

УДК 531:530.145

ББК 22.314

В 26

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Южного федерального университета*

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической
физики Педагогического института ЮФУ **Мясников Э. Н.;**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики
Донского государственного технического университета **Никифоров И. Я.**

*Учебник подготовлен и издан в рамках национального проекта
«Образование» по «Программе развития федерального государственного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
“Южный федеральный университет” на 2007–2010 гг.»*

Ведринский Р. В.

В 26 Квантовая механика: учебник / Р. В. Ведринский. – Ростов н/Д:

Изд-во ЮФУ, 2009. – 384 с.

ISBN 978-5-9275-0706-1

Данный учебник посвящен фундаментальным проблемам квантовой физики, новым квантовым эффектам и их приложениям, широко использует математический аппарат и теоретические методы, не изучаемые на должном уровне в стандартных курсах квантовой теории и недостаточно описанные в типовых учебниках. Основное внимание в нем уделено не рассмотрению конкретных квантовых явлений, что легко найти в любом учебнике по квантовой механике, а подробному описанию физических основ квантовой механики, ее математического аппарата, необходимого для изучения современной литературы, методов использования этого аппарата для описания основных нерелятивистских микрообъектов и аксиоматики, устанавливающей связь между математическим аппаратом и характеристиками микрообъектов.

Учебник рассчитан на аспирантов, студентов магистратуры и старших курсов бакалавриата, желающих вести научную работу в следующих областях современной физики: фундаментальные проблемы квантовой физики, физика наноструктур и квантовые компьютеры.

ISBN 978-5-9275-0706-1

УДК 531:530.145

ББК 22.314

© Ведринский Р. В., 2009

© Южный федеральный университет, 2009

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2009

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
ЧАСТЬ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, МАТМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И АКСИОМАТИКА НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ. ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ	9
1.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ	10
1.1.1. Качественное рассмотрение	10
1.1.2. Принципы описания физических объектов в целостном микромире	13
1.1.3. Принципы описания сложных нерелятивистских микросистем	20
1.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И АКСИОМАТИКА КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ	24
1.2.1. Пространство состояний и векторы состояний	24
1.2.2. Наблюдаемые величины, операторы и базисные наборы	32
1.2.3. Аксиоматика квантовой механики	43
1.2.4. Операторы проецирования, условие полноты наборов, функции от операторов	52
1.2.5. Построение пространств состояний сложных физических систем	58
1.2.6. Краткая сводка аксиом квантовой механики	75
1.2.7. Методы определения собственных векторов и собственных значений эрмитовых операторов	79
1.3. ДИНАМИКА В НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ. ПРАВИЛА КВАНТОВАНИЯ	90
1.3.1. Представление Шредингера	90
1.3.2. Представление Гейзенберга. Правила квантования	98
1.3.3. Представление взаимодействия и нестационарная теория возмущений	107
1.4. ПРОСТРАНСТВО СОСТОЯНИЙ ОДНОЙ БЕССПИНОВОЙ ЧАСТИЦЫ	112
1.4.1. Построение пространства состояний	112
1.4.2. Собственные функции операторов координаты и импульса в координатном представлении. Импульсное представление	119
1.4.3. Нахождение собственных функций и собственных значений оператора Гамильтона в случае одномерного движения частицы	124
1.4.4. Собственные векторы и собственные значения оператора Гамильтона гармонического осциллятора	137
1.4.5. Соотношение неопределенности	144

1.4.6. Квантовые состояния бесспиновой частицы в трехмерном пространстве. Основные операторы наблюдаемых величин	151
1.4.7. Собственные векторы и собственные значения операторов проекций импульса, орбитального момента и квадрата орбитального момента	157
1.4.8. Вычисление собственных функций и собственных значений оператора Гамильтона в трехмерном случае	164
1.4.9. Вычисление собственных функций и собственных значений оператора Гамильтона со сферически-симметричным потенциалом	169
1.4.10. Динамические процессы в пространстве состояний одной бесспиновой частицы	175
1.5. ПРОСТРАНСТВО СОСТОЯНИЙ ОДНОЙ ЧАСТИЦЫ СО СПИНОМ $1/2$	184
1.5.1. Построение пространства спиновых состояний	184
1.5.2. Построение полного пространства состояний частицы со спином $1/2$. Операторы Гамильтона для частицы со спином $1/2$	196
1.6. ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ МНОГОЧАСТИЧНЫХ СИСТЕМ	204
1.6.1. Построение пространств состояний систем нетождественных частиц	204
1.6.2. Построение пространств состояний систем тождественных частиц	210
1.6.3. Представление чисел заполнения. Пространство Фока. Метод вторичного квантования	227
1.7. ОПИСАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНСАМБЛЕЙ МИКРОСИСТЕМ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОПЕРАТОР И ЕГО СВОЙСТВА	249
1.7.1. Смешанные ансамбли	249
1.7.2. Описание статистических свойств ансамблей, которые не являются чистыми, но которые заранее также нельзя считать смешанными	260
ЧАСТЬ 2. НЕРЕЛЯТИВИСТСКАЯ КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ	269
2.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ	270
2.2. СТАЦИОНАРНЫЙ ПОДХОД К КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ	274
2.1. Постановка задачи рассеяния в стационарном подходе	274
2.2.2. Интегральное уравнение для волновой функции задачи рассеяния. Борновские приближения для амплитуды рассеяния. ψ^+ , ψ^- - векторы. Уравнения Липпмана-Швингера	277

2.2.3. Свойства ψ^+ , ψ^- - векторов. Полная функция Грина. Уравнение Дайсона ...	286
---	-----

2.3. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАССЕЯНИЯ

В НЕСТАЦИОНАРНОМ ПОДХОДЕ	291
2.3.1. Постановки задачи рассеяния в нестационарном подходе	291
2.3.2. Описание процесса адиабатического включения и выключения взаимодействия в теории рассеяния. S-матрица	295
2.3.3. Расчет сечения рассеяния в нестационарном подходе. «Золотое правило» Ферми	301
2.3.4. Общие свойства S-матрицы, оптическая теорема	303
2.3.5. Применение «золотого правила» Ферми для описания процессов неупругого рассеяния	306
2.3.6*. Реалистический подход к задаче рассеяния	309

2.4. РАССЕЯНИЕ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫМ

ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ	319
2.4.1. Постановка задачи	319
2.4.2. Решение уравнения Шредингера в сферически-симметричном потенциале	319
2.4.3. Решения задачи рассеяния для сферически-симметричного потенциального центра	328
2.4.4. Свойства сдвигов фаз рассеяния	333

2.5. АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА S-МАТРИЦЫ. ПОВЕДЕНИЕ

ФАЗ РАССЕЯНИЯ ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ	337
2.5.1. Аналитические свойства S-матрицы	337
2.5.2. Физический смысл полюсов S-матрицы	340
2.5.3. Поведение сдвигов s-фаз рассеяния при малых энергиях	341

2.6. РЕЗОНАНСНЫЕ И КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ.

ВРЕМЯ РАССЕЯНИЯ	345
2.6.1. Квazистационарные и резонансные состояния в квантовой механике ..	345
2.6.2. Распад квазистационарных состояний	350
2.6.3. Время рассеяния	356

ПРИЛОЖЕНИЯ 362

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ	363
---	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ	377
--	-----

Рекомендуемая литература	382
--------------------------------	-----