

Лекция 9. ВКБ приближение. Неупругие столкновения.

Цель. Описать метод ВКБ приближения

При больших значениях орбитального квантового числа l фазы рассеяния можно легко найти из квазиклассического (ВКБ) представления о движении частицы в потенциальном поле рассеивающего центра и в этом случае имеем следующее выражение для фазовых сдвигов:

$$\delta_l = \int_{r_0}^{r_c} \sqrt{k^2 - \frac{(l+1/2)^2}{r^2} - U(r)} dr - \int_{r_1}^{r_c} \sqrt{k^2 - \frac{(l+1/2)^2}{r^2}} dr, \quad (9.1)$$

где r_0, r_1 - корни первого и второго подкоренного выражений; r_c - радиус обрезания потенциала $U(r)$. Квазиклассическое приближение применимо при больших энергиях налетающих частиц, когда $kr_c \gg 1$. Это условие означает малость длины волны частицы с радиусом действия потенциального поля. Причем основной вклад при этом вносят частицы по сравнению с большими орбитальными моментами l .

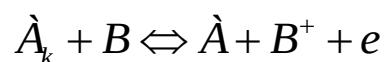
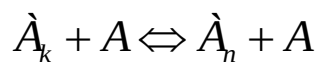
Отдельно в теории элементарных процессов рассматривается класс столкновений тяжелых частиц, т.е. когда сталкивающиеся частицы это ионы, атомы или молекулы. Данный тип столкновений по сравнению с электронным ударом обладает гораздо большим числом возможных реакций, поскольку эти все эти частицы характеризуются внутренним состоянием. Последовательное теоретическое описание столкновений тяжелых частиц – сложная задача. Важное место при описании столкновений тяжелых частиц занимает критерий Мессии. Рассмотрим время столкновения τ и время передачи энергии t . Пусть v - относительная скорость сталкивающихся частиц, a - характерное расстояние межчастичного потенциала взаимодействия. Тогда $\tau = a/v$. $t = \hbar/\Delta E$. Тогда, если $\tau/t = \frac{a\Delta E}{v\hbar} \gg 1$ передача энергии успевает произойти, причем внутренне

состояние частиц не меняется, так как движутся они относительно друг друга очень медленно и внутренние состояния не возмущаются. Такие столкновения называются адиабатическими.

Если $\tau/t = \frac{a\Delta E}{v\hbar} \sim 1$, тогда столкновения носят выраженный неупругий характер.

И, наконец, если $\tau/t = \frac{a\Delta E}{v\hbar} < 1$, это означает, что время взаимодействия слишком мало, чтобы произошла передача энергии и столкновения вновь становятся упругими.

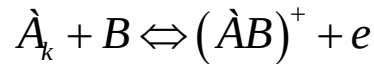
Возбуждение и тушение (2), ионизация и трехчастичная рекомбинация (3) тяжелых частиц.



Если энергия возбуждения $\dot{A}_k$ больше энергии ионизации B , причем $\dot{A}_k$ находится в метастабильном состоянии, то этот процесс (3) называется эффектом Пеннинга.

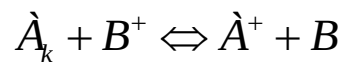
Ассоциативная ионизация и диссоциативная рекомбинация

Процесс соударения двух атомов, при котором образуется молекулярный ион и электрон, называется ассоциативной ионизацией. Встречный процесс называется диссоциативной рекомбинацией.

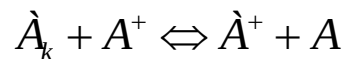


Перезарядка

Перезарядка при столкновении протекает по следующей схеме



Т.е. электрон от атома A переходит к иону B^+ . Процесс столкновения атома A с ионом того же сорта называется резонансной перезарядкой



Если атом был быстрый, а ион медленный, то в результате получится быстрый ион и медленный атом. Поскольку в этом процессе электрон переходит с атомного уровня на такой же атомный уровень у другого ядра, то процесс носит резонансный характер, а сечение его очень велико. При сравнительно низкой энергии сталкивающихся частиц оно примерно в 20 раз больше площади поперечного сечения атома πa_B^2 . Если относительная скорость атома и иона превышает скорость вращения электрона в атоме $v_a = \sqrt{2I/m}$, резонансный характер взаимодействия теряется, а сечение перезарядки быстро уменьшается с ростом энергии.

Литература:

1. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982.
2. Митчнер М., Кругер Ч. Частично ионизованные газы. М.: Мир. 1976.
3. Гиршфельдер Д., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИЛ. 1961.
4. Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа. М.: Наука, 1978.
5. Мэзон Е., Вандерслайс Дж. Атомные и молекулярные процессы. п.р. Бейтса. М.:Мир, 1964.
6. Месси Г., Бархоп Е. Электронные и ионные столкновения. М., 1971.
7. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М.. Квантовая механика. М.: Наука, 1974.
8. Смирнов Б.М. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. М.: Атомизд., 1968.
9. Эбелинг В., Крефт В., Кремп Д. Теория связанных состояний и ионизационного равновесия в плазме и твердом теле 1979г., с.50-52.