

Un ringraziamento speciale va a tutti gli scienziati che ci hanno prestato tempo e pazienza allo scopo di realizzare un libro divertente e ricco di contenuti: Paolo Giommi e Sergio Colafrancesco dell'Agencia Spaziale Italiana, Patrizia Caraveo e Enrico Costa dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, Piergiorgio Picozza dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e Maria Cristina Lupi di Telespazio.



L'Agencia Spaziale Italiana è nata nel 1988 e in meno di due decenni si è affermata come uno dei più importanti attori mondiali sulla scena della scienza spaziale, delle tecnologie satellitari, dello sviluppo di mezzi per raggiungere ed esplorare il cosmo.

Grazie all'attività dell'ASI, la comunità scientifica italiana ha ottenuto successi senza precedenti nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, contribuendo, tra l'altro, a ricostruire i primi istanti di vita dell'Universo, compiendo passi fondamentali verso la comprensione delle innumerevoli e misteriose sorgenti di raggi X e gamma.

L'Agencia Spaziale Italiana ha dato inoltre importanti contributi all'esplorazione spaziale, costruendo strumenti scientifici che hanno viaggiato con le sonde NASA ed ESA alla scoperta di segreti del Sole, della Luna, di Marte, Venere, Giove e Saturno. Anche nelle missioni future, dai telescopi orbitanti di nuova generazione all'esplorazione di Mercurio e degli asteroidi, ci sarà un pezzo di Italia.

A cura di Giuseppina Pulcrano e Germana Galoforo
Diffusione della Cultura Aerospaziale
ASI - Agencia Spaziale Italiana
formazione.esterna@asi.it

Ettore Perozzi - Anna Parisi

ASTROPARTICELLE

UNA MATERIA MOLTO OSCURA

prefazione di
Margherita Hack

illustrazioni di Fabio Magnasciutti



Gli astri e le particelle ci raccontano la vita dell'Universo. Ma capire come avvengano le gigantesche esplosioni stellari, cosa si nasconda al centro di una galassia e da dove provenga l'incessante flusso di particelle elementari che colpisce la Terra non è stato facile. Lo dobbiamo soprattutto ai telescopi inviati nello spazio e agli acceleratori di particelle che indagano sulla struttura ultima della materia.

L'astrofisica e la fisica nucleare sono oggi unite più che mai, pronte a raccogliere la sfida di quella "materia oscura" che riempie il cosmo ma che non riusciamo ancora a vedere. Questo libro ti spiegherà ciò che si nasconde nel nucleo di un atomo e ti permetterà di dare uno sguardo all'Universo appena nato attraverso le parole degli scienziati che oggi come ieri si dedicano a svelare i misteri della natura.





Ettore Perozzi - Anna Parisi
illustrazioni di Fabio Magnasciutti

ASTROPARTICELLE

UNA MATERIA MOLTO OSCURA

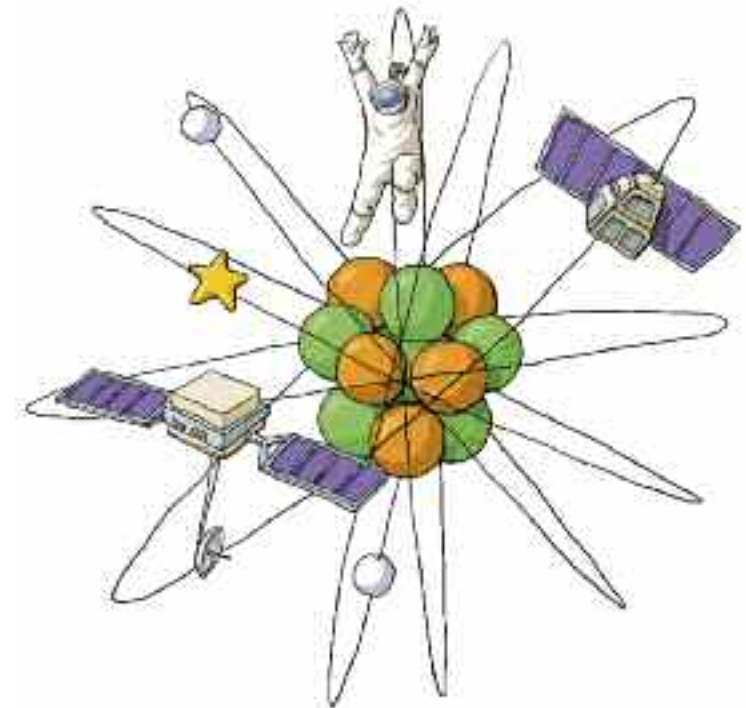
© 2009 Agenzia Spaziale Italiana
Tutti i diritti riservati, riproduzione vietata

Ideazione e coordinamento editoriale:
Giuseppina Pulcrano e Germana Galoforo

Progetto grafico e impaginazione: Massimiliano Navarra

Finito di stampare nel mese di ottobre 2009
presso Grafica Nappa - Aversa (CE)

prefazione di Margherita Hack



Prefazione

Che io sappia è la prima volta che un ente nazionale di ricerca, - l'Agenzia Spaziale Italiana, vigilata dal Ministero dell'Università e della Ricerca - e di ricerca altamente innovativa come la ricerca spaziale, pubblica una piccola collana di libri dedicati ai più piccini, ai bambini delle scuole elementari, comprensibile secondo me anche da quelli che ancora non sanno leggere e scrivere.

In quattro capitoletti, ricchissimi di illustrazioni, è spiegata la struttura della materia, la natura delle stelle, la stretta parentela fra massa e energia, sono descritte le straordinarie macchine per studiare l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande e giungere a ricostruire la struttura e l'evoluzione dell'universo.

Il primo capitolo parte dell'intuizione di Leucippo e Democrito per spiegare l'atomo, "l'indivisibile", che indivisibile non è, il concetto di quantizzazione, di materia e antimateria, di particelle davvero elementari, in gran maggioranza instabili. E meno male che almeno il protone e l'elettrone sono stabili, altrimenti non ci saremmo nemmeno noi a studiarle.

Il secondo capitolo ci racconta cosa sono le stelle, come si formano, brillano e muoiono, e anche la nostra strettissima parentela con loro, visto che tutti gli elementi che costituiscono il nostro corpo, come pure tutto ciò che ci circonda, sono stati "costruiti" dalle stelle, in particolare da stelle molto più grosse del nostro Sole, che in una colossale esplosione alla fine della loro vita sparpagliano nello spazio gli elementi prodotti nel loro interno. Siamo davvero figli delle stelle. Quella che sembrava una canzone per uno dei tanti festival canori, racchiude invece una profonda verità.

Il terzo capitolo tratta dell'equivalenza fra massa e energia, della ricerca di qualcosa che non sappiamo se c'è veramente, il bosone

di Higgs, il supposto padre di tutte le particelle, e della ricerca di qualcosa che c'è ma che non sappiamo cosa sia, la materia oscura.

Infine il quarto capitolo dispone ormai delle nozioni necessarie per poter descrivere quello che supponiamo sia l'inizio dell'universo, di quello che succede e come si modifica la materia dalle prime frazioni di secondo a oggi, quasi 14 miliardi di anni dopo, tutte informazioni portateci dalla luce, quella a cui sono sensibili i nostri occhi, e quelle altre specie di luce, le radiazioni elettromagnetiche osservabili solo dallo spazio, con strumenti situati su satelliti artificiali.

Va dato atto agli ideatori e coordinatori di questo progetto di aver saputo esporre concetti di fisica complessi con linguaggio estremamente semplice, mantenendo rigore scientifico.

Forse i giovani lettori saranno incoraggiati a intraprendere studi scientifici, a diventare astrofisici o fisici particellari, o magari astronauti. È di poche settimane fa la notizia che dei sei nuovi astronauti prescelti dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) ben due sono italiani e uno di questi è una ragazza, Samanta Cristoforetti, una pilota dell'aviazione militare, che sarà la prima donna spaziale europea.

Margherita Hack

Prologo

Se tu pensi che sulla Terra accadano cose strane e circolino buffi individui è perché non puoi nemmeno immaginare cosa succede in cielo! Conosci i buchi neri? Sai cos'è una supernova? Hai già sentito parlare del Big Bang? Be' in questo libro troverai anche ipernove e blazar, lampi gamma, l'antimateria e la materia oscura, le particelle elementari e gli oggetti supermassicci. Il cielo è il miglior "laboratorio all'aperto" che si possa immaginare: qui lo studio dell'universo e della struttura della materia unisce l'infinitamente grande all'infinitamente piccolo con un salto mozzafiato.

Il merito va soprattutto alla collaborazione tra scienziati e agenzie spaziali che insieme hanno realizzato gli "osservatori orbitanti", un nuovo, formidabile strumento per moltiplicare gli occhi degli astronomi. Grazie ad essi oggi sappiamo che l'universo non è il posto tranquillo che ci appare nelle notti stellate ma sede di fenomeni di una violenza inaudita: esplosioni di supernove, scontri tra galassie, creazioni di buchi neri e così via. Allo stesso tempo gli acceleratori di particelle costruiti sulla terra cercano di riprodurre in maniera controllata ciò che avviene negli eventi cosmici.

L'Agenzia Spaziale Italiana partecipa all'avventura dell'astrofisica delle alte energie non solo in collaborazione con altri paesi ma anche realizzando un proprio programma spaziale. Dal centro spaziale Luigi Broglio, che si trova in Kenya, vicino all'equatore, grandi antenne mantengono il contatto con i satelliti che osservano l'universo dall'orbita circumterrestre. L'ASDC (ASI Science Data Center), il Centro Dati Scientifici dell'ASI mette a disposizione degli scienziati tutto questo per far compiere loro nuove, affascinanti scoperte.

ATOMIZZATI!

Oggi i telescopi in orbita attorno alla Terra fanno a gara con gli acceleratori di particelle per soddisfare una delle più grandi curiosità dell'uomo: di che cosa è fatto l'universo in cui viviamo?

Questa storia è lunga e affascinante. Inizia nell'antica Grecia, attraversa l'Italia, l'Europa, l'America, arriva nello spazio... e chissà dove ci porterà in futuro!

Idee nella culla

Intorno al 450 a.C a Mileto, in una città greca sulle coste dell'Asia Minore (oggi Turchia), troviamo Leucippo, un grande pensatore.



Era affascinato dall'idea che tutto ciò che vediamo potesse essere formato da tanti pezzetti di materia indivisibili: li chiamò "atomi" perché in greco la parola atomo vuol dire appunto "indivisibile". Leucippo era convinto che mettendo questi pezzetti insieme in modo intelligente sarebbe stato possibile costruire qualsiasi cosa.

L'idea in effetti funziona: se prendi dei mattoncini per costruzioni, tutti uguali e indivisibili, puoi costruirci una casa, una barca, un'astronave o quello che vuoi: basta solo metterli insieme in modo diverso. Facciamo due chiacchiere con Democrito, l'allievo preferito di Leucippo.

Le metà della metà

– Se prendi un pezzo di materia qualsiasi, che so, un bastone di legno e lo tagli a metà, i 2 pezzi che ottieni li tagli ancora a metà,



ancora a metà, e poi a metà e a metà e ancora a metà e a metà della metà... cosa ottieni?

– *Be', ottengo pezzettini di legno piccolissimi.*

– E puoi tagliarli ancora a metà?

– *Sì, anche se molto piccoli, penso di poterli ancora tagliare.*

– E allora devi tagliarli. Devi tagliarli a metà ogni volta che puoi, devi smetterla di tagliarli solo se non puoi tagliarli più. Se non puoi tagliarli più sei arrivato a pezzetti grandi "un atomo". L'atomo, infatti, è indivisibile, non si può tagliare.

– *Questo lo dici tu, io posso sempre pensare di tagliarli ancora a metà, i tuoi "atomi".*

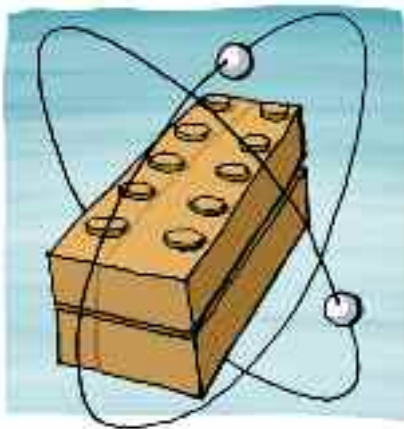
– Sì, ma se non ti fermassi mai, allora alla fine arriveresti a pezzetti di grandezza zero: se fossero più grandi, infatti, potresti continuare a tagliarli.

- *Ho capito: con pezzetti di grandezza zero è come dire che non esistono e quindi...*
- ... quindi come faresti a ricostruire il bastone di legno mettendo insieme dei pezzetti grandi zero?

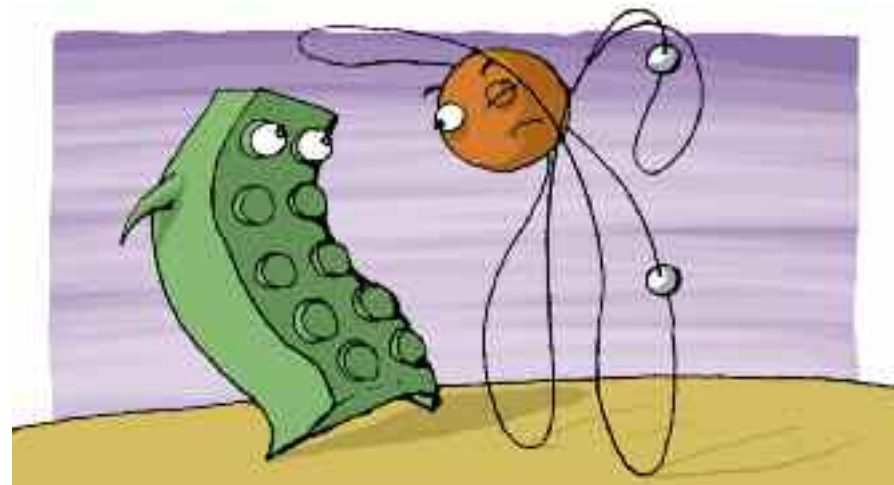


Salto spaziotemporale

Insomma, il ragionamento di Democrito è il seguente: o la materia è composta da tanti mattoncini, piccoli ma indivisibili, oppure è composta da mattoncini grandi zero, ma dato che questo è impossibile... gli atomi devono per forza esistere.



Nonostante l'idea sia abbastanza semplice e intuitiva, per continuare la storia dell'atomo dobbiamo fare un salto di 22 secoli e 2200 chilometri. Eccoci all'inizio del 1900, a Copenhagen (capitale della Danimarca, la patria dei più diffusi mattoncini per costruzioni), nello studio di Niels Henrik David Bohr, il "padre" dell'atomo moderno. Puoi fargli qualche domanda.



- *Allora Niels, hai trovato gli atomi di Democrito? Sono veramente indivisibili?*
- Sì e no.
- *Ti sembra una risposta da scienziato, questa?*
- Volevo dire che sì gli atomi esistono ma no, non sono indivisibili.

Le cose si complicano

- Prendiamo alcuni elementi naturali, ad esempio l'idrogeno, l'ossigeno, il carbonio, il ferro, oppure, perché no? l'oro: ciascuno di essi è formato da atomi e gli atomi di ogni elemento sono uguali tra loro ma diversi da quelli di un altro elemento.



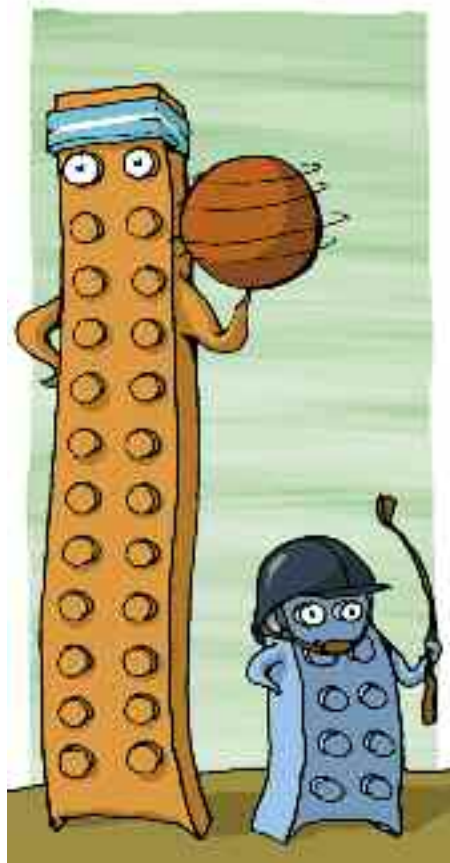
- *Quindi esistono diversi tipi di atomi invece di uno solo: in fondo*

anche i mattoncini per le costruzioni hanno forme diverse.

– Già, ma la vera differenza è che questi atomi “moderni” non sono indivisibili! All’inizio, quando abbiamo scoperto che ogni elemento era formato da particelle piccolissime tutte uguali tra loro, le abbiamo chiamate “atomi” perché abbiamo pensato di aver finalmente trovato gli “indivisibili”. Ma a forza di fare esperimenti abbiamo scoperto che questi atomi erano fatti da altre particelle ancora più piccole.

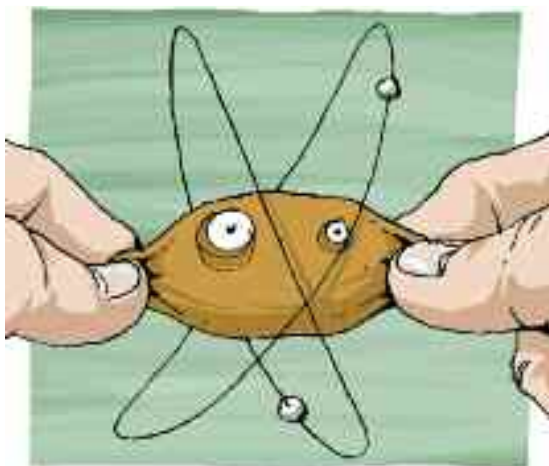
– Insomma avete diviso gli indivisibili atomi!

– Esatto. Nel 1922 mi hanno dato il premio Nobel con la motivazione: “per i servizi resi nell’indagine sulla struttura degli atomi e della radiazione che emana da essi”.



– Aspetta un attimo: atomi ex-indivisibili, nuove particelle, radiazioni che escono dagli atomi... le cose si stanno complicando un po' troppo, non credi?

– Hai ragione, ricominciamo quasi da capo.



Dentro l'atomo

– Di cosa è fatto un atomo?

– Al momento ci sembra che ogni atomo sia composto da una parte centrale, che abbiamo chiamato “nucleo” attorno al quale girano gli elettroni, che sono particelle molto più piccole del nucleo. Non solo: gli elettroni hanno carica elettrica negativa mentre il nucleo è carico positivamente.

– Cioè come i due poli di una pila? Ma che c'entra ora la carica elettrica?

– È importante perché due particelle con carica opposta (una negativa e una positiva) si attraggono, mentre due particelle con carica uguale (tutte e due positive o tutte e due negative) si respingono.

– E allora perché gli elettroni negativi non cadono sul nucleo positivo?

– L'atomo somiglia ad un minuscolo sistema solare: anche i pianeti sono attratti dal Sole, ma non ci cadono sopra, perché ci girano attorno sulle loro orbite. Nell'atomo la cosa è un po' più complicata perché le orbite degli elettroni sono “quantizzate”.

– Che vuol dire?



C'è chi scende e c'è chi sale

– Vuol dire che gli elettroni possono girare intorno al nucleo solo occupando orbite ben precise. È un po' come se il nucleo si trovasse in fondo a una scala sui cui gradini si sistemano gli elettro-

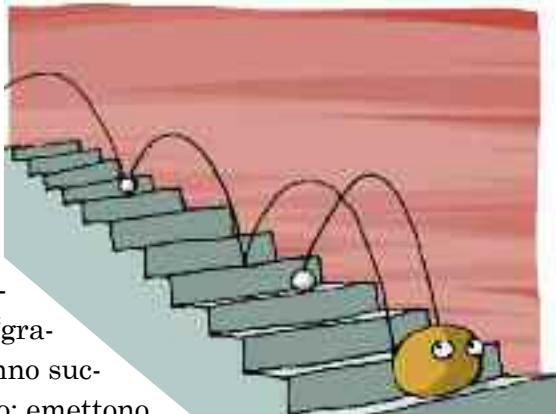
ni: mica possono stare a metà tra un gradino e l'altro, no? Ecco, noi fisici usiamo la parola “quantizzazione” quando ci troviamo davanti a un fenomeno “a gradini” come questo.

– *E i poveri elettroni possono almeno scendere o salire le scale “atomiche”?*

– Sì, ogni volta che cambiano orbita cambiano “gradino”, ma quando lo fanno succede anche qualcos'altro: emettono radiazione quando scendono un gradino e la assorbono quando lo salgono.

– *Ora capisco perché ti hanno dato il Nobel!*

– Già, l'emissione di radiazione e la struttura interna di un atomo sono indissolubilmente legati tra loro, così studiando la radiazione che emettono, siamo riusciti a capire la struttura degli atomi, come sono fatti.



Uno per TUTTI

Prendiamo l'atomo più semplice che c'è: quello di idrogeno.

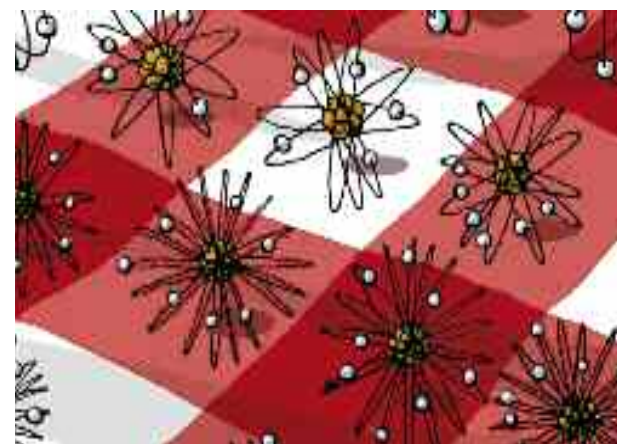
Ha un nucleo di massa pari a $1,6726231 \times 10^{-27}$ kg: per capire quanto è poco devi sapere che servirebbero 1.000.000.000.000.000.000.000.000 (un miliardo di miliardi di miliardi) di nuclei di atomi di idrogeno per raggiungere il peso di un pacco di zucchero da 1 chilogrammo.

Quello che importa, però, non è quanto pesi un nucleo di un

atomo di idrogeno ma il fatto che TUTTI i nuclei di idrogeno abbiano esattamente lo stesso peso e la stessa carica elettrica, che per comodità indicheremo con +1 (carica elettrica positiva). E ancora: TUTTI gli atomi di idrogeno, oltre al nucleo, hanno uno e un solo elettrone che gli gira intorno. Come forse ormai avrai capito da tutti questi TUTTI, si deduce che tutti gli elettroni hanno esattamente la stessa massa e la stessa carica elettrica, che indicheremo con -1 (carica elettrica negativa).

Tutti a tavola!

Unendo idealmente gli atomi di idrogeno possiamo “costruire” tutti gli altri atomi, riempiendo a poco a poco una tabella, la “tavola periodica



degli elementi” (la vedi nella figura qui sotto) che mette in ordine gli elementi naturali di cui è composta la materia. Ad esempio l'elio ha un nucleo di carica elettrica +2 e intorno a lui girano 2

H	— idrogeno																He
Li	Be	ferro										B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	+Ac															
											oro	mercurio					

Tavola periodica degli elementi

elettroni: vicino al suo simbolo (He) in alto a sinistra viene riportato il numero 2; l'elemento numero 8 è l'ossigeno (O), il suo nucleo ha carica +8 e indovina un po' quanti elettroni girano intorno a lui? È ovvio: 8! Il ferro (Fe) ne ha 20 e l'oro (Au), che è un metallo davvero pesante, ne ha 79. E così via: ogni volta che la carica elettrica del nucleo cresce di 1 passiamo da un elemento a un altro e aumenta di 1 anche il numero di elettroni che gli girano intorno.



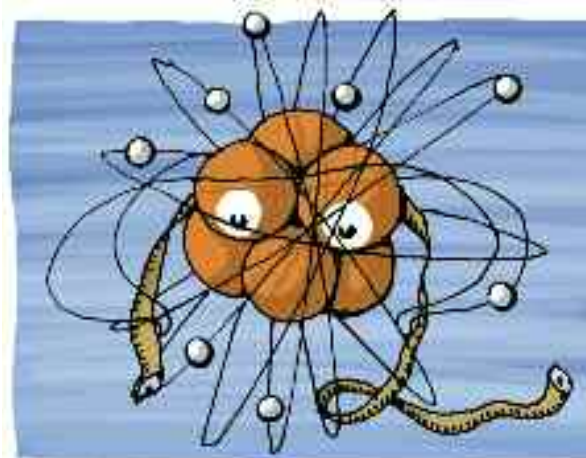
Arrivano i protoni

In un atomo dunque, la carica elettrica del nucleo viene controbilanciata esattamente dal numero di elettroni che gli girano



intorno. Si può quindi pensare che il nucleo sia composto da particelle tutte uguali, ognuna di carica +1: i protoni. Il nucleo di idro-

geno sarebbe quindi composto da 1 protone, quello di elio da 2 protoni (e quindi ha carica $1+1=2$), quello di ossigeno da 8 protoni (la sua carica elettrica totale è $1+1+1+1+1+1+1+1=8$). Ma, se i conti tornano dal punto di vista della carica elettrica, non si può dire altrettanto per la massa degli atomi. In realtà un nucleo di elio è



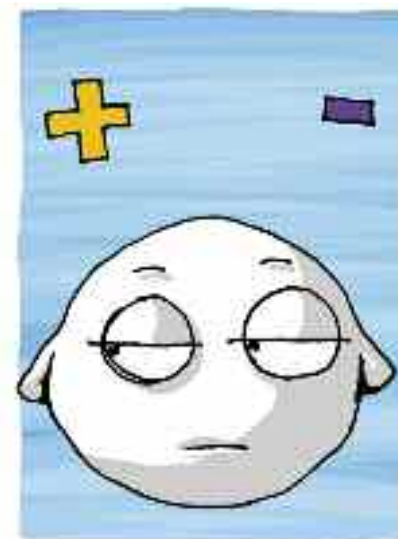
circa 4 volte più pesante di un nucleo di idrogeno: se fosse formato da 2 protoni dovrebbe pesare solo il doppio! E non si tratta di un'eccezione: anche la massa del nucleo di ossigeno è circa 16 volte quella del nucleo di idrogeno (invece di 8 volte).

L'oro arriva a 197 (invece di 79). Insomma, tutti gli atomi sono in sovrappeso: come mai?

Una nuova particella!

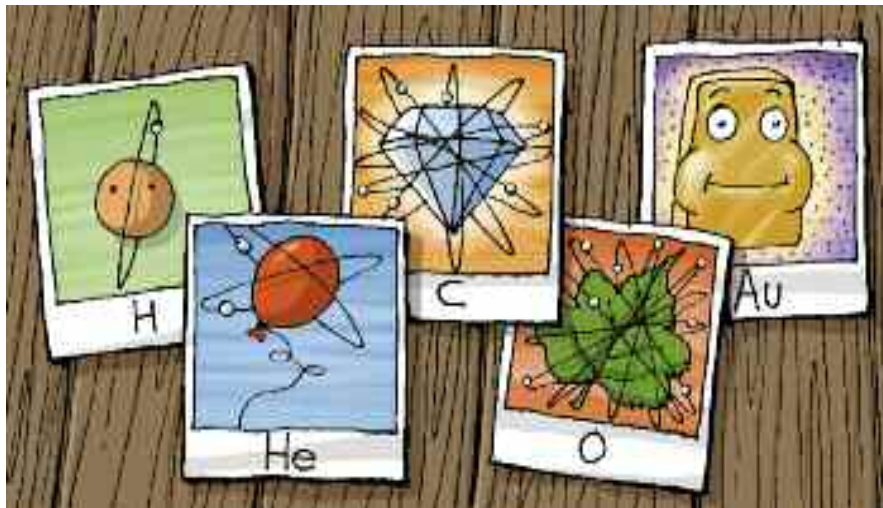
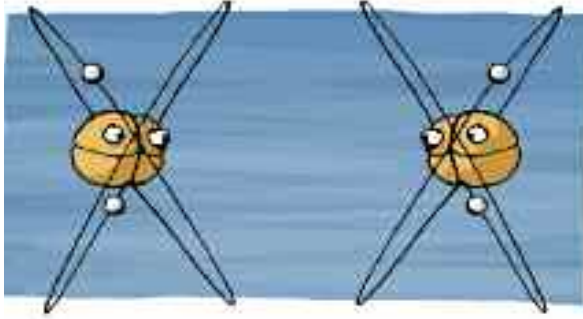
Partendo da questo indizio e a forza di esperimenti, nel 1932 i fisici hanno scoperto una nuova particella che si trova nei nuclei degli atomi.

La sua massa è quasi uguale a quella del protone, ma non ha carica elettrica, è elettricamente neutro, e per questo è stato chiamato... neutrone!



Riassumendo

- Ogni elemento è formato da atomi uguali tra loro.
- Gli atomi sono formati da nuclei che contengono neutroni e protoni, intorno al nucleo girano gli elettroni che sono tanti quanti i protoni.
- Il numero di protoni presente nel nucleo definisce l'elemento.
- Il numero di neutroni in un nucleo è circa uguale al numero di protoni ma può anche essere un poco più grande o un poco più piccolo.
- Il numero di neutroni è l'unica differenza che ci può essere tra un atomo e un altro di uno stesso elemento (due atomi con uguale numero di protoni ma non di neutroni si chiamano "isotopi").



Materia straordinaria

Queste regolette valgono per la "materia ordinaria", cioè quel-



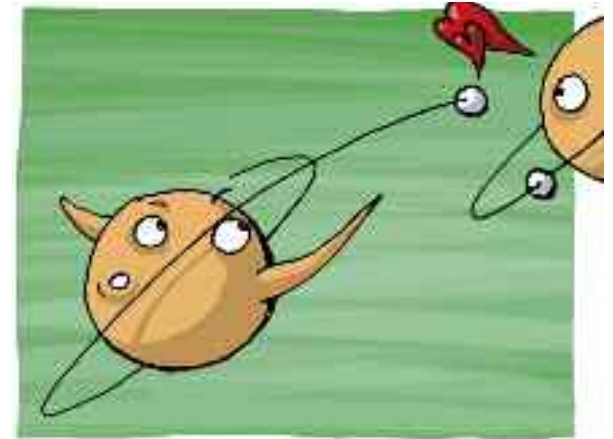
Un raggio cosmico entrando nell'atmosfera provoca la produzione di particelle elementari in cascata

la che manipoliamo normalmente sulla terra. Ma dal cielo arrivano delle novità: si chiamano "raggi cosmici" e sono nuclei atomici e particelle che viaggiano per l'universo soli soletti e a gran velocità. Si tratta soprattutto di protoni (cioè di atomi di idrogeno senza elettrone) che, sbattendo contro gli

atomi e le molecole dell'aria, producono altre particelle dai nomi strani, come i muoni o i pioni. In effetti, è stato proprio studiando i raggi cosmici che abbiamo avuto la conferma che esistevano altri tipi di particelle oltre ai "normali" protoni, neutroni ed elettroni.

Così la caccia agli "indivisibili" ha unito cielo e terra: se ci pensi

un protone "cosmico" che piomba nell'atmosfera a tutta birra non è molto diverso dal bombardare i nuclei degli atomi con delle particelle elementari, cioè uno dei passatempi preferiti dei fisici nucleari.



Ce lo ricorda un altro grandissimo fisico: Paul Adrien Maurice Dirac (P.A.M. per gli amici...).

PAM!

– Era il 1930 se non ricordo male, e io cercavo una formula matematica che descrivesse il moto di un elettrone ma che rispettasse anche la teoria della relatività di Einstein che, sebbene fosse piuttosto giovane... la teoria voglio dire, non il buon vecchio Albert...

– *Oddio, ci mancava la teoria della relatività! Non vorrai mica attaccare a spiegarla adesso?*

– No, non c'è tempo, non ti preoccupare. Comunque alla fine l'avevo trovata una bella equazione. Peccato che aveva un difetto.

– *Quale?*

– Aveva 2 tipi di soluzioni invece di uno solo... il primo

corrispondeva all'elettrone, mentre il secondo mi dava da pensare... si adattava perfettamente a una particella identica all'elettrone, ma con carica elettrica di segno opposto, positiva invece che negativa.

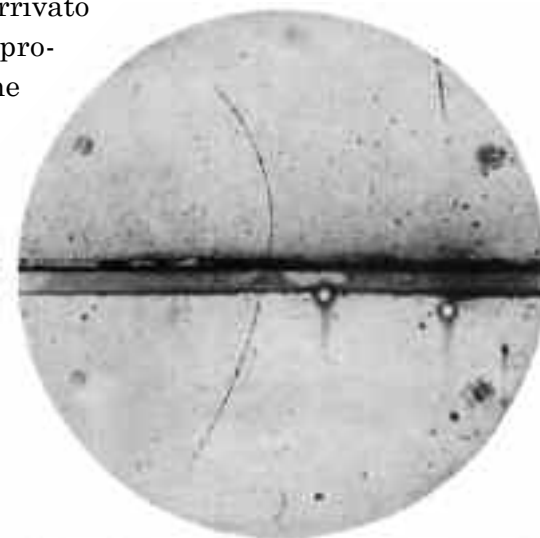
– *Embé?*



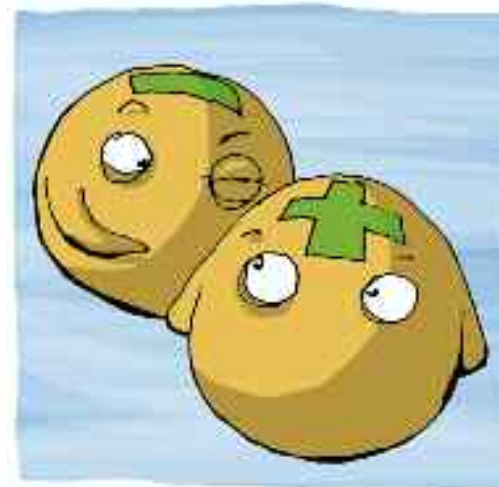
– Embé non esisteva nessuna particella così! Fui molto fortunato, però, e solo pochi anni dopo, nel 1933, il mio giovane collega Carl Anderson l'ha trovato, il "positrone", l'antielettrone, la particella identica all'elettrone ma con carica positiva.

– *E dove? Per strada?*

– No, dall'alto era arrivato questo positrone, prodotto dall'interazione tra i raggi cosmici e la nostra atmosfera. E aveva lasciato una chiarissima, bellissima traccia nell'apparato sperimentale di Carl, un marchingegno che serviva per andare a caccia di particelle elementari.



Questa è la foto pubblicata da Carl Anderson. La curva scura indica la traiettoria di un positrone



Materia antimateria

All'inizio non fu facile accettare l'esistenza dell'antimateria: sia le predizioni di Dirac che i risultati di Anderson trovarono degli illustri oppositori, ma oggi sappiamo che ogni particella ha un'anti-



particella corrispondente. Non è solo un problema di carica elettrica opposta; quando una particella e la sua antiparticella si incontrano, si “annichilano” cioè si distruggono, scompaiono emettendo energia. Nei nostri laboratori o tra le particelle prodotte dai raggi cosmici, di antimateria ne vediamo

in quantità, ma non solo: sai che il tuo corpo emette antimateria? Proviene dagli atomi di potassio presenti nelle tue ossa. Se pesi intorno ai 50 kg, emetti circa cento positroni all’ora!

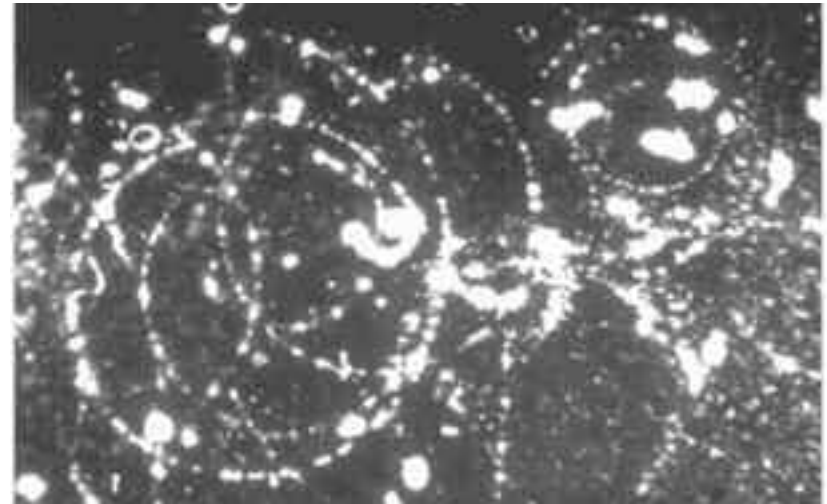
Fermi tutti!

Uno dei primi e più famosi cacciatori di particelle e antiparticelle è stato il grande fisico italiano Enrico Fermi, nato a Roma nel 1901 e emigrato in America quando, all’epoca del fascismo, vennero varate le leggi razziali contro gli ebrei (lo erano la moglie Laura e alcuni suoi collaboratori).



– Ho vinto il Nobel nel 1938 per i miei studi sui nuclei atomici: cercavo di capire come mai alcuni di loro emettevano radiazioni e particelle elementari sia spontaneamente, sia dopo che li avevamo bombardati con dei neutroni.

- Sono tutt’orecchi: i nuclei emettono nuove particelle?
- Sì, una delle particelle che sarà più alla moda nel futuro in cui vivi tu: il neutrino. È il più leggero tra le particelle, senza carica elettrica, è quasi impossibile “vederlo”...
- Perché hai usato il verbo vedere tra virgolette?
- Le particelle non si vedono in senso normale, quello che si vede sono le tracce che lasciano passando negli apparecchi sperimentali e queste tracce sono dovute alle interazioni con le altre particelle.
- È come quando sento il rumore di un aereo ma vedo solo la striscia bianca che lasciano i suoi motori nel cielo?



Tracce lasciate da particelle cariche che attraversano una camera a nebbia

- È un paragone più vicino alla realtà di quello che pensi. I primi rivelatori di particelle si chiamavano “camere a nebbia” perché il passaggio di una particella carica faceva condensare la nebbia contenuta in una scatola proprio lungo la sua traiettoria. Ma una particella piccolissima e senza carica come il neutrino non interagisce praticamente con niente: potrebbe tranquillamente attraversare la Terra da parte a parte senza rivelare la sua presenza.
- E allora come avete fatto ad accorgervi di lui?

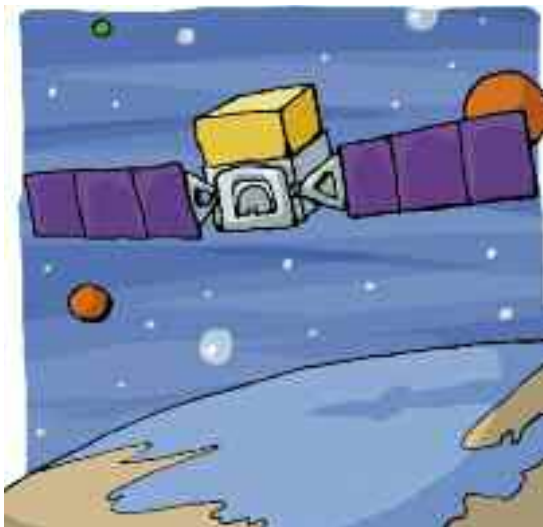
- Perché mancava dell'energia. Dentro alcuni nuclei atomici avviene una cosa molto importante, che è anche alla base del funzionamento delle stelle: un protone si trasforma in neutrone. Nel fare ciò viene emesso un positrone, ma non basta, perché secondo i nostri calcoli durante questa reazione scompariva dell'energia, come



se qualcuno se la portasse via. Così il grande fisico austriaco Wolfgang Pauli ipotizzò l'esistenza di una particella "invisibile": il neutrino. Ai tempi l'idea sembrava talmente assurda che anche Pauli quasi se ne vergognava.

Futurama

- *E tu sei sicuro che esista per davvero?*
- Oh sì, anzi, ai tempi tuoi avranno "visto" addirittura 3 tipi diversi di neutrini, con i loro rispettivi antineutrini... ovviamente! Puoi starne certo: lo studio dei neutrini e delle radiazioni di alta energia che arrivano fino a noi da ogni angolo del cosmo diventerà uno degli strumenti più importanti per capire l'origine e l'evoluzione dell'universo.
- *Fantastico! Ma adesso voglio dirtela io una cosa che non sai...*
- Davvero?
- *Gli Stati Uniti hanno lanciato un satellite artificiale che ha preso il tuo nome: il telescopio Spaziale Fer-*

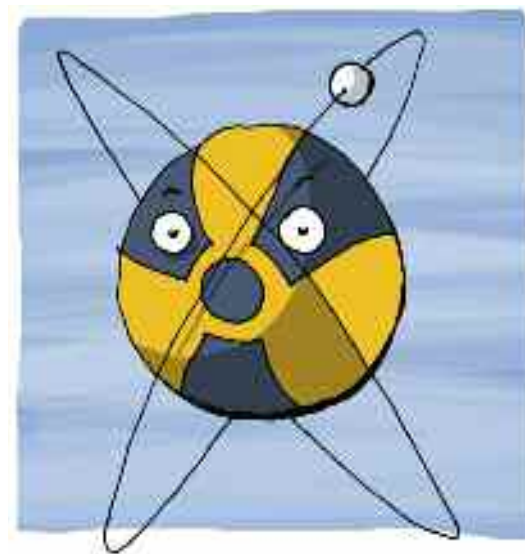


mi osserva l'universo per captare i raggi gamma di origine cosmica.

- Sono contento che gli americani abbiano usato il mio nome!
- *È un bel riconoscimento per il tuo genio e anche per il nostro paese che partecipa alla missione. Infatti l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e l'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) hanno contribuito alla realizzazione del progetto americano, così anche i fisici e gli astronomi italiani possono usare il tuo "omonimo spaziale" per le loro ricerche.*

Sempre più dentro

I neutrini, quindi, devono essere aggiunti alla lista delle nostre particelle. Ma non solo. Oggi sappiamo che protoni e neutroni sono formati da particelle ancora più piccole: i quark. Nei raggi cosmici e nei laboratori, abbiamo trovato poi altre nuove particelle formate da nuovi quark. Alle pagine 26 e 27 puoi trovarli tutti. Guarda che nomi buffi hanno! Ad esempio "charm" significa fascino, anche se non è che un quark abbia fascino, è solo un bel nome.



Elementare, elementare

Gli elettroni contrariamente ai protoni e ai neutroni, sono rimasti delle particelle elementari nel vero senso della parola, cioè non sono formate da altre particelle. Le particelle elementari che non sono formate da quark si chiamano leptoni e oggi ne conoscia-

mo altre due, oltre ai neutrini, che sono andate a far compagnia agli elettroni. Dato che non è facile raccapezzarsi in mezzo a tutte queste particelle, qui di seguito trovi la tabella delle 3 famiglie di leptoni, delle 3 famiglie di quark a noi note e delle loro rispettive particelle di anti materia.

Vite spericolate

I quark non possono stare da soli, quindi si combinano insieme a formare gli adroni con tanto di carica elettrica, che però è sempre un multiplo intero della carica dell'elettrone o del protone.



Ad esempio un protone è un adrone composto da due quark **u** e uno **d**, la sua carica elettrica sarà quindi $2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$.

Il motivo per cui è difficile scoprire la maggior parte di queste particelle è che non sono stabili, ma tendono a “decadere”, cioè a trasformarsi in altre particelle. In un certo senso hanno una “vita” molto breve e come spesso accade nella fisica atomica, che è piena di eccessi, ciò vuol dire esageratamente breve: qualche milionesimo di secondo o ancora di meno! Per fortuna l'elettrone e il protone non decadono praticamente mai... altrimenti non esisterebbe una materia stabile e quindi nemmeno noi!

Tabella Particelle Elementari

materia: **leptoni**

carica elettrica	-1		0
<i>elettrone</i>	e^-	<i>neutrino elettronico</i>	ν_e
<i>muone</i>	μ^-	<i>neutrino muonico</i>	ν_μ
<i>tauone</i>	τ^-	<i>neutrino tau</i>	ν_τ

materia: **quark**

carica elettrica	+2/3		-1/3
<i>up</i>	u	<i>down</i>	d
<i>charm</i>	c	<i>strange</i>	s
<i>top</i>	t	<i>bottom</i>	b

antimateria: **anti leptoni**

carica elettrica	+1		0
<i>positrone</i>	e^+	<i>anti neutrino elettronico</i>	$\bar{\nu}_e$
<i>anti muone</i>	μ^+	<i>anti neutrino muonico</i>	$\bar{\nu}_\mu$
<i>anti tauone</i>	τ^+	<i>anti neutrino tau</i>	$\bar{\nu}_\tau$

antimateria: **anti quark**

carica	-2/3		+1/3
<i>anti up</i>	\bar{u}	<i>anti down</i>	\bar{d}
<i>anti charm</i>	\bar{c}	<i>anti strange</i>	\bar{s}
<i>anti top</i>	\bar{t}	<i>anti bottom</i>	\bar{b}

Traduzione dei nomi dei quark:

- up = su
- down = giù
- charme = fascino
- strange = strano
- top = il più alto
- bottom = il più basso

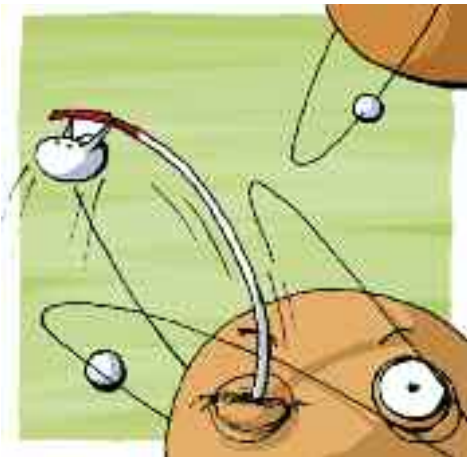
UNA VITA DA STAR

Lo sbrilluccichio di stelle e pianeti ha sempre ispirato domande importanti: cosa muove i corpi celesti? Lo spazio è vuoto? Quanto è grande l'universo? Di cosa sono fatte le stelle? Oggi sappiamo un po' di risposte anche se non abbiamo spedito una flotta di astronavi a esplorare la galassia. Il fatto è che abbiamo imparato a studiare il flusso di radiazione e di particelle elementari che arriva sulla Terra dallo spazio e a capire cosa poteva insegnarci.



Piccolo grande atomo

Innanzitutto abbiamo analizzato la luce delle stelle tenendo bene a mente quello che avevamo scoperto sulla struttura dell'atomo. Ti ricordi che quando un elettrone "salta" da un'orbita ad un'altra emette (o assorbe) radiazione? Ad ogni "salto" corrisponde un ben preciso tipo di luce e dato che ciascun elemento ha una sua struttura atomica a cui è associata una particolare sequenza di "salti", ecco il



modo con cui sapere se gli elementi che sono sulla Terra si trovano anche nell'universo a formare stelle, nebulose e galassie. Non è mica ovvio sai? Che ne sappiamo noi, che viviamo su un minuscolo pianettino roccioso alla periferia di una galassia qualunque, di quello che succede nel grande universo?

Idrogenizzati!

Il caso dell'idrogeno è il più semplice e il più importante. Un atomo di idrogeno è "eccitato" quando il suo unico elettrone si trova su un'orbita lontana dal nucleo, cioè è "saltato" su un gradino più alto. Nel ritornare al suo stato normale, l'atomo emette un particolare tipo di luce ultravioletta, che gli scienziati chiamano "Lyman alfa", dal nome del suo scopritore, l'americano Theodore Lyman. Dato che gli astronomi l'hanno trovata un po' ovunque nell'universo, ne hanno dedotto che l'idrogeno è il costituente principale della materia visibile. In maniera analoga sono stati individuati praticamente tutti gli altri elementi: i "mattoncini" con cui è stata costruita la Terra sono gli stessi di cui è fatto l'intero universo!

Parliamone con la dottoressa A.

A+A

– Dott. A, sei Astronoma o Astrofisica?



- In realtà tutte e due: l'Astrofisica è una "Astronomia Atomica". Usiamo quello che sappiamo della fisica e in particolare della fisica atomica, per studiare la vita delle stelle e dell'universo.
- *E cosa avete scoperto?*
- Innanzitutto che nell'universo esistono tanti tipi di stelle.
- *Proprio come i diversi popoli che abitano la Terra?*
- Sì. Immagina che osservare il cielo stellato sia come affacciarsi su



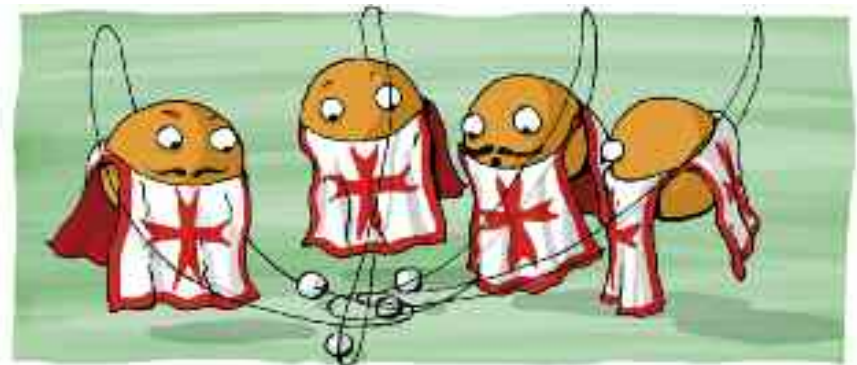
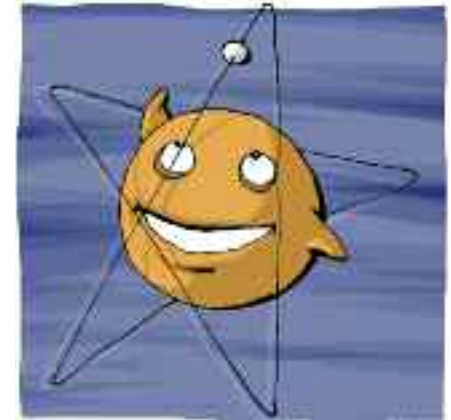
un mercato multi-etnico, in cui sono mescolate persone di etnie diverse e di tutte le età. Il tuo compito è mettere ordine in quel caos imparando a riconoscere i tratti caratteristici delle diverse popolazioni e a distinguere i bambini dagli anziani.

- *Divertente! Non mi sembra troppo complicato...*
- Guarda che le stelle non hanno mica la barba bianca, gli occhi a mandorla o le guance paffute! Quando ci siamo posti il problema non sapevamo nemmeno quale fosse l'aspetto delle stelle giovani o di quelle "anziane".
- *E ora lo sapete come nasce e come invecchia una stella?*



Evoluzione stellare

- Gli atomi di idrogeno che se ne vanno in giro per l'universo tendono ad aggregarsi in nubi di materia. All'interno di queste nebulose si formano dei "grumi" più densi.
- *Delle "palle" di idrogeno?*
- Sì, delle palle di idrogeno calde e compatte.
- *E questo gas compatto e caldo è una stella?*
- Non ancora: bisogna "accenderlo".
- *Scocca una scintilla?*
- Una scintilla atomica. Nel cuore di questi embrioni stellari, a causa della forza di gravità che tende a "compattare la materia", la pressione e la temperatura raggiungono dei valori altissimi, tanto da riuscire a spingere i nuclei di idrogeno (cioè i protoni) a unirsi per formare nuclei di elio. È un processo che i fisici atomici chiamano "fusione nucleare".
- *Certo, con 2 nuclei di idrogeno posso costruirne uno di elio.*
- Non è esatto: per fare un nucleo di elio servono 4 nuclei di idrogeno. È vero, infatti, che servono solo 2 protoni, ma hai dimenticato anche 2 neutroni, altrimenti i protoni si respingono e non formano il nucleo di elio.



- *E dove si trovano questi neutroni?*
- Alle altissime temperature che ci sono nel cuore delle stelle, può succedere che un protone si “trasformi” in un neutrone, un positrone (anti-elettrone) e un neutrino, proprio quella reazione di cui ti ha parlato Fermi. In questo modo vengono prodotti i neutroni che serviranno alla formazione dell’elio.

- *Ma perché brillano le stelle?*

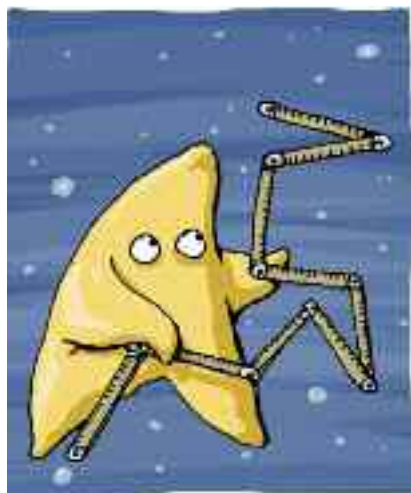
- Durante la fusione nucleare viene emessa della radiazione che scalda la stella fino a farle raggiungere in superficie le migliaia di gradi necessarie a farla splendere... come una stella!

- *Poi continua a splendere per sempre?*

- Tutto dipende dalla massa della stella: più è grande, più la stella avrà vita breve.

- *Ma scusa, se l'idrogeno è il “carburante” di una stella non dovrebbe essere il contrario?*

- Quando abbiamo cominciato a fare quelli che noi chiamiamo i “modelli di evoluzione stellare”, cioè dei programmi al computer che simulano la nascita, la vita e la morte di una stella, ci siamo accorti che una stella di grande massa brucia molto più rapidamente.



Tanto quanto?

- *Cosa vuol dire “grande” per una stella?*
- Il Sole ha un raggio di 700.000 chilometri, cioè più di cento vol-



te maggiore di quello della Terra. Se poi parliamo di massa, cioè della quantità di materia, allora ci vogliono 300.000 Terre per fare un Sole.

- *Urca!*

- Aspetta a meravigliarti, il Sole è una stella assolutamente nella media, tanto che noi astrofisici lo usiamo come una comoda unità di misura. Una stella “grande” può raggiungere alcune decine di masse solari.

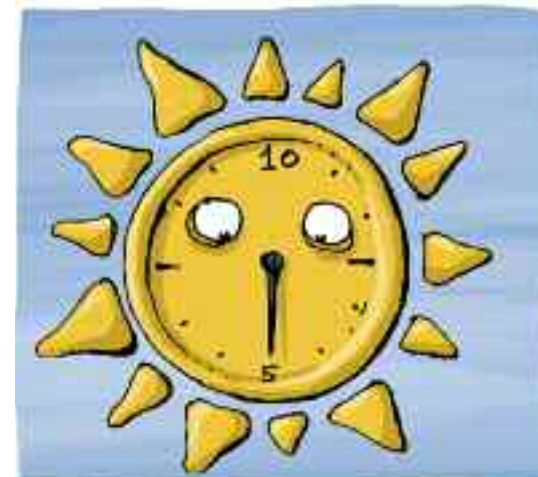
- *Avranno avuto una vita brevissima allora!*

- Il Sole si è formato circa cinque miliardi di anni fa, ed è a metà della sua vita. Stelle dieci volte più grandi durano appena qualche decina di milioni di anni, cioè pochissimo rispetto all’età dell’universo, che è di circa 14 miliardi di anni.

Funziona!

- *Tutte le stelle funzionano trasformando idrogeno in elio?*

- Tutte le stelle funzionano così per la maggior parte della loro vita, breve o lunga che sia. Poi, quando circa il 10% dell’idrogeno è stato trasformato in elio, il processo di



fusione dell'idrogeno si sposta in un cerchio un poco più esterno al nucleo della stella. Al centro della stella la temperatura cresce fino a quando è possibile fondere 3 nuclei di elio in un nucleo di carbonio, una reazione in grado di liberare una nuova enorme quantità di energia. Vista dal di fuori è una specie di esplosione che fa aumentare molto le dimensioni della stella, trasformandola in quello che noi chiamiamo una "gigante rossa".

– *Succederà anche al Sole?*

– Sì, quando verrà il suo turno si gonfierà fino a inglobare Mercurio e Venere e a toccare anche la Terra.

– *Ahi, ahì. Si sa quando?*

– Verso la fine della sua vita, che vuol dire tra circa 5 miliardi di anni. Puoi dormire sonni tranquilli. Se per allora la razza umana non si sarà estinta da sola, avrà buone probabilità di sopravvivere anche a questo, magari emigrando verso un pianeta simile alla Terra che gira attorno a un Sole più giovane.



Rosso di sera

– *Finisce così la vita di una stella?*

– Assolutamente no, anzi è proprio a questo punto che le cose si fanno interessanti... le fasi finali della vita di una stella ci regala-

no un susseguirsi di fuochi d'artificio davvero cosmici. Senza contare che è proprio grazie a questi "botti" se è potuto esistere un pianeta pieno di vita come la Terra.

– *Dimmi tutto allora!*

– Eravamo rimasti alla gigante rossa: si chiama così perché la stella aumenta il suo volume mentre la sua massa rimane uguale, di conseguenza pressione e temperatura diminuiscono e quindi il suo colore diventa più rosso. Lo si vede anche a occhio nudo.

– *Davvero?*

– D'estate, aiutandoti con una mappa del cielo, cerca la costellazione dello Scorpione: si vede bene nelle prime ore della notte, poco sopra l'orizzonte. Il cuore dello scorpione è Antares, una stella luminosissima e dai riflessi rossastri.



La costellazione dello Scorpione e la posizione della rossa Antares

Polvere di stelle

– Quello che succede dopo dipende ancora una volta dalla massa della stella. Se la stella è piccola, smette piano piano di brucia-

re, si raffredda, si rimpicciolisce e diventa una “nana bianca”, destinata prima o poi a spegnersi del tutto.

– *Il Sole finirà così?*

– Sì. Se invece la stella è più grande, l'attrazione gravitazionale è abbastanza intensa da compattare nuovamente la materia, al punto da ri-innescare i processi di fusione nucleare.

– *Si ricomincia a formare carbonio a partire da 3 nuclei di elio?*

– Sì, ma anche tanti altri elementi come, l'ossigeno, l'alluminio, il silicio, il ferro. Le stelle sono degli immensi forni che producono atomi complessi a partire da quello più semplice di tutti, l'idrogeno.



– *Ma allora tutti gli atomi che formano il mio corpo, l'ossigeno che respiro, l'alluminio della padella di mia madre e il ferro della mia bicicletta sono stati un tempo dentro una stella!*

– Esatto. Tutto (noi compresi) è “polvere di stelle”.

– *Wow! Esistono anche delle stelle tutte d'oro?*

– No, questo non è possibile: se una stella tentasse di produrre degli atomi più pesanti del ferro le reazioni nucleari invece di produrre energia la assorbirebbero.

– *E allora come fanno a esistere? Guardando la tavola periodica*

degli elementi vedo alcuni, come il mercurio (Hg) che hanno più di 80 protoni mentre il ferro ne ha solo 26!

– È a questo punto che nell'universo si accendono i fuochi d'artificio...

Bella lotta!

Quello che accade a una stella al termine del suo ciclo vitale è una specie di “braccio di ferro” tra due forze fondamentali: la gravitazione e l'elettromagnetismo. La gravitazione attrae verso il



centro gli strati via via più esterni della stella, così come tu sei attratto verso il centro della Terra. La repulsione tra i nuclei degli atomi gli si oppone impedendo agli atomi di avvicinarsi, nello stesso modo in cui due calamite si respingono se tenti di far combaciare due poli dello stesso segno. Se la stella ha una massa abbastanza piccola (cioè non più grande di una volta e mezza quella del Sole) vince la forza elettromagnetica e, come ti è stato appena spiegato, la stella rimpicciolisce fino a diventare “nana” e poi si spegne. Ma se la stella ha una massa maggiore è la gravitazione che vince: la stella crolla su se stessa, o come dicono gli astrofisici, collassa gravitazionalmente.

Gasp!

Il collasso di una stella non è una cosa tranquilla: come potrebbe esserlo? Alcune stelle cercano di liberarsi di parte della loro massa espellendo nello spazio gli strati più esterni e così si formano gli anelli di materia che si vedono nelle immagini astronomiche come quelle qui sotto. Ma alla fine la stella esplode, con un baglio-



La nebulosa "Occhio di gatto" (a sinistra) e le nubi di polveri e gas che circondano una stella supergigante rossa (a destra)

re che in alcuni casi è visibile anche in pieno giorno, come se nel cielo si fosse accesa una nuova stella: ecco perché sono state battezzate "supernove".

Grazie, stella!

Ed ecco anche perché siamo tutti "figli delle stelle": queste esplosioni così violente diffondono nell'universo gli elementi come l'ossigeno, l'alluminio, il silicio, il ferro, pa-



zientemente sintetizzati all'interno delle stelle durante la loro vita. Non solo: l'immensa energia di una supernova è proprio quello che serve per fondere gli atomi in elementi più pesanti del ferro. È così che sono stati creati tutti gli ingredienti di cui è composta la Terra, i suoi mari, le montagne, il nucleo ferroso al suo interno e la crosta rocciosa in superficie. Senza di essi lo sviluppo della vita sul nostro pianeta sarebbe stato impossibile.

Stelle di Neutroni

Una stella non muore mai del tutto: quello che rimane della stella dopo che è esplosa in supernova continua a collassare. Se la sua massa è inferiore a



circa tre masse solari il collasso si arresta quando si forma un corpo celeste densissimo, talmente denso che una Terra fatta così avrebbe un diametro di appena 100 metri! Questo "restringimento" è possibile perché un atomo è molto grande rispetto alle dimensioni del suo nucleo: i disegni degli atomi che hai visto finora non sono in scala, ma non è colpa del disegnatore! Se infatti il nucleo fosse gran-



de come la testa di una formina nel centro di un campo da calcio, allora tutto l'atomo sarebbe grande come il campo. Quindi gli elettroni, che sono più piccoli di ogni cosa piccola che tu possa immaginare, se ne vanno in giro all'interno di un grande spazio sostanzialmente vuoto. In una

stella che collassa sotto il “peso” della gravitazione, gli atomi si “schiacciano”, gli elettroni “cadono” sui nuclei che si avvicinano fino a quando non c'è più spazio né distinzione tra i nuclei e la stella diventa una densissima palla di neutroni.

Omini verdolini

Le stelle di neutroni hanno ingannato per un po' gli astronomi perché appaiono travestite da “pulsar”, che in inglese significa “pulsating star”, stella pulsante.



Il nome fu coniato nel 1967 quando furono scoperti dei segnali



radio provenienti dal cosmo che giungevano sulla Terra a intermittenza. Le emissioni delle pulsar erano talmente regolari che inizialmente gli astronomi pensarono a messaggi inviati da civiltà aliene e le soprannominarono scherzosamente “i piccoli omini verdi”. Ma in realtà erano stelle di

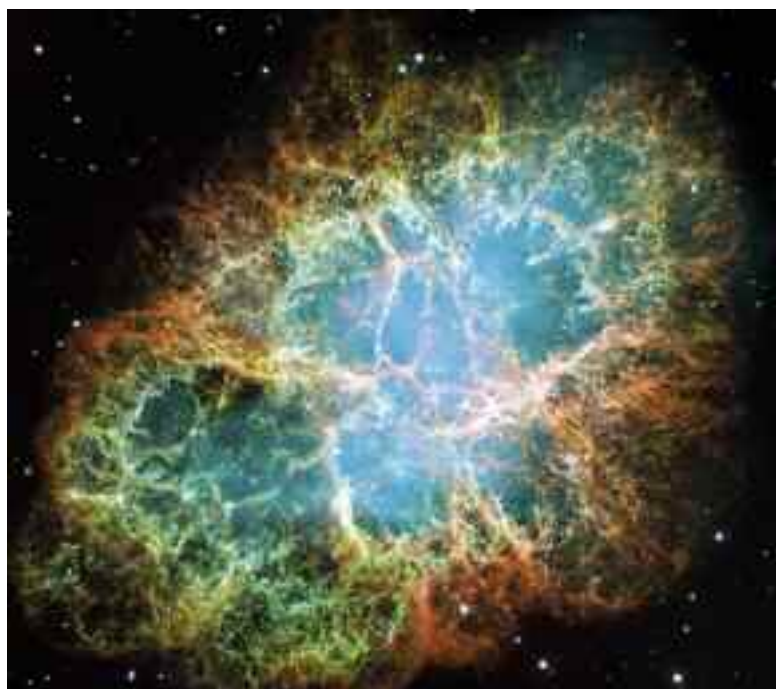
neutroni in rapidissima rotazione: per questo il segnale ci arriva intermittente, come la luce di un faro che, girando, appare e scompare regolarmente.

Non solo buchi neri

Quando nemmeno i neutroni riescono a fermare il collasso di una stella si formano i famigerati buchi neri. Con loro entriamo in quell'universo violento, appassionante e misterioso di cui si occupa l'astrofisica delle alte energie. Ma per studiarlo come si deve bisogna andare nello spazio. Parliamone con un esperto.



Attenzione: dietro a questa stella, nella costellazione del Cigno si nasconde un buco nero



La nebulosa del Granchio, famosa perché al suo interno sono stati captati per la prima volta i segnali intermittenti di una pulsar

- *Non possiamo studiare l'universo dal suolo?*
- No, non sempre. Sulla Terra ci arrivano un sacco di informazioni dall'universo ma non tutte quelle che ci servono, come ad esempio raggi ultravioletti, X e gamma.
- *Mi hanno insegnato a scuola che gli ultravioletti e i raggi X e gamma sono pericolosissimi!*

– È vero, sono radiazioni di alta energia e l'atmosfera terrestre, per proteggerci, le blocca. Per noi astrofisici però, quelle radiazioni sono importanti perché ci avvertono che qualcosa di grosso è avvenuto da qualche parte dell'universo. Quindi se vogliamo sapere "cosa e dove" dobbiamo acchiapparle nello spazio, prima che vengano assorbite completamente dall'atmosfera.

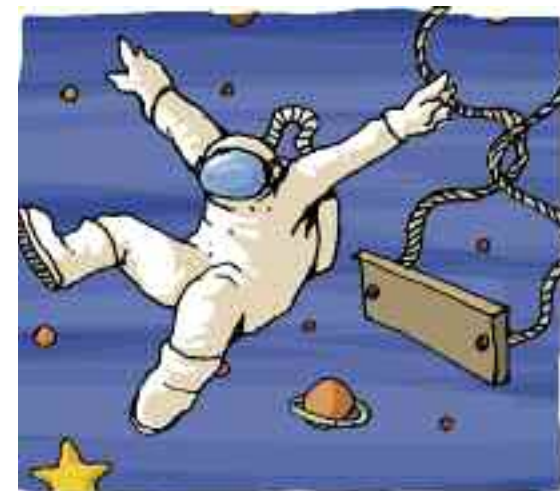


- *E i raggi cosmici?*
- Anche loro vengono fermati, ma in modo diverso: quando un protone lanciato a tutta velocità sbatte contro gli atomi e le molecole dell'aria produce una cascata di particelle elementari che giungono fino a terra. Vengono chiamati "sciame": così è stato osservato per la prima volta un positrone, ma anche un pione, un muone e molte altre particelle elementari.

Altissima, Leggerissima, Agilissima

- *Allora è per questo che siete dovuti andare nello spazio! Chi di voi è un astronauta?*

– Veramente io ho le vertigini sull'altalena, figuriamoci nello spazio. In realtà abbiamo trasferito nello spazio solo i nostri telescopi, montandoli su dei satelliti artificiali.



- *Funzionano lo stesso?*

– Perfettamente. Per esempio il satellite italiano AGILE, che vuol dire Astro-rivelatore Gamma a Immagini Leggero...

- *Perché leggero?*

– Fino a pochi anni fa gli strumenti in grado di rilevare il passaggio di raggi gamma

pesavano almeno una tonnellata mentre grazie a una tecnologia tutta italiana siamo riusciti a scendere a qualche decina di chili.

- *Accidenti! E come fa AGILE a effettuare un'osservazione astronomica?*

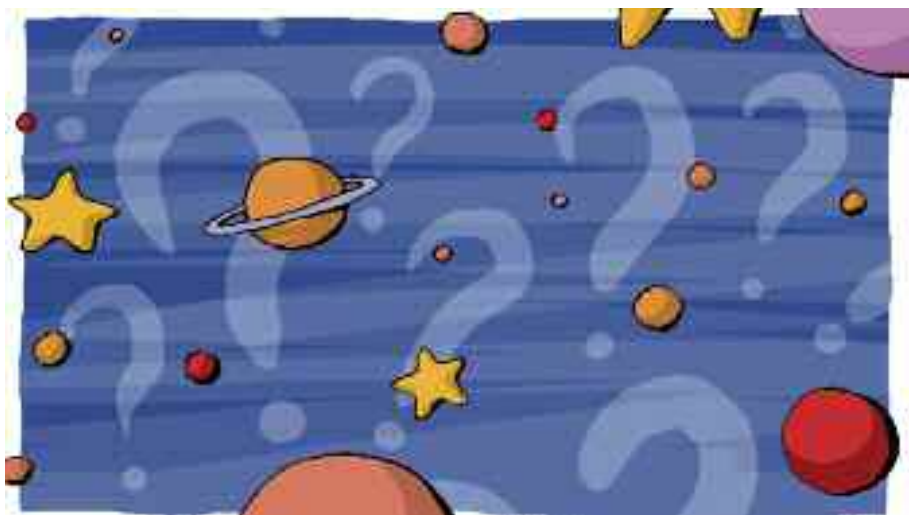
– Con l'aiuto dell'A-



genzia Spaziale Italiana: noi indichiamo dove vogliamo puntare il satellite, il centro di controllo della missione lo guida grazie alle antenne installate alla base ASI di Malindi, in Kenya. Il risultato dell'osservazione compie il percorso all'inverso: da AGILE a Malindi e poi all'ASDC, il centro dati scientifici dell'ASI, dove è subito messo a disposizione degli scienziati via internet.

Chi l'ha visto?

- *E voi come fate a scegliere dove puntare un telescopio così... agile?*
- Ci sono molte situazioni interessanti nell'universo che si manifestano con un'emissione di raggi X o gamma.

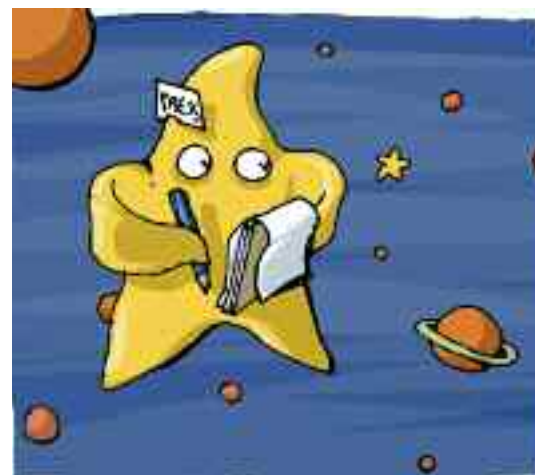


- *Per esempio?*
- Se una particella carica (un elettrone, un protone o un nucleo atomico che ha perso un po' dei suoi elettroni) lanciata a grande velocità nel cosmo viene deviata dalla sua traiettoria rettilinea, emette luce.
- *Davvero? E chi la fa deviare?*
- La presenza di un campo magnetico oppure di un campo gravi-

tazionale molto intenso. Un esempio classico è quello di un buco nero che si "mangia" una stella che gli orbita attorno. Il gas caldo ionizzato (cioè formato da nuclei atomici elettricamente carichi) che compone l'atmosfera della stella cade verso il buco nero percorrendo delle traiettorie a spirale e nel far ciò emette un particolare tipo di luce ad altissima energia, cioè raggi X e gamma



- *Davvero vedete tutto questo?*
- Dipende cosa intendi per "vedere": un buco nero, per definizione, non si vede! Quello che vediamo sono gli effetti che produce su chi ha la sfortuna di stargli troppo vicino. I raggi X che provengono da un punto nella costellazione del cigno, che noi chiamiamo Cygnus X-1 sono la prova che lì c'è un buco nero "ingordo", anche se non lo vedremo mai!



Cronache dalla galassia

- *È vero che al centro della nostra galassia c'è un buco nero?*
- Sì, e anche abbastanza grosso: qualche milione di masse solari.
- *Coooooosa? Stai scherzando?*

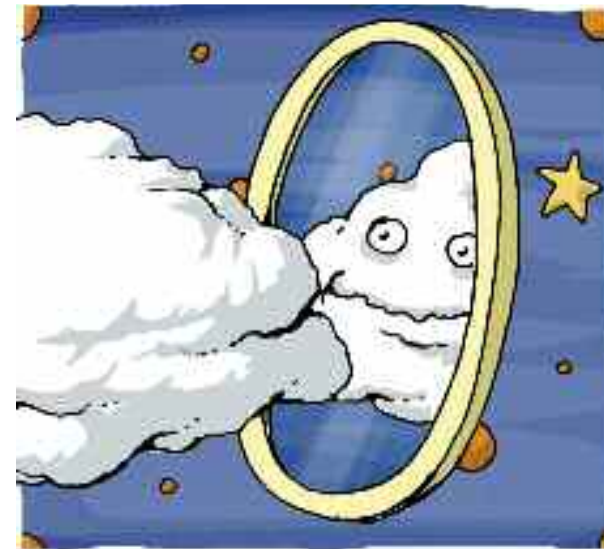
- Perché ti stupisci? Ce ne sono anche di mooolto più massicci...
- *Ho appena imparato che un buco nero è il risultato del collasso di una grande stella. O sono io che ho capito male?*
- Hai capito benissimo e quello che dici è assolutamente vero. Il fatto è che osservare l'universo dallo spazio ha aperto una miriade di nuove possibilità. Ci sono galassie che hanno un nucleo "attivo" nel senso che emette radiazione in quantità tale che si può solo spiegare con fenomeni giganteschi. Probabilmente i buchi neri supermassicci sono il risultato di miliardi di anni di continue collisioni e fusioni tra buchi neri e tra buchi neri e stelle di ogni tipo. Avvengono nelle regioni centrali di una galassia perché lì la densità stellare è molto più alta che in periferia, dove si trovano il Sole e la Terra.

Galileo a raggi X

- *Ma allora perché non lo vediamo il nostro brillantissimo centro galattico?*
- Lo spazio interstellare è pieno di polveri che bloccano la radiazione visibile, ma sappiamo lo stesso dov'è.
- *Dove?*
- In mezzo alla Via Lattea, in direzione della stella più brillante della costellazione del Sagittario: lo si indica con il nome di Sagittarius-alfa.
- *Avete provato a osservarlo con AGILE?*
- Certamente, e abbiamo fatto una nuova scoperta.



- *Davvero?*
- Sì. Probabilmente, 500 anni fa l'emissione X del nostro nucleo galattico era circa diecimila volte più intensa di oggi.
- *Come fate a fare queste ipotesi?*
- Dobbiamo aguzzare l'ingegno. Quello che vediamo oggi è una nube interstellare, distante circa 500 anni luce dal centro della galassia, che emette raggi X.
- *Anche le nubi emettono raggi X?*
- No! Infatti guardando meglio ci siamo accorti che sono raggi riflessi. Qualche cosa ha illuminato la nube e questa riflette la luce.
- *Come la Luna che brilla perché riflette la luce del Sole?*
- Esatto. Ma non vediamo niente nelle vicinanze che illumini la



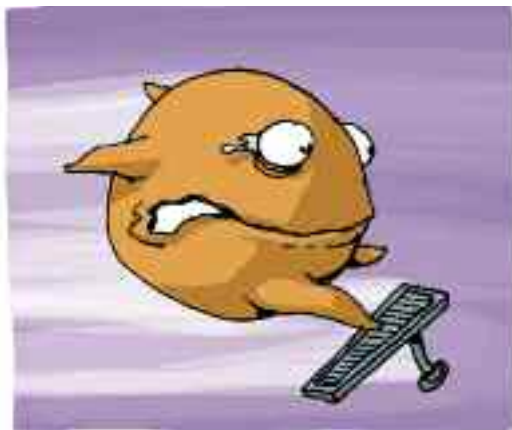
nube. La cosa più probabile è che sia illuminata dal nucleo della galassia che dista circa 500 anni luce dalla nube. Però oggi il nucleo galattico emette meno raggi X della nebulosa, quindi dobbiamo ipotizzare che 500 anni fa ne emettesse di più, per-

ché sono di più i raggi X che ci arrivano dalla nebulosa. È una bella indicazione che anche il nostro centro galattico non brilla sempre con la stessa intensità. Un vero peccato....

– *Come un peccato? Non siete contenti della scoperta?*



– Peccato per Galileo. Se invece di un cannocchiale avesse avuto uno dei nostri telescopi a raggi X avrebbe visto un centro galattico luminosissimo!



Xtreme

Radiazione, particelle elementari, stelle e galassie, sono talmente legate tra loro che astronomi e fisici nucleari lavorano spesso insieme. Gli astrofisici progettano satelliti sempre più raffi-

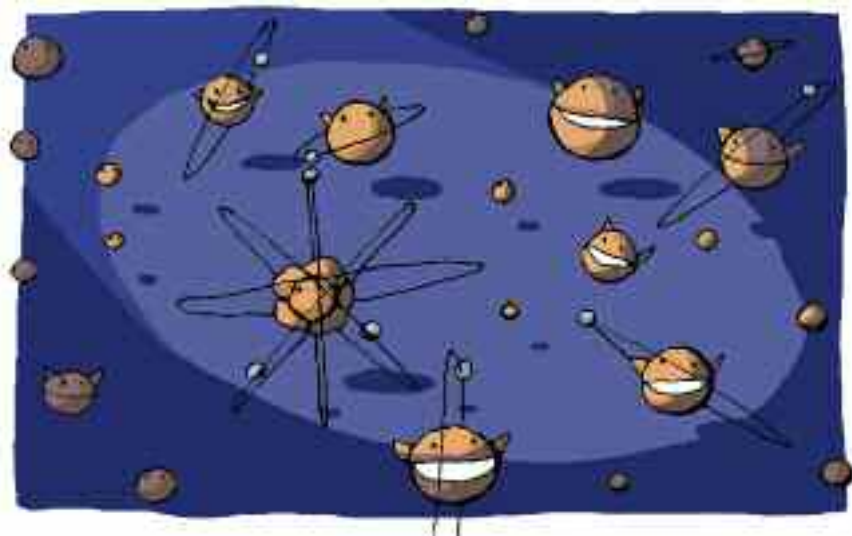
nati per non lasciarsi sfuggire nulla di quello che accade nello spazio, mentre la costruzione dei grandi acceleratori di particelle permette di riprodurre sulla terra condizioni estreme, che si avvicinano sempre più a quelle osservate nell'universo.



Il centro della nostra galassia

ACCELERAZIONI

Le domande non finiscono mai. Nonostante tutta la nostra tecnologia, sulla terra e nello spazio, le domande alle quali gli scienziati non sanno rispondere sulla struttura della materia e dell'universo sono molte, ma molte di più di quelle alle quali sanno rispon-



dere. Certo hanno capito che struttura della materia e struttura dell'universo sono due cose collegate e per capire cosa esiste nel cielo, e come si comporta, possiamo fare esperimenti qui sulla Terra e viceversa. Parliamone con un fisico delle alte energie.

Sigle importanti

- *Chi sei te? Di cosa ti occupi?*
- Sono un "particellare": nel gergo dei fisici vuol dire che studio le particelle subatomiche.
- *Subatomiche significa "più piccole dell'atomo"?*
- Esatto. Se ne occupano molti ricercatori che lavorano in diversi istituti e istituzioni. In Italia, ad esempio, ci sono l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e l'INAF (Istituto Nazio-

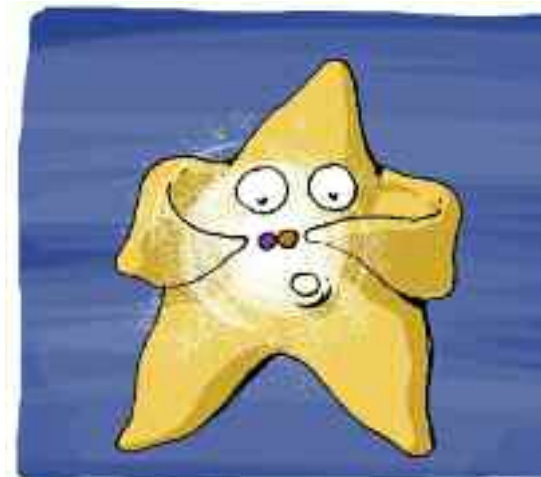
nale di Astrofisica). Poi, a Ginevra, in Svizzera, ha sede il CERN, il Centro Europeo di Ricerca Nucleare. Collaboro anche con l'ASI, l'Agenzia Spaziale Italiana e con l'Agenzia Spaziale Europea, l'ESA.



- *Insomma stai sempre in giro. Che fai?*
- Studio le particelle che provengono dal cielo e creo nuove particelle sulla terra.
- *Come è possibile?*

Massa ed energia

- Vedi, la materia contiene una grandissima quantità di energia. In un certo senso la massa è energia "condensata". Quando materia e antimateria si incontrano tutta la loro massa viene trasformata istantaneamente in energia: le due particelle non esistono più, si sono "annichilate".
- *Incredibile, e avviene anche il viceversa?*
- Sì, è così che creiamo le coppie di particelle: se si ha a disposizione abbastanza energia si può creare una coppia particella-antiparticella.

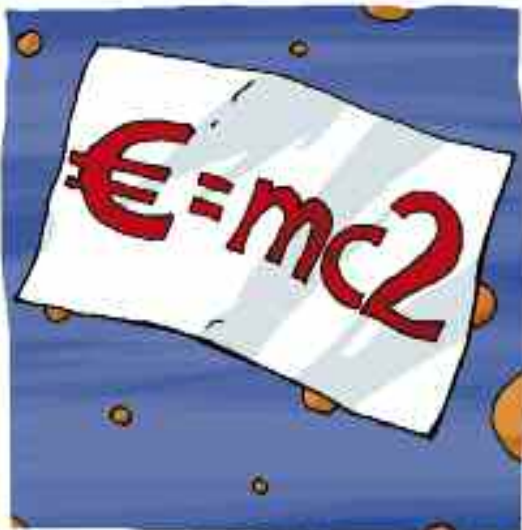


E come Einstein

- La conversione tra materia e energia è

regolata dall'equazione più famosa del mondo: $E = mc^2$.

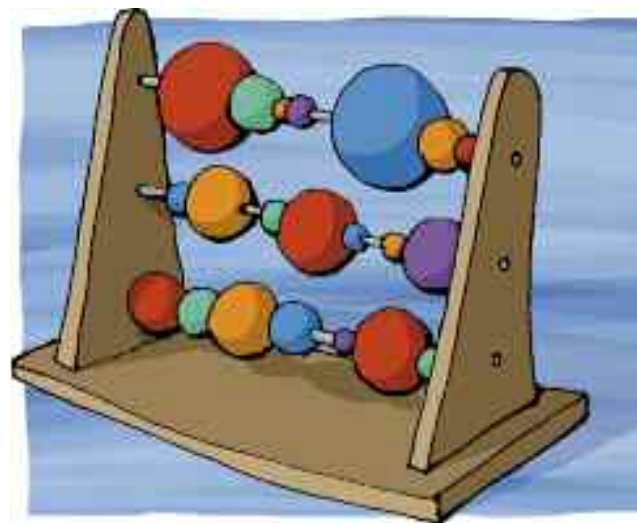
- *Questa la conosco! È di Einstein vero?*
- Già, è un'equazione facile facile: per sapere a quanta energia (E) equivale una certa massa (m) bisogna moltiplicarla per la velocità della luce (c) al quadrato. L'equazione è semplice, ma usarla nella realtà è un po' più complicato.
- *E perché mai?*
- Perché abbiamo bisogno di molta energia, infatti la velocità della luce è un numero molto grande: 300.000 km/s. Ti faccio un esempio: se questo fosse stato il cambio tra l'euro e le vecchie lire italiane oggi saremmo tutti ricchissimi! Prova a fare i conti con la formula di Einstein (Albert non ce ne vorrà...), metti 100 lire al posto di m.
- *Ecco qua: $E = 100 \times 300.000^2 = 100 \times 300.000 \times 300.000 = 100 \times 90.000.000.000 = 9.000.000.000.000$.*
- Vedi, le cento lire sono diventate novemila miliardi di Euro! Tor-



nando alla fisica e applicando l'equazione al contrario, cioè con il "cambio" sfavorevole: per creare delle particelle con una certa massa bisogna avere a disposizione una grandissima energia.

Voilà!

- *La massa è energia... Finalmente avete capito tutto!*
- Tutto? Che dici? Non sappiamo nemmeno perché ogni tipo di particella abbia una massa diversa.
- *Ma che domande vi fate? Cosa c'è di tanto strano che un elettrone abbia una massa diversa da un protone o da un quark... il*



mondo è pieno di cose di masse diverse.

- Sì, ma stiamo parlando della struttura ultima della materia e a noi piacerebbe che le diverse masse delle diverse particelle elementari avessero una logica

e venissero fuori dai nostri calcoli, invece al momento siamo costretti ad accettarli come dati sperimentali, senza nessuna spiegazione "teorica".

- *E a voi, ovviamente, questo secca... volete una spiegazione per tutto...*

Quel bosone di Higgs

- Sì... anche a costo di passare un sacco di tempo a cercarla, la spie-

gazione. Per esempio nel 1963 il professor Peter Higgs ipotizzò l'esistenza di una nuova particella...

– La famosa “particella di Higgs”, scommetto!

– Scommessa vinta... insomma, se questa particella esistesse,

allora la massa delle altre verrebbe fuori dalla quantità di interazioni con la particella di Higgs.

– Dici cose assurde: forse io ho più massa se chiacchiero (cioè interagisco) di più con i miei amici?

– No, ma, per risponderti a tono, più amici hai più “peso” hai! Non è proprio massa, ma peso sì, peso nella società. Se non interagisci con nessuno, non hai amici, non conti nulla, non hai nessun peso!

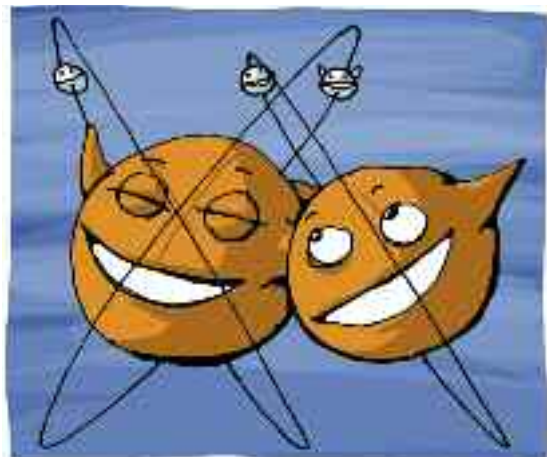
– Non starai cercando di raccontarmi che le particelle elementari hanno relazioni sociali?

– Certo che no, è solo per darti un'idea. Comunque puoi credermi, se

trovassimo la particella di Higgs capiremmo tutta la storia della massa delle particelle elementari.

– Cosa? Non l'avete ancora mai vista la particella di Higgs?

– La teoria prevede che sia molto pesante ma per produrre



una grande massa abbiamo bisogno di molta energia e quindi di macchine acceleratrici potentissime.

– Che cos'è una “macchina acceleratrice”?

– Una macchina che accelera e poi fa sbattere tra loro a grande velocità le particelle elementari. Quella che abbiamo costruito al CERN si chiama LHC: Large Hadron Collider.

– Large... largo.. cosa?



Il grande frullatore

– Potrei tradurlo con “Grande Sbattitore di Adroni”: in pratica è un lungo tunnel di forma circolare dentro il quale vengono accelerati adroni (che sono le particelle composte da quark). Quando hanno raggiunto delle velocità altissime li si fa sbattere tra loro. In questi urti viene liberata molta energia che si trasforma in massa formando particelle che poi decadono in altre particelle. Noi fotografiamo le tracce delle



particelle e cerchiamo di capire cosa sia successo e specialmente quali particelle siano state prodotte.

– *Usate gli adroni come se fossero allo stesso tempo dei proiettili e dei bersagli?*

– Esatto, e per avere energie molto alte facciamo sbattere le particelle contro altre particelle ad altissima velocità, ad esempio protoni che viaggiano quasi a velocità della luce contro altri protoni che vanno alla stessa, fantastica velocità. I protoni vengono accelerati in direzioni opposte in due tubi in cui c'è il vuoto quasi totale in modo che non vengano disturbati da altre particelle lungo il cammino.



Quando i protoni che girano in un senso vengono fatti sbattere contro quelli che girano nell'altro, l'urto è micidiale e l'energia liberata è altissima.

– *Ingegnoso.*

– Certo. Con chi ti credi di avere a che fare?

Addizioni cosmiche

Gli esperimenti di LHC servono anche a contribuire a svelare i segreti dell'universo e delle sue origini. Se per esempio sommiamo la quantità di materia che vediamo nel cosmo, cioè quella che emette un qualche tipo di radiazione che ne indichi la presenza (stelle, galassie, nebulose, eccetera, eccetera), otteniamo la massa dell'universo. Peccato che il valore che troviamo sia... sbagliato! Lo sappiamo perché le stelle e le galassie si muovono come se la materia presente nell'universo fosse molta, ma molta di più della materia "luminosa".

Una materia molto oscura

L'unico modo per cavarsi d'impaccio è pensare che nell'universo ci sia materia sconosciuta che non emette luce: per que-



sto noi non la vediamo e la chiamiamo "materia oscura". Gli esperimenti effettuati con LHC potrebbero rivelarci l'esistenza di nuove particelle pesanti e sfuggenti, alle quali attribuire la responsabilità di tutta questa materia che ci circonda, che c'è ma non si vede.

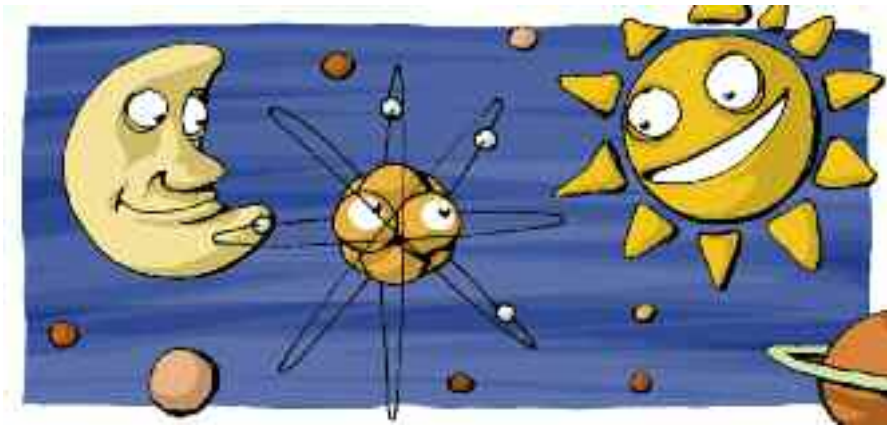


Pamela chi?

La caccia alla materia oscura si preannuncia lunga e difficile e quindi i "particellari" hanno deciso di andare anche loro nello spazio. Così, in collaborazione con l'INFN e l'ASI, è nato il progetto PAMELA. Il nome deriva da "Payload for

Antimatter Matter Exploration and Light Nuclei Astrophysics” ma dato che per i non addetti ai lavori il suo significato appare più oscuro della materia oscura, facciamoci spiegare cos’è e che fa.

- *Appunto, cos’è Pamela?*
- È uno strumento che abbiamo montato su un satellite russo, partito nel 2006 dal poligono di Baikonur in Kazakistan.
- *E che fa?*
- Conta le particelle elementari presenti nei raggi cosmici prima che interagiscano con l’atmosfera: per questo siamo andati nello spazio. Vogliamo sapere quanti siano i protoni, gli elettroni e i positroni di origine cosmica.
- *Ma protoni, elettroni e positroni li vediamo benissimo! Che c’entra con la materia oscura?*



- Quello che Pamela ha visto è un flusso eccessivo di positroni di alta energia. Dobbiamo cercare di capire cosa li produce. Uno dei possibili candidati è proprio la materia oscura.
- *Come farebbe la materia oscura a produrli?*
- Potrebbe avvenire attraverso un processo di annichilazione in cui due particelle di materia oscura scompaiono per rinascere come materia “ordinaria”, formando una coppia elettrone-positrone di alta energia o di protoni e antiprotoni o di raggi gamma.
- *Come se l’è cavata Pamela nello spazio?*

- Ha funzionato benissimo per più di tre anni, permettendoci di concludere che in effetti c’è un flusso anomalo di positroni di alta energia.
- *Eccezionale! Quindi siete i primi ad aver “visto” la materia oscura?*
- Calma, calma. Ci sono altre spiegazioni possibili; per esempio positroni di quel tipo possono provenire anche da delle pulsar o da resti di supernova o addirittura dal centro della galassia.



Pamela parte per lo spazio

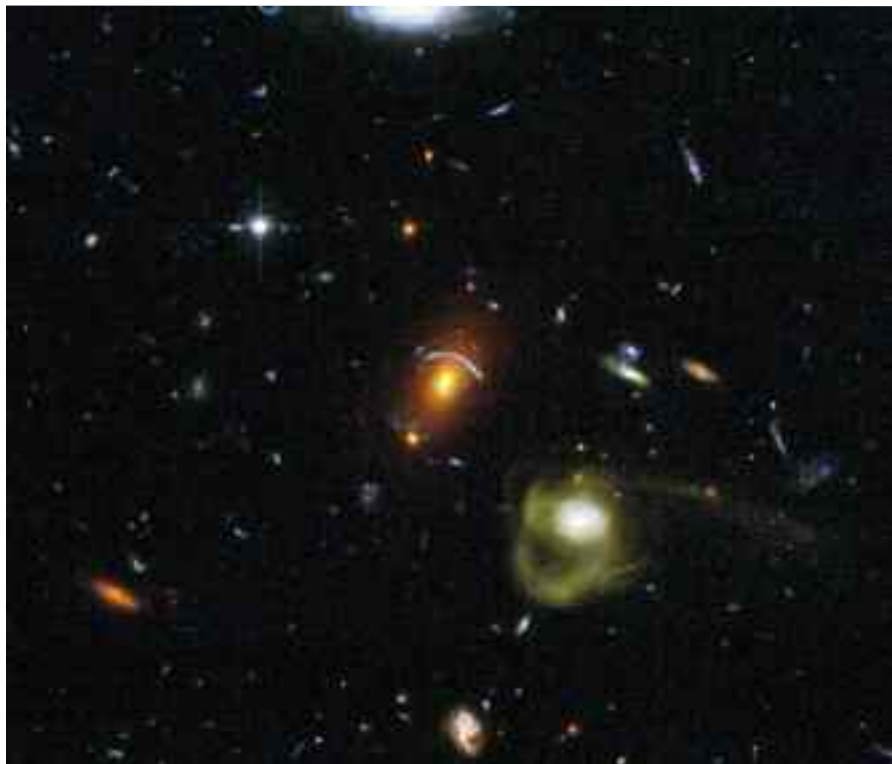
- *E quindi? Come si fa a essere sicuri?*
- Contiamo su LHC: solo lì si potranno produrre delle particelle del tipo di quelle che noi pensiamo costituiscano la materia oscura e studiarle da vicino: se davvero si annichilano nel modo giusto per dare luogo a una coppia elettrone-positrone, allora avremo la conferma che siamo stati i primi a vedere la materia che non si vede, oscura appunto.



Il Grande Boom

C’è un altro problema da studiare sia con il naso all’insù, rivolto all’universo, che con la lente d’ingrandimento degli esperimenti negli

acceleratori di particelle. Secondo la teoria del Big Bang (la più famosa e la più gettonata dai fisici di tutto il mondo) il nostro universo è nato da una enorme esplosione di pura energia: la materia è comparsa subito dopo, creata dall'energia di quella esplosione.



Anche in una piccolissima regione di cielo si vedono una miriade di galassie

Ma, te lo abbiamo già detto, non è possibile creare una particella o una antiparticella isolate, ma solo coppie particella-antiparticella. Quindi se le cose sono andate così deve essere stata generata tanta materia quanta antimateria, e queste si sarebbero dovute annichilare l'una con l'altra, scomparendo in radiazione. Il fatto che il nostro universo esista e che sia formato da materia prova invece che qualcosa è accaduto nei primi istanti di vita dell'universo che non abbiamo ancora capito.

Bel problema!

E questo è un bel problema da risolvere: da dove viene la materia in più rispetto all'antimateria? Oppure: dove è andata a finire l'antimateria che non vediamo più? Tutto quello che sappiamo è che a un certo momento si è verificato nell'universo un eccesso di materia rispetto all'antimateria. Quanto meno perché se non fosse accaduto non staremmo qui a chiedercelo, dato che materia e antimateria si sarebbero totalmente annichilate, e quindi anche noi... avremmo qualche difficoltà ad esistere!



All'inizio dell'inizio

C'è un'altra cosa che vogliamo studiare con LHC. Nel primo capitolo hai imparato che un protone o un neutrone sono formati da 3 quark. Gli scienziati sanno, però, che non è possibile "spaccare" un protone o un neutrone dividendolo nei suoi 3 quark. Questo perché altre particelle elementari, chiamati gluoni (dall'inglese "glue" che vuol dire colla) legano i quark insieme in maniera tanto stretta che risulta-

no di fatto “saldati” tra loro. Può darsi però che all’inizio, ma proprio all’inizio (cioè nel primo microsecondo di vita) dell’universo, l’energia presente fosse talmente alta e concentrata che quark e gluoni non erano incollati, ma in qualche modo mescolati in una specie di zuppa primordiale. Forse LHC potrà vedere e studiare questa “zuppa”... ma sicuramente non si potrà assaggiarla!

L’ultima domanda

- Senti “particellaro”, posso chiederti una cosa che probabilmente ti avranno già chiesto in tanti?
- Vai pure!
- Quanto è reale la paura che voi con i vostri supermegacceleratori ci combiniate qualche grosso guaio, tipo creare un mini buco nero che poi si mangia tutta la Terra?



- Ci abbiamo pensato sai? Non siamo mica degli incoscienti! La risposta è che noi facciamo sbattere particelle elementari tra loro con energie inferiori a quelle con cui le particelle dei raggi cosmici sbattono contro le particelle dell’aria. Produciamo quindi eventi più “tranquilli” di quelli che accadono continuamente, da milioni di anni, nella nostra atmosfera. Perché dovrebbe accadere qualche cosa di pericoloso?
- Ne sei proprio sicuro-sicuro-sicuro?
- Fidati.
- OK, ci proverò... ma intanto ho capito perché i telescopi inviati nello spazio si intendono così bene con gli acceleratori di particelle costruiti sulla Terra: vanno tutti a caccia delle risposte alle stesse domande!



VERSO L'UNIVERSO

Nell'antichità, i messaggeri partivano al galoppo da ogni angolo del regno per portare ai loro re le notizie. Se venivano da molto lontano, quando il messaggero consegnava al re la lettera con le notizie, queste erano vecchie anche di molti giorni e quindi spesso praticamente inutili. Magari il messaggero chiedeva rinforzi per una battaglia già bella che finita da un paio di settimane!



Anche le notizie che ci arrivano dall'universo non sfuggono a questa legge: più arrivano da lontano, più sono vecchie.

Messaggi di luce

È la radiazione luminosa che ci porta le notizie delle stelle e delle galassie lontane, ma questa radiazione, per quanto viaggi letteralmente “alla velocità della luce” (un miliardo di km all'ora!), ci mette un po' di tempo ad arrivare fino a noi perché nel cosmo le distanze sono immense. La luce emessa dal Sole impiega 8 minuti a percorrere lo spazio che ci separa e se il Sole si fosse spento 1 minuto fa, noi



ce ne potremmo accorgere solo tra 7 minuti!

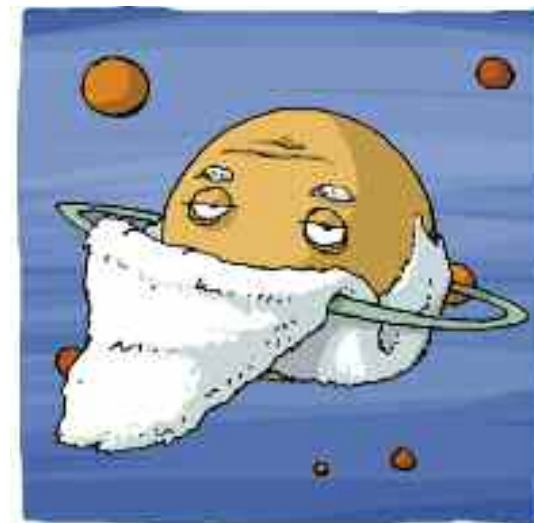
La galassia di Andromeda dista invece 2 milioni e mezzo di anni luce e quindi la luce impiega 2 milioni e mezzo di anni per andare da noi a loro (e viceversa).

Se qualcuno di laggiù guardasse la Terra in questo momento, la vedrebbe come era 2 milioni ed mezzo di anni fa: con un super telescopio galattico potrebbe distinguere i primi esseri della specie homo che se ne vanno in giro per l'Africa!

Storia universale

Se questo fatto di avere notizie un po' datate è seccante per chi fa il giornalista, è invece una cosa fantastica per gli “storici dell'universo”, cioè coloro che cercano di capire come sia nato e sia evoluto il cosmo, non per niente si chiamano “cosmologi”.

Guardare oggetti lontani, infatti, vuol dire guardare la luce che è partita da loro



molto tempo fa e quindi significa vedere quegli oggetti, che oggi forse non esistono nemmeno più, come erano nel passato. Per chi studia l'universo, le notizie non invecchiano mai, anzi, non sono mai abbastanza vecchie!



Cosmobebe

Se qualcuno portasse a un cosmologo una foto dell'universo appena nato, quello farebbe i salti dalla gioia! Negli ultimi anni si è assistito a una gara appassionante

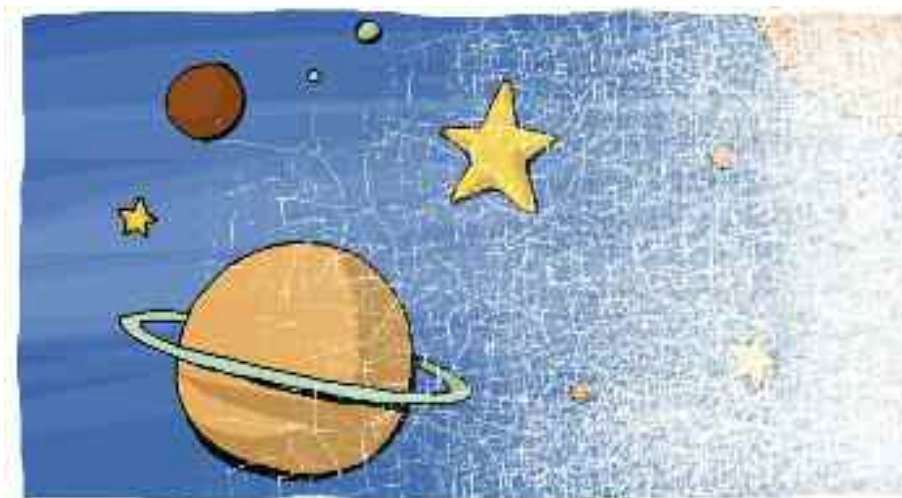
tra chi riusciva a vedere l'oggetto celeste più lontano e quindi anche più "giovane". Ma per partecipare a questo tipo di "gare" non basta avere telescopi in orbita attorno alla terra, bisogna anche sapere come analizzare i dati che arrivano da lassù. Per questo l'Agenzia Spaziale Italiana ha un centro apposito, l'ASDC.

- *Che vuol dire?*
- "ASI Science Data Center" che tradotto significa "Centro Dati Scientifici dell'ASI". Noi ci occupiamo di raccogliere, elaborare, stu-



Questo "lampo gamma" osservato dal satellite SWIFT ha circa 13 miliardi e mezzo di anni

diare, distribuire e conservare tutti i dati scientifici che provengono dalle missioni di osservazione dell'universo dell'Agenzia Spaziale Italiana.

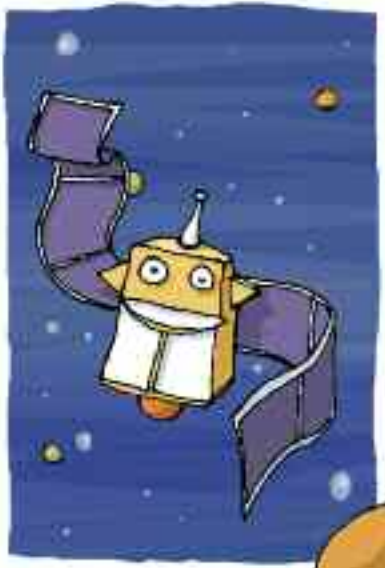


Dati immediati

- *Scusa ma cosa sono questi "dati"? Osservare l'universo, dallo spazio come dalla terra, non vuol dire guardarlo, o al massimo fotografarlo?*
- Anche una foto è fatta di "dati": si chiamano pixel e sono i microscopici quadratini colorati che vedi quando la ingrandisci troppo al computer. Presi singolarmente non ti dicono niente ma messi al posto giusto ti danno una immagine che ha un senso. Ecco, per noi all'ASDC i "dati" sono le radiazioni che provengono dall'universo, che siano luce visibile, raggi X o gamma non fa differenza. Li raccogliamo grazie alle missioni spaziali e poi diamo agli scienziati, noi compresi naturalmente, la possibilità di usarli il meglio possibile, in modo da dare un senso a quelle osservazioni.
- *Perché, non sapete già che cosa state guardando?*
- Ci sono un sacco di cose strane che succedono nel cielo, di cui abbiamo pochissimi dati. È come avere solo alcuni pixel di una

foto: come facciamo a sapere di chi è il ritratto?

- *Ecco, appunto, come fate?*
- Proprio perché all'ASDC abbiamo a disposizione molti dati, siamo nelle condizioni migliori per capire cosa stiamo osservando. E poi, se ci accorgiamo che ci mancano dei dati importanti, progettiamo delle nuove missioni spaziali che ce li forniscano.
- *Mi fai un esempio pratico?*



Chilà, Beppo!

- Ti racconto una delle prime scoperte che abbiamo fatto e che ci ha convinto che avere un centro per i dati scientifici fosse un'ottima idea. Tutto è cominciato con un satellite a cui siamo particolarmente affezionati: si chiama BeppoSAX.
- *Avete chiamato un satellite Beppo?*
- Sì, perché era il soprannome di Giuseppe Occhialini, un grande



- fisico italiano che si occupava proprio delle radiazioni di alta energia di origine cosmica.
- *E SAX? Occhialini suonava il sassofono?*
- No, quelle sono le iniziali della sigla “Satellite per Astronomia X”.
- *Cioè un telescopio spaziale con la vista a raggi X?*
- Veramente BeppoSAX ne aveva due, anche se non si può proprio parlare di tele-

scopi perché non avevano lenti o specchi ma degli strumenti molto particolari in grado di segnalare il passaggio delle radiazioni X e gamma. È una tecnologia in cui le industrie italiane sono famose nel mondo, tanto da lavorare con l'Agencia Spaziale Europea e quella americana, la NASA. Non solo, partecipano anche alla costruzione di LHC.



- *Ma BeppoSAX era tutto italiano?*
- Alla strumentazione scientifica avevano collaborato degli istituti olandesi, ma il satellite è stato costruito in Italia e anche il centro di controllo della missione era italiano. Ed è stato un grande successo.
- *Dimmi perché.*

Saxophone

- Nell'universo ogni tanto avvengono delle esplosioni pazzesche, talmente forti da essere seconde solo al Big Bang!
- *Caspita, e che cosa le provoca?*
- Quando lanciammo il SAX, nel 1996, nessuno lo sapeva: li chiamavamo “lampi gamma” (in inglese “Gamma Ray Bursts” o GRB) perché apparivano improvvisamente nel cielo emettendo una

grande quantità di raggi gamma, duravano pochissimo e poi scomparivano nel nulla. Era un mistero.

– *Non potevate puntare un telescopio appena li vedevate?*

– Mica facile: dato che si trattava di raggi gamma bisognava avere un satellite in orbita in grado di vederli e poi, solo vederli non bastava.

– *Perché?*

– Quello che ci serviva era soprattutto determinare esattamente da dove venissero: solo così potevamo poi puntare un telescopio “normale” sulla terra e vedere cosa c’era in quel punto: una stella, una nebulosa, una galassia...

– *E ci siete riusciti?*

– BeppoSAX ci è riuscito perché era un satellite talmente ben fatto e facile da “guidare” che era in grado nel giro di appena qualche ora di dire a tutti dove guardare. E così abbiamo scoperto che la maggior parte dei lampi gamma provenivano da delle galassie molto lontane.



Iperbum!

– *Galassie che esplodono, wow!*

– Calma, calma, non ho detto questo.

– *Ah, no?*

– No. I lampi gamma sono provocati da grandi catastrofi che in un attimo liberano tanta luce da superare quella della galassia in cui av-



vengono. Per esempio l’esplosione di una ipernova, oppure lo scontro tra buchi neri o stelle di neutroni che si fondono insieme.

– *Che cos’è un’ipernova?*

– Una stella supermassiccia che esplode.

– *Non si chiamava “supernova”?*

– Una supernova emette un sacco di particelle elementari, molti neutrini per esempio. In una ipernova invece l’energia si concentra soprattutto in forma di radiazione, molti raggi X e gamma appunto, tanto da spiegare l’origine dei GRB.

– *Iperfico!*

– Già. Per questa scoperta a tutto il team di BeppoSAX è stato assegnato il premio “Bruno Rossi” istituito dalla American Astronomical Society. Un bel modo per rendere omaggio a un altro dei grandi “padri” dell’astrofisica spaziale, di cui avrai sentito parlare, suppongo...

Uhuru

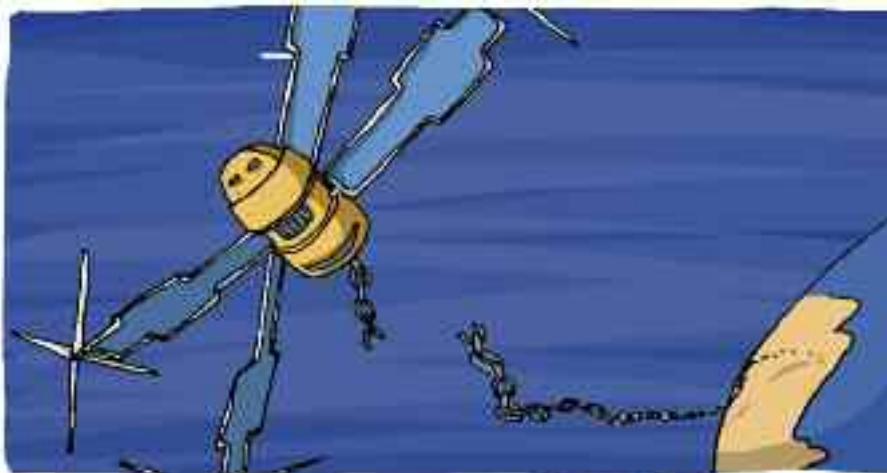
– *Veramente no.*

– L’Italia ha una grande tradizione nell’astronomia spaziale. Il primo satellite artificiale che



I resti di una supernova visti ai raggi X

studio i raggi X di origine cosmica nacque da una collaborazione tra Italia e Stati Uniti. Si chiamava Uhuru e fu lanciato nel 1970 dal poligono San Marco, una piattaforma al largo del Centro Spaziale Luigi Broglio, base italiana di Malindi, in Kenya.



- *Scegliete sempre nomi strani, voi astrofisici...*
- Uhuru vuol dire “liberazione” in swahili, lingua di quella regione africana che ci ospitava. Uhuru è stato lanciato il 12 dicembre, giorno della festa della liberazione del Kenya; inoltre è un nome azzecato per un satellite astronomico che vola libero dalla “censura” dell’atmosfera terrestre.
- *Lo ammetto, è azzecato.*
- Uhuru era stato costruito in America ma a capo del progetto c’erano due scienziati italiani, Bruno Rossi e Riccardo Giacconi. Fu un grande passo per l’astrofisica delle alte energie e ha anche



dato inizio a una collaborazione con la NASA che dura tutt’ora e che ci porta notevoli vantaggi.

- *Quali?*
- Molte missioni astronomiche americane, come l’osservatorio Fermi e il satellite SWIFT, usano la nostra stazione di Malindi per inviare i dati a terra. In cambio l’ASI ha accesso ai loro dati, che arrivano all’ASDC e vengono messi subito a disposizione della comunità scientifica italiana.

Multimissione

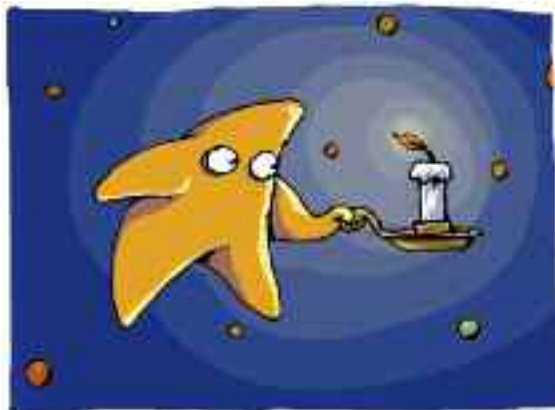
Oggi l’ASDC è un centro in piena attività e sempre più internazionale: oltre ai dati italiani e americani arrivano quelli dei satelliti europei come XMM/Newton e Integral, dedicati allo studio dei raggi X e gamma. E si spera che in futuro inizieranno collaborazioni anche con i programmi delle agenzie spaziali giapponese,



cinese e indiana. Uno degli scopi più ambiziosi è ottenere delle mappe del cielo in cui vengano segnate le posizioni delle sorgenti cosmiche di radiazioni ad alta energia, analoghe alle mappe stellari che hanno permesso per millenni di orientarsi tra le costellazioni.

Quasi stelle

In effetti da quando gli astronomi hanno cominciato a osservare l'universo dallo spazio si sono accorti che esistono tantissime sorgenti luminose che a occhio nudo non



si vedono, come se esistesse un altro cielo dietro a quello normalmente visibile, dove brillano altre stelle. Ma sono veramente delle stelle? Per esempio, i “quasar” sono chiamati così perché si tratta di “sorgenti radio quasi stellari” (da cui il nome) e la radiazione che proviene da essi non è costante, come la luce di una stella, ma variabile. In molti casi l'emissione di radiazione, dalle onde radio ai raggi gamma, è talmente alta da essere difficilmente pensabile che una sola stella possa generare tutta quell'energia.

Ultimi arrivati in questo “zoo cosmico” sono i blazar.



La galassia Centaurus A ospita un buco nero supermassiccio, come si vede dai fenomeni che emettono radiazione X fotografati dall'osservatorio orbitante Chandra



Galassie iperattive

Il bandolo della matassa per capire che cosa sta succedendo in cielo è convincersi che i nuclei delle galassie non sono affatto dei posti tranquilli. Ti abbiamo già detto che al centro della

Via Lattea c'è un mega buconero. Be' non è niente in confronto a quelli ospitati (si fa per dire...) da molte altre galassie: buchi neri di decine o centinaia di milioni di masse solari! E sai che succede quando ci sono dei mostri di questo tipo? Che ingoiano di continuo la materia che c'è intorno e quella che gli sfugge schizza via a formare dei getti potentissimi che si allontanano dalla galassia per migliaia o milioni di anni luce!

Il nome della cosa

Così si è capito che avevamo dato nomi diversi (quasar, blazar ecc.) sempre allo stesso fenomeno: un nucleo galattico attivo con un buco nero supermassiccio al centro circondato da un disco di materia che cade inesorabilmente verso di esso e due

“getti relativistici” (si chiamano così perché viaggiano quasi alla



velocità della luce) perpendicolari al disco. Ora se una galassia di questo tipo è messa di taglio o di tre quarti rispetto alla nostra visuale da terra, allora i getti relativistici sono inclinati rispetto alla linea di vista e l'energia che ci arriva è minore. Ma se la galassia è messa di piatto, ragazzi, stiamo guardando dritto negli occhi un buco nero che ci spara getti relativistici in faccia! Un vero blazar!

€ lontano, lontano nel tempo...

Ma c'è una cosa ancora più interessante: questi fenomeni super-energetici, che siano GRB, blazar o vattelapesca cosa, avvengono in genere in galassie molto lontane e quindi, per quello che abbiamo detto all'inizio, ciò significa che vediamo oggi quello che è successo miliardi di anni fa.



- Qual è l'oggetto più lontano e quindi più vecchio che avete visto?
- Un GRB. L'abbiamo scoperto con SWIFT.
- E quanto è antico?
- Quando l'universo aveva meno di un decimo della sua età. Se, come noi pensiamo oggi, la sua età è un po' meno di 14 miliardi

di anni, il GRB che SWIFT ha osservato aveva circa 13 miliardi e mezzo di anni... proprio ai confini dell'età oscura...

- *Oscuro è quello che stai dicendo, lo sai?*
- Allora ricominciamo dai pianeti. Per quanto possano sembrarti lontani siamo in grado di mandare sonde che nel giro di qualche anno giungono nelle loro vicinanze per fotografarli o scendere



Uno zoom galattico

sulle loro superfici. Se tu viaggiassi alla velocità della luce però ci metteresti solo 4 ore ad arrivare su Nettuno, il più lontano di tutti (lascia perdere Plutone, ormai è considerato un "pianeta nano"). Più lontano, ci sono le stelle della nostra galassia: la Via Lattea. La stella più vicina a noi dista 4 anni luce, mentre la stella polare quasi 500.

- *E se io con una fantastronave, viaggiando alla velocità della luce, volessi andare da un capo all'altro della galassia?*
- Ci metteresti centomila anni.
- *Quindi una stella che sta dall'altra parte della galassia la vediamo nel nostro cielo come era centomila anni fa?*

- Bravo, hai capito che per gli astronomi guardare lontano nello spazio oppure nel tempo è la stessa cosa.

Luci della città

- *E se guardo ancora più lontano della nostra galassia cosa vedo?*
- Altre galassie e altre ancora, sempre più giovani. Ma guardando ancora più lontano non ne vedresti più, semplicemente perché stai andando anche indietro nel tempo, in un periodo in cui le galassie non si erano ancora formate.
- *Incredibile! E allora cosa si vede ancora più lontano e quindi prima di stelle e galassie?*
- Niente. Per questo si chiama “l’età oscura dell’universo”: a quell’epoca la radiazione emessa durante le prime fasi esplosive e turbolente della vita dell’universo si è esaurita e non sono ancora nate le stelle a fornire, attraverso il meccanismo della fusione nucleare, un nuovo “impianto di illuminazione”.



Un famoso quintetto di galassie ripreso dal Telescopio Spaziale Hubble

Too big or not too big



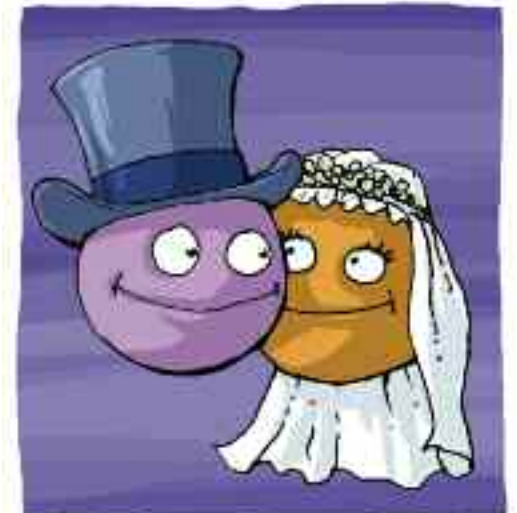
Non sappiamo molto di come l’universo abbia avuto origine. Abbiamo chiamato “Big Bang” l’istante iniziale in modo che le parole facciano pensare a una grande esplosione, perché probabilmente di questo si è trattato anche se non ha nulla a che vedere con un’esplosione “tradizionale”. Di certo faceva molto, moltissimo caldo e c’era poco, pochissimo spazio, per cui tutto avveniva

in maniera frenetica. Una situazione davvero estrema che rende difficile farsi un’idea di come fosse l’universo delle origini.

Ecco allora una breve storia dell’inizio dell’universo, così come i fisici oggi pensano che sia stata, in attesa che nuove missioni spaziali e nuovi esperimenti trovino il modo di sbirciare fino a laggiù per confermare o smentire le nostre teorie.

Vita di coppia

Qualche milionesimo di secondo dopo il Big Bang la materia e la radiazione erano “mischiate”. L’energia era altissima e quindi venivano prodotte coppie particelle-antiparticelle a tutto spiano, che poi si annichilavano di nuovo in radiazione e altre coppie venivano prodotte. I quark erano liberi e



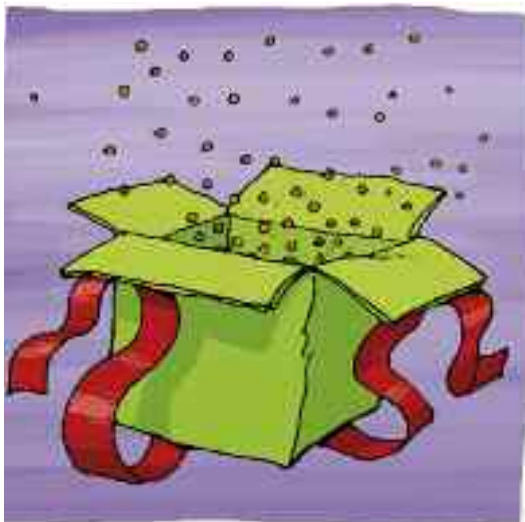
non intrappolati dentro i protoni e i neutroni.

Intorno al compleanno dei cento millisecondi, l'universo, espandendosi, si era raffreddato perdendo molta della sua energia, ma era ancora abbastanza per creare coppie di elettroni e positroni, che sono più leggeri e quindi vengono prodotti anche a energie più basse.



Happy birthday materia!

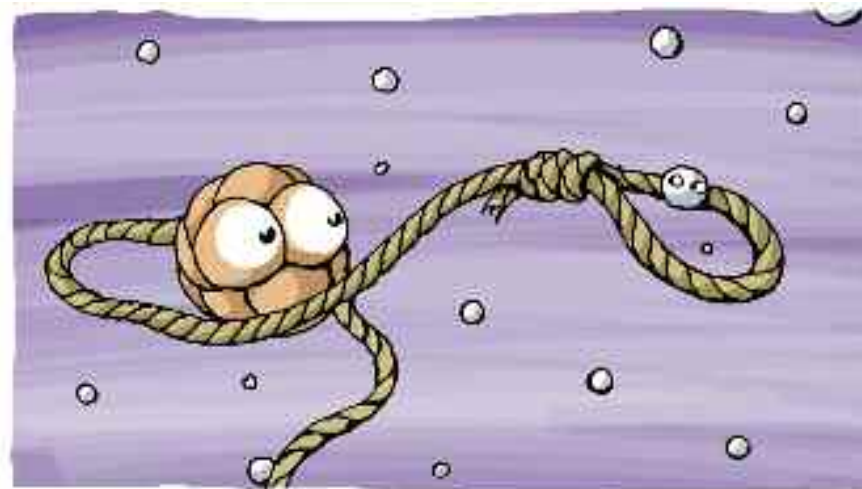
Quando però, a un'età di circa 10 secondi, l'espansione aveva fatto ancora diminuire l'energia, l'antimateria era scomparsa e restavano solo le tracce: cioè la radiazione prodotta dall'annichilazione materia-antimateria. Di protoni ed elettroni in giro, invece, se ne trovavano ancora. La causa di questo diverso comportamento tra materia e antimateria è ancora ignoto e oggetto di esperimenti nei grandi acceleratori.



Un bel salto!

A questo punto l'universo si concede un po' di relax e i tempi si allungano.

Tra i 10 secondi e i 380.000 anni (non prendere le date troppo alla lettera) si formano i nuclei degli atomi, cioè protoni e neutroni iniziano a mettersi insieme. Ma gli elettroni se ne vanno ancora in giro liberi schizzando via a gran velocità: i nuclei non riescono ad acchiapparli per costringerli a girargli attorno. La materia adesso è formata da una specie di gas di particelle elettricamente cariche che, muovendosi e urtandosi a velocità estremamente elevate, emettono radiazione di alta energia.



Superata questa fase la materia dell'universo comincia a assumere l'aspetto attuale: gli elettroni rallentano, si legano ai nuclei e si formano i primi atomi di idrogeno (circa il 75% della materia) e di elio (l'altro 25%).

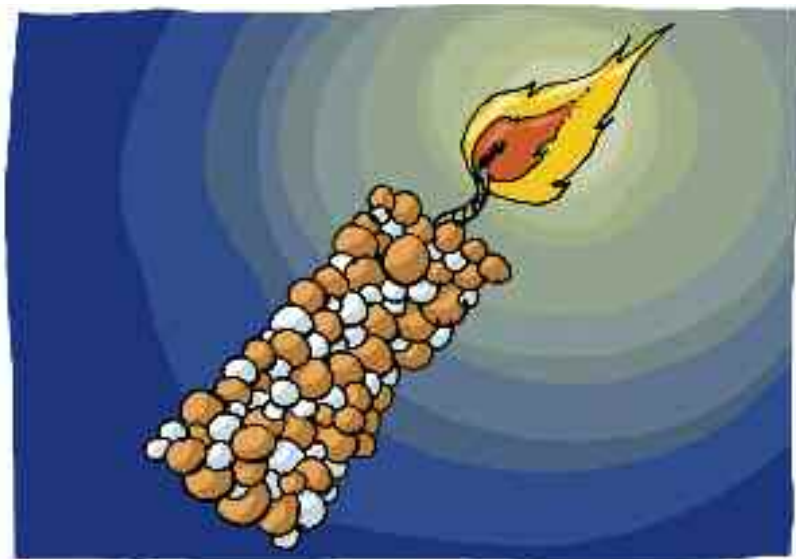
La fine dell'inizio

È a questo punto che inizia l'“epoca oscura”. La luce è poca e debole perché vengono a mancare i meccanismi con cui si produceva, cioè tramite il moto di particelle cariche che si spostano liberamente e a gran velocità oppure a causa dell'annichilazione tra materia e antimateria (quest'ultima è ormai praticamente scomparsa dalla circolazione). Gli atomi se ne vanno in giro per il cosmo

indisturbati, a parte una certa attrazione reciproca: è la gravitazione che comincia a far sentire i suoi effetti.

È luce sia

Ci vorranno circa 10 milioni di anni affinché questa attrazione riesca a riunire insieme grandi quantità di materia e ad addensarle fino a innescare le fusioni nucleari tra gli atomi di idrogeno. Si accenderanno così quelle che 14 miliardi di anni dopo, su un piccolo pianeta in una galassia come tante, saranno chiamate “stelle” e che torneranno ad illuminare l’universo.



- *Wow, che viaggio!*
- Per concluderlo degnamente si potrebbe dire che tutto, ma proprio tutto quello che arriva dal cosmo, dalle radiazioni alle particelle elementari, non è altro che la lunga eco del Big Bang. E gli astronomi sono sempre pronti ad ascoltarlo.
- *Già. Però un po' mi dispiace...*
- Cosa ti dispiace?
- *Be', ho anche imparato che per "ascoltare" questi segnali bisogna*

lanciare dei satelliti in orbita, elaborare dati, usare i computer...

- E allora? È il meglio della tecnologia che abbiamo!
- *Non sembra un po' come stare davanti alla TV? Io sui libri gli astronomi li vedo sempre con l'occhio appiccicato al telescopio passare notti insonni a osservare il cielo...*



- Se è per questo non ti preoccupare. I centri di controllo degli osservatori orbitanti funzionano 24 ore su 24 e a chi ci lavora è capitato spesso di dover accorrere alle ore più impensate perché qualcosa di importante era appena successo nell’universo.
- *Davvero?*
- Sì, se da grande vorrai partecipare anche tu a questa avventura, sappi che dovrai tenere il cellulare sempre acceso e che le alzate in piena notte non ti mancheranno di certo!

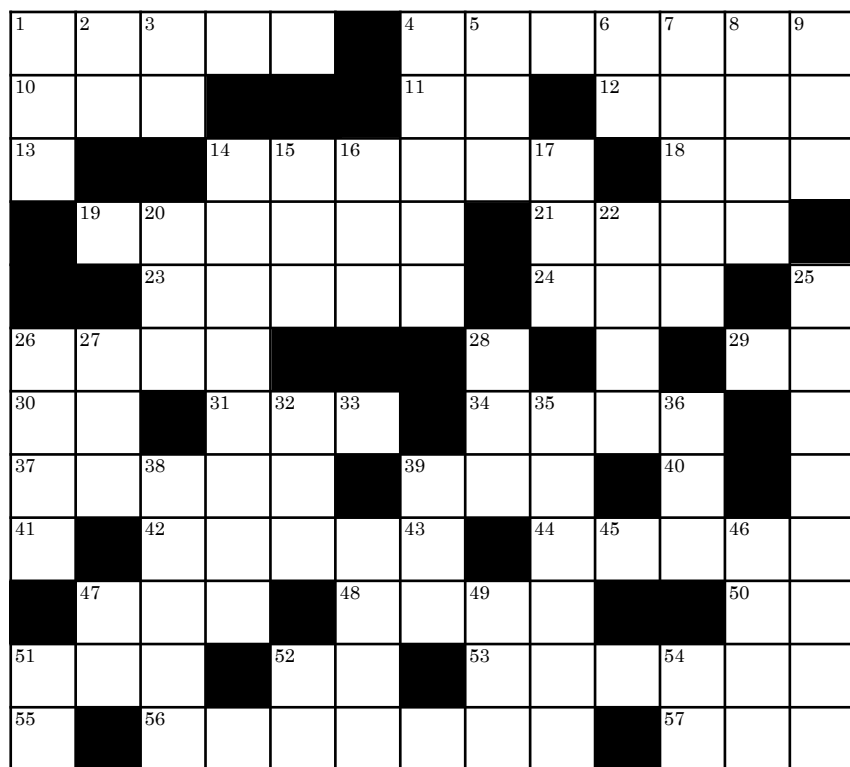
La tecnologia moderna non ha sminuito il fascino del cielo stellato, anzi ci permette di penetrare più a fondo nei misteri che il cosmo ci invita a svelare.

UN PO' DI ENIGMISTICA

Tutti sanno che il modo migliore di imparare è giocando e ti proponiamo quindi un po' di classici problemi di enigmistica. Per risolverli devi ricordarti le cose che hai letto in questo libro, ma vale anche sfogliarlo all'indietro alla ricerca delle risposte. Le soluzioni poi, sono come sempre nell'ultima pagina!

CRUCIVERBA ASTROFISICO

(Parisi - Perozzi)



Questo cruciverba ha anche alcune definizioni di una sola lettera.

ORIZZONTALI

1- Satellite italiano molto leggero 4- La somma di protoni e neutroni in un nucleo di elio 10- Nota musicale e nota stella 11- Ultravioletti 12- Il re di una tragedia di William Shakespeare 13- Il simbolo dello iodio 14- Cono o coppetta 18- Trasporta le istruzioni del DNA 19- Radiosorgente quasi stellare 20- Difficile da trovare 23 - Lo è un "hole" 24- Saluto spagnolo 25- Piano di riserva (sigla) 26- Ente spaziale americano (sigla) 28- Il simbolo del Boro 29- Quoziente Intellettivo 30- Enrico Fermi (iniziali) 31- Satellite italiano per astronomia X 34- Una nova, sempre più super 37- Il cognome del Bruno che hai incontrato in questo libro 39- Nucleo Galattico Attivo 40- Elemento con 53 protoni (simbolo) 41- Il simbolo dell'ossigeno 42- Lo chiamavano "Pam" 44- È piccolissima quella degli elettroni 47- Lo è Venere oltre ad un pianeta 48- Nicolas, noto attore americano 50- Theodore Roosevelt (iniziali) 51- Active Galactic Nuclei (sigla) 52- Il simbolo dell'Americio 53- Emettono molta radiazione X e gamma 55 - Viene prodotto dalla fusione di tre nuclei di elio (simbolo) 56- Il CERN è lì 57- Croce Rossa Italiana.

VERTICALI

1- Agenzia Spaziale Italiana (sigla) 2- Vai... in Inghilterra 3- L'inverso del litio (simbolo) 4- Particelle elementari molto televisive 5- Unità Valutazione Tecnologica (sigla) 6- Theodore Lyman (iniziali) 7- Pianeta abitabile 8- Un simpatico anfibio 9- Sessanta minuti 14- Agglomerato di cento miliardi di stelle 15- Agenzia Spaziale Europea 16- Lago francese 17- Metallo prezioso e pesante 20- Università della Bretagna del Sud (sigla) 22- Mattine molto presto 25- Lo sono quasar, blazar, GRB e chissà quanti altri... 26- Il 23 orizzontale in italiano 27- Aforisma incompleto 28- Lo è stato il Bang 32- Aria britannica 33- Radiazioni di alta energia 35- Va a caccia della materia oscura nello spazio 36- Riso non integrale 38- Collisione (onomatopea) 39- National Communication Association (sigla) 43- Nei cartoni animati, produce materiali per cartoni animati 46- Stella nell'universo del cinema 47- Direttore generale (sigla) 49- Anagramma di GRB 51- Le iniziali di Anderson 52- L'inverso del sodio (sigla) 54- Catanzaro al contrario (targa)

CHI L'HA DETTO?

Hai fatto la conoscenza di alcuni famosi astrofisici e “particellari”: Democrito, Bohr, Fermi, Dirac, Anderson, Occhialini, Bruno Rossi. Abbiamo riportato qui sotto una frase “storica” che ciascuno di loro ha detto, ma non ti indichiamo chi. Sai trovare l'autore?

a) *Chi riesce a fare un lavoro del genere deve avere una predisposizione naturale per il ragionamento filosofico.*

b) *Aspetti, mi lasci pensare, prima di dirmi la soluzione. Il risultato dovrebbe essere questo ed è ottenuto così. La ragione è ovvia...*

c) *Il mio interesse innato per la scienza si è tramutato nell'impegno di tutta una vita!*

d) *Sia chiaro che quando si parla di atomi, le parole devono essere usate come in una poesia.*

e) *In quel periodo facevo delle lunghe passeggiate domenicali, da solo, pensando a tutti questi problemi ed è stato proprio durante una di queste passeggiate che mi è venuta l'idea.*

f) *È il principe della parola parlata.*

g) *La Svezia è la patria dei miei antenati e occupa un posto speciale nel mio cuore.*

TROVALO TU!

In questa immagine, ripresa dal telescopio spaziale Hubble, tra le stelle e le nebulose della Grande Nube di Magellano (una delle galassie a noi più vicine), c'è qualcosa di strano. È ciò che rimane di una supernova esplosa nel 1987: riesci a trovarlo?



SOLUZIONE GIOCHI

CRUCIVERBA ASTROFISICO

(Parisi - Perozzi)

1	A	2	G	3	I	L	E		4	Q	5	U	6	A	7	T	8	T	9	R	O	
10	S	O	L						11	U	V		12	L	E	A	R					
13	I			14	G	15	E	16	L	A	T	17	O		18	R	N	A				
		19	Q	20	U	A	S	A	R			21	R	22	A	R	A					
				23	B	L	A	C	K			24	O	L	A			25	B			
26	N	27	A	S	A						28	B		B			29	Q	I			
30	E	F		31	S	32	A	33	X			34	I	35	P	E	36	R			Z	
37	R	O	38	S	S	I				39	N	G	A			40	I				Z	
41	O		42	D	I	R	43	A	C			44	M	45	A	S	46	S	A			
		47	D	E	A			48	C	A	49	G	E					50	T	R		
51	A	G	N			52	A	M			53	B	L	A	54	Z	A	R				
55	C		56	G	I	N	E	V	R	A				57	C	R	I					

CHI L'HA DETTO?

a) Democrito. Lo disse quando, ammirato per l'ingegnosità con cui il giovane Protagora aveva sistemato una grande quantità di legna sul dorso del suo mulo, gli propose di iscriversi alla sua scuola.

b) Enrico Fermi. Rispose così ad un altro grande fisico, Richard Feynman, che non sapeva come spiegare il risultato che aveva trovato.

c) Bruno Rossi. Nella sua autobiografia racconta che la passione per la scienza gli era stata trasmessa dal padre.

d) Niels Bohr, durante una chiacchierata con il fisico tedesco Wernher Heisemberg, autore del "Principio di Indeterminazione".

e) P.A.M. Dirac. Lo racconta nella conferenza tenuta a Roma, all'Accademia dei Lincei, il 14 aprile 1972.

f) Beppo Occhialini. Si espresse così per descrivere il suo collega Cecil Powell

g) Carl Anderson, parlando delle sue origini scandinave.

TROVALO TU!



- Supernova 1987A

ASTROPARTICELLE NELLA RETE

(dove non segnalato i siti sono in lingua inglese)

AGENZIE SPAZIALI

www.asi.it - sito dell'Agenzia Spaziale Italiana (italiano)

www.spazioallescienze.it - Canale Web Aerospaziale per ragazzi dell'ASI (italiano)

www.asi.it/it/flash/esplorare - sito dell'ASI dedicato all'osservazione dell'universo (italiano)

www.asi.it/it/educational/ - sito dell'ASI dedicato alla divulgazione scientifica (italiano)

www.esa.int/esaKIDSit/ - sito dell'ESA dedicato ai ragazzi (italiano)

<http://television.esa.int> - canale televisivo dell'ESA

www.esa.int/esa-mm/mmgghome.pl - galleria di immagini dell'ESA

www.nasa.gov/multimedia/nasatv/ - canale televisivo della NASA

www.nasa.gov/topics/universe/ - sito della NASA dedicato all'osservazione dell'universo

www.asdc.asi.it - sito del centro dati scientifici (ASDC) dell'ASI

www.sciops.esa.int/index.php?project=SAT&page=index - centro dati scientifici dell'ESA

MISSIONI SPAZIALI

<http://agile.rm.iasf.cnr.it> - sito ufficiale della missione AGILE

www.asdc.asi.it/bepposax/ - sito ufficiale della missione BeppoSAX

<http://pamela.roma2.infn.it> - sito ufficiale della missione PAMELA

www.nasa.gov/mission_pages/swift/main/ - sito ufficiale della missione SWIFT

www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/main/ - sito ufficiale del telescopio spaziale FERMI

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=21> - sito dell'osservatorio europeo per raggi gamma INTEGRAL

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=23> - sito dell'osservatorio europeo per raggi X XMM/Newton

<http://chandra.harvard.edu> - sito dell'osservatorio orbitante per

raggi X Chandra della NASA

<http://chandra.harvard.edu/edu/> - sito dell'osservatorio orbitante Chandra dedicato alla divulgazione scientifica

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=6> - sito delle missioni di astrofisica dell'ESA

IL TELESCOPIO SPAZIALE HUBBLE

www.stsci.edu/resources/ - sito del Space Telescope Science Institute

<http://hubblesite.org> - sito dedicato al telescopio spaziale HUBBLE

http://hubblesite.org/gallery/movie_theater/ - sito dedicato ai filmati provenienti dal telescopio spaziale Hubble

www.spacetelescope.org - sito europeo di immagini e video provenienti dal telescopio spaziale Hubble

www.spacetelescope.org/kidsandteachers/ - sezione per ragazzi e insegnanti sul telescopio spaziale Hubble

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=37140> - sito da cui si può scaricare gratuitamente il DVD "Hubble: 15 anni di scoperte" (inglese e tedesco, sottotitoli in italiano)

ENTI DI RICERCA

www.cern.ch - sito del CERN di Ginevra

<https://project-cernland.web.cern.ch> - sito del CERN dedicato ai ragazzi (italiano)

www.infn.it - sito dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (italiano)

www.inaf.it - sito dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (italiano)

www.inaf.it/per-il-pubblico/per_il_pubblico/ - sito dell'INAF dedicato al pubblico (italiano)

INDICE

CREDITS

Si ringraziano le seguenti istituzioni per l'uso delle immagini:

foto di pagina 38 - NASA, ESA, HEIC, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) e NASA, ESA and H.E. Bond (STScI)

foto di pagina 40 - NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University)

foto di pagina 41 - NASA/CXC

foto di pagina 49 - NASA/UMass/D.Wang et al.

foto di pagina 60 - NASA, ESA, J. Blakeslee and H. Ford (Johns Hopkins University)

foto di pagina 62 - NASA/Swift/Stefan Immler

foto di pagina 71 - NASA/CXC/PSU/G.Pavlov et al.

foto di pagina 74 - X-ray: NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al Radio: NSF/VLA/Univ. of Hertfordshire/M.Hardcastle et al. Optical: ESO/VLT/ISAAC/M.Rejkuba et al.

foto di pagina 77 - NASA, ESA, and the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration

foto di pagina 78 - NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team

Prologo7

Atomizzati8

Guardando dentro la materia: dagli atomi alle particelle elementari

Una vita da star28

Come nasce e vive una stella. Fuochi d'artificio cosmici: dalle supernove ai buchi neri

Accelerazioni50

Gli acceleratori di particelle e la caccia alla materia oscura

Verso l'universo64

L'evoluzione dell'universo, dal Big Bang alle missioni spaziali

Un po' di enigmistica84

Soluzioni giochi88

Astroparticelle nella rete90

Ettore Perozzi è laureato in Fisica e si occupa professionalmente di dinamica del sistema solare, meccanica celeste, missioni spaziali e divulgazione scientifica. Ha lavorato all'Istituto di Astrofisica Spaziale del CNR, all'Agenzia Spaziale Europea, all'Osservatorio Astronomico di Parigi e attualmente è alla Telespazio (Roma).

L'asteroide n° 10027 porta il suo nome.

Nel campo della divulgazione scientifica ha pubblicato:

E. Perozzi, *Il Cielo Sotto la Terra* – in viaggio nel Sistema Solare, Edizioni Lapis 2005, finalista al premio “Un Libro per l'Ambiente 2006”.

A. Celletti - E. Perozzi, *Celestial Mechanics – The Waltz of the Planet*, Springer Praxis 2007, (in inglese).

A. Celletti - E. Perozzi, *Ordine e Caos nel Sistema Solare*, UTET 2007, finalista al premio Galileo 2008.

Per l'Agenzia Spaziale Italiana ha scritto per ragazzi:

E. Perozzi - A. Parisi, *Extra-terrestri* – Gli Astronauti e la Stazione Spaziale Internazionale. ASI 2007.

E. Perozzi - A. Parisi, *Terra!* Osservando il pianeta dal cielo. ASI 2008

Anna Parisi è nata a Roma dove si è laureata in Fisica. Ha lavorato 10 anni nella ricerca e adesso si occupa di comunicazione della scienza collaborando alle attività dell'Associazione *formaScienza*.

Ha ideato la collana di scienza per ragazzi “Ah, saperlo!” che nel 2004 ha vinto il premio Andersen come miglior collana di divulgazione e che oggi è tradotta in 9 lingue. In questa collana ha pubblicato:

A. Parisi. *Numeri magici e stelle vaganti* – i primi passi della scienza. Edizioni Lapis 2001, Premio “Un libro per l'ambiente”.

A. Parisi. *Ali, mele e cannocchiali* – la rivoluzione scientifica. Edizioni Lapis 2002.

A. Parisi, A. Tonello. *Il filo conduttore* – l'anticamera dell'atomo. Edizioni Lapis 2003.

A. Parisi, L. Albanese. *Dipende* – Einstein e la teoria della relatività. Edizioni Lapis 2006.

Per l'Agenzia Spaziale Italiana ha scritto per ragazzi:

E. Perozzi, A. Parisi. *Extra-terrestri* – Gli astronauti e la Stazione Spaziale Internazionale. ASI 2007.

E. Perozzi - A. Parisi, *Terra!* Osservando il pianeta dal cielo. ASI 2008

Fabio Magnasciutti, illustratore e musicista ha al suo attivo numerosi libri con la casa editrice Lapis e con altri editori. Ha illustrato diverse campagne per le aziende SARAS, ENEL, API, MONTEDISON e altre. Collabora da oltre dieci anni con la Repubblica e dal 1993 al 2005 ha lavorato come docente presso l'Accademia dell'Illustrazione di Roma. Dal 2005 tiene corsi all'Istituto Europeo di Design e nello stesso anno fonda con Lorenzo Terranera la scuola di Illustrazione “Officina b5”.

Ha curato con Alessio Morglia la videografica del programma “Che tempo che fa”.