

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко второму тому	9
Глава 15. Трехмерные повороты и отражения	11
15.1. Трехмерные повороты. Преобразования векторов, тензоров и спиноров	11
15.1.1. Операторы поворотов	11
15.1.2. Матрицы поворотов. Преобразование компонент векторов и тензоров при поворотах координатных систем	18
15.1.3. Преобразование спиноров при поворотах координатных систем. Спиноры ранга $r = 1$	26
15.1.4. Спиноры произвольного ранга	41
15.2. Неприводимые представления групп. Неприводимые тензоры	46
15.2.1. Группы \mathbb{R}^3 , $SO(3)$ и $SU(2)$	46
15.2.2. Неприводимые представления групп и неприводимые тензоры. Тензор второго ранга	47
15.2.3. Неприводимые тензоры произвольных рангов	52
15.2.4. Спиноры и неприводимые тензоры произвольных рангов	56
15.3. Пространственные отражения	62
15.3.1. Отражения от координатных плоскостей. Вращательно-отражательная симметрия	62
15.3.2. Инверсия координат	67
Глава 16. Свободный ротатор в классической и квантовой механике	70
16.1. Ротатор в классической механике	70
16.1.1. Общее описание движений твердого тела	70
16.1.2. Тензор инерции	73
16.1.3. Кинематика вращения	78
16.1.4. Динамика вращения. Уравнения Эйлера	86
16.1.5. Зависимости проекций ω_1 , ω_2 и ω_3 от времени	87
16.1.6. Зависимости углов поворотов от времени	91
16.2. Ротатор в квантовой механике	97
16.2.1. Квантование движений ротатора	97
16.2.2. Симметричный, сферический и линейный ротаторы	103
16.2.3. Асимметричный ротатор. Определение вращательных энергий и волновых функций	108
16.2.4. Симметрия вращательных состояний асимметричного ротатора	121
16.2.5. Волновые функции слабо асимметричного ротатора	137
16.3. Квантовый ротатор в сфероконических координатах.	145
16.3.1. Оператор углового момента в сфероконических координатах	147
16.3.2. Уравнение Ламе для волновой функции асимметричного ротатора	154
16.3.3. Гамильтониан в различных координатных представлениях	155
16.3.4. Волновые функции и энергетический спектр асимметричного ротатора	158

Глава 17. Преобразования Лоренца	172
17.1. Определение преобразования Лоренца	172
17.1.1. Базисы пространства Минковского. «Метрический» тензор	173
17.1.2. События и интервалы. Собственное время	173
17.2. Общие свойства преобразования Лоренца	178
17.2.1. Свойства вещественной матрицы однородного преобразования Лоренца	178
17.2.2. Преобразование Лоренца компонент векторов и тензоров	181
17.3. Элементы преобразований Лоренца	182
17.3.1. Полный набор преобразований	182
17.3.2. Пространственные вращения и инверсия	184
17.3.3. Отражение времени	185
17.3.4. Буст	185
17.3.5. Оператор тождественного преобразования	190
17.4. Группа Лоренца	190
17.4.1. Описание группы и классификация преобразований	190
17.4.2. Генераторы группы Лоренца и операторы преобразований	193
17.4.3. Неприводимые представления группы Лоренца	204
17.5. Преобразования Лоренца и спиноры	205
17.5.1. Матричный базис пространства Минковского	205
17.5.2. Пространственные повороты, инверсия и бусты	206
17.5.3. Генераторы группы Лоренца и матрицы Дирака	210
17.5.4. Симметричные спиноры и 4-векторы	217
Глава 18. Методы теории углового момента в электродинамике	219
18.1. Пререквизиты	219
18.1.1. Уравнения Максвелла и их представления Фурье	219
18.1.2. Угловой момент электромагнитного поля	223
18.2. Мультипольные разложения электростатического потенциала	229
18.2.1. Электрические мультиполи в декартовом представлении	230
18.2.2. Сферические компоненты электрических мультиполей	235
18.2.3. Связь между электрическими мультиполями в декартовом представлении и сферическими электрическими мультиполями	238
18.2.4. Магнитные мультиполи в декартовом представлении	241
18.2.5. Сферические компоненты магнитных мультиполей	247
18.2.6. Связь между магнитными мультиполями в декартовом представлении и сферическими магнитными мультиполями	253
18.3. Представления свободного электромагнитного поля в виде плоских и сферических волн	260
18.3.1. Плоские волны как полная система собственных функций свободного электромагнитного поля	261
18.3.2. Сферические волны	263
18.3.3. Мультипольные разложения для плотности энергии поля, момента и углового момента	271
18.3.4. Разложение плоской волны по сферическим волнам	275
18.4. Излучение и рассеяние электромагнитных волн	281
18.4.1. Электромагнитное поле с источниками	281
18.4.2. Угловое распределение излучения	286
18.4.3. Дипольное, квадрупольное и магнитно-дипольное излучение	290
18.4.4. Рассеяние электромагнитных волн идеальной сферой	298

18.5. Квантование свободного электромагнитного поля	306
18.5.1. Обобщенные координаты, канонические переменные, гамильтониан и импульс	307
18.5.2. Каноническое квантование свободного электромагнитного поля	312
18.5.3. Операторы поля в представлении чисел заполнения. Вторичное квантование	316
18.5.4. Угловой момент фотона. «Орбитальный» и «спиновый» моменты	324
18.5.5. Фотоны как сферические волны. Спиральные состояния	325
18.5.6. Разложение электромагнитного поля по волновым функциям фотона в $(kJM\pi_\gamma)$ -представлении	333
18.5.7. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля в терминах сферических волн	336
Глава 19. Угловые моменты частиц в теории Дирака	339
19.1. Уравнение Дирака	340
19.1.1. От уравнения Шредингера к уравнению Дирака	340
19.1.2. Преобразования Лоренца для биспинора Вейля и уравнение Дирака	346
19.1.3. Различные представления γ -матриц и спиноров	349
19.1.4. Уравнение непрерывности для плотности тока вероятности	351
19.1.5. Ковариантность уравнения Дирака относительно преобразований Лоренца	353
19.1.6. Угловой момент электрона в теории Дирака	354
19.1.7. Симметрия спиноров относительно пространственной инверсии	356
19.1.8. Билинейные ковариантные комбинации биспиноров Дирака	359
19.2. Плоские волны фермионов.	366
19.2.1. Положительные и отрицательные энергии	366
19.2.2. Частица в состоянии покоя	367
19.2.3. Частица в состоянии движения	373
19.2.4. Плотность тока вероятности плоских волн, их нормировка и полнота	379
19.2.5. Спиральные и киральные состояния	383
19.2.6. Проекционные операторы состояния энергии	386
19.2.7. Поляризация плоских волн и матрица плотности	390
19.3. Сферические волны фермионов	402
19.3.1. Сохраняющиеся величины и шаровые спиноры	402
19.3.2. Решения уравнений Дирака в терминах сферических волн	406
19.3.3. Разложение плоской волны по сферическим волнам	411
19.4. Вторичное квантование свободного фермионного поля	422
19.4.1. Энергия	422
19.4.2. Импульс	427
19.4.3. Заряд	428
19.4.4. Плотность тока вероятности	428
19.4.5. Проекция полного углового момента на направление вектора поляризации	430
Глава 20. Приложение теории Дирака и квазирелятивистское приближение. Спин-орбитальное взаимодействие	434
20.1. Уравнение Дирака для заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле	435
20.1.1. Уравнение Дирака и принцип минимального связывания	435
20.1.2. Взаимодействие системы электронов с электромагнитным излучением	440
20.2. Дираковская частица в аксиально-симметричном (магнитном) поле	444
20.2.1. Дифференциальное уравнение для двумерных спиноров и его решения	444
20.2.2. Конструирование биспиноров, отвечающих положительным энергиям	449
20.2.3. Биспиноры для решений, отвечающих отрицательным энергиям	453

20.3. Дираковская частица в центрально-симметричном поле	457
20.3.1. Угловые моменты. Состояния с определенной четностью. Уравнения для радиальных функций	457
20.3.2. Дираковская частица в кулоновском поле	460
20.3.3. Дираковский гармонический осциллятор. Спин-орбитальное взаимодействие	462
20.4. Квазирелятивистское приближение к теории Дирака	472
20.4.1. Спин в теории Паули	472
20.4.2. Разложение уравнений Дирака, учитывающее спин-орбитальное взаимодействие	475
20.4.3. Спин-орбитальное взаимодействие в теориях Дирака и Паули	483
20.5. Элементарная теория сверхтонких расщеплений квантовых состояний	488
20.5.1. Магнитное сверхтонкое расщепление	489
20.5.2. Электрическое сверхтонкое расщепление	495
20.6. Эффект Штарка в атоме водорода	509
20.6.1. Общие замечания	509
20.6.2. Линейный эффект Штарка	510
20.6.3. Эффект Штарка для основного состояния атома водорода	517
20.6.4. Эффект Штарка для уровней тонкой структуры	518
20.6.5. Природа кулонова вырождения	520
20.7. Эффект Зеемана в атоме водорода	523
20.7.1. Операторы возмущений	523
20.7.2. Аномальный и нормальный эффекты Зеемана	525
20.7.3. Эффект Пашена–Бака	526
20.7.4. Общий эффект Пашена–Бака	528
Глава 21. Излучение и поглощение фотонов при квантовых переходах	532
21.1. Определения	533
21.1.1. Общие формулы нестационарной теории возмущений	533
21.1.2. Однофотонные переходы	540
21.1.3. Двухфотонные переходы	546
21.1.4. Трехфотонные переходы и переходы более высоких порядков	554
21.2. Дипольные, квадрупольные и магнитно-дипольные однофотонные переходы	558
21.2.1. Длинноволновое разложение плоской волны	558
21.2.2. Дипольные переходы	560
21.2.3. Вероятности квадрупольных и магнитно-дипольных переходов	570
21.2.4. Правила отбора, угловые распределения и поляризация фотонов при квадрупольных переходах	574
21.2.5. Правила отбора, угловые распределения и поляризация фотонов при магнитно-дипольных переходах	577
21.3. Общая теория однофотонных переходов электрического и магнитного типов	579
21.3.1. Дифференциальная и полная вероятности переходов	579
21.3.2. Переходы с излучением фотонов магнитного типа	586
21.3.3. Переходы с излучением фотонов электрического типа	588
21.3.4. Калибровочное преобразование потенциала	590
21.3.5. Изменение формул для вероятностей переходов при калибровочном преобразовании потенциала	593
21.3.6. Учет сверхтонких расщеплений в формулах для вероятностей мультипольных переходов	595

21.3.7. Полная вероятность излучения фотона. Сумма мультипольных вероятностей	595
21.3.8. Поляризационные характеристики мультипольного излучения	597
21.4. Длинноволновое приближение	603
21.4.1. Вероятности мультипольных переходов в длинноволновом приближении . .	603
21.4.2. Электрические мультипольные переходы в длинноволновом приближении	607
21.4.3. Магнитные мультипольные переходы в длинноволновом приближении . . .	610
21.5. Двухфотонные и трехфотонные переходы.	623
21.5.1. Двухфотонные переходы	624
21.5.2. Амплитуды двухфотонных переходов в длинноволновом приближении . . .	631
21.5.3. Рассеяние фотонов в длинноволновом дипольном приближении	637
21.5.4. Трехфотонные переходы	648
Глава 22. Элементы теории угловых моментов в простейших проблемах молекулярной спектроскопии	654
22.1. Молекулярные ротаторы	655
22.1.1. Жесткие молекулярные ротаторы	655
22.1.2. Замечания о центробежных возмущениях и колебательно-вращательных взаимодействиях	658
22.1.3. «Колебательный» угловой момент в линейной молекуле	659
22.1.4. Двухатомная молекула с тождественными ядрами	664
22.1.5. Тожественные ядра в молекулах типа симметричного ротатора. Симметрия	667
22.1.6. Матричные элементы оператора тонких взаимодействий в молекулах типа асимметричного ротатора	677
22.1.7. Силы линий радиационных переходов в спектрах ротаторов	684
22.2. Двухатомные молекулы с электронными угловыми моментами.	698
22.2.1. Координаты. Общие интегралы движения	699
22.2.2. Адиабатическое приближение	701
22.2.3. Симметрия электронной волновой функции	706
22.2.4. Угловой момент молекулы. Учет орбитального момента электронов	712
22.2.5. Уравнение для ядерной волновой функции	713
22.2.6. Полная волновая функция молекулы в случае $S = 0$	719
22.2.7. Колебательная и вращательная энергии молекулы	721
22.2.8. Симметрии полной волновой функция. Четность	724
22.2.9. Матричные элементы в базисе $ \zeta \Lambda N M \pi_i\rangle$	727
22.2.10. Λ -удвоение	737
22.2.11. Двухатомные молекулы с отличным от нуля электронным спином	739
22.2.12. Волновые функции при учете электронного спина. Схема Гунда (a)	741
22.2.13. Волновые функции при учете электронного спина. Схема Гунда (b)	751
22.2.14. Волновые функции для схемы Гунда, промежуточной между схемами (a) и (b)	758
22.2.15. Иллюстративный пример. Промежуточная схема связи Гунда для $^2\Pi$ -термов	760
22.2.16. Силы линий дипольных электрических переходов между вращательными уровнями двухатомных молекул	771
22.3. Сверхтонкая структура вращательных спектров	779
22.3.1. Квадрупольная сверхтонкая структура	779
22.3.2. Магнитная сверхтонкая структура	795
22.3.3. Радиационные переходы между уровнями сверхтонких мультиплетов вращательных состояний молекул	814

Глава 23. Магнитное упорядочение в системах тождественных частиц с произвольным спином	817
23.1. Спиновый гамильтониан тождественных частиц с произвольным спином.	817
23.1.1. Зависимость поправки к энергии взаимодействия системы двух тождественных частиц от величины суммарного спина	817
23.1.2. Гамильтониан системы двух взаимодействующих тождественных частиц в спиновом представлении	819
23.2. Магнитные состояния изотропного магнетика с высоким спином ионов, $S = 3/2$	824
23.2.1. Операторы Стивенса для спин-3/2-системы	824
23.2.2. Основные состояния изотропного спин-3/2-магнетика	825
23.2.3. Состояния изотропного спин-3/2-магнетика с положительной константой обменного взаимодействия, $A > 0$	827
23.2.4. Состояния изотропного спин-3/2-магнетика с отрицательной константой обменного взаимодействия, $A < 0$	827
Приложение 1. Векторные произведения шаровых векторов	828
Приложение 2. Вычисление сумм произведений векторов поляризации	833
Приложение 3. Коммутаторы импульсов и угловых моментов свободного электромагнитного поля	834
Приложение 4. Некоторые свойства матриц Дирака	844
Приложение 5. Рекуррентные и дифференциальные соотношения для сферических спиноров	849
Приложение 6. Нормировка волновой вращательно-ядерной функции симметричного ротатора, обладающего симметрией C_{3v}	858
Список литературы тома 2	864
Предметный указатель	869