



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета

/Н.М. Буднев  
«20» апреля 2024 г.



**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины: Б1.В.06 Интегральные уравнения и вариационное исчисление

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель

  
Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:  
Протокол №7  
От «15» марта 2024 г.

И.о. зав. кафедрой

  
С.В. Ловцов

Иркутск 2024 г.

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля).....	4
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	5
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	9
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	9
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	9
а) список литературы.....	9
б) периодические издания.....	10
в) список авторских методических разработок.....	10
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	10
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	10
VII. Образовательные технологии:.....	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	11
Приложение: фонд оценочных средств	

## **I. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

При изучении дисциплины «Интегральные уравнения и вариационное исчисление» студенты осваивают математический аппарат, необходимый для изучения важнейших разделов физики, таких как теоретическая механика, электродинамика, квантовая механика, термодинамика, физическая кинетика. Знания, полученные при изучении курса, формируют математическую культуру и составляют основу естественнонаучного подхода к исследованию природных явлений.

### **Цели курса**

Целью курса «Интегральные уравнения и вариационное исчисление» является изучение однородных и неоднородных линейных интегральных уравнений и их свойств, на основе которых создаются математические модели физических явлений и законов в линейном приближении; изучение понятия функционала и его свойств, представляющих собой математическую основу фундаментальных физических законов.

### **Задачи курса**

- изучение и овладение методами решения интегральных уравнений;
- изучение понятия функционала;
- овладение навыками варьирования функционалов;
- изучение методов и приемов математических доказательств теорем и утверждений;
- формирование у студентов умений и навыков самостоятельного приобретения и применения знаний при исследовании и построении математических моделей;
- овладение студентами знаний по применению интегральных уравнений и вариационного исчисления в различных разделах физики при исследовании физических явлений.

## **II. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Интегральные уравнения и вариационное исчисление» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. «Интегральные уравнения и вариационное исчисление» является продолжением цикла математических дисциплин и предполагает знание математического анализа, векторного и тензорного анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений. Кроме того, данный курс содержит множество примеров из области физики, т.е. студент должен обладать знаниями не только по высшей математике, но и по общей физике. Таким образом, для освоения данной дисциплины студент должен обладать знаниями по следующим дисциплинам: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика».

### III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
Индикаторы компетенции	ИДК <sub>ПК 1.1</sub> Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности
Результаты обучения	<p><i>Знает:</i> существующие виды интегральных уравнений; методы решения интегральных уравнений различных видов; основные принципы вариационного исчисления; физические примеры, приводящие к необходимости решения интегрального уравнения или поиска экстремума функционала.</p> <p><i>Умеет:</i> решать однородные и неоднородные линейные интегральные уравнения; варьировать функционалы; находить экстремум функционала.</p> <p><i>Владеет:</i> приемами и методами доказательства математических теорем; методами решения соответствующих уравнений в требуемом приближении; методами поиска экстремума и условного экстремума функционала.</p>

### IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 47 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 16 аудиторных часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

#### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	С	Вс	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-18	5	108	16	16	1	61	Практическое задание; вопросы и задачи	

								к зачету
Итого:		108	16	16	16	1	61	

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Тема 1-18	Задание в виде задачи	После пройденных тем	61	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

#### 4.3. Содержание учебного материала

##### Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

##### Раздел 1 Введение в теорию интегральных уравнений

- Тема 1. Определение интегрального уравнения (ИУ), линейного ИУ, классификация линейных интегральных уравнений (уравнения Фредгольма и Вольтерра первого и второго рода, однородные, неоднородные). Ядро, свободный член ИУ, требования к ядру и свободному члену. Примеры физических задач, приводящих к интегральным уравнениям (к уравнению Вольтерра и уравнению Фредгольма). Сведение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения  $n$ -порядка к уравнению Вольтерра II рода.
- Тема 2. Интегральное уравнение Фредгольма II рода. Определение собственного значения и собственной функции ядра интегрального уравнения. Операторная форма интегрального уравнения. Аналогия между линейным интегральным уравнением и системой линейных алгебраических уравнений.
- Тема 3. Однородное уравнение Фредгольма II рода с вырожденным ядром. Сведение его решения к решению системы алгебраических уравнений. Теорема о конечном числе собственных значений вырожденного ядра (с доказательством). Неоднородное уравнение Фредгольма II рода с вырожденным ядром. Определитель Фредгольма, сопряженное к данному интегральное уравнение.
- Тема 4. Теорема Фредгольма об альтернативе (с доказательством). Вторая теорема Фредгольма (с доказательством). Третья теорема Фредгольма (с доказательством).

- Тема 5. Теорема о том, что однородное ИУ и сопряженное к нему ИУ имеют одно и то же число линейно независимых решений. Нахождение комплексного решения ИУ в случае комплексного ядра и свободного члена.
- Тема 6. Метод последовательных приближений для решения ИУ. Теорема о существовании и единственности решения ИУ в случае достаточной малости параметра  $\lambda$  (с доказательством на основании теоремы о неподвижной точке оператора).
- Тема 7. Резольвента. Свойства резольвенты. Выражение для резольвенты в случае вырожденного ядра. Случай ядра, близкого к вырожденному (сведение ИУ с таким ядром к уравнению с вырожденным ядром).
- Тема 8. Уравнение Вольтерра II рода. Теорема об отсутствии собственных значений уравнения Вольтерра II рода. Нахождение решения уравнения Вольтерра II рода методом последовательных приближений.
- Тема 9. Резольвента уравнения Вольтерра II рода, повторные ядра для этого случая. Интегральное уравнение Вольтерра I рода. Сведение его к уравнению II рода.
- Тема 10. Случай ИУ Фредгольма II рода с симметричным ядром. Свойства собственных значений и собственных функций такого ядра (ортogonalность СФ, отвечающих различным СЗ; вещественность всех СЗ; возможность выбора ортонормированного набора СФ, соответствующих одному СЗ). Формула Шмидта для решения уравнения с симметричным ядром.
- Тема 11. Задача Штурма – Лиувилля. Постановка, физические примеры; сведение задачи Штурма – Лиувилля к интегральному уравнению.
- Тема 12.** Интегральное уравнение Фредгольма I рода как некорректно поставленная задача. Определение корректно поставленной задачи. Доказательство, что ИУ Фредгольма II рода является корректной задачей.

## **Раздел 2. Введение в вариационное исчисление**

- Тема 13. Понятие функционала. Понятия вариации аргумента функционала, непрерывности функционала, близости функций в разных порядках. Определение линейного функционала. Понятие вариации функционала как линейной части его приращения и как производной по параметру.
- Тема 14. Определение экстремума функционала. Сильный и слабый экстремум. Необходимое условие экстремума. Вывод уравнения Эйлера, понятие экстремали.
- Тема 15. Понятие поля экстремалей. Условие Якоби возможности включения экстремали в поле. Достаточное условие экстремума функционала (сильного и слабого).
- Тема 16. Условный экстремум функционала. Изопериметрическая задача: теорема Эйлера.
- Тема 17. Задача Лагранжа при наличии связей.
- Тема 18.** Геодезические линии.

### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1, 2, 3	Уравнения Фредгольма II рода с вырожденным ядром.	2	Задание на семинаре в виде задач	ПК-1
2.	Раздел 1, Тема 4, 5	Неоднородные уравнения Фредгольма с вырожденным ядром.	2	Задание на семинаре в виде задач	

3.	Раздел 1, Тема 6, 7	Метод последовательных приближений	2	Задание на семинаре в виде задач
4.	Раздел 1, Тема 8, 9	Решение уравнений Вольтерра.	2	Задание на семинаре в виде задач
5.	Раздел 1, Тема 10, 11, 12	Уравнения с симметричными ядрами.	2	Задание на семинаре в виде задач
6.	Раздел 2, Тема 13, 14	Вариационное исчисление. Поиск экстремалей.	2	Задание на семинаре в виде задач
7.	Раздел 2, Тема 15, 16	Условный экстремум функционала. Изопериметрическая задача.	2	Задание на семинаре в виде задач
8.	Раздел 2, Тема 17	Условный экстремум функционала. Геодезическая задача.	1	Задание на семинаре в виде задач
9.	Раздел 2, Тема 18	Условный экстремум функционала. Задача Лагранжа	1	Задание на семинаре в виде задач

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Часы
1	Определение интегрального уравнения, линейного ИУ, классификация линейных интегральных уравнений	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений Фредгольма II рода.	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий;	5
2	Операторная форма интегрального уравнения.	Внеаудиторная, решение задач	Сведение задачи Коши n-порядка к интегральному уравнению	Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой	5
3	Однородное уравнение Фредгольма II рода с вырожденным ядром.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений Фредгольма II рода с вырожденным ядром.	ИГУ и Стронские сайты	4
4	Теорема Фредгольма об альтернативе	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений Фредгольма II рода с вырожденным и невырожденным ядром.		4

5	Теорема о том, что однородное ИУ и сопряженное к нему ИУ имеют одно и то же число линейно независимых решений.	Внеаудиторная, решение задач	Решение комплексных интегральных уравнений Фредгольма		2
6	Метод последовательных приближений для решения ИУ.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений методом последовательных приближений.	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	4
7	Резольвента.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений методом нахождения резольвенты.		4
8	Уравнение Вольтерра II рода.	Внеаудиторная, решение задач	Сведение интегрального уравнения Вольтера к интегральному уравнению Фредгольма.		2
9	Резольвента уравнения Вольтерра II рода.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений Вольтера методом нахождения резольвенты.		4
10	Случай ИУ Фредгольма II рода с симметричным ядром.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных интегральных уравнений с симметричным ядром.		4
11	Задача Штурма – Лиувилля.	Внеаудиторная, решение задач	Сведение задачи Штурма – Лиувилля к интегральному уравнению.		2
12	Интегральное уравнение Фредгольма I рода как некорректно поставленная задача.	Внеаудиторная, решение задач	Изучить регуляризирующий алгоритм Тихонова.		5
13	Понятие функционала.	Внеаудиторная, решение задач	Найти физические примеры, в которых фигурируют функционалы		5
14	Определение экстремума функционала. Сильный и слабый экстремум.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных примеров по поиску экстремума функционала.		2
15	Понятие поля экстремалей. Условие Якоби возможности включения экстремали в поле.	Внеаудиторная, решение задач	Графическое представление поля экстремалей.		4
16	Условный экстремум функционала. Изопериметрическая задача	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных изопериметрических задач		2

17	Задача Лагранжа при наличии связей.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных задач по поиску условного экстремума в задаче Лагранжа.		2
18	Геодезические линии.	Внеаудиторная, решение задач	Решение дополнительных геодезических задач.		1

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 4.3.2 студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины (параллельно с лекциями) предлагаются задачи по изучаемым разделам и график их изучения. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, представленные в литературе из п. 5, а затем решит предложенные задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов).

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

#### а) список литературы

основная литература

1. Краснов М. Л. Вариационное исчисление. Задачи и примеры с подробными решениями: учеб. пособие для студ. вузов / М. Л. Краснов, Г. И. Макаренко, А. И. Киселев. - 3-е изд., испр. - М. : Либроком, 2010. - 168 с. - ISBN 978-5-397-01274-4 нф А625989; физмат 32323(25 экз.); физмат 32323(40 экз.)
2. Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах : учеб. пособие / А. Б. Васильева [и др.]. - 3-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2010. - 429 с. - ISBN 978-5-8114-0988-4 нф А625474; физмат 31398(50 экз.)

дополнительная литература

1. Васильева А. Б. Интегральные уравнения : учеб. для студ. физич. спец. и спец. "Приклад. математика" / А. Б. Васильева, Н.А. Тихонов. - 2-е изд. - М. : Физматлит, 2004. - 159 с. физмат 19123(24 экз.); физмат 19123(5 экз.)
2. Краснов М. Л. Интегральные уравнения : задачи и примеры с подробными решениями: Учеб. пособие для студ. вузов / М.Л. Краснов, А.И. Киселев, Г.И. Макаренко. - 3-е изд., испр. . - М. : Едиториал УРСС, 2003. - 190 с. нф А581448; физмат 19183(18 экз.); физмат 19183(20 экз.)

#### б) периодические издания

- нет

в) список авторских методических разработок

- нет

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;
- <http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс»- интернет ресурсы в свободном доступе.

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

Учебная аудитория для проведения занятий. Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

## VII. Образовательные технологии:

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- консультации –еженедельно для всех желающих студентов;
- самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач, в том числе у доски.

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

8.1. Оценочные средства для входного контроля: не требуются.

8.2. Оценочные средства текущего контроля

Примеры контрольных задач для проведения текущего контроля:

1. Методом дифференцирования решить интегральное уравнение:

$$\varphi(x) = x - \int_0^x e^{x-t} \varphi(t) dt$$

2. С помощью резольвенты найти решение интегрального уравнения:

$$\varphi(x) = \sin x + 2 \int_0^x e^{x-t} \varphi(t) dt$$

3. Решить интегральное уравнение с вырожденным ядром:

$$\varphi(x) - \lambda \int_0^1 \arccos t \varphi(t) dt = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$$

4. Найти экстремали в изопериметрической задаче:

$$J[y] = \int_0^1 (x^2 + y'^2(x)) dx; \quad y(0) = 0, \quad y(1) = 0, \quad \text{при условии} \quad \int_0^1 y^2(x) dx = 2$$

8.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Форма проведения промежуточной аттестации — зачет.

### Примерный перечень вопросов и заданий к зачету

Теоретические вопросы:

1. Определение интегрального уравнения (ИУ), линейного ИУ, классификация линейных интегральных уравнений. Ядро, свободный член ИУ, требования к ядру и свободному члену. Примеры физических задач, приводящих к интегральным уравнениям (к уравнению Вольтерра и уравнению Фредгольма).
2. Сведение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения n-порядка к уравнению Вольтерра II рода.
3. Интегральное уравнение Фредгольма II рода. Собственные значения и собственные функции ядра интегрального уравнения. Операторная форма интегрального уравнения. Аналогия между линейным интегральным уравнением и системой линейных алгебраических уравнений.
4. Однородное уравнение Фредгольма II рода с вырожденным ядром. Сведение его решения к решению системы алгебраических уравнений.
5. Теорема о конечном числе собственных значений вырожденного ядра (с доказательством).
6. Неоднородное уравнение Фредгольма II рода с вырожденным ядром. Сведение такого уравнения к системе алгебраических уравнений. Определитель Фредгольма, сопряженное к данному интегральное уравнение.
7. Теорема Фредгольма об альтернативе (с доказательством).
8. Вторая теорема Фредгольма (случай, когда однородное уравнение имеет только тривиальное решение) (с доказательством).
9. Третья теорема Фредгольма (случай, когда однородное уравнение имеет нетривиальное решение) (с доказательством).
10. Теорема об одинаковом числе линейно независимых решений однородного и сопряженного к нему интегральных уравнений (с доказательством). Нахождение комплексного решения интегрального уравнения в случае комплексного ядра и свободного члена.
11. Метод последовательных приближений для решения интегрального уравнения.
12. Теорема о существовании и единственности решения интегрального уравнения в случае достаточной малости параметра  $\lambda$  (с доказательством на основании теоремы о неподвижной точке оператора).
13. Резольвента интегрального уравнения. Свойства резольвенты.
14. Резольвента интегрального уравнения в случае вырожденного ядра.
15. Случай ядра интегрального уравнения, близкого к вырожденному. Сведение интегрального уравнения с таким ядром к уравнению с вырожденным ядром.
16. Уравнение Вольтерра II рода. Теорема об отсутствии собственных значений уравнения Вольтерра II рода.
17. Нахождение решения уравнения Вольтерра II рода методом последовательных прибли-

жений.

18. Резольвента уравнения Вольтерра II рода, повторные ядра для этого случая.
19. Интегральные уравнения Вольтерра I и II рода. Связь между ними.
20. Интегральное уравнение Фредгольма II рода с симметричным ядром. Свойства собственных значений и собственных функций такого ядра. Формула Шмидта для решения уравнения с симметричным ядром.
21. Задача Штурма – Лиувилля. Сведение задачи Штурма – Лиувилля к интегральному уравнению.
22. Интегральное уравнение Фредгольма I рода как некорректно поставленная задача.
23. Интегральное уравнение Фредгольма II рода с точки зрения корректности постановки математической задачи.
24. Функционал. Вариация аргумента функционала. Непрерывность функционала, близость функций в разных порядках. Вариация функционала (два определения).
25. Экстремум функционала. Сильный и слабый экстремум. Необходимое условие экстремума.
26. Уравнение Эйлера для вариационной задачи. Экстремаль. Поле экстремалей.
27. Достаточное условие экстремума функционала (сильного и слабого).
28. Условный экстремум функционала. Изопериметрическая задача.

Примеры практических заданий:

1. Составить интегральное уравнение, соответствующее следующему дифференциальному уравнению с заданными начальными условиями:

$$y'' + y = 0; \quad y(0) = 0, \quad y'(0) = 1$$

2. Методом дифференцирования решить интегральное уравнение:

$$\varphi(x) = x - \int_0^x e^{x-t} \varphi(t) dt$$

3. С помощью резольвенты найти решение интегрального уравнения:

$$\varphi(x) = e^x + \int_0^x e^{x-t} \varphi(t) dt$$

4. Решить интегральное уравнение с вырожденным ядром:

$$\varphi(x) - \lambda \int_0^{\pi/2} \sin x \cos t \varphi(t) dt = \sin x$$

5. Найти характеристические числа и собственные функции для интегрального уравнения с вырожденным ядром:

$$\varphi(x) - \lambda \int_0^{\pi/4} \sin^2 x \varphi(t) dt = 0$$

6. Исследовать на разрешимость при различных значениях параметра  $\lambda$ :

$$\varphi(x) - \lambda \int_{-1}^1 x e^t \varphi(t) dt = x$$

7. Решить методом последовательных приближений:

$$y(x) + \int_0^x y(s) ds = x + \frac{x^2}{2}$$

Разработчики:



доцент кафедры теоретической физики      Перевалова И.А.

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

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«15» марта 2024 г.

Протокол №7 И.о. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.В. Ловцов



**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**