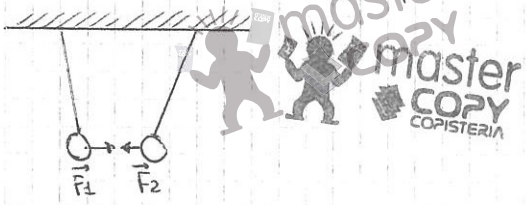
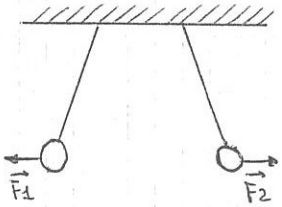
AZIONI ELETTRICHE

Fra oggetti macroscopici opportunamente trattati (ad esempio mediante strofinio con un panno di lana) si esercita una forma di azioni a distanza, dette AZIONI ELETTRICHE.
L'essenza del fenomeno può essere riassunta come segue:

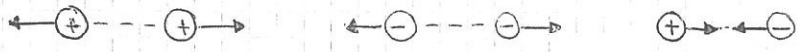
a) due oggetti della STESSA SOSTANZA (plastica, vetro, ...) dopo essere stati strofinati si respingono se posti l'uno in vicinanza dell'altro.

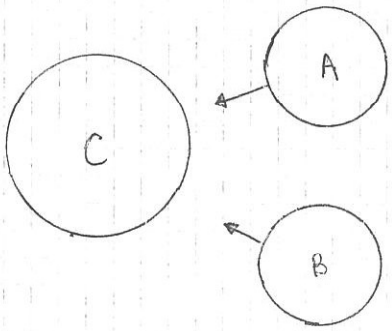
b) ponendo in vicinanza l'uno dell'altro, dopo averli strofinati, due oggetti di SOSTANZE DIVERSE si riscontra, in particolare accoppiamento, l'esistenza di forze attrattive.



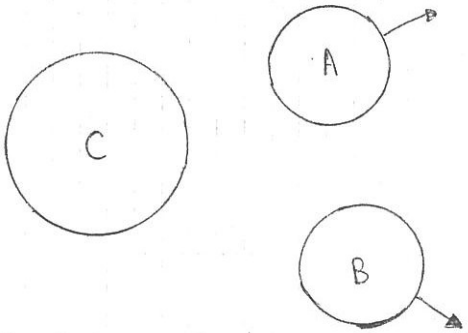


In natura esistono dunque due tipi diversi di "elettrizzazione", ovvero due tipi di CARICHE ELETTRICHE:
- cariche elettriche dello stesso segno si respingono
- cariche elettriche di segno opposto si attraggono

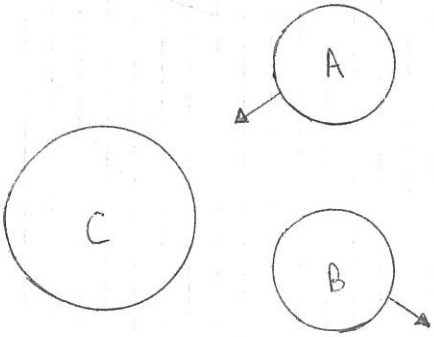




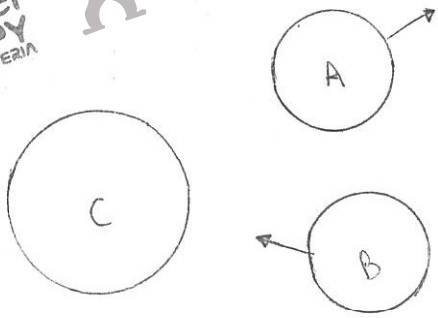
Se A è attratto da C e contemporaneamente B è attratto da C, A e B si RESPINGONO



Se A è respinto da C e contemporaneamente B è respinto da C allora A e B si RESPINGONO



Se A è attratto da C e B è respinto da C allora A e B si ATTRAGGONO



Se A è respinto da C e B è attratto da C allora A e B si ATTRAGGONO

La materia che ci circonda è formata a partire da tre soli costituenti fondamentali: protone (p), neutrone (n) ed elettrone (e).
La massa del protone è circa uguale alla massa del neutrone mentre quella dell'elettrone è circa 2000 volte più piccola:

$m_p = 1{,}6725 \cdot 10^{-27}$ Kg
$m_n = 1{,}6748 \cdot 10^{-27}$ Kg
$m_e = 9{,}1091 \cdot 10^{-31}$ Kg

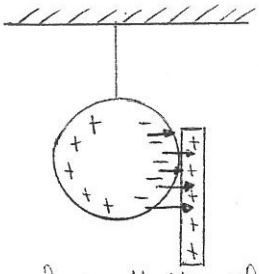
$R_{p,n} \sim 10^{-15}$ m
$R_e \sim 0$

PROCESSI DI ELETTRIZZAZIONE

(1) STROFINAMENTO: lo strofinio tra due corpi può produrre il passaggio di un certo numero di elettroni da un corpo all'altro (cioè dal corpo in cui gli elettroni sono meno fortemente legati verso quello in cui lo sono di più.) Così, ad esempio, un pezzo di vetro strofinato con un panno di lana parte da uno stato neutro e resta carico positivamente. Per sua parte, il panno di lana guadagna un eccesso di elettroni e si carica negativamente.

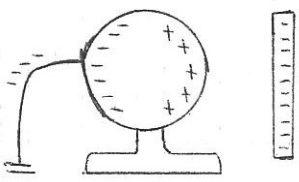
Nei materiali come vetro, plastica (ISOLANTI) le cariche elettriche trasferite per strofinio restano localizzate. Nei metalli (CONDUTTORI) si osserva che le cariche elettriche negative sono libere di muoversi all'interno del corpo.

(2) CONTATTO: supponiamo di avere una barretta carica positivamente e una sfera metallica neutra (protoni = elettroni). La sfera possiede al suo interno un gran numero di elettroni dei quali una parte è praticamente libera di muoversi. Se si pone la barretta in vicinanza della sfera, gli elettroni tendono ad addensarsi di più in vicinanza del corpo positivo verso cui, essendo negativi, sono attratti.



Con il contatto alcuni di questi elettroni si trasferiscono dal metallo verso la barretta carica positivamente. Se a questo punto si staccano i due corpi la sfera risulta carica positivamente, per contro la barretta tende a ridurre il suo stato di positività.

(3) INDUZIONE: consideriamo una sfera conduttrice neutra sostenuta da un supporto, ad essa viene avvicinata una barretta carica negativamente. Le cariche positive della sfera si avvicinano alla barretta. Se, colleghiamo il conduttore alla terra (per esempio mediante un filo metallico) allora offriamo alle cariche negative una "via di fuga".

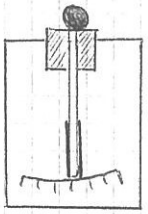


Se a questo punto si taglia il filo la sfera resta carica positivamente: abbiamo caricato la sfera del segno opposto della barretta.

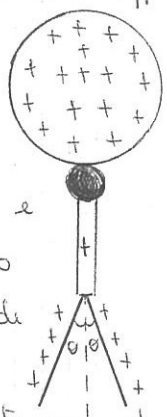
CARICA ELETTRICA E LEGGE DI COULOMB

Alcuni strumenti storici impiegati per lo studio della forza elettrica:

· ELETTROSCOPIO A FOGLIE



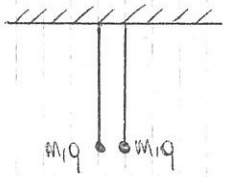
In un recipiente trasparente penetra un'asta metallica attraverso un opportuno foro che mantiene l'asta bloccata. All'estremità inferiore dell'asta, nella parte interna del recipiente sono appese due leggere foglioline metalliche libere di ruotare.

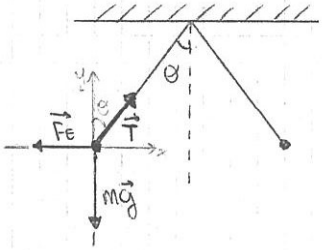


Quando l'asta metallica è elettricamente carica le foglioline si dispongono verticalmente per effetto della forza di gravità.

Se si tocca l'asta con un corpo carico l'asta si carica anch'essa e parte della carica si dispone anche sulle foglioline: queste, essendo cariche dello stesso segno, si respingono tra di loro e divergono di un angolo θ che può essere misurato con la scala graduata dell'elettroscopio. Dunque l'elettroscopio è in grado di denunciare l'esistenza di cariche elettriche su un corpo (positive o negative) attraverso la deflessione delle sue foglioline quando il corpo tocca l'asta.

Schematizziamo: foglia = massa puntiforme





$\vec{T} = (T\sin\theta, T\cos\theta)$

$m\vec{g} + \vec{F_E} + \vec{T} = 0$

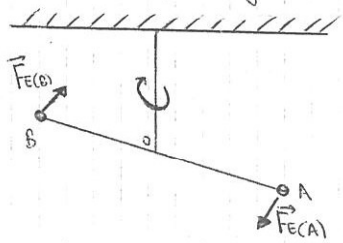
$$\div \begin{cases} T\sin\theta = F_E \\ T\cos\theta = mg \end{cases} \longrightarrow \tan\theta = \frac{F_E}{mg}$$

$$\boxed{F_E = \tan\theta \cdot mg}$$

· BILANCIA DI TORSIONE

Coulomb → forza elettrica (1785)

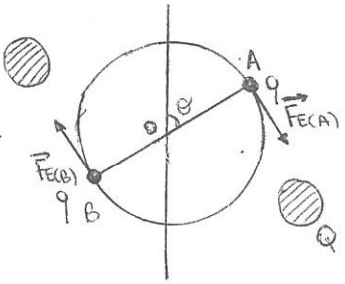
Cavendish → forza gravitazionale (1798)



La bilancia di torsione è costituita da un'asta priva di massa tranne che alle estremità e da un filo appeso al soffitto.

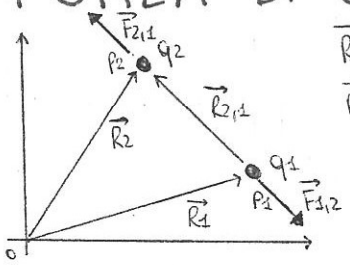
Immaginiamo di elettrizzare le estremità cedendo ad esse q, quindi poniamo di fronte ad esse dei corpi carichi Q.

Le forze sono quindi applicate alle estremità in maniera simmetrica. Quest'asta tenderà a ruotare: tanto più intense saranno le forze, tanto più grande sarà la torsione.



L'asta ruota nel piano x,y e il filo è allineato con l'asse z: $\vec{OA} \times \vec{F_A} + \vec{OB} \times \vec{F_B} + M\hat{\theta}\hat{k} = 0$

FORZA DI COULOMB



$\vec{R}_2 = \vec{R}_1 + \vec{R}_{2,1}$

$\vec{R}_{2,1} = \vec{R}_2 - \vec{R}_1$

Mediante l'uso di una bilancia di torsione si arriva stabilire la legge delle forze di natura elettrostatica detta LEGGE DI COULOMB.

Se due cariche puntiforme q_1 e q_2 vengono poste a distanza R nel vuoto la forza $\vec{F}_{2,1}$ che q_2 subisce ad opera di q_1 (uguale e opposta alla forza $\vec{F}_{1,2}$ che q_1 subisce ad opera di q_2; $\vec{F}_{2,1} = -\vec{F}_{1,2}$) può essere espressa come

$$\vec{F}_{2,1} = H \cdot \frac{q_1 q_2}{\|R_2 - R_1\|^3} \cdot (\vec{R}_2 - \vec{R}_1)$$

$$\vec{F}_{2,1} = H \cdot \frac{q_1 q_2}{\|R_{2,1}\|^2} \cdot \hat{R}_{2,1} \qquad \text{con } \hat{R}_{2,1} = \frac{\vec{R}_2 - \vec{R}_1}{\|\vec{R}_2 - \vec{R}_1\|}$$

- H è una costante di proporzionalità (positiva) il cui valore dipende dalle unità di misura
- $\vec{R}_{2,1}$ è il vettore posizione di q_2 rispetto a q_1 e $\hat{R}_{2,1}$ è il suo versore che rappresenta la congiungente delle due cariche (R è il modulo di $\vec{R}_{2,1}$)
- $q_1 q_2$ è il prodotto delle due cariche. Se $q_1 q_2 > 0$, cioè se hanno lo stesso segno, $\vec{F}_{2,1}$ è concorde con $\hat{R}_{2,1}$ ed è dunque repulsiva; mentre se $q_1 q_2 < 0$ la forza è attrattiva.

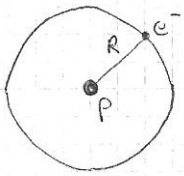
Come si vede, la legge di Coulomb è formalmente analoga alla legge di gravitazione universale, con la grandezza fisica carica elettrica al posto della massa gravitazionale: l'unica differenza è che la massa gravitazionale ammette un solo segno e la forza gravitazionale è sempre attrattiva.

Nel sistema SI la costante H assume valore pari a $H = 8{,}988 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ (COSTANTE DIELETTRICA DEL VUOTO)

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \quad \text{dove } \varepsilon_0 = 8{,}859 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{m^3}$$

<u>Esempio:</u> Valutare e confrontare la forza gravitazionale F_G e la forza elettrostatica F_E che elettrone e protone si scambiano in un atomo di idrogeno, sapendo che la loro carica elettrica è $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C e che il raggio dell'orbita è $R = 0{,}5 \cdot 10^{-10}$ m

si ha: $F_G = \frac{G m_p m_e}{R^2} = 4 \cdot 10^{-47}$ N

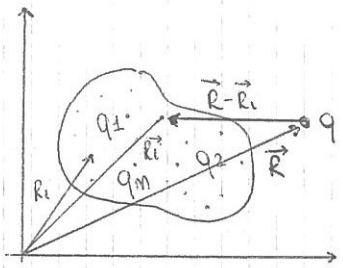


$F_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e \cdot e}{R^2} = 9 \cdot 10^{-8}$ N

$\frac{F_E}{F_G} = 2{,}2 \cdot 10^{39} \rightarrow F_E \gg F_G$

la forza gravitazionale gioca un ruolo del tutto trascurabile rispetto alla forza elettrostatica.

PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE LINEARE



Consideriamo un sistema costituito da un certo numero di cariche

$$\vec{F}_q(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{m} \frac{q q_i}{\|R-R_i\|^3} \cdot (\vec{R}-\vec{R}_i)$$

se ho 2 cariche:

$$\vec{F}_q(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_1}{\|R-R_1\|^3} (\vec{R}-\vec{R}_1) + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_2}{\|R-R_2\|^3} \cdot (\vec{R}-\vec{R}_2)$$

$\vec{R} = (x, y, z) \qquad \vec{R}_i = (x_i, y_i, z_i)$

$$F_{qx} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{m} \frac{q q_i (x-x_i)}{[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2]^{3/2}}$$

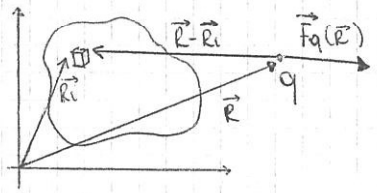
$$F_{qy} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{m} \frac{q q_i (y-y_i)}{[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2]^{3/2}}$$

$$F_{qz} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{m} \frac{q q_i (z-z_i)}{[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2]^{3/2}}$$

esempio: Consideriamo un volume di $1\,cm^3$ di un materiale isolante e gli cediamo $1\,mC = 10^{-9}\,C$. Immaginiamo che la distribuzione di questa carica sia uniforme

$$n(e^-) = \frac{10^{-9}\,C}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C} = 10^{10}\,e^- \text{ in } 1\,cm^3 \rightarrow 10^7\,e^- \text{ in } 1\,mm^3$$

DESCRIZIONE NEL DISCRETO



$$\vec{F}_q(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{10^7} \frac{q q_i}{\|R-R_i\|^3} \cdot (\vec{R}-\vec{R}_i)$$

troppo complicato!

dobbiamo fare delle approssimazioni

DAL DISCRETO AL CONTINUO

Considero la carica elettrica complessiva che c'è nel mio volume ΔV

$$\Delta q = \sum_{i=1}^{N} q_i = q_{TOT}$$

$$\Delta\vec{F}_q(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q \Delta q}{\|R-R_i\|^3} \cdot (\vec{R}-\vec{R}_i)$$

Definizione: DENSITÀ VOLUMETRICA DI CARICA ELETTRICA

$$\rho_q(\vec{R}) = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV} \quad \left[\frac{C}{m^3}\right]$$

$$\Delta q = \rho_q(\vec{R})\,\Delta V \rightarrow Q = \int_V \rho_q(\vec{R})\,dV$$

$$\vec{F}_q(\vec{R}) = \int_V \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \frac{\rho_q(\vec{R}')\,dV' \cdot (\vec{R}-\vec{R}')}{\|R-R'\|^3} \qquad (q_i = \rho_q(\vec{R}')\,dV')$$

$$\vec{F}_q(\vec{R})_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \int \frac{\rho_q(x', y', z')(x-x')\,dx'dy'dz'}{[(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2]^{3/2}}$$