539.186 (049.3)

ЦЕННАЯ МОНОГРАФИЯ ПО ТЕОРИИ АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ

Б. М. Смирнов. Асимптотические методы в теории атомных столкновений, М., Атомиздат, 1973, 296 с.

Монография Б. М. Смирнова посвящена рассмотрению потенциалов взаимодействия атомных частиц и соответствующих процессов столкновения в плазме и газе. Если кратко охарактеризовать основное направление книги, то можно сказать, что оно отвечает «процессам с большими сечениями». Эти процессы связаны с малыми (по сравнению с атомными) изменениями энергии электронов и в этом смысле являются «резонансными». Привлекательной особенностью резонансных процессов по сравнению с другими атомно-молекулярными процессами является то, что они не приводят к радикальной перестройке внутренней структуры атома. Поэтому теория таких процессов имеет достаточно надежную основу в виде «нулевого» приближения. Это позволяет получить окончательные результаты для сечений процессов в достаточно обозримом аналитическом виде.

Основным методом рассмотрения указанного круга вопросов в книге Б. М. Смирнова является, как ясно уже из ее названия, асимптотический метод. В данном случае понятие «асимптотический» означает разложение по малому отношению атомного радиуса к характерному радиусу того или иного процесса. Поскольку при этом рассматриваются процессы с участием медленных тяжелых частиц, то основные характеристики рассеяния могут быть выражены через потенциалы взаимодействия этих частиц. В этой связи содержание книги разбито на две части, первая из которых посвящена исследованию взаимодействия атомных частиц на далеких расстояниях, а вторая — расчетам на этой основе процессов соударения атомных частиц.

Часть I состоит из трех глав, в двух из которых рассматривается обменное взаимодействие, а в третьей — дальнодействующее взаимодействие атомных частиц. Одним из важных выводов этой части является вывод (довольно неожиданный!) о значительной роли обменного взаимодействия в упругих процессах. Действительно, из общих соображений, казалось бы, ясно, что, поскольку обменное взаимодействие экспоненциально спадает вне атома, то оно не должно играть заметной роли в процессах с большими сечениями. Тем не менее практически оказывается, что для реальных условий в газе это взаимодействие остается сравнимым с дальнодействующим (степенным) или даже превосходит его вплоть до *десятков* атомных радиусов, т. е. для большого числа резонансных процессов. В книге приведено подробное изложение расчетов обменного взаимодействия для целого ряда объектов: одно- и многоэлектронного атома с положительным ионом, отрицательного иона с атомом, атомов друг с другом, молекулярного иона с молекулой и др. Проведено сравнение расчетов по асимптотическому методу с другими методами, убедительно демонстрирующее преимущества первого. Следует отметить, что такой обзор обменного взаимодействия до сих пор отсутствовал в монографиях по атомным столкновениям. Несомненный интерес представляет также проведенное в книге на ряде конкретных примеров подробное сравнение обменного и дальнодействующего взаимодействий.

Часть II состоит из пяти глав. Первая из них посвящена изложению общих методов расчета сечений при медленных столкновениях, остальные четыре — конкретным расчетам сечений резонансных процессов (перезарядка, передача возбуждения, переходы между подуровнями тонкой и сверхтонкой структуры, деполяризация и т. д.). В качестве основного подхода к расчету вероятностей переходов в монографии использован квазиклассический метод. Следует отметить в этой связи, что в обзорной литературе по атомным столкновениям (например, в известной книге Мотта и Месси) существовала определенная недооценка этого метода, хотя его практические успехи были продемонстрированы (особенно в последнее время) в сотнях работ. Книга Б. М. Смирнова — одна из немногих, где квазиклассический метод является после-

довательной основой рассмотрения широкого круга задач теории атомных столкновений. Заслуживает одобрения содержание § 4.2, посвященного обоснованию квазиклассического приближения, а также § 4.6, где подробно рассмотрено соотношение между неподвижной и вращающейся системами квантования атома. Что касается конкретных физических процессов, рассмотренных в книге (гл. 5—8), то большинство из них сравнительно мало (или лишь в конспективной форме) было отражено в литературе по атомным столкновениям. Их значение существенно возросло в последнее время в связи с новыми применениями газового разряда и плазмы (лазеры и т. д.). Монография Б. М. Смирнова достаточно полно отражает большое число работ, как теоретических, так и экспериментальных, появившихся в этой области в последнее время. Описано также значительное количество физических и технических приложений рассчитанных процессов.

Перейдем к критическим замечаниям по монографии. Прежде всего укажем, что сам характер изложения подчас не дает возможности понять, какие из цитируемых работ носят основополагающий характер, а какие — характер дальнейшего развития теории или конкретных расчетов. Например, в § 2.1, на наш взгляд, недостаточно ясно отражена первоначальная идея Ферми [1] о смещении линий высших серий атомов; это же замечание относится и к § 3.2 (стр. 103—104), где обсуждается поляризационное взаимодействие возбужденного атома с возмущающим, также рассмотренное впервые в указанной работе Ферми. Другим примером являются переходы между состояниями $2S$ и $2P$ водорода, рассматриваемые в § 8.3 (стр. 280—281). Эти переходы, с соответствующими приложениями к астрофизике, были впервые рассмотрены в работе Парселла [2], отмеченной, например, в известной монографии Бете и Солпитера, и лишь затем усовершенствовались в дальнейших работах, цитируемых Б. М. Смирновым. Конечно, невозможно требовать от автора книги исчерпывающей оценки всех цитируемых им работ, тем более что Б. М. Смирнова выгодно отличает стремление отразить максимальное число *новейших* достижений в каждой из областей. Тем не менее следовало бы уделить больше внимания основополагающим работам, определяющим *идейную* сторону вопроса, даже если конкретные расчеты в них недостаточно совершенны. По нашему мнению, это требование, обязательное для любого обзора, в еще большей мере относится к обзорной монографии.

В книге, к сожалению, не нашел отражения важный цикл работ, начатый Л. А. Вайнштейном, Л. П. Пресняковым и И. И. Собельманом (ВПС) [3, 4], по теории неупругих атомных переходов при столкновениях с тяжелыми частицами. Между тем метод ВПС является (наряду с формулами Е. Е. Никитина и Ю. Н. Демкова, подробно анализируемыми в монографии) одной из немногих эффективных общих аппроксимаций в теории неупругих столкновений (см. также [5, 6]).

При изложении вопроса об уширении спектральных линий (в рамках тематики книги — по необходимости кратком) автор не самым «выгодным» образом выбрал объект рассмотрения, уделив внимание только так называемому ударному уширению линий (§§ 4.7 и 7.2; отметим, что сам критерий ударности на стр. 162 несколько переупрощен). Между тем с точки зрения развиваемого в книге асимптотического метода, позволяющего определить потенциалы межатомного взаимодействия, особый интерес представляет не столько ударное, сколько *квазистатическое* уширение, целиком определяющееся как раз этими потенциалами. Отмеченное обстоятельство тем более интересно, что в монографии показана существенная роль обменного взаимодействия, до сих пор практически не учитывавшегося при расчетах квазистатических профилей линий.

Последнее замечание касается погрешностей стиля изложения. Например, на стр. 7 слово «действие» употреблено около 25 раз. Нередко встречаются перегруженные фразы, например, на стр. 71: «Поскольку при отражении электронов относительно плоскости симметрии гамильтониан квазимолекулы не изменяется, то система собственных функций квазимолекулы делится на четные и нечетные волновые функции электронов (последние три слова излишни.— *Рец.*) в связи с их свойством сохранять или менять знак при отражении электронов относительно плоскости симметрии» (частичное повторение начала фразы.— *Рец.*). То же относится к рассуждениям на стр. 238.

Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку монографии Б. М. Смирнова. Данную книгу, как и другие книги автора, отличают высокий научный уровень, доведение результатов до стадии численной реализации, детальный расчет многочисленных конкретных эффектов и систематическое сравнение теории с экспериментом. Интересная и ясно очерченная по замыслу, последовательная и глубокая по изложению, охватывающая широкий и современный теоретический и экспериментальный материал, монография Б. М. Смирнова, безусловно, окажется весьма полезной для широкого круга специалистов в области физики атомных столкновений, теоретической спектроскопии, а также физики плазмы и газов.

В. И. Коган, В. С. Лисица

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Fermi, Nuovo Cimento **11**, 157 (1934).
2. E. M. Purcell, Astrophys. J. **116**, 457 (1952).
3. Л. А. Вайнштейн, Л. П. Пресняков, И. И. Собельман, ЖЭТФ **43**, 518 (1962).
4. И. И. Собельман, Введение в теорию атомных спектров, Физматгиз, М., 1963.
5. M. R. Flannery, J. Phys. **B2**, 909 (1969).
6. В. И. Коган, В. С. Лисица, А. Д. Селидовкин, ЖЭТФ **65**, 152 (1973).