

Il Mondo Microscopico

L. Martina

Dipartimento di Fisica
Università del Salento
Sezione INFN - Lecce

PLS : 2017/ '18

Materia e Radiazioni

Perché malleabile
e conduttore?

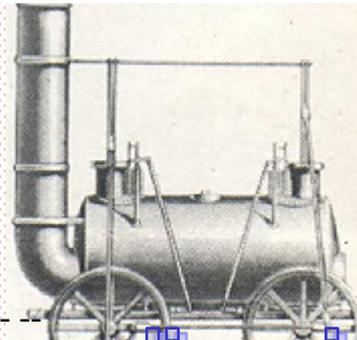
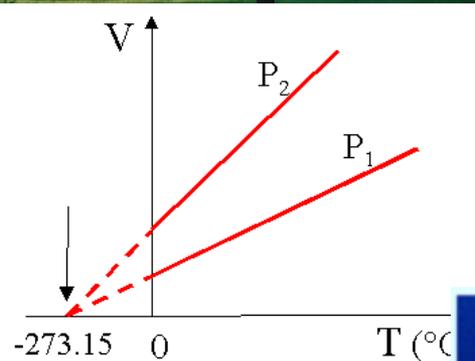
Perché duro
e trasparente?



Come si trasforma
la luce in forza vitale?



Elettromagnetismo



Termodinamica

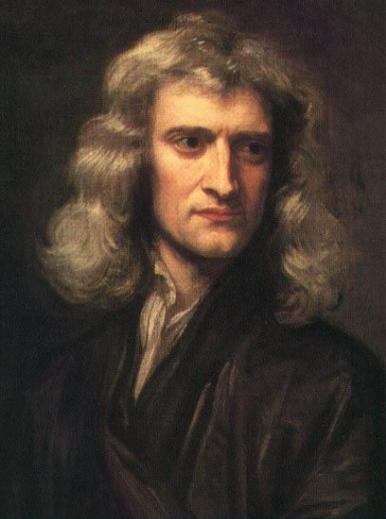
Fisica Classica

Meccanica

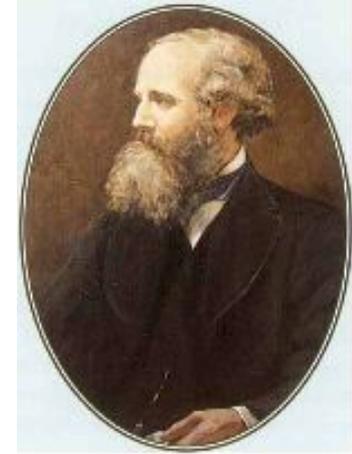


Quale l'origine della
sua energia?





Newton vs Maxwell



James Clerk Maxwell
1831 - 1879

Particelle

Campi

Ogni corpo persevera nello stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, a meno che non sia costretto a cambiarlo a causa di **FORZE** ad esso impresse (**principio d'inerzia**)

Il cambiamento dello stato di moto è proporzionale alla forza impressa lungo la linea retta di applicazione

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale in intensità e contraria in verso

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

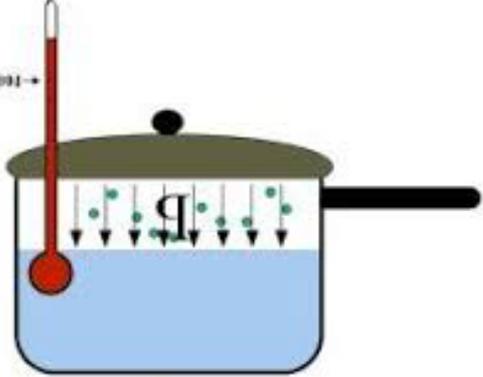
$$\Phi_{S_{chiusa}}(\vec{E}) = \frac{Q_{Tot. \text{ in } S_{chiusa}}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_{S_{chiusa}}(\vec{B}) = 0$$

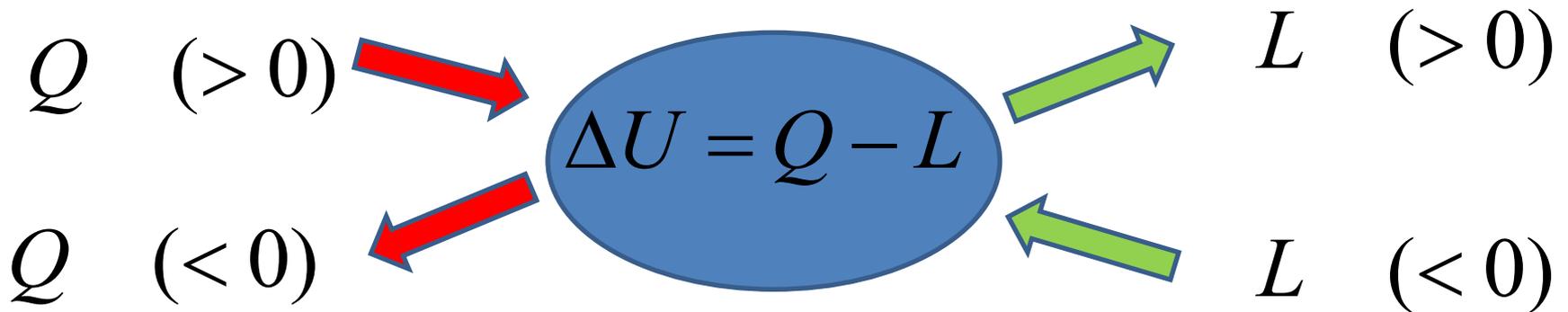
$$\oint_{\gamma_1} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_{S_{\gamma_1}}(\vec{B})}{dt}$$

$$\oint_{\gamma_2} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{S_{\gamma_2}} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_{S_{\gamma_2}}(\vec{E})$$

Termodinamica - 1

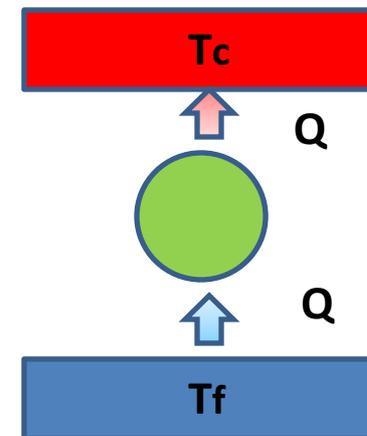
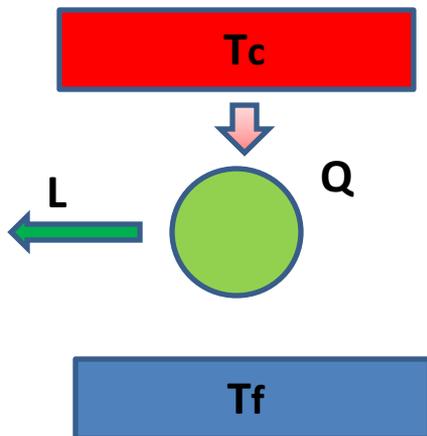


- **Principio zero:** *se i corpi A e B sono entrambi in equilibrio termico con un terzo corpo C, allora lo sono anche fra loro.*
- **Primo principio** ([conservazione dell'energia](#)) : *la variazione di energia interna di un sistema è la somma algebrica del calore e del lavoro scambiati con l'ambiente*

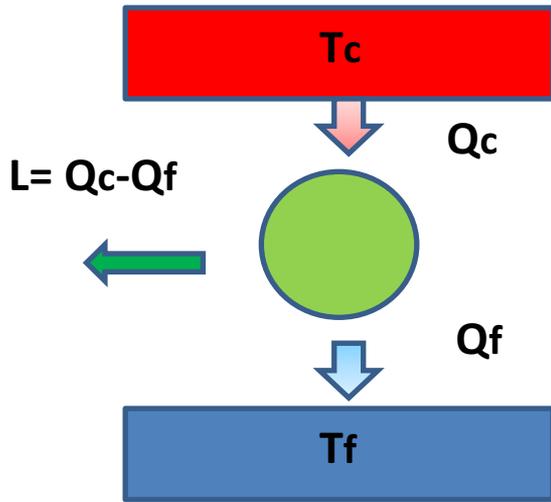


Termodinamica 2

- **Secondo Principio:** *in un ciclo termodinamico*
 - (Kelvin - Planck) *e' impossibile convertire **completamente** in lavoro tutto il calore assorbito dal serbatoio "caldo"*
 - (Clausius) *e' impossibile far passare **unicamente** del calore dal serbatoio "freddo" a quello "caldo"*

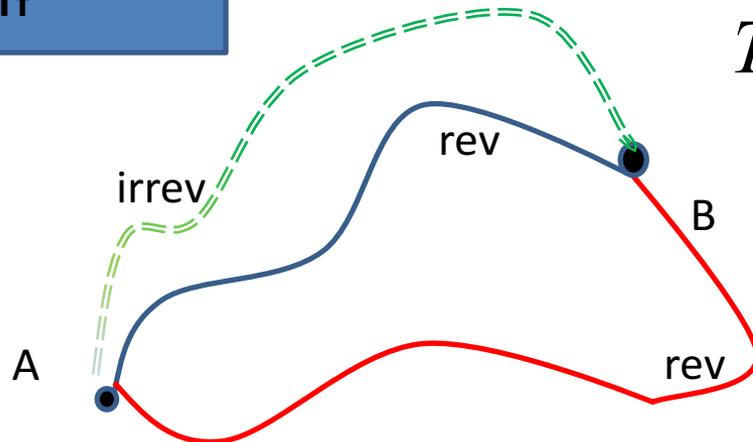


ENTROPIA



Rendimento $\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \leq \eta_C = 1 - \frac{T_f}{T_c}$

$-\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} \begin{cases} < 0 \\ = 0 \text{ Tr. reversibile} \end{cases}$



$$\oint_{\text{ciclo}} \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\int_A^B \frac{\delta Q}{T} \leq \int_{A_{\text{reversibile}}}^B \frac{\delta Q}{T} = S(B) - S(A)$$

ENTROPIA

$$S(B) \geq S(A)$$

nei sistemi isolati l'entropia è una funzione non decrescente delle variabili di stato

L'ipotesi Atomistica

- **Atomismo filosofico:** [Leucippo](#) , [Democrito](#) (sec. V-IV a. C) atomi indivisibili, immutabili e indistruttibili, diversi per forma e dimensioni, combinandosi in vario numero e modo, danno luogo agli oggetti dell'esperienza sensibile.
 - [Epicuro](#) (III sec. A.C) , [Lucrezio Caro](#) (sec. I a. C.) *clinamen*
 - [Aristotele](#) , [Gassendi](#)
 - [Cartesio](#) : filosofia meccanicista , corpuscolarismo
- **Atomismo scientifico:** [D. Bernoulli](#) , teoria cinetica dei gas, [J. Dalton](#) (*New System of Chemical Philosophy* , 1808) , legge delle proporzioni multiple, principi elementari, atomi della stessa specie (molecole), [J.-L. Gay-Lussac](#) (1809), legge sui volumi di combinazione dei gas, [A. Avogadro](#) (1811) :
 - *I gas sono formati da molecole integranti, costituite a loro volta da una, due o più molecole elementari: gli atomi*
 - *a temperatura, volume e pressione uguali, gas diversi contengono lo stesso **numero** di molecole*

“pro-” vs “contro-” atomo

Congr. dei Chimici, Karlsruhe (1860) : definizione di molecola e di atomo (disaccordo)

J.C. Maxwell: *“Benche’ nel corso dei tempi si siano verificate catastrofi ... le molecole... continuano ad esistere oggi esattamente come vennero create: perfette in numero, misura e peso “ (1873)*

W. Thomson: *“ E’ un fatto assodato che un gas consista di molecole in movimento Il diametro di una molecola di gas non puo’ essere inferiore a 2×10^{-9} cm .” (1870*

L. Boltzmann : *“...dare una dimostrazione del tutto generale della II legge della teoria del calore, come scoprire il teorema meccanico ad essa corrispondente.” (1866)*

“I problemi della teoria meccanica del calore sono ... problemi di teoria della probabilita’ .” (1871)

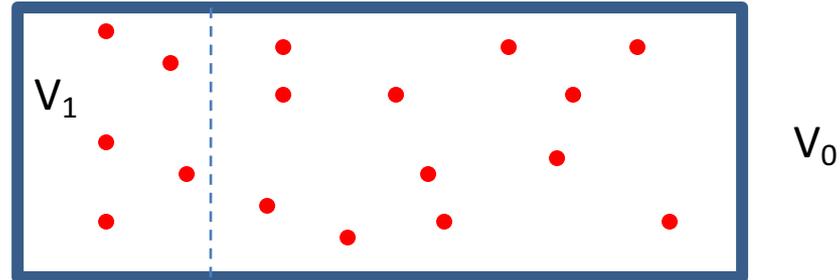
M. Planck : *“ La piena validita’ del II principio ... e’ incompatibile con l’ipotesi di atomi finiti” (1883)*

W. Ostwald: *“ L’asserzione che tutti i fenomeni ... sono riducibili a fenomeni meccanici ...e’ sbagliata. Tutte le equazioni della meccanica ammettono l’inversione temporale ... Quindi ... un albero potrebbe diventare di nuovo germoglio e seme, una farfalla bruco e un vecchio un bambino.”*

E. Mach : *“ Non e’ confacente alla fisica considerare mutevoli strumenti , quali molecole e atomi, alla stregua di realta’ sottostanti ai fenomeni.” (1895)*

Termodinamica e Statistica

Gas ideale costituito da N molecole all'equilibrio termico



Probabilità per la singola molecola di trovarsi in V_1

$$p = \frac{V_1}{V_0}, \quad q = \frac{V_0 - V_1}{V_0}$$

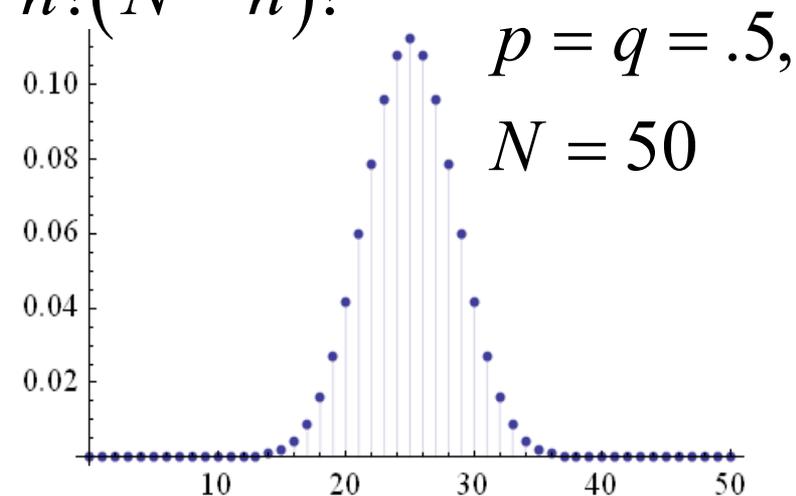
Probabilità per n molecole di trovarsi in V_1 e $N-n$ all'esterno

$$P(n) = \frac{N!}{n!(N-n)!} p^n q^{N-n}$$

$$S = k \ln P + c$$

Principio di Boltzmann

Il sistema **tende** al macrostato di massima entropia, cioè a quello che possiede il numero massimo di microstati



Molecole e Moto Browniano

<https://www.youtube.com/watch?v=eoP4LotdiE0>

<https://www.youtube.com/watch?v=UDj7BXA1CHU>

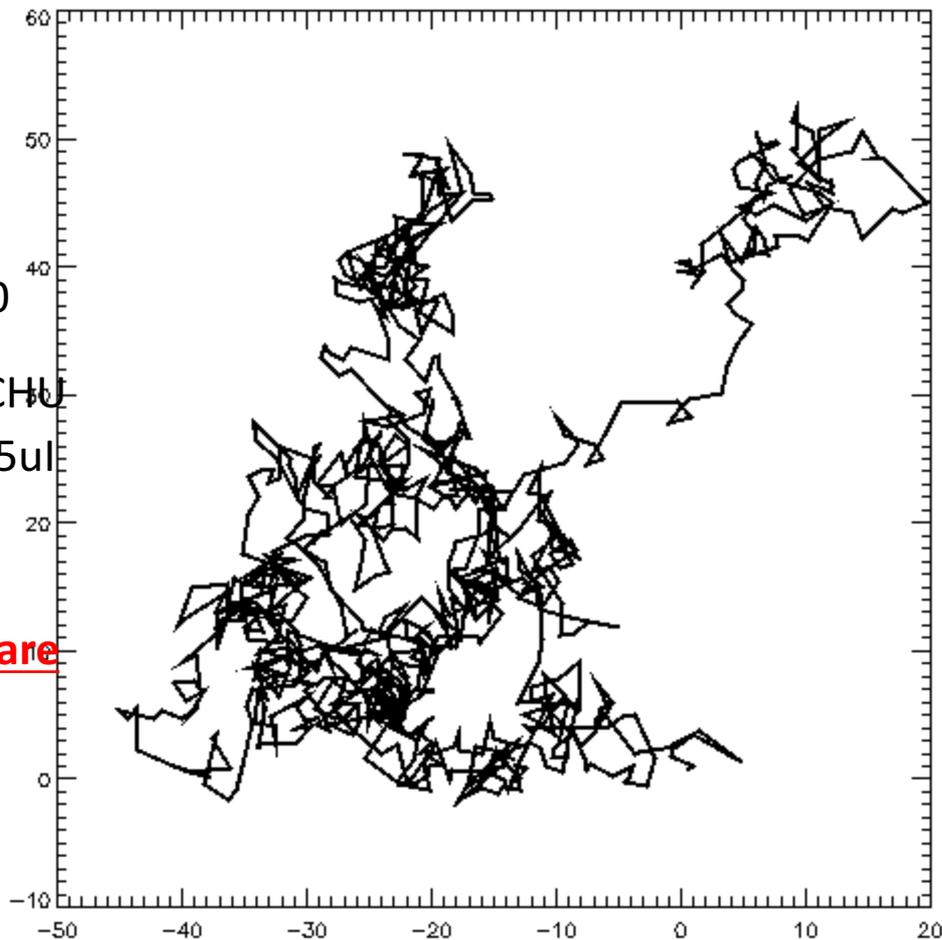
<https://www.youtube.com/watch?v=uQ2AOoNG5uI>

In questo articolo dovremo mostrare che, ..., particelle di dimensioni visibili al microscopio sospese in un fluido, **in seguito al moto molecolare del calore** possono descrivere moti osservabili.

A. Einstein, *Ann. d. Phys.*, 17 (1905) 549

$$D = \frac{RT}{N_A} \frac{1}{6\pi\eta d}$$

N_A = Numero di Avogadro
 d = raggio della particella
 η = coeff. di viscosita'



$$D = \frac{1}{2} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\langle \vec{r}^2(t) \rangle}{t}$$

Coefficiente di diffusione

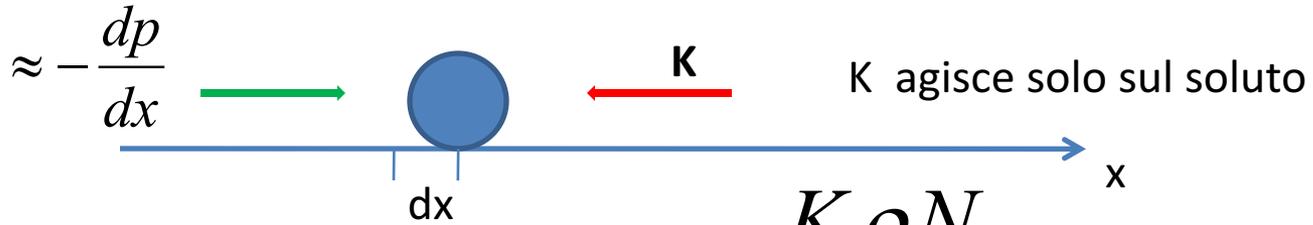
Interpretazione di Einstein

1. Le particelle sospese sono sfere e sono rarefatte nel solvente
2. Per le particelle in sospensione all'equilibrio termico valgono le leggi per di 't Hoff delle soluzioni (gas):

$$p V = n R T$$

3. Le particelle sospese sono grandi rispetto alle caratteristiche del solvente (continuo)
4. Si trascurano i moti rotatori delle sfere
5. Le particelle sospese sono soggette ad una forza di attrito di tipo viscoso dovuto al fluido con coefficiente di **viscosita' corretto** dato da

sperimentale \rightarrow $\frac{\eta^*}{\eta} = 1 + \frac{5}{2} \varphi, \quad \varphi = \frac{N_A \rho}{m} \frac{4\pi}{3} d^3$ Frazione di volume occupato dalle sfere



Forza / (unita' di volume)

$$F = \frac{K \rho N_A}{m}$$

All'equilibrio termico

$$\frac{K \rho N_A}{m} = \frac{dp}{dx} = \frac{RT}{m} \frac{d\rho}{dx}$$

Legge di Stokes
per l'attrito viscoso

$$F_{visc} = 6\pi \eta d v$$

All'equilibrio dinamico

$$F_{visc} = K \Rightarrow v = \frac{K}{6\pi \eta d}$$

Flusso di sfere
nella direzione -x

$$\frac{N_A \rho}{m} v$$

Flusso di Diffusione
nella direzione +x

$$\frac{D N_A}{m} \frac{d\rho}{dx}$$

$$D = \frac{RT}{N_A} \frac{1}{6\pi \eta d}$$

sperimentale

Gradiente
di concentrazione

Realtà delle molecole



J. Perrin: Nobel 1926

N_A

68×10^{22}	per mezzo di emulsioni analoghe a gas;
62×10^{22}	“ emulsioni analoghe a liquidi;
60×10^{22}	“ fluttuazioni emulsioni concentrate;
64×10^{22}	“ moto Browniano traslazionale;
65×10^{22}	“ moto Browniano rotazionale;
75×10^{22}	“ opalescenza critica;
65×10^{22}	“ azzurro del cielo;
64×10^{22}	“ radiazione di corpo nero;
61×10^{22}	“ goccioline ionizzate secondo Millikan;
62×10^{22}	“ decadimento radioattivo

“La teoria atomica ha trionfato. Ancora poco tempo fa assai numerosi, i suoi avversari, infine conquistati, rinunciano uno dopo l’altro a sfide che furono a lungo legittime e senz’altro utili” J. Perrin “ Les Atomes”, (Paris, 1913)

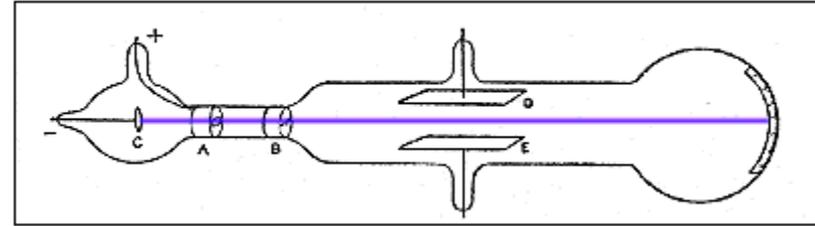
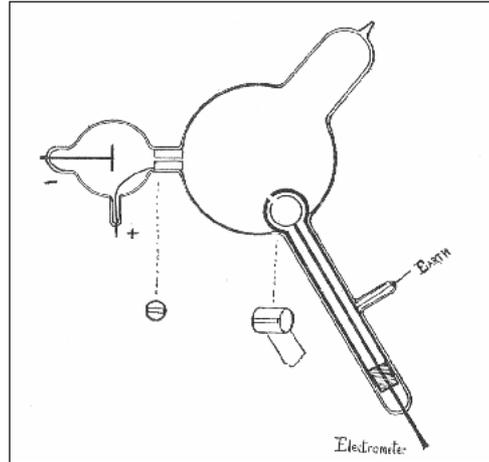
Fundamental Physical Constants

$N_A = 6.022\,141\,79 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

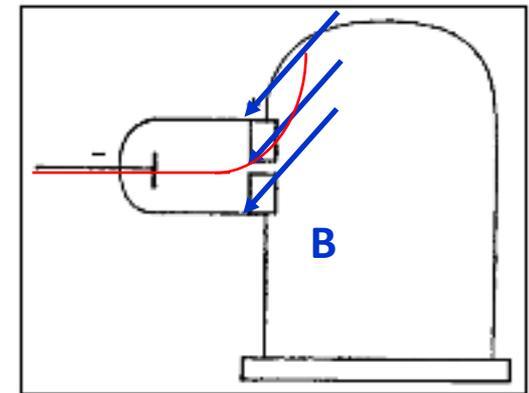
$$l_{\text{atomo}} \approx \sqrt[3]{\frac{M_{\text{atomo}}}{N_A \delta_{\text{atomo}}}} \approx 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$$



La scoperta dell'elettrone



$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$



"We have in the cathode rays matter in a new state, a state in which the subdivision of matter is carried very much further than in the ordinary gaseous state: a state in which all matter... is of one and the same kind; this matter being the substance from which all the chemical elements are built up."

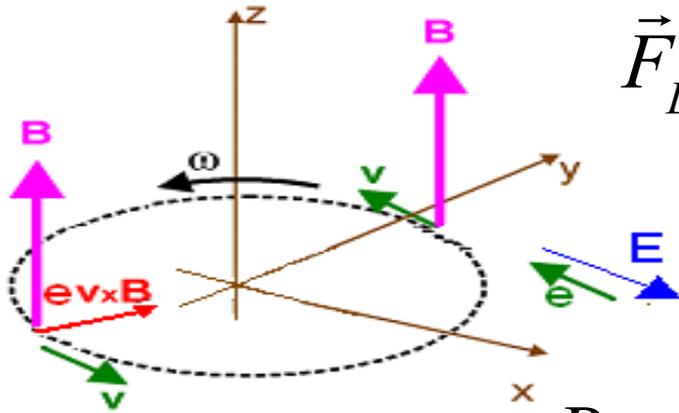
(J.J. Thomson, "Cathode Rays," The London Phil. Mag. J. Science, V, Oct.1897)

$$\frac{e}{m} = -1.758\,820\,12(15) \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$$

<http://www.aip.org/history/electron/jjhome.htm>

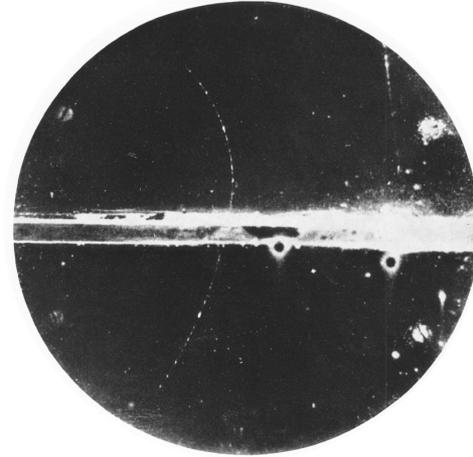
La carica dell'elettrone

$$\vec{F}_{Lorentz} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

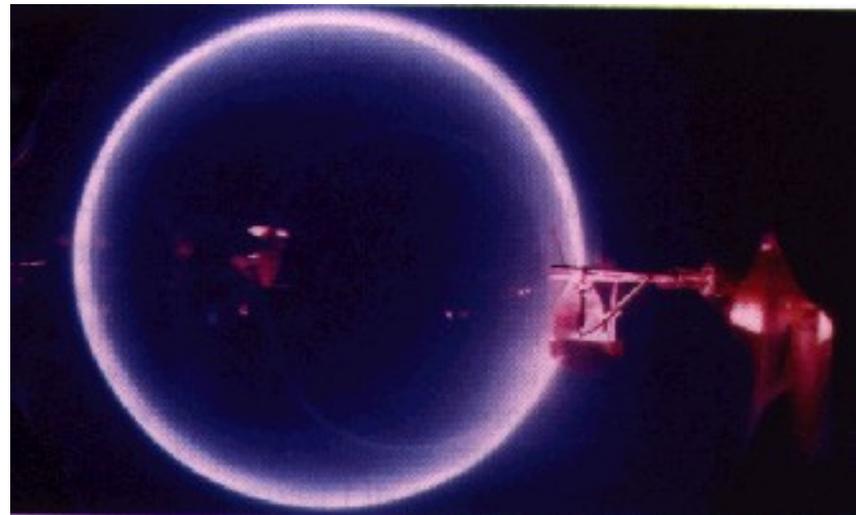


$$evB = \frac{mv^2}{r} \quad \frac{mv^2}{2} = eV$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

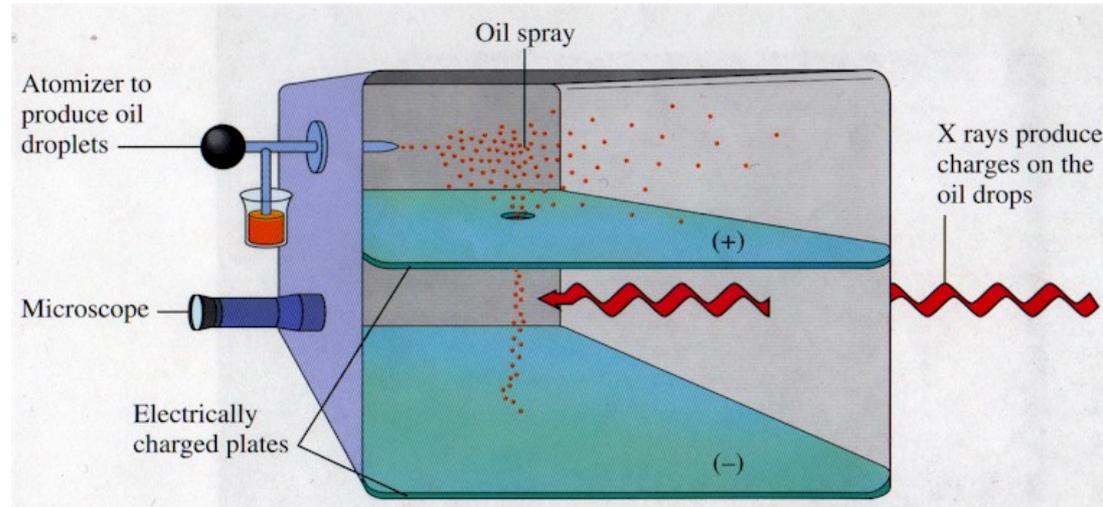
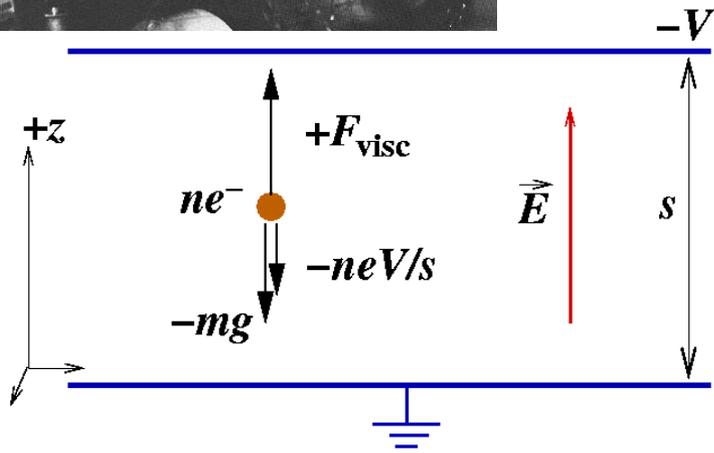
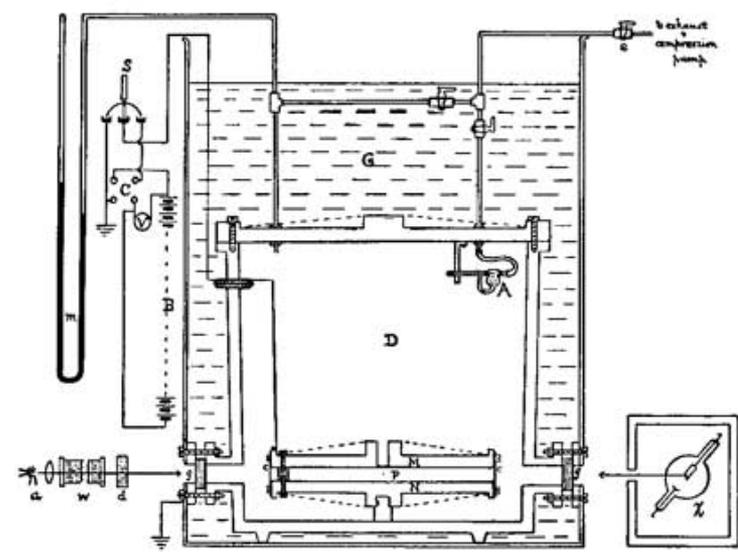


tubo di Wehnelt
bobine di Helmholtz , alimentatori, voltimetri, amperometro
cavetti di collegamento





L'esperienza di Millikan



<http://www.aip.org/history/gap/Millikan/Millikan.html>

L'idea della misura

