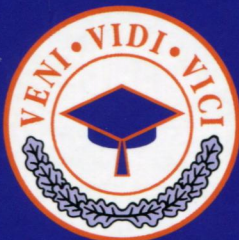


МАГИСТРАТУРА

*В.И. Корнеев, Л.Г. Гагарина, М.В. Корнеева*

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ  
В НАУЧНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Электронно-  
Библиотечная  
Система  
znanium.com



Уважаемый читатель!

Вы держите в руках книгу,  
дополнительные материалы которой  
доступны Вам **БЕСПЛАТНО**  
в интернете на [www.znanium.com](http://www.znanium.com)  
Специального программного  
обеспечения не требуется

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – МАГИСТРАТУРА

серия основана в 1996 г.



**В.И. КОРНЕЕВ**  
**Л.Г. ГАГАРИНА**  
**М.В. КОРНЕЕВА**

# **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

*Рекомендовано Межрегиональным учебно-методическим советом профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 09.04.04 «Программная инженерия» (квалификация (степень) «магистр»)*  
(протокол № 10 от 12.10.2020)

**Электронно-  
Библиотечная**  
**znanium.com**

Москва  
ИНФРА-М  
2021

**УДК 004.42(075.8)**  
**ББК 32.973-018я73**  
**К67**

Рецензент:

*Т.Ю. Кружкина*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интегральной электроники и микросистем Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники»

**Корнеев В.И.**

**К67** Визуализация в научных исследованиях : учебное пособие / В.И. Корнеев, Л.Г. Гагарина, М.В. Корнеева. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 400 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/1029660.

ISBN 978-5-16-015308-7 (print)


ISBN 978-5-16-109433-4 (online)

В учебном пособии рассмотрены методы графического представления результатов расчета физических и инженерных задач, представляемые специализированными программами и средствами операционных систем. Подробно исследуются графические возможности пакета MATLAB, который наряду с мощными расчетными средствами обладает прекрасной компьютерной графикой. Ряд задач визуализации решается методами программирования компьютерной графики на C++. Используются функции графического интерфейса GDI из набора системных функций API, которые предоставляет пользователю операционная система Windows. Все примеры на C++ апробированы в среде разработки проектов Visual Studio 2008. Рассматриваются вопросы взаимодействия пакета MATLAB и программ, написанных на C++ в среде Visual Studio.

Соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования последнего поколения.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Программная инженерия».

**УДК 004.42(075.8)**  
**ББК 32.973-018я73**

Материалы, отмеченные знаком , доступны в электронно-библиотечной системе Znanium.com

ISBN 978-5-16-015308-7 (print)  
ISBN 978-5-16-109433-4 (online)

© Корнеев В.И., Гагарина Л.Г.,  
Корнеева М.В., 2021

# Оглавление

<b>Предисловие.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Графические возможности пакета MATLAB.</b>	
<b>Моделирование движения волнового пакета электрона .....</b>	<b>6</b>
1.1. Начало работы с пакетом MATLAB.....	6
1.2. Рисование нескольких графиков в одном окне .....	13
1.3. Приемы оформления графиков .....	17
1.4. Примеры оформления графиков с использованием методов дескрипторной графики.....	21
1.5. Дополнительные возможности управления свойствами графических окон.....	28
1.6. Вычисление специальных функций и рисование их графиков.....	33
1.7. Особенности построения графических объектов в 3D-графике.....	37
1.8. Моделирование движения средствами графики пакета MATLAB.....	55
1.8.1. Нахождение решения уравнения Шредингера для свободного электрона в виде волнового пакета.....	56
1.8.2. Моделирование движения волнового пакета свободного электрона.....	62
1.8.3. Создание управляющих кнопок для управления работой программы в пакете MATLAB.....	67
1.8.4. Осуществление управления движением волнового пакета с помощью управляющих кнопок.....	72
1.9. Графическое представление зависимости амплитуды и полуширины волнового пакета от времени .....	79
1.10. Графическое представление распределения плотности вероятности импульса электрона для волнового пакета .....	83
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>87</i>
<b>Глава 2. Расчет и визуализация электромагнитного поля в металлических волноводах.....</b>	<b>89</b>
2.1. Монохроматическая электромагнитная волна в металлическом волноводе.....	89
2.2. Граничные условия на поверхности идеального проводника.....	94
2.3. Волноводные моды ТЕ- и ТМ-поляризации.....	95
2.4. Нахождение волноводных мод с помощью потенциалов Герца.....	98
2.5. Вектор Пойнтинга волноводной моды.....	103
2.6. Металлический волновод прямоугольного сечения, ТМ-моды.....	106
2.7. Пример вычисления ТМ-моды.....	118
2.8. ТЕ-волноводные моды.....	126
2.9. Пример вычисления ТЕ-моды .....	138
2.10. Металлический волновод круглого сечения.....	147
2.11. Пример ТМ-моды, волновод круглого сечения .....	163
2.12. Волновод круглого сечения, ТЕ-моды .....	171
2.13. Пример ТЕ-моды, волновод круглого сечения.....	184
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>192</i>

### Глава 3. Элементы квантовой теории рассеяния частиц.

#### Рассеяние электрона на сферическом потенциальном барьере.

<b>Визуализация результатов расчета .....</b>	<b>195</b>
3.1. Введение в квантовую теорию рассеяния .....	195
3.2. Разложение плоской волны по полиномам Лежандра .....	198
3.3. Представление плоской волны рядом с заданной точностью .....	200
3.4. Графическое изображение плоской волны, представленной рядом с заданной точностью .....	208
3.5. Графическое представление плоской волны в виде линий уровня поверхности, являющейся 3D-изображением волны .....	218
3.6. Построение 3D-сечений поверхности, дающей 3D-изображение плоской волны .....	222
3.7. Построение линии пересечения поверхности и плоскости сечения .....	228
3.8. Приближение Борна в задаче рассеяния электрона .....	233
3.9. Вычисление интеграла рассеяния при условии $r \geq a$ .....	234
3.10. Вычисление интеграла рассеяния при условии $r < a$ .....	236
3.11. Волновая функция рассеянного электрона в приближении Борна .....	237
3.12. Использование функции Хевисайда в матричных вычислениях для построения 2D-графиков .....	240
3.13. Использование функции Хевисайда в матричных вычислениях для построения поверхностей в 3D-графике .....	243
3.14. Написание кода волновой функции рассеянного электрона в приближении Борна .....	248
<i>Контрольные вопросы</i> .....	264



### Глава 4. Построение фазовых траекторий решения уравнения Ландау — Лифшица — Гильберта. Исследование стационарных точек. Нахождение предельных циклов .....

<b>266-1</b>	
4.1. Уравнение Ландау — Лифшица — Гильберта .....	266-1
4.2. Спин-поляризованный ток .....	266-4
4.3. Уравнения Ландау — Лифшица — Гильберта с учетом спин-поляризованного тока .....	266-5
4.4. Свойства уравнения LLGSB .....	266-6
4.5. Нормированное уравнение LLGSB .....	266-7
4.6. Уравнение LLGSB для однородной намагниченности .....	266-8
4.7. Фазовые портреты решений уравнения LLGSB .....	266-9
4.8. Стационарные точки решений уравнения LLGSB .....	266-23
4.9. Вычисление стационарных точек уравнения LLGSB .....	266-30
4.10. Определение типов стационарных точек уравнения LLGSB .....	266-37
4.11. Вычисление матричных элементов для ST-точек $m_x^0 = \pm 1$ .....	266-42
4.12. Исследование стационарных точек .....	266-44
4.13. Нумерация стационарных точек .....	266-55
4.14. Визуализация типа стационарных точек в плоскости «поле — ток» .....	267-1
4.15. Циклические фазовые траектории .....	267-12
4.16. Анализ фазовых траекторий для создания алгоритма поиска предельных циклов .....	267-30
4.17. Типы циклических траекторий .....	267-36
4.18. Устойчивый фокус .....	267-55
4.19. Устойчивый узел .....	267-57


4.20. Другие конфигурации полей и спиновой поляризации.....	267-58
4.21. Итог анализа поведения фазовых траекторий при разных конфигурациях полей.....	267-69
4.22. Программная реализация упрощенного алгоритма поиска циклических траекторий.....	267-70
4.23. Автоматический поиск циклических траекторий в заданной области плоскости «поле — ток».....	267-80
4.24. Нахождение частоты предельного цикла с помощью дискретного преобразования Фурье.....	267-106
<i>Контрольные вопросы</i> .....	267-118

**Глава 5. Построение и визуализация линий электрического поля для заданной системы точечных зарядов и линий магнитного поля намагниченной пластины ..... 268**

5.1. Пример построения линий магнитного поля намагниченной пластинки.....	268
5.2. Использование контекста памяти и битовой карты.....	278
5.3. Добавление стрелок на линиях поля.....	280
5.4. Добавление метода Z-буфера для удаления невидимых элементов 3D-объекта.....	282
5.5. Ускорение работы метода Z-буфера.....	287
5.6. Добавление в метод Z-буфера цветовой палитры.....	292
5.7. Построение линий магнитного поля в центральной проекции.....	294
5.8. Использование диалоговых окон для интерактивного взаимодействия с программой.....	296
5.9. Построение линий электрического поля системы электрических зарядов.....	300
5.10. Рисование линий электрического поля двух точечных зарядов.....	301
5.11. Добавление стрелок на линии электрического поля.....	311
5.12. Добавление метода Z-буфера для изображения линий электрического поля.....	312
5.13. Добавление цветовой палитры для изображения линий электрического поля.....	313
5.14. Построение линий электрического поля в центральной проекции.....	315
5.15. Добавление диалогового окна для управления параметрами центральной проекции при построении линий электрического поля.....	318
5.16. Добавление системы диалоговых окон для изменения параметров системы точечных зарядов.....	322
<i>Контрольные вопросы</i> .....	332

**Глава 6. Построение и визуализация электрического поля излучения системы антенн. Создание меню в пакете MATLAB, выполнение расчетов с помощью динамической библиотеки, написанной на языке C++ ..... 334**

6.1. Введение в теорию излучения антенн. Запаздывающие потенциалы.....	334
6.2. Электромагнитное поле произвольной системы источников излучения.....	338
6.3. Поле излучения линейных антенн.....	342
6.4. Нахождение электрического поля излучения системой линейных антенн.....	344
6.5. Код функции, вычисляющей электрическое поле.....	348
6.6. Написание кода динамической библиотеки.....	349
6.7. Создание динамической библиотеки.....	351

6.8.	Создание динамической библиотеки на разных платформах для разных версий Visual Studio и различных версий MATLAB .....	355
6.8.1.	Компилятор VC++ 6.0, MATLAB 6.5 .....	355
6.8.2.	Компилятор VC++ 2005, MATLAB R2007a. Создание динамической библиотеки из рабочего окна MATLAB .....	358
6.8.3.	Создание динамической библиотеки в интегрированной среде разработки IDE компилятора VC++ 2005 .....	361
6.8.4.	Компилятор VC++ 2008, MATLAB R2010a, WINDOWS 7, платформа x64. Создание динамической библиотеки из рабочего окна MATLAB .....	364
6.8.5.	Создание динамической библиотеки в интегрированной среде разработки IDE компилятора VC++ 2008 .....	366
6.9.	Создание программы, визуализации поля излучения одной антенны в системе MATLAB. Создание меню.....	370
6.10.	Создание функции, осуществляющей визуализацию электрического поля излучения одной антенны.....	378
6.11.	Создание функции, осуществляющей визуализацию электрического поля излучения двух антенн.....	391
	<i>Контрольные вопросы</i> .....	393
	<b>Библиографический список</b> .....	<b>395</b>
	 <b>Приложения</b> .....	<b>395-1</b>