

Universo

Introduzione

Volete avere una galassia pronta da servire?

Ecco la ricetta che fa per voi!

Prendete almeno 100 miliardi di stelle e del gas interstellare a piacere. Aggiungete polvere interstellare e materia oscura quanto basta. Cuocete il composto a una temperatura di 10^{32} K e non dimenticate l'ingrediente fondamentale: la gravità! Lasciate raffreddare il tutto per almeno un miliardo di anni e ... voilà! Avrete una galassia pronta da servire!

Le galassie

Cosa sono le galassie

Siete stati invitati a una cena astronomica e non vi volete presentare a mani vuote? Ecco la ricetta che fa per voi!

Prendete almeno 100 miliardi di stelle e del gas interstellare a piacere. Aggiungete polvere interstellare e materia oscura quanto basta. Cuocete il composto a una temperatura di 10^{32} K e non dimenticate l'ingrediente fondamentale: la gravità! Lasciate raffreddare il tutto per almeno un miliardo di anni e ... voilà! Avrete una galassia pronta da servire!

Sembra facile produrre una galassia, ma in realtà fino a poco tempo fa non si sapeva neanche che cosa fosse. In passato gli strumenti di osservazione non erano potenti come quelli di oggi, le galassie apparivano come piccole regioni, presenti in tutte le direzioni sulla volta celeste e caratterizzate da una luminosità nebulosa, chiamate appunto **nebulose**. Fino ai primi anni '20 del secolo scorso si pensava che queste nebulose fossero oggetti appartenenti alla nostra galassia, della quale ancora non si conoscevano esattamente le dimensioni. Ma nel 1924 l'astronomo **Edwin Hubble**, utilizzando uno dei telescopi più potenti dell'epoca, riuscì a distinguere alcune regioni della nebulosa di Andromeda, confermando che si trattava di una galassia vera e propria, esterna alla nostra. Già intorno al 1929 Hubble aveva scoperto ben 18 galassie, ognuna delle quali contenente miliardi di stelle. Ma le galassie sono tutte uguali?

Morfologia delle galassie

Esistono vari tipi di galassie che differiscono per esempio per forma, dimensioni, luminosità, massa, contenuto stellare e per la distribuzione delle emissioni di energia nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico.

La classificazione principale, chiamata **Sequenza di Hubble**, si basa sulla forma e divide le galassie in **ellittiche**, **spirali** e **irregolari**.

Galassie Ellittiche

Si presentano come sistemi regolari, grosso modo di forma sferica, poveri di polvere e gas interstellare e caratterizzati da un nucleo molto intenso, la cui luminosità superficiale diminuisce dal centro verso la periferia. La struttura può variare dalla forma circolare, indicata con E0, a quella estremamente schiacciata, denominata E7. Le galassie ellittiche sono costituite prevalentemente da stelle rosse (o di Popolazione II) che, secondo la teoria dell'evoluzione stellare, sono di antica formazione. Le stelle, infatti, cambiano colore via via che invecchiano, in particolare all'inizio della loro vita hanno un colore blu e diventano sempre più giallo-rosse con il passare del tempo.

Galassie a spirale

Si presentano come sistemi ricchi di polveri e gas interstellare, costituiti da un rigonfiamento centrale detto bulge circondato da un disco, da cui si dipartono dei filamenti luminosi a spirale detti bracci, sede di intensa formazione stellare.

Le galassie a spirale si possono dividere ulteriormente in due classi: normali (S) caratterizzate dalla presenza di un nucleo centrale quasi perfettamente sferico e dei bracci a spirale, e spirali barrate (SB) che si distinguono dalle precedenti per la presenza di una struttura centrale che attraversa il nucleo, detta appunto barra.

Galassie irregolari

Si presentano come sistemi ricchi di gas e polveri interstellari, generalmente di massa inferiore a quelle delle galassie a

spirale ed ellittiche. Vengono definite irregolari poiché la loro forma non presenta alcun tipo di simmetria. Ospitano tipicamente stelle giovani o di popolazione I.

Il giardino di casa: la Via Lattea

Di notte, alzando gli occhi al cielo, è possibile vedere una striscia bianco latte che attraversa la volta celeste. Latte è proprio il materiale di cui sembra composta, tanto che gli antichi greci le diedero il nome di **Galaxia**, che in greco significa appunto "fatto di latte".

La Galassia o Via Lattea è una grande galassia a spirale barrata con i bracci che si avvolgono attorno al **bulge**, un rigonfiamento centrale dello spessore di circa 16000 anni luce.

Esso si trova al centro di un disco che, a sua volta, contiene i bracci a spirale, filamenti di gas e stelle che si snodano a partire dal centro del disco e vi si avvolgono intorno. Il disco è circondato da un alone quasi sferico che si estende fino ad un diametro di 150.000 anni luce e che ospita 200 ammassi globulari, raggruppamenti sferici delle dimensioni di poche centinaia di anni luce, che possono contenere fino a un milione di stelle.

Nella nostra galassia sono stati individuati tre bracci: quello di Orione in cui si trova il nostro Sole (a una distanza di circa 28.000 anni luce dal centro), quello del Perseo e del Sagittario.

Al centro del bulge c'è il nucleo, composto da stelle ed ammassi stellari la cui nascita sembra risalire al periodo di formazione della stessa galassia.

Il disco è formato in larga parte da nubi di polvere, gas interstellari e stelle luminose di colore bluastro, di recente formazione che si distribuiscono, a partire dal nucleo, lungo una traiettoria a spirale.

La nostra galassia non è ferma nell'Universo: i suoi bracci di spirale, infatti, orbitano attorno al nucleo con velocità differenti l'uno dall'altro. Tutte le stelle vengono trascinate da questo movimento, così come il Sole con il Sistema solare, lungo una traiettoria ellittica attorno al centro galattico con un periodo che viene stimato in 250 milioni di anni e con una velocità di circa 250 km/sec.

La nascita delle galassie

Big Bang e nascita delle galassie

Se l'universo si sta espandendo, è naturale pensare che, se potessimo riavvolgere alla stessa velocità il nastro dell'espansione tutta la materia che compone l'Universo tornerebbe a formare l'agglomerato originario, densissimo e molto caldo. Questo esperimento di pensiero ha condotto negli anni '40 il fisico *G. Gamow* a elaborare la **teoria del Big Bang o modello standard**, secondo la quale circa 15-20 miliardi di anni fa l'Universo si trovava in uno stato di densità e temperatura elevatissima, concentrato in uno spazio infinitesimo.

A un tempo infinitesimo iniziò a espandersi a enorme velocità diminuendo temperatura e densità, fino ad assumere le dimensioni e l'aspetto odierno. Tale modello consente di spiegare diverse osservazioni, tra le quali: l'abbondanza presente nell'Universo di nuclei atomici più leggeri (idrogeno, elio, deuterio e litio) e l'esistenza di una radiazione cosmica di fondo. Cerchiamo di esaminare l'evoluzione dell'Universo dividendola in fasi, in modo da rendere più facile la comprensione del fenomeno.

Fase 1

È la fase che va dall'istante $t=0$ all'istante $t=5,39 \times 10^{-44}$ (noto anche come **tempo di Planck**). In questa fase le quattro interazioni della fisica: nucleare forte e debole, elettromagnetica e gravitazionale erano probabilmente unificate. A questo istante la temperatura era elevatissima ($T=10^{32}$ K) e l'Universo una singolarità matematica.

Fase 2

L'interazione gravitazionale si **separa** dalle altre tre interazioni fondamentali che rimangono ancora unificate secondo l'**Teoria della Grande Unificazione** (GUT).

In questa fase l'Universo è pervaso da radiazione in mutua interazione, ossia in equilibrio termico, con elettroni e neutrini.

Fase 3

Mano a mano che la temperatura scende ($T=10^{27}$ K), si ha il processo di **bariogenesi**, che determina il prevalere della materia sull'antimateria; l'Universo è costituito da **quark, leptoni** e corrispondenti antiparticelle, **gluoni** e **bosoni**.

Fase 4

Si osserva la separazione dell'interazione elettrodebole in debole ed elettromagnetica. L'Universo è dominato da **quark, leptoni, fotoni, neutrini** e **materia oscura**.

Fase 5

A soli 10^{-4} secondi dopo il Big Bang si generano **protoni** e **neutroni** che rimangono in equilibrio termodinamico con elettroni e neutrini.

Fase 6

A circa 0,7 s dopo il Big Bang i neutrini si separano dal resto della materia e si forma una **radiazione fossile** di neutrini che è arrivata fino a noi.

Fase 7

Quando l'Universo ha circa 3 minuti di età si è completata la formazione dei **nuclei leggeri**, come 2H, 3He, 4He e 7Li. Alla fine dei primi tre minuti di vita, l'Universo è dominato dalla presenza di fotoni, protoni, neutroni, nuclei leggeri, neutrini e materia oscura.

Fase 8

Quando l'Universo aveva circa 300000 anni la radiazione si separò dalla materia. Questa radiazione è giunta fino a noi, ed è conosciuta con il nome di **radiazione cosmica di fondo**. Da questo momento in poi è possibile fare osservazioni dirette, proprio perché l'Universo diventa trasparente alla radiazione.

Fase 9

Dopo qualche centinaio di milioni di anni la temperatura è scesa fino a 4000 K; piccole fluttuazioni di densità possono cominciare ad attrarre gravitazionalmente la materia circostante portando alla formazione di **protogalassie** (gigantesche nubi di gas freddissimo) e successivamente di **galassie** e **ammassi di galassie**. Dopo quattro miliardi di anni si formano le prime stelle.

Ammassi e superammassi

La struttura dell'Universo assomiglia ad una sorta di spugna, infatti la misura delle posizioni di migliaia di galassie ha mostrato che esse non sono distribuite uniformemente. L'Universo a grande scala è costituito da gruppi di galassie, detti **ammassi**, che si riuniscono in enormi addensamenti piatti separati tra loro da immense regioni vuote. Inoltre, molti ammassi di galassie sono coinvolti in moti d'insieme verso altri giganteschi ammassi, detti **attrattori** per la loro spinta gravitazionale. Questa struttura su larga scala sembra aver avuto origine da piccolissime disomogeneità nella distribuzione iniziale di materia. Dopo il Big Bang, su scale temporali di miliardi di anni, le forze gravitazionali avrebbero condensato la materia e si sarebbero formate prima le galassie, poi gli ammassi e i superammassi, e infine le strutture più grandi come gli attrattori. Prima del 1989 si pensava che i **superammassi** rappresentassero le più grandi strutture presenti nell'Universo, e che si trovassero sparsi in maniera uniforme in tutto l'Universo. Ma, nel 1989, *Margaret Geller* e *John Huchra* scoprirono una vera e propria parete di galassie lunga più di 500 milioni di anni luce, larga 200 milioni e spessa 15 milioni di anni, a cui diedero il nome di "**Grande Parete**".

Legge di Hubble

Nel 1929 Hubble riuscì a distinguere 18 galassie e a stimare la loro distanza. Scoprì inoltre che tutte le galassie sembrano allontanarsi da noi: la radiazione che esse emettono, infatti, è spostata verso il rosso dello spettro elettromagnetico, fenomeno noto con il nome di **redshift**. La spiegazione è abbastanza semplice: quando una sorgente si allontana da noi, il numero di oscillazioni al secondo diminuisce, quindi la lunghezza d'onda sembra aumentare e si dice che la luce si sposta verso il rosso, mentre quando una sorgente si avvicina nella nostra direzione, il numero di oscillazioni al secondo aumenta, di conseguenza la lunghezza d'onda diminuisce e la luce appare spostata verso il blu (**blueshift**).

Hubble dimostrò inoltre che lo spostamento è direttamente proporzionale alla velocità della sorgente luminosa; trovò una

correlazione precisa tra la distanza delle galassie e la loro velocità di recessione, che prese il nome di **legge di Hubble**, data dalla relazione: $v = H d$ dove **H** è detta **costante di Hubble**, **v** è la **velocità di allontanamento** delle galassie e **d** la loro **distanza**.

L'Universo è soggetto dunque a un moto di espansione e la Terra partecipa a questo moto inesorabile senza esserne il centro.

In conclusione non esiste un osservatore privilegiato: la velocità con cui le galassie si allontanano tra loro cresce con la distanza, qualsiasi sia il punto in cui ci si trova. Un altro osservatore posto in un punto qualsiasi su un'altra galassia troverebbe esattamente la stessa legge ottenuta da Hubble.

Quasar

Quasar (Quasi-stellar Radio Source) sono galassie molto lontane, le più lontane a noi note, che emettono una enorme quantità di energia principalmente nelle frequenze radio.

Se osservati al telescopio appaiono come dei puntini luminosi, di aspetto stellare (da cui il nome **Sorgenti Radio Quasi Stellari**) ma il loro spettro presenta delle righe notevolmente spostate verso il rosso (**redshift**).

Supponendo che questo redshift sia dovuto all'effetto Doppler, questo significa che tali oggetti si stanno allontanando da noi a velocità elevate (superiore a 35000 km/s), troppo alte per una stella. In conclusione si tratta di sorgenti extragalattiche molto lontane.

Tenendo conto della loro distanza e luminosità apparente, si ricava inoltre che questi oggetti irradiano una potenza enorme, pari a centinaia di volte quella delle galassie più brillanti.

Il motore dei quasar non sono le reazioni nucleari che avvengono all'interno delle singole stelle: la potenza osservata non è data dalla somma dei contributi di tutte le stelle della galassia. Quasi certamente ad alimentare tale motore c'è un gigantesco buco nero situato nel nucleo della galassia e attorno ad esso si trova un disco di accrescimento di gas e stelle in rapidissima rotazione. La materia cadendo su buco nero produce radiazione con una potenza enorme.

Energia e materia

La materia oscura

Ad oggi non sappiamo ancora di che cosa sia fatta la maggior parte del nostro Universo! Sono state raccolte svariate prove dell'esistenza di una materia invisibile che tiene legate gravitazionalmente galassie e ammassi di galassie, il suo nome è appunto materia oscura. Essa costituisce circa il 90 % della materia presente nell'Universo. La sua natura resta ancora sconosciuta, tuttavia la sua presenza viene rivelata da alcuni effetti indiretti prodotti nello spazio circostante:

1) Rotazione delle galassie a spirale

Se in una galassia a spirale si osserva l'andamento della velocità di rotazione delle stelle in funzione della distanza dal centro galattico, si scopre che a grandi distanze anziché diminuire, la velocità resta alta. Questo fenomeno si spiega ammettendo l'esistenza di altra materia, non visibile, che produce un forte campo gravitazionale che fa aumentare la velocità.

2) Distribuzione di velocità negli ammassi di galassie

Un ammasso è stabile se possiede una massa sufficiente a tenere legate al suo interno le galassie, e inoltre quest'ultime devono possedere una velocità non superiore a un limite preciso di stabilità.

Si è scoperto che in molti ammassi le galassie possiedono velocità molto superiori a questo limite, ma continuano a mantenere una struttura stabile. Questo implica che debba esistere un campo gravitazionale molto intenso in grado di tenerle legate. Tale campo non si spiega considerando la materia osservabile.

L'ammasso deve essere quindi tenuto insieme da una materia invisibile, molto più abbondante di quella luminosa.

3) Le lenti gravitazionali

Le lenti gravitazionali sono oggetti o gruppi di oggetti dotati di una massa enorme, il cui campo gravitazionale è così intenso da deviare il percorso dei raggi di luce che vi passano vicini. Il risultato è che, se una di queste "lenti" si trova tra noi e una sorgente di luce lontana (per esempio un quasar), si producono più immagini dello stesso oggetto. Questa

sorta di illusione ottica, ci permette però di stanare l'eventuale oggetto oscuro responsabile della deviazione dei raggi. Ma da che cosa è costituita la materia oscura? Potrebbe trattarsi di materia ordinaria, per esempio pianeti o "nane brune", talmente piccoli da non innescare le reazioni di fusione nucleare al loro interno. Tuttavia, il numero di questi oggetti è molto più basso di quello necessario per poter spiegare gli effetti osservati della materia oscura.

Un'altra ipotesi è che si tratti di neutrini dotati di massa. Si ritiene infatti che i neutrini siano particelle prive di massa, alcuni recenti esperimenti però fanno pensare che siano dotati di una massa, anche se piccolissima (1/5000 della massa di un elettrone). Dato che i neutrini sono comunissimi e permeano l'Universo, basterebbero da soli per rendere conto degli effetti osservati della materia oscura. Un altro tipo di materia oscura possibile è costituita da particelle, la cui esistenza non è ancora stata provata, chiamate WIMPS (*Weakly Interacting Massive Particles*).

Energia oscura

Recenti osservazioni indicano che l'Universo, contrariamente a quanto si pensi, non sta rallentando, come ci si aspetterebbe in un Universo dominato da materia, ma sta accelerando. Tali osservazioni vengono spiegate postulando un tipo di energia con pressione negativa: l'**energia oscura**. Secondo la teoria della relatività, l'effetto di tale pressione negativa produce una **forza antigravitazionale** (spinta) su larga scala e permette di colmare quella significativa porzione di massa mancante. I due possibili candidati al ruolo di energia oscura sono: la **costante cosmologica**, una densità d'energia costante che riempie tutto lo spazio e la quintessenza, un **campo** la cui densità d'energia varia nello spazio e nel tempo.

Il modello inflazionario

Due oggetti distanti sono causalmente connessi, quando possono comunicare tramite un segnale e l'uno provocare un effetto sull'altro. Gli effetti di questo segnale si percepiranno non istantaneamente, ma dopo un certo tempo, tanto maggiore tanto più distanti sono i due oggetti, poiché la velocità con la quale i segnali viaggiano nello spazio è finita. L'orizzonte causale rappresenta proprio la regione dello spazio-tempo in cui i due corpi sono in connessione causa-effetto.

L'Universo è costituito da addensamenti di galassie e regioni relativamente vuote, ma nel complesso appare omogeneo e isotropo (ossia uguale in tutte le direzioni). Come è possibile che regioni tra loro molto lontane, al di fuori dell'orizzonte causale, possiedano proprietà simili? Nemmeno la luce, che viaggia con la velocità massima, avrebbe potuto connettere causalmente tali regioni. A questa domanda diede una risposta, a partire dai primi anni '80, il fisico e cosmologo statunitense *Alan Guth*. Egli propose di modificare il modello classico del Big Bang, aggiungendo il fenomeno dell'inflazione (modello inflazionario): nei primi istanti dopo il Big Bang, l'Universo era di dimensioni talmente ridotte che le galassie potevano trovarsi in contatto causa-effetto, all'istante $t = 10^{-35}$ s iniziò ad espandersi in maniera rapida e improvvisa e nel giro di 10^{-32} secondi aumentò le sue dimensioni di un fattore 10^{50} . Successivamente l'espansione proseguì secondo quanto previsto dal modello standard del Big Bang.