

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

И. И. Гольдман и В. Д. Кривченков, Сборник задач по квантовой механике, М., Гостехиздат, 1957, стр. 275, тираж 15 000 экз., цена 5 р. 15 к.

Изучение квантовой механики в настоящее время входит в обязательную программу подготовки любого специалиста-физика как теоретика, так и экспериментатора. В то же время квантовая механика привлекает внимание и многих математиков, в первую очередь специалистов по функциональному анализу и дифференциальным уравнениям. Квантовая механика представляет собой источник ряда весьма тонких и интересных математических задач и область применения для разнообразных математических методов. Поэтому вышедший в конце 1957 г. сборник задач по квантовой механике И. И. Гольдмана и В. Д. Кривченкова представляет интерес не только для физиков, но и для довольно широкого круга математиков.

Рецензируемый задачник содержит свыше 250 задач, охватывающих все основные разделы курса квантовой механики, читаемого на физических факультетах.

Первые два параграфа задачника: «Одномерное движение. Спектр энергии и волновые функции» и «Прохождение через барьер» содержат ряд весьма удачно подобранных задач, связанных с так называемым «квазиклассическим приближением» квантовой механики, идея которого состоит в том, что постоянная Планка \hbar рассматривается в уравнениях квантовой механики как малый параметр.

Методы решения квазиклассических задач отличаются новизной, разнообразием и изяществом. Например, решение задачи с потенциальной энергией вида $u(x) = x^n$ приводится с помощью теоремы вириала.

В задаче 11 находится квазиклассическая асимптотика энергии для уравнения Шредингера с симметричной потенциальной ямой со многими минимумами. Эта задача, впервые решенная в задачнике, представляет значительный физический и математический интерес. В задаче получено расщепление первого члена асимптотического разложения энергии по \hbar (второй член имеет порядок $O(\hbar^2)$, имеющее порядок $O(\hbar^\infty)$). Чтобы дать полное математическое обоснование того, что полученная в задаче 11 формула является асимптотикой разности $E_n - E_{n-1}$, необходимо еще доказать, что вклад, вносимый за счет расщепления следующих членов разложения энергии по степеням \hbar , более высокого порядка, чем порядок расщепления первого члена квазиклассической асимптотики. Метод «сшивания», развитый в задаче 11 может быть применен к случаю потенциальной ямы со многими симметрическими впадинами, разделенными достаточно высокими барьерами. Например, в задачнике решена, также впервые, задача определения спектра энергии для потенциальной ямы вида $u(x) = \alpha \operatorname{ctg}^2 x$. В этой связи интересно было бы методом, примененным в задаче 11, решить задачу с потенциальной энергией

$$u(x) = \begin{cases} \alpha \operatorname{ctg}^2 x & \text{при } \alpha \operatorname{ctg}^2(x) \leq M, \\ M & \text{при } \alpha \operatorname{ctg}^2 x \geq M, \end{cases}$$

где M — большой параметр, причем при частном значении α , а именно, в случае, когда

$$-\psi_n'' + \frac{2}{\sin^2 x} \psi_n = \lambda_n \psi_n.$$

В этом случае собственные значения суть $\lambda_n = n^2$, собственные функции $\psi_n = n \cos nx - \sin x \operatorname{ctg} x$.

Заметим, кстати, что спектр здесь будет такой же, как в случае прямоугольной потенциальной ямы, т. е. обратная задача (нахождение потенциальной энергии по спектру) здесь не имеет единственного решения. Точно так же методы, развитые в задаче 11, могут быть применены к решению самых разнообразных квантово-механических задач. Обобщение методов, развитых в задачнике, исследование возможности их применения к другим задачам, а также математическая обработка некоторых задач из задачника — все эти вопросы должны представлять значительный интерес для математиков.

§ 3 посвящен перестановочным соотношениям неопределенности и расплыванию волновых пакетов. Он содержит 22 прекрасно подобранные задачи. Половина этих задач — оригинальны, а остальные в основном составлены на основании различных журнальных статей. Все задачи имеют непосредственный физический смысл. Из оригинальных задач этого параграфа хотелось бы особо отметить задачи 9, 12, 20, 21, 22. В задаче 12, в частности, интересен способ решения, основанный на теории возмущения в той ее формулировке, в какой она употребляется в квантовой электродинамике. Задачи 20—22 интересны как примеры решения задач в гайзенберговском представлении. Весьма интересны задачи 13—17 об осцилляторе в поле зависящей от времени силы.

§ 4 носит название: «Момент количества движения. Спин». Здесь также около половины всех задач — оригинальные.

Есть задачи на понимание физической стороны вопроса (например, 6, 9, 10 и т. д.). Следует особо отметить, что в этой главе, как и во всем задачнике, задачи как правило не являются абстрактными, а насыщены конкретным физическим содержанием и имеют непосредственное отношение к атомной или ядерной физике.

В § 5 — «Центрально-симметричное поле» — рассмотрены наиболее типичные задачи квантовой механики, относящиеся к системам с несколькими степенями свободы, решение которых не связано с чрезмерно большими математическими осложнениями.

Очень ценным является разнообразие методов, применяемых для решения задач этого параграфа. Здесь и качественное исследование энергетического спектра с помощью гипергеометрической функции, приближенный метод Ритца для отыскания энергии основного состояния фотона (задача 10), и метод возмущения, применяемый для оценки изменения энергетических уровней после «сглаживания» потенциала (задача 13).

Самостоятельный интерес представляет детальное исследование задачи о поведении α -частицы в поле ядра. Эта задача является оригинальной.

Указания к задачам написаны очень сжато и содержат необходимые данные для выбора наиболее рационального пути решения.

§ 6 — «Движение частицы в магнитном поле». Большая часть задач этого параграфа посвящена изучению энергетического спектра волновых функций, плотности тока и других физических характеристик для заряженной частицы, движущейся в магнитном и электрическом полях. В указании о задаче 1 дается физическая постановка задач подобного типа и приводится уравнение Шредингера для частицы в магнитном поле. Имеется несколько задач (14—19) о движении частицы со спином $1/2$ в однородном магнитном поле.

Эти задачи значительно сложнее и снабжены более подробными указаниями, каждое из которых представляет теоретический и методический интерес.

Следующие два параграфа задачника «Атом» и «Молекула» содержат вместе 98 задач, относящихся к следующим вопросам: вычисление энергетических уровней в атоме, вычисление энергии основных состояний, эффект Зеемана, эффект Штарка и т. д. Здесь много удачно подобранных задач на применение теории возмущений. В большинстве случаев даны довольно подробные решения, делающие эти задачи, в основном довольно трудные, доступными для вдумчивого студента. Следует подчеркнуть, что в большинстве квантово-механических задач, относящихся к теории атомов и молекул, могут быть с успехом

применены теоретико-групповые методы. К сожалению в задачнике эта сторона дела никак не представлена.

Последний, девятый, параграф задачника посвящен теории рассеяния. Содержащиеся здесь 27 задач хорошо иллюстрируют такое понятие, как амплитуда рассеяния, сечение рассеяния, фазы рассеяния и т. д. Желательно однако было бы добавить здесь несколько задач, связанных с комплексным потенциалом (неупругие процессы).

В целом следует признать, что рецензируемый задачник является весьма ценным вкладом в учебную литературу по теоретической физике. При сравнительно небольшом объеме он охватывает большой и разнообразный материал. Для сравнения следует указать, что вышедший в 1956 г. задачник В. И. Когана и В. М. Галицкого при значительно большем объеме содержит лишь около 160 задач, среди которых довольно много совсем простых задач, а довольно распространенный за границей задачник Flugge представляет собой почти исключительно набор упражнений по гипергеометрическим функциям.

В задачнике И. И. Гольдмана и В. Д. Кривченкова нашел отражение богатый педагогический опыт, накопленный на практических занятиях по квантовой механике (которые В. Д. Кривченков ведет на физическом факультете МГУ на протяжении более 10 лет). Имея в виду последующие издания задачника хотелось бы обратить внимание на следующее:

1) Целесообразно (особенно имея в виду читателя-математика) давать в начале каждого параграфа сводку основных понятий и формул, употребляемых в задачах данного раздела.

2) В тех случаях, когда ответ задачи содержится в самой формулировке («доказать, что...») авторы никаких пояснений к решению не приводят. Однако некоторые из задач такого типа довольно трудны и несомненно нуждаются в указаниях на метод решения.

3) Желательно в последующих изданиях уделить некоторое внимание теоретико-групповым методам квантовой механики (хотя бы в той мере, в какой это сделано в учебнике Ландау и Лившица).

*В. П. Маслов, А. А. Самарский,
С. В. Фомин, Ю. М. Широков*