

Д. И. Блохинцев

ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ

*Допущено Министерством
высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для университетов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва — 1963

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Г л а в а I. Основы квантовой теории	12
§ 1. Энергия и импульс световых квантов	12
§ 2. Опытная проверка законов сохранения энергии и импульса для световых квантов	15
§ 3. Атомизм	19
§ 4. Теория Н. Бора	26
§ 5. Элементарная квантовая теория излучения	29
§ 6. Черное излучение	33
§ 7. Волны де Бройля. Групповая скорость	34
§ 8. Дифракция микрочастиц	40
Г л а в а II. Основы квантовой механики	46
§ 9. Статистическое толкование волн де Бройля	46
§ 10. Вероятность местоположения микрочастицы	49
§ 11. Принцип суперпозиции состояний	52
§ 12. Вероятность импульса микрочастицы	54
§ 13. Средние значения функций от координат и функций от импульсов	56
§ 14. Статистические ансамбли квантовой механики	58
§ 15. Соотношение неопределенностей	62
§ 16. Иллюстрации к соотношению неопределенностей	68
§ 17. Роль измерительного прибора	76
Г л а в а III. Изображение механических величин операторами	81
§ 18. Линейные самосопряженные операторы	81
§ 19. Общая формула для среднего значения величины и для среднего квадратичного отклонения	85
§ 20. Собственные значения и собственные функции операторов и их физический смысл. «Квантование»	87
§ 21. Основные свойства собственных функций	91
§ 22. Общий метод вычисления вероятностей результатов измерения	95
§ 23. Условия возможности одновременного измерения разных механических величин	98
§ 24. Операторы координаты и импульса микрочастицы	99
§ 25. Оператор момента импульса микрочастицы	101
§ 26. Оператор энергии и функции Гамильтона	106
§ 27. Гамильтониан	108
Г л а в а IV. Изменение состояния во времени	112
§ 28. Уравнение Шредингера	112
§ 29. Сохранение числа частиц	117
§ 30. Стационарные состояния	120
Г л а в а V. Изменение во времени механических величин	123
§ 31. Производные операторов по времени	123
§ 32. Уравнения движения в квантовой механике. Теоремы Эренфеста	126
§ 33. Интегралы движения	128
Г л а в а VI. Связь квантовой механики с классической механикой и оптикой	131
§ 34. Переход от квантовых уравнений к уравнениям Ньютона	131

§ 35. Переход от временного уравнения Шредингера к классическому уравнению Гамильтона — Якоби	135
§ 36. Квантовая механика и оптика	139
§ 37. Квазиклассическое приближение (метод Вентцеля — Крамерса — Брюльэна)	142
Г л а в а VII. Основы теории представлений	146
§ 38. Различные представления состояния квантовых систем	146
§ 39. Различные представления операторов, изображающих механические величины. Матрицы	148
§ 40. Матрицы и действия над ними	150
§ 41. Определение среднего значения и спектра величины, представляемой оператором в матричной форме	156
§ 42. Уравнение Шредингера и зависимость операторов от времени в матричной форме	158
§ 43. Унитарные преобразования	162
§ 44. Унитарное преобразование от одного момента времени к другому	165
§ 45. Матрица плотности	167
Г л а в а VIII. Теория движения микрочастиц в поле потенциальных сил	172
§ 46. Вводные замечания	172
§ 47. Гармонический осциллятор	173
§ 48. Осциллятор в энергетическом представлении	180
§ 49. Движение в поле центральной силы	182
§ 50. Движение в кулоновском поле	190
§ 51. Спектр и волновые функции атома водорода	195
§ 52. Движение электрона в одновалентных атомах	204
§ 53. Токи в атомах. Магнетон	207
§ 54. Квантовые уровни двухатомной молекулы	209
§ 55. Движение электрона в периодическом поле	216
Г л а в а IX. Движение заряженной микрочастицы в электромагнитном поле	226
§ 56. Произвольное электромагнитное поле	226
§ 57. Движение заряженной свободной частицы в однородном магнитном поле	231
Г л а в а X. Собственный механический и магнитный моменты электрона (спин)	235
§ 58. Экспериментальные доказательства существования спина электрона	235
§ 59. Оператор спина электрона	238
§ 60. Спинорные функции	243
§ 61. Уравнение Паули	246
§ 62. Расщепление спектральных линий в магнитном поле	249
§ 63. Движение спина в переменном магнитном поле	253
§ 64. Свойства полного момента импульса	256
§ 65. Нумерация термов атома с учетом спина электрона. Мультиплетная структура спектров	261
Г л а в а XI. Теория возмущений	267
§ 66. Постановка вопроса	267
§ 67. Возмущение в отсутствие вырождения	269
§ 68. Возмущение при наличии вырождения	273
§ 69. Расщепление уровней в случае двукратного вырождения	278
§ 70. Замечания о снятии вырождения	281
Г л а в а XII. Простейшие приложения теории возмущений	284
§ 71. Ангармонический осциллятор	284
§ 72. Расщепление спектральных линий в электрическом поле	286

§ 73. Расщепление спектральных линий атома водорода в электрическом поле	291
§ 74. Расщепление спектральных линий в слабом магнитном поле	295
§ 75. Наглядное толкование расщепления уровней в слабом магнитном поле (векторная модель)	300
§ 76. Теория возмущений для непрерывного спектра	301
Г л а в а XIII. Теория столкновений	308
§ 77. Постановка вопроса в теории столкновений микрочастиц	308
§ 78. Расчет упругого рассеяния приближенным методом Борна	313
§ 79. Упругое рассеяние атомами быстрых заряженных микрочастиц	318
§ 80. Точная теория рассеяния. Фазы рассеянных волн и эффективное сечение	325
§ 81. Общий случай рассеяния	330
§ 82. Рассеяние заряженной частицы в кулоновском поле	335
Г л а в а XIV. Теория квантовых переходов	338
§ 83. Постановка вопроса	338
§ 84. Вероятности переходов под влиянием возмущения, зависящего от времени	341
§ 85. Переходы под влиянием возмущения, не зависящего от времени	346
Г л а в а XV. Излучение, поглощение и рассеяние света атомными системами	348
§ 86. Вводные замечания	348
§ 87. Поглощение и излучение света	350
§ 88. Коэффициенты излучения и поглощения	354
§ 89. Принцип соответствия	358
§ 90. Правила отбора для дипольного излучения	361
§ 91. Интенсивности в спектре излучения	366
§ 92. Дисперсия	367
§ 93. Комбинационное рассеяние	374
§ 94. Учет изменения фазы электромагнитного поля волны внутри атома. Квадрупольное излучение	378
§ 95. Фотоэлектрический эффект	382
Г л а в а XVI. Прохождение микрочастиц через потенциальные барьеры	391
§ 96. Постановка проблемы и простейшие случаи	391
§ 97. Кажущаяся парадоксальность «туннельного эффекта»	397
§ 98. Холодная эмиссия электронов из металла	398
§ 99. Трехмерный потенциальный барьер. Квазистационарные состояния	401
§ 100. Теория радиоактивного α распада	408
§ 101. Ионизация атомов в сильных электрических полях	411
Г л а в а XVII. Задача многих тел	415
§ 102. Общие замечания о задаче многих тел	415
§ 103. Закон сохранения полного импульса системы микрочастиц	420
§ 104. Движение центра тяжести системы микрочастиц	421
§ 105. Закон сохранения момента импульса системы микрочастиц	425
§ 106. Собственные функции оператора момента импульса системы. Коэффициенты Клебша — Гордона	430
§ 107. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени	434
Г л а в а XVIII. Простейшие применения теории движения многих тел	439
§ 108. Учет движения ядра в атомах	439
§ 109. Система микрочастиц, совершающих малые колебания	441
§ 110. Движение атомов во внешнем поле	446
§ 111. Определение энергии стационарных состояний атомов методом отклонения во внешнем поле	449

§ 112. Неупругие столкновения электрона с атомом. Определение энергии стационарных состояний атомов методом столкновений	454
§ 113. Закон сохранения энергии и особая роль времени в квантовой механике	459
Глава XIX. Системы из одинаковых микрочастиц	462
§ 114. Принцип тождественности микрочастиц	462
§ 115. Симметричные и антисимметричные состояния	467
§ 116. Частицы Бозе и частицы Ферми. Принцип Паули	470
§ 117. Волновые функции для системы частиц Ферми и частиц Бозе	477
Глава XX. Вторичное квантование и квантовая статистика	481
§ 118. Вторичное квантование	481
§ 119. Теория квантовых переходов и метод вторичного квантования	489
§ 120. Гипотеза о столкновениях. Газ Ферми — Дирака и газ Бозе — Эйнштейна	491
Глава XXI. Многоэлектронные атомы	499
§ 121. Атом гелия	499
§ 122. Приближенная количественная теория атома гелия	507
§ 123. Обменная энергия	513
§ 124. Квантовая механика атома и периодическая система элементов Менделеева	517
Глава XXII. Образование молекул	528
§ 125. Молекула водорода	528
§ 126. Природа химических сил	540
§ 127. Межмолекулярные дисперсионные силы	543
§ 128. Роль спина ядер в двухатомных молекулах	547
Глава XXIII. Магнитные явления	549
§ 129. Парамагнетизм и диамагнетизм атомов	549
§ 130. Ферромагнетизм	552
Глава XXIV. Атомное ядро	557
§ 131. Ядерные силы. Изотопический спин	557
§ 132. Систематика состояний системы нуклонов	561
§ 133. Теория дейтона	562
§ 134. Рассеяние нуклонов	564
§ 135. Поляризация при рассеянии частиц со спином	569
§ 136. Применение квантовой механики к систематике элементарных частиц	572
Глава XXV. Заключение	576
§ 137. Формальная схема квантовой механики	576
§ 138. Границы применимости квантовой механики	580
§ 139. Некоторые гносеологические вопросы	583
Дополнения	594
I. Преобразование Фурье	594
II. Собственные функции в случае вырождения	598
III. Ортогональность и нормировка собственных функций непрерывного спектра, δ -функция	596
IV. Значение коммутативности операторов	601
V. Шаровые функции $Y=(\theta, \varphi)$	602
VI. Уравнение Гамильтона	606
VII. Уравнение Шредингера и уравнения движения в криволинейной системе координат	609
VIII. Требования к волновой функции	612
IX. Решение уравнения для осциллятора	614
X. Электрон в однородном магнитном поле	618
XI. Координаты Якоби	619