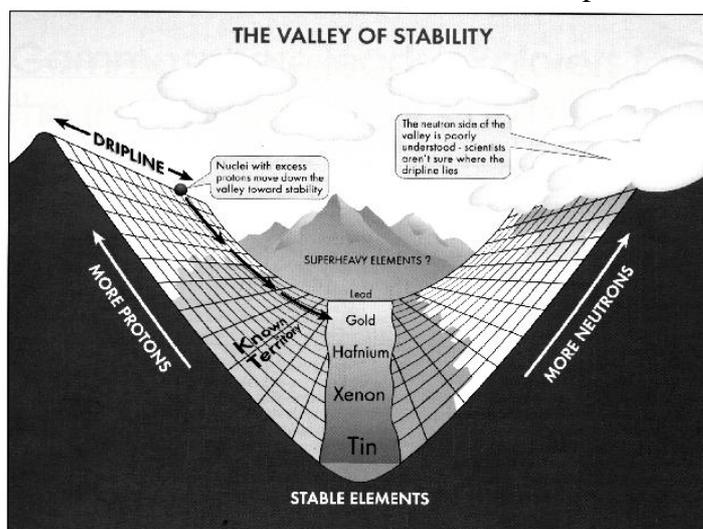


La stabilità dei nuclei atomici (21/10/09)

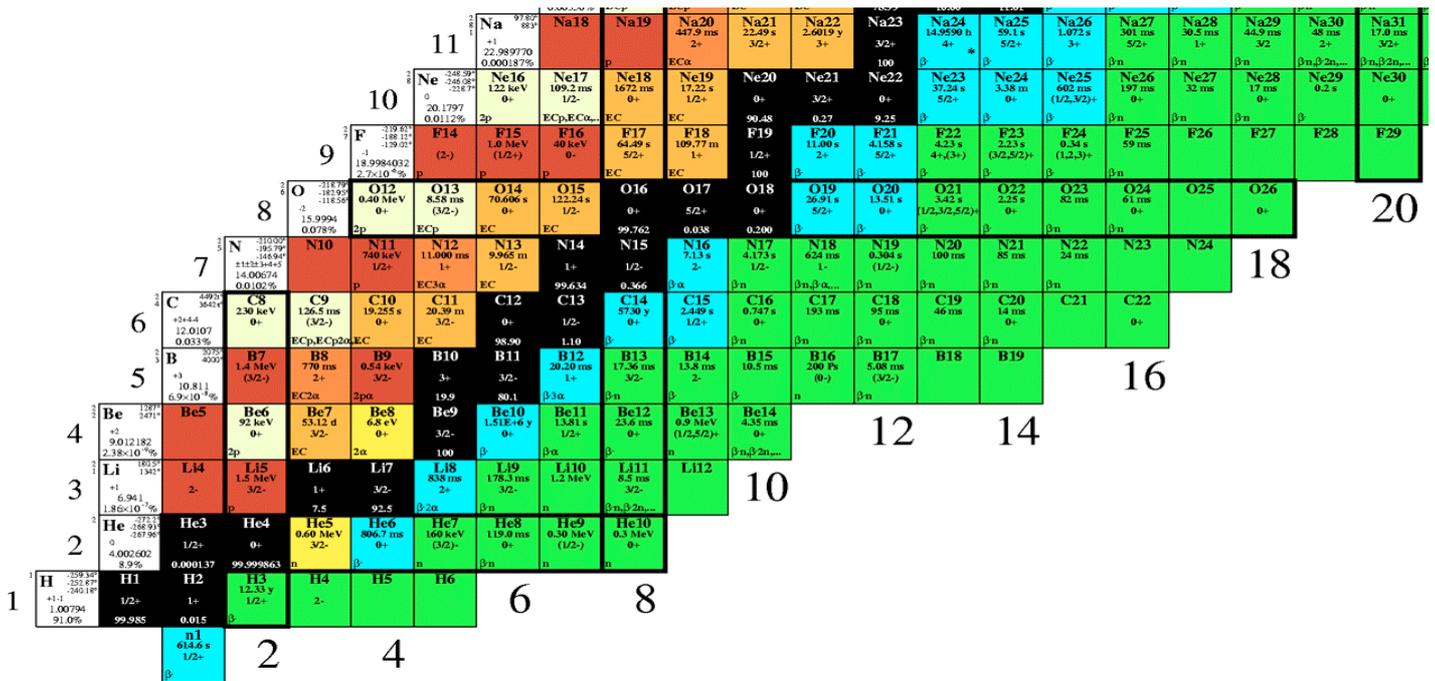
La volta scorsa abbiamo spiegato, almeno in prima approssimazione, in che modo il gioco tra la forza nucleare forte e quella elettromagnetica consenta l'esistenza di nuclei atomici stabili, almeno finché il numero di protoni e neutroni non cresca oltre un certo limite. Per il momento occupiamoci

solo di nuclei abbastanza grandi, ma ancora sicuramente stabili. In fisica nucleare si usa definire la cosiddetta “valle di stabilità”, di cui vediamo uno spaccato, tra lo stagno e l'oro, nella figura accanto. Spieghiamola un po' meglio. I nuclei che hanno più o meno un ugual numero di protoni e neutroni, magari con qualche neutrone in eccesso per servire da collante aggiuntivo, sono quelli che, nella figura, si trovano nel fondovalle, tenendo presente che l'asse verticale rappresenta l'energia: più in alto un nucleo si trova lungo l'asse verticale, maggiore è la sua energia, e dunque la sua tendenza a scendere verso il fondovalle tramutando



protoni in neutroni o viceversa a seconda delle particelle in eccesso, o addirittura scaraventando fuori interi nuclei di elio 4. E qui s'innesta subito un problema di conoscenza scientifica: mentre il bordo della valle dalla parte dei protoni in eccesso è ben conosciuto, perché la forza di repulsione elettrostatica prende il sopravvento su quella nucleare in caso di eccesso di protoni, e dunque questa parte di salita viene definita “territorio conosciuto”, non succede lo stesso dalla parte dei neutroni. Vale a dire: possiamo aggiungere protoni a un nucleo fino a un certo limite, e questi protoni in eccesso decadono in neutroni in tempi brevissimi (per mezzo della cattura di elettroni atomici nell'orbita più interna – nel grafico EC) e, dunque, si avvicinano al fondovalle per successivi decadimenti. Se proviamo ad aggiungere un protone più del massimo consentito, questo viene semplicemente sputato via. Dal lato dei neutroni, invece, non essendoci una forza elettromagnetica ad aiutarci a porre un limite, le cose sono molto più mal definite. Infatti, sappiamo che i neutroni in eccesso in un nucleo tendono a decadere in protoni, avvicinandosi dunque pure loro al fondovalle. Ma fino a quanti neutroni possiamo aggiungere prima che comincino a essere semplicemente buttati fuori? Non lo sappiamo, poiché la volta scorsa abbiamo già visto come un eccesso di neutroni si materializzi in un eccesso di quark “down” che, essendo più pesanti, tenderebbero spontaneamente a decadere in quark “up”, più leggeri (decadimento del neutrone in un protone, più un elettrone e un antineutrino). Ma non è affatto chiaro quanto questa “zuppa di down” possa essere instabile. C'è chi ritiene, sulla base di considerazioni piuttosto solide, che in realtà sia possibile aggiungere neutroni a un nucleo, già abbastanza pesante, senza limiti pratici e che, tutto sommato, sia questo il meccanismo che conduce alla formazione di stelle di neutroni. Quando gli elettroni hanno troppa energia, tendono a “cadere” sui protoni dei nuclei e a trasformarli in neutroni, e si forma rapidamente un “supernucleo” composto solo da neutroni. Dunque, la parte di destra della valle di stabilità nella figura soprastante, è mal definita.

In linea di massima, la valle di stabilità “pratica” è abbastanza stretta, almeno per i nuclei più leggeri, mentre si allarga per i nuclei più pesanti. Comunque, di nuclei veramente stabili ce ne sono pochi, solo nel fondovalle, mentre gli altri possono esistere solo per tempi molto brevi prima di trasformarsi in un altro nucleo. Vediamo cosa succede nella figura nella pagina seguente. Lungo l'asse orizzontale è segnato il numero di neutroni nel nucleo, mentre lungo l'asse verticale c'è il numero di protoni. Questo diagramma, che prende il nome di “Carta dei nuclidi”, si trova appeso alle pareti di qualsiasi laboratorio di fisica (e non chiedetemi perché: forse, essendo realizzato in colori intensi, possiede una certa bellezza).



Questi sono i nuclei con un numero di protoni Z minore o uguale a 11 (Sodio). Quelli in nero sono stabili e rappresentano il fondovalle. Per tutti gli altri, viene indicato il tempo di decadimento, e anche come decade (se emettendo una particella α che è un nucleo di elio 4, oppure un elettrone positivo o negativo β^+ oppure β^- e un raggio γ). E a questo punto dobbiamo fare attenzione.

Supponiamo, infatti, che un protone catturi un elettrone orbitale e diventi un neutrone. Cosa succede del nucleo? Che diventa un elemento chimico diverso. Infatti, le proprietà chimiche di ogni elemento sono fissate dal numero di protoni (ed elettroni) Z ; se sparisce un protone per apparire un neutrone, si passa da Z a $Z-1$. Per esempio, il Fluoro 17, composto da 9 protoni e 8 neutroni, decade in questo modo con un tempo di dimezzamento di soli 64 secondi, e diventa Ossigeno 17, che è stabile. La situazione inversa si verifica se un neutrone decade in un protone; il nucleo passa da Z a $Z+1$. Per esempio, il Fluoro 20, con un tempo di dimezzamento di circa 11 secondi, decade in Neon 20, che è stabile. Dunque, in questo tipo di decadimenti, il numero di nucleoni (protoni più neutroni) rimane costante, ma cambia la specie chimica. Se decade il protone, l'elemento scende uno scalino nella tavola periodica; se decade il neutrone, l'elemento sale uno scalino. Dobbiamo ricordare quest'ultimo concetto perché, come vedremo più avanti, nelle stelle può esserci abbondanza di neutroni, e dunque questi possono legarsi ai nuclei esistenti e, decadendo, formare nuclei sempre più pesanti. Dunque, le reazioni di fusione sono, in media, alimentate da protoni come vedremo meglio la prossima volta, ma i neutroni giocano un ruolo importante nella costruzione di elementi pesanti.

A questo punto, abbiamo le idee abbastanza chiare per imbarcarci nello studio delle reazioni nucleari che avvengono nelle stelle. La prossima volta studieremo il diagramma che mostra l'energia di ogni nucleone al variare del nucleo atomico, poi le primissime reazioni, del deuterio e del litio, e solo in seguito affronteremo la catena protone – protone che, come vedremo, non è banalissima come si tende a far pensare.