Calendario Corso Fisica Generale II (Marco Mazzeo)

Parte I

LEZIONE	TITOLO	ARGOMENTO	CAPITOLI	ESERCIZI
1	**Teorie di campo vettoriali.**	Newtoniani e azione a distanza. Sulla scia di Cartesio: Faraday e le teorie di campo. Relatività e teorie di campo. Flussi, circuitazioni, divergenze e rotori. Applicazione al caso del campo gravitazionale. Leggi di Maxwell.	Dispense	
2	**Elettrostatica 1** **$\mathrm{div}E=\rho/\varepsilon_0$** **$\mathrm{rot}E=0$** **$F=qE$**	Fenomeni di elettrostatica, induzione, caricamento per strofinio, strumenti di elettrostatica. Campo e potenziale di una carica puntiforme e legge di Coulomb, campo e potenziale di configurazioni di carica simmetriche.	Cap. 23-24 Serway-Jewett	
3	**Elettrostatica 2**	Potenziale Elettrostatico V, Energia potenziale U, campi conservativi, superfici equipotenziali. Conduttori e gabbia di faraday. Breakdown, scariche elettriche e fulmini.	Cap. 25 Serway-Jewett	
4	**Elettrostatica 3**	Capacità di un condensatore, energia del campo elettrico, energia di un cristallo di sale. Introduzione alla Polarizzazione e ai dielettrici, Campo e potenziale di un dipolo, bottiglia di Leida, generatore di Van der Graaf.	Cap. 26 Serway-Jewett	
5	**Elettrodinamica stazionaria**	Correnti, resistività, Legge di Ohm. Batterie, forza elettromotrice, Potenza elettrica, Leggi di Kirchoff e leggi di Maxwell, Generare scariche con acqua. Circuiti RC.	Cap. 27-28 Serway-Jewett	
6	**Lezione di chiusura parte I**	La pila: frutto di una ricerca di base attorno all'elettricità animale. Il Grafene: futuro dell'elettronica?	Personaggi e scoperte della fisica classica "E. Segrè".	

Parte II

6	**Magnetostatica 1** div$\mathbf{B}$=0 rot$\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{J}$ $\mathbf{F}=q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$	Forza di Lorenz, Ciclotrone, separazione degli isotopi, aurora boreale, Ancora newtoniani: la Legge di Biot-Savart. Esercizi.		
7	**Magnetostatica 2**	Legge di Ampère, campo magnetico di: un filo conduttore e un solenoide.		
8	**Elettrodinamica 1** rot$\mathbf{E}=-d\mathbf{B}/dt$	Legge di induzione e forza elettromotrice indotta, non conservatività del campo elettrico, dinamo e generatori, correnti parassite, applicazioni legge di Farady-Lenz.		
9	**Elettrodinamica 2**	Autoinduzione e induttanza, energia del campo magnetico, circuiti RL, circuiti LC, circuiti RLC,		
10	**Elettrodinamica 3**	Resistori, induttori e capacitori in corrente alternata.Risonanza. Trasformatori, raddrizzatori, filtri.		
11	**Lezione di chiusura Parte II**	Premio motore più veloce dell'anno (10% punti d'esame). Il transistor e il computer: una tecnologia "elettromagnetica"		

Parte III

11	**Onde EM** div**E**=ρ/ε_0 div**B**=0 rot**E**=−d**B**/dt rot**B**=μ_o**J**+$\varepsilon_0\mu_o$d**E**/dt	Legge di Ampère generalizzata, equazioni di Maxwell e la prova sperimentale di Hertz. Energia delle onde elettromagnetiche e vettore di Pointing. Antenne. Progetto di radio a diodo al germanio.		
12	**Lezione di chiusura Parte II e congedo**	Meccanica ed EM: un conflitto insanabile. La soluzione del conflitto: un mondo logico ma … folle! La vita e l'elettromagnetismo.	QED: la strana teoria della luce e della materia; Sei pezzi facili; La legge fisica: "R. Feynman"	

LEGGI DEL CAMPO E.M.

I) $\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \rho/\epsilon_0$ $\qquad$ $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial t}$ II)

III) $\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$ $\qquad$ $\vec{\nabla}\times\vec{B} = \epsilon_0\mu_0\dfrac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \mu_0\vec{J}$ IV)

$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B})$ $\qquad$ V) Forza di Lorentz

$\vec{\nabla}\cdot\vec{J} = -\dfrac{\partial\rho}{\partial t}$ $\qquad$ VI) Cons. carica (DERIVA DA I e IV)

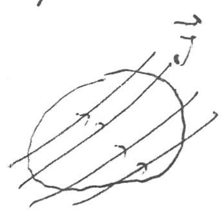
$$\vec{E}_{TOT} = \sum_k \vec{E}_k \qquad \vec{B}_{TOT} = \sum_k \vec{B}_k$$

Se $\vec{B}$ ed $\vec{E}$ non variano nel tempo le equazioni si disaccoppiano e i campi pure

ELETTROSTATICA	MAGNETOSTATICA
$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \underbrace{\rho}_{\text{Sorgenti di } \vec{E}}/\epsilon_0$	$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$
$\vec{\nabla}\times\vec{E} = 0$ $\qquad q = \pm$	$\vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\underbrace{\vec{J}}_{\text{Sorgente di } \vec{B}}$
$\vec{F} = q\vec{E}$ (per $\vec{B}=0$)	$\vec{F} = q\underbrace{\vec{v}\times\vec{B}}_{\vec{J}\times\vec{B}\text{ corrente di forze}}$ (per $\vec{E}=0$)

OSSERVAZIONI SULLA VI

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{J} = -\frac{\partial\rho}{\partial t} \Rightarrow \int_{\text{Volume chiuso}} \vec{\nabla}\cdot\vec{J}\, dV = -\frac{\partial}{\partial t}\int_{\text{Volume chiuso}} \rho\, dV \Rightarrow$$



$$\Rightarrow \underbrace{\int_{\text{Superficie}} \vec{J}\cdot d\vec{A}}_{\text{Corrente } I} = -\frac{\partial Q}{\partial t} \Rightarrow \boxed{I = -\frac{dQ}{dt}}$$

DEFINIZIONI &
TEOREMI DA RICORDARE

1) $\vec{\nabla}\phi = \dfrac{\partial\phi}{\partial x}\hat{x} + \dfrac{\partial\phi}{\partial y}\hat{y} + \dfrac{\partial\phi}{\partial z}\hat{z}$

2) $\vec{\nabla}\cdot\vec{C} = \dfrac{\partial C_x}{\partial x} + \dfrac{\partial C_y}{\partial y} + \dfrac{\partial C_z}{\partial z}$

3) $\vec{\nabla}\times\vec{C} = \begin{vmatrix} \cancel{\hat{x}} & \cancel{\hat{y}} & \cancel{\hat{z}} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ C_x & C_y & C_z \end{vmatrix}\hat{x} - \begin{vmatrix} \cancel{\hat{x}} & \cancel{\hat{y}} & \cancel{\hat{z}} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ C_x & C_y & C_z \end{vmatrix}\hat{y} + \begin{vmatrix} \cancel{\hat{x}} & \cancel{\hat{y}} & \cancel{\hat{z}} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ C_x & C_y & C_z \end{vmatrix}\hat{z}$

4) $\vec{\nabla}\cdot(\vec{\nabla}\phi) = \nabla^2\phi = \dfrac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2\phi}{\partial z^2}$

5) $\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\phi) = 0$

---

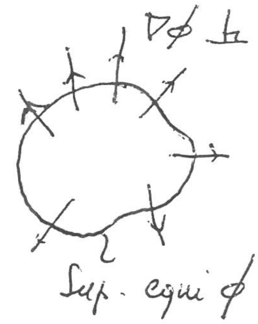
teo di Gauss $\displaystyle\oint_{\text{closed surf.}} \vec{C}\cdot d\vec{A} = \oint_{\text{Enclosed Vol}} \vec{\nabla}\cdot\vec{C}\, dV$

teo di Stokes $\displaystyle\oint_{\text{closed loop}} \vec{C}\cdot d\vec{l} = \int_{\text{attached area}} (\vec{\nabla}\times\vec{C})\cdot d\vec{A}$

Se $\oint \vec{C}\cdot d\vec{l} = 0 \Rightarrow \exists\,\phi$ t.c. $\vec{C} = -\vec{\nabla}\phi$

ovvero Se $\nabla\times\vec{C} = 0 \Rightarrow \exists\,\phi$ t.c. $\vec{C} = -\nabla\phi$ $\quad(\vec{\nabla}\times\vec{C} = -\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\phi = 0)$

$\vec{\nabla}\phi$ dà la direzione di massima variazione di ϕ.
$\vec{\nabla}\phi$ è sempre $\perp$ alle superfici equipot.



CAMPO $\vec{C}$ $\longrightarrow$ $\vec{F} = \gamma\vec{C}$ FORZA

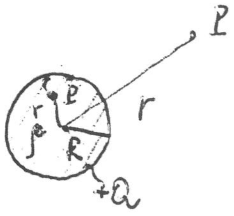
$\hookrightarrow$ CARICA DI PROVA (SORGENTE PICCOLA)

POT. ϕ $\longrightarrow$ $U = \gamma\phi$ EN. POTENZ

En. mec. $= \dfrac{1}{2}mv^2 + \gamma\phi = \text{cost}$

DISTRIBUZIONI SIMMETRICHE DI CARICA

SFERA PIENA



$$\rho = \frac{dQ}{dV} \qquad Q_{tot} = \int_{tot} \rho \, dV \qquad \text{Se } \rho = \text{cost} \Rightarrow Q_{tot} = \rho V \Rightarrow \boxed{\rho = \frac{Q}{V}}$$

$r > R$ $$E\, 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0} \Rightarrow \boxed{\vec{E}_{out} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{r}}$$ Come una carica puntiforme.

$r < R$ $$E\, 4\pi r^2 = \frac{Q_{in}}{\varepsilon_0} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{Q}{\varepsilon_0 \frac{4}{3}\pi R^3}\frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow \boxed{\vec{E}_{in} = \frac{Q r}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\hat{r}}$$

$r = R$ $\quad E_{in} = E_{out}$ come deve essere.

$$\int_{P_0}^{P} \vec{E}\cdot d\vec{l} = \phi(P_0) - \phi(P) \Rightarrow \phi(P) \equiv \phi(P_0) - \int_{P_0}^{P} \vec{E}\cdot d\vec{l} \qquad \phi(P_0 = \infty) = 0$$

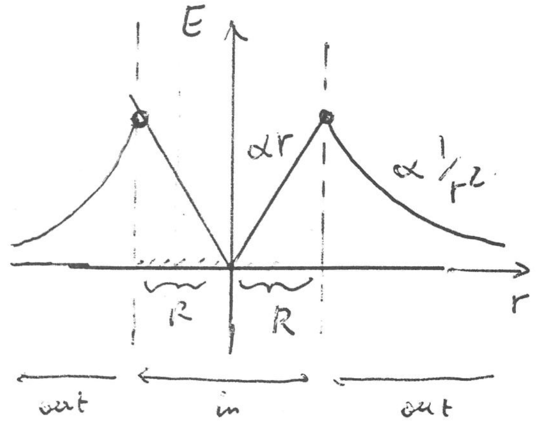
$$\Rightarrow \phi(r) = \int_r^\infty \vec{E}\cdot d\vec{l} \Rightarrow$$

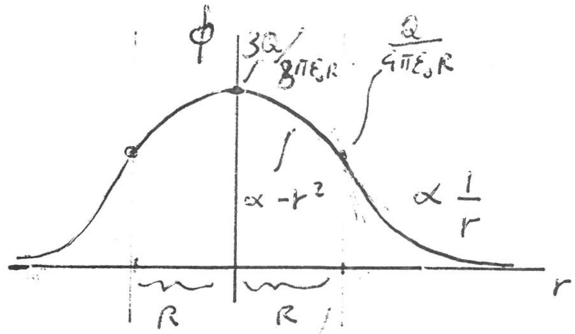
$\rightarrow r > R$ $$\phi_{out} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{r}\right]_r^\infty = \boxed{\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}} = \phi_{out}$$

$\rightarrow r < R$ $$\phi_{in} = \int_r^R \vec{E}_{in}\cdot d\vec{l} + \int_R^\infty \vec{E}_{out}\cdot d\vec{l}$$

$$\Rightarrow \phi_{in} = \int_r^R \frac{Q r}{4\pi\varepsilon_0 R^3} dr + \int_R^\infty \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\left[\frac{r^2}{2}\right]_r^R + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{r}\right]_R^\infty$$

$$\Rightarrow \phi_{in} = \frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\left(\frac{r^2}{2}\right) + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} = \boxed{\frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R}\left[3 - \frac{r^2}{R^2}\right] = \phi_{in}}$$





∃ una discontinuità nella derivata?

$$\Rightarrow \left.\frac{\partial \phi_{in}}{\partial r}\right|_{r=R^-} = -\frac{2Q r}{8\pi\varepsilon_0 R R^2} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} \qquad \left.\frac{\partial \phi_{out}}{\partial r}\right|_{r=R^+} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$$ No!

(C) Provare che $\vec{E}_{out} = -\vec{\nabla}\phi_{out}$ $\quad \vec{E}_{in} = -\vec{\nabla}\phi_{in}$
(CASA)

ESEMPIO

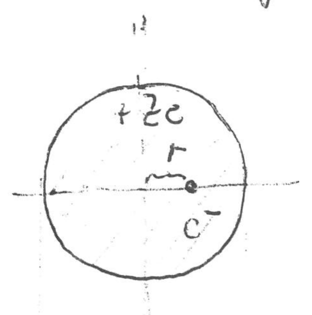
$Q = 10^{-6}\,C$ $\quad R = 10\,cm$ $\quad 1/4\pi\varepsilon_0 = 9\times10^{9}$ $\quad$ Posto $\phi(\infty)=0$ calcolare $\phi(r=0)$ al centro della sfera rispetto a $\phi(\infty)$.

$$\phi(0) - \underbrace{\phi(\infty)}_{=0} = \int_0^R \vec{E}_{in}\cdot d\vec{l} + \int_R^\infty \vec{E}_{out}\cdot d\vec{l} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3}{2R}$$ (da prima ponendo $r=0$ in ϕ_{in})

$$= \frac{10^{-6}\times 3}{2\times 0.1}\times 9\times10^{9} = 135\ kV.$$

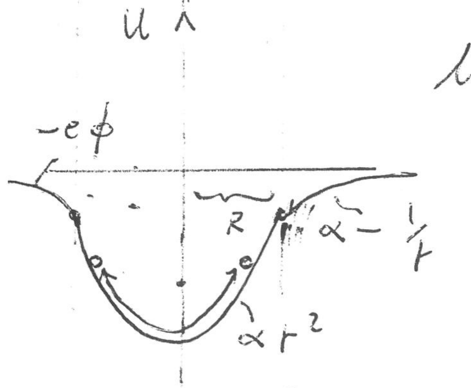
ATOMO DI THOMSON

Qual è l'energia potenziale di un elettrone nella sfera carica positiva Ze?



$$U_{in} = q\phi_{in} = -e\phi_{in} = -\frac{Ze^2}{8\pi\varepsilon_0 R}\left[3-\frac{r^2}{R^2}\right]$$ è ϕ ribaltato di un fattore $-e$

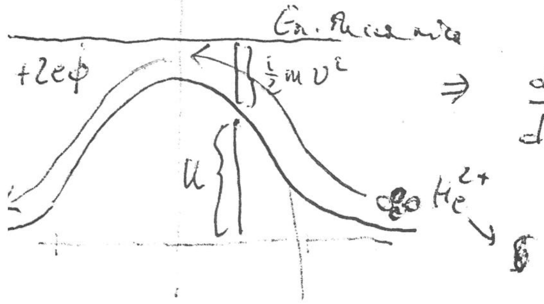
Per $r=R \Rightarrow U_R = -\dfrac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 R}$



$$U_{out} = q\phi_{out} = -e\phi_{out} = -\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$\vec{F}_{in} = -e\vec{E}_{in} = -\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\,r\hat{r}$$ come la forza elastica

l'elettrone oscilla $m\vec{a} = -\left(\dfrac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 R^3}\right) r\hat{r}$ $\quad \vec{a} = \dfrac{d^2r}{dt^2}\hat{r}$

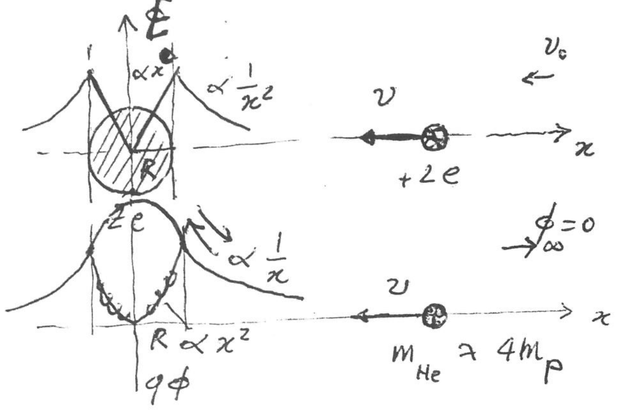


$$\Rightarrow \frac{d^2r}{dt^2} + \underbrace{\boxed{\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 m R^3}}}_{\longrightarrow\ \omega_0^2} r = 0$$

$$\boxed{\omega_0 = \left(\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 m R^3}\right)^{1/2}}$$

Qual è l'energia potenziale di un atomo di He con carica 2+?
L'andamento è come ϕ moltiplicato la carica $+|2e|$ ⇒ è come una collina.
Se $\frac{1}{2}mv_0^2$ dell'elio $> U_{max}$ penetra e supera la sfera $+Ze$.
Sennò torna indietro.

1) Per thomson quando l'elettrone è al centro è immobile. Se la carica è spostata di x_0 dall'equilibrio inizierà ad oscillare con frequenza ω_0 e quella sarà la frequenza della luce emessa.
Se prendo atomi di oro Ze è la carica dell'atomo (escluso gli elettroni) e se gli sparo nuclei di He^{2+} di carica $|2e|$ ecco cosa accade



R ≈ atomo radius

$$\frac{1}{2} m_{He^{2+}} v_0^2 = \frac{1}{2} m_{He^{2+}} v^2 + |2e|\phi(x) \qquad x \geq R$$

$v = 0$ tra $R \leq x < \infty$ se

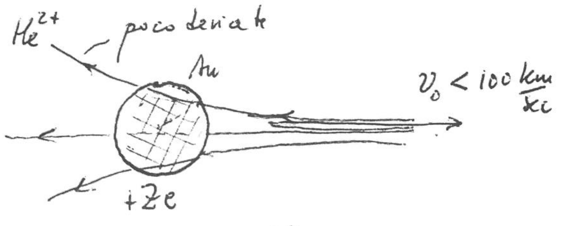
$$\frac{1}{2} m_{He} v_0^2 \leq 2e \frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0 R_{stop}} \Rightarrow \boxed{v_0 \leq \sqrt{\frac{Ze^2}{\pi\varepsilon_0 R m_{He}}}}$$

$e = 1.9 \times 10^{-19}\,C \qquad \frac{1}{\pi\varepsilon_0} = 36 \times 10^9 \qquad R \approx 10^{-10} \qquad Z \approx 10 \Rightarrow v_0 \leq \left(\frac{10 \times 4 \times 10^{-38} \times 36 \times 10^9}{10^{-10} \times 4 m_p}\right)^{1/2}$

$\Rightarrow v_0 \leq \frac{10^{11}}{\sqrt{m_p}} \approx 10^5\,m/sec$ tutte le particelle con $v_0 \leq 100\,km/sec$ si bloccano e tornano indietro.

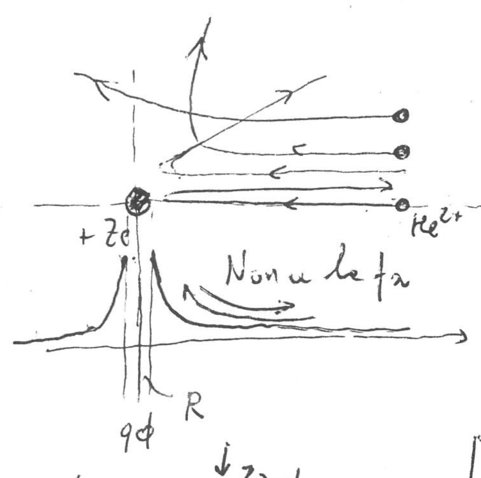
Se $v_0 > 100\,km/sec$ passano tutte!!

Per $x < R$ la particella è accelerata, poi rallenta fino alla v di entrata e se $\frac{1}{2} m v^2 > q\phi(R)$ riesce respinta. L'He attraversa il nucleo Ze come una massa gelatinosa. Se l'urto non è centrale:



Modello di thomson

Ma si vedevano un sacco di particelle indietro! L'unica è che indip.te da v_0 degli atomi di He^{2+} alla fine essi si arrestavano e tornavano indietro o venivano fortemente deviati. La curva $\propto \frac{1}{x^2}$ doveva essere $< R$ doveva valere anche dentro il raggio atomico dell'Au. L'unica era supporre che la carica $+Ze$ fosse concentrata al centro in modo da deviare meglio gli atomi He^{2+}.

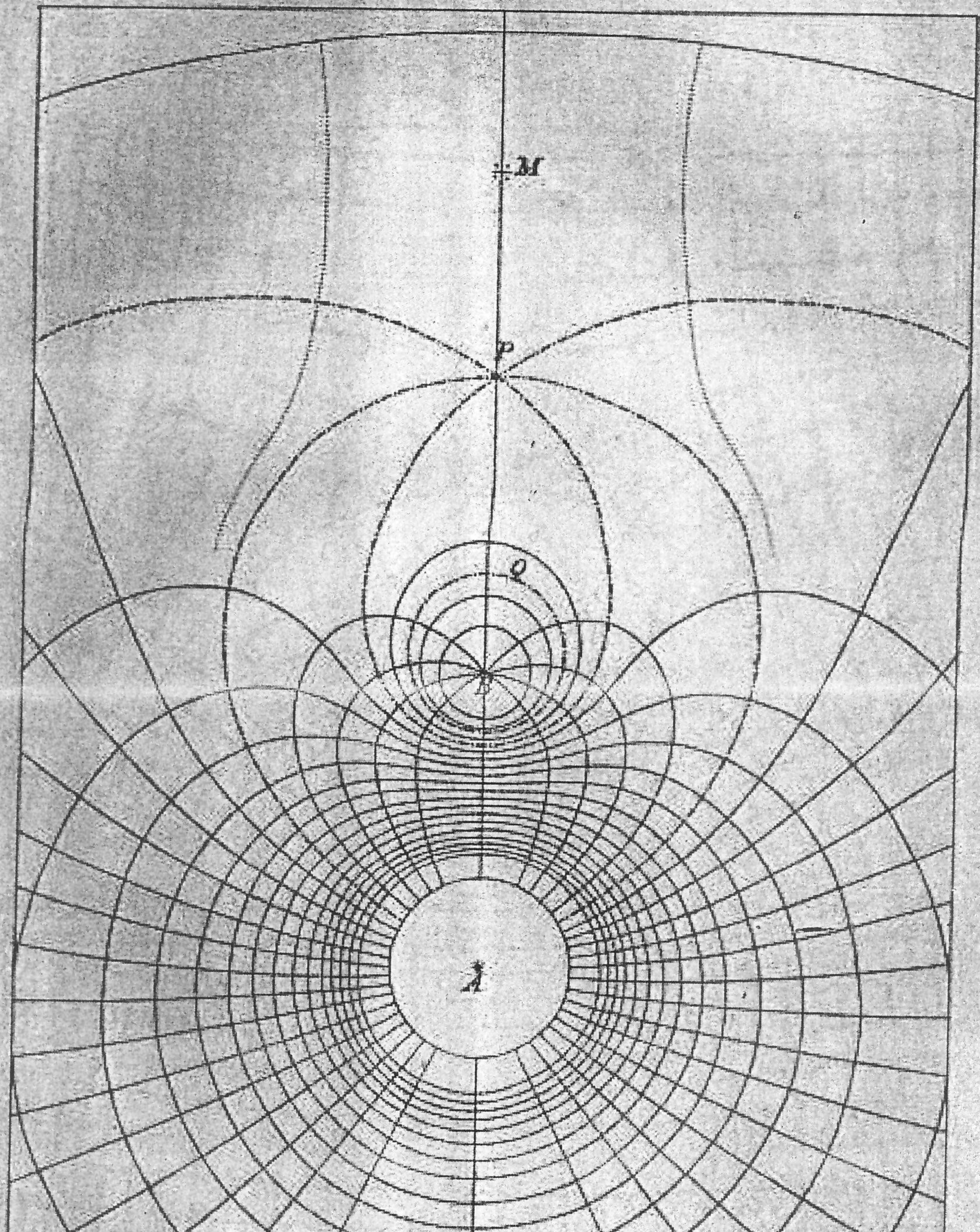


$$v_0 \leq \sqrt{\frac{Ze^2}{\pi\varepsilon_0 m_{He} R}}$$

Se R è piccolo v_0 può crescere e anche He veloci verranno deviati indietro.

$R \leq \left(\frac{4\pi\varepsilon_0 m_{He} c^2}{4Ze^2}\right)^{-1} \approx 10^{-17}\,m$ $\boxed{\text{NUCLEO}}$ → Atomo NUCLEARE.

FIG. II
Art. 119



Lines of Force and Equipotential Surfaces.

A = 20 B = −5 P. Point of Equilibrium. AP = 2AB

Q. Spherical surface of Zero potential.

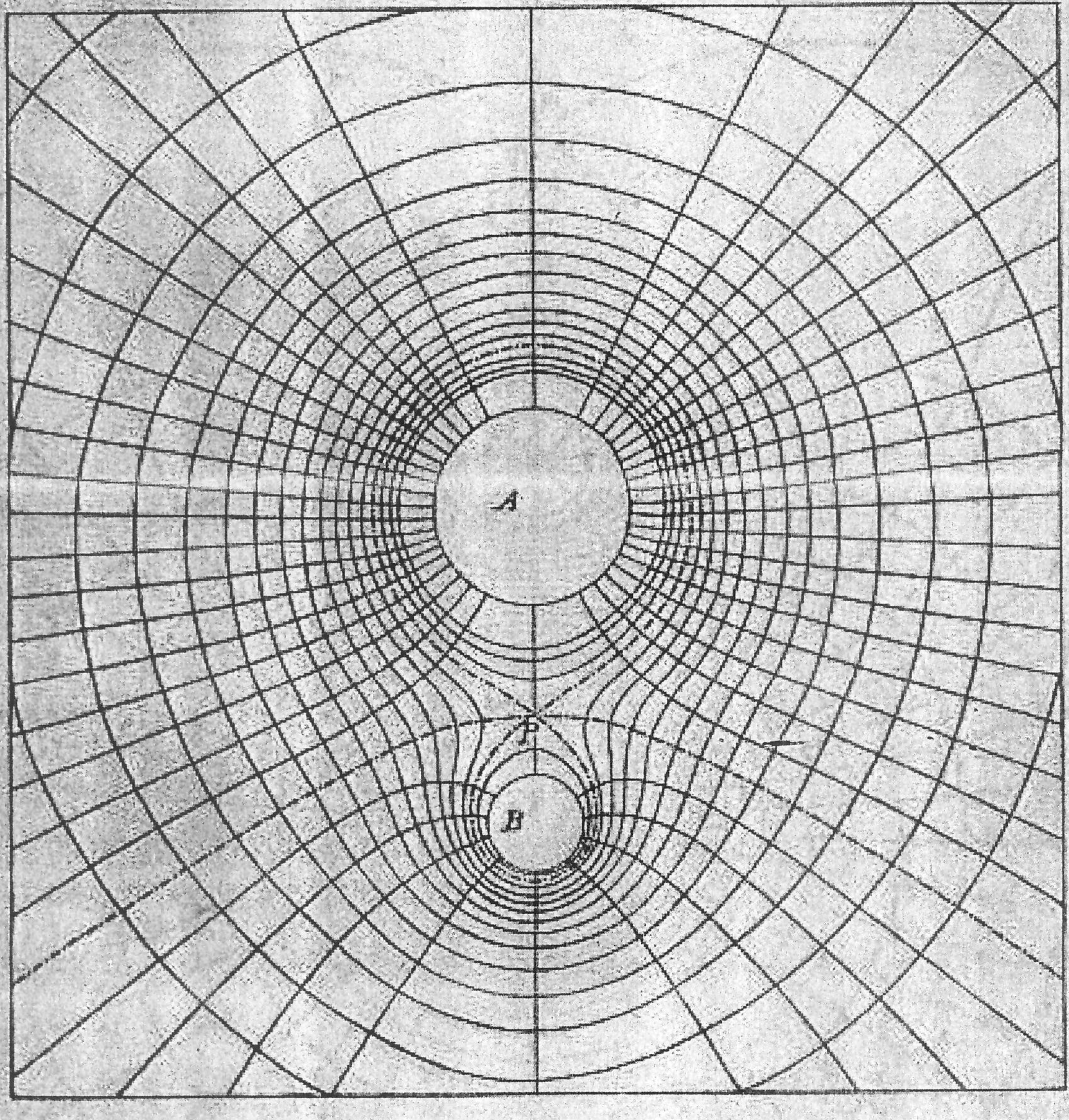
M. Point of Maximum Force along the axis.

The dotted line is the Line of Force $\Psi = 0.1$. thus..........

http://www.falstad.com/mathphysics.html

FIG. I.

Art. 118.

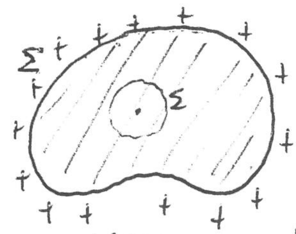


Lines of Force and Equipotential Surfaces.

A = 20. *B* = 5. *P*, *Point of Equilibrium.* $AP = \frac{2}{3}AB$.

CONDUTTORI (1)

1) La carica va in superficie per annullare il campo dentro. Se



pieno

① ∃ $\vec E$ dentro le cariche si muoverebbero ⇒ $\vec E = 0$

Infatti $\oint_\Sigma \vec E_{int} \cdot d\vec A = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} = 0 \Rightarrow \boxed{\vec E_{int} = 0}$ $\boxed{Q_{int} = 0}$

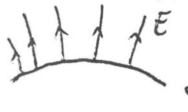
② ⇒ $\vec E = -\nabla \phi = 0 \Rightarrow \boxed{\phi_{int} = cost}$ $\phi_A - \phi_B = \int_A^B \vec E_{int} \cdot d\vec l = 0 \Rightarrow \phi_A = \phi_B$

③ $\boxed{\phi(\text{superficie}) = cost}$ Infatti se ϕ non è cost ⇒ ∃ A, B t.c. $\phi_A - \phi_B \neq 0$

$\Rightarrow \phi_A - \phi_B = \nabla\phi \cdot d\vec l \neq 0 \Rightarrow \vec E \cdot d\vec l \neq 0 \Rightarrow$

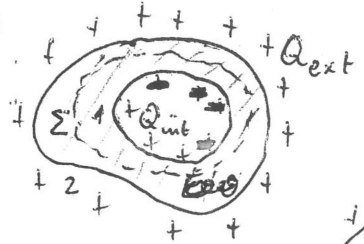
C'è una componente sulla superficie di $\vec E$ e ⇒ c'è moto di cariche che non è possibile.

ⓒ $\boxed{\vec E \perp \text{superficie}}$

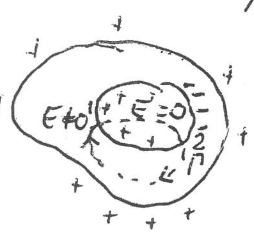


$\phi = cost$

2) Tra 1 e 2 $\vec E \neq 0$ per Gauss: $\oint_\Sigma \vec E \cdot d\vec A = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \neq 0 \Rightarrow$



Quindi per Gauss è possibile che ci sia una Q^+_{int} e Q^-_{int}

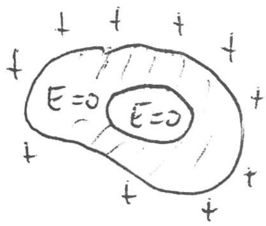


(Vedi Feynman pg 5-8)

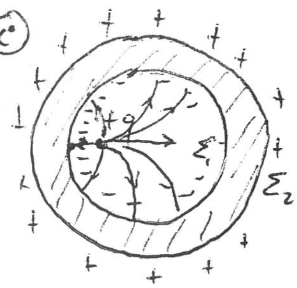
Su un loop Γ allora $\oint_\Gamma \vec E \cdot d\vec l = \underbrace{\int_1^2 \vec E \cdot d\vec l}_{\neq 0} + \underbrace{\int_2^1 \vec E \cdot d\vec l}_{0}$

Ma $\oint \vec E \cdot d\vec l = 0$ sempre !!! ⇒ $\vec E_{in} = 0$

⇒ $\boxed{Q_{int} = 0}$ $Q^+_{int} = Q^-_{int} = 0$



ⓒ

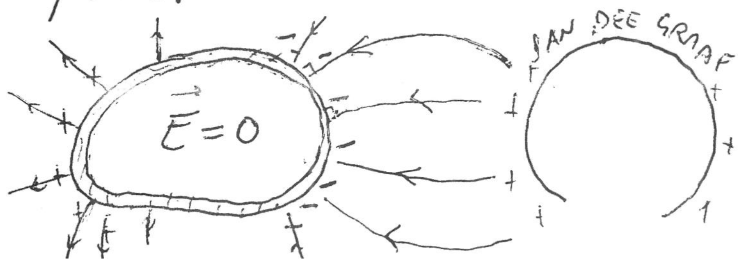


Metto +q nel conduttore cavo.
Tra Σ_1 e Σ_2 $\vec E = 0$. Ma dentro Σ_1 c'è +q ⇒ su Σ_1 ci deve essere −q. Ma se ho ~~avendo~~ −q, su Σ_2 devo avere +q perché il conduttore è neutro. Ma mentre −q dentro non è uniforme fuori +q lo è.

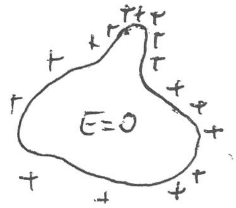
(Radio nella pentola)

↑

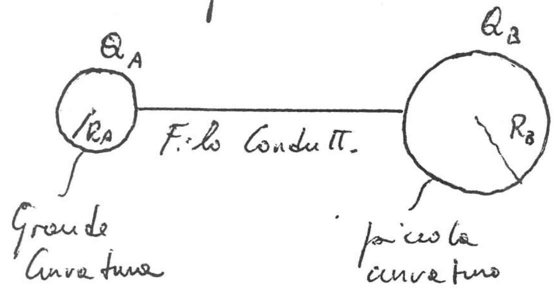
Se metto un conduttore in un campo $\vec E$ esterno dentro viene schermato, GABBIA DI FARADAY.



D) La carica si addensa alle punte.



Infatti



$$\phi_A = \frac{Q_A}{4\pi\varepsilon_0 R_A} \qquad \phi_B = \frac{Q_B}{4\pi\varepsilon_0 R_B}$$

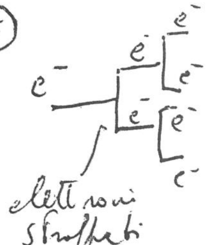
Ma $\phi_A = \phi_B \Rightarrow$

$$\frac{Q_A}{R_A} = \frac{Q_B}{R_B} \qquad \sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_A 4\pi R_A^{2}}{R_A} = \frac{\sigma_B 4\pi R_B^{2}}{R_B} \Rightarrow \frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{R_B}{R_A} > 1 \Rightarrow \boxed{\sigma_A > \sigma_B}$$

La σ è maggiore laddove la curvatura lo è e anche $E = \sigma/\varepsilon_0$ è maggiore.

E) **FULMINI E PARAFULMINE**

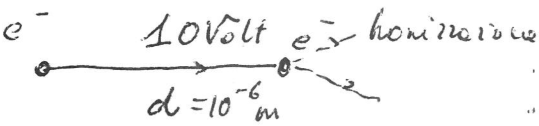


Gli e^- in aria viaggiano in media $1\,\mu m$. $\langle d\rangle \simeq 1\,\mu m = 10^{-}\,m$

	O_2	N_2
Energ. Ionizz.	12.5 eV	15 eV

10eV come ordine di grandezza

$1\,eV = 1.6\times10^{-19}$ Joules.

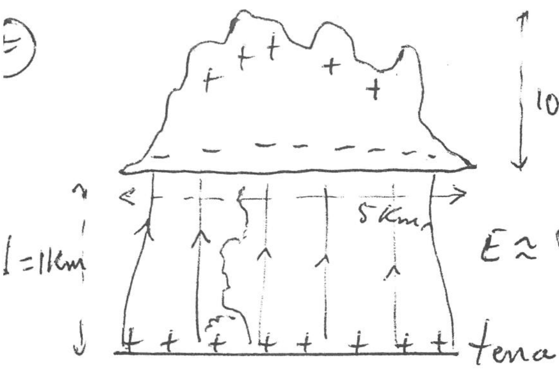


$$|E| = \left|-\frac{\Delta\phi}{\Delta x}\right| = \frac{10\,\text{Volts}}{10^{-6}\,m} = 10^{7}\,V/m$$ e si à ionizzazione. Per la precisione si ha la scarica per $E \simeq 3\times10^{6}\,V/m$.

QUESITO: Quant'è il voltaggio ~~dell'auto~~ quando prendiamo la scossa se il dito la prende a $d \simeq 3\,mm$ dalla portella? $V = \Delta\phi = 3\times10^{6}\,\frac{V}{m}\times 3\times10^{-3}\,m \simeq \underline{10000\ \text{Volts}}$

$\Rightarrow$ Non è $\Delta\phi$ che uccide ma $I = dq/dt$ la corrente.

F)



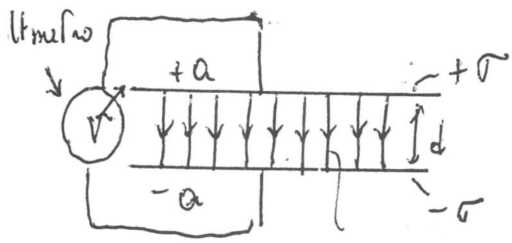
$$\Delta\phi = \underset{\substack{\downarrow\\ \text{di Scarica}}}{E}\, d = 3\times10^{6}\,\frac{V}{m}\times10^{3}\,m \simeq 3\times10^{9}\,\text{Volts}$$

e si ha il fulmine.

Passa $I \simeq 10^{4}$ Ampère.

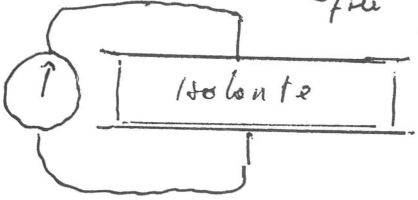
GLI ISOLANTI (Modello di Faraday)

1) Esperienza di Faraday. "Che succede se piazzo uno ~~strato~~ isolante fra due conduttori?" ① Attacco il condensatore alla batteria e lo carico. Stacco i fili e misuro la $V_{free} = \phi_A - \phi_B$ free ≡ ~~la~~ senza isolante



$$\boxed{E_{free} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad V_{free} = E_{free}\, d \quad C = \frac{Q}{V_{free}} = \frac{\epsilon_0 A}{d}}$$

② Inserisco una ~~la~~ lastra di isolante spessa d tra le piastre. Misuro la V e vedo che diminuisce di un fattore K che dipende dal materiale. Così

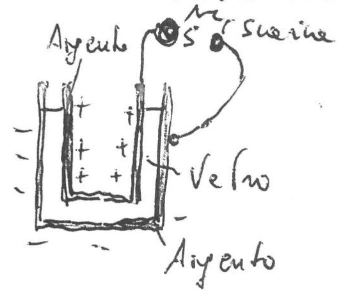


$$\boxed{V_{con\ isolante} = \frac{V_{free}}{K} \Rightarrow E_{con\ isolante} = \frac{E_{free}}{K}; \quad C_{con\ isolante} = \frac{\epsilon_0 A}{d} K = K C}$$

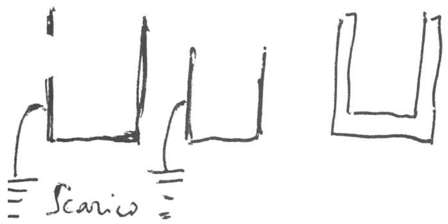
Perché?

$C_{con\ isolante}$ aumenta e posso accumulare più carica!

2) Si conoscevano le bottiglie di Leyda (vedi scheda storica)

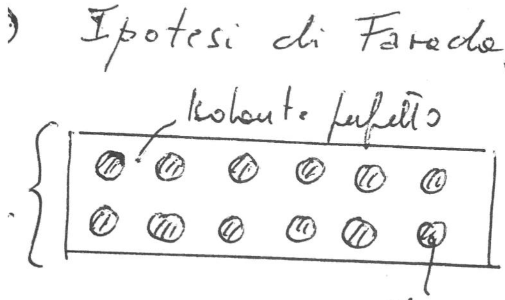


Se si caricano le armature con un generatore elettrostatico e poi si tocca l'armatura esterna con un'estremità di un conduttore e si avvicina l'altra estremità alla sfera S (collegata all'armatura interna) vedo una scarica.
Posso scaricarlo in modo diverso? Sì! Lo smonto e tocco le armature separatamente e scarico a terra.

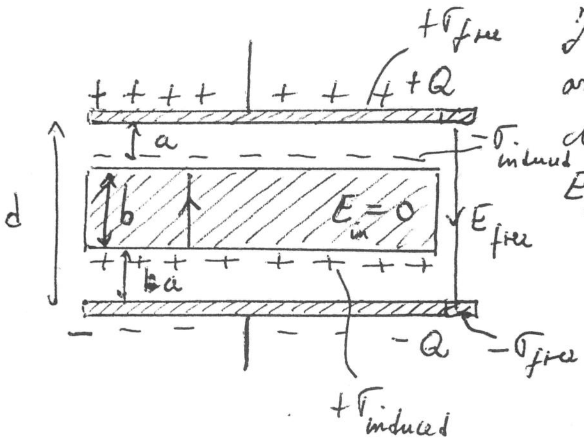


⇒ Rimonto e testo col conduttore se ci sono scintille. Non ce ne dovrebbero essere eppure vedo nuovamente una scarica. Che fine aveva fatto l'energia? Le cariche se ne sono andate via o no?

3) Ipotesi di Faraday. "Gli isolanti sono fatti di materiale conduttore perfetto in una matrice perfettamente isolante". Conduttori perfetti e isolanti perfetti non si possono avere ma buoni conduttori e buoni isolanti sì. Dipende da quante ~~#~~ "sfere conduttrici" per unità di volume ci sono. Infatti devo spiegare perché C aumenta se inserisco un isolante (dielettrico) tra le armature.



→



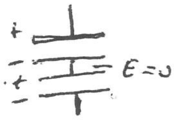
Infatti se inserisco una lastra metallica fra le armature essa si polarizza per induzione fino a che dentro il campo si annulla.

$$E_{in} = 0 \Rightarrow |E_{Lastra}| = |-E_{free}| \Rightarrow \frac{\sigma_{induced}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma_{free}}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{ind} = \sigma_{free}}$$

La quantità di carica indotta è uguale a quella depositata nelle armature (sennò $E_{in} \neq 0$ e non può essere nei metalli.

$\Rightarrow$ Il sistema si comporta come due condensatori in serie



$$\Rightarrow \frac{1}{C_{TOT}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{a}{\epsilon_0 A} + \frac{a}{\epsilon_0 A} = \frac{2a}{\epsilon_0 A} \Rightarrow C_{TOT} = \frac{\epsilon_0 A}{2a}$$

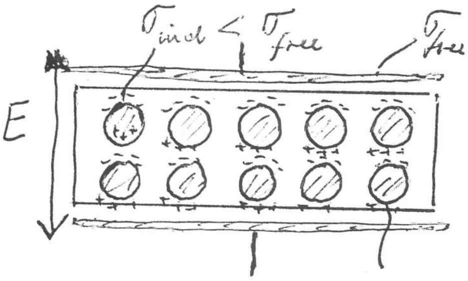
$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ era la capacità del condensatore senza il metallo $\Rightarrow C_{TOT} = \frac{C\,d}{2a}$

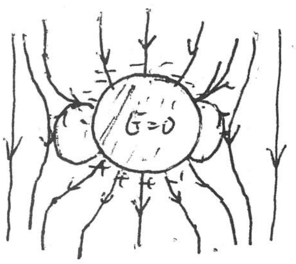
$2a + b = d \Rightarrow 2a = d - b$ $\qquad \boxed{C_{TOT} = C\left(\frac{d}{d-b}\right) = kC}$ C aumenta di un fattore

$$k = \frac{d}{d-b} = \frac{d-b+b}{d-b} = 1 + \frac{b}{d-b} > 1$$

$\Rightarrow$ È possibile che negli isolanti ci siano sfere conduttrici.

Modello di Faraday

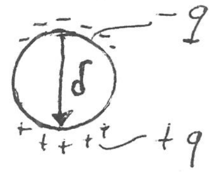




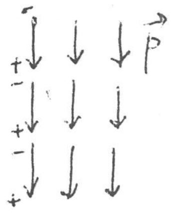
$E_{TOT} = \frac{V_{TOT}}{d} < E_{free}$

La singola sfera si comporta come un dipolo. Quindi possiamo dimenticare il singolo modello e ipotizzare che ci siano tanti dipoli allineati, $\vec{E}$

Quanta carica indotta σ_{ind} si ha in questo caso?



$\vec{p} \equiv q\vec{\delta}$

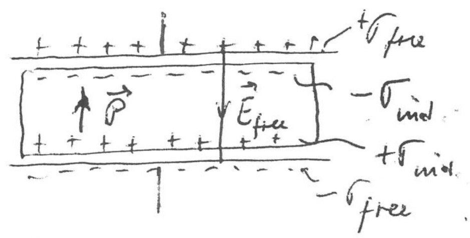


$$\vec{P}_{TOT} = N\vec{p} = Nq\vec{\delta} \qquad \boxed{\vec{P} = nq\vec{\delta}} \quad n = \frac{N}{V}$$

$$P = nq\delta = \frac{N}{V}q\delta = \frac{\text{Numero in uno strato}}{\text{Volume strato}}q\delta = \frac{\text{Numero in strato}}{A \times \delta}q\delta$$

$$\Rightarrow \boxed{P = \sigma_{induced}}$$

σ_{ind} = Polarizzazione per unità di Volume



$$E_{TOT} = E_{free} - E_{ind} = \frac{\sigma_{free}}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{ind}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma_{free}}{\epsilon_0} - \frac{P}{\epsilon_0}$$

È ragionevole che $\sigma_{ind} \propto \sigma_{free} \Rightarrow P \propto E_{free} \propto E_{TOT}$

$\vec{P} = \chi\epsilon_0\vec{E}_{TOT}$ $\qquad \Rightarrow E_{TOT} = E_{free} - \frac{\chi\epsilon_0 E_{TOT}}{\epsilon_0} \Rightarrow E_{TOT}(1+\chi) = E_{free}$

$\Rightarrow \boxed{E_{TOT} = E_{free}/(1+\chi)} \qquad \rightarrow \boxed{k = 1+\chi} = \epsilon_r$ = cost. dielettrica