

ВВЕДЕНИЕ

Теория рассеяния — это изучение системы со взаимодействием в таких масштабах времени и (или) расстояний, которые велики по сравнению с масштабом собственно взаимодействия. По этой причине теория рассеяния — наиболее эффективное, а часто единственное средство изучения микромира. Чтобы осознать важность теории рассеяния, рассмотрим несколько примеров, которые естественно к ней приводятся. Во-первых, многие явления природы (например, голубизна неба) возникают в результате рассеяния. Чтобы понять такое явление и увидеть в нем результат рассеяния, надо понять лежащую в его основе динамику и порождаемую ею теорию рассеяния. Во-вторых, часто возникает желание воспользоваться рассеянием волн или частиц, динамика которых известна, для того чтобы определить структуру и положение очень малых или недостижимых предметов. Например, в рентгеновской кристаллографии (которая привела к открытию ДНК), в томографии или в обнаружении подводных предметов с помощью звуковых локаторов динамика хорошо изучена, и нас интересуют соответствия, которые посредством этой динамики связывают положение, очертание и внутреннюю структуру предметов с данными рассеяния. В идеальном случае такое соответствие должно выражаться явной формулой, позволяющей реконструировать, хотя бы приблизительно, предмет по данным рассеяния. Третья роль теории рассеяния состоит в том, что она служит пробным камнем для самой динамики. В физике элементарных частиц динамика не очень понятна, а все экспериментальные данные, в сущности, сводятся к данным рассеяния. Главное испытание любой предложенной динамики — можно ли с ее помощью построить теорию рассеяния, которая предскажет наблюдаемые экспериментальные данные. Теория рассеяния не всегда занимала в физике такое центральное место. Хотя кулоновы сечения рассеяния мог бы сосчитать еще Ньютон, задайся он таким вопросом, их вычислил Резерфорд более двухсот лет спустя. Разумеется, вычисления Резерфорда были связаны с первыми опытами в ядерной физике.

Теория рассеяния столь важна для атомной физики, теории твердого тела и физики высоких энергий, что на эту тему существует необъятная физическая литература. К сожалению, развитие соответствующих математических методов происходило гораздо медленнее. Отчасти это связано с трудностью математических задач, но в значительной мере и с тем, что отсутствие общения между физиками и математиками не позволяет математикам в должной степени оценить многие трудные и привлекательные задачи в теории рассеяния. С другой стороны, физическая литература не вполне удовлетворительна из-за обилия эвристических формул и методов, создаваемых *ad hoc*. В основе большей части физической литературы лежит «стационарный» подход к теории рассеяния, так как этот подход предлагает мощные вычислительные методы. Но нам кажется, что, пользуясь формулами стационарного подхода, надо выводить их из динамики процесса. Поэтому в этой книге мы подчеркиваем, что рассеяние — это явление, зависящее от времени, и, в частности, делаем упор на сравнение свободной динамики с динамикой, учитывающей взаимодействие. Такой подход вносит в наше изложение некоторую асимметрию, потому что нам приходится подчеркивать роль больших времен, а не больших расстояний. Однако, как читатель сам увидит, за этим скрываются существенные геометрические соображения.

Даже в столь разных областях физики, как классическая механика, механика сплошных сред и квантовая механика, теория рассеяния всегда связана с двумя основными вопросами: существования и полноты волновых операторов. Поэтому эти два вопроса для нас — главный предмет изучения в отдельных конкретных системах и объединяющая тема, проходящая через всю книгу. Поскольку мы рассматриваем много разных систем, мы, в сущности, не продвигаемся дальше построения и доказательства полноты волновых операторов. Исключение сделано лишь для двухчастичного квантового рассеяния, развитого подробнее. Но и здесь мы не сумели включить таких важных предметов, как теория Редже, обратная задача рассеяния и двойные дисперсионные соотношения.

Поскольку квантовая механика — это линейная теория, не удивительно, что сердцевину математической техники составляет спектральный анализ гамильтонианов. Связанные состояния (отвечающие точечному спектру) гамильтониана со взаимодействием не рассеиваются, в то время как состояния из абсолютно непрерывного спектра рассеиваются. Математическое свойство, которое различает эти два случая (и связывает физическую интуицию и математическую формулировку), — это убывание фурье-образа соответствующей спектральной меры. Между ними лежит случай сингулярного спектра, и главный (а часто и самый трудный)

шаг большинства доказательств асимптотической полноты состоит в доказательстве того, что гамильтониан со взаимодействием не имеет сингулярного спектра. Обратное, один из наиболее эффективных способов доказать, что самосопряженный оператор не имеет сингулярного спектра, состоит в доказательстве того, что он служит гамильтонианом некоторой квантовой системы со взаимодействием, обладающей полными волновыми операторами. Эта глубокая связь между теорией рассеяния и спектральным анализом показывает всю искусственность нашего разделения материала между томами 3 и 4.

Когда мы уже читали корректуру этого тома, В. Энсс создал новые красивые методы изучения квантовомеханического рассеяния. Статья Энсса интересна не только тем, что в ней доказано, но и тем, какое новое направление развития теории она предлагает. В частности, можно ожидать, что эти методы приведут к новым сильным результатам в теории многочастичного рассеяния. Чтобы описать метод Энсса в случае двух частиц, мы добавили новый раздел (§ XI.7). Мы хотим поблагодарить профессора Энсса за его доброе отношение, помогшее нам включить этот материал.

Общие высказывания о Замечаниях и задачах, которые мы делали в предыдущих томах, остаются в силе и здесь с одним дополнением: большая часть изложенного в этом томе материала взята из текущей научной литературы, так что многие задачи весьма серьезны. Некоторые из задач со звездочкой резюмируют содержание научных статей!