

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Вычислительные средства: GEANT 4
<b>по направлению:</b>	Ядерные физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.С. Жемчугов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных и прикладных проблем физики микромира  
04.06.2020

## Аннотация

Компьютерное моделирование физических процессов в детекторе является неотъемлемой частью экспериментальной физики высоких энергий как на этапе создания и оптимизации экспериментальной установки, так и при анализе полученных данных. Кроме того, в последнее время компьютерное моделирование ядерных процессов находит широкое применение в прикладных областях: радиационной медицине, космонавтике, микроэлектронике и т. д. Одной из наиболее распространенных программ, применяемых для моделирования, является разработанный в CERN пакет GEANT4, позволяющий работать с полным спектром известных физических процессов, протекающих при прохождении элементарных частиц через вещество. задача курса заключается в практическом освоении пакета GEANT4.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- ознакомление с методами моделирования физических установок с помощью пакета GEANT4.

#### Задачи дисциплины

обучение студентов моделированию случайных процессов методом Монте-Карло;  
ознакомление с принципами работы, способами использования и пределами применимости программного пакета GEANT4;  
формирование у студентов практических навыков разработки компьютерных программ моделирования физических процессов в веществе с применением программного пакета GEANT4.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять исследовательским проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.2 Способен составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме

ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.1 Знает физическое описание явлений и процессов в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.3 Владеет навыками работы с современными расчетными программными средствами

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

общую схему метода Монте-Карло;  
способы моделирования основных случайных распределений;  
способы построения геометрической модели детектора в пакете Geant4;  
принципы составления наборов моделей физических процессов в пакете Geant4;  
пределы применимости основных моделей физических процессов в пакете Geant4;  
способы развития функциональности пакета Geant4.

уметь:

эффективно применять вышеуказанные знания на практике для создания программ моделирования и решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной экспериментальной физики элементарных частиц.

владеть:

техникой моделирования физических процессов в веществе с применением программного пакета GEANT4.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Цели и способы моделирования физических процессов в детекторах.	2	2		3
2	Метод Монте-Карло.	2	2		3
3	Структура программ в пакете Geant4.	2	2		3
4	Интерфейс пользователя.	2	2		3
5	Построение модели детектора.	2	2		3
6	Моделирование отклика детектора.	2	2		3
7	Описание электрического и магнитного полей.	2	2		3
8	Визуализация детектора и событий.	2	2		3
9	Описание элементарных частиц.	2	2		3

10	Генераторы первичной вершины.	2	2		3
11	Моделирование физических процессов. Трекинг.	2	2		3
12	Модели электромагнитных взаимодействий.	2	2		3
13	Модели взаимодействий адронов.	2	2		3
14	Сохранение результатов моделирования.	2	2		3
15	Применение пакета Geant4 в современных экспериментах.	2	2		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Цели и способы моделирования физических процессов в детекторах.

Цели и задачи моделирования. История развития специализированных программ. Сравнение существующих программ (FLUKA, GEANT3, GEANT4, MCNP).

Цикл моделирования события. Обязательные блоки: модель детектора, генератор первичной вершины, набор моделей физических процессов. Создание простой программы моделирования.

##### 2. Метод Монте-Карло.

Общая схема метода Монте-Карло. Моделирование распределений. Имитация случайных процессов.

##### 3. Структура программ в пакете Geant4.

Ядро Geant4. Иерархия классов. Понятия сеанс, событие, трек.

##### 4. Интерфейс пользователя.

Работа в интерактивном режиме. Пакетный режим. Создание новых команд. Действия, определяемые пользователем.

##### 5. Построение модели детектора.

Способы описания материалов. Описание объема: форма, логический объем, физический объем. Параметризация физического объема. Системы координат. Вложенность объемов.

##### 6. Моделирование отклика детектора.

Понятие чувствительного объема. Срабатывание. Оцифровка сигналов.

##### 7. Описание электрического и магнитного полей.

Принцип моделирования полей в Geant4. Задание однородного магнитного поля. Сложные поля. Поля, меняющиеся во времени.

## 8. Визуализация детектора и событий.

Какие элементы детектора можно визуализировать. Графические драйверы. Управление визуализацией.

## 9. Описание элементарных частиц.

Частицы, моделируемые в Geant4. Конструкторы частиц. Особенности моделирования тяжелых ионов. Как создать новую частицу.

## 10. Генераторы первичной вершины.

Генераторы первичной вершины. Использование внешних программ-генераторов событий. Интерфейсы к форматам HEPEVT и HepMC.

## 11. 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.

## 12. Модели электромагнитных взаимодействий.

Стандартный набор электромагнитных процессов. Набор процессов для частиц низких энергий. Моделирование многократного рассеяния. Моделирование ионизации. Моделирование оптических явлений.

## 13. 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.

## 14. Сохранение результатов моделирования.

Способы использования возможностей пакета ROOT для сохранения данных. Как управлять сохранением в «дерево» ROOT.

## 15. Применение пакета Geant4 в современных экспериментах.

Особенности моделирования сложных установок. Перспективы развития Geant4.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Практические занятия проводятся в компьютерном классе.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Численные методы Монте-Карло [Текст]/И. М. Соболев, -М., Наука, 1973
2. Метод Монте-Карло и смежные вопросы [Текст]/С. М. Ермаков, -М., Наука, 1975

### Дополнительная литература

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Сайт коллаборации Geant4 <http://cern.ch/geant4>

Руководство пользователя Geant4

(<http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/fo/BookForAppliDev.pdf>)

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Необходимое программное обеспечение: Geant4, ROOT. Доступные через интернет страницы разработчиков пакета Geant4 (<http://cern.ch/geant4>) и ROOT (<http://root.cern.ch>) и база данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>).

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Ядерная физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.С. Жемчугов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять исследовательским проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.2 Способен составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.1 Знает физическое описание явлений и процессов в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.3 Владеет навыками работы с современными расчетными программными средствами

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Вычислительные средства: GEANT 4» обучающийся должен:

**знать:**



общую схему метода Монте-Карло;  
способы моделирования основных случайных распределений;  
способы построения геометрической модели детектора в пакете Geant4;  
принципы составления наборов моделей физических процессов в пакете Geant4;  
пределы применимости основных моделей физических процессов в пакете Geant4;  
способы развития функциональности пакета Geant4.

**уметь:**

эффективно применять вышеуказанные знания на практике для создания программ моделирования и решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной экспериментальной физики элементарных частиц.

**владеть:**

техникой моделирования физических процессов в веществе с применением программного пакета GEANT4.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Не предусмотрено.

**4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

- 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?
- 11) При каких условиях трекинг частицы прекращается?
- 12) Что такое джеантино?
- 13) Особенности моделирования многократного рассеяния и ионизации.
- 14) Схема моделирования адрон-ядерных взаимодействий.
- 15) Какие модели внутриядерного каскада реализованы в GEANT4?

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Какие элементы детектора можно визуализировать. Графические драйверы. Управление визуализацией.
2. Задание набора физических процессов, учитываемых в моделировании. Стандартные наборы. Описание новой частицы. Описание нового процесса.

Билет 2.

1. Генераторы первичной вершины. Использование внешних программ-генераторов событий. Интерфейсы к форматам HEPEVT и HepMC.
2. Принцип моделирования полей в Geant4. Задание однородного магнитного поля. Сложные поля. Поля, меняющиеся во времени.

**Критерии оценивания**

Обучающемуся ставится оценка в соответствии с продемонстрированным уровнем подготовки; оценивание производится на усмотрения экзаменатора в соответствии с особенностями дисциплины и следующими критериями:

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.