master COPY

LEZIONE 30/09/2020

La nostra vita è completamente dominata da manifestazioni della FORZA ELETTROMAGNETICA (di sicuro MOLTO INTENSA) e il nostro scopo è tracciare le leggi che governano questi fenomeni
Ci interessa capire quali forze agiscono su dei corpi carichi.
La forza elettromagnetica serve per realizzare motori elettrici ecc...
ma anche per convertire tutta una serie di stimoli percepiti tramite i 5 sensi in segnali elettrici che possono pilotare ad esempio i motori degli esoscheletri.
Come il corso di Fisica I si basa sostanzialmente sulle leggi di Newton, il corso di Fisica II si basa su altre leggi fondamentali.

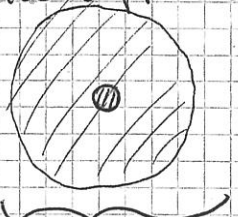
ARGOMENTI:

- Elettrostatica: parte dell'elettromagnetismo che si occupa di studiare il $\vec{E}$ campo elettrico date le cariche e i condensatori.
- Magnetostatica: Si occupa di determinare le $\vec{F}$ che si esercitano tra correnti elettriche. (motori elettrici)
- Leggi dell'INDUZIONE: mettono in relazione le prime due quando cariche e correnti VARIANO NEL TEMPO (generatori elettrici)
- Leggi che governano le ONDE ELETTROMAGNETICHE: governano i fenomeni di trasmissione radio, luce e raggi x.

ELETTROSTATICA

I primi studi sull'elettrostatica che hanno permesso di dare il nome di legge fisica a questi fenomeni in cui i corpi strofinati esercitano forze sui corpi leggeri presenti nello spazio, sono dovuti al fisico francese COULOMB
Il contributo di Coulomb fu talmente importante che l'unità della CARICA ELETTRICA è proprio il COULOMB

Per capire che cos'è la CARICA ELETTRICA occorre ricordare com'è fatta la materia: essa è costituita da ATOMI e ogni atomo è composto dal NUCLEO (piccola regione di spazio dove però è concentrata la gran parte della massa) in cui sono presenti PROTONI e NEUTRONI e attorno al nucleo è presente una regione di spazio dove orbitano gli elettroni
La DIMENSIONE TIPICA di un atomo è circa 10^{-10} m
la dimensione del NUCLEO è circa 10^{-15} m
Gli elettroni e i PROTONI rappresentati come punti immateriali sono soggetti tra loro da una FORZA ATTRATTIVA diretta lungo la congiungente



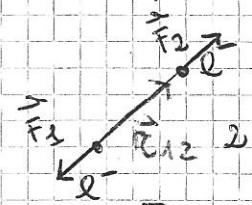
Disegno NON in scala

Tale forza ha una intensità pari a: $\vec{f} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q^2}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$ ($\hat{r}$: versore diretto lungo la congiungente)

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ N m^2/c^2$

$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \ C$

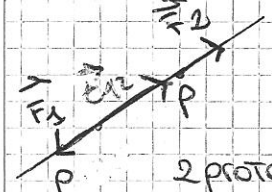
Come per la GRAVITAZIONE UNIVERSALE:



$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(-1{,}6\cdot10^{-19}C)^2}{|\vec{r}_{12}|^2}\cdot\hat{r} = -\vec{F}_1 \quad *$$

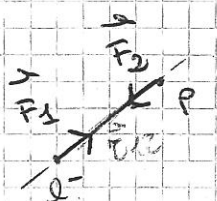
2 elettroni

$\hat{r}$ versore che identifica la direzione della forza.



$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(1{,}6\cdot10^{-19}C)^2}{|\vec{r}_{12}|^2}\cdot\hat{r} = -\vec{F}_1$$

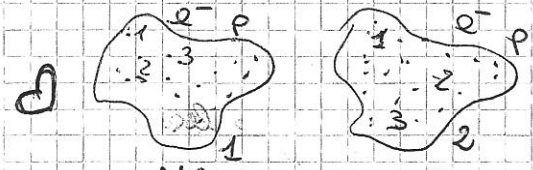
2 protoni



$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(-1{,}6\cdot10^{-19}C)(1{,}6\cdot10^{-19}C)}{|\vec{r}_{12}|^2}\cdot\hat{r} = -\vec{F}_1$$

1 elettrone e 1 protone

Se ho un **corpo esteso** in cui ho una serie di protoni e di elettroni e poi ho un altro corpo esteso sempre con e^- e p, per calcolare la $\vec{F}$ TOTALE che si esercita tra questi 2 corpi estesi devo calcolare tutte le interazioni che ci sono tra tutte le particelle presenti nei 2 corpi.



N_e N_p n_e n_p

Numeriamo tutte le cariche positive e negative.

$$\vec{F}_{TOT_2} = \sum_{i=1}^{n_e}\vec{f}_{e_i} + \sum_{j=1}^{n_p}\vec{f}_{p_j} = \begin{matrix}\text{FORZA SU TUTTI}\\ \text{GLI ELETTRONI}\end{matrix} + \begin{matrix}\text{FORZA SU TUTTI I}\\ \text{PROTONI}\end{matrix}$$

$$\vec{f}_{e1} = \sum_{i=1}^{N_e}\vec{f}_{ei1} + \sum_{i=1}^{N_p}\vec{f}_{pi1}$$

(forza tra 1 elettrone e N elettroni; forza tra 1 protone e 1 elettrone)

$q_e \cong 1{,}6\cdot10^{-19}C$

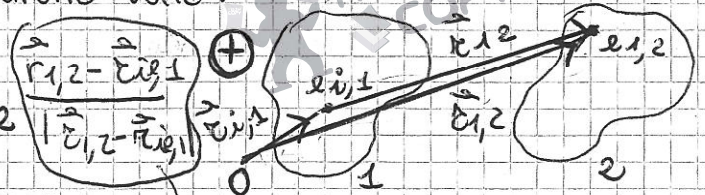
PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI

misura esatta $q = 1{,}60217634\cdot10^{-19}C$ (misura senza errori)

Riutilizzo le formule di cui sopra: *

la forza che si esercita sul 1° elettrone vale:

$$\vec{f}_{e_{1,2}} = \sum_{i=1}^{N_e}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-q_e\cdot(-q_e)}{|\vec{r}_{1,2}-\vec{r}_{i,1}|^2}\cdot\frac{\vec{r}_{1,2}-\vec{r}_{i,1}}{|\vec{r}_{1,2}-\vec{r}_{i,1}|}$$



distanza tra l'elettrone i-esimo del 1° corpo e il 1° elettrone del secondo corpo.

Si fissa un'origine del sistema di riferimento e si specifica qual è la posizione dell'elettrone i-esimo rispetto ad O ($\vec{r}_{i,1}$) e la posizione dell'elettrone del 2° corpo sempre rispetto ad O ($\vec{r}_{1,2}$)

Lo posso scrivere adesso come differenza di questi 2 vettori:

$$|\vec{r}_{12}| = |\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{i,1}|$$

Il versore si può scrivere come vettore / lunghezza. $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$

⊕ faccio la stessa cosa anche per i PROTONI usando sempre *

$$+\sum_{i=1}^{N_p} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{-qe \cdot qe}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ip,1}|} \cdot \frac{\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ip,1}}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ip,1}|}$$

come prima metto la posizione ma questa volta tra l'i-esimo protone del 1° corpo e il 1° elettrone del 2° corpo (sempre utilizzando la differenza tra i vettori e O)

Riscrivo quindi la formula totale della forza che agisce sul 1° elettrone del corpo 2:

$$\vec{f}_{e1,2} = \sum_{i=1}^{N_e} \vec{f}_{ei\,e1} + \sum_{j=1}^{N_p} \vec{f}_{pi\,e1} = -qe\,\vec{E}(\vec{r}_{e1,2}) \text{ infatti:}$$

$$= \sum_{i=1}^{N_e} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(-qe)\cdot(-qe)}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ei,1}|^2} \cdot \frac{\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ei,1}}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{ei,1}|} + \sum_{i=1}^{N_p} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(-qe)\cdot qe}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{pi,1}|^2} \cdot \frac{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{pi,1}|}{|\vec{r}_{1,2} - \vec{r}_{pi,1}|}$$

posso portare fuori della sommatoria $(-qe)$, e il vettore di tutta la sommatoria restante prende il NOME DI VETTORE CAMPO ELETTRICO $\vec{E}$( ) NEL PUNTO IN CUI SI TROVA L'ELETTRONE 1 DEL 2° CORPO. Il vettore campo elettrico vive in un determinato punto.

Posso utilizzare lo stesso procedimento anche per i protoni che stanno sul 2° corpo

$$\vec{f}_{p1,2} = \sum_{i=1}^{N_e} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(qe)\cdot(-qe)}{|\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{ei,1}|^2} \cdot \frac{\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{ei,1}}{|\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{ei,1}|}$$

FORZA CHE TUTTI GLI ELETTRONI DEL CORPO 1 ESERCITANO SUL 1° PROTONE DEL CORPO 2

⊕

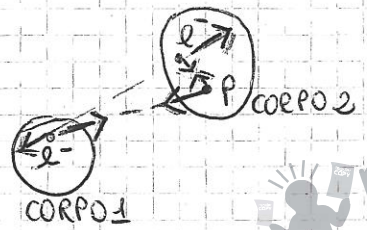
$$\sum_{i=1}^{N_p} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(qe)\cdot qe}{|\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{pi,1}|^2} \cdot \frac{\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{pi,1}}{|\vec{r}_{p1,2} - \vec{r}_{pi,1}|} = qe\,\vec{E}(\vec{r}_{p1,2})$$

FORZA CHE TUTTI I PROTONI DEL CORPO 1 ESERCITANO SUL 1° PROTONE DEL CORPO 2

Come prima (qe) può essere portato fuori della sommatoria e quello che rimane è un vettore CAMPO ELETTRICO posizionato dove si trova il 1° protone del corpo 2 $\vec{E}(\vec{r}_{p1,2})$ che racchiude tutta la E.

Quindi sapendo che io sappia quanto vale la forza tra 2 elettroni, tra 2 protoni e tra un protone ed elettrone e che valga il PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE mi permette di scrivere la forza che si esercita su tutte le particelle in questo modo.

A questo punto sorge spontanea la domanda: (FORZE INTERNE)
Cosa succede alle FORZE che le cariche del corpo 2 esercitano su una determinata carica dello stesso corpo? Queste forze ci sono, ma se voglio determinare la FORZA TOTALE QUESTI TERMINI non mi interessano. Vediamo un semplice esempio:



Dalla legge di Coulomb so che:
gli elettroni si respingono e i protoni gli elettroni si attirano quindi LE FORZE scambiate con ogni particella sentite le altre 2
↳ ma queste 2 forze non mi interessano quando determino la F_{TOT} che agisce sul secondo corpo perché le 2 FORZE si annullano (dovuto al 3° PRINCIPIO DI NEWTON) per lo stesso motivo la F_{TOT} che il corpo 2 esercita sul corpo 1 è uguale e opposta a quella che il corpo 1 esercita sul corpo 2.

In conclusione conoscendo la forza totale che si esercita su una singola particella di un corpo, posso trovare la FORZA TOTALE che si esercita su tutto il corpo:

$$\vec{F}_{TOT\,2} = \sum_{i=1}^{ne} (-q_e)\vec{E}(\vec{r}_{ie,2}) + \sum_{i=1}^{np} q_e \vec{E}(\vec{r}_{ip,2})$$

Se il corpo 2 è rigido il vettore può essere approssimato alla posizione del CENTRO DEL CORPO 2 e allora la formula diventa:

$$\vec{F}_{TOT\,2} = \vec{E}(\text{CENTRO CORPO 2})\left[\sum_{i=1}^{ne} -q_e + \sum_{i=1}^{np} q_e\right] =$$

Newton

$$= \vec{E}(\text{CENTRO CORPO 2})\,(n_p - n_e)q_e$$

CAMPO ELETTRICO — Si misura in Newton/Coulomb

CARICA DEL CORPO 2 — misurata in Coulomb

nota q_e è piccolissima, ma $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}$ è molto grande quindi non è chiaro quale quantità vinca, infatti n_p e n_e sono numeri grandissimi
Per rendersi conto di quanto intensa sia la FORZA ELETTRICA

Facciamo questo conto: immaginiamo di avere una moneta da 1€ e di toglierla da questa moneta l'1% degli elettroni. Poi prendiamo un'altra moneta da 1€ a distanza di 1 cm e di fare la stessa cosa (togliere l'1% degli elettroni). Calcoliamo quanto sia la FORZA tra le 2 monete.



ESEMPIO MONETINE

Dimensione moneta di 1€:
diametro 23 mm
↳ raggio 1 cm
↳ spessore s 2 mm

VOLUME MONETA $= \pi \cdot r^2 \cdot s = 3 \cdot 0{,}2\ cm^3$

VOLUME ATOMO $= (10^{-8}\ cm)^3 = 10^{-24}\ cm^3$

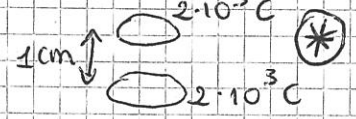
N°ATOMI DENTRO UNA MONETA $= 10{,}6 \cdot 10^{24}$ atomi $\quad n°_{ATOMI} =$

COMPOSIZIONE → 1 atomo di Rame 29 elettroni

1 MONETA ha $15 \cdot 10^{24}$ elettroni, se portassi l'1% di elettroni la monetina avrà carica: $\left[\underbrace{\left(-15 \cdot 10^{24} \cdot \frac{99}{100}\right)}_{n°\ elettroni} + \underbrace{15 \cdot 10^{24}}_{n°\ protoni}\right] q_e =$

$= 15 \cdot 10^{24} \left(1 - \frac{99}{100}\right) q_e = Q$

$= 2 \cdot 10^3$ COULOMB (carica grossa)



Portare via l'1% degli elettroni da una monetina fa sì che si generi una forza esorbitante

Quindi se le 2 monetine non si respingono è dovuto al fatto che i protoni e gli elettroni sono perfettamente bilanciati, quindi la FORZA RIMANE CELATA

(*) $|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{(1\,cm)^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{4 \cdot 10^6\ C^2}{(10^{-2}\ m)^2} = \frac{9 \cdot 10^9\ N \cdot 4 \cdot 10^6}{10^{-4}} =$

circa $= \underbrace{4 \cdot 10^{20}\ N}_{4 \cdot 10^{19}\ kg\ FORZA}$

$4 \cdot 10^{16}$ TONNELLATE