

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Численное решение задач математической физики с использованием программного
пакета COMSOL Multiphysics**

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2023

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать;

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить принципы численного моделирования на основе метода конечных элементов.

– Научиться применять COMSOL Multiphysics для создания моделей различных физических процессов и получать соответствующие численные решения.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Семестр 2, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Методы математической физики, Нелинейные уравнения математической физики, Квантовая механика, Классическая механика, Общая физика.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 32 ч.;

в том числе практическая подготовка: 6 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Общие сведения о методе конечных элементов.

Использование метода конечных элементов (МКЭ) в качестве основного метода численного моделирования. Идеология МКЭ.

Тема 2. Разбиение на конечные элементы.

Анализ типов конечных элементов и способов разбиения области на конечные элементы.

Тема 3. Задача интерполяции.

Аппроксимация непрерывных функции дискретной моделью в методе конечных элементов.

Тема 4. Краевые задачи в методе конечных элементов.

Особенности задания граничных условий в МКЭ. Численное моделирование краевых задач.

Тема 5. Создание модели в среде COMSOL Multiphysics.

Концепция построения модели в COMSOL Multiphysics для численного исследования.

Тема 6. Построение расчетной области.

Проектирование физических конструкций и моделирование исследуемого пространства.

Тема 7. Задание параметров задачи и начальных условий.

Задание уравнений и параметров задачи для численного моделирования. Задача Неймана. Задача Дирихле. Периодические граничные условия.

Тема 8. Построение сетки.

Методика разбиения области на конечные элементы. Способы разбиения. Особенности сгущения конечных элементов в локальных областях пространства.

Тема 9. Решатели и их характеристики.

Решатели и методы численного моделирования. Их ограничения и скорость работы. Подбор наиболее эффективных решателей.

Тема 10. Обработка полученных данных.

Анализ результатов численного моделирования с помощью COMSOL Multiphysics. Построение графиков и анимации.

Тема 11. Импорт и экспорт проектов между COMSOL и Matlab.

Импорт проекта COMSOL Multiphysics в среду Matlab. Возможности программного изменения проекта COMSOL Multiphysics.

Тема 12. Моделирование простейших физических процессов

Дифракция Френеля. Фокусирование звука. Электростатическое поле трехмерных распределений зарядов.

Тема 13. Линейные задачи математической физики

Численное моделирование систем линейных дифференциальных уравнений (математической физики) второго порядка в частных производных.

Тема 14. Нелинейные задачи математической физики

Численное моделирование нелинейных дифференциальных уравнений (математической физики) второго порядка в частных производных и их анализ.

Тема 15. Интегро-дифференциальные задачи математической физики

Численное моделирование нелинейных интегро-дифференциальных уравнений второго порядка и их анализ.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, выполнению индивидуальных заданий и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом). Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен во втором семестре проводится в устной форме на основе анализа выполненных индивидуальных заданий.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24604>

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

Темы индивидуальных работ.

1. Создание трехмерной модели распределения температуры от нагретой решетки.
2. Создание модели конденсата Бозе-Эйнштейна.
3. Численное решение уравнения Кортевега Де Фриза.
4. Численное моделирование процесса нелинейной диффузии.
5. Создание модели «Дифракция Френеля».
6. Создание модели «Фокусирование звуковых волн».
7. Создание модели «Электростатическое поле трехмерных распределений зарядов».
8. Создание модели «Солитон в оптоволокне».
9. Создание квантово-механических модели.
10. Создание стандартных моделей математической физики.
11. Создание стандартных моделей общей физики и классической механики.

Литература:

1. Захаров В.Е. Теория солитонов: Метод обратной задачи/ В.Е Захаров [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 319 с.
2. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. – М.: Мир, 1989. – 323 с.
3. Додд Р. Солитоны и нелинейные волновые уравнения/ Р. Додд [и др.]. – М.: Наука, 1988. – 694 с.
4. Виноградов А.М. Введение в геометрию нелинейных дифференциальных уравнений/ А.М. Виноградов, И.С. Красильщик, В.В. Лычагин. – М.: Наука, 1986.
5. Овсянников Л.В. Групповой анализ дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1978.
6. Переломов А.М. Интегрируемые системы классической механики и алгебры Ли. – М.: Наука, 1990.
7. Фущич В.И. Симметричный анализ и точные решения нелинейных уравнений математической физики/ В.И. Фущич, В.М.Штельень, Н.И. Серов. – Киев: Наукова Думка, 1989.
8. Фущич В.И. Симметрия уравнений квантовой механики/ В.И. Фущич, А.Г. Никитин. – М.: Наука, 1990.
9. Захаров В.Е. Теория солитонов: Метод обратной задачи/ В.Е. Захаров [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 319 с.
10. A.Douglas Stone, Chapter 24, The Indian Comet, in the book Einstein and the Quantum, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2013.
11. Савельев И. В. Курс общей физики. – КноРус, 2012.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики. – 2001.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс] / www.comsol.com. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.
2. Melosh R.J. Basis for Derivation of Matrices for the Direct Stiffness method // J. Am. Inst. For Aeronautics and Astronautics. 1965. No1. P.1631–1637.
3. Miura R.M., Gardner C.S., Kruskal M.D. Korteweg-de Vries equation and generalization. II. Existence of conservation laws and constants of motion. // J.Math.Phys. 1968. V. 9. P. 1204–1209.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 393 с.
5. Сайт компании разработчика пакета MATLAB [Электронный ресурс] / www.mathworks.com. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/>, свободный.
6. Hindmarsh A.C., Brown P.N., Grant K.E., Lee S.L., Serban R., Shumaker D.E. and Woodward C.S. SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers // ACM T. Math. Software 2005. V. 31. P. 363.
7. Brown P.N., Hindmarsh A.C. and Petzold L.R. Using Krylov methods in the solution of large-scale differential-algebraic systems // SIAM J. Sci. Comput. 1994. V. 15. P. 1467–1488.
8. Chung J., Hulbert G.M. A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: The generalized- α method // J. Appl. Mech. 1993. V. 60. P. 371–375.
9. Jansen K.E., Whiting C.H., Hulbert G.M. A generalized- α method for integrating the filtered Navier–Stokes equations with a stabilized finite element method // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 2000. V. 190. P. 305–319.
10. Лаборатория информатики и параллельных вычислений [Электронный ресурс] / graal.ens-lyon.fr, Режим доступа: <http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/>, свободный.
11. Проект PARDISO [Электронный ресурс] / www.pardiso-project.org, Режим доступа: <http://www.pardiso-project.org/>, свободный.
12. Кружков С.Н. Фаминский А.В. Обобщенные решения для уравнения Кортевега-де Фриза // Матем. сборник. 1983. Т. 120(162). С. 396–445.
13. Gardner C.S., Green J.M., Kruskal M.D., Miura R.M. Method for solving the Korteweg-de Vries equation // Phys.Rev.Lett. 1967. V. 19. P. 1095–1097.
14. Шабат А.Б. Об уравнении Кортевега-де Фриза // ДАН СССР. 1973. Т. 211. С. 1310–1313.
15. Фаминский А.В. Граничные задачи для уравнения Кортевега-де Фриза и его обобщений: Дис.... докт. физ.-матем. наук. М.РУДН. 2001.

б) дополнительная литература:

1. Хранилище NETLIB [Электронный ресурс] / www.netlib.org, Режим доступа: <http://www.netlib.org/linalg/spooles>, свободный.
2. Greenbaum A. Iterative Methods for Linear Systems. Frontiers in Applied Mathematics. 17. SIAM. 1997. 220p.
3. Saad Y. and Schultz M.H. GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems // SIAM J. Sci. Statist. Comput. 1986. V. 7. P. 856–869.
4. Saad Y. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. Boston, 1996. 529 p.
5. Saad Y. A flexible inner-outer preconditioned GMRES algorithm // SIAM J. Sci. Statist. Comput. 1993. V. 14. P. 461–469.
6. Van Der Vorst H.A. A fast and smoothly converging variant of Bi-CG for the solution of nonsymmetric linear systems // SIAM J. Sci. Statist. Comput. 1992. V. 13. P. 631–644.
7. Hestenes M.R. and Stiefel E. Methods of conjugate gradients for solving linear systems // J. Res. Nat. Bur. Standards 1952. V. 49. P. 409–435.
8. Lanczos C. Solutions of linear equations by minimized iterations // J. Res. Nat. Bur. Standards. 1952. V. 49. P. 33–53.

9. Лионе Ж.Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. М.: Мир, 1972. 588с.

в) ресурсы сети Интернет:

Википедия свободная энциклопедия [Электронный ресурс] / wikipedia.org. Электрон. дан. Б.м., 2009. Режим доступа: <http://wikipedia.org/>, свободный Ресурс Wolfram Mathematica:

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– COMSOL Multiphysics, Matlab, система 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>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерные классы со специализированным программным обеспечением).

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Борисов Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей и экспериментальной физики физического факультета ТГУ.