

КВАНТОВАЯ
МЕХАНИКА

КЛОД КОЭН-ТАННУДЖИ
БЕРНАР ДИУ
ФРАНК ЛАЛОЭ

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Перевод с французского
Л.Н.НОВИКОВА

Том I

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2000

УДК 530.145(075.8)
ББК 22.314я73-1
К767

**Издание осуществлено в рамках программы «Пушкин»
при поддержке Министерства иностранных дел Франции
и Посольства Франции в России**

**Ouvrage réalisé dans le cadre du programme d'aide à la publication Pouchkine
avec le soutien du Ministère des Affaires Etrangères Français
et de l'Ambassade de France en Russie**

ISBN 5-7525-1131-3 (Т. I)
ISBN 5-7525-1085-6

© Л. Н. Новиков, 2000
(перевод)
© Hermann, Paris, 1973
© Издательство Уральского
университета, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТОМ I

Предисловие переводчика	5
Предисловие к русскому изданию	6
Важное предупреждение: как работать с книгой	7
Введение	8
Глава I. Волны и частицы. Введение основных идей квантовой механики	11
<i>A. Электромагнитные волны и фотоны</i>	<i>14</i>
<i>B. Материальные частицы и волны материи</i>	<i>23</i>
<i>C. Квантовое описание частицы. Волновой пакет</i>	<i>28</i>
<i>D. Частица в поле скалярного потенциала, не зависящего от времени</i>	<i>40</i>
Дополнения к главе I	52
<i>A₁. Порядок величины длин волн, ассоциированных с материальными частицами</i>	<i>53</i>
<i>B₁. Ограничения, налагаемые соотношением неопределенностей</i>	<i>55</i>
<i>C₁. Соотношение неопределенностей и атомные параметры</i>	<i>57</i>
<i>D₁. Соотношение неопределенностей и дополнительность</i>	<i>60</i>
<i>E₁. Простое исследование двумерного волнового пакета</i>	<i>63</i>
<i>F₁. Связь между одномерной и трехмерной задачами</i>	<i>67</i>
<i>G₁. Одномерный гауссов волновой пакет. Расплывание волнового пакета</i>	<i>72</i>
<i>H₁. Стационарные состояния частицы в поле прямоугольного одномерного потенциала</i>	<i>80</i>
<i>J₁. Поведение волнового пакета на скачке потенциала</i>	<i>95</i>
<i>K₁. Упражнения</i>	<i>104</i>
Глава II. Математический аппарат квантовой механики	109
<i>A. Пространство волновых функций частицы</i>	<i>113</i>
<i>B. Пространство состояний. Обозначения Дирака</i>	<i>130</i>
<i>C. Представления в пространстве состояний</i>	<i>149</i>

D. Уравнения на собственные значения. Наблюдаемые	162
E. Два важных примера представлений и наблюдаемых	180
F. Тензорное произведение пространств состояний	190
Дополнения к главе II	207
A _{II} . Неравенство Шварца	208
B _{II} . Некоторые полезные свойства линейных операторов	209
C _{II} . Унитарные операторы	222
D _{II} . Детальное рассмотрение представлений $\{\{r\}\}$ и $\{\{p\}\}$	229
E _{II} . Несколько общих свойств двух наблюдаемых Q и P , коммутатор которых равен $i\hbar$	235
F _{II} . Оператор четности	247
G _{II} . Применение свойств тензорного произведения: двумерная потенциальная яма бесконечной глубины	250
H _{II} . Упражнения	254
Глава III. Постулаты квантовой механики	263
A. Введение	266
B. Формулировка постулатов	268
C. Физическая интерпретация постулатов о наблюдаемых и их измерении	282
D. Физический смысл уравнения Шредингера	295
E. Принцип суперпозиции и физические предсказания	316
Дополнения к главе III	335
A _{III} . Частица в потенциальной яме бесконечной глубины: физический анализ	337
B _{III} . Изучение тока вероятности в некоторых частных случаях	349
C _{III} . Среднеквадратичные отклонения двух сопряженных наблюдаемых	356
D _{III} . Измерения, выполняемые в части физической системы	361
E _{III} . Оператор плотности	366
F _{III} . Оператор эволюции	383
G _{III} . Представления Шредингера и Гейзенберга	387
H _{III} . Калибровочная инвариантность	390
J _{III} . Пропагатор уравнения Шредингера	408
K _{III} . Нестабильные уровни. Время жизни	417
L _{III} . Упражнения	422
M _{III} . Связанные состояния частицы в потенциальной яме произвольной формы	433
N _{III} . Несвязанные состояния частицы в присутствии потенциальной ямы или потенциального барьера произвольной формы	442
O _{III} . Квантовые свойства частицы в одномерной периодической структуре	452
Глава IV. Применение постулатов к простым случаям: спин 1/2 и двухуровневые системы	475
A. Частица со спином 1/2: квантование механического момента частицы	478

В. <i>Иллюстрация постулатов в случае спина 1/2</i>	487
С. <i>Общий анализ двухуровневых систем</i>	500
Дополнения к главе IV	514
A _{IV} . <i>Матрицы Паули</i>	515
B _{IV} . <i>Диагонализация эрмитовой матрицы 2 × 2</i>	519
C _{IV} . <i>Фиктивный спин 1/2 в двухуровневой системе</i>	524
D _{IV} . <i>Система из двух спинов 1/2</i>	531
E _{IV} . <i>Матрица плотности спина 1/2</i>	539
F _{IV} . <i>Спин 1/2 в статическом и вращающемся магнитных полях: магнитный резонанс</i>	546
G _{IV} . <i>Исследование молекулы аммиака с помощью простой модели</i>	561
H _{IV} . <i>Влияние связи между стабильным и нестабильным состояниями</i>	579
J _{IV} . <i>Упражнения</i>	586
Глава V. Одномерный гармонический осциллятор	593
A. <i>Введение</i>	595
B. <i>Собственные значения гамильтониана</i>	601
C. <i>Собственные состояния гамильтониана</i>	611
D. <i>Физическое обсуждение</i>	619
Дополнения к главе V	626
A _V . <i>Анализ некоторых физических примеров гармонического осциллятора</i>	628
B _V . <i>Стационарные состояния в представлении $\{x\}$. Полиномы Эрмита</i>	694
C _V . <i>Решение уравнения на собственные значения гармонического осциллятора методом полиномов</i>	656
D _V . <i>Анализ стационарных состояний в представлении $\{p\}$</i>	664
E _V . <i>Трехмерный изотропный гармонический осциллятор</i>	670
F _V . <i>Гармонический осциллятор с зарядом в однородном электрическом поле</i>	676
G _V . <i>«Квазиклассические» когерентные состояния гармонического осциллятора</i>	685
H _V . <i>Собственные моды колебаний двух связанных гармонических осцилляторов</i>	703
J _V . <i>Моды колебаний бесконечной линейной цепочки связанных гармонических осцилляторов. Фононы.</i>	716
K _V . <i>Моды колебаний непрерывной физической системы. Применение к излучению. Фотоны</i>	737
L _V . <i>Одномерный гармонический осциллятор в термодинамическом равновесии при температуре T</i>	755
M _V . <i>Упражнения</i>	772
Глава VI. Общие свойства угловых моментов в квантовой механике	779
A. <i>Введение: важность понятия углового момента</i>	781
B. <i>Соотношения коммутации операторов угловых моментов</i>	783
C. <i>Общая теория углового момента</i>	786

D. Применение к орбитальному угловому моменту	803
Дополнения к главе VI	823
A _{VI} . Сферические гармоники	824
B _{VI} . Угловой момент и вращения	838
C _{VI} . Вращение двухатомных молекул	864
D _{VI} . Угловой момент стационарных состояний двумерного гармонического осциллятора	882
E _{VI} . Заряженная частица в магнитном поле. Уровни Ландау	900
F _{VI} . Упражнения	929