

Lezione 34: La carica elettrica

34.1. Le particelle elementari e la loro carica

Non solo gli atomi esistono, ma addirittura non sono atomi. Non è un gioco di parole: ἄτομος, come abbiamo già detto, significa "che non si può tagliare", e quindi "indivisibile". A cavallo tra l'800 e il '900 si scoprì che gli atomi hanno una struttura interna molto complicata, essendo costituiti da un numero più o meno grande di oggetti ancor più piccoli: tali oggetti furono chiamati elettroni, protoni e neutroni. Furono questi i primi esempi di una lunga serie di *particelle elementari* scoperte nel corso dei decenni successivi: l'ultima della lista, almeno per ora, si chiama Bosone di Higgs, e la sua scoperta è stata annunciata nel corso del 2012. "Particelle elementari" significa "oggetti che non possiedono, per quanto si sappia, una struttura interna fatta da oggetti più piccoli". Neutroni e protoni non sono più considerate particelle elementari: si è infatti scoperto che essi sono costituiti da mattoni più piccoli chiamati quarks. L'elettrone, viceversa, è tuttora ritenuto una particella elementare. La prossima figura (► fig.34.1) presenta la lista completa degli oggetti che oggi consideriamo particelle elementari.

	mass →	charge →	spin →																									
	≈2.3 MeV/c ²	2/3	1/2	u	up	≈1.275 GeV/c ²	2/3	1/2	c	charm	≈173.07 GeV/c ²	2/3	1/2	t	top	0	0	1	g	gluon	≈126 GeV/c ²	0	0	0	H	Higgs boson		
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	-1/3	1/2	d	down	≈95 MeV/c ²	-1/3	1/2	s	strange	≈4.18 GeV/c ²	-1/3	1/2	b	bottom	0	0	1	γ	photon								
LEPTONS	0.511 MeV/c ²	-1	1/2	e	electron	105.7 MeV/c ²	-1	1/2	μ	muon	1.777 GeV/c ²	-1	1/2	τ	tau	91.2 GeV/c ²	0	0	1	Z	Z boson							
	<2.2 eV/c ²	0	1/2	ν_e	electron neutrino	<0.17 MeV/c ²	0	1/2	ν_μ	muon neutrino	<15.5 MeV/c ²	0	1/2	ν_τ	tau neutrino	80.4 GeV/c ²	±1	±1	1	W	W boson							

Fig.34.1 Le particelle elementari

Tutte le particelle hanno una massa, indicata in alto a sinistra: alcune sono più pesanti, altre più leggere. Due hanno massa esattamente nulla: sono il fotone (nostra vecchia conoscenza, della quale dovremo riparlare in seguito) ed il gluone. Altre, come i neutrini, hanno massa certamente molto piccola, forse nulla. Il neutrino elettronico, ad esempio, ha massa minore di $2.2 \text{ eV}/c^2$: tradotto nella consueta unità significa che la massa di questi neutrini è certamente minore di 10^{-36} kg !

La figura ci informa che tutte le particelle hanno anche una carica. Si tratta di una nuova grandezza fisica, le cui caratteristiche saranno l'oggetto principale di questa e delle prossime lezioni. Come potete vedere, le particelle hanno cariche espresse da numeri interi: 0, +1, -1. Fanno eccezione i sei quark, che hanno cariche espresse da frazioni: $2/3$, $-1/3$. I quark, tuttavia, non esistono separatamente, ma solo in gruppi di due (a formare le particelle che si chiamano mesoni) o di tre (a formare le particelle che si chiamano barioni). Il risultato è che ogni particella ha sempre una carica espressa da un numero intero. La prossima figura (► fig.34.2) mostra la struttura interna di protoni e neutroni.

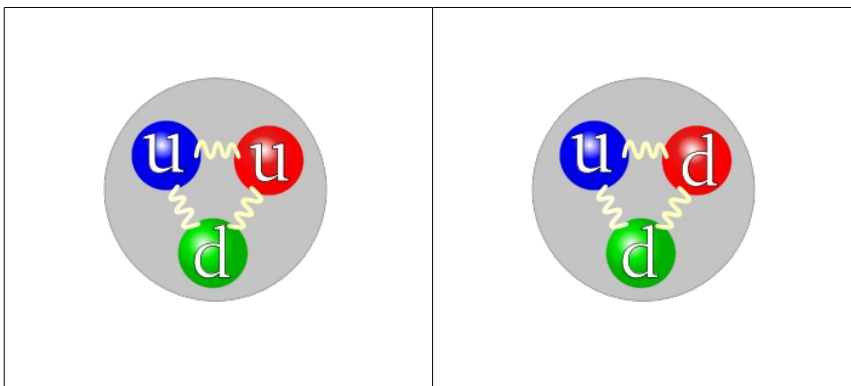


Fig. 34.2 La struttura interna di un protone e di un neutrone

Un protone è formato da due quark di carica $+2/3$ e un quark di carica $-1/3$: la sua carica complessiva è quindi $+1$. Un neutrone è formato da un quark di carica $+2/3$ e due quark di carica $-1/3$: la sua carica complessiva è quindi 0 .

34.2. La struttura interna degli atomi

Abbiamo detto che gli atomi sono fatti di elettroni, protoni e neutroni. La prossima figura (► fig.34.3) mostra il modo in cui i singoli costituenti si organizzano.

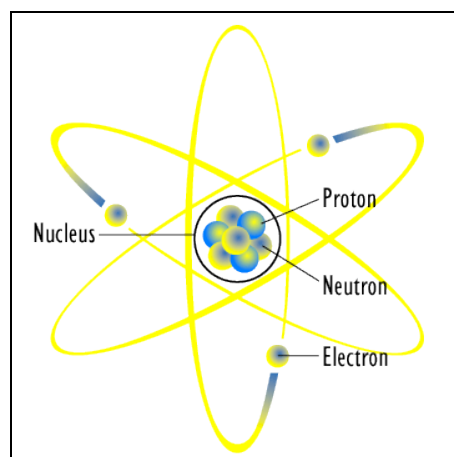


Fig.34.3 Come è fatto un atomo

Protoni e neutroni sono concentrati in una zona centrale che si chiama nucleo, molto più piccola di quanto la figura non faccia pensare: se le dimensioni fossero in scala il nucleo non si vedrebbe affatto! Intorno al nucleo si distribuiscono gli elettroni: la loro distanza dal nucleo, naturalmente, è molto più grande di quanto la figura suggerisca. Il nucleo che vedete è formato da 3 protoni e 4 neutroni, e intorno ad esso si distribuiscono 3 elettroni: un atomo fatto in questo modo si chiama "litio 7".

L'esempio illustra un fatto generale: ogni atomo contiene un numero uguale di elettroni e di protoni: ogni atomo, quindi, ha carica uguale a zero. Poiché i corpi sono fatti di atomi, ogni corpo, in condizioni normali, ha carica uguale a zero.

Per quanto riguarda la massa di un atomo, essa è quasi interamente concentrata nel suo nucleo. Protoni e neutroni, infatti, hanno una massa quasi identica, circa 1800 volte più grande di quella degli elettroni. La prossima tabella (►tab.34.1) raccoglie le proprietà più rilevanti delle particelle che costituiscono l'atomo. Gran parte di ciò che diremo sul comportamento elettrico della materia si potrà comprendere semplicemente ricordando le proprietà elencate in questa tabella.

protone	neutrone	elettrone
Nel nucleo	Nel nucleo	Intorno al nucleo
Strettamente legato	Strettamente legato	Debolmente legato
Carica positiva	Carica zero	Carica negativa
Massa rilevante	Massa rilevante	Massa trascurabile

Tab.34.1 Principali proprietà delle particelle che costituiscono l'atomo

34.3. Attrazione e repulsione tra cariche elettriche.

Nella prossima lezione approfondiremo un fatto sperimentale che per ora ci limitiamo ad enunciare:

Cariche di segno opposto si attraggono, cariche dello stesso segno si respingono.

L'attrazione tra cariche di segno opposto spiega perché l'atomo sta insieme: il nucleo, che ha carica positiva, attrae gli elettroni. Il risultato è che gli elettroni, nel loro moto incessante che è caratteristico del mondo microscopico, rimangono confinati nelle vicinanze del nucleo. E' un po' quello che accade ai pianeti del Sole, che restano confinati in quello che chiamiamo sistema solare, proprio a causa dell'attrazione che il Sole esercita su di essi, come abbiamo detto nella lezione 12.

L'attrazione reciproca che due masse qualsiasi esercitano l'una sull'altra si chiama *forza gravitazionale*. L'attrazione (o repulsione) reciproca che due cariche discordi (o concordi) esercitano l'una sull'altra si chiama *forza elettrica*.

L'attrazione elettrica che il nucleo esercita sugli elettroni spiega dunque come fanno a stare insieme gli atomi. Ma c'è un problema: che cosa tiene insieme il nucleo? Esso è fatto di protoni che esercitano l'uno sull'altro una forza repulsiva: perché questa forza non provoca il disgregarsi del nucleo stesso? La soluzione sta nel fatto che esiste una terza forza che si chiama *forza nucleare*: si tratta di una forza attrattiva che agisce sulle particelle pesanti che costituiscono il nucleo. La forza nucleare è più intensa di quella elettrica: ciò spiega perché, all'interno del nucleo, l'attrazione prevale sulla repulsione.

34.4. L'elettrizzazione di un corpo macroscopico.

In questa lezione abbiamo iniziato a descrivere la grandezza carica elettrica partendo dalle caratteristiche delle particelle elementari che sono i mattoni fondamentali della materia. Alcuni comportamenti elettrici dei corpi, tuttavia, sono ben conosciuti fin da un tempo in cui non si aveva alcuna idea della loro composizione microscopica. Gli antichi greci, ad esempio, sapevano che si può elettrizzare un pezzo di ambra semplicemente strofinandolo con un panno di lana: l'ambra così elettrizzata è in grado di attirare oggetti molto leggeri che si trovino vicini ad essa. Il nome stesso che usiamo per indicare il fenomeno deriva dal greco antico: ἤλεκτρον significa proprio "ambra". Potete fare un semplice esperimento: strofinate con un panno di lana il guscio plastico di una penna a sfera, e usatelo per attirare piccoli pezzi di carta.

Quello che non era chiaro era il meccanismo che produce attrazione e repulsione. Nel 18° secolo Benjamin Franklin interpretava i fenomeni elettrici come dovuti ad un fluido che permeava in modo uniforme tutta quanta la materia. I corpi sui quali il fluido si concentra assumono una carica positiva, quelli che viceversa presentano una rarefazione del fluido si caricano negativamente. L'attrazione tra cariche di segno opposto si spiegherebbe perciò con la necessità di ripristinare l'equilibrio nella distribuzione del fluido elettrico. Abbiamo visto qualche cosa di analogo nella lezione 24, nella quale abbiamo parlato di calorico, un fluido imponderabile la cui esistenza era stata ipotizzata per spiegare i fenomeni termici. Il fluido elettrico di Franklin, così come il calorico, doveva essere privo di peso: un pezzo d'ambra elettrizzato per strofinio, infatti, ha la stessa massa che aveva in precedenza.

Oggi sappiamo che non esiste alcun misterioso ed imponderabile fluido elettrico. Sappiamo che l'ambra strofinata si elettrizza perché un piccolo numero di elettroni passa dalla lana all'ambra: il corpo che perde elettroni (il panno di lana) si carica positivamente, quello che li acquista (il pezzo di ambra) si carica negativamente. Per entrambi non si osservano variazioni di massa perché gli elettroni sono particelle molto leggere.

34.5. Conduttori e isolanti.

Se strofiniamo con un panno di lana una penna in plastica ci accorgiamo subito che essa si elettrizza. Se facciamo la stessa cosa con una penna metallica non osserviamo invece alcun effetto. Eppure quel che avviene a livello microscopico è simile nei due casi: in entrambi avviene un passaggio di elettroni dalla lana alla penna. Perché la plastica attrae la carta e il metallo no? Il motivo consiste nel fatto che i metalli sono conduttori e la plastica è isolante.

Si chiamano conduttori i materiali che permettono alle cariche elettriche di scorrere liberamente attraverso di essi. Si chiamano isolanti materiali che non permettono questo flusso di carica.

La corrente elettrica, come vedremo in una prossima lezione, non è altro che un flusso di cariche: nell'impianto elettrico di casa, per esempio, le cariche che fluiscono sono elettroni. I fili che trasportano la corrente hanno un'anima in rame, che è il conduttore lungo il quale avviene il trasporto, ed un rivestimento in plastica, che è l'isolante usato per impedire che il flusso di elettroni prenda direzioni sbagliate.

34.6. Elettrizzazione per contatto e per induzione.

Un corpo elettrizzato può cedere ad altri corpi la sua carica. Se essa è negativa, ciò significa che il corpo presenta un eccesso di elettroni: essi possono essere ceduti ad un secondo corpo posto in contatto col primo. Anche il secondo corpo, quindi, si carica negativamente. Se il primo corpo è carico positivamente, ciò significa che esso presenta una carenza di elettroni. Posto in contatto con un altro corpo, il primo riceve elettroni dal secondo, che a sua volta si carica positivamente. Questo modo di trasferire carica da un corpo all'altro si chiama *elettrizzazione per contatto*.

Esiste poi un altro modo per elettrizzare un corpo neutro, che si chiama *elettrizzazione per induzione*. Essa avviene quando un corpo carico viene posto vicino ad un conduttore. In questo caso le cariche che si trovano su di esso si ridistribuiscono. Le cariche di segno opposto a quelle del corpo inducente sono da esso attratte, le altre allontanate. Il conduttore quindi è attirato dal corpo inducente e le sue cariche sono in totale nulle, ma distribuite vicine e lontane dal corpo inducente. Pertanto, se il conduttore si può dividere in due parti, è sufficiente separarle affinché risultino elettrizzate con cariche uguali e di segno opposto.

La prossima figura (► fig.34.4) illustra il concetto, mediante l'uso di uno strumento che si chiama elettroscopio. Esso è fatto da un'asta metallica che termina con due sottili striscioline, anch'esse di metallo: se l'asta viene caricata, le cariche si

distribuiscono lungo tutto il percorso. Le striscioline, cariche dello stesso segno, si respingono; essendo molto leggere esse tendono a divaricarsi.

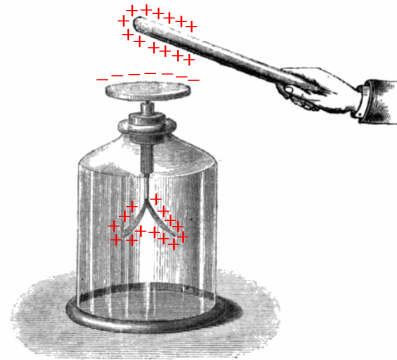


Fig.34.4 Un elettroscopio caricato per induzione

Come si può notare in figura, la bacchetta carica positivamente non viene messa in contatto con l'asta dell'elettroscopio, ma semplicemente avvicinata ad essa. Gli elettroni dell'asta avvertono l'attrazione della bacchetta, e tendono a concentrarsi verso la parte superiore dell'asta, che si carica quindi negativamente, mentre le striscioline si respingono perché entrambe caricate positivamente.

34.7. La conservazione della carica.

La carica di un sistema isolato si conserva, così come la sua energia e la sua quantità di moto. La carica quindi, così come l'energia e la quantità di moto, non si può né creare né distruggere, ma solo trasferire da un punto a un altro. Se, osservando un volume di spazio, ci accorgiamo che la carica al suo interno sta cambiando, ciò significa che c'è un flusso di carica attraverso la superficie che lo racchiude. Se riusciamo ad impedire il flusso di carica attraverso la superficie, cioè se isoliamo elettricamente il volume che essa racchiude, certamente la carica contenuta in quel volume non cambia nel corso del tempo, cioè si conserva.

Ciò non significa che all'interno di quel volume non possano avvenire fenomeni in cui la carica viene creata o distrutta. Fenomeni di questo tipo, anzi, avvengono in continuazione: le particelle elementari si creano e si distruggono, ma ogni volta che una particella di carica +1 viene creata, deve simultaneamente avvenire la creazione di una particella di carica -1, oppure la distruzione di un'altra particella di carica +1. Ogni atto di creazione e distruzione, quindi, non può cambiare la carica del sistema isolato che stiamo considerando.