

## 12. Carica elettrica e campo elettrico

### 1 Origine delle forze elettriche

Nel libro di Born suggerito in questo corso si racconta come la teoria dei fenomeni elettrici si è sviluppata storicamente. Non ripetiamo qui tale storia, ma consideriamo da subito il punto di vista moderno. Abbiamo visto che la legge sperimentale dei gas perfetti può essere spiegata mediante l'ipotesi che la materia è composta di atomi. Questi, in prima approssimazione, possono essere pensati come punti materiali obbedienti alle leggi della meccanica newtoniana. La massa è dunque, almeno fino a questo punto della discussione, l'unico parametro degli atomi. Atomi di elementi diversi hanno masse diverse. Gli atomi, essendo dotati di massa, sentono le forze gravitazionali, che sono sempre attrattive. A dispetto del loro nome originario, gli atomi sono oggetti composti. In prima approssimazione, possiamo immaginarli come minuscoli sistemi solari. Un nucleo centrale attrae e mantiene in orbita gli elettroni. Tale attrazione è dovuta alle forze elettriche. A differenza della forza gravitazionale, quella elettrica può essere di due tipi: attrattiva e repulsiva. In modo simile al concetto di massa gravitazionale, introduciamo il concetto di carica elettrica. La carica elettrica di un corpo è dunque la capacità del corpo di esercitare una forza elettrica. Mentre nel caso della forza gravitazionale la capacità di esercitare una forza è di un solo tipo, per la forza elettrica ai due tipi di forza attrattiva e repulsiva facciamo corrispondere due capacità diverse che chiamiamo carica elettrica positiva e negativa. Il fatto fondamentale è che cariche di segno uguale si respingono, mentre quelle di segno opposto si attraggono. Il nucleo ha carica positiva mentre gli elettroni hanno carica negativa. Un atomo, cioè il nucleo insieme agli elettroni, ha carica totale nulla, cioè è neutro.

### 2 Legge di Coulomb

La forza che si esercita tra due cariche è descritta dalla legge di Coulomb. Se  $q_1$  e  $q_2$  indicano due cariche elettriche e  $R$  è la distanza tra esse, allora la forza che le due cariche esercitano l'una sull'altra ha intensità pari a

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}. \quad (1)$$

Come già accennato, se  $q_1$  e  $q_2$  hanno lo stesso segno, la forza è repulsiva, mentre se hanno segno diverso allora è attrattiva. La costante  $k$  dipende dall'unità di misura scelta per misurare la carica elettrica. Nel sistema MKS (metro-chilogrammo-secondo) l'unità di carica è detta Coulomb e la costante  $k$  vale

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{m^2 N}{C^2}. \quad (2)$$

Un elettrone ha una carica negativa che vale

$$e = -1.6 \cdot 10^{-19} C. \quad (3)$$

Per rendersi conto dell'importanza delle forze elettriche facciamo un confronto con quelle gravitazionali. Un elettrone ha una massa che vale

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} Kg. \quad (4)$$

Due elettroni a distanza  $R$  si attraggono con intensità

$$F_g = G \frac{m_e^2}{R^2} \quad (5)$$

a causa della forza gravitazionale, mentre si respingono con intensità

$$F_e = k \frac{e^2}{R^2} \quad (6)$$

a causa delle forze elettriche. Il rapporto tra le due forze è pari a

$$\frac{F_g}{F_e} = \frac{Gm_e^2}{ke^2} = \frac{6.67 \cdot 10^{-11}(9.1)^2 \cdot 10^{-62}}{9 \cdot 10^9(1.6)^2 \cdot 10^{-38}} = 2.4 \cdot 10^{-43} \quad (7)$$

cioè le forze elettriche sono molto più intense. Il motivo per cui le forze gravitazionali dominano nell'universo è dovuto al fatto che, in media, la carica elettrica è nulla. Le forze elettriche diventano importanti quando si crea uno squilibrio tra cariche positive e negative.

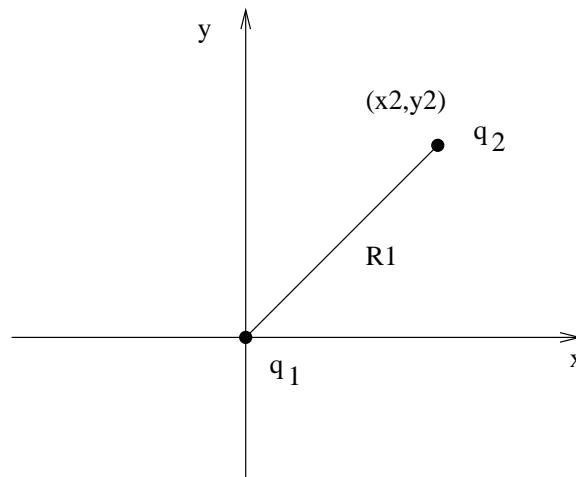


Figura 1: Una carica  $q_2$  è posta nel punto di coordinate  $x_2, y_2$ , mentre una carica  $q_1$  si trova nell'origine.

### 3 Campo elettrico

Consideriamo di porre nell'origine degli assi coordinati una carica elettrica  $q_1 > 0$  come mostrato in figura (1). Supponiamo che la carica  $q_2$  si trovi nel punto di coordinate

$(x_2, y_2)$ . La distanza tra le due cariche è  $R_{12} = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$ . La forza che agisce su  $q_2$  è  $F_2 = k(q_1q_2)/R_{12}$  ed è diretta lungo la congiungente delle due cariche. Se  $q_2 > 0$  la forza è repulsiva, se  $q_2 < 0$  è invece attrattiva. Se consideriamo una carica  $q_3$  nel punto  $(x_2, y_2)$ , allora la forza è  $F_3 = k(q_1q_3)/R_{12}$ . Il rapporto tra le due forze dipende solo dal rapporto tra  $q_2$  e  $q_3$ . È utile introdurre un cambiamento di punto di vista. Definiamo il campo elettrico che la carica  $q_1$  crea nel punto  $(x_2, y_2)$  nel modo seguente. Il campo elettrico è un vettore che è diretto dall'origine al punto  $(x_2, y_2)$  ed ha modulo

$$E(x_2, y_2) = k \frac{q_1}{R_{12}^2}. \quad (8)$$

Le forze  $F_2$  e  $F_3$  che le cariche  $q_2$  e  $q_3$  sentono nel punto  $(x_2, y_2)$  sono date dal prodotto del campo elettrico  $E(x_2, y_2)$  con il valore delle cariche stesse. Infatti  $F_2 = q_2E(x_2, y_2)$  e  $F_3 = q_3E(x_2, y_2)$ . Il punto di vista alternativo è questo: la carica  $q_1$  crea nello spazio circostante un campo elettrico. Il campo elettrico rappresenta dunque un cambiamento delle proprietà dello spazio. Le cariche elettriche  $q_2$  e  $q_3$  sentono, localmente, il campo elettrico, avvertono cioè che le proprietà dello spazio sono cambiate. Secondo questo punto di vista la forza tra le cariche non è più una forza a distanza ma è mediata dal campo elettrico. Per descrivere la forza elettrica tra due cariche ferme i punti di vista dell'azione a distanza e quello del campo elettrico sono equivalenti. Vedremo però che nel caso di fenomeni non statici il punto di vista del campo elettrico corrisponde alla realtà fisica.