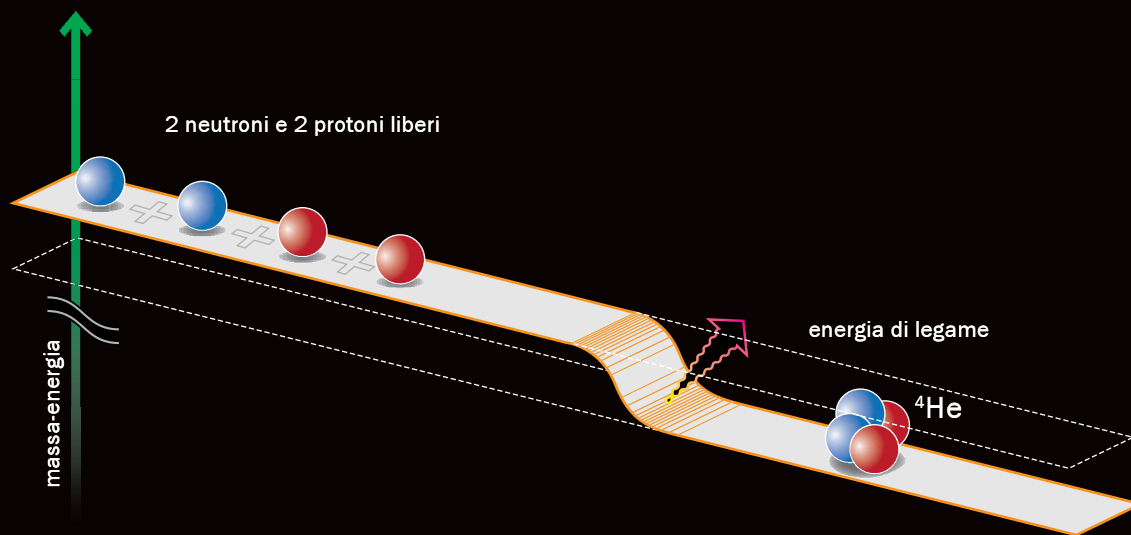


[as]

# La pesantezza dei legami.



a.  
La massa di un nucleo (nella figura, il nucleo di elio) è minore della somma delle masse delle particelle che lo compongono, cioè le masse che avrebbero le singole particelle “libere”, perché bisogna anche tenere conto dell’energia di legame. L’energia di legame del nucleo di elio è pari a circa l’1% della sua massa. I nuclei più legati esistenti in natura sono il  $^{56}\text{Fe}$  e il  $^{62}\text{Ni}$ .

“In una reazione chimica nulla si crea, nulla si distrugge, ma tutto si trasforma”. Così, alla fine del 1700, scriveva l’eclettico scienziato francese Lavoisier, dopo aver misurato la massa totale di ceneri e fumi prodotti da una combustione. Con questa affermazione Lavoisier aveva definito la legge di conservazione della massa di *prodotti e reagenti* di una reazione chimica. Nei secoli successivi, i fisici hanno dimostrato che dietro la sua affermazione c’è però molto di più della conservazione della massa (che oggi sappiamo avere una validità limitata).

La materia che definiamo “ordinaria” è formata da elettroni e dai due quark leggeri, di tipo up e down. Questi due tipi di quark si combinano per formare i protoni e i neutroni. Qual è, allora, la massa dell’atomo più semplice, cioè l’idrogeno, formato da un elettrone e un protone?

Abbiamo visto che il bosone di Higgs dà la massa alle particelle elementari come gli elettroni e i quark, ma il “dono” della massa è ben più complesso.

Se sommiamo la massa dell’elettrone – che vale meno di un millesimo della massa dell’idrogeno – e dei tre quark che costituiscono il protone, otteniamo solo circa un centesimo della massa dell’atomo di idrogeno. La teoria della QCD (vd. p. 25) ci ha infatti dimostrato che la massa del protone è data principalmente dall’energia delle interazioni forti, tra i quark e i gluoni, che lo costituiscono. Così, se alle masse attribuite dal meccanismo di Higgs ai quark e all’elettrone aggiungiamo l’energia della “colla forte” del protone, otteniamo praticamente tutta la massa dell’atomo di idrogeno. Tutta a

meno di qualche miliardesimo di frazione: l’energia che lega l’elettrone al protone. Questa è l’energia che si libera nelle combustioni chimiche, e che Lavoisier non poteva misurare con le sue bilance.

Cosa succede, invece, per gli atomi più complessi?

Poiché gli elettroni hanno massa molto piccola, la massa degli atomi è in buona approssimazione quella dei loro nuclei, formati da protoni e neutroni. Ma, ancora una volta, non basta sommare le masse di protoni e neutroni per ottenere la massa totale del nucleo. La massa di un nucleo è infatti più piccola della somma delle masse delle singole particelle non legate: bisogna infatti considerare la cosiddetta *energia di legame nucleare* (vd. fig. a). Nei nuclei atomici agisce infatti una forza prevalentemente attrattiva tra i nucleoni (protoni e neutroni), residuo della interazione forte dei gluoni. Questa forza ha il sopravvento sulla forza di repulsione coulombiana (elettrostatica) tra i protoni – carichi positivamente – creando un sistema legato. L’energia di legame nucleare vale mediamente poco meno dell’1% della massa totale del nucleo, ma questo è un valore comunque enorme ed è l’energia che si libera nelle stelle durante i processi di fusione che, dall’idrogeno, producono nuclei sempre più pesanti, fino al ferro, che è il nucleo più legato.

Se Lavoisier avesse potuto fare una “combustione” nucleare, si sarebbe accorto che la somma delle masse non si conserva: occorre sempre considerare la conservazione massa-energia! [Giorgio Riccobene]