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 от 16.06.2021 г. №8)

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| Основы теории линейных операторов |

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| бакалавриат |

Направление подготовки / специальность

|  |
| --- |
| 09.03.02 Информационные системы и технологии |

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| Информационные системы и технологии в физических исследованиях |

Форма обучения

|  |
| --- |
| очная |

Год начала подготовки

2021 год

Нижний Новгород

2020 год

**Лист актуализации**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_Фидельман В.Р. | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |

**1. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Основы теории линейных операторов» (Б1.В.ДВ.02.02) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана основной образовательной программы, является курсом по выбору.

Дисциплина преподается в 4 семестре.

**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\*\*** |
| ПК-15. Способен применять современный математический аппарат при проведении, моделировании и анализе результатов компьютерного или натурного эксперимента | ПК-15.1. Знать современный математический аппарат, используемый при разработке компьютерных моделей и анализе результатов. | *Знать* | *Собеседование* |
| ПК-15.2. Уметь применять современный математический аппарат при проведении, моделировании и анализе результатов компьютерного или натурного эксперимента | *Уметь* | *Задача* |
| ПК-15.3. Владеть навыками применения современных аналитических и численных методов в решении профессиональных задач. | *Владеть* | *Задача* |

**3. Структура и содержание дисциплины**

**3.1. Трудоемкость дисциплины**

|  |  |
| --- | --- |
| **Очная форма обучения** | |
| Общая трудоемкость | 5 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 180 |
| в том числе |  |
| аудиторные занятия (контактная работа):  - занятия лекционного типа, ч  - практические занятия, ч  - лабораторных, ч  - КСРИФ, ч | 66  32  32  2 |
| самостоятельная работа, ч | 78 |
| Промежуточная аттестация | экзамен |

**3.2. Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),** | **Всего**  **(часы)** | В том числе | | | |  |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | **Самостоятельная работа,**  **часы** |
| **Занятия лекционного типа** | **Практичские занятия** | **Занятия лабораторного**  **типа** | **Всего** |
| 1**. Линейные векторые пространства**  Размерность, базис пространства. Аксиомы | 38 | 4 | 4 |  | 8 | 18 |
| 2. **Линейные операторы**  Линейные и нелинейные операторы. Коммутаторы. Свойства коммутирующих операторов. Собственные векторы и собственные значения операторов. | 62 | 10 | 10 |  | 20 | 30 |
| 3. **Оператор Лапласа в сферической и цилиндрической системах координат**  Оператор Лапласа в ССК. Операторы квадрата момента импульса и проекции момента на ось z. Общие собственные функции. Полиномы Лежандра, рекуррентные соотношения и свойства. Сферические гармоники. Оператор Лапласа в ЦСК. Функции Бесселя и Неймана. Общее решение уравнения Лапласа в ССК и ЦСК. | 78 | 18 | 18 |  | 36 | 30 |
| 1. КСРИФ | 2 |  |  |  | 2 |  |
| 1. Итого | 180 | 32 | 32 |  | 66 | 78 |

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме - экзамен.

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

Самостоятельная работа обучающегося проводится в форме выполнения домашних контрольных заданий и изучения лекционного материала. В качестве учебно-методического обеспечения самостоятельной работы используется литература, указанная в разделе 6. Примеры контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),**

включающий:

**5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | | | | | |
| **плохо** | **неудовлетворительно** | **удовлетворительно** | **хорошо** | **очень хорошо** | **отлично** | **превосходно** |
| Не зачтено | | зачтено | | | | |
| Знания | 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 ошибки. | 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, без ошибок. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| Умения | 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 несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| Навыки | Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации**

| **Оценка** | | **Уровень подготовки** |
| --- | --- | --- |
| зачтено | Превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |
| Отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| Очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| Хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| Удовлетворительно | 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» |
| не зачтено | Неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| Плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

**5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки**

**результатов обучения**

**5.2.1 Контрольные вопросы**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Вопросы** | **Код формируемой компетенции** |
| 1 | Линейные векторные пространства. Линейная зависимость и независимость векторов. Полный набор линейно независимых векторов | ПК-15 |
| 2 | Скалярное произведение векторов. Сопряженное векторное пространство | ПК-15 |
| 3 | Линейные операторы. Коммутатор. Коммутирующие операторы | ПК-15 |
| 4 | Функции от оператора. Оператор сдвига | ПК-15 |
| 5 | Эрмитовское сопряжение операторов. Самосопряженные операторы | ПК-15 |
| 6 | Матричное представление оператора. След оператора | ПК-15 |
| 7 | Интегральное ядро оператора. Унитарные операторы | ПК-15 |
| 8 | Собственные векторы и спектр оператора | ПК-15 |
| 9 | Собственный базис оператора. Функции от операторов в собственном базисе | ПК-15 |
| 10 | Обратный оператор. Связь унитарных и эрмитовских операторов | ПК-15 |
| 11 | Совместный спектр нескольких коммутирующих операторов. Полный набор коммутирующих операторов | ПК-15 |
| 12 | Проекционные операторы | ПК-15 |
| 13 | Условие полноты системы базисных векторов. - функция Дирака и ее свойства | ПК-15 |
| 14 | Собственные функции и собственные значения оператора сдвига | ПК-15 |
| 15 | - и  - представления операторов | ПК-15 |
| 16 | Функция Грина оператора | ПК-15 |
| 17 | Оператор Лапласа в сферических координатах. Угловая часть оператора Лапласа и ее связь с оператором момента импульса | ПК-15 |
| 18 | Собственные значения и собственные функции оператора квадрата момента импульса | ПК-15 |
| 19 | Производящая функция для полиномов Лежандра. Полиномы Лежандра | ПК-15 |
| 20 | Присоединенные полиномы Лежандра. Явный вид сферических функций | ПК-15 |
| 21 | Оператор Лапласа в цилиндрических координатах. Общее решение уравнения Лапласа в циллиндрических координатах | ПК-15 |
| 22 | Производящая функция для функций Бесселя. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя. Асимптотическое поведение и нули функций Бесселя | ПК-15 |

**5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-15**

1. Функцию  разложить по общему собственному базису операторов  и .
2. Вычислить интеграл .
3. Разложить по полиномам Лежандра функцию .
4. Найти вид оператора  в собственном представлении оператора .
5. Используя метод функции Грина, найти частное решение уравнения .

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

а) основная литература:

1). Дж.Мэтьюз, Р.Уокер «Математические методы в физике», Атомиздат, 1972.

2). А.И.Ахиезер, И.М.Глазман «Теория линейных оператов в гильбертовом пространстве», М.: Наука, 1966.

3) Сборник задач по математической физике, Н.Новгород, , изд-во ННГУ, 1998, 55 с.

б) дополнительная литература:

Ли Цзун Дао «Математические методы в физике», М,:Мир, 1965.

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

1) Пакеты компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica, Matlab, MathCAD, Maple или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.

2) Интернет-ресурсы справочной и математической литературы со свободным или условно-свободным доступом [www.eqworld.ipmnet.ru](http://www.eqworld.ipmnet.ru) , [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные досками и мелом или магнитно-маркерными досками с наборами маркеров.

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 ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии».

Автор:

доцент каф. теоретической физики

физического факультета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Перов А.А.

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор, зав. каф.

статистической радиофизики и

мобильных систем связи РФФ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Мальцев А.А.

Заведующий кафедрой ИТФИ

д.т.н., профессор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Фидельман В.Р

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета