

# Elettricità

- Le forze elettriche legano la materia
- Le onde luminose sono di natura elettrica
- I processi chimici e biologici sono di tipo elettrico (la gravità in confronto è troppo debole per avere un ruolo qualsiasi)
- Anche l'attrito è dovuto a interazioni elettriche
- "Electron" è l'ambra per gli antichi Greci

# Elettricità statica

- Bacchette di ambra, ebanite e vetro strofinate attirano pezzettini di carta e altri oggetti piccoli
- L'oggetto strofinato acquista una carica elettrica
- Due oggetti uguali carichi si respingono
- Due bacchette, una di plastica e una di vetro si attraggono
- Le cariche elettriche ricadono sempre in una di due categorie.
- Le cariche sono quindi positive o negative
- B. Franklin ha chiamato positiva la carica sul vetro e negativa quella sull'ambra.

# Conservazione della carica

- Strofinando una bacchetta con un panno se la bacchetta acquista carica positiva il panno acquista carica negativa, e viceversa.
- La carica elettrica si conserva sempre
- Oggi la conservazione della carica è verificata in tutte le interazioni conosciute.

# Struttura della materia

- Un atomo è costituito da un nucleo di carica positiva (protoni e neutroni) attorno a cui girano degli elettroni di carica negativa
- Il nucleo è fatto di protoni e neutroni
- I protoni hanno carica positiva e opposta a quella degli elettroni
- Gli ioni sono atomi in difetto (positivi) o in eccesso (negativi) di elettroni
- Le bacchette strofinate si scaricano cedendo o acquistando elettroni dall'umidità presente nell'aria, dato che l'acqua è neutra ma polare

# Quantizzazione della carica

- La più piccola carica conosciuta è quella del protone ( $+e$ ) e dell'elettrone ( $-e$ )

$$e = 1.602 \cdot 10^{-16} \text{ C}$$

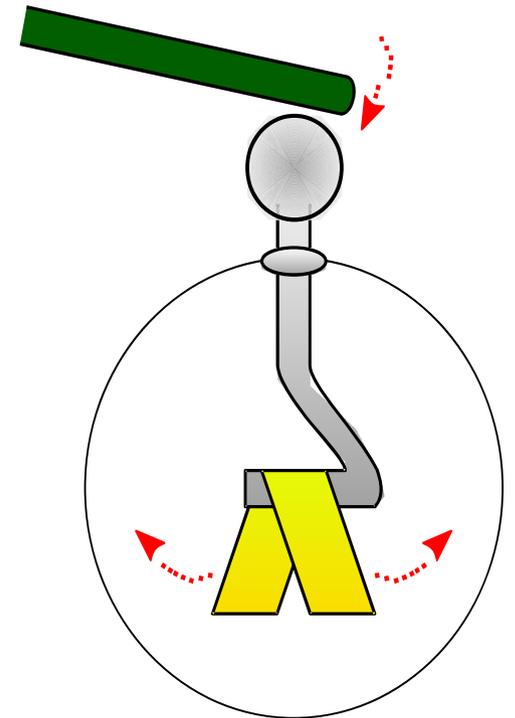
- Tutte le cariche conosciute sono multiple di quella del protone e dell'elettrone
- I quark potrebbero avere cariche  $\pm 2/3 e$ ,  $\pm 1/3 e$ , ma non ne sono mai stati visti liberi
- Ci sono teorie che prevedono la quantizzazione della carica, per esempio attraverso l'esistenza dei monopoli magnetici
- Esistono elettroni positivi e protoni negativi: sono antimateria: quando incontrano la materia si annichilano, e la carica è ancora conservata
- Perché l'universo è fatto di materia e non di antimateria? le leggi della fisica sono (quasi) simmetriche per cambio di carica

# Isolanti e conduttori

- In una sostanza le cariche positive sono inserite in un reticolo e, di solito, non si possono spostare.
- Gli elettroni possono essere sempre legati a un nucleo (negli isolanti)
- Oppure possono esistere elettroni in grado di spostarsi (conduttori)
- In una terza categoria, i semiconduttori, gli elettroni che si spostano sono pochi; queste sostanze hanno particolari proprietà e sono usate nella costruzione di diodi, circuiti integrati e microprocessori

# Elettroscopio

- Due fogli di metallo si respingono se deposito una carica sul bulbo
- Lo stesso avviene se avvicinano un oggetto carico (induzione elettrostatica)

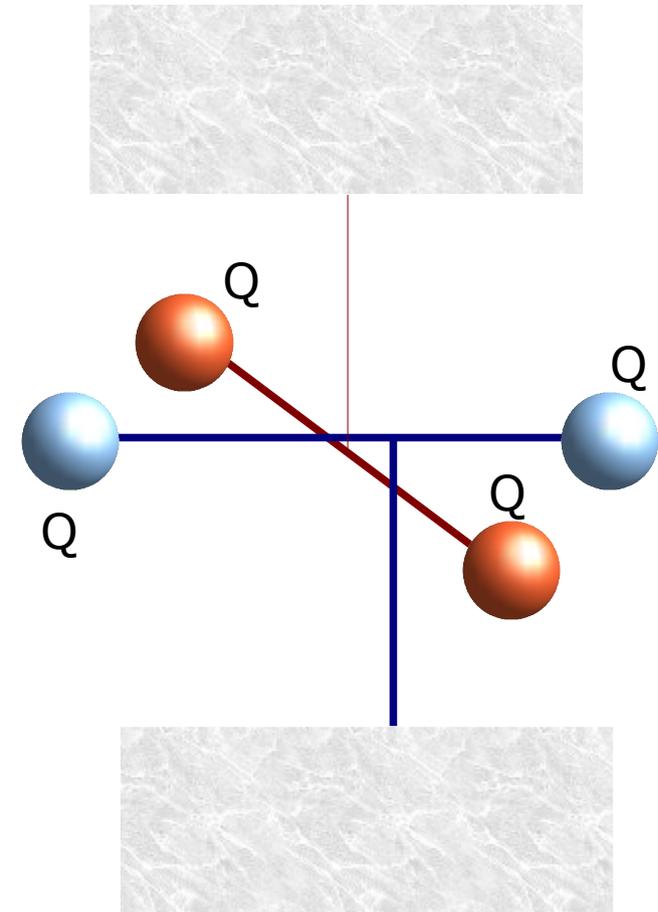


# Legge di Coulomb

- Analoga alla legge di gravitazione universale, ma la forza può essere repulsiva
- La forza è inversamente proporzionale al quadrato della distanza
- La forza è proporzionale al prodotto delle cariche (con segno)
- La forza è diretta come la congiungente le due cariche
- La costante di proporzionalità dipende dal sistema di unità di misura usato

$$F = K Q_1 Q_2 / r^2 \quad K = 8.988 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$$

- La forza è diretta come la congiungente delle due cariche, attrattiva o repulsiva a seconda che il segno sia opposto o uguale



# Unità di misura della carica

- Il Coulomb è l'unità di misura della carica
- Viene definito a partire dall'unità di corrente elettrica
- L'elettrone ha carica  
 $e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Il protone ha carica positiva opposta a quella dell'elettrone



# Costante dielettrica

- Per comodità di scrittura di alcune formule, si definisce

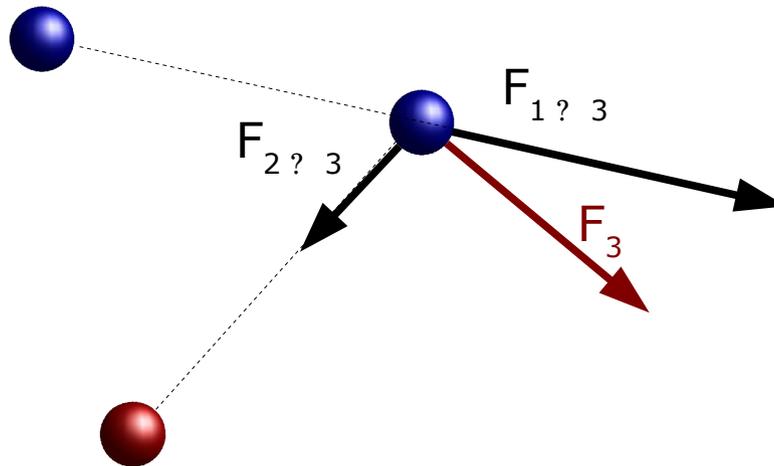
$$K = 1 / (4\pi\epsilon_0)$$

- $\epsilon_0$  è chiamata la permittività del vuoto o costante dielettrica del vuoto
- La legge di Coulomb diventa

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^3} \vec{r}$$

# Principio di sovrapposizione

- Se ho un sistema di tre cariche, ognuna esercita una forza sull'altra
- La forza totale su di una carica è ottenuta sommando vettorialmente la forza che ciascuna delle altre due eserciterebbe da sola



# Campo elettrico

- È un modo di vedere l'interazione tra corpi distanti, dovuta a Faraday
- Si immagina che la presenza di una carica crei una proprietà dello spazio (in questo caso il campo elettrico)
- Una seconda carica (di prova) posta in presenza della prima, subisce una forza che dipende dal campo elettrico e dalle caratteristiche della carica di prova



# Vettore campo elettrico

- La legge di Coulomb che dà l'interazione tra la carica  $Q$  e la carica di prova  $Q_p$  è

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q Q_p}{r^3} \vec{r}$$

- Il campo elettrico generato da  $Q$  si ottiene dividendo la forza per la carica di prova

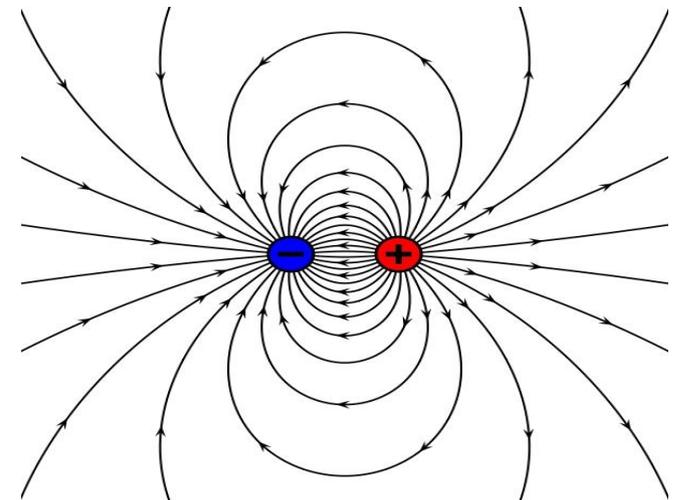
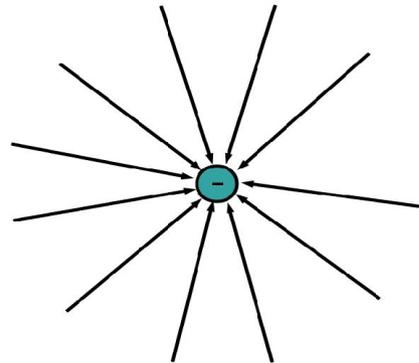
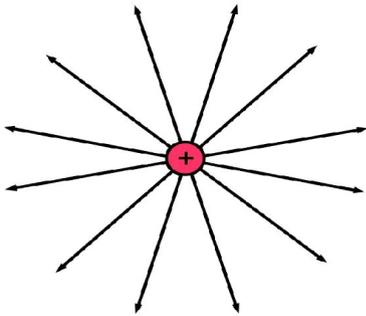
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^3} \vec{r}$$

# Alcuni campi elettrici

- Campo di una carica puntiforme
- Campo in un punto sulla congiungente due cariche
- Campo elettrico generato da due cariche opposte (dipolo)

# Linee di campo

- In ogni punto dello spazio c'è un campo elettrico
- In ogni punto le *linee di campo* sono dirette come il campo elettrico (per definizione)
- Più il campo è intenso più linee di campo disegno: se il campo aumenta di due volte, faccio le linee di campo due volte più dense
- Le linee del campo dovuto a due cariche sono l'insieme delle linee di campo dovute a ciascuna carica (per il principio di sovrapposizione)
- Linee di campo di una carica puntiforme e di un dipolo



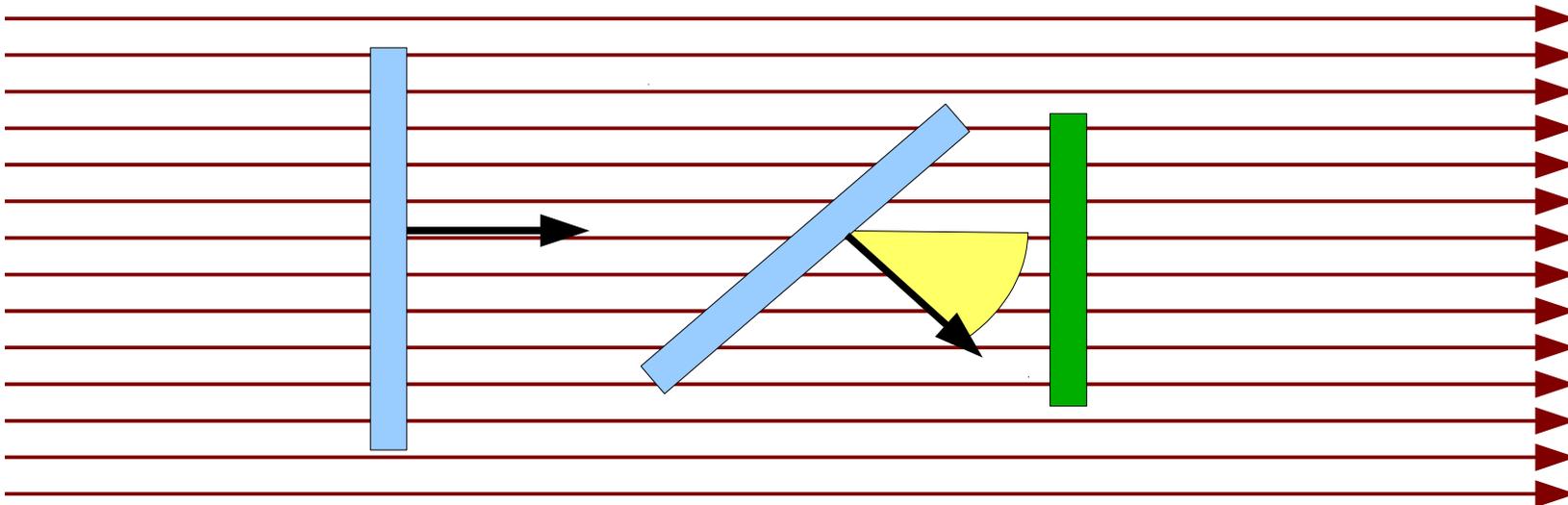
# Flusso del campo elettrico

- Per una superficie piana, definisco la normale alla superficie come un vettore perpendicolare alla superficie
- Se la superficie non è piana, posso dividerla in piccole aree, ciascuna delle quali può essere considerata piana, ciascuna con la propria normale
- Se la superficie è chiusa, il verso della normale è quello esterno
- Definisco il flusso come il prodotto di campo elettrico, area e coseno dell'angolo tra campo elettrico e normale

$$\Phi = E A \cos(\theta)$$

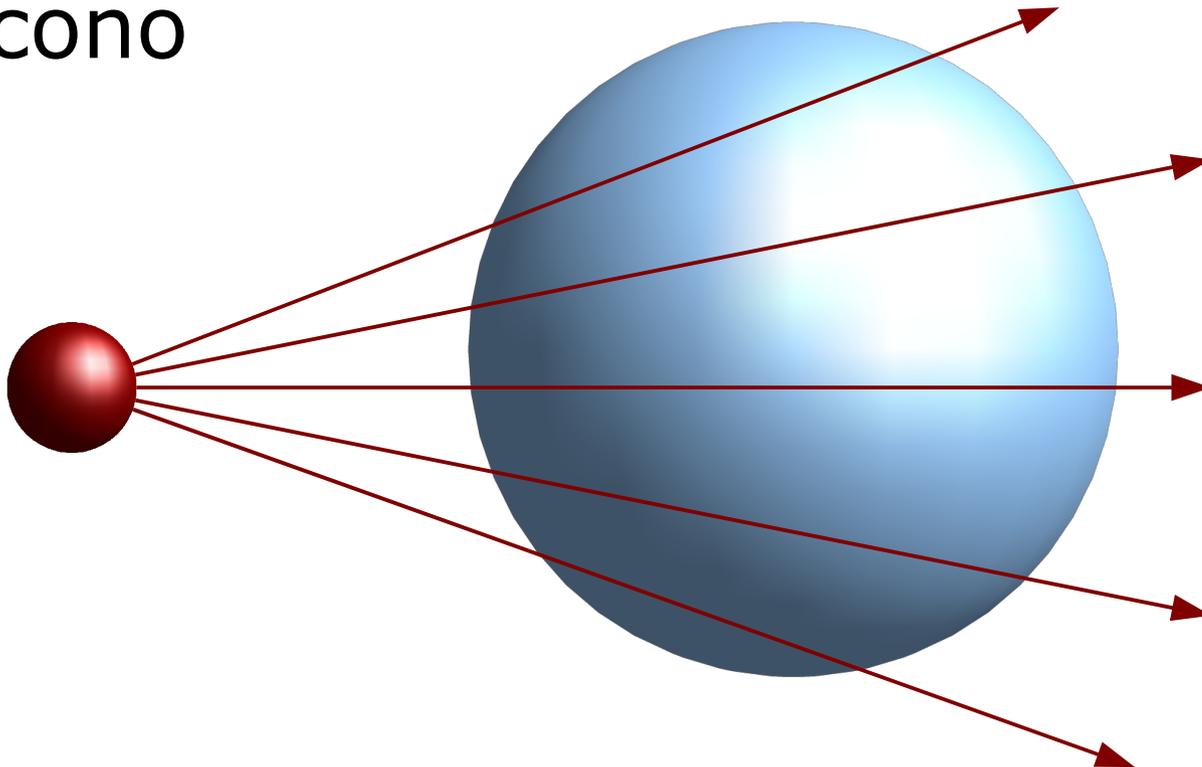
# Flusso e linee di campo

- Il flusso e il numero di linee di campo sono proporzionali ad  $E$
- Il numero di linee di campo che attraversano un' area perpendicolare sono proporzionali all'area
- Se l'area non è perpendicolare sono proporzionali a  $Area \cdot \cos(\theta)$
- Il flusso è proporzionale al numero di linee di campo che attraversano una superficie, e posso prendere la costante di proporzionalità uguale a uno



# Carica esterna alla superficie

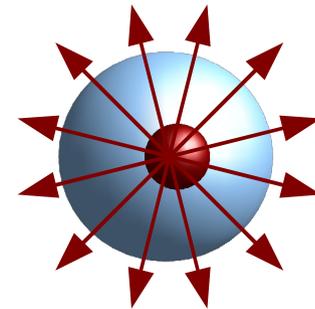
- Il flusso attraverso una superficie esterna alla carica è sempre nullo
- Tante linee di forza entrano quante escono



# Superficie sferica contenente una carica puntiforme

- Il campo elettrico è perpendicolare alla superficie
- Il campo elettrico dipende solo dalla distanza, quindi ha lo stesso valore in modulo su tutta la superficie
- Il flusso è quindi  $E \cdot Area$  cioè

$$\Phi = E \cdot A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



# Superficie qualsiasi

- Per il principio di sovrapposizione, se ho due cariche il flusso totale sarà la somma dei flussi
- Le cariche esterne a una superficie chiusa non danno nessun contributo al flusso
- Ciascuna delle cariche interne dà contributo  $Q/\epsilon_0$ .
- Il flusso totale è quindi (teorema o legge di Gauss)

$$\Phi = (\sum_i Q_i) / \epsilon_0$$

- Dove la somma è fatta solo sulle cariche che sono all'interno della superficie attraverso cui si calcola il flusso

# Campo elettrico nei conduttori

- All'interno di un conduttore in equilibrio  $E=0$ , altrimenti le cariche si dovrebbero muovere.
- Eventuali cariche in eccesso devono stare quindi sulla superficie
- Il campo elettrico sulla superficie deve essere diretto perpendicolarmente alla superficie
- Un oggetto posto all'interno di un oggetto metallico è isolato dagli effetti delle cariche elettriche esterne (gabbia di Faraday)

# Problemi

- Una sbarretta carica attira un piccolo pezzo di carta: perché?
- Che analogie e differenze ci sono tra la legge di Coulomb e quella di gravitazione universale?
- Le cariche di prova che si usano per misurare  $E$  devono essere piccole. Perché?
- Disegnare le linee di campo di due cariche positive uguali
- L'atomo è tenuto unito da forze elettriche. Perché non si considera anche la forza di gravità?
- Quanto vale la forza repulsiva tra due protoni nel nucleo atomico, ad una distanza di mezzo femtometro?

# Campi calcolati col teorema di Gauss

- Campo di una carica puntiforme
- Campo di una distribuzione sferica
- Campo di una distribuzione cilindrica
- Campo di una superficie piana

# Esercizi -1-

- Una persona accumula una carica di  $-42 \mu\text{C}$  camminando su di un tappeto di lana. Quanti elettroni ha accumulato? Di quanto è aumentato il suo peso ( $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ )
- Quanto vale la carica totale degli elettroni presenti in  $1 \text{ Kg}$  di  $\text{H}_2\text{O}$ ?  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$
- Tre particelle cariche con  $q = +11 \mu\text{C}$  sono ai vertici di un triangolo equilatero di raggio  $15 \text{ cm}$ . Trovare direzione e intensità delle forze su ciascuna di esse
- Due cariche puntiformi hanno carica totale  $Q_{tot} = 560 \mu\text{C}$ . Alla distanza di  $1 \text{ m}$  si respingono con una forza di  $22.8 \text{ N}$ . Calcolare la carica di ciascuna di esse

# Esercizi -2-

- Un protone posto in un campo elettrico uniforme è soggetto ad una forza elettrostatica di  $3.75 \cdot 10^{-14} \text{ N}$  diretta verso sud.  
Determinare intensità e direzione del campo elettrico
- Disegnare approssimativamente le linee del campo elettrico generato da due cariche puntiformi  $+Q$  e  $-3Q$  a distanza  $L$
- Nel punto medio tra due cariche uguali in modulo e opposte di segno poste a distanza di  $16 \text{ cm}$ , il campo elettrico vale  $745 \text{ N/C}$ .  
Determinare il valore di ciascuna carica
- Un elettrone viene accelerato da un campo elettrico diretto verticalmente verso il basso di intensità  $1.45 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ . Qual è il rapporto tra forza elettrica e forza di gravità?

# Esercizi -3-

- Sulla Terra esiste un campo elettrico di  $150 \text{ N/C}$  diretto verso il centro. Qual è la carica totale sulla Terra?
- [seguito del precedente] Una goccia d'acqua di raggio  $0.018 \text{ mm}$  è ferma nell'aria. Quanti elettroni in eccesso ci sono sulla goccia d'acqua?
- Due cariche  $Q_1=2.5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  e  $Q_2=5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  sono posizionate rispettivamente all'origine degli assi e nel punto  $(x=2, y=0)$ . In quali punti del piano il campo elettrico è nullo?