

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Релятивистские волновые уравнения	14
§ 1.1. Предварительные замечания	14
§ 1.2. Общая идея построения релятивистских волновых уравнений	15
§ 1.3. Уравнение Клейна—Фока—Гордона	16
§ 1.4. Уравнение Дирака	19
Задачи и упражнения	24
Глава 2. Релятивистская ковариантность уравнения Дирака	25
§ 2.1. Запись уравнения Дирака в ковариантной форме	25
§ 2.2. Краткий обзор группы Лоренца	26
§ 2.3. Доказательство релятивистской ковариантности уравнения Дирака	29
§ 2.4. Спин частиц Дирака	33
§ 2.5. Ковариантность уравнения непрерывности	33
§ 2.6. Операция пространственного отражения	34
§ 2.7. Дираковские спиноры и неприводимые представления группы Лоренца	35
§ 2.8. Калибровочная инвариантность уравнения Дирака	38
Задачи и упражнения	39
Глава 3. Интерпретация операторов в теории Дирака	40
§ 3.1. Операторы преобразования в теории Дирака	40
3.1.1. Пространственно-временные трансляции	41
3.1.2. Пространственно-временные вращения	42
3.1.3. Четность	43
§ 3.2. Интегралы движения в теории Дирака	43
§ 3.3. Решение уравнения Дирака для свободной частицы	44
§ 3.4. Сложности в интерпретации операторов в теории Дирака	48
§ 3.5. Операторы с дефинитной четностью	51
3.5.1. Оператор скорости	54
3.5.2. Оператор момента	54
3.5.3. Оператор координаты	55
Задачи и упражнения	58
Глава 4. Представление Фолди—Ваутхайзена	59
§ 4.1. Преобразование волновых функций и гамильтониана	59

§ 4.2. Операторы физических величин в представлении Фолди—Ваут-хайзена	63
4.2.1. Оператор координаты	63
4.2.2. Оператор спина	65
Глава 5. Квазирелятивистское приближение в теории Дирака	67
§ 5.1. Уравнение Паули как нерелятивистский предел уравнения Дирака	67
§ 5.2. Квазирелятивистское приближение в теории Дирака	70
§ 5.3. Физическая интерпретация гамильтониана Дирака в квазирелятивистском приближении	74
Задачи и упражнения	78
Глава 6. Уровни энергии водородоподобного атома	80
§ 6.1. Тонкая структура уровней энергии водородоподобного атома	80
§ 6.2. Экспериментальная проверка формулы тонкой структуры	86
§ 6.3. Лэмбовский сдвиг в интерпретации Вельтона	90
§ 6.4. Сверхтонкая структура. Аномальный магнитный момент электрона	93
Задачи и упражнения	95
Глава 7. Трудности в теории Дирака. Античастицы	96
§ 7.1. Состояния с отрицательной энергией	96
§ 7.2. Парадокс Клейна	99
7.2.1. Однородное электрическое поле	99
7.2.2. Прямоугольная потенциальная ступенька	101
§ 7.3. Дырочная интерпретация Дирака	106
7.3.1. «Море» Дирака	107
7.3.2. Рождение пар	108
7.3.3. Заключительные замечания	110
§ 7.4. Зарядовое сопряжение	111
§ 7.5. СРТ-инвариантность и обращение времени	113
Глава 8. Электрон во внешнем магнитном поле	115
§ 8.1. Релятивистские уровни Ландау	115
§ 8.2. Эволюция спина во внешнем поле	120
8.2.1. Квазиклассическая теория спина	120
8.2.2. Уравнение Баргманна—Мишеля—Телегди	126
8.2.3. Эволюция спина в представлении Гейзенберга	134
Задачи и упражнения	137
Глава 9. Физика нейтрино	139
§ 9.1. Масса и смешивание нейтрино	139
§ 9.2. Теория безмассового нейтрино	145

§ 9.3. Нейтрино во внешнем электромагнитном поле	150
9.3.1. Спектр энергии нейтрино в однородном магнитном поле	153
9.3.2. Переворот спиральности нейтрино в магнитном поле . .	156
§ 9.4. Осцилляции нейтрино	161
9.4.1. Осцилляции нейтрино в вакууме	161
9.4.2. Осцилляции нейтрино в среде	165
Задачи и упражнения	171
Глава 10. Релятивистски-ковариантное описание спина в теории	
Дирака	172
§ 10.1. Трехмерный вектор-оператор спина $\hat{\mathbf{O}}$	172
§ 10.2. Трехмерные релятивистские операторы спина	174
§ 10.3. Ковариантные операторы поляризации	181
Задачи и упражнения	191
Глава 11. Графен и релятивистская квантовая механика	192
§ 11.1. Уравнение Дирака для безмассовых носителей заряда в графене	192
11.1.1. Уравнение Дирака	194
11.1.2. Спиральность и киральность	198
11.1.3. Решение уравнения для свободной частицы	199
11.1.4. Потенциальные барьеры и ступеньки	200
11.1.5. Электроны и дырки	203
11.1.6. Заключительные замечания	204
§ 11.2. Клейновское туннелирование	206
11.2.1. Прямоугольная потенциальная ступенька	206
11.2.2. Сглаженная потенциальная ступенька	211
11.2.3. Прямоугольный потенциальный барьер	214
11.2.4. Экспериментальное наблюдение клейновского туннели- рования	217
§ 11.3. Шрёдингеровское дрожание (<i>Zitterbewegung</i>)	219
11.3.1. Введение. <i>Zitterbewegung</i> в твердотельных системах	219
11.3.2. Эволюция волновых пакетов в графене	221
11.3.3. Проблемы экспериментального наблюдения <i>Zitterbewegung</i>	230
§ 11.4. Графен во внешнем магнитном поле	239
11.4.1. Уровни Ландау для графена	239
11.4.2. Особенности квантового эффекта Холла в графене	248
§ 11.5. И не только графен! (Вместо послесловия)	262
Задачи и упражнения	264
Приложение А. Одномерное уравнение Дирака	265
Литература	267