

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Численные методы в физике конденсированного состояния

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Физика конденсированного состояния

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.19 Численные методы в физике конденсированного состояния относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<i>ПК-3: Способен проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</i>	<i>ИД ПК-3: Демонстрация способности проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</i>	<i>ИД ПК-3: Знать современные теоретические модели физики конденсированного состояния.  Уметь совершенствовать методы решения задач физики конденсированного состояния.  Владеть навыками численного решения задач физики конденсированного состояния.</i>	<i>Задания</i>	<i>Зачёт с оценкой: Контрольные вопросы</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	52
- КСР	1
самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	0 Зачёт с оценкой

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
1. Численные методы решения классических уравнений движения.	11	2	4	6	5
2. Молекулярная динамика.	23	6	12	18	5
3. Численные методы решения уравнений в частных производных.	17	4	8	12	5
4. Численные методы решения стационарного уравнения Шредингера.	17	4	8	12	5
5. Численные методы решения нестационарного уравнения Шредингера.	17	4	8	12	5
6. Модели магнетизма и их численный анализ.	22	6	12	18	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	26	52	79	29

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Численные методы решения классических уравнений движения.

Методы Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Алгоритм Верле.

2. Молекулярная динамика.

Потенциалы взаимодействия. Решение задачи классической динамики многих частиц. Граничные условия. Термостатирование. Применение программных пакетов для моделирования молекулярной динамики.

3. Численные методы решения уравнений в частных производных.

Конечно-разностные методы решения уравнений теплопроводности, переноса, волнового уравнения. Метод Крэнка-Николсона. Численное решение уравнения Пуассона. Быстрое преобразование Фурье.

4. Численные методы решения стационарного уравнения Шредингера.

Конечно-разностные методы решения стационарного уравнения Шредингера. Методы разложения по базису.

5. Численные методы решения нестационарного уравнения Шредингера.

Методы решения с сохранением нормы волновой функции. Схема Кэли. Динамика волновых пакетов. Динамика многоуровневых систем. Квантовая релаксация.

6. Модели магнетизма и их численный анализ.

Обменное взаимодействие. Модели Изинга и Гайзенберга. Цепочки и решетки спинов. Численные методы для анализа фазовых переходов в цепочках и решетках спинов.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Численное решение уравнения теплопроводности в одномерном стержне.
2. Численный анализ модели Изинга на двумерной сетке спинов.
3. Численное решение стационарного уравнения Шредингера для электрона в кристалле со структурой цинковой обманки.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения заданий базового уровня сложности
не зачтено	обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения заданий

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			

<b>ения</b>							
<b>компет</b>							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
<b>зачтено</b>	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».

	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Схема Крэнка-Николсона.
2. Потенциалы взаимодействия атомов в ковалентных кристаллах.
3. Численный анализ фазовых переходов в спиновых системах.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности
отлично	обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности
очень хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий
хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий
удовлетворительно	обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
неудовлетворительно	обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий
плохо	обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных

Оценка	Критерии оценивания
	теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Пейсахович Ю. Г. Физика конденсированного состояния. Фазовые переходы. Магнетики. Свойства диэлектриков : учеб. пособие / Пейсахович Ю. Г., Филимонова Н. И. - Новосибирск : НГТУ, 2018. - 163 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции НГТУ - Физика. - ISBN 978-5-7782-3612-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=720937&idb=0>.
2. Емельянов Владислав Николаевич. Численные методы: введение в теорию разностных схем : учебник для вузов / В. Н. Емельянов. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2026. - 188 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/585294> (дата обращения: 24.01.2026). - ISBN 978-5-534-06617-3 : 829.00. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=994612&idb=0>.
3. Сатанин Аркадий Михайлович. Вычислительная физика на суперкомпьютерах : учебно-методический комплекс по вычислительной физике на суперкомпьютерах / А. М. Сатанин, С. М. Кашин, А. И. Гельман ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 320 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849939&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Козулин А. С. Численное решение одномерной задачи рассеяния в квантовой механике: последовательный и параллельный подходы : практикум / А. С. Козулин, Е. С. Азарова, А. М. Сатанин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2017. - 35 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823508&idb=0>.
2. Вычисление блоховских функций электрона в одномерном периодическом потенциале : учебно-методическое пособие / М. В. Денисенко, А. С. Деревенко, С. М. Кашин, А. М. Сатанин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 33 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849938&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.