

ANTIMATERIA E MATERIA OSCURA

L'antimateria e la materia oscura sono tra le questioni più controverse e affascinanti che la fisica moderna si trova ad affrontare: oggi sappiamo che l'Universo è costituito soltanto per il 5% dalla materia a noi più familiare, quella fatta di protoni, neutroni ed elettroni. Si calcola invece che il 70% di ciò che esiste nel cosmo sia costituito da una sostanza invisibile e omogenea chiamata "energia oscura". L'ultimo 25% sarebbe invece formato da materia oscura, cioè (almeno secondo alcune teorie) da particelle molto diverse dalla materia ordinaria, non aggregate in corpi celesti, e in parte ancora sconosciute. L'antimateria è invece rarissima nel nostro Universo, ma secondo le teorie più accreditate, dopo il Big Bang si sarebbe formata in quantità uguale alla materia. Materia e antimateria si sarebbero poi quasi immediatamente annientate vicendevolmente in un lampo di energia. Da questo processo sorprendentemente avanzò una piccolissima percentuale di materia, la quale oggi forma le stelle, i pianeti, noi stessi e tutto ciò che conosciamo. Perché, se in origine materia e antimateria erano in quantità uguali avanzò solo un po' della prima? Quale è la differenza fra di esse? Gettare luce su questi quesiti sarà parte delle sfide che affronterà Pamela dallo spazio.

Antimateria

L'**antimateria** è un agglomerato di antiparticelle corrispondenti alle particelle che costituiscono la materia ordinaria. Ad esempio, un atomo di antidrogeno è composto da un antiprotone caricato negativamente, attorno al quale orbita un positrone (antielettrone) caricato positivamente. Se particella ed antiparticella vengono a contatto, le due si annichiliscono emettendo radiazione elettromagnetica.

Applicazioni dell'antimateria

Sebbene utilizzata principalmente per studiare le interazioni tra particelle elementari, l'antimateria ha anche un'applicazione tecnologica: la tomografia ad emissione di positroni, o PET, uno strumento di diagnostica medica che utilizza l'emissione di positroni per realizzare immagini ad alta risoluzione degli organi interni dei pazienti.

Annichilimento e Big Bang

L'antimateria ha vita breve e non può essere immagazzinata, in quanto si annichilisce al primo contatto con la materia. In base alle attuali conoscenze, non esistono quantità significative di antimateria in tutto l'universo, con l'eccezione di pochi atomi generati nei laboratori di fisica delle particelle presenti sul nostro pianeta, e nei processi astronomici più energetici. L'assenza di antimateria è uno dei grandi misteri della teoria del Big Bang, in quanto ci si aspetterebbe una produzione di materia e antimateria in proporzioni uguali e un conseguente annichilimento. Probabilmente, un leggero squilibrio in favore della materia ha fatto sì che quest'ultima non venisse completamente annichilita, rendendo possibile la formazione di un universo stabile, che è quello in cui viviamo. Il 10 settembre 2008 è stato acceso il Large Hadron Collider del CERN di Ginevra, con il quale verranno fatti esperimenti proprio per ottenere questo genere di risposte

Antimateria come fonte di energia

Se una parte di antimateria si annichilisce a contatto con della materia ordinaria, tutta la massa delle particelle ed antiparticelle annichilite viene convertita in energia. Questo processo permetterebbe di ottenere enormi quantità di energia da quantità molto piccole di materia ed antimateria, al contrario

di quanto avviene invece per le reazioni nucleari e chimiche, dove a parità di massa di combustibili utilizzati viene prodotta una quantità di energia molto più piccola. La reazione di 1 kg di antimateria, con 1 kg di materia produce $1,8 \times 10^{17}$ J di energia (in base all'equazione $E=mc^2$). Per contro, bruciare 1 kg di petrolio fornisce $4,2 \times 10^7$ J, mentre dalla fusione nucleare di 1 kg di idrogeno si otterrebbero $2,6 \times 10^{15}$ J. In altre parole, l'annichilazione della materia con l'antimateria produce circa 70 volte l'energia prodotta dalla fusione nucleare dell'idrogeno in elio e quattro miliardi di volte l'energia prodotta dalla combustione del petrolio.

Data la scarsità dell'antimateria in natura, l'antimateria non è una valida fonte di energia. Generare un singolo atomo di antimateria è immensamente difficile e dispendioso. Sono necessari acceleratori di particelle ed enormi quantitativi di energia, enormemente superiori a quella rilasciata dopo l'annichilazione con la materia ordinaria, rendendo di fatto l'impresa poco conveniente. A meno che non vengano scoperte fonti naturali di antimateria o non si trovi un processo efficiente di produzione della stessa e per la sua conservazione per tempi lunghi, evitando che si annichilisca con la materia che ne costituirebbe il serbatoio, il suo possibile sfruttamento rimarrà più che altro una mera curiosità scientifica.

A livello teorico, dato che l'energia prodotta dall'annichilimento materia/antimateria è nettamente superiore a quella prodotta da altri sistemi propulsivi, il rapporto tra peso del carburante e spinta prodotta sarebbe estremamente vantaggioso. L'energia ottenibile dalla reazione di pochi grammi di antimateria con altrettanti di materia sarebbe sufficiente a portare una piccola navicella spaziale sulla Luna.

ASTROFISICA

Cos'è la materia oscura? E cos'è l'energia oscura? Interrogativi cosmici e due nuove «astronomie»: l'astronomia dei neutrini, e l'astronomia gravitazionale.

21 maggio 2007.

[...] L'energia oscura è una delle ultime sorprendenti scoperte. Sappiamo che l'universo è in espansione. Sappiamo che la densità di materia (inclusa la materia oscura) non è sufficiente a frenare l'espansione così tanto da arrivare ad una successiva fase di contrazione; si supponeva però che la stessa materia presente nell'universo esercitasse una autogravità che avrebbe comunque rallentato l'espansione. Invece più accurate misure della distanza di lontane galassie hanno mostrato che in realtà l'espansione andava rallentando fino a quando l'età dell'universo era di 4 o 5 miliardi di anni. Poi ha cominciato ad accelerare, come se ci fosse una forza che si oppone alla gravità. Si ritiene che il vuoto abbia una forma di energia, circa costante, opposta alla energia gravitazionale. Quest'ultima avrebbe prevalso sull'energia del vuoto nei primi 4 o 5 miliardi di età dell'universo, e poi col diminuire della densità, l'energia del vuoto avrebbe prevalso sulla gravitazione [...]

L'energia del vuoto, un mistero universale

di Margherita Hack *

Oggi conosciamo molto bene come si formano le stelle, come evolvono e come finiscono la loro vita, sappiamo che sono raggruppate in grandi continenti stellari -le galassie- e queste a loro volta in gruppi di poche decine di individui, o in grandi ammassi contenenti parecchie centinaia di galassie, e anche gli ammassi di galassie sono raggruppati a formare i superammassi. Sappiamo che galassie e ammassi di galassie sono immersi in uno spazio praticamente vuoto che espande e li trascina nel suo moto di espansione; quindi lo spazio non è un contenitore inerte di materia, ma è dotato di un'energia che lo fa espandere.

Oggi siamo riusciti ad osservare direttamente l'aspetto che aveva l'universo appena 380000 anni dopo il Big Bang, intendendo per Big Bang l'inizio dell'espansione; abbiamo osservato galassie formatesi quando l'universo aveva solo 700 milioni di anni, e dalla conoscenza della temperatura e della densità medie dell'universo possiamo calcolare temperatura e densità quando la scala dell'universo era migliaia di volte più piccola (intendendo per scala la distanza di due punti di riferimento, per esempio due galassie).

Le colonne di Ercole da superare sono rappresentate dall'intervallo fra 380000 anni, in cui ancora le galassie e le stelle non si sono ancora formate e i 700 milioni di anni in cui sono già osservabili le più antiche galassie. In questo intervallo di tempo si devono essere formate le prime stelle e le prime galassie. Solo grandi telescopi sensibili al lontano infrarosso riusciranno a «vedere» l'epoca di formazione di queste galassie primordiali. Ci riuscirà probabilmente il successore del telescopio spaziale Hubble.

Due grandi interrogativi aspettano una risposta: che cos'è la materia oscura? E cos'è l'energia oscura? Oggi ci rendiamo conto che la materia che si «vede», che emette cioè una qualche forma di radiazione elettromagnetica, rappresenta solo il 4%; il resto fa sentire la propria presenza grazie alla sua forza di attrazione gravitazionale, ma non sappiamo cosa sia: in parte potrebbe trattarsi di stelle di bassa luminosità, come le nane brune, o grossi pianeti come Giove, o residui di grosse stelle finite come buchi neri, ma la maggior parte potrebbe essere costituita da particelle elementari che non interagiscono con la radiazione elettromagnetica: si ipotizza l'esistenza di particelle chiamate WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) a cui i fisici stanno dando la caccia, per ora senza successo.

L'energia oscura è una delle ultime sorprendenti scoperte. Sappiamo che l'universo è in espansione. Sappiamo che la densità di materia (inclusa la materia oscura) non è sufficiente a frenare l'espansione così tanto da arrivare ad una successiva fase di contrazione; si supponeva però che la stessa materia presente nell'universo esercitasse una autogravità che avrebbe comunque rallentato l'espansione. Invece più accurate misure della distanza di lontane galassie hanno mostrato che in realtà l'espansione andava rallentando fino a quando l'età dell'universo era di 4 o 5 miliardi di anni. Poi ha cominciato ad accelerare, come se ci fosse una forza che si oppone alla gravità. Si ritiene che il vuoto abbia una forma di energia, circa costante, opposta alla energia gravitazionale. Quest'ultima avrebbe prevalso sull'energia del vuoto nei primi 4 o 5 miliardi di età dell'universo, e poi col diminuire della densità, l'energia del vuoto avrebbe prevalso sulla gravitazione.

Per conoscere meglio come è variata nel lontano passato la legge di espansione dell'universo è necessario osservare un gran numero di lontane galassie, quindi a epoche sempre più lontane nel tempo. Lo potranno fare i grandi telescopi dell'ESO (European

Southern Observatory) , con i suoi 4 specchi di 8 metri di diametro, e quello appena inaugurato, LBT, (Large Binocular Telescope), una collaborazione fra Italia, Germania e Stati Uniti, situato in Arizona, sul Monte Graham e costituito da due specchi di 8,40 metri di diametro portati da un'unica montatura, simile a un gigantesco binocolo.

Questi grandi telescopi, che anticipano le tecnologie che saranno impiegate nel corso di questo secolo per costruire specchi di 50 e 100 metri di diametro, potranno anche mostrarci l'immagine diretta di pianeti extrasolari, che finora sono stati scoperti solo indirettamente, in conseguenza delle perturbazioni che causano al moto della loro stella.

Infine due nuove «astronomie» potranno mostrarci altri aspetti dell'universo. Si tratta dell'astronomia dei neutrini, e dell'astronomia gravitazionale.

Tutte le stelle emettono grandi quantità di neutrini nel corso delle reazioni nucleari che avvengono nel loro interno. Grazie all'assenza di carica e alla loro minuscola massa i neutrini attraversano liberamente tutto il raggio stellare e giungono fino a noi. In ogni istante il nostro corpo è attraversato da sciame di neutrini provenienti da stelle e galassie. La difficoltà di osservarli consiste nella difficoltà di catturarli e misurarli. Per ora si sono misurati solo i neutrini provenienti dal Sole e dalla supernova della Grande Nube di Magellano di cui osservammo l'esplosione nel febbraio del 1987. I «telescopi» per neutrini sono sempre situati sotto grandi masse di terra, montagne come il Gran sasso, o in profonde miniere, che arrestano tutte le altre particelle dei raggi cosmici, mentre solo i neutrini passano indisturbati. In grandi piscine contenenti trielina, o anche acqua, gli atomi colpiti da neutrini danno luogo a scintillazioni misurabili che permettono di contare i neutrini arrivati. Forse in questo secolo riusciremo a studiare tutto il cielo con i neutrini, a scoprire per esempio l'esplosione di lontane supernovae che la polvere interstellare ci nasconde, misurando l'arrivo dei neutrini, che esse emettono in enorme quantità.

Einstein aveva predetto che come una carica elettrica in moto genera onde elettromagnetiche, anche un corpo materiale in moto dovrebbe generare onde gravitazionali. Queste non sono state ancora osservate direttamente, anche se ci sono prove indirette della loro esistenza, fornite da una coppia di stelle di neutroni. L'Italia è impegnata nella ricerca della rivelazione delle onde gravitazionali con un grandioso strumento- VIRGO- una collaborazione italo-francese.

In tutte queste avventure astrofisiche del XXI secolo i ricercatori italiani sono presenti sia con le attrezzature dell'Osservatorio europeo dell'emisfero australe e dell'agenzia spaziale europea di cui l'Italia fa parte, sia col grande telescopio binoculare appena inaugurato, sia col telescopio nazionale Galileo situato alle Canarie, con la grandiosa attrezzatura per la rivelazione dei neutrini situata sotto il Gran Sasso, con l'interferometro VIRGO, con la partecipazione alla strumentazione di PLANCK, il satellite che andrà a studiare dettagli ancora più fini di quelli osservati dai suoi predecessori, delle caratteristiche dell'universo all'età di 380000 anni, per citare solo le imprese maggiori. Speriamo che i giovani che si affacciano oggi al mondo della ricerca abbiano la possibilità di sfruttare tutti questi straordinari strumenti e di potere iniziare la loro carriera di ricercatori nelle nostre università, nei nostri istituti di ricerca, senza essere costretti ad emigrare.