

1.1 Cariche elettriche e forza di Coulomb

La carica elettrica è una grandezza fisica scalare (ossia un numero) e si misura in Coulomb.

La carica elettrica inoltre è una grandezza quantizzata, ciò significa che non tutti i valori sono possibili ma solo i multipli della cosiddetta “carica fondamentale” e , che vale $1,609 \cdot 10^{-19}C$: è quindi possibile avere valori di carica e , $2e$, $1000 e$ e così via ma non ad esempio $1,5 e$.

L'elettrone possiede una carica negativa $-e$, mentre il protone possiede una carica $+e$.

Cariche dello stesso segno si respingono mentre cariche di segno opposto si attraggono: quindi se consideriamo due corpi puntiformi carichi q_1 e q_2 posti a una distanza r , questi si attraggono o si respingono a seconda che le due cariche siano di segno opposto o uguale. Come mostrato in Fig.1, su ciascuna delle due cariche agisce una forza: le due forze sono identiche in modulo, hanno la stessa direzione (ossia la retta congiungente i centri delle due cariche) ma possiedono verso opposto. La relazione tra le cariche elettriche e l'intensità della forza F elettrica che si manifesta tra di esse è espressa dalla legge di Coulomb:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

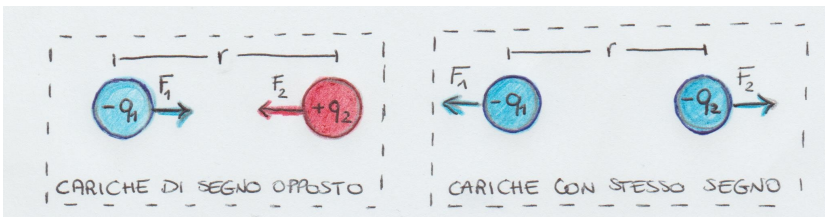


Figura 1. Rappresentazione schematica della legge di Coulomb tra due cariche di segno opposto (a sinistra) e due cariche con stesso segno (a destra).

Se consideriamo ora una carica q_1 che interagisce con un insieme di altre cariche q_2, q_3, \dots, q_N allora la forza totale che agisce su q_1 sarà la somma (FIG 2) delle forze che ciascuna carica esercita su di essa (questa somma è di tipo vettoriale).

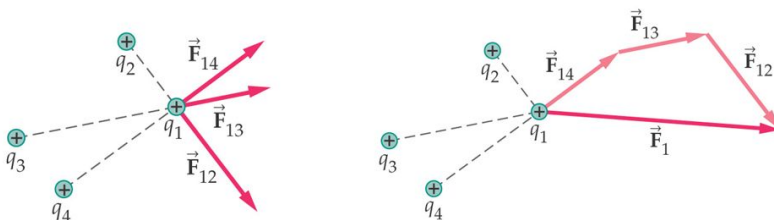


Figura 3. Esempio di somma di più forze: la forza risultante agente su q_1 è indicata nel diagramma a destra come F_1 . La forza elettrica è un'interazione a distanza: i due corpi carichi interagiscono sebbene si trovino a distanza r . Anche la forza gravitazionale è un'interazione a distanza: il Sole per esempio esercita la sua forza sui pianeti anche se questi sono lontanissimi.

ATTIVITA' PRATICA

Simulazione forza di Coulomb tra due cariche

Andate al link: https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_it.html

Scegliete la simulazione in scala macroscopica. Sono presenti due cariche, rappresentate come due sfere: quella blu è negativa, mentre quella rossa è positiva. I due "omini" che sono collegati ad esse servono per evidenziare che le cariche sono fisse: gli 'omini' le stanno tenendo ferme!! Se non ci fossero gli "omini" infatti, le cariche si muoverebbero sotto l'azione della forza di Coulomb, avvicinandosi o allontanandosi a seconda del loro segno. La situazione iniziale proposta prevede la carica blu negativa ($-4\mu\text{C}$) che si trova a 4cm e la carica rossa positiva ($+8\mu\text{C}$) che si trova a 7cm, e sono indicati i valori delle forze coinvolte. Verificare cosa succede alle forze se:

1. Si mantengono costanti i valori delle cariche ma si cambia la distanza tra di esse
2. Si lascia invariata la distanza e si aumentano i valori di una o entrambe le cariche mantenendo il loro segno
3. Si lascia invariata la distanza e i valori delle cariche, ma si inverte il loro segno

1.2 Dipolo elettrico

Un dipolo è un sistema formato da due cariche elettriche q uguali ma di segno opposto, poste a distanza fissata d . Per descriverlo quantitativamente, si definisce un vettore, detto momento dipolare μ (FIG. 3), il cui modulo è pari al prodotto fra carica e distanza, la direzione è data dalla congiungente le due cariche e il verso dalla carica negativa alla positiva

$$\mu = q \cdot d$$

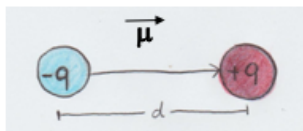


Fig.3 Dipolo elettrico e vettore momento di dipolo

ATTIVITA' PRATICA

Simulazione cariche elettriche

https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_it.html

In questa simulazione è possibile disporre nello spazio alcune cariche, e misurare attraverso un sensore (indicato in giallo) il valore del campo elettrico ad esse associato. Il campo elettrico è dato dal rapporto fra la forza elettrica agente sul sensore e la sua carica e quindi è una grandezza direttamente proporzionale alla forza elettrica. Si può visualizzare la direzione e il valore del campo elettrico spuntando le relative voci nel riquadro in alto a destra, (riportato qui a fianco per chiarezza). Trascinando l'icona del metro a nastro nel punto desiderato, si possono misurare le distanze, per esempio tra la carica ed il sensore.



- Posizionate la carica rossa e la carica blu, formando un dipolo, nel lato sinistro dello schermo e il sensore il più lontano possibile da esse.
- Osservate come cambia il valore del campo avvicinando il sensore alle due cariche. Come varia con la distanza? Più rapidamente o più lentamente di quello dato da una sola carica puntiforme?
- Cosa succede se aumentiamo la distanza fra le due cariche (quindi aumentiamo il dipolo elettrico)?

2. Energia potenziale ed equilibrio

Vogliamo qui rivedere brevemente alcuni concetti importanti riguardanti l'energia potenziale. Consideriamo perciò un corpo di massa M , che si può muovere sotto l'azione di una forza conservativa (come ad esempio la forza peso). Se la forza è conservativa, il lavoro che essa compie per spostare il corpo da un punto A ad un punto B dello spazio non dipende dal percorso, ma solo dalla posizione finale e iniziale del corpo. Possiamo scrivere cioè che

$$L_{AB} = U(\mathbf{r}_A) - U(\mathbf{r}_B),$$

dove $U(\mathbf{r})$ è una grandezza che dipende solo dalle coordinate del corpo \mathbf{r} e che prende il nome di energia potenziale.

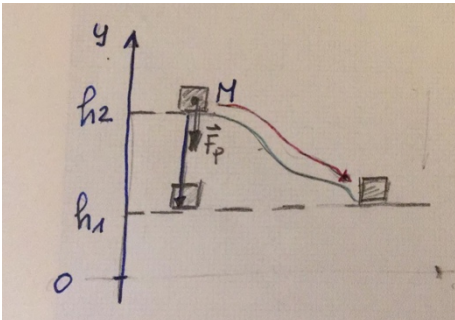


Figura 4 La massa M , soggetta alla forza peso F_p , si muove da h_2 a h_1 lungo due percorsi diversi (rosso e blu). Il lavoro compiuto dalla forza peso è il medesimo.

Se consideriamo per esempio una massa M soggetta alla forza peso $\mathbf{P} = M\mathbf{g}$ (vedi Fig. 4), quando la massa si sposta dalla quota $y = h_2$ alla quota $y = h_1$, la forza peso compie un lavoro pari a $Mg(h_2 - h_1)$, indipendentemente dal percorso fatto dal corpo. L'energia potenziale della forza peso è espressa dalla funzione $U(y) = Mgy$ (avendo posto lo zero dell'energia potenziale alla quota $y = 0$).

L'energia potenziale ha alcune caratteristiche molto importanti che vogliamo qui sottolineare.

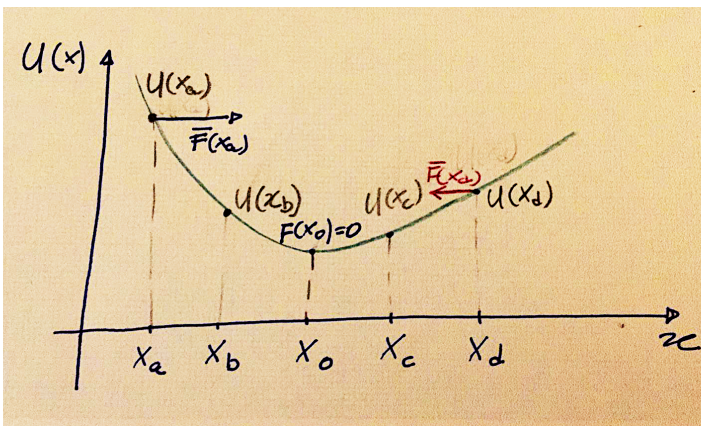


Figura 5 Energia potenziale $U(x)$ di una generica forza conservativa $F(x)$. Le frecce mostrano il verso della forza nei punti x_a e x_d .

Consideriamo un corpo, soggetto ad una forza conservativa generica (potrebbe essere la forza peso, o la forza elastica, o quella elettrostatica). Per semplicità consideriamo un moto unidimensionale, lungo la direzione x . Supponiamo di conoscere come varia l'energia potenziale del corpo al variare della sua posizione x , come mostrato in Fig.5. Consideriamo la regione $x < x_0$, in cui l'energia potenziale decresce all'aumentare delle x , e scegliamo due punti x_a e x_b in questa regione, come mostrato in figura. Il lavoro fatto dalla forza per portare il corpo da x_a a x_b è pari a $U(x_a) - U(x_b) > 0$. Dato che il lavoro è positivo vuol dire che la forza ha verso concorde con lo spostamento, cioè è diretta verso destra. Viceversa, nella regione $x > x_0$, l'energia potenziale cresce

all'aumentare di x . Il lavoro fatto dalla forza per spostare il corpo da x_c a x_d è $U(x_c)-U(x_d) < 0$. La forza in questa regione ha dunque verso discorde con lo spostamento ed è quindi diretta verso sinistra.

In generale, possiamo dire che **la forza è sempre diretta nel verso opposto a quello in cui l'energia potenziale cresce**. Nel caso della forza peso per esempio, l'energia potenziale cresce verso l'alto e la forza peso è diretta verso il basso

Conoscendo l'andamento dell'energia potenziale possiamo quindi determinare il verso della forza ad essa associata (con qualche conto in più anche il suo modulo).

Questa proprietà ha una conseguenza importante: In Fig. 5 il punto x_0 è un punto di minimo, in cui cioè l'andamento dell'energia potenziale cambia da decrescente a crescente. La forza deve quindi cambiare di verso in quel punto, cioè passare da positiva a negativa. **In un minimo (ma anche in un massimo) dell'energia potenziale la forza si annulla. Il corpo in quel punto non è quindi soggetto a forze, cioè è in equilibrio.**

Nel caso di un massimo l'equilibrio è instabile (basta spostare di poco il corpo perché la forza tenda ad allontanarlo dalla condizione di equilibrio), mentre nel caso del minimo l'equilibrio è stabile.

Per determinare la **condizione di equilibrio stabile** di un sistema è dunque sufficiente conoscere **il minimo della sua energia potenziale**: per spostare il sistema da questa condizione di minimo occorre fare lavoro sul di esso, fornendogli energia dall'esterno.

3. LA STRUTTURA DELL'ATOMO

La materia è costituita da atomi. Per descrivere la struttura dell'atomo si usa comunemente un semplice modello "planetario": il nucleo atomico è costituito da protoni (carichi positivamente) e da neutroni (privi di carica) e ha dimensioni dell'ordine di 10^{-15} metri (femtometri); gli elettroni, che hanno pure dimensioni inferiori al femtometro, "ruotano" intorno ad esso, sotto l'azione della forza di Coulomb, ad una distanza dell'ordine di 10^{-10} (decimi di nanometro), dunque ad una distanza diecimila volte più grandi della dimensione nucleare.

Le distanze intratomiche

Non è facile immaginarsi dimensioni così piccole, il video che trovate al seguente link, che mostra chiaramente l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo, può aiutarvi a farvi un'idea.

<https://www.youtube.com/watch?v=DWouwx3Hxmk>

Il numero di protoni e di elettroni contenuti in un atomo (il cosiddetto numero atomico Z) varia a seconda dell'elemento, ma arriva al massimo (per gli atomi più pesanti) a poco più di cento.

La maggior parte dello spazio occupato da un atomo è quindi vuoto! Le immagini che rappresentano l'atomo, come ad esempio quella di Fig. 6, sono in questo senso un po' fuorvianti, perché non sono in scala: le dimensioni di nucleo e elettroni sono per forza di cose enormemente enfatizzate rispetto alle distanze fra essi. Se infatti volessimo disegnare un atomo di idrogeno rispettando le corrette proporzioni, indicando il nucleo come un puntino di 1 mm di diametro, dovremmo disegnare l'elettrone come un puntino ancora più piccolo, a distanza di circa 60 m dal nucleo!

Vogliamo qui sottolineare una cosa: spesso gli atomi sono rappresentati come piccole sfere colorate

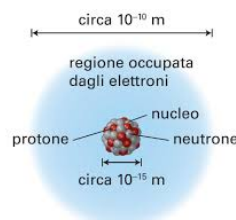


Figura 6. L'atomo e le sue dimensioni.

dall'apparenza solida: questa rappresentazione è molto utile quando si vuole descrivere come si legano fra loro gli atomi a formare molecole e solidi, ma non deve essere presa troppo letteralmente. Gli atomi non sono sfere piene, e quando si parla di raggio atomico, non si deve intendere in raggio di una pallina, ma come la distanza più probabile fra gli elettroni più esterni e il nucleo.

3.1 PICCOLO APPROFONDIMENTO SUL MODELLO ATOMICO (facoltativo)

Il modello secondo cui gli elettroni orbitano attorno al nucleo in modo simile a come i pianeti orbitano attorno al sole è utile per "immaginarsi" gli atomi ma non è corretto. Infatti, secondo la teoria dell'elettromagnetismo (le equazioni di Maxwell) una qualsiasi particella carica accelerata emette radiazione elettromagnetica, con conseguente perdita di energia. Dato che gli elettroni che ruotano attorno al nucleo posseggono un'accelerazione centripeta, sono particelle accelerate e secondo la teoria classica dovrebbero emettere energia

in modo continuo, ossia dovrebbero via via perdere energia e muoversi a spirale verso il nucleo fino a collassare su di esso. Per spiegare la stabilità degli atomi è stato necessario introdurre una nuova teoria fisica: la meccanica quantistica. In fisica classica, studiare il moto di un corpo significa determinarne la posizione, la velocità e l'accelerazione in ogni istante. Per fare ciò occorre risolvere l'equazione del moto, determinata dalle leggi di Newton. Nella teoria quantistica, gli elettroni, così come le altre particelle, non sono più descritti come 'palline' (punti materiali) che si muovono con una precisa traiettoria. Il loro stato viene descritto introducendo una funzione matematica (la cosiddetta funzione d'onda), che ci permette di calcolare quale è la probabilità che quell'elettrone si trovi in una certa posizione (o meglio, in una piccola porzione di spazio attorno a quella posizione). Per determinare questa funzione occorre risolvere un'equazione, diversa da quella classica, nota come equazione di Schrödinger. Nel caso degli elettroni di un atomo (che interagiscono fra loro e con il nucleo attraverso la forza di Coulomb), l'equazione di Schrödinger permette di determinare sia le loro funzioni d'onda (note come orbitali, di cui avete probabilmente parlato in chimica) sia l'energia che li caratterizza.

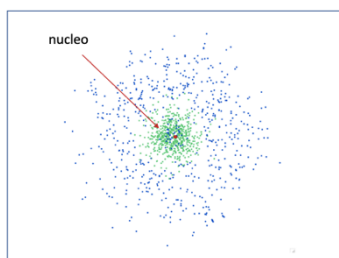


Figura 7. Rappresentazione delle nuvole elettroniche degli orbitali 1s (verde) e 2s (blu) dell'atomo di Litio. Il puntino rosso al centro rappresenta il nucleo (dimensioni non in scala)

In Fig. 7 è mostrato un esempio di orbitali atomici, nel caso dell'atomo di litio:

essi sono rappresentati da un insieme di puntini (di colore diverso per ogni orbitale), che formano una sorta di nuvola. Ogni puntino rappresenta una possibile posizione dell'elettrone nell'orbitale: le zone in cui i puntini sono più densi corrispondono alle regioni in cui la probabilità di trovare l'elettrone è più alta. Pur non potendo descrivere la traiettoria esatta dell'elettrone, è possibile definire una regione, che in questo caso ha forma sferica, in cui è più probabile trovarlo e una distanza dal nucleo più probabile. Nel caso di atomi con più elettroni, abbiamo diversi orbitali, caratterizzati da dimensioni, forme ed energie diverse. Gli elettroni che si trovano su orbitali più vicini al nucleo, sono più fortemente legati (perché risentono più fortemente dell'interazione attrattiva del nucleo) ed hanno quindi energie più negative. Quelli più esterni hanno invece energie meno negative. I valori di energia che l'elettrone può assumere sono discreti: si dice che l'energia è quantizzata, perché può variare solo di quantità definite, e non in modo continuo; grazie a ciò l'elettrone si muove attorno al nucleo mantenendo la propria energia, quella dell'orbitale su cui si trova, senza emettere radiazione elettromagnetica. Inoltre, se sono quantizzati i livelli energetici, allora sono quantizzate anche le differenze di energia tra di essi e ciò significa che ogni atomo può assorbire o cedere solo certe quantità di energia caratteristiche; ciò spiega ad esempio il colore della luce emessa quando vengono bruciati elementi diversi ed anche il diverso colore delle lampade a LED.

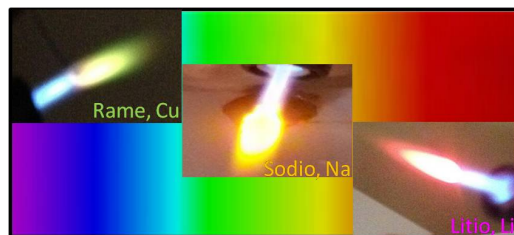


Figura 8 Colore della fiamma ottenuta bruciando diversi elementi chimici

