

## Storia di una nube primordiale (26/03/08)

Le prime nubi di gas formatesi dopo il Big Bang, e che escono dalla nucleosintesi primordiale, possono essere composte di soli idrogeno (ionizzato, neutro o molecolare) ed elio. Per capire come si sono formate le nubi che vediamo oggi nella galassia, piene di altri elementi chimici, molecole e polveri, dobbiamo seguire concettualmente l'evoluzione di una nube primordiale. Dunque, stavolta parleremo essenzialmente di teoria e poco di osservazioni.

La temperatura della radiazione cosmica scende esponenzialmente via via che passa il tempo. All'epoca della ricombinazione (380.000 anni) era circa 5000 °K, oggi è solo 3 °K. Poniamoci in un'epoca piuttosto antica, mezzo miliardo di anni dopo il Big Bang. A quell'epoca, la temperatura della radiazione di fondo era diverse decine di °K e, ovviamente, non poteva esistere nessun oggetto con una temperatura inferiore. Dunque, anche la temperatura delle nubi di gas era maggiore o uguale a diverse decine di °K. Questo è un parametro su cui ragionare.

Quando parliamo di temperatura, stiamo parlando implicitamente dell'energia cinetica media delle molecole che compongono un corpo. E l'energia cinetica, a sua volta, è correlata alla velocità di agitazione termica delle molecole stesse. Dunque, maggiore è la temperatura, maggiore la velocità delle molecole. Questo vale anche per una nube di gas. Ora, le nubi nello spazio non sono contenute da pareti di nessun genere, e le particelle di cui sono costituite posso viaggiare liberamente in ogni direzione. Ci si può quindi chiedere perché, a causa delle velocità termiche, una nube di gas non si dissipi al passare del tempo. La risposta è che, almeno in parte, ciò avviene, ma la forza di gravità esercitata dalla massa della nube stessa tende a contrastare un po' la dispersione della nube. Proviamo ad applicare a una sfera di gas il concetto di "velocità di fuga". Se la massa della sfera è  $M$  e il raggio  $R$ , si ha:

$$V_f = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Una prima cosa che salta all'occhio, è che la velocità di fuga sarà tanto maggiore quanto più sarà alta la densità della nube (maggiore  $M$  e minore  $R$ ). Comunque, affinché la nube non si disperda, ma anzi cominci a condensarsi in una stella, è necessario che la velocità media delle sue molecole sia inferiore alla velocità di fuga. La velocità media di agitazione termica è:

$$V_t = \sqrt{\frac{3KT}{m}}$$

Dove  $m$  è la massa delle particelle (atomi o molecole) della nube. Dunque, come era intuitivo a priori, una nube più densa e più fredda tende a condensarsi sotto l'azione della propria gravità più facilmente di una nube più calda e rarefatta. Però, queste due formule ci permettono comunque di notare un'altra caratteristica qualitativa importante. Se la nube è molto calda, e cioè la sua temperatura elevata, anche la velocità termica sarà elevata. Affinché la velocità di fuga sia maggiore di quella termica, in media occorrerà una massa della nube piuttosto elevata affinché questa possa condensarsi. Al contrario, via via che la temperatura della nube diminuisce, anche la velocità termica diminuisce, e quindi potranno condensarsi nubi di massa sempre più piccola. Se, per semplificare il problema, supponiamo che la densità delle nubi sia costante al passare del tempo, le due equazioni di cui sopra conducono a una relazione tra la massa minima della stella che si può formare e la temperatura delle nubi:

$$M \propto T^{3/2}$$

A conti fatti, nei primi tempi dopo il Big Bang, con temperature dell'ordine di 100 °K, la massa della nube necessaria a cadere su sé stessa e formare una stella, era di un migliaio di volte maggiore rispetto a oggi, perché con temperature di pochi °K, si possono formare stelle meno massicce del sole.

Ovviamente, anche la densità della nube entra nel conto, e dunque si tratta solo di conclusioni qualitative; la turbolenza dovuta alla rotazione della nube può infatti creare situazioni in cui si formano vortici ad alta densità, e quei vortici possono risultare gravitazionalmente legati anche se la loro temperatura è piuttosto alta. In ogni caso, c'è una tendenza a formare stelle tanto più grandi quanto maggiore è la temperatura della nube.

In base a queste considerazioni, ma anche grazie a osservazioni del satellite WMAP sulla ionizzazione della materia nell'universo in epoche molto remote, si è giunti a determinare che le prime stelle si sono formate circa 400 milioni di anni dopo il Big Bang, e che la loro massa era per l'appunto centinaia di volte maggiore di quella solare. In particolare, sebbene la sequenza non sia affatto chiara (a quel tempo, i neutrini e la materia oscura potevano ancora, con la loro gravità, influenzare direttamente la formazione di stelle), sembra accertato che la prima generazione di stelle di grandissima massa si sia prodotta ben prima della formazione delle prime galassie.

Queste stelle formate solo d'idrogeno ed elio hanno avuto un'evoluzione chimica un po' diversa da quella delle stelle che vediamo oggi attorno a noi, comprese quelle più recenti di grande massa. Per esempio, erano così calde al centro che mentre l'idrogeno si trasformava in elio, lo stesso elio già poteva bruciare un po' e trasformarsi in carbonio. Ma in ogni caso hanno sintetizzato grosse quantità di carbonio, ossigeno e ferro, e sono esplose come supernove in brevissimo tempo riversando nello spazio grandi quantità di elementi pesanti, e lasciando probabilmente dei buchi neri che hanno avuto un ruolo nella formazione delle prime galassie. Comunque sia, già all'atto della loro formazione, le galassie erano inquinate da elementi più pesanti dell'idrogeno e dell'elio, e quindi anche le prime nubi interstellari galattiche contenevano carbonio, ossigeno, azoto e altro. Anche se questi ultimi elementi erano presenti solo in tracce minime, essi hanno avuto un'influenza enorme nel determinare la vita delle nubi interstellari e la formazione delle successive generazioni di stelle nelle galassie, come vedremo la prossima volta.