|  |
| --- |
| **Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»** |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **«УТВЕРЖДАЮ»**  |  |
|  |  |  |  | **Директор физтех-школы фундаментальной и прикладной физики** |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.В. Киселев** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Рабочая программа дисциплины (модуля)** |
| **по дисциплине:** | Метод Монте-Карло в ядерной физике |
| **по направлению:** | Прикладные математика и физика (бакалавриат) |
| **профиль подготовки:** |  | Физика атомного ядра, элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий |
|  |  | факультет проблем физики и энергетики |
|  |  | Кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии |
| **курс:** | 3 |
| **квалификация:** | бакалавр |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 6(Весенний) - Экзамен |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Аудиторных часов: 30 всего, в том числе: |  |  |
|  | лекции: 30 час. |  |  |
|  | практические и семинарские занятия: 0 час. |  |  |
|  | лабораторные занятия: 0 час. |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Самостоятельная работа: 30 час. |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Подготовка к экзамену: 30 час. |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Программу составил:** | Н.М. Соболевский, д-р физ.-мат. наук, профессор |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Программа обсуждена на заседании кафедры**  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 марта 2018 г. |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| СОГЛАСОВАНО: |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Заведующий кафедрой | В.А. Матвеев |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Начальник учебного управления | И.Р. Гарайшина |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Декан факультета | А.Г. Леонов |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1. Цели и задачи** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Цель дисциплины** |  |  |  |  |  |  |
| - изложение техники метода Монте Карло применительно к задачам о взаимодействии частиц с веществом; |
| - формирование базовых знаний для дальнейшего использования в дисциплинах естественнонаучного содержания;  |
| - формирование математической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Задачи дисциплины** |  |  |
|  общее представление о пакетах программ FLUKA, GEANT, MARS, MCNPX, PHITS, SHIELD; |
|  изложение некоторых разделов теории вероятностей и математической статистики, необходимых для метода Монте Карло;  |
|  основные алгоритмы моделирования случайных величин с заданным законом распределения;  |
|  некоторые типичные задачи моделирования ядерно-физических процессов и регистрации результатов.  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Курс «Метод Монте-Карло в ядерной физике» относится к вариативной части образовательной программы |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Дисциплина «Метод Монте-Карло в ядерной физике» базируется на дисциплинах: |
| Теория вероятностей; |
| Математика. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Дисциплина «Метод Монте-Карло в ядерной физике» предшествует изучению дисциплин: |
| Нейтронная физика; |
| Нейтронные методы исследования конденсированных сред; |
| Экспериментальная ядерная физика. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Освоение дисциплины направлено на формирование следующих общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций: |
| способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7); |
| способность применять теорию и методы математики для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности (ОПК-2); |
| способность применять полученные знания для анализа систем, процессов и методов (ОПК-4); |
| способность критически оценивать применимость применяемых методик и методов (ПК-4). |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **В результате освоения дисциплины обучающиеся должны** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **знать:** |  |  |  |  |  |  |
|  понятия теории вероятностей и математической статистики, используемые в методе Монте-Карло;
 основные приемы моделирования случайных величин с заданным законом распределения;
 физические приближения, принятые при моделировании взаимодействия частиц с веществом и ядерных реакций при высоких энергиях. |
| **уметь:** |  |  |
|  абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
 строить математические модели процессов взаимодействия частиц с веществом;
 делать правильные выводы из сопоставления результатов расчетов и эксперимента;
 видеть в прикладных задачах физическое содержание;
 эффективно использовать компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов. |
| **владеть:** |  |  |
|  навыками самостоятельной разработки компьютерных программ;
 навыками освоения большого объема информации;
 навыками постановки научно-исследовательских задач и компьютерного моделирования в области взаимодействия частиц с веществом. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **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 | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу  |
|  |  | Лекции | Практичес- кие и семинарские занятия | Лаборат. работы | Задания, курсовые работы | Самост. работа |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Введение в метод Монте-Карло. | 2 |  |  |  | 2 |
| 2 | Непрерывные и дискретные случайные величины. | 4 |  |  |  | 4 |
| 3 | Методы моделирования случайных величин с заданным законом распределения. | 5 |  |  |  | 5 |
| 4 | Вычисление интегралов методом Монте-Карло. | 6 |  |  |  | 6 |
| 5 | Некоторые типичные задачи моделирования в ядерной физике. | 5 |  |  |  | 5 |
| 6 | Регистрация результатов моделирования. | 4 |  |  |  | 4 |
| 7 | Моделирование многочастичных процессов. | 4 |  |  |  | 4 |
| Итого часов | 30 |  |  |  | 30 |
| Подготовка к экзамену | 30 час. |
| Общая трудоёмкость | 90 час., 2 зач.ед. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.2.  | Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Семестр: 6 (Весенний) |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1. Введение в метод Монте-Карло. |
|  |  |  |
|  | Что такое метод Монте-Карло. Прохождение частиц через вещество, взаимодействие адронов и ядер со сложными макроскопическими мишенями. Моделирование ядерных реакций в эксклюзивном и инклюзивном подходе. Компьютерные программы (транспортные коды), применяемые в данной предметной области: FLUKA, GEANT, MARS, MCNPX, PHITS, SHIELD. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2. Непрерывные и дискретные случайные величины. |
|  |  |  |
|  | Функция распределения и плотность вероятности случайной величины, числовые характеристики, моменты. Характеристическая функция, производящая функция вероятности. Сложение независимых случайных величин. Центральная предельная теорема. Сходимость по вероятности. Многомерная случайная величина, маргинальная и условная плотность вероятности, независимость. Моменты многомерного распределения, коэффициент корреляции. Линейное преобразование случайных величин. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3. Методы моделирования случайных величин с заданным законом распределения. |
|  |  |  |
|  | Генерация на компьютере случайных величин с заданным законом распределения. Равномерно распределенная случайная величина. Датчики псевдослучайных чисел. Метод обратных функций для непрерывного и дискретного распределений. Табличный метод обратных функций. Методы отбора, эффективность метода отбора, существенная выборка. Моделирование многомерных случайных величин. Метод суперпозиции. Моделирование некоторых важных распределений. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4. Вычисление интегралов методом Монте-Карло. |
|  |  |  |
|  | Вычисление интегралов методом Монте-Карло. Геометрический подход к вычислению интеграла. Интеграл как математическое ожидание. Дисперсия осредняемой случайной величины. Существенная выборка как метод понижения дисперсии. Статистическая точность оценки математического ожидания. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 5. Некоторые типичные задачи моделирования в ядерной физике. |
|  |  |  |
|  | Изотропное направление в пространстве. Моделирование азимутального угла методом отбора. Преобразование углов рассеяния к исходной лабораторной системе. Облучение сложного объекта космическим излучением. Связь числа испытаний Монте-Карло с реальным временем облучения. Моделирование профиля поперечного сечения пучка ускорителя. Моделирование многократного кулоновского рассеяния и энергетического страгглинга заряженных частиц. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 6. Регистрация результатов моделирования. |
|  |  |  |
|  | Гистограмма. Спектр кинетической энергии и летаргии. Другие кинематические переменные: продольный и поперечный импульс, фейнмановская переменная, быстрота. Способы представления углового распределения. Оценки потоков частиц: по длине пробега, по пересечениям, по столкновениям. Статистическая точность результатов моделирования. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 7. Моделирование многочастичных процессов. |
|  |  |  |
|  | Необходимые формулы релятивистской кинематики. Фазовый объем системы частиц. Фазовый объем двух частиц. Рекуррентная формула для фазового объема n частиц. Представление фазового объема в переменных (M,). Алгоритм моделирования процесса a+b1+2+…+n. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)** |
|  |  |  |
|  | Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном, доской. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Основная литература |  |
|  | 1. Н.М.Соболевский. Метод Монте Карло в задачах о взаимодействии частиц с веществом. Учебное пособие, ИЯИ РАН, Москва, 2007, ISBN 978-5-94274-027-5, 158 стр.
2. Г.А.Михайлов, А.В.Войтишек. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. - М.: «Академия», 2006.
 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Дополнительная литература |  |
|  | 1. Г.Крамер. Математические методы статистики. - М.: Мир, 1975.
2. И.М.Соболь. Численные методы Монте-Карло. - М.: Наука, 1973.
3. А.Д.Франк-Каменецкий. Моделирование траекторий нейтронов при расчете реакторов методом Монте-Карло. - М.: Атомиздат, 1978.
4. Е.Бюклинг, К.Каянти. Кинематика элементарных частиц. - М.: Мир, 1975.
5. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Москва, Атомиздат, 1972.
6. А.Н.Калиновский, Н.В.Мохов, Ю.П.Никитин. Прохождение частиц высоких энергий через вещество. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1. Г.А.Михайлов, А.В.Войтишек. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. - М.: «Академия», 2006.  |
|  | 2. И.М.Соболь. Численные методы Монте-Карло. - М.: Наука, 1973.  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | FLUKA http://www.fluka.org/  |
|  | Geant4 http://geant4.cern.ch/  |
|  | MARS http://www-ap/fnal/gov/MARS/  |
|  | MCNPX http://mcnpx.lanl.gov/  |
|  | PHITS http://phits.jaea.go.jp/  |
|  | SHIELD http://www.inr.ru/shield/ |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование различных программных средств. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Студент, изучающий курс «Методы Монте-Карло в ядерной физике», 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 используемые в методе Монте-Карло понятия теории вероятностей и математической статистики, основные приемы моделирования случайных величин с заданным законом распределения, принятые при моделировании взаимодействия частиц с веществом и ядерных реакций при высоких энергиях физические приближения. Обучающийся должен уметь абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций и строить математические модели процессов взаимодействия частиц с веществом, а также делать правильные выводы из сопоставления результатов расчетов и эксперимента. Студент должен научиться видеть в прикладных задачах физическое содержание и эффективно использовать компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов; он должен овладеть навыками самостоятельной разработки компьютерных программ и освоения большого объема информации, а также навыками постановки научно-исследовательских задач и компьютерного моделирования в области взаимодействия частиц с веществом. |
| Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя: |
| – чтение и конспектирование рекомендованной литературы, |
| – проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств; |
| – решение задач, предлагаемых студентам на занятиях, |
| – подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, экзамену. |
| Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. |
| Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.  |
| При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные основные определения, формулировки теорем. В начале занятия, как правило, проводится короткий (5…10 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения**  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Приложение |  |  |  |  |  |  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  | **ПРИЛОЖЕНИЕ** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ** |
| **ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ** |
| **ПО ДИСЦИПЛИНЕ** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |
| **по направлению:** | Прикладные математика и физика (бакалавриат) |
| **профиль подготовки:** |  | Физика атомного ядра, элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий |
|  |  | Факультет проблем физики и энергетики |
|  | Кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии |
| **курс:** | 3 |  |  |
| **квалификация:** | бакалавр |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 6(Весенний) - Экзамен |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Разработчик:** | Н.М. Соболевский, д-р физ.-мат. наук, профессор |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины** |
| Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций: |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7); |
| способность применять теорию и методы математики для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности (ОПК-2); |
| способность применять полученные знания для анализа систем, процессов и методов (ОПК-4); |
| способность критически оценивать применимость применяемых методик и методов (ПК-4). |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2. Показатели оценивания компетенций** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| В результате изучения дисциплины «Метод Монте-Карло в ядерной физике» обучающийся должен: |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **знать:** |  |  |  |  |  |  |
|  понятия теории вероятностей и математической статистики, используемые в методе Монте-Карло;
 основные приемы моделирования случайных величин с заданным законом распределения;
 физические приближения, принятые при моделировании взаимодействия частиц с веществом и ядерных реакций при высоких энергиях. |
| **уметь:** |  |  |  |  |  |  |
|  абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
 строить математические модели процессов взаимодействия частиц с веществом;
 делать правильные выводы из сопоставления результатов расчетов и эксперимента;
 видеть в прикладных задачах физическое содержание;
 эффективно использовать компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов. |
| **владеть:** |  |  |  |  |  |  |
|  навыками самостоятельной разработки компьютерных программ;
 навыками освоения большого объема информации;
 навыками постановки научно-исследовательских задач и компьютерного моделирования в области взаимодействия частиц с веществом. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Перечень контрольных вопросов: |
| 1. Общее представление о методе Монте-Карло. Статистическое моделирование как основной метод теоретического описания взаимодействия частиц высоких энергий со сложными мишенями. Современные компьютерные программы для моделирования взаимодействия частиц с веществом методом Монте-Карло. Понятие об эксклюзивном и инклюзивном подходах к описанию ядерных реакций.  |
| 2. Основные свойства функции распределения непрерывной случайной величины. Математическое ожидание, алгебраические и центральные моменты, связь между ними. Функция вероятности дискретной случайной величины. |
| 3. Характеристическая функция и производящая функция вероятностей. Вычисление моментов дифференцированием на примере нормального распределения и распределения Пуассона.  |
| 4. Сложение независимых случайных величин: функция плотности вероятности, характеристическая функция и моменты младших порядков суммы случайных величин. Теорема сложения для нормального распределения.  |
| 5. Замена переменных в функции плотности вероятности. Гамма-распределение и Хи^2-распределение, их основные свойства.  |
| 6. Определение асимптотической нормальности. Доказательство Центральной предельной теоремы в формулировке Линдберга-Леви. Понятие сходимости по вероятности. Необходимые и достаточные условия сходимости по вероятности. Теорема Хинчина.  |
| 7. Многомерные случайные величины. Маргинальная и условная плотности вероятности. Определение независимости случайных величин и ее необходимое и достаточное условие. Коэффициент корреляции, независимость и некоррелированность, линейное преобразование случайных величин.  |
| 8. Случайная величина, равномерно распределенная на интервале (0,1): среднее, дисперсия, характеристическая функция. Плотность распределения суммы двух равномерных случайных величин. Рекуррентная формула для плотности с увеличением числа слагаемых.  |
| 9. Метод обратных функций в непрерывном и дискретном случаях. Примеры: выбор канала взаимодействия нейтрона с ядром; розыгрыш длины пробега нейтрона в веществе.  |
| 10. Метод отбора, эффективность метода отбора. Метод отбора с использованием существенной выборки.  |
| 11. Моделирующие формулы для распределения Гаусса, Гамма-распределения, распределения Хи^2. Моделирование энергетического спектра «испарительных» нейтронов.  |
| 12. Общий метод моделирования многомерных случайных величин.  |
| 13. Моделирование биномиального распределения и распределения Пуассона.  |
| 14. В каких случаях целесообразно применение метода Монте-Карло для вычисления интегралов.  |
| 15. Интеграл как площадь под кривой и как математическое ожидание некоторой специально построенной случайной величины. Оценка математического ожидания средним арифметическим. Точность оценки математического ожидания.  |
| 16. Существенная выборка как метод понижения дисперсии осредняемой случайной величины.  |
| 17. Определение изотропного направления в пространстве. Моделирующие формулы для полярного и азимутального углов.  |
| 18. Общее определение дифференциальной плотности потока частиц ϕ(r,E,Ω). Моделирование облучения космических аппаратов космическим излучением. Приближения стационарности, пространственной однородности и изотропии галактического космического излучения. Формула, связывающая число испытаний Монте-Карло с реальным временем облучения в космосе.  |
| 19. Распределение Рэлея как модель профиля пучка частиц ускорителя.  |
| 20. Моделирование эллиптического профиля пучка частиц путем приведения ковариационного эллипса к главным осям.  |
| 21. Распределение Ферми для многократного кулоновского рассеяния тяжелых заряженных частиц. Моделирование распределения Ферми как двумерного нормального распределения.  |
| 22. Написать подпрограмму (процедуру) гистограммирования переменной X на отрезке [A,B] шагом H в массив ARR размерности N>(BA)/H на языке программирования по выбору.  |
| 23. Кинематические переменные, используемые при регистрации результатов моделирования: кинетическая энергия, летаргия, продольный и поперечный импульс, фейнмановская переменная, быстрота.  |
| 24. Построение оценки полного потока нейтронов по длине пробега (Track Length Estimation). |
| 25. Построение оценки дифференциального по энергии потока нейтронов по длине пробега.  |
| 26. Оценка по длине пробега потоков заряженных частиц и ядерных фрагментов.  |
| 27. Определение инвариантной (эффективной) массы системы n частиц.  |
| 28. Найти энергии и импульсы продуктов при двухчастичном распаде m0→m1+m2.  |
| 29. Показать, что отношение d^3p/E – релятивистский инвариант.  |
| 30. Элемент фазового объема системы n частиц dRn: явный вид, размерность.  |
| 31. Вычислить фазовый объем системы двух частиц m1 и m2 с заданной инвариантной массой M2.  |
| 32. Описать подробно шаги алгоритма моделирования многочастичного процесса a+b→1+2+…+n. |
|  |
| Примеры экзаменационных билетов (заданий, тестов и др. материалов, используемых для проведения зачета, экзамена): |
| Билет №1 |
| 1. Моделирование длины пробега частицы до взаимодействия. Макроскопическое сечение и оптическая толщина. Пробег нейтрона в бесконечной однородной и конечной кусочно-однородной среде. |
| 2. Моделирование изотропного направления в трехмерном пространстве. Моделирование азимутального угла ϕ методом отбора. |
|   |
| Билет №2 |
| 1. Основные методы моделирования случайных величин с заданным законом распределения: метод обратных функций и метод отбора; метод отбора с существенной выборкой. |
| 2. Гистограмма. Представление энергетического спектра в переменных энергии и летаргии. |
|  |
| Билет №3 |
| 1. Статистическая точность оценки математического ожидания средним арифметическим. Вычисление статистических ошибок в расчете Монте-Карло. |
| 2. Моделирование профиля пучка частиц согласно распределению Релея. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4. Критерии оценивания** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Оценку «отлично (10)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную и дополнительную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, разбирающийся в основных научных концепциях по изучаемой дисциплине, проявивший творческие способности и научный подход в понимании и изложении учебного программного материма, ответ отличается богатством и точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично. |
| Оценка «отлично (9)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению, ответ отличается точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично. |
| Оценку «отлично (8)» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению. |
| Оценку «хорошо (7)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению. |
| Оценку «хорошо (6)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, отличавшийся достаточной активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы. |
| Оценку «хорошо (5)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе па экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для их самостоятельного устранения. |
| Оценку «удовлетворительно (4)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя допущенных погрешностей. |
| Оценку «удовлетворительно (3)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, однако допустивший погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя наиболее существенных погрешностей. |
| Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях или отсутствие знаний по значительной части основного учебно-программного материала, не выполнившему самостоятельно предусмотренные программой основные задания, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не отработавшему основные практические, семинарские, лабораторные занятия, допускающему существенные ошибки при ответе, и который не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |
| Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, не ответившему на заданные (отказ от ответа, представленный ответ полностью не по существу содержащихся в экзаменационном задании вопросов). |
| Оценка «зачтено» выставляется студенту, если по десятибалльной шкале его знания оцениваются не ниже «удовлетворительно»; оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся в противном случае. |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышает двух астрономических часов.  |
| Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также всей необходимой литературой для решения задачи; при ответах на устные вопросы пользоваться литературой запрещено.  |