

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Е.В. ИЛЬИЧЕВ, Я.С. ГРИНБЕРГ

КВАНТОВАЯ ИНФОРМАТИКА
И КВАНТОВЫЕ БИТЫ
НА ОСНОВЕ
СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ
ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ СТРУКТУР

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебника

НОВОСИБИРСК
2013

УДК 530.145:519.72(075.8)
И 468

Рецензенты:

О.В. Кибис, д-р физ.-мат. наук, проф.;
А. Н. Омелянчук, д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. НАН Украины

Работа подготовлена на кафедре прикладной
и теоретической физики

Ильичев Е.В.

И 468 Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур : учебник / Е.В. Ильичев, Я.С. Гринберг. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – 172 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-2287-8

Учебник посвящен изложению основ квантовой информатики и описанию недавно открытых макроскопических квантовых систем на основе сверхпроводников, так называемых джозефсоновских квантовых битов (кубитов). По уровню изложения он доступен студентам старших курсов, магистрантам и аспирантам физико-технических направлений высших учебных заведений, прослушавшим одно- или двухсеместровый курс квантовой механики. Подробно рассмотрены квантовая механика двухуровневых систем, основы квантовых методов передачи информации, основы физики сверхпроводников. Последняя глава посвящена детальному описанию физических свойств и технологии изготовления квантовых битов на основе сверхпроводниковых джозефсоновских переходов.

Учебник предназначен для магистрантов и аспирантов физико-технических направлений вузов, специализирующихся в области квантовой информатики, физики конденсированного состояния и низкотемпературного эксперимента.

УДК 530.145:519.72(075.8)

ISBN 978-5-7782-2287-8

© Ильичев Е.В., Гринберг Я.С., 2013
© Новосибирский государственный
технический университет, 2013

Оглавление

Предисловие	7
Глава 1. Двухуровневые системы в квантовой механике	9
Введение	9
1.1. Гамильтонова матрица двухуровневой системы	10
1.2. Двухуровневая система в классическом переменном поле.....	17
1.3. Матрицы Паули.....	19
1.4. Гармонический осциллятор	20
1.5. Двухуровневая система в квантовом поле.....	26
1.6. Сфера Блоха	32
1.7. Матрица плотности	32
Библиографический список к главе 1	39
Глава 2. Введение в основы квантовой информатики	41
Введение	41
2.1. Парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена	43
2.2. Современная трактовка парадокса ЭПР.....	45
2.3. Неравенства Белла	48
2.4. Спин-спиновые корреляционные функции	52
2.5. Для чего нужен квантовый компьютер	53
2.6. Как работает квантовый компьютер	56
2.6.1. Сложение	61
2.6.2. Умножение	62
2.7. Квантовая криптография.....	66
2.7.1. Элементарные сведения из криптографии	66
2.7.2. Фотон как квантовый бит	70
2.7.3. Передача ключа с помощью поляризованных фотонов Протокол BB84.....	75
2.8. Квантовая телепортация	84
2.8.1. Перепутанные состояния.....	84
2.8.2. Базис Белла	88
2.8.3. Протокол квантовой телепортации.....	88
2.8.4. Экспериментальная реализация квантовой телепортации.....	91
Заключение.....	97
Обзор литературы к главе 2.....	101
Библиографический список к главе 2.....	103



Глава 3. Сверхпроводниковые джозефсоновские структуры	105
3.1. Основные свойства сверхпроводников	105
Введение	105
3.1.1. Незатухающие токи.....	107
3.1.2. Идеальный диамагнетизм. Выталкивание магнитного поля из сверхпроводника. Эффект Мейсснера–Оксенфельда.....	109
3.1.3. Квантование магнитного потока.....	112
3.1.4. Носители сверхпроводящего тока. Куперовские пары	112
3.1.5. Основное состояние сверхпроводника. Энергетическая щель в спектре элементарных возбуждений	116
3.2. Эффект Джозефсона	117
3.2.1. Стационарный эффект Джозефсона	118
3.2.2. Нестационарный эффект Джозефсона	118
3.2.3. Характеристики джозефсоновского контакта.....	119
3.3. Сверхпроводящие устройства с джозефсоновскими контактами.....	120
3.3.1. Автономный джозефсоновский контакт.....	120
3.3.2. Джозефсоновская генерация.....	122
3.3.3. Сверхпроводящее кольцо с джозефсоновским контактом (ВЧ-СКВИД)	124
3.3.4. Сверхпроводящее кольцо с двумя джозефсоновскими кон- тактами.....	128
3.3.5. Ящик куперовских пар	130
Приложение	137
Библиографический список к главе 3	138
Глава 4. Сверхпроводниковые кубиты.....	139
4.1. Макроскопические квантовые системы.....	139
4.2. Основные типы джозефсоновских кубит	144
4.3. Зарядовый кубит	145
4.4. Фазовый и потоковый кубиты	147
4.5. Технологические основы изготовления сверхпроводящих кубитов	153
4.6. Квантовые измерения – общие сведения	158
4.7. Стандартный квантовый предел.....	160
4.8. Общие требования к измерительным системам для сверхпрово- дящих кубит	162
4.9. Адиабатическое измерение потокового кубита	164
Библиографический список к главе 4.....	171