

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета


С.Н. Филимонов

« 15 » апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы математической физики

по направлению подготовки

09.03.02 Информационные системы и технологии

Направленность (профиль) подготовки:

«Информационные системы и технологии в геодезии и картографии»

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр


Год приема

2021

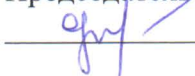
Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.О.17

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП


О.М. Сюзина

Председатель УМК


О.М. Сюзина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-1 – Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

– ИОПК-1.1. – Обладает необходимыми естественнонаучными и общинженерными знаниями для исследования информационных систем и их компонент;

– ИОПК-1.2. Использует фундаментальные знания, полученные в области математических, естественных и общинженерных наук в профессиональной деятельности.

– ИОПК-1.3. Применяет фундаментальные знания, полученные в области математических, естественных и общинженерных наук для моделирования и анализа задач

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и методы математической физики и моделей физических явлений.

– Научиться применять понятийный аппарат и методы математической физики для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 3, зачет с оценкой; семестр 4, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными понятиями и методами дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, элементами теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 з.е., 360 часов, из которых:

– лекции: 96 ч.;

–практические занятия: 64 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Линейные функционалы и вариационное исчисление.

Линейное нормированное пространство функций. Функционалы. Линейные функционалы. Экстремум функционала, вариация функционала и функции, стационарная точка. Теорема о необходимом условии экстремума функционала. Основная лемма

вариационного исчисления. Уравнения Эйлера – Лагранжа для основных функционалов. Ядро линейного функционала как обобщенная функция. Определение δ – функции. Дифференцирование обобщенных функций. Предел последовательности обобщенных функций. Дельта-образные последовательности. Свойства δ – функции. Регуляризация обобщенной функции. Линейные дифференциальные уравнения с обобщенными функциями. Фундаментальное решение. Преобразование Фурье обобщенных функций.

Тема 2. Комплексный анализ.

Комплексные числа и действия над ними. Комплексная плоскость. Множества на комплексной плоскости. Функции комплексного переменного. Дифференцируемость. Условия Коши – Римана. Интеграл от функции комплексного переменного. Теорема Коши. Формула и интеграл Коши. Интеграл типа Коши. Высшие производные. Равномерная сходимости. Принцип максимума модуля. Ряд Тейлора голоморфной функции. Степенные ряды. Определение основных элементарных функции комплексного переменного. Ряды Лорана. Особые точки. Аналитическое продолжение. Вычеты. Бесконечно удаленная точка. Вычисление интегралов при помощи вычетов. Принцип аргумента. Основная теорема алгебры. Понятие конформного отображения. Основная теорема теории конформных отображений. Дробно-линейное отображение. Гармонические функции двух переменных.

Тема 3. Элементы операционного исчисления.

Преобразование Лапласа. Основные свойства преобразования Лапласа. Примеры применения преобразования Лапласа.

Тема 4. Специальные функции математической физики.

Особые точки линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. Уравнение Бесселя, решения в виде ряда; различные типы функций Бесселя. Интегральные представления функций Бесселя. Производящая функция для функций Бесселя целого индекса. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя. Ортогональность функций Бесселя. Свойства нулей функций Бесселя. Ряд Фурье-Бесселя. Уравнение гипергеометрического типа. Полиномы гипергеометрического типа, формула Родрига. Полиномы Якоби, Лежандра, Чебышёва, Гегенбауэра, Лагерра, Эрмита. Свойства полиномов гипергеометрического типа. Производящие функции для полиномов гипергеометрического типа. Явные выражения для полиномов Эрмита, Лагерра, Лежандра. Присоединенные функции Лежандра. Сферические функции. Функции Эрмита. Интегральное представление для функций гипергеометрического типа. Гипергеометрическое уравнение. Гипергеометрическая функция и ее свойства. Вырожденное гипергеометрическое уравнение. Вырожденная гипергеометрическая функция и ее свойства. Примеры.

Тема 5. Линейные дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка.

Основные уравнения математической физики. Классификация квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка с двумя переменными. Классификация квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка с многими переменными. Краевые задачи математической физики. Эллиптические уравнения. Формулы Грина. Фундаментальные решения уравнений Лапласа и Гельмгольца. Гармонические функции. Принцип максимума для гармонической функции. Единственность решения краевых задач для уравнений Лапласа и Пуассона. Решение краевых задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца методом функций Грина. Решение задачи Дирихле для круга и шара. Решение краевых задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца методом Фурье. Плоскопараллельное безвихревое течение идеальной жидкости (постановка задачи, общие уравнения, гидродинамический потенциал, функция тока, комплексный потенциал). Гиперболические уравнения, постановка задачи Коши. Фундаментальное решение волнового оператора. Запаздывающие потенциалы. Решение задачи Коши для волнового уравнения. Сферические волны. Одномерное волновое уравнение. Метод Фурье для

решения смешанной (начально-краевой) задачи для однородного уравнения. Метод Дюамель. Параболические уравнения. Фундаментальное решение оператора теплопроводности. Тепловые потенциалы. Решение задачи Коши для уравнения теплопроводности. Теорема об экстремуме для уравнения теплопроводности. Теорема о единственности решения задачи Коши для одномерного уравнения теплопроводности на бесконечном интервале. Распространение тепла в неограниченном стержне. Решение неоднородного одномерного уравнения теплопроводности на бесконечном интервале. Распространение тепла в полуограниченном стержне, задача с нулевым граничным и произвольным начальным условием. Распространение тепла в полуограниченном стержне, задача с нулевым начальным и произвольным граничным условием.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий и тестов по материалам курса, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение контрольных заданий – 40, тестов – 10. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в 3 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Результаты экзамена определяются оценкой, исходя из результатов ответов на экзамене (60%) и текущей аттестации в течение семестра (40%) в соответствии с балльной шкалой оценивания: количество набранных баллов более 80 — «отлично», от 65 до 79 — «хорошо», от 50 до 64 — «удовлетворительно», менее 50 баллов — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть содержит основной вопрос, проверяющий сформированность компетенции ОПК 1 в соответствии с индикаторами ИОПК 1.1-. ИОПК 1.3 Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих соответствие индикатору достижения компетенции ИОПК 1.1. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов

Вопрос 1. Принцип максимума модуля и его следствия.

Вопрос 2. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Дать определение предела функции комплексно переменного.

Вопрос 2. Сформулировать необходимое условие экстремума функционала.

Экзамен в 4 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Результаты экзамена определяются оценкой, исходя из результатов ответов на экзамене (60%) и текущей аттестации в течение семестра (40%) в соответствии с балльной шкалой оценивания: количество набранных баллов более 80 — «отлично», от 65 до 79 — «хорошо», от 50 до 64 — «удовлетворительно», менее 50 баллов — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть содержит основной вопрос, проверяющий сформированность компетенции ОПК 1 в соответствии с индикаторами ИОПК 1.1-. ИОПК 1.3. Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих соответствие индикатору достижения компетенции ИОПК 1.1. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов

Вопрос 1. Решение задачи Дирихле для круга и шара.

Вопрос 2. Теорема об экстремуме решений уравнения теплопроводности. Следствия.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Записать канонические формы для квазилинейного ДУЧП с двумя переменными.

Вопрос 2. Что такое сферические волны.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронные учебные курсы по дисциплине в электронном университете «Moodle»: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21914>,
<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=26373>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен в 3 семестре.

1. Комплексные числа и действия над ними. Комплексная плоскость. Множества на комплексной плоскости.
2. Функции комплексного переменного. Элементарные функции.
3. Дифференцируемость функций комплексного переменного. Примеры.
4. Интеграл от функции комплексного переменного. Свойства.
5. Теорема Коши и ее следствия.
6. Формула Коши. Интеграл Коши. Интеграл типа Коши.
7. Высшие производные от аналитической функции. Интеграл типа Коши.
8. Принцип максимума модуля и его следствия.
9. Равномерная сходимости.
10. Ряд Тейлора аналитической функции. Примеры.
11. Степенные ряды и их свойства.
12. Ряды Лорана.
13. Изолированные особые точки.
14. Понятие аналитического продолжения. Примеры.
15. Вычеты. Теорема о вычетах.
16. Принцип аргумента. Примеры.
17. Бесконечно удаленная точка. Вычет в бесконечно удаленной точке.
18. Вычисление интегралов при помощи вычетов. Лемма Жордана. Примеры.
19. Основная теорема алгебры.
20. Понятие конформного отображения.
21. Основная теорема теории конформных отображений и ее различные формулировки. Теорема о соответствии границ и принцип соответствия границ (без доказательства).
22. Дробно-линейное отображение. Основные свойства.
23. Дробно-линейное отображение. Свойства: круговое, сохранения симметричных точек. Теорема о 3-х точках. Пример.
24. Преобразование Лапласа. Основные свойства. Обратное преобразование Лапласа. Теорема единственности.
25. Преобразование Лапласа. Свойства.
26. Гармонические функции двух переменных. Свойства.
27. Обыкновенные и особые точки линейного дифференциального уравнения второго порядка.

28. Правильные особые точки линейного дифференциального уравнения второго порядка.
29. Функция Бесселя первого рода.
30. Функции Бесселя разного рода. Определения. Уравнения, которым они подчиняются.
31. Производящая функция функций Бесселя целого индекса (с выводом).
32. Интегральные представления для функции Бесселя (типа Пуассона и специальное интегральное представление).
33. Рекуррентные соотношения для функций Бесселя.
34. Ортогональность функций Бесселя и интеграл нормировки.
35. Нули функции Бесселя и ряд Фурье-Бесселя.
36. Полиномы гипергеометрического типа Формула Родрига.
37. Полиномы Якоби, Лежандра, Чебышёва, Гегенбауэра.
38. Полиномы Лагерра.
39. Полиномы Эрмита.
40. Производные полиномов гипергеометрического типа. Пример.
41. Ортогональность полиномов гипергеометрического типа. Примеры.
42. Разложение произвольного полинома по ортогональным полиномам.
43. Единственность системы полиномов, ортогональных с заданным весом.
44. Рекуррентные соотношения для классических ортогональных полиномов. Примеры.
45. Свойства нулей ортогональных полиномов.
46. Производящие функции для полиномов гипергеометрического типа. Примеры.
47. Явные выражения для полиномов Эрмита, Лагерра, Лежандра.
48. Присоединенные функции Лежандра.
49. Сферические (шаровые функции).
50. Функции Эрмита.
51. Интегральное представление для функций гипергеометрического типа.
52. Гипергеометрические уравнения.
53. Частные решения гипергеометрического уравнения и их свойства.
54. Частные решения вырожденного гипергеометрического уравнения и их свойства.
55. Представление различных функций через гипергеометрические функции.
56. Функциональные пространства. Определение, примеры.
57. Функционалы на функциональных пространствах, непрерывные функционалы. Определение, примеры.
58. Вариация функционала.
59. Необходимое условие экстремума.
60. Леммы вариационного исчисления.
61. Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнения Эйлера.
62. Основные и обобщенные функции.
63. Производные обобщенных функций.
64. Предельный переход. Примеры.
65. Дельта-образные последовательности. Примеры.
66. Локальные свойства обобщенных функций.
67. Свойства дельта-функции (с доказательством).
68. Регуляризация обобщенных функций. Примеры.
69. Многомерная дельта-функция.
70. Линейные дифференциальные уравнения с обобщенными функциями.
71. Свертка обобщенных функций.
72. Уравнение в свертках. Фундаментальное решение.
73. Преобразование Фурье обобщенных функций. Свойства. Примеры.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен в 4 семестре.

1. Основные уравнения математической физики.
2. Классификация квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка с двумя переменными.
3. Классификация уравнений второго порядка со многими переменными. Примеры.
4. Краевые задачи математической физики. Краевые задачи для эллиптических уравнений.
5. Формулы Грина.
6. Фундаментальное решение уравнения Лапласа.
7. Фундаментальное решение уравнения Гельмгольца.
8. Гармонические функции в R^n . Принцип максимума для гармонических функций.
9. Принцип максимума для гармонических функций. Единственность решения краевых задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца.
10. Решение граничных задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца методом функций Грина.
11. Плоскопараллельное обтекание цилиндра и пластины.
12. Решение задачи Дирихле для круга и шара.
13. Решение краевых задач для уравнения Лапласа и Пуассона методом Фурье.
14. Постановка задачи Коши для уравнений гиперболического типа.
15. Фундаментальное решение волнового оператора.
16. Запаздывающие потенциалы.
17. Запаздывающие поверхностные потенциалы.
18. Решение задачи Коши для волнового уравнения.
19. Сферические волны
20. Метод Фурье решения смешанной (начально-краевой) задачи для однородного уравнения.
21. Полностью однородная смешанная задача. Метод Дюамеля.
22. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности.
23. Тепловые потенциалы.
24. Решение задачи Коши для уравнения теплопроводности.
25. Распространение тепла в полуограниченном стержне.
26. Теорема об экстремуме решений уравнения теплопроводности. Следствия.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Расстояние между функциями. Приращение функционала.
2. Вариация функционала. Уравнения Эйлера.
3. Изопериметрические задачи.
4. Дельта функция.
5. Арифметика и алгебра комплексных чисел.
6. Функции комплексной переменной. Дифференцируемость. Интегралы от функций комплексной переменной.
7. Интеграл Коши. Интеграл типа Коши.
8. Разложения голоморфных функций в степенные ряды. Сходимость рядов.
9. Вычеты и их свойства.
10. Элементарные голоморфные функции.
11. Конформное отображение.
12. Метод перевала: примеры.
13. Вычисление интегралов методами операционного исчисления.
14. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методами операционного исчисления.
15. Рекуррентные формулы для функций Бесселя.
16. Простейшие свойства полиномов Лежандра.

17. Полиномы Эрмита и функции Эрмита.
18. Примеры применения функций Грина уравнения Гельмгольца и Лапласа.
19. Граничные задачи для уравнения Лапласа.
20. Одномерное волновое уравнение.
21. Свойства сферических волн.
22. Одномерное уравнение теплопроводности на бесконечном интервале.
23. Одномерное уравнение теплопроводности на конечном интервале.
24. Линейные интегральные уравнения: общие понятия и примеры.
25. Уравнения с вырожденным ядром.
26. Резольвента уравнения Фредгольма второго рода.
27. Итерированные ядра.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к экзаменам.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Обобщенные функции на пространстве Шварца.
2. Связь δ – функции с ортонормированными системами функций.
3. Аналитическое продолжение.
4. Вычисление интегралов при помощи вычетов.
5. Свойства дробно-линейного отображения.
6. Примеры применения преобразования Лапласа.
7. Частные значения полиномов Лежандра.
8. Симметрия функции источника для уравнения Лапласа.
9. Единственность решения задачи с начальными и граничными условиями для одномерного волнового уравнения.
10. Разделение переменных в одномерном волновом уравнении при произвольных начальных и нулевых граничных условиях на конечном интервале.
11. Колебания круглой мембраны. Разделение переменных в двумерном волновом уравнении.

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Методы математической физики»:

Тема 1. Обобщенные функции

Литература:

- 1) Гельфанд И.М., Шилов Г.Е. Обобщенные функции, вып. 1.
- 2) Шилов Г.Е., Математический анализ, 2-ой специальный курс
- 3) Владимиров В.С. Обобщенные функции в математической физике

Тема 2. Специальные функции математической физики.

Литература:

- 1) Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики.
- 2) Кузнецов С.С. Специальные функции.
- 3) Уиттекер Э.Т., Ватсон Дж.Н. Курс современного анализа. т.1, 2.

Тема 3. Задачи вариационного исчисления.

Литература:

- 1) Эльсгольц Л.Э. Вариационное исчисление.
- 2) Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление.
- 3) Цлаф Л.Я. Вариационное исчисление и интегральные уравнения.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Багров В. Г., Белов В. В., Задорожный В. Н., Трифонов А. Ю. Методы математической физики. Т. 1, 2, 3. Томск. Издательство научно-технической литературы, 2002.
2. Багров В. Г., Белов В. В., Задорожный В. Н., Трифонов А. Ю. Элементы современной математической физики. Изд. ТПУ, Томск, 2004.
3. Эльсгольц Л.Э. Вариационное исчисление. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
4. Краснов М.Л., Макаренко Г.И., Киселев А.И. Вариационное исчисление. Задачи и примеры с подробными решениями. - М.: Эдиториал УРСС, 2002.
5. Шабат Б.В. Введение в комплексный анализ. М.: Наука, 1969. - 576 с.
6. Лаврентьев М.А., Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного: Учебное пособие. М.: Наука, 1987- 668 с.
7. Владимиров В.С. Уравнения математической физики.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд-во МГУ, 1999г. и более ранние издания.
9. Боголюбов А.Н., Кравцов В.В. Задачи по математической физике. Изд-во МГУ, 1998г.
10. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразований Лапласа. – ГИФМЛ, 1960.
11. Арсенин В.Я. Методы математической физики и специальные функции. М., Наука, 1984г.
12. Васильева А.Б., Тихонов А.Н. Интегральные уравнения. М.: Изд. МГУ, 1989.
13. Кострикин А.И. Введение в алгебру. Часть II. Линейная алгебра: Учебник для вузов. – М.: Физ.-мат. лит., 2000. – 368 с.
14. Постников М.М. Лекции по геометрии. Семестр II. Линейная алгебра. Учеб. пособие для вузов. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физматлит, 1986. – 400 с.

б) дополнительная литература:

1. Шилов Г.Е., Математический анализ. Специальный курс.
2. Уиттекер Э.Т., Ватсон Дж.Н, Курс современного анализа, т.1.
3. Краснов М.П. Интегральные уравнения. Введение в теорию. М.: Наука, 1981.
4. Карташев А.П., Рождественский Б.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. М.: Наука, 1980.
5. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление. – М.: Физматлит., 1961
6. Я.М. Котляр, Методы математической физики и задачи гидродинамики.
7. Свешников А.Г., Боголюбов А.Н., Кравцов В.В. Лекции по математической физике. Изд-во МГУ, 1993 г., 2000г.
8. Рихтмайер Р. Принципы современной математической физики. "Мир", М., 1984г.
9. Мисюркеев И.В. Сборник задач по методам математической физики. – М.: Просвещение, 1975. – 168 с.
10. Бицадзе А.В. Основы теории аналитических функций комплексного переменного.
11. М.: Наука, 1972. 264 с.
12. Кошляков Н. С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Дифференциальные уравнения математической физики. – М.: ГИФМЛ, 1962.
13. Сокольников И. Тензорный анализ. – М.: Наука, 1971.
14. Владимиров В.С. Обобщенные функции в математической физике. – М.: Наука, 1976.
15. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения. – М.: ГИФМЛ, 1963.
16. Суетин П.К. Классические ортогональные многочлены. – М.: Наука, 1979.
17. Ловитт У.В. Линейные интегральные уравнения. – М.: ГИТТЛ, 1957.

18. Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Интегральные уравнения. – М.: Наука, 1976.
19. Схоутен Я.Т. Тензорный анализ для физиков. – М.: Наука, 1964.
20. Гарнетт Дж. Ограниченные аналитические функции. – М.: Мир, 1984.
21. Антосик П., Микусинский Я., Сикорский Р. Теория обобщенных функций. – М.: Мир, 1976.
22. Кратцер А., Франц В. Трансцендентные функции. – М.: ИЛ.1963.
в) ресурсы сети Интернет:
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics.htm>
<https://teach-in.ru/course/equations-of-mathematical-physics-radkevich>
<http://edu.math.msu.ru/3-kurs/complex-variable-functions-theory/>
<http://edu.math.msu.ru/3-kurs/equations-of-mathematical-physics/>
<https://teach-in.ru/file/methodical/pdf/tfkr-p1-M.pdf>

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
 - Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

- Аудитории для проведения занятий лекционного типа.
- Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
- Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.
- Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Казинский Петр Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра квантовой теории поля физического факультета ТГУ, профессор.