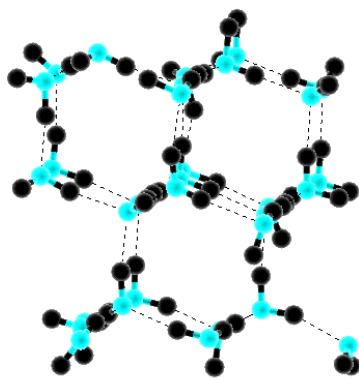


Gli atomi: materia, antimateria e forze

Le condizioni fisiche che esistono al centro di una stella, o nello spazio intergalattico, possono essere molto diverse da quelle che sperimentiamo nella vita di tutti i giorni. Per comprendere le proprietà di una stella, o di una galassia, dobbiamo dunque conoscere il comportamento della materia, dei suoi costituenti fondamentali e delle leggi che li governano. Consideriamo un cubo di ghiaccio. Il ghiaccio, come molti solidi, ha una certa rigidità nella sua forma. Questo perché è costituito da **atomi** – che sono le unità fondamentali della materia – disposti in modo regolare lungo un **reticolo cristallino**. Gli atomi sono molto piccoli e in un centimetro di solido ci sono circa un centinaio di milioni di atomi. Questo significa, anche, che lo spazio tipico tra un atomo e l'altro, in un reticolo, è di circa un cento-millionesimo di centimetro, cioè 10^{-8} cm. Questa lunghezza, molto comoda per descrivere i fenomeni atomici, si chiama **1 Ångstrom** (1 Å). Un cubo di lato 1 cm contiene, dunque, circa 10^{24} atomi. Cosa permette agli atomi di un solido di rimanere “fissati” nelle loro posizioni lungo il reticolo? Vedremo più avanti che sono delle forze di tipo elettrico.



Reticolo cristallino del ghiaccio

Gli stati della materia

Cosa succede se scaldiamo (cioè se diamo energia) il cubetto di ghiaccio? Esso si scioglie, diventando acqua allo stato liquido. Se forniamo calore, e quindi energia, al ghiaccio siamo in grado di vincere le forze agenti tra gli atomi disposti lungo il reticolo, facendo perdere al ghiaccio la sua rigidità. Se continuiamo a fornire calore, l'acqua evaporerà, trasformandosi in gas. Abbiamo così visto i tre **stati fondamentali** in cui la materia si può presentare: **solido**, **liquido**, e **gassoso**. A seconda della loro struttura interna, alcuni elementi (ferro, rame, etc.) sono solidi a temperatura ambiente, altri (mercurio) liquidi, ed altri ancora (ossigeno ed idrogeno, ad esempio) gassosi. Raffreddandoli o scaldandoli (fornendo o sottraendo energia) si può far cambiare stato alla materia. La temperatura è una misura dell'energia contenuta nella materia. Lo stato energetico più basso, per ogni tipo di materiale (e quindi di atomo) si ha ad una temperatura di -273 gradi centigradi (0 gradi Kelvin). Questa temperatura è nota anche con il nome di **zero assoluto**.

Cosa accade se forniamo ancora più energia ad un gas, ad esempio? Consideriamo l'idrogeno. L'idrogeno gassoso è costituito da “molecole” di 2 atomi di idrogeno. L'energia che le tiene unite nella molecola “idrogeno gassoso” è di circa 4,5 eV. Se l'energia che fornisco è maggiore di 4,5 eV, allora “romperò” la mia molecola, trovandomi con due atomi distinti di idrogeno.

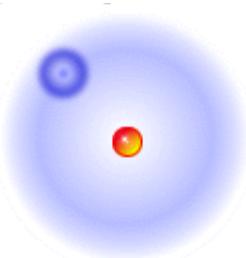
E se ora fornisco energia al mio atomo cosa succede? Per capirlo, analizziamo la struttura atomica.

L'atomo

Un atomo è costituito da un **nucleo** e da particelle chiamate **elettroni**. Per semplicità possiamo immaginare il nucleo nel centro e gli elettroni orbitanti attorno al nucleo. A sua volta il nucleo è fatto di particelle chiamate **protoni** e **neutroni**. Gli elettroni hanno carica elettrica negativa, i protoni positiva ed i neutroni non ne hanno. Un atomo è elettricamente neutro, quindi protoni ed elettroni si trovano in numero uguale. Un atomo ha dimensioni di pochi Å ed il nucleo è molto più piccolo, misurando solo 10^{-13} cm! Protone e neutrone hanno una massa confrontabile, l'elettrone è invece 2000 volte circa meno massivo del protone. Quindi il peso di un atomo è dato dal peso del suo nucleo.

Se fornisco energia al mio atomo di idrogeno, dunque, riesco a vincere la forza che tiene gli elettroni legati al nucleo e, come risultato, ho uno **ione idrogeno** (in questo caso positivo, perché ho rimosso le cariche negative). Ho ottenuto dunque un nuovo stato della materia (solitamente neutra!), quello ionizzato o di **plasma**.

La materia esistente può essere classificata in base al numero di protoni (**numero atomico**) contenuti nel nucleo dei suoi atomi. Più è alto il numero atomico, più si hanno elementi pesanti e con proprietà complesse. Le forze che agiscono sulle particelle a livello nucleare, e che sono responsabili della stabilità del nucleo stesso, sono quelle di tipo forte e debole.



Atomo di Idrogeno

Le forze in natura

Esistono quattro categorie di forze: **elettromagnetica**, **nucleare forte**, **nucleare debole**, **gravitazionale**. Il fatto di averle distinte in quattro categorie non significa che siano divise le une dalle altre. Ad esempio la forza elettromagnetica e quella nucleare debole sono due aspetti di un'unica forza chiamata **elettro-debole**. In futuro, forse, si riuscirà ad unificare tutte e quattro le forze sopra citate. Per semplicità, però, analizziamole separatamente. La forza elettromagnetica è nota agli uomini fin dall'antichità. Quella elettrica agisce tra particelle che trasportano cariche elettriche (positive o negative) e soddisfa alla relazione dell'inverso del quadrato. Cioè, essa diventa quattro volte più debole al raddoppiare della distanza delle particelle. La forza magnetica è essenzialmente identica a quella magnetica. Essa è, infatti, prodotta da cariche elettriche in movimento (**corrente elettrica**) che generano un **campo magnetico**. La forza elettromagnetica determina la struttura generale della materia. Ad esempio, le forze agenti sugli atomi all'interno del reticolo, sono di natura elettrica. Come visto prima, all'interno del nucleo troviamo la forza **nucleare forte**. Essa è molto diversa da quella elettromagnetica. Innanzitutto è molto più forte ed agisce solo quando due particelle sono molto vicine le une alle altre. Inoltre agisce anche tra particelle non dotate di carica elettrica (come i neutroni del nucleo; mentre non agisce sugli elettroni, che sono troppo distanti). Le particelle atomiche sperimentano anche una forza **nucleare debole**. Essa è molto più debole della forza elettromagnetica, ma agisce comunque quando le particelle sono molto vicine.

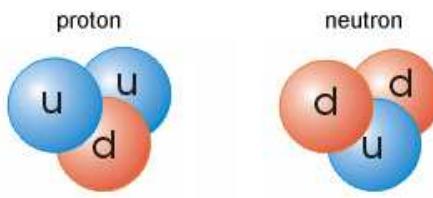
Per completezza, descriviamo brevemente anche le caratteristiche della forza **gravitazionale**. La forza gravitazionale è solo attrattiva, mentre quella elettromagnetica può essere attrattiva o repulsiva a seconda della natura delle cariche. Inoltre essa è molto debole. Infine la forza gravitazionale aumenta notevolmente con l'aumentare delle masse coinvolte.

I costituenti dell'atomo

Contrariamente a quanto pensavano gli antichi (atomo vuol dire “indivisibile”), anche le particelle atomiche sono a loro volta costituite da altre particelle, chiamate **leptoni** e **quarks**. Inoltre le forze tra queste particelle sono mediate da un altro gruppo di particelle chiamate **vettori bosoni**.

Esistono sei diversi tipi di leptoni (vedi tabella ultima pagina), di cui l'elettrone è il più familiare. Il muone ed il tau sono identiche all'elettrone, tranne che per la loro massa. Il muone è 200 volte più pesante dell'elettrone, mentre il tau ha una massa 300 volte quella dell'elettrone. Ad ognuna di queste particelle se ne può associare un'altra chiamata **neutrino**. Esistono quindi un neutrino elettronico, uno muonico ed uno tauonico che completano la famiglia dei leptoni. Tutte queste particelle sono state riprodotte in laboratorio durante collisioni tra particelle effettuate ad alte energie.

I quarks sono, anche loro, di sei diversi tipi: up, down, top, bottom, charmed e strange. I protoni ed i neutroni sono costituiti da diverse combinazioni di questi quarks. Un protone, ad esempio, è formato da due quark up ed un quark down, mentre un neutrone è formato da due quark down ed un quark up. Gli altri tipi di quarks non sono presenti nello stato normale della materia. Contrariamente ai leptoni, i quarks non sono mai stati osservati come particelle libere negli esperimenti in laboratorio.



Infine i **vettori bosoni** hanno l'importante ruolo di mediare le interazioni tra le altre particelle. Secondo la teoria quantistica, tutte le forze nascono grazie allo scambio di qualche particella fondamentale.

Consideriamo, ad esempio, la repulsione elettrica tra due elettroni. Nella teoria quantistica è spiegata nel modo seguente. Il primo elettrone emette una particella (fotone) che è assorbita dal secondo elettrone. E' proprio il trasferimento di questo fotone che genera la repulsione tra le due particelle. Tutte le interazioni elettromagnetiche tra particelle cariche possono essere pensate come generate dalla produzione di fotoni.

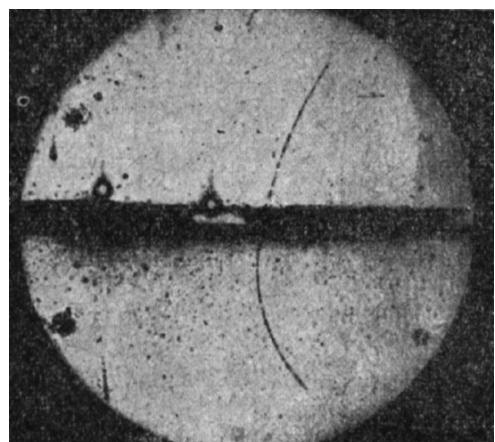
La forza nucleare debole tra quarks e leptoni è mediata, invece, da particelle chiamate bosoni W e Z; mentre la forza nucleare forte tra quarks è mediata da un gruppo di otto particelle chiamate “gluoni”.

Particle	Name	Description
Leptons	electron	mass = 0.5 MeV (stable)
	muon	mass = 107.6 MeV (unstable)
	tau	mass = 1784.2 MeV (unstable)
	electron neutrino	mass uncertain
	muon neutrino	
	tau neutrino	
Quarks	up quark	Not seen as free particles; constituents of protons and neutrons.
	down quark	
	top quark	
	bottom quark	
	charmed quark	
	strange quark	
Vector bosons	photon	[electromagnetism]
	W-boson	[weak force]
	Z-boson	[weak force]
	gluons	[strong force]
	[gravitons]	[gravity]

Antimateria

Per completare il discorso sulla materia è bene ricordare che ogni particella in natura possiede un'antiparticella. Esiste, ad esempio, una particella chiamata **positrone** che è identica all'elettrone, tranne che per la sua carica elettrica. Anche il protone possiede un "**anti-protone**" che ha carica negativa. Così come il protone è fatto di quarks, l'antiproton è fatto di anti-quarks. Anche se la descrizione delle antiparticelle può sembrare fantascienza, non lo è. I positroni, gli antineutroni, gli antiprotoni e molte altre antiparticelle sono spesso prodotte nel corso di interazioni ad alta energia.

Il mondo in cui viviamo è costituito da materia. Ma si potrebbe immaginare un mondo costituito da antiparticelle. Per ragioni non ancora chiare, c'è una forte asimmetria tra materia ed antimateria; considerazione, peraltro, basata sui risultati degli esperimenti condotti in laboratorio. Esperimenti che non possono tracciare particelle con energia superiore ai 100 miliardi di eV (GigaeV o GeV). Quindi il comportamento di particelle con energia estremamente elevata è predetto solo per via teorica. Esiste, ad esempio, la teoria dei **modelli supersimmetrici** che prevede tutta una serie di nuove particelle elementari, non osservate però sperimentalmente.



Traccia di positrone in camera a nebbia

Va ricordato, infine, che spesso gli studi e le osservazioni astrofisiche e cosmologiche sono in grado di fornire importanti informazioni su queste particelle, se esistono. Così come le proprietà della materia hanno, a loro volta, importanti conseguenze sulla cosmologia.