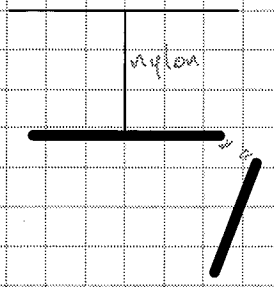
Forza elettrica

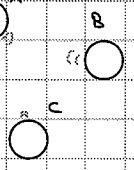
La forza elettrica é generata dalla presenza di cariche elettriche. Si ha ELETTRIZZAZIONE quando la carica elettrica viene "svegliata". Un esempio comune é quello del panno che strofina una barretta (a destra nel disegno). Se, una volta strofinata con il panno, si avvicina la barretta ad un'altra identica (a sinistra nel disegno) notiamo che esse si respingono o si attraggono (in base al materiale di cui sono fatte). La forza che si genera é di natura elettrica ed il fatto che possa essere attrattiva o repulsiva é dovuto alla CARICA che possiede un segno.



Consideriamo ora tre corpi carichi A, B, C e facciamo le seguenti osservazioni:

(i) se A e B sono respinti da C $\Rightarrow$ A respinge B

(ii) se A e B sono attratti da C $\Rightarrow$ A respinge B



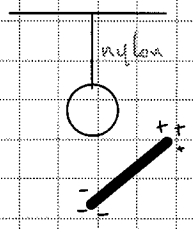
(iii) se C attrae A e respinge B (o viceversa) $\Rightarrow$ A attrae B

ciò vale indipendentemente dal materiale e ci suggerisce che due cariche si respingono se sono concordi e si attraggono se discordi.

$\pm \longleftrightarrow \pm$ e $\pm \rightarrow \leftarrow \mp$

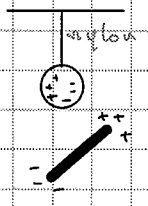
In generale i corpi si elettrizzano per:

(i) CONTATTO



la barretta carica tocca la sferetta che dopo il contatto é carica.

(ii) INDUZIONE



se avvicino la barretta le cariche si ridistribuiscono per effetto della forza elettrica. Se la allontano l'effetto svanisce

Riassumiamo masse e cariche delle particelle:

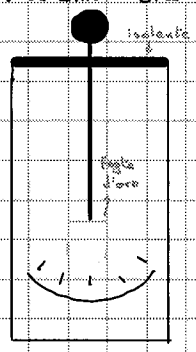
(i) PROTONE $\rightarrow$ $m_p = 1.6725 \times 10^{-27}$ Kg $\quad q_p = 1.6 \times 10^{-9}$ C

(ii) NEUTRONE $\rightarrow$ $m_n = 1.6748 \times 10^{-27}$ Kg $\quad q_n = 0$

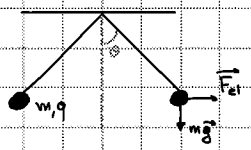
(iii) ELETTRONE $\rightarrow$ $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ Kg $\quad q_e = -1.6 \times 10^{-9}$ C

Il valore $e = 1.6 \times 10^{-9}$ C é detto CARICA ELEMENTARE ed ogni carica in natura é un suo multiplo intero.

Vediamo ora l'esperimento dell'elettroscopio a Foglie.



Se faccio passare corrente le foglie si allontanano per effetto della repulsione elettrica. La stessa cosa può essere fatta con due pendoli carichi.

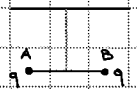


← in base al valore di θ posso ricavare F_{el}

Si può inoltre verificare che se carico una sola foglia e la metto in contatto con l'altra, esse si spartiscono la carica al 50% ciascuna. Ciò è ancora una conferma del fatto che il fenomeno dell'elettrizzazione è dovuto allo spostamento di cariche.

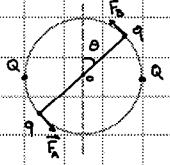
$q \longrightarrow \frac{q}{2} \quad \frac{q}{2}$

Un altro esperimento significativo è quello della bilancia di torsione. Il sistema è composto da un'asta rigida con due cariche uguali q agli estremi libera di ruotare su un piano su cui sono poste due cariche Q, come in figura, con l'opportuna simmetria tale che:



vista frontale

$$\overrightarrow{OA} \times \vec{F}_A + \overrightarrow{OB} \times \vec{F}_B + K\theta\vec{k} = \vec{0}$$ ← pendolo di torsione (Fisica 1)

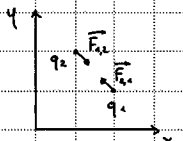


e si può ricavare $\vec{F}(q, Q\vec{R})$ con:

(i) $F = F_A = F_B$

(ii) $\vec{R} = \overrightarrow{AB}$

Andiamo ora ad esaminare la FORZA DI COULOMB. Consideriamo due cariche q_1 e q_2 e siano $\vec{R}_1$ e $\vec{R}_2$ le rispettive posizioni:

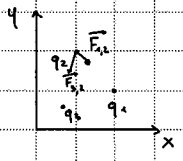


$$\vec{F}_{21} = K\frac{q_1 q_2}{\|\vec{R}_1 - \vec{R}_2\|^3}(\vec{R}_1 - \vec{R}_2) \qquad \text{con} \quad K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.988 \times 10^9\ N \cdot \frac{m^2}{C^2}$$

costante di coulomb — la forza agisce lungo la congiungente — costante dielettrica del vuoto

ed ovviamente $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Nel caso di più cariche, i contributi delle singole cariche si sommano ad esempio nel caso di tre cariche come in figura, sulla carica q_2 agisce la forza:



$$\vec{F}_{TOT} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{\|\vec{R}_2 - \vec{R}_1\|}(\vec{R}_2 - \vec{R}_1) + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_3 q_2}{\|\vec{R}_2 - \vec{R}_3\|}(\vec{R}_2 - \vec{R}_3)$$

Ancora più in generale vale quanto segue

Principio di sovrapposizione

Date N cariche puntiformi $q_1, \dots, q_N$, la Forza esercitata sulla carica q_i è:

$$\vec{F}_i = \sum_{j \neq i}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i q_j}{\|\vec{R}_{ji}\|^3}\vec{R}_{ji} \qquad \text{con} \quad \vec{R}_{ji} = \vec{R}_i - \vec{R}_j$$

in componenti:

(i) $F_{x_i} = \sum_{j \neq i}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i q_j}{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{3/2}} \Delta x$ con $\Delta x = x_i - x_j$

(ii) $F_{y_i} = \sum_{j \neq i}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i q_j}{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{3/2}} \Delta y$ con $\Delta y = y_i - y_j$

(iii) $F_{z_i} = \sum_{j \neq i}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i q_j}{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{3/2}} \Delta z$ con $\Delta z = z_i - z_j$

master copy
master copy
master copy

Approssimazione continua

Ci poniamo ora il problema di risolvere un quesito in cui il numero di cariche è molto elevato, in maniera più pratica. Ad esempio se consideriamo 1 g di H, esso contiene un numero di elettroni dell'ordine di 10^{24}. In casi come questi si approssima il discreto nel continuo. Ciò è lecito perché le distanze all'interno delle distribuzioni di carica che consideriamo sono su scala microscopica ($\sim 10^{-10}$ m) e sono trascurabili rispetto alle distanze in gioco negli esperimenti ($\sim 10^{-2}$ m) sufficienti a studiare problemi di elettromagnetismo che non richiedono il supporto della meccanica quantistica. Definiamo così tre DENSITÁ DI CARICA nel punto:

(i) LINEARE → $\lambda_c = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{q}{\Delta x} = \frac{dq}{dx}$ $\quad \lambda_c, \ell$

(ii) SUPERFICIALE → $\sigma_c = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS}$ $\quad \sigma_c, S$

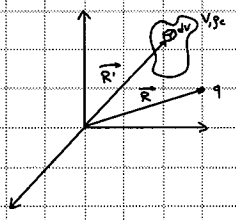
(iii) VOLUMETRICA → $\rho_c = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$ $\quad \rho_c, V$

e possiamo così calcolare la carica della distribuzione come:

$$q = \int_V \rho_c \, dV \quad ; \quad q = \int_S \sigma_c \, dS \quad ; \quad q = \int_\ell \lambda_c \, d\ell$$

(volumi; superfici; linee)

e la forza generata da una distribuzione su una carica è:



$$\vec{F} = \int_V \frac{\rho_c(\vec{R}) \, dV}{\|\vec{R} - \vec{R}'\|} (\vec{R} - \vec{R}')$$ ed analogamente per σ_c e λ_c

Coordinate curvilinee

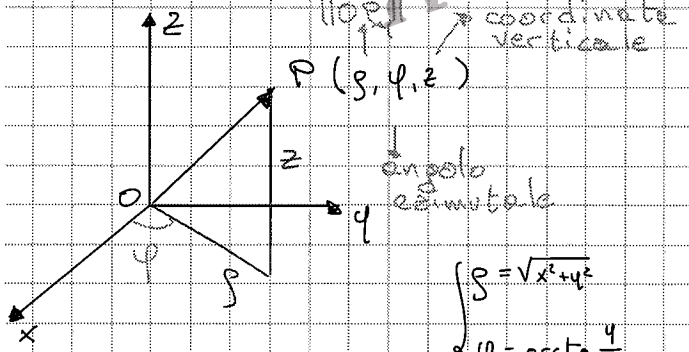
Le coordinate curvilinee sono funzioni delle coordinate cartesiane del tipo:

$$\begin{cases} u_1 = u_1(x,y,z) \\ u_2 = u_2(x,y,z) \\ u_3 = u_3(x,y,z) \end{cases}$$

DEF • SUPERFICI COORDINATE := superfici con una sola u_i costante

• LINEE COORDINATE := intersezioni di due superfici coordinate (due u_i, u_j costanti)

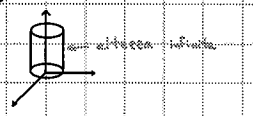
Nel sistema di coordinate cilindrico:



$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2+y^2} \\ \varphi = \arctg \frac{y}{x} \\ z = z \end{cases}$$

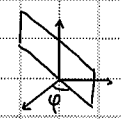
SUPERFICI COORDINATE:

(i) ρ = costante



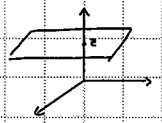
cilindri con asse lungo z e raggio ρ

(ii) φ = costante



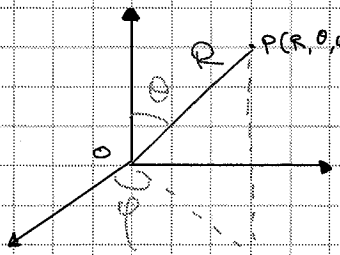
piani contenenti asse z, perpendicolari al piano $\pi_{x,y}$ ed inclinati di φ rispetto a x

(iii) z = costante



piani paralleli a $\pi_{x,y}$ di quota z

Nel sistema di coordinate sferico:



$$\begin{cases} R = \sqrt{x^2+y^2+z^2} \\ \theta = \arctg \frac{x}{\sqrt{x^2+z^2}} \\ \varphi = \arctg \frac{y}{x} \end{cases}$$

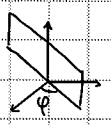
SUPERFICI COORDINATE

(i) R = costante



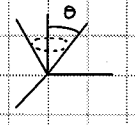
sfere centrate in O di raggio R

(ii) φ = costante



piani contenenti asse z, perpendicolari al piano $\pi_{x,y}$ ed inclinati di φ rispetto a x

(iii) θ = costante



coni con asse lungo z e con angolo asse - generatrici θ

master copy