

"Analisi termodinamica delle reazioni di fusione nucleare: il ruolo dell'entropia"

Silvano Tosti

Abstract

La fattibilità delle reazioni nucleari viene stabilita attraverso la valutazione del termine Q_{value} , che esprime l'energia rilasciata dal processo, e della reattività nucleare, un termine legato alla probabilità di reazione. Dal confronto con l'approccio termodinamico, dove la spontaneità di un processo è verificata attraverso la valutazione della variazione della energia libera di Gibbs (ΔG), appare evidente che nello studio delle reazioni nucleari è stato finora trascurato l'esame del termine entropico ($T \Delta S$). Tale assunzione è sempre giustificata per le reazioni di fissione nucleare che, essendo caratterizzate da variazioni di entropia positive ($\Delta S > 0$) e da elevatissimi valori di energia rilasciata ($Q_{\text{value}} \gg 0$, vale a dire $\Delta H \ll 0$), risultano sempre spontanee ($\Delta G < 0$) dal punto di vista termodinamico. Differentemente, nelle reazioni di fusione nucleare caratterizzate da variazioni di entropia negative ($\Delta S < 0$) la variazione della energia libera di Gibbs (ΔG) può risultare positiva rendendo la reazione non spontanea alle altissime temperature utilizzate nelle macchine a confinamento magnetico ($\approx 10^8$ K).

In questo studio viene condotta una analisi termodinamica delle 4 principali reazioni di fusione nucleare che utilizzano il deuterio e che sono attualmente studiate per applicazioni energetiche. Il calcolo della entropia è realizzato attraverso l'utilizzo della equazione di Sackur-Tetrode ed i risultati ottenuti con l'analisi termodinamica sono confrontati con i criteri cinetici basati sulla reattività nucleare.

Classical thermodynamic analysis of fusion nuclear reactions: the role of entropy

Silvano Tosti

Abstract

In classical thermodynamics, the spontaneity of a process is established through the assessment of the change in Gibbs free energy (ΔG). So far, the feasibility of nuclear reactions has been characterized in terms of cross section and Q_{value} while the entropic term ($T \Delta S$) has been neglected. Such an assumption is always justified for fission reactions where the term ΔS is positive. In the case of fusion reactions that operate at very high temperatures and the ΔS is negative, the change in Gibbs free energy may result positive making the reaction non spontaneous.

A classical thermodynamic analysis of D-based reactions of interest for the magnetic-confinement fusion applications has been carried out. The entropy contribution has been evaluated via the Sackur-Tetrode equation while the change in enthalpy has been considered constant and corresponding to the Q_{value} of the fusion reaction. The results of the thermodynamic analysis are compared with the nuclear reactions feasibility criteria relied on the reaction reactivity. The reactions DT and $D^3\text{He}$ show a high degree of spontaneity although the second one presents a lower reactivity. The increase of the temperature could enhance the reactivity of the reaction $D^3\text{He}$ at the cost of decreasing its thermodynamic spontaneity. Both branches of the DD reaction are characterized by a much lower thermodynamic spontaneity than that of the DT and $D^3\text{He}$ reactions. Furthermore, at the temperature of their maximum cross section the DD reactions exhibit a largely positive change in Gibbs free energy and, therefore, are not spontaneous. At the temperature of magnetic-confinement fusion machines (1.5×10^8 K), among the D-based reactions studied the DT one exhibits the highest degrees of spontaneity and reactivity.