

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

ГЛАВА ПЯТАЯ

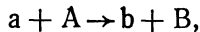
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

§ 28. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

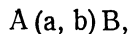
Ядерной реакцией называется процесс перестройки ядра, сопровождаемый генерацией новых частиц, возникающий под действием γ -излучения или в результате взаимодействия двух ядер или ядра и частицы при их сближении до расстояний, на которых начинает проявляться действие ядерных сил (10^{-13} см).

В лабораторных условиях ядерные реакции осуществляются в основном при бомбардировке ядер пучками быстрых частиц. В результате столкновения появляются новые частицы, перераспределяется энергия и импульсы частиц.

Запись реакции производится либо в форме, аналогичной записи химических реакций:

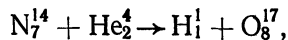


либо, что более принято в ядерной физике, как

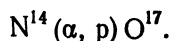


где a — частица пучка, A — ядро мишени, b — вылетающая частица, B — ядро-продукт (или конечное ядро).

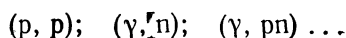
Полная запись ядерной реакции содержит символы элементов, число зарядов и массовые числа. Например, первую реакцию осуществленную Резерфордом в 1919 г., можно записать в виде



или



Если речь идет об общем типе реакции, безотносительно к частному виду мишени, то запись производится и в такой форме:



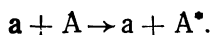
Первая буква в скобке обозначает тип налетающей частицы, буква (или буквы) после запятой показывает, какие частицы образуются в результате реакции помимо ядра отдачи.

Столкновение бомбардирующей частицы с ядром мишени может вызвать различные эффекты:

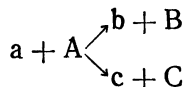
1. *Упругое рассеяние* — взаимодействие, при котором частица и ядро сохраняют свою индивидуальность и происходит только перераспределение их кинетической энергии. Движение частиц после взаимодействия подчиняется законам упругого удара. Состав и внутренняя энергия ядра, так же как и вид частицы, при этом не меняются:



2. *Неупругое рассеяние*. В этом случае вылетает частица того же вида, что и падающая, но конечное ядро образуется в возбужденном состоянии, что обозначается звездочкой. Состав ядра при этом также не меняется:



3. *Собственно ядерная реакция* — взаимодействие, при котором изменяются внутренние свойства и состав ядра мишени и вылетает новая частица:



Каждое из такого рода уравнений определяет, как говорят, свой канал реакции.

Сечения и выходы ядерных реакций. При исследовании ядерной реакции стремятся определить: вероятность протекания ее по различным каналам при различных энергиях падающих частиц — так называемый «выход» данной реакции, угловое и энергетическое распределение продуктов реакции.

Как уже говорилось, эффективное сечение реакции σ выражает вероятность возникновения данного превращения за 1 сек при бомбардировке ядра потоком с плотностью в 1 частицу в сек на 1 см². Если в мишени содержится N ядер и на нее падает поток I частиц на 1 см² в 1 сек, то происходит σNI ядерных превращений в 1 сек. Полное эффективное сечение представляет собой сумму сечений процессов по всем каналам $\sigma = \sigma_b + \sigma_c + \dots$

Важной характеристикой реакции является зависимость эффективного сечения от энергии падающей частицы:

$$\sigma = f(E).$$

Эти зависимости называют функциями возбуждения ядерной реакции.

Выход реакции при данной энергии падающих частиц, т. е. отношение числа происшедших актов реакции к числу упавших на мишень частиц при условии, что на все ядра мишени падает одинаковый поток бомбардирующих частиц. Выход можно рассчитать, зная эффективное сечение процесса σ : $V = \sigma n$, где n — число атомов мишени в столбике сечением 1 см^2 и высотой, равной толщине мишени l .

Если ρ — плотность вещества мишени, то

$$n = l\rho \frac{6 \cdot 10^{23}}{A}.$$

Для толстой мишени, в которой происходит как изменение энергии, так и уменьшение потока частиц, выражение для выхода ядерных реакций имеет более сложный вид.

Ослабление потока падающих частиц в тонкой мишени происходит по закону

$$I = I_0 e^{-\sigma n}.$$

Классификация ядерных реакций. Ядерные реакции обычно классифицируют в соответствии с природой бомбардирующих частиц, вызывающих реакции: ядерные реакции под действием нейтронов, заряженных частиц (протонов, α -частиц, дейтронов) и под действием γ -квантов.

Последние обусловлены электромагнитным, а не ядерным взаимодействием, но так как они приводят к преобразованию ядер, их также относят к ядерным реакциям. Некоторые ядерные реакции принято различать в соответствии с характером превращения: кулоновское возбуждение ядра, деление ядер, синтез ядер, процессы множественного рождения частиц. Кроме того, разделяют ядерные реакции, идущие на легких ядрах ($A < 50$), средних ($50 < A < 100$) и тяжелых ($A > 100$), а также ядерные реакции при малых ($< 1 \text{ кэВ}$), средних (от 1 кэВ до 1 МэВ), больших (от 1 до 100 МэВ) и высоких ($> 100 \text{ МэВ}$) энергиях, хотя, конечно, приведенные границы областей весьма условны.

§ 29. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Пользуясь различными законами сохранения можно предсказать многие особенности ядерных реакций.

Используются следующие точные законы сохранения:

- 1) сохранение электрического заряда;
- 2) сохранение полного числа нуклонов (в реакциях без образования античастиц);
- 3) сохранение полной энергии;
- 4) сохранение импульса;
- 5) сохранение момента количества движения;