

Epistemologia della Fisica: Dalla metà del Settecento alla fine dell'Ottocento

Fabio Bevilacqua



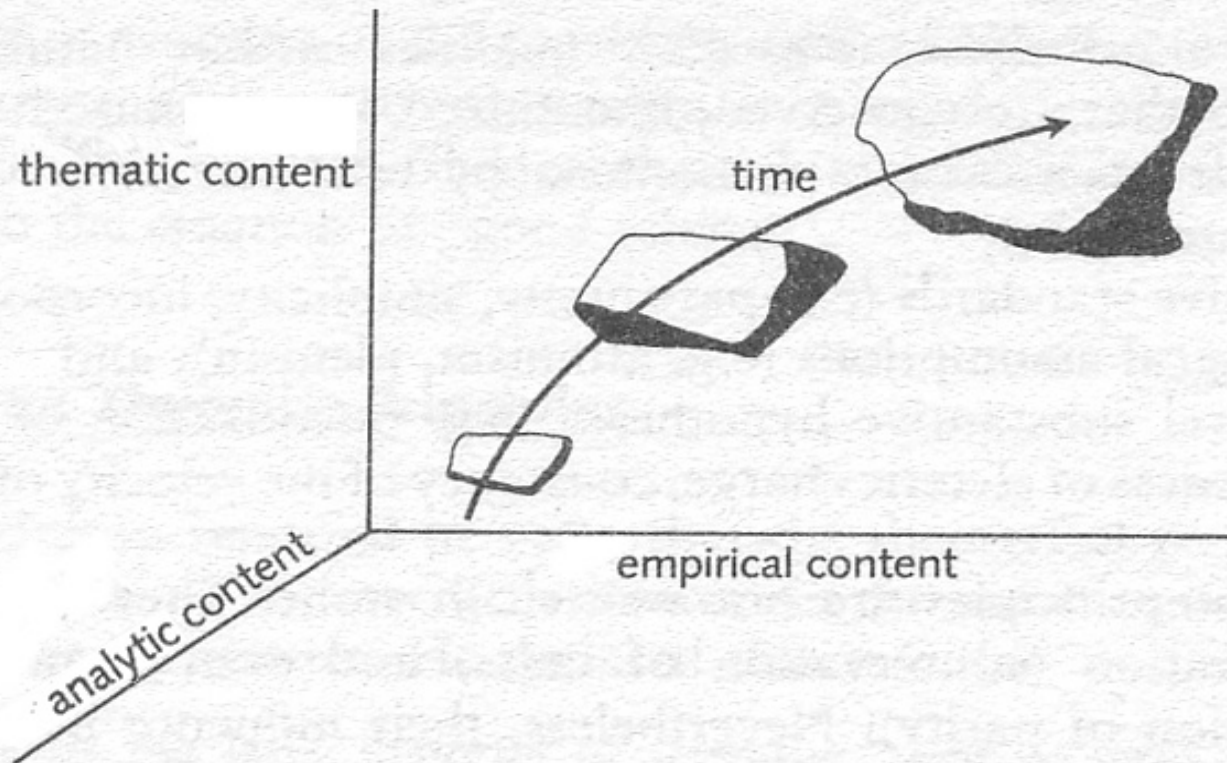
Sommario

- Introduzione
- Il tema
- Riepilogo
- Esempi



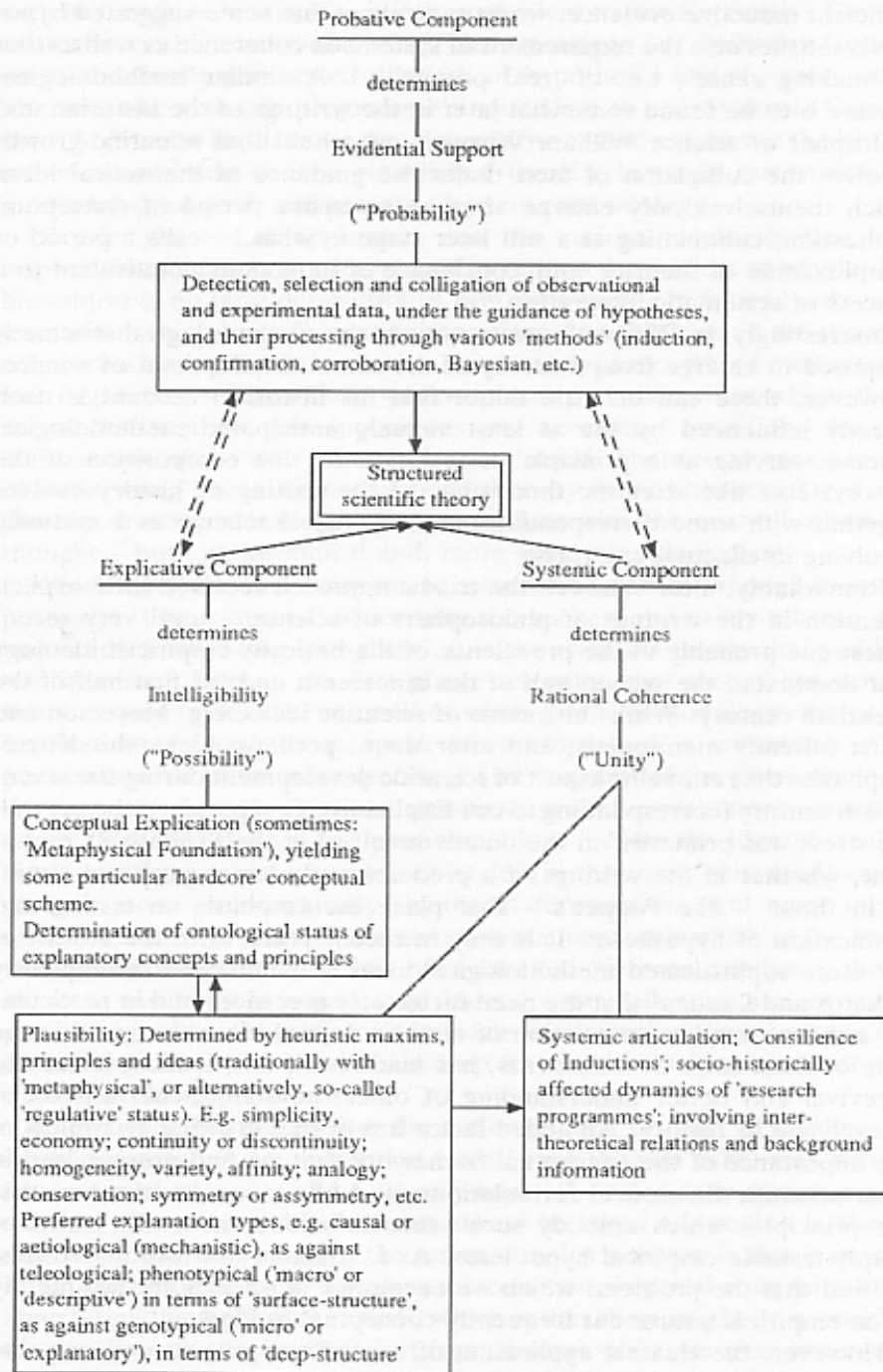
Le tre componenti di Holton

280 *Descriptive Philosophies of Science*



Holton's Three-Dimensional Grid



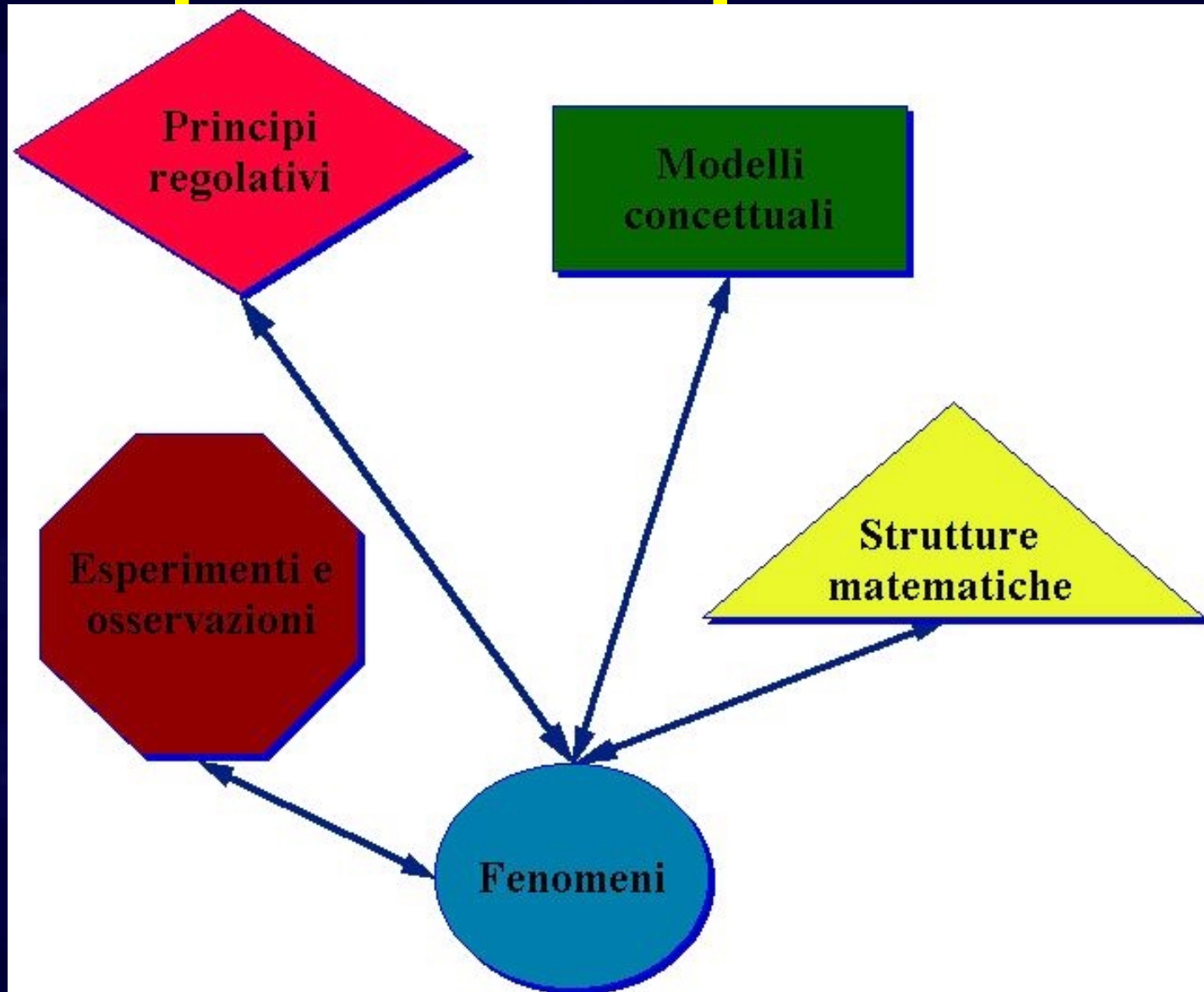


Uno schema a tre componenti: G. Buchdahl

Pavia 1983
S&E 1993



Una epistemologia descrittiva a quattro componenti



Discipline

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda Danimarca

USA

600

Archim/Platon
in Galileo:
matem ed
esper

Meccanicismo
cartesiano

Meccanicismo
Leibniziano

Due
tradizioni
in Newton

700

Sc Bacon
Powers

Sc Class

Filos
della
natura
scozzese

800

Matematizz
Sc
baconiane

Naturphil

Fisica
Matematica

Scozzesi a
Cambridge:
analogie

Fisica
Matem

Fisica
teorica
Dibattito sui
fondamenti

Teo
Elettrone

900

Relat e
MQ

MQ



Leggi

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda
Svizzera
Danimarca

USA

600

Caduta dei
gravi e
relatività di
Galileo

Rifrazione e
conservazione
della quantità di
moto di Cartesio

Principi della
meccanica di
Newton
Pressione e
volume di
Boyle

Conservazione
della forza viva di
Leibniz

Pendolo
composto di
Huygens

700

Rifrazione di
Newton

Teorema del
lavoro-forza
viva di
d'Alembert

Elettrostatica
di Volta

Elettrostatica

800

Teoremi di
Green
Induzione di

Laplace e
Poisson
Biot-Savart e
Ampere
Diffusione di
Fourier
Trascinamento
di Fresnel

Legge di Ohm
Correlazione
di Mayer
Legge di
Fechner
Potenziali di
Neumann
Legge di
Weber

Equazioni di
Maxwell
Teorema di
Poynting
Massa
dell'elettrone
di
JJ.Thomson

Potenziali
ritardati di
L.Lorenz
Forza di
Lorentz

900

Massa energia
di Einstein

Trasformazioni
di Lorentz



Personaggi

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda
Svizzera
Danimarca

USA

600

Galileo

Cartesio

Stevino

Newton
Boyle

Fermat

Leibniz

Huygens

700

Boscovitch

D'Alembert
Maupertuis
Nollet

Muschenbrook
von Kleist

I Bernoulli
'sGravesande

Beccaria
Volta

Lagrange
Laplace
L.Carnot

Franklin
Priestley

800

Matteucci
Felici

Green
Faraday
Joule

Poisson
Biot, Savart
Fourier
Ampere
Fresnel
S.Carnot

Ohm
Gauss

Oersted

Henry

Bartoli
Righi

W.Thomson
Maxwell
Poynting
JJ.Thomson

Poincare

Helmholtz
Clausius
C.Neumann
Hertz
Mach
Planck
Ostwald
Boltzmann

Lorentz

Rowland
Michelson

900

Rutherford

Curie
Perrin

Einstein
Sommerfeld
Pauli

Bohr

Fermi



Dibattiti

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda
Svizzera
Danimarca

USA

600

Galileo e i
tolemaici

Newton/Leibniz
sulla meccanica e
sul calcolo
Hobbes e Boyle

Cartesio/Fermat
sulla rifrazione

Cartesio/Leibniz
sulla forza viva

700

Volta-Coulomb
Volta-Galvani

Lagrange e
L.Carnot

800

Joule/Mayer

Faraday e
Maxwell
sull'induzione

Poincaré e
Planck
sull'energia

Helmholtz/Weber
Helmholtz/Clausius
Boltzmann/Ostwald

900

Lorentz/Hertz
Lorentz/Einstein
Bohr e Einstein
Bohr e Pauli sul
neutrino

Acceleratori e
cattedrali



The big picture

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda Danimarca

USA

600

Accademia dei Lincei

Royal Society

Academie reale

Harvard

700

Riforme teresiane:
prof sc bac

Ecole polytechnique

Institute de France

800

Convegni di Scienziati

Riforma Università

Università di Berlino

Semin e dottorati

Soc di Fisica

Legge Casati

Nuovi Tripos a Oxford e Cambridge

Cattedre di Fisica teorica

Soc di fisica

Catt di is teo

900



Contesti

Italia

Gran Bretagna

Francia

Germania

Olanda
Danimarca

USA

600

Dominazione
spagnola

Rivoluzione

700

Austriaci al
nord
Spagnoli al
sud

Hannover

Prussia

Rivoluzione
industriale

Rivoluzione
Impero
napoleonico

800

Repubblica
cisalpina e
restaurazione

Indipendenza

Impero

Repubblica

Guerra
Franco-Pru
ssiana

Unificazio
ne

900

Fascismo

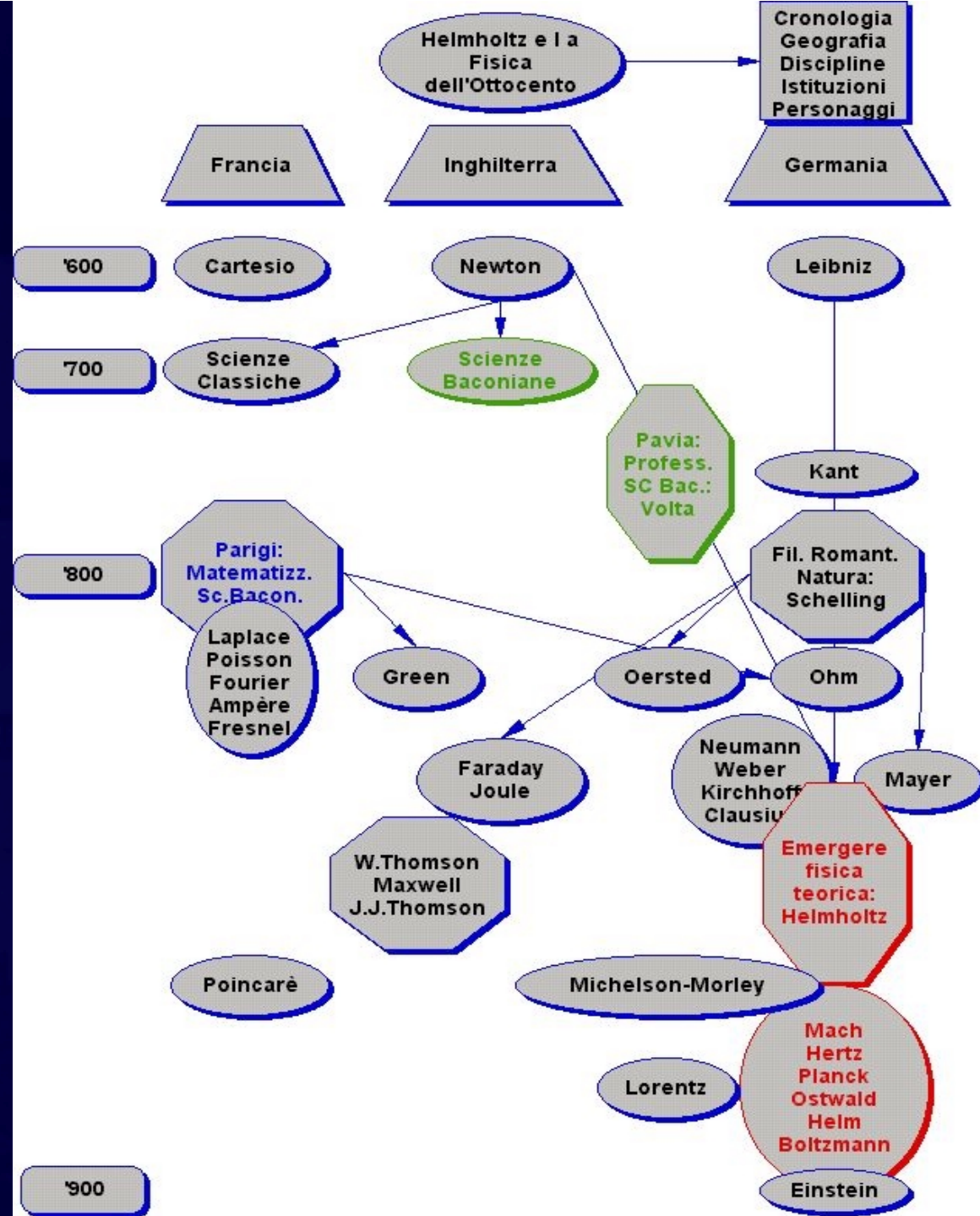
Nazismo



7-800: Fisica sperimentale, matematica e teorica

- *Quantificazione delle scienze baconiane*
- *Matematizzazione delle scienze baconiane*
- *Emergere della fisica teorica*
- *Dibattito sui fondamenti a fine Ottocento*
- *Nuova rivoluzione scientifica: relatività e meccanica quantistica*





Elettromagnetismo Classico

- *La ripartizione classica della Storia dell'E.C. corrisponde a otto fasi:*
- *a) la fase baconiana nel seicento e settecento, culminante con la formulazione della legge di Coulomb nel 1785*
- *b) gli sviluppi della teoria matematica del potenziale*
- *c) la scoperta della pila, le esperienze di Oersted e le leggi di Biot-Savart e di Ohm*
- *d) l'opera di Ampere e lo sviluppo dell'elettrodinamica, cioè il filone newtoniano nell'elettromagnetismo in particolare con Weber in Germania*
- *e) lo sviluppo delle idee di Faraday e Maxwell in Inghilterra e della teoria dell'azione a contatto*



Elettromagnetismo Classico

- *f) il dibattito nella seconda metà dell'ottocento tra le concezioni inglese e tedesca dell'azione per contatto e dell'azione a distanza*
- *g) la soluzione del dibattito con la sintesi di Lorentz*
- *h) lo sviluppo della teoria della relatività a partire dalla teoria dell'elettrone di Lorentz.*



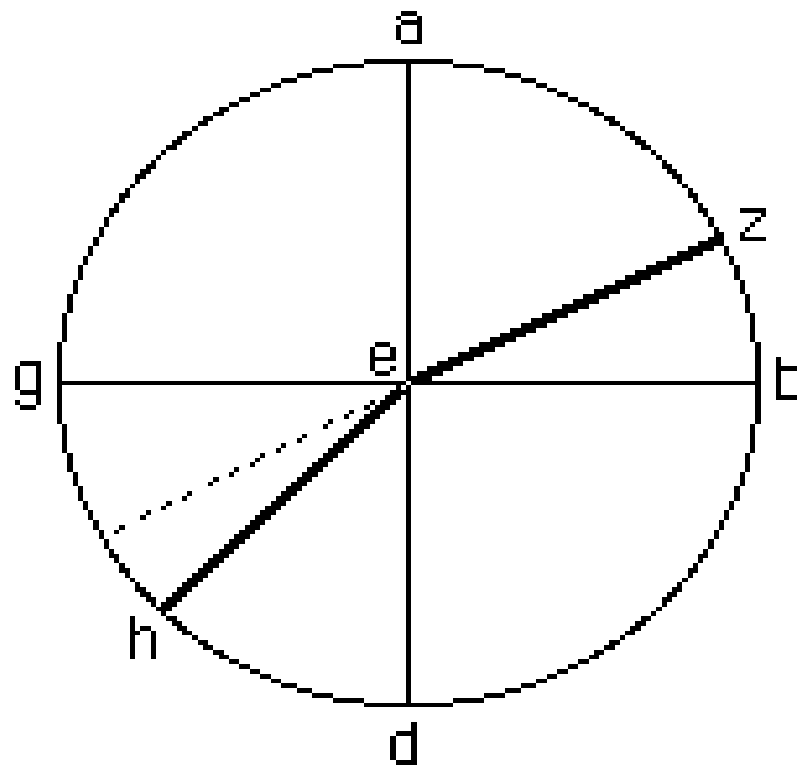
Elettromagnetismo Classico

SBAGLIATE IN GENERALE (vere solo in statica)	SEMPRE VERE
$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ (Legge di Coulomb)	$F = q(E + v \times B)$ (Forza di Lorentz)
$\nabla \times E = 0$ $E = -\nabla\phi$ $E(1) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho(2)r_{12}}{r_{12}^2} dV_2$ Nei conduttori: $E = 0, \phi = \text{costante}, Q = CV$	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (Legge di Gauss)
$c^2 \nabla \times B = \frac{j}{\epsilon_0}$ $B(1) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \int \frac{j(2) \times r_{12}}{r_{12}^2} dV_2$	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ (Legge di Faraday)
$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$ (Equazione di Poisson)	$\nabla \cdot B = 0$ (Non esistono cariche magnetiche)
$\nabla^2 A = -\frac{j}{\epsilon_0 c^2}$ con $\nabla \cdot A = 0$	$B = \nabla \times A$ $\nabla^2 A = -\frac{j}{\epsilon_0 c^2}$ $c^2 \nabla \cdot A + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$
$\phi(1) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(2)}{r_{12}} dV_2$ $A(1) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \int \frac{j(2)}{r_{12}} dV_2$	$c^2 \nabla \times B = \frac{j}{\epsilon_0} + \frac{\partial E}{\partial t}$
$U = \frac{1}{2} \int \rho \phi dV + \frac{1}{2} \int j \cdot A dV$	$\phi(1, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(2, t')}{r_{12}} dV_2$ $A(1, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \int \frac{j(2, t')}{r_{12}} dV_2$ con $t' = t - \frac{r_{12}}{c}$
$U = \int \left(\frac{\epsilon_0}{2} E \cdot E + \frac{\mu_0}{2} B \cdot B \right) dV$	

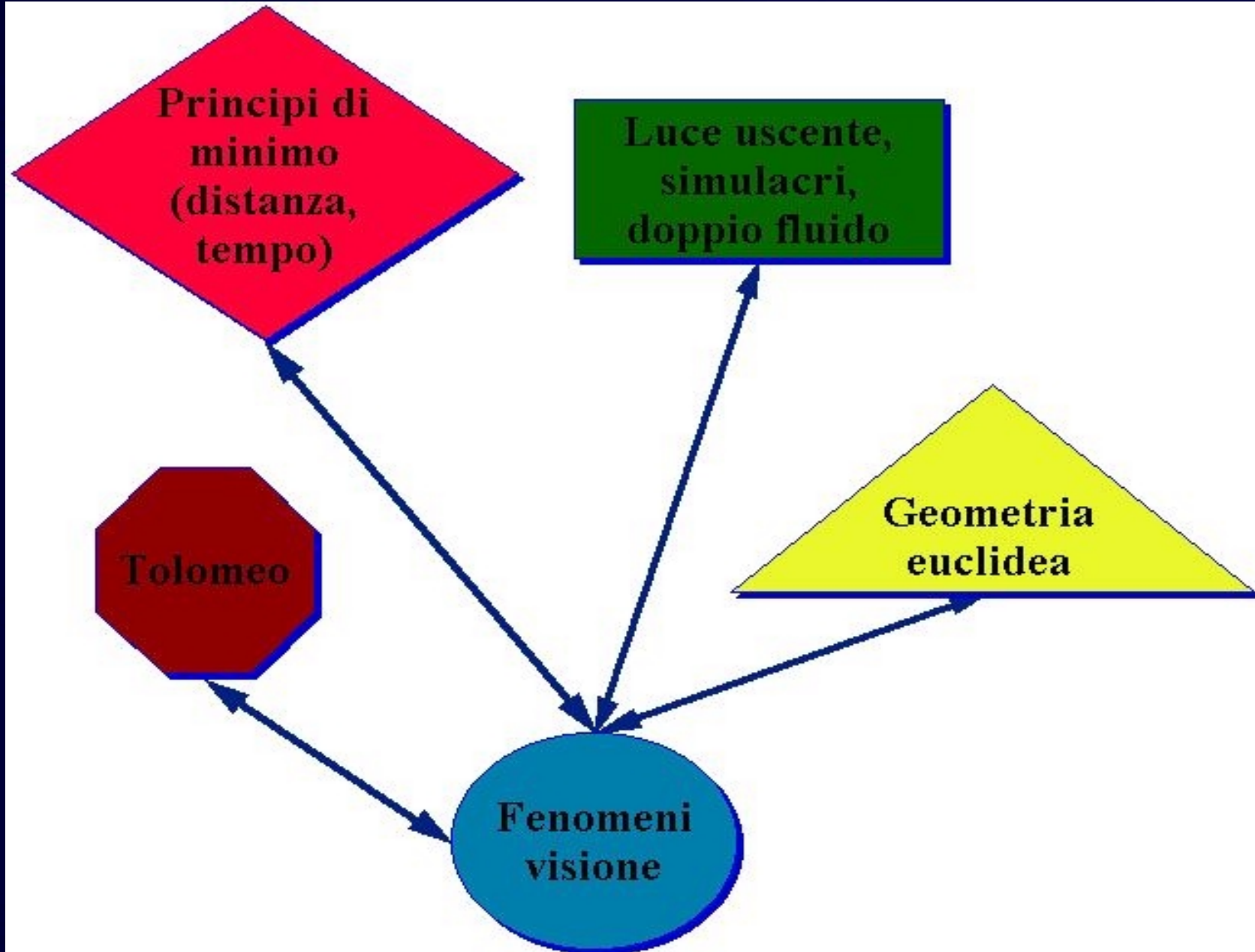
le equazioni segnate con la freccia (-) sono le equazioni di Maxwell.



La rifrazione



I Greci e la visione

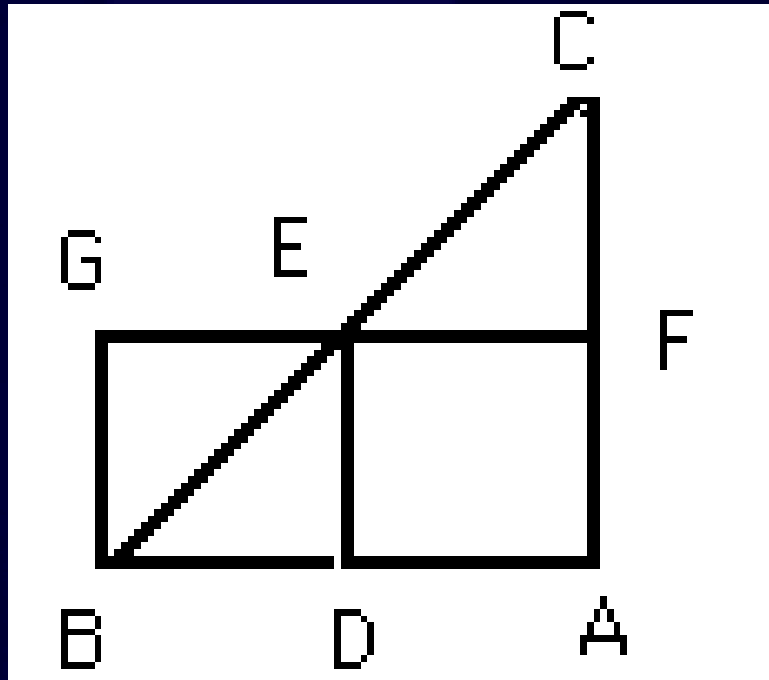


LA RIFRAZIONE



Il teorema della media

- $S = V_m * t = V_f/2 * t$



- ove S = distanza percorsa, V_f = velocità finale, t = intervallo di tempo in cui ha luogo un'accelerazione uniforme a partire dalla quiete, V_m = velocità media.



Origins: Oresme

- **Oresme:** “latitude referring to the **intensity** of a quality or motion and longitude to its **extension** either in the qualified body or mobile or in time”; “Oresme also differed from his Oxford predecessors in that his primary measure of qualities and motions became not intensity, pure and simple, or velocity, pure and simple, but the so-called “**quantity of quality**” or “quantity of motion,” where the quantity of a quality or motion was **equal to its intensity times its extension**”

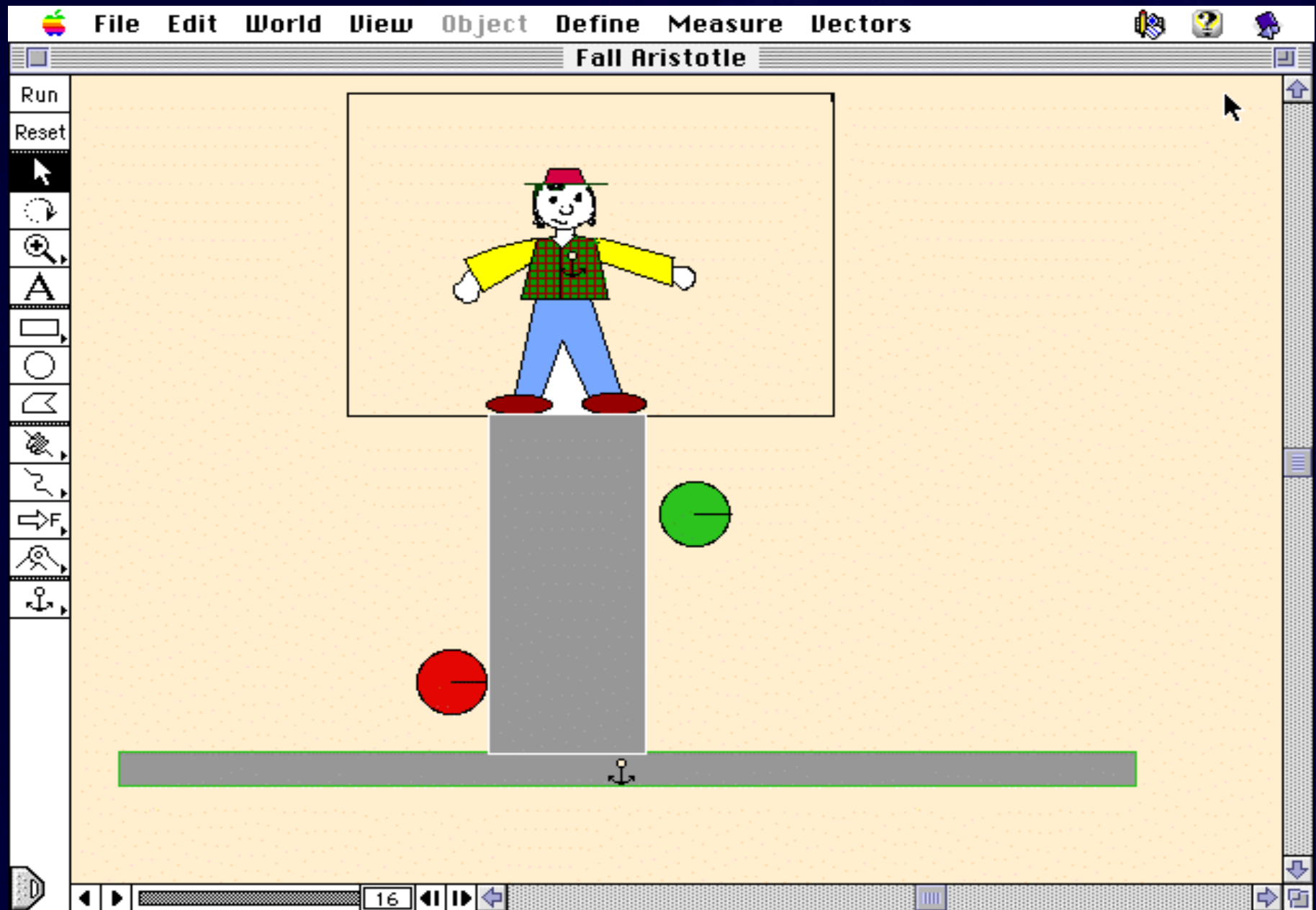


Origins: Oresme

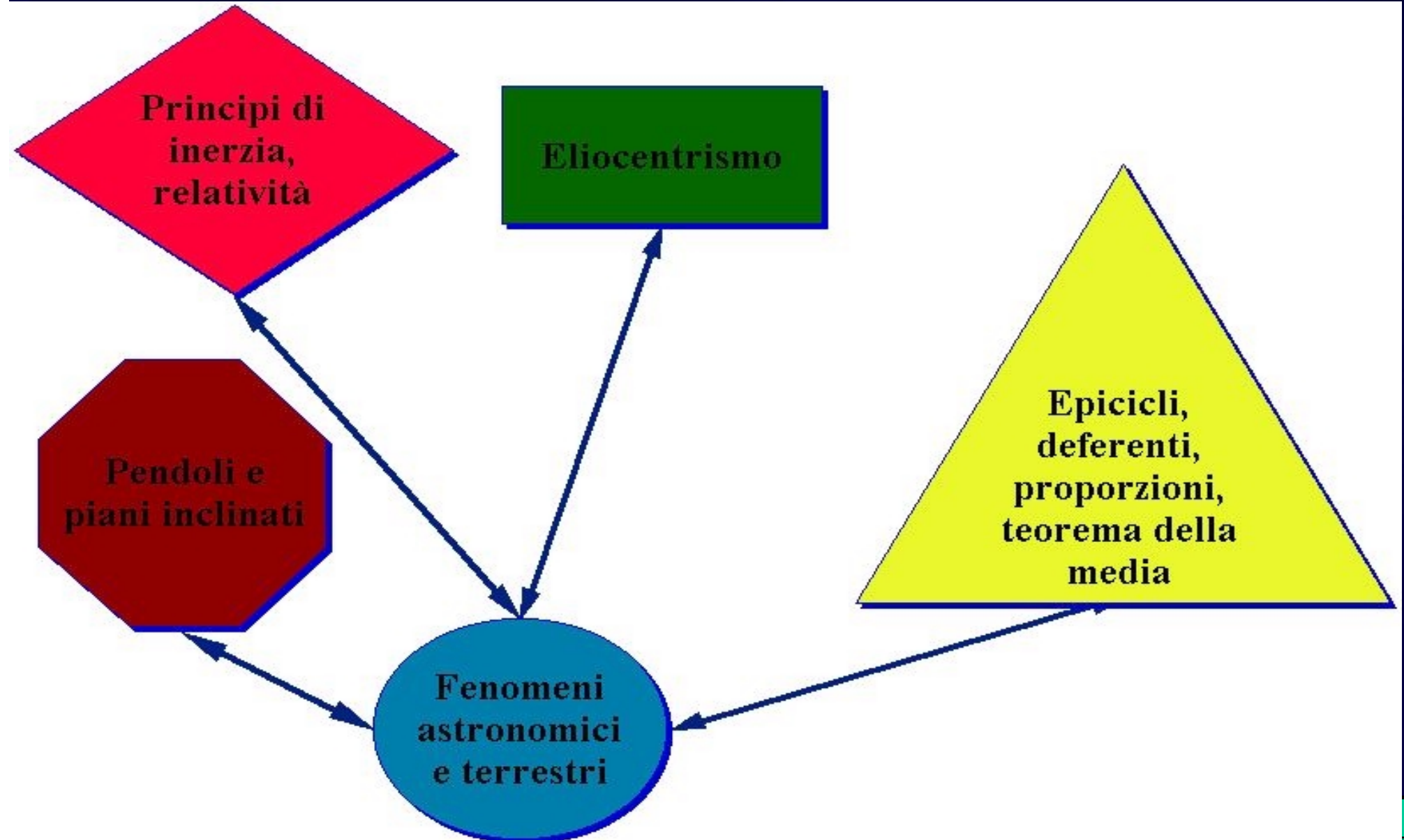
- “To consider such a **quantity of quality** or motion was an important step away from the ideas of the Oxford authors, for whom the product of an intensity times an extension had no real **ontological significance**; In the decades after the appearance of the works of Heytesbury Swineshead, and Oresme, discussions of the **intension**, remission, latitudes, and degrees of forms were quite common, and many rather elementary handbooks of the basic concepts of their works were compiled”



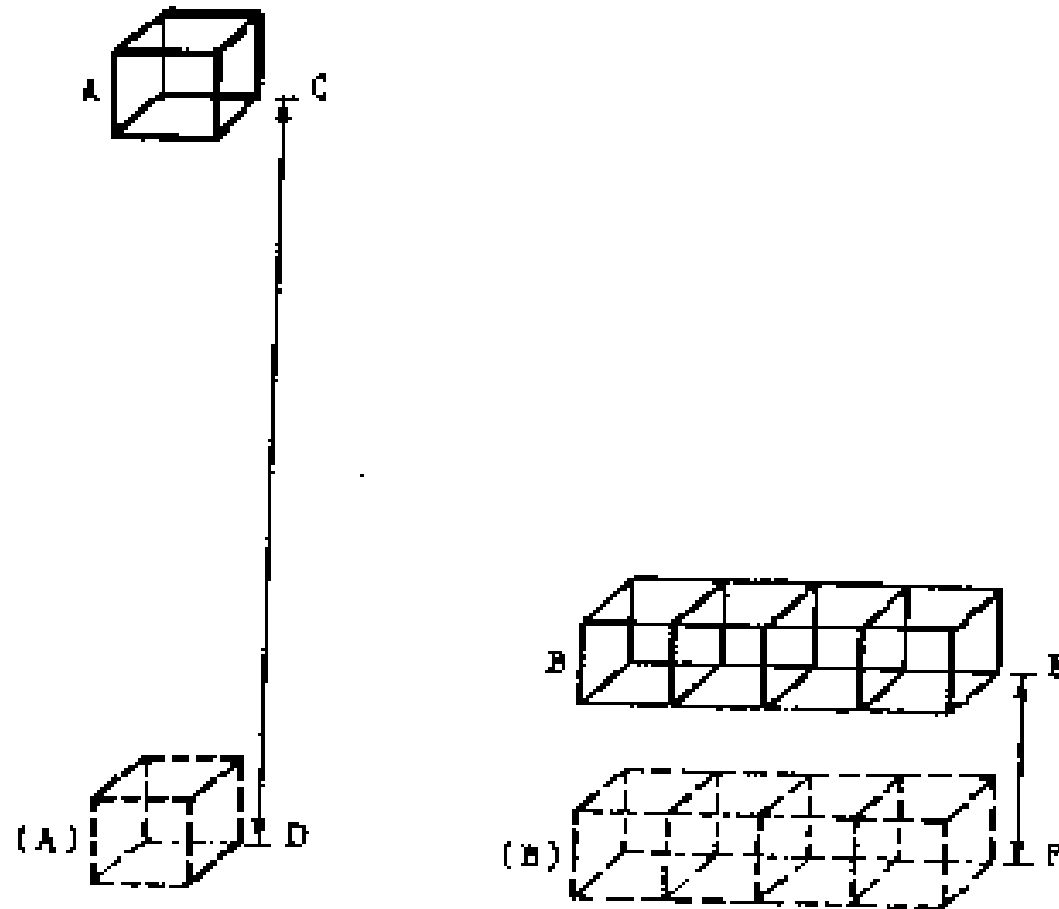
La caduta dei gravi



Copernico, Galileo



La conservazione della forza viva



Esempio di Leibniz



Origins: Leibniz

- “Per dare un saggio delle mie concezioni mi è sufficiente spiegare che la nozione di **forza** o **virtù**, che i Tedeschi chiamano *Kraft* e i Francesi *force*, e per esporre la quale io ho elaborato una scienza particolare della dinamica, chiarisce di molto la comprensione del concetto di sostanza. In effetti la **forza differisce** dal concetto di mera **potenza** così familiare alla Scolastica in quanto questa potenzialità o facoltà non è altro che una possibilità pronta ad agire, la quale necessita,



Origins: Leibniz

- però, di un'eccitazione o di uno stimolo esterni per poter passare all'atto. Ma la **forza attiva** contiene un certo atto o entelechia e si trova a **mezza strada tra la facoltà dell'agire e l'azione stessa**; essa implica lo **sforzo**, e così passa di per se stessa all'operazione; nè ha bisogno di alcun ausilio ma semplicemente della rimozione dell'impedimento”



Rivoluzione nella filosofia della natura



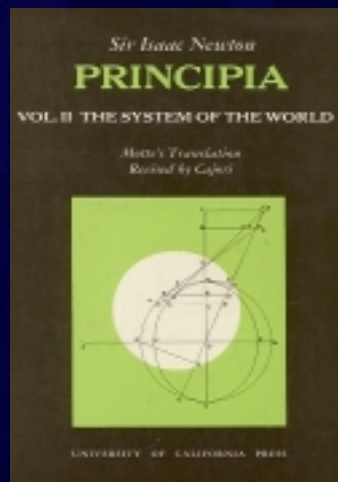
Descartes



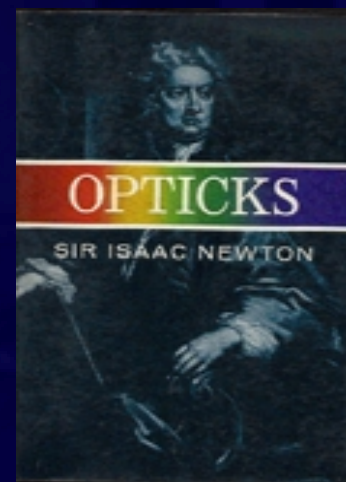
Newton



Leibniz



1687



1704





inesistenza del vuoto

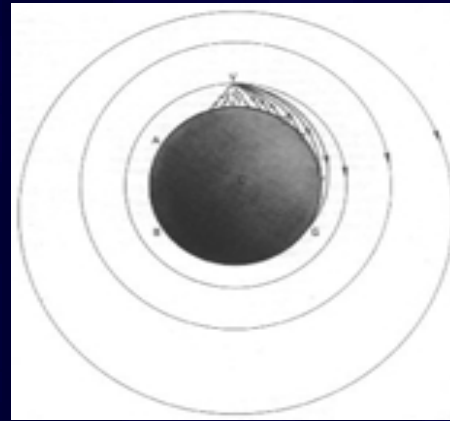


passività della materia

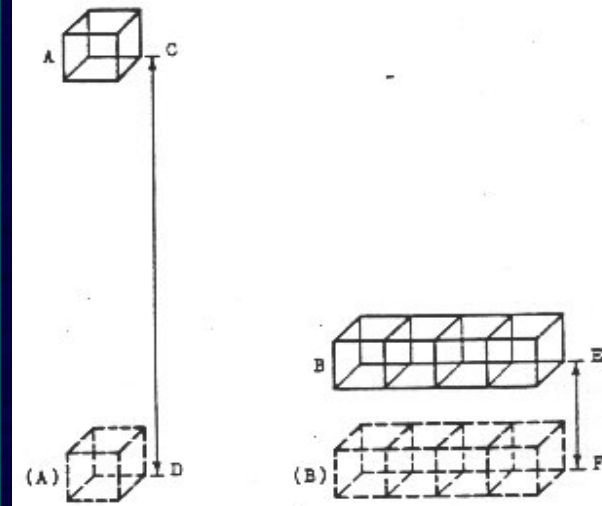
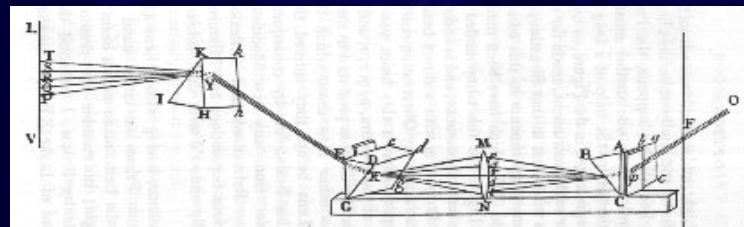
azione per contatto



PRINCIPIA: esistenza del vuoto e delle forze a distanza



OPTICKS: introduzione di una serie di "eteri"

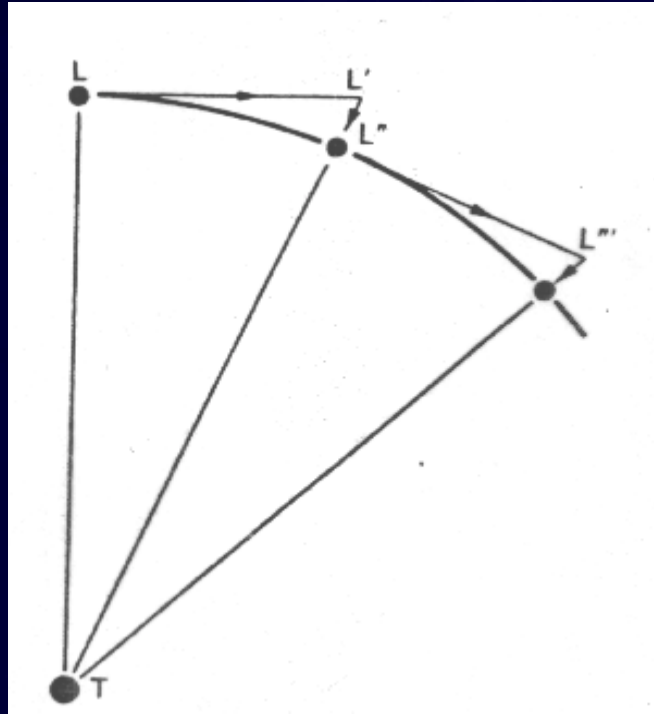


attività della materia

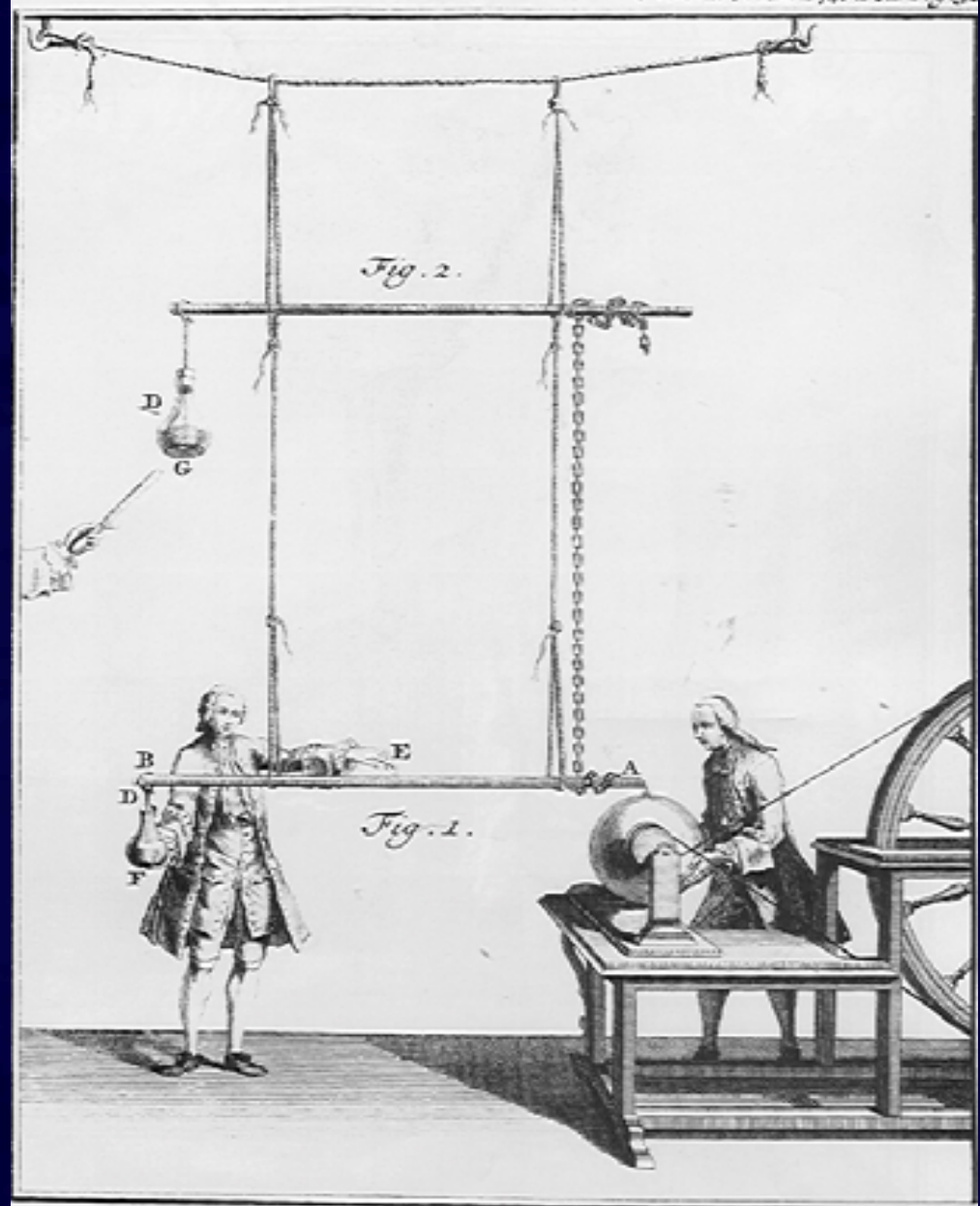
conservazione della "forza viva"



Newton: forze insite e impresse



Sperimentazioni baconiane

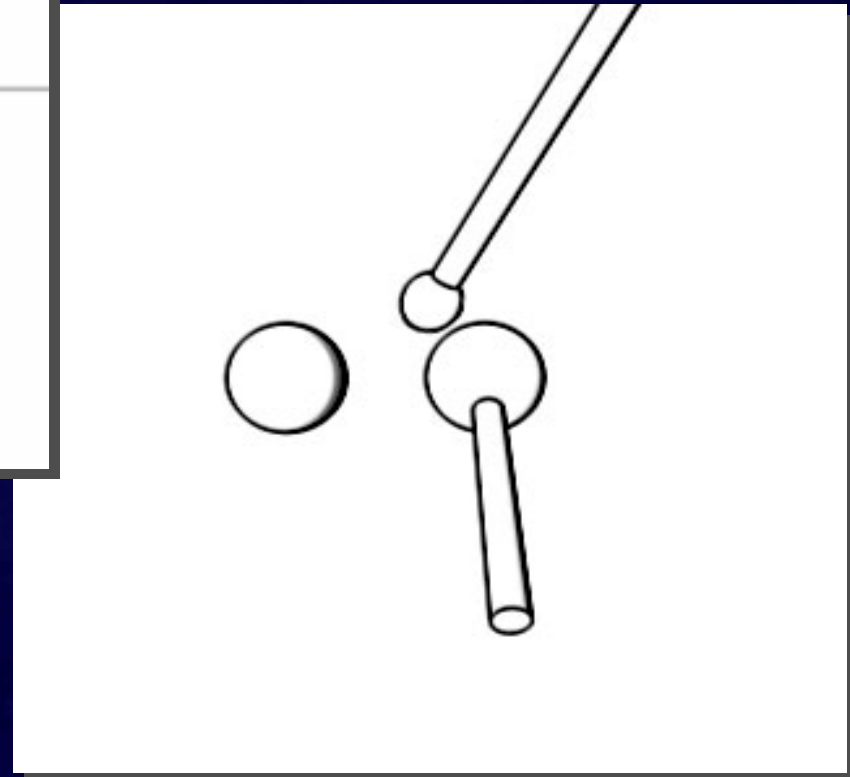
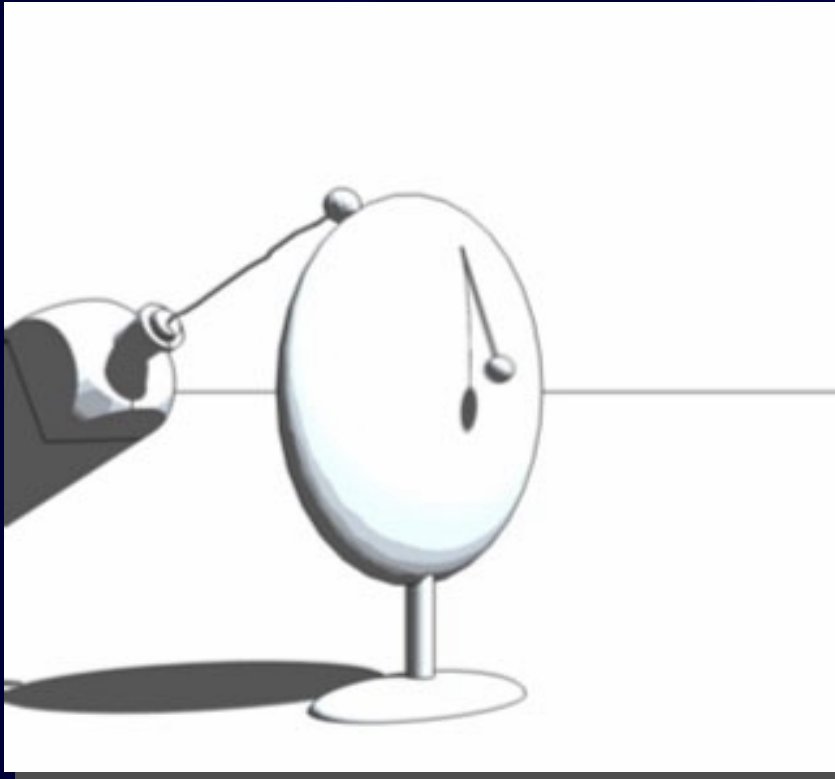


An older epistemological context

- **Scholastic epistemology: sensible versus occult qualities**
- **Quantification of sensible qualities through intensive and extensive factors**
- **Galileian epistemology applied in Classical Sciences: primary (quantifiable) and secondary (non quantifiable) qualities. Problem: often primary are “occult”**
- **Baconian Sciences: still sensible versus occult. Problem: first make it sensible**



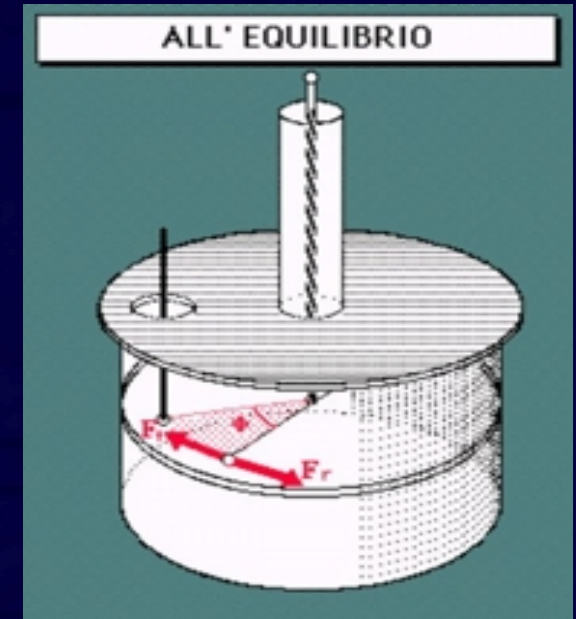
Due interpretazioni della repulsione elettrica



Coulomb e Volta



Legge derivante dalla gravitazione newtoniana: azioni a distanza nello spazio vuoto



Azioni “ in-tensive ” di probabile derivazione leibniziana



1783: Analogies, Heat

CALORE

Il calore

agisce su

Aria in un tubo

e ne accresce

Forza espansiva (Pressione)

che fa uscire

**L'aria
attraverso
un'apertura**

ELETTRICITA'

L'atmosfera elettrica di A

agisce su

Fluido elettrico in B

e ne accresce

Forza tensiva (Tensione)

che fa uscire

**Il fluido
attraverso
un altro conduttore**



Factorisation

PNEUMATICA

**Una data
Quantità di aria**

si distribuisce tra

**due recipienti
comunicanti**

per raggiungere
l'equilibrio con

Pressione uguale

in ragione diretta
alle

Capacità

in ragione inversa
alle

**Variazioni
di pressione**

TERMOLOGIA

**Una data
Quantità di calore**

si distribuisce tra

**due corpi
a contatto**

per raggiungere
l'equilibrio con

Temperatura uguale

in ragione diretta
alle

Capacità

in ragione inversa
alle

**Variazioni
di temperatura**

ELETTRICITA'

**Una data
Quantità di carica**

si distribuisce tra

**due conduttori
a contatto**

per raggiungere
l'equilibrio con

Tensione uguale

in ragione diretta
alle

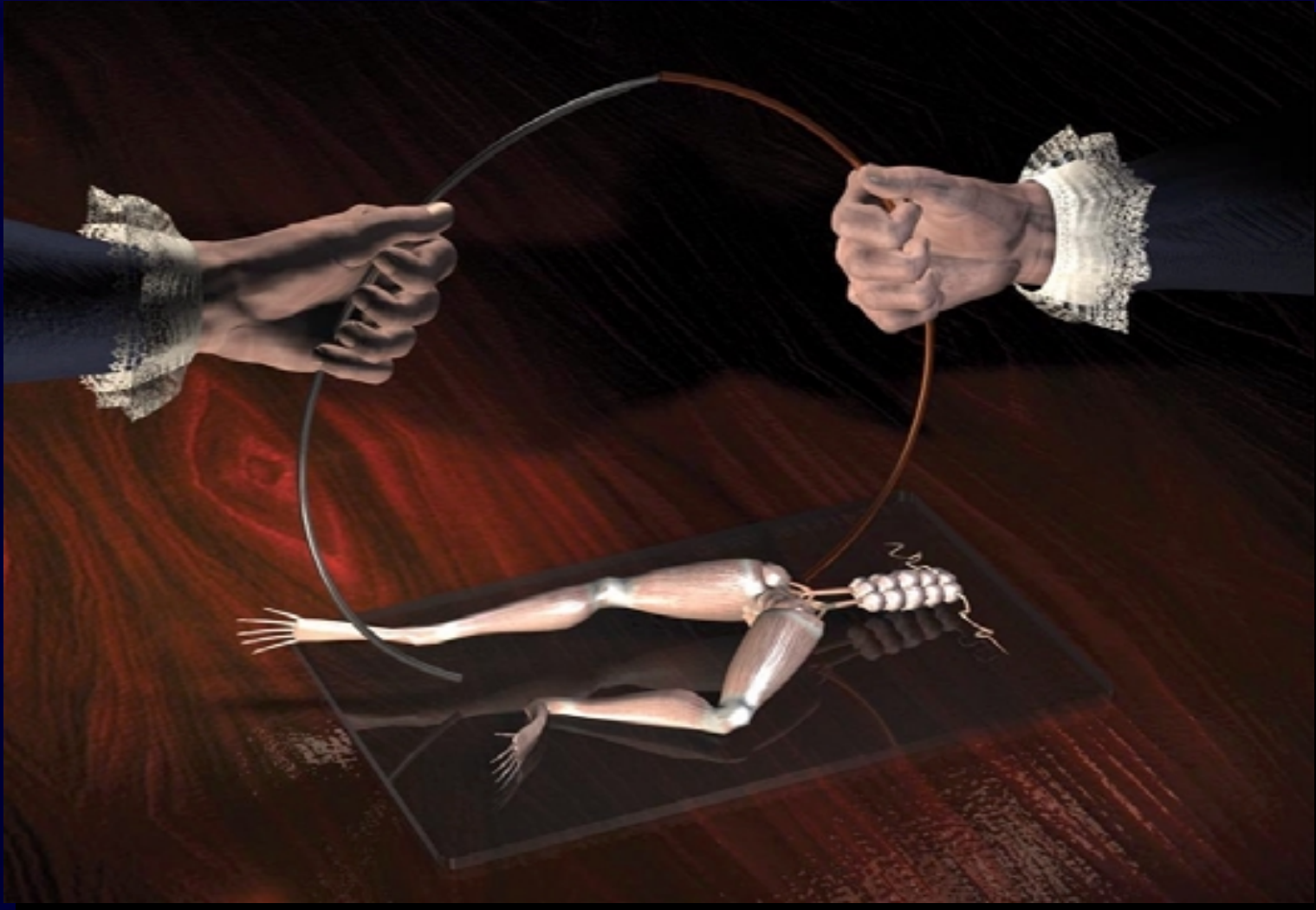
Capacità

in ragione inversa
alle

**Variazioni
di tensione**



Due interpretazioni delle contrazioni delle rane

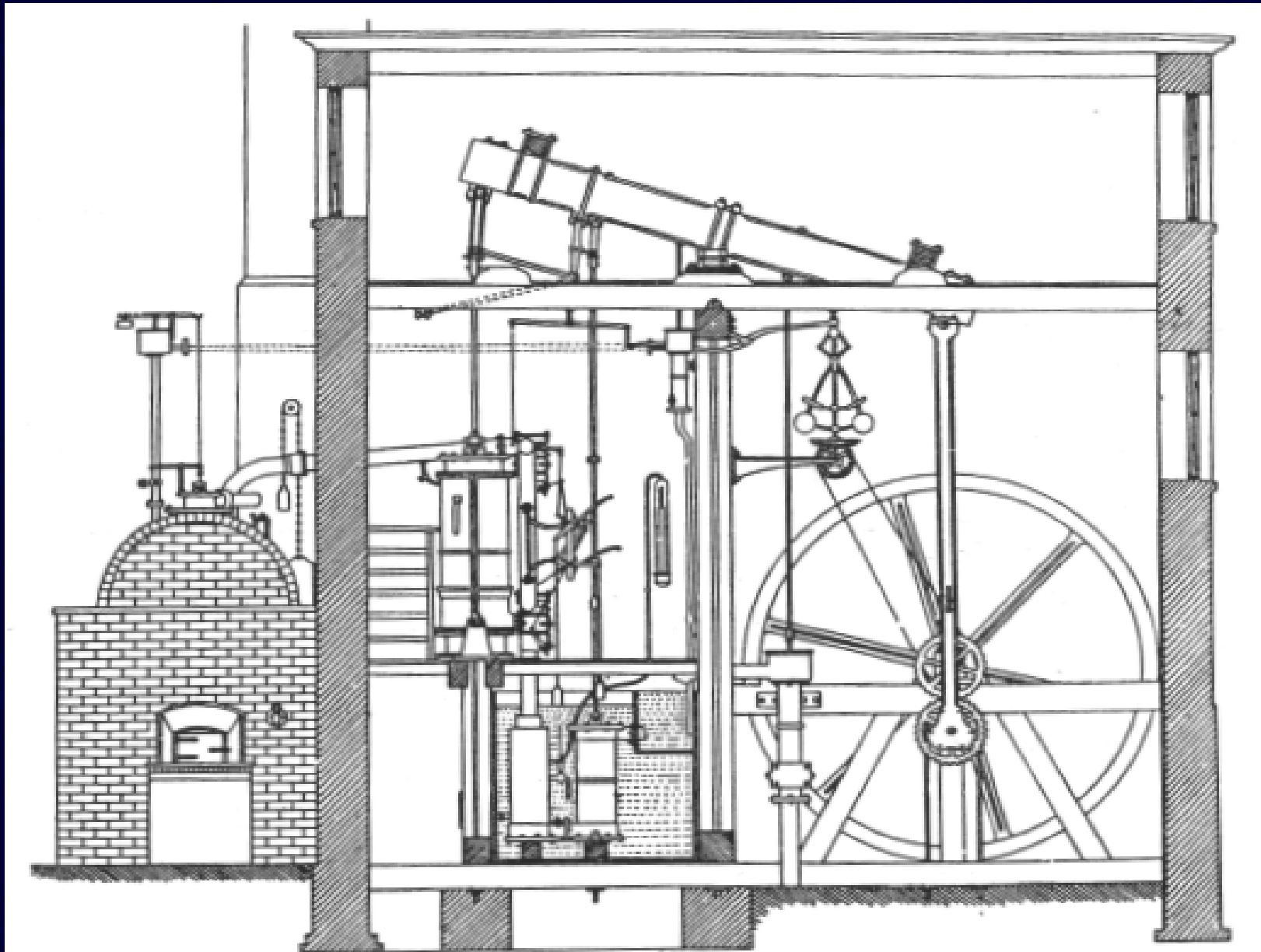


Volta's Theoretical Legacy

- **Ohm** explicitly referred to Volta and his law is based on the product of an intensive (V) and extensive (1/R) quantity: Ohm's law: $I=V/R$
- **Carnot** utilizes an approach similar to Volta's one: the reestablishment of the equilibrium of the fluid (fire) through the tendency of an intensity factor (temperature)



Macchina di Watt 1784



Sadi Carnot

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
" "
SUR LES MACHINES
PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.

PAR S. CARNOT,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N°. 55.

1824.

- Una teoria dei fenomeni termici fu elaborata in Francia, il paese che ai primi dell'Ottocento era all'avanguardia nella ricerca scientifica. L'autore era un giovane ingegnere con un cognome famoso, Sadi Carnot, figlio di Lazare, famoso rivoluzionario e pioniere della meccanica applicata alle macchine.



Il ripristino dell'equilibrio del calore

- *Il calorico quando portato ad una certa temperatura tende a ritornare alla temperatura originaria*
- *La produzione di lavoro da parte di un motore termico è sempre associata ad un flusso di calorico da un corpo a temperatura più alta ad un corpo a temperatura più bassa. Necessario DT*
- *Analogie con il ristabilimento dell'equilibrio elettrico di Volta.*

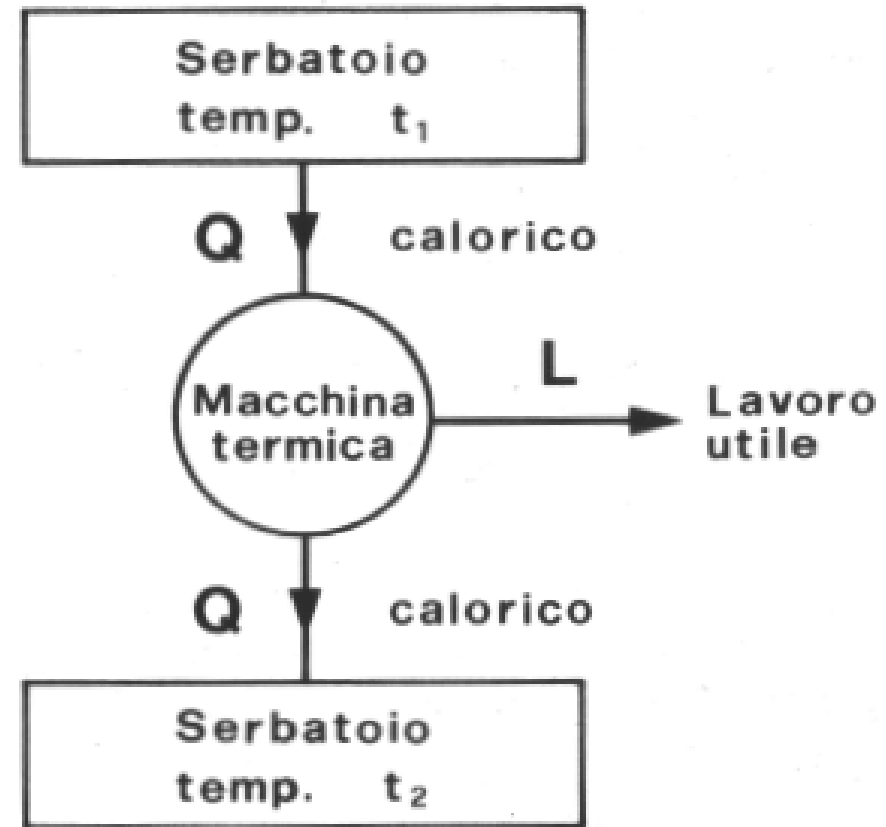
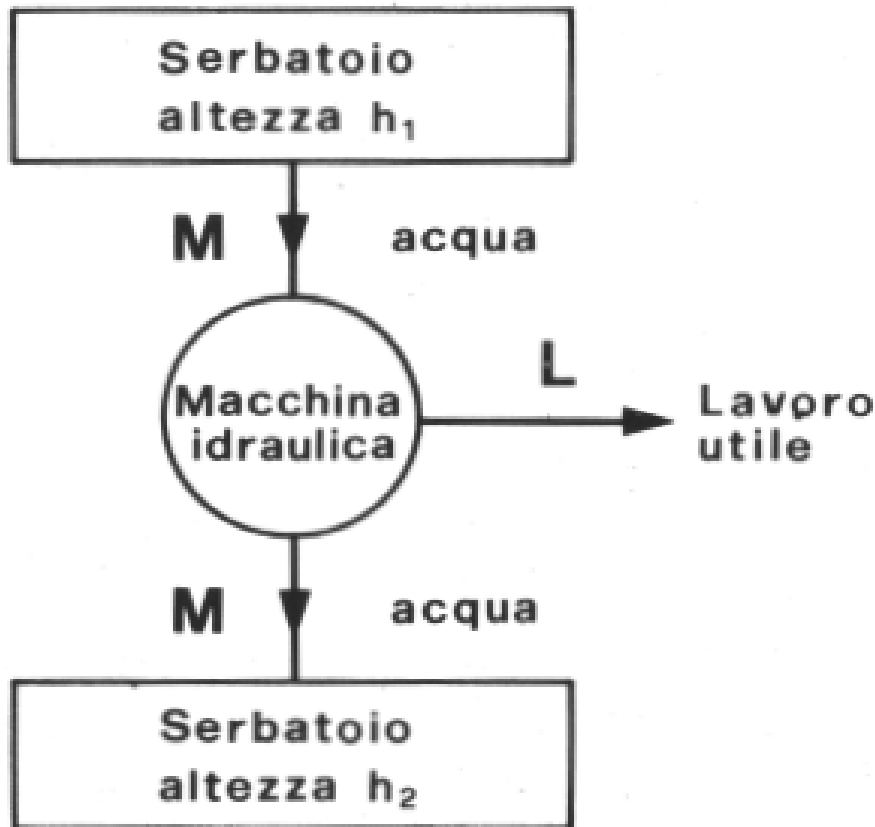


Se c'è ΔT si può ottenere lavoro; necessità ΔT per ottenere lavoro

- Carnot partì dalla teoria del calorico. Si basò sull'analogia con il lavoro che si poteva ottenere da un dispositivo idraulico: quantità d'acqua caduta moltiplicata per l'altezza di caduta. Facendo corrispondere il calorico all'acqua e la differenza di altezza alla differenza di temperatura, asserì che il lavoro compiuto nelle macchine termiche era uguale alla quantità di calore trasmesso da una parte all'altra della macchina moltiplicato per la differenza di temperatura tra le due parti della macchina.



Analogia acqua/calorico

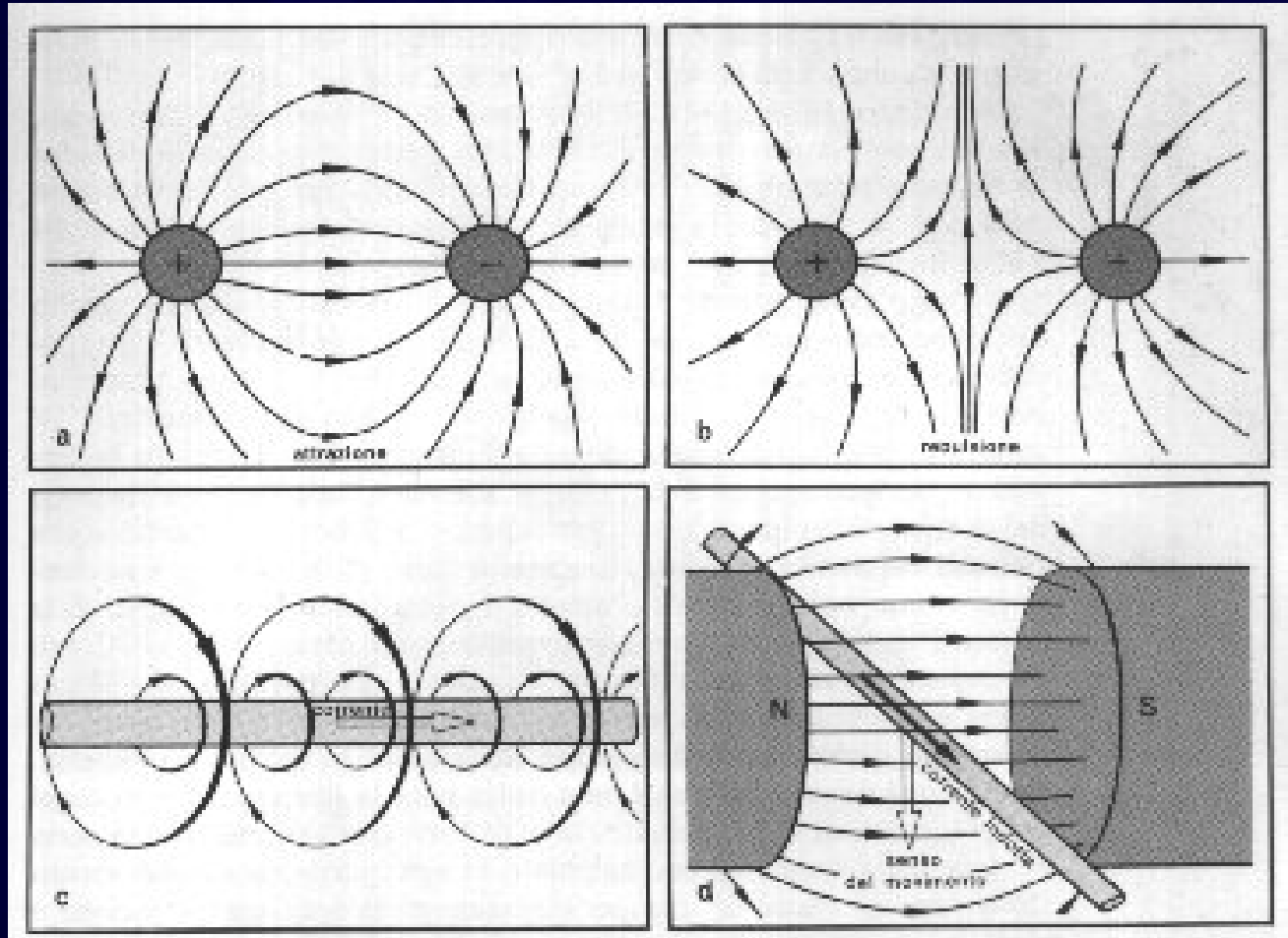


Azione per contatto : calore e teoria ondulatoria della luce

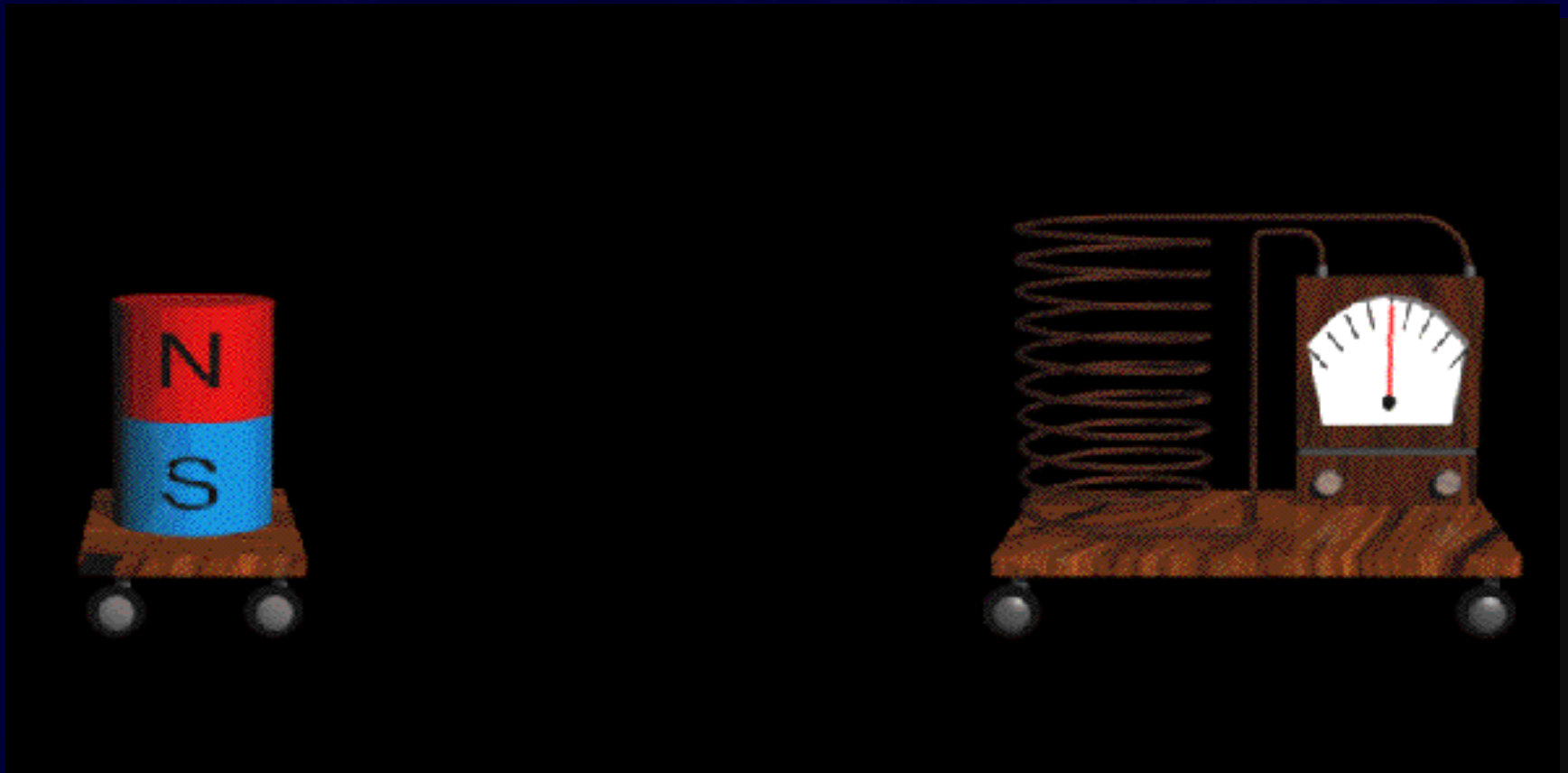
- **Fourier:** si applicano alla termologia le equazioni differenziali alle derivate parziali, il calore non si trasmette a distanza, ma le temperature variano con continuità nello spazio
- **Fresnel:** si sviluppa la teoria ondulatoria della luce, lo spazio si riempie di un'etere luminifero, elastico, come supporto delle onde luminose



Azione per contatto : linee di forza e « stato elettrotonico »



Induzione e relatività



Volta's Theoretical Legacy

- *Volta's concept of (atmo) sphere of activity is echoed in **Faraday**'s electrotonic state, and the concept of vis attractiva in Faraday's lines of force (flux tubes that attract and tend to enlarge). Lines of force, like vis attractiva, can also explain repulsion (attraction versus other bodies)*
- ***Mayer** in 1843 gives the first energy interpretation of the electrophorus*

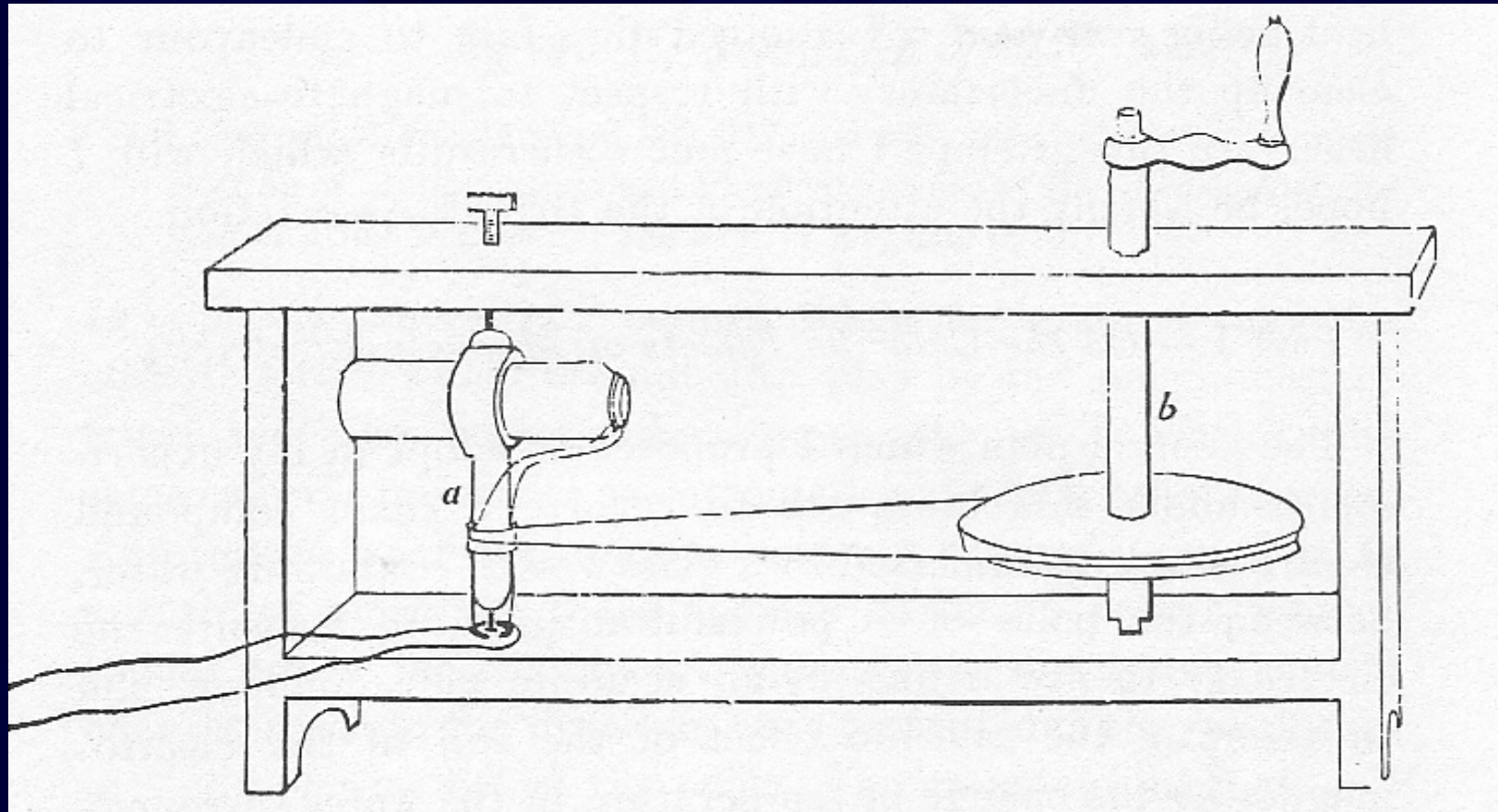


Volta's Theoretical Legacy

- **Helmholtz's** in 1847 gives the first energy interpretation of the contact of metals and of batteries. His struggle to separate the concept of *Spannkraft* (potential energy) from Newtonian *Kraft* echoes Volta's struggle to introduce tension against force
- **Rankine's** 1853 version of energy conservation (factorisation) is based on the product of an intensity factor by an extensive one



L'equivalente lavoro-calore



Über
die Erhaltung der Kraft,
eine physikalische Abhandlung,

vorgetragen in der Sitzung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin
am 23sten Juli 1847

von

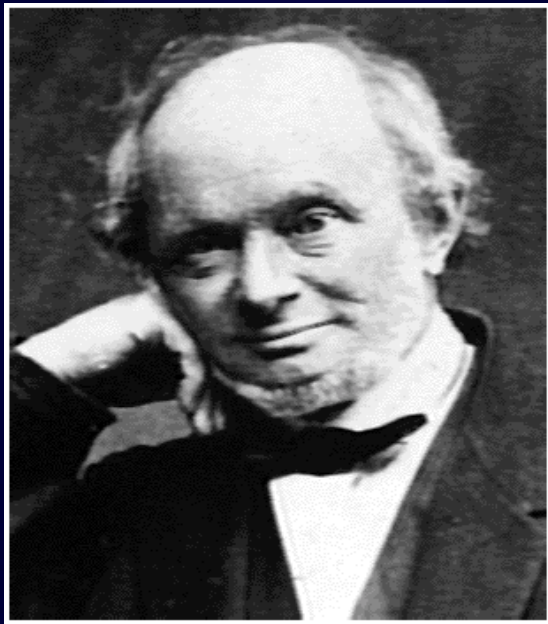
Dr. H. Helmholtz.

Berlin,
Druck und Verlag von G. Reimer,
1847.

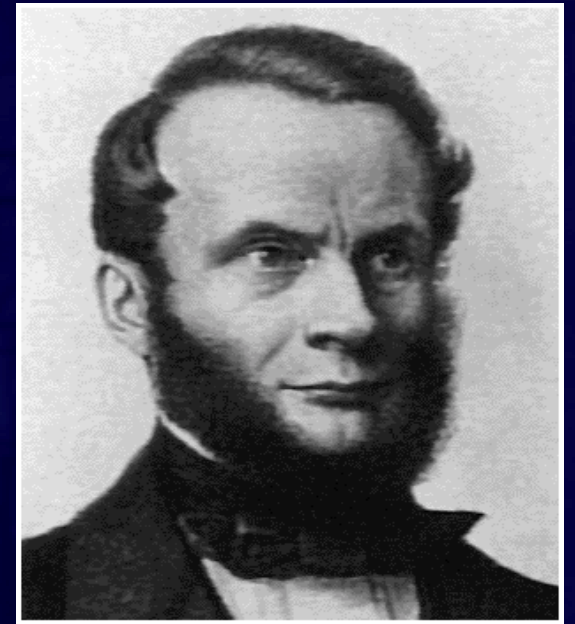
Helmholtz



Azione a distanza nel vuoto, sia gravitazionale sia elettrica



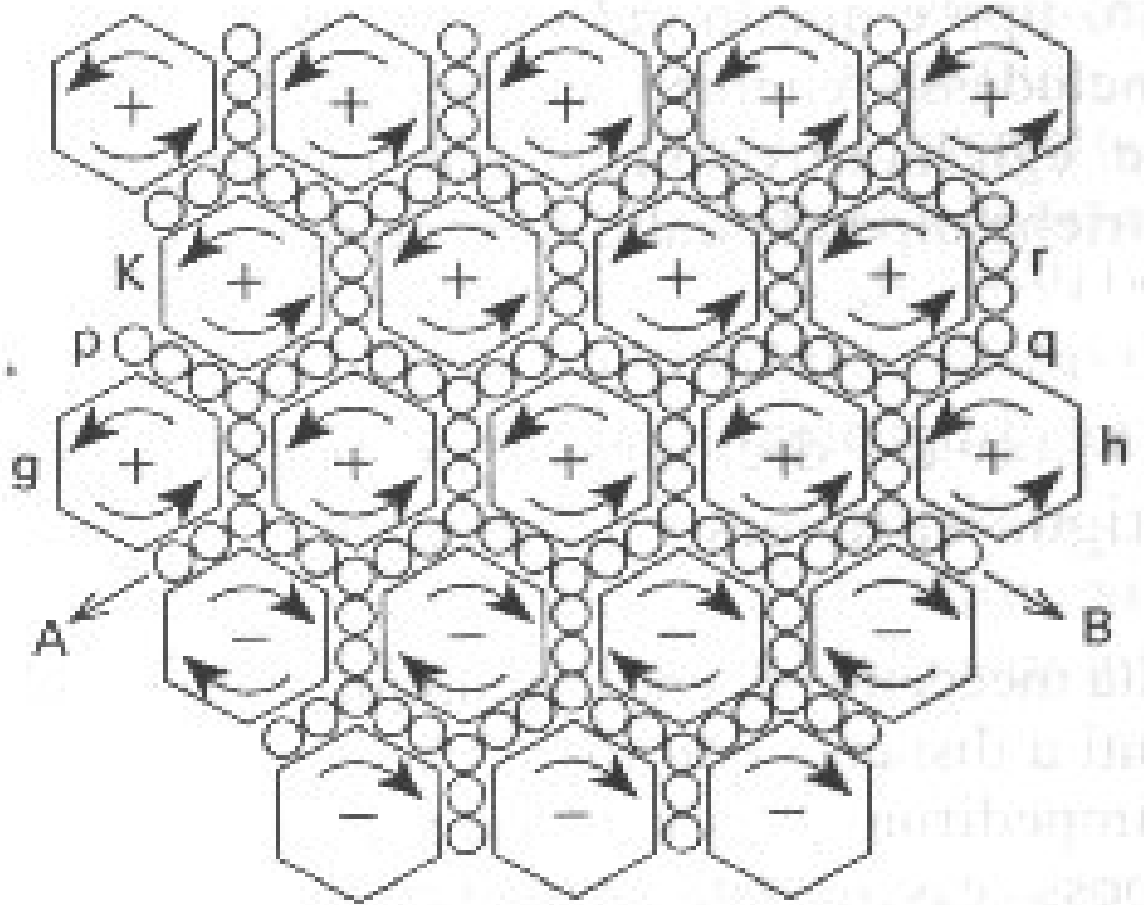
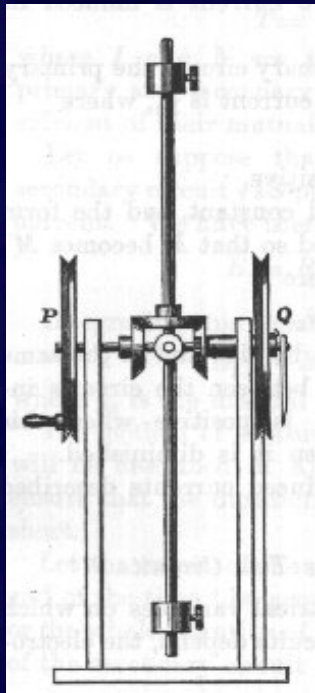
Weber



Clausius



Maxwell



Maxwell: 1873 *Treatise*

866.]

A MEDIUM NECESSARY.

493

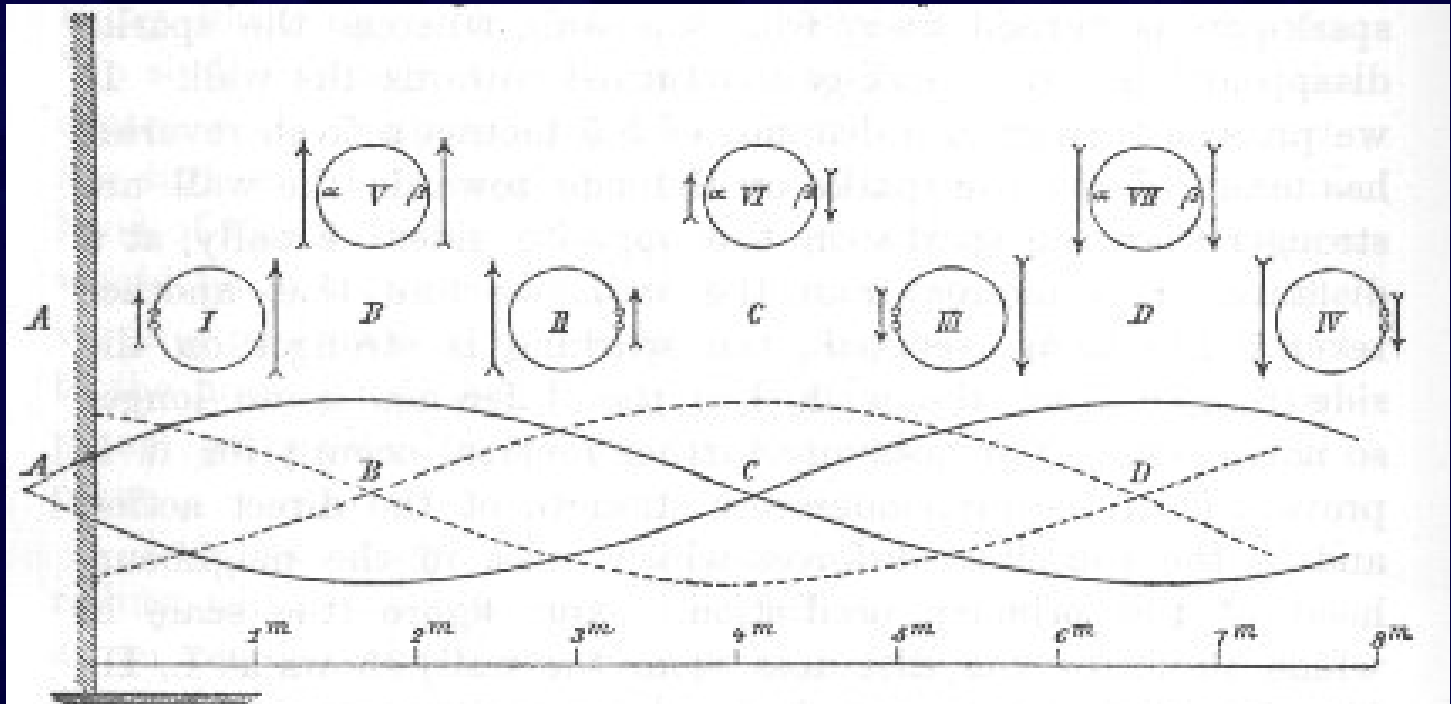
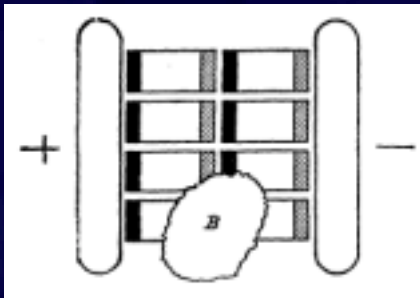
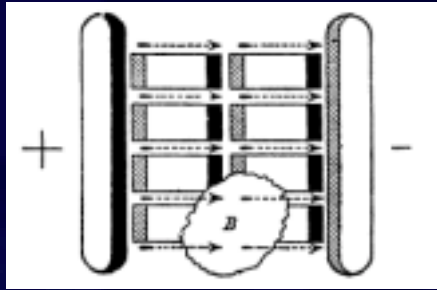
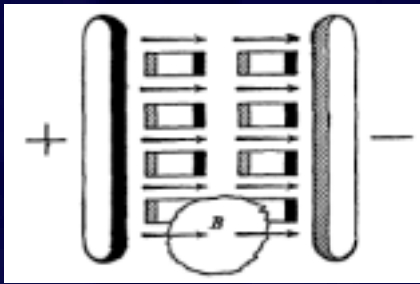
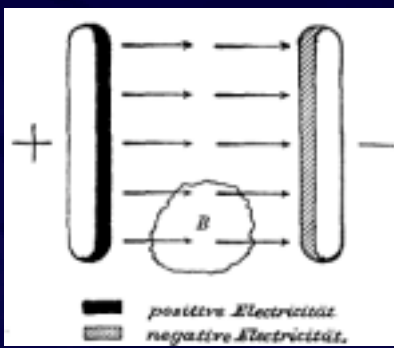
of light. In the theories of Riemann and Betti it would appear that the action is supposed to be propagated in a manner somewhat more similar to that of light.

But in all of these theories the question naturally occurs:— If something is transmitted from one particle to another at a distance, what is its condition after it has left the one particle and before it has reached the other? If this something is the potential energy of the two particles, as in Neumann's theory, how are we to conceive this energy as existing in a point of space, coinciding neither with the one particle nor with the other? In fact, whenever energy is transmitted from one body to another in time, there must be a medium or substance in which the energy exists after it leaves one body and before it reaches the other, for energy, as Torricelli* remarked, 'is a quintessence of so subtile a nature that it cannot be contained in any vessel except the inmost substance of material things.' Hence all these theories lead to the conception of a medium in which the propagation takes place, and if we admit this medium as an hypothesis, I think it ought to occupy a prominent place in our investigations, and that we ought to endeavour to construct a mental representation of all the details of its action, and this has been my constant aim in this treatise.

* *Lezioni Accademiche* (Firenze, 1715), p. 25.



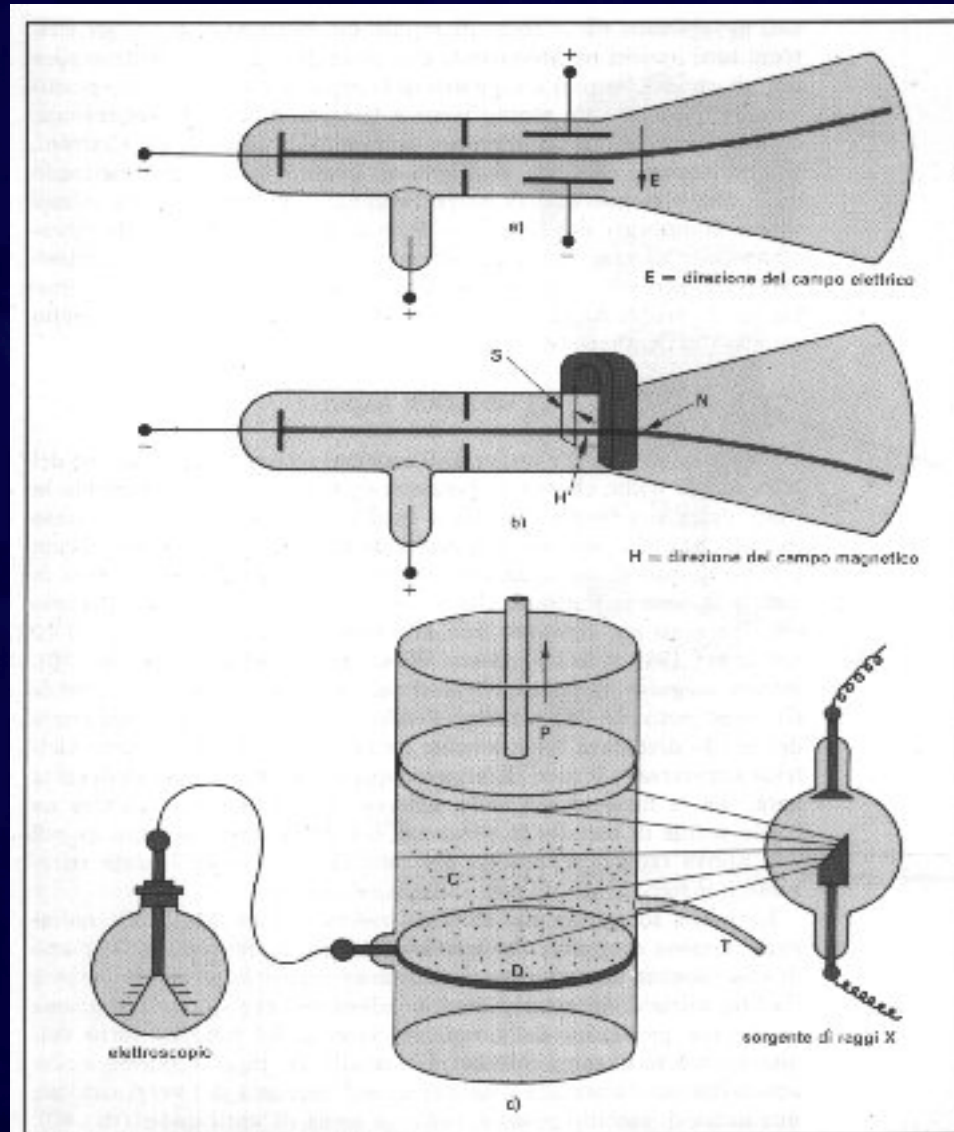
Hertz: 1892



E.Rutherford e J.J.Thomson



La misura della massa dell'elettrone



Tubo di Crookes

Periodo di costruzione:

1893 circa

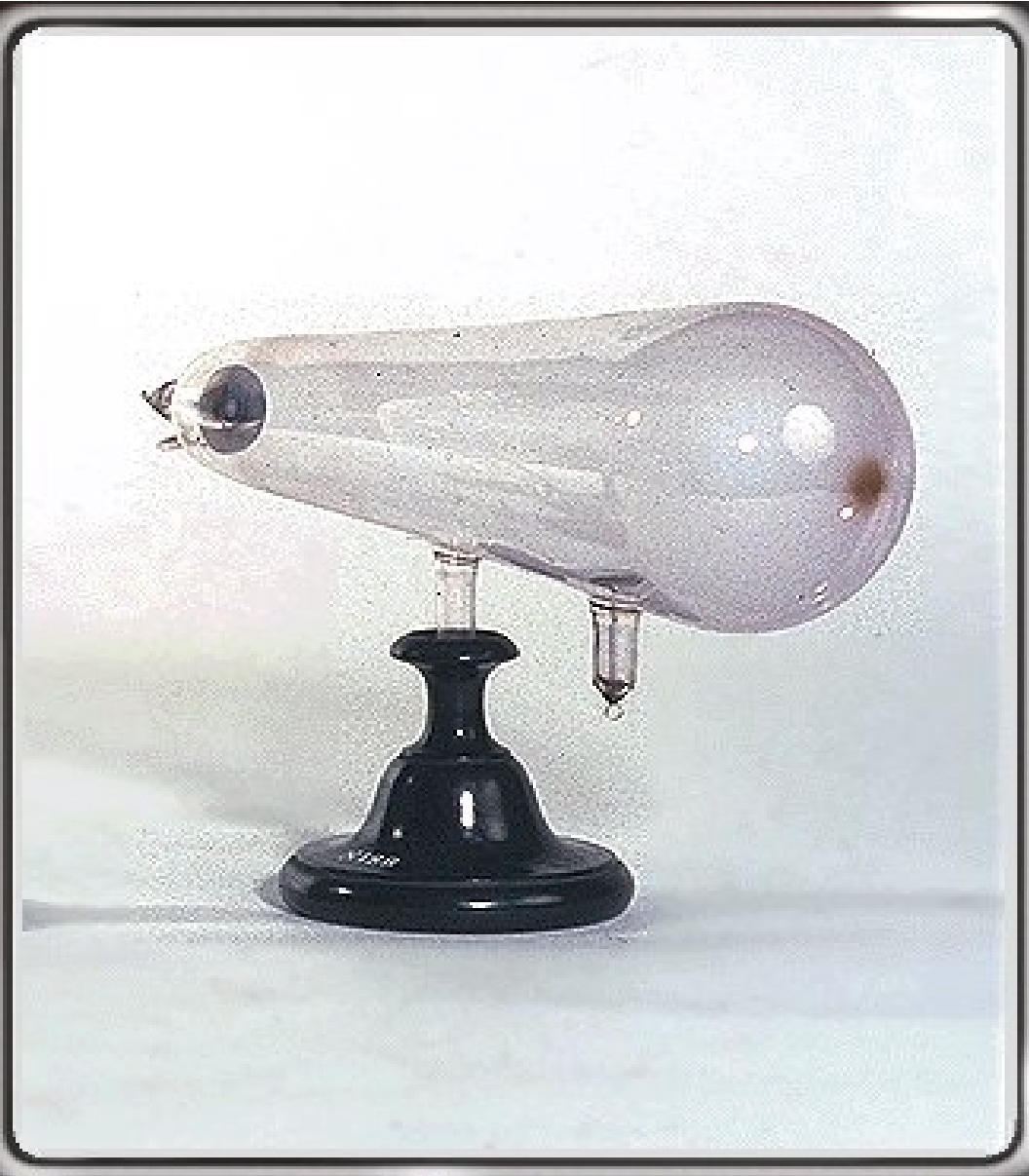
Non firmato

Dimensioni:

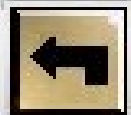
lunghezza max.: 27 cm

altezza max.: 19 cm

N 186



627 di 648 *Alfabetico*



Max von Laue e Wilhelm Roengten

1907



1895



Tubo di Crookes con croce metallica

Periodo di costruzione:
1893 circa

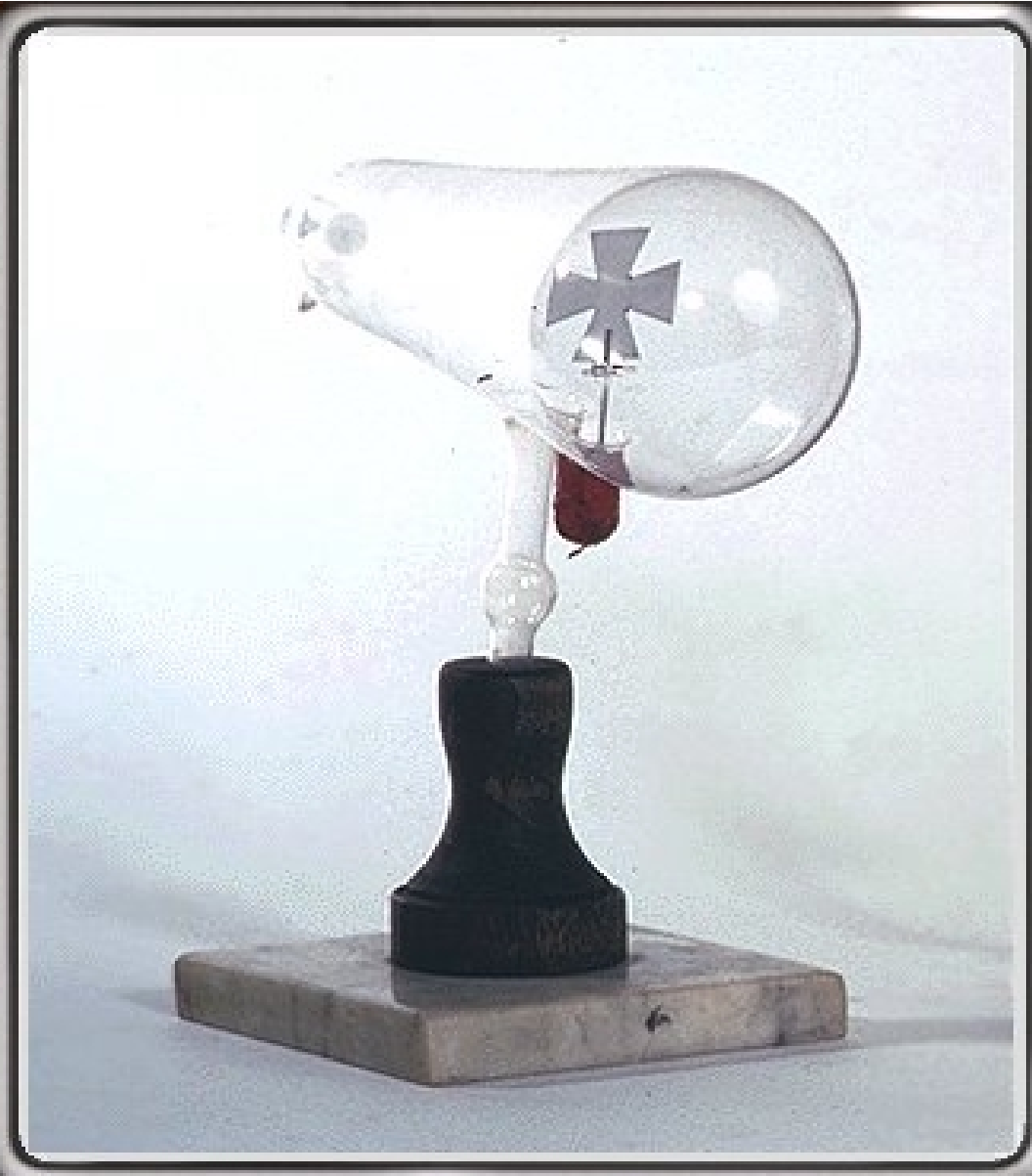
Non firmato

Dimensioni:

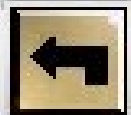
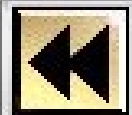
lunghezza max.: 28 cm

altezza max.: 26 cm

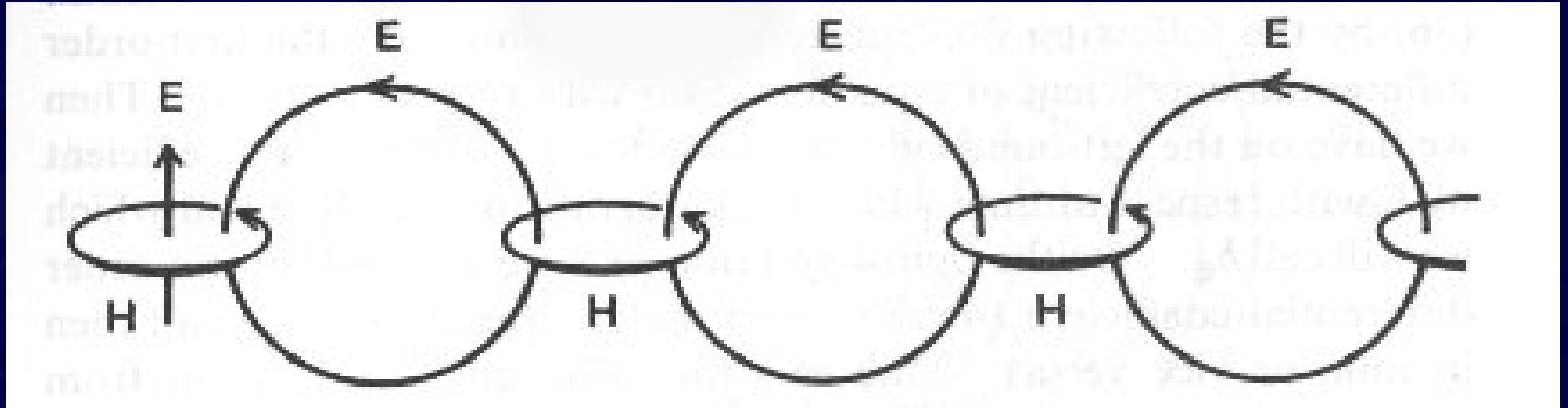
N 188



630 di 648 *Alfabetico*



Lorentz: la Teoria degli Elettroni



$$E + P = D$$



Volta's Theoretical Legacy

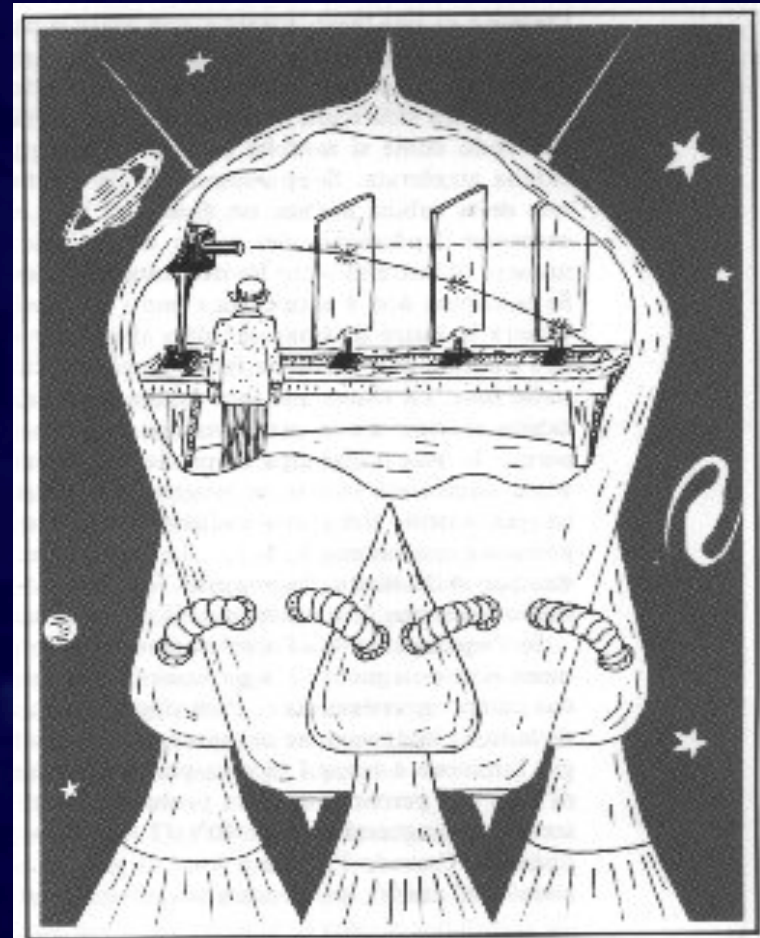
- *Factorisation was a main part of the energetics in the works of **Ostwald, Helm and Duhem***
- ***Sommerfeld** still proposed this distinction in electromagnetism in the 1940's, in his "advanced" textbook.*
- *And so we can close the hermeneutical Voltaic circle!!!*



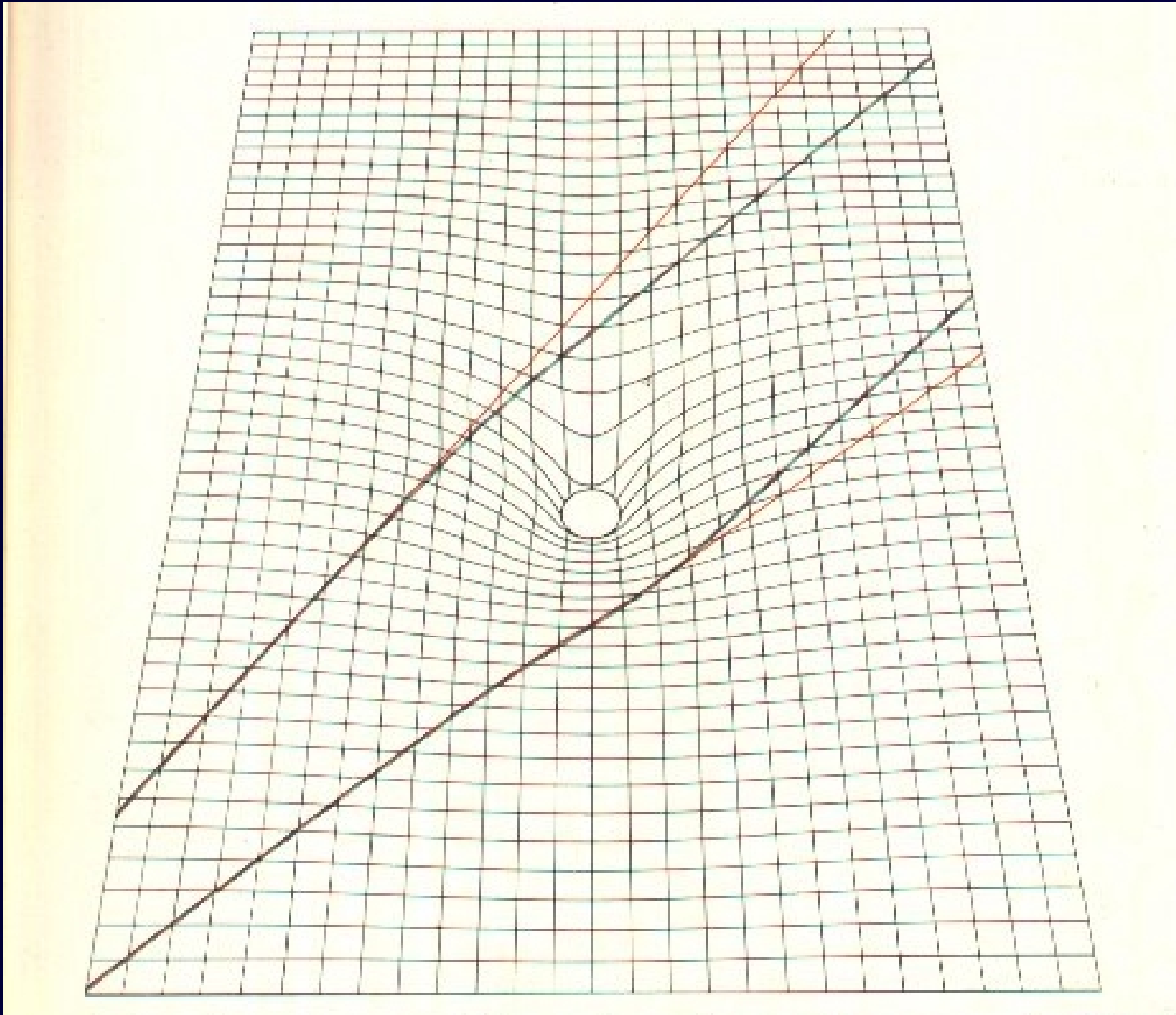
Einstein

$$K_0 - K_1 = (L / V^2) \cdot v^2 / 2$$

$$E = m c^2$$



Lo spazio curvo



Schematicamente

Spazio Vuoto:

- *Coulomb*
- *Weber*
- *Clausius*
- *Lorentz*

Spazio Pieno:

- *(Volta)*
- *(Fourier)*
- *Fresnel*
- *Faraday*
- *Maxwell*
- *Hertz*
- *Einstein*

