

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.И. Чуприс

«04» 2019 г.

Регистрационный № УД-7754/уч.



Лабораторный спецпрактикум

«Моделирование в ядерном физическом эксперименте»

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 05 Физика

2019

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 05-2019, учебного плана №G31-062/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

В.А. Мечинский – доцент кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики
физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол №4 от 21.11.2019);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 03.12.2019)

Заведующий кафедрой _____
подпись

_____ А.И. Тимошенко
Ф.И.О.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – развитие у студентов навыков компьютерного моделирования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом методами Монте-Карло.

Задачи учебной дисциплины:

1. Дать представление об алгоритмах и принципах построения программ моделирования на основе методов Монте-Карло.
2. Самостоятельная работа направлена на выработку практических навыков в моделировании ядерно-физических процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, транспорта этого излучения через модельную геометрию и фиксацию физических характеристик, необходимых пользователю.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к компоненту учреждения высшего образования и входит в модуль по выбору «Физика элементарных частиц».

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. Лабораторный спецпрактикум «Моделирование в ядерном физическом эксперименте» основан на знаниях и представлениях, заложенных в следующих дисциплинах: «Основы C, C++ и их применение для решения физико-технических задач», «Физика ядра и элементарных частиц», «Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом», «Методы и устройства регистрации излучений», «Спектрометрия и радиометрия ионизирующих излучений», «Защита от ионизирующих излучений».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Моделирование в ядерном физическом эксперименте» должно обеспечить формирование следующей специализированной компетенции:

СК – 16. Быть способным проводить компьютерное моделирование и теоретические расчеты для сравнения экспериментальных данных и данных теории в физике элементарных частиц.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основы синтаксиса языка программирования C, C++;
- обладать навыками программирования на C, C++;

– основные процессы взаимодействия различных ионизирующих излучений с веществом;

– принцип построения ядерно-физических детекторных систем;

уметь:

– моделировать процессы поглощения энергии ионизирующего в веществе сложной геометрии и химического состава;

– моделировать генерацию сцинтилляционных и черенковских фотонов в материалах детектора, а также транспорт оптического излучения через детектор с учётом процессов поглощения, преломления и отражения;

– на основе смоделированных процессов получать информацию, необходимую для расчёта характеристик как ионизирующего излучения (энергия, интенсивность), так и детектора (эффективность регистрации, энергетическое разрешение, линейность отклика);

владеть:

– практическими навыками применения статистических методов Монте-Карло для задач ядерно-физического эксперимента;

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Моделирование в ядерном физическом эксперименте» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лабораторных занятий – 48 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

- 1. Ознакомление со средой моделирования GEANT4.** Структура и иерархия классов GEANT4. Правила формирования геометрии эксперимента. Задание элементного и/или изотопного состава материалов. Задание типа и свойств источника частиц. Задание чувствительного объёма. Сбор данных и формирование выходных файлов моделирования.
- 2. Моделирование регистрируемых энергетических спектров частиц.** Определение поглощённой в чувствительном объёме энергии ионизирующих частиц. Спектр поглощённой энергии гамма-квантов, его отличие от амплитудных спектров, получаемых на практике. Расчёт эффективности регистрации излучения. Влияние плотности и эффективного заряда мишени на эффективность регистрации гамма-излучения.
- 3. Моделирование временных спектров частиц. Сцинтилляционные детекторы.** Моделирование оптических и сцинтилляционных процессов. Задание необходимых параметров материалов, через которые осуществляется транспорт фотонов. Задание характера отражения оптического излучения на границах сред (зеркальное и диффузное). Получение амплитудных спектров гамма-излучения. Получения спектров времени сбора фотонов на фотоприёмнике. Оптимизация геометрии детекторного модуля.
- 4. Моделирование спектров немоноэнергетического источника детекторами с оптическим съёмом информации в магнитном поле.** Моделирование магнитного поля. Движение заряженных частиц в магнитном поле при изменении давления воздуха. Влияние аннигиляции позитронов на регистрируемый спектр поглощённой энергии.
- 5. Моделирование установок с регулярными элементами.** Калориметры гетерогенного типа. Копирование повторяющихся элементов геометрии. Калориметры частиц в физике высоких энергий. Моделирование ячейки гетерогенного калориметра типа «шашлык». Профиль энерговыделения электромагнитного ливня частиц.
- 6. Моделирование детекторов сложных геометрий: повороты, перенос, вычитание и объединение объёмов.** Формирование сложной модельной геометрии с использованием логических операций над геометрическими примитивами. Трансляция и поворот фигур.
- 7. Моделирование источника вторичных нейтронов на основе взаимодействия протонов высоких энергий со свинцовой мишенью.** Моделирование пучка вторичных нейтронов на основе ядерных реакций (p,n). Генерирование потока нейтронов широкого энергетического

спектра. Энергетические и временные спектры вторичных нейтронов и гамма-квантов.

8. Моделирование систем со сложным источником ионизирующих частиц. Библиотека GPS. Использование библиотеки «GPS» для моделирования сложных источников частиц.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Управляемая самостоятельная работа студента	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ознакомление со средой моделирования GEANT4.				6		[1-2]	Устный опрос.
2	Моделирование регистрируемых энергетических спектров частиц.				6		[1-2]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
3	Моделирование временных спектров частиц. Сцинтилляционные детекторы.				6		[1-2] [1д]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
4	Моделирование спектров немоноэнергетического источника детекторами с оптическим съёмом информации в магнитном поле.				6		[1-2] [1д]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
5	Моделирование установок с регулярными элементами. Калориметры гетерогенного типа.				6		[1-2] [1д, 2д]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
6	Моделирование детекторов сложных геометрий:				6		[1-2]	Устный опрос.

	повороты, перенос, вычитание и объединение объёмов.							Отчёт по лабораторной работе.
7	Моделирование источника вторичных нейтронов на основе взаимодействия протонов высоких энергий со свинцовой мишенью.				6		[1-2]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
8	Моделирование систем со сложным источником ионизирующих частиц. Библиотека GPS.				6		[1-2]	Устный опрос. Отчёт по лабораторной работе.
	Итого:				48			зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Леонтьев В. В., Орлов И. А. Задачи раздела информационные методы в физике высоких энергий, часть 2. – Университетская книга Москва, 2013. – С. 50.
2. User's Guide: For Application Developers [Электронный ресурс] // <http://geant4.cern.ch>: официальный портал пакета моделирования GEANT4. Женева, Швейцария, 2017 г. URL: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/fo/BookForAppliDev.pdf>

Перечень дополнительной литературы

1. Группен, К. Детекторы элементарных частиц / К. Группен ; под ред. Л. М. Курдадзе, С. И. Эйдельмана ; пер. с англ.: Н. Ю. Эйдельман, Ю. И. Эйдельман. – Новосибирск : Сиб. хронограф, 1999. – 408 с.
2. Wigmans, R. Calorimetry. Energy Measurement in Particle Physics / R. Wigmans. – Oxford : Clarendon Press, 2000. – 748 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Отчеты по лабораторным работам.
2. Устный опрос.

Отчеты по лабораторным работам оформляются в письменной форме или на компьютере после выполнения лабораторной работы. Защита отчетов по лабораторным работам проводится в устной форме и оценивается по десятибалльной шкале. В оценке лабораторной работы учитывается, как студент проводил подготовку к выполнению компьютерного моделирования (коррекция модели эксперимента), самостоятельность при выполнении моделирования, обработке и интерпретации полученных данных.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую лабораторную работу $T = \frac{1}{8} \sum_1^8 L_i$, где L_i - оценка по отдельной лабораторной работе.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Лабораторный спецпрактикум «Моделирование в ядерном физическом эксперименте» учебным планом предусмотрен зачёт.

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г);

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- Отчеты по лабораторной работе – 40 %;
- Устные ответы по теме выполняемой лабораторной работы – 60%;

К зачёту допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Примерная тематика лабораторных занятий

Тема 1. Ознакомление со средой моделирования GEANT4.

Лабораторная работа посвящена изучению рабочей среды пакета программ GEANT4, студенты пишут исходный код тестовых программ на C++ и выполняют их компиляцию, знакомятся с исходным кодом программы к следующей лабораторной работе и структурой подпрограмм.

Тема 2. Моделирование регистрируемых энергетических спектров частиц.

Студенты выполняют компьютерное моделирование с использованием пакета программ GEANT4 процессов взаимодействия гамма- и бета-излучения с веществом. Студенты получают модельные спектры поглощённой в детекторе энергии гамма-излучения, а также спектры поглощения от электронов разных энергий при различных толщинах алюминиевого поглотителя. На основании полученных спектров делаются выводы о характере спектров поглощённой энергии в веществе от частиц разных типов. Отдельно проводятся расчёты эффективности регистрации излучения для набора материалов с разной плотностью, на основании чего

делается вывод о характере зависимости эффективности регистрации излучения от энергии, эффективного заряда и плотности поглотителя.

Тема 3. Моделирование временных спектров частиц. Сцинтилляционные детекторы.

Студенты моделируют процессы формирования спектров поглощения энергии гамма-излучения с учётом формирования отклика детектора в виде сцинтилляционных фотонов. Изменяя форму сцинтилляционного кристалла, помещённого в отражатель, с цилиндрической на конусную по полученным спектрам времени движения сцинтилляционных фотонов до фотоприёмника делаются выводы о влиянии формы сцинтиллятора на время сбора фотонов.

Тема 4. Моделирование спектров немонотонного источника детекторами с оптическим съёмом информации в магнитном поле.

Студенты моделируют движения пучков электронов и позитронов в магнитном поле при различном атмосферном давлении, исследуют сложную структуру спектров поглощения составных источников излучения.

Тема 5. Моделирование установок с регулярными элементами. Калориметры гетерогенного типа.

Студенты проводят моделирование развития ливней частиц в гетерогенном калориметре на основе чередующихся слоёв свинца и сцинтиллятора $PbWO_4$. На основе полученных спектров оставленной в слоях энергии строится профиль продольного развития ливня частиц от адронов и электронов высоких энергий.

Тема 6. Моделирование детекторов сложных геометрий: повороты, перенос, вычитание и объединение объёмов.

На основе встроенных инструментов пакета программ GEANT4 моделируются детектор гамма-квантов сложной формы, полученной на основе операций пространственной трансляции и поворота элементарных фигур (цилиндры, параллелепипеды, сферы и т.д.), а также логических операций вычитания, пересечения и объединения над этими фигурами. Изучаются методы формирования геометрий сложной формы.

Тема 7. Моделирование источника вторичных нейтронов на основе взаимодействия протонов высоких энергий со свинцовой мишенью.

Моделируется пучок протонов с энергией 50-200 МэВ, взаимодействующий со свинцовой мишенью, в результате чего по каналу ядерных реакций (p,n) генерируется поток нейтронов широкого энергетического спектра. Целью моделирования является получение энергетических спектров вторичных нейтронов и гамма-квантов, а также их временных спектров детектирования на различных дистанциях от мишени.

Тема 8. Моделирование систем со сложным источником ионизирующих частиц. Библиотека GPS.

Используя встроенную библиотеку «GPS» моделируются сложные источники частиц – объёмные, поверхностные, с заданным табулированным спектром.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

В рамках данного курса предполагается использовать проектный подход к преподаванию учебной дисциплины, а также метод группового обучения.

При организации образовательного процесса *используется метод проектного обучения*, который предполагает:

- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;

- приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.

При организации образовательного процесса *используется метод группового обучения*, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;

- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и её разделам;
- подготовка к выполнению групповых заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, написания программных алгоритмов, программных реализаций по отдельным разделам содержания дисциплин;
- работы, предусматривающие решение задач и выполнение упражнений, выдаваемых на практических занятиях;
- изучением основной и дополнительной литературы;
- подготовка к зачёту.

Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Основные этапы выполнения ядерно-физических расчётов с использованием методов Монте-Карло.
2. Основные концепции пакета моделирования GEANT4.
3. Использование компилятора g++.
4. Основные команды консольной оболочки bash.
5. Структура пользовательских подпрограмм при моделировании в GEANT4.
6. Основные этапы задания модельной геометрии: мировой объём, логический объём, физический объём.
7. Сбор информации о физических параметрах частиц при их транспорте: чувствительный объём.
8. Задание типа и структуры источника частиц.
9. Задание материалов элементов геометрии.
10. Формирование геометрии эксперимента на основе геометрических примитивов.
11. Иерархия частиц: индификаторы частиц и треков.
12. Эффективность регистрации излучения.
13. Определение поглощённой в чувствительном объёме энергии.
14. Определение кинетической энергии образующихся вторичных частиц.
15. Спектр поглощённой энергии, его отличие от амплитудных экспериментальных спектров.
16. Определение моментов времени попадания частиц в чувствительный объём, временные спектры.
17. Описание оптико-сцинтилляционных свойств, необходимых для транспорта фотонов.
18. Моделирование линейчатых спектров частиц.
19. Моделирование магнитных и электрических полей.
20. Типы калориметров частиц.

21. Копирование повторяющихся элементов геометрии: репликация.
22. Моделирование адронных взаимодействий.
23. Профиль энергосделения электромагнитного ливня частиц, сэмплинг-фактор.
24. Компенсация калориметра.
25. Моделирование детекторов сложных геометрий: повороты, перенос, вычитание и объединение объёмов.
26. Использование библиотеки “GPS” для моделирования сложных по структуре и составу источников частиц.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика высоких энергий	Кафедра ядерной физики	нет	Оставить без изменений, протокол № 4 от 21.11.2019
Ускорители заряженных частиц	Кафедра ядерной физики	нет	Оставить без изменений, протокол № 4 от 21.11.2019

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ядерной физики (протокол № ____ от ____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой ядерной физики
к.ф.-м.н., доцент _____ А.И.Тимощенко

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
к.ф.-м.н., доцент _____ М.С. Тиванов