



FISICA II



Lez. 1 – Forze elettriche e campi elettrici

Prof. Giovanni Mettivier



Prof. Giovanni Mettivier, PhD

Dipartimento Scienze Fisiche

Università di Napoli "Federico II"

Compl. Univ. Monte S. Angelo

Via Cintia, I-80126, Napoli

mettivier@na.infn.it

+39-081-676137



Sito web: <http://www.docenti.unina.it/mettivier>

Bisogna effettuare l'iscrizione al corso...

Sarà possibile scaricare tutto il materiale del corso

Tel. 081 676137

Mail. mettavier@na.infn.it

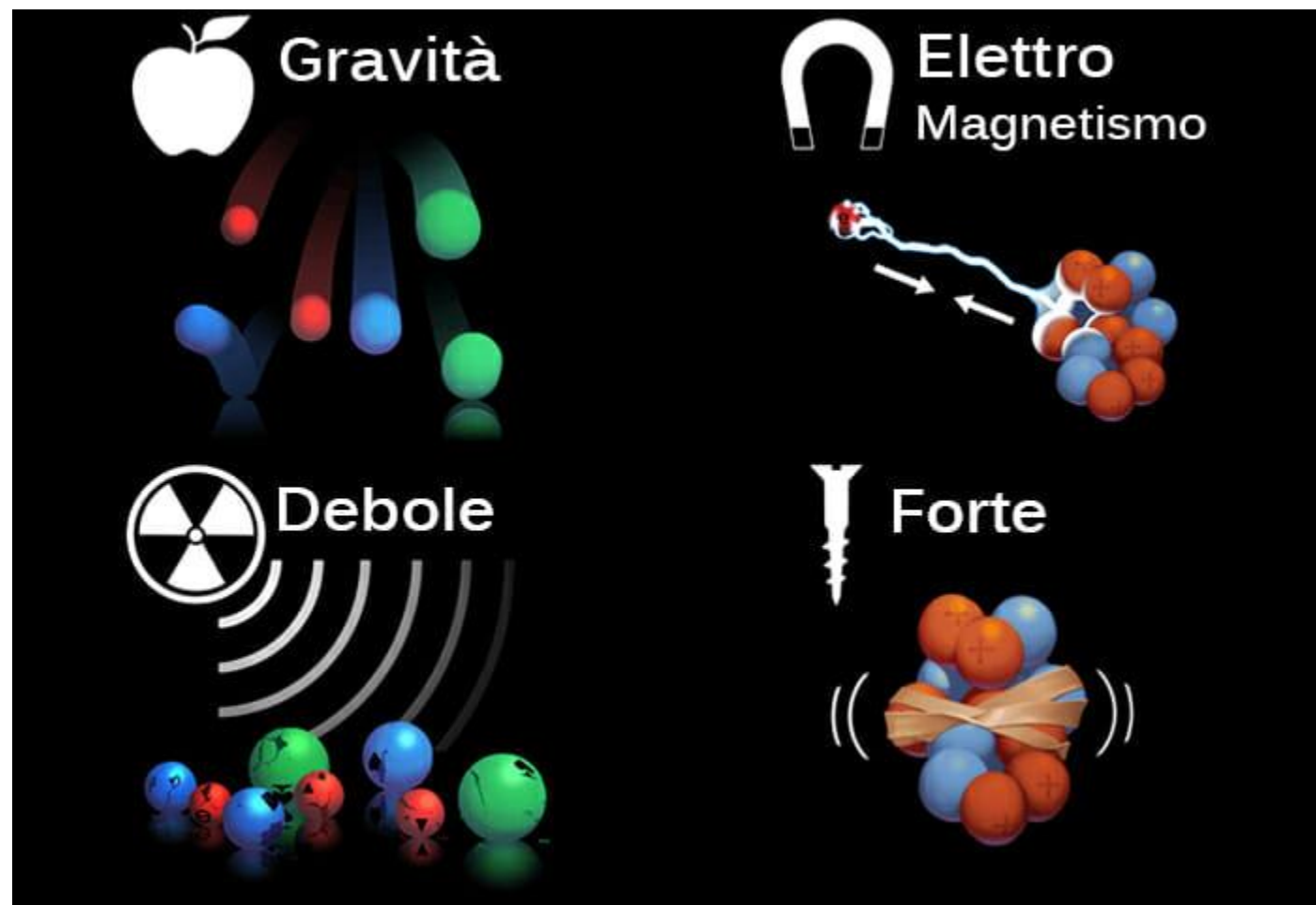
Testo consigliato:

Fisica per Scienze ed Ingegneria, V ed., vol. 2, Jewett & Serway, EdiSES



La forza elettromagnetica tra particelle cariche è una delle forze fondamentali della natura.

Le forze interatomiche e intermolecolari, responsabili della formazione di solidi e liquidi sono di origine elettrica.





- Distinguere tra oggetti elettricamente neutri, dotati di carica negativa oppure positiva, nonché riconoscere un eccesso di carica.
- Distinguere tra conduttori, non conduttori (isolanti), semiconduttori e superconduttori.
- Descrivere le proprietà elettriche della particelle che compongono un atomo.
- Identificare gli elettroni di conduzione e spiegare come agiscono in un oggetto conduttore per renderlo carico positivamente o negativamente.
- Sapere che cosa indicano le espressioni «isolato elettricamente» o «messa a terra».
- Spiegare come un corpo carico può indurre una carica in un altro corpo.
- Sapere che due cariche dello stesso segno si respingono mentre cariche di segno opposto si attraggono.
- Tracciare un diagramma delle forze per ciascuna di due particelle cariche interagenti, che indichi la forza elettrostatica (forza coulombiana) che agisce su di esse.

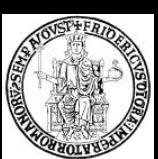


- Applicare la legge di Coulomb a ciascuna di due particelle cariche interagenti per mettere in relazione in modulo della forza elettrostatica, le cariche delle particelle e la distanza tra esse.
- Capire come la legge di Coulomb si applichi solo a corpi puntiformi e a oggetti a essi assimilabili.
- Trovare la forza risultante quando su una particella agisce più di una forza, sommando le forze vettorialmente e non come scalari.



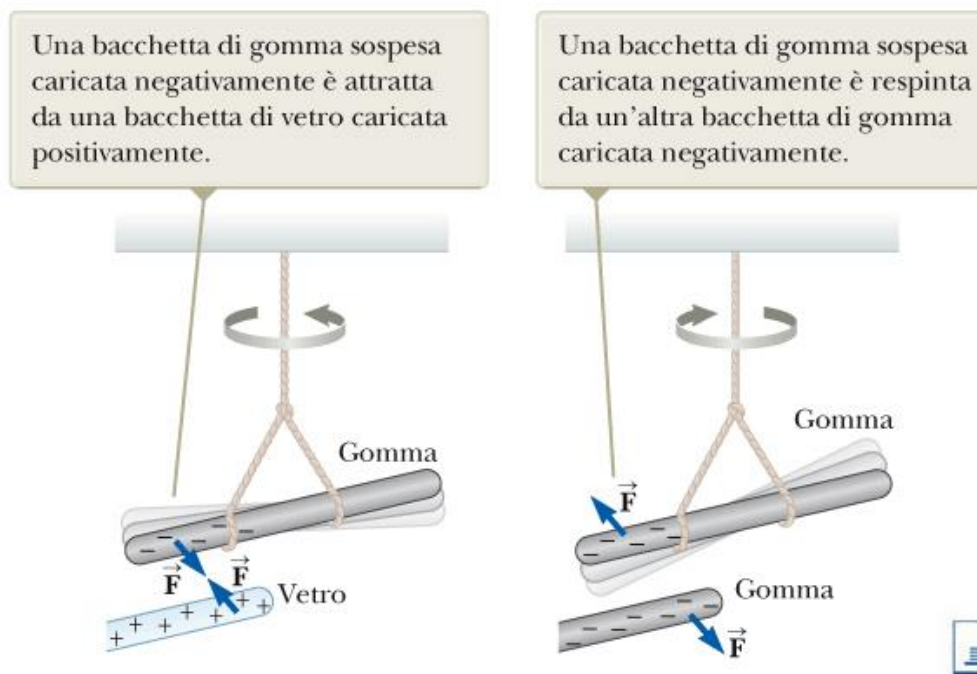
Gli antichi Greci osservarono fenomeni elettrici e magnetici, probabilmente fin dal 700 a.c. Essi trovarono che quando un pezzo di ambra veniva strofinato, si elettrizzava e attirava pezzetti di paglia e piume. L'esistenza di forze magnetiche fu scoperta osservando che pezzi di un minerale esistente in natura chiamato magnetite (Fe_3O_4) attiravano il ferro.

Il termine elettrico deriva dalla parola greca per l'ambra, **elektron**. Il termine magnetico deriva da **Magnesia**, regione costiera della Turchia dove fu trovata la magnetite.



Una bacchetta di **bachelite** (o plastica) che è stata strofinata con una pelliccia (o un materiale acrilico) viene sospesa a un filo.

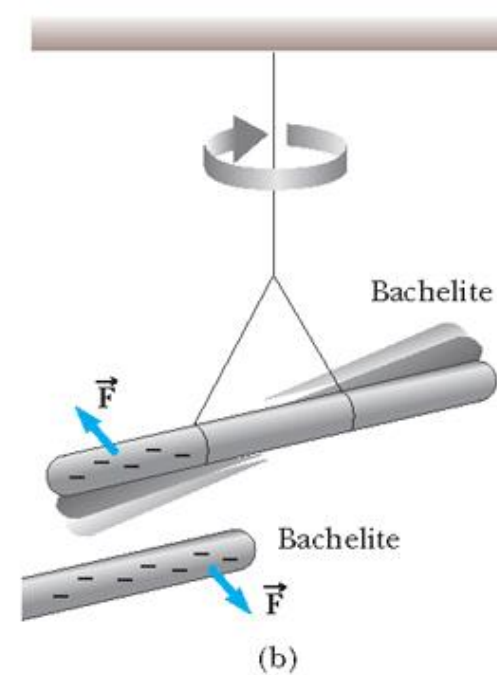
Quando una bacchetta di **vetro** strofinata con seta viene avvicinata alla bacchetta di bachelite, la bacchetta di bachelite viene attirata verso la bacchetta di vetro.





Se due bacchette di **bachelite** cariche (o due bacchette di **vetro** cariche) vengono avvicinate l'una all'altra, la forza fra esse è repulsiva. Queste osservazioni dimostrano che la bachelite ed il vetro hanno cariche di specie diversa.

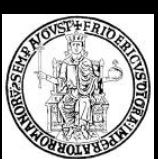
Noi usiamo la convenzione suggerita da Franklin, nella quale la carica elettrica sulla bacchetta di vetro è chiamata **positiva** e quella sulla bacchetta di bachelite è chiamata **negativa**. Sulla base di osservazioni come queste, concludiamo che **cariche dello stesso segno si respingono** mentre **cariche di segno opposto si attraggono**.





Gli esperimenti dimostrarono che vi sono due differenti specie di cariche elettriche, chiamate **positiva** e **negativa** da B. Franklin (1706-1790).

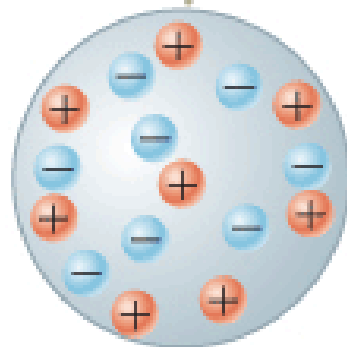
Agli elettroni viene assegnata convenzionalmente carica negativa, ai protoni carica positiva.

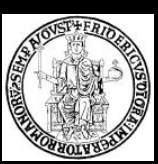


La materia non carica è neutra, contiene cioè tante cariche positive quante negative.

Un oggetto **neutro** (o **scarico**) contiene un numero immenso di elettroni (dell'ordine di 10^{23}). Per ogni elettrone negativo, è presente un protone carico positivamente; quindi *un oggetto neutro non possiede carica netta di alcun segno*.

La sfera neutra possiede lo stesso numero di cariche positive e negative.

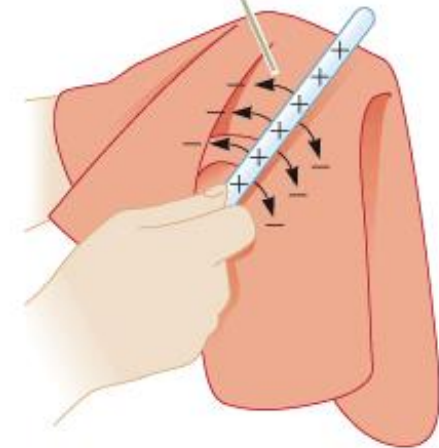




Un'altra importante caratteristica è il **principio di conservazione della carica elettrica** e cioè che *la carica netta in un sistema isolato si conserva sempre*.

Quando due oggetti inizialmente **neutri** vengono caricati strofinandoli insieme, nel processo non vengono create cariche. Gli oggetti diventano carichi in quanto elettroni vengono **trasferiti** da un corpo all'altro. Un oggetto guadagna una certa quantità di carica negativa mentre l'altro perde la stessa quantità di carica negativa e quindi rimane con una carica positiva. La sola variazione riguarda la carica che è stata trasferita tra i due oggetti.

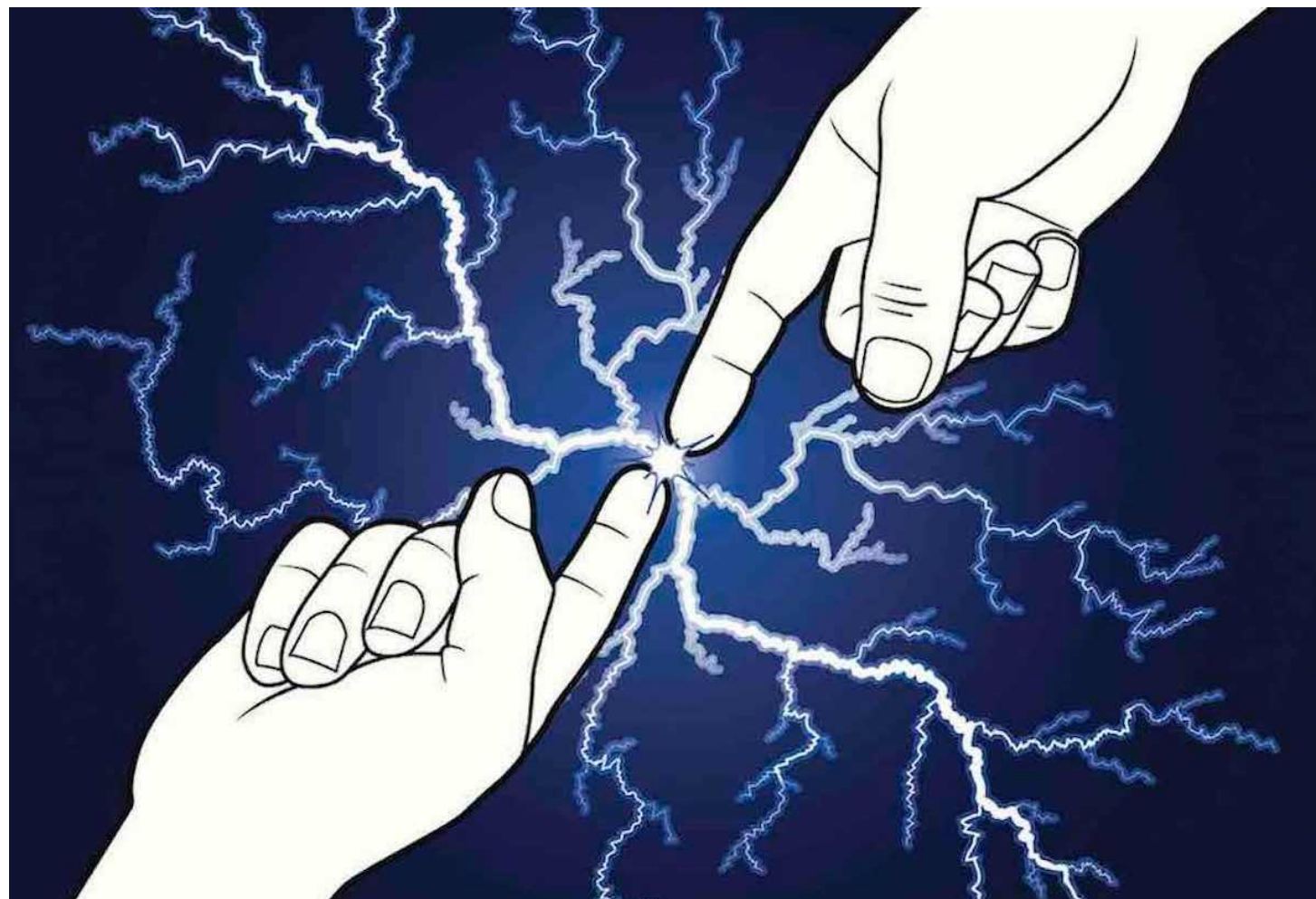
Per la legge di conservazione della carica, ogni elettrone aggiunge carica negativa alla seta e una uguale carica positiva rimane sulla bacchetta.





Carica Elettrostatica

Corpo neutro





Nel 1909 R. Millikan scoprì che la carica elettrica totale di un oggetto è quantizzata come multiplo intero della carica dell'elettrone e .

Questa carica vale $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{C}$.

La carica elettrica posseduta da un oggetto è dovuta ad un eccesso di elettroni oppure ad una mancanza di elettroni, per questo motivo la carica elettrica complessiva di un oggetto è quantizzata in multipli della carica elementare e .

Tabella 23.1

Carica e massa dell'elettrone, del protone e del neutrone

Particella	Carica (C)	Massa (kg)
Elettrone (e)	$-1.602\ 176\ 5 \times 10^{-19}$	$9.109\ 4 \times 10^{-31}$
Protone (p)	$+1.602\ 176\ 5 \times 10^{-19}$	$1.672\ 62 \times 10^{-27}$
Neutrone (n)	0	$1.674\ 93 \times 10^{-27}$



E' possibile per una carica elettrica muoversi da un posto a un altro all'interno di un oggetto: tale moto delle cariche si chiama **conduzione elettrica**. E' conveniente classificare i materiali secondo la capacità delle cariche di muoversi al loro interno:

Conduttori sono i materiali in cui le cariche si muovono relativamente libere.

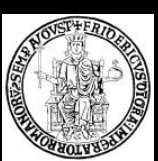
Isolanti sono i materiali in cui le cariche elettriche non si muovono liberamente.

I **semiconduttori** sono una terza classe di materiali e le loro proprietà elettriche sono a metà strada tra quelli degli isolanti e dei conduttori. Le cariche possono muoversi in un semiconduttore piuttosto liberamente, ma vi sono molte meno cariche in un semiconduttore che in un conduttore.

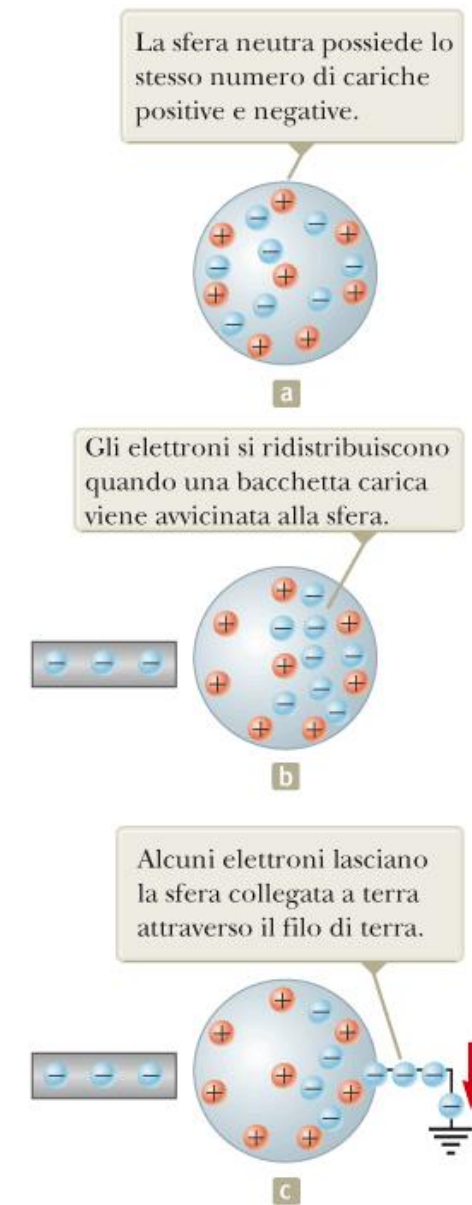
Isolante di plastica intorno ai cavi della corrente.



Quando un conduttore è collegato alla Terra per mezzo di un filo conduttore si dice che è **messo a terra**. La Terra può quindi essere considerata un serbatoio infinito per gli elettroni, nel senso che può ricevere o fornire un numero illimitato di elettroni.



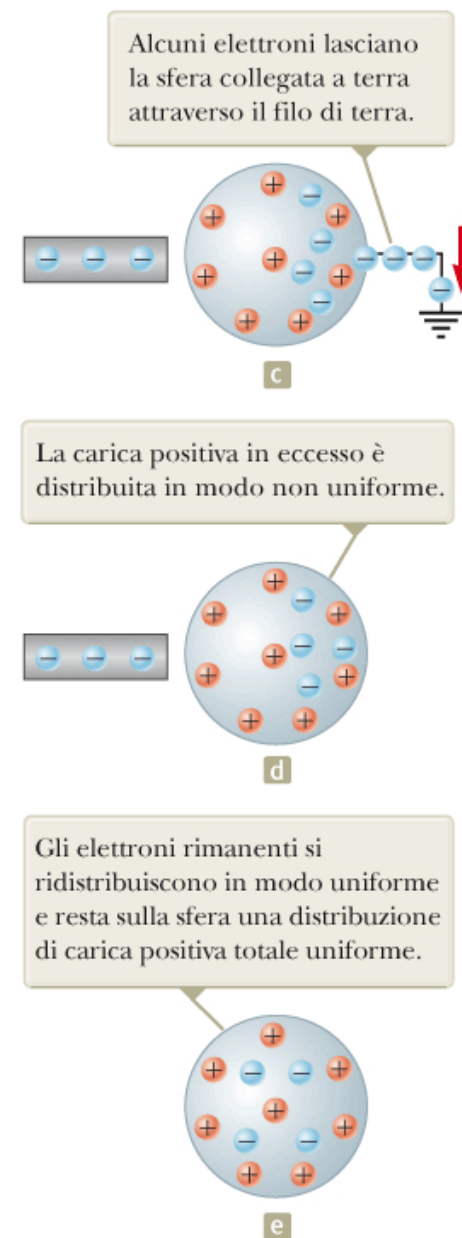
Consideriamo una sfera conduttrice neutra (scarica) isolata in modo da non offrire alcun percorso conduttore verso terra. Essendo la sfera neutra, essa possiede un egual numero di cariche positive e negative. Una bacchetta di bachelite carica negativamente è avvicinata alla sfera. La forza repulsiva fra gli elettroni della bacchetta e quelli della sfera causa una distribuzione della carica sulla sfera poiché alcuni elettroni si muoveranno verso la parte della sfera più lontana dalla bacchetta. La regione della sfera più vicina alla bacchetta avrà un eccesso di carica positiva a causa della migrazione di un certo numero di elettroni lontano da questa posizione.





Se un filo conduttore messo a terra viene allora collegato alla sfera alcuni degli elettroni lasceranno la sfera e migreranno verso terra.

Se il filo collegato a terra viene quindi rimosso, la sfera conduttrice rimarrà con un eccesso di carica positiva indotta, avendo perso una certa quantità di carica elettrica negativa fluita attraverso il filo. Infine, quando la bacchetta di bachelite è allontanata dalla sfera, la carica positiva indotta rimane sulla sfera non collegata a terra.

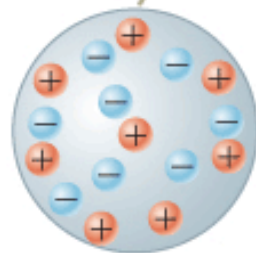




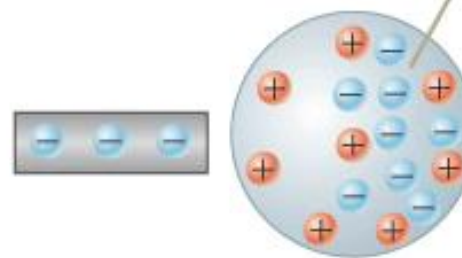
Nel **processo di induzione di carica** sulla sfera, la bacchetta di bachelite carica non perde alcuna delle sue cariche negative, poiché essa non viene mai in contatto con la sfera.

La carica di un oggetto per induzione non richiede alcun contatto con l'oggetto che induce la carica. Ciò è diverso dal processo di carica di un oggetto mediante strofinio, che richiede il contatto fisico fra i due oggetti.

La sfera neutra possiede lo stesso numero di cariche positive e negative.

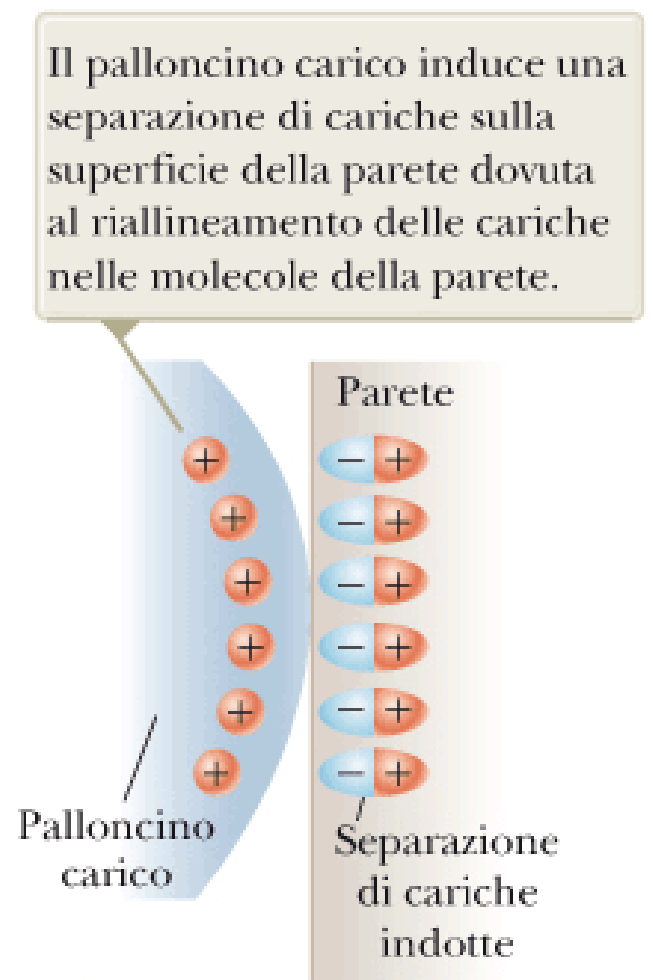
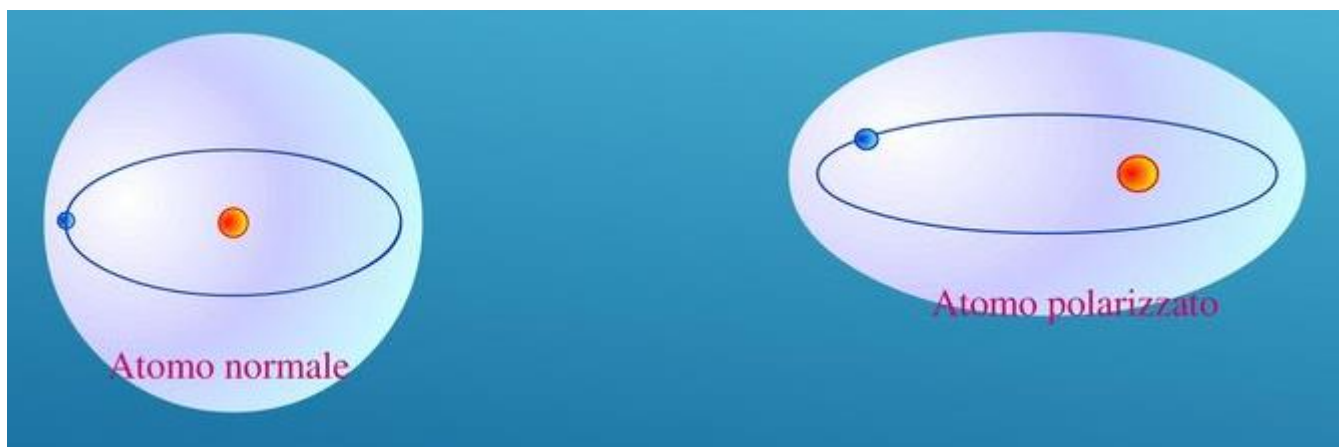


Gli elettroni si ridistribuiscono quando una bacchetta carica viene avvicinata alla sfera.





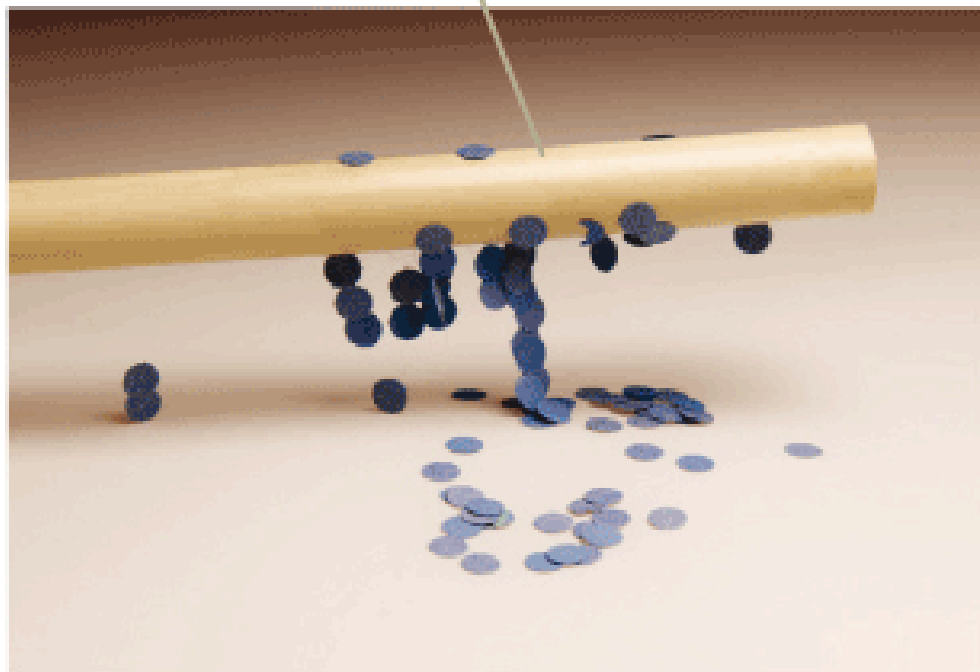
Un processo molto simile alla carica per induzione dei conduttori avviene negli isolanti. Nella maggior parte degli atomi e delle molecole neutre, il centro delle cariche positive coincide con il centro delle cariche negative. Tuttavia, in presenza di un oggetto carico, questi centri possono spostarsi leggermente risultando così una carica positiva più da un lato della molecola che dall'altro. Questo fenomeno è noto come **polarizzazione**.





Una volta noto questo fenomeno di induzione negli isolanti, dovrete essere in grado di spiegare perché una bacchetta carica attira dei pezzettini di carta elettricamente neutri.

La bacchetta carica attira la carta perché viene indotta una separazione di cariche nelle molecole della carta.





Le forze elettriche fra oggetti carichi furono misurate quantitativamente da **Coulomb** usando la **bilancia di torsione**, da lui inventata.

Gli esperimenti di Coulomb stabilirono le proprietà della forza elettrica che si esercita fra due particelle cariche a riposo.

Si utilizza il termine **carica puntiforme** per riferirsi a particelle cariche di dimensione nulla.



La legge di Coulomb

La forza elettrica fra le sfere cariche A e B in fig. causa l'attrazione o la repulsione reciproca, e il moto che ne risulta la torsione del filo di sospensione. Poiché il momento di richiamo della fibra ruotata è proporzionale all'angolo di rotazione, una misura di quest'angolo fornisce una misura quantitativa della forza elettrica di attrazione e repulsione. Una volta che le sfere siano caricate per strofinio, le forze elettriche tra di esse sono molto maggiori rispetto all'attrazione gravitazionale, cosicché la forza di gravità può essere trascurata.





Conclude:

- In natura esistono due specie di cariche, con la caratteristica che cariche di specie diversa si attraggono mentre cariche simili si respingono.
- La forza fra cariche varia con l'inverso del quadrato della loro distanza, cioè, $F_e \propto 1/r^2$.
- La forza è proporzionale al valore delle cariche.
- La carica si conserva.
- La carica è quantizzata.



La **legge di Coulomb** descrive il modulo della forza elettrostatica fra due cariche puntiformi di carica q_1 e q_2 e separate da una distanza r :

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

dove k_e ($=8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$) è la **costante di Coulomb**, e la forza è espressa in newton se le cariche sono espresse in coulomb e la distanza in metri.

Attenzione: Valida esattamente solo per cariche puntiformi o particelle

Esercizio: Trova le differenze



La costante k_e si può anche scrivere

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

dove la costante ϵ_0 è nota come costante dielettrica del vuoto, e ha il valore

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$



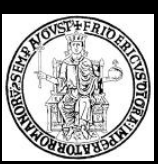
L'elettrone ed il protone in un atomo di idrogeno si trovano (in media) ad una distanza di circa $5.3 \times 10^{-11} \text{m}$. Si calcolino le intensità delle forze elettrica e gravitazionale fra le due particelle.

$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2}$$

$$F_e = \left(8.988 \times 10^9 \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{m})^2} = 8.2 \times 10^{-8} \text{N}$$

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

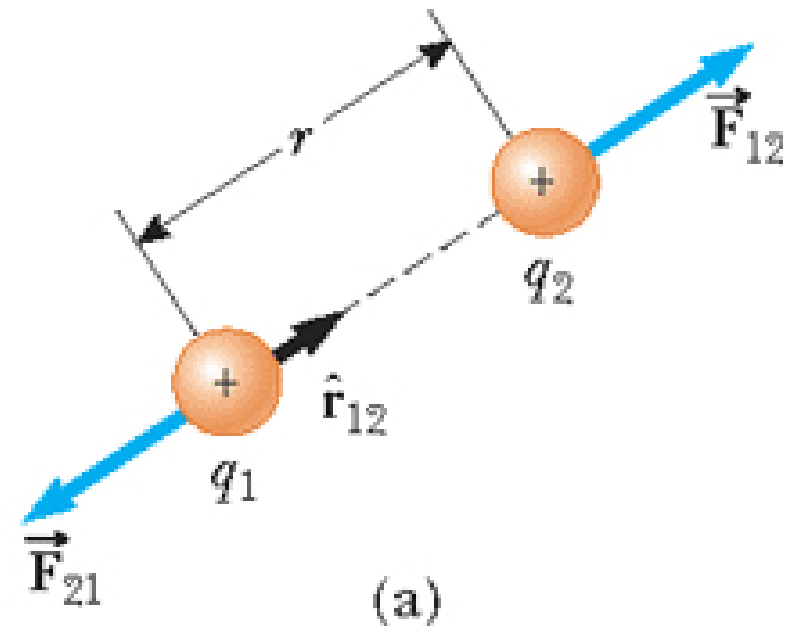
$$F_g = \left(6.674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \right) \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{m})^2} = 3.6 \times 10^{-47} \text{N}$$



La legge di Coulomb è valida esattamente solo per cariche puntiformi o particelle. La forza elettrica esercitata da q_1 su q_2 , rappresentata da F_{12} , può essere espressa in forma vettoriale come

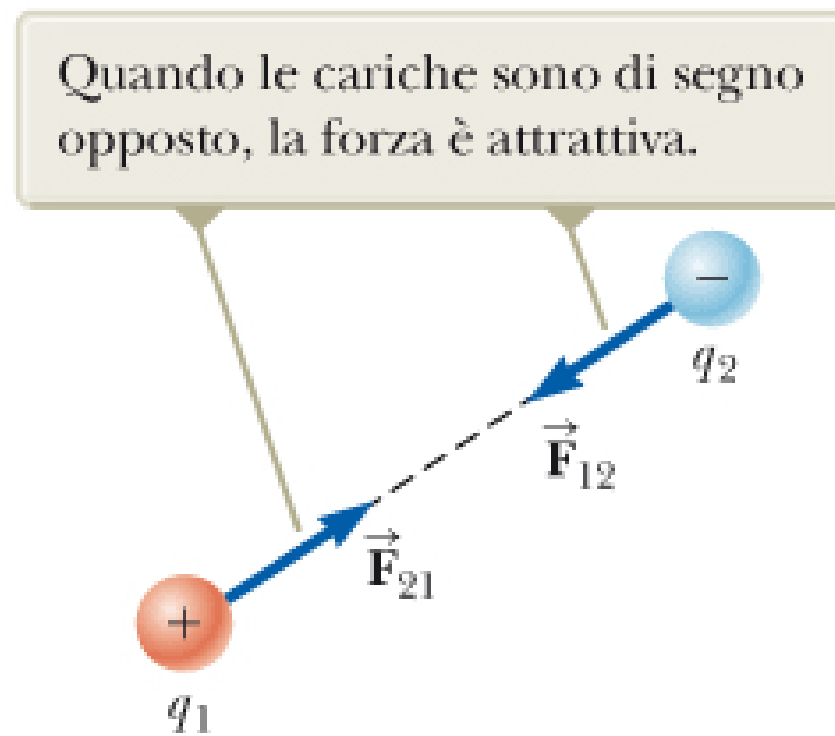
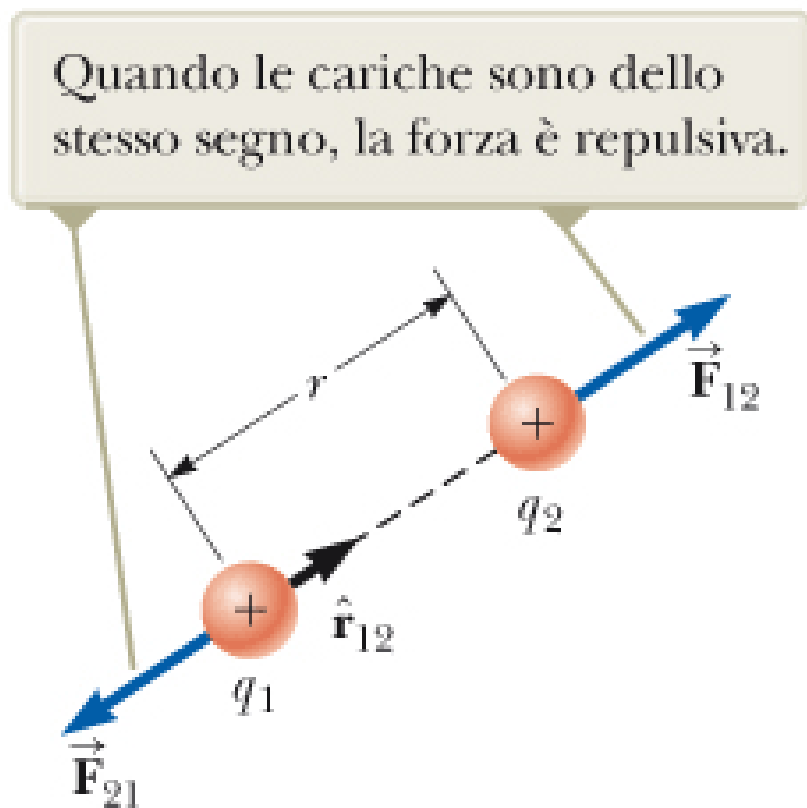
$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

dove \hat{r}_{12} è un versore (vettore unitario) diretto da q_1 a q_2 .





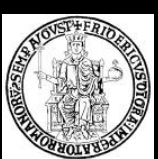
La forza elettrica che esercita q_2 su q_1 ha lo stesso modulo, la stessa direzione e verso opposto alla forza elettrica esercitata da q_1 su q_2 ; cioè, $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$. Se q_1 e q_2 hanno lo stesso segno, il prodotto q_1q_2 è positivo e la forza è repulsiva. Se q_1 e q_2 sono di segno opposto, il prodotto q_1q_2 è negativo e la forza è attrattiva.





Quando sono presenti più di due cariche, la forza risultante su ciascuna particella è uguale alla somma vettoriale delle forze dovute a tutte le altre particelle (**principio di sovrapposizione**).

$$\mathbf{F}_{1,net} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + \dots + \mathbf{F}_{1n}$$



Si considerino tre cariche puntiformi poste ai vertici di un triangolo rettangolo, dove $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ e $a = 0.1 \text{ m}$. Si trovi la forza risultante su q_3 .

E' importante disegnare correttamente le forze prima di gettarvi sulla calcolatrice, altrimenti si rischia di calcolare cose senza senso.

$$F_{23} = k_e \frac{|q_2||q_3|}{a^2} = \left(8.988 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(2 \times 10^{-6} \text{ C})(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.1 \text{ m})^2} = 8.99 \text{ N}$$

$$F_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = \left(8.988 \times 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{2(0.1 \text{ m})^2} = 11.2 \text{ N}$$

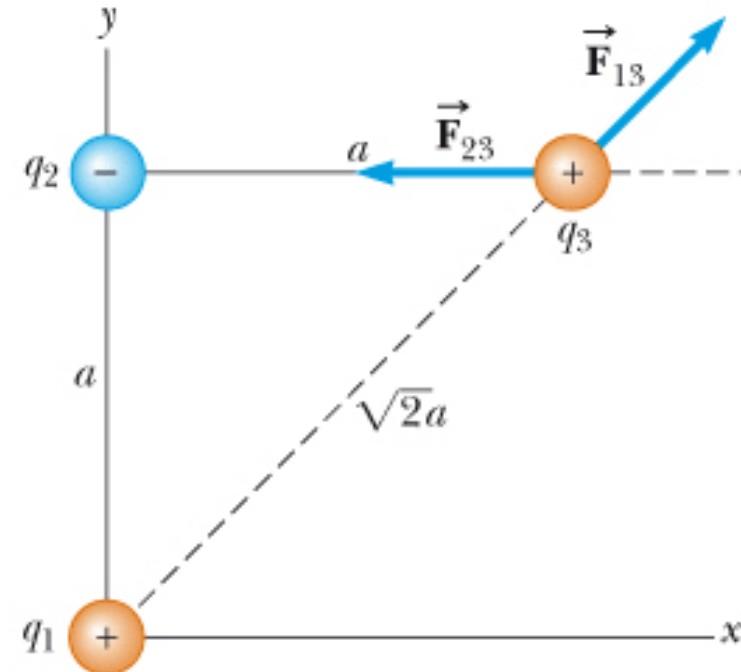
$$F_{13x} = (11.2 \text{ N}) \cos 45^\circ = 7.94 \text{ N}$$

$$F_{13y} = (11.2 \text{ N}) \sin 45^\circ = 7.94 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 7.94 \text{ N} + (-8.99 \text{ N}) = -1.04 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_{13y} + F_{23y} = 7.94 \text{ N} + 0 = 7.94 \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = (-1.04\hat{i} + 7.94\hat{j})\text{N}$$





Tre cariche puntiformi giacciono lungo l'asse x . La particella con carica $q_1 = 15 \mu\text{C}$ si trova in $x = 2 \text{ m}$, e la particella con carica $q_2 = 6 \mu\text{C}$ si trova nell'origine. Dove deve essere posta la carica negativa q_3 sull'asse x in modo tale che la forza risultante su di essa sia nulla?

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 0$$

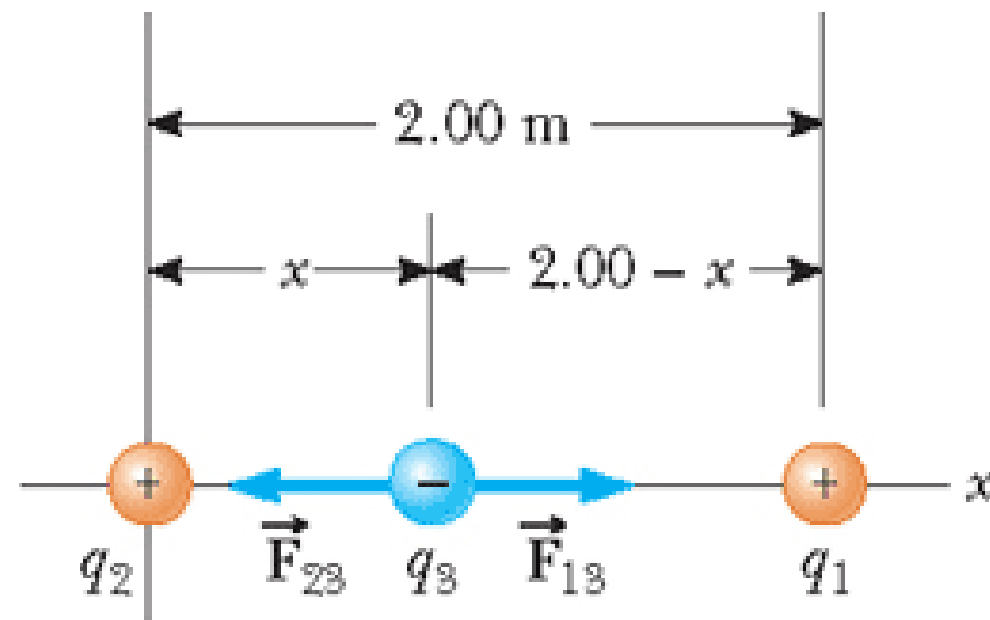
$$\vec{F}_{13} = k_e \frac{q_1 q_3}{(2-x)^2} \hat{r}_{13} = -k_e \frac{q_1 q_3}{(2-x)^2} \hat{i}$$

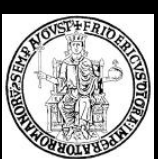
$$\vec{F}_{23} = k_e \frac{q_2 q_3}{x^2} \hat{r}_{23} = k_e \frac{q_2 q_3}{x^2} \hat{i}$$

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = -k_e \frac{q_1 q_3}{(2-x)^2} \hat{i} + k_e \frac{q_2 q_3}{x^2} \hat{i} = 0$$

$$\frac{q_1}{(2-x)^2} = \frac{q_2}{x^2}$$

$$x = 0.775 \text{ m}$$





Due sfere cariche identiche, ciascuna di massa $m = 3 \times 10^{-2} \text{ kg}$, sono appese in equilibrio nella posizione mostrata in fig. La lunghezza di ciascun filo è 0.150 m e l'angolo θ è uguale a 5° . Si calcoli la carica su ciascuna sfera.

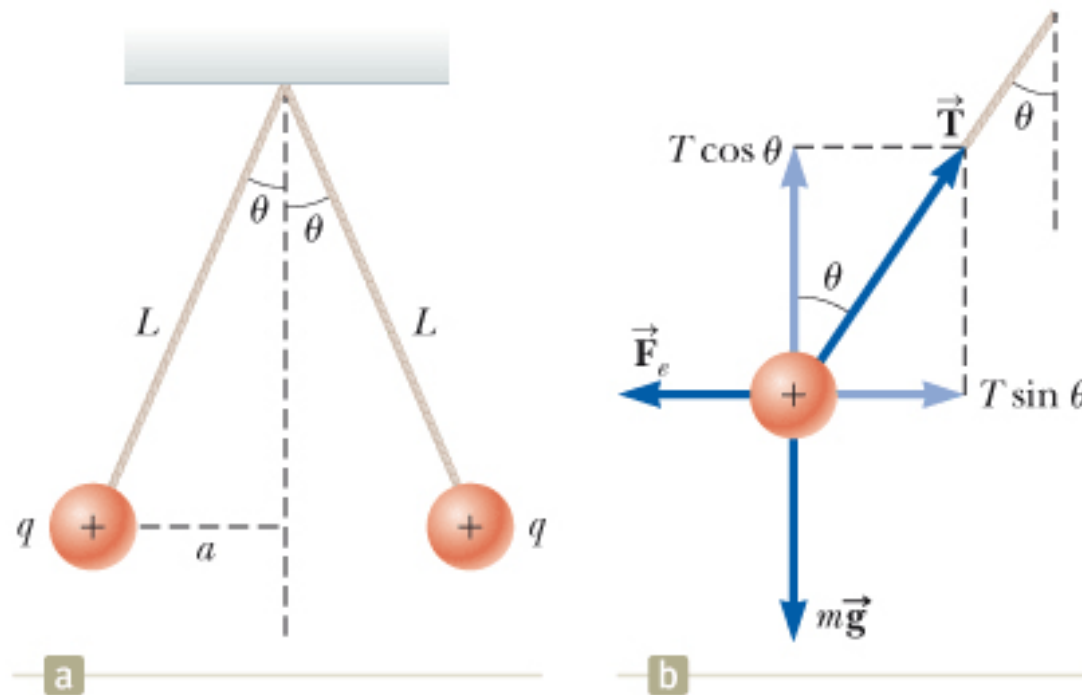
$$\sum F_x = T \sin \theta - F_e = 0 \rightarrow T \sin \theta = F_e$$

$$\sum F_y = T \cos \theta - mg = 0 \rightarrow T \cos \theta = mg$$

$$\tan \theta = \frac{F_e}{mg} \rightarrow F_e = mg \tan \theta$$

$$\sin \theta = \frac{a}{L} \rightarrow a = L \sin \theta$$

$$F_e = k_e \frac{|q||q|}{r^2} = k_e \frac{|q|^2}{r^2} \rightarrow$$



$$|q| = \sqrt{\frac{F_e r^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{F_e (2a)^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{mg \tan \theta (2L \sin \theta)^2}{k_e}} = 4.42 \times 10^{-8} \text{ C}$$



- L'intensità dell'interazione elettrica che una particella sperimenta con gli oggetti che circondano dipende dalla sua carica elettrica (normalmente indicata con q), che può essere positiva o negativa. I corpi con carica dello stesso segno si respingono vicendevolmente, mentre quelli con carica di segno opposto si attraggono.
- Un corpo che possieda uguali quantità di carica per ciascuno dei due segni è elettricamente neutro, mentre un corpo dotato di quantità diverse dei due tipi di carica è elettricamente carico, ovvero sia possiede una carica in eccesso e per brevità si dice carico.
- Si dicono conduttori quei materiali ove un gran numero di elettroni è libero di muoversi. Nei materiali non conduttori (isolanti) le particelle cariche per lo più non sono libere di muoversi.



- La legge di Coulomb esprime la forza elettrostatica (o coulombiana) che agisce tra due particelle cariche. Se le particelle aventi carica q_1 e q_2 sono separate da una distanza r costante nel tempo (o si muovono con velocità trascurabile), il modulo della forza che ciascuna delle due esercita sull'altra è data da

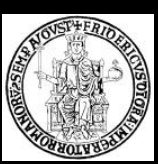
$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

in cui $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$ è la costante dielettrica nel vuoto. Il rapporto $1/(4\pi\varepsilon_0)$ è spesso indicato come costante elettrica di Coulomb, k , e vale $8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

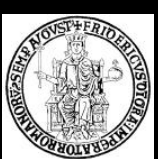
- Il vettore forza che agisce su una particella carica per effetto di una seconda particella carica è diretto secondo la retta congiungente le cariche e il suo verso è rivolto dalla prima alla seconda se le cariche sono di segno opposto o viceversa se sono dello stesso segno.
- Quando su una particella agiscono più forze elettrostatiche, la forza risultante è data dalla somma vettoriale delle singole forze (e non dalla somma scalare).



Fine



- Sapere che una superficie sferica uniformemente carica attrae o respinge una carica esterna come se tutta la carica della sfera fosse concentrata nel suo centro.
- Capire come una carica posta all'interno di una superficie chiusa uniformemente carica non risenta di forze elettrostatiche nette da parte superficie chiusa.
- Sapere che, aggiungendo della carica elettrica in eccesso a una sfera di materiale conduttore, la carica si distribuisce uniformemente sulla superficie esterna.
- Rendersi conto che, se due sfere conduttrici identiche vengono a contatto o sono collegate con un filo conduttore, qualsiasi carica in eccesso si suddivide egualmente tra le due.



- Primo teorema del guscio: Una superficie sferica uniformemente carica attrae o respinge una carica esterna come se tutta la carica della sfera fosse concentrata nel suo centro.
- Secondo teorema del guscio: Una carica posta all'interno di una superficie chiusa uniformemente carica non risente di forze elettromagnetiche nette da parte della superficie chiusa.
- La carica di un conduttore sferico si distribuisce uniformemente sulla sua superficie esterna.