Fatto sperimentale:

Esistenza di una nuova grandezza propria dei corpi: *carica elettrica*

Analoga (entro certi limiti) alla *massa gravitazionale*

Differenza principale: *2 segni*

Origina la *forza elettrica* fra i corpi carichi

Analoga (entro certi limiti) alla *forza di gravitazione*

Differenza principale: *attrattiva/repulsiva*

Al pari della massa:

La carica elettrica si conserva

NB: La massa è conservata *nel limite non-relativistico*

La carica elettrica è conservata *sempre*

Diversamente dalla massa:

La carica elettrica e’ quantizzata

Grandezza scoperta molto tempo dopo la massa: corpi fisici osservabili normalmente neutri (= a carica totale nulla)

Proprieta' fondamentali dell'interazione elettromagnetica:
c indipendente dal sistema di riferimento
q indipendente dal sistema di riferimento

$\rightarrow c, q$ invarianti relativistici

Invarianza della carica elettrica:
Determinata sperimentalmente con altissima precisione

1)Primo passo: carica elettrone $\equiv$ carica protone
Molecola H_2 fatta passare in c. elettrico $\rightarrow$ Nessuna deflessione
$\rightarrow \delta q = \left| q_e - q_p \right| < 10^{-20} q_p$
2) Secondo passo: H_2 vs $He \rightarrow 2p + 2e$
$H_2 : e$ & p velocita' molto basse
$He : e$ velocita' molto bassa, p vel. $\sim 0.1\ c$ (interno di un nucleo)
Passati attraverso c. elettrico $\rightarrow$ Entrambi indeflessi

$\rightarrow q_p$ indipendente da v

Legge di Coulomb:

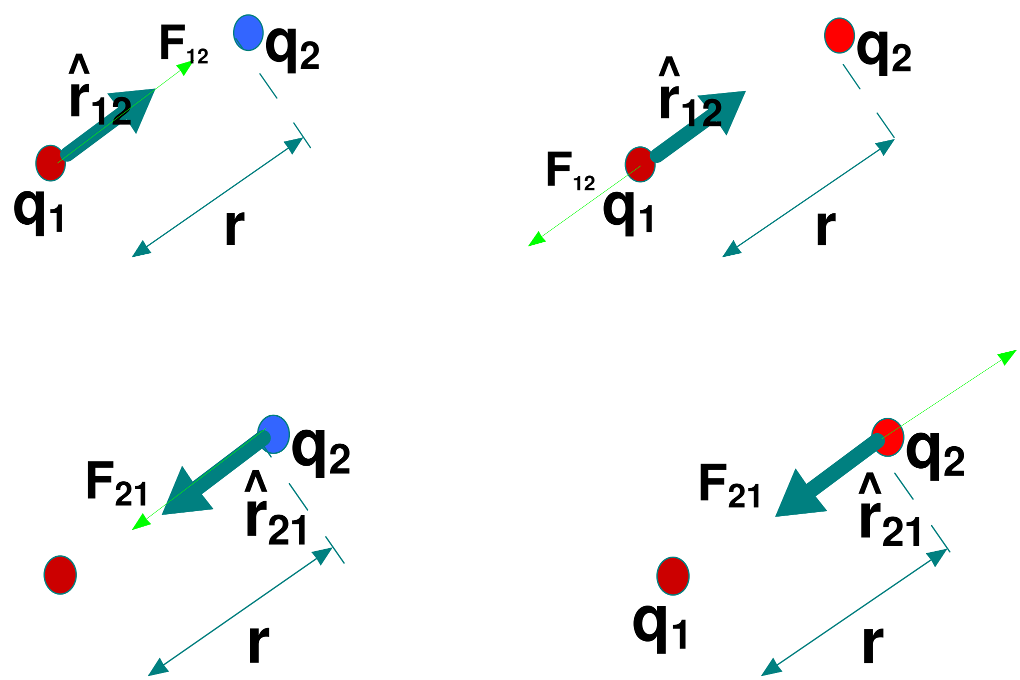
$\boldsymbol{F}_{12} = -k \dfrac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ forza esercitata su q_1 da q_2, $\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ versore $1 \to 2$

$q_1 q_2 < 0 \to \boldsymbol{F}_{12}$ concorde rispetto a $\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$

$q_1 q_2 > 0 \to \boldsymbol{F}_{12}$ discorde rispetto a $\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$

$\boldsymbol{F}_{21} = -k \dfrac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\boldsymbol{r}}_{21} \equiv -\boldsymbol{F}_{12}$ forza esercitata su q_2 da q_1, $\hat{\boldsymbol{r}}_{21}$ versore $2 \to 1$

Come sopra



Unita' di misura carica elettrica

Nel SI: Corrente elettrica = Grandezza fondamentale

$\rightarrow$ Carica elettrica = Grandezza derivata

Unita': Coulomb C

$1\ C =$ carica di $\sim 6.7\ 10^{18}$ elettroni

Costante di proporzionalita' nella legge di Coulomb:

$$[k] = \frac{[F]\left[L^2\right]}{\left[Q^2\right]} = \frac{[M]\left[L^3\right]}{\left[T^2\right]\left[Q^2\right]} = [M]\left[L^3\right]\left[T^{-2}\right]\left[Q^{-2}\right]$$

$$k \equiv \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \simeq 8.99\ 10^9\ kgm^3s^{-2}C^{-2}$$

Permittivita' elettrica = Costante dielettrica del vuoto:

$$\varepsilon_0 = 8.85\ 10^{-12}\ kg^{-1}m^{-3}s^2C^2$$

Confronto f.gravitazionale - f.elettrostatica:

$\boldsymbol{F}_{12}^{(G)} = +G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ $\quad G \simeq 6.67\ 10^{-11} kg^{-1}m^3s^{-2}$ debole,attrattiva

$\boldsymbol{F}_{12}^{(E)} = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q_1 q_2}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ $\quad \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \simeq 8.99\ 10^9\ kgC^{-2}m^3s^{-2}$ forte,attrattiva/repulsiva

q e' soggetta alla forza:

$$\mathbf{F}_q = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

Alternativa all'interazione diretta fra le cariche:

$$\mathbf{F}_q = \underbrace{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}}_{\text{campo elettrostatico generato da } Q} q = \mathbf{E}q$$

Modo di rappresentarsi la situazione:

1) Q modifica lo spazio in ogni punto attorno a se'

$\rightarrow Q$ da' origine a un campo vettoriale

$$\mathbf{E}(x,y,z) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

2) q, posizionata in un punto generico, e' soggetta alla forza

$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

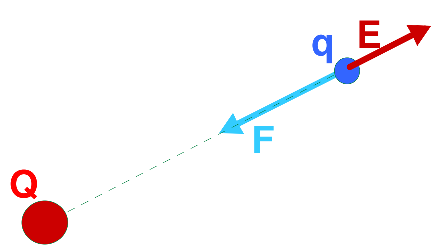
Ovviamente, vale anche il viceversa:

Campo generato da $q \rightarrow$ Forza esercitata su Q

Commento: lo spazio fisico e' diverso dallo spazio geometrico

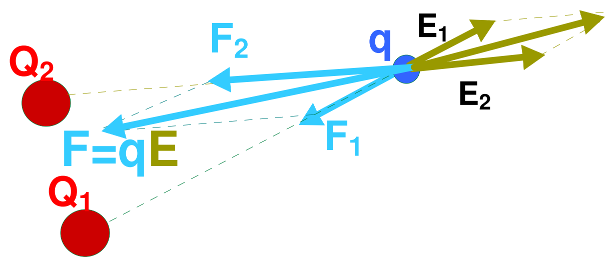
Possiede proprieta' fisiche, p es puo' esserne parte

un campo elettrostatico



Principio di sovrapposizione:

Conseguenza della linearita' delle equazioni dell'elettromagnetismo

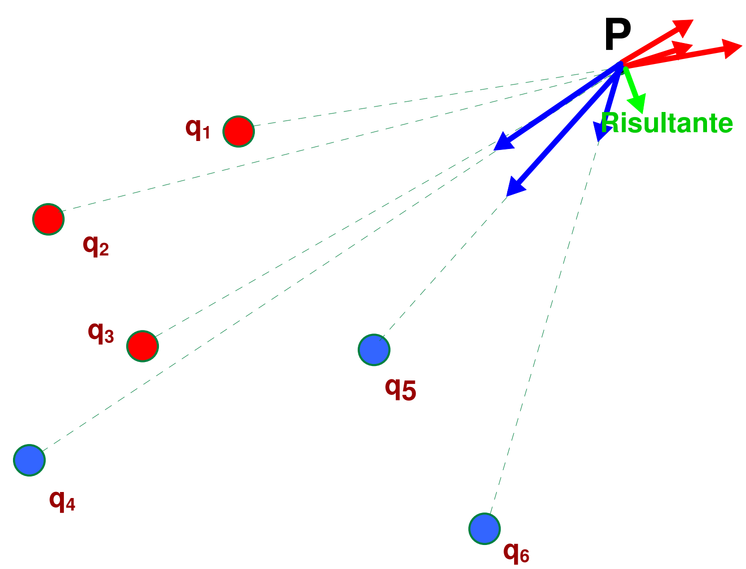


$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ_1}{r_1^2}\hat{\mathbf{r}}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ_2}{r_2^2}\hat{\mathbf{r}}_2$$

$$\mathbf{F} = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\hat{\mathbf{r}}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2}\hat{\mathbf{r}}_2\right)\cdot q$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{E}\cdot q$$

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\hat{\mathbf{r}}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2}\hat{\mathbf{r}}_2 = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$



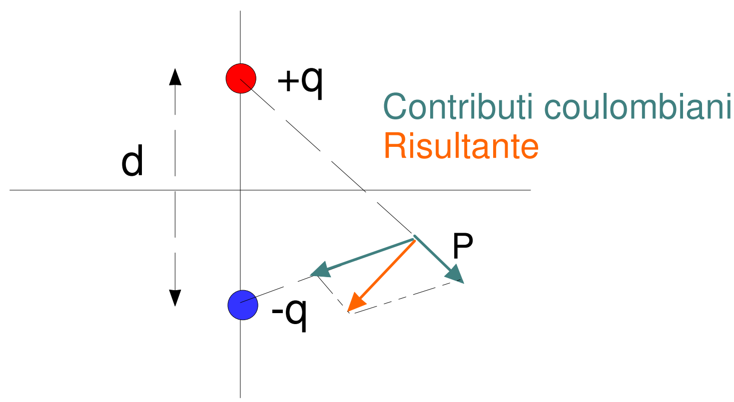
$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1}{r_1^2}\hat{\boldsymbol{r}}_1 + \frac{q_2}{r_2^2}\hat{\boldsymbol{r}}_2 + \frac{q_3}{r_3^2}\hat{\boldsymbol{r}}_3 + \ldots\right] = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i}{r_i^2}\hat{\boldsymbol{r}}_i$$

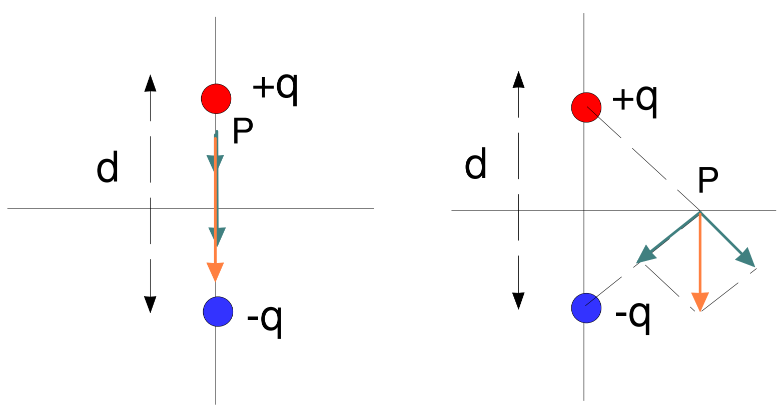
Rendendo esplicita la dipendenza del campo dalla posizione:

$$r_i^2 = (x_i - x_P)^2 + (y_i - y_P)^2 + (z_i - z_P)^2$$

$$\hat{\mathbf{r}}_i = \frac{(x_i - x_P)\hat{\mathbf{i}} + (y_i - y_P)\hat{\mathbf{j}} + (z_i - z_P)\hat{\mathbf{k}}}{\sqrt{(x_i - x_P)^2 + (y_i - y_P)^2 + (z_i - z_P)^2}}$$

Es: 2 cariche uguali e opposte:





$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}^{(+)} + \boldsymbol{E}^{(-)}$$

I caso : Campi collineari per punti sull'asse y

$$E = E^{(+)} + E^{(-)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{(y-d/2)^2} - \frac{q}{(y+d/2)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{(y+d/2)^2 - (y-d/2)^2}{\left(y^2 - d^2/4\right)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{\left(y^2 + d^2/4 + yd\right) - \left(y^2 + d^2/4 - yd\right)}{\left(y^2 - d^2/4\right)^2}\right]; p = qd$$

$$E = \frac{2qyd}{4\pi\varepsilon_0\left(y^2 - d^2/4\right)^2} = \frac{py}{2\pi\varepsilon_0\left(y^2 - d^2/4\right)^2}$$

$$E = \frac{py}{2\pi\varepsilon_0\left(y^4 + d^4/16 - y^2 d^2/2\right)} \underset{y\to\infty}{\longrightarrow} \frac{p}{2\pi\varepsilon_0 y^3}$$

II caso : Campo per punti sull'asse x

Componenti x $(+)$ e $(-)$: uguali e opposte $\rightarrow$ somma = 0

Componenti y $(+)$ e $(-)$:

$$E \equiv E_y = E_y^{(+)} + E_y^{(-)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{x^2 + d^2/4}\cos\theta - \frac{(-q)}{x^2 + d^2/4}\cos\theta\right]$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2q}{x^2 + d^2/4}\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{d/2}{\left(x^2 + d^2/4\right)^{1/2}}, p = qd$$

$$\rightarrow E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qd}{\left(x^2 + d^2/4\right)^{3/2}} \underset{x\to\infty}{\longrightarrow} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{x^3}$$