<u>Глава V. Статистический подход в теории ядерных реакций.</u>

<u>§ 12. Гипотеза составного ядра.</u>

В теории ядерных реакций имеется два типа задач, в которых необходимо применять статистические методы. Во-первых, это описание при низких энергиях налетающей частицы статистического механизма реакции, при этом могут рассматриваться как упругое и неупругое рассеяние, так и реакции с перераспределением нуклонов. Во-вторых, это описание процессов, в которых происходит возбуждение высоколежащих состояний ядра-остатка. В этом случае рассматриваются глубоконеупругие реакции, но энергия налетающей частицы может быть сколь угодно большой. В настоящей главе более подробно остановимся на описании статистического механизма реакции.

Основой для теоретического описания статистического механизма может быть единая теория Фешбаха, и для амплитуды этих процессов используется резонансная амплитуда. Поскольку в области проявления статистического механизма резонансов много и они могут сильно перекрываться, необходимо использовать соответствующие процедуры усреднения. В результате получаются довольно громоздкие выражения, которые трудно непосредственно применять для анализа экспериментальных данных. Поэтому обычно для описания статистического механизма используется теория Хаузера-Фешбаха с некоторыми модификациями.

Обсудим характеристики статистического механизма реакции. Для него характерно большое время пребывания системы: налетающий нуклон + ядро-мишень в компаунд состоянии:

$$\Delta t \approx 10^{-16} c$$

Зависимость сечений от энергии очень слабая. Угловые распределения изотропны, либо имеется некоторая анизотропия, однако, сохраняется симметрия относительно 90^o. Количество степеней свободы ядра-мишени, вовлеченных в процесс реакции, велико.

Первая версия статистической теории ядерных реакций была дана Г.Бете на основе гипотезы Н.Бора. Имеется две различных ситуации, в которых проявляется статистический механизм. В первом случае в компаунд-системе образуются узкие резонансные состояния, так что:

$$D > \Gamma \qquad (5.1)$$

Но при этом экспериментальное разрешение ΔE не достаточно хорошее и выполняется условие:

$$\Delta E >> D > \Gamma \qquad (5.2)$$

Таким образом, в интервале ΔE оказывается много состояний системы. Во втором случае, резонансы сильно перекрываются и

$$\langle \Gamma \rangle >> D \qquad (5.3)$$

Рассмотрим <u>**гипотезу составного ядра Н.Бора**</u> и <u>**интегральную формулу Бете.**</u> Для сечения реакции с переходом системы из состояния α в состояние β имеем:

$$\sigma_{\alpha\beta} = \frac{\pi}{k_\alpha^2} | \delta_{\alpha\beta} - S_{\alpha\beta} |^2 \qquad (5.4)$$

Предположим, что все процессы ведут к образованию составного ядра. Тогда для сечения образования составного ядра получим:

$$\sigma_{\alpha}(CN) = \sum_{\beta \neq \alpha} \sigma_{\alpha\beta} = \frac{\pi}{k_{\alpha}^{2}} \sum_{\beta \neq \alpha} |S_{\alpha\beta}|^{2} \qquad (5.5)$$

Применим свойство унитарности S-матрицы:

$$\sum_{\beta} |S_{\alpha\beta}|^{2} = 1 \qquad (5.6)$$

Из формулы (5.6) находим $\sum_{\beta \neq \alpha}$:

$$\sum_{\beta \neq \alpha} |S_{\alpha\beta}|^{2} = 1 - |S_{\alpha\alpha}|^{2} = T_{\alpha} \qquad (5.7)$$

По определению, величина T_{α} называется **проницаемостью**. Подставляя (5.7) в (5.5), будем иметь:

$$\sigma_{\alpha}(CN) = \frac{\pi}{k_{\alpha}^{2}} T_{\alpha} \qquad (5.8)$$

Примем гипотезу Н.Бора о том, что **вероятность распада компаунд-системы не зависит от способа ее образования .** Аргументом в пользу этой гипотезы может быть то обстоятельство, что компаунд-система существует достаточное время (по сравнению со временем ее образования) и "забывает " о способе своего создания. Согласно гипотезе Н.Бора сечение реакции с образованием компаунд-системы можно представить в факторизованной форме, т.е. в виде произведения сечения образования компаунд-ядра на вероятность его распада:

$$\sigma_{\alpha\beta} = \sigma_{\alpha}(CN) P_{\beta} = \frac{\pi}{k_{\alpha}^{2}} T_{\alpha} P_{\beta} \qquad (5.9)$$

Здесь P_{β}- вероятность распада компаунд-системы в канале β. Используем принцип детального равновесия, согласно которому элемент S-матрицы прямого процесса равен соответствующему элементу S-матрицы для обратного процесса:

$$S_{\alpha\beta} = S_{\beta\alpha} \qquad (5.10)$$

С учетом формул (5.9)- (5.10) получаем:

$$T_{\alpha} P_{\beta} = T_{\beta} P_{\alpha} \qquad (5.11)$$

Отсюда следует, что отношение T_{α} / P_{α} не зависит от канала реакции. Обозначим это отношение λ^{-1}. Будем иметь:

$$P_{\alpha} = T_{\alpha} \lambda \qquad (5.12)$$

Просуммируем правую и левую части этого соотношения по всем каналам:

$$\sum_{\alpha} P_{\alpha} = \lambda \sum_{\alpha} T_{\alpha} \qquad (5.13)$$

Компаунд-система распадается по одному из каналов, так что:

$$\sum_{\alpha} P_{\alpha} = 1 \qquad (5.14)$$

Таким образом, для множителя λ получаем:

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{\alpha} T_{\alpha}} \qquad (5.15)$$

С учетом (5.11), (5.12) и (5.15) окончательно будем иметь:

$$\sigma_{\alpha\beta} = \frac{\pi}{k_\alpha^2} \cdot \frac{T_\alpha T_\beta}{\sum_i T_i} \qquad (5.16)$$

Формула (5.16) и представляет собой формулу Г.Бете для интегрального сечения реакции , идущей через стадию образования компаунд-системы. Вычисление сечений согласно формуле (5.16) сводится к расчету проницаемостей во всех каналах.