

I SETTE GRANDI

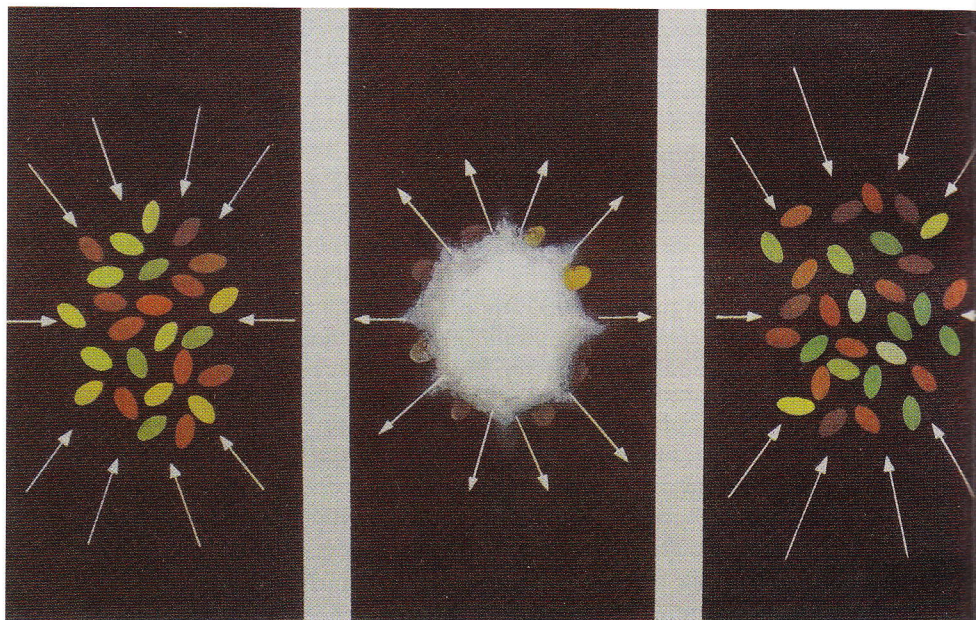
enigmi dell'universo

La storia ci insegna che il cammino della scienza è costellato da difficoltà e ostacoli che spesso vengono superati solo dopo anni di intense ricerche. Di fatti non conosciuti ve ne sono sempre parecchi, perché – come si dice – ogni nuova scoperta introduce una nuova incognita. Di queste, agli astronomi di oggi, sette appaiono particolarmente intriganti e di difficile soluzione. Vediamo di cosa si tratta



Walter Ferreri

Astronomo presso l'Osservatorio Astrofisico di Torino. Si è occupato soprattutto di asteroidi, comete, stelle doppie e del sistema Plutone-Charonte. Ha dedicato molto tempo alla divulgazione, nel cui ambito ha scritto circa una trentina di libri.



Primo enigma - Esempio di universo ciclico. Il Big Bang potrebbe essere un grande rimbalzo dopo una fase di contrazione.

Primo

Che cosa c'era prima del Big Bang?

Questa domanda ricorda quella provocatoria di colui che chiese a Sant'Agostino che cosa facesse Dio prima di creare il mondo. La perspicacia dell'illustre Dottore della Chiesa, diede la seguente risposta: "preparava l'inferno per chi faceva domande del genere"!

Se ci si basa sulla teoria della relatività generale, cioè la teoria della gravitazione messa a punto da Albert Einstein nel 1915, che descrive l'universo a grande scala, la domanda non ha alcun senso, in quanto è con il Big Bang che ha avuto inizio il tempo. È come se domandassimo ad un esploratore che cosa c'è a nord del polo nord.

Purtroppo la teoria della relatività generale non è adatta a descrivere ciò che avvenne a ridosso del Big Bang. In base alle misure del satellite europeo Planck, che le ha condotte dal 2009 al 2013, il nostro universo esiste da 13,8 miliardi di anni. Se si estrapola la teoria della relatività generale a 13,8 miliardi di anni fa, l'età dell'universo (che costituisce il nostro limite osservazionale), la temperatura e la densità divengono infiniti. Occorre integrarla con l'altra grande teoria della fisica, la meccanica quantistica, che descrive i fenomeni fisici su scala infinitamente piccola. E in certe versioni di "gravità quantistica" il Big Bang non è più l'istante zero, ma si trova ad un certo punto dopo lo zero. Per esempio, nella gravitazione quantica ciclica, il Big Bang appare

come un grande rimbalzo, una strettoia in un disturbo, una transizione tra una fase di contrazione e una d'espansione. Delle onde gravitazionali, cioè piccole perturbazioni della geometria dello spazio-tempo che si propagano alla velocità della luce, generate dalla fase di contrazione, potrebbero essere sopravvissute nell'universo attuale. In teoria quindi si potrebbero scoprire delle tracce di ciò che c'era prima del Big Bang, nell'ipotesi di un universo oscillante. Ma per ora questa eventualità resta confinata alla pura speculazione.

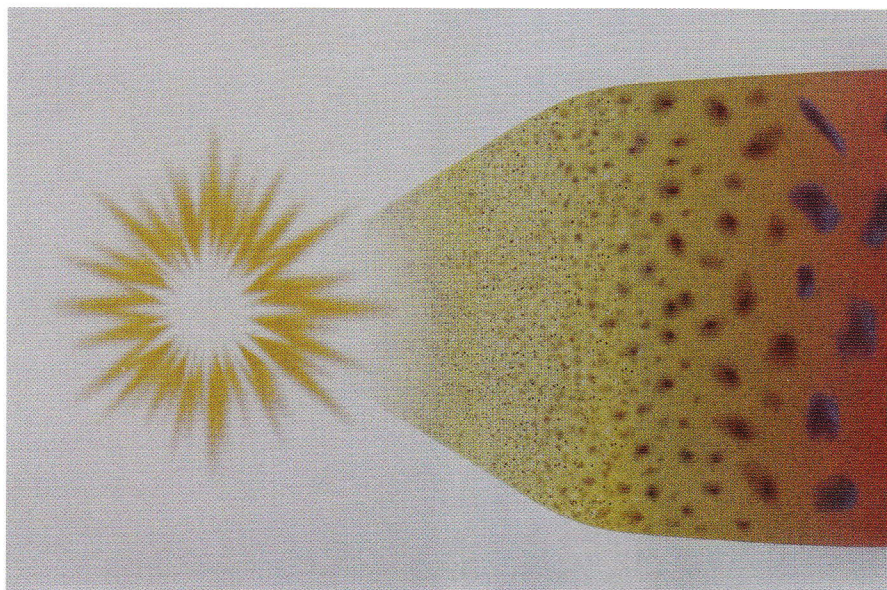
Secondo

Che cosa ha causato l'inflazione?

I cosmologi ne sono quasi tutti convinti: subito dopo il Big Bang l'universo si è dilatato in modo colossale. In una frazione di secondo le sue dimensioni sono aumentate... di 10^{30} volte! Questo sarebbe avvenuto in una fase chiamata "inflazione" e concepita nei primi anni '80 dal fisico statunitense Alan Guth. Senza questa fase oggi sarebbe impossibile avere un universo piatto e omogeneo a grande scala. Ma sorge il problema di quale fenomeno abbia reso possibile questa enorme e improvvisa espansione.

I fisici immaginano l'esistenza di una particella esotica, battezzata *inflatone*, la cui forza repulsiva sarebbe alla base di questa eccezionale dilatazione. Dopo questa fase tale particella si sarebbe tramutata in elettroni, quark, luce e materia oscura. Ma non si ha alcuna prova tangibile della sua esistenza. Siamo nella medesima situazione in cui ci trovavamo prima del luglio 2012, quando è stato rintracciato il bosone di Higgs: ci manca la prova sperimentale. Purtroppo l'energia necessaria per rivelare l'inflatone è da 1 a 1000 miliardi di volte maggiore di quella che si può raggiungere con l'LHC (*Large Hadron Collider*), il grande acceleratore di particelle del CERN.

Probabilmente non riusciremo mai a rivelare questa particella, ma possiamo verificare le conseguenze della teoria. Così, poiché le onde gravitazionali prodotte dall'inflazione sarebbero state rintracciate all'inizio del 2014 con l'esperimento BICEP2 (v. *"le Stelle"* n. 130, pp. 4-7), la con-



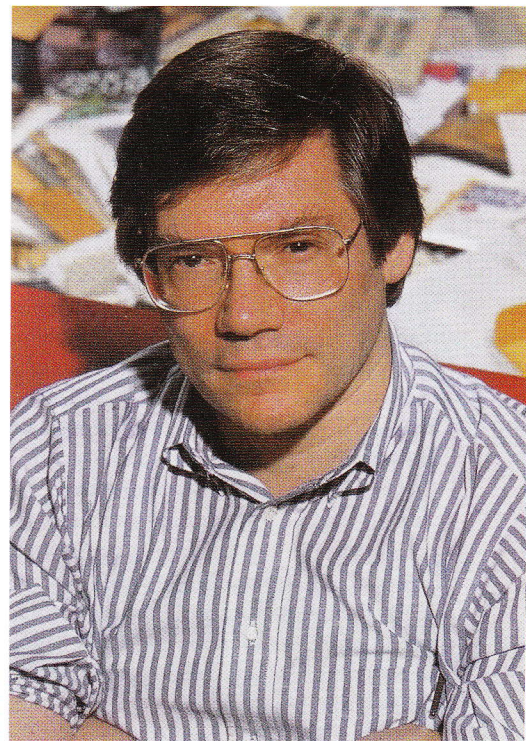
Secondo enigma - Visualizzazione dell'inflazione, la fase di super-espansione che si sarebbe manifestata subito dopo il Big Bang.

ferma dovrebbe arrivare dal confronto di queste onde gravitazionali con le fluttuazioni della radiazione di 3K. Quest'ultima è il fondo diffuso cosmologico cartografato dal satellite Planck, ovvero il fondo cosmologico emesso circa 380 mila anni dopo il Big Bang. Se questo risultato verrà ritenuto valido, diventerà praticamente impossibile immaginare che sia accaduto qualcosa di diverso dall'inflazione.

Terzo

Come nascono e muoiono le galassie?

Attualmente la tipologia delle galassie è molto varia. Ma come si sono formati questi edifici di gas, stelle e polveri dalle morfologie così differenti? Secondo il modello classico, detto gerarchico, si pensa che le galassie piccole si siano fuse per dare origine a galassie via via più grandi. Tuttavia, non è così semplice. Ora è noto che le galassie crescono perché alimentate principalmente dagli immensi filamenti di gas che le circondano. Ma questo non spiega perché le galassie massicce esistano già nelle prime fasi dell'universo. Una situazione alla quale i nostri modelli non si adattano. Di contro, queste simulazioni producono un numero eccessivo di piccole galassie nane. Secondo esse, la Via Lattea, la nostra Galassia, dovrebbe essere



Secondo enigma - Alan Guth, uno dei "padri" (forse il principale) della teoria dell'inflazione.

circondata da migliaia di piccoli satelliti, mentre non se ne conosce che una dozzina. Quanto alle prime galassie, esse non apparvero che nei primi 100-200 milioni di anni dell'universo, ma le più antiche che sono state rintracciate sono nate 500 mi-



Terzo enigma - Visione artistica della formazione di una galassia, con le condensazioni che spesso la caratterizzano.

lioni di anni dopo il Big Bang. I grumi dai quali si sono originate erano già presenti in un universo giovane di 100 mila anni: dei grumi di materia oscura hanno dato luogo a pozzi gravitazionali dove il gas si è in seguito accumulato. Le prime stelle si sono accese 100 milioni di anni dopo. Queste galassie primitive, più caotiche e con grumi di stelle, erano ben differenti da quelle che noi conosciamo oggi. Non appena si formano, le stelle consumano e stabilizzano il gas. Quando l'universo è a metà della sua storia, la formazione stellare è al massimo e le galassie hanno assunto una forma più regolare, come quella della nostra Via Lattea.

Oggi le stelle nelle galassie più piccole nascono da 10 a 100 volte più lentamente, mentre le galassie più grandi non producono più stelle, avendo consumato tutto il loro gas interstellare. Questo è il caso delle galassie ellittiche, nate dalla fusione di galassie spirali che nel processo perdono il loro disco di gas. Perché il gas, ancora così abbondante (90% della materia ordinaria), non alimenta più la formazione di stelle in queste galassie? Senza dubbio perché qui l'espansione rende meno efficace questo meccanismo.

Per rispondere a questi problemi, i ricer-

catori vogliono realizzare dei grandi rivelatori, in grado di mostrare miliardi di galassie. In breve tempo sarà disponibile il telescopio a grande campo LSST installato a Cerro Pachón, in Cile, mentre

il complesso ALMA, situato un po' più a nord, è già operativo. La scoperta delle particelle di materia oscura potrebbe ugualmente fornire le risposte al perché il numero delle galassie formate in funzione del tempo dipende da questa materia di natura sconosciuta.

Quarto

Come è nata la vita sulla Terra?

Innanzitutto, premettiamo che è molto difficile dare una definizione di vita. Ognuna che possiamo formulare è fortemente influenzata dall'ambiente culturale dove vive la persona che l'ha manifestata, per cui la "vita" secondo un filosofo ha poco a che vedere con la "vita" del chimico molecolare e soprattutto la genesi della vita dal punto di vista delle religioni. La vita è un fenomeno talmente complesso che comprende tutte le accezioni con le quali la si definisce, di contro ogni singola definizione che si dà all'esistenza risulta carente in qualche aspetto.

Alla fine degli anni '80 F. Hoyle e Z. Wickramasinghe formularono una teoria sull'origine della vita basata sull'idea di Anassagora e di S. Arrhenius (chimico

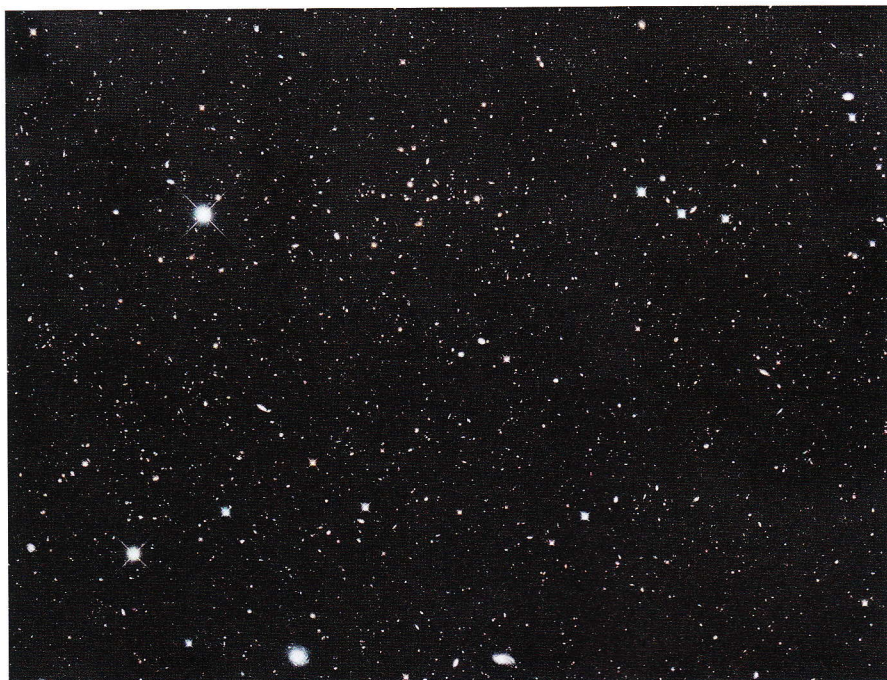


Quarto enigma - Visione mitica dell'origine della vita sulla Terra, qui immaginata dovuta alla volontà di un Creatore.

svedese, premio Nobel nel 1903). I due scienziati supposero che nelle polveri che compongono le nubi interstellari si possano originare delle sostanze prebiotiche, che lentamente si evolvono in semplici organismi che, depositandosi su meteoroidi e comete, vengono inglobati su questi corpi celesti. In tal modo, queste elementari forme di vita viaggerebbero in una sorta di animazione sospesa tra le stelle, protetti dalle letali radiazioni ultraviolette e da tutte le altre radiazioni cosmiche, fintanto che le comete o i meteoroidi che le trasportano cadono su un pianeta che offre le condizioni adatte all'evoluzione dei semplici organismi.

Questa teoria sull'origine della vita sulla Terra è indubbiamente suggestiva. In effetti la scoperta, nel 1994, della glicina, il meno complesso degli amminoacidi, nelle nubi molecolari di Sagittarius B, distanti 23 mila anni-luce dal Sole, sembrerebbe dar ragione ai due studiosi. Ma un amminoacido non è la vita, anche se la glicina è uno dei "mattoni" su cui essa si fonda. Il fatto che conosciamo i processi chimici che originano il DNA e l'RNA ci permette di escludere che essi si possano formare nelle nubi interstellari, poiché sappiamo che questi acidi per generarsi spontaneamente nel nostro pianeta nel periodo Archeano hanno avuto bisogno d'acqua allo stato liquido, e questa potrebbe essere una condizione necessaria affinché essi si formino ovunque. Di conseguenza, per quanto ne sappiamo sul fenomeno vita, si ritiene che essa si possa generare soltanto in corpi celesti che abbiano condizioni simili a quelle possedute dalla Terra nel periodo Archeano.

Comunque, le straordinarie capacità di resistenza dei batteri, anche alla radiazione ultravioletta e X, ha fatto tornare in auge la teoria di Arrhenius, divenuta nota come "teoria della panspermia", secondo la quale la vita sarebbe giunta sulla Terra sotto forma di spore che vagherebbero nello spazio spinte dalla pressione esercitata dalla radiazione emessa dai corpi celesti. In maniera analoga ai semi trasportati dal vento che attecchiscono e crescono con rigogliosa vegetazione là dove il terreno è più congeniale alla pianta, anche le spore celesti porterebbero allo sviluppo di esseri viventi, se attratti da pianeti le cui condizioni ambientali sono favorevoli alla genesi della vita.



Quinto enigma - Un'immagine profonda dovuta al Telescopio Spaziale Hubble (HST), nella costellazione della Balena. L'immagine originale rivela galassie con un'età inferiore al miliardo di anni, ma limitatamente alle dimensioni a noi attualmente accessibili. Potremo, in futuro, accedere ad altre dimensioni?

Quinto

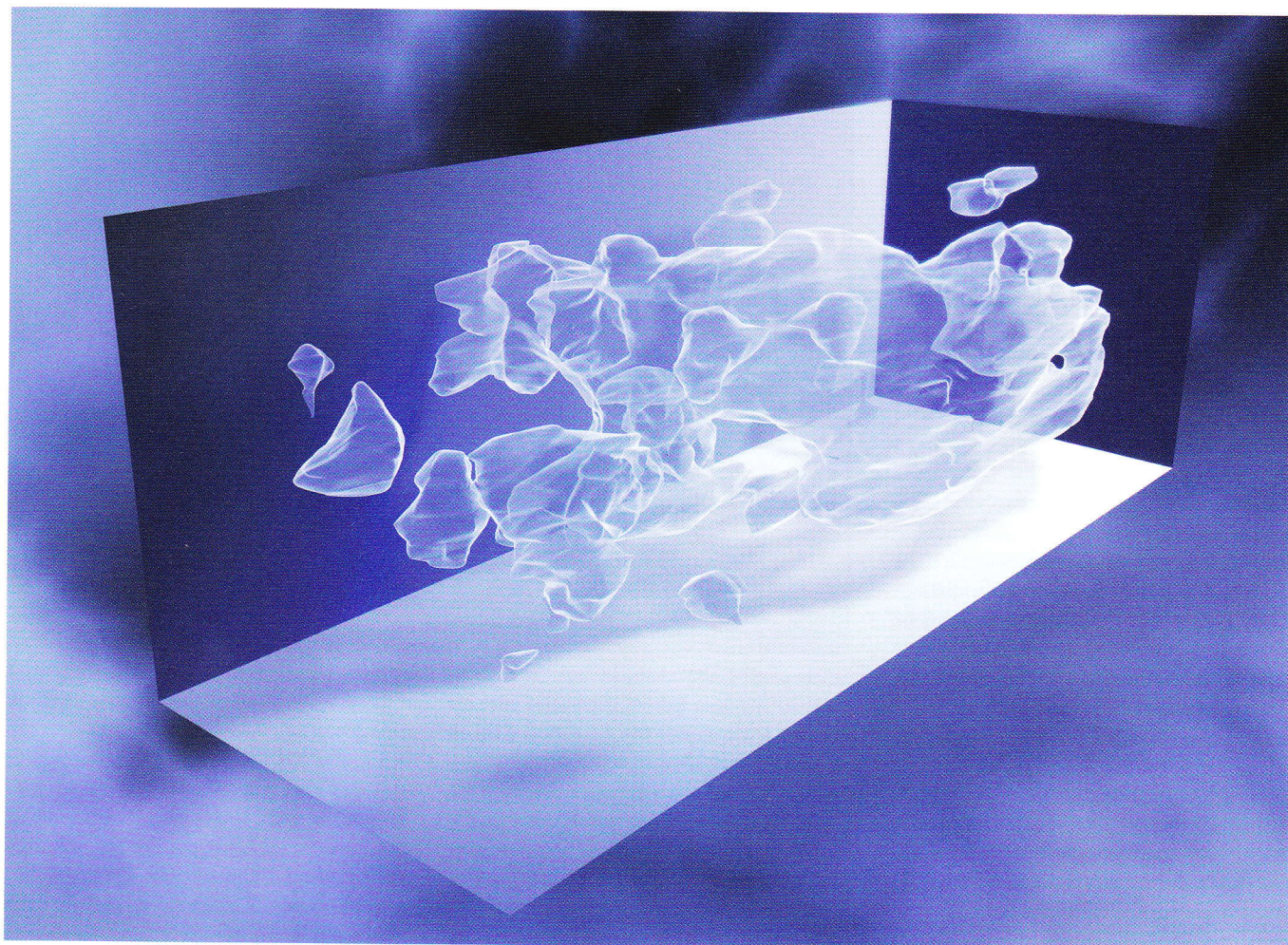
Quante dimensioni ha l'universo?

Senza saperlo noi potremmo trovarci in un universo a dieci dimensioni. L'idea non è nuova, ma risale agli anni '20, esattamente al 1919, quando il fisico tedesco T. Kaluza iniziò a ipotizzare che nel nostro universo doveva esserci un'altra dimensione. L'idea venne ripresa dal fisico svedese O. Klein che, insieme a Kaluza, cercò di completare la teoria della relatività generale di Einstein (che descrive la gravitazione), aggiungendovi la forza elettromagnetica. Questi fisici si resero conto che per poter unificare queste due interazioni fondamentali in una sola equazione era necessario considerare una quinta dimensione (oltre al tempo e alle tre dimensioni spaziali), troppo piccola per essere visibile. Negli anni seguenti questa idea venne abbandonata, ma ritornò in auge con la teoria delle corde. L'ambizione della teoria delle corde non è solamente quella d'estendere la relatività generale nel dominio delle alte energie, come il Big Bang, e di combinarsi con la meccanica quantistica. Ma anche quella di contenere in un'unica equazione

le quattro forze fondamentali. Secondo le versioni, questa teoria predice non più tre o quattro dimensioni spaziali, ma nove, dieci o più! Un tale universo va al di là della nostra immaginazione. E per il momento queste dimensioni supplementari sono oltre le nostre capacità di ricerca. A causa delle loro dimensioni, minuscole, esse sono avvolte su se stesse con un raggio inferiore dal centesimo di millimetro (le dimensioni di un batterio) a 10^{-15} millimetri (le dimensioni di un quark, la particella elementare che forma protoni e neutroni). Noi siamo molto più grandi di queste scale, e – per lo meno per ora – non abbiamo accesso che alle tre dimensioni che conosciamo.

Ma i fisici specialisti della teoria delle corde prevedono che nei grandi acceleratori di particelle si potrebbero fare dei tentativi di rilevamento. Situata in uno spazio con dimensioni supplementari, una particella dovrebbe apparire all'osservatore accompagnata da un corteo di nuove particelle dalle proprietà caratteristiche.

Rimangono da trovare queste nuove particelle. Ma per accedere alle dimensioni minori (se esistono!) si dovrebbe senza dubbio aumentare le capacità degli acceleratori.



Sesto enigma - Una mappa della materia oscura realizzata in base a "sondaggi" eseguiti col Telescopio Spaziale Hubble (HST).

Sesto

Dove si nasconde la materia oscura?

Le stelle ruotano intorno alle galassie ad una velocità troppo elevata in relazione alla materia visibile. Ed anche le galassie negli ammassi si spostano più rapidamente di quanto ci si aspetta. Quest'ultimo aspetto venne già messo in evidenza da F. Zwicky nel 1933, che avanzò l'ipotesi della presenza di una massa invisibile, una materia oscura cinque volte più abbondante di quella ordinaria che costituisce stelle, pianeti e nebulose (v. *"le Stelle"* n. 65, pp. 34-39 e *"le Stelle"* n. 131, pp. 40-48). Ma da cosa è composta questa materia oscura che sfugge ai nostri telescopi? Gli astronomi inizialmente pensarono a delle nane brune (stelle dalla massa insufficiente per innescare le reazioni nucleari), a dei pianeti, a del gas troppo freddo per essere

rilevato. Ma le ricerche condotte in tal senso non hanno dato i risultati sperati, nel senso che quanto trovato è lungi dal giustificare la massa invisibile. Ci si è quindi rivolti anche verso l'infinitamente piccolo, immaginando l'esistenza di particelle esotiche.

Ma vediamo ora un po' più da vicino i diversi candidati.

I buchi neri. Essi, come è noto, non emettono luce pur essendo oggetti molto massicci. La loro rivelazione avverrebbe tramite l'effetto di lente gravitazionale o cospicue emissioni di raggi X, non spiegabili in altro modo, del gas che spiraleggiando cade verso il buco nero.

I MACHOs. Questo acronimo di *Massive Astronomical Compact Object* (oggetti di alone compatti dotati di massa) si riferisce soprattutto a stelle scure di massa elevata. Potrebbero essere debolmente emittenti e sarebbero presenti nell'alone



Sesto enigma - Vera Rubin, che mise in evidenza come la rotazione delle galassie richiedesse molta più materia di quella visibile.

delle galassie. Come nel caso dei buchi neri, la loro rivelazione avverrebbe tramite l'effetto di lente gravitazionale, ma non sono sufficienti per tener conto della quantità di materia oscura.

Le nane brune. Sono in un certo senso stelle abortite, cioè astri che non sono riusciti a divenire delle vere e proprie stelle per la massa insufficiente, che si stima essere compresa fra una quindicina e una sessantina di volte quella di Giove.

I neutrini. Le particelle che attraversano la materia ordinaria senza interagire con essa. Ma sono poco massicce per tener conto degli effetti gravitazionali. Anche se in origine si suppose che il neutrino avesse massa nulla, fino all'inizio del 1995 gli esperimenti di laboratorio fissarono solo un limite superiore alla sua massa: 20 elettronvolt (20 eV). Questa è una massa inconcepibilmente piccola anche se paragonata alla massa del protone, di circa 1 miliardo di eV, ma nell'universo c'è un numero sterminato di neutrini, circa un miliardo per ogni barione. Ciò nonostante, pare che il neutrino non possa contribuire in modo sostanziale alla spiegazione della "massa invisibile".

Assioni. Particelle molto leggere create all'epoca del Big Bang. Sarebbero numerose e possono trasformarsi in protoni.

WIMPs. Acronimo di *Weakly Interacting Massive Particles*, cioè particelle massicce che interagiscono debolmente con la materia ordinaria e che, sebbene non siano mai state rivelate, hanno i presupposti essenziali per essere quelle maggiormente candidate per costituire la materia oscura.

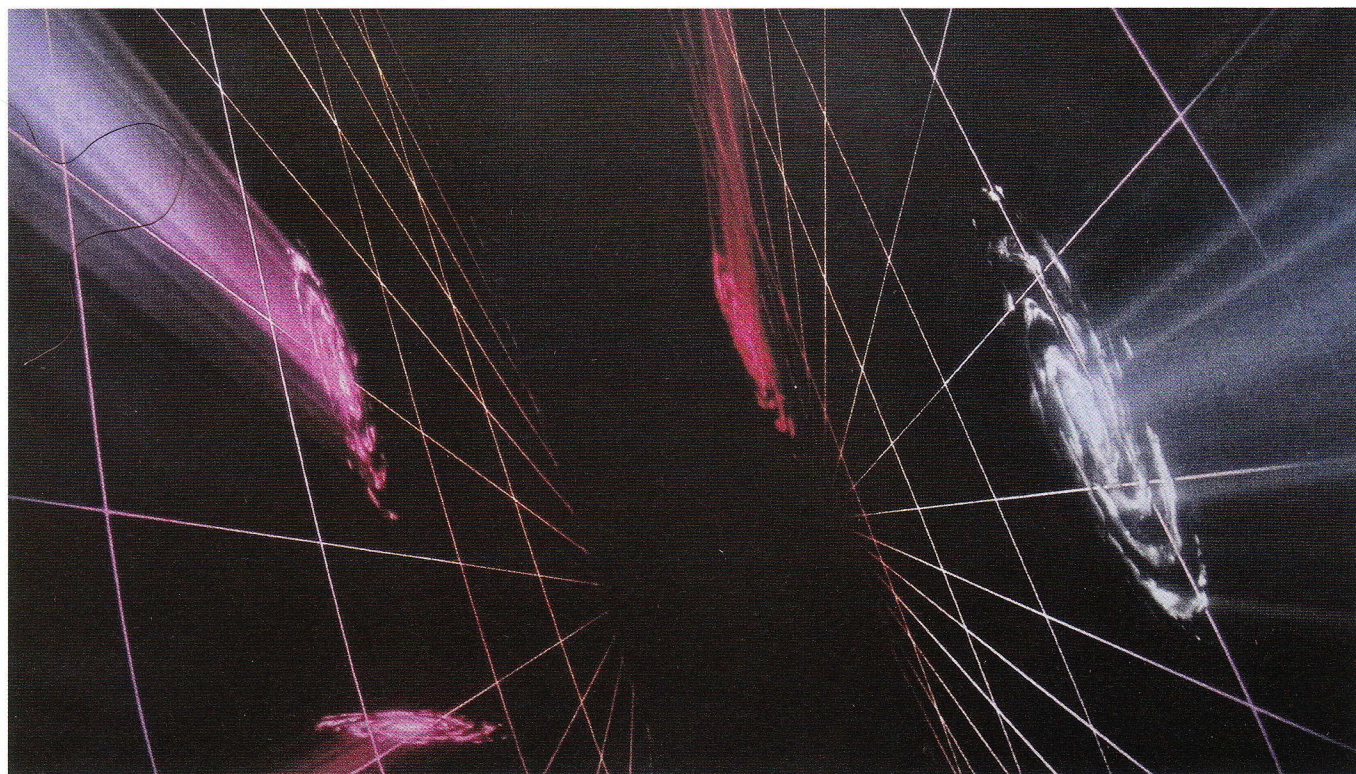
Settimo

Cos'è l'energia oscura?

Recentemente si è scoperto che l'universo non solo si espande, ma è in continua accelerazione. Una misteriosa energia lo sta facendo espandere sempre più rapidamente (v. *"le Stelle"* n. 101, pp. 4-5). Gli astronomi hanno dedotto l'esistenza di una strana forma di energia, che sembra presente ovunque e che costituisce circa il 75% di tutta la massa del cosmo; essa aumenta la velocità di recessione delle galassie. Questo è senza dubbio uno dei grandi misteri dell'universo, anzi forse è il più grande, perché l'energia oscura costituisce la maggior parte di tutta

l'energia del cosmo. Purtroppo si sa davvero molto poco dell'energia oscura, dove l'aggettivo "oscura" si riferisce proprio alla nostra ignoranza su di essa. Comunque, gli scienziati ritengono che tale energia e la materia oscura siano state create nel momento del Big Bang e vi è chi vi vede come una sua componente la cosiddetta "quintessenza", nome che deriva dal quinto elemento concepito da Aristotele, quello che avrebbe caratterizzato i corpi celesti eterni e incorruttibili. Per questo l'energia oscura è stata anche definita "energia del vuoto".

Pare che l'energia oscura abbia iniziato a divenire importante dal punto di vista cosmologico solo in un secondo tempo dopo la nascita dell'universo, cioè dopo 5 o 6 miliardi di anni, quando la densità della materia è diminuita al di sotto di una certa soglia. Una spiegazione possibile dell'energia oscura è pure insita in una modifica della teoria della gravitazione di Einstein. Purtroppo, la verità è che per il momento ne sappiamo pochissimo. Si spera di risolvere l'enigma grazie al satellite europeo Euclid, che dovrebbe essere lanciato nel 2020, e grazie al quale si dovrebbero misurare le caratteristiche di 2 miliardi di galassie!



Settimo enigma - La "fuga" delle galassie remote può essere giustificata solo ammettendo l'esistenza di una misteriosa forma di energia, la "dark energy".