

Учреждение образования
"Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова" Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

О. И. Родькин

«21» мая 2023 г.

Регистрационный № УД- 1305-23 /уч.



МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

7-06-0533-02 Прикладная физика

Профилизация Медицинская физика

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-06-0533-02-2023 от 28.07.2023 и учебного плана № 168-23/уч.маг.веч. от 07.04.2023 специальности 7-06-0533-02 Прикладная физика профилизация Медицинская физика

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.В. Полегенький, доцент кафедры общей и медицинской физики учреждения образования "Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова" Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

М. Н. Петкевич, заведующий отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии учреждения здравоохранения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»;

С. Е. Головатый, заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой общей и медицинской физики учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 28 июл 2023);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 28.05 2023)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Методы математического моделирования физических процессов» разработана в соответствии с учебным планом и требованиями образовательных стандартов высшего образования по специальности второй ступени 7-06-0533-02 "Прикладная физика" с профилизацией "Медицинская физика".

Цель учебной дисциплины – изучение основных принципов и ознакомление с современными методами и подходами к математическому моделированию физических процессов, а также демонстрация роли математического моделирования и компьютерного эксперимента в актуальных научных задачах современных направлений прикладной физики.

Задачи учебной дисциплины:

- дать магистрантам углубленные знания по общим и специальным методам математического моделирования различных физических процессов и систем;
- формирование навыков построения и исследования математических моделей различных физических систем и явлений и оценки границ их применимости;
- обучение способам планирования, постановки и анализа вычислительных экспериментов, связанных с реальными физическими процессами;
- изучение основных подходов при выборе (или разработке) алгоритма компьютерной реализации модели и программных средств его реализации;
- обучение методам модельного изучения физических систем и процессов, связанных с профессиональной подготовкой магистрантов (движение системы частиц, взаимодействие ионизирующего излучения с веществом, модели процессов в молекулярных системах и в сплошных средах).

Место учебной дисциплины в системе подготовки магистра.

Учебная дисциплина относится к циклу государственный компонент, модуль "Математические методы в физике", и тесно связана с другой дисциплиной этого модуля: "Вычислительные методы в физике и физическом эксперименте".

Учебная программа дисциплины "Методы математического моделирования физических процессов" составлена с учетом межпредметных связей и учебных программ по дисциплинам курсов общей и теоретической физики, курса высшей математики, дисциплин "Методы математической физики", "Численные методы и математическое моделирование", "Информационные технологии и программирование".

Знания и навыки, приобретенные в ходе изучения дисциплины, будут необходимы при написании дипломной работы (магистерской диссертации), при изучении ряда дисциплин второй ступени, при последующей трудовой деятельности.

Освоение учебной дисциплины «Методы математического моделирования физических процессов» должно обеспечить формирование следующих универсальных и углубленных профессиональных специализированных компетенций:

УК-2: Решать научно-исследовательские и инновационные задачи на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

УПК-4: Строить и развивать математические модели физических явлений, реализовывать их с использованием современных информационных технологий, анализировать свой продукт в контексте новейших достижений математического моделирования.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные методы и этапы построения математических моделей различных физических объектов и процессов;
- принципы и методы исследования математических моделей, постановки и проведения вычислительного эксперимента;

уметь:

- проводить анализ физических характеристик моделируемых систем и математических методов их описания;
- выполнять построение моделей физических процессов и явлений различными методами;
- использовать численные методы для реализаций моделей в виде алгоритмов вычислений исследуемых характеристик физического объекта;
- использовать языки программирования высокого уровня, математические пакеты и программное обеспечение общего назначения (электронные таблицы, СУБД) для создания компьютерной модели исследуемого объекта;

владеть:

- методологией математического моделирования;
- методикой построения математических моделей;
- базовыми методами решения и анализа задач в соответствии с целями образовательной программы.

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины рассчитано на общее количество часов – 324. Аудиторное количество часов – 70, из них: лекции – 28 часов, практические занятия – 16 часов, лабораторные занятия – 26 ч.

Форма получения высшего образования – вечерняя.

Форма текущей аттестации – зачет в 1-м семестре, экзамен во 2-м семестре.

Трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Методы математического моделирования

Основные принципы математического моделирования. Модели, их свойства и формы представления. Основные подходы и принципы при построении математических моделей (ММ). Этапы построения ММ. Методы исследования математических моделей: аналитические (априорные); имитационные (априорно-апостериорные) модели; эмпирико-статистические (апостериорные) модели; модели, в которых в той или иной форме представлены идеи искусственного интеллекта (самоорганизация, эволюция, нейросетевые конструкции и т.д.). Роль математических моделей в научных исследованиях.

Тема 2. Вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование

Модель, алгоритм, программа, вычислительный эксперимент. Этапы вычислительного эксперимента. Ограничения при проведении вычислительного эксперимента. Компьютерное моделирование.

Алгоритмы, их свойства, виды и формы представления. Реализация модельных алгоритмов средствами ВТ. Языки и системы программирования и требования, предъявляемые к программам. Компьютерные модели, реализованные с использованием пакетов прикладных программ (ППП) общего назначения (электронные таблицы (ЭТ), СУБД и т.д.). Специализированные ППП (математические системы; пакеты и языки для моделирования объектов и процессов в различных областях; системы автоматизированного проектирования). ППП для математического моделирования физических процессов.

Численные методы и их роль в математическом моделировании. Численные (вычислительные) методы. Численный (вычислительный) этап математического моделирования и порядок его проведения. Аналитические и вычислительные методы проведения численного этапа моделирования.

Тема 3. Непрерывно-детерминированные модели динамических систем с конечным числом степеней свободы

3.1 Динамика материальной точки (МТ)

Общая постановка задачи математического описания динамики движения МТ. Одномерное движение МТ. Движение точки в плоском силовом поле. Численные методы решений обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) и систем ОДУ. Пространственное движение точки в силовом поле. Движение точки в осесимметричном силовом поле. Движение точки в центральном поле. Движение с учетом сил сопротивления среды и трения. Движение заряда в электрическом и магнитном полях. Рассеяние частицы. Захват частицы. Движение системы частиц в силовом поле. Движение двух взаимодействующих частиц. Краевые

задачи для ОДУ. Методы численного интегрирования. Примеры задач механики.

3.2. Колебательное движение

Свободные колебания. Вынужденные колебания. Автоколебания. Фазовые траектории. Аттракторы. Хаотическое поведение динамических систем. Колебания системы связанных осцилляторов.

3.3. Моделирование движения тела

Упругие столкновения шаров. Физический маятник. Негармонические колебания.

Тема 4. Непрерывно-детерминированные модели динамических систем с бесконечным числом степеней свободы

4.1. Математические модели сплошной среды

Границы применимости приближения сплошной среды в физике. Интегральная и дифференциальная формулировки законов сохранения. Постановка задачи для подходов Эйлера и Лагранжа.

4.2. Численные методы решения задач

Переход от непрерывной области к дискретной, конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов, корректность постановки разностных задач, критерии устойчивости. Численные решения нестационарных и стационарных задач. Представление о методе конечных элементов. Примеры использования метода конечных элементов. Точность, сходимость и устойчивость численного метода.

4.3. Волновое движение в средах

Моделирование волны в одномерной среде. Свободные и вынужденные колебания бесконечной струны. Свободные колебания ограниченной струны при различных граничных условиях. Колебания прямоугольной и круглой жестко закрепленных мембран. Связанные осцилляторы и волновое движение. Отражение, интерференция, дифракция, поляризация.

4.4. Явления переноса

Конечно-разностная формулировка уравнения теплопроводности-диффузии. Конечно-разностная аппроксимация граничных условий. Уравнение теплопроводности для однородной среды. Решение уравнения теплопроводности для неоднородной среды. Расчет поля температур в цилиндрической и сферической системах координат. Нелинейное уравнение теплопроводности. Уравнение диффузии и его решение. Одномерная двухфазная задача Стефана.

4.5. Расчет течения жидкости. Конвекция

Модели жидкой среды: идеальная, ньютоновская и неньютоновская жидкости. Неустановившееся и установившееся движения жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера. Уравнения Бернулли потока идеальной и реальной жидкости. Уравнения Навье - Стокса. Подходы к дискретизации уравнения Навье - Стокса.

Вытекание жидкости из сосуда произвольной формы. Потенциальное течение жидкости. Задача об обтекании тел. Течение вязкой жидкости в одномерном случае. Конвекция. Вихревое движение вязкой жидкости.

Гемодинамика. Основные положения гидродинамики, используемые при изучении движения крови в сосудистой системе. Моделирование потока реальной жидкости с учетом гидравлических потерь.

4.6. Расчет электрического и магнитного полей

Расчет электрического поля. Электрическое поле системы электрических зарядов. Методы построения силовых линий полей. Силовые линии магнитного поля. Расчет магнитного поля проводников с током.

Численное решение уравнения Лапласа. Решение уравнения Пуассона для однородной и для неоднородной среды. Расчет электрического поля в полярной и цилиндрической системах координат. Распространение электромагнитной волны в волноводе.

Тема 5. Вероятностно-статистические и имитационные методы моделирования физических процессов. Метод Монте-Карло

5.1. Метод Монте-Карло и основные положения теории вероятностей

Основные понятия и теоремы теории вероятностей. Вероятностный автомат. Генераторы и алгоритмы получения случайных чисел. Неравномерные распределения вероятностей. Метод Монте-Карло в решении прикладных вычислительных задач. Вычисление интегралов и решение уравнений математической физики методом Монте-Карло. Недостатки и достоинства метода Монте-Карло.

5.2. Основы имитационного моделирования

Основы применения метода имитационного моделирования. Составляющие имитационной модели. Классификация имитационных моделей. Основы организации имитационного моделирования. Планирование имитационных экспериментов. Статистический анализ результатов имитационных экспериментов и исследование свойств имитационной модели.

5.3. Имитационное моделирование физических процессов и явлений

Имитационное моделирование объектов и явлений в ядерной физике. Задача имитационного моделирования прохождения нейтронов через пластинку. Решение задачи розыгрыша типа взаимодействия и сорта ядра имитационным моделированием. Определение направления и энергии частиц после рассеяния. Моделирование длины свободного пробега частиц. Имитационное моделирование траектории движения нейтронов через пластинку (двухмерный случай). Имитационное моделирование прохождения γ -излучения через вещество. Имитационное моделирование распространения упругих волн в пористых средах. Имитационное моделирование явления спонтанного излучения атомов.

Тема 6. Методы математического моделирования систем, состоящих из большого числа частиц

6.1. Метод молекулярной динамики

Моделирование методом молекулярной динамики. Методы интегрирования уравнений движения: скоростной алгоритм Верле и методы Адамса. Моделирование молекул твердыми шарами. Полуэмпирические модельные потенциалы в задачах молекулярной динамики. Оценка макроскопических характеристик статистической системы. Оценка коэффициентов переноса методом молекулярной динамики. Моделирование фазовых переходов методом молекулярной динамики.

6.2. Стохастические модели молекулярных систем

Метод броуновской динамики. Имитационный метод моделирования броуновских траекторий. Макроскопическая система вблизи равновесия. Энтропия. Микроканонический ансамбль. Стохастическое моделирование идеального газа. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла по скоростям. Случайные блуждания и модель одномерной диффузии. Модель Изинга. Тепловой поток. Моделирование явления протекания жидкостей через пористые материалы. Перколяция. Канонический ансамбль. Алгоритм Метрополиса.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Формы контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа	Иное	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Методы математического моделирования	1	0	0			Опрос
2	Вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование	1	2	2			Опрос ИДЗ*) Отчет по ЛР*)
3	Непрерывно-детерминированные модели динамических систем с конечным числом степеней свободы	4	2	6			
3.1	Динамика материальной точки	2	1	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
3.2	Колебательное движение	1	0,5	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
3.3	Моделирование движения тела	1	0,5	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
4	Непрерывно-детерминированные модели динамических систем с бесконечным числом степеней свободы	12	6	10			

4.1	Математические модели сплошной среды	2	0	0			Опрос
4.2	Численные методы решения задач	2	1	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
4.3	Волновое движение в средах	2	1	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
4.4	Явления переноса	2	2	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
4.5	Расчет течения жидкости. Конвекция	2	1	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
4.6	Расчет электрического и магнитного полей	2	1	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
5	Вероятностно-статистические и имитационные методы моделирования физических процессов. Метод Монте-Карло	6	4	4			
5.1	Основные понятия и теоремы теории вероятностей. Вероятностный автомат. Генераторы и алгоритмы получения случайных чисел. Метод Монте-Карло в решении прикладных вычислительных задач	2	2	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
5.2	Основы имитационного моделирования	2	0	0			Опрос
5.3	Имитационное моделирование физических процессов и явлений	2	2	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР

6	Методы математического моделирования систем, состоящих из большого числа частиц	4	2	4			
6.1	Метод молекулярной динамики	2	2	2			Опрос ИДЗ Отчет по ЛР
6.2	Стохастические модели молекулярных систем	2	0	2			Опрос Отчет по ЛР
ВСЕГО		28	16	26			

*) ИДЗ – Индивидуальные домашние задания; ЛР – лабораторные работы.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Математическая физика : Учеб. пособие для студ. физ-мат. спец. ун-тов / В. Н. Русак. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 208 с.
2. Плотников, А. Д. Численные методы : учеб. пособие / А. Д. Плотников. – Минск : Новое знание, 2007. – 174 с.

Дополнительная

3. Введение в математического моделирования: учебное пособие / Под ред. П.В.Трусова – М.: Университетская книга, Логос, 2007. – 440 с.
4. Деревич, И. В. Практикум по уравнениям математической физики : учебное пособие / И. В. Деревич. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 428 с.
5. Жданов, Э. Р. Компьютерное моделирование физических явлений и процессов методом Монте-Карло : Учебно-метод. пособие / Э. Р. Жданов, Р. Ф. Маликов, Р. К. Хисматуллин. – Уфа : Изд-во БГПУ, 2005. – 124 с.
6. Звонарев, С. В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С. В. Звонарев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.
7. Майер Р. В., Компьютерное моделирование: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов [Электронное учебное издание на компакт-диске]. – Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015. – 24,3 Мб.
8. Маликов, Р.Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов: Учебно-метод. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БашГПУ, 2005. – 291 с.
9. Попов, В. А. Математические методы моделирования физических процессов: Учебно-практическое пособие / В. А. Попов. – Барнаул : Алт. госуд. технич. ун-т им. И.И. Ползунова, 2011. – 195 с.
10. Поршнев, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : учебное пособие / С. В. Поршнев. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 736 с.

Инновационные подходы и методы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Для организации самостоятельной работы студентов по курсу необходимо использовать современные технологии: разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим занятиям, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме для самоконтроля и др.).

При этом не ставится цель охватить все стороны предмета или заменить другие формы работы. Подбор заданий для самостоятельной работы направлен на формирование базовых предметных компетенций путем применения теоретических знаний и навыков в конкретных ситуациях и при решении задач конкретного класса, а также на развитие активности и самостоятельности студентов.

Качество самостоятельной работы студентов целесообразно проверять в ходе текущего промежуточного и итогового контроля в форме устного опроса, выполнения домашних занятий, непосредственно связанных с лабораторными работами по соответствующей тематике, контрольных работ (тестов) по темам и разделам дисциплины (модулям).

Перечень рекомендуемых средств диагностики

С целью диагностики знаний, умений и навыков студентов по данной дисциплине рекомендуется использовать:

- 1) контрольные работы (тесты);
- 2) отчеты по лабораторным работам;
- 3) индивидуальные домашние задания;
- 4) устный опрос в ходе практических занятий;
- 5) проверку конспектов лекций студентов.

Примерная тематика практических и лабораторных занятий

Предполагается, что и практические, и лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе. При этом конкретная тематика этих занятий отражена в учебно-методической карте дисциплины. Единственное уточнение: практические и лабораторные занятия по теме 2 "Вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование" связаны с ознакомлением выбранной преподавателем системы программирования и/или математического пакета.

Протокол согласования учебной программы

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)
Согласование не требуется			