

La constatazione antropica (28/02/07)

Abbiamo più volte sentito dire che il Modello Standard contiene una ventina di parametri liberi, che piovono un po' dal cielo senza che ci sia nessuna spiegazione del motivo per cui hanno proprio quel valore preciso e non un qualsiasi altro. Senza pretesa di elencarli tutti, vediamone qualcuno.

La velocità della luce è il perno attorno a cui ruota tutto il mondo fisico. Perché la luce viaggia proprio a quella velocità? Che succederebbe se, per esempio, viaggiasse a velocità infinita? A quest'ultima domanda è facile rispondere: se la velocità della luce fosse infinita noi vedremmo (tanto per dirne una) tutto l'universo, e non saremmo limitati dai bordi causali. Ma, qualunque fosse la velocità d'espansione dell'universo, l'effetto Doppler sarebbe nullo, e quindi vedremmo in ogni direzione infinita luce, proprio come affermava il paradosso di Olbers. In pratica, in ogni punto dell'universo la temperatura sarebbe ancora quella del Big Bang; non sarebbe comodo per viverci, ed è difficile pensare allo sviluppo di una vita intelligente in queste condizioni. Ma se la velocità della luce fosse stata finita, e però avesse avuto un valore diverso, forse sarebbe potuto esistere comunque un universo di tipo "antropico", e cioè adatto all'esistenza di una vita che richiede tempi lunghi per evolvere.

La costante di Planck: perché ha proprio quel valore? Oppure la costante di gravitazione universale? O la carica elettrica dell'elettrone (se preferite, quella di un quark)? O la sua massa? E il rapporto di massa tra elettrone e protone? La costante che regola la forza elettrica? Quelle nucleari debole e forte, e così via? Stiamo vedendo alcuni dei parametri che rendono la vita difficile al Modello Standard; una Teoria del Tutto pretenderebbe di ricavare il loro valore numerici in base a principi generali, ma siamo molto lontani.

Attorno al 1950, Dirac, lavorando solo su c , h e G , aveva ipotizzato che esistesse una relazione tra queste grandezze e l'espansione dell'universo. Risultò poi che aveva torto, ma intanto una generazione di fisici si era messa in moto per calcolare possibili relazioni tra le principali quantità fisiche del Modello Standard e la struttura dell'universo. Se uno come Dirac suggerisce qualcosa...

In questo modo, emerse la strana constatazione secondo la quale, almeno in linea generale, i valori di una manciata di quantità fisiche del Modello Standard (ma anche altre cose, come per esempio il numero delle dimensioni "distese", eccetera), non sarebbero potuti essere molto diversi, altrimenti il funzionamento di quella macchina molto complessa e "coordinata" che si chiama universo si sarebbe presentato molto differente. Cercheremo di capire questo concetto utilizzando l'esempio della forza nucleare forte.

I quark, come sappiamo, si attirano a gruppi di tre formando protoni e neutroni. Ovviamente, questa loro tendenza è regolata da una "costante di accoppiamento" che gioca un ruolo analogo a quello della costante di gravitazione universale per la forza di gravità. Vale a dire che, per calcolare il valore della forza di colore, non basta il prodotto delle cariche diviso per il quadrato della distanza, ma bisogna moltiplicare per un ulteriore numero, che tiene conto di quanto sia "forte" la forza di colore in sé; di quanto la natura abbia deciso di girare la sua manopola.

Per prima cosa, diciamo che costante a_c che regola la forza di colore è intrinsecamente un centinaio di volte più intensa di quella elettrica, anche se abbiamo capito che il suo andamento con la distanza è un po' complicato. Chiediamoci ora: "Come sarebbe l'universo se a_c fosse minore del 10% circa? Resterebbe comunque molto più grande di quella elettrica, no?"

A conti fatti, risulta che basterebbe una differenza così piccola perché, all'interno del nucleo di deuterio, la forza elettrica repulsiva tra i vari quark superasse quella attrattiva di colore. Dunque, i nuclei di deuterio non potrebbero esistere.

Non si tratta di un dettaglio banale, perché le reazioni nucleari che permettono alle stelle di brillare per miliardi di anni, e soprattutto la formazione di nuclei di elementi più pesanti, passano attraverso il nucleo di deuterio. Niente deuterio, niente luce solare, niente carbonio e così via. Un universo non adatto alla vita; non "antropico".

E se a_c fosse del 10% maggiore? Sarebbe stabile l'isotopo ${}^2\text{He}$. Vuol dire che, nei primi tre minuti dopo il Big Bang, ogni collisione tra due protoni avrebbe generato elio, e tutti gli elementi

successivi. Ora, esisterebbero solo elementi pesanti, che non possono fondere nuclearmente, e le stelle sarebbero anche in questo caso ammassi di materia freddi; niente energia, niente carbonio, di nuovo un universo non adatto alla vita.

Ma ci sono limiti più stretti al valore di a_c . Come viene sintetizzato nuclearmente il carbonio, che è l'elemento base per la vita? Durante il bruciamento di elio al centro delle stelle, tre nuclei di ${}^4\text{He}$ si uniscono formando un nucleo di ${}^{12}\text{C}$. Ma, immediatamente dopo, segue la reazione per cui il carbonio agguanta un altro nucleo di elio e si trasforma in ossigeno. Dunque, il carbonio è un elemento raro nell'universo. Se, infatti, guardiamo la composizione chimica di un pianeta di tipo terrestre, l'ossigeno è un buon 20%, mentre il carbonio è solo una parte su diecimila.

Analizzando in dettaglio le reazioni nucleari, e addirittura la struttura interna dei nuclei di carbonio e ossigeno, Hoyle si accorse per primo che, per un gioco di "vibrazioni" interne che conducevano a una "risonanza", il nucleo di carbonio riesce a non fondere immediatamente in ossigeno, e resta dunque un piccolo spazio per l'esistenza del carbonio. Ma le risonanze sono situazioni fisiche molto delicate, e basta un nulla per farle sparire. Così, se a_c fosse differente da quel che è per meno dell'1%, la risonanza del carbonio sparirebbe e il carbonio non esisterebbe affatto, poiché sarebbe solo un brevissimo passaggio tra l'elio e l'ossigeno. Niente carbonio, e niente vita.

È possibile ripetere discorsi analoghi per altre costanti di natura? Sì. Per la forza elettrica, il valore della costante di accoppiamento non potrebbe essere diverso di più del 10%, altrimenti non si formerebbero composti chimici. Non so se qualcuno abbia provato a fare i conti su molecole complesse come quelle necessarie alla vita; con ogni probabilità il valore di a_{el} è fissato entro limiti strettissimi dalla necessità di avere molecole sul tipo del DNA.

Cosa significa tutto questo? Non lo so. Qualcuno ne ricava idee strane sulla possibilità che sia proprio l'esistenza degli esseri umani a determinare il valore delle costanti del Modello Standard; a me non sembra serio ragionare in questo modo.