

А.С.ДАВЫДОВ

КВАНТОВАЯ
МЕХАНИКА



А. С. ДАВЫДОВ

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

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



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1973

530.1

Д. 13

УДК 530.145

Квантовая механика, А. С. Давыдов, изд. 2-е, перераб., учебник, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973.

В книге излагаются физические основы и математический аппарат нерелятивистского и квазирелятивистского движения частицы во внешнем поле, основы квантовой теории систем взаимодействующих одинаковых частиц и приложения теории к описанию различных явлений.

Второе издание книги существенно переработано с учетом новейшего развития идей и методов квантовой механики. Значительно полнее излагаются методы описания квантовых систем с помощью представления чисел заполнения, функций Грина и матрицы плотности. Изложены основы квантовой теории необратимых процессов и теории когерентных состояний. Подробно рассмотрено важное каноническое преобразование Боголюбова — Тябликова. В связи с развитием физики лазеров переработан и расширен раздел о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом.

Табл. 19, рис. 30, библиогр. 143 назв.

© Издательство «Наука» 1973 с изменениями

Д $\frac{0232-1801}{042(02)-73}$ 88-73

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко второму изданию	8
Из предисловия к первому изданию	9
Глава I. Основные понятия квантовой механики	11
§ 1. Введение	11
§ 2. Волновая функция свободно движущейся частицы	15
§ 3. Принцип суперпозиции состояний. Волновой пакет	17
§ 4. Статистическое толкование волновой функции	20
§ 5. Свободная частица в ограниченном объеме пространства	23
§ 6. Вычисление средних значений координаты и импульса	24
§ 7. Операторы физических величин	27
§ 8. Собственные функции и собственные значения операторов	33
§ 9. Свойства собственных функций операторов, имеющих дискретный спектр	39
§ 10. Свойства собственных функций операторов, имеющих непрерывный спектр	43
§ 11. Условия, при которых несколько физических величин могут иметь определенные значения в одном состоянии	47
§ 12. Методы определения состояний квантовых систем	49
§ 13. Соотношение неопределенностей для физических величин	53
§ 14*. Описание состояний с помощью матрицы плотности	59
Глава II. Изменение квантовых состояний с течением времени	66
§ 15. Волновое уравнение Шредингера	66
§ 16. Стационарные состояния	69
§ 17. Изменение средних значений физических величин с течением времени	74
§ 18*. Интегралы движения и условия симметрии	77
§ 19*. Теория групп и квантовая механика	85
§ 20*. Изменение с течением времени состояний, описываемых матрицей плотности	89
Глава III. Связь квантовой механики с классической механикой	91
§ 21. Предельный переход от квантовой механики к классической	91
§ 22. Квазиклассическое приближение	93
§ 23*. Правила квантования Бора — Зоммерфельда	96
§ 24. Прохождение через потенциальный барьер. Движение частицы над потенциальным барьером и потенциальной ямой	101

Глава IV. Простейшие применения квантовой механики	108
§ 25. Частица в прямоугольной потенциальной яме	108
§ 26. Гармонический осциллятор	119
Глава V. Элементарная теория представлений	124
§ 27. Различные представления вектора состояния	124
§ 28. Различные представления операторов	131
§ 29. Определение собственных функций и собственных значений операторов, задаваемых в виде матриц	138
§ 30. Общая теория унитарных преобразований	141
§ 31. Унитарные преобразования, соответствующие изменению состояния с течением времени	144
§ 32. Представление чисел заполнения для гармонического осциллятора	150
33. Представление чисел заполнения для колебаний атомов в одномерном кристалле	159
Глава VI. Движение частицы в поле центральных сил	163
§ 34. Общие особенности движения частицы в поле сферической симметрии	163
§ 35. Свободное движение с определенным значением орбитального момента	166
§ 36. Движение в сферически симметричной прямоугольной потенциальной яме	168
§ 37. Сферически симметричная потенциальная яма с квадратичной зависимостью от радиуса	171
§ 38. Движение в кулоновском поле. Дискретный спектр	176
§ 39. Движение в кулоновском поле. Непрерывный спектр	181
§ 40*. Оператор момента количества движения	182
§ 41. Векторное сложение двух моментов количества движения	185
§ 42*. Векторное сложение трех моментов. Коэффициенты Рака	189
§ 43*. Преобразование собственных функций операторов моментов при вращениях координатных осей	192
§ 44*. Обобщенные сферические функции как собственные функции оператора момента	198
§ 45. Вращение твердого тела. Симметричный волчок	204
§ 46*. Вращение твердого тела. Асимметричный волчок	206
Глава VII. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных функций операторов	211
§ 47. Теория возмущений в стационарных состояниях с дискретным спектром	211
§ 48. Условия применимости теории возмущений	214
§ 49. Теория возмущений при наличии двух близких уровней	217
§ 50. Теория возмущений при наличии вырождения	220
§ 51. Применение вариационного метода к приближенным расчетам	222
§ 52. Метод канонических преобразований	227
Глава VIII. Основы квазирелятивистской квантовой теории движения частицы во внешнем поле	234
§ 53. Элементарные частицы в квантовой механике	234
§ 54. Релятивистское уравнение для частицы с нулевым спином	237
§ 55. Свободное движение частицы с нулевым спином	242

§ 56*	Свободное движение частицы с нулевым спином в представлении Фешбаха — Вилларса	247
§ 57*	Интегралы движения и собственные значения операторов в релятивистской теории частицы нулевого спина	250
§ 58.	Взаимодействие частицы нулевого спина с электромагнитным полем	256
§ 59.	Релятивистское уравнение Дирака	262
§ 60.	Свободное движение частиц, описываемых уравнением Дирака	266
§ 61*	Ковариантная запись уравнения Дирака	275
§ 62.	Момент количества движения электрона в теории Дирака	286
§ 63.	Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле	291
§ 64.	Спин-орбитальное взаимодействие	294
§ 65*	Зарядовое сопряжение. Частицы и античастицы	299
§ 66.	Уравнение Дирака для частиц с нулевым спином покоя. Нейтринно	305
§ 67.	Атом водорода с учетом спина электрона	309
§ 68*	Точное решение уравнения Дирака для кулоновского поля	315
§ 69.	Атом во внешнем магнитном поле	319
§ 70.	Атом во внешнем электрическом поле	324
Глава IX. Квантовая теория систем, состоящих из одинаковых частиц		329
§ 71.	Уравнение Шредингера для системы, состоящей из одинаковых частиц	329
§ 72.	Симметричные и антисимметричные волновые функции	332
§ 73.	Элементарная теория основного состояния атомов с двумя электронами	338
§ 74.	Возбужденные состояния атома гелия. Орто- и парагелий	342
§ 75.	Метод самосогласованного поля Хартри — Фока	347
§ 76.	Статистический метод Томаса — Ферми	353
§ 77.	Периодическая система Менделеева	358
§ 78.	Спектральные и рентгеновские термы	362
§ 79.	Оболочечная модель атомного ядра	367
Глава X. Вторичное квантование систем, состоящих из одинаковых бозонов		372
§ 80.	Вторичное квантование электромагнитного поля без зарядов	372
§ 81.	Фотоны с определенным моментом и четностью	377
§ 82.	Фононы в трехмерном кристалле	383
§ 83.	Вторичное квантование мезонного поля	387
§ 84.	Квазичастицы в системе взаимодействующих бозонов	391
§ 85.	Основы микроскопической теории сверхтекучести	397
Глава XI. Вторичное квантование систем, состоящих из одинаковых фермионов		403
§ 86.	Представление чисел заполнения для систем невзаимодействующих фермионов	403
§ 87*	Системы фермионов, взаимодействующих парными силами. Каноническое преобразование Боголюбова	412
§ 88*	Взаимодействие электронов с фононами металла и микроскопическая теория сверхпроводимости	420
§ 89.	Квантование электронно-позитронного поля	426

Глава XII. Теория квантовых переходов под влиянием внешнего возмущения	431
§ 90. Общее выражение для вероятности перехода из одного состояния в другое	431
§ 91. Возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей	435
§ 92. Адиабатическое и внезапное включение и выключение взаимодействия	438
§ 93. Вероятность перехода в единицу времени	443
§ 94. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным излучением	446
§ 95. Правила отбора для испускания и поглощения света. Мультипольное излучение	452
§ 96. Время жизни возбужденных состояний и ширина энергетических уровней	459
§ 97. Линейный отклик квантовой системы на внешнее воздействие	462
§ 98. Поляризуемость квантовой системы	467
§ 99. Элементарная теория фотоэффекта	472
§ 100. Переходы, обусловленные взаимодействием, не зависящим от времени	474
§ 101*. Вероятность квантовых переходов и S -матрица	477
Глава XIII. Квантовая теория процессов релаксации	482
§ 102. Статистический оператор динамической подсистемы	482
§ 103. Простейшая модель квантовой системы, взаимодействующей с термостатом	484
§ 104. Вероятность передачи энергии возбуждения от донора к акцептору при наличии диссипативной среды	488
§ 105. Флуктуационно-диссипативная теорема для обобщенной восприимчивости	493
Глава XIV. Квантовая теория рассеяния	496
§ 106. Упругое рассеяние частиц без спина	496
§ 107*. Функция Грина для свободной частицы	503
§ 108. Теория упругого рассеяния в борновском приближении	506
§ 109. Метод парциальных волн в теории рассеяния	509
§ 110*. Упругое рассеяние медленных частиц	516
§ 111*. Упругое рассеяние в кулоновском поле	525
§ 112. Эффекты обмена при упругом рассеянии одинаковых частиц без спина	531
§ 113. Обменные эффекты при упругом столкновении одинаковых частиц, обладающих спином	533
§ 114*. Общая теория неупругого рассеяния	536
§ 115. Рассеяние электрона на атоме без учета обмена	541
§ 116. Теория столкновений с перераспределением частиц. Реакции	544
§ 117. Рассеяние электрона на атоме водорода с учетом обмена	548
§ 118. Матрица рассеяния	551
§ 119*. Обращение времени и детальное равновесие	561
§ 120. Рассеяние медленных нейтронов атомными ядрами	569
§ 121. Рассеяние поляризованных нуклонов и поляризация нуклонов при рассеянии на ядрах нулевого спина	574
§ 122*. Теория рассеяния при наличии взаимодействий двух типов. Приближение искаженных волн	578
§ 123*. Дисперсионные соотношения в теории рассеяния	581
§ 124*. Матрица рассеяния в плоскости комплексных моментов	593

§ 125. Потенциальное и резонансное рассеяние	597
§ 126. Когерентное и некогерентное рассеяние медленных нейтронов	599
§ 127*. Когерентное рассеяние нейтронов кристаллическим веществом	602
§ 128*. Упругое рассеяние медленных нейтронов кристаллами с учетом колебаний атомов	607
Глава XV. Элементарная теория молекул и химической связи	613
§ 129. Теория адиабатического приближения	613
§ 130. Молекула водорода	620
§ 131. Элементарная теория химических сил	629
§ 132. Классификация электронных состояний молекул при закрепленных положениях ядер	639
§ 133. Колебания ядер в молекулах	644
§ 134. Вращательная энергия молекул	650
§ 135*. Типы связи угловых моментов в молекулах	657
§ 136. Молекулярные спектры. Принцип Франка — Кондона	660
Математические дополнения	670
А. Некоторые свойства сингулярной дельта-функции Дирака	670
Б. Операторы момента количества движения в сферических координатах	674
В. Линейные операторы в векторном пространстве. Матрицы	675
Г. Вырожденные гипергеометрические функции. Функции Бесселя	683
Д. Теория групп	689
Литература	695
Предметный указатель	699