

Ядерные взаимодействия

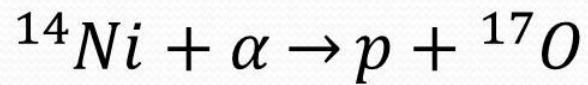
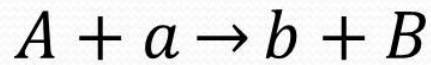
Разновидности ядерных взаимодействий

Под ядерными взаимодействиями подразумеваются любые процессы, происходящие при столкновениях с ядрами различных частиц или ядер друг с другом. Все такие процессы подразделяются на две группы: процессы рассеяния, и ядерные реакции.

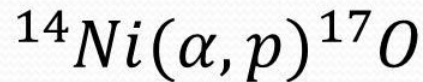
Рассеяние - это процесс, при котором состав сталкивающихся ядер и частиц не изменяется, а происходит лишь обмен энергией и импульсом, в результате чего изменяются скорости и направления их движения.

Ядерная реакция - это процесс, при котором в ядро попадает какая-нибудь частица, а вылетает из ядра другая частица или несколько частиц, в результате чего происходит изменение состава ядра и, соответственно, превращение исходного ядра в другое ядро.

Обозначение



или



или

(a, b) - краткая форма записи

Входной канал

$a + A$

Выходной канал

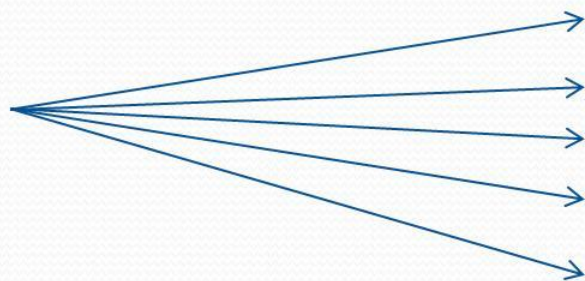
$a + A$

$a + A^*$

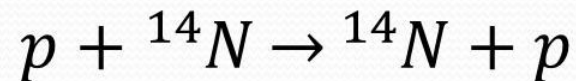
$b + B$

$c + C$

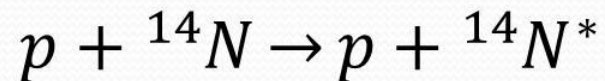
$d + D$

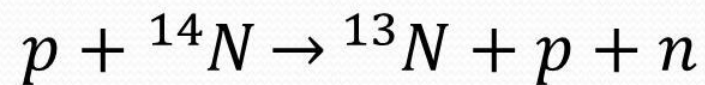
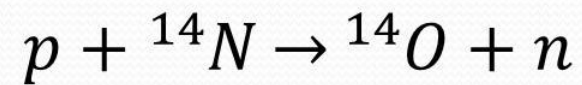
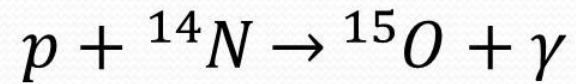


Упругое рассеяние – ядерное взаимодействие, при которой тип частиц и их квантовые состояния не меняются в результате взаимодействия, происходит перераспределение кинетической энергии.



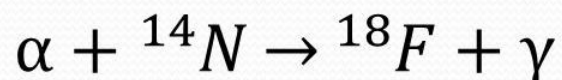
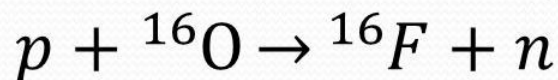
Неупругое рассеяние – состав взаимодействующих ядер не меняется, а часть кинетической энергии бомбардирующего ядра расходуется на возбуждение ядра мишени.





Классификация ядерных реакций по типу налетающих частиц

- Реакции под действием легких заряженных частиц;



- Реакции под действием γ -квантов (фотоядерные) и электронов (электроядерные);



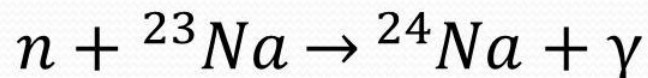
- Реакции под действием нейтронов

Классификация ядерных реакций по типу вылетающих частиц

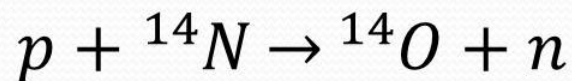
- Реакции с вылетом заряженных частиц;



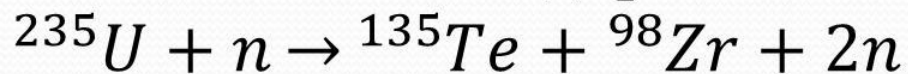
- Реакции радиационного захвата ;



- Реакции с вылетом нейтронов



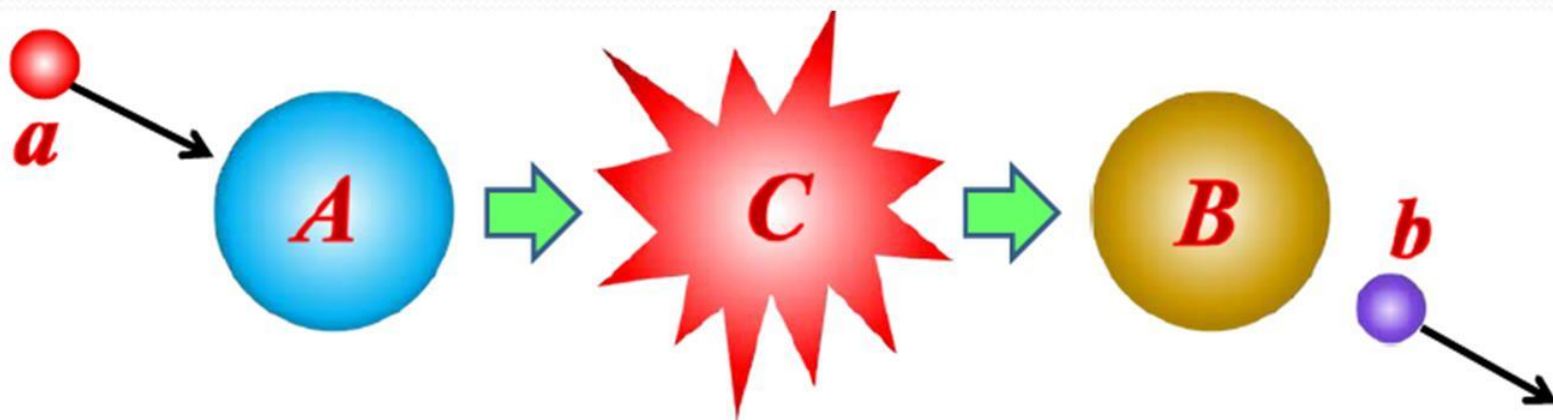
- Процесс деления атомных ядер



Классификация ядерных реакций по механизму протекания реакции

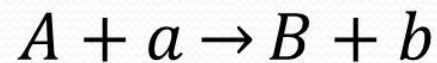


- Боровский механизм ядерной реакции
 $A + a \rightarrow C^* \rightarrow B + b$



Классификация ядерных реакций по механизму протекания реакции

- Механизм прямого взаимодействия



$$E_a = 10 \div 100 \text{ МэВ}$$

Законы сохранения в ядерных реакциях

- Закон сохранения электрического заряда

$$Z_a + Z_A = Z_b + Z_B$$

- Закон сохранения барионного заряда (числа нуклонов)

$$A_a + A_A = A_b + A_B$$

- Закон сохранения энергии

$$E_a + E_A = E_b + E_B$$

- Закон сохранения импульса

$$\vec{p}_a + \vec{p}_A = \vec{p}_b + \vec{p}_B$$

Законы сохранения в ядерных реакциях

- Закон сохранения момента количества движения

$$\vec{J}_a + \vec{J}_A + \vec{l}_{aA} = \vec{J}_b + \vec{J}_B + \vec{l}_{bB}$$

- Закон сохранения четности

$$\pi_a \pi_A \pi_{aA} = \pi_b \pi_B \pi_{bB}$$
$$\pi_{aA} = (-1)^{l_{aA}}$$

- Закон сохранения изотопического спина

$$\vec{T}_a + \vec{T}_A = \vec{T}_b + \vec{T}_B$$

Основные характеристики ядерных реакций

1. Выход реакции – отношение числа ядерных превращений в мишени к числу упавших на эту мишень частиц, отношение числа ядерных реакций к числу затраченных частиц

$$Y = \frac{N_p}{N_0}$$

Для тонкой мишени:

$$Y_j = \sigma_i N_j$$

Функция возбуждения – функция, описывающая зависимость сечения или выхода ядерной реакции от энергии налетающих частиц

2. Сечение ядерной реакции – величина, характеризующая вероятность перехода системы двух взаимодействующих частиц в определенное состояние.

$$N_p = \sigma \Phi n$$

$$\sigma = \frac{N_p}{\Phi n}$$

$$[\sigma] = \text{см}^2$$

$$[\sigma] = \text{барн}$$

$$1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2$$

Сечения процессов, не приводящих к изменению структуры ядра, объединяют в сечение рассеяния

$$\sigma_s = \sigma_p + \sigma_r + \sigma_{in}$$

Для процессов, связанных только с упругим рассеянием, вводят сечение упругого рассеяния

$$\sigma_{el} = \sigma_p + \sigma_r$$

Сечение образования составного ядра - σ_{comp}

Сечение различных каналов распада составного ядра, не связанные с появлением нейтрона, объединяют в сечение поглощения σ_a

Для рассмотрения всех процессов взаимодействия налетающих частиц с ядром используют полное сечение

$$\sigma_t = \sigma_p + \sigma_{comp}$$

$$\sigma_t = \sum \sigma_i$$

σ_i - парциальные сечения – сечения реакций с различными выходными каналами

Энергия реакции

$$E_a + E_A = E_b + E_B$$

$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$


Кинетическая энергия

$$T = E - mc^2$$

$$T_a + m_a c^2 + T_A + m_A c^2 = T_b + m_b c^2 + T_B + m_B c^2$$

Энергия реакции

$$Q = T_b + T_B - T_a - T_A$$



Энергия реакции – кинетическая энергия, выделяющаяся или поглощающаяся в процессе ядерной реакции.