

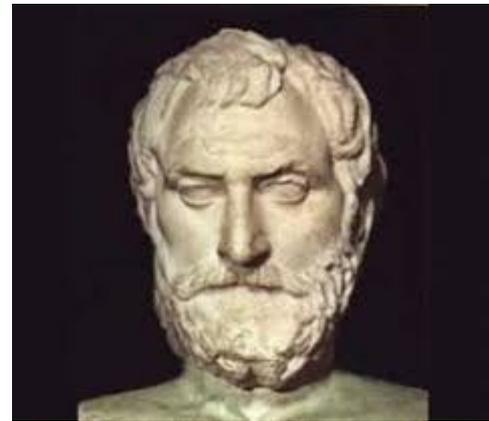


Storia della fisica ed epistemologia

Corso AA 2022-2023 –responsabili Proff. A.Pluchino e
A.Rapisarda

Lezione 27 Marzo 2023: breve excursus su fenomeni
elettromagnetici (Docente A.Pagano)

- FENOMENI ELETTRICI.



- Il più antico fenomeno elettrico conosciuto, già studiato da Talete (VII sec. a. C.) e che ha dato il nome a tutti i fenomeni connessi con le cariche elettriche (in greco: $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ = ambra = resina fossile di colore giallo usata come pietra ornamentale), si ha quando un pezzo di ambra (o di vetro, o di ebanite, o di ceralacca, o di altre resine, ecc.) viene strofinato con una pelle di gatto (o con una pelliccia, o con lana o con seta, ecc.) acquistando la proprietà di attirare verso di sé dei piccoli corpi, come, p. es., una pallina di sughero.
- Da esperimenti elementari, compiuti da molti scienziati nei secoli XVII-XVIII, si giunse a stabilire che esistevano due tipi di elettricità, una chiamata “vetrosa” (oggi detta “elettricità positiva”) e l’altra “resinosa” (oggi detta “elettricità negativa”).

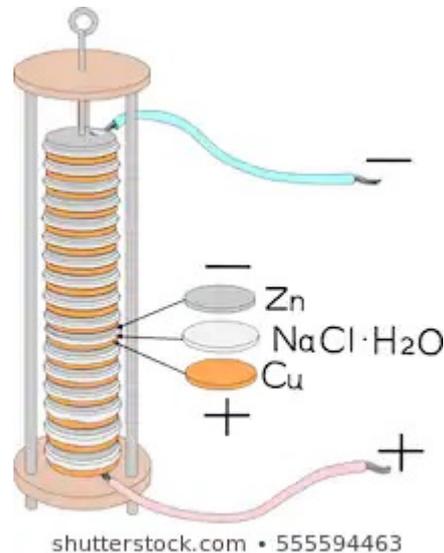
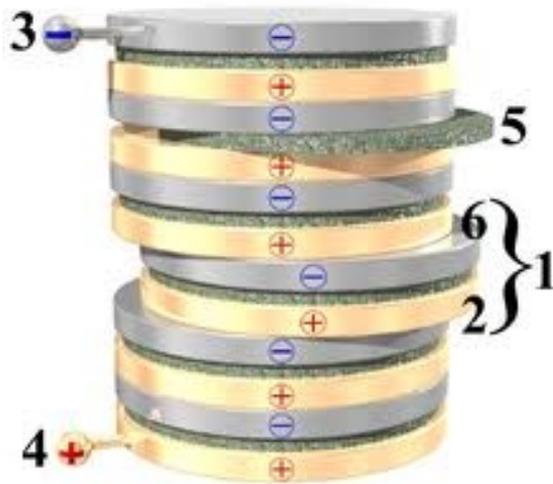
Un concetto importante per lo sviluppo della teoria dell'elettricità è quello di "tensione elettrica". Gli esperimenti più significativi proposti in passato sono stati quelli compiuti da [G. Galvani \(1791\)](#) e da [A. Volta \(1800\)](#).



Galvani, dopo vari esperimenti effettuati, in seguito a una osservazione casuale, poté accertare che i muscoli di una rana, scuoiata ed essiccata, si contraevano convulsamente quando i capi di un suo nervo venivano, contemporaneamente, toccati dalle punte di una pinza bimetallica (p. es., con una punta della pinza fatta di ferro e l'altra d'argento); in seguito ad altri esperimenti fu condotto a inventare ipotesi diverse; ma, dopo aver riconosciuto che: "è davvero facile ingannarsi nell'esperimentare, e credere di aver visto e trovato ciò che desideriamo vedere e trovare", concluse che tale elettricità doveva essere di origine animale.

Successivamente, Volta mostrò che l'elettricità si produceva per la tensione elettrica che veniva a stabilirsi tra due metalli eterogenei; e l'elettricità animale non c'entrava per niente; ma possiamo dire che, nello stesso tempo, [egli confermò la saggia osservazione di Galvani su quanto sia facile ingannarsi attraverso gli esperimenti.](#)

- Volta costruì una catena di conduttori di diversi materiali, tali che tra i metalli posti agli estremi della catena, potesse crearsi una tensione elettrica, la quale è capace di generare corrente in un qualsiasi conduttore che ne colleghi gli estremi. Qualunque catena di conduttori con tali caratteristiche si chiama una “pila di Volta”. P. es., è una pila di Volta una catena di **zinco e argento(o rame)** alternati, questa è proprio una di quelle descritte dallo stesso Volta.



•La legge di Coulomb

La legge di Coulomb riguarda la forza di natura elettrica che si instaura tra due cariche poste ad una certa distanza. E' una legge di tipo sperimentale a cui pervenne il fisico ed ingegnere francese Charles Augustin de Coulomb intorno al 1785.

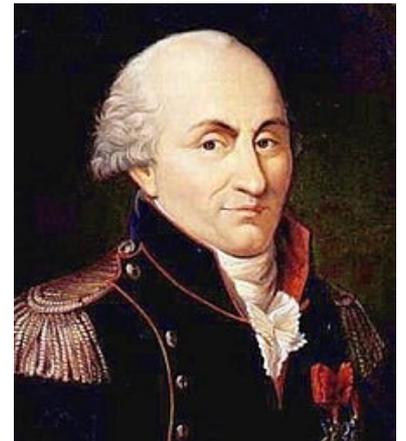
La legge di Coulomb afferma che tra due cariche elettriche Q_1 e Q_2 poste a una distanza d nel vuoto si instaura una forza di natura elettrica, detta forza di Coulomb, il cui modulo è proporzionale al prodotto delle due cariche ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza a cui esse sono poste:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

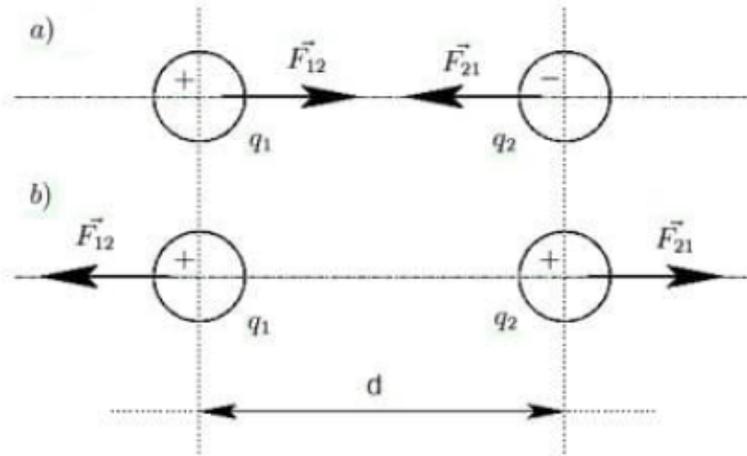
$$F = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

La costante ϵ_0 si dice costante dielettrica nel vuoto e vale $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$.

$$K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

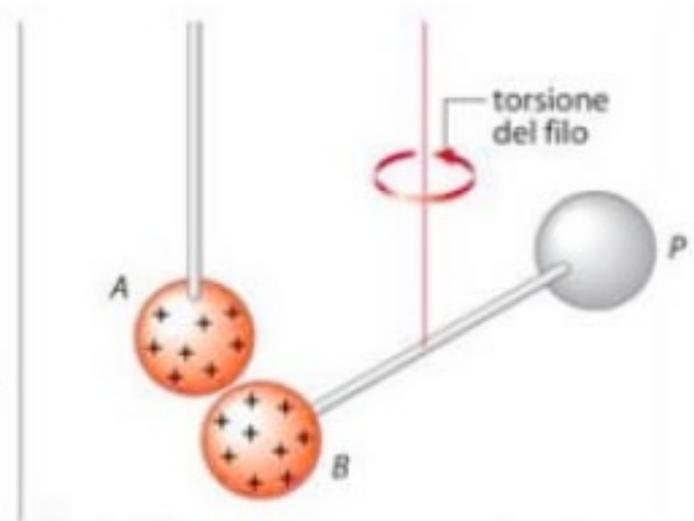
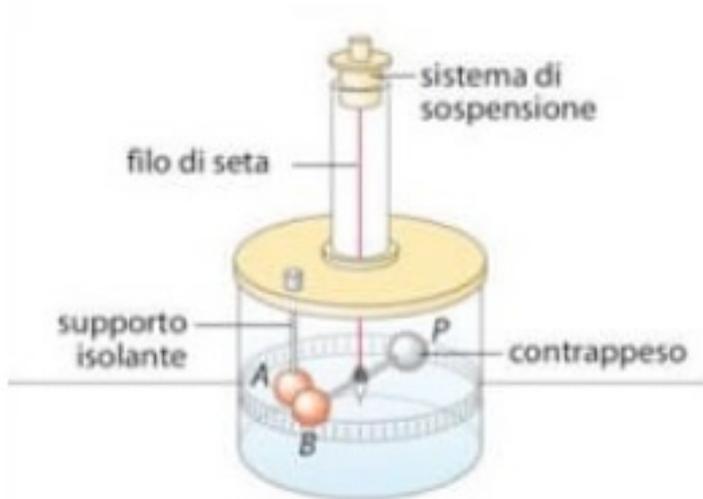


FENOMENOLOGIA:

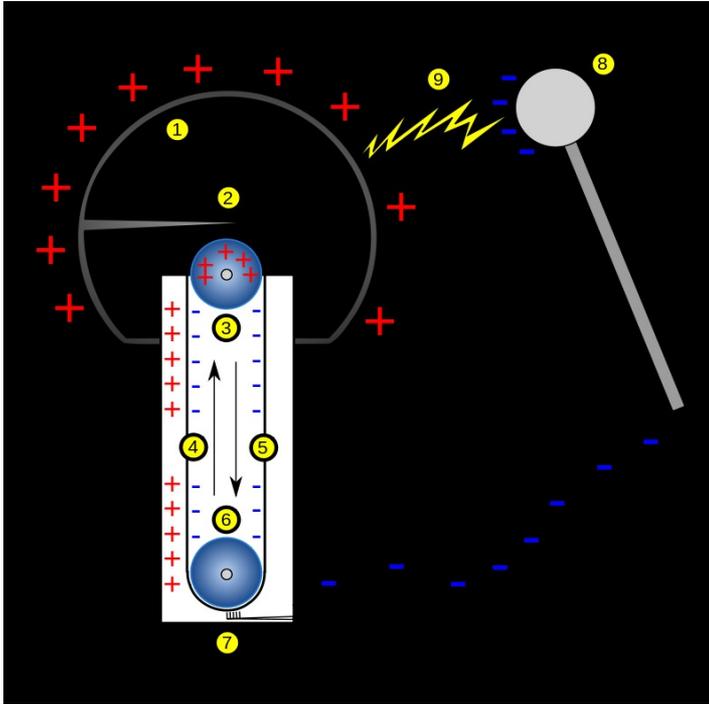


Strofinio Induzione

Bilancia di torsione

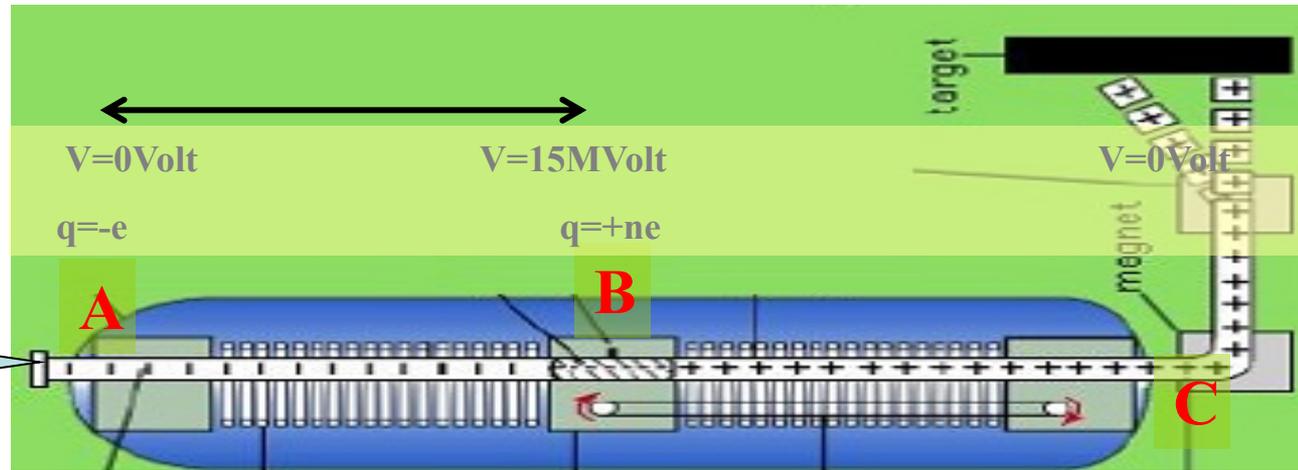


• Macchine elettrostatiche



Generatore di Van de Graaff 1929 (uso come acceleratore di particelle)

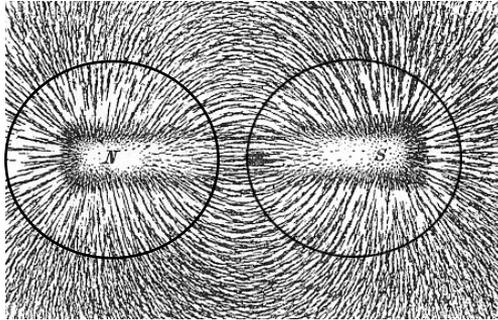
ACCELERATORE LINEARE "TANDEM"



• FENOMENI MAGNETICI.

- Anche il più elementare fenomeno magnetico `è noto fin dall'antichità. Particolari minerali ferrosi come la magnetite (così chiamata dalla regione greca di Magnesia, dove fu trovata per la prima volta) hanno la proprietà di attirare piccoli pezzi di ferro. Tali minerali vengono, genericamente, chiamati "magneti"; in questo caso si dicono "magneti naturali permanenti".
- Analogamente al caso elettrico, anche qui si produce il fenomeno della "magnetizzazione per induzione": un pezzo di ferro, o di pochissimi altri materiali, come nichel e cobalto, può formare, per induzione, un "magnete artificiale" (detto anche "calamita"), "non permanente", in quanto la magnetizzazione indotta decade col tempo; tuttavia, se costruito con opportuni materiali, si può fare in modo che le proprietà magnetiche durino anche per diversi anni
- Si verifica sperimentalmente che, a differenza delle cariche elettriche, le quali possono presentarsi tutte con lo stesso segno (in un dato conduttore isolato), le cariche magnetiche, al contrario, si presentano sempre con entrambe le polarità; cioè, in una sbarra magnetizzata si hanno sempre: un "polo positivo" (NORD) a una estremità della sbarra e un "polo negativo" (SUD) all'altra estremità.
- Un grande magnete naturale `è costituito dalla terra stessa, i cui poli geografici coincidono (all'incirca) anche con i poli magnetici; da diversi secoli, tale fenomeno ("magnetismo terrestre") viene sfruttato, per mezzo della bussola nella navigazione, come sapete.

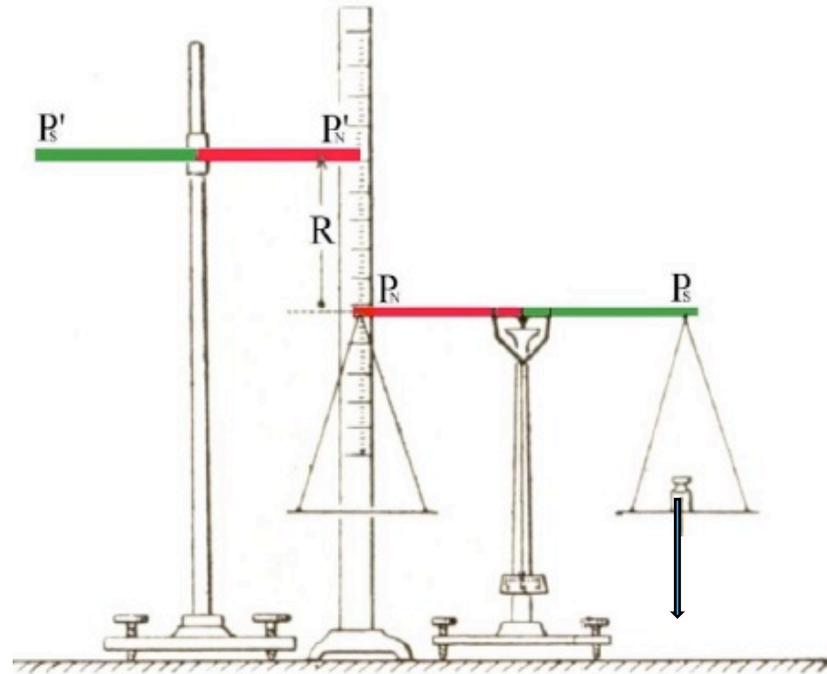
- Legge Coulomb del magnetismo:



Coulomb, utilizzando calamite rettilinee e sufficientemente lunghe, in modo da poter considerare trascurabili le azioni dei poli lontani rispetto a quelli vicini, ha enunciato la seguente legge: **la forza con la quale i poli di due calamite si attraggono o si respingono è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.**

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \mu_0} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

m_1, m_2 = masse magnetiche



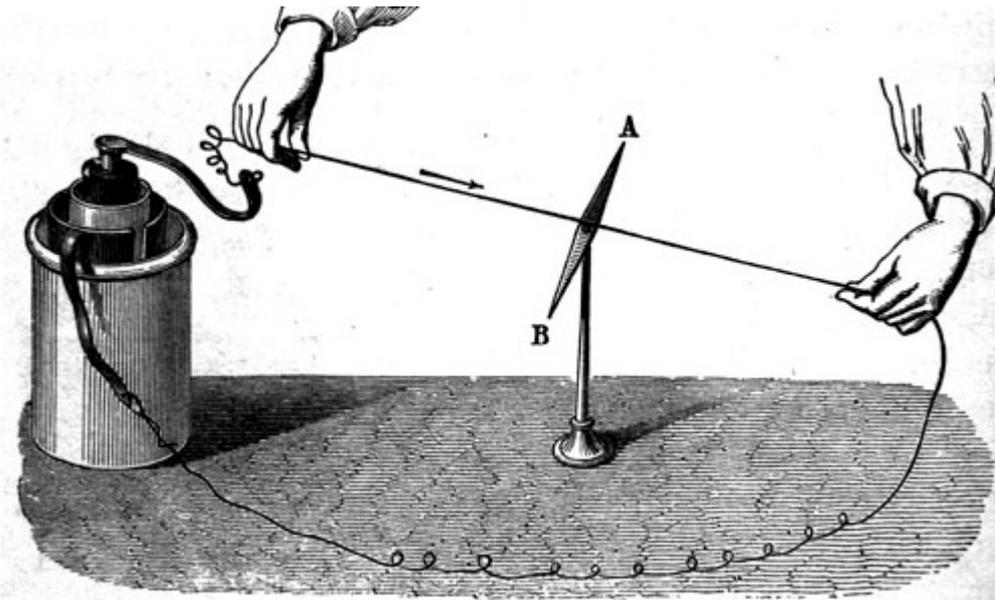
$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Wb^2}{N \cdot m^2}$ è noto come coefficiente di permeabilità magnetica del vuoto.

- *FENOMENI ELETTROMAGNETICI.*

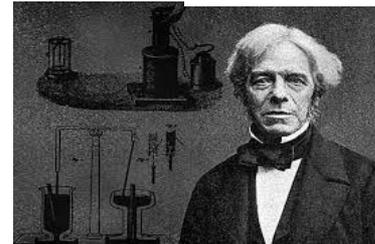
- I fenomeni elettrici e quelli magnetici sono strettamente legati tra loro, anzi, nella concezione moderna, il magnetismo viene spiegato in termini di correnti elettriche microscopiche causate dal moto delle cariche elettriche a livello atomico - molecolare.

- Si osserva che una corrente elettrica trasportata lungo un filo `e capace di riorientare un ago magnetico, come quello della bussola, come se la corrente stessa fosse un magnete;

Esperimenti di **Oersted (1777-1851, Danimarca**



Faraday (1791-1867 Inglese)
Ampere (1775-1836 Francese)



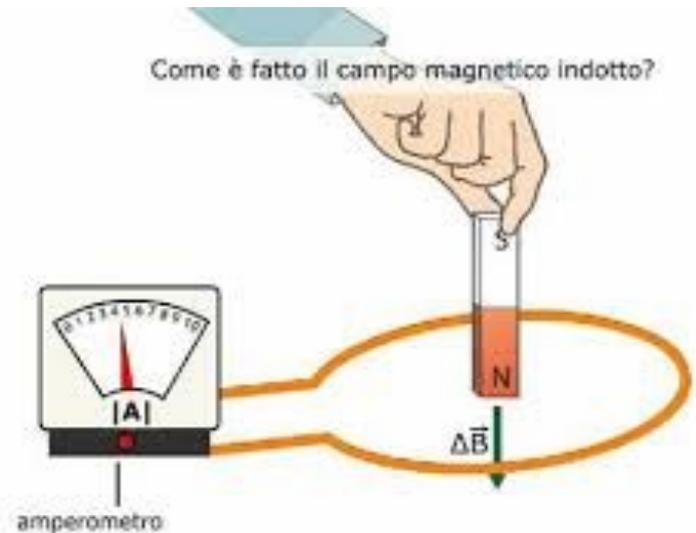
Si osserva, anche, l'effetto opposto a quello dell'azione magnetica delle correnti; cioè: ponendo in rapido moto relativo tra loro un reoforo e un magnete, sul reoforo passerà una corrente variabile che modula, istante per istante, il movimento relativo del magnete rispetto al reoforo. Se il magnete è fermo rispetto al reoforo, non si registra alcuna corrente.

Il fenomeno sopradescritto si chiama "fenomeno di induzione elettromagnetica". (legge di Lenz)

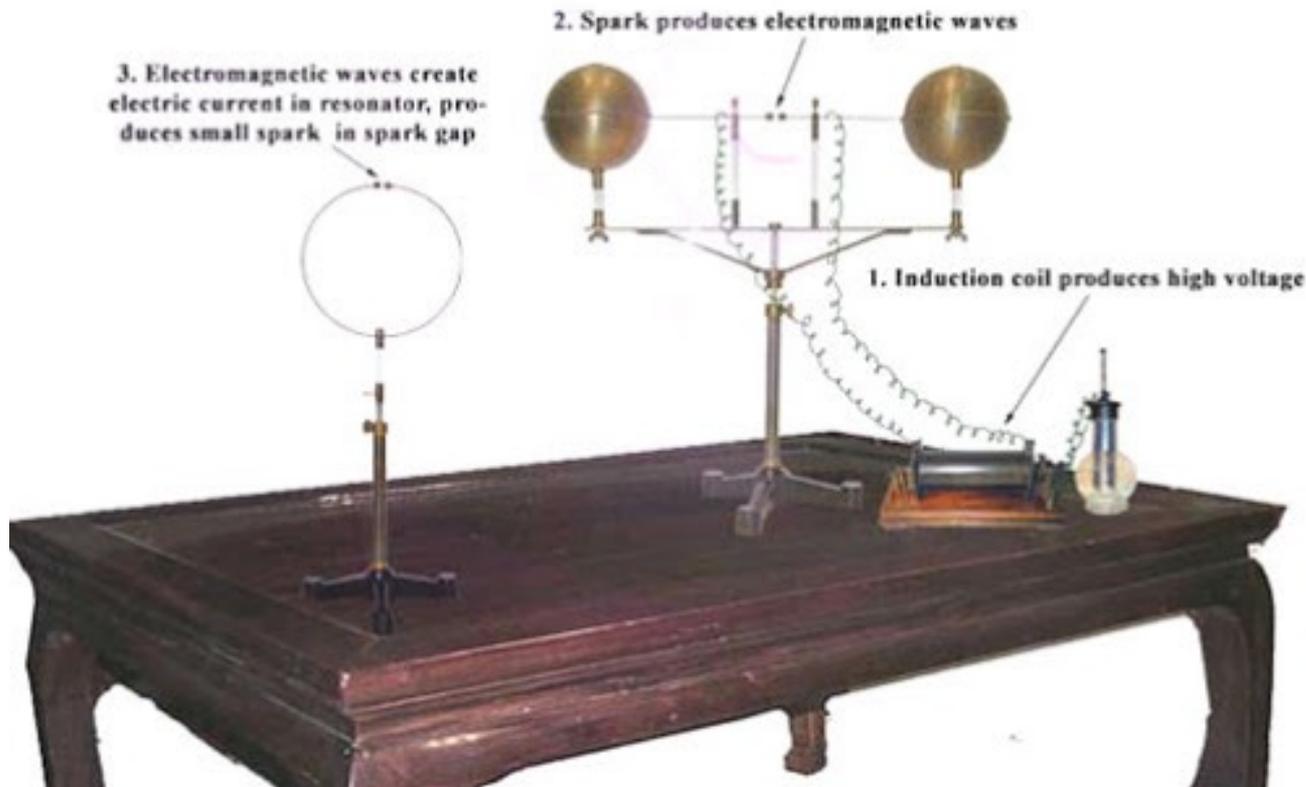
$$fem_i = - \frac{d\Phi(\vec{B})}{dt}$$



H. Friedrich E. Lenz (1804-1865)



Era il novembre del 1886 quando il ventenne Rudolf Heinrich Hertz dimostrò l'esistenza delle onde elettromagnetiche. ... In seguito scoprì il principio della sintonia ponendo due circuiti in risonanza, sulla stessa frequenza d'onda. Questo principio venne utilizzato anche dalla radio.



When the values of all the variables (q) are given, the position of each of the moveable pieces is known, and, in virtue of the imaginary mechanism, the configuration of the entire system is determined.

The Velocities.

556.] During the motion of the system the configuration changes in some definite manner, and since the configuration at each instant is fully defined by the values of the variables (q), the velocity of every part of the system, as well as its configuration, will be completely defined if we know the values of the variables (q), together with their velocities ($\frac{dq}{dt}$, or, according to Newton's notation, \dot{q}).

The Forces.

557.] By a proper regulation of the motion of the variables, any motion of the system, consistent with the nature of the connexions, may be produced. In order to produce this motion by moving the variable pieces, forces must be applied to these pieces.

We shall denote the force which must be applied to any variable q , by P . The system of forces (P) is mechanically equivalent (in virtue of the connexions of the system) to the system of forces, whatever it may be, which really produces the motion.

The Momenta.

558.] When a body moves in such a way that its configuration, with respect to the force which acts on it, remains always the same, (as, for instance, in the case of a force acting on a single particle in the line of its motion,) the moving force is measured by the rate of increase of the momentum. If F is the moving force, and p the momentum,

$$F = \frac{dp}{dt},$$

whence

$$p = \int F dt.$$

The time-integral of a force is called the Impulse of the force; so that we may assert that the momentum is the impulse of the force which would bring the body from a state of rest into the given state of motion.

In the case of a connected system in motion, the configuration is continually changing at a rate depending on the velocities (\dot{q}), so

and the work spent in producing the motion is equivalent to the kinetic energy. Hence

$$T_{pq} = \frac{1}{2} (p_1 \dot{q}_1 + p_2 \dot{q}_2 + \&c.), \quad (13)$$

where T_{pq} denotes the kinetic energy expressed in terms of the momenta and velocities. The variables $q_1, q_2, \&c.$ do not enter into this expression.

The kinetic energy is therefore half the sum of the products of the momenta into their corresponding velocities.

When the kinetic energy is expressed in this way we shall denote it by the symbol T_{pq} . It is a function of the momenta and velocities only, and does not involve the variables themselves.

563.] There is a third method of expressing the kinetic energy, which is generally, indeed, regarded as the fundamental one. By solving the equations (3) we may express the momenta in terms of the velocities, and then, introducing these values in (13), we shall have an expression for T involving only the velocities and the variables. When T is expressed in this form we shall indicate it by the symbol T_q . This is the form in which the kinetic energy is expressed in the equations of Lagrange.

564.] It is manifest that, since $T_p, T_q,$ and T_{pq} are three different expressions for the same thing,

$$T_p + T_q - 2T_{pq} = 0,$$

$$\text{or} \quad T_p + T_q - p_1 \dot{q}_1 - p_2 \dot{q}_2 - \&c. = 0. \quad (14)$$

Hence, if all the quantities $p, q,$ and \dot{q} vary,

$$\left(\frac{dT_p}{dp_1} - \dot{q}_1 \right) \delta p_1 + \left(\frac{dT_p}{dp_2} - \dot{q}_2 \right) \delta p_2 + \&c.$$

$$+ \left(\frac{dT_q}{dq} - p_1 \right) \delta q + \left(\frac{dT_q}{dq_2} - p_2 \right) \delta q_2 + \&c.$$

$$+ \left(\frac{dT_{pq}}{dq_1} + \frac{dT_{pq}}{dq_1} \right) \delta q_1 + \left(\frac{dT_{pq}}{dq_2} + \frac{dT_{pq}}{dq_2} \right) \delta q_2 + \&c. = 0. \quad (15)$$

The variations δp are not independent of the variations δq and $\delta \dot{q}$, so that we cannot at once assert that the coefficient of each variation in this equation is zero. But we know, from equations (3), that

$$\frac{dT_p}{dp_1} - \dot{q}_1 = 0, \&c., \quad (16)$$

so that the terms involving the variations δp vanish of themselves.

The remaining variations $\delta \dot{q}$ and δq are now all independent, so that we find, by equating to zero the coefficients of $\delta \dot{q}_1, \&c.,$

$$p_1 = \frac{dT_q}{d\dot{q}_1}, \quad p_2 = \frac{dT_q}{d\dot{q}_2}, \&c.; \quad (17)$$

In the whole chapter V (Maxwell 1873, II, Pt IV, V, 184–194) - contrary to Newtonian mechanics - Maxwell expressed motion and energy relationships within the system as a whole, rather than in terms of laws of motion governing the actions of forces.

Thus, after several methods proposed, he announced a *third method* related with Lagrange.

Maxwell: Elettricità, Magnetismo, Luce, una sola famiglia

Entriamo nel XX secolo



1831 (Edimburgo) 1879 (Cambridge)

Treatise on Electricity and Magnetism 1873

An Elementary Treatise on Electricity (1881)

Elenchiamo ora le 4 equazioni ,valide nel vuoto, (forma integrale) scritte in forma integrale per poi descriverle nel loro significato fisico ad una ad una:

I eq.-Teorema di Gauss per l'elettricità:

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q$$

II eq.-Teorema di Gauss per il magnetismo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

III eq.-Legge dell'induzione di Faraday-Lenz:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

IV eq.-Teorema di Ampere:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

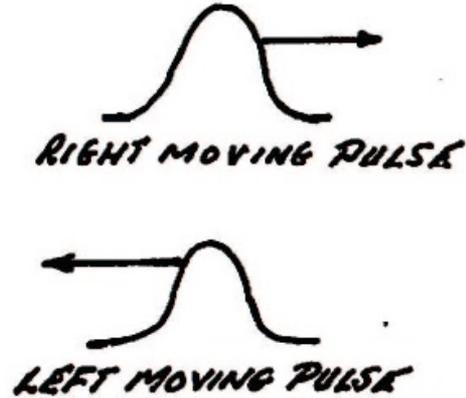
Le equazioni scritte nella forma I,II,III,IV rappresentano un compendio di tutti I risultati noti dagli esperimenti di elettricità e magnetismo in cui il mezzo è il vuoto. A saperle leggere vi si trova contenuta tutta la fisica classica delle interazioni elettromagnetiche.

Sulla natura della luce (equazione d'onda di D'Alembert):

Una dimensione

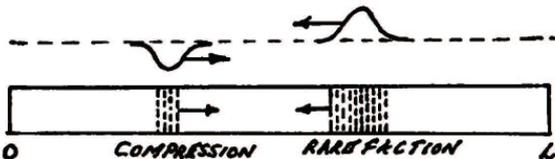
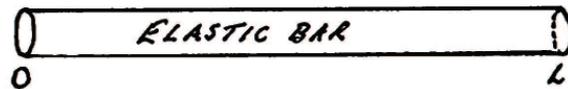
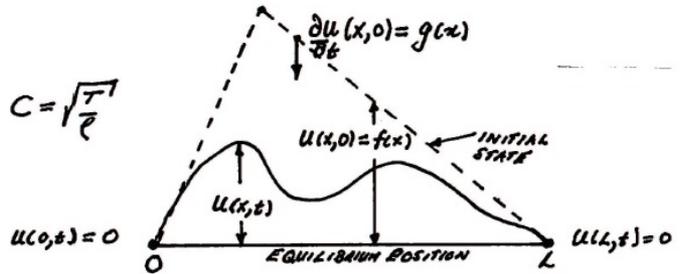
$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$u(x, t) = F(x - ct) + G(x + ct)$$



Esempi:

Fase



$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Nel caso della luce , la velocità C vale:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 299\,792\,458 \text{ m / s}$$

Ricordiamo:

Guglielmo Marconi (1874-1937)

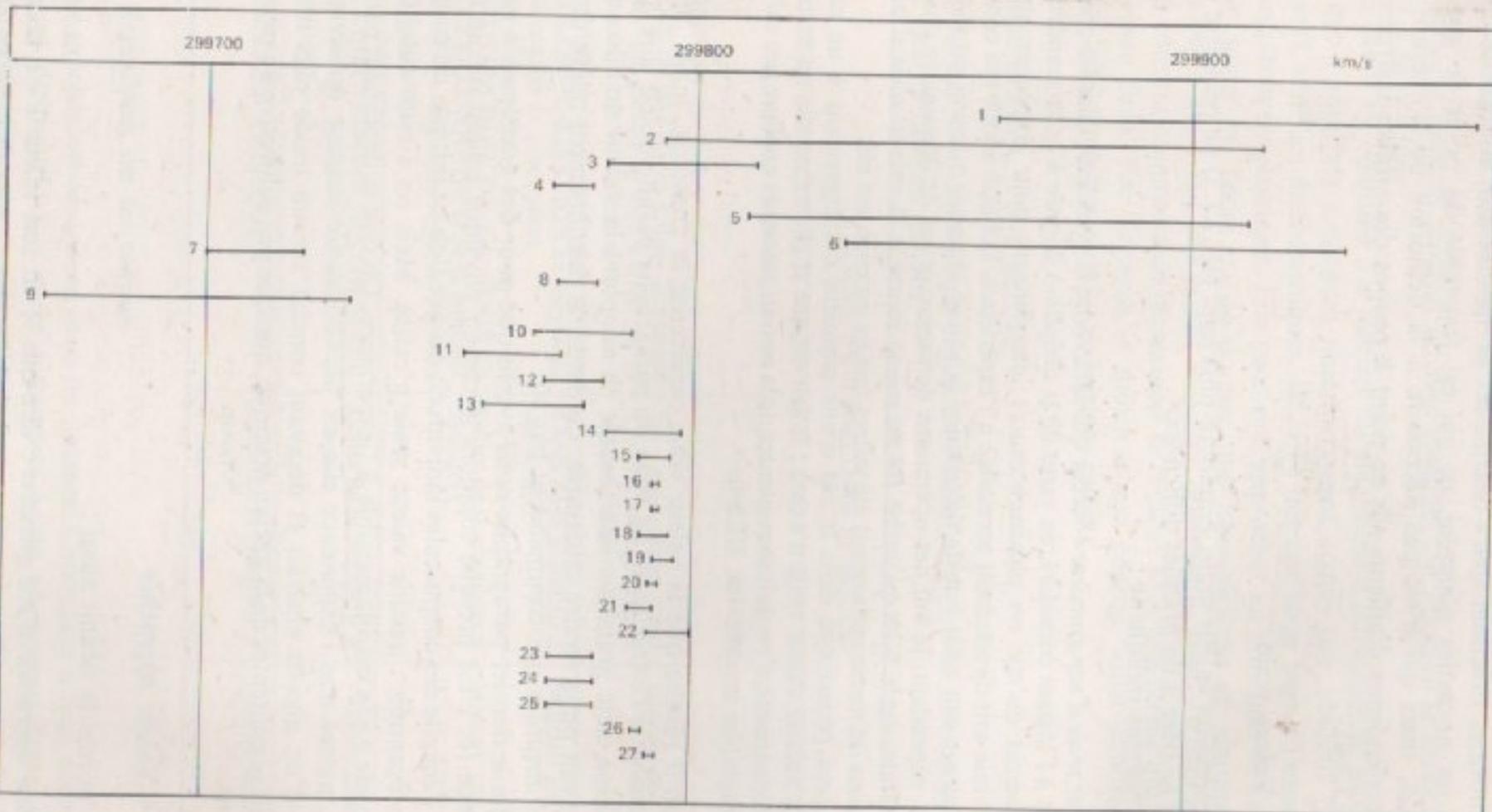
Le misure della velocità della Luce

Légende du Tableau III-1

| Auteur | Date | Méthode | Vitesse en km/s |
|----------------------------------|------|--------------------------|------------------|
| 1 MICHELSON | 1879 | Miroir tournant | 299 910 ± 50 |
| 2 MICHELSON | 1882 | Miroir tournant | 299 853 ± 60 |
| 3 MICHELSON | 1926 | Miroir tournant | 299 796 ± 15 |
| 4 MICHELSON | 1932 | Miroir tournant | 299 774 ± 4 |
| 5 NEWCOMB | 1882 | Miroir tournant | 299 860 ± 50 |
| 6 PERROTIN | 1902 | Roue dentée | 299 880 ± 50 |
| 7 DORSEY | 1906 | Rapport u.e.s./u.e.m. | 299 710 ± 10 |
| 8 DORSEY | 1944 | Rapport u.e.s./u.e.m. | 299 776 ± 4 |
| 9 MERCIER | 1923 | Ondes e.m. stationnaires | 299 700 ± 30 |
| 10 KAROLUS-MITTELSTADT | 1929 | Cellule de Kerr | 299 778 ± 10 |
| 11 ANDERSON | 1936 | Cellule de Kerr | 299 764 ± 10 |
| 12 ANDERSON | 1940 | Cellule de Kerr | 299 776 ± 6 |
| 13 HUTTEL | 1937 | Cellule de Kerr | 299 768 ± 10 |
| 14 ESSEN | 1947 | Cavité résonnante | 299 792 ± 6 |
| 15 ESSEN | 1950 | Cavité résonnante | 299 792,5 ± 3 |
| 16 BERGSTRAND | 1949 | Géodimètre | 299 792,7 ± 0,25 |
| 17 BERGSTRAND | 1950 | Géodimètre | 299 793,1 ± 0,2 |
| 18 ASLAKON | 1949 | Radar | 299 792,4 ± 2,4 |
| 19 ASLAKON | 1951 | Radar | 299 794,2 ± 1,9 |
| 20 FROOME | 1951 | Interféromètre | 299 792,6 ± 0,7 |
| 21 RANK | 1954 | Spectres de bandes | 299 789,8 ± 3 |
| 22 BIRGE | 1929 | Étude comparative | 299 796 ± 4 |
| 23 BIRGE | 1934 | Étude comparative | 299 776 ± 4 |
| 24 BIRGE | 1941 | Étude comparative | 299 776 ± 4 |
| 25 COHEN-DUMOND | 1948 | Étude comparative | 299 776 ± 4 |
| 26 COHEN-DUMOND | 1951 | Étude comparative | 299 790 ± 0,9 |
| 27 COHEN-DUMOND | 1953 | Étude comparative | 299 792,9 ± 0,8 |

TABLEAU III.1

Différentes mesures de la vitesse de la lumière



- La forza di Lorentz dal fisico olandese *Hendrik A. Lorentz* (1853 – 1928)

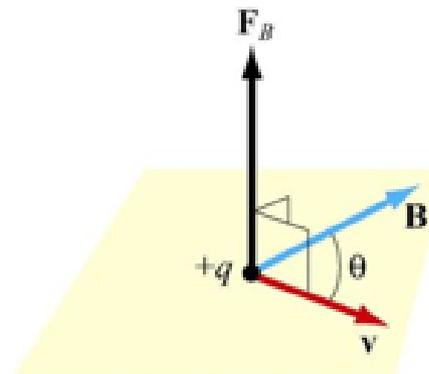
La forza agente su una carica in movimento in un campo magnetico è data dal prodotto vettoriale :

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$



in cui la carica q va presa con il suo segno. Il vettore \vec{F}_L esprime la forza cui è soggetta la particella carica q istante per istante;

\vec{v} rappresenta la velocità istantanea della particella, in generale dipendente dal tempo, e \vec{B} è l'induzione magnetica nel punto dello spazio nel quale la particella possiede velocità \vec{v}



II CICLOTRONE di LAWRENCE (anni 1940-1950)

E.O. Lawrence(1931),
forniva protoni di 80 keV



Prof. F. Resmini
1938-1984



Laboratori Nazionali Del
Sud

Catania

