

Р.С. Галиев

**КОНЦЕПЦИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АТОМА
В ПРОСТРАНСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СФЕР**

МОНОГРАФИЯ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ИСПРАВЛЕННОЕ
И ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Воскресенск
Издательский дом «ЛИРА»
2007

УДК 539.14
ББК 22.383
Г15

Научные рецензенты:

д.ф.-м.н., профессор, академик МАЭ **Л.И. Гречихин**;
д.х.н., член-кор. МАЭ **С.Г. Терешкова**

Галиев Р.С.

Г15 Концепция динамической структуры атома в пространстве потенциальных сфер. 2-е изд., испр. и перераб./ Р.С. Галиев — Мн: Издательский дом «Лира», 2007. — 252 с.
ISBN 5-94133-003

Установлены природа волнового движения и механизмы взаимодействия заряженных квантовых частиц с потенциальными полями. Разработана корпускулярно-динамическая структурная модель электронной оболочки и ядра атома. На основе сферической геометрии поляризованного пространства и интегральной системы координат предложено решение уравнения Шредингера для описания состояния электронов и протонов в многозарядном атоме. Рассмотрены принципы структурной организации квантовых частиц и проявления их спина.

Рассчитана на научных, инженерно-технических работников по атомной и ядерной физике, химии и спектроскопии, микроэлектронике и радиосвязи, нанотехнологиям и т.п., а также на преподавателей, аспирантов, студентов, школьников и всех, кто интересуется вопросами структуры атома и устройства Мироздания.

Табл. 8. Ил. 46. Библиогр.: 14 назв.

УДК 539.14
ББК 22.383

ISBN 5-94133-003

©Галиев Р.С., 2007.

Rakhimyan S. Galiev

**CONCEPT OF DYNAMIC STRUCTURE
OF ATOM IN THE SPACE OF POTENTIAL
SPHERES**

MONOGRAPH

SECOND EDITION, REVISED AND UPDATED

LIRA Publishing House
2007

UDC 539.14
BBC 22.383
G15

Science reviewers:

Professor **Leonid I. Grechikhin**, DSci (PhysMath), Member of International Academy of Environmental Science (IAES); **Svetlana G. Tereshkova**, DSci (Chemistry), Associate Member of IAES

Galiev R.S.

G15 Concept of dynamic structure of atom in the space of potential spheres. Second edition, revised and updated/ R.S.Galiev — Minsk:
LIRA Publishing House, 2007. - 252 p.
ISBN 5-94133-003

The study was undertaken to identify the nature of undulation and mechanisms of interaction of the charged quantum particles with potential fields. It has resulted in development of a corpuscular-and-dynamic structural model of electron shell and atomic nucleus. Proposed is the solution of Schrodinger equations for describing the state of electrons and protons in a multicharge atom on the basis of spherical geometry of polarized space and integrated system of coordinates. The principles of structural organization of quantum particles and manifestation of their displays are considered in every detail.

The monograph is intended for scientists, researchers and engineering technicians working in the area of atomic and nuclear physics, chemistry, spectrometry, microelectronics, wireless communications, nanotechnologies etc. as well as for lecturers, post-graduates, students, high schoolers and all those who are concerned with the structure of atom and macrocosm.

Tables: 8. Figures: 46. References: 14 titles

UDC 539.14
BBC 22.383

ISBN 5-94133-003

©Galiev R.S., 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Введение	11
Глава 1. Происхождение понятия «атом» и его развитие	17
1.1. Античный мир.....	17
1.2. Средние века.....	18
1.3. Начало современной концепции понятия «атом».....	19
1.4. Доказательство атомизма в теории и экспериментах.....	21
1.5. Электричество и атом.....	22
1.6. Концепция понятия «атом» к концу XIX века.....	24
Глава 2. Открытия структурных составляющих атома	25
2.1. Открытие электрона.....	21
2.2. Открытие протона.....	34
2.3. Изотопы.....	34
2.4. Первая модель атома.....	35
Глава 3. Зарождение теории излучения и современного представления об атоме	36
3.1. Возникновение первичной теории «света».....	36
3.2. Тепловое излучение.....	37
3.3. Атомные спектры.....	40
3.4. Модель атома Резерфорда.....	42
Глава 4. Квантово-механическое описание электронной оболочки атома и его концептуальные противоречия	44
4.1. Модель атома Бора.....	44
4.2. Квантовые числа.....	46
4.3. Волновая механика.....	50
4.4. Концептуальные противоречия квантовой механики.....	55
Глава 5. Концепция геометрии реального пространства и динамика движения	59
5.1. Соотношение динамических свойств и геометрии поляризованного пространства в описании движения тел.....	59
5.2. Геометрия пространства и соотношение форм равномерного движения.....	68
5.3. Свойства геометрии реального пространства.....	74
5.4. Концепция системы координат для описания динамики движения в реальном пространстве.....	77
Глава 6. Пространственно-динамические свойства квантовых частиц	80
6.1. Концепция спиральной динамики движения квантовых частиц в пространстве.....	80
6.2. Спиральное движение в условиях.....	

потенциального поля.	89
6.3. Версия проявления спина у квантовых частиц.	97
6.4. Гироскопические свойства вращающихся систем.	99
Глава 7. Описание состояний электронов атома в пространстве потенциальных сфер.	105
7.1. Волновая функция движения электрона в атоме и интегральная система координат.	105
7.2. Движение электрона в потенциальной сфере.	110
7.3. Характеристика состояний электронов в атоме.	122
Глава 8. Концепция структурной организации атома.	130
8.1. Общие условия структурной организации атома.	130
8.2. Образование спиновых пар электронов в поле заряда ядра.	131
8.3. Упаковка орбиталей электронов в атоме.	140
8.4. Единая система спиновых пар атома и принципы их распределения.	143
8.5. Граничные условия действия квантовых чисел в атоме и система элементов Менделеева.	149
8.6. Принципы заполнения оболочек орбиталей атомов.	156
8.7. Распределение протонов или электронов в атоме.	161
Глава 9. Версия решения волнового уравнения Шредингера в интегральной системе координат.	166
9.1. Подходы к решению волнового уравнения.	166
9.2. Версия решения уравнения Шредингера для «одномерной» потенциальной сферы.	169
9.3. Версия решения уравнения Шредингера для «трехмерной» потенциальной сферы.	177
Глава 10. Формирование пространственно-динамической структуры ядра атома.	186
10.1. Ядерная трансформация электронов и протонов.	186
10.2. Пространственная модель ядра атома.	196
10.3. Роль и место избыточных нейтронов в ядре атома	204
10.4. Упрощенная схема распределения электронов и протонов в атоме.	212
Глава 11. Атомы и элементарные квантовые частицы.	215
11.1. Общность структуры атома и квантовых частиц.	215
11.2. Магнитные свойства и собственный спин квантовых частиц.	217
Заключение	226
Conclusion.	239
Литература	252

CONTENTS

Foreword	9
Introduction	11
Chapter 1. The concept of atom: origin and development	17
1.1. Ancient world.	17
1.2. Middle Ages.	18
1.3. Inception of a modern concept of atom.	19
1.4. Proving the doctrine of the atom in theory and experiment	21
1.5. Electricity and atom.	22
1.6. The concept of the atom by the turn of the 19 th century. ...	24
Chapter 2. Discovery of structural constituents of the atom.	25
2.1. Discovery of electron	25
2.2. Discovery of proton	34
2.3. Isotopes.	34
2.4. The first model of the atom	35
Chapter 3. Origin of the radiation theory and modern concept of the atom.	36
3.1. Uprise of the primary light theory.	36
3.2. Thermal emission.	37
3.3. Atomic spectra.	40
3.4. Rutherford atomic model.	42
Chapter 4. Quantum-mechanical description of the atom electronic shell and its inconsistency.	44
4.1. Model of Bohr atom	44
4.2. Quantum numbers.	46
4.3. Wave mechanics.	50
4.4. Conceptual contradictions of quantum mechanics.	55
Chapter 5. Concept of the real space geometry and dynamics of motion.	59
5.1. Correlation of dynamic properties and geometry of polarized space in describing the motion of body.	59
5.2. Geometry of space and interrelation of forms of steady motion	68
5.3. Properties of the real space geometry	74
5.4. Concept of the coordinate system for describing the dynamics of motion in real space.	76
Chapter 6. Spatial- and-dynamic properties of quantum particles.	80
6.1. Concept of the spiral dynamics of the quantum particle motion in space	80
6.2. Spiral motion in the conditions of curl-free field	89

6.3. Theory for manifestation of spin in quantum particles. . .	97
6.4. Gyroscopic properties of rotating systems	99
Chapter 7. Description of states of the atom electrons	
in space of circulation-free spheres	105
7.1. Wave function of electron motion in the atom and the integrated system of coordinates.	105
7.2. Electron motion in a circulation-free sphere.	110
7.3. Characteristic of the electron state in the atom.	122
Chapter 8. Concept of structural organization of the atom.	130
8.1. General conditions of structural organization of the atom.	130
8.2. Formation of the electron spin pairs in the field of nucleus charge	131
8.3. The electron orbital packaging in the atom	140
8.4. Unified system of the atom spin pairs and principles of their distributions.	143
8.5. Boundary conditions of the quantum number effect in the atom and Mendeleev's system of elements	149
8.6. Principles of filling of the orbital shells of atoms. . .	156
8.7. Distribution of protons or electrons in the atom. . .	161
Chapter 9. The version of solution for Schroedinger wave equa- tion in the integrated system of coordinates.	166
9.1. Approaches to solution of the wave equation.	166
9.2. Version of solution of Schroedinger equation for a 'one-dimensional' circulation-free sphere.	169
9.3. Version of solution of Schroedinger equation for a 'three-dimensional' circulation-free sphere	177
Chapter 10. Formation of the spatial-and-dynamic structure of the atomic nucleus	186
10.1. Nuclear transformation of electrons and protons. . . .	186
10.2. Spatial model of the atomic nucleus.	196
10.3. Role and place of excess neutrons in the atomic nucleus	204
10.4. Simplified pattern of distribution of electrons and protons in the atom	212
Chapter 11. Atoms and elementary quantum particles.	215
11.1. Similarity of structures of the atom and quantum particles.	215
11.2. Magnetic properties and intrinsic spin of quantum particles.	217
Conclusion	239
References	252

*Мы рождены во тьме и невежестве,
но Провидение открывает нам глаза
и рассеивает тьму лучом знания*

Предисловие к второму изданию

Второе издание представляет собой переработанный материал с учетом мнений и замечаний читателей, а также дальнейшего осмысления идей, изложенных в первом издании монографии. Реконструкция коснулась 3 и 4 гл., путем перераспределения изложенного материала и тезисного сокращения анализа противоречий в квантовой механике. Глава 5, на основе принципа преемственности выполнения законов классической механики в поляризованном пространстве, дополнена концепцией понятия — «геометрия пространства».

Во избежание путаницы переосмыслено определение магнитного квантового числа, которое в новой редакции дано без всяких оговорок, имеющих место в первом издании. Осуществлены некоторые другие дополнения, а также исправления, которые носят конкретизирующий или иной «отглаживающий» характер.

Автор выражает признательность читателям, а также особую благодарность. д.х.н. П.П. Гладышеву, к.пед.н. Д.Н. Кожевникову, д.ф.-м.н. Н.Ф. Степанову и Е.В. Ченскому за замечания и предложения по первому изданию данной монографии.

Рахимьян Галиев

Октябрь, 2006 г.

Предисловие к первому изданию

Более века тому назад была создана квантовая механика микромира, которая в основе своей остается неизменной до сегодняшних дней. С тех пор на основе фундаментальной теории квантовой механики появились многие прикладные направления науки и техники, которые до неузнаваемости изменили Мир и качество жизни людей. В то же время, несмотря на колоссальный вклад квантовой механики в развитие философской мысли и фундаментальной науки, внутренние противоречия, заложенные в ней, со временем стали тормозом в широком прикладном плане и глубоком понимании законов микромира вообще.

В настоящей монографии на суд читателей выносятся полностью согласующаяся с Периодической системой элементов Д.И. Менделеева концепция корпускулярной динамической структуры атома, которая (с некоторыми поправками) основана на существующей теории квантовой механики, но одновременно лишена присущих ей внутренних противоречий и полностью согласуется с классической механикой. Это достигнуто в результате выдвижения автором новых фундаментальных положений о свойствах пространства, динамике движения в нем материальных тел и других теоретических основ, новизна которых поможет выработке новой парадигмы (основных мировоззренческих концепций) науки. Результаты исследований, приведенные в монографии, требуют дальнейшего глубокого осмысления, что может привести к открытию новых направлений в науке и технике и к новым философским обобщениям. Не исключено, что среди читателей будут те, кто с недоверием или полным отрицанием отнесется к содержанию работы. Однако убежден, что равнодушных не будет, поскольку высказанные здесь идеи приводят к исключительно простому и целостному описанию структурной организации атома одной простой функцией при определенных граничных условиях, на что указывал и один из основателей квантовой механики — Гейзенберг.

Ввиду того, что проблемы, затрагиваемые в монографии, касаются обширных областей знаний, к сожалению, я не мог раскрыть все вопросы, которые могут появиться у читателя в процессе изучения труда, за что приношу свои искренние извинения. С благодарностью приму критические замечания, высказанные в адрес работы, поскольку это будет означать, что мы обменялись идеями, которые, в конечном счете, помогут найти наиболее верный путь к осмыслению законов Мироздания.

Автор благодарит д. х. н., член-кор. МАЭ Терешкову С.Г. за помощь в подготовке рукописи к изданию.

2005 г.

Рахимьян Галиев

Введение

Одним из современных проблемных утверждений в физике является общеизвестное утверждение теории квантовой механики о том, что электрон в атоме ведет себя не как частица, а представляет некое вероятностное облако энергетического состояния. Это утверждение современной теории квантовой механики о природе электрона принимается за ключевое. Однако оно не обеспечивает полного понимания структуры атома, его физической природы.

Несмотря на колоссальные достижения квантовой механики в понимании свойств микромира, на сегодняшний день так и не создано до конца последовательной и непротиворечивой концепции структуры атома и элементарных квантовых частиц. В итоге современная наука и философская мысль до сих пор полностью не осознали сущности атома в целом. Отсутствует понимание физической структуры электронной оболочки и ядра атома, практически нет теории движения квантовых частиц во взаимодействии их с пространством и т.д.

В монографии предложена согласующаяся с классической механикой непротиворечивая концепция квантово-механического описания динамической структуры электронной и ядерной оболочек атома, где, в частности, решено уравнение Шредингера для многозарядного атома. Предложена концепция природы волнового движения квантовых частиц в пространстве.

В гл. 1-3 книги дается краткий обзор истории формирования понятия «атом» и появления его современной концепции. Вкратце прослеживается история и логика формирования предсовременных квантово-механических представлений о строении атома.

В гл. 4 рассматривается зарождение современной теории излучения и квантово-механического описания структуры электронной оболочки атома, а также дан краткий анализ концептуальных противоречий такого описания. Делается вывод о недопустимости вероятностного толкования пребывания электрона в атоме и об ошибочности применения при этом принципа неопределенности Гейзенберга. Кратко раскрыты концептуальные проблемы, связанные с решением уравнения Шредингера.

Результаты анализа решения уравнения Шредингера показывают на некорректность исходных и граничных условий решения этого уравнения, а также на ошибочность интерпретации выводов из него, что, в конечном счете, приводит к несоответствию решений физической реальности. При этом для многоэлектронных атомов до сих пор не найдены даже подходы к решению этого уравнения. Однако основатели квантовой механики и их последователи не теряют надежды и видят пути

решения уравнения Шредингера, прежде всего, в отыскании «правильной» волновой функции, при которой ожидается, что все проблемы сами собой снимутся. Однако такая волновая функция до сих пор не найдена, а значит, и уравнение Шредингера для многозарядных атомов фактически не решено. В итоге, в квантовой механике создалась тупиковая ситуация, выход из которой традиционными способами найти не удается.

В монографии показано, что причиной отсутствия решения уравнения Шредингера является не отыскание «правильной» волновой функции, а несоответствие орбитальной формы движения электронов в атоме системе координат для описания этого движения. Это значит, задача решения уравнения Шредингера должна сводиться к отысканию «правильной» системы координат, оси которой должны соответствовать стационарному равномерному движению электрона в атоме, при котором не нарушаются условия выполнения Первого закона Ньютона.

В гл. 5 проводится краткий анализ евклидовой и других геометрий пространства, созданных позже. На основе такого анализа делается вывод о том, что свободное равномерное круговое движение материальных тел в реальном пространстве эквивалентно такому же равномерному, но прямолинейному движению в абсолютно пустом пространстве. В итоге разработана концепция геометрии пространства потенциальных сфер, где пространство при бесконечно большом радиусе сферы представляет собой частный случай, представляющий на поверхности сферы плоское евклидово пространство.

Разработана расширенная концепция действия Первого закона Ньютона. При этом действие закона распространяется не только на евклидово пространство при бесконечно большом радиусе, но и на пространство при конечном радиусе кривизны его сферы.

Для описания состояния электрона в атоме в пространстве потенциальных сфер впервые предлагается интегральная система координат, которая одновременно включает в себя следующие взаимообусловленные прямоугольные системы координат: 1) систему координат на потенциальной сфере для отражения орбитального движения, круговые координатные оси которой образованы на линиях пересечения больших окружностей сферы с взаимно-перпендикулярными плоскостями; 2) систему координат, оси которых отображают направления радиус-векторов этих орбит.

Необходимо заметить, что понятие «радиус-вектор» введен впервые. Он численно соответствует радиусу орбиты и по направлению совпадает с направлением вектора момента количества движения орбитального тела.

В такой интегральной системе координат для отражения состояния и ориентации электрона в атоме достаточно знать проекции радиус-вектора этой орбиты на соответствующие взаимно-перпендикулярные координатные оси радиус-векторов.

Нахождение предлагаемой координатной системы является недостаточным условием для полного отражения движения, например, электрона в условиях потенциального поля. Поскольку здесь нерешенной остается еще одна проблема, которая связана с волновым движением квантовых частиц де Бройля в пространстве, по законам, отличным от классических законов, что может повлиять на их орбитальное движение.

Исходя из вышеизложенного, в гл. 6 рассматривается природа движения квантовых частиц в пространстве. Показано, что волновое движение квантовых частиц обусловлено их спиральным характером. Рассматриваются некоторые пространственно-динамические свойства квантовых частиц в условиях их спирального движения, например, электрона в атоме. Анализируются причины проявления у электрона собственного спина. Помимо этого, аналитически выведен закон Мозли, установленный им эмпирически на основе опытных данных, и найден ряд других характеристик состояния электрона в атоме, выявленных ранее только на основании опытных данных.

Поскольку электрон при спиральном движении вращается вокруг собственной оси, то он при движении в пространстве и атоме представляет собой элементарный гироскоп. Поэтому в гл. 6 рассматриваются свойства связанных гироскопических систем, которые адекватны гироскопическим системам электронов в атоме. Установлено, что во избежание появления дополнительной инертной массы, обусловленной гироскопическим эффектом, электроны в атоме попарно и в совокупности создают нейтральную систему по отношению к проявлению гироскопического эффекта, что достигается образованием связанных через ядро атома спиновых пар орбит электронов, т.е. орбиты электронов объединяются в пары с противоположными направлениями вращения и суммарным моментом количества движения, равным нулю.

В гл. 7 рассматриваются закономерности описания орбитально-го движения электрона в атоме с использованием интегральной системы координат. Установлено, что спиральное движение электрона в атоме на орбите ядра может описываться простыми тригонометрическими функциями, например, синусоидой.

Так как движение электрона на стационарной орбите квантовано, то общее энергетическое состояние электрона на орбите зависит от общего квантового числа, а ориентация этой орбиты в интегральной системе координат зависит еще от трех квантовых чисел проекций ор-

биты, сумма которых равна общему квантовому числу. Очевидно, что все эти квантовые числа не могут принимать свои значения произвольным образом, поэтому в гл. 8 для определения граничных условий их действия рассмотрены модельные условия совместного существования в поле заряда ядра заряженных частиц на примере электронов.

Так как спиральное движение электронов идентично движению гироскопов, то в гл. 8, в первую очередь, рассмотрены результаты проявления гироскопического эффекта при захвате электрона на круговую орбиту ядра. При этом ось орбиты по отношению к оси спирального вращения электрона является осью вынужденного вращения. Очевидно, что эти оси при захвате электрона на орбиту ядра направлены друг относительно друга взаимно перпендикулярно. Проявление гироскопического эффекта заключается в том, что электрон поворачивает свою спиральную ось вращения таким образом, чтобы она совпала с осью вынужденного вращения, т.е. с осью орбиты. Это, в конечном счете, приводит к тому, что электрон занимает стационарную позицию с координатами, совпадающими с координатами радиус-вектора орбиты. Такая стационарная позиция электрона называется орбиталью, она имеет радиус вращения, равный радиусу спирального движения электрона, что соответствует его условному размеру. При этом электроны попарно образуют спиновые пары, т.е. занимают позиции, где радиус-векторы их орбиталей ориентированы по одной линии, но в противоположных направлениях, а сами орбитали расположены на удалении от центра атома на расстоянии, равном радиусу орбиты.

Примечательно то, что найдены модельные условия трансформации спиновых пар орбит в спиновые пары стационарных орбиталей, при которых электрон из неопределенного состояния на орбите приобретает определенное состояние на орбитали.

При этом в системе связанных гироскопов всего атома в результате создается нейтральная гироскопическая система вращающихся электронов, представляющая общую спиновую пару атома. Примечательно то, что найденная динамическая система атома, представляющая спиновую пару, соответствует фитонной модели первичного вихревого элемента пространства Акимова и теории физического вакуума Шипова.

Учет вышеперечисленных факторов позволил найти граничные условия разрешенных значений всех квантовых частиц при их совокупном взаимодействии. Разрешенные сочетания квантовых чисел представляют собой распределение электронов в атоме, полностью согласующееся с данными Периодической системы элементов Д.И. Менделеева, но в количестве, в два раза превышающем данные этой таблицы для электронной оболочки атомов. При этом распределение электронов

в атоме адекватно распределению протонов в ядре. С учетом этого можно считать, что избыточная часть электронов, равная половине их общего количества в атоме, подвергается ядерной конверсии путем поглощения их протонами ядра с образованием нейтронов, что полностью соответствует, по современным данным, общей структуре атома.

В гл. 9 рассматривается версия решения уравнения Шредингера в интегральной системе координат для многоэлектронных атомов. В этой системе различные состояния орбитальных электронов атома описываются синусоидальными функциями одного и того же типа, отличающимися друг от друга только значениями общего квантового числа и соответствующими значениями радиусов орбит. При этом ориентации этих орбит отличаются только значениями квантовых чисел их проекций, соответствующих ориентации радиус-векторов орбит по значениям их проекций на координатные оси. В этих условиях решение уравнения Шредингера имеет тривиальный характер, а распределение электронов в атоме, найденное в результате такого решения, полностью соответствует данным Периодической системы элементов Д.И. Менделеева и состояниям их в атоме по теории Бора.

В гл. 10 рассматриваются модельные условия самоорганизации динамической структуры ядра на основе ранее принятого положения о том, что электронная структура атома адекватно отвечает структуре ядра атома. В интегральной системе координат, согласно разрешенному сочетанию квантовых чисел по распределению заряженных частиц в атоме, приводятся модельные расчеты реальных координат нуклонов ядра.

Помимо этого, в гл. 10 на основе анализа найденной динамической структуры ядра указывается роль и место избыточных нейтронов в ядре атома. И наконец, на основе разрешенных сочетаний квантовых чисел приводятся структурные модели ядер на примере атомов инертных газов.

В гл. 11 рассматриваются принципы организации динамических структур элементарных квантовых частиц. На основе сопоставительного анализа существующих теорий о структуре элементарных частиц и найденной версии динамической структуры атомов установлена общность принципов структурной организации атомов и квантовых частиц.

Для проверки соответствия формы движения квантовых частиц спиральному движению рассматриваются модельные условия их движения в пространстве, а также природа проявления ими собственного спина. Эти исследования подтверждают общность динамических структур атомов и элементарных квантовых частиц, а также общность их спирального характера движения в пространстве.

В предложенной работе на основе установленной версии расширенного толкования Первого закона Ньютона открыты новые законы движения квантовых частиц в свободном пространстве и условиях потенциального поля, а также принципы структурной организации атома и квантовых частиц. На основе этого в монографии в логической последовательности излагается концепция динамической структуры атома в пределах законов классической и квантовой механики с учетом действия между квантовыми частицами электрических и других силовых полей.

Глава 1

Происхождение понятия «атом» и его развитие

1.1. Античный мир

Возникновение каких-либо сложных понятий глубинного философского характера становится возможным только при определенном уровне развития цивилизации. Понятие «атом», несомненно, является результатом синтеза представлений о реальном физическом мире из комплексного объема знаний, достигнутых в результате высокого развития философской мысли.

Происхождение понятия «атом», как полагают, теряется в глубине веков древнейших цивилизаций. Наиболее известное, дошедшее до нас представление об атоме возникло и развивалось у древнегреческих философов в лице ученых философов Левкиппа, Демокрита и Эпикура. Представление об атоме у них сформировалось путем логических рассуждений, чисто умозрительно. Если бы все бесконечно делилось, предполагали они, то материальный мир не смог бы существовать. Значит, есть предел делимости, а это значит, что есть перемещение частиц.

Греческими философами понятие «атом» идентифицируется с понятием о неделимых частичках, имеющих невидимые глазу очень маленькие размеры и которые не могут быть уничтожены. Слово «атом» в переводе с греческого как раз и означает «неделимый». Левкипп наделил атомы дополнительными качествами по их форме. По его теории атомы могут быть самой различной формы: круглые, пирамидальные, плоские и т.д. Из этого положения вытекает неисчерпаемое разнообразие природы, состоящей из атомов. Так он считал, что атомы железа, цепляясь крючочками друг за друга, образуют твердое тело, а круглые атомы воды могут образовывать жидкость.

Атомисты Греции высказывали в различной форме и идею сохранения материи. Так, Демокриту принадлежит изречение: «Ничто из того, что есть, не может быть уничтожено». В этом идейном плане высказывал свою мысль и Эпикур: «Ничто новое во Вселенной не возникает вне уже происшедшего безграничного времени» [1].

Таким образом, понятие «атом», возникшее гениальной догадкой древнегреческих философов, предвосхитило развитие научного мировоззрения почти на 25 веков.

1.2. Средние века

В средние века и Эпоху возрождения атомная теория не имела успеха и была практически забыта. Это обстоятельство было обусловлено тем, что развитие химии с древнейших времен, главным образом, опиралось на философские взгляды Аристотеля (384–322 гг. до н.э.). Учение этого величайшего мыслителя основывалось на абстрактных принципах явлений природы. Этими принципами были холод, сухость и влажность. Комбинируя их попарно и наделяя ими «первичную материю» [2], Аристотель выводил четыре «основных элемента» — землю, огонь, воздух и воду — по схеме:

		сухость	
	земля		огонь
холод			тепло
	вода		воздух
		влажность	

VIII–XII века были периодом расцвета химии, в основном, в арабских странах, где химия была переименована в алхимию в результате добавления приставки ал, характерной для языка арабов. Вообще, это направление развития химии само по себе весьма интересное явление, которому до сих пор не уделяли должного внимания. Алхимики полагали, что, руководствуясь известным принципом, а также свойствами веществ, введенных позднее (растворимость, горючесть, металличность), можно получить «философский камень», который обладал бы свойствами превращения одних металлов в другие, продлевания жизни. Полагали также, что человек, достигший определенных психических и др. качеств, может влиять на процессы физического и химического характера, а также на процессы превращения одних элементов в другие. Эта наука была тесно связана с природой самого человека и мистицизмом. Так, например, китайское направление алхимической науки долгое время безуспешно добивалось приготовления эликсира жизни — киновари из первичных элементов. В конце концов, они пришли к выводу, что киноварь нужно изготавливать, используя самого человека, т.е. его тело, которое включает такие же «принципы» и «основные элементы», что и весь окружающий мир и душу.

Религиозная китайская философия утверждает, что все первичные элементы, из которых состоит окружающий мир, имеют первичную духовную единицу, которая постепенно развивается до божественного уровня, начиная от элементов земли, постепенно переходя все стадии

развития в кристаллах, микробах и т.д., достигая развития до уровня человека.

Согласно религиозной философии Индии, Душа — Атма — это крошечная частица энергии, неотъемлемая часть Господа, которая существует сама по себе, отлична от тела и является в нем источником сознания [3].

Таким образом, у восточных религиозных философов первичная неделимая духовная субстанция Атма является как бы отражением атома древнегреческих философов в духовном плане. А это значит, что атом у восточных философов наделен не только физической сущностью, но и духовной.

1.3. Начало современной концепции понятия «атом»

К концу XVIII века на фоне огромного накопленного опыта по созданию различных веществ и имперических фактов, утвердилось понимание того, что вещества отличаются друг от друга не в зависимости от различных пропорций принципов (тепла, холода, сухости и влаги), а от отличия совокупности свойств самих веществ. Такими отличиями могут быть, например, их количественные отношения в сложном составном веществе. Приходило понимание того, что вещества первичны, и они подразделяются на простые и сложные.

Таким образом, к этому времени с началом развития количественной химии сформировалось понятие «химический элемент».

Французский математик Антуан Лавуазье развил современную концепцию химических элементов, как «последнюю стадию, на которой возможен анализ», и установил закон сохранения веществ при химических реакциях.

В 1799 г. французский химик Пруст открыл закон сохранения постоянства состава химических соединений. А его современники, ирландский химик Байрон Хиггинс и его племянник Вильям Хиггинс пришли к выводу о том, что химические соединения образуются из первичных частиц реагирующих веществ (химических элементов).

В 1805 г. английский химик и физик Джон Дальтон (1766–1844) выдвинул гипотезу о том, что вещества состоят из мельчайших частиц материи, причем частиц различного вида, соответствующих различным химическим элементам. Он назвал эти частицы атомами. В своих аргументах в поддержку «атомной теории» Дальтон основывался на взглядах древнегреческих философов и на последних достижениях химической науки, а также на законе кратных отношений, открытый самим автором на основе анализа состава газов, таких как метан, этилен, оксид углерода и др.

Закон кратных отношений гласит: если вещество A соединяется с веществом B двумя или более путями, образуя вещества C и D , то при постоянной массе A и B , входящие в различные продукты реакции, относятся друг к другу как малые целые числа.

Правдоподобной интерпретацией этого закона является вывод о том, что при соединении элементарные вещества ведут себя как дискретные вещества или атомы.

Другим заключением, сделанным Дальтоном на основе его данных, был вывод о том, что атомы веществ имеют различный вес. Он придавал большое значение относительным весам, с помощью которых можно определять состав веществ, и особенно подчеркивал, что химический символ означает не только элемент, но и массу, соответствующую этому элементу. В этих утверждениях Дальтон заложил концепцию атомных весов, которая направляла химиков на определение относительного веса атомов.

В 1808 г. работы Гей-Люссака подтвердили и развили работы Дальтона о кратных отношениях. Далее, в 1811 г. итальянский физик Авогадро предположил, что существуют различные виды малых частиц — «элементарных молекул» (атомов), которые, соединяясь, могут давать влажное вещество. Он показал, что для объяснения реакции образования аммиака надо считать молекулу водорода двухатомной [4, с. 6].

Авогадро выдвинул также очень важное правило, известное как закон Авогадро, которое гласит, что при одинаковых температуре и давлении равные объемы газов содержат равное число молекул. Этот закон в дальнейшем лег в основу одного из методов определения атомных весов.

Итак, к началу девятнадцатого века возродилось понятие «атом» на основе новых научных знаний об окружающем мире и их философских обобщений.

Новое понятие «атом» складывалось из следующих законов и положений:

- все вещества окружающего мира состоят из химических элементов или из их соединений;
- химические элементы состоят из мельчайших частиц материи — атомов;
- все атомы одного и того же элемента идентичны, соединения образуются в результате сочетания двух или нескольких элементов при определенном числе атомов каждого из них;
- атомы различных элементов отличаются по весу и совокупности химических и физических свойств.

1.4. Доказательство атомизма в теории и экспериментах

Дальнейшее развитие понятие «атом» получило в связи с важнейшим открытием всей химии Периодической системы элементов в 1869 г. Менделеевым. Это открытие позволило систематизировать химические и физические свойства элементов, предсказать существование и свойства еще не открытых элементов, указало на существование периодической закономерности в проявлении фундаментальных свойств элементов, а значит и атомов, что расширило представление о глубинной природе атома и упростило понимание многих химических и физических явлений. Выяснилось, что количество различных химических элементов ограничено, и по свойствам они группируются согласно периодической таблице элементов. Количество и качество химических, физических и физико-химических свойств элементов говорило о том, что атомы элементов могут иметь такие свойства только при обладании неким внутренним качеством, присущим только данному атому, и общими качествами. Все это в совокупности наводило на мысль о сложной структуре атома.

Доказательство атомистической теории вытекало и из кинетической теории газов. В 1887 г. английский ботаник Роберт Броун заметил, что микроскопические частицы цветочной пыльцы, взвешенные в воде, передвигаются беспорядочными скачками. Со временем было обнаружено, что таким же образом непрерывно перемещаются любые малые взвешенные частицы. В конце концов было выяснено, что молекулы жидкости находятся в постоянном движении и, соударяясь со взвешенными частицами, вызывают их так называемое броуновское движение.

Изыщным доказательством атомистической теории была кинетическая теория газов, которая была развита между 1738 и 1900 гг. Бернулли, Клаузиусом, Максвеллом, Больцманом, Гиббсом и др. При создании этой теории было введено понятие идеального газа, где молекулы рассматривались как круглые материальные точки, которые находятся в поступательном и вращательном движениях.

Убедительные аргументы в пользу атомистического взгляда на строение вещества возникли в связи с работами Фарадея. В 1833 г. было обнаружено, что при прохождении одного и того же электрического заряда через электролиты различных металлов, выделяющихся на электродах, их количество пропорционально химическим эквивалентам, что указывало на атомичность металлов.

Кроме того, здесь проявляется понятие электричества, которое в дальнейшем способствовало окончательному утверждению атомических взглядов на вещество. В 1873 г. Максвелл в своей книге по элект-

тричеству и магнетизму объяснил законы электролиза Фарадея на основе атомной теории вещества и электричества.

Опыты Фарадея трудно было объяснить, если не принять, что вещество и электричество состоят из элементов. Максвелл говорил: «Очень вероятным является то, что мы придем к пониманию действительной природы электролиза, если в какой-либо форме сохраним теорию молекулярных зарядов» [4, с. 18].

Таким образом, развитие понятия «атом» происходило по мере открытия все новых и новых его свойств. Например, открытие Периодической системы элементов Д.И. Менделеева указывало на разносторонние свойства атомов химического и физического характера. В этой таблице определенные группы атомов проявляли свойства металлов, неметаллов, газов и т.д. Так, например, атомы в группах обладали различным средством к кислороду и валентностью при химических реакциях. Такие свойства в группах повторялись с определенной системной периодичностью, в зависимости от атомных весов. Накопление большого количества работ, связанных с электричеством, и их осмысление привело к пониманию того, что атомы обладают электрическими свойствами. Опыты Фарадея показывали, что валентность металлов напрямую связана с электричеством.

1.5. Электричество и атом

Так как понятие «электричество» имеет важное значение в развитии понятия «атом», вкратце проследим, каким образом развивались представления об электричестве.

С древних времен было замечено, что если потереть мехом кусочек янтаря, то он приобретает способность притягивать кусочки других материалов. Позже стало известно, что подобным свойством обладают и некоторые другие материалы. Самое раннее описание об этом, по видимому, принадлежит английскому монаху Беду (673–735) в его труде «История Англии по Экклесиасту». Здесь Бед упоминает о смоле, которая «подобно янтарю, если натереть его до разогрева, прилипает ко всему, что ни приложить к ней» [5]. Такие свойства веществ объясняли не внутренним их свойством, а наличием в них электрической жидкости — «флюида». Такое представление получило определенное подтверждение, когда Стефен Грей (1667–1736) открыл явление электрической проводимости. Грей в 1729 г. в своем письме членам Королевского общества сообщал, что электрическое свойство «потертой (мехом) стеклянной трубки» может переходить на другие тела либо при прямом соприкосновении, либо через соединяющую их нить. Стало ясно, что электричество может существовать отдельно от тела. Однако понима-

ние природы электричества усложнилось, когда выяснилось, что наэлектризованные тела способны не только притягивать, но и отталкивать.

Следствием осмысления этого явления был вопрос, существует ли электричество одного или двух видов. Француз Шарль Франсуа Дюфе (1698–1739) после опытов с передачей электричества на кусочки металла заключил, что «существует электричество двух родов, которые существенно отличаются между собой; одно из них я называю «стеклянным» электричеством, другое — «смоляным» [6]. Грей и Дюфе были склонны считать электричество не жидкостью, а неким состоянием, которое можно возбудить в веществе.

Вскоре теории двух жидкостей электричества была противопоставлена теория одной жидкости филаделфийским ученым Бенджаминном Франклином (1706–1790) и лондонским врачом натуралистом Уильямом Ватсоном (1715–1787). Проявление различных видов электричества Франклин объяснял недостатком и избытком электричества. Недостаток электричества он определял как отрицательное электричество, а избыток — как положительное. Количество электричества (положительного или отрицательного), заключенное в любом теле, он назвал электрическим зарядом тела. Франклин высказал предположение, что электричество само себя отталкивает, а несущее его тело притягивает. Он ввел также фундаментальную гипотезу — закон сохранения электрического заряда. Электрический заряд никогда не возникает (из ничего) и не исчезает — он только передается (от одного тела к другому). Следовательно, положительный электрический заряд стеклянного стержня, натертого мелком, численно в точности равен отрицательному заряду мелка, а вследствие баланса между положительным и отрицательными зарядами полный заряд остается равным нулю. Переносчиков электричества Франклин назвал электриками, которые представляют электричество только одного типа. В атомах обычных веществ электроны «привязаны» к плотному атомному ядру, в котором сосредоточена основная часть массы вещества и которое в твердых телах, как правило, неподвижно. Если электроны взаимно отталкиваются, как утверждал Франклин, то электроны и ядра притягивают друг друга, а атомные ядра, как предполагал Ульрих Теодор Эпинус (1724–1802) (директор астрономической обсерватории в Санкт-Петербурге), отталкиваются друг от друга. Для удобства принято считать, что положительный или «стеклянный» заряд вещества — это заряд ядер, а не просто отсутствие электронов.

1.6. Концепция понятия «атом» к концу XIX века

Исследование электричества трением сыграло огромную роль для расширения понятия «атом» в том, что атомы являются носителями отрицательных и положительных электрических зарядов. При этом атомные заряды одинакового знака отталкиваются друг от друга, а разных знаков — притягиваются. Было принято, что носителями отрицательных зарядов являются электроны, которые входят в состав атомов, а носителями положительных зарядов — ядра атомов, в которых сосредоточена основная масса атома.

Таким образом, к концу XIX века сложилась вполне осмысленная картина о природе атома. Приведем основные характеристики атома, установленные к тому времени:

1. Все вещества состоят из химических элементов, а каждому элементу соответствует определенный тип атома, отличающийся по весу.

2. Химические и физические свойства атомов подчиняются определенной периодической системе в зависимости от атомных весов.

3. Количество химических элементов, а значит и атомов, ограничено.

4. Атомы имеют сложный состав и являются носителями электричества отрицательных зарядов — электронов и положительно заряженного ядра, которые не могут быть уничтожены или созданы из ничего.

5. Положительные и отрицательные заряды в атомах в нормальном состоянии уравновешены.

6. Эквивалент элемента (или валентность) при химических реакциях и электролизе зависит от электрических свойств атома.

Эти наиболее важные характеристики атома в большинстве случаев не имели строгих научных доказательств, а были лишь косвенными, умозрительными выводами из научных фактов, добытых к тому времени.

Открытие структурных составляющих атома

Подобно тому, как древняя Абдера на побережье Фракии символизирует для нее рождение атомизма Демокрита в конце V века до н.э., так и в современном мире есть место, с которым, главным образом, связано открытие составных частей атома. Это Кавендишская лаборатория Кембриджского университета. В этой лаборатории Джозеф Джон Томсон (1856–1940) в результате строгих экспериментов с катодными лучами пришел к заключению о том, что существует частица «электрон», являющаяся одновременно носителем электричества и основной составной частью всех атомов. В Кембриджской же лаборатории Эрнест Резерфорд (1871–1937) — первооткрыватель атомного ядра начал в период 1895–1898 гг. свои работы по исследованию радиоактивности. Открытие составных частей атома было завершено в этой же лаборатории в 1932 г., когда Джеймс Чедвик (1891–1974) открыл нейтрон.

Ввиду важности этих открытий для понимания природы и структуры атома проследим вкратце их историю.

2.1. Открытие электрона

Самый известный вид электрического разряда — это молния, что было доказано Франклином еще в 1752 г. в своем знаменитом опыте. Однако изучение молнии невозможно ввиду ее случайности и неконтролируемости. Но к XVIII в. появилась возможность исследовать другой, более управляемый вид электрического разряда с использованием частично вакуумированных стеклянных баллонов, в которых при подсоединении к электрической машине возникло странное свечение. Это явление впервые было замечено в 1709 г. Хоксби. Позднее о подобном явлении сообщили в 1748 г. Ватсон, Нолле, Готтфрид Генрих Груммонт (1719–1776) и великий Майкл Фарадей.

Серьезные исследования этого явления начались после изобретения эффективных вакуумных насосов. Профессор физики Боннского университета Юлиус Плюккер (1801–1868) подсоединил металлические пластины внутри вакуумированной стеклянной трубки к мощному источнику электричества. Как принял Фарадей, положительный полюс электричества назвали анодом, а отрицательный — катодом. Плюккер обнаружил, что когда воздух из трубки откачан почти полностью, све-

чение зеленоватого вида остается только на поверхности стеклянной трубки вблизи катода, что явилось основанием к предположению об испускании катодом чего-то, что соударяется со стеклом трубки, а затем собирается на аноде. Эуген Гольдштейн (1850–1930) назвал это явление «катодным лучом». Он показал также в 1870-х годах, что свойства катодных лучей не зависят от материала катода.

Позже Плюккер обнаружил также, что на положение свечения можно влиять магнитным полем. Это говорило о том, что катодные лучи электрически заряжены. Кроме того, ученик Плюккера Гитторф (1824–1914) обнаружил, что твердые частицы, помещенные вблизи катода, отбрасывают тень на стенки трубки. Это говорило о прямолинейной траектории катодных лучей.

В дальнейшем ясность в понимание природы катодных лучей внесли работы Дж. Дж. Томсона. В 1894 г. Томсон приступил к измерению скорости катодных лучей и установил, что она равна 200 км/с. Однако результат эксперимента был неточным, и от него Томсону позднее пришлось отказаться.

Томсон установил также явление отклонения катодных лучей под действием электрически заряженных металлических пластин. Лучи отклонялись в сторону положительно заряженной пластины. Это говорило о том, что лучи переносят отрицательный электрический заряд.

Для количественной оценки природы таинственных заряженных катодных лучей — зарядов, Томсон измерил величину отклонения лучей под действием электрических и магнитных сил.

Электрические силы. Чтобы сделать вывод о свойствах частиц катодных лучей по результатам измерения их отклонений под действием электрического заряда, Томсону необходимо было рассчитать величину электрической силы, действующей на эти частицы.

Первые представления о природе электрической силы строились по аналогии с ньютоновской теорией тяготения, согласно которой она уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния.

Первые попытки измерить зависимость электрической силы от расстояния предпринял в 1760 г. швейцарский физик Даниил Бернулли (1700–1782), который подтвердил подчинение электрических сил закону обратных квадратов.

Впервые строгие научные эксперименты в этой области осуществил в 1785 г. Шарль Огюстен Кулон (1736–1806).

Для измерения электрических сил, действующих между двумя шариками, Кулон использовал крутильные весы собственного изобретения. Он подтвердил, что закон обратных квадратов соблюдается точно, независимо от расстояния и величины электрических зарядов. Кулон

установил также, что сила, действующая между двумя зарядами, пропорциональна произведению этих зарядов.

Таким образом:

$$F_{\text{кул}} = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (2.1)$$

где q_1 и q_2 — заряды частицы 1 и 2; r — расстояние между зарядами.

В настоящее время пользуются понятием «напряженность» электрического поля, которая определяется как сила, отнесенная к единице заряда и «напряжение» электрического поля, — как сила, отнесенная к единице расстояния. При этом закон Кулона гласит, что *электрическая сила, действующая на тело, всегда пропорциональна электрическому заряду этого тела.*

Как сила, напряженность электрического поля является направленной величиной и направлена от тела, если его заряд положительный, и в сторону тела, если заряд отрицательный. Напряженность электрического поля — векторная величина и напряженность результирующего поля равна сумме отдельных полей. *Напряженность электрического поля была понятием воздействия силы на тела через пространство, которое приобретало некое напряженное состояние в каждой точке.* Это понятие говорило о фундаментальном свойстве пространства не как об абсолютной пустоте, принятой по теории Ньютона, а как о среде, способной передавать силу воздействия на электрически заряженные тела, и о среде, способной поляризоваться под действием электрического заряда. Интересно заметить, что профессор известной Кавендишской лаборатории Джеймс Клерк Максвелл (1831–1873 гг.) создал систему уравнений электромагнитного поля, представляя пространство как систему направленно вращающихся шестеренок, между которыми находятся связующие их мелкие шестеренки.

В настоящее время физическая наука рассматривает пространство и поля как самостоятельную фундаментальную физическую реальность.

Магнитные силы. Магнетизм известен с древнейших времен, например, по свойствам «гераклинового камня» — магнитного железняка, обладающего природным магнетизмом. О таких магнитах знали и в Древнем Китае (83 г. н.э.), где их использовали в качестве компасов для магических целей. В китайской книге 1084 г. приводится детальное описание магнитного компаса, сделанного в виде небольшой рыбы-поплавка [7].

В Европе первое упоминание о магнитах, имеющих полюса, датируется 1269 г. Первое научное толкование природы магнетизма было сделано в Лондоне в эпоху королевы Елизаветы Уильямом Гильбертом,

который объяснил принцип действия компаса наличием магнитного поля земли.

Впервые тесную связь магнитных сил с электрическими силами, т.е. электромагнитный эффект открыл профессор физики Копенгагенского университета Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851). Он заметил, что стрелка компаса отклоняется при пропускании тока через проводник, расположенный неподалеку.

В 1820 г. в Париже было сделано сообщение о результатах экспериментов Эрстеда. Это сообщение было с интересом воспринято профессором математики Андре Мари Ампером (1775–1836). Он уже неделю спустя сообщил о принципиально новом результате, заключающемся в том, что не только электрические токи действуют на магниты, и магниты действуют на проводники с током, но и сами электрические токи взаимодействуют друг с другом. В дальнейшем Ампер пришел к выводу о том, что любой магнетизм имеет электрическую природу и магнитные свойства магнитного железняка обусловлены микроскопическими электрическими токами внутри этого материала. Известна, необычайно смелая для своего времени, гипотеза Ампера о молекулярных токах. Согласно этой гипотезе, *внутри молекул и атомов текут электрические токи, т.е. атомы и молекулы суть токовые лепестки, а значит, и магнитные диполи.* По сути дела, гипотеза Ампера блестяще подтвердилась, когда была понята электронная структура атома.

Ампер также установил, что магнитная сила, действующая между параллельными проводниками, направлена вдоль линии, соединяющей проводники, перпендикулярно обоим проводникам, т.е. магнитная сила перпендикулярна проводникам и магнитному полю. На рис. 2.1 приведена схема действия магнитной силы между проводниками с током.

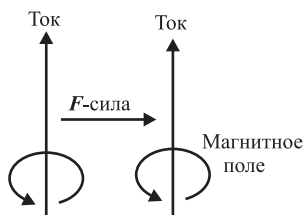


Рис. 2.1. Схема действия магнитной силы между проводниками с током

Принято общее правило: сила, действующая на любой элемент проводника с током, всегда направлена перпендикулярно как к магнитному полю, так и к проводнику. Сила F , действующая на элемент проводника, пропорциональна силе тока J , магнитному полю H (напряженность магнитного поля) и длине элемента

L . Кроме того, величина силы F зависит от направления H . Если H перпендикулярна к направлению тока J , то при прочих одинаковых условиях сила F имеет наибольшее значение и определяется формулой:

$$F = \frac{1}{c^2} J_1 J_2 L, \quad (2.2)$$

где $1/c^2$ — коэффициент пропорциональности.

В то же время Ампер установил величину силы, с которой один проводник действует на другой, которая определяется по формуле:

$$F = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{2 \cdot J_1 J_2 L}{r}, \quad (2.3)$$

где J_1 и J_2 — сила тока первого и второго проводника; L — длина проводников; r — расстояние между проводниками; c — электродинамическая постоянная.

Исходя из формулы (2.3) можно считать, что действующая на первый проводник сила, создаваемая током во втором проводнике, есть не что иное, как сила, порождаемая магнитным полем второго проводника. Тогда величина магнитного поля второго проводника определяется как:

$$H = \frac{2 \cdot J}{r}, \quad (2.4)$$

где J — сила тока; r — расстояние от проводника.

Открытие явления электромагнетизма оказало мощное влияние на последующее развитие науки и техники, а также на развитие в целом цивилизации.

Опыты Томсона по измерению соотношения электрического заряда к массе. Рассмотрим движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Прежде, чем перейти к рассмотрению одного из методов измерения соотношения заряда к массе (q/m), приведем основные факты из электричества и магнетизма. Если частица с зарядом $+q$ помещена в однородное электрическое поле, напряженность которого равна E , то на нее в направлении поля действует сила:

$$F = qE \quad (\text{в векторной записи } F = qE). \quad (2.5)$$

Под действием этой силы частица будет совершать равномерно ускоренное движение, тогда

$$ma = qE, \quad (2.6)$$

где a — ускорение.

Заметим, что если скорость частицы имеет составляющую, вектор которой перпендикулярен полю, то эта составляющая не меняется, в то время как составляющая в направлении E меняется с ускорением a .

Если частица, имеющая заряд q , движется в однородном магнитном поле с индукцией B , причем ее скорость равна v и перпендикулярна

B , то на частицу действует сила F , вектор которой перпендикулярен как v , так и B , которая равна:

$$F = qvB \text{ (в векторной записи } \mathbf{F} = q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]. \text{)} \quad (2.7)$$

Если пренебречь всеми другими силами, действующими на частицу, тогда меняется только направление движения частицы, но не ее скорость. При бесконечно малом изменении направления частица имеет ту же скорость и все еще движется перпендикулярно B . Следовательно, на частицу будет действовать сила, постоянная по величине и переменная по направлению, которая заставляет ее двигаться по круговой траектории в плоскости, перпендикулярной магнитной индукции или напряженности поля. Так как для удержания массы m на круговой траектории радиусом r при тангенциальной скорости v требуется сила:

$$F = mv^2/r,$$

то получаем

$$mv^2/r = qvB \quad (2.8)$$

или

$$mv = qBr. \quad (2.9)$$

Теперь рассмотрим, как Томсон измерил отношение заряда к массе q/m частиц, которые он назвал «катодными корпускулами».

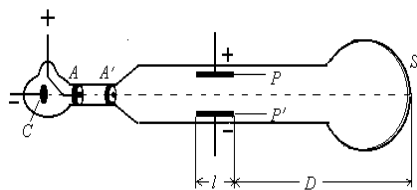


Рис. 2.2. Прибор Томсона для определения отношения q/m для катодных лучей: C — катод; A — анод; S — экран; P — заряженная пластинка

Установка Томсона (рис. 2.2) состояла из вакуумированной стеклянной трубки, в которую было впаяно несколько металлических электродов. Электрод C служил катодом, электрод A — анодом и поддерживался при высоком положительном потенциале, так что

поток катодных лучей направлялся на него. Большая часть лучей попала на анод A , но некоторая часть проходила через маленькое отверстие, сделанное в нем. Эти лучи ограничивались электродом A' , в котором было другое отверстие. Таким образом, узкий пучок лучей выходил в область между двумя пластинами P и P' . Пройдя между пластинами, лучи попадали на конец трубки S , где вызывали свечение флуоресцирующего материала.

При определении соотношения q/m для составляющей массы m , как показывает формула (2.6), необходимо воздействие на электрон электрического поля. Для этого Томсон воспользовался отклоняющими пластинами P и P' , между которыми создал однородный электрический потенциал. Для определения составляющей заряда по формуле (2.7) он

расположил магнитное поле перпендикулярно как пучку катодных корпускул, так и электрическому полю.

Таким образом, в трубке на пучок катодных корпускул, имеющих постоянную и одинаковую скорость, электрическое и магнитное поля действовали в одних и тех же точках пространства.

Сначала Томсон рассчитал скорость катодных корпускул по найденной им формуле:

$$v = E/B \quad (2.10)$$

и, наконец, нашел соотношение

$$q/m = e/m = v^2/2V, \quad (2.11)$$

где V — электрический потенциал между двумя пластинами — электродами.

Томсон обнаружил, что соотношение q/m имеет универсальное значение, не зависящее от материала катода и состава газа. Эта независимость указывала на то, что катодные корпускулы являются составной частью любого вещества. Согласно современным измерениям, величина q/m равна $(1,758897 \pm 0,00032) 10^{11} \text{ К/кг}$ [4, с. 28].

Таким образом, Томсону принадлежит честь открытия первой субатомной частицы — электрона. Позднее было установлено, что электроны имеют универсальный заряд e . Величину, которую измерил Томсон, обозначают теперь как e/m .

Заряд электрона. После нахождения величины e/m следующим логическим шагом было измерение заряда электрона. Такой опыт впервые был выполнен с достаточной точностью в 1909 году Милликеном по методу, предложенному Томсоном и Вильсоном [4, с. 31].

Опыт по измерению e надо проводить с током, имеющим очень малый заряд, который бы заметно изменялся при потере или прибавлении одного электронного заряда. Если же тело настолько мало, что электрическая сила, действующая на его заряд, имеет тот же порядок величины, что и сила тяжести, то вместо досадной помехи сила тяжести может стать показным эталоном для сравнения.

В качестве эталона Милликен использовал капельку масла, настолько малую, что она видна только в микроскоп. В опыте капелька масла помещается между двумя горизонтальными пластинками в сильном электрическом поле известной величины, причем поле может быть направлено вниз, вверх или вообще отсутствовать. Капелька имеет небольшой заряд q , который может быть отрицательным или положительным, в зависимости от избытка или недостатка электронов на капле. В электрическом поле на каплю действует сила qE , которую всегда можно направить вверх соответствующим выбором направления E .

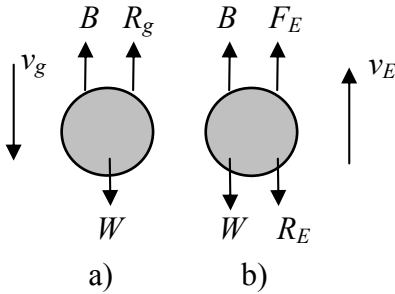


Рис. 2.3. Силы, действующие на каплю: (а) при падении, (б) при подъеме

Экспериментатор должен менять электрическое поле так, чтобы капля поднималась и опускалась между пластинками, но никогда их не касалась. На рис. 2.3 показаны силы, действующие на каплю: (а) при падении, (б) при подъеме. Скорость падения v_g имеет одну и ту же величину, поскольку вес капли остается постоянным, а скорость подъема зависит от заряда q .

По Стоксу сила сопротивления воздуха

$$R = 6 \pi \eta r v, \quad (2.12)$$

где величина η представляет собой коэффициент вязкости тормозящей среды, r — радиус тела, а v — его скорость (этот закон справедлив в предположении, что тормозящая сила однородна).

На падающую капельку масла действует сила тяжести W и выталкивающая сила воздуха B . Пусть D равно разности плотностей масла и воздуха, тогда F_g — результирующая этих двух сил, действующих на сферическую каплю радиусом r , будет равна:

$$F_g = W - B = \frac{4}{3} \pi r^3 D_{\text{масла}} g - \frac{4}{3} \pi r^3 D_{\text{возд.}} g = \frac{4}{3} \pi r^3 D g \quad (2.13)$$

Капелька масла в течении очень короткого времени ускоряется результирующей силой F_g , а затем продолжает падать с измеримой постоянной скоростью v_g .

Учитывая все силы, действующие на каплю (рис. 2.3), и используя первое условие равновесия, имеем:

$$B + R_g - W = 0 \quad (2.14)$$

или

$$R_g = W - B. \quad (2.15)$$

Подставляя в это равенство выражения (2.12) и (2.13), получаем:

$$F_g = R_g = 6 \pi \eta r v_g = \frac{4}{3} \pi r^3 D g.$$

В этом уравнении все величины, кроме r , известны или могут быть измерены. Разрешая его относительно r , мы можем «калибровать каплю» и вычислить для этой капли коэффициент пропорциональности между

тормозящей силой R и установившейся скоростью v . Если имеется только сила тяжести, то $F_g = kv_g$, так что из (2.12) и (2.13) получаем:

$$R = kv, \quad (2.16)$$

где

$$k = 18\pi(\eta^3 \cdot v_g / 2Dg)^{1/2}.$$

Скорость падения v_g имеет одну и ту же величину, поскольку вес капли остается неизменным, а скорость подъема v_E зависит, в то же время, от заряда q . Применяя первое условие равновесия сил, действующих на каплю при ее подъеме с постоянной скоростью, как показано на рис. 2.3 (б), получаем

$$F_E + B - W - R = 0 \quad (2.17)$$

или, подставляя выражение для электрической силы и $(B - W)$,

$$qE = W - B + R_E = F_g + R_E. \quad (2.18)$$

Вводя с помощью (2.16) в уравнение (2.18) измеряемые скорости, находим:

$$q = (k/E) (v_g + v_E). \quad (2.19)$$

Это выражение позволяет вычислять заряд q .

Милликен проводил наблюдения с масляными капельками разных размеров, а также капельками ртути. Все наблюдения давали одно и то же значение электронного заряда или «атома» электричества. Он установил, что во всех случаях заряд является целым числом, кратным некоторой определенной величине.

Таким образом, он установил закон кратных отношений для электрических зарядов и сделал из него вывод об атомистическом характере электричества.

Наиболее точное современное определение дает значение:

$$e = (1,601864 \pm 0,000025) \cdot 10^{-19} K.$$

Поскольку e/m и e известны, массу электрона можно найти с помощью простой арифметической операции:

$$m = (9,1084 \pm 0,0004) \cdot 10^{-31} \text{ кг [4, с. 34].}$$

Используя значение заряда электрода, можно вычислить и константу Фарадея, равную количеству заряда, необходимого для переноса через электролит одного химического эквивалента вещества.

Исследование электролиза показывает также, что число электрических зарядов, приходящихся на один ион в растворе, равно его валентности.

2.2. Открытие протона

После открытия частицы отрицательного электричества — электрона, было разумным поставить вопрос о частице положительного электричества.

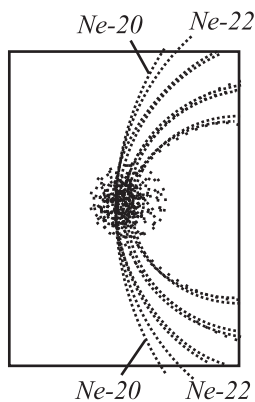


Рис. 2.4. Параболы неона

Определение соотношения заряда к массе для положительных лучей. Томсон предложил метод измерения q/m положительных лучей — корпускул, имеющих разные скорости. По этой методике на экране получали наработки, накладывая электрическое и магнитное поля в вертикальной плоскости перпендикулярно к направлению движения частиц. Электрическое поле направлено вниз, а магнитное вверх, так что магнитная сила отклоняет анодные корпускулы по горизонтали. Параболы, полученные методом Томсона, показаны на рис. 2.4.

Анализ полученных данных говорит о том, что положительные лучи обладают определенными q/m , поскольку наблюдаемые кривые являются чистыми параболой. В одиночном опыте проявляется несколько значений q/m , т.к. парабол получается несколько, что объясняется низкой точностью эксперимента ввиду того, что параболы получаются нечеткими.

Томсон предложил, что каждая частица в положительных лучах несет заряд, равный и противоположный по знаку заряду электрона, и приписал различие парабол разнице в массах. Он считал, что эти лучи несут положительный заряд потому, что каждая их частица потеряла один электрон. В случае атомарного водорода он мог проверить, что измеренные для положительных лучей величины q/m имеют меньшие значения. Это явилось следствием того, что частицы положительных лучей обладают большой массой. Соотношение q/m по величине оказалось равным соотношению, полученному путем деления величины заряда электрона на массу атома. Теперь стало ясно, почему положительные лучи двигались медленнее.

Из величины q/m было найдено, что масса иона водорода или протона в $1836,13 \pm 0,01$ раз превышает массу электрона [4, с. 36].

2.3. Изотопы

Самой поразительной особенностью парабол Томсона было то, что некоторые химически чистые газы имеют больше одного значения

q/m. Так, в случае неона было выдвинуто предположение о существовании двух его видов. Доказательство этой интерпретации было дано Астоном, одним из учеников Томсона. Астон разделил газ неон на тяжелую и легкую части, многократно пропуская его через пористую перегородку, предполагая, что степень прохождения более легких частиц будет больше, чем тяжелых, и тем самым будет достигнуто их разделение. В результате Астон получил два очень маленьких объема газа. Он определил для каждой части значение атомных весов: 20,15 — для первой и 20,28 — для второй. С тех пор было показано, что многие элементы, будучи идентичными химически, отличаются по массе. Такие формы существования химических элементов назвали изотопами.

2.4. Первая модель атома

В предыдущих главах приведено описание развития атомистических представлений, откуда видно, что существует несколько составных элементов вещества. Ясно, что электроны входят в состав всех элементов вещества, более фундаментальных, чем составляющие их химические элементы.

Ясно также, что существуют положительно заряженные составные элементы вещества, которые составляют их основную массу.

Томсон после количественных экспериментов с электронами и анодными лучами предположил, что обычный атом химического элемента представляет собой смесь элементарных частиц из отрицательно заряженных электронов и положительно заряженных массивных частиц. Модель атома Томсона была названа моделью «сливового пудинга». Согласно ей, атом выглядит как сгусток положительно заряженных частиц, в котором, подобно сливам в пудинге, сидят электроны, причем число вторых равно числу первых.

Зарождение теории излучения и современного представления об атоме

Установление современных представлений об атоме было бы невозможным без развития теории излучения, природы света и пространства. Исследование свойств вакуума, как среды, передающей излучение, за последние десятилетия превратилось в одно из самых фундаментальных направлений, позволяющих проникнуть в тайны физики, структуру атома и эволюции Вселенной. Именно вакуум является той средой, через которую передается электромагнитное излучение.

Все источники света представляют собой вещества, возбужденные тем или иным способом. Например, вещество Солнца излучает свет за счет высокой температуры.

С тех пор, как Генрих Герц доказал справедливость теории Максвелла об электромагнитном излучении, мы знаем, что первичным источником излучения является ускоренный электрический заряд. Однако освещение теории излучения Максвелла мы начнем с других работ, которые проливают «свет» и на эту теорию.

3.1. Возникновение первичной теории «света»

Ньютон считал, что свет является потоком быстро движущихся упругих частиц очень малой массы. Эта точка зрения объясняла явление отражения света от предметов. Напротив, Христиан Гюйгенс придерживался мнения, что свет представляет собой волны. Наиболее убедительным аргументом в пользу этого утверждения было то, что два пучка света могут пересекаться, не «сталкиваясь». Примерно через сто лет после них английским ученым Томасом Юнгом в 1801 г. было показано, что цвета тонких пленок и поверхностей с разноцветными полосами можно объяснить только явлениями интерференции волн. Дальнейшие работы, выполненные французскими физиками Френелем, Араго, Малюса, Корню, Физо и Фуко, показали, что корпускулярная природа света непригодна. Развитие этих работ достигло кульминационной точки в 1864 г., когда Джеймс Клерк Максвелл опубликовал результаты своих попыток изложить законы электричества в строгой математической форме. Ему удалось вывести дифференциальные уравнения, представляя электромагнитные поля как волны. Он показал также, что скорость этих волн равна скорости света. Теория Максвелла была проверена в

1888 г. Герцем, доказавшим, что колебания тока в электрической цепи могут через пустое пространство способствовать передаче энергии другой такой же цепи.

Работы Герца одновременно привели к открытию явления фотоэффекта, заключающегося в том, что отрицательно заряженная чистая пластинка цинка при облучении ультрафиолетовым светом теряет свой заряд. Это открытие, в свою очередь, привело к глубокому пересмотру волновой теории света. Электромагнитная теория световых волн и другие работы,

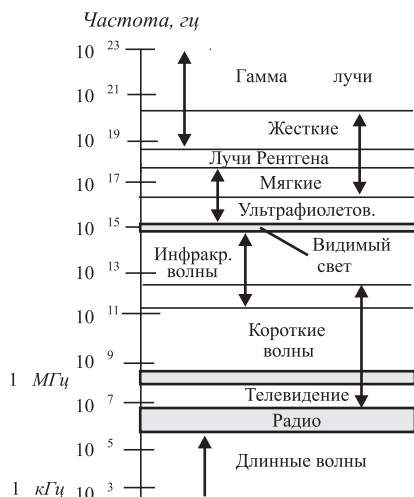


Рис. 3.1. Спектр электромагнитного излучения

связанные с электричеством, температурными процессами, оптическими явлениями, привели к пониманию того, что все многообразие форм излучения — тепло, свет, радиоволны и т.д. имеют единую электромагнитную природу и отличаются друг от друга только частотой. На рис. 3.1 приведена протяженность электромагнитного излучения по частотным характеристикам. Любое излучение из этого спектра связано с ускорением электрических зарядов и описывается уравнениями Максвелла.

3.2. Тепловое излучение

Для более глубокого понимания природы электромагнитного излучения особенное значение имели работы, связанные с изучением законов теплового излучения.

Известно, что если тело достаточно сильно нагреть, то оно будет излучать видимый свет. Было замечено, что энергия излучения от нагретого тела распределяется по непрерывному спектру, зависящему от его температуры. Менее нагретые тела излучают спектр электромагнитных волн низких энергий (длинных волн), а более нагретые — высоких энергий. Это соответствует тому наблюдению, что при нагревании вначале тело (металл) становится красным, а затем, при повышении температуры — белым.

Для исследования теплового излучения удобно пользоваться понятием абсолютно черного тела, которое включает в себя положение о том, что тело, поглощающее весь падающий на его поверхность свет, является абсолютно черным.

Поглотительной способностью поверхности тела называют ту часть падающего на нее света, которая поглощается. Поглощательная способность абсолютно черного тела равна единице. Было найдено, что отношение лучеиспускательной способности E к поглотительной способности A при данной температуре — величина постоянная (закон Кирхгофа), т.е. выполняется соотношение:

$$\frac{E_0}{A_0} = \frac{E}{A}. \quad (3.1)$$

Так как для абсолютно черного тела $A_0 = 1$, то общая лучеиспускательная способность выражается уравнением

$$E = AE_0, \quad (3.2)$$

где E_0 — общая лучеиспускательная способность абсолютно черного тела.

Из предположения, что A для любой поверхности, кроме абсолютно черного тела, всегда меньше единицы, следует, что никакая поверхность не может излучать сильнее, чем абсолютно черное тело. Таким образом, абсолютно черное тело является как наиболее эффективным поглотителем, так и излучателем световой энергии.

В 1879 г. Стефан получил эмпирическую зависимость для лучеиспускательной способности единицы поверхности:

$$E = k_u \sigma T^4, \quad (3.3)$$

где k_u — коэффициент излучения поверхности, определяемый соотношением E/E_0 ; σ — постоянная Стефана-Больцмана; T — абсолютная температура. Следовательно, для абсолютно черного тела $k_u = 1$.

На рис. 3.2 приведены кривые распределения энергии, полученные опытным путем в спектре излучения черного тела при различных температурах.

Были попытки теоретического расчета вида кривой распределения энергии в спектре излучения, как функции длины волны. Желая найти выражение для монохроматической лучеиспускательной спо-

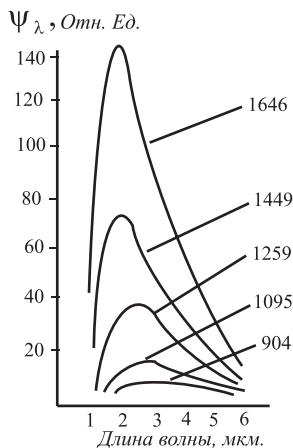


Рис. 3.2. Распределение энергии в спектре излучения черного тела при разных температурах

способности (энергия излучения при определенных длинах волн), Вин использовал классические законы термодинамики и получил уравнение

$$E_{\lambda} = \frac{a}{\lambda^5} f(\lambda, T), \quad (3.4)$$

где a — постоянная; λ — длина волны излучения; $f(\lambda, T)$ — некоторая функция длины волны и температуры.

Вин полагал, что ускорение или замедление частиц, движущихся по закону распределения Максвелла по скоростям, вызывает излучение и получил эмпирическое выражение для монохроматической лучеиспускательной способности внутри изотермического черного тела. Это выражение имеет вид:

$$E_{\lambda} = \frac{a \lambda^{-5}}{e^{b/\lambda T}}, \quad (3.5)$$

где λ — длина волны; T — абсолютная температура; a и b — две подбираемые из опыта рациональные постоянные. График закона Вина показан на рис. 3.3 кривой 1.

Вин константы a и b выбрал так, чтобы получилось хорошее совпадение с экспериментальными данными в области высоких энергий.

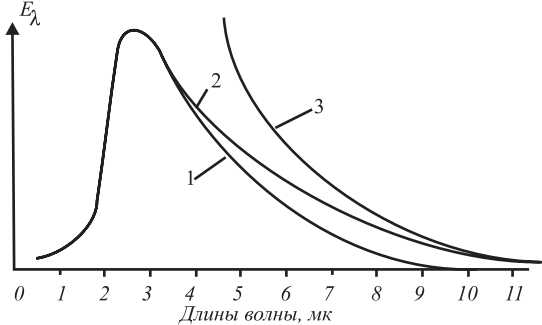


Рис. 3.3. Кривые для различных законов излучения: 1-закон Вина, 2-закон Планка, 3-закон Рэлея-Джинса

выраженное уравнением Рэлея-Джинса:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi RT}{c\lambda^4}. \quad (3.6)$$

Оказалось, что уравнение удовлетворительно согласуется с наблюдаемым спектральным распределением в области низких энергий, но в области высоких энергий не было даже приближения к значениям опытных данных (рис. 3.3).

Другая теоретическая попытка установить закон распределения энергии была предпринята в 1900 г. Рэлеем, в которой он применил классический принцип равномерного распределения энергии по степеням свободы. В результате было получено уравнение, назы-

Для описания всего экспериментального спектра излучения абсолютно черного тела была предложена эмпирическая формула:

$$E_{\lambda} = cT^5 - \mu_{\lambda} - \mu_e - b/(\lambda T)^{\nu} \quad (3.7)$$

Из этой формулы при $\mu = 5$ и частоте $\nu = 1$ можно получить уравнение Вина, а при $\mu = 4$ и $b = 0$ — уравнение Рэлея-Джинса.

Уравнение для монохроматической лучеиспускательной способности абсолютно черного тела удалось получить Максуду Планку. Планк предложил наиболее революционную гипотезу эпохи. Простейшей системой, которая способна испускать и поглощать излучение, является система простых гармонических осцилляторов, излучающая энергию непрерывно, в соответствии с классической теорией. Но по предложению Планка, такой осциллятор должен излучать энергию не непрерывно, а дискретно. Эти порции должны быть кратны фундаментальной энергетической единице ε_0 , т.е. $0, \varepsilon_0, \dots, n\varepsilon_0$. В результате Планк получил уравнение для монохроматической лучеиспускательной способности абсолютно черного тела:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \cdot \frac{\varepsilon_0}{e^{\varepsilon_0/(kT)} - 1}, \quad (3.8)$$

где c — скорость света; k — постоянная Больцмана.

Далее Планк в уравнение ввел температуру в сочетании λT , учитывая, что $\lambda = c/\nu$. Следовательно, из уравнения (3.8) видно, что квант энергии должен быть пропорционален ν , т.е.

$$\varepsilon_0 = h \nu, \quad (3.9)$$

где h — новая постоянная, называемая постоянной Планка, значение которой в настоящее время оценивается величиной $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг-сек или $6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж Гц⁻¹.

И, наконец, после подстановки значения ε_0 закон распределения Планка принял вид:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/(\lambda RT)} - 1}. \quad (3.10)$$

Из рис. 3.3 видно, что только теоретическая кривая по Планку в точности совпадает с экспериментальными данными [8, с. 21].

Таким образом, по теории Планка осцилляторы излучают энергию только порциями, равными величине постоянной Планка.

3.3. Атомные спектры

Наряду с изучением проблемы излучения абсолютно черного тела, внимание ученых было сконцентрировано и в области изучения

атомных спектров. Давно было найдено, что, например, при пропускании электрического разряда в одноатомном газе испускается свет. Изучение этого света с помощью дифракционных решеток или призмных спектрометров показало, что свет состоит из серии ярких линий с определенными длинами волн, которые оказались характерными для каждого данного элемента. На рис. 3.4 показан линейчатый спектр атома

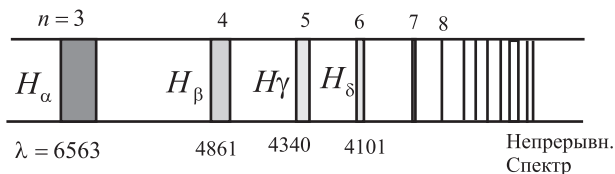


Рис. 3.4. Спектральные линии атома водорода в видимой области

водорода, который является самым простым из всех элементов.

В 1885 г. Бальмер получил уравнение, которое связывало девять линий спектра водорода, известных в то время и названных серией Бальмера. В общем виде уравнение для волнового числа ($\bar{\nu} = 1/\lambda$) имеет вид:

$$\bar{\nu} = R \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (3.11)$$

где R — постоянная, известная под названием постоянная Ридберга; a — постоянная величина, зависящая от данной спектральной линии (1, 2...n); m — переменное целое число.

Было найдено, что постоянная Ридберга, полученная для определенного элемента, очень незначительно меняется от элемента к элементу.

В 1830 г. Ридбергу удалось найти уравнение более общего характера:

$$\bar{\nu}_n = \bar{\nu}_\infty - \frac{R}{(n+b)^2}, \quad (3.12)$$

где $\bar{\nu}_\infty$ и b — постоянные, различные для разных серий; n — параметр, который может принимать последовательные целочисленные значения.

Для каждого атома существуют несколько серий спектральных линий. Внутри серий волновое число каждой спектральной линии может быть представлено в виде разностей двух термов, один из которых постоянен ($\bar{\nu}_\infty$). Было показано, что эти серии связаны формулой типа

$$\bar{\nu} = \frac{R}{(m+a)^2} - \frac{R}{(n+b)^2}, \quad (3.13)$$

где a и b — подбираемые из опыта постоянные, зависящие от элемента. При $a = b = 0$, а $m = 2$ выражение переходит в формулу Бальмера для водорода.

Для обозначения названных серий используются символы s, p, d и f .

3.4. Модель атома Резерфорда

Опыт Резерфорда, выполненный в 1911 г., позволил более глубоко понять природу строения атома. Ученый изучал, каким образом альфа-частицы (α), образовавшиеся при радиоактивном распаде радия, поглощаются веществом. Схема опыта Резерфорда приведена на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Схема опыта Резерфорда по рассеянию альфа-частиц:
1 — радий, 2 — поток α -частиц, 3 — экран, 4 — свинцовая защита,
5 — золотая фольга

Резерфорд получал узкий пучок α -частиц, который попадал на фольгу из золота перпендикулярно ее поверхности. Прошедшие через фольгу частицы вызывали вспышки на флуоресцирующем экране. Было удивительно то, что α -частицы, проходя через фольгу, отклонялись на очень малые углы, но некоторые из них отклонялись очень сильно, вплоть до отражения назад. Чтобы объяснить это явление, Резерфорд должен был предположить, что некоторые α -частицы встречают на своем пути нечто небольшое и сравнительно массивное. Ученый сделал из этого вывод, что массивный положительный заряд сконцентрирован в очень малой центральной части атома. Он постулировал также, что остальная область атома представляет собой облако отрицательно заряженных электронов.

Таким образом, основное взаимодействие (кулоновское) происходит между дважды заряженными α -частицами ($+2e$) и положительным ядром с зарядом $+Ze$.

Сила взаимодействия отвечает формуле:

$$F = \frac{2Ze^2}{r^2}. \quad (3.14)$$

В теории Резерфорда предполагается, что α -частицы рассеиваются неподвижными точечными зарядами. Такое предположение дает возможность оценить размеры такой точки, что легко рассчитывается для α -частицы, летящей прямо на ядро, из закона сохранения энергии.

Итак, мы можем написать формулу

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{2Ze^2}{d}, \quad (3.15)$$

где M — масса α -частицы; v — скорость; d — расстояние наибольшего сближения.

Для d имеем:

$$d = 4 \frac{Ze^2}{Mv^2}. \quad (3.16)$$

Для исследованных ядер d равно примерно 10^{-14} м. Мы знаем, что радиус атома равен $\sim 10^{-10}$ м. Таким образом, большая часть массы атома сконцентрирована в небольшой центральной области, где плотность достигает примерно 10^{16} кг/м³. Эта массивная часть содержит положительно заряженные частицы. Этот вывод утверждает открытие атомного ядра [4, с. 65].

Резерфорд предложил планетарную модель атома. Согласно этой модели, электроны совершают орбитальные движения вокруг ядра под действием кулоновских сил. Однако оставались еще многие вопросы относительно того, как удерживаются положительно заряженные частицы вместе на таких малых расстояниях, почему твердые тела сохраняют свою структуру и т.д.

Глава 4

Квантово-механическое описание электронной оболочки атома и его концептуальные противоречия

4.1. Модель атома Бора

Из структурной теории Резерфорда не было ясности в том, каким образом достигается устойчивость атома, если учитывать требование классической электродинамики о непрерывном излучении энергии во время движения электрона вокруг ядра. Однако в 1913 году Нильс Бор преодолел это противоречие, высказав «квантовую» концепцию дискретных энергетических уровней.

В основу своей теории Бора положил следующие два постулата.

I. Атомы могут длительно пребывать только в определенных стационарных состояниях, в которых, несмотря на происходящие в них движения электронов, они не излучают энергию. В этих состояниях атомы обладают энергиями, образующими дискретный ряд: $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n$. Состояния эти характеризуются своей устойчивостью, всякое изменение E_i происходит только при полном переходе (скачке) из одного состояния в другое.

II. (Условие частот) При переходе из одного стационарного состояния в другое атомы испускают или поглощают излучение только строго определенной частоты. Излучение, испускаемое или поглощаемое при переходе из стационарного состояния с энергией E_m в стационарное состояние E_n , монохроматично, и его частота ν определяется соотношением:

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h}.$$

Оба постулата Бора находятся в противоречии с выводами классической электродинамики. Однако эти постулаты находятся в полном согласии с установленными опытным путем свойствами атомов.

Электрон, по теории Бора, локализован на некоторой устойчивой круговой орбите вокруг ядра, удовлетворяющей квантовому условию о кратности момента количества движения p электрона величине $h/2\pi$. Таким образом, Бором было предложено уравнение:

$$p = \frac{nh}{2\pi} = mvr, \quad (4.1)$$

где n — положительное число, названное квантовым числом; h — постоянная Планка; m и v — масса и скорость электрона; r — радиус орбиты.

По Бору, орбита с наименьшим радиусом, для которой $n = 1$, является самой устойчивой для водородоподобного атома, и электрон на этой орбите находится в так называемом основном состоянии.

Интересно отметить, что в модели Бора нет механизма, предусматривающего излучение энергии электроном.

Для количественного расчета одноэлектронной системы принято, что сила притяжения между ядром и электроном возникает в результате кулоновских сил. Поэтому:

$$F = \frac{Ze^2}{r^2}, \quad (4.2)$$

где Z — порядковый номер элемента; r — радиус электронной орбиты. Если учесть, что кулоновская сила равна центробежной, то получим

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2}, \quad (4.3)$$

и отсюда для радиуса орбиты электрона выводим уравнение:

$$r = \frac{Ze^2}{mv^2}. \quad (4.4)$$

Из уравнения (3.15) следует, что:

$$v = \frac{nh}{2\pi mr}. \quad (4.5)$$

Подставляя это уравнение в (4.4), получим выражение для радиуса электронной орбиты:

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mZe^2}. \quad (4.6)$$

Для атома водорода $Z = 1$, если принять, что $n = 1$, то радиус атома должен быть равен $0,529 \cdot 10^{-8}$ см или $0,529 \text{ \AA}$ [8, с. 32]. Порядок этой величины совпадает со значениями r , найденными другими методами.

Рассмотрим энергию электрона в атоме. Общая энергия электрона складывается из его кинетической и потенциальной энергий. За нулевое значение потенциальной энергии принимают энергию электрона, находящегося в покое на бесконечно большом расстоянии от ядра. Найдем потенциальную энергию электрона по отношению к ядру:

$$E_n = \int_{\infty}^r f dr = \int_{\infty}^r \frac{Ze^2}{r} dr = -\frac{Ze^2}{r}. \quad (4.7)$$

Используя уравнение (4.3), найдем кинетическую энергию:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{Ze^2}{2r}. \quad (4.8)$$

Отсюда общая энергия электрона равна

$$E = E_k + E_n = \frac{Ze^2}{2r} - \frac{Ze^2}{r} = -\frac{Ze^2}{2r}. \quad (4.9)$$

Далее, подставляя значение r из уравнения (4.6) в уравнение (4.9), получаем энергию электрона в n -ом квантовом состоянии:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2}. \quad (4.10)$$

Как известно, Бор постулировал, что, когда электрон совершает переход из некоторого устойчивого состояния с энергией E_{n_1} в состояние с меньшей энергией E_{n_2} , справедливо выражение:

$$h\nu = E_{n_1} - E_{n_2}. \quad (4.11)$$

С учетом уравнения для E_n получаем уравнение для волнового числа $\bar{\nu}$ ($\bar{\nu} = \nu/c$):

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3} Z^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right). \quad (4.12)$$

Если параметр n_2 равен 2, то уравнение (4.12) превращается в уравнение (3.11) при $a = 2$. Постоянный множитель в уравнении (4.12) должен быть равен постоянной Ридберга:

$$R = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3} Z^2.$$

4.2. Квантовые числа

Теория Бора хорошо объясняла существование различных единичных линий в спектре водорода, но не могла объяснить тонкую спектральную структуру этих единичных линий, обнаруженных позднее с помощью более совершенных приборов.

Предполагая, что электрон вокруг ядра движется по эллиптической орбите, Зоммерфельд для объяснения этого факта предложил соотношение:

$$n = n_{\varphi} + n_r, \quad (4.13)$$

где n_{φ} — побочное азимутальное квантовое число, характеризующее угловой момент количества движения электрона по эллиптической орбите; n_r — радиальное квантовое число.

Использование этих квантовых чисел позволило получить приемлемое совпадение с экспериментальными данными.

В дальнейшем было обнаружено, что под действием магнитного поля спектральные линии расщепляются еще больше. Этот эффект, названный аномальным эффектом Зеемана, требовал введения третьего квантового числа m , названного магнитным квантовым числом. Это квантовое число, подобно моменту количества движения, определяется по выражению

$$P = m \frac{h}{2\pi}. \quad (4.14)$$

Таким образом, необходимость использования трех квантовых чисел для описания энергии электрона стала очевидной.

Анализ, проведенный Зоммерфельдом, привел, в конечном итоге, к сохранению главного квантового числа $n = 1, 2, 3, 4, \dots$, связанного с расстоянием между протоном и электроном, в уравнении (3.19) и к введению второго орбитального квантового числа l , характеризующего момент количества движения электрона по круговой орбите в единицах $h/2\pi$. Оказалось, что l может принимать только положительные значения от нуля до $n - 1$, т.е. $l = 0, 1, 2, 3 \dots (n - 1)$. А третье магнитное квантовое число m может равняться любому целому числу от $-l$ до $+l$, т.е. $m = -l, (-l + 1), \dots, (l - 1), l$.

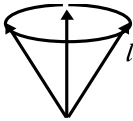


Рис. 4.1. Ларморовская прецессия электронной орбиты в магнитном поле

На рис. 4.1 показана ларморовская прецессия электронной орбиты в магнитном поле B . Орбитальное квантовое число l характеризует приобретение электроном дополнительной энергии за счет ларморовской прецессии во внешнем магнитном поле, а магнитное квантовое число m — проекцию орбитального

квантового числа l . Значение магнитного квантового числа определяется равенством $m = l \cos \theta$, где θ — угол между направлениями орбитального момента и внешнего магнитного поля.

На рис. 4.2 показана диаграмма ориентации моментов количества движения орбитального и магнитного квантовых чисел. Пространствен-

ное квантование атомов было впервые подтверждено опытами Штерна и Герлаха в 1921 г., наблюдавшими отклонение узкого пучка атомов паров серебра в неоднородном магнитном поле. Такое явление под-

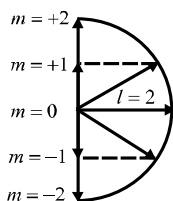


Рис. 4.2. Возможные ориентации орбитального момента количества движения в магнитном поле с $l = 2$

тверждается также и для атомов водорода. Кроме «магнитного» квантования с $m = 2l + 1$, пучок разделяется на две составляющие с $m = \pm(2l + 1)$, и причем делится так, что $l = 1/2$. Это находится в резком противоречии с выводами квантовой механики. Ожидалось, что для атомов водорода, где электроны имеют нулевой момент количества движения, пучок вовсе не должен был делиться. Чтобы объяснить такую тонкую структуру, Уленбек и Гаудсмит в 1925 г. ввели четвертое квантовое число. Это спин электрона s , который представляют себе как вращение электрона вокруг собственной оси при его движении вокруг ядра. Спиновый момент численно равен $1/2$ ($h/2\pi$). Вращающийся электрон также обладает магнитным моментом, и из спектральных данных следует, что вектор спина может ориентироваться только одним из двух способов — параллельно или антипараллельно внешнему магнитному полю, поэтому s может иметь только два значения, $+1/2$ или $-1/2$.

Таким образом, энергетическое состояние электрона в атоме определяется четырьмя квантовыми числами, имеющими значения: $n = 1, 2, 3, 4, \dots$; $l = 0, 1, 2, 3, \dots, (n-1)$; $m = -l, (-l+1), \dots, (l-1), l$; $s = -1/2, +1/2$.

Многояэлектронные атомы. Несмотря на то, что решение уравнения Шредингера найдено только для атома водорода, его выводы об энергетических состояниях электрона в атоме, характеризующиеся различным набором квантовых чисел, используют и для описания электронных оболочек многояэлектронных атомов Периодической системы элементов Д.И. Менделеева.

Имея в виду довольно важную роль, которую играет квантовое число l в геометрическом строении и энергетических состояниях атома, его значениям дали следующие специальные обозначения:

l	0	1	2	3
Обозначение	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>f</i>

Таким образом, запись $1s$ следует понимать как квантовое состояние электрона с $n = 1$ и $l = 0$; запись $2p$ — как для электрона с $n = 2$ и $l = 1$ и т.д. Число электронов в атоме с данными значениями n и l обо-

значается индексом сверху. Так, запись $2s^2$ показывает, что в атоме есть 2 электрона с $n = 2$ и $l = 0$.

Ранее было показано, что квантовые числа n , l и m , фигурирующие в решениях уравнения Шредингера для атома водорода, характеризуют движение электрона в атомах не в полной мере. Как показывает опыт, электрон имеет четвертую степень свободы, называемую спином, который характеризует собственный момент импульса. Это приводит к появлению нового квантового числа, называемого спиновым квантовым числом m_s , которое имеет только два значения $+1/2$ и $-1/2$ в единицах $h/2\pi$.

Энергия электрона в атоме водорода определяется только величиной n и не зависит от остальных квантовых чисел. Решение уравнения Шредингера дает соотношение:

$$E = - \frac{2\pi^2 m_e Z^2 e^4}{n^2 h^2},$$

что идентично уравнению, получающемуся из теории Бора. Очевидно, что может быть несколько состояний электрона с одинаковой энергией, связанных с квантовыми числами n , l , m_l и m_s . Эти состояния являются вырожденными. Этим объясняется расщепление спектральных линий при помещении источника излучения в электрическое или магнитное поле (Эффекты Штарка и Зеемана). Как и в атоме водорода, в многоэлектронных атомах состояние каждого электрона определяется значениями четырех квантовых чисел n , l , m_l и m_s .

В многоэлектронных атомах энергия электрона зависит не только от n , но и от l , из-за влияния полей других электронов. При этом энергия возрастает как с увеличением n , так и с увеличением l . Вообще энергетические уровни в многоэлектронных атомах описываются с учетом того, что уровни ns , $(n-1)d$ и $(n-2)f$ сравнительно мало различаются по энергии и всегда имеют более низкую энергию, чем уровень np .

Таким образом, наблюдается следующая последовательность энергетических уровней по мере возрастания:

$$1s \angle 2s \angle 2p \angle 3s \angle 3p \angle 4s \approx 3d \angle 4p \angle 5s \approx 4d \angle 5p \angle 6s \approx 5d \approx 4f \angle 6p.$$

Состояние электронов в многоэлектронных атомах всегда отвечает квантово-механическому закону, сформулированному Паули (принцип Паули). Согласно этому принципу, в атомной или молекулярной системе не может быть двух электронов, у которых все четыре квантовые числа были бы одинаковыми. Принцип Паули ограничивает число электронов в атоме, обладающих определенным значением n . Макси-



мальное число электронов в атоме, которые обладают одинаковым значением n , равно $2n^2$.

Поскольку величина n определяет среднее расстояние электрона от ядра, то совокупность электронов в атоме, обладающих одинаковым значением n , называют электронным слоем.

Электронные слои обозначаются прописными буквами в соответствии со следующей схемой:

n	1	2	3	4	5	6	7
Обозначение слоя	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>

Совокупность электронов с одинаковым значением l называют электронной оболочкой и обозначают, как было сказано выше, s , p , d и f -оболочки. Максимальное число электронов в оболочке равно $2(2l + 1)$.

Если для значения s оболочки нужно только 2 электрона с противоположными спинами по ячеистой схеме , то для заполнения p -оболочки необходимо 6 электронов по схеме , для d -оболочки — 10 и для f -оболочки — 14. Каждой ячейке на этих схемах соответствует определенная орбиталь.

Установлено, что заполнение электронных оболочек происходит таким образом, чтобы суммарный спин был максимальным, т.е. сначала ячейки в оболочке заполняются электронами с одинаковым знаком спина по одному электрону на каждую ячейку, а затем идет заполнение ячеек вторыми электронами с противоположными знаками спина. Это важное положение носит название правила Хунда.

4.3. Волновая механика

Дуализм электромагнитных волн. В 1905 г. Эйнштейн высказал предположение о том, что идея о квантовании должна быть применена не только к процессам лучеиспускания и лучепоглощения, но также к излучению как таковому. Это значит, что электромагнитное излучение состоит из частиц, называемых сейчас фотонами, имеющих энергию $h\nu$ и распространяющихся в пространстве со скоростью света.

Удовлетворительное объяснение Эйнштейном электрического эффекта было одним из триумфов квантовой теории. По Эйнштейну, фотоэлектрический эффект заключается в том, что когда электромагнитное излучение, падающее на металлическую поверхность, вырывает из металла электроны, оно сообщает им энергию движения, равную:

$$E_{\text{фэ}} = \frac{mv^2}{2} = h\nu - A, \quad (4.15)$$

где $h\nu$ — энергия падающего фотона; A — работа выхода электрона из металла.

Таким образом, электромагнитное излучение ведет себя не только как волна, но и как частица, в чем проявляется ее дуализм, и это не соответствует классическим физическим представлениям о волне.

Волновая природа электрона. Луи де Бройль в 1924 г. предложил, что дуализм следует отнести не только к излучению, но и к любым материальным частицам, и ввел представление о волнах материи. Как известно, применительно к фотону его энергия

$$E = \nu h. \quad (4.16)$$

В то же время в теории относительности Эйнштейна энергия частицы, обладающей массой, определяется по уравнению

$$E = mc^2, \quad (4.17)$$

где c — скорость света.

Приравнивая эти два выражения, получаем:

$$\nu h = mc^2 \quad (4.18)$$

или

$$\frac{\nu h}{c} = mc = p, \quad (4.19)$$

где p — импульс фотона. Отсюда получаем выражение для длины волны:

$$\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{h}{p}. \quad (4.20)$$

Если рассматривать материальную частицу с массой m и скоростью v , то получим:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}. \quad (4.21)$$

Длину волны такой частицы часто называют длиной волны де Бройля.

Далее Дэвиссон и Джермер показали, что электрон действительно ведет себя как волна, в соответствии с теорией Бройля, при прохождении дифракционной решетки из кристаллов никеля. Волновые свойства были обнаружены и для бесспорно материальных частиц, таких как нейтрон и атом гелия.

Принцип неопределенности. Если первым принципом волновой механики являются волновые свойства электрона, то вторым принципом может считаться принцип неопределенности Гейзенберга, который

находит свое отражение в статической природе наблюдений. Гейзенберг исходит из того, что неопределенность импульса электрона вытекает от невозможности точного определения его импульса, в силу влияния на него носителя информации — кванта света при измерениях. Например, определение координаты электрона с помощью микроскопа по оси x дает неопределенность Δx порядка длины волны λ использованного света, $\Delta x \sim \lambda$. Импульс связан с длиной волны соотношением $P = h/\lambda$, отсюда неопределенность импульса электрона $\Delta p_x \approx h/\lambda$. Умножая на λ и подставляя Δx вместо λ , получаем:

$$\Delta x \Delta p_x \approx h. \quad (4.22)$$

Это и есть соотношение неопределенности Гейзенберга.

Из этого соотношения создатели квантовой механики сделали вывод о невозможности создания детерминистической модели атома в классическом смысле, исходя из того, что такие модели не будут согласовываться с опытом. Это значит, что мы должны признать волноподобное поведение системы и вероятный характер наших наблюдений.

Квантово-механическая модель атома водорода. В 1925–1926 гг. Гейзенберг (Германия) и Шредингер (Австрия) предложили, независимо друг от друга, два варианта квантовой механики. Метод Шредингера оказался более удобным для выполнения расчетов.

Законы движения микрочастиц в квантовой механике выражаются уравнением Шредингера. Это уравнение для одной частицы имеет вид:

$$-\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \left(\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{d^2 \psi}{dy^2} + \frac{d^2 \psi}{dz^2} \right) + U\psi = E\psi \quad [9], \quad (4.23)$$

где \hbar — постоянная Планка; m — масса частицы; U — потенциальная энергия; E — полная энергия; x, y и z — координаты.

Величину ψ называют волновой функцией, а квадрат ψ^2 — плотностью вероятности нахождения частицы (электрона) в данном месте пространства.

В соответствии с физическим смыслом волновой функции она должна быть конечной, непрерывной и однозначной, а также обращаться в нуль там, где частица не может находиться.

Атом водорода устроен наиболее просто, он может иметь только один электрон, движущийся в поле ядра. В этом случае входящая в уравнение функция потенциальной энергии принимает вид

$$U = -e^2/r. \quad (4.24)$$

Решение полученного уравнения Шредингера — весьма сложная математическая задача, поэтому мы его не приводим, ограничиваясь

только выделением основных его особенностей и обсуждением их физического смысла.

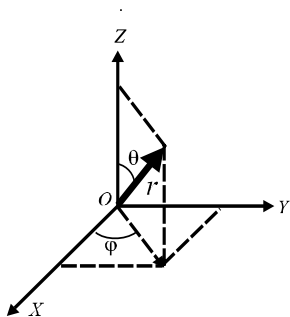


Рис. 4.3. Полярная система координат

Движение электрона в подобных задачах удобно рассматривать в полярной системе координат, центр которой совпадает с центром атома. Положение электрона в этом случае определяется величиной радиус-вектора r (расстояние от центра) и углами θ (угол широты) и φ (угол долготы). На рис. 4.3 приведена полярная система координат, совмещенная с декартовой.

Полярные координаты через прямоугольные их аналоги выражаются следующими соотношениями:

$$x = r \sin \theta \cos \varphi; \quad y = r \sin \theta \sin \varphi; \quad z = r \cos \theta. \quad (4.25)$$

Подставив функцию Ψ в уравнение Шредингера в виде произведения трех функций, каждая из которых содержит только одну переменную, получаем:

$$\Psi = (r, \theta, \varphi) = R(r) \theta(\theta) \Phi(\varphi). \quad (4.26)$$

Наличие трех переменных приводит к тому, что в решении появляются три величины, которые принимают только целочисленные значения — три квантовых числа. Эти квантовые числа обозначаются буквами n , l и m_l . В самом общем виде результат решения уравнения Шредингера для атома водорода можно выразить равенствами:

$$R(r) = f_1(n, l); \quad \theta(\theta) = f_2(l, m_l); \quad \Phi(\varphi) = f_3(m_l). \quad (4.27)$$

Квантовые числа могут принимать следующие значения:

$$n = 1, 2, 3 \dots \infty; \quad l = 0, 1, 2, 3 \dots (n - 1), \\ m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \pm l. \quad (4.28)$$

При анализе Периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева мы увидим, что эти квантовые числа характеризуют движение электронов не только в атоме водорода, но и в любом другом атоме. Квантовые числа n и l , как видно из (4.27), определяют функцию радиального распределения вероятности пребывания электрона в атоме. Графики этих функций показаны на рис. 4.4. Введение по оси ординат значений $R^2(r)$, умноженных на $4\pi r^2$, позволяет получить вероятность, отнесенную не к единице объема, а к единице расстояния от ядра атома — функцию радиального распределения электронной плотности.

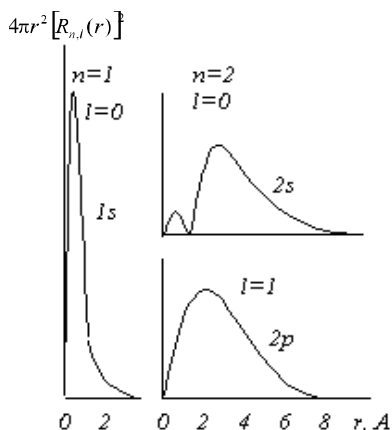


Рис. 4.4. Радиальное распределение вероятностей

Важно отметить, что из рис. 4.4 следует вывод об одновременном пребывании электрона в любой точке атома с различной вероятностью распределения, в зависимости от расстояния (r) от центра. Поэтому современным представлениям отвечает понятие об электронном облаке, плотность которого в различных точках определяется величиной Ψ^2 .

Такое представление в корне отличается от теории Бора-Зоммерфельда, согласно которой электрон движется по определенным орбитам.

В соответствии с новыми квантово-механическими представлениями исчезает свойственное классической физике понимание детерминизма явлений, опирающееся на возможность получения точного представления о физической реальности в пространстве и времени. А это означает, что в микромире нельзя больше достоверно предвидеть явления, которые еще только будут происходить.

Согласно этим представлениям, нельзя утверждать, что частица находится в определенной точке пространства, имеет определенный импульс и траекторию. Она может проявлять себя как находящаяся в определенной точке пространства или имеющая определенный импульс лишь в тот момент, когда производится измерение. Частица в каждый данный момент времени обладает целым рядом возможных состояний движения, причем эти различные возможности могут осуществляться в момент измерения с различными вероятностями.

Представители «Копенгагенской школы» приходят к выводу о том, что частица не является определенным объектом в пространстве и времени, она представляет собой лишь совокупность возможностей, связанных с вероятностью.

4.4. Концептуальные противоречия квантовой механики

Методами классической и квантовой физики были открыты фундаментальные закономерности строения электронной оболочки атомов (многие наглядно отражены в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева), составлены спектральные карты элементов, отражающие строго фиксированные значения энергий для каждого электрона в атоме (при уровне спиновых различий, равном $1/2 \cdot \hbar$). Однако, несмотря на это, помощь квантовой механики для более глубокого понимания пространственной структуры электронных оболочек и ядер атомов оказалась очень скромной. При этом она отменила существование электронных орбит, самих электронов как частиц, имеющих траектории движения, и утвердила электрон как физическое явление, представляющее собой только совокупность энергетических возможностей, связанных с вероятностью. В результате в области познания фундаментальных структур Мироздания, таких, как атом, квантовые часты и т.д., сложилась ситуация, которая привела вероятностной парадигме, ставшей причиной нарушения причинно-следственных связей в процессе познания таких структур.

Вероятностное поведение электрона. Как уже говорилось, на основании работ Эйнштейна и Бора в 1924 г. де Бройль предположил, что дуализм корпускулярного и волнового характера излучения относится к любым материальным частицам. Шредингер на основании догадки де Бройля предложил описывать движение электрона в кулоновском поле ядра волновой функцией ψ , решение которой в отсутствие потенциального поля было описанием волны де Бройля.

Макс Борн, применив вероятностные идеи и учитывая принцип неопределенности Гейзенберга при измерениях, дал общепринятую в настоящее время трактовку волновой функции. Согласно ей, волновая функция частицы — это не амплитудная функция в обычном смысле, используемая для описания волн, а скорее мера вероятности события. Когда волновая амплитуда велика, то велика и вероятность события, малая амплитуда отвечает столь же малой вероятности событий. Таким образом, по представлению авторов квантовой механики, электрон в атоме перестает быть частицей, а представляет вероятностное облако состояний. Тогда как же трактовать модель атома водорода Бора, где электрон имеет определенную траекторию движения вокруг ядра, как частица, имеющая массу с конечным объемом. Не может же быть такого, что по прихоти математической модели, электрон вдруг рассыпается в вероятностное облако по всему объему, ограниченному диаметром описываемой им окружности (в атоме Бора), по всем возможным состояниям. Как можно понимать нахождение одного и того же электрона одновременно в разных состояниях,

в соответствии с разной координатой его нахождения относительно ядра во внутреннем объеме облака вероятностей? Каким образом, также, можно объяснить наличие определенной величины спина (собственного момента количества движения) у электронного облака, обладающего раз-ной плотностью вероятности?

Такие и другие вопросы в современной теории квантовой механики не находят ответа, что говорит о серьезных нерешенных противоречиях существующих в ней.

Принцип неопределенности Гейзенберга. Как известно, принцип неопределенности является неизбежным следствием математического формализма квантовой механики и выступает как краеугольный камень основного его утверждения о том, что в атоме электрон определен как облако вероятностных возможностей. Как было показано ранее, Гейзенберг ввел свой принцип, опирающийся на соотношение неопределенностей импульса и координат микрочастицы по (4.22). Причем Гейзенберг вывел соотношение неопределенностей не непосредственно из математического аппарата квантовой механики, а на основании рассуждений, относящихся к некоторым мысленным экспериментам с одной микрочастицей. Гейзенберг не касался экспериментальных трудностей. Он решил, что в его распоряжении имеются абсолютно точные приборы, которые он может использовать непосредственно с безукоризненным мастерством. Его интересовали лишь теоретические трудности выполнения измерений.

Рассмотрим точное измерение частоты по мысленному эксперименту Гейзенберга.

Частота измеряется подсчетом числа волн за известный промежуток времени. Но из-за несинусоидального характера частей наблюдаемой волны возникает неопределенность примерно в одно колебание в числе измеренных периодов. Эта неопределенность возникает не как следствие экспериментальных ошибок, а представляет внутреннее свойство самой волны или ее наблюдения. Значит, если при измерении характеристического излучения электрона возникает неопределенность, то поведение электрона в атоме описать невозможно, можно только говорить о его вероятностном поведении согласно амплитуде волновой функции.

Проанализируем изложенные выше рассуждения.

Соотношение принципа неопределенности Гейзенберга математически формально верно только тогда, когда мы рассматриваем проблему измерений. Согласно (4.22) это соотношение может иметь вид $\Delta x \cdot \Delta p < h$ или $h < \Delta x \cdot \Delta p < 2h$, что невозможно, поскольку по теории волн де Бройля, это соотношение имеет вид $\lambda \cdot p = h$ и принимает только строго определенное значение, которое принципиально не может быть

нарушено. В противном случае мы имели бы нарушение основополагающего принципа всей квантовой механики.

На самом деле, как для квантовых частиц, так и для электромагнитных волн фундаментальная постоянная Планка h в уравнении де Бройля является незыблемой величиной, исключаяющей любое малое неравенство, в том числе и неравенство соотношения неопределенностей Гейзенберга, т.е. само это соотношение неопределенностей. И действительно, величины меньшей постоянной Планка, равной h , ни один самый совершенный прибор, в принципе, измерить не сможет, поскольку при значениях, меньших этой величины h , в нашем пространстве не сможет осуществиться ни одно событие, в том числе и сам акт измерения.

Общие принципиальные трудности одновременного измерения импульса и координаты любого движущего объекта, хотя бы и для движущего железнодорожного состава, нельзя переносить на характер существования неопределенностей фундаментального характера, например, для электромагнитных волн, потому что соотношение неопределенностей Гейзенберга нарушает фундаментальный закон существования этих же волн (де Бройля).

Уравнение Шредингера и интерпретация выводов из него. Одной из главных ошибочных интерпретаций выводов из волнового уравнения Шредингера является отнесение его всевозможных решений по всем наборам квантовых чисел только к одному электрону, когда как одному электрону в данный момент времени должно соответствовать только одно разрешенное его состояние. Например, весь мгновенный набор спектральных линий атомарного газа водорода при интерпретации решений волнового уравнения относят к характеристическому излучению только одного электрона, связывая весь спектр этого излучения его разрешенными состояниями. В итоге из такой ошибочной интерпретации вытекает понятие о вероятностном облаке энергетических состояний электрона. Очевидно, что набор спектральных линий *в данный момент времени* есть результат излучения атомарного газа с участием всех электронов. Это значит, что в решении уравнения Шредингера каждое разрешенное состояние электрона как в атомарном газе, так и в многозарядном атоме в данный момент времени должно относиться только одному из множества их электронов.

Как известно, волновое уравнение Шредингера, вследствие чрезвычайной сложности, может быть решено только для водородоподобного атома. Такая сложность его решения связана с тем, что координатная система и волновая функция для отражения движения электрона в условиях атома не соответствуют друг другу, поскольку, используемая здесь известная декартовая система координат не соответствует реальной тра-

ектории равномерного движения электронов в атоме. Очевидно, что это приводит к большим математическим сложностям. Кроме этого, представление при этом решении орбитального движения как — прямолинейное имеет принципиальный запрет, поскольку в поляризованном пространстве атома равномерное прямолинейное движение электронов без затрат или приобретения энергии извне невозможно.

Далее рассмотрим адекватные физической реальности условия описания динамики движения материальных тел, в частности квантовых частиц, в пространстве, поляризованном потенциальными полями.

Концепция геометрии реального пространства и динамика движения

С момента появления квантовой механики, которая описывает движение квантовых частиц в микромире не как частиц в классическом их понимании, а, представляя их, как некое вероятностное облако состояний, наш причинно-следственный логический способ познания Мироздания вообще выбит из своих устоев и приобрел некий мистический оттенок. И не удивительно то, что вероятностная парадигма квантовой механики, принятая около века тому назад, так и не привела к расшифровке структуры атома и объяснению многих феноменальных фактов микромира, а стратегически завела процесс познания в *вероятностное* направление, которое в принципе не предназначено для структурного описания систем. Стало очевидным то, что без возврата к классическому причинно-следственному способу познания явлений микромира дальнейший рост наших знаний в этой области будет значительно затруднен и в будущем. Возможно, причиной сложившейся тупиковой ситуации в описании микромира являются несовершенные способы отражения геометрии реального пространства как в классической, так и в квантовой механиках, а также фундаментальные несоответствия, противоречащие нашему пониманию сути проявлений микромира, которые возникли вследствие неполного учета всех факторов динамики движения заряженных квантовых частиц при действии на них сил различной природы. Очевидно, что для того, чтобы вернуться к пониманию явлений микромира, не отвергая на этом пути классическую механику, необходимо найти способы описания их, не противоречащие здравому смыслу при сохранении преемственности сложившихся представлений о реальном физическом мире. Так как задача, в сущности, состоит в раскрытии структуры атома, то очевидно, что нам достаточно найти простые и наглядные способы описания пространственного распределения и ориентации орбит электронов вокруг ядра атома, не касаясь при этом временной зависимости координат движения электронов по самой орбите.

5.1 Соотношение динамических свойств и геометрии поляризованного пространства в описании движения тел

Классическая механика И. Ньютона, основанная на трех законах динамики и законах тяготения, была создана на базе евклидовой гео-

метрии пространства. Повседневный опыт подтверждает справедливость евклидовой геометрии для выполнения Первого закона Ньютона, пока имеют дело с относительно малыми скоростями. Но при переходе к другим масштабам и большим скоростям, начиная от микромира до масштабов космоса, приходится сталкиваться с факторами неоднородности реального пространства, т. е. с факторами его искривления. Например, в присутствии поля тяготения геометрия пространства перестает быть евклидовой. В таких условиях необходимо признать, что равномерное движение материальных тел в реальном пространстве по прямой линии без затрат или приобретения энергии извне, в принципе, невозможно. Таким образом, если рассматривать пространство в одном единстве со всей находящейся в нем физической материей любого рода, то геометрия такого пространства перестает быть евклидовой и противоречит ее постулатам. В связи с вышесказанным в существующей теории квантово-механического описания пребывания электронов в атоме имеются концептуальные недостатки фундаментального характера. Например, при известном решении волнового уравнения Шредингера по описанию пребывания электрона в потенциальном поле ядра, несмотря на искривленную динамику свободного движения электрона, пространство отражают в декартовой системе координат, представляя его однородным и изотропным. Заметим, что при этом и орбитальное движение электрона описывают как прямолинейное, поскольку на осях декартовой системы координат отлагают длины сторон ребер потенциального ящика, одна из вершин которого находится в центре. Однако при таком подходе прямолинейное движение, кроме равномерного, включает в себя также и ускоренное движение по радиальным линиям. Помимо этого, при решении волнового уравнения движение электрона в потенциальном ящике рассматривается еще и в полярной системе координат, представленной математическим преобразованием декартовой системы (гл. 4, стр. 49).

Очевидно, что, во-первых, описывать круговые траектории движения электрона в потенциальном поле как прямолинейное движение по радиальным линиям в принципе неверно. Во-вторых, использование при этом как декартовой, так и полярной систем координат в евклидовом пространстве приводит к сложным математическим выводам и получению, в конечном счете, некорректных результатов.

Устранение принципиальных противоречий в описании движения материальных тел в реальном пространстве может быть осуществлено при учете его геометрических свойств, отражающих влияние на траекторию движения тел. Заметим, что утверждение о какой-либо геометрии пространства, конечно, некорректно, поскольку нам неизвестно что и как, а также по каким границам искривляется. Более того, в существ-

вующих теориях пространства при определении его геометрии нет единого подхода и о ней судят чисто условно, например, по динамике движения в нем материальных тел или по другим его проявлениям. В последние века появилось много теорий геометрий искривленных пространств. В этих теориях, как правило, в начале, описывают искривленную геометрию пространства в декартовой системе координат математическим формализмом, а затем в этом математически геометризованном пространстве описывают траекторию движения тел и т.д. Однако такие известные подходы также приводят к большим трудностям и потере наглядности описания.

Одним из путей устранения трудностей в описании движения тел в поляризованном пространстве, например электрона в поле заряда ядра атома могло бы быть исключение промежуточного математического представления геометрии такого пространства в декартовой системе координат. Это может быть осуществлено представлением геометрии поляризованного пространства графически, сразу отражая ее в системе координат с осями, соответствующими геометрической конфигурации пространства. При таком подходе функция движения тел в поляризованном пространстве, относительно криволинейных координатных осей, соответствовала бы геометрии такого пространства и, в то же время, была бы эквивалентна прямолинейному движению, что дало бы возможность упрощенного ее представления. Очевидно, что при этом удалось бы избежать предварительного математического описания геометрии пространства в декартовой системе координат, а также дальнейшее усложненное описание движения тел в таком математическом пространстве. Возможен ли такой путь, если да, то по каким принципам при этом необходимо выделять саму геометрию пространства? Рассмотрим их. Заметим, что графическое представление геометрии поляризованного пространства может быть сделано относительно внешнего опорного пространства, которое должно быть необязательно прямым, но *однородным* пространством, подвергшимся этой местной поляризации.

Поскольку геометрические свойства пространства связывают, в основном, с динамикой движения тел, то одним из принципов его графического отображения, т.е. отображения его геометрии должно быть *соответствие* этой геометрии динамическим свойствам пространства. Тогда, возникает очередной вопрос, как и на каких принципах при этом должна *соответствовать* геометрия пространства его динамическим свойствам, т.е. динамике движения в нем материальных тел. Однако, на сегодняшний день в известных теориях так и не сложилось четких однозначно сложившихся фундаментальных принципов отражения гео-

метрии пространства в соответствии с динамикой движения. Далее рассмотрим возможность выделения таких принципов.

Если при описании движения тел мы хотим сохранить преемственность, то при движении тел в соответствии с геометрией пространства выполнение законов классической механики должно быть неизбыточным, что примем из всех возможных принципов, как основной. Для отыскания других принципов вернемся к первопроходцу в этом направлении И. Ньютону, поскольку он первым связал геометрию пространства с динамикой движения в нем материальных тел, т.е. с его динамическими свойствами. Как известно, классическая механика И. Ньютона, основанная на трех законах динамики и законе тяготения, была создана на базе евклидовой геометрии пространства, которое однородно и изотропно, что позволяет отражать его протяженность прямой линией. Это его свойство в явном виде отражено в Первом законе и в неявном — во Втором и Третьем законах Ньютона. Первый закон Ньютона гласит: *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставят его изменить это состояние*. Здесь, прямая геометрия евклидова пространства связана с его *динамическими свойствами*, заключающимися в возможности равномерного прямолинейного движения по инерции в любом направлении и с любыми скоростями на основе принципов *однородности и изотропности* этих его динамических свойств. Таким образом, мы нашли искомые принципы соответствия геометрии пространства его динамическим свойствам, при которых сохраняется преемственность выполнения законов динамики Ньютона. Далее рассмотрим условия и необходимость действия этих принципов *однородности и изотропности* для отражения геометрии пространства при соблюдении основного принципа по части преемственности выполнения законов классической механики.

Евклидово однородное и изотропное пространство, соответствующее динамическому прямому пространству Ньютона, отражают в декартовой системе координат, в которой можно выделить: трехмерную геометрию любого отдельно выделенного участка пространства формой куба, двумерную — плоскостью, а одномерную — прямой линией. Как видно, для выполнения Первого закона Ньютона нет необходимости, чтобы евклидово пространство было изотропно, достаточно, чтобы оно было однородно на плоскости или по прямой линии. Это говорит о том, что для выполнения Первого закона Ньютона действие принципа изотропности необязательно. Таким образом, для отображения геометрии пространства, в котором выполняются законы классической механики (основной принцип), необходим и достаточен лишь один принцип, а именно принцип однородности пространства. Далее, если в условиях

сохранения принципа однородности пространства и выполнения при этом Первого закона Ньютона исключить необходимость прямолинейного движения, то *однородное пространство* на плоскости или по линии не обязательно должно быть прямым. Выясним, так ли это.

Очевидно, что в однородном слое искривленной и непрерывной геометрической конфигурации пространства, например, на поверхности сферы всегда есть возможность равномерного движения по инерции сколь угодно долго, согласно Первому закону Ньютона. В этих условиях траекторию движения тела может оценить только сторонний (внешний) наблюдатель, а для самого движущегося тела не имеет значения, движется оно прямо или иначе. Более подробное обоснование этих суждений рассмотрим позже. Таким образом, *непрерывная однородность искривленного пространства* является необходимым и достаточным условием для осуществления равномерного движения, отвечающего условиям выполнения Первого закона Ньютона также как и в евклидовом пространстве. *Возможность равномерного движения по инерции в однородном пространстве, соответствующем евклидовому пространству, по искривленной траектории сколь угодно долго, далее, примем как условие, соответствующее принципу непрерывной однородности.* Такой принцип позволяет отражать геометрическую конфигурацию однородных плоских слоев или линий в пространстве при сохранении преемственности выполнения законов классической механики. Исходя из принципа непрерывной однородности, можно принять, что *геометрия пространства это есть конфигурация пространственного континуума с однородными динамическими свойствами, в котором материальные тела могут находиться в состоянии покоя или равномерного движения сколь угодно долго.*

Исходя из принципа непрерывной однородности, рассмотрим примеры возможных геометрий пространств.

Конфигурацию евклидово пространства с однородными свойствами, т.е. его геометрию, как отмечали выше, можно отразить трехмерно — формой куба, а конфигурацию пространства, поляризованного центральным потенциальным полем, — только двумерными плоскими слоями, образующими замкнутые сферические поверхности, трехмерная интегральная конфигурация которых при непрерывном ряде значений радиуса дает форму объемной сферы. Геометрия пространства, поляризованного по прямой линии, представляет собой конфигурацию поверхности цилиндра, а геометрия пространства между двумя такими линиями поляризации — конфигурацию одномерной прямой линии. Пространство между двумя точечными центрами поляризации имеет геометрию в виде одномерных конфигураций по линии окружности. Как видно, геометрия пространства, установленная по принципу непрерыв-

ной однородности, может принимать самые различные конфигурации, которые в зависимости от способа его поляризации могут быть трех-, двух- и одномерными. Мы увидели, что из непрерывного ряда геометрических линий пространства может быть составлена их интегральная конфигурация, которая, например, из непрерывного ряда геометрических линий пространства, представляющих линии окружностей вокруг центра поляризации на плоскости, может иметь вид плоского круга.

Исходя из того, что использование принципа непрерывной однородности позволяет построить геометрию пространства, в котором достигается преемственность выполнения законов классической механики, рассмотрим далее некоторые существующие геометрические теории с целью выявления в них похожих связей геометрии и динамических свойств пространства.

Несмотря на изобилие математических моделей геометрий пространства, до сегодняшнего дня нет последовательной и непротиворечивой теории. В существующих теориях геометрий пространства нет единого принципа, устанавливающего, что означает искривленное пространство и понятие — «геометрия пространства». Кроме того, многие модели этих геометрий внутренне противоречивы. Например, некоторыми существующими теориями одновременно признается два взаимоисключающих свойства реального пространства — однородность и изотропность, а также искривленность геометрии и неоднородность его свойств. Созданы также теории искривленных геометрий, где в основном рассматриваются абстрактные поверхности, имеющие различную кривизну в евклидовом пространстве, например, в теории геометрии Бойяи-Лобачевского на поверхности трехмерного гиперboloида, Гаусса и Римана на поверхности сферы и т.д. без привязки их к чему-либо (например, движению). Рассмотрим вкратце некоторые из них.

В XIX в. удалось понять, что в пространстве могут возникнуть и неевклидовы геометрии. Конечно, вопрос о существовании неевклидовой геометрии в связи с физической реальностью ставился уже тогда. Основная заслуга в этом принадлежит Лобачевскому (1792–1856), Бойяи (*Bolyai*, 1802–1860) и Гауссу (1777–1855), хотя к идеям неевклидовой геометрии приходили и другие. В этих новых геометриях роль прямых играют так называемые геодезические линии Лобачевского. Доказано, что геометрия Лобачевского эквивалентна геометрии на трехмерном гиперboloида, который можно представить себе помещенным в четырехмерное пространство с евклидовой геометрией, непротиворечивость которой считается доказанной.

Новая геометрия Лобачевского обладает необычными свойствами. Например, сумма углов треугольника в этой геометрии всегда меньше 180 градусов и зависит от линейных размеров так, что в малых

областях она неотличима от евклидовой, а в больших — существенно отличается и может иметь сколь угодно большое значение. Кроме того, в этой геометрии через точку вне заданной прямой проходят, по крайней мере, две прямые, ей параллельные. Однако геометрия Лобачевского построена чисто абстрактно, только из теоретических представлений геометрических конфигураций без привязки их к чему-либо.

Позже идеи о связи физических свойств материи со свойствами искривленного пространства развивал Клиффорд (*Klifford 1845–1879*). Он предполагал, что причинами появления кривизны пространства могут быть теплота, свет и электромагнитное поле, но при этом им не ставился вопрос о том, что значит кривизна пространства.

Антитезой гиперболической геометрии Лобачевского является сферическая геометрия Римана (1826–1866), где через точку вне прямой вообще нельзя провести прямую, ей параллельную. Такая геометрия эквивалентна геометрии на трехмерной сфере в четырехмерном евклидовом пространстве. Сумма углов треугольника, расположенного на поверхности такой сферы, всегда больше 180 градусов. Ее двумерный вариант — это сферическая геометрия на земном шаре. *Роль прямых здесь играют геодезические линии большого круга.*

В отличие от своих предшественников, строивших свою неевклидовую геометрию глобально, во всем пространстве, Риман строил геометрию локально, в точке. Расстояние между бесконечно близкими точками с координатами x^i и $x^i + dx^i$ ($i = 0, 1, 2, 3$) в римановой геометрии определяется квадратичной формой $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$ (по повторяющимся индексам здесь имеется в виду суммирование). Здесь g_{ik} — так называемый метрический тензор, через который выражают кривизну риманова пространства и прочие его свойства. Если кривизна в евклидовом пространстве всегда равна нулю, то в римановом пространстве она всегда отлична от нуля. Кривизна риманова пространства — довольно сложное понятие. Достаточно сказать, что она описывается тензором четвертого ранга R_{ijkl} (тензором Римана), который строится из компонентов метрического тензора g_{ik} и его производных. У Римана кривизна пространства рассматривается также как и у Лобачевского, чисто абстрактно, без какой-либо привязки к динамическим свойствам этого континуума.

В теории немецкого математика Вайценбека описывается геометрия пространства из представления его, как внутреннюю геометрию резинового диска, деформированного вследствие вращения. В отличие от геометрии Римана, геометрия Вайценбека обладает не только кривизной пространства, но и его кручением.

Принципиально иначе обстоит дело в общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна, где плоские *искривленные поверхности геометрии Римана отождествляются гравитационным полем*, которое может быть убрано выбором системы отсчета. У Эйнштейна геометрия пространства в гравитационном поле определяется сферической конфигурацией поверхности геометрии Римана, что принято как постулат без какого либо критерия. Это значит, что в ОТО динамические свойства поляризованного пространства, по сути, связаны с его геометрической конфигурацией. Очевидно, что геодезические линии геометрии Римана на сферической поверхности можно рассматривать в ОТО Эйнштейна как круговые траектории движения в однородном гравитационном поле, т.е. в однородном пространстве, эквивалентном евклидовому. Здесь Эйнштейном, путем формального исключения гравитационного поля при переходе в ускоренную систему отсчета со сферической геометрией, в сущности, выявлен принцип непрерывной однородности, при котором движение материального тела в условиях центрального потенциального поля эквивалентно движению в евклидовом пространстве. Это подтверждается и геометрией Римана, используемой в ОТО, где круговые траектории движения по геодезическим линиям приравнены к прямым. Однако, ОТО Эйнштейна, касательно определения геометрии пространства, противоречива, поскольку в этой теории пространство однородно и изотропно и, в то же время, оно признается искривленным гравитационным полем, хотя, из такого противоречия в ОТО выходят, как было сказано, удалением действия гравитационного поля выбором системы отсчета и приравниванием круговых траекторий движения к прямолинейным.

Изучение электромагнитных явлений, движения частиц с большими скоростями в масштабах, сравнимых со скоростью света, привело к удивительным выводам: пространство и время образуют единый континуум. Здесь роль расстояния между двумя близкими точками играет величина, называемая интервалом. Квадрат интервала в декартовых координатах определяется равенством:

$$ds^2 = c^2 dT^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2, \quad (5.1)$$

где c — скорость света; T — время.

Геометрия, определяемая таким интервалом, называется псевдо-евклидовой, а четырехмерное пространство с такой геометрией — пространством Минковского. Пространство Минковского однородно и изотропно. Оно отличается тем, что в нем можно ввести глобальную декартовую систему координат.

В последнее время Логуновым создана релятивистская теория гравитации (РТГ), в которой гравитационное поле признается как веще-

ственное поле, обладающее в пространстве Минковского плотностью, энергией и импульсом, и которое не может быть убрано выбором системы отсчета. Согласно РТГ, плоская однородная и изотропная Вселенная бесконечна. В теории Логунова относительно геометрии пространства сохраняются такие же противоречия, как и в ОТО, но в еще более усугубленном варианте, поскольку гравитационное поле не может быть убрано. А это значит, что в однородной и изотропной Вселенной присутствуют гравитационные поля, которые поляризуют пространство, нарушая его однородность по динамическим свойствам и т.д.

В результате развития идей Эйнштейна в последнее время Шиповым создана интегральная теория физического вакуума, где в пространстве Минковского учтена геометрия как Римана, так и Вайценбека. Очевидно, что геометрия Вакуума Шипова имеет те же внутренние противоречия, что и ОТО, но его интегральная теория, в отличие от предшественников, наиболее полно отражает динамические свойства пространства. Пространство событий в теории физического вакуума не только искривлено, а также и закручено. В общем случае кручение пространства Вайценбека выступает как источник появления римановой кривизны. Физический вакуум Шипова наделен структурой, обусловленной некими первичными вихрями, которые создают так называемые торсионные поля и выступают как первопричина существования в нем материи, *инерциальных полей* и т.д. В пространстве Шипова на основе расширенного толкования принципа инерции по геодезическим линиям возможно ускоренное движение по "инерции", что справедливо и для неизлучательного равномерного движения заряженных квантовых частиц, например электронов, по круговой траектории по инерции [10]. Это значит, что Шиповым, по сути, равномерное круговое движение в таком сферически искривленном однородном пространстве приравнено прямолинейному равномерному движению по инерции, удовлетворяющему Первому закону Ньютона в евклидовом пространстве, а также установлена связь между искривленной геометрической конфигурацией однородного пространства и динамикой движения в нем материальных тел эквивалентной условиям движения в евклидовом прямом пространстве.

В итоге, из анализа теорий геометрий пространства можно заключит, что, несмотря на наличие некоторых внутренних противоречий и их чрезвычайную сложность в описании, построение геометрии пространства, в котором достигается преемственность выполнения законов классической механики по принципу непрерывной однородности, по сути, уже обосновано и существующими теориями. Это значит, что конфигурация однородных свойств пространства, при которых выполнение законов классической механики эквивалентно выполнению их в

однородном и изотропном пространстве, является обоснованным критерием для определения его геометрии.

Идеальной фундаментальной геометрической конфигурацией пространства при сохранении преемственности выполнения законов динамики движения Ньютона по установленной нами выше версии может быть, например, однородные плоские слои пространства на поверхности сферы, по которым можно осуществить равномерное движение по круговой траектории сколь угодно долго. Исходя из современных знаний о космическом пространстве, можно предположить, что Всемиренное пространство, поляризованное центральным гравитационным полем, представляет собой слоистую структуру из потенциальных сфер, образованную из непрерывного ряда однородных плоских сферических поверхностей, вложенных друг в друга. Это значит, что единое космическое пространство, в первом приближении, представляет собой «матрешку» из непрерывного ряда потенциальных сфер с соответствующими радиусами кривизны, что особенно примечательно и для микрокосмоса, например, для энергетических уровней электронов в атоме. Как известно, электронная оболочка атома состоит из потенциальных сфер с дискретными радиусами устойчивого орбитального движения в соответствии со значением квантового числа n . На каждой из потенциальных сфер может находиться множество электронов с одинаковой энергией, но с различной ориентацией их орбит. В атоме разрешенные дискретные уровни потенциальных сфер распределены от центра к периферии по мере возрастания потенциальной энергии электронов. Такое *многоуровневое потенциальное пространство с центральной поляризацией, состоящее от центра к периферии из непрерывного ряда однородных плоских слоев пространства со сферической геометрией, далее будем называть пространством потенциальных сфер (ППС).*

Необходимо заметить, что для нахождения динамической структуры атома необходимо иметь дело не с гравитационными, а с электрическими полями. Очевидно, что электрические поля образуют свои ППС, при котором гравитационное поле по отношению к этим электрическим полям остается практически однородным и изотропным.

5.2. Геометрия пространства и соотношение форм равномерного движения

Принцип эквивалентности. Если геометрия пространства, построенная по принципу непрерывной однородности, отвечает однородным условиям движения по инерции, как в евклидовом пространстве, то и траектория однородного движения по инерции по геодезическим линиям такого пространства должна отвечать условиям движения в евклидовом пространстве, удовлетворяющим выполнению Первого закона

Ньютона. Таким фундаментальным, как в микро, так и в макрокосмосе, однородным условиям движения по инерции отвечает круговые движения по геодезическим линиям поверхности сферы с однородными свойствами пространства, т.е. круговые движения в пространстве в соответствии с его сферической геометрией. Тогда условия выполнения этого закона Ньютона в реальном пространстве со сферической геометрией сводятся к условиям эквивалентности равномерного кругового движения материального тела равномерному прямолинейному движению его в однородном изотропном пространстве, т.е. должен выполняться принцип эквивалентности кругового и прямолинейного движений. Это означает, что условия движения в Первом законе Ньютона расширятся, включая в себя и равномерное круговое движение.

Рассмотрим возможность выполнения такого принципа эквивалентности более подробно.

Рассмотрим орбитальное движение космического корабля. По установленному представлению, движение космического корабля на орбите Земли имеет составляющие равномерно-прямолинейного и ускоренного движений. В то же время пассажиру в кабине космического корабля нельзя определить составляющую ускоренного движения корабля в направлении центра тяготения. Следовательно, ускоренное движение корабля для пассажира в его кабине никакого значения не имеет, а значит, этого ускоренного движения для него как бы не существует. Отсюда вытекает, что для этого пассажира движение по искривленной траектории в поле тяготения Земли тоже как бы не имеет никакого значения, что равносильно его прямолинейному движению без ускорения.

Таким образом, можно утверждать, что выполняется следующий принцип: *равномерное круговое движение материального тела в реальном пространстве в соответствии с его геометрической конфигурацией, выделенной в условиях непрерывной однородности, эквивалентно его равномерному прямолинейному движению в однородном и изотропном пространстве.* В дальнейшем для простоты этот принцип будем называть принципом эквивалентности круговых и прямолинейных движений. Приведем еще некоторые мотивации в пользу такого утверждения.

В приведенном ранее примере движение космического корабля однородно, и оно ничем не может быть нарушено, в полном согласии с Первым законом Ньютона. Таким образом, соответствие траектории движения корабля геометрии пространства, построенной по принципу непрерывной однородности, говорит о том, что такое равномерное движение осуществляется без какого-либо ускорения относительно пространства, и оно эквивалентно однородному прямолинейному движению. И действительно, в противном случае для осуществления орби-

тального движения необходимо было бы все время совершать работу. В этом можно убедиться, если в однородном и изотропном пространстве попытаться заставить двигаться космический корабль по круговой траектории.

Равномерное круговое движение материального тела без затрат энергии можно осуществить и в условиях абсолютно однородного пространства, создавая для вращающегося тела искусственную опору. Такие условия можно смоделировать в условиях далекого космоса при равномерном вращении массивного шара на стенках корабля. В этом случае путь тела искривляется искусственной опорой, а не пространством. В этих условиях на искривление пути материального тела однородное изотропное пространство отреагирует созданием его тяжести на искусственной опоре.

Таким образом, круговая форма движения материального тела, в соответствии с однородной поляризацией пространства с центральным потенциальным полем, приводит к исчезновению, а в однородном и изотропном пространстве — к появлению веса этого материального тела.

Эти два случая принципиально не различаются, поскольку материальные тела движутся в однородных условиях по тем траекториям, которые им продиктованы, при этом телам нет необходимости тратить или приобретать энергию извне, чтобы сохранить равномерную скорость движения. Отличие этих двух случаев кругового движения состоит только в том, что, если в первом случае удерживание тела на орбите осуществляется посредством однородного потенциального поля пространства, то во втором — это тело удерживается однородной искусственной опорой в таких же однородных условиях пространства, что по принципу удержания их на траектории кругового движения равнозначно. Значит, действия искусственной круговой опоры и однородного потенциального поля пространства на движущиеся материальные тела по принципу создания ими формы траектории пути друг другу эквивалентны. Тогда и принцип эквивалентности круговых и прямолинейных движений для этих двух типов удерживания движения материального тела на круговой траектории выполняется одинаково верно.

Выполнение принципа эквивалентности круговых и прямолинейных движений подтверждает и следующий пример. Известно, что эталон прямой линии — луч света также имеет искривление, согласно силовой динамике пространства, т.е. согласно его геометрической конфигурации в гравитационном поле массивного тела. Так как луч света в любом случае остается эталоном прямой, то искривленная линия этого луча в пространстве, а значит, равномерное движение материальных тел по искривленной траектории, соответствующей геометрической конфи-

гурации этого пространства, является движением, эквивалентным движению по прямой линии.

Таким образом, очевидно, что равномерное круговое движение космического корабля на орбите, соответствующее геометрии пространства, эквивалентно равномерному прямолинейному движению в однородном и изотропном пространстве. Справедливость этого принципа эквивалентности, как мы выяснили, очевидна и для равномерного кругового движения тела на искусственной опоре.

Рассмотрим еще некоторые свойства кругового движения тел. Как установили, при принудительном удерживании тела на орбите силовая динамика пространства выражается в обретении веса вращающимся массивным телом. Но какова природа ускоренного движения шара при вращении на стенках корабля в рассмотренном выше примере, есть ли в этом случае истинное ускоренное движение относительно пространства?

Известно, что *при истинном ускоренном движении меняется величина скаляра вектора скорости при сохранении его направления, а при движении тела по круговой траектории наблюдается обратная картина, т.е. вектор скорости постоянно меняет свое направление при неизменной величине скаляра скорости.* При истинно ускоренном режиме движения материального тела постоянно должна тратиться энергия, что соответствует росту величины скаляра скорости, чего не наблюдается при круговом, так называемом, ускоренном движении посредством удерживания тела на равном удалении от определенного центра.

Таким образом, налицо качественно другой механизм действия искусственной опоры или силового поля пространства, которые в подобных случаях выступают как операторы поворота вектора скорости. И действительно, если у материального тела меняют только направление вектора скорости при постоянной величине скаляра этого вектора то, очевидно, что это не будет эквивалентно его прямолинейному разгону в ускоренном режиме. Это значит, что при движении любого тела по круговой орбите, обусловленной поляризацией пространства или искусственной опорой, истинное ускоренное движение отсутствует, а лишь имеет место искривленная траектория пути, соответствующая форме этой искусственной опоры или однородной геометрической конфигурации пространства. Например, поверхность Земли является такой же искусственной опорой для материальных тел,двигающихся по ней по «прямой линии». Как видно, в этих и других случаях выполнение принципа эквивалентности круговых и прямолинейных движений не вызывает сомнений.

Принцип эквивалентности и квантовые частицы. Действие принципа эквивалентности круговых и прямолинейных движений материаль-

ных тел в пространстве играет очень важную роль при рассмотрении движения квантовых частиц, например, электрона в потенциальном поле ядра.

Известно, что электрон при ускоренном движении в пространстве излучает электромагнитные волны, в то же время он ничего не излучает при орбитальном вращении в потенциальном поле ядра. И это вопреки тому, что, по устоявшимся представлениям, электрон на орбите совершает постоянное ускоренное движение в направлении центра вращения.

Такое поведение электрона при орбитальном ускоренном движении, противоречащее теории электродинамики, вначале вызывало у теоретиков квантовой механики большое недоумение, но только до тех пор, пока они не приравнивали электрон на орбите ядра атома вероятностному облаку состояний. При этом им пришлось отказаться от понятия электрона как частицы, имеющей траекторию *ускоренного* движения. Вот к каким абсурдным выводам привело в теории квантовой механики, в целом, неверное толкование геометрии пространства в присутствии силовых полей.

Применительно к нашему пониманию геометрии пространства, такое «*неизлучательное*» поведение электрона в поле ядра не только не вызывает недоумение, а наоборот, является фактом доказательства эквивалентности равномерного кругового движения прямолинейному движению. Это значит, что форма и характер свободного орбитального движения электрона в поле ядра соответствует однородной геометрической конфигурации пространства и не является ускоренным движением относительно этого пространства. Таким образом, однородное круговое движение электрона в условиях однородной геометрической конфигурации пространства, т.е. в соответствии с его геометрией эквивалентно равномерному прямолинейному движению в однородном и изотропном пространстве, что исключает излучение им электромагнитной волны.

Излучение электромагнитной волны электроном происходит только при его движении по траектории, не соответствующей однородной геометрической конфигурации пространства, при котором неизбежно возникает его ускорение или торможение.

На электрон в атоме, главным образом, действует центральное электрическое поле ядра, заряженное положительно, которое выступает как фактор электромагнитной поляризации пространства для единичного и отрицательного электрического заряда электрона. Здесь в однородном и изотропном пространстве гравитационного поля силовое поле заряда ядра атома создает для электрона как бы искусственную однородную круговую опору (как внутренние стенки сферической поверхности), по которому он вращается вокруг ядра. Действие силовой динами-

ки однородного гравитационного поля пространства на орбитальное вращение электрона отражается в обретении им центробежного веса.

Как видно, взаимодействие свойств заряженных материальных тел и пространства определяет их совокупное состояние, отражающееся в электромагнитной поляризации пространства и в появлении соответствующих траекторий движения тел с определенными скоростными режимами. В результате таких взаимодействий система — пространство и заряженные материальные тела находятся в динамическом равновесии. Установленное динамическое равновесие системы не может быть нарушено, пока на нее не окажут влияние внешние силы (*если рассмотреть это на примере равномерного движения материальных тел в пространстве, то наше утверждение созвучно с Первым законом Ньютона*).

Приведенное выше утверждение справедливо как для электрона, так и для объектов галактических масштабов. Для электрона это можно показать на примере атома и на примере сверхпроводящего кольца, в котором электрический ток может существовать без изменения сколько угодно долго. При этом должно соблюдаться условие полного отсутствия влияния на этот ток электромагнитных полей извне. Известно, что электрический ток, проходящий по круговой траектории в сверхпроводящем кольце, не *излучает* электромагнитное поле, что свидетельствует об отсутствии истинного ускоренного движения электрона относительно однородной геометрической конфигурации пространства проводника. В этом случае сверхпроводящее кольцо можно сравнивать с ранее рассмотренным цилиндрическим корпусом космического корабля, по которому как угодно долго вращается массивный шар.

Таким образом, отсутствие электромагнитного излучения электрона на орбите ядра еще раз говорит о том, что пространство вокруг ядра поляризованного его электромагнитным полем подобно сверхпроводящему кольцу. А круговое движение электрона на орбите ядра атома эквивалентно равномерному прямолинейному движению в однородном и изотропном пространстве.

Подводя итог сказанному можно сделать следующие выводы:

— абсолютно однородного и изотропного пространства в природе не существует, оно поляризовано, что вызывает искривленную конфигурацию его однородных свойств;

— поляризация пространства центральным потенциальным полем приводит к изменению его геометрической конфигурации с образованием однородных энергетических состояний на плоском слое сферической поверхности;

— свободное однородное движение материального тела в однородном пространстве, искривленном по окружности, эквивалентно его

однородному прямолинейному движению в прямом евклидовом пространстве.

На основе сделанных выводов приводим версию расширенного толкования Первого закона Ньютона, которая формулируется так: *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного кругового движения при удерживании его на равном удалении от определенного центра до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставят его изменить это состояние.*

Необходимо заметить, что траектория кругового равномерного движения с бесконечно большим радиусом кривизны представляет собой равномерное прямолинейное движение, которое является частным случаем равномерного кругового движения по версии расширенного толкования Первого закона Ньютона.

5.3. Свойства геометрии реального пространства

Исходя из полученных выводов о динамических свойствах реального пространства и отталкиваясь от положений евклидовой геометрии, необходимо выделить некоторые особенности геометрических свойств этого реального пространства.

Перечислим, вначале, свойства евклидовой геометрии, которая сформулирована более 2 тыс. лет назад в виде постулатов и аксиом, которые представляют собой очевидные утверждения, принимаемые без доказательств.

Постулатов в евклидовой геометрии пять:

- 1) между любыми двумя точками можно провести прямую;
- 2) любую ограниченную прямую можно непрерывно продолжить до бесконечности;
- 3) из любого центра можно описать окружность любого радиуса;
- 4) все прямые углы равны;
- 5) всякий раз, как прямая при пересечении с двумя другими прямыми образует с ними углы, сумма которых меньше двух прямых (180°), то эти прямые пересекаются с той стороны, с которой эта сумма меньше двух прямых.

Как указывали ранее, в декартовой системе координат евклидово пространство можно представить трехмерным кубом со сторонами с бесконечной протяженностью. Как видно, евклидово пространство однородно и изотропно в бесконечности, а реальное пространство, поляризованное центральным потенциальным полем, может быть представлено геометрией его однородных слоев только на плоскости сферической поверхности. Интегральная конфигурация реального пространства с плоской сферической геометрией представляет собой сферическую

«матрешку», т.е. шар ППС, который состоит из непрерывного ряда бесконечного множества вложенных друг в друга подпространств с плоской сферической геометрией. Если однородное и изотропное пространство имеет бесконечную протяженность, то протяженность реального пространства имеет конечное значение, определяемое радиусом кривизны геометрии пространства. В условиях реального пространства, поляризованного центральным потенциальным полем, за его протяженность примем расстояние, которое преодолевает материальное тело за полный оборот кругового движения по орбите центрального потенциального поля. Заметим, что движение тела в условиях такой ограниченной протяженности можно рассматривать как движение, образующее стоящую волну по геодезическим линиям пространства со сферической геометрией. Таким образом, о протяженности можно говорить только для материальных тел, вращающихся по круговой орбите с соответствующим радиусом кривизны пространства. Очевидно, что протяженность всемирного пространства с бесконечно большим радиусом кривизны можно считать геометрически бесконечной и прямой. Тогда большую окружность потенциальной сферы пространства бесконечно большого диаметра в предельных условиях можно принять за прямую линию, которая замыкается сама на себя. Это значит, что на поверхности сферы бесконечно большого радиуса пространство можно считать плоским, однородным и изотропным. Такое пространство на плоскости в условиях неограниченной протяженности может описываться евклидовой геометрией.

В итоге можно сделать вывод о том, что в предельных случаях выполняются условия тождественности прямой линии к окружности и наоборот. Здесь проявляется единение двух взаимно исключающих свойств пространства, когда линия, проведенная в пространстве, одновременно является прямой и кривой. В таком случае евклидову геометрию

можно рассматривать как частный случай всемирного пространства, в котором прямые линии имеют бесконечно большую протяженность и замыкаются на окружность. Параллельные линии к прямым на «плоскости» бесконечно большой сферы пространства также будут лежать на линии окружности. Такие параллельные линии окружностей могут принадлежать как окружностям бесконечно большого радиуса на экваторе сферы, так и окружностям бесконечно малого радиуса на ее полю-

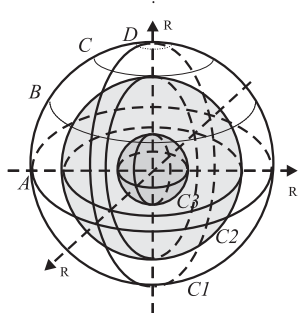


Рис. 5.1. Многоуровневая схема всемирного пространства потенциальных сфер

сах. Кроме того, параллельные линии к окружности бесконечно большой сферы можно проводить и по окружностям сфер меньших размеров, вложенных в большую сферу.

Если окружность бесконечно большой сферы в предельных условиях тождественна прямой линии, то линии окружностей меньших размеров (вплоть до бесконечно малых), параллельные этой бесконечно большой окружности, также должны быть эквивалентны прямым линиям. Такая эквивалентность, с геометрической точки зрения, в предельных условиях непротиворечива.

На рис. 5.1 приведена многоуровневая схема всемирного ППС с некоторыми возможными параллельными линиями окружностей A , B , C и D , эквивалентных прямым. Здесь линии окружности, с какими угодно малыми радиусами на поверхности сферы и внутри этого пространства любого размера, можно отождествлять с прямыми линиями, т.е. их можно принять эквивалентными прямым линиям.

В приведенной на рис. 5.1 ППС содержится множество иерархически расположенных по энергии подпространств $C1$, $C2$ и $C3$. В таких подпространствах расстояния, т.е. протяженности, существуют только по линиям больших окружностей.

В ППС евклидовы прямые можно отображать только по радиальным линиям. При этом движения по прямым радиальным линиям отражают «протяженности» ускоренного движения, т.е. радиусы, которые в каждом малом отрезке характеризуют изменение скорости движения по круговым метрическим линиям.

Взаимно-перпендикулярным метрическим линиям евклидовой геометрии у такого ППС соответствуют линии окружностей на поверхности потенциальных сфер, полученные пересечением этих сфер взаимно-перпендикулярными плоскостями.

Рассмотрим ППС с точки зрения евклидовой геометрии по порядку постулатов, приведенных выше. Таких, кроме последнего пятого, будет четыре:

1) между любыми двумя точками на поверхности сферы можно провести линию, эквивалентную прямой по траектории большой окружности этой сферы;

2) любую ограниченную линию на траектории большой окружности сферы можно непрерывно продолжить до образования окружности;

3) из любого центра поляризации пространства можно описать окружность любого радиуса;

4) на сферической поверхности пространства все прямые углы равны, а лучи сторон этих прямых углов являются геодезическими линиями большого круга.

Очевидно, что пятый постулат Евклида, применимый для сферического пространства, выполним только в ограниченных условиях.

5.4. Концепция системы координат для описания динамики движения в реальном пространстве

Очевидно, что несоответствие геометрии пространства, отражаемой в прямолинейной декартовой системе координат, реальной траектории равномерного движения материальных тел приводит при описании этого движения к использованию ненужного и сложного математического аппарата, выводы из решений которого противоречивы и страдают отсутствием наглядности. Выходом из такой ситуации может быть отражение реальной траектории равномерного движения материальных тел с помощью системы координат, оси которых максимально соответствуют форме этого движения. А как было показано выше, в условиях центрального силового поля равномерное движение материальных тел в пространстве осуществляется только по круговой траектории, которая эквивалентна прямой линии. Отсюда следует, что для отражения круговых траекторий движения, т.е. орбит материальных тел в пространстве должна применяться система координат, оси которых представляют круговые линии.

Такая одномерная система координат может быть представлена круговой координатной линией — осью на плоскости, а трехмерная система координат — взаимно-перпендикулярными круговыми линиями больших окружностей на поверхности потенциальной сферы. Действительно, если бы круговые орбиты с различными радиусами были ориентированы все в одинаковом направлении, то для отображения таких орбит достаточно было бы плоскости. А трехмерную систему координат на поверхности потенциальной сферы можно использовать для отображения орбит, которые ориентированы в пространстве произвольным образом.

Для характеристики пространственного и энергетического состояния равномерного орбитального движения материального тела в такой системе координат достаточно знать радиус и ориентацию его орбиты. Было бы очень удобно, если бы и ориентацию орбиты отображать с помощью одного и того же показателя, а именно, ориентацией ее радиуса в пространстве. Это возможно в случае, если радиус равномерного орбитального движения материального тела представлять как радиус-вектор, ориентированный по вектору момента количества движения его орбиты.

Тогда для отражения ориентации равномерного орбитального движения материального тела сферическая система координат круговых

линий должна быть дополнена новыми координатными осями **радиус-векторов**, которые соответствуют каждой из круговых координатных линий. Таким образом, наша сферическая система координат станет шестимерной и будет представлять собой две взаимно обусловленные координатные системы круговых координатных линий и радиус-векторов. При этом система координат радиус-векторов будет соответствовать декартовой системе координат, центр которой совпадает с центром потенциальной сферы круговых координатных линий. В такой системе координат орбитальное движение материального тела может описываться простой тригонометрической функцией, характеризующей движение тела на самой орбите. При этом ориентацию орбиты в пространстве можно задавать проекциями ее радиус-вектора на взаимно перпендикулярных координатных осях радиус-векторов.

И так, на основании расширенного толкования Первого закона Ньютона для упрощенного описания динамики движения тел в реальном пространстве введена система координат, эквивалентная реальной

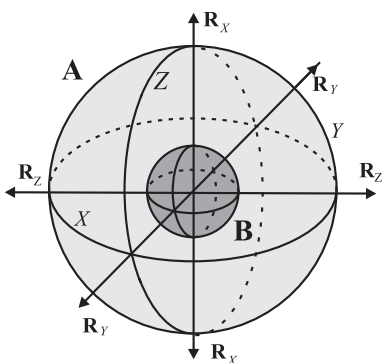


Рис. 5.2. Интегральная система координат потенциальных сфер

геометрии пространства с центральной поляризацией для фундаментальных систем в реальном микро и макрокосмосе. Систему координат, которая представлена на рис. 5.2, в дальнейшем будем называть «Интегральной системой координат (ИСК) потенциальных сфер» (ПС), а пространства, которые они описывают —ППС.

В декартовой системе координат взаимно перпендикулярные координатные оси радиус-векторов можно обозначить \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z , а соответствующие этим радиус-векторам координатные линии на поверхности потенциальной сферы — X , Y и Z .

В итоге мы получили двойную, взаимосвязанную систему координат с единым центром как для отражения протяженности по линии окружности X , Y и Z , так и для отражения радиусов этих окружностей, представленных радиус-векторами \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Каждый из радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z в зависимости от знака спина $\pm s$ имеют положительные и отрицательные направления. Это значит, что круговые линии координат X , Y и Z одновременно могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, которые отражают противоположные направления движения.

Интегральная система координат, состоящая из вложенных друг в друга двух трехмерных координатных систем, по своей сути отражает шестимерную координатную систему в очень удобном интегрированном виде.

Предложенная интегральная система координат является многоуровневой относительно радиуса потенциальной сферы, т.е. может представлять пространства на поверхности сферы одновременно для их бесконечного множества с различными энергетическими и временными характеристиками. В то же время, на поверхности одной потенциальной сферы может описываться произвольная ориентация как одной орбиты, так и их бесконечного множества, только лишь отражая проекции каждый из радиус-векторов орбит \mathbf{R} на координатных осях \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . А это значит, что интегральная система координат обладает наглядностью и простотой при описании сложных и энергетически связанных многоуровневых систем, например таких, как системы многоэлектронных атомов и т.д. без использования сложного математического аппарата. При этом интересно отметить, что интегральная система координат, отраженная в выделенном направлении, например, \mathbf{R}_x с положительными и отрицательными значениями спина $\pm s$, согласуется динамической структурой фитона Акимова, который представляет собой систему из кольцевых волновых пакетов первичного вихревого элемента физического вакуума. Фитон, как показано на рис. 5.3, отражает скомпенсированные право-левые первичные вихри, заполняющие весь первичный вакуум [11, с. 10]. Очевидно, что динамическая модель фитона Акимова и ИСК в выделенном направлении, отражающая динамическую геометрию пространства с центральной поляризацией, соответствуют друг к другу на принципиальной основе.

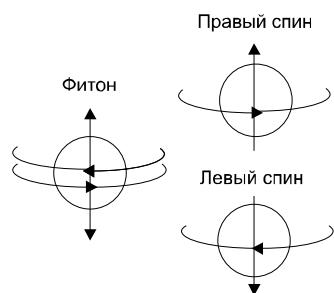


Рис. 5.3. Фитонная модель первичного физического вакуума

В последующих главах подробно рассмотрим принципы описания движения орбитальных тел в интегральной системе координат, предварив рассмотрением некоторых особенностей движения квантовых частиц в пространстве.

Пространственно-динамические свойства квантовых частиц

6.1. Концепция спиральной динамики движения квантовых частиц в пространстве

Описание динамики движения физической материи в классической и квантовой механиках имеют принципиальные отличия. Одно из них заключается в том, что кинетическая энергия прямолинейного движения квантовых частиц в два раза выше, чем у массивных тел. Возможной причиной такого отличия является то, что квантовые частицы имеют волновую природу движения.

Если энергия кванта электромагнитной волны — фотона в квантовой механике определяется соотношением:

$$m_f c^2 = \nu \hbar, \quad (6.1)$$

то энергия движения квантовой частицы постулируется соотношением де Бройля и равняется

$$mv^2 = \nu \hbar, \quad (6.2)$$

где m_f и m — массы, соответственно, фотона и квантовой частицы; c и v — скорости, соответственно, света и квантовой частицы; ν — частота волнового движения; \hbar — постоянная Планка.

В то же время кинетическая энергия частицы по классической механике определяется следующим соотношением:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (6.3)$$

Как видно, энергия движения квантовой частицы эквивалентна удвоенной кинетической энергии макрочастицы.

По устоявшимся представлениям в квантовой механике между квантово-механическим и классическим способами определения энергии движения частиц отсутствует всякая связь. Как известно, частицам де Бройля, кроме корпускулярных свойств, придают и волновые свойства, описание которых традиционными способами классической механики признается невозможным. Чтобы ответить на вопрос, так ли это или нет, необходимо разобратся в сущности движения квантовых частиц в рамках логики теории классической механики, с учетом эквивалентности круговых и прямолинейных движений. Для этого рассмотрим более подробно характер движения массивных тел и квантовых частиц в пространстве.

При описании движения массивных тел, например, движения массивного тела по плоскости льда, справедливость классического выражения (6.3) для кинетической энергии сомнений не вызывает. Если же рассматривать различные масштабы движения массивных тел, отличные от простых земных условий, то очевидно, что движение тел в пространстве может иметь более сложный характер, когда оно складывается из движений нескольких их типов. Например, движение Земли вокруг Солнца состоит из вращательного движения вокруг собственной оси и орбитального движения. Всякое тело, находящееся на Земле, совершает круговое движение относительно оси вращения Земли и сложное спиральное движение относительно Солнца. Если рассматривать движение тела относительно центра Галактики, то оно имеет еще более сложный характер. Как видно, в зависимости от масштаба наблюдения, движение тела в пространстве приобретает все более сложный характер. Очевидно, что энергия движения массивных тел в пространстве относительна и обуславливается масштабами ее определения.

Круговые движения массивного тела для каждого масштаба наблюдения, как говорилось ранее, эквивалентны прямолинейным движениям и могут быть суммированы по векторам для определения результирующей скорости движения. Классическое же уравнение кинетической энергии можно рассматривать как уравнение для частного случая, когда массивное тело имеет исключительно прямолинейное движение без дополнительных вращательных и спиральных составляющих и т.д.

Рассмотрим прямолинейное поступательное движение массивного кольца, вращающегося в плоскости, перпендикулярной направлению движения. Пусть скорости поступательного и вращательного движений кольца взаимно связаны таким образом, что линейная скорость вращения кольца равна скорости его равномерного поступательного движения. Тогда очевидно, что общая энергия движения кольца будет равна удвоенной кинетической энергии его поступательного движения. И эта удвоенная кинетическая энергия движения кольца эквивалентна энергии движения квантовой частицы. Это обстоятельство дает возможность предполагать, что у квантовых частиц движение в пространстве, как и в приведенном выше примере, имеет как поступательную, так и вращательную составляющие. Действительно, все квантовые частицы имеют собственный момент количества движения, который обусловлен их вращением вокруг собственной оси и обозначается спином. А это, в свою очередь, означает, что движение квантовых частиц, как и движение Земли вокруг Солнца, состоит из поступательного и вращательного движений, направления скоростей которых всегда взаимно перпендикулярны. При этом круговая составляющая этого суммарного спирального движения может быть отождествлена с прямолинейным движением.

Тогда при нахождении общей энергии, которой обладает квантовая частица, скорости кругового и прямолинейного составляющих ее движения могут быть просуммированы как векторные величины.

Рассмотрим характер движения квантовой частицы по де Бройлю в пространстве, для чего приведем соотношение (6.2) к виду:

$$mv\lambda = h, \quad (6.4)$$

где λ — длина волны движения частицы, h — постоянная Планка. Из этого выражения скорость частицы $v = \lambda\nu$, где ν — частота волновой функции.

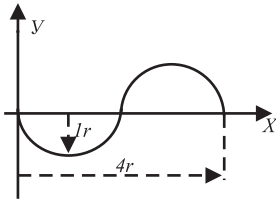


Рис. 6.1. Версия плоской синусоидальной волны движения квантовой частицы в пространстве

Предположим, что движение квантовой частицы описывается синусоидальной функцией. На рис. 6.1 приведена плоская синусоидальная волна движения квантовой частицы в прямоугольных координатах, где по оси X отражен путь, пройденный частицей и равный значению $2r$ за одну полуволну. Как видно, длина волны (ось X) равна расстоянию между двумя одинаковыми ее фазами,

т.е. значению $4r$, где r — радиус смещения или высота амплитуды волны. Но такая величина волны, равная $4r$, не может отражать длину истинного пути, пройденного частицей, когда она имеет, кроме прямолинейной составляющей движения, еще и круговую.

Действительно, движение каждой точки квантовой частицы в пространстве может представлять собой спиральное движение, подобное движению точки, выделенной на поверхности летящего пушечного снаряда.

Общеизвестно, что все квантовые частицы имеют собственные моменты количества движения, т.е. собственные моменты вращения, называемые спином. Известно также, что при β -распаде нейтронов электроны вылетают из ядер атомов, вращаясь вокруг собственной оси и формируя спиральное движение в пространстве. Поэтому представленная на рис. 6.1 плоская волна не может отражать истинного пути прохождения частицы в пространстве, ибо такая ее траектория противоречит законам равномерного прямолинейного движения, особенно если это касается движения квантовой частицы, к примеру, электрона. И действительно, если рассмотреть скорость смещения волны вдоль оси X , то она неравномерна. Приведенная синусоидальная траектория движения частицы может отражать лишь проекцию ее спирального движения на плоскость.

Как говорилось выше, движение квантовой частицы в пространстве будет спиральным, если оно включает в себя одновременно круговую и поступательную составляющие. При этом круговая составляющая такого спирального движения эквивалентна прямолинейному движению.

На рис. 6.2 приведена траектория спирального движения по поверхности воображаемого цилиндра, за проекцию которой на плоскости XU можно принять синусоиду, приведенную на рис. 6.1. Очевидно, что длина волны спирального движения равна длине окружности цилиндра.

При спиральном движении векторы скорости его вращательной и поступательной составляющих всегда имеют взаимно перпендикулярные направления, которые обозначены, соответственно, векторами V_{yz} и V_{xy} .

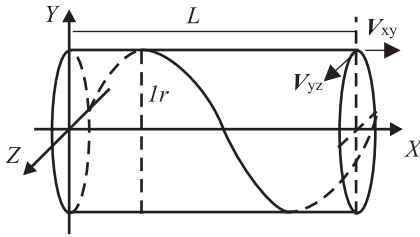


Рис. 6.2. Траектория спирального движения квантовой частицы

Пусть линейные скорости прямолинейного v_{xy} и вращательного v_{yz} движений будут равны. Тогда для скоростей движения во взаимно перпендикулярных направлениях выполняется следующее соотношение:

$$v = v_{xy} = v_{yz} = 2\pi r_c \cdot \nu, \quad (6.5)$$

где r_c — радиус вращательной составляющей спирального движения; ν — частота вращатель-

ного движения частицы.

Отсюда вытекает, что выражение для длины результирующей спиральной волны будет иметь вид:

$$\lambda_c = 2\pi r_c. \quad (6.6)$$

Проанализируем такое движение на основе законов классической механики. Очевидно, что кинетическая энергия частицы на каждой из взаимно перпендикулярных плоскостей равна $\frac{mv_{xy}^2}{2}$ и $\frac{mv_{yz}^2}{2}$. Тогда полная энергия квантовой частицы, движущейся по спирали вдоль оси X , равна:

$$E = \frac{mv_{xy}^2}{2} + \frac{mv_{yz}^2}{2}.$$

Поскольку скорости равны, т.е. $v = v_{xy} = v_{yz}$, получаем:

$$E = mv^2. \quad (6.7)$$

Как видно, на основе законов классической механики получили уравнение для определения величины кинетической энергии движения квантовой частицы, которое согласуется с соотношением де Бройля (6.2). Заметим, что такое согласующееся с квантовой механикой значение кинетической энергии характерно для квантовой частицы, движущейся по спирали.

Полученный результат для суммарной кинетической энергии движения квантовой частицы подтвердим еще раз, используя векторное суммирование скоростей движения V_{xy} и V_{yz} .

Выражение для результирующей скорости вращательного и поступательного движений имеет вид:

$$v_{\Sigma} = \sqrt{v_{xy}^2 + v_{yz}^2}.$$

Поскольку скорости равны, то получаем:

$$v_{\Sigma} = \sqrt{2} \cdot v.$$

Отсюда очевидно, что общая кинетическая энергия квантовой частицы равна

$$E_{кин}^{общ} = \frac{mv_{\Sigma}^2}{2} = \frac{m(\sqrt{2} \cdot v)^2}{2} = mv^2. \quad (6.8)$$

Таким образом, удвоенную энергию движения квантовой частицы, соответствующую энергии квантовой частицы де Бройля, нашли обычными способами, используемыми в классической механике. Это доказывает полное соответствие движения микрочастицы де Бройля по траектории спирали с радиусом $r_c = r_y = r_z$. При этом длина спиральной волны составляет $\lambda_c = 2\pi r_c$, т.е. равна длине плоской *круговой синусоиды*, представленной на рис. 6.1. Как видно, для длины волны спирального движения имеет место эффект разворота одной плоской синусоиды в прямую линию.

Еще раз отметим, что приведенный выше результат для энергии спирального движения квантовой частицы, согласующийся с данными квантовой механики, мы получили, приравняв между собой составляющие скоростей кругового и поступательного движений квантовой частицы.

Ввиду важности положения о равенстве скоростей круговой и поступательной составляющих спирального движения, проверим выполнение такого равенства, используя другие способы, например, на основе исходных данных только для волновых движений. Для этого разложим спиральное движение на две взаимно перпендикулярные плоские синусоидальные волны (рис. 6.3). Очевидно, амплитуды плоских синусоидальных волн будут равны радиусу кругового движения микрочастицы при условии $r = r_c = r_y = r_z$.

На рис. 6.3 на плоскостях XU и XZ приведены синусоиды движения частицы в направлении X и разностью фаз, равной $\pi/2$.

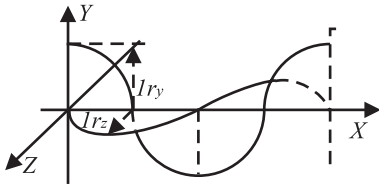


Рис. 6.3. Взаимно перпендикулярные синусоиды спирального движения

Очевидно, что и смещение квантовой частицы v вдоль оси X по каждой из синусоид будет происходить с разностью фаз, равной $\pi/2$, при неравномерной скорости ее нарастания от нуля до максимальной величины, равной $v = 2\pi r \cdot \nu$, где ν — частота синусоидальной волны.

Очевидно, что скорость суммарного смещения частицы по этим двум синусоидам отражает ее скорость поступательного движения вдоль оси X . Тогда для равномерно движущейся квантовой частицы скорость суммарного смещения от двух синусоидальных волн также должна быть постоянной. Найдем скорость суммарного смещения v_L этих плоских волн. Смещение синусоиды L , например, на плоскости XU равно

$$L_{xy} = r_{xy} \cos(\omega t + \alpha), \quad (6.9)$$

где ω — круговая частота; α — начальная фаза; t — время.

Скорость смещения микрочастицы v_{xy} равна производной по времени от смещения L_{xy} , т.е.:

$$v_{xy} = \frac{dx}{dt}.$$

Тогда, выполняя дифференцирование, получаем:

$$v_{xy} = -r_{xy} \omega \cdot \sin(\omega t + \alpha). \quad (6.10)$$

Если на плоскости XU , как показано на рис. 6.3, $\alpha = +\frac{\pi}{2}$, то на плоско-

сти XZ $\alpha = 0$. При таких условиях квантовая частица движется вдоль оси X по «правой» спирали. Учитывая значения начальных фаз для разных плоскостей волны, имеем следующие выражения для скоростей:

$$v_{xy} = -r_{xy} \omega \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (6.11,а)$$

$$v_{xz} = -r_{xz} \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (6.11,б)$$

Поскольку каждая из этих синусоид отражает круговое движение, то выражения (6.11,а) и (6.11,б) отражают скорости смещения каждой из синусоид, как в направлении оси X , так в направлении амплитуд синусоидальных волн на взаимно перпендикулярных плоскостях, смещенных по фазе на $\pi/2$. Тогда, складывая скорости (6.11,а) и (6.11,б) как

взаимно перпендикулярные векторные величины, и обозначив радиус кругового движения $r_c = r_{xy} = r_{xz}$, получаем результирующую поступательную скорость движения квантовой частицы:

$$v_{\Sigma} = \sqrt{v_{xy}^2 + v_{xz}^2} = \sqrt{r_c^2 \omega^2 (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t)}.$$

Произведя вычисления, получаем:

$$v_{\Sigma} = r_c \omega. \quad (6.12)$$

Имея в виду, что $\omega = 2\pi/T$, где T — период волны по времени, и $\frac{1}{T} = \nu$ — частота, будет

$$v_{\Sigma} = v = 2\pi r_c \cdot \nu = \lambda_c \nu. \quad (6.13)$$

Отсюда получаем соотношение (6.6).

Заметим, что, как показано на рис. 6.3, синусоида на плоскости XU относительно оси Z есть характеристика магнитной, а на плоскости ZX — электрической составляющей спирального движения электрона. Очевидно, что при равномерном движении эти электромагнитные составляющие движения нейтрализуются квантами пространства, а при переходе электрона, например, на тормозной режим движения этот баланс нарушается, вследствие чего, излучается электромагнитная волна. Структурное распределение динамики магнитной и электрической составляющих этой электромагнитной волны продиктовано спиральным характером движения электрона и имеют вид взаимно перпендикулярных синусоид, как на рис. 6.3, что подтверждается современной теорией излучения. Это значит, что такая характеристика структуры электромагнитной волны является еще одним убедительным доказательством того, что движение электрона в пространстве имеет спиральный характер, поскольку структура излучения есть следствие характера движения заряженной квантовой частицы, например, электрона.

Из уравнения (6.13) следует, что суммарная скорость смещения на круговых синусоидальных траекториях одинакового размера двух взаимно перпендикулярных составляющих спирального движения равна поступательной скорости фронта этого спирального движения при его длине волны, равной длине синусоиды или окружности вращательной составляющей спирального движения.

Такой же результат можно получить и другим путем. Скорости движения точек на каждой из круговых синусоидальных волн равны произведению длины синусоид на частоту этих волн. Очевидно, что скорости точек на этих синусоидах одинаковы, т.е. выполняется соотношение:

$$v_{xy}^{cd} = v_{xz}^{cd} = 2\pi r_c \cdot v.$$

Отсюда, складывая вектора скоростей точек круговых взаимно перпендикулярных синусоид, смещенных по фазе на $\pi/2$, получаем суммарную скорость движения точки на спиральной синусоиде:

$$v_{xyz}^{cd} = \sqrt{2 \cdot (2\pi r_c v)^2} = \sqrt{2} \cdot 2\pi r_c v. \quad (6.14)$$

Поскольку полученный суммарный вектор скорости имеет угол наклона к направлению оси X и плоскости YZ , всегда равный $\pi/4$, то проекция этой скорости на ось X или плоскость YZ , т.е. скорость фронта волны v или кругового движения будет равна:

$$v = v_{xyz}^{cd} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2\pi r_c v}{\sqrt{2}} = 2\pi r_c \cdot v = \lambda_c v.$$

Таким образом, произведя расчеты различными способами, для скорости движения фронта спиральной волны квантовой частицы получили одинаковый результат. Значение энергии такого спирального движения частицы не противоречит положениям классической механики и согласуется с величиной энергии движения квантовой частицы де Бройля.

Повторим еще раз, что скорости и энергии кругового и поступательного движений у квантовой микрочастицы одинаковы.

Вернемся к соотношению де Бройля (6.2). Подставляя туда выражение 6.13 для скорости движения квантовой частицы, получаем:

$$mvr_c = \hbar. \quad (6.15)$$

Таким образом, согласно (6.15), движение частицы по де Бройлю в пространстве осуществляется только при постоянном значении момента количества движения, равном \hbar . Такой же результат получается, если в соотношение (6.2) вместо полной энергии квантовой частицы, равной mv^2 или νh , подставить половину значения этой энергии, равную $mv^2/2$ или $\nu h/2$, т.е. правую и левую части соотношения (6.2) разделить на два.

В выражении (6.15) отражено соотношение де Бройля, согласующееся с уравнением Бора для момента количества движения электрона в водородоподобном атоме с $n = 1$. Это подтверждает справедливость наших выводов как для прямолинейного, так и для кругового движений электрона, совершающегося по спирали на орбите атома, что, в свою очередь, подтверждает выполнение принципа эквивалентности прямолинейного и кругового движений. Очевидно, что длина устойчивой орбиты должна быть кратна длине спиральной волны, а это значит, что n может принимать только целочисленные значения при выполнении соотношения $r_c = r/n$, где r — радиус орбиты. Тогда поставив это

соотношение для радиуса в (6.15) получим соотношение Бора для момента количества движения электрона в водородоподобном атоме, который имеет вид $mvr = n\hbar$. Чуть позже мы еще вернемся к этому вопросу, когда будем рассматривать квантовые условия существования электронов в атоме.

Интересно заметить, что если в выражении (6.15) радиус вращательного движения квантовой частицы условно принять за ее геометрический размер, то можно говорить о прямой зависимости скорости движения от размера квантовой частицы. А учитывая, что скорость движения частицы в потенциальном поле соответствует состоянию пространства, то по установленной структурной динамике спирального движения квантовых частиц можно утверждать о прямой зависимости длины интервала движущейся системы от скорости ее движения, что согласуется с общей теорией относительности Эйнштейна.

Подведя итог вышеизложенному, можно заключить следующее:

- момент количества движения квантовых частиц в пространстве имеет постоянное значение, равное $mvr_c = h/2\pi = \hbar$, т.е. обладает детерминированным характером и подчиняется классическим законам спирального движения;
- волновое движение квантовых частиц обусловлено вращательной и поступательной составляющими их спирального движения, скорости которых равны;
- общая энергия спирального (волнового) движения квантовой частицы складывается из равных частей кинетических энергий поступательной и вращательной составляющих этого движения;
- длина волны спирального (волнового) движения квантовой частицы численно равна длине окружности, описываемой вращательной составляющей этого движения;
- радиус спирального движения квантовой частицы (длина интервала движущейся системы или условный размер квантовой частицы) имеет прямую зависимость от скорости движения и равен:

$$r_c = \frac{\hbar}{mv}. \quad (6.16)$$

— соотношение (6.15), указывающее постоянство значения момента количества движения квантовой частицы, равное \hbar , определяет относительно пространства внешнего наблюдателя его метрику при условии, что метрика пространства наблюдателя остается неизменной, которая при данном значении скорости света и фундаментальной постоянной Планка $-\hbar$ определяется в однородном пространстве во времени.

6.2. Спиральное движение в условиях потенциального поля

Допустим, что энергия спирального движения электрона в свободном пространстве, а также в момент захвата его на орбиту ядра соответствует соотношению де Бройля (6.2).

Учитывая, что частота $\nu = v/\lambda$, а длина спиральной волны по (6.6) равна $\lambda_c = 2\pi r_c$, мы преобразовали это соотношение для нахождения момента количества движения. Согласно (6.15), соотношение де Бройля для момента количества движения электрона в пространстве идентично соотношению Бора для атома водорода в основном состоянии:

$$mvr_c = \frac{h}{2\pi}. \quad (6.17)$$

Таким образом, выражение (6.17) для момента количества движения электрона на орбите ядра в основном состоянии мы получили из соотношения де Бройля (6.2), исходя из спирального характера движения квантовой частицы в свободном пространстве.

Из выражения (6.17) вытекает соотношение для кинетической энергии спирального движения E_{kc} квантовой частицы в пространстве, которое выглядит как

$$E_{kc} = mv^2 = \frac{vh}{2\pi r_c}. \quad (6.18)$$

Найдем состояние электрона в атоме при условии полного перехода его потенциальной энергии E_p в кинетическую энергию спирального движения E_{kc} в момент захвата на орбиту ядра. Для этого разность между энергией волнового движения частицы де Бройля, приведенной в правой части выражения (6.18), и потенциальной энергией E_p электрона в атоме, равной Ze^2/r , приравняем к нулю:

$$E_{kc} - E_p = \frac{vh}{2\pi r_c} - \frac{Ze^2}{r} = 0. \quad (6.19)$$

Приняв равенство радиуса спирального движения r_c и орбиты r , т.е. $r_c = r$, приведем соотношение (6.19) к виду:

$$\hbar = \frac{Ze^2}{v}. \quad (6.20)$$

Таким образом, получено соотношение для момента количества движения, где отношения величины заряда Z к скорости v имеет постоянное значение. А это значит, что скорость заряженной квантовой час-

тицы в атоме не зависит ни от массы, ни от радиуса ее орбиты, а зависит только от величины центрального заряда Z .

Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что скорости поступательной и вращательной составляющих спирального движения электрона в атоме равны и по величине зависят только от значения заряда.

Соотношение 6.20, преобразованное для скорости, имеет вид:

$$v = \frac{Ze^2}{\hbar}, \quad (6.21)$$

где заряд Z относится к заряду ядра атома. Если рассчитать значение скорости по соотношению (6.21) для любой величины заряда ядра, то получим абсолютные значения скоростей, не зависящие более от каких-либо других факторов. Таким образом, скорость движения электрона в атоме при единичном заряде ядра в нормальных условиях имеет фундаментальное значение, как и другие фундаментальные постоянные физических величин. Это значит, расчетное значение скорости движения электрона в атоме водорода по соотношению (6.21) при единичном заряде равно: $v = 2,187 \cdot 10^6$ м/с. Это хорошо согласуется с найденным значением скорости для электрона по соотношению Бора: $v = h/2\pi mr$ при нормальных условиях.

Заметим, что скорость квантовой частицы де Бройля, также, как и скорость света, не зависит от его массы. Если вместо электрона взять, к примеру, *протон* и поместить его в поле единичного отрицательного заряда, то скорость его орбитального движения будет такой же, как у электрона в атоме водорода и равной $v = 2,187 \cdot 10^6$ м/с. Отсюда следует, что при делении ядер, из-за снижения значения общего заряда, а значит и скорости орбитальных протонов в каждом из осколков ядра, должна высвободиться колоссальная энергия. Приравняв в соотношении (6.21) скорость квантовой частицы к скорости света, можно вычислить заряд, при котором достигается скорость света. Соотношение для расчета заряда имеет вид:

$$Z = \frac{v\hbar}{e^2}. \quad (6.22)$$

Для достижения скорости света в поле ядра квантовыми частицами любой массы заряд ядра должен быть равен:

$$Z = \frac{c\hbar}{e^2} = 137, \quad (6.23)$$

что соответствует точно его значению, вычисленному другими известными способами.

Обратим внимание на то, что величина заряда имеет прямую зависимость от скорости и наоборот. Если в равенстве (6.22) соотношение \hbar/e^2 обозначить через константу k , то получим:

$$Z = kv. \quad (6.24)$$

Еще раз обратимся к соотношению де Бройля (6.2) и найдем из него выражение для скорости, которое имеет вид $v = \sqrt{\frac{v\hbar}{m}}$. Приравняв это выражение соотношению (6.21) для скорости, и решая относительно частоты ν , находим:

$$\sqrt{\nu} = \frac{\nu\sqrt{m}}{h^{1/2}} = \frac{2\pi\sqrt{m} \cdot e^2}{h^{3/2}} \cdot Z$$

или

$$\sqrt{\nu} = K \cdot Z, \quad (6.25)$$

где $K = \frac{2\pi\sqrt{m_e} \cdot e^2}{h^{3/2}}$ — постоянная; m_e — масса электрона.

Таким образом, расчетным путем удалось получить эмпирическую формулу Мозли, в которой частота K_α линии характеристического рентгеновского спектра элемента связана с порядковым номером или зарядом равенством:

$$\sqrt{\nu} = K(Z - S),$$

где K и S — постоянные величины; Z — порядковый номер или заряд элемента [8, с. 94].

Как видно, теоретически выведенное соотношение (6.25) для частоты характеристического рентгеновского спектра элемента практически идентично эмпирической формуле Мозли. Это выражение выведено без учета фактора снижения эффективного заряда за счет экранирования внутренними электронами.

Используем соотношение (6.18) для нахождения радиуса вращения или спирального движения электрона в атоме. Подставляя в соотношение (6.17) правую часть (6.21) для скорости и решая полученное выражение относительно радиуса, найдем:

$$r_c = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2}. \quad (6.26)$$

Выражение (6.26) согласуется с выражением Н. Бора для расчета радиуса орбиты электрона в водородоподобном атоме при нормальных условиях. Для подтверждения справедливости наших рассуждений най-

дем условия движения электрона де Бройля в многозарядном атоме, согласующиеся с экспериментальными данными.

Если в многозарядном атоме значение заряда условно приравнять к единице, то его можно рассматривать как водородоподобный атом. Тогда «самую внутреннюю» орбиту электрона, радиус которой равен радиусу спирального движения электрона, можно рассматривать как орбиту в основном состоянии, а остальные внешние орбиты — как орбиты в возбужденном состоянии водородоподобного атома. Далее при заданном значении заряда ядра атома найдем скорость электрона на внешних орбитах многозарядного ядра, эквивалентных орбитам возбужденного состояния однозарядного атома. Для этого вновь обратимся к соотношению (6.21), в котором приведена зависимость скорости электрона от величины заряда.

Согласно соотношению (6.21), скорость движения электрона в атоме зависит от величины заряда ядра. Однако общеизвестно, что электроны в атоме при одном и том же заряде ядра могут иметь различные наборы скоростей. В многозарядном атоме более сильному действию фиксированного заряда ядра на его внутренних оболочках отвечают наибольшие скорости электронов и наоборот. Таким образом, действие эффективного заряда на электрон зависит от того, на каком расстоянии он находится от ядра. Это значит, что, согласно (6.15), более низкие скорости движения электрона, чем в его основном состоянии в атоме, предполагают увеличение радиуса орбиты электрона, что приводит к снижению действия эффективного заряда ядра на электрон. Так, при нахождении электрона на расстояниях от ядра, больших, чем расчетный радиус вращения электрона по соотношению (6.26), действие первоначального заряда снизится. Это значит, что при радиусе орбиты r электрона большем, чем радиус его спирального движения r_c в нормальных условиях, величина действия эффективного заряда на электрон будет меньше. А чтобы такая орбита электрона радиусом r большим, чем радиус r_c была устойчивой, необходимо, чтобы в эту орбиту включалось целое число длин волн спирального движения электрона. Это значит, что соотношение для разрешенных значений радиусов r орбит электрона в атоме при фиксированном заряде должно иметь вид:

$$r = nr_c, \quad (6.27)$$

где n — целое число. Тогда, если в (6.19) радиус r заменить на правую часть соотношения (6.27), то после преобразования получим следующее выражение для скорости движения электрона на внешних орбитах многозарядного атома:

$$v = \frac{Z}{n} \cdot \frac{e^2}{\hbar}. \quad (6.28)$$

Выражение (6.28) показывает, что эффективный заряд ядра в многозарядном атоме, действующий на орбитальный электрон, может иметь дробные величины, получаемые путем деления заряда ядра Z на целочисленное число n .

Соотношение (6.28) приведем к виду:

$$nv\hbar = Ze^2 \quad (6.29)$$

А с учетом соотношений (6.18) и (6.19) получим равенство между кинетической энергией спирального движения квантовой частицы и его потенциальной энергией:

$$mv^2 = \frac{Ze^2}{r}. \quad (6.30)$$

Тогда, если в (6.30) поменять верхнюю часть дроби Ze^2 на левую часть соотношения (6.29), будет:

$$mvr = n\hbar. \quad (6.31)$$

Таким образом, получили известное соотношение Н. Бора для момента количества движения электрона в водородоподобном атоме для электрона по де Бройлю.

В отличие от Н. Бора, соотношение (6.31) для момента количества движения получено не путем использования постулатов, а в итоге учета снижения действия величины эффективного заряда ядра на электрон в многозарядном атоме в условиях образования устойчивой орбиты его спирального движения.

Таким образом, волновое движение электрона на устойчивой орбите ядра возможно только при образовании стоячей волны. Это говорит о том, что при спиральном движении электрона на орбите может укладываться только целое число длин волн де Бройля, т.е. число n может принимать только целые значения. В противном случае это привело бы к нарушению закона о постоянстве момента количества движения.

Если в соотношении (6.31) Н. Бор кратность \hbar целому числу n постулировал, то мы получили это соотношение, исходя из логических построений, где физический смысл целого числа n нами констатируется

как коэффициент снижения величины эффективного заряда ядра при удалении электрона на более внешнюю орбиту. При этом число n принимает целочисленные значения из условия образования устойчивых орбит.

Интересно отметить то, что эффект снижения заряда для удаленных орбит электрона в атоме, в конечном счете, отражается в соотношении (6.31) адекватным увеличением момента количества движения электрона.

Подставив в соотношение (6.31) выражение (6.28) для скорости, находим выражение для радиуса движения электрона в атоме:

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Z e^2}. \quad (6.32)$$

Полученное соотношение (6.32) аналогично такому же соотношению для радиуса, найденному Н. Бором для атома водорода. Очевидно, что выражение (6.32) справедливо для определения радиусов орбит электронов в многозарядном атоме. Это значит, что соотношение де Бройля (6.2), преобразованное нами в соотношение (6.31) для момента количества движения, справедливо не только для водородоподобного атома в нормальных условиях, но и для описания электрона в поле многозарядного ядра. А это еще раз доказывает справедливость принципа эквивалентности равномерного кругового и прямолинейного движений материального тела.

Вернемся еще раз к соотношению для частоты (6.25), которое с учетом соотношения (6.28) для скорости при снижении действия заряда в n раз преобразуем к виду:

$$\sqrt{v} = \frac{2\pi\sqrt{m} \cdot e^2}{nh^{3/2}} \cdot Z$$

или

$$v = \frac{4\pi^2 m e^4}{n^2 h^3} \cdot Z^2. \quad (6.33)$$

Известно, что при захвате на орбиту заряда ядра электрон излучает квант энергии электромагнитной волны. Эта излученная энергия равна половинному значению общей энергии спирального движения электрона в момент такого захвата, что примем за факт, а разъяснение природы осуществившегося излучения будет приведено в последующих главах.

Таким образом, электрон в атоме, согласно (6.19), имеет кинетическую энергию E_{κ} , составляющую только половину от величины своей полной кинетической энергии спирального движения $E_{\kappa c}$. Поскольку кинетическая энергия E_{κ} электрона в атоме и энергия его излучения $E_{изл}$ равны, то получим:

$$E_{\kappa} = E_{изл} = E_{\kappa c} / 2 = \frac{v\hbar}{2} = v_{изл} \hbar, \quad (6.34)$$

где $v_{изл}$ — частота кванта электромагнитной волны, соответствующая энергии излучения электрона при его захвате в атом.

Тогда соотношение (6.33) для отражения частоты излучения примет вид

$$v_{изл} = \frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 \hbar^3} \cdot Z^2. \quad (6.35)$$

Поскольку, согласно (6.34), $E_{\kappa} = E_{изл}$, то, подставляя в (6.34) левую часть (6.35), получим выражение для кинетической энергии электрона в атоме:

$$E_{\kappa} = \frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 \hbar^2} \cdot Z^2.$$

Полученное выражение для кинетической энергии электрона в атоме численно полностью совпадает с кинетической энергией электрона в атоме водорода Бора, что подтверждает правильность наших рассуждений. Отсюда легко найти и выражение для общей энергии электрона в водородоподобном атоме, которое тоже будет совпадать с выражением Бора.

Преобразуем выражение (6.35) для определения частоты характеристического излучения $v_{хар}$ при переходе электрона с энергетического уровня с n_f на уровень с n_i :

$$v_{хар.} = \frac{2\pi^2 m e^4}{\hbar^3} \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right). \quad (6.36)$$

Если соотношение (6.36) выразить через волновое число $\bar{V}_{хар}$, то будем иметь:

$$\bar{\nu}_{xap.} = \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c} \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (6.37)$$

где c — скорость света.

Выражение (6.37) полностью совпадает с выражением (3.28), найденным Бором для волнового числа эмиссионного спектра водорода.

Примечателен тот факт, что если уравнение (6.37) сравнить с соотношениями (3.11) и (3.28), то постоянный множитель в (6.37) совпадает с постоянной Ридберга, выражение для которой имеет вид:

$$R = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c} \cdot Z^2. \quad (6.38)$$

Как уже говорилось в гл. 3, расчеты при использовании в них так называемой приведенной массы электрона полностью подтверждают совпадение постоянных при незначительном отклонении от экспериментальных данных.

С учетом экранирования и определения эффективного заряда соотношение (6.37) будет иметь вид:

$$\nu_{xap.} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3} \cdot (Z - S)^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (6.39)$$

где S — постоянная экранирования, показывающая степень экранирования электронами ядра от данного электрона в атоме.

Для данной K — линии величина $\frac{2\pi^2 me^4}{h^3} \cdot \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$ является постоянной и может быть обозначена через K^2 , что приведет к выражению:

$$\nu_{xap.} = K^2 (Z - S)^2$$

или

$$\sqrt{\nu_{xap.}} = K(Z - S), \quad (6.40)$$

которое и является уравнением Мозли, найденным им эмпирически.

Таким образом, исходя из предположения о том, что волновое движение квантовой частицы де Бройля имеет спиральный характер, мы нашли выражение для характеристического излучения электронов атома, согласующееся с теорией классической механики. Помимо этого, найдены теоретические выражения и для других важнейших характеристик состояния электрона в атоме, например, для скорости движения заряженной частицы, которая зависит только от эффективного заряда, действующего на нее.

6.3. Версия проявления спина у квантовых частиц

Рассмотрим одну из возможных версий проявления спина у квантовых частиц.

Как утверждается в квантовой механике, у квантовых частиц, в частности у электрона, кроме орбитального момента количества движения в атоме, может существовать момент количества движения, присущий ему самому. Этот собственный момент количества движения у квантовых частиц называется спином и выражается через \hbar .

Слово «спин» (spin) по-английски означает веретено, что объясняет природу спина квантовых частиц какими-то внутренними вращательными движениями. Квантовая механика принципиально отрицает представление электрона в виде шарика или волчка, а представляет его как облако вероятностных энергетических состояний. Это потому, утверждает квантовая механика, что спин не есть отражение пространственного вращения частицы, поскольку значения проекции собственного момента количества движения частиц в единицах \hbar могут быть только целыми величинами. Величину спина, как известно, обозначают буквой s . Электроны, протоны, нейтроны и нейтрино имеют одинаковый спин, равный $1/2$. У фотона спин равен единице, а у всех π -мезонов он равен нулю. Частицы с нулевым и целым спином называют бозонами, а частицы с полуцелым спином — фермионами.

По определению квантовой механики, спин элементарной частицы — присущее ей внутреннее свойство, такое как заряд и масса. Электрон или протон не могут расстаться со своим спином, как не могут расстаться со своим зарядом и массой.

Как известно, движение квантовых частиц де Бройля осуществляется с постоянным моментом количества движения, равным \hbar . Как же тогда быть с тем, что квантовые частицы могут иметь нулевые, кратные, а также дробные значения момента количества движения, в соответст-

вии с их значениями спина? Позже попытаемся разобраться в этих нестыковках свойств квантовых частиц.

Ранее мы установили, что движение квантовых частиц типа «электрон» представляет собой сложное спиральное движение, состоящее из круговых синусоидальных движений в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. При этом каждой составляющей синусоидального движения соответствует момент количества движения, равный $1/2 \cdot \hbar$. Очевидно, что общий момент количества движения квантовой частицы равен \hbar .

Спиральное движение квантовой частицы можно представлять еще и как сумму круговых и поступательных движений. Таким образом, общую энергию движения квантовой частицы можно разделить на две части, равные $mv^2/2$, которым соответствуют половинные значения момента количества движения, равные $1/2 \cdot \hbar$.

Допустим, что вращательная составляющая спирального движения электрона есть его неотъемлемое свойство. Тогда момент количества движения, соответствующий этому вращательному движению и равный $1/2 \cdot \hbar$, можно принять в единицах \hbar за его собственный спин, равный $1/2$.

В то же время спиральное движение электрона на орбите атома должно состоять из двух независимых вращательных движений, которые имеют свои значения момента количества движения. К этим вращательным составляющим спирального движения электрона в атоме относятся круговое его движение на орбите и спиральное вращение вокруг собственной оси. Это значит, что электрон в атоме, кроме орбитального, обладает и собственным моментом количества движения — спином, равным $1/2$. При этом если орбитальный момент количества движения может принимать любые целочисленные значения, то спин электрона — только значение $1/2$.

Конечно, для утверждения о соответствии изложенной версии о природе собственного спина электрона физической реальности необходимы дополнительные экспериментальные исследования, по результатам которых можно будет сделать окончательный вывод. Пока же на основе установленных свойств движения квантовых частиц выясним природу проявления спина у фотона. Если найденное соотношение (6.4) для квантовой частицы де Бройля применить и для кванта электромагнитной волны, т.е. для фотона, то получим соотношение:

$$mcr = \hbar, \quad (6.41)$$

где c — скорость света, r — радиус спирального движения фотона или кванта электромагнитной волны.

При этом длина электромагнитной волны, при допущении, что она спиральна, имеет вид: $\lambda_c = 2\pi r_c$.

Заметим, что в выражении (6.41) постоянство скорости света обуславливает постоянство произведения массы на радиус спирального движения фотона, т.е.:

$$mr_c = const. \quad (6.42)$$

Из положения о том, что фотон не имеет состояние покоя, а всегда движется со скоростью света, можно заключить, что момент количества движения фотона, равный \hbar , является его неотъемлемым свойством. Тогда, значение спина фотона, равное 1, полностью вытекает из выражения (6.41), что предполагает соответствие этого выражения физической реальности.

Рассмотрим природу проявления нулевого спина. Как уже отмечалось выше, частицы с целым или нулевым спином относятся к бозонам, к которым, в свою очередь, относятся π -мезоны с нулевым спином. Известно, что π -мезоны состоят из кварков и антикварков со значениями спина, равными, соответственно, $+1/2$ и $-1/2$. Очевидно, что суммарный спин у такого бозона равен нулю, так же, как у электронов в атоме гелия.

6.4. Гироскопические свойства вращающихся систем

Применяемые в технике массивные симметричные тела, вращающиеся с большой угловой скоростью, носят название волчков или гироскопов.

Ранее было показано, что причиной проявления волновых свойств у квантовых частиц является их спиральный характер движения, а энергия же движения квантовой частицы обусловлена вращательной и поступательной его составляющими. Эти составляющие спирального движения квантовой частицы несут в себе равные количества кинетической энергии, которым в сумме соответствует элементарный момент количества движения, равный \hbar .

Таким образом, было определено, что квантовые частицы вращаются вокруг собственной оси, а это значит, что они являются элементарными гироскопами с собственным моментом количества движения. Поскольку электроны в атоме объединены в единую связанную систему, то каждый из них должен взаимодействовать с этой системой не только как отрицательный заряд, но и как гироскоп, что неизбежно приведет к ориентации оси его вращения в атоме определенным образом. Известно, что любое изменение ориентации оси вращения гироскопа требует приложения силы, что обусловлено сопротивлением гироскопа

на это изменение. В то же время атомы в целом (особенно атомы инертных газов) гироскопически нейтральны, т.е. они не имеют гироскопического сопротивления, связанного с изменением ориентации своей оси. В противном случае при переходе на криволинейную траекторию движения они *проявляли бы очень большую наведенную инертную массу, связанную с этим гироскопическим сопротивлением.*

Таким образом, электроны и протоны в атоме должны образовывать гироскопически нейтральные системы, а это значит, что при попадании в атом каждый из них должен испытать на себе проявление гироскопического эффекта, связанного с изменением ориентации оси собственного вращения электрона.

Суть гироскопического эффекта состоит в том, что *при вынужденном вращении гироскопа в каком-либо направлении он стремится расположить ось своего вращения таким образом, чтобы она образовывала как можно меньший угол с осью вынужденного вращения, и чтобы оба вращения совершались в одном и том же направлении.*

Для подтверждения вышеизложенного следует изучить некоторые динамические свойства гироскопических систем, а также условия образования в пространстве гироскопически нейтральных систем с учетом проявления при этом гироскопического эффекта.

Вначале рассмотрим свойства гироскопов на примере вращающегося диска, представленного на рис. 6.4. Проявление гироскопического эффекта, связанного с вращающимся вокруг оси диском, заключается в том, что если к этому вращающемуся диску приложить пару сил, стремящихся повернуть его вокруг оси, перпендикулярной к оси вращения, то диск станет поворачиваться вокруг третьей оси, перпендикулярной к первым двум. Пусть, например, гироскоп в виде диска вращается вокруг оси OO' в направлении, указанном стрелкой на рис. 6.4. При этом к гироскопу приложена пара сил F и F' , перпендикулярных к плоскости рисунка и стремящихся повернуть диск вокруг оси AA' . Тогда верхний конец гироскопа O' отклонится вправо, а нижний — влево, как указано стрелками V и V' , т.е. гироскоп повернется около оси BB' , перпендикулярной к плоскости рисунка.

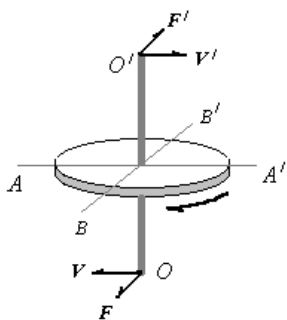


Рис. 6.4. Динамическая схема гироскопа

Из рис. 6.4 видно, что в результате гироскопического эффекта вращающийся диск стремится расположить ось своего вращения таким образом, чтобы она образовывала как можно меньший угол с осью

вынужденного вращения AA' и чтобы оба вращения совершались в одном и том же направлении.

Достижение «гироскопической» нейтральности в такой системе заключается в отсутствии стремления у диска совершать вращение, совпадающее с каким-либо направлением вынужденного вращения. Очевидно, что достижение такой нейтральности возможно только в системе гироскопов.

В системе из нескольких вращающихся дисков ее гироскопическая нейтральность достигается при суммарном моменте количества движения, равном нулю. Очевидно, что система из одиночного вращающегося диска не может иметь гироскопическую нейтральность, а значит, не может иметь нулевой момент количества движения. Гироскопическую нейтральность могут иметь только связанные системы из множества вращающихся материальных объектов, например, системы спиновых пар электронной оболочки атома.

Рассмотрим возможный механизм образования гироскопически нейтральных систем в атоме. В связанных вращающихся системах, таких как атом, каждый орбитальный электрон создает постоянное магнитное поле, которое взаимодействует с магнитными полями других электронов. При этом на электрон оказывает силовое воздействие объединенная группа заряженных частиц ядра и электронной оболочки атома. Допустим, что это силовое влияние на электрон проявляется в виде определенным образом ориентированного вынужденного вращающего действия по принципу, представленному на рис. 6.4. На рис. 6.5 представлена модель такого воздействия на гироскоп, подвешенный на нити. На диск 1, вращающийся на оси 2 в разных направлениях, через нить 3 сообщают вынужденное вращение. Как показано в поз. А, при совпадении направления вращения диска на нити с направлением вынужденного

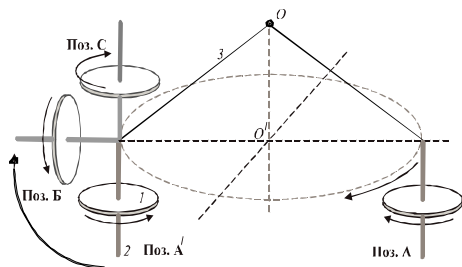


Рис. 6.5. Вынужденное вращение гироскопа на нити

диска вращения ось вращения диска ориентацию свою не меняет. А если эти направления вращения не совпадают (поз. A'), то мы наблюдаем проявление гироскопического эффекта. При этом ось вращения диска 1 начинает поворачиваться таким образом, чтобы направление вращения и ориентация оси диска совпада-

ли с направлением и ориентацией вынужденного вращения диска на нити, как показано в поз. Б и С.

В реальной электронной оболочке атома в качестве нити, передающей вынужденное вращение электрона на орбите, выступает электростатическое поле ядра, которое заставляет ориентироваться спин электрона таким образом, чтобы он соответствовал его орбитальному вращению. В атоме такое коллективное воздействие оказывается на все электроны по принципу обратной связи, что заставляет каждого из них самоупорядочиваться. Кроме того, в такой системе гироскопов из квантовых частиц каждый ее член оказывает воздействие на другие члены и наоборот. Таким образом, такая связанная система, в конце концов, будет стремиться ориентировать все гироскопы по направлению единой оси вращения. Очевидно, что гироскопическая нейтральность в такой связанной системе будет достигаться при нулевом моменте количества движения всей системы в целом. Такое состояние при одинаковой ориентации гироскопов может быть достигнуто равномерным распределением векторов момента количества движения в противоположных направлениях.

Очевидно, что гироскопическая нейтральность может быть достигнута как по осевой линии, так и на плоскости вращения диска.

Для выяснения действенности гироскопической нейтральности в таких связанных системах по осевой линии и на плоскости вращения диска проведем некоторые манипуляции с системами гироскопов.

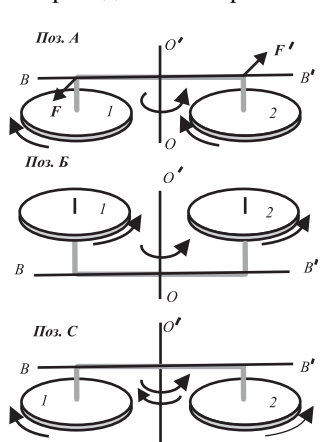


Рис. 6.6. Гироскопические системы

На рис. 6.6 приведены связанные гироскопические системы на плоскости. Как видно, в поз. *A* у гироскопической системы оба диска вращаются в одну и ту же сторону. Если действием пары сил F и F' вокруг оси OO' привести всю систему во вращение в направлении, не совпадающем с направлением вращения дисков 1 и 2 , то плоскости вращения этих дисков повернутся вокруг оси BB' на угол 180° . При этом направления вращения дисков 1 и 2 совпадут с направлением вынужденного вращения вокруг оси OO' , как показано в поз. *B*.

В гироскопической системе, приведенной в поз. *A*, диски 1 и 2 имеют момент количества движения одного знака. Такая гироскопическая система не обладает нейтральностью, т.к. она реагирует на воздействие силы, вызывающей вынужденное ее вращение изменением

направления вращения и ориентацией осей дисков соответствующим образом.

Для достижения гироскопической нейтральности такой системы необходимо, чтобы суммарный момент количества движения дисков 1 и 2 был равен нулю. Для этого диски 1 и 2 должны вращаться в разные стороны с одинаковой угловой скоростью.

В поз. С рис. 6.6 приведена связанная гироскопическая система, у которой диски имеют противоположные направления вращения. В этом случае гироскопическая система в целом имеет нулевой момент количества движения. Если такую систему привести во вращение вокруг оси OO' в любом направлении, то эта система сохранит направление вращения дисков 1 и 2 в неизменном состоянии, т.е. гироскопическая система с суммарным нулевым моментом количества движения никак не отреагирует на вынужденное вращение вокруг оси OO' . Таким образом, гироскопическая система из двух дисков на одной плоскости с противоположными направлениями их вращения обладает гироскопической нейтральностью. Однако заметим, что в нейтральной гироскопической системе связь дисков 1 и 2 через ось BB' должна быть жесткой.

Вторым типом гироскопической системы является система, у которой диски вращаются на одной оси, но на удалении друг от друга, т.е. диски имеют единую ось со смещенными плоскостями вращения.

На рис. 6.7 приведены гироскопические системы, оси вращения дисков в которых совпадают. В поз. А диски 1 и 2 вращаются в одну сторону. При вращении такой гироскопической системы вокруг оси OO' вся система займет положение, приведенное в поз. Б, в котором направления вращения дисков совпадут с направлением вынужденного вращения. Такая система дисков на одной оси с направлением вращения их в одну сторону гироскопически активна, т.е. имеет гироскопическое сопротивление на вынужденное вращение. Если же диски вращать в разные стороны, как показано в поз. С, то она на вращение гироскопической системы около оси OO' никак не отреагирует, т.е. система станет гироскопически нейтральной. Очевидно, что в нейтральной системе гироскопов, приведенной в поз. С, сумма моментов количества движения у дисков равняется нулю.

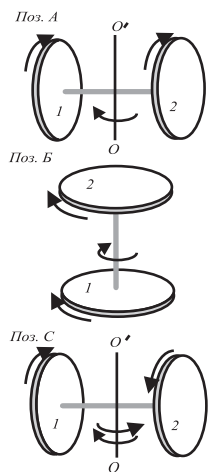


Рис. 6.7. Гироскопические системы на одной оси

Сходную картину гироскопической нейтральности мы наблюдаем и в электронной оболочке атомов, когда моменты количества движения электронов в атоме взаимно нейтрализуются. Это особенно ярко проявляется у атомов инертных газов.

Поскольку единичные квантовые частицы обладают собственным моментом количества движения, то для достижения гироскопической нейтральности они должны объединяться в связанные системы, при этом их гироскопическая нейтральность достигается по одному из способов рассмотренных выше.

Как уже упоминалось, гироскопическая нейтральность частиц должна быть их неотъемлемым свойством, т. к. в противном случае они будут обладать неадекватным наведенным инертным сопротивлением, обусловленным вынужденным поворотом осей их вращения при движении по любой траектории. Например, такой же отрицательный эффект может быть достигнут при вынужденном изменении траектории движения турбореактивного самолета с двумя турбодвигателями, вращающимися в одну и ту же сторону, на разных крыльях самолета. Это обуславливается тем, что для выполнения такого маневра необходимо прилагать дополнительные усилия для преодоления гироскопического эффекта (наведенного инертного сопротивления турбин), связанного с изменением ориентации осей вращения турбин. Поэтому для увеличения маневренности самолета его турбины должны вращаться в противоположных направлениях.

Необходимость гироскопической нейтральности атомов и молекул может определяющим образом сказаться на их пространственно-динамической структуре. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать пространственно-динамические свойства квантовых частиц с учетом требований их гироскопической нейтральности.

Описание состояний электронов атома в пространстве потенциальных сфер

7.1. Волновая функция движения электрона в атоме и интегральная система координат

Волновая функция. Известно, что электрон, согласно соотношению де Бройля, при движении в пространстве ведет себя как волна. В гл. 6 было показано, что волновое движение электрона представляет собой спиральное движение, образованное его поступательным движением при вращении.

Таким образом, волновое поведение электрона и других квантовых частиц не имеет противоречий с их корпускулярными свойствами, и поэтому описание движения электрона в свободном пространстве и атоме волновым уравнением не имеет принципиальных запретов.

Математически волновое движение выражается дифференциальным уравнением второго порядка, например, в виде:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}, \quad (7.1)$$

где c — скорость распространения волны; Φ — волновая функция, характеризующая смещение, например, струны.

Волновая функция Φ является функцией переменной x в любой момент времени t и, следовательно, представляет собой амплитуду. Уравнение такого вида применимо почти ко всем формам волнового движения, начиная от колебания струны и кончая электромагнитным излучением.

В трехмерном декартовом пространстве волновое уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \quad (7.2)$$

или

$$\nabla^2 \Phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}, \quad (7.3)$$

где ∇ — оператор Лапласа, который равен:

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right). \quad (7.4)$$

Типичным примером такой волновой функции Φ является уравнение синусоиды:

$$\Phi = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - ct). \quad (7.5)$$

Примером волновой функции может быть любая другая функция. Правильность выбора той или иной функции может быть оценена только по получаемым с ее помощью результатам.

Остановимся на движении электрона в атоме, где волновая функция должна представлять собой уравнение стоячих волн. Обычно при описании закономерностей движения квантовых частиц, например электрона, волновую функцию обозначают буквой Ψ , при этом скорость света c , входящая в волновую функцию, заменяется на скорость квантовой частицы v . Тогда движение электрона может быть выражено общей функцией стоячей волны вида:

$$\psi = A \sin \alpha x. \quad (7.6)$$

Принципы интерпретации волновой функции. Как отмечено в гл. 4 и 5, самым существенным фактором ошибочной интерпретации волновой функции является рассмотрение прямолинейного равномерного движения электрона в декартовой системе координат, где центр атома помещен в начало координат, а координатные оси обозначают значения радиусов. Прямолинейное движение электрона вдоль таких координатных осей предполагает его движение при потере или приобретении энергии, т.е. при изменении своего энергетического состояния. А это, как известно, противоречит условиям движения электрона в атоме в энергетически стационарных условиях.

В гл. 5 было показано, что равномерное прямолинейное движение в пространстве без потери или приобретения энергии извне эквивалентно такому же равномерному, но круговому движению материальных частиц. Принятый принцип эквивалентности кругового и прямолинейного движений дает возможность рассматривать стенки традиционного потенциального ящика с прямолинейными сторонами как стенки потенциальной *сферы* с соответствующими сторонами x , y и z в виде полуокружностей определенного радиуса. Тогда эти полуокружности координатных линий являются границами потенциальной сферы. Такой подход позволяет рассматривать движение электрона в потенциальной сфере в двойной взаимосвязанной системе координат с одновременным отражением проекций кругового орбитального движения и радиуса орбиты

электрона на соответствующих координатных осях. В гл. 5 были приведены принципы построения такой двойной системы координат, которую мы назвали *интегральной системой координат потенциальных сфер (ИСК ПС)* или просто *интегральной системой координат (ИСК)*.

Интегральная система координат и ее свойства. Предложенная в гл. 5 интегральная система координат одновременно может отражать проекции движения материальной частицы на произвольно ориентированной орбите на плоскостях круговых координатных линий X , Y и Z , а также проекции радиуса орбиты \mathbf{R} на координатных осях радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z .

Заметим, что круговые координатные оси X , Y и Z могут быть как метрическими, так и угловыми, т.е. они одновременно могут отражать расстояние и угол поворота на орбите, что значительно упрощает описание вращающихся систем с помощью такой интегральной системы координат.

Увеличение протяженности и, соответственно, радиуса координатных осей в интегральной системе координат достигается переходом в следующую потенциальную сферу и так до бесконечности. Это значит, рассматриваемая интегральная система координат является многоуровневой относительно потенциальных сфер, т.е. предложенная система координат может описывать плоские пространства на поверхности сферы одновременно для их бесконечного множества с различными энергетическими и временными характеристиками. Такая система координат обладает наглядностью и простотой при описании сложных и энергетически связанных многоуровневых систем, например таких, как систем многоэлектронных атомов, без использования сложного математического аппарата.

На рис. 7.1 приведена интегральная система координат двух потенциальных сфер, **A** и **B**.

Как видно из рис. 7.1, интегральная система координат потенциальных сфер состоит из двух взаимно сопряженных координатных систем. Одной из них является декартовая система координат радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Эти координатные оси отражают проекции радиус-вектора \mathbf{r} , представляющего произвольно ориентированную круговую орбиту.

Радиус-вектор орбиты \mathbf{r} можно представить как сумму проекций $\mathbf{r} = r_x\mathbf{i} + r_y\mathbf{j} + r_z\mathbf{k}$, где \mathbf{i} , \mathbf{j} , \mathbf{k} — единичные векторы, направленные по осям координат; r_x , r_y , r_z — скалярные значения проекций радиус-вектора орбиты \mathbf{r} на соответствующие координатные оси радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Направление радиус-вектора орбиты \mathbf{r} совпадает с направлением вектора угловой скорости, т.е. подчиняется правилу правого буравчика.

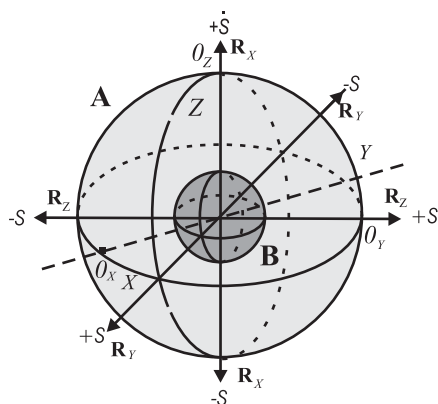


Рис. 7.1. Интегральная система координат потенциальных сфер

Взаимная ориентация координатных осей радиус-векторов должна осуществляться таким образом, чтобы проекции радиус-вектора орбиты на координатных осях одного знака давали результирующий радиус-вектор орбиты между ними.

Второй координатной системой является сферическая система координат, где большими взаимно перпендикулярными окружностями орбитальной сферы отображают координатные линии X , Y и Z . Эти координатные линии принадлежат как положительным, так и отрицательным направлениям орбитального вращения, согласно знакам спина $\pm s$, соответствующих координатных осей радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Причем длина окружности орбиты всегда совпадает с длиной большой окружности потенциальной сферы, а значит, и с длинами координатных линий X , Y и Z .

Ориентацию орбиты на поверхности потенциальной сферы могут отражать проекции радиус-вектора этой орбиты на соответствующих координатных осях радиус-векторов. При этом проекции самой орбиты отображаются на плоскостях координатных линий X , Y и Z в виде окружностей со скалярными радиусами, соответствующими проекциям радиус-вектора орбиты на одноименные координатные оси \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Заметим, что проекции орбиты могут отражаться и на поверхности сферы на плоскостях, параллельных координатным линиям X , Y и Z .

Так как движение в интегральной системе координат осуществляется по круговой линии, эквивалентной прямой, то, как говорилось выше, координатные линии одновременно могут отображать как длину дуги окружности, соответствующую пройденному пути, так и угол поворота от начала координат. Это значит, их можно представить и как линии круговых синусоид. Заметим, что скалярные значения синусоид

Относительно противоположные направления координатных осей радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z определяются знаками спина $\pm s$. Проекция радиус-вектора орбиты, в зависимости от знака спина $\pm s$, могут быть как положительного, так и отрицательного направления. Таким образом, при взаимодействии спина с координатными осями радиус-векторов, например для \mathbf{R}_x , соблюдается равенство $\pm s \cdot \mathbf{R}_x = \pm \mathbf{R}_x$.

Взаимная ориентация координатных осей радиус-

проекций радиус-векторов орбиты лежат на *круговых* линиях проекций орбиты, которые, в свою очередь, располагаются на соответствующих плоскостях координатных линий X , Y и Z .

Начало координат круговых координатных линий X , Y и Z , в зависимости от модельных условий задачи, может быть установлено на любой точке этих координатных линий, например, на точках θ_x , θ_y и θ_z , как показано на рис. 7.1. Однако в интегральной системе координат, так же, как и в декартовой, расположения положительных и отрицательных координатных осей радиус-векторов взаимообусловлены.

Допустим, что координаты материальной точки на орбите могут принимать значения от нуля до максимального значения, равного πr . Так как длина большого круга сферы в два раза больше и равняется $2\pi r$, то материальных точек на орбите с разностью фаз между ними, равной πr , может быть две. При этом они будут иметь одинаковые координаты, а движение их может быть описано одним и тем же уравнением стоячей волны. Их на орбите можно отличить только чисто условно — по взаимному расположению, т.е. по противоположным значениям фаз орбиты, обозначаемых $\pm f_0$. Напомним, что такие частицы по линии окружности орбиты отстают друг от друга на расстояние πr .

С учетом того, что материальная точка на орбите может вращаться в противоположные стороны, т.е. может иметь противоположные значения спина, обозначаемые $\pm s$ количество материальных точек, описываемых одним и тем же уравнением стоячей волны в интегральной системе координат, удвоится. Это значит, что на одной траектории орбиты с одинаковыми характеристиками уравнения стоячей волны могут присутствовать материальные точки как с положительным, так и с отрицательным спином, которые, в свою очередь, отличаются противоположными значениями фаз $\pm f_0$. В общей сложности, количество материальных точек на орбитах с положительными и отрицательными значениями спинов $\pm s$ и фаз $\pm f_0$, описываемых одним и тем же уравнением стоячей волны, равняется четырем. Таким образом, каждая из четырех материальных точек в интегральной системе координат, описываемая одним и тем же уравнением стоячей волны, отличается одна от другой только по сочетаниям положительных и отрицательных значений спинов и фаз, которые имеют вид:

$$(+s + f_0), (+s - f_0), (-s - f_0), (-s + f_0). \quad (7.7)$$

Рассмотрим это на примере волновой функции в «одномерной» интегральной системе координат, построенной по выделенному направлению.

7.2. Движение электрона в потенциальной сфере

Движение электрона на орбите в выделенном направлении потенциальной сферы. Рассмотрим движение электрона на примере волновой функции в «одномерной» интегральной системе координат, построенной по выделенному направлению. В условиях спирального движения электрона в атоме длина окружности орбиты кратна длине его синусоидальной спиральной волны. Это обстоятельство делает предлагаемую систему координат адекватной спиральному движению, где орбита является траекторией движения фронта спиральной волны. Это значит, что если траекторию орбиты принять за координатную ось, то она будет координатной осью движения фронта синусоидальной волны.

В интегральной системе координат, приведенной на рис. 7.2, «одномерная» система представляет собой бесконечный набор окружностей различных радиусов, например, r_1 и r_2 с общим центром положительного и отрицательного направлений вращения по знаку спина s . Например, электроны, вращающиеся по круговой орбите и обозначенные светлым кружком, имеют положительное значение спина $\pm s$, соответствующее выбранному положительному направлению радиус-вектора \mathbf{R}_x . Такому положительному значению спина $\pm s$ орбиты в выбранном направлении соответствуют положительная и отрицательная фазы $\pm f_0$ орбиты с разностью πr . Электроны, вращающиеся на орбите с отрицательным спином, обозначены темными кружками, которые по своим координатам на этой орбите также соответствуют положительной и отрицательной фазам $\pm f_0$.

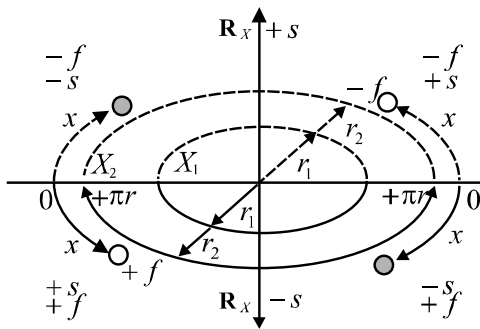


Рис. 7.2. Одномерная интегральная система координат

и отрицательной фазам $\pm f_0$.

Как видно из рис. 7.2, электроны на орбите с противоположными значениями спина вращаются в противоположных направлениях. При этом начала координат орбит с отрицательным и положительным спином установлены в противофазе с разностью фаз πr .

Рассмотрим конкретный случай движения электрона по орбите с определенным радиусом, где спиральное движение его может быть выражено общей функцией стоячей волны, как отмечено выше в (7.7), вида: $\psi = A \sin \alpha x$.

Допустим, что спиральное движение осуществляется в определенных границах потенциального пространства размером a . Тогда примем, что на концах этого отрезка при $a = 0$ и $x = a$ выполняется соотношение:

$$0 = A \sin \alpha x. \quad (7.8)$$

Это равенство справедливо при условии $A = 0$. Но нас интересует другой способ сохранения равенства. Известно, что синус угла равен нулю при кратном π . Таким образом, если $\alpha = n\pi/a$, где n — целое число, то равенство тоже сохранится. Тогда движение электрона по полуокружности орбиты будет подчиняться функции стоячей волны вида

$$\psi = A \sin \frac{n\pi}{a} x. \quad (7.9)$$

Примем, что в интегральной системе координат движение (спиральное) электрона осуществляется на орбите в пределах большой полуокружности по поверхности потенциальной сферы при $a = \pi r_x$. Тогда в пределах отрезка a координаты электрона принимают значения от $x = 0$ до $x = \pi r_x$. В этих условиях волновое уравнение примет вид:

$$\psi = A \sin \frac{n}{r_x} x, \quad (7.10)$$

где r_x — радиус орбитального движения электрона в поле заряда, т.е. радиус движения нуклона по круговой линии оси X , соответствующей значению n .

С помощью (7.10) найдем одно из возможных значений коэффициента A . Длина орбиты движения электрона равна: $\lambda = 2\pi r_x$. Тогда в пределах полуволны при $a = \pi r_x$ максимальное смещение электрона от средней точки равновесия будет равно: $\pi r_x/2$. Такое смещение спиральной волны по ходу движения и может быть принято в выражении (7.10) за коэффициент A . Тогда соотношение для коэффициента A имеет вид:

$$A = \frac{\pi r_x}{2}. \quad (7.11)$$

Выражение (7.10) при фиксированном знаке спина одно и то же для электронов на орбите как с положительной, так с отрицательной фазами. Такое же правило сохраняется для электронов на орбите при фиксированном знаке фазы, но с разными знаками спина. Покажем это. Пусть отрицательное значение спина соответствует отрицательному значению x от 0 до πr_x , тогда значение радиуса r_x функции (7.10) тоже

будет иметь отрицательное значение. В итоге функция (7.10) будет иметь следующий вид:

$$\psi = A \sin \frac{n}{-r_x} (-x).$$

После сокращения в числителе и знаменателе отрицательных знаков мы убеждаемся в неизменности функции (7.10) для положительного и отрицательного значений спинов орбитального движения нуклонов. Как установлено, замена знака спина s в функции (7.10) не меняет ее вида, а лишь указывает на относительное изменение направления радиус-вектора орбиты на обратное.

Как упоминалось ранее, пройденный путь по координатным линиям X , Y и Z в интегральной системе координат можно отразить как обычной мерой длины (соответственно через x , y и z) дуги окружности, так и в угловых единицах. Это значит, что в интегральной системе координат для отражения интервала, а также волновой функции в радиальных координатах нет необходимости в специальных математических преобразованиях для перехода от метрической в радиальную координатную систему.

Если выразить значение пути через угловые координаты, то с учетом того, что $x = \mathcal{G}r$, имеем

$$\psi = A_x \sin \frac{n\mathcal{G}}{r_x} r. \quad (7.12)$$

Волновые функции (7.11) и (7.12) являются, по сути, функциями стоящей волны от четырех зависимых друг от друга аргументов — n , r , x , \mathcal{G} . Ясно, что в потенциальном круге радиус фиксирован и может иметь место равенство $r_x = r$. Тогда волновая функция для потенциального полукруга с размерами πr принимает вид:

$$\psi = A_x \sin n\mathcal{G}. \quad (7.13)$$

Таким образом, мы получили волновую функцию (7.13), которая при фиксированном радиусе орбитального движения зависит только от угла поворота \mathcal{G} траектории движения. Однако в (7.13) назначение целочисленных значений фактора n не совсем ясно; кроме того, при значении $\mathcal{G} = \pi$ волновая функция должна равняться нулю. Допустим, что целочисленные значения n имеют и другое назначение или свойство. Рассмотрим это.

Как свидетельствуется в гл. 6, при спиральном движении электрона момент количества движения его по (6.17) определяют по выражению:

$$mvr_c = \frac{h}{2\pi},$$

где r_c — радиус спирали.

Необходимо отметить, что длина волны такого спирального движения электрона вдоль координатной линии X равна $2\pi r_c$ и нет запрета тому, чтобы радиус орбиты r_x мог быть выражен через значение радиуса спирали r_{cx} волнового движения электрона. Тогда имеем:

$$\psi = A_x \sin \frac{n\mathcal{G}}{r_x} r_{cx}. \quad (7.14)$$

В соответствии с (6.31), орбитальное движение квантовой частицы в поле заряда с радиусом r имеет следующее выражение для момента количества движения:

$$mvr_x = \frac{nh}{2\pi},$$

где r_x — радиус круговой координатной линии X , т.е. радиус орбиты электрона.

Очевидно, что в выражениях для момента количества движения спирального и орбитального движений масса и скорость для обоих случаев есть величины постоянные. Тогда, разделив обе части последнего выражения на соответствующие части аналогичного выражения для волнового спирального движения, получаем:

$$n = \frac{r_x}{r_{cx}} = \frac{\lambda_x}{\lambda_{cx}}, \quad (7.15)$$

где λ_{cx} — длина волны спирального движения.

Это свидетельствует о том, что в поле центрального заряда на длину окружности потенциального круга помещается целое число длин волн де Бройля движения электрона, равное n . А это значит, что если длина потенциального круга равна λ_x , то выполняется соотношение $\lambda_x = n\lambda_{cx}$. Расчет подтверждает наше предположение из гл. 6 о том, что целые значения числа n в волновой функции вызваны необходимым условием образования стационарных стоячих волн движения квантовых частиц де Бройля по круговой орбите.

Подставляя выражение (7.15) в (7.14), найдем волновую функцию для потенциального круга размером полудлины волны де Бройля, равной πr_{cx} , которая имеет вид:

$$\psi = A_x \sin \mathcal{G}. \quad (7.16)$$

Таким образом, мы нашли известное выражение волновой функции в угловых координатах для прямолинейного движения квантовой

частицы де Бройля в пространстве. Волновая функция (7.16) может являться обычной амплитудной функцией для радиуса или для другой характеристики, что показывает несостоятельность ее вероятностной трактовки.

Выражения (7.10)–(7.14) обладают замечательным свойством — в них одновременно могут быть заложены сразу несколько функций, как бы вложенных одна в другую. И действительно, в каждом из указанных выражений отражены функции движения электрона, как волнового движения частицы де Бройля, так и движения частицы по орбите центрального силового поля с отражением проекции радиуса орбиты в выбранном направлении. Эти функции, наряду с выражением пройденного пути, определяют и угол поворота материального тела на орбите.

Как показывают проведенные исследования, описание спирального движения электрона в силовом поле ядра в интегральной системе координат простыми тригонометрическими функциями позволяет наглядно отражать пребывание электрона в атоме. Эти тригонометрические функции включают в себя все интегральные условия орбитального движения квантовой частицы де Бройля в силовом поле ядра как в метрических, так и в угловых координатах без каких-либо преобразований системы координат.

Движение электрона в потенциальной сфере с произвольной ориентацией орбиты. В рассмотренном выше примере движения электрона по круговой орбите учитывалось его движение только по одномерной координатной линии X , когда направление радиус-вектора \mathbf{r}_x круговой орбиты совпадало с направлением соответствующей координатной оси \mathbf{R}_x . Однако круговая орбита электрона относительно координат может быть ориентирована произвольным образом.

Поскольку нас интересует характеристика только самой орбиты, исключая конкретные координаты движущего по ней тела, то в интегральной системе координат необходимо найти только способы описания ориентации этой орбиты. Для этого достаточно определить проекции радиус-вектора орбиты на координатные оси \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z , а затем по этим проекциям можно будет уже найти и проекции траектории орбиты на плоскостях соответствующих координатных линий X , Y и Z . Эти проекции будут лежать на плоскостях координатных линий орбиты X , Y и Z , образуя окружности с радиусами, равными или меньшими, чем радиусы этих координатных линий (напомним, что радиусы всех координатных линий равны). Проекции орбит, в свою очередь, могут быть отражены и на плоскостях, параллельных плоскостям координатных линий на поверхности потенциальной сферы орбиты.

Таким образом, для характеристики орбиты в пространстве потенциальной сферы определенного радиуса достаточно знать ориента-

цию радиус-вектора \mathbf{r} этой орбиты путем определения его проекций \mathbf{r}_x , \mathbf{r}_y и \mathbf{r}_z на соответствующие взаимно перпендикулярные координатные оси \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z .

В последующем сохраним обозначение координатной оси радиус-вектора \mathbf{R}_x , а значит и соответствующей координатной линии X , как обозначение координат в выделенном направлении.

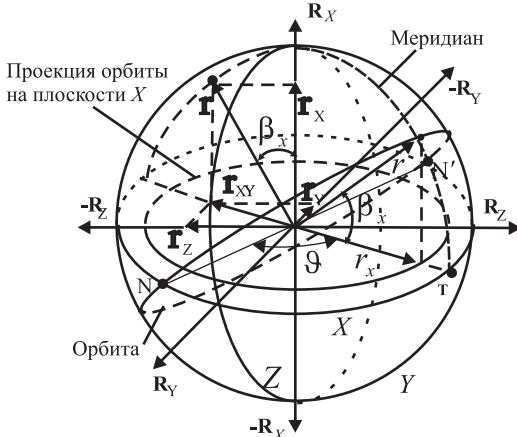


Рис. 7.3. Ориентация орбиты и радиус-вектора в интегральной системе координат

На рис. 7.3 представлена интегральная система координат с произвольной ориентацией орбиты, а значит, и радиус-вектора \mathbf{r} этой орбиты.

Как было показано ранее, такая интегральная система координат состоит из двух взаимно дополняющих координатных систем. Одной из них является декартовая система координат радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . А другой — сферическая система координат,

представляющая собой круговые координатные линии X , Y и Z больших окружностей потенциальной сферы на взаимно перпендикулярных плоскостях.

Как видно из рис. 7.3, произвольная ориентация орбиты в интегральной системе координат задана разложением радиус-вектора орбиты \mathbf{r} на проекции \mathbf{r}_x , \mathbf{r}_y и \mathbf{r}_z по координатным осям радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Для данной орбиты скалярные значения радиус-векторов каждой из координатных осей \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z являются постоянными величинами и между собой равны.

Скалярную проекцию радиус-вектора орбиты \mathbf{r} , например, на плоскость координатной линии X можно найти и графически. Для этого вначале опускаем перпендикуляр из конца радиус-вектора \mathbf{r} на координатную ось \mathbf{R}_x и находим \mathbf{r}_x . Далее на поверхности потенциальной сферы из точки ее пересечения с координатной осью \mathbf{R}_x проводим линию меридиана до точки конца радиус-вектора \mathbf{r} , а затем по траектории единичной окружности — до точки пересечения (точка \mathbf{t}) меридиана с координатной линией X . После этого на радиальной линии от центра потенциальной сферы до точки \mathbf{t} откладываем скалярное значение радиус-вектора \mathbf{r}_x (проекция). При этом угол ϑ на координатной линии X , между точками N (точка пересечения линии орбиты и координатной линии

X) и \mathbf{t} , всегда равен $\pi/4$, т.е. $\mathcal{G} = \pi/4$. Такой же угол (равный $\mathcal{G} = \pi/4$) образован (на линии орбиты) между линией NN^1 и направлением скалярного радиуса орбиты r на меридиан.

Необходимо заметить, что в этом случае углы между радиус-векторами \mathbf{r} и \mathbf{r}_x , а также скалярными радиусами орбиты r и ее проекцией r_x имеют одинаковые значения, равные β_x . Таким образом, в интегральной системе координат проекции радиус-вектора орбиты на каждую из координатных осей наглядно отражают ориентацию орбитального движения, например электрона, условно указывая ориентацию этой орбиты относительно координатных осей радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z , а также относительно координатных линий X , Y и Z .

Заметим, что при фиксированной абсолютной величине проекции \mathbf{r}_x в выделенном направлении пространственная ориентация общего радиус-вектора \mathbf{r} позволяет иметь и фиксированное абсолютное значение вектора \mathbf{r}_{yz} , или \mathbf{r}_l на орбитальной плоскости, которое равно сумме векторов \mathbf{r}_y и \mathbf{r}_z по соотношению:

$$r_{yz} = r_l = \sqrt{r_y^2 + r_z^2}. \quad (7.17)$$

При этом орбитальная плоскость совпадает с плоскостью координатной линии X , на которой лежит орбитальный радиус-вектор \mathbf{r}_{yz} . Этот радиус-вектор может быть разложен на проекции радиус-векторов \mathbf{r}_y и \mathbf{r}_z . Очевидно, что при соблюдении равенства (7.17), каждый из этих векторов может принять скалярное значение от нуля до r_{xy} .

Эти значения радиусов, в зависимости от знака спина, могут быть как положительными, так и отрицательными. Как видно из рис. 7.3, скалярные значения и направление радиус-векторов \mathbf{r}_y и \mathbf{r}_z имеют отрицательное значение.

Очевидно, что скалярное значение радиус-вектора \mathbf{r} и длины l орбиты определяется соотношением:

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} \quad \text{или} \quad l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}, \quad (7.18)$$

где l_x , l_y , и l_z — длины полуокружностей проекций орбиты на плоскости X , Y и Z .

Соотношение (7.18) для радиуса можно представить в виде:

$$\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} = 1. \quad (7.19)$$

Если учесть, что

$$\frac{r_x^2}{r^2} = \cos^2 \beta_x, \quad \frac{r_y^2}{r^2} = \cos^2 \beta_y, \quad \frac{r_z^2}{r^2} = \cos^2 \beta_z, \quad (7.20)$$

где $\beta_{x,y,z}$ — углы между радиус-вектором орбиты и соответствующими координатными осями \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z , будем иметь:

$$\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} = \cos^2 \beta_x + \cos^2 \beta_y + \cos^2 \beta_z = 1. \quad (7.21)$$

Заметим, что угол наклона β радиус-вектора орбиты на заданную координатную ось определяет величину проекции радиус-вектора орбиты на эту ось.

Пусть движение материальной частицы, например, электрона на орбите ядра описывается как в (7.13) функцией:

$$\psi_{(xyz)} = A \sin n \vartheta. \quad (7.22)$$

Очевидно, что если известен угол наклона плоскости орбиты β к плоскости координатной линии, то можно найти ее проекцию на плоскость этой координатной линии, например, X . Если учесть (7.11) и (7.20), то для определения проекции орбиты на плоскость X имеем соотношения:

$$\frac{A_x}{A} = \frac{r_x}{r} = \cos \beta_x, \quad (7.23,a)$$

$$\frac{A_y}{A} = \frac{r_y}{r} = \cos \beta_y, \quad (7.23,b)$$

$$\frac{A_z}{A} = \frac{r_z}{r} = \cos \beta_z, \quad (7.23,c)$$

которые для данной орбиты по каждому из направлений имеют одно и то же значение. Тогда волновая функция проекции орбиты на плоскость X выразится как:

$$\psi_{(x)} = A \sin n \vartheta \cdot \cos \beta_x. \quad (7.24,a)$$

По аналогии с (7.24,a) и для остальных координатных линий Y и Z имеем:

$$\psi_{(y)} = A \sin n \vartheta \cdot \cos \beta_y, \quad (7.24,b)$$

$$\psi_{(z)} = A \sin n \vartheta \cdot \cos \beta_z. \quad (7.24,c)$$

Если исходить из (7.23,a)–(7.23,c), то выражения (7.24,a)–(7.24,c) приобретают вид:

$$\psi_{(x)} = A_x \sin n \vartheta, \quad (7.25,a)$$

$$\psi_{(y)} = A_y \sin n \vartheta, \quad (7.25,b)$$

$$\psi_{(z)} = A_z \sin n \mathcal{G}. \quad (7.25, \text{c})$$

Рассматривая движение квантовой частицы по орбите, мы исходили из того, что ее положение на орбите не определено. Тогда угол поворота частицы на орбите можно принять одинаковым для всех проекций этой орбиты. Отсюда, с учетом (7.10), (7.13) и (7.22), выражения волновых функций (7.25,а)–(7.25,с) можно привести к виду:

$$\psi_{(x)} = A_y \sin \frac{n}{r_x} x = A_x \sin \frac{n}{r} l_o, \quad (7.26, \text{a})$$

$$\psi_{(y)} = A_y \sin \frac{n}{r_y} y = A_y \sin \frac{n}{r} l_o, \quad (7.26, \text{б})$$

$$\psi_{(z)} = A_z \sin \frac{n}{r_z} z = A_z \sin \frac{n}{r} l_o, \quad (7.26, \text{c})$$

где x , y и z — координаты проекций орбиты на соответствующих плоскостях координатных линий X , Y и Z ; l_o — значения длин орбиты в пределах ее полукружности; r — радиус орбиты.

Необходимо отметить, что здесь координаты проекций орбиты x , y и z имеют следующие значения:

$$x = \mathcal{G}r_x, \quad y = \mathcal{G}r_y \quad \text{и} \quad z = \mathcal{G}r_z.$$

К такому же виду можно привести и соотношение (7.22) для общей волновой функции, которое выразится как

$$\psi_{(xyz)} = A \cdot \sin \frac{n}{r} l_o. \quad (7.27)$$

Выражения (7.24)–(7.26) являются проекциями общей функции орбиты (7.27), которые отличаются друг от друга только постоянными множителями, равными косинусу угла наклона плоскости орбиты на соответствующие плоскости координатных линий. Выражения (7.24)–(7.27) справедливы и в условиях неопределенности нахождения частицы на орбите, когда нас будут интересовать только проекции этой орбиты на соответствующие направления в интегральной системе координат.

Напомним, что в сферической системе координат скалярный радиус орбиты r равен радиусу потенциальной сферы R , и поэтому скалярные радиусы круговых координатных линий орбиты R_x , R_y и R_z между собой равны, т.е. имеет место равенство:

$$R = R = R_x = R_y = R_z.$$

Между собой равны также длины полукруга орбиты и круговых координатных линий X , Y и Z , т.е. $l_o = X = Y = Z$.

Форма проекций орбит в интегральной системе координат.

Как видно из (7.23,а)–(7.23,с), проекция радиус-вектора орбиты на каждую из координатных осей \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z имеет постоянное значение. А это означает, что проекции круговой траектории орбиты на плоскостях координатных линий должны иметь форму окружности с радиусом, соответствующим проекции радиус-вектора орбиты на данную координатную ось. Это важнейшее свойство интегральной системы координат потенциальных сфер, которое позволяет принять понятие — «радиус-вектор орбиты». Очевидно, что такому радиус-вектору всегда соответствует движение только по круговой траектории.

Это свойство интегральной системы координат вытекает из того, что при проецировании орбиты на плоскость соответствующей координатной линии угол поворота проецируемой точки на орбите и на плоскости проекции остается одним и тем же, что традиционно не выполняется в декартовой системе координат.

Утверждение о том, что проекции круговой орбиты на плоскости координатных линий X , Y и Z имеют круговые траектории математически легко доказуемо. Это, в частности, вытекает из того, что проекция радиуса орбиты имеет постоянное значение и определяется, например, для r_x выражением $r_x = r \cos \beta_x$, где угол наклона орбиты β_x имеет постоянное значение. Кроме этого, как мы установили, круговая траектория орбиты эквивалентна прямолинейному движению. А это значит, что и проекция ее орбиты тоже должна быть эквивалентна прямолинейному движению и пропорциональна круговой траектории орбиты. Таким образом, проекции орбит на плоскости координатных линий всегда имеют форму окружностей, а не эллипсов, как это воспринимается визуально.

На рис. 7.4 представлена схема формирования реальной проекции орбиты на плоскости координатной линии X . Здесь на схеме **А** дан вид на плоскость орбиты сбоку, а на схеме **Б** — вид сверху под углом $\pi/4 - \beta_x$ к плоскости орбиты.

На схеме **А** координатная ось \mathbf{R}_y проходит перпендикулярно к плоскости рисунка, а радиус-вектор орбиты \mathbf{R}_o имеет наклон к радиус-вектору \mathbf{R}_x , равный углу β_x . Очевидно, что такой же угол наклона β_x имеет плоскость орбиты по отношению к плоскости координатной линии X .

Рассмотрим формирование проекции точки **Т** на орбите на плоскость координатной линии X . Если линию пересечения орбиты с координатной осью \mathbf{R}_y принять за начальную точку (точка **Н**) орбиты, то точка **Т** на орбите расположена от этой нулевой точки под углом, равным ϑ (схема **А**). Точка **Т** на координатной линии X имеет идентичную точку **Т'** при таком же угле поворота ϑ (схема **Б**), которая получена

путем поворота плоскости орбиты вокруг оси \mathbf{R}_y на угол β_x , т.е. до ее слияния с координатной линией X . Таким образом, при проекции, например, радиуса орбиты от синусоидальной функции на плоскость координатной линии значения синусов угла на орбите и на проецируемой координатной линии должны быть одинаковыми, т. е. угол поворота ϑ точки T на орбите и на проецируемой координатной линии X должен оставаться неизменным.

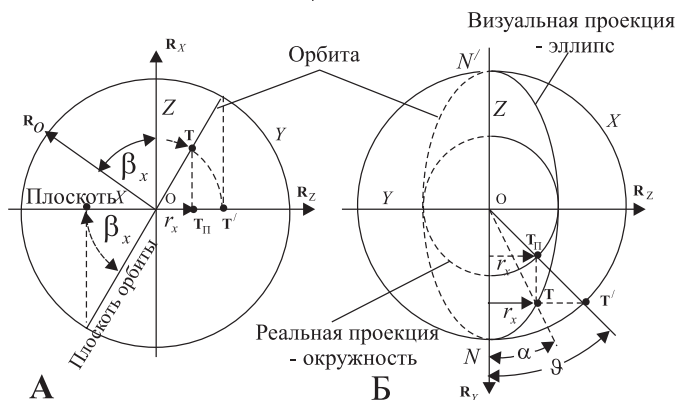


Рис. 7.4. Схема формирования проекции орбиты на плоскости координатной линии X

Как видно из схемы **Б**, визуальная ошибочная проекция орбиты имеет форму эллипса. Из визуальной проекции точки T на плоскость X видно, что вместо угла, образованного между координатной осью \mathbf{R}_y и радиальной линией, проведенной от центра орбиты до точки T (схема **Б**), образуется уже другой угол, равный α . А в интегральной системе координат такое изменение угла поворота точки T от ϑ на орбите и до α на проекции, в принципе, запрещено. Такой запрет должен действовать и в декартовой системе координат, поскольку при проекции должны получаться пропорциональные величины, а одновременная двойная проекция длины и угла, как принято в этой системе координат, такую пропорциональность не дает. Это значит, что и в декартовой системе координат необходимо исключить проекции углов поворота, например по орбите, оставляя лишь проекции длины интервала орбиты, что будет способствовать упрощению решения многих задач, поскольку при этом любые интервалы круговых линии будут проецироваться пропорционально в зависимости от угла наклона плоскостей, на которых лежат эти интервалы, к проецируемой плоскости.

Как уже говорилось, проекция орбиты только тогда верна, когда фиксированный угол поворота точки на орбите и соответствующий угол поворота проекции этой точки на плоскости координатной линии равны между собой. Например, значение проекции амплитуды синусоидальной функции мы должны иметь при сохранении значения синуса, что достигается при одном и том же значении угла синуса. Как показано на схеме **Б**, если значение угла поворота точки **Т** на орбите, равное ϑ , отнести к проекции амплитуды синусоидальной функции $r_x = r \sin \vartheta \cdot \cos \beta_x$, то она сместится на позицию точки **Т**_п, которая лежит на линии окружности реальной проекции орбиты. И, наконец, одинаковые величины поворота угла вращающегося тела на орбите и на ее проекциях очевидны, потому что при полном обороте точки на орбите она на всех проекциях совершает также один полный оборот, равный 2π .

Таким образом, подведя итог сказанному можно утверждать, что в интегральной системе координат проекции круговой траектории произвольно ориентированной орбиты на плоскость каждой из координатных линий **X**, **Y** и **Z** имеют форму окружности с радиусами, соответствующими проекциям радиус-вектора орбиты на координатные оси **R_x**, **R_y** и **R_z**.

7.3. Характеристика состояний электронов в атоме

Условия квантованного движения на проекциях орбит. Пусть круговое движение электрона по орбите с произвольной ориентацией, согласно (7.27), подчиняется функции $\psi_{(xyz)} = A \sin \frac{n}{r} l_o$. Найдем, как определяется энергия электрона, вращающегося по круговой орбите с произвольной ориентацией, относительно направления координатных осей радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z или относительно плоскостей круговых координатных линий X , Y и Z в интегральной системе координат.

Как известно, кинетическая энергия электрона в атоме определяется как $E_k = mv^2/2$. Очевидно, что скорость перемещения электрона v по орбите в случае спирального движения равна:

$$v = \lambda \nu = 2\pi r \cdot \nu, \quad (7.28)$$

где λ — длина окружности орбиты, равная $\lambda = 2l_o = 2\pi r$; ν — частота орбитального вращения частицы; l_o — длина полуокружности орбиты.

Как было показано ранее, проекции радиус-вектора орбиты \mathbf{R} на координатные оси радиус-векторов, согласно выражениям (7.23,а)–(7.23,с) имеют постоянные значения скалярных значений радиусов r_x , r_y и r_z , независимо от угла поворота электрона на орбите. При этом очевидно, что частота вращения электрона ν относительно всех направлений координатных осей имеет постоянное значение. А соотношения для соответствующих длин окружностей (x , y и z) проекций орбиты имеют вид

$$x = 2l_o \cos \beta_x = 2\pi r \cdot \frac{r_x}{r} = 2\pi r_x, \quad (7.29,а)$$

$$y = 2l_o \cos \beta_y = 2\pi r \cdot \frac{r_y}{r} = 2\pi r_y, \quad (7.29,б)$$

$$z = 2l_o \cos \beta_z = 2\pi r \cdot \frac{r_z}{r} = 2\pi r_z. \quad (7.29,с)$$

Согласно (7.28) скорость электрона на орбите v при фиксированной частоте вращения имеет прямопропорциональную зависимость от радиуса орбиты. При этом очевидно, что частота вращения по орбите и на всех ее проекциях остается одинаковой. Тогда выражения для проекций скалярного значения вектора скорости на орбите, соответствующие направлениям координатных линий X , Y и Z , пропорциональных проекциям радиуса орбиты, в соответствии (7.23,а)–(7.23,с), имеют вид

$$v_x = v \cos \beta_x = 2l_o \cos \beta_x \cdot \nu = 2\pi r_x \cdot \nu, \quad (7.30,а)$$

$$v_y = v \cos \beta_y = 2l_o \cos \beta_y \cdot v = 2\pi r_y \cdot v, \quad (7.30,б)$$

$$v_z = v \cos \beta_z = 2l_o \cos \beta_z \cdot v = 2\pi r_z \cdot v. \quad (7.30,с)$$

Поскольку скорость движения электрона по орбите является векторной величиной, то выражение для скорости через ее проекции имеет вид:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = v \sqrt{\cos^2 \beta_x + \cos^2 \beta_y + \cos^2 \beta_z}.$$

Согласно равенству (7.21), сумма квадратов косинусов равняется единице, что свидетельствует о справедливости выражений (7.30,а)–(7.30,с).

Таким образом, с учетом (7.28) и (7.30,а)–(7.30,с) справедливы равенства

$$\frac{r_x}{r} = \frac{v_x}{v}, \quad \frac{r_y}{r} = \frac{v_y}{v}, \quad \frac{r_z}{r} = \frac{v_z}{v}. \quad (7.31)$$

Согласно выражению Н. Бора, учтем условие квантования движения электрона по орбите и по ее проекциям. Такое выражение для скорости движения электрона по орбите имеет вид $v = n\hbar/mr$, где n — общее квантовое число, отражающее квантование момента количества движения электрона на произвольно ориентированной орбите. Найдем условия квантования движения электрона для проекций его орбиты в выделенном направлении и в направлении, перпендикулярном к последнему.

Как констатировалось, в интегральной системе координат *выделенное направление отражает квантовое число проекции орбиты n_x* , которое соответствует проекции радиус-вектора орбиты на направление координатной оси \mathbf{R}_x . Тогда проекцию орбиты в направлении, перпендикулярном к выделенному направлению, будет отражать квантовое число проекции орбиты n_{yz} и, согласно выражению (7.17), скалярное значение орбитального радиус-вектора равно: $r_{yz} = \sqrt{r_y^2 + r_z^2}$.

По существующей теории квантовой механики квантовому числу проекции орбиты n_{yz} соответствует орбитальное квантовое число l , т.е. $n_{yz} = l$. Как известно, общее квантовое число n и орбитальное квантовое число l могут принимать только целочисленные значения, а орбитальное квантовое число l — еще и значение, равное нулю.

Таким образом, соответствующие выражения для условий квантованного движения по проекциям орбиты имеют вид:

$$v_x = \frac{n_x \hbar}{mr_x}, \quad (7.32,а)$$

$$v_{yz} = \frac{l \cdot \hbar}{mr_{yz}} . \quad (7.32,б)$$

Здесь v_{yz} — проекция скорости движения по орбите в направлении, перпендикулярном к выделенному направлению, т.е. орбитальная скорость. Можно показать, как и для равенств (7.31), что в случае квантованного движения справедливо равенство

$$\frac{r_{yz}}{r} = \frac{v_{yz}}{v} . \quad (7.33)$$

Тогда, с учетом выражений (7.32а) — (7.33), после соответствующих преобразований имеем:

$$\left(\frac{r_x}{r} \right)^2 = \frac{n_x}{n} , \quad (7.34,а)$$

$$\left(\frac{r_l}{r} \right)^2 = \frac{l}{n} . \quad (7.34,б)$$

Справедливы также равенства:

$$\left(\frac{r_y}{r} \right)^2 = \frac{n_y}{n} , \quad (7.34,с)$$

$$\left(\frac{r_z}{r} \right)^2 = \frac{n_z}{n} . \quad (7.34,д)$$

Тогда, согласно (7.19) и (7.34,а)–(7.34,д) справедливо соотношение:

$$\frac{n_x}{n} + \frac{l}{n} = \frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} = 1 \quad (7.35,а)$$

или

$$n_x + l = n_x + n_y + n_z = n , \quad (7.35,б)$$

а также

$$l = n_y + n_z . \quad (7.35,с)$$

Выражение (7.35,б) свидетельствует о том, что сумма значений квантовых чисел проекций орбиты (n_x , n_y и n_z) равна значению общего квантового числа этой орбиты n .

Необходимо отметить, что по математическому формализму и условиям квантования, правая часть соотношений (7.34,а)–(7.34,д) может принимать только положительные значения. Это значит, что знаки общего квантового числа n и квантовых чисел проекций орбиты n_x , n_y и

n_z по определенным направлениям могут иметь только положительные значения. И хотя квантовые числа n и l имеют только положительные значения, в то же время логично учитывать их относительный знак по отношению к соответствующим спиновым квантовым числам и фазам орбиты.

Квантование энергии по проекциям. Согласно (3.24), для кинетической энергии частицы в потенциальном поле электрического заряда или электрона в атоме справедливо равенство:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Ze^2}{2r_x}.$$

Если придерживаться определений потенциальной и кинетической энергии электрона в атоме, принятых Н. Бором, то общая энергия частицы на орбите или электрона в атоме, в соответствии с (3.25), равна:

$$E_n = E_k + E_p = \frac{Ze^2}{2r} - \frac{Ze^2}{r} = -\frac{Ze^2}{2r} \quad (7.36,а)$$

или

$$E_n = -\frac{mv^2}{2}. \quad (7.36,б)$$

С учетом выражения (6.32) для радиуса, преобразуем соотношение (7.36а) к виду

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2}, \quad (7.36,с)$$

что согласуется с выражением (3.26) для общей энергии электрона в n -ом квантовом состоянии.

Рассмотрим распределение энергии электрона по соответствующим проекциям орбиты в интегральной системе координат. Из выражения (7.36,б) видно, что энергия электрона имеет прямую зависимость от квадрата скорости. Найдем значения общей энергии электрона в интегральной системе координат по соответствующим направлениям, уравнения для которых, согласно (7.30,а)–(7.30,с) и (7.36,б), имеют вид:

$$E_x = -\frac{mv_x^2}{2} = -\frac{mv^2 \cos^2 \beta_x}{2} = E_n \cos^2 \beta_x, \quad (7.37,а)$$

$$E_y = -\frac{mv_y^2}{2} = -\frac{mv^2 \cos^2 \beta_y}{2} = E_n \cos^2 \beta_y, \quad (7.37,б)$$

$$E_z = -\frac{mv_z^2}{2} = -\frac{mv^2 \cos^2 \beta_z}{2} = E_n \cos^2 \beta_z. \quad (7.37, \text{с})$$

Тогда согласно (7.20) и (7.34,а)–(7.34,д), имеют место соотношения:

$$E_x = E_n \frac{n_x}{n}, \quad E_y = E_n \frac{n_y}{n} \quad \text{и} \quad E_z = E_n \frac{n_z}{n}. \quad (7.38)$$

Очевидно, что общая энергия электрона на орбите складывается из суммы энергий, соответствующих проекциям орбиты, согласно следующего соотношения:

$$E_n = E_x + E_y + E_z = E \left(\frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} \right). \quad (7.39)$$

С учетом (7.35,а) и (7.36,с) выражение для общей энергии электрона в атоме преобразуется в

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \left(\frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} \right) \quad (7.40)$$

или

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \left(\frac{n_x}{n} + \frac{l}{n} \right). \quad (7.41)$$

Волновые функции с включением квантовых чисел проекций орбиты n_x , n_y и n_z . Проекциям орбиты по направлениям координатных осей потенциальной сферы должны соответствовать волновые функции, которые по аналогии с (7.26) отражены через квантовые числа проекций орбиты n_x , n_y и n_z . Такие волновые функции по соответствующим направлениям должны иметь вид

$$\psi_{(x)} = A_x \sin \frac{n_x}{r_x} x, \quad (7.42a)$$

$$\psi_{(y)} = A_y \sin \frac{n_y}{r_y} y, \quad (7.42б)$$

$$\psi_{(z)} = A_z \sin \frac{n_z}{r_z} z, \quad (7.42с)$$

где x , y и z — координаты проекций орбиты на соответствующие направления координатных линий X , Y и Z .

Напоминаем, что здесь координаты проекций орбиты имеют значения $x = \mathcal{R}_x$, $y = \mathcal{R}_y$ и $z = \mathcal{R}_z$.

Если каждая из волновых функций (7.42,а)–(7.42,с) описывает проекцию орбиты по определенному направлению, то каждой из них отвечает соответствующая часть энергии электрона из общей ее величины на орбите. Тогда, выражения для энергий электрона, соответствующие проекциям орбиты, согласно квантовым числам проекций орбиты n_x , n_y и n_z , имеют вид:

$$E_x = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_x^2}{n_x^2 h^2}, \quad (7.43,а)$$

$$E_y = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_y^2}{n_y^2 h^2}, \quad (7.43,б)$$

$$E_z = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_z^2}{n_z^2 h^2}. \quad (7.43,с)$$

В выражениях (7.43,а)–(7.43,с) проекциям орбиты соответствуют определенные значения действия эффективного заряда Z_x , Z_y и Z_z . Найдем их через величину общего заряда, действующего на электрон в атоме. Покажем это на примере для проекции орбиты по X , приравнявая правые части выражений (7.36,с), с учетом (7.38) и (7.43,а):

$$-\frac{2\pi^2 me^4 Z_x^2}{n_x^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \frac{n_x}{n}.$$

Далее, проведя сокращения и преобразуя равенство относительно заряда, получим по всем проекциям следующие соотношения:

$$Z_x = \sqrt{\frac{n_x^3}{n^3}} Z, \quad Z_y = \sqrt{\frac{n_y^3}{n^3}} Z, \quad Z_z = \sqrt{\frac{n_z^3}{n^3}} Z. \quad (7.44)$$

Таким образом, мы нашли выражения (7.44), которые в масштабе атома показывают дифференциацию действия общего заряда по направлениям координатных осей.

Проекциям общего заряда на соответствующие направления координатных осей принадлежат соответствующие проекции радиуса орбиты — r_x , r_y и r_z , которые идентичны выражениям для общего радиуса орбиты:

$$r_x = \frac{n_x^2 h^2}{4\pi^2 m Z_x e^2}, \quad (7.45,а)$$

$$r_y = \frac{n_y^2 h^2}{4\pi^2 m Z_y e^2}, \quad (7.45,б)$$

$$r_z = \frac{n_z^2 h^2}{4\pi^2 m Z_z e^2}. \quad (7.45,с)$$

Подставив правые части выражений (7.44) в (7.45,а)–(7.45,с) вместо заряда (Z), найдем соотношения для проекций радиуса орбиты по направлениям координатных осей \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z :

$$r_x = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n_x n^3} = r \sqrt{\frac{n_x}{n}}, \quad (7.46,а)$$

$$r_y = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n_y n^3} = r \sqrt{\frac{n_y}{n}}, \quad (7.46,б)$$

$$r_z = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n_z n^3} = r \sqrt{\frac{n_z}{n}}. \quad (7.46,с)$$

Пользуясь полученными выражениями (7.46,а)–(7.46,с) и соотношением (7.18), найдем радиус орбиты или радиус потенциальной сферы:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n^3 (n_x + n_y + n_z)}. \quad (7.47)$$

Согласно (7.35,б), $n_x + n_y + n_z = n$. Тогда подставляя в выражение (7.47) вместо суммы квантовых чисел n_x , n_y и n_z общее квантовое число n , получим соотношение для радиуса орбиты, идентичное соотношению Н. Бора, что говорит о справедливости выражений (7.46,а) — (7.46,с). Кроме этого, такой же результат для значений радиусов проекций орбит, как по (7.46,а)–(7.46,с), можно получить, если воспользоваться соотношениями (6.32) и (7.34,а) — (7.34,д).

Количество электронов в атоме с фиксированными значениями квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z . Приведенные выше результаты исследований показали, что состояние электрона в атоме, описываемое общей волновой функцией $\psi_{(xyz)} = A \sin \frac{n}{r} l_o$, кроме общего квантового

числа, определяется еще тремя квантовыми числами проекций орбиты, n_x , n_y и n_z . Найдем количество электронов в атоме в интегральной системе координат при одних и тех же значениях квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z . В этих условиях электроны на орбите должны обладать одинаковым энергетическим состоянием, что определяется одинаковыми значе-

ниями квантового числа n . Однако при этом у электронов с одинаковым набором квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z знаки спинов $\pm s$ координат радиус-векторов по каждому направлению могут быть разными. Определение количества квантовых частиц по сочетаниям этих спиновых квантовых чисел по всем трем направлениям создает большую путаницу. Поэтому в условиях интегральной системы координат количество квантовых частиц на орбите с одинаковыми значениями квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z удобно определять только по одной проекции орбиты, например, в выделенном направлении координатной оси \mathbf{R}_x . Подобный случай был рассмотрен выше в одномерной (по радиус-вектору) интегральной системе координат, и было установлено, что для этого удобно воспользоваться сочетаниями знаков фаз $\pm f_o$ и спина орбиты $\pm s$ в выделенном направлении. Иначе говоря, количество квантовых частиц на орбите с фиксированными значениями квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z определяется количеством сочетаний положительных и отрицательных знаков фаз $\pm f_o$ и спина $\pm s$ проекции орбиты в выделенном направлении. А количество N сочетаний фаз $\pm f_o$ и спина $\pm s$ для проекции орбиты в выделенном направлении, согласно (7.7), равно четырем, и эти сочетания при фиксированных n , n_x , n_y и n_z имеют следующий вид:

$$(+s + f_o), (+s - f_o), (-s - f_o), (-s + f_o).$$

Таким образом, найдены условия квантования энергии электрона в многозарядном атоме, исходя из представления, о том, что функция движения электрона в атоме имеет не вероятностный характер, а амплитудную природу. Как видно из выражения (7.40), состояния электронов в атоме зависят от общего квантового числа n , определяющего их энергетическое состояние на орбите, от квантовых чисел проекций орбиты n_x , n_y и n_z , определяющих распределение энергии по проекциям орбиты и от значения спина $\pm s$ и фазы $\pm f_o$ орбиты.

Концепция структурной организации атома

8.1 Общие условия структурной организации атома

Решение волнового уравнения, описывающего движение квантовых частиц, например, электрона в атоме, не может отражать физическую реальность без учета состояний всех членов системы в силу того, что частицы системы всегда находятся в условиях взаимного влияния одних на другие. Это должно учитываться при определении граничных условий решения волнового уравнения, и в частности, уравнения Шредингера.

Так как состояние электрона в атоме не зависит от времени, то необходимо проанализировать условия устойчивого существования замкнутой пространственной системы элементарных квантовых частиц во времени. Такая система должна быть устойчива в условиях внешнего воздействия. Для этого необходимо учесть следующие факторы:

- между заряженными частицами, как между членами единой системы, существуют гироскопические силы взаимодействия;
- система заряженных частиц для внешних сил должна быть в целом гироскопически и электрически нейтральной;
- суммарный момент количества движения, а следовательно, и суммарный магнитный момент заряженных частиц в системе, должен быть равен нулю;
- замкнутая пространственная система электронов в атоме находится в центральном поле заряда ядра и испытывает силу его притяжения;
- между одноименными заряженными частицами существуют силы отталкивания.

Вначале рассмотрим модельные условия синхронизированного орбитального движения электронов в системе электронной оболочки атома.

Ранее исходили из того, что электроны в атоме движутся по замкнутым орбитам. Прежде всего, необходимо выяснить, как могут быть взаимно ориентированы плоскости орбит электронов, а также каков характер взаимодействия электронов, как элементарных гироскопов, с силами вынужденного вращения на орбите.

Множество электронов, вращающихся на орбите ядра атома и образующих единую систему через электромагнитную связь с ядром, представляет собой связанную гироскопическую систему. В гл. 6 были

рассмотрены гироскопические системы и при этом было установлено, что все атомы должны обладать «гироскопической» нейтральностью. В противном случае такие системы из квантовых частиц при изменении направления движения будут обладать неадекватным наведенным инертным сопротивлением, обусловленным проявлением гироскопического эффекта.

Напомним, что любое вращательное движение материальных объектов в пространстве создает гироскопический эффект, обусловленный сохранением ориентации оси вращения в пространстве. При вынужденном вращении гироскопа, в каком-либо направлении он в результате гироскопического эффекта стремится расположить ось своего вращения таким образом, чтобы она образовывала как можно меньший угол с осью вынужденного вращения, и оба вращения совершались бы в одном и том же направлении.

Проявление гироскопического эффекта в структурных взаимодействиях и необходимость гироскопической нейтральности атомов и молекул может определяющим образом сказаться на их пространственно-динамической структуре. В результате гироскопических взаимодействий должна быть достигнута такая структура системы, чтобы суммарный момент количества движения квантовых частиц, входящих в состав атомов или молекул, в совокупности стремился бы к нулю. Таким образом, нулевой суммарный момент количества движения электронной и ядерной оболочек атома является необходимым условием достижения им гироскопической нейтральности, поскольку эти показатели такой связанной системы взаимообусловлены. Например, известно, что электронная оболочка атома инертного газа имеет суммарный момент количества движения равный нулю, что является условием гироскопической нейтральности этих атомов.

Прежде чем приступить к решению волнового уравнения, необходимо установить принципы создания возможной пространственно-динамической модели системы из квантовых частиц на примере электронной оболочки и ядра атома. При этом мы должны учитывать следствия проявления гироскопических эффектов и условия достижения гироскопической нейтральности системы из связанных заряженных частиц, а также силы электромагнитного взаимодействия и некоторые другие факторы. Такой подход поможет в дальнейшем наиболее полно определить граничные условия при решении волнового уравнения и в последующем правильно интерпретировать вытекающие из него выводы.

8.2. Образование спиновых пар электронов в поле заряда ядра

Вначале будем исходить из того, что атом в целом должен быть гироскопически нейтральным. Как было установлено в гл. 6, гироскопическую нейтральность, например, электронной оболочки атома мож-

но достигнуть, связав электроны в спиновые пары по осевой линии или по плоскости вращения. Рассмотрим образование таких спиновых пар электронов в атоме более подробно.

На рис. 6.7 (поз. С) изображена нейтральная гироскопическая система, состоящая из спиновой пары вращающихся дисков на одной оси. Можно модельно представить, что каждому вращающемуся диску соответствует вращение электрона на орбите, а центральной точке между вращающимися дисками — центр атома, где расположено ядро. Однако при этом возникает вопрос: почему в такой спиновой паре центры орбит электронов смещены от центра атома по осевой линии орбит на равном удалении от центра атома. Действительно, при первом приближении кажется, что орбиты электронов с противоположными спинами, т.е. с противоположными направлениями орбитального вращения должны лежать в одной плоскости. Очевидно, что такая модель неработоспособна. Разрешение такой ситуации может дать учет гироскопических эффектов при захвате электронов в атом. Напоминаем, что электрон при спиральном движении представляет собой гироскоп. Очевидно, что гироскопическая нейтральность электронной оболочки атома, как на рис. 6.7, может быть достигнута лишь после первоначального проявления гироскопических эффектов при захвате каждого отдельно взятого электрона в атом заряженным ядром.

Рассмотрим процесс захвата электрона, имеющего определенную скорость спирального движения, на орбиту положительного заряда ядра. Допустим, что электрон, приближаясь к атому в его потенциальном поле, приобретает некую скорость, имея общую энергию своего спирального движения, равную mv^2 и захватывается на орбиту ядра. Как нами было установлено ранее, круговое движение электрона на орбите с некой постоянной скоростью эквивалентно его прямолинейному движению. При этом движение электрона имеет спиральный характер, а скорость круговой составляющей этого спирального движения равна орбитальной скорости при длине волны спирального движения, равной $2\pi r_c$, где r_c — радиус круговой составляющей спирали, или радиус спирального движения. И как установили ранее в гл.6, на устойчивой орбите электрона размещается только целое число длин волн (спирали), равное квантовому числу n . Это значит, что выражение для радиуса орбиты электрона, согласно (6.27), имеет вид:

$$r = nr_c . \quad (8.1)$$

Рассмотрим, какие могут происходить изменения ориентации электрона-гироскопа при его переходе на орбиту ядра. На рис. 8.1 приведена схема образования такой спиновой пары при переходе двух электронов \mathcal{E}_A и \mathcal{E}_B в гироскопически нейтральное связанное состояние

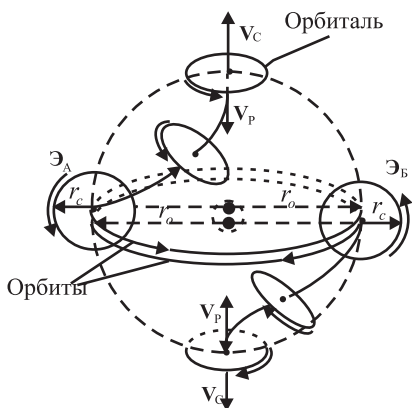


Рис. 8.1. Образование спиновых пар электронов в двухзарядном атоме

пространства по Акимову при возмущениях [11, с. 12]. Вследствие гироскопического эффекта электрон меняет свою траекторию движения на орбите таким образом, чтобы направление оси его спирального вращения совпадало с осью орбиты. Вектор спирального движения, а значит и вектор скорости электрона при этом начинает ориентироваться в сторону удаления от ядра, становясь параллельно к оси орбиты. Однако, находясь в поле заряда ядра, электрон не может удалиться от него и вынужден тормозить скорость своего поступательного движения до полной остановки. В итоге электрон займет стационарную орбиталь спирального вращения по оси орбиты. Очевидно, что при торможении электрона излучается квант энергии, равный энергии его поступательной составляющей спирального движения. Эта излученная энергия равна половине энергии его спирального движения, т.е. $mv^2/2$.

При захвате на орбиту ядра второго электрона он, очевидно, может занять такую же стационарную орбиталь, как и первый, но только на противоположной стороне от ядра. Таким образом, электроны займут связанные положения подобно вращающимся дискам в модели, приведенной на рис. 6.7 (поз. С), гл. 6. В таком состоянии электроны в атоме электрически связаны очень жестко через ядро и вращаются в фиксированном положении в противоположных направлениях, т.е. имеют противоположные значения спина.

Фиксированное положение электрона в поле ядра, обретенное вследствие гироскопического эффекта, в дальнейшем будем называть *орбиталью*. Напомним, что электрон на орбитали совершает круговое вращение с радиусом спирального движения r_c .

на примере положительно-го двухзарядного ядра атома. Как видно из рис. 8.1, ось спирального вращения электрона с радиусом r_c после его захвата на орбиту с радиусом r становится перпендикулярным к оси орбиты вынужденного вращения. Это значит, что происходит поперечная поляризация круговой составляющей спирального движения электрона к плоскости орбиты, как и поляризация

Очевидно, что противоположные позиции электронов в атоме относительно ядра формируются вследствие взаимно отталкивающего эффекта одноименных зарядов. Кроме того, между этими одноименными отрицательными зарядами на равном удалении от них в центре атома находится положительный заряд, который нейтрализует взаимно отталкивающий эффект электронов, что атому энергетически выгодно. При этом противоположные направления вращения связанных электронов на орбиталях с радиусом спирального движения способствуют нейтрализации их моментов количества движения и обретению гироскопической нейтральности всей системой зарядов.

Таким образом, в атоме имеет место проявление структурной самоорганизации электронов в нейтральную гироскопическую систему с формированием единой оси вынужденного вращения их спиновой пары, при котором суммарный момент количества движения электронов равен нулю, а сами они занимают фиксированные орбитали. Это значит, что все электроны атома, связанные в единую систему через центральный заряд, будут стараться занять орбитали в электронной оболочке попарно по обе стороны ядра с противоположными направлениями вращения, суммарный момент количества движения которых равен нулю. При этом электронная оболочка атома стремится достичь гироскопической нейтральности в целом в каком-либо одном направлении, которое формируется по единой оси вынужденного вращения атома.

В дальнейшем такую единую ось вынужденного вращения квантовых частиц с противоположными спинами примем в атоме за *выделенное направление*. Сформировавшаяся единая ось вынужденного вращения обладает таким свойством, при котором все электроны, попадающие в поле центрального заряда, вследствие гироскопического эффекта, вынуждены выстраиваться вдоль этой оси и силой притягиваться к ней, если она занята другими электронами. Заметим, что проявление гироскопического эффекта должно иметь фундаментальное значение в структурной организации как микро, так и макрокосмоса. Например, эффект гироскопического притяжения орбиталей электронов к оси вынужденного вращения с общим выделенным направлением может иметь отношение к основе природы структурной организации Вселенной, гравитационного притяжения и т.д.

Расстояние стационарного положения электрона на орбитали от центра атома, согласно (6.28) и (6.32), предположительно должно быть равно радиусу r расчетной орбиты. В этом случае электронная оболочка атома в пределах радиуса внешней орбиты r , очевидно, будет заполняться по принципу плотной упаковки орбиталей внутренних электронов, что будет показано ниже.

Таким образом, приведенную на рис. 8.1 модель можно принять за рабочую модель гироскопически нейтральной системы электронов в атоме по оси вращения (рис. 6.7, поз. С). Это соответствует и фитонной модели Акимова, представляющей динамическую структурную единицу физического вакуума. Такое совпадение организации динамической структур электронной оболочки атома и фитона является не случайным и говорит о принципиальном соответствии их физической реальности.

Интересно отметить, что неопределенное состояние электрона на орбите ядра, вследствие гироскопического эффекта, обретает определенность своего положения на орбитали. Можно принять, что орбиталь электрона относительно ядра находится в состоянии условного покоя, поскольку координаты ее центра в интегральной системе координат неизменны и определяются координатами проекции радиус-вектора орбиты. Это значит, что в интегральной системе координат потенциальных сфер распределение электронов в атоме можно описать таким образом, что концы радиус-векторов орбит будут указывать на точное положение электронов, соответствующее их орбитали на s , p , d и f -оболочках атома. Необходимо при этом учесть то, что орбитали электронов с противоположными спинами в стационарном состоянии должны были бы упасть на плоскость орбиты в центральной части атома, накладываясь одна на другую, как орбиты с противоположными спинами на единой плоскости. Однако такого падения орбиталей на плоскость орбиты не должно происходить, ибо тогда предложенная выше гироскопическая система не была бы работоспособной. В соответствии с одной из версий, работоспособность рассматриваемой гироскопической системы связана с тем, что электрон на орбитали вращается с радиусом спирального движения, равным r_c , что создает его собственное условно сферическое магнитное поле с таким же радиусом, который условно можно принять за размер электрона. Другой электрон в спиновой паре также обладает собственным сферическим магнитным полем, которое ориентировано противоположно магнитному полю первого электрона. В результате взаимодействия сферических магнитных полей электронов в противофазе они должны поддерживать друг друга в атоме как шары, препятствуя падению их орбиталей на плоскость орбиты. Приобретению орбитали такой сферической формы должно способствовать и то, что они являются взаимно отталкивающимися зарядами электронов.

Заметим, что при значении общего квантового числа $n = 1$, радиусы орбиты электрона и соответствующей ей орбитали равны. Это говорит о том, что центры вращения орбиталей спиновой пары электронов в атоме при состоянии $n = 1$ находятся на расстоянии друг от друга не

ближе, чем на два радиуса от их кругового движения по орбите. Таким образом, как отмечалось ранее, если форму орбитали принять за сферической, то орбитали электронов в спиновой паре упираются друг в друга как два упругих шара, в точке соприкосновения которых находится ядро атома.

Рассмотрим трансформацию кинетической энергии электрона на орбите. Известно, что, по теории Бора, общая энергия электрона E_n в атоме в n -ом квантовом состоянии равна сумме кинетической и потенциальной энергий:

$$E_n = E_{кк} + E_p, \quad (8.2)$$

где $E_{кк}$ — кинетическая (спирального движения) и E_p — потенциальная энергии. Как было показано в гл. 6, в момент захвата электрона на орбиту потенциальная энергия электрона полностью переходит в кинетическую энергию спирального движения $E_{кк}$. При этом, согласно соотношению (6.19), а также имея в виду то факт, что потенциальная энергия электрона, по определению, имеет отрицательное значение, сумма кинетической и потенциальной энергий, т.е. общая энергия должна равняться нулю, что отражает соотношение:

$$E_{кк} - E_p = 0.$$

Как уже говорилось, после захвата электрона на орбиту, вследствие гироскопического эффекта, орбита трансформируется в стационарную орбиталь электрона. При этом поступательная скорость электрона полностью тормозится с излучением половины своей кинетической энергии спирального движения, равной $E_{изл} = E_{кк}/2$, а оставшая половина кинетической энергии, как отмечали в (6.34), также равная $E_{к} = E_{кк} / 2$, принадлежит электрону на стационарной орбитали. Поскольку, согласно (6.19), $E_{кк} = E_p$, то общая энергия электрона на орбитали равна:

$$E_n = \frac{1}{2} E_{кк} - E_p = E_{к} - E_p = -\frac{1}{2} E_p, \quad (8.2,a)$$

что полностью согласуется с величиной общей энергии электрона в атоме Бора. Таким образом, наше предположение о гироскопической трансформации орбит электронов с потерей части кинетической энергии электрона подтверждается фактическим значением энергии электрона в атоме. Необходимо заметить, что такая, имеющая гироскопический характер трансформация орбиты для электрона энергетически вы-

годна, т. к. он при этом приобретает минимальную энергию, равную отрицательному значению его общей энергии.

Рассмотренная трансформация энергии электрона полностью подтверждает и наличие собственного спина электрона, равного $1/2$ в единицах \hbar . Действительно, электрон после захвата атомом сохраняет только вращательную часть энергии спирального движения, равную $mv^2/2$, которой соответствует только половина общего момента количества движения, равная $\hbar/2$.

Учитывая, что при захвате электрона на орбиту гироскопическое торможение поступательного движения электрона происходит непрерывно, то так называемой орбиты с полной энергией спирального движения в атоме фактически не существует. Орбита движения электрона в атоме, как это понимали ранее, оказывается мнимой и по ней реальное движение электрона отсутствует, а есть только искривленное состояние пространства в потенциальном поле ядра. В этом случае связующим звеном между мнимым движением по орбите и фиксированным состоянием электрона на орбитали с радиусом r_c является скорость круговой составляющей спирального движения электрона на орбитали, которая, согласно (6.28), определяет значение общего квантового числа n по эффективному заряду ядра.

Как было показано ранее, снижение эффективного заряда может иметь любую кратность, но для достижения устойчивого состояния электрона в поле ядра это снижение должно быть кратным целому числу n . Ниже рассмотрим это в условиях возможной деформации силовых полей многозарядного ядра.

Квантовое число n и деформация орбиты. Рассмотрим еще одну возможную характеристику общего квантового числа n , в соответствии с (6.28).

Согласно (8.1), для общего квантового числа n выполняется соотношение $n = r/r_c$. Очевидно, что при $n=1$ выполняется равенство $r=r_c$. Если такое равенство отвечает за стационарное состояние электрона в атоме, то выражение $r = nr_c$ при $n > 1$ можно принять за выражение, отвечающее за состояние электрона при его деформированной орбите. В таком случае общее квантовое число n можно рассматривать как показатель степени деформации орбиты электрона, что является, наряду с другими его характеристиками, еще одной характеристикой квантового числа.

Рассмотрим эту ситуацию в атоме схематически, с учетом деформации потенциальных силовых линий ядра. На рис. 8.2 приведена схема

орбитального движения электрона при $n = 1$ (А) и схема деформации его орбиты при $n = 1 \div 2$ (Б).

Допустим, что орбита электрона сформирована согласно силовой линии ядра атома, которая при главном квантовом числе, равном единице, имеет в сечении форму правильной окружности. При этом радиус окружности силовых линий равен радиусу спирального движения электрона по орбите. Тогда радиус орбитального движения электрона равен радиусу окружности силовых линий r_μ или орбиты (рис. 8.2, А).

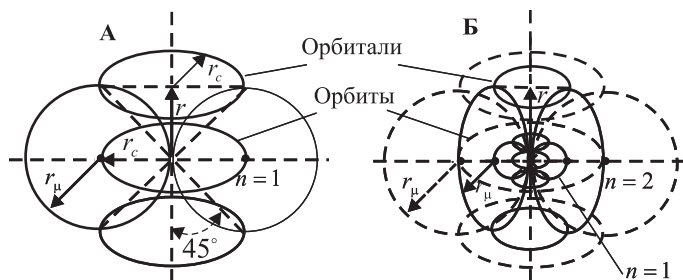


Рис. 8.2. Схема образования орбит и орбиталей электронов при различных значениях главного квантового числа n

При гироскопическом переходе движения электрона по орбите на стационарную орбиталь с радиусом r_c , как показано на схемах А и Б, электрон поворачивает ось спирального движения до слияния ее с осью орбиты. При этом плоскость орбитали будет лежать на вершине тора силовых линий.

Таким образом, при $n = 1$ расчетный радиус орбиты электрона, по традиционной теории, соответствует расчетному радиусу его орбитали, плоскость вращения которой, как показано на рис. 8.2 (А), отстает от центра атома на расстояние расчетного радиуса орбиты. При этом орбиталь, соответствующая основному состоянию электрона в атоме, образует конус с вершиной в центре атома и основанием, ограниченным окружностью орбитали.

Заметим, что соответствующая основному устойчивому состоянию орбитали при $n = 1$ образующая конуса имеет угол со своей осью, совпадающей с выделенным направлением, равный 45° . А все последующие деформированные силовые линии ядра атома при $n > 1$ проходят внутри окружности орбитали при $n = 1$.

На рис. 8.2 (Б) показаны деформированные силовые линии ядра при общем квантовом числе $n = 2$. Здесь соответствующая расчетной недеформированная орбита и орбиталь электрона при $n = 2$ обозначены пунктирной линией.

Как видно из схемы Б, при $n = 2$ круговые силовые линии (обозначены пунктиром) деформированы и принимают форму эллипса, у которого радиус орбиты меньше, чем его расчетное значение, в $n = 2$ раза и равен радиусу спирального движения. При этом орбиталь электрона удалена от ядра атома на расчетное расстояние радиуса орбиты r .

Таким образом, деформированным силовым линиям (в форме эллипса) соответствуют и меньшая по окружности, чем расчетная, деформированная орбита (круговая) и соответствующая орбиталь, радиусы которых между собой всегда равны, как и при $n = 1$. Напомним, что при $n = 1$ орбита электрона имеет форму правильной окружности и ее радиус равен радиусу орбитали.

Как показано на рис 8.2, расчетное значение радиуса орбиты r при данном заряде и общем квантовом числе n определяется расстоянием от центра атома до центра соответствующей орбитали, что по направлению и величине соответствует скалярному значению радиус-вектора расчетной орбиты в интегральной системе координат.

Подведя итог рассуждениям, можно констатировать, что электрон в атоме, согласно заряду ядра и квантовому числу, имеет расчетное значение радиуса орбиты, определяющее по оси орбиты расстояние орбитали от центра атома. При этом движение электрона по орбите ядра практически мгновенно переходит во вращение в стационарном состоянии на орбитали.

Радиус орбитали r_c можно принять за радиус деформированной орбиты — r_δ , т.е. выполняется соотношение $r_\delta = r_c$. В этой связи общее квантовое число n , определяющее состояние электрона в атоме, отражает степень деформации орбиты в кратном по величине соотношении расчетного значения радиуса орбиты r к деформированному значению ее радиуса r_δ , т.е.:

$$n = r / r_\delta . \quad (8.3)$$

Поскольку движение электрона по орбите является временной и переходной характеристикой его состояния в атоме, становится понятным вся сложность пути познания электронной структуры атома. Например, по квантовой теории, в водородоподобном атоме Бора существование орбиты электрона доказывается экспериментами, но когда вопрос заходит о построении структурной модели атома, эти «орбиты»

входят в противоречие с теорией. И именно поэтому создатели теории квантовой механики приписали электрону необычные свойства, например, такие, как способность его пребывания в атоме в состоянии энергетического вероятностного облака.

8.3. Упаковка орбиталей электронов в атоме

Если электроны в атоме находятся на стационарных орбиталях, то размеры этих орбиталей условно можно принять за размеры электронов. В таком случае, если наши рассуждения верны, эти орбитали должны заполнять электронную оболочку атома в выделенном направлении по принципу плотной упаковки. Поэтому рассмотрим соответствие размеров орбиталей внутренних электронов при их плотной упаковке в выделенном направлении размеру орбиты внешнего электрона.

Как известно, размеры орбит электронов в атоме зависят от их энергетического состояния, т.е. от значения общего квантового числа n . На рис. 8.3 приведена схема плотной упаковки орбиталей в выделенном направлении, в соответствии с возрастающими значениями общего квантового числа n орбиты.

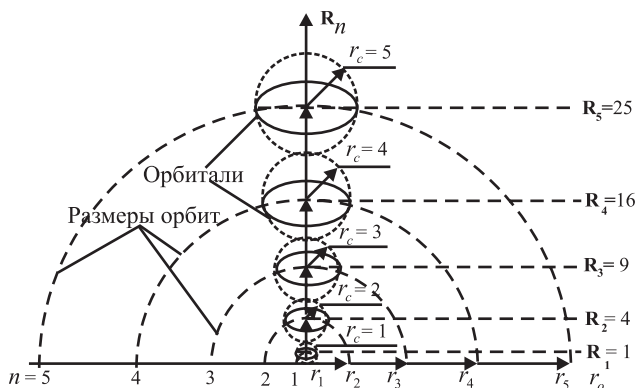


Рис. 8.3. Схема упаковки орбиталей с ростом значения квантового числа

На этой схеме орбиты и их соответствующие орбитали отражены только в одном направлении из спиновой пары радиус-векторов. Очевидно, что центр атома совпадает с центром орбит, а центры орбиталей смещены от центра атома в выделенном направлении на расстояния радиусов соответствующих орбит.

Как известно, радиус r_n расчетной орбиты электрона в атоме при постоянном значении заряда пропорционален квадрату значения общего квантового числа n^2 , т.е.:

$$r_n = Cn^2, \quad (8.4)$$

где C — коэффициент пропорциональности.

Как уже констатировалось, радиус орбитали, т.е. радиус спирального движения электрона r_{cn} , соответствующий его орбитальному движению при данном значении главного квантового числа n , имеет выражение:

$$r_{cn} = r_n / n = Cn. \quad (8.5)$$

Произведем последовательный расчет радиусов орбит по возрастающим значениям общего квантового числа n и сумме размеров (диаметров) орбиталей по каждому значению главного квантового числа от первой до последней орбитали, т.е. от центра атома до центра орбитали последней орбиты, а затем сравним результаты этих расчетов. При суммировании необходимо иметь в виду, что у последней орбитали учитывается только половина ее размера (диаметра), равного ее радиусу, т.е. во внимание принимается размер орбитали только до ее центра, лежащего на линии последней расчетной орбиты.

Допустим, что $C = 1$, тогда имеем: для $n = 1$ $r_1 = r_{c1} = 1$; для $n = 2$ $r_{c2} = Cn = 2$, $r_2 = Cn^2 = 4$ или $r_2 = 2r_{c1} + r_{c2} = 2 + 2 = 4$; для $n = 3$ $r_{c3} = 3$, $r_3 = Cn^2 = 9$ или $r_3 = 2r_{c1} + 2r_{c2} + r_{c3} = 2 + 4 + 3 = 9$; . . . ; для $n = 7$ $r_{c7} = 7$, $r_7 = Cn^2 = 49$ или $r_7 = 2r_{c1} + 2r_{c2} + 2r_{c3} + 2r_{c4} + 2r_{c5} + 2r_{c6} + r_{c7} = 2 + 4 + 6 + 8 + 10 + 12 + 7 = 49$ и т.д.

Как показано на рис. 8.3, размер расчетной орбиты точно соответствует размеру орбиты, полученной плотной упаковкой орбиталей (по мере возрастания квантового числа n) по линии радиус-вектора \mathbf{R}_n до центра последней орбитали. В математической форме такая закономерность для нахождения радиуса расчетной орбиты r_n через размеры орбиталей для данного значения общего квантового числа n имеет вид:

$$r_n = \sum_1^n 2Cn - Cn = C(2\sum n - n). \quad (8.6)$$

Тогда, с учетом выражения (8.4) для общего квантового числа n имеем

$$Cn^2 = C(2\sum n - n)$$

или

$$n^2 = 2 \sum n - n.$$

При $n = 1$ постоянный множитель C равен радиусу первой расчетной орбиты или радиусу спирального движения этой орбиты, т.е. $C = r_{c1} = r_1$. В этом случае для расчетного радиуса орбиты при данном квантовом числе имеем:

$$r_n = r_1 \left(2 \sum n - n \right), \quad (8.7)$$

где r_1 — радиус первой расчетной орбиты.

С учетом того, что центр орбитали внешнего электрона находится на линии орбиты, значение радиуса оболочки этой орбиты, т.е. атома больше на величину радиуса этой орбитали. Тогда для радиуса атома r_A при данном значении квантового числа имеем:

$$r_A = 2C \sum n.$$

А с учетом выражения для n^2 и $C = r_1$ получаем:

$$r_A = r_1 n(n+1). \quad (8.8)$$

Таким образом, мы убедились в соответствии найденных нами сумм размеров орбиталей электронов и размеров атомов по значениям радиусов внешних орбит, когда эти орбитали заполняют электронную оболочку атома от центра к периферии по принципу плотной упаковки. Выполнение такой закономерности при постоянном значении заряда ядра для определения состояния электронных оболочек очень важно как для водородоподобного атома для всевозможных его состояний, так и для многозарядных атомов. Заряд ядра многозарядного атома можно рассматривать, с одной стороны, как единое целое, а с другой, — как структурное образование, когда эффективный заряд ядра для электрона зависит от расстояния, на котором он находится от этого ядра. А это, в свою очередь, определяет значение общего квантового числа каждого из электронов атома, от которых зависят координаты радиус-векторов стационарных орбиталей электронов.

Подведя итог сказанному можно констатировать, что плотная упаковка стационарных орбиталей в атоме, согласно их квантовым числам, убедительно подтверждает справедливость наших рассуждений о спиральном движении электрона в пространстве. Такое спиральное движение электрона при переходе его на орбиту, вследствие гироскопического эффекта, переходит в стационарное состояние при вращении на

орбитали. Торможение поступательного движения электрона вызывает излучение в пространство освободившейся при этом кинетической энергии. Еще раз напомним, что ориентация такой орбитали в атоме полностью соответствует ориентации самой расчетной орбиты, а координаты центра орбитали соответствуют значениям проекций радиус-вектора орбиты на соответствующие координатные оси.

8.4. Единая система спиновых пар атома и принципы их распределения

Спиновые пары и магнитное квантовое число. Выше мы рассмотрели образование гироскопически нейтральных систем только для двух заряженных квантовых частиц, представленных электронами, и убедились, что такие нейтральные гироскопические системы для электронов образуются по осевой линии с противоположными значениями спина. Как известно, в атоме гелия электронная оболочка, отвечающая квантовому числу $n = 1$, состоит из двух электронов $1s$ -орбитали. Отличительным признаком состояния $1s$ является то, что направления радиус-векторов орбит электронов соответствуют выделенному направлению с противоположными спинами, при котором проекции орбитальных радиус-векторов, перпендикулярных к выделенному направлению, равны нулю. Это, как принято в теории квантовой механики, соответствует нулевому значению орбитального момента количества движения, а значит, и орбитальному квантовому числу $l = 0$.

Необходимо обратить внимание еще на одно важное обстоятельство, заключающееся в том, что силовое поле ядра моделирует местонахождение электрона в электронной оболочке атома. Тогда по закону обратной связи можно предположить, что структура электронной оболочки атома адекватна структуре его ядра. Это значит, что принцип образования спиновых пар протонами в структуре ядра такой же, как и для электронов в атоме (приведено на рис. 8.1). Из сказанного, в свою очередь, можно предположить, что протоны в ядре испытывают такое же действие электрического заряда из центра ядра, как и электроны со стороны ядра атома. В таком случае, если протоны в ядре, так же как и электроны в соответствующей оболочке атома, структурно организованы модифицированным электрическим полем противоположного знака, то отличия механизмов образования спиновых пар электрон — электрон и протон — протон практически не существует. Примечательно то, что, в соответствии с (6.28), скорости движения протона и электрона на орбите, а значит, и на орбитали между собою равны.

Спин и образование спиновых пар. Рассмотрим образование спиновых пар электронов или протонов в случаях отклонения радиус-векторов их орбит от выделенного направления.

Очевидно, что при отклонениях радиус-вектора орбиты от выделенного направления орбитальное квантовое число принимает значения, отличные от нуля, т.е. $l > 0$. Согласно (7.35), это может случиться только в том случае, если значение общего квантового числа $n > 1$.

Рассмотрим принципы образования гироскопически нейтральных систем в выделенном направлении в объеме трехмерной сферы и в направлении, перпендикулярном к этому выделенному направлению на плоскости оболочек орбиталей, применительно к спиновым парам из электронов или протонов. Для этого вначале введем некоторые понятия и определения. Еще раз напомним, что под словом «спин» всегда будем иметь в виду вращение объекта типа гироскопа в определенном направлении. Спин может принимать положительное или отрицательное значение. Знак спина определяет знак направления радиус-вектора, а значит, и знак момента количества движения относительно определенного направления. Таким образом, объекты, вращающиеся в противоположных направлениях, т.е. имеющие векторы момента количества движения с одинаковыми скалярными значениями, но ориентированные в противоположных направлениях, принимают значения спина противоположных знаков. В дальнейшем спин в выделенном направлении в объеме трехмерной сферы обозначим латинской буквой « s » и будем называть просто «спин», который может принимать значения $s = \pm 1$. Таким образом, спин в выделенном направлении в объеме трехмерной сферы может отражать относительный знак общего квантового числа, в свою очередь, отражающего противоположные направления вектора момента количества движения и радиус-вектора \mathbf{R}_x .

Спин, действующий в направлении перпендикулярном к выделенному в объеме сферы, т.е. на орбитальной плоскости, и обозначающий также выделенное направление на этой плоскости, будем называть орбитальным спином и обозначим « s_o ». Орбитальному спину соответствует орбитальное квантовое число l , которое отражает квантовое число проекции радиус-вектора орбиты на плоскость оболочки орбиталей. Орбитальный спин, так же, как спин в выделенном направлении в объеме, принимает значения $s_o = \pm 1$ и определяет относительный знак орбитального квантового числа l и проекции радиус-вектора орбиты — \mathbf{R}_{yz} в направлении, перпендикулярном к выделенному направлению в объеме. При этом принципы формирования спиновой пары квантовых частиц на плоскости оболочки орбиталей такие же, как и в выделенном направлении в объеме. В дальнейшем выделенное направление в объеме трехмерной сферы будем называть просто — выделенным направлением.

Орбитальный спин s_o , в свою очередь, может выражаться орбитальными спинами s_{oy} и s_{oz} соответствующих направлений радиус-векторов \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z .

Установим, что орбитальный спин принимает значение $s_o = +1$ только при положительных s_{oy} и s_{oz} и $s_o = -1$ при отрицательных s_{oy} и s_{oz} .

Как свидетельствовалось в гл. 7, отдельно взятая квантовая частица в атоме при фиксированном значении квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z потенциально может занять четыре разные позиции. Эти позиции в интегральной системе координат определяются возможными сочетаниями знаков спина и фаз на орбите, которые, согласно выражению (7.7), имеют вид: $(+s + f_o)$, $(+s - f_o)$, $(-s - f_o)$, $(-s + f_o)$. Однако вместо противоположных значений фаз $\pm f_o$, так же, как и спином $\pm s$ в выделенном направлении, удобнее пользоваться такими же противоположными значениями орбитального спина $\pm s_o$ на плоскости орбиталей при условии, что знаки фаз орбиты всегда совпадают со знаками орбитального спина.

В таком случае соотношение (7.7) может определяться сочетаниями спина $\pm s$ в выделенном направлении и орбитального спина $\pm s_o$ следующего вида:

$$(+s + s_o), (+s - s_o), (-s + s_o), (-s - s_o). \quad (8.9)$$

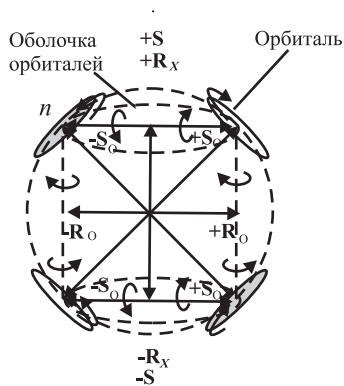


Рис. 8.4. Схема распределения частиц на оболочке орбиталей, согласно сочетаниям спиновых квантовых чисел

Очевидно, что количество таких сочетаний также равно четырем, каждое из которых определяет возможные позиции квантовых частиц в атоме с одинаковыми значениями квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z .

На рис. 8.4 приведена возможная схема распределения гироскопически нейтральных спиновых пар квантовых частиц в атоме, согласно сочетаниям спиновых квантовых чисел $\pm s$ и $\pm s_o$ при фиксированных значениях квантовых чисел n_x , n_y и n_z , а значит, общего n и орбитального l квантовых чисел.

Заметим, что для s -оболочек орбиталей значение $l = 0$. При этом существует только спиновое квантовое число $\pm s$ в выделенном направлении, а на орбитальной плоскости квантовые частицы отличаются только по знакам фаз $\pm f_o$.

Магнитное квантовое число m и оболочки орбиталей. Как показано на рис. 8.4, при значениях общего квантового числа $n > 1$ и орбитального квантового числа $l > 0$ расстояние между спиновыми парами квантовых частиц увеличивается. При этом, кроме выделенного направления, появляются проекции радиус-вектора орбиты и на плоскостях оболочек орбиталей. Противоположные направления проекций радиус-вектора орбиты определяются, соответственно, знаками спина в выделенном направлении $\pm s$ и орбитального спина $\pm s_o$. Сочетания этих спиновых квантовых чисел по проекциям радиус-векторов дают четыре разрешенные позиции орбиталей, которым соответствуют определенные значения общего n и орбитального l квантовых чисел.

Таким образом, спин s в выделенном направлении совместно с орбитальным спином $\pm s_o$ при взаимодействии с орбитальным квантовым числом l может дать известное магнитное квантовое число m , которое отвечает за распределение электронов на орбитальных s , p , d и f -оболочках.

Рассмотрим случаи, когда при фиксированном значении общего квантового числа n орбитальное квантовое число l принимает различные разрешенные значения, при которых учитываются и сочетания спиновых квантовых чисел.

Необходимо заметить, что для выяснения того, как формируется магнитное квантовое число m , важно знать отклонение радиус-вектора орбиты по обе стороны от выделенного направления только по линиям меридиан потенциальной сферы, лежащим на одной плоскости.

Если учитывать только орбитальный спин $\pm s_o$, то можно принять, что магнитное квантовое число *при фиксированном значении общего квантового числа n* (и сохранении традиционного выражения) будет иметь известный вид:

$$m = \pm s_o(0, 1, 2, \dots, l) = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l .$$

Примем во внимание, что известное выражение для орбитального квантового числа (3.44) имеет вид: $l = 0, 1, 2, 3 \dots (n - 1)$. Если принять, что это выражение выполняется также *при фиксированном значении общего квантового числа n* , то появляются излишние сочетания возможных значений орбитального и магнитного квантовых чисел на одном энергетическом уровне, что недопустимо. Тогда, чтобы исключить это и возможной путаницы, магнитное квантовое число достаточно представить в виде:

$$m = \pm s_o \cdot l$$

Далее заметим, что при $l = 0$ орбитального спина $\pm s_o$ вообще не существует. Но, несмотря на это, магнитное квантовое число m приобретает при этом также два значения, условно равные ± 0 , в соответствии с положительным и отрицательным значениями фазы $\pm f_o$, знаки которого совпадают со знаками орбитального спина $\pm s_o$.

Если учитывать спин $\pm s$ в выделенном направлении, то количество сочетаний, относящихся к магнитному квантовому числу, удвоится, поскольку противоположным направлениям векторов орбитальных моментов количества движения, совпадающим со знаками спиновых квантовых чисел как на орбитальной плоскости, так и в выделенном направлении, соответствуют векторы магнитных моментов противоположных направлений. При этом электроны одного уровня, у которых сочетания спиновых квантовых чисел при перемножении дают один и тот же знак, имеют единую взаимную ориентацию плоскостей орбиталей с противоположными направлениями магнитных моментов. В итоге выражение для магнитного квантового числа, согласно сочетаниям спиновых квантовых чисел, приобретает следующий вид:

$$m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l. \quad (8.10)$$

Это значит, что, согласно (8.10), при изменении знака спина s в выделенном направлении, например, с положительного на отрицательный, знак магнитного квантового числа также меняется на отрицательный (обратное значение). Отметим, что магнитное квантовое число отражает структуру электронной оболочки атома, имеющую при одном численном значении l четыре позиции.

При $l = 0$ количество сочетаний квантовых чисел в выделенном направлении также удваивается, в соответствии с условным выражением $l = \pm s \cdot 0$. Здесь условные положительное и отрицательное значения нуля орбитального квантового числа по знаку спина в выделенном направлении отвечают самостоятельным позициям электронов, поскольку, как показано на рис. 8.1, орбитали электронов, соответствующие противоположным значениям спина в выделенном направлении, распределены в разные стороны от центра ядра.

На рис. 8.5 показано (при фиксированном значении общего квантового числа n) распределение электронов в интегральной системе координат по линиям меридианов потенциальной сферы на одной плоскости (листа) при различных значениях магнитного квантового числа m , согласно сочетаниям спиновых квантовых чисел. Как видно из рис. 8.5, концы радиус-векторов орбит указывают на центры орбиталей электронов. Спиновые пары орбиталей электронов образованы при различных

значениях орбитального квантового числа l , в соответствии со значениями орбитального спина $\pm s_o$ и спина $\pm s$, в выделенном направлении при фиксированном значении общего квантового числа n .

Из рис. 8.5 видно, что значения проекций радиус-векторов орбиты, соответствующие различным значениям орбитального квантового числа l , зависят от степени отклонения этих радиус-векторов от выделенного направления при фиксированном значении орбитального квантового числа l , применительно к электрону атома, идентифицируется электронной оболочкой, которая в интегральной системе координат является оболочкой орбиталей электронов. В дальнейшем будем называть ее оболочкой орбиталей или просто оболочкой, присваивая при этом ей известные индексы « s », « p », « d » и « f » в соответствии со значением орбитального квантового числа. Таким образом, квантовые частицы в атоме занимают s , p , d и f -оболочки орбиталей (или просто s , p , d и f -оболочки), согласно возрастающим значениям орбитального квантового числа $l = 0, 1, 2, 3$. Как видно из рис. 8.5, каждая из s , p , d и f -оболочек

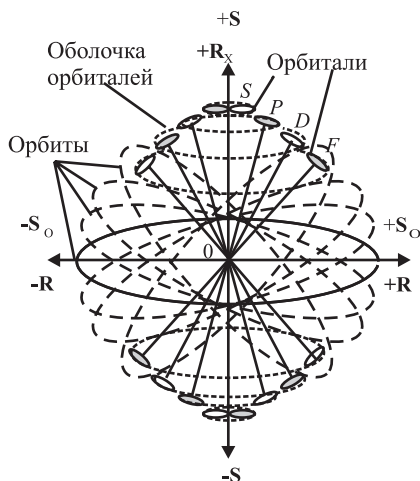


Рис. 8.5. Распределение спиновых пар квантовых частиц на s , p , d и f -оболочках орбиталей по линии меридиана

на поверхности потенциальной сферы образует кольцо, через центр которого проходит выделенное направление, перпендикулярное к плоскости оболочки. Таким образом, по окружности кольца располагаются соответствующие одноименные орбитали электронов. Размер такого кольца тем больше, чем больше соответствующее значение орбитального квантового числа l и тем большее количество орбиталей оно вмещает, что будет рассмотрено ниже.

Когда направление радиус-вектора орбиты совпадает с выделенным направлением, совпадающим, в свою очередь, с направлением \mathbf{R}_x , то конец радиус-вектора орбиты указывает на центр s -оболочки (или s -орбитали).

На s -орбитали значение орбитального спина равно нулю. Но мы показали, что на одной оболочке s -орбитали могут находиться два элек-

трона, в соответствии с положительным и отрицательным фазами орбиты $\pm f_o$. При этом размер s -оболочки совпадает с размером s -орбитали для одного электрона. С учетом спина $\pm s$ в выделенном направлении, количество s -орбиталей удваивается, и число электронов на s -орбиталях равно четырем.

Из рис. 8.5 видно, что на p , d и f -оболочках отклонения радиус-векторов орбит электронов от выделенного направления отличны от нуля. При этом электрон на каждой из p , d и f -оболочек имеет как орбитальную спиновую пару, так спиновую пару в выделенном направлении в соответствии с положительным и отрицательным значениями спина. Таким образом на одной плоскости, для каждого фиксированного значения общего n и орбитального l квантовых чисел с учетом спиновых — $\pm s$ и $\pm s_o$ имеется четыре позиции электронов (квантовых частиц).

Заметим, что на p , d и f -оболочках заряженные квантовые частицы в орбитальной спиновой паре, как одноименные заряды, отталкиваются друг от друга. Это приводит к распределению их в орбитальной спиновой паре на диаметрально противоположных сторонах p , d и f -оболочек.

8.5. Граничные условия действия квантовых чисел в атоме и система элементов Менделеева

Далее рассмотрим возможные значения квантовых чисел, принятых нами в интегральной системе координат, для определения разрешенных состояний, например, электронов в атоме.

Квантовые числа. Общее энергетическое состояние электронов в атоме определяет общее квантовое число n , которое может принимать только целочисленные значения как по существующей теории квантовой механики, так и в принятом нами способе описания состояния частиц в интегральной системе координат, в соответствии с равенством

$$n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (8.11)$$

Необходимо заметить, что максимальное значение n в многозарядном атоме в нормальном его состоянии ограничено зарядом Z этого атома, который, в свою очередь, должен быть равен количеству разрешенных сочетаний квантовых чисел n , n_x , n_y и n_z , что покажем ниже.

Для общего квантового числа, согласно (7.35,б), выполняется равенство $n = n_x + n_y + n_z$, где n_x , n_y и n_z — квантовые числа проекции орбиты в интегральной системе координат.

Ранее за выделенное направление в интегральной системе координат условились принимать направление координатной оси радиус-вектора \mathbf{R}_x , а соответствующее квантовое число проекции орбиты n_x — за главное квантовое число. В то же время, согласно (7.35,б), соотношение для общего квантового числа имеет вид:

$$n = n_x + l,$$

где l — орбитальное квантовое число. Тогда квантовые числа n_y и n_z , соответствующие проекциям радиус-вектора орбиты на координатные оси, согласно выражению (7.35,с) можно считать составляющими орбитального квантового числа l при соблюдении равенства:

$$l = n_y + n_z. \quad (8.12)$$

Как было показано в гл. 7, квантовые числа n , n_x и l могут принимать только целочисленные значения. Ранее, при рассмотрении условий структурной организации электронной оболочки атома было установлено, что спиновые пары электронов ориентированы в одном выделенном направлении. А самой устойчивой, недеформированной, первой расчетной орбите электронной оболочки соответствует орбиталь, которая является основанием конуса с вершиной в центре ядра (рис. 8.2). При этом образующая этого конуса имеет угол с выделенным направлением, равный 45° . Полностью заполненную электронную оболочку атома в нормальных условиях можно представлять как оболочку — «орбиталь» единого отрицательного заряда, пространственное расположение которой относительно центра атома должно быть идентично орбитали электрона первой расчетной орбиты. Тогда устойчивые максимальные отклонения радиус-векторов внешних орбиталей атома от выделенного направления не может быть больше 45° . А это значит, что главное квантовое число n_x , соответствующее выделенному направлению, при фиксированном значении общего квантового числа n по определению, не может быть меньше половины его значения, т.е. всегда должно выполняться соотношение $n_x \geq n/2$. Очевидно, что главное квантовое число проекции орбиты n_x , как и общее квантовое число n , не может принимать значение, равное нулю, а максимальное его значение равно значению общего квантового числа. Таким образом, в интегральной системе координат квантовое число проекции орбиты в выделенном направлении при фиксированном значении общего квантового числа n может принимать следующие целочисленные значения:

$$n_x = \frac{n}{2}, \frac{n}{2} + 1, \frac{n}{2} + 2, \dots, n, \text{ при } n_x^{\min} \geq \frac{n}{2} \quad (8.13)$$

Минимальное целочисленное значение главного квантового числа проекции орбиты — n_x^{\min} , по определению, не может быть меньше половины значения общего квантового числа орбиты n , ибо в противном случае оно теряет статус главного квантового числа, соответствующего выделенному направлению.

При нечетных значениях общего квантового числа n теоретическое минимальное значение главного квантового числа, согласно соотношению (8.13), должно принимать *нецелочисленное* значение, что запрещено. Поэтому главное квантовое число принимает минимальное значение, отвечающее ближайшему разрешенному целочисленному числу в сторону большего значения. Например, при $n = 3$ теоретическое минимальное значение главного квантового числа $n_x = 1.5$, а целочисленное его минимальное значение, отвечающее соотношению (8.13), может быть только при $n_x = 2$.

Согласно (7.35,б), очевидно, что максимальное значение орбитального квантового числа l не может быть выше теоретического минимального значения главного квантового числа n_x . Тогда, при соблюдении условий выражения (7.35,б) и (8.13), орбитальное квантовое число может принимать целочисленные значения, соответствующие выражению:

$$l = 0, 1, 2, \dots, \frac{n}{2}, \text{ при } l^{\max} \leq \frac{n}{2}. \quad (8.14)$$

Отсюда вытекает, что при нечетных значениях общего квантового числа n орбитальное квантовое число должно иметь *нецелочисленные* теоретические значения, что недопустимо. Поэтому максимальное значение орбитального квантового числа де-факто ограничивается предыдущим меньшим целочисленным значением. Например, при значении $n = 3$, согласно соотношению (8.14), теоретическое максимально допустимое значение орбитального квантового числа $l = 1.5$, а целочисленное его максимальное значение может быть только при $l = 1$.

Напомним, что кроме перечисленных квантовых чисел в интегральной системе координат, существует и магнитное квантовое число m . Это квантовое число структурировано согласно положительным и отрицательным значениям спиновых квантовых чисел. Такое структу-

рированное магнитное квантовое число, как мы установили, принимает значения по следующему соотношению:

$$m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l = \pm s(\pm l). \quad (8.15)$$

Последовательность заполнения электронных оболочек и Периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Как известно, совокупность электронов с одинаковым значением l называют электронной оболочкой и обозначают, как было сказано выше, s , p , d и f -оболочки, а орбитали электронов на этих оболочках будем обозначать соответственно s , p , d и f -орбитали. Рассмотрим последовательность заполнения s , p , d и f -оболочек, соответствующих фиксированным значениям общего квантового числа n или определенным энергетическим уровням (слоям).

Очевидно, что электроны, в первую очередь, должны заполнять спиновую пару s -оболочек (или s -орбитали) согласно спиновому квантовому числу $\pm s$, поскольку направления радиус-векторов координат этих орбиталей совпадают с выделенным направлением. При этом на каждой из s -оболочек вначале должно располагаться только по одному электрону, поскольку каждый из них будет вытеснять второй электрон на следующие p , d и f -оболочки с максимально возможным значением орбитального квантового числа l . Например, если на данном энергетическом уровне максимальное значение орбитального квантового числа равно 3, то после s -оболочки, в первую очередь, будет заполняться f -оболочка. Действительно, электроны в орбитальной спиновой паре, как одноименные заряды, отталкиваются как друг от друга, так и от электрона на s -орбитали. Это приводит к распределению электронов на оболочке с максимально возможным значением орбитального квантового числа l . При этом электроны на ней образуют орбитальные спиновые пары, в которых они располагаются на диаметрально противоположных сторонах оболочки.

В пользу заполнения электронами, в первую очередь, оболочки (после s -орбитали) с максимально возможным значением орбитального квантового числа l свидетельствует и расположение такой оболочки относительно центра атома. Например, при максимальном значении орбитального квантового числа, как $l^{max} = n/2$, окружность оболочки орбиталей образует конус с вершиной в центре атома. А у такого конуса образующая имеет угол со своей осью, совпадающей с выделенным направлением, равный 45° , что, как было показано на рис. 8.2 (А), соответствует наиболее устойчивому основному состоянию этой оболочки орбиталей.

Например, при $n = 6$ максимально возможное значение орбитального квантового числа $l^{max} = 3$, что указывает на заполнение (после s -орбитали), в первую очередь, f -оболочки. Очевидно, что затем, последовательно по убывающим значениям орбитального квантового числа l , заполняются остальные p и d -оболочки. А только в самую последнюю очередь дозаполняется s -орбиталь вторым электроном. При этом размер оболочки s -орбитали с двумя электронами должен соответствовать размеру орбитали с одним электроном.

Таким образом, при данном значении общего квантового числа n , вначале, наполовину заполняется спиновая пара s -орбиталей в выделенном направлении, а затем — спиновые пары оболочек с максимально возможным значением орбитального квантового числа l и т.д., последовательно по убывающим значениям. Например, пусть при фиксированном n разрешено заполнение s , p , d и f -оболочек, тогда, вначале, наполовину заполняется s -орбиталь (в спиновой паре — два электрона), затем идет последовательное заполнение f , d и p -оболочек, а в самом конце — дозаполнение s -орбитали.

Приведенная очередность заполнения оболочек орбиталей полностью соответствует Периодической системе элементов Д.И. Менделеева, в соответствии с номерами периодов этой системы, которым соответствуют фиксированные значения общего квантового числа n .

Рассмотрим заполнение периодической системы элементов с учетом приведенных выше граничных условий для квантовых чисел n , n_x и l , а также установленной очередности заполнения s , p , d и f -оболочек.

В системе элементов Менделеева первому периоду соответствует равенство $n = 1$. В этом случае главное квантовое число может принимать одно единственное целочисленное значение $n_x = 1$, а орбитальное квантовое число — только $l = 0$. В итоге первому периоду соответствуют только так называемые s -элементы.

Второму периоду этой таблицы соответствует значение общего квантового числа $n = 2$, при котором максимальное значение $n_x = 2$, а минимальное — $n_x = 1$, при котором $l = 1$, что соответствует появлению в этом периоде внешней p -оболочки, т.е. p -элементов.

В третьем периоде $n = 3$, и как было показано выше, допустимое минимальное значение $n_x^{min} = 2$, а допустимое максимальное значение орбитального квантового числа $l = 1$, что полностью соответствует заполнению внешней оболочки периодической системы после $3s$ -элементов только $3p$ -элементами. Как принято, здесь цифра 3 перед индексами s и p обозначает значение общего квантового числа, соответствующее энергетическому уровню электрона, к которому принадлежат внешние s и p -оболочки атома.

В то же время, согласно существующей теории квантовой механики, при $n=3$, с учетом (3.44), орбитальное квантовое число может принимать максимальное значение $l=2$, и, соответственно, третий период системы элементов должен заполняться $3d$ -элементами. Однако этого в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева не наблюдается, что свидетельствует о том, что при решении уравнения Шредингера граничные условия действия орбитального квантового числа l были определены неправильно.

В четвертом периоде системы элементов значение общего квантового числа, соответственно, равно четырем, $n=4$. При этом в интегральной системе координат минимально возможное значение главного квантового числа $n_x^{\min}=2$, а максимально возможное значение $l=2$, что соответствует заполнению внешней $4d$ -оболочки.

По правилам, обоснованным выше, очередность заполнения оболочек орбиталей четвертого периода при $n=4$ характеризуется следующим последовательным порядком внешних оболочек орбиталей: $4s$, $4d$ и $4p$. Таким образом, найденная нами очередность заполнения оболочек орбиталей при фиксированном значении общего квантового числа $n=4$ полностью согласуется с данными Периодической системы элементов Д.И. Менделеева по фактической очередности заполнения s , p и d -оболочек у элементов.

В пятом периоде $n=5$, и при этом минимально возможное целочисленное значение главного квантового числа может быть только при $n_x^{\min}=3$, а максимально возможное целочисленное значение орбитального квантового числа — при $l=2$. В итоге в пятом периоде системы элементов имеем такую же очередность заполнения по внешним оболочкам орбиталей, как и в четвертом периоде: $5s$, $5d$ и $5p$.

В шестом периоде, соответственно, $n=6$, и при этом так же, как и в пятом периоде, $n_x^{\min}=3$, а максимально возможное целочисленное значение орбитального квантового числа $l=3$, что соответствует появлению f -оболочки. При этом очередность заполнения внешних оболочек орбиталей в шестом периоде следующая: $6s$, $6f$, $6d$ и $6p$.

В седьмом периоде, соответственно, $n=7$, и при этом $n_x^{\min}=4$, а максимально возможное целочисленное значение орбитального квантового числа так же, как и в шестом периоде, $l=3$, что соответствует заполнению f -оболочки. При этом очередность заполнения внешних оболочек орбиталей в седьмом периоде такая же, как и в шестом периоде системы элементов, и имеет вид: $7s$, $7f$, $7d$ и $7p$.

Очередность заполнения оболочек s , p , d и f -орбиталей по периодам системы элементов Менделеева приведена в табл. 8.1.

Таким образом, можно утверждать, что каждому энергетическому уровню квантовых частиц в атоме по фиксированному значению общего квантового числа n в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева соответствует строго определенный период со значением N , т.е. заполнение s , p , d и f -оболочек данного периода системы элементов всегда отвечает одному энергетическому уровню по фиксированному значению общего квантового числа.

Таблица 8.1

Очередность заполнения внешних s , p , d и f -оболочек в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева по периодам

Периоды N	Значение n	Очередность заполнения внешних оболочек s , p , d и f -орбиталей по периодам			
I	1	1S			
II	2	2S	2P		
III	3	3S	3P		
IV	4	4S	4D	4P	
V	5	5S	5D	5P	
VI	6	6S	6F	6D	6P
VII	7	7S	7F	7D	7P

Приведенные выше данные по заполнению оболочек орбиталей системы элементов Менделеева со всей очевидностью свидетельствуют о верности предложенной нами структурной динамической модели атома, построенной на основе использования интегральной системы координат. Предложенная модель одновременно доказывают несостоятельность существующей теории квантовой механики, утверждающей, что внутри одного периода системы элементов заполняются оболочки внешних орбиталей, соответствующие разным энергетическим уровням (разным значениям общего квантового числа).

8.6 Принципы заполнения оболочек орбиталей атомов

Напоминаем, что принципы заполнения оболочек орбиталей протонов и электронов едины, поэтому иногда их будем называть просто квантовыми частицами. До сих пор мы рассматривали только природу и границы действия орбитального квантового числа l , возникающего при отклонении радиус-вектора орбиты от выделенного направления, согласно сочетаниям только спиновых квантовых чисел. Однако известно, что общая проекция орбитального радиус-вектора \mathbf{R}_{yz} , лежащая на плоскости, перпендикулярной радиус-вектору \mathbf{R}_x и соответствующая орбитальному квантовому числу l , в свою очередь, может иметь проекции по каждой из взаимно перпендикулярных координатных осей орбитальных радиус-векторов \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Этим проекциям орбит отвечают квантовые числа n_y и n_z , сумма которых, согласно выражению (7.35,б), равна значению орбитального квантового числа l . Тогда, при фиксированном значении орбитального квантового числа l радиус-векторы орбит могут отклоняться от выделенного направления, распределяясь по линии окружности вокруг этого направления, т.е. по оболочке орбиталей.

Согласно выражению (8.15), каждое фиксированное значение магнитного квантового числа m является суммой разрешенных сочетаний квантовых чисел n_y и n_z , в соответствии с выражением:

$$m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l = \pm s \pm s_o (n_y + n_z)$$

или

$$m = \pm s \pm s_o (n_y + n_z). \quad (8.16)$$

Магнитное квантовое число m включает в себя орбитальное магнитное квантовое число m_o , как проявление магнитного момента на плоскости оболочек орбиталей, согласно знаку орбитального спина. Условимся, что орбитальное магнитное квантовое число m_o , соответствующее орбитальному спину $\pm s_o$, принимает следующие значения:

$$m_o = \pm s_o \cdot l = \pm s_o (n_y + n_z) \quad (8.16,a)$$

В (8.16,a) знаки квантовых чисел n_y и n_z , как и орбитального квантового числа l , определяются знаком общего орбитального спина $\pm s_o$, поскольку с этим его знаком, как было установлено ранее, совпада-

ют знаки орбитальных спиновых квантовых чисел s_{oy} и s_{oz} . Такое совпадение знаков орбитальных спиновых квантовых чисел s_o , s_{oy} и s_{oz} не случайно. Это продиктовано необходимостью формирования гироскопически нейтральной системы не только в выделенном направлении всего атома, но и на плоскости оболочки орбиталей. При этом на этой плоскости оболочки орбиталей образуются спиновые пары квантовых частиц, которые формируют общую гироскопически нейтральную спиновую пару оболочки с суммарным нулевым моментом количества движения.

Таким образом, образование гироскопически нейтральной системы атома из спиновых пар по каждому из взаимно перпендикулярных направлений, соответственно по осевой линии и на плоскости (как это было показано в гл. 6), является общим правилом. Причем на плоскости оболочки орбиталей образование гироскопической нейтральной системы сопряжено как по осевой линии, так по плоскости.

Сочетания квантовых чисел n_y и n_z при фиксированном значении орбитального магнитного квантового числа m_o . Так как магнитное квантовое число представляет собой сумму квантовых чисел n_y и n_z , то для фиксированного значения орбитального магнитного квантового числа m_o разрешенные сочетания этих квантовых чисел будут определять количество спиновых пар на одной оболочке орбиталей.

Для нахождения разрешенных сочетаний квантовых чисел n_y и n_z вначале необходимо выяснить, какие значения они могут принимать. То, что по «квантовым» условиям движения они могут принимать целочисленные значения, — общеизвестно. Могут ли эти квантовые числа, n_y и n_z , принимать какие-либо другие значения и если да, то какие?

Известно, что орбитальное квантовое число l может принимать только целочисленные значения и значение, равное нулю. Тогда, с учетом выражения (8.12), где $l = n_y + n_z$, сумма квантовых чисел тоже должна быть целочисленной или равной нулю. Известно, что электроны в атоме имеют собственный момент количества движения, равный $1/2\hbar$. Отсюда очевидно, что и значения квантовых чисел проекций орбиты n_y и n_z по отдельности могут быть кратны дробному числу $1/2$ по следующим соотношениям: $n_y = 0, 1/2, 1, \dots, l$ и $n_z = 0, 1/2, 1, \dots, l$. Однако, при этом их сумма, согласно (8.12), должна быть равна целому числу или нулю.

При фиксированных значениях орбитального квантового числа l или суммы квантовых чисел n_y и n_z рассмотрим их всевозможные сочетания при значениях, кратных $1/2$ и при нуле с учетом противоположных знаков у значений орбитального магнитного квантового числа m_o .

Данные сочетаний суммы квантовых чисел n_y и n_z по оболочкам орбиталей приведены в табл. 8.2.

Заметим, что все сочетания квантовых чисел n_y и n_z при одном и том же значении орбитального квантового числа l принадлежат к одной оболочке орбиталей.

Таблица 8.2

Сочетания квантовых чисел n_y и n_z по оболочкам орбиталей при фиксированном m_o

S_o	l	m_o	N	Разрешенные сочетания квантовых чисел (n_y+n_z) при $N_{\text{возможных состояний}} = 2(l+1/2)$							
+	f	+3	7	1.5+1.5	2.5+0.5	0.5+2.5	1+2	2+1	0+3	3+0	
	d	+2	5	1+1	1.5+0.5	0.5+1.5	0+2	2+0	-	-	
	p	+1	3	0.5+0.5	0+1	1+0	-	-	-	-	
	s	0	l	+0	-	-	-	-	-	-	
-	s	0	l	-0	-	-	-	-	-	-	
	p	-1	3	0.5+0.5	1+0	0+1	-	-	-	-	
	d	-2	5	1+1	0.5+1.5	1.5+0.5	2+0	0+2	-	-	
	f	-3	7	1.5+1.5	0.5+2.5	2.5+0.5	2+1	1+2	3+0	0+3	

Как видно из табл. 8.2, количество возможных состояний электронов или протонов в атоме *на одной* оболочке орбиталей по всевозможным сочетаниям суммы квантовых чисел проекций орбиты $(n_y + n_z)$ при фиксированном значении m_o равно $N = 2(l+1/2)$, что согласуется с данными квантовой механики при учете спина $s_o = \pm 1$.

Заострим внимание на том, что количество сочетаний суммы квантовых чисел $(n_y + n_z)$ при данном значении $\pm m_o$ принадлежит только одной оболочке орбиталей без учета их спиновых пар в выделенном направлении в масштабе атома.

Таким образом, из спиновых пар орбиталей на каждой из s , p , d и f -оболочек, соответствующих фиксированным значениям $\pm m_o$, формируется «общая» орбитальная спиновая пара на плоскости по оси $\pm s_o$ в каком-либо выделенном направлении оболочки. Это значит, что все спиновые пары квантовых частиц поляризованы на орбитальной плос-

кости по оси $\pm s_o$, так же, как и в выделенном направлении всего атома по оси $\pm s$.

На рис. 8.6 представлена схема оболочек орбиталей на плоскости, параллельной координатной линии X , с образованием гироскопически нейтральных спиновых пар, согласно значениям орбитального спина. Пунктирная линия $00'$ показывает условное разделение координатной линии X (начало координат в точке 0 , как на рис. 7.1) на две части с положительной и отрицательной фазами $\pm f$.

Как видно из рис. 8.6, на каждой из оболочек s , p , d и f -орбиталей находятся следующее количество квантовых частиц:

- на s — две квантовые частицы (согласно значениям фаз);
- на p — шесть квантовых частиц или три орбитальные спиновые пары;
- на d — десять квантовых частиц или пять их орбитальных спиновых пар;
- на f — четырнадцать квантовых частиц или семь орбитальных спиновых пар.

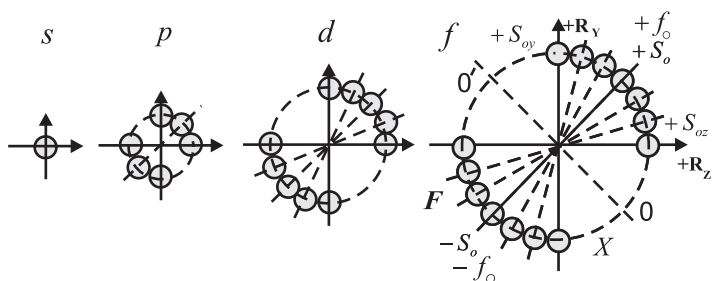


Рис. 8.6. Схема заполнения s , p , d и f -оболочек орбиталей

Как уже говорилось орбитальные спиновые пары квантовых частиц, например электрон-электрон, расщеплены на всю ширину оболочки орбиталей. Подчеркнем, что принципы формирования гироскопически нейтральных систем с образованием спиновых пар как в выделенном направлении в масштабе атома, так и в выделенном направлении на орбитальной плоскости, едины.

Сочетания квантовых чисел, согласно магнитному квантовому числу m . Еще раз вернемся к анализу данных табл. 8.2. С учетом орбитального магнитного квантового числа $m_o = \pm s_o l = \pm s_o(n_y + n_z)$, количество соче-

таний квантовых чисел n_y и n_z на каждой из s , p , d и f -оболочек, соответственно, равны 2, 6, 10 и 14. В то же время, с учетом противоположных знаков спинового квантового числа в выделенном направлении всего атома при $s = \pm 1$ или общего магнитного квантового числа m , число всех сочетаний для заряженных квантовых частиц удваивается. Тогда количество сочетаний, которые принадлежат s , p , d и f -оболочкам, соответственно будет равно 4, 12, 20 и 28. Таким образом, количество сочетаний для одноименных оболочек орбиталей, с учетом их спиновых пар в выделенном направлении, становится в два раза больше.

Общее четырехкратное увеличение количества разрешенных сочетаний суммы $(n_y + n_z)$ согласуется с количеством сочетаний спиновых квантовых чисел s и s_o , равным четырем. Эти сочетания, согласно (8.9), имеют следующий вид:

$$\pm s \cdot \pm s_o = (+1 \cdot +1), (-1 \cdot -1), (+1 \cdot -1), (-1 \cdot +1).$$

В табл. 8.3 приведены всевозможные сочетания суммы квантовых чисел проекций орбиты $(n_y + n_z)$ для фиксированных значений орбитального квантового числа $l = 0, 1, 2, 3$ с учетом сочетаний спиновых квантовых чисел s и s_o или значений магнитного квантового числа m , в соответствии с выражением (8.15). Как видно из табл. 8.3, количество разрешенных состояний заряженных нуклонов в атоме, по сравнению с данными табл. 8.2, увеличилось в два раза.

Применительно к реальному атому количество разрешенных состояний должно соответствовать количеству электронов и протонов, согласно их энергетическим состояниям. Однако, количество электронов, равное 4, 12, 20 и 28, соответственно, на каждой из s , p , d и f -оболочек атома в два раза больше, чем положено их количеству на этих оболочках по известным данным. Но это несоответствие может быть легко упразднено при учете совместной трансформации или конверсии каждого второго избыточного электрона и протона в атоме с образованием нейтрона. Позиции этих нейтронов в ядре соответствуют состояниям каждого второго протона по разрешенным сочетаниям квантовых чисел (табл. 8.3). Такая ядерная конверсия электронов и протонов атома в нейтроны энергетически выгодна и она должна происходить при формировании атомов в недрах звезд.

Таблица 8.3

**Сочетания квантовых чисел проекций орбиты ($n_y + n_z$)
при разрешенных значениях магнитного квантового числа**

s	l	Сочетания квантовых чисел проекций орбиты ($n_y + n_z$)	
		орбитальный спин $s_o = +1$	орбитальный спин $s_o = -1$
+	3	(0+3)(3+0)(1+2) (2+1)(2.5+0.5) (0.5+2.5)(1.5+1.5)	(0+3)(3+0)(1+2) (2+1)(2.5+0.5) (0.5+2.5)(1.5+1.5)
	2	(0+2)(2+0)(1.5+0.5)(0.5+1.5)(1+1)	(0+2)(2+0)(1.5+0.5)(0.5+1.5)(1+1)
	1	(0+1)(1+0)(0.5+0.5)	(0+1)(1+0)(0.5+0.5)
	0	0	0
-	0	0	0
	1	(0+3)(3+0)(1+2)	(0+3)(3+0)(1+2)
	2	(2+1)(2.5+0.5) (0.5+2.5)(1.5+1.5)	(2+1)(2.5+0.5) (0.5+2.5)(1.5+1.5)
	3	(0+2)(2+0)(1.5+0.5)(0.5+1.5)(1+1) (0+1)(1+0)(0.5+0.5)	(0+2)(2+0)(1.5+0.5)(0.5+1.5)(1+1) (0+1)(1+0)(0.5+0.5)

В табл. 8.3 для новых условий позиции сочетаний квантовых чисел для протонов выделены жирными знаками, а позиции нейтронов — обычными. Относительно же электронной оболочки атома, сочетания с жирными знаками определяют позиции электронов, а с обычными — обозначают их отсутствие.

Ядерная конверсия приводит к упразднению действия орбитального спина s_o . Обоснование ядерной конверсии электронов и протонов и упразднение действия при этом орбитального спина s_o рассмотрим более подробно в следующих главах, предварив их рассмотрением общего распределения протонов и электронов в атоме.

8.7. Распределение протонов или электронов в атоме.

Рассмотрим общее распределение протонов или электронов в реальном атоме после ядерной конверсии по всем разрешенным энергетическим состояниям, с учетом всевозможных сочетаний необходимых для этого квантовых чисел n , l , m и s . Таким образом, после ядерной конверсии имеем следующие условия квантования частиц в атоме:

— общее квантовое число не может равняться нулю и принимает только целочисленные значения $n = 1, 2, 3, \dots, N$ и может быть выражено через квантовые числа проекций орбиты по взаимно перпендикулярным направлениям по соотношению: $n = n_x + n_y + n_z$;

— главное квантовое число проекции орбиты в выделенном направлении принимает следующие целочисленные значения:

$$n_x = \frac{n}{2}, \frac{n}{2} + 1, \frac{n}{2} + 2, \dots, n \text{ при } n_x^{\min} \geq \frac{n}{2};$$

— сумма квантовых чисел n_y и n_z , согласно соотношению $l = n_y + n_z$ определяет орбитальное квантовое число, которое принимает значения: $l = 0, 1, 2, \dots, n/2$ при $l^{\max} \leq n/2$;

— спиновое квантовое число, равное $s = \pm 1/2$, формирует магнитное квантовое число и отражает условия гироскопической нейтральности в выделенном направлении;

— магнитное квантовое число m учитывает количество способов ориентации орбиты, согласно (8.15), по следующему соотношению:

$$m = \pm s \cdot l = \pm s \cdot (n_y + n_z). \quad (8.17)$$

При этом количество всевозможных пространственных состояний N при данном значении магнитного квантового числа m определяется соотношением:

$$N = \pm s \cdot 2(l + 1/2). \quad (8.18)$$

В табл. 8.4 на примере атома радия приведены позиции электронов или протонов на основе всевозможных сочетаний квантовых чисел ($n_y + n_z$), содержащихся в табл. 8.3, при всевозможных значениях квантовых чисел n , n_x и l до ядерной конверсии (пока с учетом орбитального спина $\pm s_o$).

Таблица 8.4

Распределение позиций электронов или протонов в атоме на основе всевозможных сочетаний квантовых чисел на примере атома радия

s	n_x	Обозначение сочетаний квантовых чисел проекций орбиты по сумме $l = (n_y + n_z)$, распределенным по значениям орбитального спина $\pm s_o$ до ядерной конверсии							
		+3	+2	+1	+0	-0	-1	-2	-3
1	2	3	4	5	6	7		8	9
+	7				7(0)	7(0)			
	6				6(0)	6(0)			
	5			6(111)	5(0)	5(0)	6(111)		
	4		6(22222)	5(111)	4(0)	4(0)	5(111)	6(22222)	
	3	6(3333 333)	5(22222)	4(111)	3(0)	3(0)	4(111)	5(22222)	6(333 333)
	2		4(22222)	3(111)	2(0)	2(0)	3(111)	4(22222)	
	1			2(111)	1(0)	1(0)	2(111)		
-	1			2(111)	1(0)	1(0)	2(111)		
	2		4(22222)	3(111)	2(0)	2(0)	3(111)	4(22222)	
	3	6(3333 333)	5(22222)	4(111)	3(0)	3(0)	4(111)	5(22222)	6(333 333)
	4		6(22222)	5(111)	4(0)	4(0)	5(111)	6(22222)	
	5			6(111)	5(0)	5(0)	6(111)		
	6				6(0)	6(0)			
	7				7(0)	7(0)			

В табл. 8.4 для простоты и наглядности сочетания квантовых чисел проекций орбиты n_y и n_z при фиксированных значениях орбитальных квантовых чисел l , т.е. для s , p , d и f -оболочек, заменены на условные обозначения. Например, одно сочетание s -орбитали (0+0) обозначено как $n(0)$, где индекс n отражает значение общего квантового числа, которому принадлежит орбиталь. А внутри скобок обозначены повторные значения суммы сочетаний квантовых чисел ($n_y + n_z$) при данном l по

количеству позиций, соответствующему количеству сочетаний. Таким образом, для оболочек p -орбиталей, вместо сочетаний $(0 + 1)(1 + 0)(0.5 + 0.5)$ на трех позициях, имеем обозначение сочетаний $n(111)$, для оболочек D орбиталей, вместо сочетаний $(0 + 2)(2 + 0)(1.5 + 0.5)(0.5 + 1.5)(1 + 1)$ на пяти позициях, — $n(22222)$ и, наконец, для f -оболочек, вместо сочетаний $(0 + 3)(3 + 0)(1 + 2)(2 + 1)(2.5 + 0.5)(0.5 + 2.5)(1.5 + 1.5)$ на семи позициях, — $n(3333333)$.

В табл. 8.4 учтено и отсутствие $\pm s_0$ в выражении для магнитного квантового числа t (8.17), таким образом, что в сочетаниях, приведенных в скобках, жирными цифрами обозначены только те позиции, которые соответствуют электронам или протонам, не подвергавшимся ядерной конверсии с образованием нейтронов.

Как уже упоминалось ранее, в этих сочетаниях обычными цифрами обозначены, применительно к электронной оболочке, позиции, на которых электроны отсутствуют; применительно к ядерной оболочке — позиции нейтронов. Эти позиции с жирными и обычными цифрами, отражающие, соответственно, позиции электронов или отсутствие их, относительны и не имеют принципиального значения, поэтому могут поменяться местами.

В табл. 8.4 в первой колонке обозначены знаки спина $s = \pm 1$ в выделенном направлении, согласно которым все энергетические состояния электронов или протонов обретают свою спиновую пару в выделенном направлении на оболочках орбиталей. Вторая колонка указывает, какому значению главного квантового числа, равного $n_x = n - l$, принадлежат оболочки орбиталей.

Как уже отмечали, значения разрешенных значений орбитального квантового числа, равные $l = n_y + n_z$, приведены в скобках по нескольким повторным позициям, соответствующим количеству сочетаний $(n_y + n_z)$. При этом значения общего квантового числа n даны через индексы перед этими скобками. Согласно данным табл. 8.1, значение общего квантового числа n соответствует номеру периода Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Таким образом, как показано в табл. 8.4, одинаковые значения индексов n перед скобками указывают на обозначенные внутри этих скобок s , p , d и f -оболочки, принадлежащие одному периоду таблицы химических элементов Менделеева.

Очередность заполнения сочетаний квантовых чисел по оболочкам орбиталей полностью соответствует ранее рассмотренной очередности в табл. 8.1, данные которой также полностью согласуются с фактической очередностью заполнения оболочек орбиталей по периодам системы элементов.

Рассмотрим общий принцип заполнения табл. 8.4.

Для атома радия максимальное значение общего квантового числа равно 7. Тогда, согласно (8.11), где $n = 1, 2, 3, \dots, N$, общее квантовое число в атоме радия имеет следующие разрешенные значения, равные $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ и 7 , при каждом фиксированном значении которого главное и орбитальное квантовые числа принимают соответствующие значения, согласно выражениям (8.12), (8.13) и (8.14). Например, при $n = 1$ главное и орбитальное квантовые числа, соответственно равны $n_x = 1$, а $l = 0$; при $n = 2$ — $n_x = 1, 2$, а $l = 0, 1$; при $n = 3$ — $n_x = 2, 3$, а $l = 0, 1$; при $n = 4$ — $n_x = 2, 3, 4$, а $l = 0, 1, 2$; при $n = 5$ — $n_x = 3, 4$ и 5 , а $l = 0, 1$ и 2 ; при $n = 6$ — $n_x = 3, 4, 5$ и 6 , а $l = 0, 1, 2$ и 3 ; при $n = 7$ — $n_x = 4, 5, 6$ и 7 , а $l = 0, 1, 2$ и 3 .

В интегральной системе координат позиции электронов или протонов в атоме могут быть вычислены. Их положения определяют по значениям квантовых чисел проекций орбиты и по значению общего квантового числа, согласно выражениям (7.46) и (7.47). При этом необходимо заметить, что координаты электронов и протонов в атоме могут быть существенно подкорректированы из-за ядерной трансформации части электронов и протонов с образованием нейтронов. В то же время принципы распределения электронов и протонов в атоме на основе предложенных разрешенных сочетаний квантовых чисел остаются неизменными, что весьма важно для расшифровки структурной динамической модели атома.

Подведя общий итог сказанному можно констатировать, что приведенные принципы построения модели атома позволяют отражать модель динамической структуры атома, соответствующую физической реальности и современным данным Периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

Версия решения волнового уравнения Шредингера в интегральной системе координат

9.1. Подходы к решению волнового уравнения

Рассмотрим существующие подходы к решению уравнения Шредингера применительно к электрону. Как известно, волновое уравнение Шредингера содержит волновую функцию Φ . Обычно для волновой функции электрона вместо обозначения Φ используют Ψ , и если заметить скорость света c в уравнении (7.3) на скорость электрона v , то получим уравнение для движения частицы:

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}. \quad (9.1)$$

Как видно, волновая функция Ψ является функцией пространственных координат и времени. Необходимое для нас уравнение стоячих волн не должно содержать времени в качестве переменной. Для того, чтобы получить такое волновое уравнение вводят допущение, заменяя функцию $\Psi_{(xyzt)}$ на произведение функций $\Psi_{(xyz)} = \Psi_{(xyz)} g(t)$, где $\Psi_{(xyz)}$ — функция только пространственных координат, $g(t)$ — функция только времени. Для того, чтобы отделить временную зависимость от волнового уравнения, можно использовать несколько волновых функций $g(t)$, таких, как $\exp(2\pi i \nu t)$ или $\sin(2\pi \nu t)$. Если произвести подстановку $\Psi_{(xyzt)} = \Psi_{(xyz)} \exp(2\pi i \nu t)$ в уравнение (9.1), то получим:

$$\nabla^2 \Psi_{(xyz)} e^{2\pi i \nu t} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Psi_{(xyz)} e^{2\pi i \nu t}.$$

Так как оператор ∇^2 содержит только пространственные координаты и не зависит от времени, то временную функцию в левой части уравнения можно считать постоянной величиной. В правой же части уравнения функцию $\Psi_{(xyz)}$ можно считать постоянной по отношению к оператору $\partial^2/\partial t^2$. После преобразования получим уравнение:

$$e^{2\pi i vt} \nabla^2 \psi_{(xyz)} = \frac{1}{v^2} \psi_{(xyz)} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (e^{2\pi i vt})$$

или после двукратного дифференцирования:

$$\begin{aligned} e^{2\pi i vt} \nabla^2 \psi_{(xyz)} &= \frac{1}{v^2} \psi_{(xyz)} \frac{\partial}{\partial t} (2\pi i v e^{2\pi i vt}), \\ e^{2\pi i vt} \nabla^2 \psi_{(xyz)} &= \frac{1}{v^2} \psi_{(xyz)} (-4\pi^2 v^2) e^{2\pi i vt}, \\ \nabla^2 \psi_{(xyz)} &= -\frac{4\pi^2 v^2}{v^2} \psi_{(xyz)}. \end{aligned} \quad (9.2)$$

Уравнение (9.2) уже не содержит переменной t , и, таким образом, удалось получить волновое уравнение, содержащее только пространственные координаты системы.

Теперь необходимо отразить в уравнении корпускулярный характер электрона. Как известно, по соотношению де Бройля (4.21), для квантовой частицы скорость движения равна $v = \lambda \nu = h \nu / p$, где λ — длина волны; ν — частота; p — импульс. Подстановка этого выражения в уравнение (9.2) дает:

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} = -\frac{4\pi^2 p^2}{h^2} \psi_{(xyz)}. \quad (9.3)$$

Электрон на орбитали атома, согласно (6.34), обладает только половиной кинетической энергии спирального движения, равной $E_k = E_{kc}/2 = mv^2/2$. Тогда соотношение между импульсом p и кинетической энергией E_k электрона в атоме имеет следующий вид:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}.$$

Подставляя значение p^2 в уравнение (9.3), получаем:

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} = -\frac{4\pi^2 (2E_k m)}{h^2} \psi_{(xyz)}$$

или

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} = -\frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k \psi_{(xyz)}. \quad (9.4)$$

Так как кинетическая энергия орбитального движения электрона равна разности между общей энергией E_n и потенциальной энергией E_p , т.е. $E_k = E_n - E_p$, то волновое уравнение может быть выражено в форме [8, с. 50]:

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} = -\frac{8\pi^2 m}{h^2} (E_n - E_p) \psi_{(xyz)}$$

или

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E_n - E_p) \psi_{(xyz)} = 0. \quad (9.5)$$

Таким образом, выделив из общего дифференциального уравнения волнового движения ту его часть, которая зависит от пространственных координат, и используя уравнение де Бройля для придания ему корпускулярного характера, мы получили не зависящее от времени известное уравнение Шредингера для волнового движения электрона в атоме.

Принцип суперпозиции. Легко заметить, что для одномерного случая уравнение (9.2) принимает вид:

$$\frac{d^2 \psi_{(x)}}{dx^2} = -\frac{4\pi^2 \nu^2}{\nu^2} \psi_{(x)}.$$

Его можно упростить, обозначив $\frac{4\pi^2 \nu^2}{\nu^2} = \alpha^2$,

$$\frac{d^2 \psi_{(x)}}{dx^2} + \alpha^2 \psi_{(x)} = 0. \quad (9.6)$$

Одним из решений такого дифференциального уравнения будет:

$$\psi_{(x)} = A \sin \alpha x + B \cos \alpha x. \quad (9.7)$$

Последнее легко проверить, проведя два последовательных дифференцирования функции (9.7),

$$\frac{d^2\psi_{(x)}}{dx^2} = -\alpha^2 (A \sin \alpha x + B \cos \alpha x) = -\alpha^2 \psi_{(x)}.$$

При этом выполняется принцип суперпозиции. Отметим, что

$$\psi_{(x)} = A \sin \alpha x$$

так же, как

$$\psi_{(x)} = B \cos \alpha x$$

и

$$\psi_{(x)} = C e^{i\alpha x}.$$

Они также являются решениями дифференциального уравнения (9.6).

Отметим, что в сочетании с принципом суперпозиции любая линейная комбинация решений тоже является решением этого уравнения. На основании вышесказанного, выражение

$$\psi_{(x)} = A \sin \alpha x \pm C e^{i\alpha x}$$

будет решением дифференциального уравнения [8, с. 51].

В дальнейшем нас будет интересовать частное решение для описания состояния квантовых частиц, например, электронов в атоме, которое может быть получено, если принять во внимание определенные граничные условия.

9.2. Версия решения уравнения Шредингера для «одномерной» потенциальной сферы

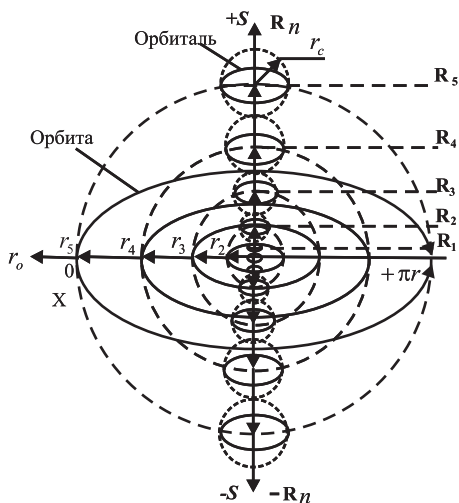
Рассмотрим решение уравнения Шредингера для определения состояния множества электронов в потенциальном поле ядра с учетом их спирального характера движения.

В гл. 7 показано, что для описания состояния электронов на орбите ядра в выделенном направлении могут быть использованы синусоидальные функции.

Если в интегральной системе координат направление радиус-вектора орбиты будет совпадать с направлением радиус-вектора выделенного направления \mathbf{R}_x , то получим одномерную систему координат, при которой $\cos \beta_x = 1$. При этом общее квантовое число равно квантовому числу проекции орбиты в выделенном направлении, т.е. $n = n_x$ и $n_y = n_z = 0$.

На рисунке приведена одномерная интегральная система координат потенциальных плоскостей при разных значениях главного кванто-

вого числа n_x проекций орбит электронов атома. Такая одномерная система координат позволяет отображать бесконечное множество орбит с соответствующими значениями радиус-векторов \mathbf{R}_x в выделенном направлении.



Распределение позиций электронов на "одномерной" потенциальной сфере при разных значениях главного квантового числа n

тора момента количества движения.

Таким образом, как было показано в гл. 8, электроны на орбитах под действием гироскопических сил занимают в атоме стационарные орбитали с радиусом спирального движения r_c , соответствующим радиусу деформированной орбиты. При этом, как видно из рисунка, эти орбитали по своим размерам по мере увеличения значения радиус-вектора орбиты от центра к периферии точно накладываются одна на другую по принципу плотной упаковки.

Рассмотрим решение волнового уравнения Шредингера с использованием интегральной системы координат потенциальных сфер для ее одномерного случая, приведенного на рисунке.

Одномерным выражением потенциальной сферы является плоскость окружности координатной линии X , у которой есть соответствующая координатная ось радиус-вектора \mathbf{R}_x . Стенками такого потенциального круга, подобно стенкам потенциального ящика, являются его полуокружности, но с тем отличием, что электрон может двигаться только по линии стенки.

Напомним еще раз, что скалярные значения проекций радиус-векторов соответствуют радиусам проекций орбит r .

Как видно из рисунка, орбиты могут иметь как положительные, так и отрицательные направления вращения, определяемые положительным и отрицательным направлениями радиус-векторов \mathbf{R}_x , которые, в свою очередь, соответствуют положительным и отрицательным значениям спина $s = \pm 1$ в выделенном направлении. Как уже говорилось, знаки спина совпадают со знаками век-

В одномерном ящике волновая функция может быть представлена как $\Psi_{(x)}$, которая описывает движение реальной частицы, например, такой как электрон. Эта волновая функция должна быть непрерывной, конечной и однозначно определенной во всем пространстве.

Волновое уравнение для трехмерного случая было дано выражением (9.4), которое для одномерного случая имеет вид:

$$\frac{d^2 \Psi_{(x)}}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k \Psi_{(x)} = 0. \quad (9.8)$$

Из уравнения (9.8), принимая, что $\alpha^2 = \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k$, получаем уравнение, идентичное уравнению (9.6). Его решением, а значит, и решением волнового уравнения для частицы в одномерной потенциальной сфере или в потенциальном ящике будет решение, представленное выражением (9.7).

Это общее решение дифференциального уравнения само по себе ни о чем не говорит, пока на него не накладывать граничные условия. Рассмотрим граничные условия, накладываемые на данную частную систему. Так как устойчивое существование электрона в пределах потенциального круга не зависит от времени и он не должен существовать вне этого круга, необходимо, чтобы волновая функция была равна нулю на концах сторон круга, т.е. на концах полуокружностей при $x = 0$ и $x = \pi r$. А это значит, что для нашей одномерной потенциальной сферы $\Psi_{(x)} = 0$ в точке $x = 0$. Таким образом, в точке $x = 0$

$$0 = A \sin \alpha 0 + B \cos \alpha 0$$

или

$$0 = A(0) + B(1).$$

Для того, чтобы равенство соблюдалось, постоянная B должна быть равна нулю. Тогда получим упрощенную волновую функцию, которая имеет вид:

$$\Psi_{(x)} = A \sin \alpha x.$$

Очевидно, что на другом конце полуокружности волновая функция также должна быть равна нулю, т.е. в точке $x = \pi r$ должно выполняться равенство $\Psi_{(x)} = 0$. Это условие предполагает два возможных решения. Для точки $x = \pi r$ волновая функция имеет вид:

$$0 = A \sin \alpha \pi r_x.$$

Такое равенство справедливо и при условии $A = 0$, но такое решение тривиально. Как известно, есть и другой способ решения, когда синус угла равен нулю при значении угла, кратном π . Например, если $\alpha = n\pi/a$, где n — целое число, то равенство также сохраняется. В на-

шем случае стороной a потенциального круга является полуокружность $a = \pi r$ и тогда $\alpha = n / r$. Введение целого числа n предполагает движение частицы, например электрона, в потенциальном поле заряда ядра с образованием стоячей волны. В таких граничных условиях волновая функция для частицы принимает вид:

$$\psi_{(x)} = A \sin \frac{n\pi}{a} x$$

или

$$\psi_{(x)} = A \sin \frac{n}{r_x} x. \quad (9.9)$$

С такой функцией в гл. 7 мы уже встречались. Здесь, как мы ранее условились, для произвольно ориентированной орбиты при $\cos \beta_x = 1$ длина полуокружности орбиты $l_o = x$ и радиус орбиты $r = r_x$.

В (9.9) коэффициент A может принимать любое значение, например, значение радиуса потенциального круга r_x и т.д. или, по (7.11), может быть равен половине длины полуокружности потенциального круга, $A = \pi r / 2$.

Подстановка выражения (9.9) с коэффициентом A в уравнение (9.8) должна удовлетворять решению этого уравнения, которое будет иметь вид:

$$\frac{d^2 A_x \sin \frac{n}{r_x} x}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k A_x \sin \frac{n}{r_x} x = 0$$

или

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2 A_x \sin \frac{n}{r_x} x}{dx^2} = E_k A_x \sin \frac{n}{r_x} x. \quad (9.10)$$

Тогда, произведя дифференцирование (9.10), имеем:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \left(-\frac{n^2}{r_x^2} \right) A_x \sin \frac{n}{r_x} x = \frac{h^2 n^2}{8\pi^2 m r_x} A_x \sin \frac{n}{r_x} x \quad (\text{левая}$$

часть),

а правая часть равна $E_k A_x \sin \frac{n}{r_x} x$.

Очевидно, что полученные выражения равны, если энергия электрона определяется соотношением:

$$E_k = \frac{n^2 \hbar^2}{8\pi^2 m r_x^2}, \quad (9.11)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

Мы получили уравнение (9.11), преобразование которого дает все известные уравнения Бора для радиуса орбиты, скорости и энергии электрона, а также другие выражения, определяющие закономерности его состояния в атоме. Например, согласно (8.2,а), общая энергия электрона в атоме равна:

$$E_n = -\frac{1}{2} E_p = -E_k. \quad (9.11,а)$$

Отсюда выражение для общей энергии, согласно (9.11), имеет вид:

$$E_n = -\frac{n^2 \hbar^2}{8\pi^2 m r_x^2}. \quad (9.11,б)$$

Если в (9.11,а), согласно (7.46,а), подставить выражение для радиуса, то, с учетом $n_x = n$ и $Z_x = Z$, получим известное уравнение для общей энергии электрона в атоме, идентичное уравнению Бора, которое имеет вид:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4 Z_x^2}{n_x^2 \hbar^2}. \quad (9.11,с)$$

Таким образом, мы нашли функцию $\Psi_{(x)}$ и значение энергии, удовлетворяющие уравнению (9.8), т.е. решили уравнение Шредингера для одномерной потенциальной сферы, предполагая, что ее стенками являются полуокружности. Это показывает, что волновая функция в уравнении Шредингера является амплитудной функцией, например, в данном случае, функцией от $\pi r/2$.

На этом можно было бы завершить решение волнового уравнения, однако, для уточнения вернемся к его традиционному решению через нормирование волнового уравнения и сравним полученные результаты.

Для этого вначале необходимо найти значение коэффициента A , которое может быть определено путем нормирования волновой функции (9.9). С точки зрения математических требований, постоянная A может принимать любые значения. Однако физический смысл функции $\Psi_{(x)}^2$ обуславливает необходимость выбора определенного значения A , а

именно, величину A выбирают такой, чтобы суммарная вероятность нахождения электрона в потенциальной сфере была равна единице. Поскольку электрон должен находиться в пределах круга потенциальной сферы, то вероятность нахождения его в этих пределах должна быть равна единице.

Поясним здесь, что мы принимаем версию такого вероятностного решения чисто с технической стороны и только для сравнительного анализа, а не потому, что поведение частицы в пределах потенциального круга представляет собой вероятностное облако состояний. Ранее было показано, что теоретическая орбита движения электрона определена, т.е. определены диаметр и ориентация этой теоретической орбиты, а значит, координаты орбитали электрона, размеры которой мы приняли за размеры электрона.

Рассмотрим приведение волновой функции к виду, пригодному для ее вероятностной оценки. Очевидно, что квадрат волновой функции пропорционален (но не равен) вероятности нахождения электрона в данном элементарном объеме $dx dy dz$. Это вытекает из того факта, что если Ψ — это решение волнового уравнения, то умножение Ψ на любую постоянную величину A даст новую функцию $A\Psi$, которая также будет являться решением волнового уравнения. Поэтому нельзя утверждать, что интеграл $\int \Psi \Psi^ dx dy dz$ равнозначен вероятности; он лишь пропорционален вероятности нахождения электрона в данном объеме. Чтобы этот интеграл отражал вероятность пребывания электрона в определенном объеме нужно, чтобы вероятность определенности равнялась единице, т.е.:*

$$\int \psi \psi^* dx dy dz = 1.$$

Если волновая функция удовлетворяет этому выражению, говорят, что она нормирована. Если же Ψ — не нормированная функция, то ее можно умножить на постоянную величину A , подобрав эту величину таким образом, чтобы произведение $A\Psi$ было нормированной функцией. Нормированная функция $A\Psi$ должна удовлетворять требованию:

$$\int A \psi A \psi^* dx dy dz = 1.$$

Постоянную величину A^2 можно вынести из-под интеграла:

$$A^2 \int \psi \psi^* dx dy dz = 1 \text{ или } A^{-2} = \int \psi \psi^* dx dy dz.$$

Величину A называют нормирующим множителем, который может быть определен из вышеприведенного выражения.

Итак, зная, что вероятность выражается квадратом волновой функции, можно записать:

$$\int_0^r \psi \psi^* dx = 1,$$

что дает:

$$\int_0^a A^2 \sin^2 \alpha x dx = 1$$

или

$$\frac{1}{A^2} = \int_0^a \sin^2 \alpha x dx,$$

где $\alpha = n\pi / a$.

Если это уравнение решить относительно A и результат подставить в первое волновое уравнение (9.9), то окажется, что полностью нормированная волновая функция для частицы в одномерной потенциальной сфере равна:

$$\psi_{(x)} = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi}{a} x$$

или, если учесть, что $a = \pi r_x$, она преобразуется к виду:

$$\psi_{(x)} = \sqrt{\frac{2}{\pi r_x}} \sin \frac{n}{r_x} x.$$

Однако нас интересует только энергетическое состояние электрона. Для этого необязательно было определять волновую функцию и проводить ее дальнейшее нормирование. Энергию электрона можно определить, если известно значение параметра α , который входит в выражения:

$$\alpha^2 = \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{n}{r}.$$

И для нашей одномерной потенциальной сферы, приравнявая эти два значения α , получаем:

$$\frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k = \frac{n^2}{r_x^2}$$

или, решая пропорцию относительно E_k , будем иметь:

$$E_k = \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r_x^2}.$$

Мы получили уравнение, тождественное уравнению (9.11,б) для одномерного случая. Таким образом, решение уравнения Шредингера через нормирование функции, которую определяют как вероятностную, является только пропорциональным отражением нормальной амплитудной функции для описания движения электрона по орбите.

Далее дадим некоторые преобразования уравнения (9.11,б).

Подставляя $E_k = mv^2/2$ в выражение (9.11,б), получим:

$$\frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r_x^2} = \frac{mv_x^2}{2}.$$

Решая последнее равенство относительно скорости v_x , имеем:

$$v_x = \frac{nh}{2\pi m r_x}. \quad (9.12)$$

Мы получили выражение (9.12), идентичное выражению для скорости электрона на орбите ядра в водородоподобном атоме, полученному Бором и отраженному ранее в (4.5). Выражение (9.12) для скорости можно преобразовать для описания момента количества движения, постулированного Бором, для условий пребывания электрона в атоме, которое имеет вид $mvr = nh/2\pi$.

В гл. 6 нами было дано выражение (6.28) для скорости движения электрона в поле заряда ядра при возможном снижении эффективного заряда на целое число n . В этом выражении скорость движения электрона зависит только от эффективного значения заряда ядра, в поле которого он движется. При этом ни масса, ни радиус движения для скорости электрона значения не имеют. Приравнявая найденные нами выражения (9.12) и (6.28) для скоростей, имеем:

$$\frac{nh}{2\pi m r_x} = \frac{Z}{n} \cdot \frac{e^2}{\hbar}.$$

Решая это выражение относительно квантового числа n и радиуса r_x , получим:

$$n^2 = \frac{4\pi^2 m r_x Z e^2}{h^2}, \quad (9.13)$$

$$r_x = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Z e^2}. \quad (9.14)$$

Заметим, что при $n_x = n$ и $Z_x = Z$ выражение (9.14) идентично (7.46,а).

Подставляя полученное выражение для n^2 в (9.11) для энергии и произведя дальнейшие сокращения, получаем выражение для кинетической энергии электрона:

$$E_k = \frac{Z e^2}{2 r_x}, \quad (9.15)$$

которое полностью идентично выражению (4.8) для кинетической энергии в водородоподобном атоме, приведенному Бором.

Если придерживаться определения потенциальной и кинетической энергии электрона в атоме, принятого Бором, то общая энергия электрона в атоме, как известно, равна:

$$E_n = E_k + E_p = \frac{Z e^2}{2 r} - \frac{Z e^2}{r} = -\frac{Z e^2}{2 r}.$$

Тогда, подставляя значение r_x из (9.14) в уравнение (9.15), получаем выражение для энергии электрона в n -ом квантовом состоянии, полностью тождественное выражению Бора (9.11,с), которое, как известно, имеет вид:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{n^2 h^2}.$$

При $n_x = n$ и $Z_x = Z$ это выражение идентично (9.11,с).

Заметим здесь, что мы получили решение уравнения относительно энергии электрона в атоме, которое справедливо для всех электронов многозарядного атома, а не только для различных состояний одного электрона в водородоподобном атоме Н. Бора.

9.3. Версия решения уравнения Шредингера для «трехмерной» потенциальной сферы

Волновое уравнение для частиц в трехмерной потенциальной сфере должно отражать волновые функции всех трех пространственных координат радиус-векторов и круговых координатных линий. Тогда волновые функции, как и для одномерного случая, удобно представить

в интегральной системе координат потенциальных сфер, приведенной на рис. 7.1. В трехмерной интегральной системе координат функция орбитального движения материальной точки одновременно может отражать как метрические координаты проекций орбиты по линиям окружностей, так и проекции радиус-вектора этой орбиты на координатные оси в прямоугольной системе координат. В интегральной системе координат, как указывалось в гл. 7, функция произвольным образом ориентированного орбитального движения материальной точки является общей для всех направлений системы координат и может быть выражена через длину окружности большого круга потенциальной сферы и скалярное значение радиус-вектора этой потенциальной сферы. Такая общая функция приведена в выражении (7.27), которая в трехмерной интегральной системе координат имеет вид:

$$\psi_{(xyz)} = A \sin \frac{n}{r} l_o, \quad (9.16)$$

где r — радиус орбиты или потенциальной сферы, l_o — длина полуокружности орбиты или потенциальной сферы.

Решение уравнения Шредингера для таких функций мы уже имеем и в дальнейшем воспользуемся выводами из него. В то же время ориентация орбитального движения может быть отражена проекциями произвольно ориентированного радиус-вектора \mathbf{R} орбиты на соответствующие координатные оси радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z . Соотношение общего радиус-вектора орбиты между его проекциями может быть отражено дополнительным уравнением, приведенным в гл. 7 в выражениях (7.19) или (7.21). Как было показано, эти соотношения могут быть применимы для определения соответствующих проекций энергетического состояния квантовой частицы. Тогда общая кинетическая энергия электрона на орбите может быть определена следующим выражением:

$$E_k = E_k (\cos^2 \beta_x + \cos^2 \beta_y + \cos^2 \beta_z)$$

или

$$E_k = E_k \left(\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} \right), \quad (9.17)$$

где E_k — кинетическая энергия электрона на орбитали, соответствующая общему квантовому числу n потенциальной сферы, а выражение в кавычках, согласно (7.19), равно единице, т.е.:

$$\left(\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} \right) = 1.$$

С учетом выражений (7.34) и (7.35), выполняется равенство:

$$\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} = \frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} = 1. \quad (9.18)$$

Тогда, согласно (9.18), общая кинетическая энергия электрона на орбите в уравнении (9.17) может быть выражена через сумму отношений квантовых чисел проекций орбиты n_x , n_y и n_z к общему квантовому числу орбиты n :

$$E_k = E_k \left(\frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} \right). \quad (9.19)$$

Найдем решение волнового уравнения Шредингера в интегральной системе координат для «трехмерного» пространства потенциальных сфер. Как уже отражалось в (9.4), в многомерной потенциальной сфере волновое уравнение для систем множества частиц в потенциальном поле, включающее кинетическую энергию, имеет вид:

$$\nabla^2 \psi_{(xyz)} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k \psi_{(xyz)} = 0.$$

Это дифференциальное уравнение частных производных с тремя переменными. Вследствие того, что вместо трех волновых функций с тремя переменными мы будем рассматривать только одну общую волновую функцию (9.16) с одним переменным, отражающим длину произвольно ориентированной орбиты, волновое уравнение преобразуется к виду:

$$\frac{d^2 \psi_{(xyz)}}{dl^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k \psi_{(xyz)} = 0.$$

Тогда, подставляя в это уравнение значение общей волновой функции (9.16) и значение кинетической энергии (9.17) для трехмерного случая, получим:

$$\frac{d^2 A \sin \frac{n}{r} l_o}{dl_o^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E_k A \sin \frac{n}{r} l_o = 0 \quad (9.20)$$

где l_o — произвольная длина окружности орбиты или потенциальной сферы, которая равна:

$$l_o = \mathcal{G}r. \quad (9.21)$$

Максимальный размер длины окружности l_o равен длине полуокружности, т.е. $l_o = \pi r$.

Таким образом, мы имеем систему уравнений, (9.18), (9.19), (9.20) и (9.21), которая определяет условия пребывания электронов в потенциальном поле. И действительно, для определения состояния электронов в потенциальном поле необходимо учитывать еще и то, что радиусы орбит и их проекции r_x , r_y и r_z не могут быть произвольными и должны подчиняться квантовым условиям существования этих электронов на общих орбитах, а также на их проекциях. Система уравнений (9.18), (9.19), (9.21) и уравнение Шредингера (9.20) описывают орбитальные движения электронов в потенциальном поле при радиусе потенциальной сферы r , которым соответствует общее квантовое число n . Как нами было показано, ориентация этих орбит относительно координатных осей радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z может быть выражена через соотношения радиус-векторов орбит \mathbf{R} и их проекций. Здесь ориентации орбит, т.е. проекции радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z определены через квантовые числа n_x , n_y и n_z , отражающие квантовые условия движения электронов на проекциях общей орбиты относительно плоскостей координатных линий X , Y и Z .

Как известно, общее квантовое число орбиты n может принимать только целочисленные значения, равные $n = 1, 2, 3, \dots, N$. При фиксированном значении общего квантового числа n такие же целочисленные значения может принимать и квантовое число проекции орбиты в выделенном направлении n_x , $n_x = 1, 2, 3, \dots, n$. При этом, согласно (8.13), минимальное значение главного квантового числа n_x , которое оно может принимать, диктуется соотношением $n_x^{\min} \geq \frac{n}{2}$.

Числа n_y и n_z в сумме отражают орбитальное квантовое число l , которое также при фиксированном значении общего квантового числа n может принимать нулевое, а также целочисленные значения, равные, в соответствии с выражением (8.14), $l = 0, 1, 2, \dots, n/2$. Заметим, что максимальное значение орбитального квантового числа меньше или равно половине фиксированного значения общего квантового числа. Для магнитного квантового числа, согласно (8.15) при фиксированном значении общего квантового числа n , выполняется соотношение $m = \pm s \pm s_o \cdot l = \pm(\pm l)$, где $\pm s$ и $\pm s_o$ — спиновые квантовые числа, действующие, соответственно, в выделенном направлении и на орбитальной плоскости.

Полученное нами уравнение Шредингера (9.20) с волновой функцией (9.16) для произвольно ориентированных орбит трехмерных потенциальных сфер идентично уравнению (9.10) для одномерной потенциальной сферы при условии $\cos \beta_x = 1$, длины орбиты $l_o = x$ и радиуса орбиты $r = r_x$. Решение такого типа уравнения нам уже известно, и для (9.20) оно будет таким же, как и для уравнения (9.10), с той лишь разни-

цей, что энергия электрона будет соответствовать их множеству с произвольно ориентированными орбитами, имеющими радиус, соответствующий длине окружности потенциальной сферы l_0 при фиксированном общем квантовом числе n . Общее уравнение Шредингера (9.20) имеет решение, если кинетическая энергия электрона с общим квантовым числом n как для произвольно ориентированной орбиты, так и для одномерного случая имеет вид:

$$E_k = \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2}, \quad (9.22)$$

что подтверждается известным решением этого уравнения для одномерных потенциальных сфер с получением для кинетической энергии равенства, идентичного выражению (9.11,б). Произведя аналогичные преобразования с (9.22) (как и с выражением (9.11,б)), мы получим следующие соотношения:

— для кинетической энергии при общем квантовом числе n :

$$E_k = \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2} = \frac{m v^2}{2} = \frac{Z e^2}{2r} = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{n^2 h^2}; \quad (9.23)$$

— для общей энергии частицы E_n в потенциальном поле:

$$E_n = -E_k = -\frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{n^2 h^2}; \quad (9.24)$$

— для скорости частицы на орбите при квантовом числе n :

$$v = \frac{nh}{2\pi m r}; \quad (9.25)$$

— для радиуса орбиты при квантовом числе n :

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Z e^2}. \quad (9.26)$$

Полученные выражения подтверждают правильность решения уравнения Шредингера с предложенной волновой функцией (9.16) в интегральной системе координат потенциальных сфер. Это показывает, что мы нашли волновую функцию, адекватно описывающую пребывание частиц в потенциальном поле, например электронов в атоме, предполагая, что движение осуществляется по стационарным орбитам, пре-

образованным при спиральном их движении в орбитали. При этом показали, что волновая функция в уравнении Шредингера является амплитудной функцией, например в данном случае, она может быть функцией отклонения электрона на орбите в каком-либо выделенном направлении от нулевой точки на величину радиуса орбиты или длины стороны потенциальной сферы. Таким образом, все орбиты электронов в атоме, ориентированные произвольным образом, описываются одной простой волновой функцией, представляющей собой синусоиду, в которой все состояния электронов отличаются лишь разрешенным набором квантовых чисел. Это свидетельствует о том, что предложенная интегральная система координат потенциальных сфер отражает движение квантовых частиц в условиях потенциального поля, что адекватно физической реальности. При этом для описания движения электронов в атоме используется одна простая волновая функция.

Поскольку нет необходимости в решении уравнения Шредингера через нормирование волновой функции и определение коэффициента этой функции, ограничимся только его исследованием на совместимость с полученной нами системой уравнений (9.18) и (9.19)

Согласно (9.19), найдем выражение для общей кинетической энергии электрона через распределение ее на проекциях орбиты. Для этого в выражение (9.19) подставим значение кинетической энергии электрона, соответствующее общему квантовому числу в соответствии с (9.22). Тогда выражение для общей кинетической энергии, выраженное через сумму ее значений на проекциях орбит, примет вид:

$$E_k = \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2} \cdot \frac{n_x}{n} + \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2} \cdot \frac{n_y}{n} + \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2} \cdot \frac{n_z}{n}$$

или

$$E_k = \frac{n^2 h^2}{8\pi^2 m r^2} \left(\frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} \right). \quad (9.27)$$

Учитывая соотношение (9.24) для общей энергии электронов в потенциальном поле, получим:

$$E = -\frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{n^2 h^2} \left(\frac{r_x^2}{r^2} + \frac{r_y^2}{r^2} + \frac{r_z^2}{r^2} \right). \quad (9.28)$$

Тогда как сумма энергий на проекциях орбиты, выраженная через квантовые числа, имеет вид:

$$E = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \frac{n_x}{n} - \frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \frac{n_y}{n} - \frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \frac{n_z}{n}$$

или

$$E = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \left(\frac{n_x}{n} + \frac{n_y}{n} + \frac{n_z}{n} \right). \quad (9.29)$$

Таким образом, мы получили выражение для общей энергии электрона в потенциальном поле, полностью согласующееся с уравнением Н. Бора, но с дополнительными значениями квантовых чисел проекций орбиты n_x , n_y и n_z по всем трем направлениям потенциальной сферы. Это подчеркивалось и Зоммерфельдом при квантовых расчетах атома водорода. Различные сочетания четырех квантовых чисел, n , n_x , n_y и n_z , определяют разрешенные состояния электронов в потенциальном поле. В интегральной системе координат разрешенные сочетания квантовых чисел позволяют определять энергетические состояния электронов в атоме, а также ориентацию орбит с указанием точных координат их орбиталей, поскольку, согласно соотношению (7.34), выражение для значений проекций радиус-вектора орбиты имеет вид:

$$r_x = \left(\frac{n_x}{n} \right)^{\frac{1}{2}} r, \quad r_y = \left(\frac{n_y}{n} \right)^{\frac{1}{2}} r, \quad r_z = \left(\frac{n_z}{n} \right)^{\frac{1}{2}} r, \quad (9.30)$$

где r — радиус орбиты, т.е. радиус потенциальной сферы, который определяют из равенства (9.26).

Если известны радиус орбиты и его проекции на координатные оси, т.е. координаты орбитали электрона в интегральной системе координат, то известны и волновые функции проекции орбиты на соответствующие плоскости координатных линий X , Y и Z .

Волновые функции проекций орбиты в интегральной системе координат на плоскостях взаимно перпендикулярных координатных линий X , Y и Z отражаются круговыми линиями x , y и z , соответствующими проекциям орбиты, с радиусами r_x , r_y и r_z . Такие функции нами рассматривались, в частности, в равенство (7.26). Напомним, что они имеют вид:

$$\psi_{(x)} = A_x \sin \frac{n}{r_x} x, \quad \psi_{(y)} = A_y \sin \frac{n}{r_y} y, \quad \psi_{(z)} = A_z \sin \frac{n}{r_z} z.$$

Рассмотрим и волновые функции (7.42) с соответствующими квантовыми числами n_x , n_y и n_z , а также зарядами Z_x , Z_y и Z_z , получен-

ными перераспределением общего заряда по направлениям проекций радиус-векторов орбит, которые имеют вид:

$$\Psi_{(x)} = A_x \sin \frac{n_x}{r_x} x, \quad \Psi_{(y)} = A_y \sin \frac{n_y}{r_y} y, \quad \Psi_{(z)} = A_z \sin \frac{n_z}{r_z} z.$$

Для этих функций, подобно (9.8), также могут быть составлены свои независимые волновые уравнения для одномерного случая, решения которых для общей энергии, как и в (7.43), имеют вид:

$$E_x = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_x^2}{n_x^2 h^2}, \quad E_y = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_y^2}{n_y^2 h^2}, \quad E_z = -\frac{2\pi^2 me^4 Z_z^2}{n_z^2 h^2}.$$

При этом выражения для скорости частицы на соответствующих проекциях орбиты отобразятся как:

$$v_x = \frac{n_x h}{2\pi m r_x}, \quad v_y = \frac{n_y h}{2\pi m r_y}, \quad v_z = \frac{n_z h}{2\pi m r_z}. \quad (9.31)$$

Согласно (7.45), для радиуса проекции орбиты в соответствующем направлении имеем:

$$r_x = \frac{n_x^2 h^2}{4\pi^2 m Z_x e^2}, \quad r_y = \frac{n_y^2 h^2}{4\pi^2 m Z_y e^2}, \quad r_z = \frac{n_z^2 h^2}{4\pi^2 m Z_z e^2}.$$

В выражениях (7.44) мы показали, что равенства для эффективного значения заряда для каждой из проекций орбиты имеют вид:

$$Z_x = \sqrt{\frac{n_x^3}{n^3}} Z, \quad Z_y = \sqrt{\frac{n_y^3}{n^3}} Z, \quad Z_z = \sqrt{\frac{n_z^3}{n^3}} Z.$$

Если эти выражения для заряда (7.44) подставить в (7.43) для значений энергий электрона, то получим выражения для энергии как в (7.38), соответствующие проекциям орбиты, которые имеют вид:

$$E_x = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \cdot \frac{n_x}{n}, \quad (9.32,а)$$

$$E_y = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \cdot \frac{n_y}{n}, \quad (9.32,б)$$

$$E_z = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2} \cdot \frac{n_z}{n}. \quad (9.32,с)$$

Таким образом, нам удалось найти функцию для адекватного описания пребывания электронов в атоме с использованием интегральной системы координат. При этом найдено решение волнового уравне-

ния для определения состояния электронов в многозарядных атомах, в соответствии с разрешенными сочетаниями определенных квантовых чисел. Как показали наши исследования, разрешенные сочетания квантовых чисел дают полный набор энергетических состояний с указанием позиций электронов в атоме, которые полностью согласуются с данными Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Положительное же решение волнового уравнения для описания состояния электронов в многозарядных атомах еще раз доказывает адекватность предложенной интегральной системы координат потенциальных сфер и волновой функции физической реальности.

В гл. 8 мы предположили, что структура электронной оболочки атома адекватна структуре его ядра. В таком случае полученное решение уравнения Шредингера справедливо и для описания пребывания протонов в ядре атома.

В то же время найденные нами (гл. 8) разрешенные сочетания квантовых чисел, которые являются условиями решения волновой функции, описывающей пребывание заряженных квантовых частиц в атоме, могут соответствовать не всем фактическим позициям электронов и протонов в атоме, а только каждой второй из их спиновой пары орбиталей. Поэтому в следующей главе мы рассмотрим возможные причины такой ситуации в условиях взаимодействия электронной оболочки и ядра атома.

Формирование пространственно-динамической структуры ядра атома

На основе установленных нами закономерностей пространственного распределения электронов и протонов в атоме построим пространственно-динамическую структурную модель ядра атома, а значит, и его электронной оболочки, поскольку, как было показано ранее, протоны и электроны атома на соответствующих оболочках имеют единый принцип распределения, позиции которых взаимно обусловлены. Ядерная оболочка атома, кроме протонов, содержит и нейтроны, что в целом будет влиять на распределение их позиций на оболочке орбиталей ядра, а это, в свою очередь, — на распределение позиций электронов на соответствующих оболочках орбиталей атома. Поэтому вначале, рассмотрим условия образования систем из протонов и нейтронов на оболочках орбиталей и затем на основе этого — формирование пространственно-динамической структуры ядра атома. Очевидно, что найденная пространственно-динамическая структура ядра будет отвечать и структуре электронной оболочки атома.

10.1 Ядерная трансформация электронов и протонов

Система распределения электронов и протонов в атоме, рассмотренная в гл. 8, соответствует Периодической системе элементов Д.И. Менделеева, но, как вытекает из табл. 8.3, 8.4, при их количестве в два раза больше, чем для данных этой системы. Если общее количество электронов и протонов атома вычислять с учетом их количества в составе нейтронов атома, то кажущегося избытка нет. Отсюда можно предположить, что избыточная половина протонов и электронов в атоме может трансформироваться с образованием нейтронов ядра. Такая трансформация может быть неизбежной, если в результате ее атом перейдет из менее устойчивого в более устойчивое состояние. Для прояснения этого вопроса рассмотрим условия образования атомов, которые могли бы быть созданы в процессе образования космических тел (звезд).

Представим себе, что в космосе на каком-то этапе сжатия водородной туманности в ее ядре, которое формируется в ядро будущей звезды, возникают условия образования атомов из сгустка протонов и электронов. Очевидно, что сгустки протонов в условиях сильного электромагнитного гравитационного сжатия должны вступать между собой

в ядерные реакции и образовывать ядра, а также параллельно формировать электронные оболочки атомов.

Пусть в первоначальный момент электронная и ядерная оболочки атома заполнены, согласно разрешенным сочетаниям квантовых чисел, в соответствии с данными табл. 8.3 и 8.4. Как было установлено ранее, энергетические состояния и позиции электрона и протона в атоме должны быть адекватны друг другу. А это значит, что заполнение соответствующих электронной и ядерной оболочек атома должно происходить по единому принципу.

Как нами было показано, одноименные заряды на электронной и ядерной оболочках атома сгруппированы по принципу плотной упаковки, а их орбитали на них вращаются в одну и ту же сторону. Такая компоновка оболочек орбиталей атома соответствующими зарядами не может быть устойчивой. Например, если две круглые материальные частицы соприкасаются друг с другом, то они будут противодействовать их вращению в одну и ту же сторону, а одноименные магнитные моменты этих частиц будут выталкивать их из оболочки орбиталей. Это обстоятельство мы не учитывали при составлении уравнений орбитального движения квантовых частиц в условиях потенциального поля в интегральной системе координат. Таким образом, наша гироскопически нейтральная система электронов и протонов атома в таких условиях может быть неустойчивой. В то же время в недрах звезд при усиливающемся гравитационном и электромагнитном давлении могут создаваться условия, когда становится выгодным вытеснение каждого второго электрона из всех спиновых пар s , p , d и f -орбиталей и последующее поглощение их протонами на соответствующих орбиталях оболочек ядер атомов с образованием нейтронов. Тогда у электронных и ядерных s , p , d и f -оболочек атома количество электронов и протонов, согласно табл. 8.3 и 8.4, станет в два раза меньше и придет в соответствие с современными данными Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. При этом в ядре атома появятся нейтроны, количество которых соответствует количеству поглощенных ядром атома электронов. Позиции этих нейтронов в ядре будут соответствовать состояниям каждого второго протона по разрешенным сочетаниям квантовых чисел.

Напоминаем, что в табл. 8.3 и 8.4 для этих новых условий позиции сочетаний квантовых чисел для протонов выделены «жирными» знаками, а позиции нейтронов — обычными. Для электронной оболочки атома сочетания с «жирными» знаками определяют позиции электронов, а обычными — обозначают их отсутствие.

Не углубляясь в детали, можно предположить, что те позиции, которые освободились вследствие поглощения электронов протонами ядра, могут быть заняты нейтринами, т.е. «нейтральными» электро-

нами, точно так же, как нейтроны в ядре занимают позиции протонов. Такие нейтрино могут быть вечными спутниками электронов и отделяться от них только при поглощении электронов протонами ядра.

Необходимо отметить, что распределения протонов и электронов в атоме взаимно обусловлены и адекватно отражают состояния и позиции друг друга по идентичным сочетаниям квантовых чисел. Очевидно, что взаимодействие протонов с нейтронами в ядре атома также влияет на состояние и позиции электронов на соответствующих оболочках атома.

Рассмотрим возможную трансформацию оболочек орбиталей, а также образование энергии связи между нуклонами в этих новых условиях ядерной конверсии более подробно.

Очевидно, что после ядерной конверсии части протонов в нейтроны в ядерной оболочке атома протоны и появившиеся нейтроны образуют систему единых частиц из дейтронов. Рассмотрим возможный характер взаимодействия протонов с нейтронами с образованием дейтронов.

В отличие от протона, нейтрон является электрически нейтральной частицей, но с отличным от нуля моментом количества движения и магнитным моментом. Как известно, собственный спин у нейтрона, так же, как и у протона, равен $1/2$, а магнитный момент у него, в отличие от протона, отрицателен и равен $\mu_n = [-1,9131148 \pm 0,000066] \mu_o$. При этом магнитный момент протона равен: $\mu_p = [+2,792763 \pm 0,000030] \mu_o$, где μ_o — так называемый ядерный магнетон.

Заметим, что соотношение магнитных моментов протона и нейтрона $K_\mu = \mu_p / \mu_n = 1,459774$, что приблизительно равно среднему соотношению количеств нейтронов и протонов в ядре атома. Например, если в ядре атома ксенона соотношение нейтронов и протонов равно 1.43, то это соотношение в ядре атома радона равно 1.58, а в ядрах трансурановых элементов — около 1.5. Это наводит на мысль о том, что одной из причин преобладания нейтронов в атоме может быть необходимость компенсации суммарного избыточного магнитного момента протонов отрицательным магнитным моментом избыточного количества нейтронов.

Если сумма магнитных моментов протона и нейтрона равна:

$$\mu_p + \mu_n = (2,79255 - 1,91280) \mu_o = 0,87975 \mu_o,$$

то магнитный момент дейтрона, определенный из опыта [12, с. 88],

$$\mu_d = 0,85735 \mu_o,$$

что близко к сумме магнитных моментов протона и нейтрона. Для того, чтобы нейтрализовать такой положительный магнитный момент дейтрона, необходимо следующее количество нейтронов:

$$N_n = \mu_d / \mu_n = \frac{0,85735}{1,91280} = 0,4482.$$

В этом случае на один протон приходится 1,4482 нейтрона, что близко к полученному нами ранее значению соотношения нейтронов и протонов по их магнитным моментам. Заметим, что значения магнитных моментов протона и нейтрона, в зависимости от значения магнитного квантового числа, могут быть разными, но изменения их магнитных моментов будут пропорциональны, и поэтому соотношение этих величин останется постоянным.

Рассмотрим возможное распределение магнитных моментов у пары нуклонов протон-нейтрон, т.е. у дейтрона. По полученным в последние годы экспериментальным данным, в центре нейтрона находится практически весь положительный, а на периферии с некоторой внешней прослойкой положительного заряда распределен отрицательный заряд [12, с. 85]. При этом знак магнитного момента нейтрона определен отрицательным зарядом.

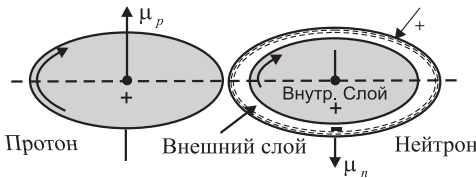


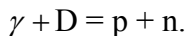
Рис. 10.1. Схема образования пары протон-нейтрон

На рис. 10.1 приведена возможная схема образования пары протон-нейтрон, т.е. дейтрона. Устойчивость собственного вращения такой пары в одной плоскости в атоме, вероятнее всего поддерживают гироскопические силы, обусловленные соответствующей ориентацией их орбит.

Как показано на рис. 10.1, внешним слоем у нейтрона с небольшой прослойкой положительного заряда имеет, в основном, отрицательный заряд, а внутренний слой — положительный. Этот внутренний положительный заряд нейтрона, составляющий основную массу, вращается в одном направлении со своим партнером в дейтроне — протоном. При этом магнитные моменты внешнего и внутреннего слоев нейтрона ориентированы на противоположные стороны. Заметим, это чисто условное рассмотрение природы связи протона и нейтрона в дейтроне, т.к. если дейтрон рассматривать как единую частицу, то его электрон может равной степени принадлежать обоим протонам.

В силу того, что в нейтроне магнитный момент электрона доминирует, в целом магнитный момент у нейтрона имеет отрицательное значение. Поэтому в дейтроне магнитные моменты противоположного

знака, принадлежащие протону и нейтрону, создают силы взаимного притяжения (энергию связи). Если облучать дейтрон D γ -лучами, то при определенном значении энергии γ -лучей он распадется на протон и нейтрон:



Минимальная энергия γ -квантов, при которой идет реакция, $E_\gamma = 2,23$ Мэв [12, с. 86]. Очевидно, что величина E_γ и определяет энергию связи протона и нейтрона в дейтроне. Эта энергия сравнительно велика, поскольку энергия электростатического отталкивания протонов, например в ядре гелия, составляет:

$$U_{кул} = \frac{e^2}{r} \cong \frac{(4,8 \cdot 10^{-10})^2}{2 \cdot 10^{-13} \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} \approx 1 \text{ Мэв}.$$

Рассмотрим, как распределяются дейтроны на оболочке орбиталей. В гл. 8 было показано, что распределение протонов на оболочке орбиталей на основе их спиновой поляризации соответствует схеме заполнения, представленной на рис. 8.6. На оболочке орбиталей спиновая пара протон-протон расщеплена на всю ее ширину. При поглощении одним из них электрона из его электронной оболочки этот протон превращается в нейтрон. Это значит, что оставшийся протон потерял своего одноименного партнера по спиновой паре. Такое же обстоятельство с потерей партнера складывается и для электрона на соответствующей оболочке орбиталей. В таких условиях как на оболочке орбиталей протонов, так и на оболочке орбиталей электронов нарушается принцип распределения *заряженных* частиц по орбитальным спиновым парам, т.е. по орбитальному квантовому числу s_o . И действительно, в результате ядерной конверсии количество электронов и протонов на соответствующих оболочках орбиталей становится нечетным, что приводит к вынужденному распределению их по всей оболочке орбиталей равномерно, а не по спиновым парам, согласно орбитального квантового числа s_o .

Таким образом, структурное формирование ядерных и электронных оболочек атома имеет эволюционный характер. Если «теоретическое» распределение электронов и протонов в атоме осуществляется согласно двум спиновым квантовым числам s и s_o , то реальное распределение их после ядерной конверсии зависит только от спина s в выделенном направлении, при этом протоны и электроны на оболочке орбиталей распределяются равномерно.

Равномерное распределение заряженных квантовых частиц на оболочке орбиталей выгодно им как с позиции одноименно заряженных частиц, так и с точки зрения образования оболочек орбиталей с суммар-

ным нулевым моментом количества движения. К тому же, в этом случае на оболочке орбиталей протонов образовавшиеся нейтральные частицы — нейтроны окажутся между протонами и создадут энергетически выгодную единую магнитную связь по круговой линии оболочки.

На рис. 10.2 представлена равномерная схема заполнения p -оболочки ядра атома орбиталями протонов и нейтронов при значении орбитального квантового числа $l = 1$. Здесь гироскопически нейтральные пары протон-протон и нейтрон-нейтрон образованы только в выделенном направлении.

На рис. 10.2 для упрощения восприятия показаны проекции орбиталей только в выделенном направлении без их наклонов, а стрелками обозначены общие направления вращения протонов и нейтронов на оболочке орбиталей.

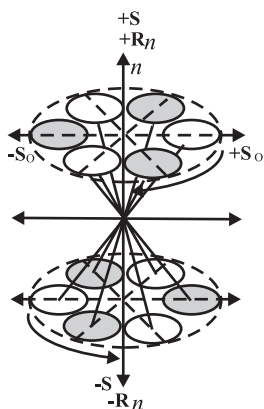


Рис. 10.2. Схема заполнения p -оболочки спиновыми парами орбиталей дейтронов

Как видно из рис. 10.2, на p -оболочке позиции орбиталей протонов и нейтронов чередуются между собой, что приводит к образованию пар протон-нейтрон на плоскости оболочки по ее радиальной линии, которые могут выступать как дейтроны. А каждый из этих дейтронов, в свою очередь, имеет спиновую пару в выделенном направлении. Эта спиновая пара дейтронов представляет из себя как бы единую частицу с магнитной связью всех четырех нуклонов.

Как показано на рис. 10.2, протоны и нейтроны располагаются на p -оболочке на удалении от оси выделенного направления, чередуясь друг с другом по круговой линии, что в условиях сильного электромагнитного и гравитационного давления в недрах звезд способствует созданию единой системы магнитных связей нуклонов по окружности орбитальной оболочки. В этом случае на оболочке орбиталей создается сплошное кольцо цепи дейтронов. Таких одинаковых колец оболочек орбиталей с центрами по оси выделенного направления два, а орбитали в них образуют между собой спиновые пары также в выделенном направлении. Тогда условно можно считать, что эти кольца, ориентированные между собой спиновыми парами орбиталей, образуют условную спиновую пару в выделенном направлении. На рис. 10.2 такая спиновая пара колец принадлежит спиновой паре оболочек p -орбиталей. При

фиксированном значении общего квантового числа n можно вычлениТЬ в выделенном направлении спиновую пару семейства s , p , d и f -оболочек (электронного слоя) и т.д.

Таким образом, орбитали, распределенные в ядре по спиновым парам, объединены в более крупные — иерархически организованные условные спиновые пары.

Этот иерархический порядок образования спиновых пар в выделенном направлении имеет следующую последовательность:

- спиновые пары орбиталей;
- спиновые пары оболочек орбиталей;
- спиновые пары семейства s , p , d и f -оболочек на данном энергетическом уровне или электронном слое, в соответствии с фиксированным общим квантовым числом n в выделенном направлении;
- конечная спиновая пара энергетических уровней или слоев всего набора общего квантового числа n .

В конечном счете, электронная и ядерная оболочки атома представляют собой по отдельности гантели гироскопически нейтральных условных спиновых пар, образованных по схеме, представленной на рис. 10.2.

Энергия связи нуклонов в кольце дейтронов. Как видно из рис. 10.2, на одной оболочке протон с нейтроном связываются между собой в шести точках соприкосновения. Таким образом, полностью заполненную оболочку орбиталей можно считать единой частицей, образованной из дейтронов, которые имеют на оболочке самое выгодное (наименьшее) энергетическое состояние. *Очевидно, что заполненная оболочка орбиталей на плоскости характеризуется наиболее энергетически выгодным состоянием, чем состояние двух незаполненных оболочек орбиталей в спиновой паре в выделенном направлении. А это значит, что при заполнении спиновой пары оболочек в выделенном направлении вначале возможно полное заполнение только одной из них, а затем уже другой.*

Энергия разрыва кольца дейтронов на оболочке орбиталей, созданного в условиях сильного гравитационного и электромагнитного давления в недрах звезды и представляющего собой магнитный «жгут», должна быть гораздо больше энергии связи между протоном и нейтроном в дейтроне. Кроме того, энергия разрыва кольца будет тем больше, чем больше дейтронов вмещает данная оболочка орбиталей, т.е. чем больше значение орбитального квантового числа l .

Если увеличение энергии связи в дейтроне с ростом величины орбитального квантового числа l связано с пропорциональным увеличением магнитного момента, то энергия локального разрыва кольца, большая по величине, чем энергия связи в отдельных дейтронах оболочки, требует некоторых пояснений.

Очевидно, что при одинаковых значениях орбитального квантового числа такая возросшая энергия связи проявляется себя только при нарушении целостности кольца, т.е. в момент его локального разрыва. Это происходит потому, что целостное кольцо дейтронов при этом распадается еще и на отдельные дейтроны, что сопровождается разрывом связей между ними при перераспределении энергий связей между нейтронами и протонами. А такой разрыв всех связей между дейтронами на оболочке орбиталей происходит потому, что магнитные моменты у них имеют один и тот же знак, что при отсутствии единой связи нуклонов по кольцу заставляет дейтроны отталкиваться друг от друга. В то же время в целостном кольце положительные магнитные моменты каждого из дейтронов объединяются в один общий магнитный момент, который нейтрализуется таким же объединенным магнитным моментом избыточных нейтронов ядра. А при локальном разрыве связей в магнитном «жгуте» в одно мгновение распадается вся система связей между дейтронами, что приводит к нарушению магнитной связи магнитного «жгута» с избыточными нейтронами. Очевидно, поэтому в таком кольце для разрыва одной связи между протоном и нейтроном необходимо затратить энергию, необходимую для разрыва связей между всеми дейтронами на оболочке орбиталей с учетом других магнитных связей оболочки. Иначе говоря, необходимо преодолеть такой потенциальный барьер при разрыве кольца магнитной связи, который преодолевается в недрах космических звездных тел при создании ядерной связи между нуклонами. Величина такого потенциального барьера увеличивается, если учитывать магнитную связь оболочек в их спиновой паре в выделенном направлении, а также между этими оболочками и избыточными нейтронами ядра атома. Очевидно, что в точке разрыва кольца дейтронов может проявляться эффект локальной мобилизации коллективной энергии связи дейтронов по всей оболочке орбиталей. Величина такой энергии может быть сравнима с величиной энергии образования всех дейтронов, входящих в это кольцо на оболочке орбиталей и может равняться половине этой энергии, поскольку при этом распадается половина всех связей между протонами и нейтронами в кольце. Например, если энергия магнитных полей протона и нейтрона создает энергию связи в дейтроне, то увеличение их количества, что соответствует более высоким значениям орбитального квантового числа l , будет способствовать возрастанию общей энергии связи между дейтронами. Как уже говорилось, энергия образования одного дейтрона равна $2,23 \text{ Мэв}$, и она соответствует энергиям магнитных полей нуклонов. При значении орбитального квантового числа $l = 3$ число нуклонов на оболочке орбиталей равно 14, а это значит, что энергия связи протонов и нейтронов на оболочке орбиталей дейтронов должна быть не менее $2,23 \cdot 7 \approx 15 \text{ Мэв}$. Тогда на связь

между дейтронами на оболочке приходится около 7 Мэв энергии связи, которую нужно преодолеть при разрушении кольца дейтронов на оболочке, как энергию потенциального барьера. Такая приложенная извне энергия потенциального барьера примерно соответствует средней величине энергии, необходимой для отрыва нуклона от ядра атома и, после разрушения оболочки, может излучиться в пространство в виде кванта энергии или вызвать излучение быстрых нейтронов, которые, в свою очередь, могут вызвать разрушение оболочек дейтронов в ядрах других атомов, что может привести к цепной реакции их распада.

Напомним, что такая сила потенциального барьера проявляется только в момент локального разрыва кольца магнитной связи на оболочке орбиталей. Возможно, отчасти поэтому эти силы можно идентифицировать ядерными силами, которые считаются короткодействующими, поскольку они действуют только в пределах целостного магнитного кольца дейтронов. Кроме этого, следует учесть и то, что нуклоны в ядре удерживают и гироскопические силы, которые действуют только в пределах атома, поэтому также являются короткодействующими.

Приведенные выше рассуждения в то же время требуют дальнейших уточнений и экспериментальных проверок, пока же они могут выступать в качестве ориентировочных данных.

Энергия связи нуклонов в ядре атома. Устойчивая во времени структурная ориентация спиновых пар в атоме возможна только благодаря тому, что они являются членами одной связанной гироскопической системы. В такой системе направление вращения одних пар влияет на направление вращения других таким образом, что, как указывалось выше, в масштабе всего атома образуется одна общая гироскопически нейтральная спиновая пара. Заметим, что для нуклонов ядра атома созданию такой гироскопически нейтральной системы способствуют и магнитные моменты вращающихся на орбиталях протонов и нейтронов. При этом у системы с отсутствующим гироскопическим эффектом суммарное значение момента количества движения должно быть равно нулю.

Таким образом, нейтральная гироскопическая система атома создается действием электростатических сил протонов и электронов атома. Эти протоны и электроны, находясь на стационарных орбиталях, создают в атоме электромагнитные силы, которые являются одним из факторов образования между нуклонами ядерных сил связи при определенной структурной организации ядра. Рассмотрим далее примерную структуру действия и баланс этих сил. При этом необходимо помнить, что, как говорилось ранее, протоны и электроны, соответственно, в ядерной и электронной оболочках атома модифицируют позиции друг друга. Можно предположить, что протоны испытывают такие же силы притя-

жения из центра ядра, какие испытывают электроны со стороны ядра атома.

Как известно, энергию связи E нуклона с ядром атома оценивают по величине энергии, которую надо затратить, чтобы удалить из ядра один нуклон, не сообщая ему кинетической энергии. Очевидно, что чем больше энергия связи E , тем устойчивее ядро. При малых значениях атомного веса A ядра величина энергии связи имеет аномально малую величину. Например, для трития (T_1^3) $E = 2,78$ Мэв. Далее величина E медленно возрастает до значения 8,5 Мэв при $A = 50$, затем до $A = 150$ остается приблизительно постоянной, после чего с увеличением A медленно падает, достигая для урана 7,4 Мэв [12, с. 38].

При более подробном рассмотрении проявления E , как функции A , обнаруживается, что энергия связи максимальна у четных ядер C_6^{12} , O_8^{16} , т.е. у ядер с четным числом протонов и четным числом нейтронов. Это обстоятельство указывает на особую прочность системы из нуклонов, число которых кратно четырем, т.е. кратно, соответственно, $2p$ и $2n$, что было отражено на рис. 8.4. Аналогичная структура со схемой

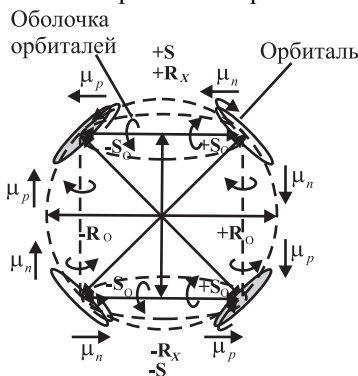


Рис. 10.3. Схема взаимодействия магнитных моментов протонов и нейтронов в спиновой паре дейтронов

действия магнитных моментов приводится ниже на рис. 10.3 в виде ячейки, полученной сочетаниями спиновых квантовых чисел $\pm s$ и $\pm s_o$. Эта ячейка из четырех нуклонов является составной частью спиновых пар оболочек орбиталей наиболее устойчивого ядра, у которого количество нуклонов кратно четырем.

На рис. 10.3 показаны направления магнитных моментов между протонами (темные орбитали) и нейтронами (светлые орбитали), которые образуют спиновые пары на орбитальной плоскости, а также в выделенном направлении. Как видно из рис. 10.3, протон и нейтрон в составе дейтрона расщеплены на всю ширину орбитальной оболочки. Как показывают направления магнитных моментов между нуклонами спиновой пары из дейтронов, в выделенном направлении и на плоскости орбиталей в структуре дейтрона существует магнитная связь, которая заставляет их сблизиться в обоих направлениях. Заметим, что это может привести к вращению всей оболочки.

Заметим, что сила магнитной связи в выделенном направлении между протоном и нейтроном имеет наибольшее значение при отклонении радиус-вектора орбитали от выделенного направления на 45° , при котором орбитальные квантовые числа оболочек орбиталей имеют максимально возможные значения.

Таким образом, дейтроны в ядре, как показано на рис. 10.3, обеспечивают магнитную связь между собой не только на оболочке орбиталей, но и в спиновой паре в выделенном направлении. Эти спиновые пары дейтронов, в состав которых входят два протона и два нейтрона, совместно с другими, образуют, в свою очередь, спиновую пару оболочек орбиталей в выделенном направлении, как показано на рис. 10.2.

10.2. Пространственная модель ядра атома

Размеры орбиталей и их оболочек. Оценим пространственное распределение орбиталей нуклонов, например, в ядре с учетом их размеров, согласно значениям общего n и при его фиксированном значении орбитального l квантовых чисел, а также квантового числа проекции орбиты в выделенном направлении n_x . Для этого воспользуемся данными табл. 8.3 и 8.4, где приведены разрешенные сочетания квантовых чисел, определяющих состояния нуклонов в ядре атома. Для того, чтобы проследить за возможными изменениями найденной пространственной структуры в результате ядерной конверсии части протонов и электронов с образованием нейтронов, необходимо найти теоретические размеры s , p , d и f -оболочек, соответствующих разным значениям общего квантового числа n , после чего оценить вместимость оболочек соответствующих орбиталей протонов. Конечно же, такая теоретическая оценка пространственных характеристик может быть только ориентировочной, поскольку пока мы не в состоянии учесть все факторы, которые действуют в атоме. Однако эти данные помогут отыскать приемлемую пространственную модель атома, максимально приближенную к физической реальности.

В гл. 8 было показано, что в результате гироскопического эффекта координаты центра орбиталей на потенциальной сфере определяют координаты проекций радиус-вектора орбиты. Тогда координаты орбиталей, соответствующие определенному энергетическому уровню, согласно значению главного квантового числа n , найдем в соответствии с (7.46), по радиусам проекций произвольно ориентированной орбиты. Выражения для них, например, имеют вид:

$$r_x = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \sqrt{n_x n^3} = C \sqrt{n_x n^3},$$

$$r_y = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \sqrt{n_y n^3} = C \sqrt{n_y n^3},$$

и

$$r_z = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \sqrt{n_z n^3} = C \sqrt{n_z n^3}.$$

Для удобства расчетов постоянный коэффициент C в этих выражениях перед квадратными корнями примем равным единице. Тогда наши выражения преобразуются к виду:

$$r_x = 1 \cdot \sqrt{n_x n^3}, \quad r_y = 1 \cdot \sqrt{n_y n^3}, \quad r_z = 1 \cdot \sqrt{n_z n^3}. \quad (10.1)$$

С учетом того, что, согласно выражению (7.35,с), орбитальное квантовое число может принимать значения $l = n_y + n_z$, выражения для r_y и r_z в случае определения радиусов оболочек орбиталей обратятся в:

$$r_l = 1 \cdot \sqrt{l \cdot n^3}. \quad (10.2)$$

Здесь орбитальный радиус-вектор лежит на плоскости координатной линии X , т.е. на плоскости проекции орбиты в выделенном направлении, параллельная проекция которого на поверхность потенциальной сферы указывает на точную позицию орбитали. А согласно (7.35,с), разрешенные сочетания квантовых чисел n_y и n_z определяют позиции орбиталей на поверхности потенциальной сферы по линии окружности с радиусом r_l , плоскость которой параллельна проекции орбиты в выделенном направлении.

Для того, чтобы оценить, сколько орбиталей может вместить оболочка орбиталей, радиус r_l которой вычислен по равенству (10.2), необходимо найти размеры орбиталей, плоскости которых лежат на плоскости оболочек. К таким орбиталям относятся орбитали проекции орбиты в выделенном направлении. Значит вначале следует по выражению (10.1) найти радиус проекции орбиты в выделенном направлении r_x , а затем — соответствующий этой проекции орбиты радиус орбитали r_{cx} , который, в соответствии с (7.15), должен быть равен:

$$r_{cx} = r_x / n. \quad (10.3)$$

Теперь, когда нам известны выражения для нахождения радиуса оболочки орбиталей и радиуса самой орбитали, мы можем приступить (с хорошим приближением) к оценке количества N целых орбиталей, вмещающихся в оболочку по линии ее окружности. Для оценочного расчета достаточно поделить длину полуокружности оболочки орбиталей на найденный радиус проекции орбиталей, занимающих эту оболочку. Таким образом, целое количество орбиталей на оболочке находим по соотношению:

$$N = \pi r_l / r_{cx}. \quad (10.4)$$

На рис. 10.2 представлена схема спиновой пары, полностью заполненной орбиталями p -оболочки. Пример расчета для одной из них при $n = 2$ приведем ниже. Согласно выражению (8.4), для радиуса орбиты выполняется соотношение $r_n = Cn^2$, где коэффициент $C = 1$, как мы ранее условились. По этому соотношению при $n = 2$ радиус произвольной ориентированной орбиты равен 4. Далее по выражению (10.1) при $l = 1$ находим радиус оболочки орбиталей $r_l = \sqrt{1 \cdot 2^3} = 2,83$ и значение радиуса проекции орбиты в выделенном направлении $r_x = 2,83$. Тогда, согласно выражению (10.3), радиус орбитали $r_{cx} = 1,415$. Таким образом, количество орбиталей, т.е. нуклонов на p -оболочке при $l = 1$, по расчетным данным, согласно (10.4), равно $N = 6$, что соответствует теоретическим данным табл. 8.3. В ядре это количество орбиталей соответствует 3 протонам и 3 нейтронам на p -оболочке.

Значение радиуса орбиты r_n можно вычислить по значению радиуса проекции орбиты в выделенном направлении, $r_x = 2,83$, и по значению радиуса оболочки орбитали, $r_l = 2,83$. Тогда, согласно (7.17) и (7.18), найдем по соотношению $r_n = \sqrt{r_x^2 + r_l^2} = \sqrt{2,83^2 + 2,83^2} = 4$, что соответствует значению, найденному по (8.4). Таким образом, значения радиуса орбиты, найденные двумя разными способами, совпадают. Это еще раз доказывает справедливость выражения (7.46) для нахождения величин радиусов проекций орбиты.

В таблице 10.1 сведены результаты расчетов количества орбиталей, т.е. нуклонов N , которые могут размещаться на s , p , d и f -оболочках, согласно значениям общего квантового числа n .

Как видно из табл. 10.1, до значения общего квантового числа n , равного четырем, размеры p -оболочек вмещают столько орбиталей нуклонов, сколько имеется разрешенных сочетаний, в соответствии с данными табл. (8.3), (8.4). Применительно к ядру атома в условиях конверсии части протонов в нейтроны это количество орбиталей на p -оболочке точно соответствует количеству протонов и нейтронов, как показано на рис. 10.2. Однако с повышением значений общего квантового числа n размеры оболочек орбиталей позволяют вмещать больше орбиталей, чем теоретическое количество N_T разрешенных сочетаний.

С учетом ядерной конверсии части протонов в нейтроны, с образованием на оболочке орбиталей единой связки дейтронов размеры этих оболочек могут существенно измениться. Кроме того, при конвер-

сии части протонов в нейтроны заряд ядра в целом уменьшится в два раза, что также может повлиять на размеры оболочек орбиталей.

Таблица 10.1

Результаты расчета количества нуклонов на *s*, *p*, *d* и *f*-оболочках

Значения показателей							
<i>n</i>	Орбита- ли	<i>l</i>	r_l	r_x	r_{cx}	<i>N</i>	N_T теор.
1	S	0	0	1	1	–	
2	S p	0	0	4	2	–	–
		1	2,83	2,83	1,415	6	6
3	<i>s</i> <i>p</i>	0	0	9	3	–	–
		1	5,20	7,34	2,45	6	6
4	<i>s</i> <i>p</i> <i>d</i>	0	0	16	4	–	–
		1	8,00	13,70	3,43	7	6
		2	11,30	11,30	2,83	12	10
5	<i>s</i> <i>p</i> d	0	0	25	5	–	–
		1	11,18	22,35	4,47	7	6
		2	15,82	19,36	3,88	12	10
6	<i>s</i> <i>p</i> <i>d</i> <i>f</i>	0	0	36	6	–	–
		1	14,7	32,86	5,48	8	6
		2	20,78	29,40	4,90	13	10
		3	25,45	25,45	4,24	18	14
7	<i>s</i> <i>p</i> <i>d</i> <i>f</i>	0	0	49	7	–	–
		1	18,50	45,35	6,50	8	6
		2	26,20	41,40	5,92	13	10
		3	32,07	37,07	5,30	18	14

Необходимо заметить, что в дейтроне орбитали протона и нейтрона могут перекрываться и размер дейтрона может быть меньше суммарных размеров протона и нейтрона в отдельности. Поэтому представленные размеры оболочек орбиталей могут рассматриваться только как ориентировочные и оценочные. Для нас важно, что расчетные размеры оболочек вначале совпадают, а затем только незначительно отличаются в сторону увеличения по количеству вмещаемых в них орбиталей протонов и нейтронов. Тогда можно предположить, что эти лишние позиции оболочек могут занять избыточные нейтроны. Но, с учетом того,

что связки дейтронов на оболочке орбиталей образуют единую энергетически выгодную систему, эти оболочки орбиталей ядра могут заполнять только дейтроны.

В условиях ядерной конверсии протоны на оболочках орбиталей должны занимать строго определенные позиции, стремясь распределяться на них равномерно, как показано на рис. 10.2. А с учетом того, что протоны и электроны моделируют позиции друг друга, то и электроны на соответствующих электронных оболочках орбиталей атома должны занимать строго определенные места, стремясь распределяться на них также равномерно.

На рис. 10.4 приведен продольный разрез ядра атома ксенона с пространственным распределением нуклонов, согласно значениям общего n и орбитального l квантовых чисел по расчетным данным табл. 10.1 (схема А), а также после конверсии части протонов в нейтроны (схема Б). Здесь светлым кругам соответствуют s -орбитали, на которых, согласно данным табл. 8.3, находятся по два нуклона, серым — p -орбитали, а темным — d -орбитали.

Как видно из рис. 10.4 (схема А), при фиксированном общем квантовом числе n орбитали протонов и нейтронов расположены по линии окружности симметрично относительно выделенного направления, согласно спинового квантового числа s , которое формирует магнитное квантовое число m реального атома, равное:

$$m = \pm s \cdot l = \pm l. \quad (10.5)$$

Таким образом, соотношение для магнитного квантового числа (10.5) подтверждает наше предположение, допущенное в гл. 8 относительно (8.17). На этой схеме, выполненной в масштабе пропорционально реальным размерам, показан только продольный разрез орбиталей в выделенном направлении, но, тем не менее, на уровне четвертого периода при $n = 4$ часть оболочек p и d -орбиталей протонов перекрываются. Поэтому, в том числе и по этой причине, такое распределение протонов в атоме может быть неустойчивым, что приводит к дальнейшей конверсии части протонов в нейтроны.

На схеме Б (рис. 10.4) показано пространственное перераспределение нуклонов на плоскости оболочек s , p и d -орбиталей после конверсии второй половины спиновых пар протонов в нейтроны. На схеме показаны только проекции орбиталей в выделенном направлении.

На оболочках s -орбиталей, как уже говорилось, протон и нейтрон занимают позиции на одной общей орбитали, но имеют противоположные значения фазы, $\pm f_0$.

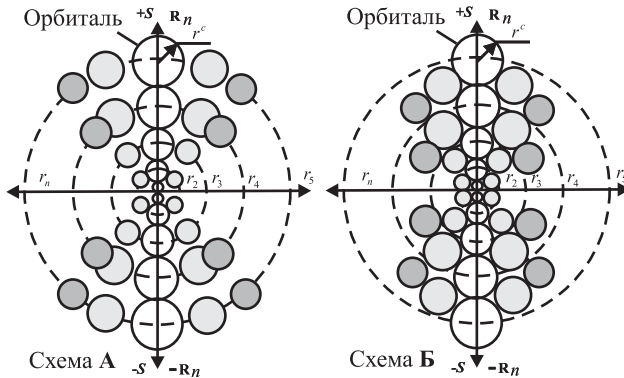


Рис. 10.4. Разрез пространственного рапределения нуклонов атома ксенона по расчету (схема А) и после ядерной конверсии протонов в нейтроны (схема Б)

Как видно из рис. 10.4 (схеме Б), радиус оболочек орбиталей уменьшился, вследствие образования на них дейтронных пар по ширине оболочки, в которых протоны и нейтроны имеют магнитную связь. Оболочки орбиталей дейтронов стали иметь и меньшую проекцию радиус-векторов орбиталей в выделенном направлении, т.е. они стали ближе к центру ядра, поскольку спиновая пара дейтронов имеет магнитную связь и в выделенном направлении, как показано на рис. 10.3. К тому же, в условиях существования магнитной связи между нуклонами их оболочки орбиталей начнут сжиматься как на орбитальной плоскости, так и по спиновым парам оболочек орбиталей в выделенном направлении. В итоге все нуклоны в ядре станут занимать позиции по принципу плотной упаковки.

Таким образом, конверсия части протонов в ядре атома в нейтроны приводит к структурной перестройке атома с формированием энергетически выгодной динамической структуры ядра, когда взаимное отталкивание протонов в спиновой паре не только устраняется, а наоборот, усиливается в результате возникновения дополнительной магнитной связи между протоном и нейтроном при образовании дейтрона. В предложенной динамической структуре ядра орбитали протонов и нейтронов занимают позиции по принципу плотной упаковки в энергетически выгодных условиях.

На рис. 10.4 (схема Б) представлена плотная упаковка орбиталей нуклонов с расчетными размерами их проекций в выделенном направлении, которая моделирует ядро атома ксенона.

Размеры проекций орбиталей в выделенном направлении уменьшаются с ростом соответствующих значений орбитального квантового числа. В то же время реальные размеры орбиталей, как и размеры s -орбиталей, соответствуют значению общего квантового числа данного энергетического уровня орбит.

Плотная упаковка орбиталей протонов и нейтронов происходит, в соответствии с их реальными размерами, по принципу, как-будто бы они имеют объем шара. Мы знаем, что орбитали представляют собой круговые траектории вращения квантовых частиц на плоскости. С учетом того, что они магнитны и имеют заряд, частицы могут вести себя как шар, что было показано нами в гл. 8.

С учетом вышеизложенного на рис. 10.5 представлен продольный разрез расчетного (схема А) и реального (схема Б) пространственного распределения нуклонов ядра атома с *размерами* орбиталей, представляющих шар, в масштабе.

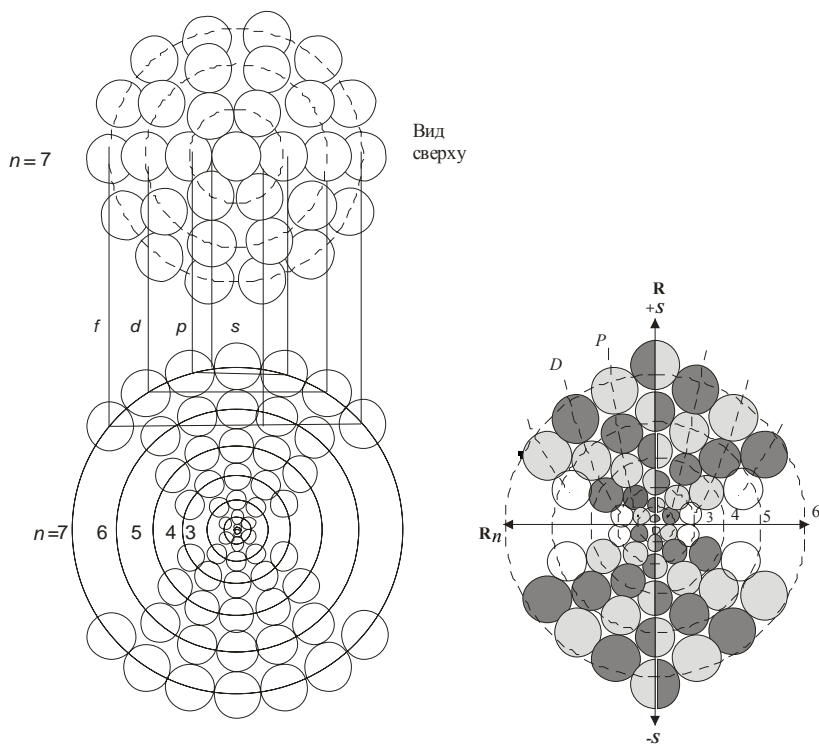


Рис. 10.5. Расчетное распределение нуклонов в ядре атома при $n = 7$ (схема А) и продольный разрез ядра на примере реального атома радона (схема Б)

На схеме А нуклоны расположены, согласно расчетным координатам. Как показывает вид сверху продольного разреза расчетного ядра (А), орбитали энергетического уровня при $n=7$ на d и f -оболочках между собой имеют зазоры, что в реальном атоме приводит к сужению радиуса оболочки. И, как видно на схеме Б, оболочки орбиталей атома радона деформированы. Здесь темными кругами обозначены орбитали протонов, серыми — нейтронов в спиновой паре с протонами, а светлыми — свободных избыточных нейтронов. Чтобы показать, что s -орбиталь является единой орбиталью одновременно для протона и нейтрона, условно примем, что одна половина этой орбитали, соответствующая одной фазе орбиты, имеет темный цвет, а другая — серый. Пунктирными кривыми, проходящими через центры орбиталей на равном удалении от оси выделенного направления, выделены границы оболочек орбиталей с их обозначениями.

Как видно из рис. 10.5, ядро атома радона состоит из двух симметричных половинок, каждая из которых образована наслоившимся друг на друга набором оболочек орбиталей разных уровней (слоев). Причем на каждом из уровней n на всех s , p , d и f -оболочках нуклоны представляют орбитали единого размера.

Необходимо заметить, что при данном значении общего квантового числа n оболочки s -орбиталей, в отличие от оболочек p , d и f -орбиталей, занимают позиции, удаление которых от центра ядра немного больше, чем величина расчетного радиуса орбиты (обозначенной пунктирными линиями), в соответствии со значением общего квантового числа. Это связано с тем, что все s -орбитали с одноименными зарядами и магнитными моментами одного знака выстроены точно по оси выделенного направления, что способствуют более интенсивному взаимному их отталкиванию в радиальном направлении, чем на других оболочках орбиталей. Кроме того, s -орбитали находятся в центральной части выделенного направления, и поэтому они, вследствие гироскопического эффекта, испытывают сжимающее действие соседних оболочек между орбитальными разными уровнями, а это, в свою очередь, способствует увеличению зазора между соседними уровнями s -орбиталей.

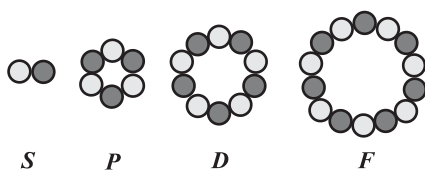


Рис. 10.6. Схема заполнения s , p , d и f -оболочек орбиталей

Как уже отмечалось, на оболочках нейтроны и протоны объединены в дейтроны, а те уже создают между собою единую орбитальную сеть по окружности этих оболочек.

На рис. 10.6 представлены схемы s , p , d и f -оболочек с нуклонами, распределенными рав-

номерно по окружностям этих оболочек.

Как показано на рис. 10.6, такая плотная упаковка орбиталей протонов и нейтронов на оболочке создает единую кольцевую связку дейтронов, количество которых соответствует данным табл. 8.3 и 8.4, а также Периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

Заметим, что электромагнитное сужение оболочки из дейтронов может привести к вращению оболочек орбиталей в целом, а также и соответствующих оболочек орбиталей электронов атома.

Таким образом, с использованием интегральной системы координат при учете гироскопического эффекта нам удалось построить наглядную модель структуры ядра атома, которая соответствует и структуре его электронной оболочки. Предложенная динамическая структурная модель ядра, одновременно и электронной оболочки атома, не противоречит современным положениям квантовой механики и дает логическое объяснение многим феноменальным физическим фактам, проявляющимся в микромире.

10.3. Роль и место избыточных нейтронов в ядре атома

Как известно, в ядре атома соотношение количеств нейтронов и протонов больше единицы и, как уже упоминалось, это соотношение в среднем близко к соотношению величин магнитных моментов протонов и нейтронов, равному $K_\mu = \mu_p/\mu_n = 1,459774$. Можно предположить, что избыточное количество нейтронов в ядре атома вызвано необходимостью компенсации суммарного избыточного магнитного момента протонов ядра. В таком случае избыточные нейтроны в атоме должны иметь «свои места», согласно принципу гироскопической и суммарной магнитной нейтральности ядра атома в целом.

Ранее было установлено, что оболочки орбиталей ядра заполняются только дейтронами, образуя на ней единое кольцо связанных между собою нуклонов. Такое кольцо является как бы единым ядерным соединением и находится в энергетически выгодном состоянии. Как было также показано, распределение протонов ядра, в зависимости от *целочисленных* значений орбитального и главного квантовых чисел, подчиняется строго определенной закономерности, и отклонение осей их орбиталей от выделенного направления на 45° отвечает одному из самых устойчивых состояний атома. При этом отклонение орбиталей протонов больше, чем на 45° запрещено. Как видно из рис. 10.4, в пределах разрешенных сочетаний квантовых чисел все пространство ядра атома занято нуклонами по принципу их плотной упаковки. Однако, согласно данным табл. 8.1, при нечетных значениях общего квантового числа n заполнение оболочек орбиталей нуклонами при отклонении от выделен-

ного направления на 45° , несмотря на выгодность такого состояния, неполно, поскольку в этом случае главное и орбитальное квантовые числа, согласно (8.13) и (8.14), принимают дробные значения, что для них запрещено. В то же время для избыточных нейтронов действие такого запрета должно быть нестрогим, поскольку они электрически нейтральны. Тогда можно предположить, что главное и орбитальное квантовые числа избыточных нейтронов в этих условиях могут принимать дробные значения, кратные $1/2$. А это значит, что в ядре избыточные нейтроны, в первую очередь, будут занимать наиболее устойчивые позиции в пределах отклонения их орбиталей от выделенного направления на 45° при дробных значениях главного и орбитального квантовых чисел, запрещенных для протонов. Поэтому, по мере возрастания значений общего квантового числа n при его фиксированном значении главное и орбитальное квантовые числа для избыточных нейтронов, в первую очередь, будут иметь следующие разрешенные значения:

$$n_x = l = \frac{1}{2}; 1\frac{1}{2}; 2\frac{1}{2}; 3\frac{1}{2}; \dots; \frac{n}{2}. \quad (10.6,a)$$

Количество избыточных нейтронов при данном значении общего квантового числа должно регулироваться из необходимости нейтрализации ими избыточного положительного магнитного момента протонов ядра в целом. Таким образом, в ядре при фиксированном значении главного квантового числа n будут заполняться разрешенные состояния для избыточных нейтронов, в первую очередь, в соответствии с (10.6,a), а затем, в случае недостаточности их, на этих позициях для нейтрализации положительного магнитного момента протонов ядра начнут заполняться оболочки орбиталей избыточных нейтронов со значениями орбитального квантового числа при $l > n/2$. Это объясняется тем что, если у протонов ядра орбитальное квантовое число, согласно (8.14), может принимать значения в интервале $0 \leq l \leq n/2$, то у избыточных нейтронов — в интервале $n/2 \leq l \leq n$, т.е. они занимают те свободные позиции в ядре, которые не разрешены протонам в центральной части ядра, как показано на рис. 10.5.

Поскольку значения $l \leq n/2$ в ядре уже заняты дейтронами, то избыточные нейтроны в ядре распределены, в основном, согласно следующих разрешенных значений орбитальных КЧ:

$$l = \frac{n}{2}; \frac{n}{2} + 0,5; \frac{n}{2} + 1; \frac{n}{2} + 1,5; \frac{n}{2} + 2; \dots; n. \quad (10.6,b)$$

В общем случае, избыточные нейтроны могут занимать любые свободные места, соответствующие разрешенным значениям l , кратным $1/2$, от нуля до n .

Как уже было установлено, главное квантовое число n_x для избыточных нейтронов может принимать как целые, так и дробные значения, согласно (7.35,б), по соотношению:

$$n_x = n - l, \quad (10.7)$$

где n_x — значение главного квантового числа.

Так как избыточные нейтроны занимают центральную часть ядра, то главное квантовое число при фиксированном значении общего квантового числа n может принимать значения в интервале $0 \leq n_x \leq n/2$, т.е. при этом должно выполняться соотношение:

$$n_x = 0,5; 1; 1,5; \dots; n/2 \leq l. \quad (10.8)$$

Напомним, что и для избыточных нейтронов значения общего квантового числа n , соответствующие позициям избыточных нейтронов, также должны оставаться целочисленными.

На рис. 10.7 приведены продольные разрезы структур атомных ядер инертных газов с распределением избыточных нейтронов в центральной части ядра.

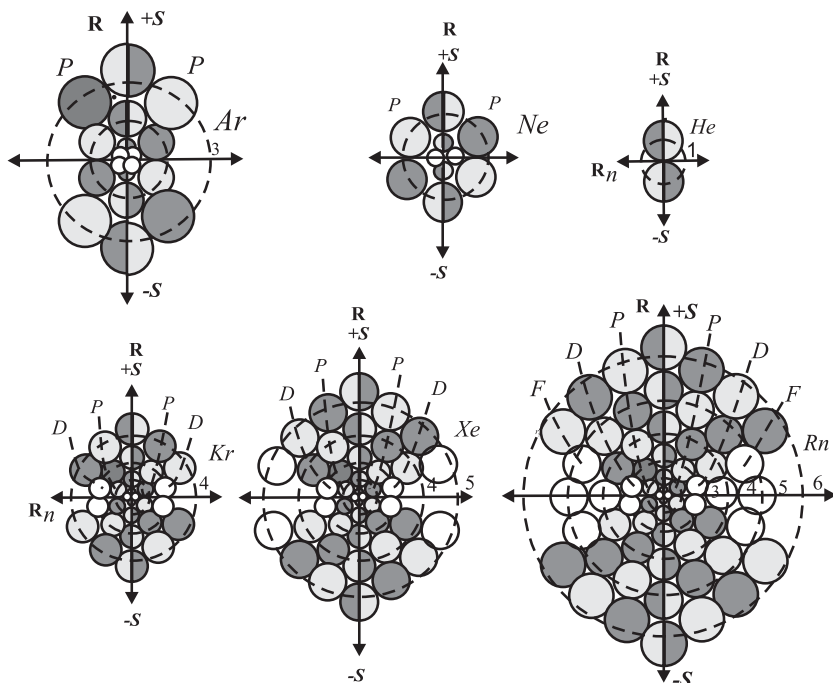


Рис. 10.7. Схема продольного разреза структурной модели ядер атомов инертных газов

Часть избыточных нейтронов в ядре радона распределена на орбитальных оболочках с меньшим значением главного квантового числа, чем разрешено для протонов. Такое распределение нейтронов в ядре возможно из-за их электрической нейтральности. В этом случае взаимодействие каждого избыточного нейтрона с ядром осуществляется не через центр атома, как в случае с протоном, а только через магнитные силы по периферии, как принципиально показано на рис. 10.3.

Очевидно, что избыточные нейтроны расположены в центральной части ядра симметрично по обе стороны от центра, создавая общую нейтральную гироскопическую систему. У такой системы суммарный отрицательный магнитный момент избыточных нейтронов нейтрализует суммарный положительный магнитный момент спиновых пар дейтронов ядра. А это создает дополнительную энергию связи между спиновыми парами атома, что способствует повышению его устойчивости в целом и гармонизации структурной динамики атома.

Вместе с тем, как показано на рис. 10.7, ядра атомов инертных газов с возрастанием их атомного веса содержат большее количество нейтронов, т.е. отношение количества избыточных нейтронов к количеству протонов в ядре тем больше, чем больше массовое число атома. Такую закономерность, видимо, можно объяснить тем, что у атомов с большим массовым числом больше протонов с более высокими значениями орбитальных квантовых чисел.

Известно, что у электронов с увеличением значения орбитального квантового числа может расти проявление внешнего магнитного момента. Очевидно это связано с тем, что большее значение орбитального квантового числа предполагает большее значение проекции магнитного момента в направлении, перпендикулярном к выделенному направлению, т.е. в направлении, не связанным с центром атома. А это создает необходимость нейтрализации такого периферийного магнитного момента магнитным моментом избыточного нейтрона, при котором повышается устойчивость ядра.

С учетом граничных условий, которые, согласно (10.6) и (10.8), накладываются на орбитальное и главное квантовые числа, и отвечающих состояниям избыточных нейтронов в ядре, рассмотрим заполнение ими ядра атома, учитывая также магнитное квантовое число m , согласно (10.5).

Итак, вначале проанализируем заполнение оболочек орбиталей избыточными нейтронами, для которых это происходит, в первую очередь, согласно (10.6, а), при нечетных значениях общего квантового числа, равных $n = 1, 3, 5, 7$.

Согласно (10.6б) и (10.8), при $n = 1$ главное квантовое число для нейтронов может принимать значения $n_x = 0; 1/2$, а орбитальное — $l =$

1/2; 1. Избыточные нейтроны, в первую очередь, будут занимать оболочку орбиталей, согласно (10.6,а), при $n_x = l = 1/2$. Значению орбитального квантового числа $l = 1/2$ соответствуют следующие сочетания квантовых чисел проекций орбит n_y и n_z :

$$(1/2 \ 0) (0 \ 1/2), N=2, \quad (10.9)$$

где N — количество сочетаний.

Таким образом, сочетания квантовых чисел проекций орбит n_y и n_z на одной оболочке орбиталей определяют две позиции нейтронов. Напомним, что в реальном атоме действие орбитального спинового квантового числа s_o , как было показано выше, аннулировано. Таким образом, при $n = 1$ реальное количество сочетаний квантовых чисел проекций орбиты на одной оболочке орбиталей соответствует (10.9) и равно двум, а в ядре, с учетом спина $\pm s$ в выделенном направлении, — четырем. Как видно из рис. 10.5, нейтроны могут занимать свободные позиции между уровнями при $n = 1$ и $n = 2$ до $1s$ -оболочек дейтронов.

При значении общего квантового числа $n = 3$ максимально возможное значение главного и орбитального квантовых чисел для избыточных нейтронов, согласно (10.6а), равно $n_x = l = 1,5$. Значению орбитального квантового числа $l = 1,5$ соответствуют возможные сочетания квантовых чисел n_y и n_z проекций орбиты вида:

$$(1,5 \ 0)(0 \ 1,5)(1 \ 0,5)(0,5 \ 1), \quad (10.10)$$

где количество сочетаний $N=4$.

Таким образом, при $n = 3$ количество разрешенных сочетаний на оболочке орбиталей для нейтронов равно четырем, а всего, с учетом спина в выделенном направлении, — восьми. Как видно из рис. 10.5, эти нейтроны могли бы занять позиции в центральной части ядра (указаны белыми кругами) при $n = 3$ между $3p$ и $3d$ -оболочками дейтронов.

При значении общего квантового числа, равном $n = 5$, максимально возможное значение главного квантового числа для избыточных нейтронов, согласно (10.6,а), равно $n_x = 2,5$, которому соответствуют орбитальное квантовое число $l = 2,5$ и сочетания квантовых чисел n_y и n_z следующего вида:

$$(2,5 \ 0)(0 \ 2,5)(2 \ 0,5)(0,5 \ 2)(1,5 \ 1)(1 \ 1,5), \quad (10.11)$$

где количество сочетаний $N = 6$.

Таким образом, при $n = 5$ количество разрешенных сочетаний на оболочке орбиталей для нейтронов равно шести, а всего, с учетом спина в выделенном направлении, — двенадцати. Как видно из рис. 10.5, эти

нейтроны могли бы занять позиции в центральной части ядра (указаны белыми кругами) при $n = 5$ между $5d$ и $5f$ -оболочками дейтронов.

При значении общего квантового числа, равном $n = 7$, максимально возможное значение главного квантового числа для избыточных нейтронов, согласно (10.6,а), равно $n_x = 3,5$, которому соответствуют орбитальное квантовое число $l = 3,5$ и сочетания квантовых чисел n_y и n_z следующего вида:

$$(3,5\ 0)(0\ 3,5)(3\ 0,5)(0,5\ 3)(2,5\ 1)(1\ 2,5)(2\ 1,5)(1,5\ 2), \quad (10.12)$$

где количество сочетаний $N = 8$.

Таким образом, при $n = 7$ количество разрешенных сочетаний на оболочке орбиталей для нейтронов равно восьми, а с учетом спина в выделенном направлении, — шестнадцати.

С учетом сочетаний квантовых чисел n_y и n_z , мы рассмотрели все возможные позиции избыточных нейтронов в ядре атома при отклонении осей их орбиталей от выделенного направления на 45° . Как было установлено, позиции, соответствующие приведенным сочетаниям квантовых чисел для избыточных нейтронов, заполняются в первую очередь, что осуществляется по мере необходимости для нейтрализации избыточного положительного магнитного момента протонов.

Однако количество избыточных нейтронов, занимающих возможные позиции в пределах 45° и заполняющихся в первую очередь, для нейтрализации всего избыточного положительного магнитного момента протонов может быть недостаточным. Тогда дальнейшее заполнение оболочек орбиталей избыточными нейтронами будет осуществляться уже вне пределов разрешенных состояний в выделенном направлении. И это будет происходить, согласно (10.6,а), в центральной части ядра при $l > n/2$, при котором угол отклонения осей орбиталей от выделенного направления больше 45° . При этом дальнейшее заполнение оболочек орбиталей будет осуществляться, начиная с низших значений общего квантового числа n . Рассмотрим заполнение избыточными нейтронами оболочек орбиталей в условиях, отмеченных выше.

После заполнения избыточными нейтронами всех разрешенных позиций в выделенном направлении, как показано на рис. 10.5, свободные позиции на оболочках орбиталей ядра остаются, начиная только со значения общего квантового числа, равного четырем.

При таком значении общего квантового числа ($n = 4$), максимально возможное значение для избыточных нейтронов равно $n_x = 1,5$, которому соответствует значение орбитального квантового числа, равное $l = 2,5$. Как мы определили ранее в соответствии с (10.11), при таком значении орбиталь-

ного квантового числа количество разрешенных сочетаний на одной оболочке $N = 6$, а на спиновой паре оболочек орбиталей — $N = 12$.

Следующий уровень заполнения будет для $n = 5$, при котором возможное значение орбитального квантового числа еще незаполненной оболочки равно $l = 3$. Как известно, такому значению орбитального квантового числа соответствует количество разрешенных сочетаний на спиновой паре оболочек орбиталей в выделенном направлении, равное $N = 14$.

При $n = 6$ возможное значение орбитального квантового числа еще незаполненной оболочки равно $l = 3,5$, которому, согласно (10.12), соответствует количество разрешенных сочетаний на спиновой паре оболочек орбиталей, равное $N = 16$.

С учетом приведенных здесь данных, рассмотрим возможные схемы распределения избыточных нейтронов на оболочках орбиталей ядер инертных газов. На рис. 10.7 представлены схемы заполнения оболочек орбиталей ядер инертных газов нуклонами. Очевидно, что очередность заполнения оболочек орбиталей избыточными нейтронами должна осуществляться по порядку, рассмотренному выше.

Электроны и дейтроны у атома гелия занимают $1s$ -орбитали. Как известно, у гелия имеется только один устойчивый изотоп с массовым числом 4. Это говорит о том, что у гелия избыточных нейтронов нет.

У изотопа неона с массовым числом 20, относительное содержание которого составляет примерно 90%, избыточные нейтроны тоже отсутствуют. Однако 8.8% изотопа неона имеют массовое число, равное 22, и, соответственно, он имеет 2 избыточных нейтрона, которые могли бы занять место, как показано на рис. 10.7, в центральной части ядра при значении главного и орбитальных квантовых чисел по $1/2$.

Изотоп аргона с массовым числом 40, относительное содержание которого чуть меньше 100 %, имеет четыре избыточных нейтрона, которые так же, как у неона распределены (как спиновые пары) в центральной части ядра между спиновыми парами оболочек $1s$ и $2p$ -орбиталей. При этом квантовые числа избыточных нейтронов аргона принимают следующие значения: общее квантовое число — $n = 1$; главное — $n_x = 1/2$; орбитальное — $l = 1/2$. Как указывалось выше, в соответствии с (10.9), количество разрешенных сочетаний для избыточных нейтронов в спиновой паре в выделенном направлении равно четырем, что соответствует количеству избыточных нейтронов наиболее устойчивого изотопа аргона.

Самый устойчивый изотоп криптона (показано на рис. 10.7) имеет массовое число 84. Это значит, что у его изотопа имеется 12 избыточных нейтронов, 4 из которых могли бы занять места таким же образом, как и в ядре аргона. А остальные восемь избыточных нейтронов, согласно (10.10), могли бы занять места при $n = 3$, $n_x = 1,5$ и $l = 1,5$ на про-

межучточной оболочке $3p$ и $3d$ -орбиталей, по четыре на оболочке орбиталей в их спиновой паре в выделенном направлении.

У следующего из инертных газов, ксенона, самый устойчивый изотоп с относительным содержанием около 26% и при количестве протонов в ядре 54 имеет массовое число 132. Это значит, что у изотопа криптона имеется 24 избыточных нейтрона, 4 из которых, согласно (10.9), могут занять места при $n = 1$ так же, как в ядре атома аргона, 8 — при $n = 3$, как в ядре атома криптона. А остальные 12 избыточных нейтронов, согласно (10.11), распределены по шесть штук на оболочке орбиталей в их спиновой паре в выделенном направлении при $n = 5$, $n_x = 2,5$ и $l_x = 2,5$.

У последнего из инертных газов — радона устойчивых изотопов нет, но его изотоп с массовым числом 222 имеет самое высокое относительное содержание, поэтому рассмотрим распределение избыточных нейтронов у этого изотопа. У него имеется 50 избыточных нейтронов, 24 из которых, так же, как и у ксенона, могут занять места на спиновых парах оболочек орбиталей при приведенных выше значениях квантовых чисел. У радона позиций для избыточных нейтронов, разрешенных в пределах выделенного направления (в пределах угла 45°), больше нет. Поэтому далее начинается заполнение центральной части ядра при $l > n/2$. Остальные 26 избыточных нейтронов распределены, согласно (10.11), по шесть на оболочке орбиталей в их спиновой паре (всего 12 шт.) при $n = 4$, $n_x = 1,5$ и $l_x = 2,5$; по семь на оболочке орбиталей в их спиновой паре (всего 14 шт.) при $n = 5$, $n_x = 2$ и $l_x = 3$. Отметим, что, как видно из рис. 10.7, в результате деформации спиновых пар оболочек орбиталей протонов и электронов в реальном атоме спиновые пары оболочек орбиталей в выделенном направлении для избыточных нейтронов при $n = 4$ и $n = 5$ лежат на одной нулевой плоскости, проходящей через центр ядра, таким образом, как будто их главное квантовое число принимает значение $n_x = 0$. В этом случае на нулевой плоскости оболочки орбиталей вмещается в два раза больше нейтронов, в соответствии их количеством в спиновой паре оболочек в выделенном направлении, причем орбитали на этих «нулевых» оболочках с противоположными значениями их спина в выделенном направлении чередуются друг с другом.

Таким образом, мы нашли гармоничную схему распределения избыточных нейтронов в ядрах атомов инертных газов, подчиняющуюся принципу плотной упаковки нуклонов в ядре. Найденная схема заполнения оболочек орбиталей ядер избыточными нейтронами хорошо согласуется с найденным экспериментально их количеством в устойчивых

изотопах инертных газов, а также в изотопе радона с самым высоким его относительным содержанием.

Предложенная модель заполнения ядер атомов избыточными нейтронами может рассматриваться как рабочая версия, которую следовало бы уточнить с помощью экспериментальных и расчетных данных.

10.4. Упрощенная схема распределения электронов и протонов в атоме

В условиях трансформации атомного ядра, как было показано выше, спиновое квантовое число s_o , действующее на плоскости орбиталей, теряет свое функциональное назначение для определения знака магнитного квантового числа как для протонов, так и для электронов. Поэтому для реальной структуры ядерной и электронной оболочек атома знаки магнитного квантового числа были определены только по спиновому квантовому числу $\pm s$ в выделенном направлении. При этом остальные квантовые числа принимают прежние значения. Таким образом, в условиях реального атома выражение для магнитного квантового числа, согласно (10.5), имеет следующий упрощенный вид:

$$m = \pm s \cdot l = \pm \cdot l = \pm(n_y + n_z).$$

Сочетания квантовых чисел n_y и n_z по оболочкам орбиталей при фиксированном m в выделенном направлении приведены в табл. 10.2.

Согласно данным табл. 10.2, распределение количества электронов (или протонов) на каждой из s , p , d и f -оболочек достаточно установить только по одному набору сочетаний квантовых чисел n_y и n_z при последующей коррекции их общего количества на данном типе оболочек, в соответствии с магнитным квантовым числом, согласно (10.5). Как известно, на одной s , p , d и f -оболочке из их спиновой пары в выделенном направлении, соответственно, могут находиться до 1, 3, 5 и 7 протонов или электронов.

В табл. 10.3 на примере атома радия приведены всевозможные сочетания квантовых чисел, в соответствии с данными табл. 10.2, применительно к условиям реального атома.

Таблица 10.2

Сочетания квантовых чисел n_x и n_z по оболочкам орбиталей при фиксированном m в выделенном направлении

S	l	m	N сочетаний	Разрешенные сочетания квантовых чисел ($n_x + n_z$)						
				1.5+1.5	2.5+0.5	0.5+2.5	1+2	2+1	0+3	3+0
+	f	+3	7	1.5+1.5	2.5+0.5	0.5+2.5	1+2	2+1	0+3	3+0
	d	+2	5	1+1	1.5+0.5	0.5+1.5	0+2	2+0	-	-
	p	+1	3	0.5+0.5	0+1	1+0	-	-	-	-
	s	+0	1	+0	-	-	-	-	-	-
-	s	-0	1	-0					-	-
	p	-1	3	0.5+0.5	0+1	1+0				
	d	-2	5	1+1	0.5+1.5	1.5+0.5	2+0	0+2		
	f	-3	7	1.5+1.5	0.5+2.5	2.5+0.5	2+1	1+2	3+0	0+3

В табл. 10.3 каждая позиция протонов или электронов указана внутри кавычек, цифрой, обозначающей значение l . Количество позиций (цифр) при этом соответствует их количеству на s , p , d и f -оболочках, согласно этому значению l . Например, сочетание s -орбитали обозначено как $n(0)$, где индекс n отражает значение общего квантового числа, которому принадлежит орбиталь, а «0» внутри скобки говорит о том, что электрон при $l=0$ занимает только одну позицию.

Таблица 10.3

Реальная схема распределения электронов и протонов в атоме

S	n_x	Орбитальные позиции частиц по значениям l при данном значении n			
		s	p	d	f
1	2	3	4	5	6
+	7	7 (0)			
	6	6 (0)			
	5	5 (0)	6 (111)		
	4	4 (0)	5 (111)	6 (22222)	
	3	3 (0)	4 (111)	5 (22222)	6 (3333333)
	2	2 (0)	3 (111)	4 (22222)	
1	1 (0)	2 (111)			
-	1	1 (0)	2 (111)		
	2	2 (0)	3 (111)	4 (22222)	
	3	3 (0)	4 (111)	5 (22222)	6 (3333333)
	4	4 (0)	5 (111)	6 (22222)	
	5	5 (0)	6 (111)		
	6	6 (0)			
	7	7 (0)			

В колонке 1 приведены знаки спинового квантового числа s в выделенном направлении. В колонке 2 указаны значения главного квантового числа.

Данные, представленные в табл. 10.3, по реальному распределению электронов (или протонов) полностью соответствуют Периодической системе элементов Д.И. Менделеева относительно распределения электронов по периодам и по s , p , d и f -оболочкам для атома радия. В этой таблице значение общего квантового числа, как показали ранее (см. табл. 8.1), соответствует номеру периода таблицы Менделеева.

Атомы и элементарные квантовые частицы

11.1. Общность структуры атома и квантовых частиц

В гл. 10 мы представили динамическую структуру атома, образованную из орбиталей заряженных частиц и нейтронов. Теперь возникает вопрос о том, имеются ли еще материальные объекты, на которых могут проявляться принципы структурной организации атома. Такими объектами, прежде всего, могли бы быть элементарные квантовые частицы, например такие, как протон и электрон, из которых состоит атом. Если рассматривать структуру протона, организованную аналогично структуре ядра атома, то следует предположить, что он будет состоять из двух основных частей с одинаковыми значениями зарядов, поляризованных по знакам спина линейно. Таким образом, протон может представлять собой систему спиновых пар супермалых орбиталей микрозарядов, которые в сумме составляют известный заряд протона. Протон, так же, как и ядро атома, может иметь в своем составе и нейтральную незаряженную часть массы.

В настоящее время общепризнанной является кварковая теория структуры протона, в соответствии с которой он состоит из кварков, имеющих спин, равный $1/2$.

Установлено существование пяти разновидностей кварков: u , d , s , c , b (здесь кварки перечислены в порядке возрастания их масс: $m_u \approx 5 \text{ Мэв}$, $m_d \approx 7 \text{ Мэв}$, $m_s \approx 150 \text{ Мэв}$, $m_c \approx 1/3 \text{ Гэв}$, $m_b \approx 5 \text{ Гэв}$). Предполагают, что должен существовать и шестой, еще более тяжелый кварк, t . Кварки u , c и t имеют электрический заряд, равный (+) $2/3$, а кварки d , s и b — заряд, равный (–) $1/3$. Кварки с зарядом (+) $2/3$ принято считать верхними, а с зарядом (–) $1/3$ — нижними.

Протон состоит из двух u -кварков и одного d -кварка ($p = uud$), а нейтрон — из двух d -кварков и одного u -кварка [13, с. 37]. Такая кварковая структура протона не противоречит и в какой-то мере принципиально соответствует структуре атомного ядра. В ядре атома положительные заряды, так же, как верхние u -кварки в протоне, разделены на две равные части, а в центральной части ядра расположены избыточные нейтроны, у которых отрицательный заряд сосредоточен в верхнем слое (см. рис. 10.1). Представим себе, что и в центре протона, так же, как у

ядра атома в его центральной части имеются избыточные нейтроны, вместо отрицательного d -кварка сосредоточен нейтральный кварк, у которого, так же, как у нейтрона, в верхнем слое сосредоточен отрицательный заряд, равный заряду d -кварка. Нейтральный кварк при бомбардировке быстрыми электронами, прежде всего, может отреагировать на них отрицательным верхним слоем, что может привести к ошибочному принятию их за кварк с отрицательным зарядом. Тогда, так же, как нейтральный кварк протона идентифицируют с отрицательно заряженным нижним d -кварком, избыточные нейтроны в центре ядра также можно идентифицировать с их верхними отрицательными зарядами, составляющими в сумме отрицательный заряд, сосредоточенный в центре ядра. Допустим, что (табл. 8.3 и 8.4) ядро атома имеет в своем составе только протоны, отвечающие его первоначальному состоянию до ядерной конверсии. Тогда в ядре тяжелого элемента отношение величин суммы положительных зарядов к сумме отрицательных (в составе «избыточных» нейтронов) в центре ядра, в первом приближении, будет таким же, как и отношение суммы положительных зарядов двух верхних u -кварков, к значению отрицательного заряда одного нижнего d -кварка. При этом предполагается, что, так же, как у избыточных нейтронов в ядре атома, у нейтральной части протона (у нейтрального кварка) проявляется только верхний отрицательный слой, а нижний положительный слой остается скрытым из-за невозможности его обнаружения современными методами.

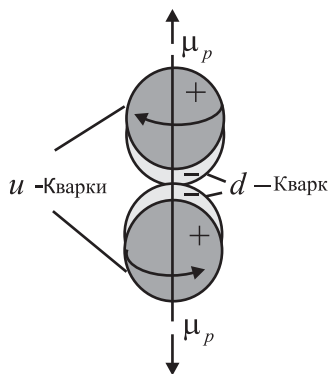


Рис. 11.1. Схема динамической структуры протона

На рис. 11.1 представлена версия-схема кварковой структуры протона, построенная по линейному принципу организации в выделенном направлении орбитальной структуры атома. Как видно из рис. 11.1, у протона на одной линии по обе стороны от центра расположено по одному верхнему положительно заряженному u -кварку, а центральную область, подобно нейтронам в атоме, занимает нейтральный кварк. Как указывали выше, если этот нейтральный кварк, так же, как и нейтрон, имеет в верхнем слое отрицательный заряд, то он при взаимодействии с высокоэнергетическими электронами, вероятнее всего, будет проявлять себя как отрицательный заряд, который ошибочно можно принять за отрицательно заряженный нижний d -кварк.

В протоне супермалые орбитали каждого из u -кварков создают суммарный магнитный момент μ_p , составляющие которого направлены в противоположные стороны по одной линии. На рис. 11.1 стрелками показаны общие направления вращения супермалых орбиталей u -кварков. Очевидно, что такая парная электродинамическая структура протона находится в постоянном взаимодействии с пространством и откликается на любые электромагнитные и другие воздействия с его стороны. Заметим, что такая парная структура протона предполагает его гироскопическую нейтральность.

Так как электрон, как и протон, является элементарной заряженной квантовой частицей, то принципы организации электродинамической структуры протона и электрона, а также принципы взаимодействия их с пространством должны быть одинаковыми.

11.2. Магнитные свойства и собственный спин квантовых частиц

Ранее при рассмотрении движения элементарных квантовых частиц мы исходили из того, что их свободное движение в пространстве имеет спиральный характер. Показали, что спиральный характер движения электронов и протонов определяющим образом влияет на их поведение в потенциальном поле ядра атома. Однако вопрос о природе спирального движения квантовых частиц для нас пока остается открытым, несмотря на приведенные в гл. 6 рассуждения, объясняющие факт наличия собственного спина у квантовых частиц. Суть нерешенного вопроса состоит в том, что значение собственного момента количества движения, например у электрона, определяют не прямым опытным измерением этой величины, а по значению так называемого гиромагнитного отношения, т.е. по значению отношения магнитного момента к механическому моменту количества движения электрона в атоме. Однако можно полагать, что гиромагнитное отношение у квантовых частиц должно принимать одно и то же значение при разных значениях их собственного момента количества движения. Это значит, что у квантовых частиц при постоянном значении гиромагнитного отношения магнитный и механический моменты количества движения будут меняться пропорционально друг относительно друга. Это следовало бы уточнить изучением модельных условий их электродинамического поведения в пространстве, а не только из определения гиромагнитного отношения.

Ниже на примере электрона, с учетом предложенной нами версии его пространственной структуры, рассмотрим электродинамические условия его движения в атоме и свободном пространстве. Для этого вна-

чале приведем разъяснение сущности известного «гироманнитного отношения».

Гироманнитное отношение. Существует простая связь между магнитным моментом M_T и механическим моментом количества движения L системы заряженных частиц [14, с. 19]. Магнитный момент M_T кругового тока I , текущего по плоскому кольцу с радиусом R , равен

$$M_T = \frac{qvR}{2c}, \quad (11.1)$$

где q — величина заряда текущего по кольцу тока; v — путь, проходимый зарядом за единицу времени; c — скорость света.

С другой стороны, момент количества движения L рассматриваемой системы равен:

$$L = m_q vR, \quad (11.2)$$

где m_q — масса движущихся зарядов.

Сравнивая (11.1) и (11.2), имеем:

$$\frac{M_T}{L} = \frac{q}{2m_q c}. \quad (11.3)$$

Если знать, что ток в проводнике это ток электронов, то становится ясным, что $q = N \cdot e$, а $m_q = m_e$, где N — число движущихся электронов проводника (электронов проводимости). Тогда из (11.3) получаем:

$$\frac{M_T}{L} = \frac{e}{2m_e c}. \quad (11.4)$$

Отношение $\gamma = M_T / L$ получило название *гироманнитного отношения*.

Выражение (11.4), полученное при рассмотрении движения электронов по кольцу, остается справедливым для всех случаев кругового движения, в том числе и для электронов, движущихся по орбите потенциального заряда, где момент количества их движения принимает только целочисленные значения. Если механический момент такого движения по орбите равен L , то выражение для магнитного момента имеет вид:

$$M = \frac{e}{2m_e c} L. \quad (11.5)$$

Гироманнитное отношение часто измеряют в величинах $\frac{e}{2m_e c}$. В рассмотренном нами случае его надо считать равным единице.

В выражении (11.5) значение момента количества движения будет иметь известный вид:

$$L = \hbar / 2\pi = \hbar. \quad (11.6)$$

Тогда, в соответствии с существующей теорией квантовой механики, для электрона на орбите атома водорода, подставляя (11.6) в (11.5), получим, что значение магнитного момента атома будет:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}. \quad (11.7)$$

Соотношение (11.7) для магнитного момента обозначают, как правило, буквой μ_B и называют *магнетон Бора*. Как установили ранее, движение электрона в атоме представляет собой его вращение на стационарной орбитали. Отсюда магнетон Бора и есть элементарный магнитный момент электрона на стационарной орбитали, а не на орбите, так как он отражает только круговую составляющую спирального движения электрона. А это значит, что (как предполагалось в гл. 6) круговому движению электрона на орбитали соответствует только половина момента количества его спирального движения в пространстве, равная $1/2\hbar$. Тогда для орбитали соотношение (11.6) для собственного момента количества движения L_S электрона примет вид:

$$L_S = \hbar / 2. \quad (11.8)$$

При этом значение магнитного момента орбитали будет равно значению магнетона Бора μ_B , в соответствии с соотношением (11.7). Тогда, используя соотношения (11.7) и (11.8), найдем гиромангнитное отношение для собственного магнитного момента электрона, которое имеет вид:

$$\gamma = \frac{M_T}{L_S} = \frac{e}{m_e c}. \quad (11.9)$$

Таким образом, по нашей версии, гиромангнитное отношение для орбитали электрона оказалось в два раза больше, чем для движения электрона по орбите. Отсюда вытекает, что гиромангнитное отношение

движения электрона на орбитали и в единицах $\frac{e}{2m_e c}$ численно равно

двум, что подтверждается опытами.

В то же время справедливость представленной нами версии увеличения гиромангнитного отношения требует некоторых уточнений. Поэтому дальше попытаемся разобраться с реальными причинами, которые могут вызывать увеличение этого отношения в два раза. Для этого

рассмотрим известные источники, проясняющие динамические свойства электрона.

Теория электрона Дирака. В 1918 г. Дирак сформулировал уравнение, которому должна удовлетворять волновая функция электрона с требованиями теории относительности. Логическим следствием из этой релятивистической квантовой механики заряженной частицы с зарядом e , массой электрона m_e и орбитальным спиновым моментом $1/2$ оказалось существование у такой частицы собственного магнитного момента [14, с. 43], имеющего две проекции, равные:

$$\mu_e = \pm \frac{e\hbar}{2m_e c}. \quad (11.10)$$

Как видно, положительное и отрицательное значения магнитного момента электрона равны магнетону Бора, т.е. $\mu_e = \pm \mu_B$. Значит, если структура электрона, так же, как и структура протона, показанная на рис. 11.1, складывается в пару из двух равных половинок заряда, то магнитные моменты электрона, равные $\pm \mu_B$, можно относить в отдельности по знаку к обеим половинкам заряда электрона. Тогда выражение (11.10) по теории Дирака нельзя объяснить, не принимая, что у половинок заряда электрона магнитные моменты по значению меньше, чем магнетон Бора, существовать не могут. Такое значение магнитного момента у каждой из половинок заряда электрона, равное магнетону Бора, созвучно нашим предпосылкам о том, что электрон по структуре полного распределения в нем микрочарядов напоминает электронную оболочку до момента потери ею половины электронов при поглощении последних ядер атома.

Расчеты, по теории Дирака, показывают, что значение гироманнитного отношения электрона в два раза больше, чем для кругового движения электрона по стационарной орбите Бора. Эти данные Дирака совпадают с нашей версией о значении гироманнитного отношения в условиях пребывания электрона в атоме.

Если наименьший магнитный момент электрона на стационарной орбитали атома известен и равен магнетону Бора, то механизм проявления собственного магнитного момента электрона при его движении в пространстве, а значит, проявление им спина в этих условиях нам еще необходимо выяснить. Рассмотрим этот вопрос.

Модельные условия движения электрона в пространстве. Представление о характере движения электрона в пространстве дает векторная диаграмма электромагнитной динамики его движения, представленная на рис. 11.2.

Ранее было установлено, что квантовые частицы по распределению зарядов в спиновой паре могут быть линейно поляризованы, поэтому на рис. 11.2 электрон схематически разделен, как и по теории Дирака, на две равные половинки зарядов. Каждая половинка этих зарядов имеет собственный вектор магнитного момента M' и M'' , которые направлены в противоположные стороны.

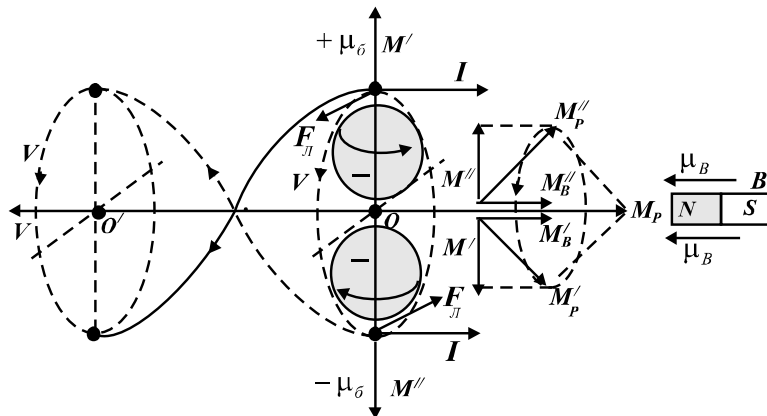


Рис. 11.2. Электромагнитная динамика спирального движения электрона

В нашем случае наличие такого парного собственного магнитного момента у электрона, как было показано на примере протона, обусловлено суммарным нулевым моментом количества движения спиновых пар оболочек супермалых орбиталей микрочастиц, общие направления вращения которых на каждой из половинок заряда электрона на рис. 11.2 показаны стрелками.

Допустим, что к электрону, состоящему из двух частей заряда, по оси вращения подводится магнит B с магнитным моментом, равным одному магнетону Бора μ_B . Очевидно, что приближение магнита B к электрону равноценно току I каждой половинки заряда электрона в сторону расположения этого магнита B . Пусть ток I протекает на фоне перпендикулярного к нему собственного магнитного момента каждой половинки заряда электрона, равного μ_B . Вследствие действия на электрон вводимого магнитного момента μ_B , согласно правилам электродинамики, появится пара сил Лоренца F_L , которая заставит вращаться половинки заряда электрона вокруг оси OO' со скоростью V , что будет создавать у электрона магнитный момент противодействия M_B магниту

\mathbf{B} , равный одному магнетону Бора μ_B . В свою очередь, у вращающего электрона имеются собственные магнитные моменты M' и M'' , которые создадут новые силы Лоренца, передающие энергию вращения в состав энергии поступательного движения электрона. Таким образом, эти новые силы Лоренца будут толкать электрон в сторону удаления от магнита \mathbf{B} со скоростью V . Отсюда видно, что вращательное и поступательное движения электрона взаимно обусловлены. Для того, чтобы при появлении поступательного движения вращательная энергия электрона сохранялась на одном уровне, потеря вращательной энергии должна постоянно восполняться дополнительной энергией вводимого магнита. Такое восполнение энергии может быть достигнуто увеличением магнитного момента вводимого магнита до двух магнетонов Бора $2\mu_B$. Тогда противодействие электрона такой величине вводимого магнитного момента должно быть равноценным, равным сумме магнитных моментов $M'_B + M''_B = M_P$, которая равна двум магнетонам Бора. Очевидно, что при этом электрон приобретет скорость спирального движения, равную V , при моменте количества движения \hbar . Таким образом, гиромагнитное отношение электрона в единицах $e/2m_e c$ равно 2, но при этом спин электрона в единицах \hbar равен 1, а не $1/2$, как предполагают по существующей теории квантовой механики. Но если спин определять по гиромагнитному отношению, то, по нашим результатам, спин электрона также равняется $1/2$.

Заметим, что созданию такого магнитного момента M_P , равного двум магнетонам Бора и направленного против хода движения электрона, способствуют магнитные моменты $\pm\mu_B$ каждого из половинок заряда электрона, равные по сумме скалярных значений также двум магнетонам Бора, но направленные перпендикулярно направлению движения.

Как видно из рис. 11.2, движение электрона в пространстве имеет спиральный характер, при котором скорости поступательного и вращательного движений равны, а момент количества движения электрона в единицах \hbar равен 1. Предложенная схема движения электрона доказывает справедливость наших предположений о спиральном характере движения квантовых частиц, высказанных ранее в гл. 6. Необходимо попутно заметить, что рассмотренный принцип движения квантовой частицы в пространстве может быть смоделирован в каких угодно больших масштабах, что может служить основой для создания средств передвижения в пространстве.

Как видно, собственный момент количества движения электрона в свободном пространстве, равный единице, а также магнитный момент в единицах магнетона Бора, равный двум, в два раза выше, чем в

случае движения электрона на орбитали. В итоге убеждаемся, что гиромагнитное отношение для движения электрона в свободном пространстве и на орбитали атома имеет постоянное значение, которое по существующей теории квантовой механики подтверждает значение спина у электрона по гиромагнитному отношению, равное $1/2$. Однако при нахождении значения спина электрона через гиромагнитное отношение остается противоречие, связанное с различным значением у него собственного момента количества движения, в зависимости от того, в каких условиях он движется. Однако значение спина у электрона, по существующей теории, определяется только значением гиромагнитного отношения, которое, как убедились, выше при рассмотрении векторной диаграммы магнитных моментов электрона на рис. 11.2 как при вращении на одном месте (на орбитали), так при спиральном движении принимает одинаковое значение. Например, при движении электрона в пространстве и при вращении на орбитали атома гиромагнитное отношение имеет одинаковое значение, равное (в единицах $e/2m_e c$) двум. При этом для этих различных условий движения моменты количества движения электрона (в единицах \hbar) имеют различные значения, равные, соответственно, 1 и $1/2$. Тем не менее, для этих двух случаев движения устанавливаются одинаковое значение собственного спина электрона, равное $1/2$, что противоречит физической реальности. Это противоречие снимется, если собственный спин электрона (квантовых частиц), как установили в гл. 6, относить только к вращательной составляющей его спирального движения, которой соответствует момент количества движения в единицах \hbar , равный $1/2$, без какого-либо учета его магнитного момента.

На схеме, представленной на рис. 11.2, движение электрона осуществляется по левой спирали, т.е. движение имеет левую продольную поляризацию. Эксперименты, проведенные в 1956–1957 гг., показали, что частицы в слабых процессах рождаются продольно поляризованными. А электроны при β распаде нейтронов всегда рождаются с левой продольной поляризацией. Это значит, что электроны при β распаде нейтронов вылетают из нейтрона с определенной скоростью спирального движения, которое имеет левый винт [13, с. 68]. В нашем случае схема спирального движения электрона, представленная на рис. 11.2, имеет левую продольную поляризацию, что говорит о соответствии этой схемы природным условиям движения электрона.

Из спирального движения электрона при моменте количества движения, равном единице, вытекает, что проявляемый размер квантовых частиц в пространстве, в частности электрона, зависит от его скоро-

сти вращения ν и, согласно выражению $m_e \nu r_c = \hbar$, равен радиусу спирального движения, т.е.:

$$r_c = \frac{\hbar}{m_e \nu}, \quad (11.11)$$

где r_c — радиус спирального движения.

Вернемся еще раз к наличию дробного значения спина у электронов атома несколько с иной точки зрения.

Гиромагнитное отношение, равное (в единицах $e/2m_e c$) двум, получено и в опытах Штерна и Герлаха, когда электроны в составе пучка атомов проходили через неоднородное магнитное поле при *большой скорости*.

Полученные дробные значения орбитального квантового числа l , по опытам Штерна и Герлаха, могут быть объяснены еще и тем, что здесь магнитные моменты орбиталей реагируют на наведенное магнитное поле только по одной из возможных двух проекций орбиты. Эти проекции в интегральной системе координат отражаются квантовыми числами n_y и n_z . А орбитальное квантовое число l , согласно выражению (7.35,с), равно сумме этих двух квантовых чисел, т.е. $l = n_y + n_z$. Распределение возможных значений орбитального квантового числа по проекциям орбит, т.е. по квантовым числам n_y и n_z , приведено в табл. 8.3. Согласно этой таблице, проекции орбитального квантового числа n_y или n_z принимают значения, кратные $1/2$ и всегда меньшие или равные l , согласно соотношениям: $n_y = 0, 1/2, 1, \dots, l$ и $n_z = 0, 1/2, 1, \dots, l$.

Необходимо заметить, что представленные версии проявления спина у квантовых частиц являются только качественными и рабочими версиями, которые требуют дальнейших экспериментальных и расчетных подтверждений, не исключая также и философских обобщений.

Таким образом, поведение электрона в атоме хорошо объясняется в пределах предложенной в монографии концепции о динамической структуре атома без его вероятностной интерпретации. Концепция объясняет причины наличия у квантовых частиц собственного момента количества движения и подтверждает гипотезу Ампера о молекулярных токах, которая в свое время была подтверждена экспериментами Эйнштейна и Де-Гааза. Здесь необходимо заметить, что собственно орбитального движения электронов в атоме не существует, т.е. нет тока электрона по орбите, поскольку, вследствие гироскопического эффекта, он переходит на орбиталь при круговом вращении. Однако, после ядер-

ной конверсии атома с образованием дейтронов, вследствие кольцевого стяжения орбиталей на оболочке, при сохранении постоянного значения момента количества движения орбиталей сами оболочки протонов могут переходить во вращательное состояние, увлекая и оболочки электронов, что можно рассматривать как кольцевой ток Ампера.

Предложенная линейная структурная организация квантовых частиц и, исходя из этого, их спиральная динамика движения в пространстве согласуется с нашими выводами, полученными в гл. 6 об их характере движения. Помимо этого, как показано на рис. 6.3, при разложении спирального движения квантовых частиц, например электрона, на два взаимно перпендикулярные синусоиды видно, что синусоида на плоскости XU относительно направления оси Z является волновой характеристикой напряженности магнитного поля, а синусоида на плоскости XZ — электрического. При равномерном движении эти поля компенсируются соответствующими наведенными полями физического вакуума, а при тормозном захвате электрона, например, в атом часть этих наведенных полей излучается в пространство. Структурная динамика электрического и магнитного полей такого излучения такая же, как и у электрона при движении. Таким образом, вышесказанное подтверждает общность принципов структурной организации атомов и квантовых частиц, а также фотонов. Это согласуется и фитонной моделью первичной структуры пространства Акимова. Однако заметим, что, если динамическая структура фитона построена, исходя из представления его как право-левую спиновую пару из волновых пакетов, представляющих электрон-позитронную пару двух противоположных зарядов, то квантовая частица представляет собой спиновую пару противоположных знаков из волновых пакетов (орбитальных оболочек) зарядов одного знака. Это говорит о том, что при рассмотрении структурной организации частиц микромира, а также структуры пространства необходимо различение спинов, кроме их знаков, и по их право-лево ориентации. Принципы структурной организации как микро, так и макрокосмоса на основе спиновых взаимодействий можно признать едиными, поскольку выбросы вещества при эволюционном развитии сверхзвезд осуществляются в противоположных направлениях, по выделенной оси, что говорит о их глубинной спиновой природе структурной организации с $\pm s$, как и у атомов.

Заключение

Как известно, пространственная структура атома до сих пор остается загадкой. Фактически не найдено решение уравнения Шредингера для описания состояния электрона как в однозарядном, так и в многозарядном атоме, как предполагают, потому что неизвестен вид волновой функции, которой подчиняется пребывание электрона в атоме. Автор представленной монографии считает, что проблема решения уравнения Шредингера заключается не только в отыскании правильного вида волновой функции, а также и в существующем несоответствии евклидовой геометрии (в которой рассматривается это решение) реальной искривленной геометрии пространства. Классическая механика И. Ньютона, основанная на трех законах динамики и законе тяготения, была создана на базе евклидовой геометрии. В частности, Первый закон Ньютона гласит: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного *прямолинейного* движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние. Повседневный опыт подтверждает справедливость евклидовой геометрии, пока дело касается относительно малых скоростей. При переходе же к другим масштабам и большим скоростям, начиная от микромира до масштабов космоса, приходится сталкиваться с факторами неоднородности свойств реального пространства, в частности с факторами его искривления. Появление данной монографии было бы под вопросом, если бы выполнение Первого закона Ньютона рассматривали по традиции только при прямолинейном движении материальных тел в пространстве (евклидова геометрия).

Вопрос об отношении евклидовой геометрии к физической реальности ставился давно и, действительно, в XIX в. выяснилось, что возможно появление новых неевклидовых геометрий. К настоящему времени появилось множество теорий, предлагающих свою геометрию пространства. Однако все они, при множестве вариаций математического формализма, строятся на основе адаптации евклидовой геометрии к реальным условиям искривленного пространства. Такой подход привел к тому, что все эти теории очень сложны и не позволяют создавать наглядные пространственные модели сложных динамических систем, например таких, как систем заряженных квантовых частиц атомов.

В монографии предложен принципиально новый подход решения проблемы. *Возможность равномерного движения по инерции в однородном пространстве, соответствующем евклидовому пространству, по искривленной траектории сколь угодно долго приняты как условия, соответствующие принципу непрерывной однородности.* Далее, на основании этого принципа непрерывной однородности, установлено соответствие геометрии пространства *конфигурации пространственно-*

го континуума с однородными динамическими свойствами, в котором материальные тела могут находиться в состоянии покоя или равномерного движения сколь угодно долго. Это значит, что геометрия пространства соответствует форме свободного равномерного движения материальных тел при сохранении преемственности действия существующих законов динамики движения тел Ньютона. А это, в условиях установленной геометрии пространства позволило, в свою очередь, введение принципа эквивалентности равномерного кругового движения материальных тел в реальном пространстве такому же равномерному, но уже прямолинейному движению их в абсолютном пространстве. Этот принцип эквивалентности имеет следующую редакцию: *равномерное круговое движение материального тела в реальном пространстве в соответствие с его геометрической конфигурацией, выделенной в условиях непрерывной однородности, эквивалентно его равномерному прямолинейному движению в однородном и изотропном пространстве.* А на основе этого принципа принято следующее расширенное толкование Первого закона Ньютона: *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного кругового движения при удерживании его на равном удалении от определенного центра до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.* На основе расширенного толкования Первого закона Ньютона можно утверждать, что прямолинейное движение материального тела в пространстве является лишь частным случаем кругового движения, при котором радиус его кривизны бесконечно большой.

Система координат и описание движения квантовых частиц (КЧ). На основании расширенного толкования Первого закона Ньютона для упрощенного описания динамики движения тел в реальном пространстве в монографии введена интегральная система координат

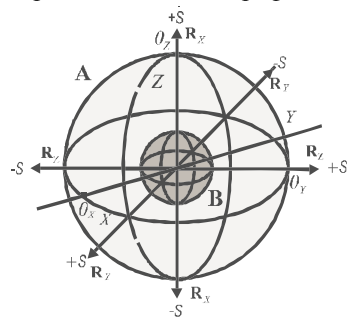


Рис. 1. Интегральная система координат потенциальных сфер

(ИСК) потенциальных сфер (ПС), эквивалентная фундаментальной геометрии пространства с центральной поляризацией в микро и макрокосмосе. ИСК ПС (далее ИСК) состоит из двух сопряженных друг с другом координатных систем и минимум шестимерна, как показано на рис. 1. В ИСК равномерное круговое движение по орбите отражается с помощью взаимно перпендикулярных круговых координатных линий X , Y и Z , которые являются линиями больших окружностей на сферической поверхности пространства, геометрия которого построена при соблюдении принципа непрерывной однородности.

геометрия которого построена при соблюдении принципа непрерывной однородности.

Круговым линиям X , Y и Z , составляющим сферическую систему координат, соответствуют взаимно перпендикулярные радиус-векторы \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z , которые выведены из их центров и направлены аналогично векторам момента количества движения. Эти радиус-векторы \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z составляют в ИСК вторую координатную систему, являющейся декартовой системой координат (ДСК). Каждый из радиус-векторов \mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y и \mathbf{R}_z в зависимости от знака спина $\pm s$ имеют положительные и отрицательные направления. Это значит, что круговые линии координат X , Y и Z одновременно могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, которые отражают противоположные направления движения. ИСК является многоуровневой относительно радиуса потенциальной сферы, т.е. может представлять пространства на поверхности сферы одновременно для их бесконечного множества с различными энергетическими характеристиками. ИСК обладает наглядностью и простотой при описании сложных и энергетически связанных многоуровневых систем, например, таких, как систем многоэлектронных атомов и т.д. без использования сложного математического аппарата.

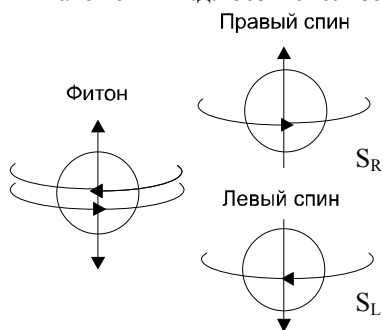


Рис 2 Фитонная модель первичного физического вакуума

При этом интересно отметить, что сферическая система координат линий X , Y и Z в выделенном направлении, например, \mathbf{R}_x с положительными и отрицательными значениями спина $\pm s$ согласуется с динамической структурой фитона, предложенного Акимовым как первичного вихревого элемента физического вакуума. Фитоны, как показано на рис. 2, представляют собой скомпенсированные право-левые первичные вихри S_R и S_L , заполняющие весь первичный вакуум. Очевидно, что динамическая модель фитона Акимова и ИСК Галиева, отражающая динамическую геометрию пространства с центральной поляризацией в выделенном направлении, соответствуют друг к другу на принципиальной основе.

Спиральная динамика движения КЧ в пространстве. Рассмотрим природу равномерного движения КЧ в свободном пространстве. В монографии установлено, что *движение КЧ в пространстве имеет спиральный характер, причем равномерные скорости круговой и поступательной составляющих спирального движения между собой равны*. А это значит, что движение квантовых частиц в пространстве может рассматриваться, как волновое движение, и при этих условиях

длина волны λ равномерного спирального движения КЧ равна длине окружности круговой его составляющей, т.е.:

$$\lambda_c = 2\pi r_c, \quad (1)$$

где r_c — радиус спирального движения.

Значение r_c можно принять за условный размер движущейся КЧ. Очевидно, что геометрическая конфигурация пространства прямолинейного спирального движения представляет собой поверхность цилиндра. На основе принципа эквивалентности круговой и поступательной составляющих спирального движения и расширенного толкования Первого закона Ньютона скорости движения этих составляющих, перпендикулярных по направлению, могут быть сложены векторно, что дает энергию движения КЧ, равной, $E = mv^2$, где m — масса; v — скорость круговой и поступательной составляющих спирального движения. Энергию спирального движения КЧ можно представить состоящей из двух равных частей, которые относятся к круговой и поступательной составляющим движения. Энергия движения КЧ в два раза больше энергии равномерного движения (кинетической энергии) макроскопического тела, определяемой по механике Ньютона, как $E = mv^2/2$. Величина энергии спирального движения КЧ хорошо согласуется с существующей теорией квантовой механики, где волновое движение КЧ в пространстве постулируется соотношением де Бройля, которое имеет вид:

$$mv^2 = \hbar \nu, \quad (2)$$

где \hbar — постоянная Планка, ν — частота спиральной волны.

Известно что $\nu = v \cdot \lambda$, где λ — длина спиральной волны. Тогда с учетом (1) из (2) получим фундаментальное соотношение для момента количества движения КЧ:

$$mvr_c = \hbar, \quad (3)$$

где $\hbar = h/2\pi$ — постоянная момента количества движения КЧ.

Соотношение (3), указывающее на постоянство значения момента количества движения КЧ, равное \hbar , определяет относительно пространства внешнего наблюдателя метрику КЧ при условии, что метрика пространства наблюдателя остается неизменной, которая при данном значении скорости света и фундаментальной постоянной Планка $—h$ определяется в однородном пространстве во времени. Условный размер КЧ по (3) зависит только от скорости движения: чем больше скорость, тем меньше размер КЧ и наоборот.

Описание динамики движения КЧ в ИСК. Теперь рассмотрим описание движения КЧ, например, электронов в ИСК, например, применительно к атому. Орбитальное движение электрона в атоме, отра-

жаемое в ИСК совершается по большой окружности поверхности сферы, радиус которой соответствует радиусу орбиты. В атоме движение электрона ограничено длиной орбиты и в ИСК образует стоячую волну, которая сопряжена спиральным его движением. Волновая функция стоящей волны может быть представлена круговой синусоидой, длина которой равна длине орбиты. Очевидно, что *длина стоячей волны на орбите при ее устойчивости во времени должна быть кратна длине спиральной волны λ_c на целое число n* , которое в монографии принято как общее квантовое число (Кв.Ч). Тогда соотношение для радиуса орбиты имеет вид:

$$r = nr_c . \quad (4)$$

Это значит, что соотношение (3) для момента количества движения в условиях атома с учетом (4) будет иметь традиционный, как и для атома Бора, вид:

$$mvr = n\hbar \quad (5)$$

Установлено, что скорость спирального движения заряженной КЧ по орбите в потенциальном поле противоположного заряда зависит только от числа заряда — Z потенциального поля, эффективная величина которого может быть снижена в отношении кратном целому числу n . Для скорости движения заряженной КЧ в поле заряда имеем соотношение: $v = Z/n \cdot e^2 / \hbar$, где e^2 / \hbar — постоянный множитель, а e — заряд.

В ИСК проекция круговой траектории произвольно ориентированной орбиты на плоскость каждой из координатных линий X , Y и Z имеет форму окружности, а не эллипса как в традиционной ДСК. Радиусы проекций орбит на плоскостях X , Y и Z соответствуют проекциям радиус-вектора орбиты на координатные оси R_x , R_y и R_z . Тогда в ИСК одинаковые по значению радиусы — r и длины — l_o множества орбит, ориентированных произвольно на данной потенциальной сфере, могут быть выражены через соответствующие их проекции r_x , r_y и r_z , а также l_x , l_y и l_z соотношениями следующего вида:

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} \text{ и } l_o = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2} . \quad (6)$$

Заметим, что в ДСК традиционно осуществляют проекцию, одновременно, как интервала, так и его угла, занимаемого по окружности орбиты, что при соблюдении принципа эквивалентности прямолинейного и кругового равномерных движений ошибочно и не дает пропорциональную проекцию интервала от угла наклона. И действительно, такого же результата, как по (6), можно было бы добиться и в традиционной ДСК, проецируя (исходя из угла наклона окружности орбиты к плоскости проекции) интервал окружности на плоскость только по длине этого

интервала и при исключении одновременного применения такой же проекции для угла этого интервала, занимаемого на орбите. При использовании в качестве аргумента только длин орбит l_o , а не координат электронов на них, это дало бы формальную возможность описания состояния стоячей волны электрона в атоме с использованием лишь традиционной ДСК. Однако такой путь при достигаемой простоте приводит к потере наглядности, присущей ИСК, и к некоторому абстрагированию. Далее из (6) очевидно, что $r_x / r = v_x / v$, $r_y / r = v_y / v$ и $r_z / r = v_z / v$, где v и v_x, v_y, v_z – скорости движения электрона по орбите и по ее круговым проекциям на плоскостях координатных линий X, Y и Z . Движение электрона по орбите и также на ее проекциях должны быть квантованы, т.е. согласно (5) $v = n\hbar / mr = n\hbar / 2\pi mr$. Например, для направления X $v_x = n_x \hbar / 2\pi m r_x$, где n_x – принято как Кв.Ч проекции орбиты по X ; m – масса электрона; \hbar – постоянная Планка; r – радиус орбиты. Тогда справедливо:

$$(r_x / r)^2 = n_x / n, (r_y / r)^2 = n_y / n \text{ и } (r_z / r)^2 = n_z / n. \quad (7)$$

Найдено, что, согласно (6) и (7) общее Кв.Ч – n выражается через Кв.Ч проекций орбиты – n_x, n_y и n_z следующим равенством:

$$n = n_x + l = n_x + n_y + n_z, \quad (8)$$

где l – орбитальное Кв.Ч проекции орбиты, равное:

$$l = n_y + n_z. \quad (9)$$

В монографии найдено, что общая энергия электрона и энергия, соответствующая проекции орбиты, например, по X , могут быть выражены через квантовые числа: $E_n = -1/2 \cdot E_p \cdot (n_x + n_y + n_z) / n$ и $E_k = -1/2 \cdot E_p \cdot n_x / n$, где E_p – потенциальная энергия. При этом радиус орбиты – r и радиус ее проекции, например по X , – r_x могут быть выражены:

$$r = \frac{\hbar^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n^3 (n_x + n_y + n_z)} \text{ и}$$

$$r_x = \frac{\hbar^2}{4\pi^2 m Z e^2} \sqrt{n_x n^3} = r \sqrt{n_x / n}.$$

В ИСК спиральное движение электронов в атоме может описываться функцией стоящей волны от четырех зависимых друг от друга аргументов – n, r, l_o, \mathcal{G} вида:

$$\psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(1/r_c) l_o \text{ или с учетом (4) } \psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(n/r) l_o, \quad (10)$$

где $l_o = \mathcal{R}r$ — длина орбиты на поверхности потенциальной сферы, а \mathcal{R} — угол поворота. Как видно, эти разные аргументы в одной функции одновременно и наглядно могут быть отражены только в ИСК. Найдено, что проекция общей функции движения электрона по орбите, например, на R_x (или X) имеет вид:

$$\psi_x = A(r_x / r) \sin(n / r) l_o = A(n_x / n)^{1/2} \sin(n / r) l_o = A_x \sin(n / r) l_o,$$

где r_x — радиус проекции орбиты на плоскость координатной линии X на поверхности сферы с радиусом равным радиусу орбиты. Такой вид проекций общей функции справедлив и для направлений R_y и R_z . Таким образом, коэффициенты A_x , A_y и A_z проекций общей функции зависят от радиусов r_x , r_y и r_z или от трех Кв.Ч — n_x , n_y и n_z проекций орбиты.

В монографии при установленных граничных условиях действия Кв.Ч найдено решение уравнения Шредингера для многоэлектронного атома с использованием только одной волновой функции (10). Решение имеет тривиальный характер и имеет одинаковый результат как для протонов, так и для электронов.

Модельные условия структурной организации атома. В силу того, что движение электрона и протона в пространстве имеет спиральный характер, что определяет их как движущиеся гироскопы, то для нахождения модельных условий структурной организации атома, кроме гравитационных и электромагнитных сил, действующих в атоме, необходимо

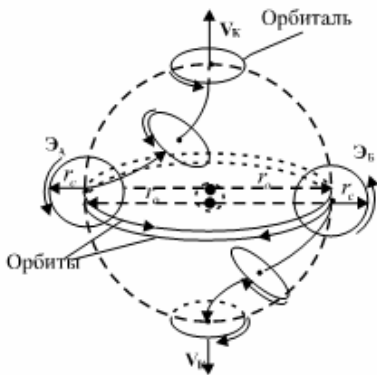


Рис. 3. Образование спиновых пар электронов в двухзарядном атоме

и гироскопические силы. Очевидно, что при захвате электрона на орбиту ядра он, как гироскоп, подвергается вынужденному вращению, что приводит к повороту оси вращения его спирального движения до совпадения с осью вынужденного вращения по орбите при ориентации направления своего поступательного движения от ядра атома перпендикулярно к плоскости орбиты, как показано на рис. 3. Таким образом, происходит поперечная поляризация круговой

составляющей спирального движения электрона к плоскости орбиты, как и поляризация пространства по Акимову при возмущениях. Однако

электрон при этом не может удалиться от ядра, т.к. его поступательное движение тормозится силами притяжения ядра. В итоге электрон в атоме займет стационарное состояние спина на орбитали с радиусом вращения, равным круговой составляющей спирального движения — r_c . При этом электрон вынужден излучать квант энергии $E_{изл}$, равный потерянной величине кинетической энергии поступательного движения E_k , т.е. $E_{изл} = \nu_{хар} h = E_k$, где $\nu_{хар}$ — частота характеристического излучения; h — постоянная планка. А, как мы установили, что при спиральном движении электрона энергии вращательного и поступательного движений равны, то энергия, излученная при захвате электрона в атом, в два раза меньше энергии его спирального движения $E_{кc}$, т.е. $E_{изл} = E_k = 1/2 \cdot E_{кc}$. Далее, исходя из этого, установим общий баланс энергии электрона в атоме. В момент начала захвата электрона на орбиту ядра его отрицательная потенциальная энергия — E_p и энергия спирального движения — $E_{кc}$ равны, т.е. $E_{кc} - E_p = 0$. Электрон после захвата в атом и излучения электромагнитного кванта имеет общую энергию,

равную:
 $E_n = E_{кc} - E_p - \nu_{хар} h = -1/2 \cdot E_p = -1/2 \cdot E_{кc} = -E_k$, что согласуется со структурой распределения энергии электрона в атоме Бора.

В ИСК центр позиции электрона, перешедшего с орбиты на стационарную орбиталь, точно совпадает с координатами конца радиус вектора орбиты, которые определяются его проекциями на соответствующие координатные оси R_x , R_y и R_z . Радиус орбитали — r_c , равный радиусу спирального движения в момент захвата электрона на орбиту, фактически может рассматриваться как размер сферического электрона. Это подтверждается в многоэлектронном атоме точным совпадением суммы размеров орбиталей по радиальной линии атома с его размером по принципу плотной упаковки. И как видно из рис. 3, электроны в атоме вынуждены занять относительно ядра линейно противоположные позиции, что и приводит к структурной самоорганизации электронной оболочки атома в одном линейно выделенном направлении с противоположными значениями спина, как и в фитонной модели структурной единицы физического вакуума Акимова.

Квантовые числа и структурная организация электронной оболочки атома. Общее энергетическое состояние электронов в атоме определяет общее Кв.Ч — n , которое может принимать только целочисленные значения:

$$n = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (11)$$

В ИСК для общего Кв.Ч, согласно (8), выполняется равенство $n = n_x + n_y + n_z$. Как уже отмечали, согласно структурной организации атома, одно из этих Кв.Ч проекций орбиты отражает выделенное направление, за которое принято направление радиус-вектора R_x , а n_x — за главное Кв.Ч. Очевидно, что n_x , отражающее степень ориентации орбиты в выделенном направлении, не может быть меньше половины общего Кв.Ч — n и может принимать целочисленные значения, равные: $n_x = n/2, n/2 + 1, n/2 + 2, \dots, n$. Побочное Кв.Ч проекции орбиты l отражает орбитальное Кв.Ч s, p, d и f -оболочек орбиталей. Орбитальное Кв.Ч — l , как побочное, не может принимать значения больше половины n , поэтому оно принимает целочисленные значения, равные:

$$l = 0, 1, 2, \dots, n/2. \quad (12)$$

Разрешенные сочетания общего n и орбитального Кв.Ч — l определяют распределение s, p, d и f -оболочек орбиталей электронов на каждом энергетическом уровне атома в соответствии с значением n , что отражено в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева, где наибольшее разрешенное значение общего Кв.Ч — n определяет номер периода — N , а набор значений орбитального Кв.Ч — l , соответствующий данному N , — разрешенный набор орбитальных s, p, d и f -оболочек. Например, при $n = 3$ орбитальное Кв.Ч — l может принимать только целочисленные значения, равные $l = 0, 1$, которым в третьем периоде системы элементов соответствуют внешние $3s$ и $3p$ -оболочки. При этом максимальное дробное значение $l = 1,5$ не разрешено. При $n = 4$ разрешенные значения $l = 0, 1, 2$, что соответствует внешним $4s, 4p$, и $4d$ -оболочкам электронов. Таким образом, по предложенной системе распределения Кв.Ч в таблице Менделеева периоду с номером $N=n$ соответствуют внешние s, p, d и f -оболочки электронов только при определенном значении общего квантового числа n , а именно следующие внешние орбитальные оболочки элементов: при $N=1$ — $1s$; при $N=2$ — $2s$ и $2p$; при $N=3$ — $3s$ и $3p$; при $N=4$ — $4s, 4p$ и $4d$; при $N=5$ — $5s, 5p$ и $5d$; при $N=6$ — $6s, 6p, 6d$ и $6f$; при $N=7$ — $7s, 7p, 7d$ и $7f$. Это значит, что предложенная система распределения Кв.Ч полностью снимают необъяснимые факты несоответствия значения общего Кв.Ч внешних d и f -оболочек данному периоду в существующей системе элементов Менделеева.

Далее рассмотрим другие дополнительные Кв.Ч, сочетания которых определяют полный набор возможных состояний электронов в

атоме. В ИСК противоположные направления радиус-векторов, значит и позиций орбиталей задаются спиновыми Кв.Ч: в выделенном направлении всего атома — $\pm s (R_x)$ и на плоскости орбиталей — $\pm s_o$, которое соответствует орбитальному Кв.Ч — l , т.е. радиус-вектору R_l . Спиновые КЧ s_o и s принимают значения ± 1 и определяют количество способов отклонения радиус-вектора орбиты от выделенного направления при данном значении l , согласно следующим их сочетаниям по знакам:

$$(+s + s_o), (+s - s_o), (-s + s_o), (-s - s_o). \quad (13)$$

Очевидно, что эти 4 способа ориентации радиус-вектора R_l определяют знаки магнитного момента орбиты при пространственном распределении этого момента. Выражение для магнитного Кв.Ч предложено в монографии с оговорками на основе известного соотношения, и имеет вид: $m = \pm s \cdot \pm s_o (0, 1, 2, \dots, l)$. Однако, чтобы исключить возможную путаницу, магнитное Кв.Ч лучше представить без каких-либо оговорок соотношением следующего вида: $m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l$. Здесь количество возможных позиций орбиталей при данном l , согласно сочетаниям $\pm s_o$ и $\pm s$, равно четырем. Кроме того, согласно (9), орбитальное Кв.Ч — l состоит из суммы n_y и n_z , которые принимают значения кратные дробному числу 1/2:

$$n_y = 0, 1/2, 1, \dots, l \text{ и } n_z = 0, 1/2, 1, \dots, l. \quad (14)$$

Сумма сочетаний этих Кв.Ч, равная $l = n_y + n_z$, определяет число способов ориентации орбиталей на одной из s, p, d и f -оболочек, соответствующей данному значению l , что приведено в таблице. Таким образом, магнитное квантовое число m , согласно сочетаниям n_y и n_z , принимает значения: $m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l = \pm s \cdot \pm s_o \cdot (n_y + n_z)$.

Таблица

l	N сочет.	Разрешенные сочетания квантовых чисел ($n_y + n_z$)							
0 (s)	1	+0	-	-	-	-	-	-	-
1 (p)	3	0.5+0.5	1+0	0+1	-	-	-	-	-
2 (d)	5	1+1	0.5+1.5	1.5+0.5	2+0	0+2	-	-	-
3 (f)	7	1.5+1.5	0.5+2.5	2.5+0.5	2+1	1+2	3+0	0+3	

Позиции электронов в атоме по всевозможным значениям m полностью соответствует таблице элементов Менделеева, но при их количестве, превышающем в два раза, что не противоречит ей, если учесть ядерную конверсию, которая сопровождается поглощением половины электронов протонами ядра с образованием s, p, d и f -оболочек дейтронов. Тогда выражение для магнитного квантового числа имеет упрощенный и окончательный вид:

$$m = \pm s \cdot l = \pm s \cdot (n_y + n_z). \quad (15)$$

Структура атома. В монографии установлено, что структура ядерной оболочки атома до и после ядерной конверсии адекватна структуре электронной оболочки, поскольку движение протонов пространстве и закономерности пребывания их в ядре абсолютно идентичны электрону. Ядерная конверсия, конечно, вносит свои коррективы в состояние протонов и электронов в атоме, но при этом закономерности их распределения в нем, согласно разрешенным сочетаниям Кв.Ч, кроме магнитного, остаются прежними, как и до ядерной конверсии. Ядерная конверсия в атоме приводит к повышению устойчивости ядра атома за счет магнитного взаимодействия протонов с нейтронами с последующим образованием устойчивых кольцевых структур *s*, *p* и *d*-оболочек орбиталей дейтронов, как показано на рис. 4 (вид сверху). На рис. 4 приведен также продольный разрез ядра атома ксенона, где черными кругами обозначены протоны, серыми — связанные нейтроны, белыми — избыточные нейтроны. Координаты этих КЧ в атоме, согласно (11)—(15), соответствуют разрешенным сочетаниям общего — *n*, орбитального — *l*, магнитного — *m*, а также n_y и n_z Кв.Ч. Как видно из рис. 4,

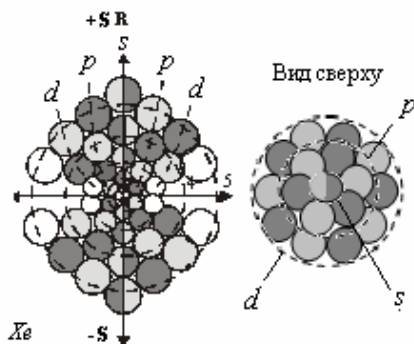


Рис. 4. Схема продольного разреза ядра и заполнения *s*, *p* и *d*-обочек орбиталей при $n=5$ (вид сверху) атома ксенона

внешние орбитальные оболочки ядра в соответствии с таблицей состоят из следующего количества протонов или нейтронов: *s* — 1, *p* — 3 и *d* — 5. Согласно спиновому Кв.Ч $\pm s$, эти *s*, *p* и *d*-орбитальные оболочки в атоме являются парными. Это приводит в целом к удвоению разрешенного количества КЧ в атоме, что полностью соответствует системе элементов Менделеева. В монографии, найдены также способы распределения в ядре и избыточных нейтронов. Установлено, что эти нейтроны занимают в основном центральную часть ядра атома, что обусловлено их электрической нейтральностью. В центральной части ядра магнитные моменты избыточных нейтронов компенсируют суммарные избыточные магнитные моменты орбитальных оболочек дейтронов, чем повышается устойчивость ядер, что наиболее полно и эффективно достигается в яд-

рах с числом зарядов, кратных четырем, согласно количеству сочетаний спиновых Кв.Ч $\pm s_o$ и $\pm s$ по (13).

Таким образом, можно утверждать, что найдена математическая и физическая модель атома, которая отражает его реальную динамическую структуру на основе классических представлений движения квантовых частиц в свободном пространстве, а также в условиях потенциального поля. При этом версия расширенного толкования Первого закона Ньютона позволяет выйти из привычных рамок понимания геометрии пространства и построить новую реальную его геометрию, позволяющую упростить математическое описание состояния квантовых частиц и движения других массивных тел в условиях силового поля. Найденная модель динамической структуры атома отличается простотой и наглядностью. Достижению такого результата способствовали следующие основные закономерности и положения, впервые использованные автором:

1. Введен принцип эквивалентности равномерных кругового и прямолинейного движений материальных тел, соответственно в поляризованном и абсолютном (евклидовом) пространстве, при которых достигается выполнение Первого закона Ньютона.

2. Установлена спиральная динамика движения квантовых частиц (КЧ) в пространстве, при которой скорости круговой и поступательной составляющих равны, а длина волны спирального движения равна длине окружности круговой его составляющей.

3. На основе п. 1, для описания движения КЧ в центрально-поляризованном пространстве, например, электронов в атоме предложена интегральная система координат (ИСК) потенциальных сфер (ПС) и в ней волновая функция стоящей волны от четырех зависимых друг от друга аргументов. Волновая функция, например, имеет вид: $\Psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(n/r)l_o$, где n — квантовое число, обозначающее целое количество спиральной волны электрона на устойчивой орбите; r — радиус орбиты; $l_o = \mathcal{G}r$ — длина орбиты на поверхности ПС, а \mathcal{G} — угол поворота по орбите.

4. Разработано графическое и математическое обоснование соответствия кругового движения по орбите и таким же круговым его проекциям на плоскости круговых координатных линий на поверхности ПС ИСК или на любые плоскости, проходящие через центр ИСК или декартовой системы координат (ДСК).

5. Учтены гироскопические силы, действующие на КЧ при структурной организации атома.

6. Обоснован и учтен единый принцип структурной организации заряженных КЧ (электронов и протонов в атоме) в условиях центрального потенциального поля.

7. Учтено явление ядерной конверсии электронов и протонов в дейтроны и его влияние на конечную структурную организацию атома.

В работе показано также, что принципы организации динамической структуры атомов в какой-то степени отражают принципы организации структуры квантовых частиц, где распределение одноименных зарядов имеют такую же линейную поляризацию, как и в атоме. А найденный принцип структурной организации квантовых частиц перекликается теорией «суперструн», из которых, предполагается, состоит физическое пространство, а также фитон-торсионной моделью единичной структуры пространства Акимова и Шипова.

Принципы структурной самоорганизации атомов указывают также на иерархическую самоорганизацию глобального космоса, где состояние материального тела любого ранга зависит от состояния всей системы в целом и наоборот.

В будущем новые законы и положения, раскрытые в этой монографии, потребуют философского переосмысления природы сил, действующих в физическом мире, и природы их влияния на структурную организацию массивных тел от микромира до космических масштабов.

Принципы структурной организации атомов, приведенные в монографии, имеют и прикладное значение. Они помогут глубже понять природу химической связи и тонко управлять ею не интуитивно, а на информационном уровне. Помогут также найти новые способы управления ядерными реакциями при синтезе искусственных атомов и новых веществ, выработке ядерной энергии и т.д. Приведут к созданию новых принципов нанотехнологий, перемещения в пространстве и т.д.

Автор надеется, что данная работа будет способствовать рассеиванию «тумана» в понимании структуры микромира, постижению «мистической» глубины физического вакуума, а также развитию философской мысли в раскрытии природы проявления времени и т.д.

Conclusion

Until now the spatial structure of an atom is known as remained an enigma. Practically, no solution of Schroedinger equation for describing the state of an electron in both a single-charged and multicharge atom has been found yet supposedly for the reason that the type of wave function which governs the presence of an electron in the atom is just unknown. The author of the present study believes that the problem of solving Schroedinger equation does not consist only in identifying a correct type of the wave function, but is also attributed to existing discrepancy between Euclidian geometry (in the framework of which such a solution is being considered) and the virtual curved geometry of space. Newtonian classical mechanics being based on the three laws of dynamics and law of gravitation was developed on the basis of Euclidian geometry. Specifically, Newton's first law of motion reads as follows: any object (or body) remains at rest or continues to move in uniform rectilinear manner for as long as an impact on the part of other objects will make it to change this state. Daily experience lends support to the verity of Euclidian geometry until we are dealing with relatively low velocities. However, when greater scales and higher velocities are involved, starting from the microworld and going then further to scales of the universe, one inevitably would face the factors of the non-homogeneity of properties of a real space, and, in particular, with the factors of its curvature. In fact, publication of this monograph would have been questionable if only satisfaction of Newton's first law had been traditionally considered exclusively in terms of a straight-line motion of objects (Euclidian geometry).

The issue of relating Euclidian geometry to the physical reality has been raised up long ago, and, indeed, the 19th century revealed a possibility for appearance of some new non-Euclidean geometries. The recent time has seen a great number of theories offering their own geometries of space. However all of them, though with multiple variations of mathematical formalism, are being built upon adaptation of Euclidian geometry to real conditions of the curved space. Such an approach has resulted in all those theories being rather sophisticated while unable to develop illustrative spatial models of complex dynamic systems, for instance, such as the systems of charged quantum particles of atoms.

This study offers an essentially new approach to solution of the problem. *The possibility of steady motion under no forces in homogeneous space, corresponding to Euclidean space, along a curved trajectory arbitrarily long are taken as conditions which correspond to the principle of continuous homogeneity.* Further on, on the basis of this principle of continuous homogeneity, the conformity has been identified of the geometry

of space to the configuration of spatial continuum with homogeneous dynamic properties, in which material objects can be in a state of rest or steady motion arbitrarily long. It means that the geometry of space corresponds to the form of a free uniform motion of material objects while preserving succession of operation of the existing Newton's dynamics laws related to the motion of objects. And this, under conditions of the established geometry of space has allowed, in its turn, to introduce the principle of equivalence of a steady circulatory motion of material objects in real space to a similarly steady but yet a straight-line motion of them in absolute space. This principle of equivalence has been formulated as follows: *a steady circulatory motion t of a material object in real space in conformity with its geometrical configuration, identified under conditions of continuous homogeneity, is equivalent to its steady straight-line motion in homogeneous and isotropic space.* On the basis of this principle the following extended interpretation of Newton's first law has been accepted: *any object retains a state of rest or steady circulatory motion at having been kept equally distanced from a certain centre for as long as the impact on the part of other objects will force it to change that state.* On the basis of the extended interpretation of Newton's first law it is fair to claim that a straight-line motion of a material object in space is only a special case of the circulatory motion, at which the radius of its curvature is infinitely long.

System of coordinates and describing motion of quantum particles (QP). For a simplified description of the dynamics of object motion in real space and on the basis of the extended interpretation of Newton's first law this study has introduced the integrated system of coordinates (ISC) of potential spheres (PS), which is equivalent to the fundamental geometry of space with central polarization in micro- and macrocosmos. PS ISC (hereafter ISC) consists of the two conjugated coordinate systems being, as it is shown in a Fig. 1, minimum hexadimensional.

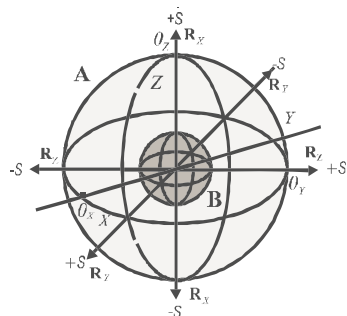


Fig.1. Integrated system of coordinates of potential spheres

In ISC an orbital steady circulatory motion is mapped by means of mutually perpendicular circular coordinate lines X , Y and Z , which are the lines of large circular curves on a spherical surface of space, the geometry of which is built up with observance of the principle of continuous homogeneity. Circular lines X , Y and Z , composing a spherical system of coordinates, correspond to mutually perpendicular ra-

dius-vectors R_x , R_y and R_z , which are drawn from their centers and directed similarly to the angular momentum vectors. In ISC these radius-vectors R_x , R_y and R_z constitute the second coordinate system being Cartesian system of coordinate (CSC). Each of radius-vectors R_x , R_y and R_z , depending on spin sign $\pm s$, has positive and negative directions. It means the circular lines of coordinates X , Y and Z can simultaneously assume both positive and negative values which would reflect the opposite directions of motion. ISC is a multilevel system in respect to the radius of a potential sphere, i.e. it can represent spaces on the sphere surface simultaneously for their infinite aggregate with various power characteristics. ISC features both demonstrativeness and simplicity when used for describing sophisticated and energetically connected multilevel systems such, for instance, as the systems of multielectronic atoms etc. without a need to apply complicated mathematical tools. At that it is interesting to note that the spherical coordinate system of lines X , Y and Z in a specified direction, for example, R_x with positive and negative values of spin $\pm s$ would agree with the dynamic structure of a phyton proposed by Akimov in the system of circularity wave packets as primary vortical elements of perfect vacuum.

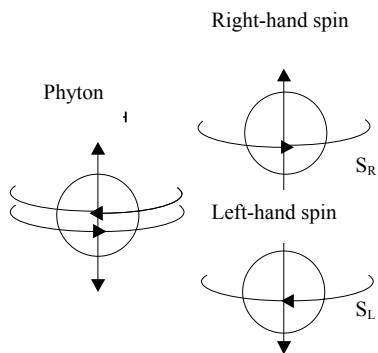


Fig.2. Phyton model of perfect vacuum

Phytons, as shown in Fig. 2, are compensated right-left primary vortices S_R and S_L that fill up the entire primary vacuum. It is obvious there is a principal correlation between Akimov's dynamic model of the phyton and Galiev's ISC, reflecting the dynamic geometry of space with central polarization in the specified direction.

Spiral dynamics of QP motion in space. Let us consider the steady motion of QP in free space. This work has found out *that motion of QP in space shows a gyroidal character where uniform velocities of circular and forward constituents of a spiral motion are equal among themselves*. It means the motion of quantum particles in space can be considered as undulation, and under such conditions the length of wave λ of the QP steady spiral motion is equal to the perimeter of a circle of its circumferential component, i.e.:

$$\lambda_s = 2\pi r_s, \quad (1)$$

where r_s — a radius of the spiral motion .

The value of r_s can be taken as a conventional size of a moving QP. It is evident the geometrical configuration of space of the rectilinear spiral motion represents a surface of a cylinder. On the basis of the principle of equivalence of circumferential and forward components of the spiral motion and extended interpretation of Newton's first law the motions velocities of these components perpendicular in their direction can be combined vectorially that gives the energy of QP motion equal to, $E = mv^2$, where m – mass; v – velocity of circular and forward constituents of the spiral motion. The energy of the QP spiral motion can be presented as consisting of the two equal parts, which are related to the circumferential and forward components of the motion. The energy of the QP motion is twice as large as that of the steady motion (kinetic energy) of a macroscopic body described by classical mechanics as $E = mv^2/2$. The amount of energy of the QP spiral motion agrees well with the existing quantum mechanics theory where the QP undulation in space is postulated by de Broglie relation which is given by:

$$mv^2 = \nu \hbar, \quad (2)$$

where \hbar – Plank constant, ν – helicon frequency.

It is known that $v = \nu \cdot \lambda$, where λ – a length of a helicon (spiral) wave. Then, with regard of (1) we can obtain from (2) a fundamental relationship for the moment of momentum (angular momentum) of QP:

$$mvr_s = \hbar, \quad (3)$$

where $\hbar = h/2\pi$ – constant of the QP moment of momentum. Relationship (3), being indicative of constancy of the value of the QP moment of momentum and equal to \hbar , determines the PQ metric with reference to space of an external observer providing the metric of the observer's space remains invariant, which at a given value of light velocity and Plank fundamental constant h is defined in homogeneous space in time. According to (3) a conventional size of QP depends entirely on the velocity of motion: the higher is the velocity, the less is the QP size and visa versa.

Describing the QP motion dynamics in ISC. Let us now consider the way of describing the motion of QP such, for instance, as electrons, as applied, for example, to the atom. The orbital motion of an electron in the atom, as it is presented by ISC, is effected in a large circular curve of the sphere surface, which radius corresponds to the radius of the orbit. The motion of an electron in the atom is limited by the length of the orbit and in ISC it forms a standing wave, which is conjugated by its spiral motion. The psi function of the standing wave can be presented by a circular sinusoid, which length is equal to that of the orbit. It is obvious that *the length*

of the standing wave in the orbit with its stability in time should be multiple to the length of spiral wave λ_s by whole number n , which is stated in this monograph as general quantum number (QN). Then the expression for the radius of the orbit takes the form:

$$r = nr_s . \quad (4)$$

It means that expression (3) for moment of momentum in the conditions of the atom with account of (4) will have a traditional form similar to that of Bohr atom:

$$mvr = n\hbar \quad (5)$$

It has been found out the velocity of a spiral motion of a charged QP in the orbit in the potential field of an opposite charge depends only on charge number Z of the curl-free potential field, the effective size of which can be reduced in multiple ratio by whole number n . Here we have the following formula for the velocity of the charged QP motion in the field of the charge:

$$v = Z/n \cdot e^2/\hbar ,$$

where e^2/\hbar - constant multiplier, and e - the charge.

In ISC the projection of a circular path function of the orbit oriented in an arbitrary manner to the plane of each of coordinate lines X , Y and Z has the form of a circular curve rather than that of an ellipse as is assumed by traditional Cartesian system. The radii of the orbit projections on planes X , Y and Z correspond to the projections of the orbit radius-vector on coordinate axes R_x , R_y and R_z . Then identical in their value radii r and lengths l_o of a set of the orbits, oriented in an arbitrary way in a given potential sphere, can be expressed through their appropriate projections r_x , r_y and r_z , as well as l_x , l_y , and l_z by correlations of the following form:

$$r = (r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)^{1/2} \text{ и } l_o = (l_x^2 + l_y^2 + l_z^2)^{1/2} . \quad (6)$$

It should be noted that traditionally CSC performs a simultaneous projection of both the interval and its angle on the circular curve; this, however, if observing the principle of equivalence of the straight-line and circular steady motions can not be considered as accurate as it gives no proportional projection of the interval from a tilting angle. Actually, a result similar to that observed in (6), could be achieved with CSC by projecting (basing upon the orbit circular curve tilting angle to the projection plane) the interval of the circular curve to the plane only along the length of this interval and by excepting simultaneous use of the same projection of this interval angle placed in the orbit. Using as actual parameters nothing but orbit lengths l_o rather than electron coordinates in those orbits, would

provide with a formal opportunity to describe a state of the electron standing wave in the atom by making use of traditional CSC. However such a way of achievable simplicity though would result in loss of the demonstrativeness inherent to ISC and some abstraction. Further on, it comes from (6) that $r_x/r = v_x/v$, $r_y/r = v_y/v$ and $r_z/r = v_z/v$, where v and v_x, v_y, v_z – velocities of electron motion in the orbit and its circular projections on the planes of coordinate lines X, Y and Z . The motion of the electron in the orbit as well as in its projections should be quantized, i.e. in accordance with s (5) $v = n\hbar/mr = nh/2\pi mr$. For instance, for direction X $v_x = n_x h/2\pi mr_x$, where n_x – taken as QN of the orbit projection on X ; m – electron mass; h – Plank constant; r – the orbit radius. Then true are:

$$(r_x/r)^2 = n_x/n, (r_y/r)^2 = n_y/n \text{ and } (r_z/r)^2 = n_z/n \quad (7)$$

It has been found out that in compliance with (6) and (7) the total QN, denoted as n , can be described through the QN of orbit projections n_x, n_y and n_z by the following equation:

$$n = n_x + l = n_x + n_y + n_z, \quad (8)$$

where l – the orbital QN of the orbit projection equal to:

$$l = n_y + n_z. \quad (9)$$

The monograph reveals that the total energy of the electron and the energy, corresponding to the orbit projection, e.g. on X , can be expressed through quantum numbers: $E_n = -1/2 \cdot E_p \cdot (n_x + n_y + n_z)/n$ and $E_k = -1/2 \cdot E_p \cdot n_x/n$, where E_p – potential energy. At that orbit radius r и radius of its projection r_x , e.g. on X , can be expressed as:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \sqrt{n^3(n_x + n_y + n_z)} \text{ and}$$

$$r_x = \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \sqrt{n_x n^3} = r \sqrt{n_x/n}.$$

ISC can describe the spiral motion of electrons in the atom by the function of the standing wave of four interdependent actual parameters n, r, l_o, \mathcal{G} of the form:

$$\psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(1/r_s) l_o \text{ or with account of (4) } \psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(n/r) l_o, \quad (10)$$

where $l_o = \mathcal{G}r$ – the orbit circumference on the surface of the potential sphere and \mathcal{G} – the angle of rotation. As is seen, only ISC can set out these different actual parameters in one and the same function in a simulta-

neous and demonstrative manner. It has been established that the general projection of a general function of the electron motion in the orbit, for instance, R_x (or X) has the form:

$$\psi_x = A(r_x/r) \sin(n/r) l_o = A(n_x/n)^{1/2} \sin(n/r) l_o = A_x \sin(n/r) l_o$$

where r_x — the radius of the orbit projection to coordinate line plane X on the surface of the sphere with the radius equal to the radius of the orbit. Such form of the projection of general function is also true for directions R_y and R_z . Thus, coefficients A_x , A_y and A_z of the general function projections would depend on radii r_x , r_y and r_z or on three QN — n_x , n_y and n_z of the orbit projections.

The study has found out solution of Schrodinger equation for a multielectron atom through applying only the wave function (10) at defined boundary conditions of QN effect. The solution is trivial and provides a similar outcome for both protons and electrons.

Model conditions of the atom structural arrangement. By virtue of the fact that the motion of an electron and proton in space is gyroidal which qualifies them as gyroscopes, then for identifying the model conditions of the atom structural arrangement one should take into consideration the

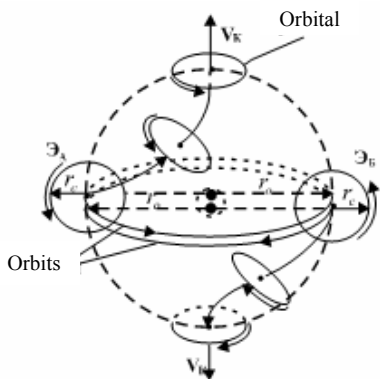


Fig.3. Formation of spin electron pairs in a double-charged atom

gyroscopic forces in addition to gravitational and electromagnetic ones which normally act in the atom. It is obvious that when capturing an electron to the nucleus orbit, that electron, being a gyroscope, is subjected to a forced rotation; this would result in angular displacement of the axis of rotation of its spiral motion up to the rencontre with the axis of the forced orbital revolution with direction of its translatory motion being oriented from the atom nucleus at right angles to the plane of the orbit as is shown in Fig. 3. Thus, there takes

place the cross polarization of a circular component of the electron spiral motion to the plane of the orbit in the same manner as Akimov's polarization of space. In which case, however, electron cannot move away from the nucleus since its translatory motion is impeded by attraction forces of the nucleus. In the result, the electron will take a steady-state condition of a spin in the orbital with a radius of rotation equal to a circular component of the spiral motion r_s . At that the electron cannot but emit a quan-

tum of energy E_{rad} equal to the lost amount of the translatory motion kinetic energy E_{κ} , i.e. $E_{rad} = \nu_{char} h = E_{\kappa}$, where ν_{char} — frequency ratio of characteristic radiation; h — Plank constant. And, as we known, due to the fact that at the spiral motion the energies of rotatory and translatory motions being equal, the energy, emitted in the course of the electron being captured in the atom, will be half as large the energy of its spiral motion $E_{\kappa s}$, i.e. $E_{rad} = E_{\kappa} = 1/2 \cdot E_{\kappa s}$. Further on, on this basis, we shall determine the total energy balance of the electron in the atom. At the initial instant of the electron being captured in the orbit of the nucleus its *negative* potential energy E_p and spiral motion energy $E_{\kappa s}$ are equal, i.e. $E_{\kappa s} - E_p = 0$. The electron, after having been caught in the atom and after emission of electromagnetic quantum, shows the total energy equal to:

$$E_n = E_{\kappa s} - E_p - \nu_{char} h = -1/2 \cdot E_p = -1/2 \cdot E_{\kappa s} = -E_{\kappa},$$

which is consistent with the pattern of the electron energy distribution in Bohr atom.

In ISC the centre of the position the electron, which has passed on from the orbit to a stationary orbital, shows a precise coincidence with the coordinates of the end of the orbit radius-vector, which are defined by its projections to respective coordinate axes R_x , R_y and R_z . The orbital radius r_s , equal to the radius of spiral motion, can, in fact, be considered as a size of a spherical electron at the moment of the electron being captured in the orbit. In a multielectron atom the support to the above can be lent by a point-to-point correspondence of the orbital size sum along the radial line of the atom with its own size by the principle of close packing. And, as is seen from Fig.3, the electrons in the atom are forced to plant themselves in the positions linearly opposite in relation to the nucleus as it is needed for a structural self-organization of the atom electronic shell in a linearly specified direction with spin converses as it occurs in a similar manner in Akimov's phyton model of the perfect vacuum structural unit.

Quantum numbers and structural organization of the electron shell of the atom. The general energy state of electrons in the atom defines the general QN, implied by the n , which can possess only whole-number values, i.e. :

$$n = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (11)$$

In ISC in accordance with (8) equation $n = n_x + n_y + n_z$ is fulfilled for general QN. As noted above, according to the atom structural organization, one of these QN of the orbit projections reflects a specified or sin-

gled-out direction, for which the direction of radius-vector R_x is taken for, while n_x stands for main QN. It is obvious that n_x , reflecting a degree of orientation of the orbit in that specified direction, can not be less than the n -denoted half-QN and can take whole-number values equal to: $n_x = n/2, n/2 + 1, n/2 + 2, \dots, n$. The l -denoted azimuthal QN of the orbit projection reflects the orbital QN of s, p, d and f -shells of orbitals. Orbital QN l , being an azimuthal one, cannot take values larger than half- n , therefore it takes the whole-number values equal:

$$l = 0, 1, 2, \dots, n/2 \quad (12)$$

The allowable combinations of general and orbital QN, denoted respectively by n and l , define distribution of s, p, d and f -shells of the electron orbitals at each energy level of the atom in accordance with the value of n that is described by Mendeleev's Periodic System where the largest allowable value of the n -denoted general QN determines the number of period N while the set of values of the l -denoted orbital QN, corresponding to the given N , determines an allowable set of orbital s, p, d and f -shells. For instance, at $n = 3$ the l -denoted orbital QN can take only whole-number values equal to $l = 0, 1$, to which outer $3s$ and $3p$ -shells correspond in the third period of the element system. Thereat a maximum fractional value of $l = 1,5$ is not allowed. At $n = 4$ allowable values of $l = 0, 1, 2$ that correspond to outer $4s, 4p$, and $4d$ -shells of electrons. Thus, as it follows from the proposed system of distribution of quantum numbers, in Mendeleev's Table the period with number $N=n$ is matched with outer s, p, d and f -shells of electrons only at a certain value of general quantum number n , namely with the following outer orbital shells of elements: at $N=1$ — $1s$; at $N=2$ — $2s$ and $2p$; at $N=3$ — $3s$ and $3p$; at $N=4$ — $4s, 4p$ and $4d$; at $N=5$ — $5s, 5p$ and $5d$; at $N=6$ — $6s, 6p, 6d$ and $6f$; at $N=7$ — $7s, 7p, 7d$ and $7f$. It means the suggested system of the QN distribution completely eliminates inexplicable facts of mismatch of the general QN value of outer d and f -shells to the given period in Mendeleev's system.

Further on, let us consider other additional QN, the combinations of which would determine a complete set of possible states of electrons in the atom. In ISC the opposite directions of radius-vectors and, consequently, those of positions of orbitals are prescribed by spin quantum numbers: i.e. by $\pm s(R_x)$ in the specified direction of the entire atom and by $\pm s_o$ on the plane of orbitals, which corresponds to the l -denoted orbital QN, i.e. radius-vector R_l . Spin quantum numbers, s_o and s , can take values ± 1 and determine the number of ways of deviation of the orbit radius-vector

from the specified direction at a given value of l in accordance to their combinations by signs as follows:

$$(+s + s_o), (+s - s_o), (-s + s_o), (-s - s_o). \quad (13)$$

It is obvious that these four ways of R_l radius-vector orientation determine the signs of the magnetic moment of the orbit at spatial distribution of this moment. This study provides the expression for magnetic QN subject to restrictions on the basis of a certain formula and it has the following form: $m = \pm s \cdot \pm s_o (0, 1, 2, \dots, l)$. However, in order to avoid possible confusion, it is preferable to present magnetic QN without any restrictions by the following correlation: $m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l$. At this time the number of possible positions of orbitals at a given l , in accordance to combinations $\pm s_o$ и $\pm s$, equals to four. Besides, as per (9), the l -denoted orbital QN consists of the sum of n_y and n_z , which take the values aliquot to fractional $1/2$:

$$n_y = 0, 1/2, 1, \dots, l \text{ and } n_z = 0, 1/2, 1, \dots, l. \quad (14)$$

The sum of combinations of these QN, equal to $l = n_y + n_z$, determines the number of ways of orientation of the orbitals on one of the s, p, d and f -shells, corresponding to the given value of l , that is set out in the Table below. Thus, magnetic quantum number m , as per combinations n_y and n_z , takes values: $m = \pm s \cdot \pm s_o \cdot l = \pm s \cdot \pm s_o \cdot (n_y + n_z)$.

Table

l	N of combinations	Allowable combinations of quantum numbers (n_y+n_z)							
		+0	-	-	-	-	-	-	-
0 (s)	1	+0	-	-	-	-	-	-	-
1 (p)	3	0.5+0.5	1+0	0+1	-	-	-	-	-
2 (d)	5	1+1	0.5+1.5	1.5+0.5	2+0	0+2	-	-	-
3 (f)	7	1.5+1.5	0.5+2.5	2.5+0.5	2+1	1+2	3+0	0+3	-

Positions of electrons in the atom for every possible values of m show a complete compliance with Mendeleev's Table but at their twice as large quantity, which, however, is in no contradiction with it, providing one takes into account *the nuclear conversion*, which is normally accompanied by absorption of one-half of electrons by protons of the nucleus with a consequent formation of s, p, d and f -shells of deuterons. In this case the expression for magnetic quantum number will have a simplified and final form:

$$m = \pm s \cdot l = \pm s \cdot (n_y + n_z). \quad (15)$$

Structure of the atom. The study has revealed that the structure of the atom shell both before and after the nuclear conversion is adequate to the structure of the electron shell so far as the proton motion in space and the patterns of their sojourn in the nucleus are absolutely identical to those of the electron. The nuclear conversion would, certainly, produce some impact upon the state of protons and electrons in the atom, but yet the patterns of their distribution in it, as per allowable combinations of QN except for magnetic one, remain the same as they were before the nuclear conversion. The nuclear conversion in the atom results in increasing the stability of the nucleus of the atom at the cost of magnetic interaction of protons with neutrons with a subsequent formation of steady ringed structures *s*, *p* and *d*-shells of deuteron orbitals as is shown in Fig. 4 (top view). Fig. 4 also shows a longitudinal section of the xenon atom where protons are marked by black circles, connected neutrons – by grey ones and white circles stand for excess neutrons. Coordinates of these QP in the atom, as per

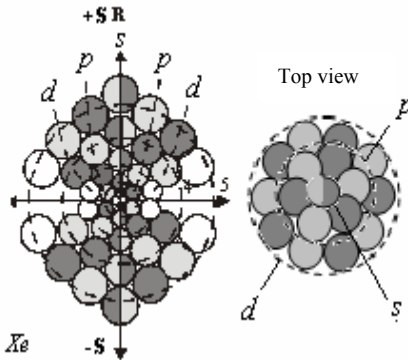


Fig.4. schematic representation of the nucleus section and filling the orbital *s*, *p* and *d*-shells of the xenon atom at $n=5$ (top view)

(11)-(15), correspond to allowable combinations of general - *n*, orbital - *l*, magnetic - *m*, and also n_y and n_z QN. As seen in Fig. 4, the external orbital shells of the nucleus in accordance with Table consist of the following number of protons or neutrons: *s* - 1, *p* - 3 and *d* - 5. According to spin QN $\pm s$ these *s*, *p* and *d*-orbital shells in the atom are paired. On the whole it results in doubling an allowable number of QP in the atom, and this is in full

compliance with Mendeleev's element system. The present study has identified the ways of distribution of excess neutrons in the atom too. It has been found out that these neutrons basically occupy the central portion of the atomic nucleus due to their electrical neutrality. In the central portion of the nucleus the magnetic moments of excess neutrons compensate the integrated excess magnetic moments of the deuteron orbital shells that would contribute into stability of nucleuses; in the nucleuses with the number of

charges multiple to four it can be achieved in the most complete and effective manner in accordance with the number of combinations of spin QN , $\pm s_o$ and \pm , as it comes from (13).

Thus, it can be claimed that there has been identified the mathematical and physical model of the atom, which reflects its actual dynamic structure on the basis of classical representations of quantum particle motion in free space as well as in conditions of a potential field. In such a case the version of extended interpretation of Newton's first law allows to get out from the traditional framework of conception of the space geometry and to build up its new and real geometry that will allow to simplify a mathematical description of the state of quantum particles and the motion of other massive bodies in conditions of the field of force. The identified model of the dynamic structure of the atom is featuring simplicity and obviousness. This outcome has been achieved due to the author's pioneering the use of the following basic provisions and objective laws:

1. There has been introduced the principle of equivalence of steady circulatory and straight-line motions of material bodies in polarized and absolute (Euclidean) space, respectively, at which Newton's first law can be satisfied.

2. Recognized is the spiral dynamics of motion of quantum particles (QP) in space, at which the velocities of both a circular and a forward components are equal while the wave length of the spiral motion is equal to the perimeter of the circle of its circular component.

3. The integrated system of coordinates (ISC) of potential spheres (PS) and, within it, the standing wave function of four interdependent actual parameters has been proposed on the basis of item 1 for describing the motion of QP in the central polarized space such, for instance, as that of electrons in the atom. The wave function, for example, has the following form: $\psi_{(xyz)} = A \cdot \sin(n/r)l_o$, where n — the quantum number denoting the whole quantity of the spiral wave of an electron in a stable orbit; r — a radius of the orbit; $l_o = \mathcal{G}r$ — the length of the orbit on the surface of PS, a \mathcal{G} — the angle of rotation in the orbit.

4. Both graphical and mathematical substantiations have been developed of correspondence of the circulatory motion in the orbit and its projections on the plane similarly circular to the circular coordinate lines on the surface of ISC CFS or to any planes which are crossing the centre of ISC or Cartesian system of coordinates (CSC).

5. Account is taken of gyroscopic forces which have effect on QP in structural organization of the atom.

6. The unified principle of the structural organization of charged QP (electrons and protons in the atom) under conditions of central potential field has been substantiated and taken into account.

7. Consideration has been taken of such a phenomenon as nuclear conversion of electrons and protons into deuterons and its effect upon final structural organization of the atom.

The present work also demonstrates that organizational principles of the atomic dynamic structure reproduce to some extent organizational principles of the quantum particle structure where distribution of similar charges have the linear polarization similar to that in the atom. Moreover, the identified principle of the structural organization of quantum particles has something in common with the theory of superstrings, which, as deemed, constitute a physical space, and also with Akimov's and Shipov's phyton-torsional model of the monic structure of space.

The principles of structural self-organizing of atoms point out to the hierarchical self-organizing of the global space where a state of a material body of any rank is dependent upon the state of the entire system and visa versa.

In the future the new laws and provisions, disclosed in this study, will certainly call for philosophical rethinking of the nature of forces acting in the physical world, and also of the nature of their impact on structural organization of massive bodies, starting with those in microworld and further on up to those of cosmic scales.

The principles of the structural organization of atoms, given in this monograph, also have an applied relevance. They can help to understand the nature of a chemical bond more deeply and thus to exercise a delicate control over it at the information level rather than intuitively. They will also help to find out new ways of controlling nuclear reactions in synthesis of artificial atoms and new substances, generation of nuclear energy etc; they also can contribute in developing new principles of nanotechnologies, spatial motion etc.

The author expects the given work will contribute to dispelling "the fog" in understanding of the microworld structure, insight in the "mystical" depth of physical vacuum and also to development of philosophical idea for disclosing the nature of manifestation of time etc.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. Материалисты Древней Греции. — М.: Госполитиздат, 1955. — С. 62, 232.
2. Некрасов Б.В. Основы общей химии. — М.: Химия, 1973, Т.1. — С. 8.
3. Шри Шримад А.Ч. Бхактиведанта Свами Прабхупада. БХАГАВАД-ГИТА как она есть. — Вильнюс: ЛИТУАЛУС, 1990. — С. 823.
4. Уэр М.Р., Ричард Д.А. Физика атома. — М.: Госатомиздат, 1961. — 304 с.
5. Bede. A. History of the English Church and People. Перев. на англ. яз. Shertey — Price L. Penguin Books, 1955. — P. 38.
6. Вайнберг С. Открытие субатомных частиц. — М.: МИР, 1986. — С. 31.
7. Needham J. The Grand Titration: Science and Society in East and West. London. Allen & Unwin, 1969.
8. Дей К., Селбин Д. Теоретическая неорганическая химия. — М.: Химия, 1969. — 432 с.
9. Карапетьянс М.Х., Дракин С.И. Строение вещества. — М.: Высшая школа, 1978. — С. 26–46.
10. Шипов Г.И. Мн. Теория физического вакуума. — М.: Наука, 1997. — С. 83.
11. Акимов А.Е. Эвристическое обсуждение проблемы новых дальних действий, EGS – концепции*. — М.: Препринт МНТЦ ВЕНТ № 7А, 1991. — 63 с.
12. Ракобольская И.В. Ядерная физика. — М.: МГУ, 1971. — 296 с.
13. Окунь Л.Б. *αβγ..Z* элементарное введение в физику элементарных частиц. — М.: Наука, 1985. — 112 с.
14. Каганов М.И., Цукерник В.М. Природа магнетизма. — М.: Наука, 1982. — 192 с.

Все замечания и отзывы на изложенный материал будут приняты с благодарностью автором по
e-mail: rakhimyan@tut.by

Научное издание

ГАЛИЕВ Рахиян Сафуанович

**КОНЦЕПЦИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АТОМА
В ПРОСТРАНСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СФЕР**

МОНОГРАФИЯ

Подписано в печать 11.12.06.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,0.

Тираж 150 экз. Заказ № 234-07

Издатель ИД «Ли́ра»,

Издательская лицензия № 02141, серия ИД от 20.06.2000 г.

Юр. Адрес: 140200, г. Воскресенск, ул. Менделеева, д.10

Факт. Адрес: 140200, г. Воскресенск, ул. Советская, д.4 оф. 303

Тел. 8(49644) 2-21-61.

Оригинал-макет предоставлен Р.С. Галиевым

Отпечатано в ООО «Множительный центр»

140200, г. Воскресенск, ул. Заводская д. 1