

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Методы математической физики

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и наноэлектроника

Курс: 2, семестр : 4

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	4
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	5
2	Всего часов	180
3	Всего занятий в контактной форме, час.	101
4	Лекции, час.	54
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	9
10	Самостоятельная работа, час.	79
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	контр.
12	Вид аттестации	ДЗ

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

ФГОС введен в действие приказом №218 от 12.03.2015 г. , дата утверждения: 07.04.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.т.н. Краснопевцев Е. А.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:	
32. знать базовые знания фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физических основ в области профессиональной деятельности	
у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	
Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:	
33. знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	
у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	
Компетенция ФГОС: ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования; в части следующих результатов обучения:	
у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Методы математической физики</i>	
ОПК.1.32 знать базовые знания фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физических основ в области профессиональной деятельности	
1. Формирование базовых знаний, необходимых для построения математических явлений и процессов в микроэлектронике и нанотехнологиях	Лекции; Самостоятельная работа
ОПК.1.у1 умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	
2. Вычислять интегралы со спецфункциями	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.2.33 знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	
3. Обобщенные и специальные функции матфизики	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.2.у2 умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	
4. Решать дифференциальные уравнения матфизики	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.у7 уметь формировать математические модели на функциональном уровне	
5. построения математических моделей физических процессов	Лекции; Практические занятия

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 4				
Дидактическая единица: Преобразование Фурье				
1. Преобразование Фурье	0	8	1, 5	Освоение материала

Дидактическая единица: Специальные функции				
2. Обобщенные и специальные функции	0	20	1, 2, 3, 5	Освоение материала
Дидактическая единица: Дифференциальные уравнения				
3. Дифференциальные уравнения второго порядка	0	22	1, 4, 5	Освоение материала
Дидактическая единица: Функция Грина				
4. Функция Грина	0	4	1, 4	Освоение материала

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 4				
Дидактическая единица: Преобразование Фурье				
1. Преобразование Фурье	0	2	2, 5	Решение задач
Дидактическая единица: Специальные функции				
2. Обобщенные и специальные функции	9	16	2, 3, 5	Решение задач
Дидактическая единица: Дифференциальные уравнения				
3. Дифференциальные уравнения второго порядка	9	16	4, 5	Решение задач
Дидактическая единица: Функция Грина				
5. Получение функции Грина	0	2	4	Решение задач

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 4				
1	Контрольные работы	1, 2, 3, 4	22	9
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
2	РГЗ	2, 3	27	3
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
3	Подготовка к занятиям	1	21	0
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
4	Дополнительная учебная деятельность	1, 2, 3	30	0
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				
5	Подготовка к аттестации	1, 2, 3	6	0
: Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Проблемный метод: Индивидуальные задания
Краткое описание применения: Задачи	

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS.

Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 4		
<i>Лекция:</i>	10	20
<i>Практические занятия:</i>	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000113265 . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии". "		
<i>Контрольные работы:</i>	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000113265 . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии". "		
<i>Зачет:</i>	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил."		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Контр. раб.	Зачет
ОПК.1	32. знать базовые знания фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физических основ в области профессиональной деятельности		+
	у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	+	+

ОПК.2	з3. знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	+	+
	у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	+	+
ПК.1	у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне		+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Краснопевцев Е. А. Математические методы физики. Ортонормированные базисы функций : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев. - Санкт-Петербург, 2017. - 374 с. : ил.
2. Краснопевцев Е. А. Математические методы физики. Ортонормированные базисы функций : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 337 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

Дополнительная литература

1. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики : учебник для физико-математических специальностей университетов / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М., 2004. - 798 с.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000113265. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
2. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	используется мультимедиа для проекции лекций на экран

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы математической физики

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и микроэлектроника

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Методы математической физики приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	з2. знать базовые знания фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физических основ в области профессиональной деятельности	Обобщенные и специальные функции Преобразование Фурье		Зачет, вопросы 1-7
ОПК.1	у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	Обобщенные и специальные функции Преобразование Фурье	Контрольные работы, разделы 1-10	Зачет, вопросы 1-3
ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	з3. знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	Обобщенные и специальные функции	Контрольные работы, разделы 1-10	Зачет, вопросы 1-7
ОПК.2	у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	Дифференциальные уравнения второго порядка Получение функции Грина	Контрольные работы, разделы 1-10	Зачет, вопросы 5-7
ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также	у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне	Дифференциальные уравнения второго порядка Обобщенные и специальные функции Преобразование Фурье		Зачет, вопросы 1-7

использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования				
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 4 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1.

Зачет проводится в устной форме, по билетам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 4 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт зачета

по дисциплине «Методы математической физики», 4 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Преобразование Фурье прямое и обратное. Свертка. Теоремы о свертке и об умножении функций. Теорема о частотной полосе.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 2

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Дельта-функция. Определение и интегральное представление. Выражение для сложного аргумента. Фурье-образ.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 3

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Прямоугольная функция и ее фурье-образ.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 4

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Гамма-функция. Определение, рекуррентное соотношение. Значения: $\Gamma(1/2)$, $\Gamma(1)$, $\Gamma(2)$, $\Gamma(n+1)$. Формула Стирлинга.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 5

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Функция гармонического осциллятора. Уравнение и решение. Условие ортонормированности.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 6

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. Сферическая функция. Определение, квантовые числа. Зависимость функции от углов φ и θ . Условие ортонормированности.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 7

к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

Вопрос 1. **Функция Бесселя** первого рода. Уравнение. Условия нормировки. Поведение при $x \rightarrow 0$ и $x \rightarrow \infty$. Условие ортонормированности на интервале $(0, \infty)$.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 10 баллов.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 10-12 баллов.
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики результата, не допускает ошибок при

решении, оценка составляет 13-17 *баллов*.

- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 18-20 *баллов*.

Шкала оценки Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 10 баллов (из 20 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

3. Вопросы к зачету по дисциплине «Методы математической физики»

1. **Преобразование Фурье** прямое и обратное. Свертка. Теоремы о свертке и об умножении функций. Теорема о частотной полосе.
2. **Дельта-функция**. Определение и интегральное представление. Выражение для сложного аргумента. Фурье-образ.
3. **Прямоугольная функция** и ее фурье-образ.
4. **Гамма-функция**. Определение, рекуррентное соотношение. Значения: $\Gamma(1/2)$, $\Gamma(1)$, $\Gamma(2)$, $\Gamma(n + 1)$. Формула Стирлинга.
5. **Функция гармонического осциллятора**. Уравнение и решение. Условие ортонормированности.
6. **Сферическая функция**. Определение, квантовые числа. Зависимость функции от углов φ и θ . Условие ортонормированности.
7. **Функция Бесселя** первого рода. Уравнение. Условия нормировки. Поведение при $x \rightarrow 0$ и $x \rightarrow \infty$. Условие ортонормированности на интервале $(0, \infty)$.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Методы математической физики», 4 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме Обобщенные и специальные функции, включает 10 заданий. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если задача не решена. Оценка составляет менее 20 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если в решении есть ошибки, и нет анализа результата. Оценка составляет 20-29 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если решение правильное, но нет анализа результата. Оценка составляет 30-35 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если решение правильное, есть анализ результата. Оценка составляет 36-40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

1. Доказать, что уравнение Ломмеля сводится к уравнению Бесселя заменой функции и переменной.

2. Доказать, что уравнение $f'' + k^2 x^{m-2} f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 \sqrt{x} J_{1/m} \left(\frac{2k}{m} x^{m/2} \right) + c_2 \sqrt{x} J_{-1/m} \left(\frac{2k}{m} x^{m/2} \right).$$

3. Доказать, что уравнение $f'' + \frac{1}{x} f' + 4 \left(x^2 - \frac{\mu^2}{x^2} \right) f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 J_{\mu}(x^2) + c_2 J_{-\mu}(x^2).$$

4. Доказать, что уравнение $f'' + \frac{1}{x} f' + \left(k^2 - \frac{\mu^2}{x^2} \right) f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 J_{\mu}(kx) + c_2 J_{-\mu}(kx).$$

5. Доказать, что уравнение $f'' + \frac{1-m}{x} f' + \frac{1}{4x} f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 x^{m/2} J_m(\sqrt{x}) + c_2 x^{m/2} J_{-m}(\sqrt{x}).$$

6. Доказать, что уравнение $f'' + (e^{2x} - \mu^2) f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 J_\mu(e^x) + c_2 J_{-\mu}(e^x). \text{ Заменить } e^x = t \text{ и учесть } \frac{d^2}{dx^2} = t^2 \frac{d^2}{dt^2} + t \frac{d}{dt}.$$

7. Доказать, что уравнение $f'' + \frac{2\nu+1}{x} f' + k^2 f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = \frac{c_1}{x^\nu} J_\nu(kx) + \frac{c_2}{x^\nu} J_{-\nu}(kx).$$

8. Доказать, что уравнение $f'' + \frac{1}{x} f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c x^{1/2} J_1(2x^{1/2}).$$

9. Доказать, что уравнение $f'' + \left(k^2 - \frac{n(n+1)}{x^2} \right) f = 0$ имеет общее решение

$$f(x) = c_1 x^{1/2} J_{n+1/2}(kx) + c_2 x^{1/2} J_{-(n+1/2)}(kx).$$

10. Доказать $\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{x} - \frac{J_0''}{J_0'}, \quad \frac{d}{dx} \left(x \frac{dJ_0}{dx} \right) = -x J_0.$