

DALLE STELLE ALLE STELLE (1)

L'articolo è diviso in tre parti, relative all'intera evoluzione di una stella: nascita, vita ed evoluzione, invecchiamento e morte.

All'inizio fu un numero elevatissimo di particelle che si annichilavano con le rispettive antiparticelle, fino a quando, per qualche ragione che non sappiamo, la materia prevalse sull'antimateria. Questo era lo scenario che si presentava ad un osservatore pochi minuti dopo l'inizio dell'universo, ossia all'inizio di quello che oggi noi chiamiamo lo spazio e il tempo.

Dopo 300.000 anni la materia iniziò a organizzarsi in atomi e contemporaneamente la luce, grazie alla densità che si era abbassata a sufficienza, riuscì a non essere subito catturata dalla materia, e i fotoni iniziarono a diffondersi nell'universo. Dopo un milione di anni dal "botto", gli atomi che si erano formati si addensarono in nubi di idrogeno ed elio: da queste concentrazioni sono nate le stelle, i pianeti e... noi. Infatti è proprio dalle stelle che derivano gli elementi che ci compongono, perché solo all'interno di esse si formano gli elementi pesanti come il carbonio e l'ossigeno; quindi è opportuno considerare più in dettaglio la nascita, la vita e la morte di questi oggetti che ci danno la possibilità di vivere grazie all'energia "prodotta" (in realtà le stelle producono una grande quantità di radiazione, utilizzando, e non producendo energia, in accordo col secondo principio della termodinamica) dalla stella a noi più vicina, ossia il Sole, e di sognare osservando lo spettacolo del cielo stellato in una notte serena.

Nascita

Lo spazio, sebbene sembri pieno di stelle è per lo più vuoto; infatti esse sono a distanze grandissime, e la visione di un cielo "pieno" di stelle è soltanto un effetto ottico dato dal fatto che non riusciamo a vedere con i nostri occhi la struttura tridimensionale dello spazio, causa le distanze elevate. Questa affermazione non è però del tutto esatta, infatti è stato scoperto, osservando gli spettri di stelle doppie, che lo spazio interstellare contiene in realtà un'enorme quantità di gas (idrogeno ed elio derivati dal Big Bang) e di polveri (resti di stelle morte), organizzati in nubi discrete, in lenta rotazione (osservata grazie allo sdoppiamento degli spettri) più o meno grandi e dense, con aspetti di nuvole, globuli (globuli di Bok), o di enormi bolle.

Le cause di questa disomogeneità sono molteplici: anomalie gravitative, onde d'urto provocate da esplosioni, onde gravitazionali e, nel caso dei primordi dell'universo, quando la distribuzione era omogenea, si pensa a fluttuazioni quantistiche che avrebbero prodotto delle disomogeneità, amplificate come negli altri casi dalla forza di gravità. Allo stato attuale delle cose, le onde d'urto e le anomalie gravitative sono le principali cause dell'inizio del processo di contrazione gravitazionale.

Cosa succede una volta che il processo è stato avviato? La nube comincia a contrarsi, e la rotazione da lenta si fa via via più veloce, per la legge di conservazione del momento angolare. Se il momento non si trasferisse in qualche modo all'esterno le stelle non potrebbero nascere, vista la forza centrifuga alla quale il mezzo interstellare sarebbe sottoposto; per fortuna questo non accade, grazie a vari fattori che trasformano il momento o lo trasferiscono all'esterno.

Cerchiamo di essere più chiari: gli agglomerati, grazie a vari ioni sono attraversati da campi magnetici che si oppongono all'accelerazione delle zone più interne, che tende a farle ruotare più velocemente, avendo come effetto di "spostare" il momento verso le zone più periferiche della nube, rallentando di conseguenza la velocità angolare al centro. In altre occasioni, invece, il nucleo in rapida rotazione, invece di "stirarsi" e dissolversi, come dovrebbe succedere se esso fosse completamente omogeneo, grazie a delle differenze di densità si frantuma, dando origine a più nuclei in rotazione e rivoluzione intorno al centro di massa: in questo modo parte del momento angolare che prima generava una rotazione, ora genera una rivoluzione. Questa ipotesi, suffragata da simulazioni al computer, ha il non indifferente vantaggio di spiegare la grande quantità di sistemi di stelle binarie o di sistemi multipli legati gravitazionalmente.

In questo modo, il centro della nube può continuare a collassare, fino a formare una cosiddetta *protostella*, che continua ad aumentare la propria densità. Dalla legge dei gas sappiamo che aumentando la densità di un gas, se ne aumenta la pressione e di conseguenza la temperatura. L'aumento della temperatura rispetto all'ambiente esterno fa sì che la protostella irraggi energia, in base al secondo principio della termodinamica (se il Sole irraggiasse energia in questo modo, la sua vita sarebbe di 100 milioni di anni, contro i dieci miliardi reali, dei quali 5 già trascorsi).

La legge dei gas stabilisce però che l'innalzarsi della temperatura provochi l'aumento della pressione, che a sua volta contrasta la compressione operata dalla forza di gravità: la protostella si sta muovendo in direzione del punto di equilibrio tra le due forze.

Simultaneamente i gas e le polveri più esterni, obbligati sempre dalla conservazione del momento, si organizzano in un disco rotante che convoglia la materia in accrescimento verso la protostella lungo una traiettoria a spirale. Intanto la temperatura all'interno del nucleo protostellare continua a salire, fino ad arrivare alla temperatura di 10^6 K, alla quale il deuterio comincia a fondere in elio, producendo fotoni che cedono energia agli altri atomi, aumentandone quindi la energia cinetica e la temperatura: come conseguenza la pressione sale tanto da far dilatare la stella fino al punto in cui le due forze non si trovano in perfetto equilibrio.

Per capire il processo di fusione nucleare bisogna ricorrere alla fisica quantistica: infatti, queste reazioni infatti non potrebbero avvenire senza il cosiddetto "effetto tunnel". Quando si dice che il deuterio fonde in elio, significa che due atomi di deuterio (un elettrone, un protone e un neutrone ciascuno) si uniscono a formarne uno di elio (due elettroni, due protoni e due neutroni); perché questo accada c'è bisogno che l'interazione forte prevalga su quella debole, il che avviene ad una distanza di circa 10^{-13} cm, il che non accadrebbe neanche nel caso che le particelle si scontrassero ad una velocità relativa di 20.000 km/s, cosa che già coinvolgerebbe una piccola frazione di particelle di un gas alla temperatura di 4×10^7 K, cioè 40 volte superiore alla temperatura effettiva nel nucleo della nostra protostella.

La meccanica quantistica, e più specificatamente il principio di indeterminazione di Heisenberg (quanto più precisamente si conosce la velocità di una particella, tanto più grande è l'indeterminazione della sua posizione), ci vengono in aiuto: infatti ogni particella che si muove (che possiede una quantità di moto), si comporta per certi aspetti come un'onda, e sebbene ci siano più probabilità che la particella si trovi in un intervallo piuttosto piccolo dell'onda, essa potrebbe essere in realtà in qualsiasi punto: in parole povere potrebbe essere qui o un po' più in là. In questo modo può capitare che le particelle riescano a superare la barriera di repulsione elettrostatica e quindi unirsi grazie all'interazione forte. Così avvengono le reazioni di fusione nucleare, e il deuterio non sfugge alla regole; se noi guardiamo la quantità di particelle iniziale e quella finale ci accorgiamo che in realtà esse sono uguali: 2 protoni, 2 neutroni, 2 elettroni che sono sempre allo stesso livello energetico, e quindi non hanno emesso fotoni: ma allora come produce energia la fusione nucleare? La risposta è tanto semplice quanto assurda: sebbene formati dalle stesse particelle, un atomo di elio pesa meno di due di deuterio, ovvero i nucleoni (le particelle che compongono il nucleo di un atomo) all'interno di un atomo pesano di meno che isolati; il deficit di massa per ciascun nucleone, dato che $E=mc^2$, è detto *energia di legame per nucleone*. Nel caso della fusione del deuterio essa viene irradiata come fotone (raggio γ).

Ritorniamo adesso alla nostra stella neonata: il corpo adesso è completamente convettivo, ossia esistono dei moti convettivi di materiale che pervadono tutta la stella, e grazie ad essi il deuterio che arriva sulla superficie del corpo viene trasportato nel nucleo, dove fonde. Dopo qualche tempo, per ragioni sconosciute, la protostella emette un intenso vento stellare, che ne ripulisce i dintorni e simultaneamente pone fine alla caduta di materia, e quindi al rifornimento di deuterio. Contemporaneamente non tutta la materia che precipita viene inglobata: parte di essa viene espulsa lungo la direzione dell'asse di rotazione, sotto forma di getti altamente collimati. Ora la stella è rilevabile direttamente dagli strumenti degli astronomi, e classificata come stella del tipo *T Tauri*. Le fusioni nucleari si sono però fermate, e questo porta alla ripresa dell'azione della forza di gravità, che come effetto ha quello di aumentare la compressione e la temperatura del materiale stellare.

Quando la temperatura, nel nucleo della stella raggiunge la temperatura di $1,5 \times 10^7$ K, si innescano le reazioni di fusione dell'idrogeno, e la stella T Tauri diventa finalmente una nana ordinaria, iniziando la sua "età adulta", dopo una infanzia di alcune decine di milioni di anni [*fine della 1a parte*].

Settembre 1998

Alfonso Mantero

DA UN VECCHIO AMICO

Astronomia in Liguria ha avuto qualche eco da nuovi e vecchi amici. Da Mario Quadrelli (Lavagna) abbiamo ricevuto una bella lettera, allietata da una graziosa silografia. Mario minimizza il suo contributo alla divulgazione dell'astronomia:

una briciola nell'immensità dello scibile umano, ma poiché il mare è costituito da gocce d'acqua, anche una sola goccia è sempre utile all'insieme.

Speriamo che tanti astrofili seguano il suo esempio.

