


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  
в городе Сарове

**УТВЕРЖДАЮ**



---

Директор филиала МГУ в г. Сарове  
член-корреспондент РАН В.В.Воеводин

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины:**

---

Численные методы в физике

**Уровень высшего образования:**

---

Магистратура

**Направление подготовки:**

---

03.04.02 Физика

**Направленность (профиль) ОПОП:**

---

Лазерная нелинейная оптика и фотоника

Квалификация «Магистр»

**Форма обучения:** Очная

---

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

**Авторы–составители:**

д.ф.-м.н., профессор физического факультета МГУ О.Г. Косарева

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник физического факультета МГУ Н.А. Панов

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины**

### **«Численные методы в физике»**

В курсе изучаются численные методы для исследования физических процессов и явлений.

---

Рассмотрены методы анализа функций дискретного аргумента. Изложены методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, проведен анализ точности и устойчивости получаемых решений. Представлены методики статистического моделирования в численном эксперименте.

Даны примеры использования развитых численных методов в задачах лазерной физики экстремальных полей и смежных вопросов.

#### **Разделы рабочей программы**

- 1.** Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
- 2.** Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
- 3.** Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
- 4.** Форма обучения.
- 5.** Язык обучения.
- 6.** Содержание дисциплины.
- 7.** Объем дисциплины
- 8.** Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
- 9.** Текущий контроль и промежуточная аттестация.
- 10.** Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
- 11.** Шкала оценивания.
- 12.** Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
- 13.** Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
- 14.** Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

### 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Численные методы в физике» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре и относится к вариативной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Численные методы в физике» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

### 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

<b>Формируемые компетенции (код компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1)	<p><b>Знать</b> основные законы и направления современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p> <p><b>Уметь</b> на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления научных исследований.</p> <p><b>Владеть</b> необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p>
Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники и решать их с помощью современной	<p><b>Знать</b> базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p> <p><b>Уметь</b> используя знания в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники проводить научные исследования.</p>

аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2)	<b>Владеть</b> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.
Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники (СПК-3).	<p><b>Знать</b> основные направления инновационного развития в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p> <p><b>Уметь</b> проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p><b>Владеть</b> методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.</p>

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

*Тема 1. Принципы численного моделирования.* Введение. Структура курса. Функция дискретного аргумента. Основы разностной аппроксимации.

*Тема 2. Дискретное преобразование Фурье.* Непрерывное преобразование Фурье и его свойства. От непрерывного к дискретному преобразованию Фурье. Особенности дискретного преобразования Фурье.

*Тема 3. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений.* Задача Коши. Устойчивость численного метода.

*Тема 4. Решение краевых задач.* Метод стрельбы. Метод прогонки.

*Тема 5. Численное интегрирование дифференциальных уравнений в частных производных.* Оценка устойчивости спектральным методом. Уравнение переноса.

*Тема 6. Численное интегрирование параболических уравнений.* Конечно-разностные методы. Оценка устойчивости. Спектральный метод.

*Тема 7. Численное интегрирование параболических уравнений в двух- и трехмерном случае.* Нелинейное уравнение Шредингера. Расщепление по физическим факторам.

*Тема 8. Численное интегрирование волнового уравнения.* Конечно-разностные методы. Оценка устойчивости. Спектральный метод.

Тема 9. Задачи физики плазмы. Плазма, ее параметры и масштабы. Фемтосекундная лазерная плазма. Бесстолкновительная модель «частицы в ячейке».

Тема 10. Статистическое моделирование в численном эксперименте. Метод Монте-Карло. Последовательности псевдослучайных чисел с равномерным распределением.

Тема 11. Преобразование псевдослучайных последовательностей чисел. Генерация псевдослучайных последовательностей с заданным распределением, с заданной автокорреляционной функцией.

### 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Численные методы в физике	2	72	36	18	18	36

### 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Численные методы в физике» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Принципы численного моделирования	5	1		1	3	Собеседование, опрос
2	Дискретное преобразование Фурье	6	2		2	2	
3	Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений	6	2		2	2	
4	Решение краевых задач	6	2		2	2	
5	Численное интегрирование дифференциальных уравнений в частных производных	10	2		2	6	
6	Численное интегрирование параболических уравнений	10	2		2	6	
7	Численное интегрирование параболических уравнений в двух- и трехмерном случае	6	2		2	2	
8	Численное интегрирование волнового уравнения	6	2		2	2	
9	Задачи физики плазмы	4	1		1	2	
10	Статистические моделирование в численном эксперименте	4	1		1	2	
11	Преобразование псевдослучайных последовательностей чисел	5	1		1	3	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет в устной форме
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Численные методы в физике» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Дополнительные главы нелинейной оптики» проводится в форме экзамена. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

### Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: численные методы для	Отсутствие знаний численных методов для	В целом успешные, но не	В целом успешное, но	Успешные и систематические знания



исследования физических явлений ОПК-3.Б 3-6	исследования физических явлений	систематическое знание численных методов для исследования физических явлений	содержащее отдельные пробелы знание численных методов для исследования физических явлений	численных методов для исследования физических явлений
УМЕТЬ: применять численные методы для исследования физических явлений ОПК-3.Б У-6	Отсутствие умения применять численные методы для исследования физических явлений	В целом успешное, но не систематическое умение применять численные методы для исследования физических явлений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять численные методы для исследования физических явлений	Успешное и систематическое умение применять численные методы для исследования физических явлений
ВЛАДЕТЬ: методами построения численных схем для решения конкретных физических задач ОПК-3.Б В-6	Отсутствие/фрагментарное владение методами построения численных схем для решения конкретных физических задач	В целом успешное, но не систематическое владение методами построения численных схем для решения конкретных физических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами построения численных схем для решения конкретных физических задач	Успешное и систематическое владение методами построения численных схем для решения конкретных физических задач

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:*

#### **Пример:**

1. Исследуйте устойчивость для следующих методов численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений типа  $du/dx = f(x, u)$ :

метода Эйлера;

неявного метода двойной точности.

2. Получите дисперсионное соотношение для схемы Лакса численного решения уравнения переноса.
3. Получите множитель перехода для схемы Кранка-Николсона численного решения параболического уравнения.
4. Опишите алгоритм численного решения нелинейного уравнения Шредингера методом расщепления по физическим факторам.
5. Покажите, что при переходе от непрерывного к дискретному преобразованию Фурье образ сигнала становится периодическим.

### **13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

#### ***Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме экзамена:***

1. Ряд и интеграл Фурье. Дискретное преобразование Фурье.
2. Восстановление оригинала по спектру дискретной функции. Теорема Котельникова-Шеннона.
3. Дискретное преобразование Фурье. Анализ Фурье. Ортогональность гармоник в дискретном пространстве. Синтез Фурье.
4. Задача Коши. Устойчивость. Метод Эйлера, метод с перешагиванием.
5. Задача Коши. Двухслойные схемы второго порядка: явный двухшаговый метод; схема «предиктор-корректор», неявный метод.
6. Методы численного интегрирования краевых задач.
7. Численное интегрирование дифференциальных уравнений в частных производных. Спектральный анализ устойчивости. Уравнение переноса. Дисперсия и диффузия на сетке.
8. Методы второго порядка точности для уравнения переноса: трехслойная схема с перешагиванием, алгоритм Лакса-Вендроффа. Устойчивость и спектральные характеристики.
9. Параболическое уравнение. Явная схема. Устойчивость и спектральные характеристики.
10. Параболическое уравнение. Неявная схема. Устойчивость и спектральные характеристики.
11. Параболическое уравнение. Схема Кранка-Николсона. Устойчивость и спектральные характеристики.
12. Численное интегрирование нелинейного уравнения Шредингера. Расщепление по физическим факторам.
13. Многомерные уравнения параболического типа. Явная и неявная схемы. Методы расщепления.
14. Волновое уравнение. Схема типа «крест». Устойчивость и спектральные характеристики.
15. Волновое уравнение. Неявная схема с весами. Устойчивость и спектральные характеристики.
16. Численные схемы решения уравнения Пуассона. Разностный метод.
17. Численные схемы решения уравнения Пуассона. Спектральный и псевдоспектральный методы.
18. Численные схемы решения уравнения Пуассона. Метод Хокни и циклическая редукция.
19. Сетки для бесстолкновительной модели плазмы. Точечный заряд и "облако в ячейке".
20. Моделирование фемтосекундной лазерной плазмы. Решение уравнения движения частиц методом перешагивания.

### **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

Основная литература.

1. Д. Поттер. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.

2. Н.Н. Калиткин. Численные методы. М.: Наука, 1978.
3. Н.С. Бахвалов. Численные методы. М.: Наука, 1975.
4. А.А. Самарский. Введение в численные методы. М.: Наука, 1982.

#### Дополнительная литература.

5. Ж.Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях, т.1. М.: Мир, 1983.
6. Л.Рабинер, Б.Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978.
7. Р.Отнес, Л.Эноксон. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982.
8. Р.Хокни, Д.Иствуд. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
9. Г.Дженкинс, Д.Ваттс. Спектральный анализ и его приложение. вып. 2. М.: Мир, 1972.

#### Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, управляющим компьютером, экраном и обычной учебной доской, для семинарских занятий необходим компьютерный класс.