

Interazioni fondamentali

- Gravitazionale: Dovuta alla massa del corpo
- Elettromagnetica: Dovuta alle cariche elettriche
- Nucleare forte: Lega i quark
- Nucleare debole: Riguarda i decadimenti nucleari
- Forza oscura: Riguarda l'energia del vuoto

Struttura atomica e carica elettrica

I corpi sono costituiti da atomi \rightarrow nucleo $\begin{cases} \rightarrow$ neutroni (Neutro) \\ \rightarrow protoni q^+ (Deutro) \\ \rightarrow elettroni q^- (Lutoruo) \end{cases} \Rightarrow

Modello Rutherford e Bohr (1917)
 $q = \pm 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$Q = Ne^- \rightarrow$ Carica è quantizzata e si conserva ($q_i = q_f$)

Legge di Coulomb

- Attrazione: segno opposto \Rightarrow Legge della forza di interazione:
 - Repulsione: stesso segno (1+85)

$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
 $\rightarrow 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{Nm}^{-2}$

Forza gravitazionale: Attrattiva, campo sferico, più debole, agisce a grandi distanze
 Forza coulombiana: Attrattiva/Repulsiva, campo sferico, più forte, agisce a corte distanze

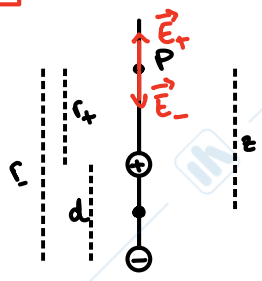
Sistema di cariche: Principio di sovrapposizione: $\vec{F}_{\text{tot}} = \sum \vec{F}_i$ (Forza sentita dalla carica q_0)

Campo elettrico

$\vec{E}(x,y,z) = \frac{\vec{F}(x,y,z)}{q_0}$ (N/C = V/m) \rightarrow Linee di forza: uscenti da q^+ e q^- (Faraday)

Campo elettrico generato da una carica puntiforme: $\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{q}{r^2} (\pm \vec{u}_r)$
 Dimostrazione: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k q q_0}{r^2} \cdot \frac{1}{q_0} = \frac{k q}{r^2}$

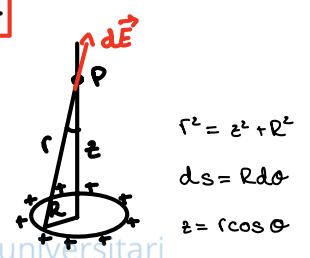
Campo elettrico generato da un dipolo elettrico: $E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qd}{z^3}$
 Dimostrazione: $\vec{E} = E_+ + E_-$ (campo additivo)
 $E = k \left(\frac{q}{r_+^2} - \frac{q}{r_-^2} \right) \dots$



Momento torcente: $\gamma = \vec{p} \times \vec{E} = qdE \sin\theta$
 Energia potenziale: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -qdE \cos\theta$ (c. conservativo: $L = \int_A^B \vec{F} d\vec{s} = -\Delta U$)

Campo elettrico generato da una carica lineare: $E = \frac{zq}{4\pi\epsilon_0(z^2 + R^2)^{3/2}}$

Dimostrazione: $\lambda = \frac{dq}{ds} = \frac{q}{2\pi R}$; $dE = k \frac{dq}{r^2} = k \frac{\lambda ds}{r^2}$
 $\int dE \cos\theta = k\lambda \int_0^{2\pi R} \frac{ds}{r^2} \cos\theta \dots$
 Se $z \gg R$ (Mikrotaum) E è quello della carica puntiforme



Materiali

- Conduttore: Banda di valenza e banda di conduzione si sovrappongono
- Semiconduttore: Bande separate → Alterare conducibilità tramite drogaggio (+ materiali | + e⁻)
- Isolante: Grandi energy gap che impedisce il passaggio di e⁻

Flusso elettrico

Quantità di campo che attraversa la superficie: $\Phi_E = EA \cos \theta$ (V.m)

Dimostrazione: $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA \cos \theta$

Legge di Gauss

Relazione tra il campo e la carica interna: $\epsilon_0 \Phi_E = q_{int}$ ($\Phi_E \propto q_{int}$)

La Legge di Coulomb deriva da Gauss: $\epsilon_0 \oint E dA = q_{int}$ $\epsilon_0 E (4\pi r^2) = q$ $E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2}$

Permette di dimostrare il Teorema di Coulomb: In un conduttore isolato la carica si dispone sulla superficie esterna:

- Dimostrazione: $E = \frac{\Phi}{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \cdot \frac{1}{4\pi r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
- Fuori dalla sup.: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
- Dentro la sup.: Nullo

Campo generato da una distribuzione lineare di carica (baccelletta): $E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 r}$ λ = $\frac{q_{int}}{L}$

Dimostrazione: $\Phi_E = EA = E(2\pi r L) \rightarrow \epsilon_0 \Phi = q_{int}$ $\epsilon_0 E(2\pi r L) = \lambda L$ $E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 r}$

Campo generato da una lamina isolante: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Dimostrazione: $\epsilon_0 \oint E dA = q_{int}$ $\epsilon_0 (EA) = \sigma A$ $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Potenziale elettrico

Energia potenziale elettrostatica: $\Delta U = U_f - U_i = -L$

Potenziale elettrostatico: $V = \frac{U}{q_0} = -\frac{kq}{q_0}$ (V)

$L = -q = -(U_f - U_0) = -U_f$ Particella spinta da F_e ha E_m che: $L = -\Delta U = -q\Delta V$ $U_i + K_i = U_f + K_f \rightarrow \Delta U = -q\Delta V$

- Potenziali dato E : $\Delta V = -Ed$

Dimostrazione: $L = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} = -q\Delta V \rightarrow V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s} \rightarrow d$

- Potenziale dovuto ad una carica puntiforme: $V = k \frac{q}{r}$

Dimostrazione: $V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r}$ $0 - V = -\int \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot dr = -k \frac{q}{r}$

- Potenziale dovuto al dipolo elettrico: $V = k \frac{p \cos \theta}{r^2}$; $p = qd$

- Potenziale dovuto a una distribuzione continua di carica: $V = k \int \frac{dq}{r}$

Carica lineare: $dq = \lambda dx$ $\lambda = \frac{q}{L} \rightarrow V = \frac{\lambda}{4\pi \epsilon_0} \ln(L + (L^2 + d^2)^{1/2}) / d$

- Campo elettrico dato V : $\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial \vec{s}}$ λ, μ, ε

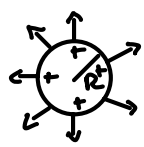
- Energia potenziale di un sistema di particelle cariche: $U = k \frac{q_1 q_2}{r}$

Dimostrazione: $U = L = qV = k \frac{q}{r} \cdot q$

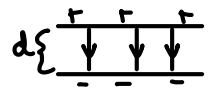
Capacità elettrica

- Capacità di un conduttore carico: $C = \frac{q}{V_c}$ (F)

- Capacità di un conduttore sferico: $C = 4\pi\epsilon_0 R$
 Dimostrazione: $C = \frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}} = 4\pi\epsilon_0 R$



- Capacità di un condensatore piano: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
 Dimostrazione: $C = \frac{q}{V} = \frac{\epsilon_0 E A}{\frac{q}{\epsilon_0 A}} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$



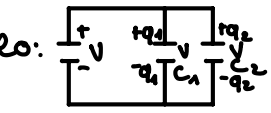
- Capacità di un condensatore sferico: $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$



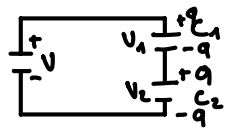
- Capacità di un conduttore carico in presenza di uno neutro: quello neutro viene attraversato dalle linee di forza del campo generato da quello carico che sono modificate

Condensatori

- In parallelo: $C_{eq} = \frac{q}{\Delta V} = \sum C_j$, $q = q_1 + q_2$



- In serie: $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{\Delta V}{q} = \sum \frac{1}{C_j}$, $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$



Energia immagazzinata in un campo elettrico: $E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$

Densità di energia: $u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$
 - Dimostrazione: $u = \frac{U}{Ad} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{Ad} = \frac{\frac{1}{2} (\frac{\epsilon_0 A}{d}) (E^2 d^2)}{Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Condensatore in presenza di dielettrico: $C = \epsilon_r C_{vuoto} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$

- Legge di Gauss nel vuoto: $\epsilon_0 \oint E \cdot dA = q \rightarrow E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

- Legge di Gauss con dielettrico: $E = \frac{E_0}{\epsilon_r} = \frac{q}{\epsilon_0 A} \cdot \frac{1}{\epsilon_r} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}$

Corrente elettrica

- Corrente elettrica: Flusso ordinato di elettroni che scorre in un conduttore. Esiste se $\neq ddp$

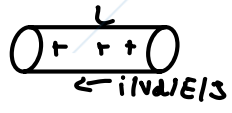
- Intensità di corrente: $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ (A), verso opposto a quello degli e^-

Ddp fornita da generatori di tensione (fem) che hanno 2 morsetti \rightarrow Polo positivo: $V >$, $-e^-$
 \rightarrow Polo negativo: $V <$, $+e^+$

- Densità di corrente: Corrente che scorre in un conduttore: $J = \frac{i}{A}$ (A/m²)
 Dimostrazione: $i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} = J \int dA = JA$ (i è un flusso di J)

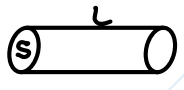
- Velocità di deriva (Drift): $v_d = \frac{i}{neA} = \frac{J}{ne}$ (Posseduta da e^-)

Dimostrazione: $i = q = nAke \cdot v_d = nAev_d$
 $\rightarrow J = (ne)v_d$ Densità di corrente vettoriale



Resistenza

Moto degli e⁻ (corrente) è ostacolato dal reticolo cristallino: $R = \frac{V}{i}$ (R) (Resistenza)

1° Legge di Ohm: $i = \frac{V}{R}$ 

2° Legge di Ohm: $R = \rho \frac{L}{S}$ → Resistività
 → Conduttività: $\sigma = 1/\rho$
 $\rho = R \frac{S}{L} = \frac{V}{i} \cdot \frac{S}{L} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{V}{i} = \frac{E}{j} \rightarrow \vec{E} = \rho \vec{j}$

Gli e⁻ nel reticolo si scontrano perché hanno una velocità v_d dovuta a $\vec{F}_e = -q\vec{E}$ che impedisce un'accelerazione → Corrente di Drift: Moto caotico ma ordinato di cariche + (Modello di Drude)

$v_d = \frac{j}{ne} = at = \frac{F}{m}t = \frac{qEt}{m} = \frac{eEt}{m}$

Potenza elettrica ed effetto Joule

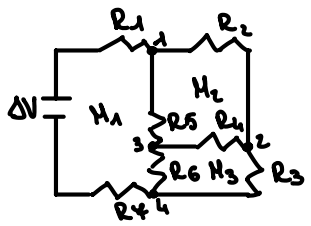
Potenza utile: $P_u = \frac{dU}{dt} = Vi$ (w) → Energia utile: $E_u = Vit$

Potenza dissipata: $P_d = \Delta V_R i = Ri^2 = \frac{V^2}{R}$ → Energia dissipata: $E_d = Ri^2 t$
 → $R = 1: P_u = P_d$

Potenza effettiva:
 $P_u - P_d = Vi - Ri^2$
 $P_e = i(V - Ri)$

Circuiti

- Reti elettriche: insieme di più maglie
- Ramo: compreso fra 2 nodi
- Nodo: convergono più rami
- Maglia: insieme di più rami



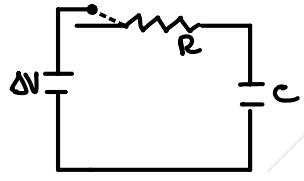
1° Legge Kirchhoff (nodi): $\sum i_{input} = \sum i_{output}$ in un nodo
 2° Legge Kirchhoff (maglie): $\sum \Delta V = 0 = \frac{1}{q} \sum dU = 0$ } $R = H + N - 1$

- Resistenze in serie: stessa i, $R_{eq} = \sum R_j$
- Resistenze in parallelo: stessa ddp, $1/R_{eq} = \sum 1/R_j$
- Partitore di corrente: $i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$
- Partitore di tensione: $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$, $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$

Circuito RC (tensione dc)

1) Carica condensatore (chiuso): $\mathcal{E} - iR - q/C = 0$

$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$
 $i = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}$
 $V_c = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$



2) Scarica condensatore: $Ri + q = 0$

$q = q_0 e^{-t/RC}$
 $i = -\frac{q_0}{RC} e^{-t/RC}$
 $V_c = \frac{q_0}{C} e^{-t/RC}$

Magnetismo

Sorgenti di campo magnetico: Filo, spira percorsi da corrente, solenoide, barra magnetica, Terra
 Nord geografico = Sud magnetico e Sud geografico = Nord magnetico
 Il campo magnetico è un vettore applicato $B(x,y,z)$ possedente il polo Nord e il polo Sud
 ↳ Esaminare la forza che esercita su altri magneti o altre cariche

Forza di Lorentz (Forza magnetica agente su una particella)

Il campo magnetico esercita una forza su una particella carica solo se essa è in movimento
 $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B} = qvB \sin\theta$, \perp al piano tra v e B , verso con mano destra

$\rightarrow B = \frac{F_L}{qv}$ (T)

$B \perp v$: $\theta = \pi/2 \rightarrow F_L = qvB \sin\pi/2 = qvB$

Il lavoro compiuto da $F_L = \Delta E_c = \frac{1}{2}m(\Delta v)^2 = 0 \rightarrow v$ che, $F = ma = m\Delta v$ se F piega \vec{v}
 allora $a_c = \frac{v^2}{R} \rightarrow F = m\frac{v^2}{R}$ quindi $m\frac{v^2}{R} = qvB$ $R = \frac{mv}{qB}$ e $v = \frac{qRB}{m}$

$B \parallel v$: $\theta = 0 \rightarrow F_L = qvB \sin 0 = 0$

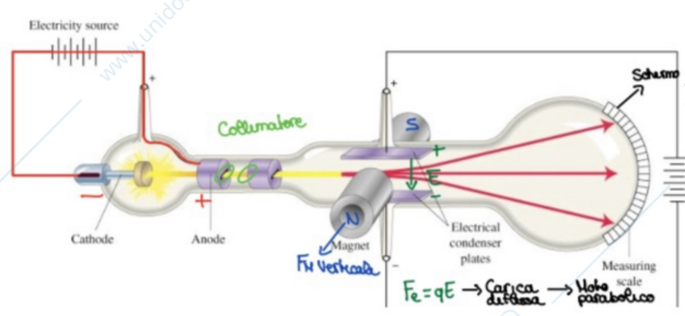
v obliqua B : $0 < \theta < \pi/2 \rightarrow v_{\parallel} = v \cos\theta$ (HRU) e $v_{\perp} = v \sin\theta$ (HCU) \rightarrow Traiettoria elicoidale

Campi incrociati: $E + B \rightarrow \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_L = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

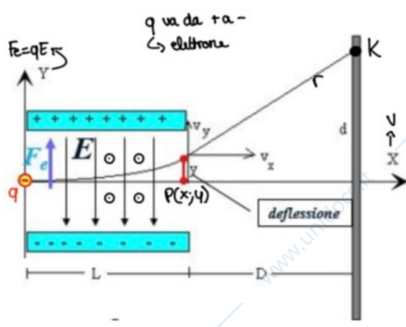
Esperimento di Thomson

Dimostra che gli atomi sono composti di particelle cariche positivamente e negativamente misurando il rapporto e/m

Dal catodo viene emesso un fascio di raggi catodici che attraversano il campo elettrico, con velocità v . Questo è generato da un condensatore, all'interno del quale la carica viene deviata.
 Per ricavare q/m è necessario conoscere v della particella, quindi si sovrappone un campo magnetico perpendicolare a quello elettrico e alla direzione del fascio. All'interno di questo campo la particella subisce la forza di Lorentz che è diretta nella stessa direzione del campo elettrico ma con verso opposto. Se la forza elettrica è uguale a quella magnetica posso ricavare v



$qvB = qE \rightarrow v = \frac{E}{B}$



$F = qE = ma \rightarrow a_y = \frac{qE}{m}$
 $\begin{cases} x = vt \rightarrow t = x/v \\ y = \frac{1}{2}at^2 \text{ quindi } P(L; \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} \cdot \frac{L^2}{v^2}) \end{cases}$

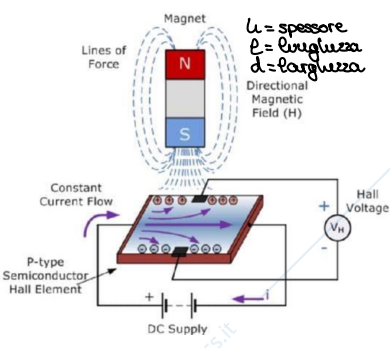
$\begin{cases} y = \frac{qEL^2}{2mv^2} \\ v = \frac{E}{B} \end{cases} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2yE}{B^2L^2}$

Se deflette la particella v non cambia: F_e e F_L non compiono lavoro (\perp spost.)

Effetto Hall

Studia i portatori di carica presenti in una lamina d'oro immersa in B e percorsa da $i \perp B$ dimostrando che i è dovuta al movimento di e^-

- I portatori di carica sono negativi
- Misura B
- Formula della densità dei portatori



C'è un flusso di portatori di carica e quindi da $i \rightarrow V = iR$. La carica sente F_e e F_L e si accumula sul bordo della piastra generando ddp e quindi il campo di Hall ($H_0 \approx E$)

$F_H = F_L$ e $eE_H = qv_d B \rightarrow v_d = \frac{E_H}{B}$ (Thomson)

$V_H = E_H d = v_d B d \rightarrow B = \frac{V_H}{d v_d}$

$v_d = \frac{j}{ue} = \frac{i}{ueA} \rightarrow u = \frac{i}{eA v_d} = \frac{i}{eA} \cdot \frac{dB}{V_H} = \frac{i dB}{eV_H} \cdot \frac{1}{du} = \frac{iB}{eV_H}$

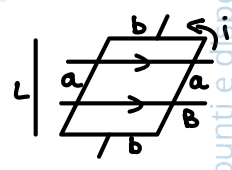
Legge di Laplace (Forza magnetica su un filo percorso da corrente)

Considerando $B \perp$ al filo si genera $F = iL \times B = iLB \sin \theta$

Dimostrazione: $F_L = qvB \sin \theta = i dt v B \sin \theta = iLB \sin \theta$

Spira percorsa da corrente

Sui lati agisce $F = iL \times B$. $b: i \perp B \rightarrow F = 0$
 $a: F = iLB = aiB$
 $\tau = \vec{r} \times \vec{F} = r F \sin \theta = \frac{b}{2} F \sin \theta \rightarrow 2 \text{ lati: } \tau_{tot} = 2 \cdot \frac{b}{2} i F \sin \theta = b i a B \sin \theta = i A B \sin \theta$



Momento di un dipolo magnetico: $M = iabB \sin \theta = iAB \sin \theta \rightarrow \tau = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Energia potenziale magnetica: $U(\theta) = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \theta$

- Dimostrazione: $L = \int \vec{F} d\vec{s} = \int_0^l \vec{\tau} \cdot d\vec{\omega} = \int (\vec{\mu} \times \vec{B}) \cdot d\vec{\omega} = -\Delta U(\omega)$

Il motore elettrico è assimilabile ad una spira: Per farlo ruotare cambia B o i attraverso un commutatore (con o senza spazzoli)

Principio di equivalenza di Ampère: Una spira percorsa da corrente si comporta come un dipolo magnetico \rightarrow Magnete cilindrico equivalente a un solenoide

La magnetizzazione di un magnete cilindrico: $\mu = \frac{Ni}{L} = \mu_1$ (Densità di avvolgimento)

Legge di Biot-Savart

Campo magnetico generato da un filo percorso da corrente: $\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$

- Campo magnetico generato da un filo rettilineo infinito percorso da corrente: $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i}{R}$

Dimostrazione: $B = 2 \int_0^\infty dB = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \int_0^\infty \frac{\sin \theta ds}{r^2} \dots B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$

- Campo magnetico generato da un arco di filo (spira) percorso da corrente: $B = \frac{\mu_0 i}{2R}$

Dimostrazione: $dB = \frac{\mu_0 i ds}{4\pi R^2}$ $B = \int dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} ds$ al centro $B = \frac{\mu_0}{2\pi R} \cdot \frac{i 2\pi R}{R^2} = \frac{\mu_0 i}{2R}$

- Dipolo magnetico di una bobina percorsa da corrente: $B(z) = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}$ se $z \gg R$ $B(z) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\mu}{z^3}$

Forza magnetica tra 2 conduttori paralleli

Forza esercitata da 2 fili paralleli: $F = \frac{\mu_0 L i_1 i_2}{2\pi r} = \frac{\mu_0 i_1 i_2 L}{r}$

Dimostrazione: $F = iLB \sin \frac{\pi}{2} = iL \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$

Correnti // discordi si respingono
Correnti // concordi si attraggono

Legge di Ampère

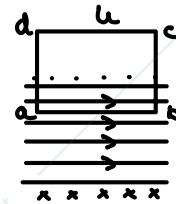
Circuitazione: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum i$

B all'esterno di un filo percorso da i: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int B \cos \theta ds = B(2\pi r) = \mu_0 i \rightarrow B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$

B all'interno di un filo percorso da i: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int B \cos \theta ds = B(2\pi r) = \mu_0 i \frac{\pi r^2}{\pi r^2} \rightarrow B = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi r^2}\right) r$

B di un solenoide: $B = \mu_0 i n = \mu_0 i u$

Dimostrazione: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl + 0 + 0 + 0$



Legge di Faraday-Neumann-Leuz

Se B varia in un punto, si genera E indotta: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -BLv$ che genera i indotta

Legge di Leuz: spiega il - : verso di E indotta è sempre opposto alla variazione di flusso che l'ha generata

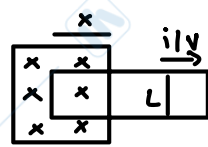
Dimostrazione: $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA = BLx$ $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BLx) = -BLv$

$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{BLv}{R}$

$F = iLB \sin \theta = \frac{B^2 L^2 v}{R}$

$P_0 = \mathcal{E}i = BLv \cdot \frac{BLv}{R} = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$

$P_d = i^2 R = \left(\frac{BLv}{R}\right)^2 R = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$



Campo elettrico indotto: $L = q_0 \mathcal{E}$ $L = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = (q_0 \mathcal{E})(2\pi r)$ $q_0 \mathcal{E} = q_0 \mathcal{E} 2\pi r$

$L = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$ $q_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = q_0 \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E} = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ (Legge di Faraday)

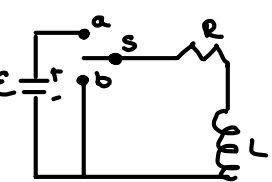
Induttanza

Induttore: Dispositivo che genera B → in un solenoide percorso da i: $L = \frac{N\Phi_B}{i} = \mu_0 n^2 l A$ (H)

Dimostrazione: $L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} = \frac{(nl)(\mu_0 niA)}{i} = \mu_0 n^2 l A$

Fenomeno autoindotta: $\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt}$ → Se in una bobina c'è di, questa induce ΔΦ_B che a sua volta genera E nell'altra bobina

Circuito RL

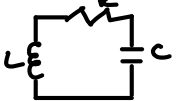


$\mathcal{E} + V_R + V_L = 0$ Energia immagazzinata in B: $\mathcal{E}_L = \frac{1}{2} Li^2$

$\mathcal{E} - iR - L \frac{di}{dt} = 0$ $P = \mathcal{E}i = (iR + L \frac{di}{dt})i \dots \mathcal{E} = \frac{1}{2} Li^2$

$i(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$ $u_L = \frac{B^2}{2\mu_0}$ Densità di energia

Circuito oscillatore RLC



$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$ $q = Q e^{-\frac{Rt}{2L}} \cos(\omega t + \phi)$ Come un oscillatore meccanico

Equazioni di Maxwell

- Legge di Gauss per i campi elettrici: $\oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$
- Legge di Gauss per i campi magnetici: $\oint \vec{B} d\vec{A} = 0$
- Legge di Faraday dell'induzione: $\oint \vec{E} d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
- Legge di Ampère-Maxwell: $\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{int}$
- Corrente di spostamento: i_s deriva da $\Delta\Phi_E$: $i_s = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \epsilon_0 \frac{d(EA)}{dt} = \epsilon_0 A \frac{dE}{dt}$

Proprietà magnetiche della materia

- Sostanze diamagnetiche: Momento dipolare magnetico opposto alla direzione di B (Respiro)
- Sostanze paramagnetiche: Momento dipolare concorde alla direzione di B (Attratto poco)
- Sostanze ferromagnetiche: Momento dipolare concorde alla direzione di B (Attratto tanto) → Ciclo di isteresi

Modello classico a spirale per le orbite elettroniche: Magnetismo originato dal moto circolare di e^- come spirale con i soli dipoli magnetici → Momento magnetico orbitale: $\mu_{orb} = iA = -\frac{e}{2m} \vec{L}$ → Momento angolare

Momento di dipolo quantistico e magnetone di Bohr: $\mu_{s,e} = -\frac{e}{m} S_z = \pm \frac{e\hbar}{4\pi m} = \pm \mu_B$ → momento angolare di spin + momento di dipolo magnetico di spin

→ $\mu_{orb,e} = -m_e \frac{e\hbar}{4\pi m} = -m_e \mu_B$

Effetto Meissner per i superconduttori: Materiali con $R=0$ e respinge B est

Legge di Pierre Curie: Magnetizzazione $M = \frac{\mu \cdot \text{magn}}{\text{volume}} = C \left(\frac{B_{ext}}{T} \right)$

Onde elettromagnetiche

Si propagano anche nel vuoto $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ondulazione} \rightarrow \text{spettro elettromagnetico} \\ \text{Corpuscolari} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} C = E/B \\ B \perp E \end{array} \right.$

Circuito RLC per Esperimento Hertz

B ed E sono concatenate e \perp → $\nabla \cdot E = 0$: E variabile si genera B che genera E variabile
 La variazione di intensità di E in un punto genera l'oscillazione di B che si propaga nello spazio sotto forma di OE: $\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$
corrente di spostamento
che
 Le che hanno unità di misura s^2/m^2
 → $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

Equazione onde E: $\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \left(\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \right)$

Equazione onde B: $\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \left(\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \right)$