

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к третьему изданию . . . . .	9
Предисловие ко второму изданию . . . . .	9
Из предисловия к первому изданию . . . . .	10
Некоторые обозначения . . . . .	12
Введение . . . . .	15
§ 1. Соотношения неопределенности в релятивистской области . . . . .	15
<b>Глава I. Фотон</b> . . . . .	<b>19</b>
§ 2. Квантование свободного электромагнитного поля . . . . .	19
§ 3. Фотоны . . . . .	24
§ 4. Калибровочная инвариантность . . . . .	27
§ 5. Электромагнитное поле в квантовой теории . . . . .	29
§ 6. Момент и четность фотона . . . . .	31
§ 7. Сферические волны фотонов . . . . .	35
§ 8. Поляризация фотона . . . . .	41
§ 9. Система двух фотонов . . . . .	47
<b>Глава II. Бозоны</b> . . . . .	<b>51</b>
§ 10. Волновое уравнение для частиц со спином 0 . . . . .	51
§ 11. Частицы и античастицы . . . . .	56
§ 12. Истинно нейтральные частицы . . . . .	61
§ 13. Преобразования $S, P, T$ . . . . .	64
§ 14. Волновое уравнение для частицы со спином 1 . . . . .	71
§ 15. Волновое уравнение для частиц с высшими целыми спинами . . . . .	75
§ 16. Спиральные состояния частицы . . . . .	77
<b>Глава III. Фермионы</b> . . . . .	<b>84</b>
§ 17. Четырехмерные спиноры . . . . .	84
§ 18. Связь спиноров с 4-векторами . . . . .	87
§ 19. Инверсия спиноров . . . . .	91
§ 20. Уравнение Дирака в спинорном представлении . . . . .	97
§ 21. Симметричная форма уравнения Дирака . . . . .	99
§ 22. Алгебра матриц Дирака . . . . .	105
§ 23. Плоские волны . . . . .	108
§ 24. Сферические волны . . . . .	112
§ 25. Связь спина со статистикой . . . . .	116
§ 26. Зарядовое сопряжение и обращение спиноров по времени . . . . .	119
§ 27. Внутренняя симметрия частиц и античастиц . . . . .	124
§ 28. Билинейные формы . . . . .	127
§ 29. Поляризационная матрица плотности . . . . .	132
§ 30. Двухкомпонентные фермионы . . . . .	137
§ 31. Волновое уравнение для частицы со спином $\frac{3}{2}$ . . . . .	141

<b>Глава IV. Частица во внешнем поле</b> . . . . .	<b>144</b>
§ 32. Уравнение Дирака для электрона во внешнем поле . . . . .	144
§ 33. Разложение по степеням $1/c$ . . . . .	149
§ 34. Тонкая структура уровней атома водорода . . . . .	153
§ 35. Движение в центрально-симметричном поле . . . . .	155
§ 36. Движение в кулоновом поле . . . . .	160
§ 37. Рассеяние в центрально-симметричном поле . . . . .	167
§ 38. Рассеяние в ультрарелятивистском случае . . . . .	170
§ 39. Система волновых функций непрерывного спектра для рассеяния в кулоновом поле . . . . .	172
§ 40. Электрон в поле плоской электромагнитной волны . . . . .	176
§ 41. Движение спина во внешнем поле . . . . .	179
§ 42. Рассеяние нейтронов в электрическом поле . . . . .	186
<b>Глава V. Излучение</b> . . . . .	<b>188</b>
§ 43. Оператор электромагнитного взаимодействия . . . . .	188
§ 44. Испускание и поглощение . . . . .	191
§ 45. Дипольное излучение . . . . .	193
§ 46. Электрическое мультипольное излучение . . . . .	196
§ 47. Магнитное мультипольное излучение . . . . .	201
§ 48. Угловое распределение и поляризация излучения . . . . .	203
§ 49. Излучение атомов. Электрический тип . . . . .	212
§ 50. Излучение атомов. Магнитный тип . . . . .	217
§ 51. Излучение атомов. Эффекты Зеемана и Штарка . . . . .	220
§ 52. Излучение атомов. Атом водорода . . . . .	224
§ 53. Излучение двухатомных молекул. Электронные спектры . . . . .	230
§ 54. Излучение двухатомных молекул. Колебательный и вращательный спектры . . . . .	237
§ 55. Излучение ядер . . . . .	238
§ 56. Фотоэффект. Нерелятивистский случай . . . . .	241
§ 57. Фотоэффект. Релятивистский случай . . . . .	246
§ 58. Фоторасщепление дейтрона . . . . .	250
<b>Глава VI. Рассеяние света</b> . . . . .	<b>255</b>
§ 59. Тензор рассеяния . . . . .	255
§ 60. Рассеяние свободно ориентируемыми системами . . . . .	266
§ 61. Рассеяние на молекулах . . . . .	273
§ 62. Естественная ширина спектральных линий . . . . .	277
§ 63. Резонансная флуоресценция . . . . .	282
<b>Глава VII. Матрица рассеяния</b> . . . . .	<b>285</b>
§ 64. Амплитуда рассеяния . . . . .	285
§ 65. Реакции с поляризованными частицами . . . . .	291
§ 66. Кинематические инварианты . . . . .	294
§ 67. Физические области . . . . .	297
§ 68. Разложение по парциальным амплитудам . . . . .	303
§ 69. Симметрия спиральных амплитуд рассеяния . . . . .	306
§ 70. Инвариантные амплитуды . . . . .	313
§ 71. Условие унитарности . . . . .	318
<b>Глава VIII. Инвариантная теория возмущений</b> . . . . .	<b>323</b>
§ 72. Хронологическое произведение . . . . .	323
§ 73. Диаграммы Фейнмана для рассеяния электронов . . . . .	327
§ 74. Диаграммы Фейнмана для рассеяния фотонов . . . . .	334
§ 75. Электронный пропагатор . . . . .	337
§ 76. Фотонный пропагатор . . . . .	342

§ 77. Общие правила диаграммной техники . . . . .	347
§ 78. Перекрестная инвариантность . . . . .	355
§ 79. Виртуальные частицы . . . . .	356
<b>Глава IX. Взаимодействие электронов . . . . .</b>	<b>362</b>
§ 80. Рассеяние электрона во внешнем поле . . . . .	362
§ 81. Рассеяние электронов и позитронов на электроне . . . . .	366
§ 82. Ионизационные потери быстрых частиц . . . . .	376
§ 83. Уравнение Брейта . . . . .	383
§ 84. Позитроний . . . . .	390
§ 85. Взаимодействие атомов на далеких расстояниях . . . . .	395
<b>Глава X. Взаимодействие электронов с фотонами . . . . .</b>	<b>402</b>
§ 86. Рассеяние фотона электроном . . . . .	402
§ 87. Рассеяние фотона электроном. Поляризационные эффекты . . . . .	407
§ 88. Двухфотонная аннигиляция электронной пары . . . . .	417
§ 89. Аннигиляция позитрония . . . . .	421
§ 90. Магнитотормозное излучение . . . . .	425
§ 91. Образование пар фотоном в магнитном поле . . . . .	436
§ 92. Тормозное излучение электрона на ядре. Нерелятивистский случай . . . . .	439
§ 93. Тормозное излучение электрона на ядре. Релятивистский случай . . . . .	452
§ 94. Образование пар фотоном в поле ядра . . . . .	463
§ 95. Точная теория рождения пар в ультрарелятивистском случае . . . . .	466
§ 96. Точная теория тормозного излучения в ультрарелятивистском случае . . . . .	473
§ 97. Тормозное излучение электрона на электроне в ультрарелятивистском случае . . . . .	480
§ 98. Излучение мягких фотонов при столкновениях . . . . .	485
§ 99. Метод эквивалентных фотонов . . . . .	492
§ 100. Образование пар при столкновениях частиц . . . . .	499
§ 101. Излучение фотона электроном в поле интенсивной электромагнитной волны . . . . .	504
<b>Глава XI. Точные пропагаторы и вершинные части . . . . .</b>	<b>511</b>
§ 102. Операторы полей в гейзенберговском представлении . . . . .	511
§ 103. Точный фотонный пропагатор . . . . .	514
§ 104. Собственно-энергетическая функция фотона . . . . .	521
§ 105. Точный электронный пропагатор . . . . .	525
§ 106. Вершинный оператор . . . . .	529
§ 107. Уравнения Дайсона . . . . .	533
§ 108. Тождество Уорда . . . . .	536
§ 109. Электронный пропагатор во внешнем поле . . . . .	539
§ 110. Физические условия перенормировки . . . . .	546
§ 111. Аналитические свойства фотонного пропагатора . . . . .	553
§ 112. Регуляризация интегралов Фейнмана . . . . .	556
<b>Глава XII. Радиационные поправки . . . . .</b>	<b>561</b>
§ 113. Вычисление поляризационного оператора . . . . .	561
§ 114. Радиационные поправки к закону Кулона . . . . .	565
§ 115. Вычисление мнимой части поляризационного оператора по интегралу Фейнмана . . . . .	568
§ 116. Электромагнитные формфакторы электрона . . . . .	573
§ 117. Вычисление формфакторов электрона . . . . .	577
§ 118. Аномальный магнитный момент электрона . . . . .	582
§ 119. Вычисление массового оператора . . . . .	584

§ 120.	Испускание мягких фотонов с ненулевой массой . . . . .	590
§ 121.	Рассеяние электрона во внешнем поле во втором борновском приближении . . . . .	595
§ 122.	Радиационные поправки к рассеянию электрона во внешнем поле . . . . .	601
§ 123.	Радиационное смещение атомных уровней . . . . .	605
§ 124.	Радиационное смещение уровней мезоатомов . . . . .	613
§ 125.	Релятивистское уравнение для связанных состояний . . . . .	615
§ 126.	Двойное дисперсионное соотношение . . . . .	622
§ 127.	Рассеяние фотона на фотоне . . . . .	630
§ 128.	Когерентное рассеяние фотона в поле ядра . . . . .	638
§ 129.	Радиационные поправки к уравнениям электромагнитного поля . . . . .	640
§ 130.	Расщепление фотона в магнитном поле . . . . .	650
§ 131.	Вычисление интегралов по четырехмерным областям . . . . .	659
<b>Глава XIII. Асимптотические формулы квантовой электродинамики</b>		<b>664</b>
§ 132.	Асимптотическое поведение фотонного пропагатора при больших импульсах . . . . .	664
§ 133.	Связь между «затравочным» и истинным зарядами . . . . .	668
§ 134.	Асимптотическое поведение амплитуд рассеяния при высоких энергиях . . . . .	672
§ 135.	Выделение дважды логарифмических членов в вершинном операторе . . . . .	677
§ 136.	Дважды логарифмическая асимптотика вершинного оператора . . . . .	683
§ 137.	Дважды логарифмическая асимптотика амплитуды рассеяния электрона на мюоне . . . . .	686
<b>Глава XIV. Электродинамика адронов</b>		<b>693</b>
§ 138.	Электромагнитные формфакторы адронов . . . . .	693
§ 139.	Рассеяние электронов адронами . . . . .	699
§ 140.	Низкоэнергетическая теорема для тормозного излучения . . . . .	702
§ 141.	Низкоэнергетическая теорема для рассеяния фотона на адроне . . . . .	706
§ 142.	Мультипольные моменты адронов . . . . .	709
§ 143.	Неупругое рассеяние электронов адронами . . . . .	715
§ 144.	Превращение электрон-позитронной пары в адроны . . . . .	718
<b>Предметный указатель</b>		<b>721</b>