

530.145 (049.3)

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА В ЗАДАЧАХ

Siegfried Flügge. *Practical Quantum Mechanics*, vols I, II (Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete, Bände I, II). Berlin—Heidelberg—New York, Springer-Verlag, 1971, 341 + 287 p.

Рецензируемая книга, выпущенная издательством Springer-Verlag в виде двух томов — 177-го и 178-го — в серии «Основы математического естествознания», принадлежит Зигфриду Флюгге — немецкому физик-теоретику старшего поколения, работавшему еще в начале 30-х годов с Максом Борном. В последние годы Флюгге основное время уделяет издательской деятельности: он является редактором известной шпрингеровской шестидесятипятой физической энциклопедии.

При написании своей книги Флюгге преследовал, как он пишет в предисловии, двойную цель: дать возможность ознакомиться с различными методами решения квантовомеханических задач как студентам, впервые начинающим заниматься квантовой механикой, так и физикам-экспериментаторам, не обладающим достаточным опытом в выполнении конкретных расчетов.

Публикация подобной книги, представляющей собой сборник задач по квантовой механике с решениями, является, несомненно, оправданной. Вместе с несколькими изданными в последние годы аналогичными руководствами она заполняет значительный разрыв, существующий между учебниками, в которых излагаются главным образом принципиальные основы квантовой механики, и специальными монографиями, в которых подробно, со всеми деталями разбираются методы решения конкретных физических проблем. Книгу Флюгге отличают две особенности. Во-первых, в ней собрано значительно больше, чем в других изданных до настоящего времени задачах, количество задач. Во-вторых, в ней последовательно приводятся и комментируются задачи и вопросы практически по всем разделам квантовой механики, включая ее принципиальные основы. При желании можно изучать квантовую механику, вообще читая только книгу Флюгге. Именно последнее обстоятельство послужило причиной выбора заголовка рецензии.

Для иллюстрации последнего замечания укажем, что в первой главе, озаглавленной «Общие принципы квантовой механики», рассмотрены на конкретных примерах следующие вопросы: закон сохранения вероятности, сопоставление стационарному уравнению Шрёдингера вариационного принципа, переход к классическому пределу для движения волновых пакетов, закон сохранения энергии, построение и свойства эрмитовских операторов, определение операторной производной, изменение квантовомеханических средних со временем, связь между шрёдингеровским и гейзенберговским представлениями, задачи с зависящим от времени гамильтонианом, результаты повторных измерений, криволинейные координаты и, наконец, импульсное представление.

Все приводимые в книге задачи носят в общем традиционный характер. Поэтому содержащиеся дальнейших глав можно характеризовать лишь по отбору материала.

Вторая глава, занимающая в книге наибольший объем, содержит задачи о движении бесспиновой частицы во внешних полях. Сначала в этой главе рассматриваются одномерные задачи: общие характеристики решений одномерного стационарного уравнения Шрёдингера, расчеты коэффициентов прохождения и отражения, решения

задач на собственные значения для одномерных потенциальных ям различного вида, определение виртуальных уровней, движение в поле с постоянной напряженностью. Много места уделено задаче о гармоническом осцилляторе, которая решается четырьмя различными способами. Приведены приближенные решения для ангармонического осциллятора. Несколько задач посвящено движению в поле неоднородных потенциалов, не обладающих сферической симметрией. Сюда относится задача о симметричном волчке, задачи о штарк-эффекте для двумерного ротатора, задачи о простейшей молекуле H_2^+ и т. д.

Сравнительно большой раздел второй главы посвящен теории угловых моментов. Здесь достаточно подробно разобраны свойства сферических гармоник и указано, как восстановить гильбертово пространство состояний с базисом, задаваемым собственными значениями квадрата момента и его проекции на третью ось.

Далее во второй главе рассматриваются задачи с центрально-симметричными потенциалами. Наряду с многочисленными модельными проблемами здесь разбираются также более конкретные физические задачи. Так, разобраны задачи об изотопическом сдвиге в рентгеновских лучах, об основном состоянии мюония, об уровнях энергии дейтрона и о штарк-эффекте для трехмерного ротатора.

Пожалуй, наиболее интересную часть второй главы составляет серия задач, посвященных упругому рассеянию на центрально-симметричном потенциале. Изложение здесь приближается в ряде пунктов к содержанию современных оригинальных научных статей. Приведем заголовки некоторых задач из данной серии: рассеяние при низких энергиях, рассеяние на прямоугольном отталкивательном потенциале, резонансное рассеяние, суммирование высших угловых моментов и метод прицельного параметра, метод эффективного радиуса, рассеяние на прямоугольной яме при низких энергиях, низкоэнергетическое рассеяние и связанные состояния для дейтронного потенциала (с отталкивательной сердцевиной и без нее), радиальное интегральное уравнение, вариационный принцип Швингера, расчет фазовых сдвигов для парциальных волн методом последовательных приближений, уравнение Калоджеро, линеаризация и другие методы решения уравнения Калоджеро, длины рассеяния для потенциала прямоугольной ямы и юкавского потенциала, метод ускорения сходимости разложения по сферическим гармоникам, борновское приближение (общая теория и примеры применения для случаев рассеяния на юкавском потенциале, экспоненциальном потенциале и сферически-симметричном распределении заряда), формула Резерфорда, преобразование Зоммерфельда — Ватсона, полюсы Редже.

Довольно много задач во второй главе связано с использованием ВКБ-приближения. Это вполне естественно ввиду важной роли ВКБ-приближения при рассмотрении многих проблем квантовой механики. В конце второй главы разобраны задачи о движении частицы в магнитном поле.

Третья глава, с которой начинается второй том, посвящена движению частиц со спином. В начале главы рассматривается нерелятивистское описание одной частицы со спином $1/2$ во внешних полях. Далее разбираются двух- и трехчастичные задачи. При этом рассматриваются конкретные физические проблемы, о тензорных силах в дейтроне, об электрическом дипольном и магнитном квадрупольном моментах дейтрона, о рассеянии нейтронов молекулярным водородом.

Четвертая глава озаглавлена «Проблемы многих тел». Ее содержание разделяется на две части, включающие соответственно задачи с небольшим числом частиц и задачи с очень большим числом частиц. В первую часть входят, в частности, задачи со следующими заголовками: трехатомная линейная молекула, теорема вириала, слайтеровские детерминанты, возбужденные состояния атома гелия, основные состояния лития с обменными поправками, диэлектрическая проницаемость, диамагнетизм неона, вандер-ваальсово притяжение, молекула водорода, рассеяние одинаковых частиц, резонансное рассеяние, неупругое рассеяние. Из числа задач о системах с большим числом частиц упомянем следующие: об электронном газе в металле, о парамагнитной восприимчивости металлов, об автоэлектронной эмиссии из металлов, о приближении Томаса — Ферми с различными уточнениями, об экранировке K -электронов.

Сравнительно небольшая пятая глава посвящена нестационарным задачам. Отметим здесь задачи о кулоновском возбуждении атомов, о фотоэффекте, о дисперсии света, о перебросе спина в системах магнитного резонанса.

Последние шестая и седьмая главы содержат релятивистские проблемы, связанные с уравнением Дирака и теорией электромагнитного излучения. Здесь весьма подробно и наглядно рассмотрены дираковские спиноры, релятивистская инвариантность уравнения Дирака, состояния с определенной спиральностью, зарядовое сопряжение, переход к уравнениям Паули, кеплеровская задача для релятивистских спиноров и т. д. Задачи по теории излучения даны в весьма ограниченном числе и включают квантование классического поля излучения, вероятность спонтанной эмиссии, правила отбора для дипольного излучения, комитон-эффект и тормозное излучение.

В конце второго тома содержится математическое приложение, в котором изложены традиционные для квантовой механики математические вопросы: свойства гипергеометрических функций, ортогональных многочленов и сферических гармоник, а также вычисление ряда интегралов.

Переходя к общей оценке книги, следует еще раз отметить, что в нее включено очень большое число задач. Тем не менее это число было бы полезным еще более увеличить. В частности, для представления основ квантовой механики в более современном духе было бы желательным включение дополнительных задач по избранным вопросам теории гильбертова пространства, подобных некоторым из задач, содержащихся в книге П. Халмоша «Гильбертово пространство в задачах» (М., «Мир», 1970). По мнению рецензента, следует вообще считать существенным недостатком книги трактовку непрерывного спектра только как предела дискретного спектра, даже без упоминания о возможности более строгих подходов, например при введении обобщенных функций. Серьезным упущением, несомненно, является отсутствие задач, иллюстрирующих роль симметрии в квантовой механике. Особенно это чувствуется при изложении теории угловых моментов, в которую следовало бы включить теорему Вигнера — Экарта.

Несмотря на сделанные замечания, рецензируемую книгу следует считать крайне полезной. Ее перевод на русский язык, возможно с некоторыми добавлениями, является безусловно целесообразным. Такой перевод найдет весьма широкий круг читателей.

А. М. Бродский