

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	10
Введение	13
Глава 1. Волновые уравнения квантовой механики	22
1.1. Волновая функция	25
1.2. Принцип действия	31
1.3. Преобразования симметрии	36
Глава 2. Преобразования симметрии в нерелятивистской теории	39
2.1. Ортогональные преобразования координат	39
2.2. Скалярные поля	42
2.2.1. Пространственно-временные трансляции (42). 2.2.2. Трехмерные вращения (45). 2.2.3. Функция Лагранжа (50). 2.2.4. Действие частицы, взаимодействующей с электромагнитным полем (52). 2.2.5. Пространственная инверсия (54). 2.2.6. Обращение времени (56). 2.2.7. Зарядовое сопряжение (57).	
2.3. Спинорные поля	57
2.3.1. Оператор спина (58). 2.3.2. Уравнение Паули (60). 2.3.3. Специфика спинорных волновых функций (62). 2.3.4. Трехмерные вращения (65). 2.3.5. Инверсия спиноров (66). 2.3.6. Связь спинорного и тензорного представлений группы трехмерных вращений (67).	
Глава 3. Преобразования симметрии в релятивистском случае	71
3.1. Группа преобразований Лоренца	71
3.2. Скалярные поля	74
3.2.1. Пространственно-временные сдвиги и вращения (74). 3.2.2. Уравнение Клейна–Гордона–Фока (77). 3.2.3. Неприводимые представления однородной группы Лоренца (80). 3.2.4. Действие для частицы, взаимодействующей с электромагнитным полем (81).	
3.3. Спинорные поля	83
3.3.1. Биспиноры (83). 3.3.2. Спинорное представление однородной группы Лоренца (85). 3.3.3. Трех- и четырехмерные вращения (87). 3.3.4. Действие для релятивистской частицы с полуцелым спином (88).	

Глава 4. Релятивистская скалярная частица	90
4.1. Волновая функция уравнения КГФ и ее свойства	92
4.1.1. Уравнение непрерывности и 4-вектор плотности потока (92).	
4.1.2. Условие ортогональности собственных волновых функций (97).	
4.1.3. Энергия частицы, взаимодействующей с электромагнитным полем (101).	
4.1.4. Отрицательная вероятность (109).	
4.2. Операторы	114
4.2.1. Билинейные комбинации (115).	
4.2.2. Сохраняющиеся величины (115).	
4.3. Свободная частица.	118
4.3.1. Линейно независимые решения (119).	
4.3.2. Волновые пакеты (123).	
4.3.3. Зеркальные частицы и темная материя (128).	
4.4. <i>SPT</i> -преобразования уравнений для частицы, взаимодействующей с внешним электромагнитным полем	133
4.4.1. Пространственная инверсия, обращение времени и зарядовое сопряжение (135).	
4.4.2. Частица и зарядово-сопряженная частица (138).	
4.4.3. Проективные представления (141).	
Глава 5. Взаимодействие скалярного материального поля с электростатическим полем (частицы и зеркальные частицы)	145
5.1. Скалярные зеркальные частицы	146
5.1.1. Отражение от потенциальной ступеньки (148).	
5.1.2. Зеркальные частицы (150).	
5.1.3. Прямоугольный потенциальный барьер (157).	
5.1.4. Прямоугольная потенциальная яма (159).	
5.1.5. Условие возникновения зеркальных частиц (162).	
5.2. Сохранение заряда в процессе взаимодействия частицы и зеркальной частицы	167
5.2.1. Гауссовские волновые пакеты (167).	
5.2.2. Произвольные волновые пакеты (171).	
5.3. Движение частицы в кулоновском поле	173
5.3.1. Энергетический спектр (174).	
5.3.2. Нормированные волновые функции (175).	
5.3.3. Стандартный базис состояний частицы в кулоновском поле (177).	
5.3.4. Эффективный угловой момент (179).	
5.4. Базис волновых функций отрицательно частотной зоны состояний частицы в кулоновском поле (связанные состояния зеркальных частиц)	180
5.4.1. Нормированная волновая функция (181).	
5.4.2. Подзона состояний отрицательно частотной зоны с положительными собственными значениями (186).	
5.4.3. Глубоколежащие состояния (188).	
5.4.4. Подзона состояний отрицательно частотной зоны с отрицательными собственными значениями (191).	
5.5. Непрерывный спектр состояний в кулоновском поле	191
5.6. Строение атома и атомные процессы в релятивистски инвариантной теории скалярного материального поля	194
5.6.1. Зеркальная симметрия: отрицательный угловой момент (194).	
5.6.2. Процессы в атомах, происходящие с изменением и без изме-	

нения состояния атомного ядра (197). 5.6.3. О связи базисов пространственных волновых функций положительно и отрицательно частотных зон (199). 5.6.4. О полном спектре состояний частицы в кулоновском поле (203).

Глава 6. Взаимодействие скалярной частицы с электромагнитным полем	206
6.1. Взаимодействие мезоатома с электромагнитным полем	208
6.1.1. Сохранение заряда (208). 6.1.2. Уравнения для амплитуд населенности уровней (211). 6.1.3. Векторы электрической и магнитной поляризации (214). 6.1.4. Релятивистски инвариантные соотношения (218).	
6.2. Спонтанный распад	219
6.2.1. Равновесное излучение (220). 6.2.2. Спонтанный распад, обусловленный взаимодействием с поперечным равновесным полем (225). 6.2.3. Межзонные переходы, обусловленные взаимодействием со скалярным полем (<i>K</i> -захват) (228). 6.2.4. Межзонные переходы, обусловленные взаимодействием с поперечным полем (232).	
6.3. Водородоподобный мезоатом	234
6.3.1. Действие для ансамбля заряженных частиц (235). 6.3.2. Водородоподобный мезоатом (237). 6.3.3. Стационарный случай (239). 6.3.4. Энергия ансамбля заряженных частиц (241). 6.3.5. Вариационный принцип (241). 6.3.6. Интегралы движения для водородоподобного мезоатома (246). 6.3.7. Уравнение для волновой функции мезоатома (247).	
6.4. Масса покоя в релятивистской теории	249
6.4.1. Уравнения для амплитуды и фазы волновой функции (250). 6.4.2. Уравнения квантовой магнитной гидродинамики (251). 6.4.3. Масса покоя (253).	
Глава 7. Волновое уравнение для релятивистской частицы с полусцелым спином	256
7.1. Волновое уравнение	259
7.2. Связь с уравнением Дирака	261
7.3. Векторы электрической и магнитной поляризации	263
7.4. Тензор энергии-импульса и условие ортогональности собственных волновых функций	266
7.4.1. Стационарная краевая задача (266). 7.4.2. Разложение волновой функции нестационарного уравнения по собственным волновым функциям стационарной задачи (268). 7.4.3. Тензор энергии-импульса (271).	
7.5. Операторы	277
7.5.1. Билинейные комбинации (278). 7.5.2. Операторы (279). 7.5.3. Сохраняющиеся величины (282).	
7.6. Классификация состояний свободной частицы	284
7.6.1. Симметрия решений уравнения для свободной частицы по отношению к зарядовому сопряжению (286). 7.6.2. Квантовые числа,	

определяющие состояние частицы по внутренним степеням свободы (289). 7.6.3. Билинейные комбинации, определяющие состояние материального поля (292). 7.6.4. Спин и спиральность (295).	
7.7. Пространственная инверсия, обращение времени и зарядовое сопряжение	297
7.7.1. Преобразования P_1 и T_1 (298). 7.7.2. Преобразования P_2 и T_2 (299). 7.7.3. Преобразования $P_i T_j$ (301). 7.7.4. Зарядовое сопряжение (302). 7.7.5. <i>CPT</i> -преобразование (302). 7.7.6. Комбинированная <i>PT</i> -четность (303).	
7.8. Частица и античастица	305
Глава 8. Ортогональные биспиноры (квартионные состояния) . . .	309
8.1. Собственные решения спиновой части уравнения	309
8.2. Свойства собственных функций и собственных значений	312
8.2.1. Инвариантность собственных значений (312). 8.2.2. Неприводимые представления однородной группы Лоренца (313).	
8.3. Действительные и мнимые углы вращения	315
8.4. Положительно и отрицательно частотные решения	317
8.5. Спинорное представление	321
8.6. Квартионы	323
8.6.1. Нейтральные (безмассовые) квартионы (323). 8.6.2. Положительный и отрицательный квартионы (325). 8.6.3. Магнитное поле (327). 8.6.4. Электрическое поле (328). 8.6.5. Квазигомогенное поле (330). 8.6.6. Общие квартионные состояния (332). 8.6.7. Взаимодействие с плоской электромагнитной волной (334).	
Глава 9. Зеркальные спинорные частицы	337
9.1. Отражение от потенциальной ступеньки	339
9.2. Коэффициенты отражения и прохождения	343
9.3. Зеркальные частицы	344
9.4. Векторы электрической и магнитной поляризации	351
9.5. Заряд, магнитный и электрический моменты частиц	354
9.5.1. Сохранение заряда (355). 9.5.2. Норма волновой функции (356). 9.5.3. Электрический и магнитный моменты (356).	
9.6. Зависимость коэффициентов отражения и прохождения от состояния падающей частицы	360
9.7. Выводы	364
Глава 10. Взаимодействие нейтральной частицы со стационарными пространственно неоднородными магнитными и электрическими полями	366
10.1. Одномерные задачи рассеяния	367
10.2. Взаимодействие нейтральной частицы со стационарным магнитным полем	370
10.2.1. Взаимодействие нейтрона с магнитным полем (370).	
10.2.2. Рассеяние нейтрона локализованным магнитным по-	

лем (376). 10.2.3. Зависимость коэффициентов отражения и прохождения от состояния падающей частицы (381). 10.2.4. Связанные состояния нейтрона в магнитном поле (383). 10.2.5. Выводы (384).	
10.3. Взаимодействие нейтральной частицы со стационарным электрическим полем	385
10.3.1. Отражение нейтрона электрическим полем (386). 10.3.2. Коэффициенты отражения и прохождения (388). 10.3.3. Электрическая и магнитная поляризация нейтрона, рассеянного электрическим полем (390).	
10.4. Движение нейтрона в суперпозиции электрического и магнитного полей	394
10.4.1. Волновые функции (395). 10.4.2. Случай комплексных собственных значений (397). 10.4.3. Случай действительных и чисто мнимых собственных значений (400). 10.4.4. Зависимость параметров рассеянных частиц от состояния налетающей частицы (402). 10.4.5. Общие квартионные состояния (405).	
Глава 11. Квартионные резонансы и процессы рождения частиц и античастиц	407
11.1. Резонансное рассеяние нейтральных частиц электрическим полем	409
11.1.1. Условия резонансного рассеяния (409). 11.1.2. Сохранение энергии (412). 11.1.3. Анализ резонансных условий (415).	
11.2. Резонансное рассеяние заряженных частиц	419
11.2.1. Положительная потенциальная ступенька (419). 11.2.2. Отрицательная потенциальная ступенька (424). 11.2.3. Выводы (426).	
11.3. Прямоугольный профиль поля	429
11.3.1. Общее решение (429). 11.3.2. Магнитное поле (431). 11.3.3. Электрическое поле (434). 11.3.4. Суперпозиция электрического и магнитного полей (438).	
11.4. Отражение от полубесконечного барьера	441
Глава 12. Движение в центрально- и аксиально-симметричном поле	445
12.1. Спин в криволинейных координатах	446
12.1.1. Полный угловой момент (446). 12.1.2. Внешние поля с цилиндрической симметрией (447). 12.1.3. Движение в центрально-симметричном поле (448).	
12.2. Атом геония	450
12.2.1. Движение электрона в однородном магнитном поле (451). 12.2.2. Энергетический спектр (454). 12.2.3. Напряженность индуцированного магнитного поля (455). 12.2.4. Учет электрического поля ловушки (458).	
12.3. Сферические волны	460
12.3.1. Свободная частица (461). 12.3.2. Разложение плоской волны по сферическим волнам (464). 12.3.3. Сходящиеся и расходящиеся сферические волны (465). 12.3.4. Безмассовые сферические квартионы (468).	

12.4. Движение электрона в кулоновском поле	469
12.4.1. Общее решение (469). 12.4.2. Стандартный базис состояний (472). 12.4.3. Релятивистские поправки: тонкая и сверхтонкая структура стандартного спектра состояний (475). 12.4.4. Сверхтонкая структура атомных спектров: сравнение с экспериментом (479).	
12.5. Базис волновых функций отрицательно частотной зоны состояний частицы в кулоновском поле (связанные состояния зеркальных частиц)	482
12.5.1. Радиальная волновая функция (483). 12.5.2. Подзоны состояний отрицательно частотной зоны с положительными и отрицательными собственными значениями (485). 12.5.3. Глубоколежащие состояния (490).	
12.6. Непрерывный спектр положительных и отрицательных значений энергии	492
12.7. Строение атома и атомные процессы в релятивистски инвариантной теории спинорного материального поля	493
12.7.1. Отрицательный полный угловой момент (зеркальная симметрия) (493). 12.7.2. Киральные состояния частиц (496). 12.7.3. Процессы в атомах, происходящие с изменением и без изменения состояния атомного ядра (498). 12.7.4. Электронно-ядерные 0-0 переходы (500).	
Глава 13. Взаимодействие спинорных частиц с электромагнитным полем	502
13.1. Калибровочное преобразование потенциалов электромагнитного поля	503
13.1.1. Градиентное преобразование (503). 13.1.2. Векторы электрической и магнитной поляризации (505). 13.1.3. Градиентное преобразование потенциалов свободного электромагнитного поля (507).	
13.2. Теория возмущений для взаимодействия атома с электромагнитным полем.	508
13.2.1. Оператор взаимодействия (508). 13.2.2. Волновые функции свободного атома (509). 13.2.3. Уравнения для амплитуд населенности уровней (510). 13.2.4. Угловые зависимости матричных элементов (514). 13.2.5. Правила отбора для электродипольных переходов (516). 13.2.6. Правила отбора для магнитодипольных переходов (521). 13.2.7. Переходы при взаимодействии со скалярным полем (524). 13.2.8. Переходы высокой мультипольности (526).	
13.3. Взаимодействие атома с излучением в резонаторе	527
13.3.1. Уравнения взаимодействия атома с полем в резонаторе (528). 13.3.2. Многоатомная сосредоточенная система (532). 13.3.3. Спонтанный распад в свободном пространстве (533). 13.3.4. Радиационные процессы в одномодовом резонаторе (537). 13.3.5. Радиационный распад в многомодовом резонаторе (540). 13.3.6. Применение гамильтонова подхода к анализу задач взаимодействия излучения с атомом (545).	

Глава 14. Нелинейно оптический отклик атома в сильном лазерном поле	553
14.1. Отклик атома в сильном лазерном поле	555
14.1.1. Краевая задача для свободного атома и атома, взаимодействующего с внешним полем (555). 14.1.2. Уравнения для амплитуд населенности уровней (559). 14.1.3. Калибровочная инвариантность (562). 14.1.4. Поле отклика атома (563). 14.1.5. Атом в лазерном поле релятивистской напряженности (565).	
14.2. Симметричные свойства матричных элементов	566
14.2.1. Матричные элементы (567). 14.2.2. Матричные элементы (568). 14.2.3. Энергетические сдвиги (571). 14.2.4. Матричные элементы ионизационных переходов (572). 14.2.5. Учет эффектов пространственной дисперсии (574). 14.2.6. Циркулярная поляризация (575).	
14.3. Спектр отклика атома	576
14.3.1. Одноуровневое приближение (576). 14.3.2. Теория возмущений (580). 14.3.3. Двухуровневое приближение (583). 14.3.4. Нелинейно-оптический отклик атома в лазерном поле (585).	
Глава 15. Атом водорода	589
15.1. Действие для системы частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем	589
15.2. Уравнения для электромагнитного поля	592
15.2.1. Стационарные поля (592). 15.2.2. Симметричная форма уравнений для электромагнитного поля (594).	
15.3. Водородоподобный атом	597
15.3.1. Общая задача (597). 15.3.2. Энергия ансамбля частиц (597). 15.3.3. Стационарный случай (599). 15.3.4. Интегралы движения для водородоподобного атома (603). 15.3.5. Угловые зависимости волновых функций водородоподобного атома (604). 15.3.6. Матричные элементы операторов сверхтонких взаимодействий (608). 15.3.7. Уравнения для радиальных волновых функций (613). 15.3.8. Теория возмущений (615). 15.3.9. Случай $j = 0$ (616). 15.3.10. Внутренняя четность (618).	
Список литературы	622
Предметный указатель	624