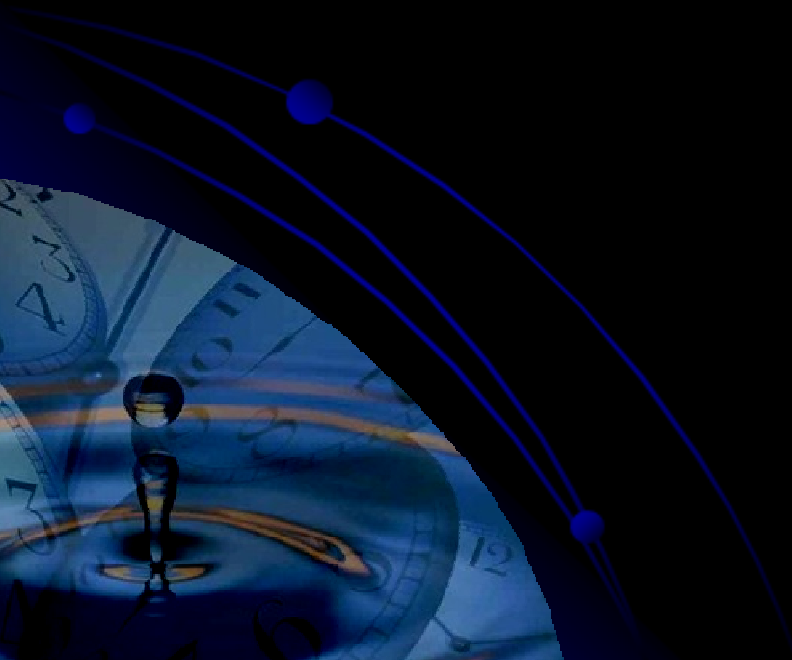


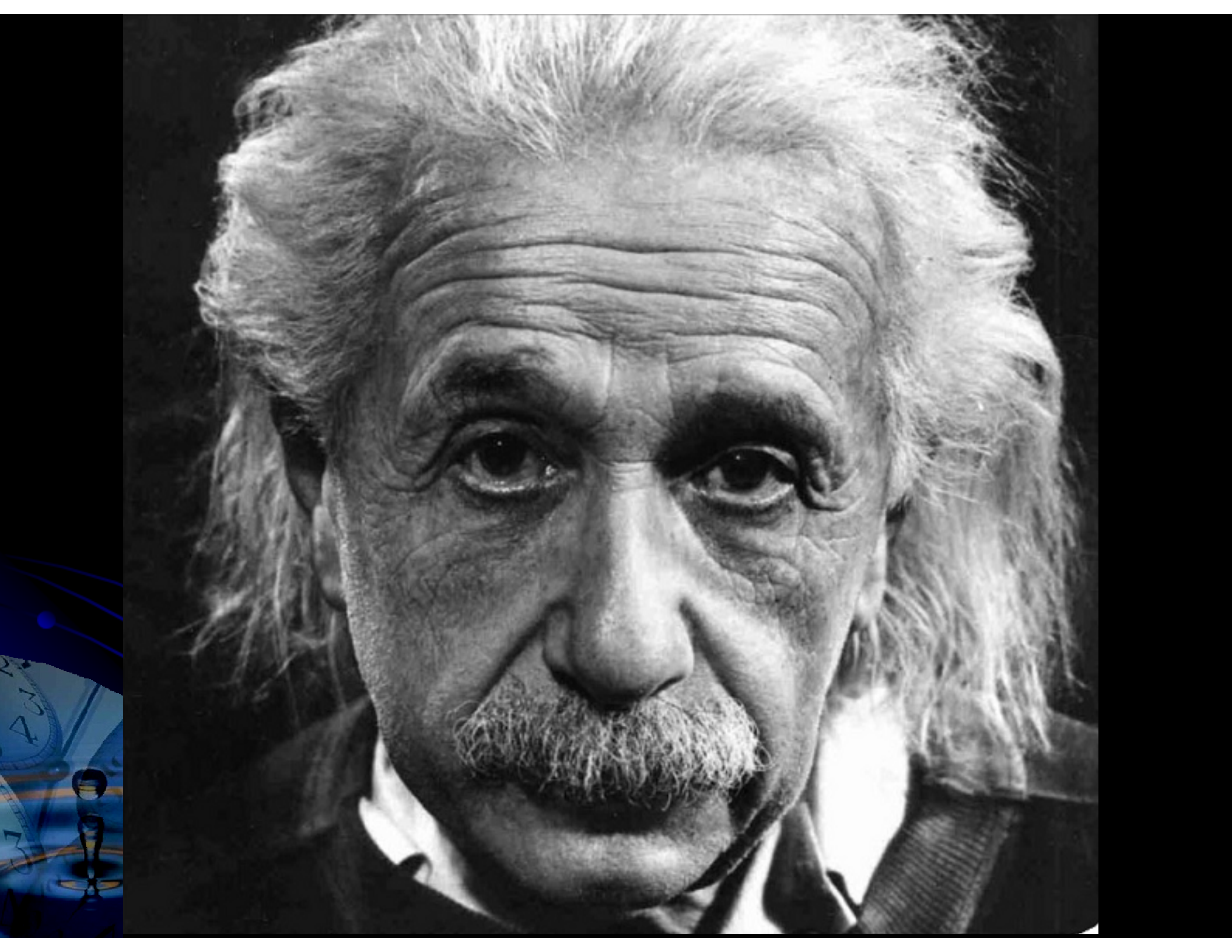
The beginning of...

the Relativity Theory

Monica Valencia-S

IMPRS Retreat - October 13 -15 2010





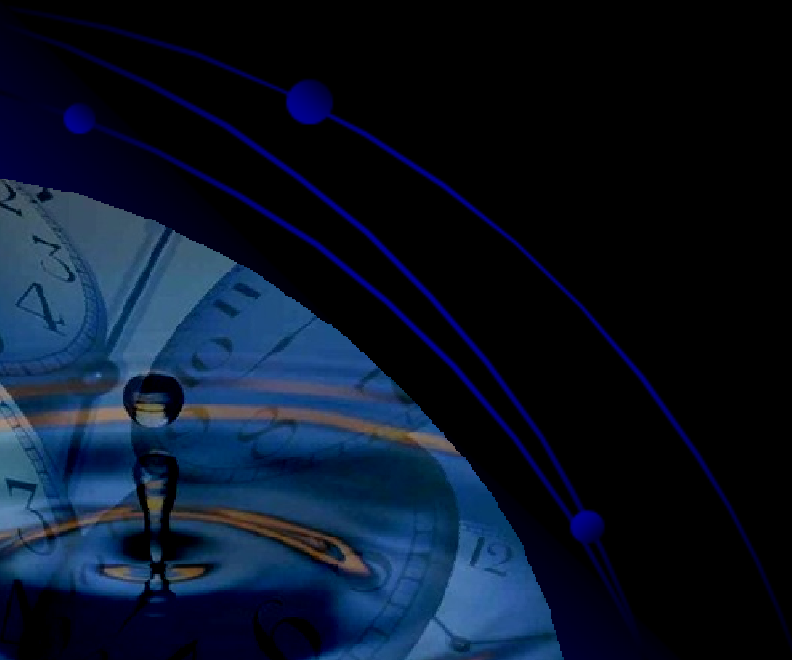
?

...

1905

?

...



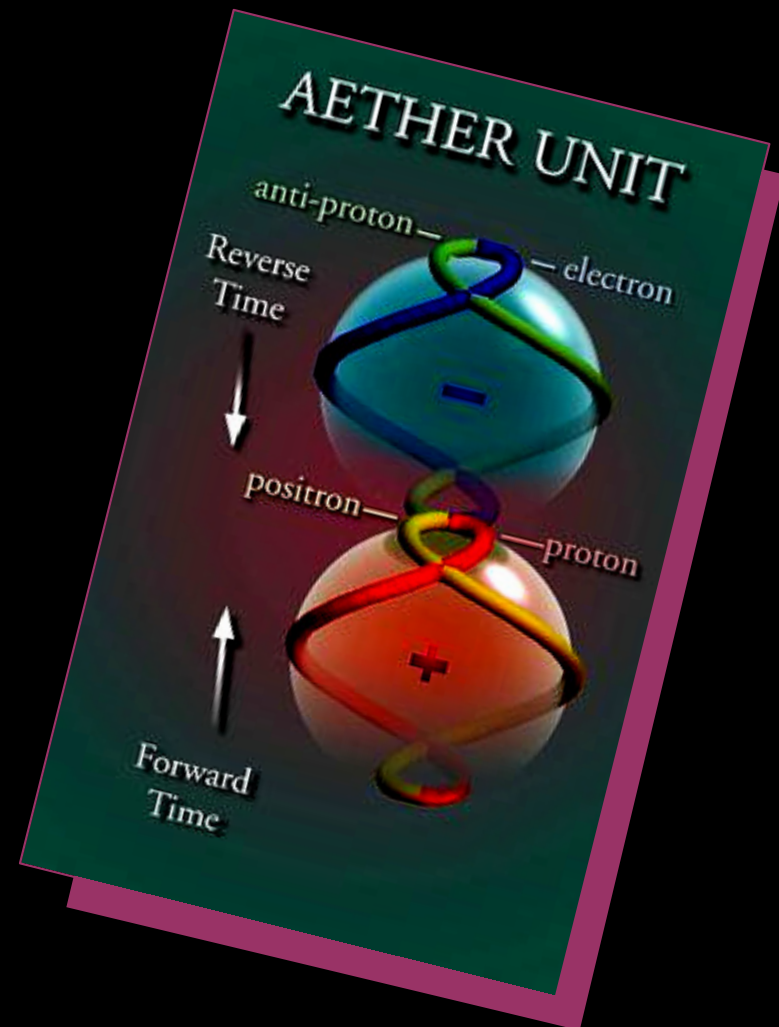


 Living in the Aether

 Lorentz, Poincare, Einstein

 1905

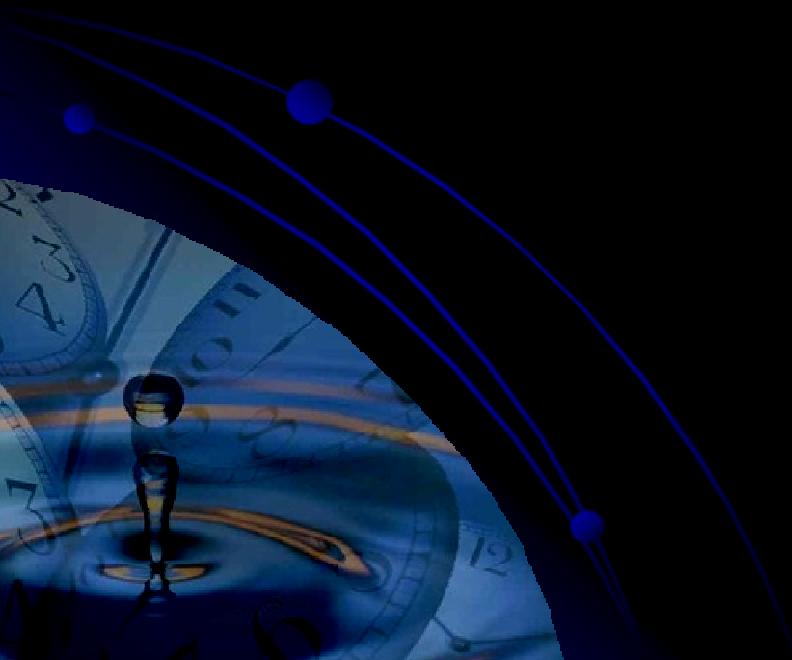
Physical properties of the Aether



Physical properties of the Aether

“even for scientific purposes only,
all space had been filled three or four times over with aethers”

(Maxwell, 9th ed *Encyclopedia Britannica*)



Physical properties of the Aether

“even for scientific purposes only,
all space had been filled three or four times over with aethers”

(Maxwell, 9th ed *Encyclopedia Britannica*)



Huygens



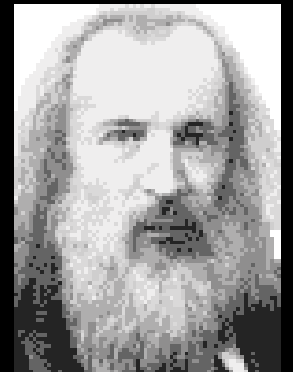
Medium/ substratum for
the propagation of light
waves

Faraday



Tubes responsible for
electrically charged and
magnetized bodies

Mendeleev

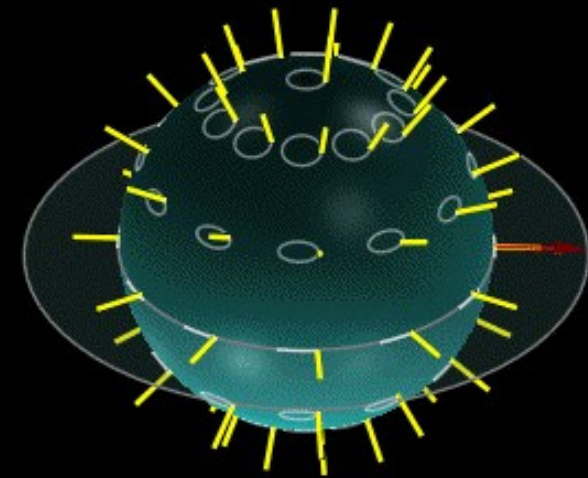
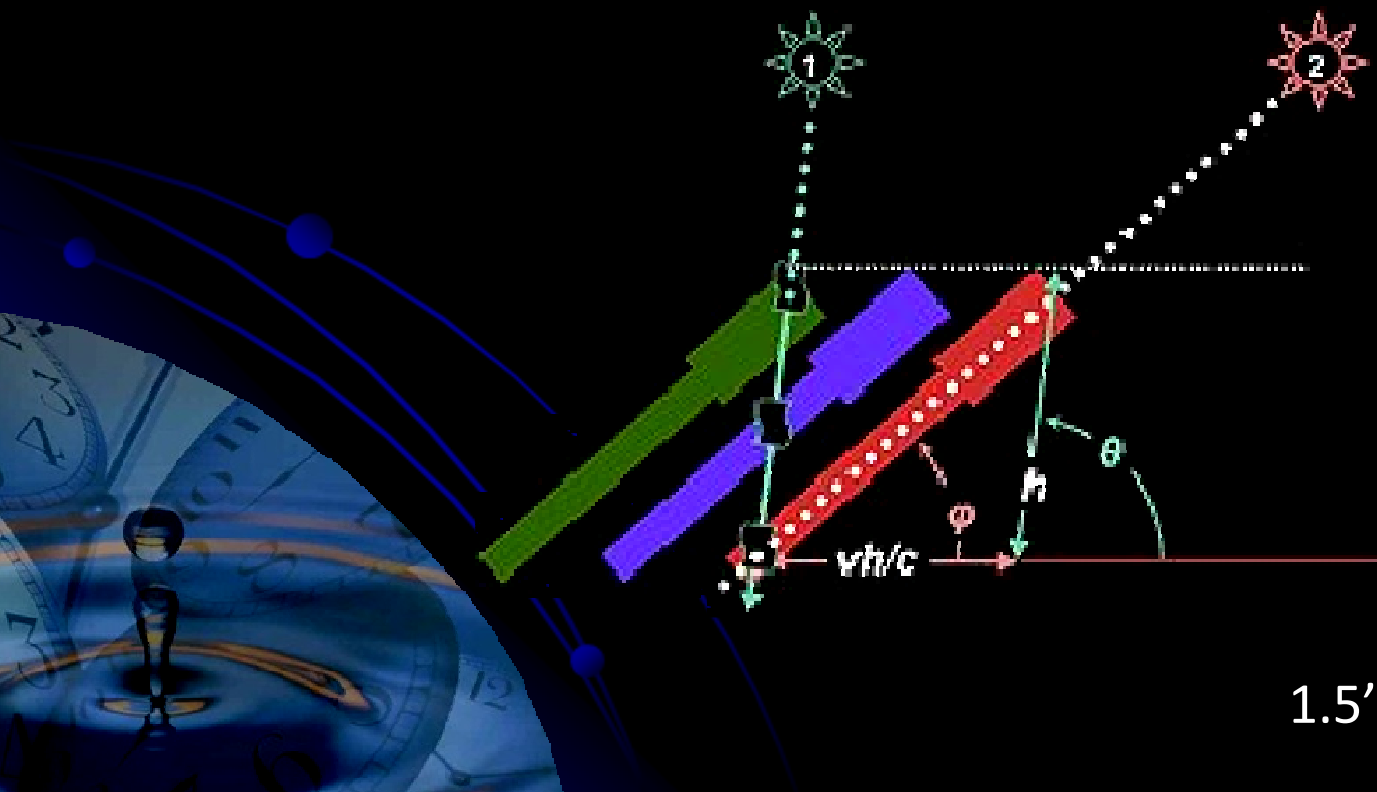


Physical properties of the Aether

1800-1807 Thomas Young

Aberration → Aether is not “dragged” by the Earth

“The aberration of light which according to the emission theory results directly from the composition of two rectilinear motions is explained more easily by the wave theory”



1.5'' → 20'' ! (Bradley 1728)

Physical properties of the Aether

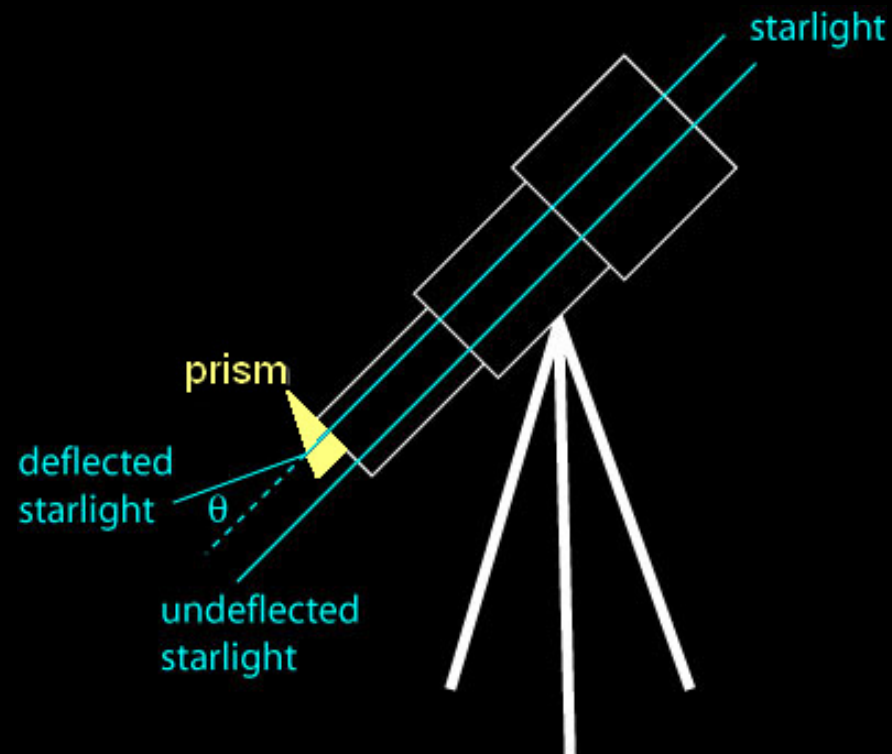
1800-1807 Thomas Young

Aberration → Aether is not “dragged” by the Earth

1818 Letter Fresnel to Arago

“Partially dragged aether”

$$f = (1 - 1/n^2)$$



Physical properties of the Aether

1800-1807 Thomas Young

Aberration → Aether is not “dragged” by the Earth

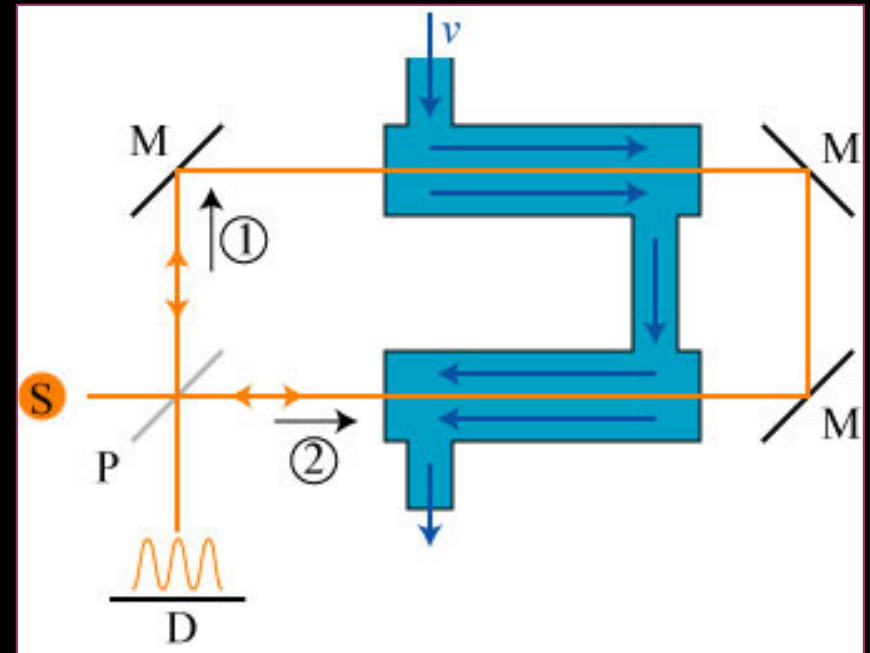
$$V = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

1818 Letter Fresnel to Arago

“Partially dragged aether”

1851 Fizeau Experiment

Velocity of light in moving water is different from it in still water ($0.44 v$)



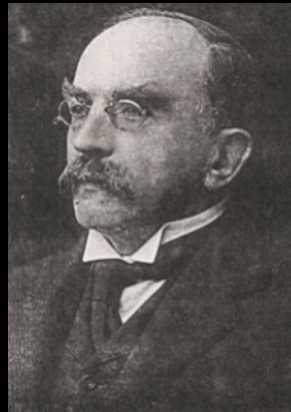
Physical properties of the Aether

Is it dragged? Partially dragged? What IS it???

Hertz



J. Larmor (Kelvin)



A. Lorentz (Wiechert)



Maxwell = Maxwell
Theory Equations

The Aether Lagrangian

Aether vs. Matter
(Electron)

Mathematical Object

Dynamical Substance

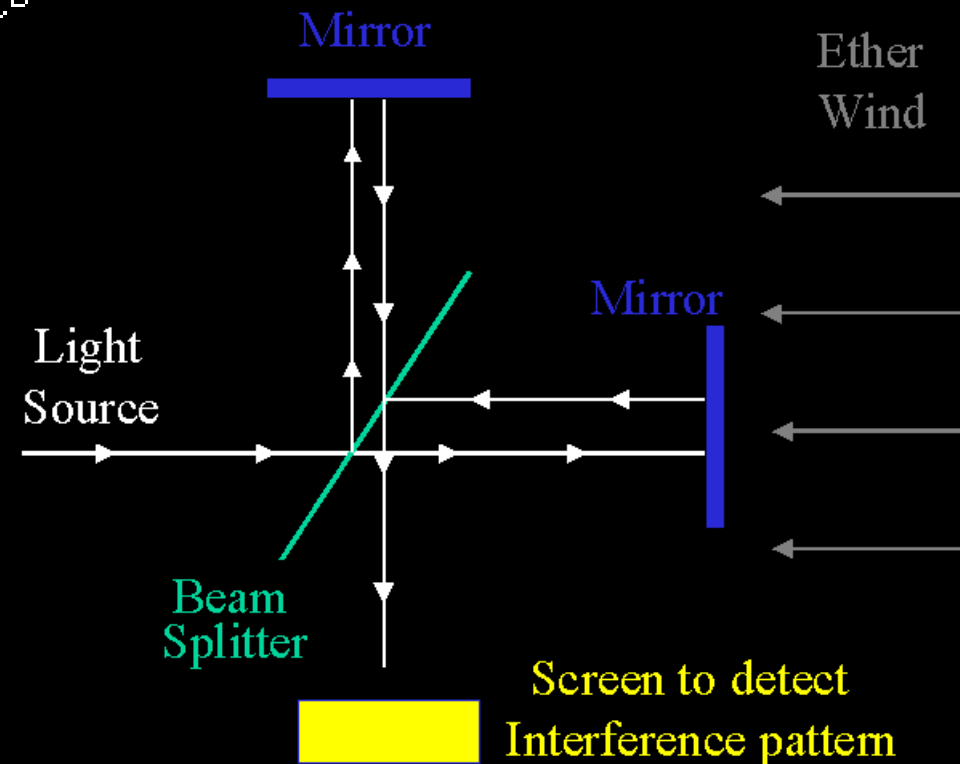
Interactive Substance

Physical properties of the Aether

Michelson & Michelson-Morley Experiments

$$t_2 = \frac{l}{c + v} + \frac{l}{c - v} = \frac{2l}{c(1 - v^2/c^2)}$$

$$t_1 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$



Physical properties of the Aether

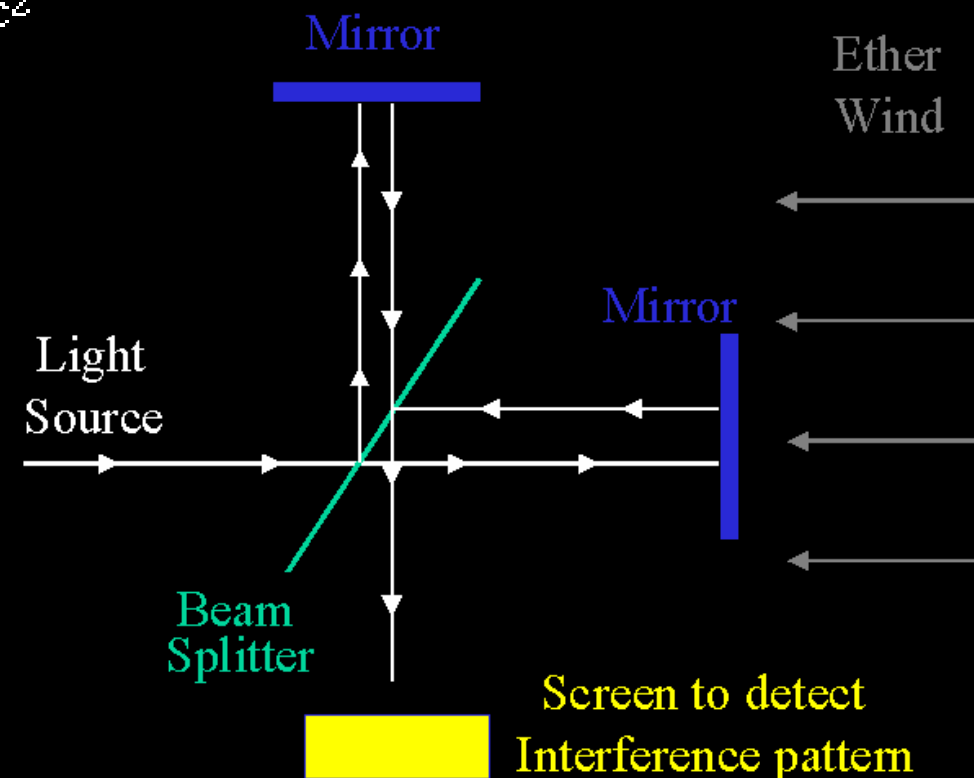
Michelson & Michelson-Morley Experiments

$$t_2 = \frac{l}{c + v} + \frac{l}{c - v} = \frac{2l_2}{c\sqrt{1 - v^2/c^2} \sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

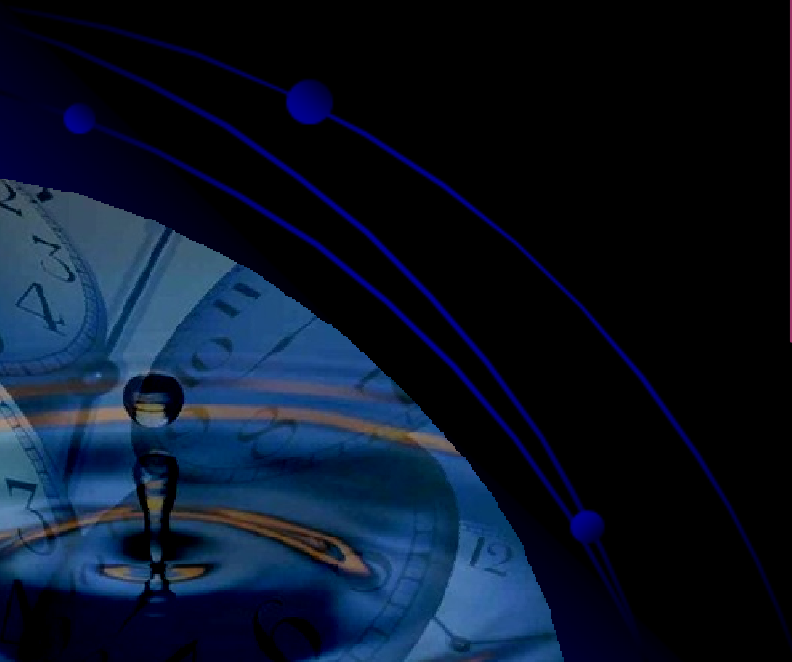
$$t_1 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} + \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l_1}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$l_2 = l_1 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

“Easy” solution:
Fitzgerald contraction (1889)



Lorentz, Poincare or Einstein,
Who is the father?



Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

H. A. Lorentz

1892 *"Maxwell's Electromagnetic theory and its application to moving bodies"*

Lorentz force $\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v}/c \times \mathbf{B})$

Maxwell Equations \rightarrow Valid only in Aether's ref. frame

First Form of Lorentz Equations

$$\Sigma': \quad x' = \gamma x_r, \quad y' = y_r, \quad z' = z_r, \quad t' = t - (v/c^2) \gamma^2 x_r$$

1892 *"The relative motion of the Earth and the Ether"*

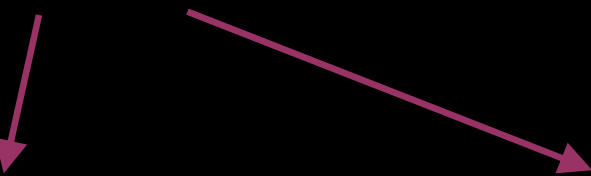
First Form of Lorentz Equations \rightarrow Fitzgerald contraction

Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

H. A. Lorentz

1895 *“Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körper”*

Second Form of Lorentz Equations

$$t_L = t - (\bar{v}/c^2) \cdot \bar{r}$$


Local time (Ortzeit) & General time (allgemeine Zeit)

Approx. Covariance of Maxwell Equations

Refers to Michelson-Morley Experiment

Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

H. A. Lorentz

1904 *"Electromagnetic Phenomena in a system moving with any velocity less than that of light"*

Final Form of Lorentz Equations

§ 4. We shall further transform these formulae by a change of variables. Putting

$$\frac{c^2}{c^2 - v^2} = k^2, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

and understanding by I another numerical quantity, to be determined further on, I take as new independent variables

$$x' = k l x \quad , \quad y' = l y \quad , \quad z' = l z, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$t' = \frac{l}{k} t - k l \frac{w}{c^2} x, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

Joseph Larmor

1900 "*Aether and Matter*"

$$(x', y', z') = (x - vt, y, z), t' = t$$

$$t'' = t' - \frac{v}{c^2} \epsilon x', \quad \epsilon = \left(1 - v^2/c^2\right)^{-1}$$



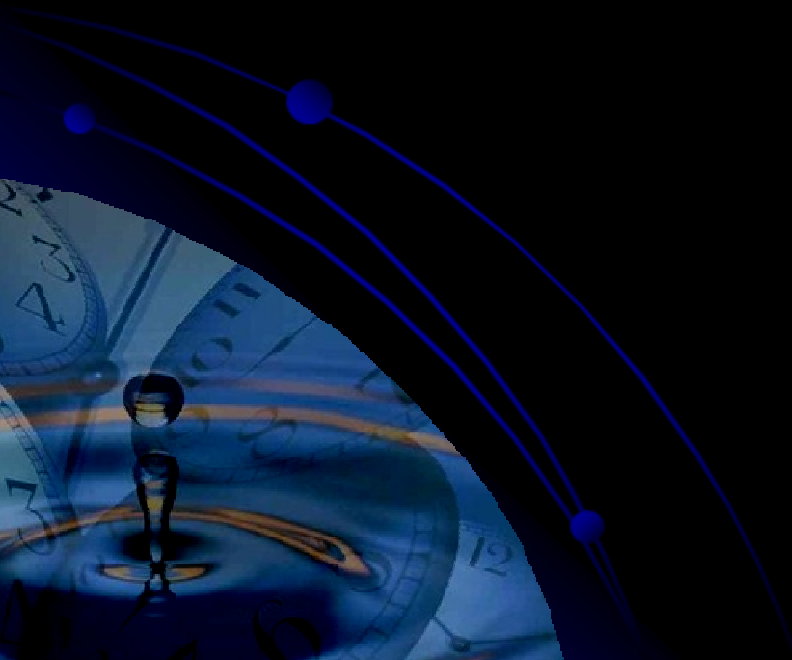
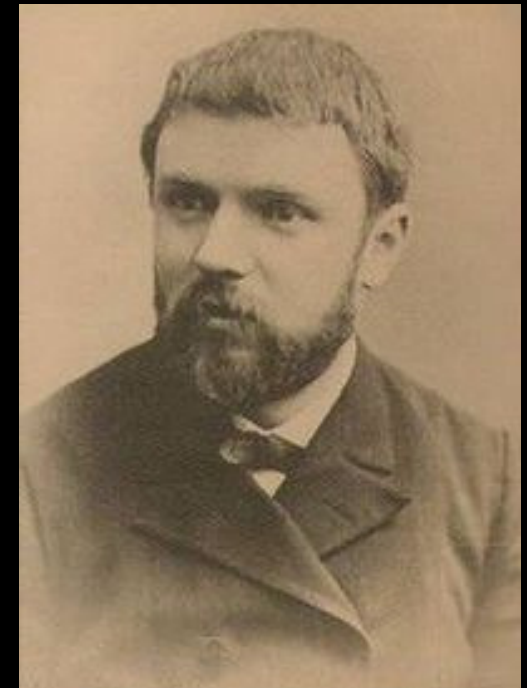
Discovered 4 years earlier the Final Form Lorentz Equations!

Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

Henry Poincaré

1902 *"Science and Hypothesis"*

"the day will come, when ether becomes derelict as useless"



Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

Henry Poincaré

1904 *“L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique”*

5 June 1905 (Submitted) *“Sur dynamique de l'électron”*

23 July 1905 (Submitted) *“Sur dynamique de l'électron”*

(Einstein's paper was submitted
on 30 June 1905 and published
on 26 September 1905)



Lorentz, Poincaré or Einstein, Who is the father?

Henry Poincaré

SUR LA DYNAMIQUE DE L'ÉLECTRON; Par M. H. Poincaré (Paris).

Adunanza del 23 luglio 1905.

INTRODUCTION.

Il semble au premier abord que l'aberration de la lumière et les phénomènes optiques et électriques qui s'y rattachent vont nous fournir un moyen de déterminer le mouvement absolu de la Terre, ou plutôt son mouvement, non par rapport aux autres astres, mais par rapport à l'éther. FRESNEL l'avait déjà tenté, mais il ne réussit pas. Il est bientôt que le mouvement de la Terre n'altère pas les lois de la réfraction et de la réflexion. Les expériences analogues, comme celle de la lunette pleine d'eau, ne donnèrent non plus que des résultats négatifs; on en découvrit bientôt l'erreur, mais MICHELSON, ayant imaginé une expérience où les termes dépendant de l'aberration devenaient sensibles, échoua à son tour.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	Page 129
§ 1. — Transformation de LORENTZ.	» 132
§ 2. — Principe de moindre action	» 136
§ 3. — La transformation de LORENTZ et le principe de moindre action.	» 142
§ 4. — Le Groupe de LORENTZ	» 144
§ 5. — Ondes de LANGEVIN	» 146
§ 6. — Contraction des Électrons.	» 151
§ 7. — Mouvement quasi-stationnaire	» 158
§ 8. — Mouvement quelconque	» 164
§ 9. — Hypothèses sur la Gravitation	» 166

Lorentz, Poincare or Einstein, Who is the father?

Henry Poincaré

- Discussed null experiments $O(v/c)$ & $O(v/c)^2$.
- Analyzed the role of the velocity of light on measuring lengths.
- Found transformation Eqs. for the EM field and the charge density.
- Showed that Lorentz Transformations. can be derived from the Principle of least action. (Found a variational principle that is relativistic invariant).
- Derived the relativistic composition of velocities.
- Developed the concept of “Lorentz Group”. → Aether disappears.
- Developed the idea of the four-vector formalism and the four-dimensional space-time.

Was Einstein aware of all of this?

What he DID know

Work of Helmholtz, Hertz,
Maxwell, ...

1892 & 1895 Lorentz papers

1902 "*Science and hypotheses*"
Poincaré

Books of E. Mach, D. Hume

Results of Michelson-Morley
Experiments ?

What he COULDN'T know

1904 Lorentz paper

1905 & 1906 Poincaré papers

“On the Electrodynamics of moving bodies”

891

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.



"On the Electrodynamics of moving bodies"

I. Kinematischer Teil.

§ 1. Definition der Gleichzeitigkeit.

Es liege ein Koordinatensystem vor, in welchem die Newtonschen mechanischen Gleichungen gelten. Wir nennen dies Koordinatensystem zur sprachlichen Unterscheidung von später einzuführenden Koordinatensystemen und zur Präzisierung der Vorstellung das „ruhende System“.

Ruht ein materieller Punkt relativ zu diesem Koordinatensystem, so kann seine Lage relativ zu letzterem durch starre Maßstäbe unter Benutzung der Methoden der euklidischen Geometrie bestimmt und in kartesischen Koordinaten ausgedrückt werden.

Wollen wir die *Bewegung* eines materiellen Punktes beschreiben, so geben wir die Werte seiner Koordinaten in Funktion der Zeit. Es ist nun wohl im Auge zu behalten, daß eine derartige mathematische Beschreibung erst dann einen physikalischen Sinn hat, wenn man sich vorher darüber klar geworden ist, was hier unter „Zeit“ verstanden wird.

II. Elektrodynamischer Teil.

Transformation der Maxwell-Hertzschen Gleichungen für leeren Raum. Über die Natur der bei Bewegung in einem Magnetfeld auftretenden elektromotorischen Kräfte.

Die Maxwell-Hertzschen Gleichungen für den leeren Raum mögen gültig sein für das ruhende System K , so daß folgende:

$$\begin{aligned} \frac{1}{V} \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial N}{\partial y} - \frac{\partial M}{\partial z}, & \frac{1}{V} \frac{\partial L}{\partial t} &= \frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}, \\ \frac{1}{V} \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial L}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial x}, & \frac{1}{V} \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}, \\ \frac{1}{V} \frac{\partial Z}{\partial t} &= \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial y}, & \frac{1}{V} \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x}, \end{aligned}$$

wobei (X, Y, Z) den Vektor der elektrischen, (L, M, N) den der magnetischen Kraft bedeutet.

Wenden wir auf diese Gleichungen die in § 3 entwickelte Transformation an, indem wir die elektromagnetischen Vorgänge auf das dort eingeführte, mit der Geschwindigkeit v bewegte Koordinatensystem beziehen, so erhalten wir die

Further Reading

Historical References

Sanchez Ron, Jose Manuel. Origen y Desarrollo de la Relatividad. 2a Ed. Alianza Editorial, Madrid, 1985.

Gamow, George. The Great Physicists from Galileo to Einstein. Dover Publications, NY, 1988.

Pais, Abraham. The Science and the Life of Albert Einstein. Oxford University Press, 1982.

Other Interesting References

Gratzer, Walter. Eureka y Euforias. Como entender la ciencia a traves de sus anecdotas. Critica, Barcelona, 2002.

Sanchez Ron, Jose Manuel. El Siglo de la Ciencia. 2a Ed. Taurus, Madrid, 2000.

DEPARTMENT OF MATHEMATICS



"Space is curved and time is relative, eh? — Is this your way of asking for a day off?"