

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 «31» мая 2023 г. № 6

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

2022 год

Нижний Новгород

2023 год

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 натурального эксперимента	ПК-15.1. Знать современный математический аппарат, используемый при разработке компьютерных моделей и анализе результатов.	<i>Знать</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-15.2. Уметь применять современный математический аппарат при проведении, моделировании и анализе результатов компьютерного или натурального эксперимента	<i>Уметь</i>	<i>Задача</i>
	ПК-15.3. Владеть навыками применения современных аналитических и численных методов в решении профессиональных задач.	<i>Владеть</i>	<i>Задача</i>

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):	66
- занятия лекционного типа, ч	32
- практические занятия, ч	32
- лабораторных, ч	
- КСРИФ, ч	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				Самостоятельная работа, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Линейные векторы 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.	78	18	18		36	30

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.						
КСРИФ	2				2	
<u>Итого</u>	180	Error! Re source not	32	Error! Re source found.	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				

<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 ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован 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

Оценка		Уровень подготовки
		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. δ - функция Дирака и ее свойства	ПК-15
14	Собственные функции и собственные значения оператора сдвига	ПК-15
15	$\hat{\mathbf{r}}$ - и $\hat{\mathbf{p}}$ - 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 цилиндрических 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 $f(z, \varphi) = \sin z \cdot \cos \varphi$ разложить по общему собственному базису операторов $\hat{\ell}_z$ и \hat{P}_z .
2. Вычислить интеграл $\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\delta(x \cdot \cos x)}{x^2 + 1} dx$.
3. Разложить по полиномам Лежандра функцию $f(x) = x(x-1)^2$.
4. Найти вид оператора $\hat{A} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ -i & -1 \end{pmatrix}$ в собственном представлении оператора $\exp(i\hat{\sigma}_z)$.
5. Используя метод функции Грина, найти частное решение уравнения $\frac{df}{dx} + f = x^2$.

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 операторов 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 , 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