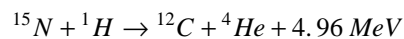
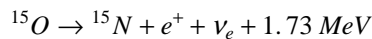
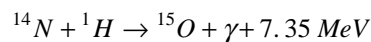
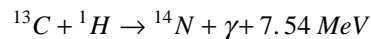
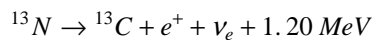
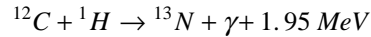


Il ciclo Carbonio-Azoto-Ossigeno (CNO)

Manuel Deodato

1. Le reazioni chimiche del ciclo

Le reazioni che avvengono nel ciclo sono:



Il ciclo inizia con protone (nucleo di idrogeno) catturato da un nucleo di carbonio-12, reazione che forma un nucleo di azoto-13; quest'ultimo produce carbonio-13 a seguito di un successivo decadimento β . Il carbonio-13 prodotto dal decadimento β interagisce con un altro protone, producendo un nucleo di azoto-14, il quale può reagire con un altro protone a formare un nucleo di ossigeno-15; questo, a seguito di un decadimento β , produce azoto-15. Il ciclo si conclude con il nucleo di azoto-15 che cattura un protone, formando carbonio-12 e liberando un nucleo di elio-4, insieme ad un carbonio-12, che permette di ripetere il ciclo. I Q-valori dei decadimenti β^+ sono stati calcolati tenendo conto della massa del positrone emesso e dell'elettrone in più nel nucleo prodotto, che lo rende negativamente carico. In realtà, quello che si verifica è che questi due reagiscono successivamente annichilandosi nella reazione $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$, quindi l'energia rimossa nel Q-valore viene recuperata.

1.1. Esempio di calcolo di un Q-valore

Per calcolare il Q-valore, si calcola differenza di massa in una tra reagenti e prodotti e si moltiplica il tutto per il fattore di conversione $1 \text{ u.m.a.} = 931.494 \text{ MeV}/c^2$, ottenuto sostituendo in, $E = mc^2$, $m = m(^{12}\text{C})/12$ e facendo uso della conversione $1 \text{ eV} \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Considerando la prima reazione $^{12}\text{C} + ^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{N}$, si ha $m(^{12}\text{C}) \equiv 12$, $m(^1\text{H}) = 1.00782503223$, $m(^{13}\text{N}) = 13.005738609$. Si ha $\Delta m = m(^{12}\text{C}) + m(^1\text{H}) - m(^{13}\text{N})$, quindi il Q-valore è:

$$Q = \Delta m \cdot 931.494 \text{ MeV} \approx 1.95 \text{ MeV}$$

1.2. Caratterizzazione delle reazioni

Nella seguente tabella sono riportate le reazioni e le interazioni che le rendono possibili, comprensive dei tempi caratteristici.

Reazione	Tipo di reazione - interazione	Q-valore (MeV)	Tempo di reazione (s)
$^{12}\text{C} + ^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{N} + \gamma$	Fusione nucleare - forza forte + em	1.95	circa 10^6
$^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$	Decadimento β^+ - forza debole	1.20	circa 800
$^{13}\text{C} + ^1\text{H} \rightarrow ^{14}\text{N} + \gamma$	Fusione nucleare - forza forte + em	7.54	circa 10^6
$^{14}\text{N} + ^1\text{H} \rightarrow ^{15}\text{O} + \gamma$	Fusione nucleare - forza forte + em	7.35	circa 10^6
$^{15}\text{O} \rightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \gamma$	Decadimento β^+ - forza debole	1.73	circa 170
$^{15}\text{N} + ^1\text{H} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^4\text{He}$	Fusione nucleare - forza forte	4.96	circa 10^6