Российская академия наук, Отделение математических наук. - М. : [б. и.], 2010. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: http://www.mathnet.ru
2. Университетская библиотека Online [Электронный ресурс] : электронная библиотечная система / ООО "Директ-Медиа" . - М. : [б. и.], 2001. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц. URL: www.biblioclub.ru
3. Универсальные базы данных East View [Электронный ресурс] : информационный ресурс / East View Information Services. - М. : [б. и.], 2012. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: www.ebiblioteka.ru
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : информационный портал / ООО "РУНЭБ" ; Санкт-Петербургский государственный университет. - М. : [б. и.], 2005. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: www.eLibrary.ru

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Филиал МГУ в г. Дубне, ответственный за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием.

Материальная база подразделения соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

8.1. Формы и методы преподавания дисциплины

(перечисляются в соответствии с таблицей 5.1.)

Используемые формы и методы обучения:
семинарские занятия
самостоятельная работа студентов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

Семинарские занятия проводятся в форме проблемной ситуации, когда некоторый аспект рассмотренной темы излагается преподавателем более подробно. Часть информации конспектируется. Большая часть времени выделена на работу с использованием компьютерной техники и программного обеспечения.

В рамках курса используются активные и интерактивные методы обучения в процессе проведения занятий. Основными особенностями интерактивных занятий являются интерактивные практические упражнения и задания, которые выполняются обучающимися не только и не столько на закрепление изученного материала, но и на самостоятельное изучение нового.

8.2. Методические рекомендации преподавателю

Перед началом изучения дисциплины преподаватель должен ознакомить студентов с

видами учебной и самостоятельной работы, перечнем литературы и интернет-ресурсов, формами текущей и промежуточной аттестации, с критериями оценки качества знаний для итоговой оценки по дисциплине.

Для семинарских занятий

Подготовка к проведению занятий проводится регулярно. Организация преподавателем семинарских занятий должна удовлетворять следующим требования: количество занятий должно соответствовать учебному плану программы, содержание планов должно соответствовать программе, план занятий должен содержать перечень рассматриваемых вопросов.

Во время семинарских занятий используются словесные методы обучения, как беседа и дискуссия, что позволяет вовлекать в учебный процесс всех слушателей и стимулирует творческий потенциал обучающихся.

При подготовке семинарскому занятию преподавателю необходимо знать план его проведения, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение.

В начале занятия преподаватель должен раскрыть теоретическую и практическую значимость темы занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. В ходе занятия следует дать возможность выступить всем желающим и предложить выступить тем слушателям, которые проявляют пассивность.

Целесообразно, в ходе обсуждения учебных вопросов, задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем, а также поощрять выступление с места в виде кратких дополнений. На занятиях проводится отработка практических умений под контролем преподавателя

8.3. Методические рекомендации студентам по организации самостоятельной работы.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, студенты должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке университета, встретиться с преподавателем, ведущим дисциплину, получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, осуществить запись на соответствующий курс в среде электронного обучения университета.

Глубина усвоения дисциплины зависит от активной и систематической работы студента на лекциях и практических занятиях, а также в ходе самостоятельной работы, по изучению рекомендованной литературы.

На лекциях важно сосредоточить внимание на ее содержании. Это поможет лучше воспринимать учебный материал и уяснить взаимосвязь проблем по всей дисциплине. Основное содержание лекции целесообразнее записывать в тетради в виде ключевых фраз, понятий, тезисов, обобщений, схем, опорных выводов. Необходимо обращать внимание на термины, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставлять в конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющей материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций необходимо задавать преподавателю уточняющие вопросы. Для закрепления содержания лекции в памяти, необходимо во время самостоятельной работы внимательно прочесть свой конспект и дополнить его записями из учебников и рекомендованной литературы. Конспектирование читаемых лекций и их последующая доработка способствует более глубокому усвоению знаний, и поэтому являются важной формой учебной деятельности студентов.

Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Прочное усвоение и долговременное закрепление учебного материала невозможно без продуманной самостоятельной работы. Такая работа требует от студента значительных усилий,

творчества и высокой организованности. В ходе самостоятельной работы студенты выполняют следующие задачи: дорабатывают лекции, изучают рекомендованную литературу, готовятся к практическим занятиям, к коллоквиуму, контрольным работам по отдельным темам дисциплины. При этом эффективность учебной деятельности студента во многом зависит от того, как он распорядился выделенным для самостоятельной работы бюджетом времени.

Результатом самостоятельной работы является прочное усвоение материалов по предмету согласно программы дисциплины. В итоге этой работы формируются профессиональные умения и компетенции, развивается творческий подход к решению возникших в ходе учебной деятельности проблемных задач, появляется самостоятельности мышления.

Решение задач

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи).

Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом.

Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты.

Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

Задача — это цель, заданная в определенных условиях, решение задачи — процесс достижения поставленной цели, поиск необходимых для этого средств.

Алгоритм решения задач:

1. Внимательно прочитайте условие задания и уясните основной вопрос, представьте процессы и явления, описанные в условии.
2. Повторно прочтите условие для того, чтобы чётко представить основной вопрос, проблему, цель решения, заданные величины, опираясь на которые можно вести поиски решения.
3. Произведите краткую запись условия задания.
4. Если необходимо составьте таблицу, схему, рисунок или чертёж.
5. Определите метод решения задания, составьте план решения.
6. Запишите основные понятия, формулы, описывающие процессы, предложенные заданной системой.
7. Найдите решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
9. Проверьте правильность решения задания.
10. Произведите оценку реальности полученного решения.
11. Запишите ответ.

9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.-м.н. Леонтьев Владимир Викторович, доцент кафедры физического факультета МГУ