

La nucleosintesi

L'origine degli elementi chimici è intimamente legata all'evoluzione delle stelle perché gli elementi vengono sintetizzati mediante le reazioni nucleari che in esse si svolgono

He, H-2 (deuterio, isotopo pesante dell'idrogeno con massa pari a 2) furono sintetizzati durante la fase di espansione iniziale

Teoria della nucleosintesi

Burbidge E.M., Burbidge G.R., Fowler W.A. and Hoyle F., 1957 (Synthesis of the elements in stars, Rev. Mod. Phys., 29, 547-650)

Gamow, G. 1935. Nuclear transformations and the origin of the chemical elements. Ohio J. Sci., 35, 406-413

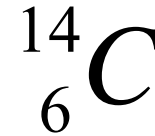
Gamow, G. 1952. The creation of the Universe. Viking Press, New York, 144 pp.

$$A = Z + N$$

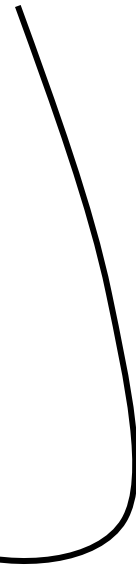
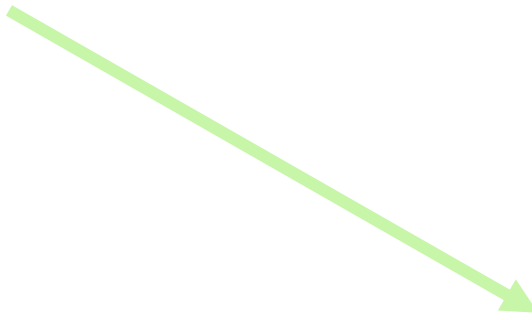
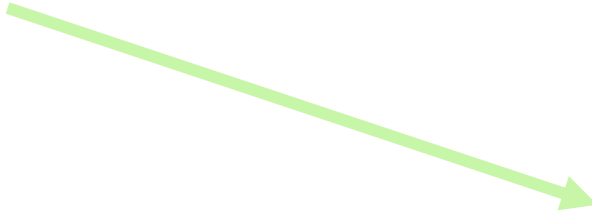
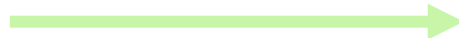
numero di neutroni
(14-6=8)

numero di massa

numero atomico o
di protoni



**come si leggono i
simboli chimici**



The Limits of Beta-Stability

TRUMAN P. KOHMAN

Institute for Nuclear Studies, University of Chicago, Chicago, Illinois

(Received August 6, 1947)

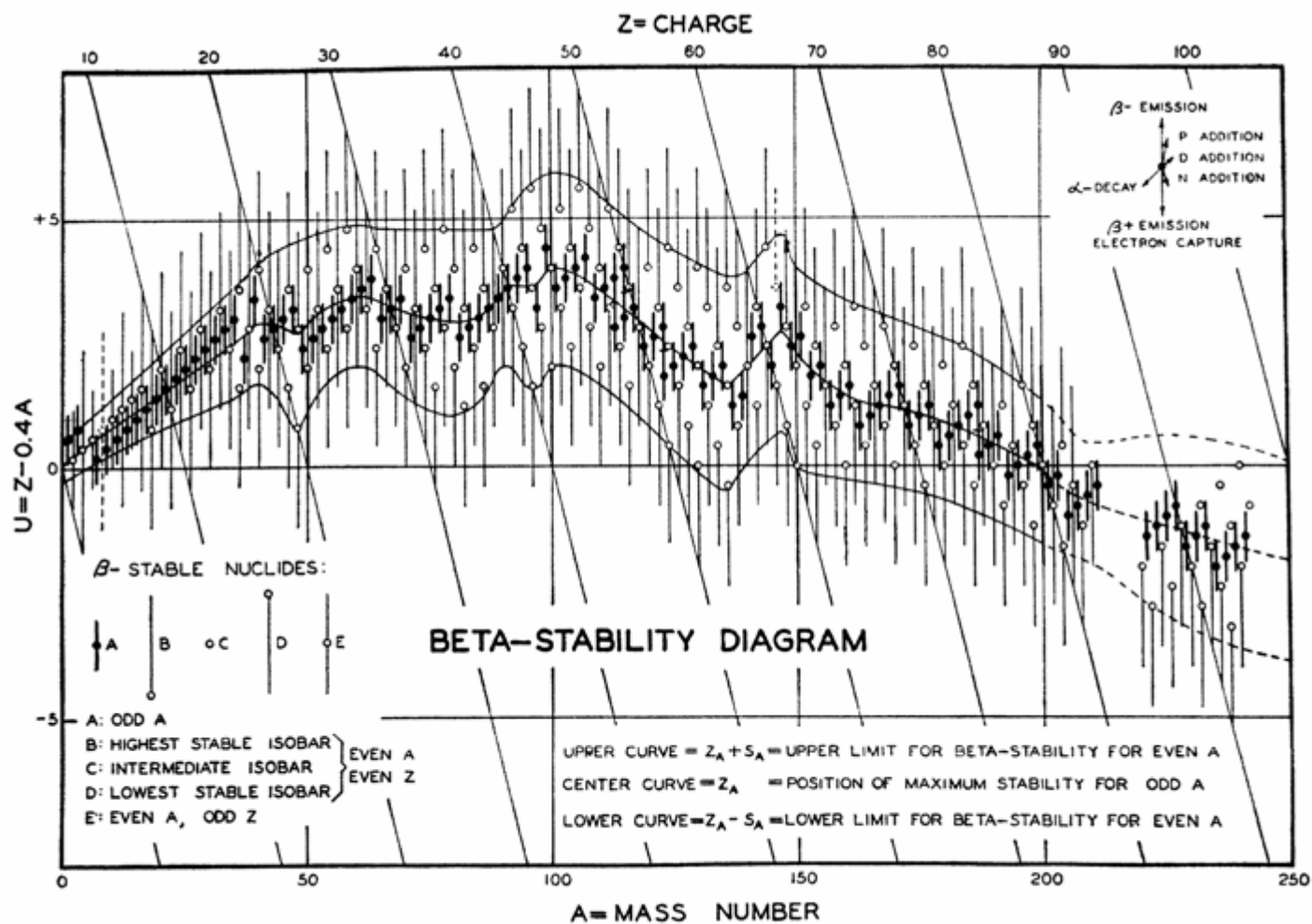


FIG. 1. The limits of beta-stability as determined from the beta-stable nuclides.

La **nucleosintesi stellare** è il termine che collettivamente indica le reazioni nucleari che avvengono all'interno di una stella con l'effetto di produrre i nuclei degli elementi chimici

Sebbene i principali processi di nucleosintesi prendono luogo nelle **stelle** e nelle **supernove** attualmente è noto che alcuni elementi leggeri si sono formati durante il **Big Bang** e solo in minore quantità attraverso interazioni tra raggi cosmici e materia nello spazio interstellare

Nucleosintesi cosmologica

H e **D** , **He** e **Li** furono creati nei primi momenti del Big Bang; si tratta degli ingredienti essenziali del cosmo, materiale di partenza per la costruzione di tutti gli altri elementi. Il rapporto **He/H** in termini di numero di atomi è circa **25%** ed è una costante dell'universo.

Nucleosintesi stellare

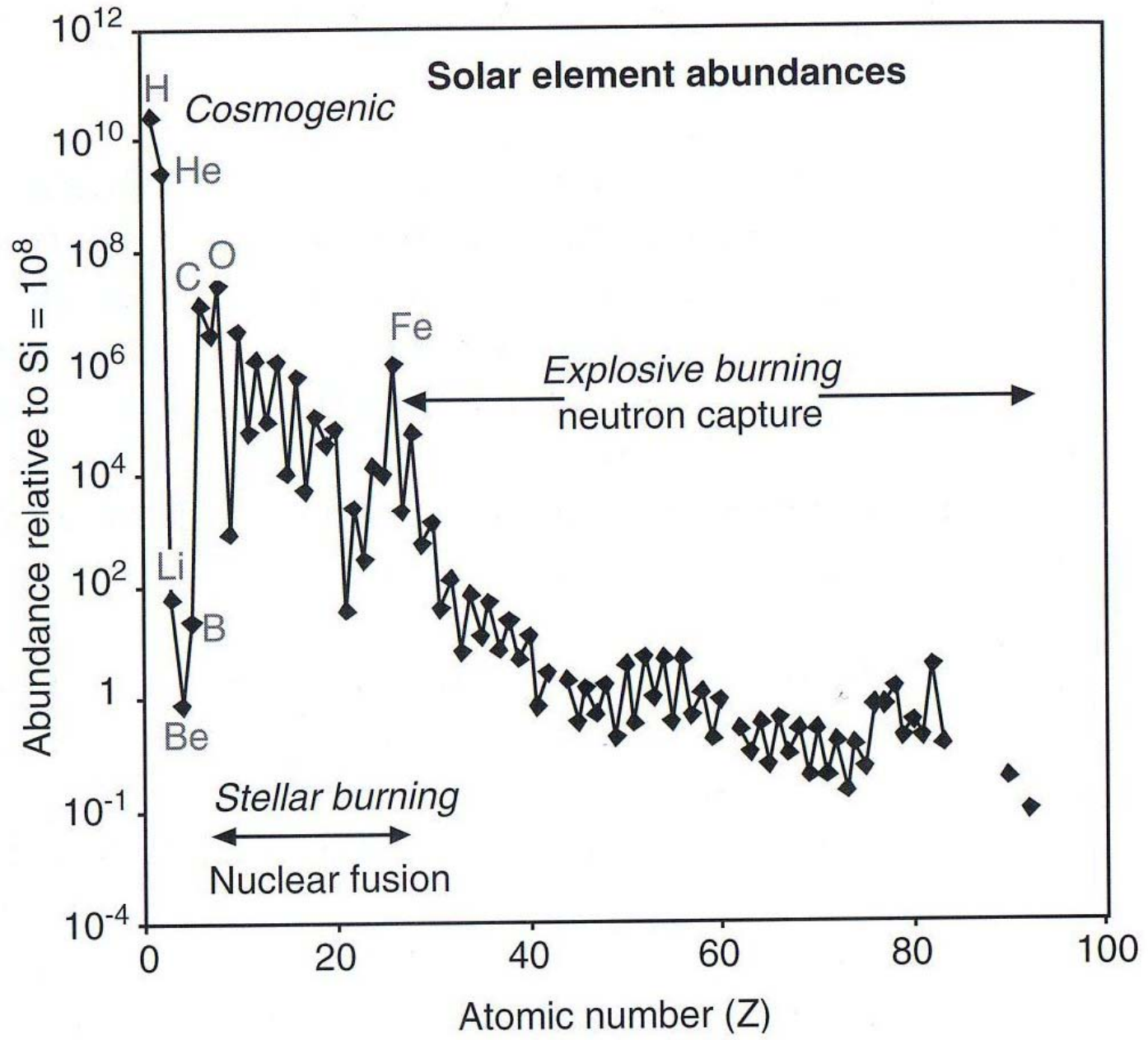
Elementi con masse atomiche inferiori a quelle del ^{56}Fe sono creati nelle stelle attraverso reazioni di tipo diverso che avvengono in differenti intervalli di temperatura

A differenza delle reazioni nucleari che generano elementi con masse atomiche inferiori a quelle del ^{56}Fe , la formazione di elementi con masse maggiori consuma energia

Combustione esplosiva di una supernova

La costruzione di tali elementi avviene per cattura neutronica, cioè l'assorbimento di neutroni da parte dei nuclei atomici; quindi elementi come **Ag**, **Au**, **Pb** possono formarsi solo in un ambiente altamente energetico entro una stella, ambiente che si genera ad esempio quando una supernova esplose (processo di cattura neutronica rapido, formazione di elementi fino a Th e U)

La ragione della **rarietà** degli elementi pesanti è che il processo che conduce alla loro formazione è raro (alta densità neutronica, alta T), solo una stella su un milione di stelle è sufficientemente massiva da costituire una supernova



Modello di nucleosintesi B₂FH (1957)

Include 8 tipi diversi di reazioni nucleari che si possono presentare a specificate temperature nel corso dell'evoluzione di una stella. Alcune di queste possono avvenire contemporaneamente nel nucleo e nei gusci esterni di stelle massive

Tutte le stelle generano energia attraverso reazioni di fusione dell'idrogeno

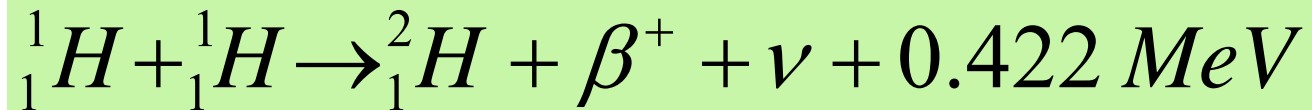
*Sintesi di **He** attraverso una catena diretta protone-protone*

*Sintesi di **He** attraverso il ciclo CNO*

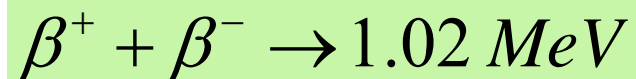
Reazione a catena protone-protone: $T \sim 10 \times 10^6 \text{K}$,

probabilità di verificarsi bassa ma è la sola reazione di energia nucleare per stelle di prima generazione (miscela primordiale di **H** ed **He** dopo il Big Bang)

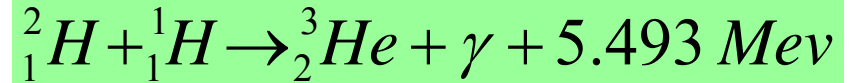
Due nuclei di idrogeno con un protone ciascuno collidono per formare un nucleo di deuterio più un positrone (β^+) ed un neutrino (ν)



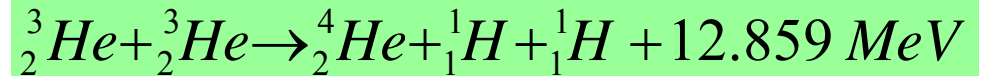
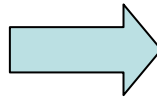
Il positrone (elettrone caricato positivamente) è annichilato per interazione con un elettrone caricato in modo negativo fornendo energia addizionale pari a 1.02 MeV



Il nucleo di deuterio collide con un
protone formando un nucleo di
He-3 più un raggio γ e 5.493 MeV
di energia



Due nuclei di **He-3**
collidono per formare **He-4**,
due protoni e 12.859 MeV
di energia



Il risultato finale è che 4 nuclei di idrogeno fondono per formare un nucleo di **He-4**,
un raggio γ , un neutrino e 19.794 MeV di energia

L'intero processo è descrivibile con una serie di equazioni nelle quali i nuclei di idrogeno ed elio sono rappresentati dai simboli degli isotopi appropriati (tali isotopi non esistono realmente in forma atomica nell'interno delle stelle perché gli elettroni sono rimossi a causa delle alte temperature)