

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

**УТВЕРЖДЕНО**

решением ученого совета ННГУ  
протокол от "16" января 2024 г. №1

**Рабочая программа дисциплины  
Методы численного моделирования плазменной кинетики в  
электромагнитных полях**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Лазерная физика**

Научная специальность  
**1.3.19 Лазерная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2024 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Методы численного моделирования плазменной кинетики в электромагнитных полях» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

**Цель дисциплины** состоит в ознакомлении студента с базовыми методами численного моделирования плазменной кинетики в электромагнитных полях, выработке навыков написания программ, позволяющих проводить такое моделирование, и решать с их помощью физические задачи.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**знать:**

- фундаментальные разделы физики и радиофизики, необходимые для решения научно-исследовательских задач в области лазерной физики;

**уметь:**

- определять наиболее актуальные направления исследований в области лазерной физики;

**владеть:**

- современными теоретическими и экспериментальными методами исследований в области лазерной физики.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского	Занятия лабораторного	Консультации	Всего	
1. Кинетическое описание плазмы	12	6				6	6
2. Методы моделирования электромагнитных полей	16	8				8	8
3. Эйлеравы методы моделирования кинетических уравнений	6	8				8	8
4. Метод частиц в ячейках	16	8				8	8
5. Технические детали реализации численных методов	12	6				6	6
<b>Промежуточная аттестация</b>	зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>36</b>				<b>36</b>	<b>36</b>

**Таблица 3****Содержание дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведения занятия</b>	<b>Форма текущего контроля</b>
1.	Кинетическое описание плазмы		лекции	-
2.	Методы моделирования электромагнитных полей		лекции	-
3.	Эйлеровы методы моделирования кинетических уравнений		лекции	-
4.	Метод частиц в ячейках		лекции	-
5.	Технические детали реализации численных методов		лекции	-

**4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы;
- выполнение практических заданий в виде написания тестовых программ, реализующих методы, изложенные в лекциях;
- выполнение индивидуальных или групповых проектов.

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проверки написанных программ, законченности выполняемого проекта и чтения представленного реферата.

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета. Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ.

**5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине****5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);

- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

**Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

**5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине**

Примерный список тестовых программ:

1. Реализация метода конечных разностей во временной области для решения уравнений Максвелла в одном измерении.
2. Реализация метода конечных объемов для решения задачи переноса фазовой жидкости в одном измерении.
3. Реализация метода частиц в ячейках в одном измерении.

Примеры проектов на выбор:

1. Программа для численного решения одномерной системы уравнений Власова — Пуассона методом конечных разностей.
2. Программа для численного решения одномерной системы уравнений Власова — Пуассона методом конечных объемов.
3. Программа для численного решения одномерной системы уравнений Власова — Пуассона полулагранжевым методом.
4. Программа для численного решения одномерной системы уравнений Власова — Пуассона спектральным методом.
5. Программа для численного решения одномерной системы уравнений Власова — Пуассона методом частиц в ячейках.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

- а) основная литература:

1. Sonnendrucker E. Numerical methods for the Vlasov equations. — 2013. — 56 p.
2. Dimarco G., Pareschi L. Numerical methods for kinetic equations. — Acta Numerica, 2014. — pp. 369–520.
3. Arber T. D. Contemporary particle-in-cell approach to laser-plasma modelling. — Plasma Physics and Controlled Fusion, V. 57, 113001, 2015.
4. Inan U. S., Marshall R. A. Numerical Electromagnetics. The FDTD Method. — Cambridge University Press, 2011. — 390 p.

б) дополнительная литература:

1. Aristov. V. V. Direct Methods for Solving the Boltzmann Equation and Study of Nonequilibrium Flows. — Springer Science+Business Media Dordrecht, 2001. — 302 p.
2. Langtangen H. P. A Primer on Scientific Programming with Python. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. — 914 p.
3. LeVeque R. J. Finite Difference Methods for Differential Equations. — University of Washington, 2004. — 207 p.
4. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. — 636 с.
5. Калиткин Н. Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978. — 512 с.
6. Аристов В. В., Черемисин Ф. Г. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана. — М.: ВЦ РАН, 1992. — 192 с.
7. Хокни Р., Иствуд Д. Численное моделирование методом частиц. — М.: Мир, 1987. — 638 с.
8. Бэдсел Ч. К., Ленгдон А. Б. Физика плазмы и численное моделирование. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 455 с.
9. Григорьев Ю. Н., Вшивков В. А., Федорук М. П. Численное моделирование методами частиц-в-ячейках. — Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2004. — 360 с.
10. Pukhov A. Particle-in-Cell Codes for plasma-based particle acceleration. — 2015. — arxiv: 1510.0107

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <https://www.python.org/> — Официальный сайт языка моделирования Python.
2. <http://www.numpy.org/> — Официальный сайт пакета NumPy.
3. <https://www.scipy.org/> — Официальный сайт пакета SciPy.
4. <http://jupyter.org/> — Официальный сайт проекта Jupyter.
5. <https://www.continuum.io/> — Официальный сайт дистрибутива Anaconda.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;

- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.  
ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор: А. В. Коржиманов

Рецензент: А.П. Савикин

Заведующий кафедрой: М.И. Бакунов

**Программа одобрена** на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.