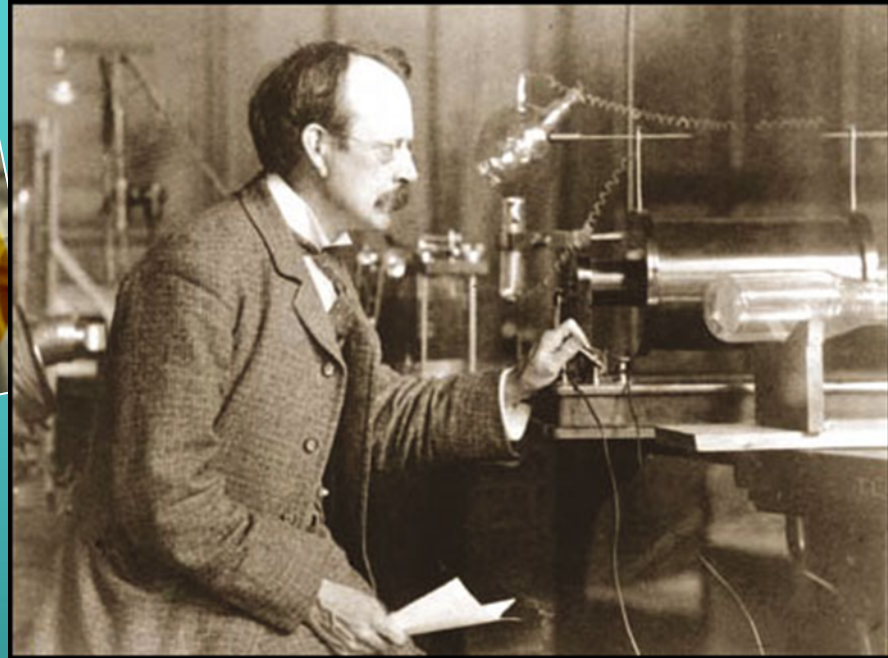
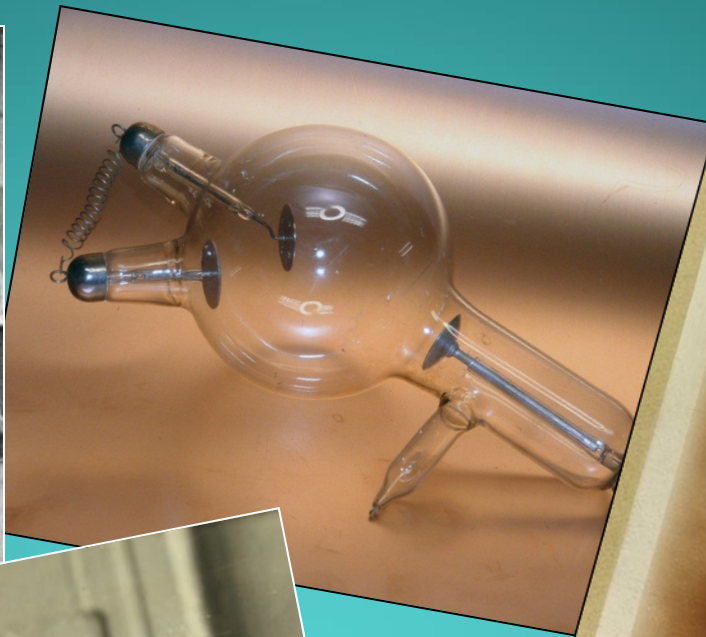


1905, annus mirabilis

***Relativity theories***

ca. 1896-1916



Modern physics did not start with relativity and quantum theories, but with experimental discoveries.

## *Fin-de-siècle physics*

Total no. of physicists:  $\sim 1,300$

Total no. of physics papers:  
 $\sim 2,500$

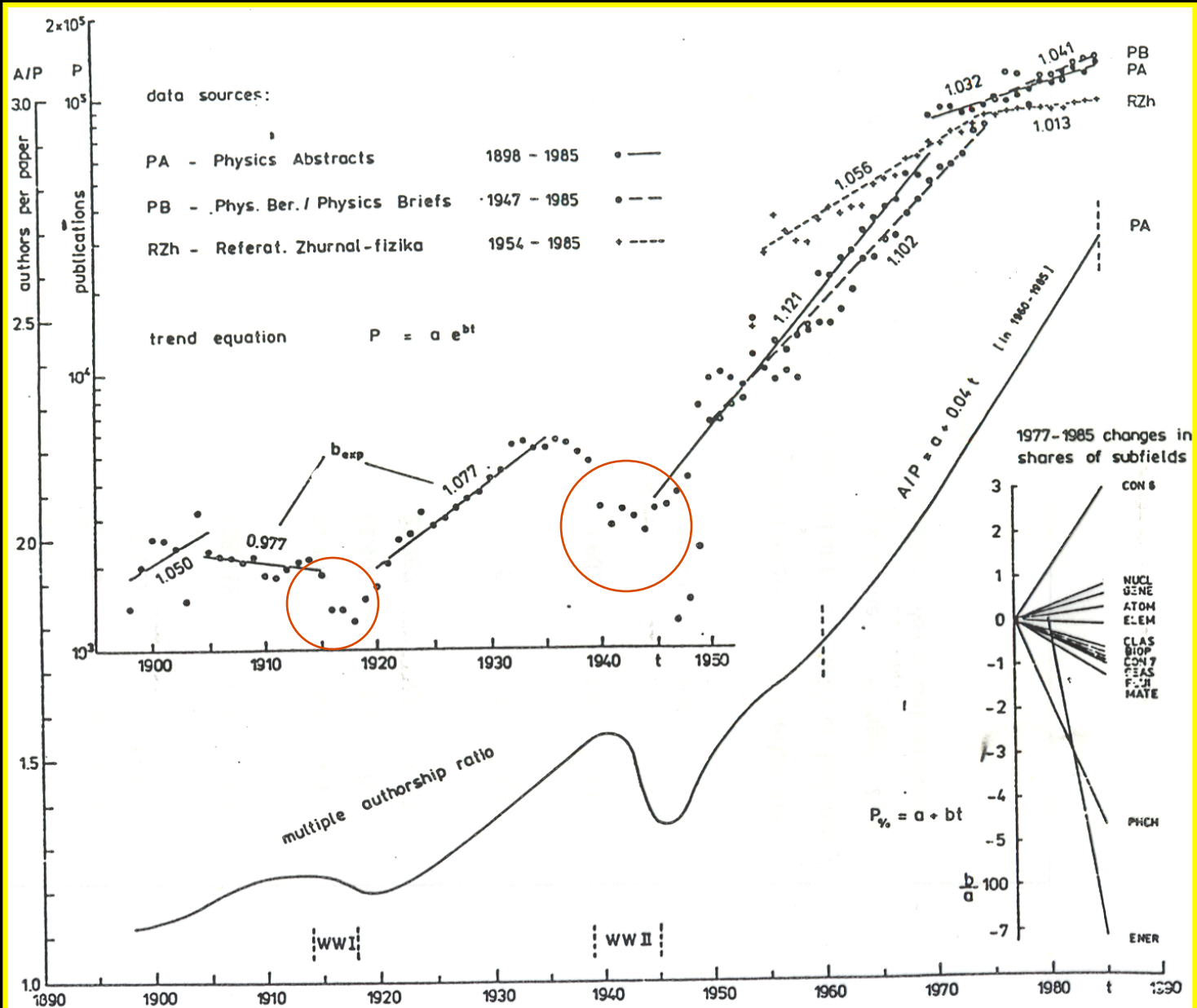
$\text{physics}_{2000} / \text{physics}_{1900} \sim 100$  (!)



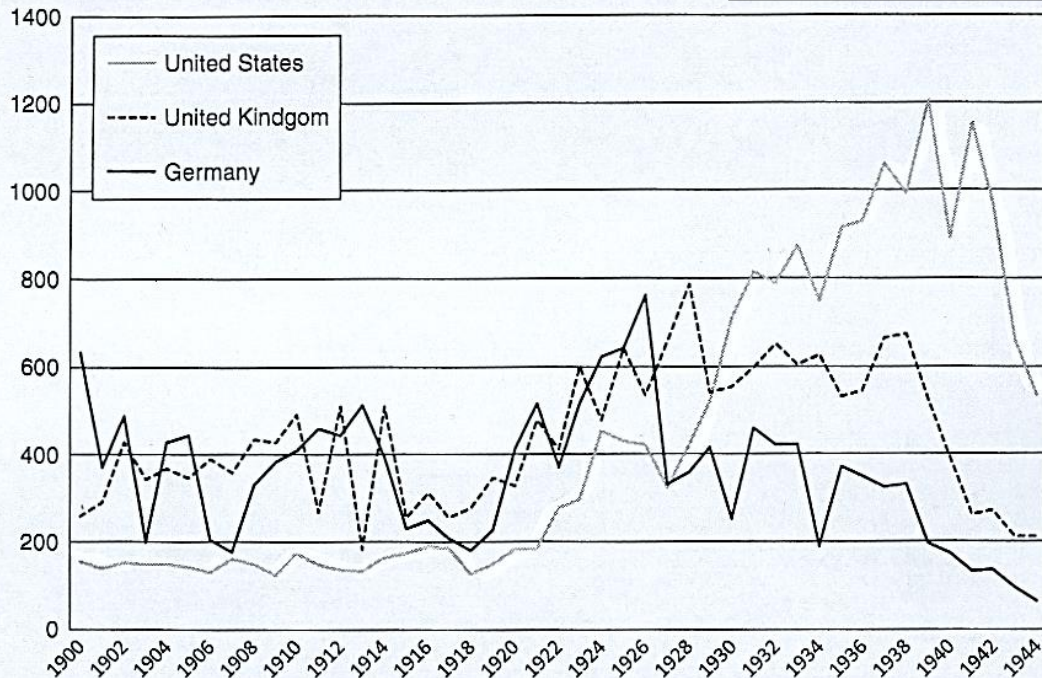
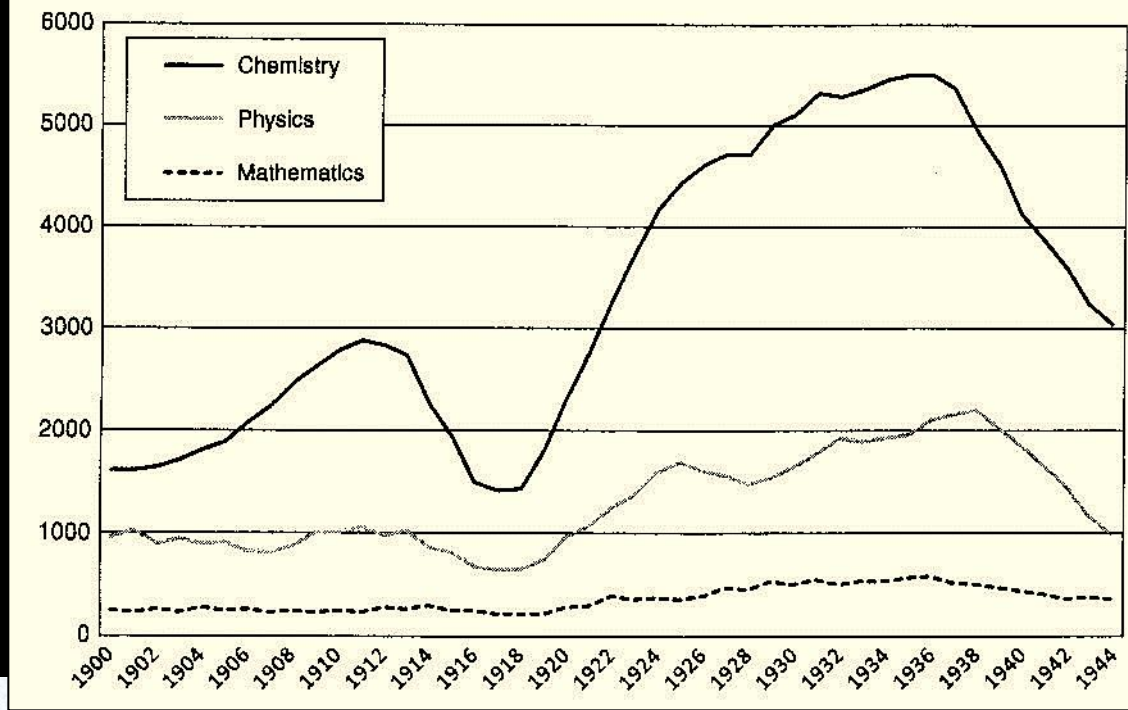
ETH (polytechnic institute), Zurich

	<i>institutes</i>	<i>faculty</i>
Germany	30	103
USA	21	100
UK	25	87
France	19	54
Austria-Hungary	18	48
Italy	16	43

# Publication statistics: Physics in the 20th century



Development of physics,  
1900-1944, compared to  
the development of  
chemistry and  
mathematics (annual  
number of papers).



Annual number of physics  
papers published in  
Germany, UK and USA,  
1900-1944.

specialisation

# ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE.

BEGÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH  
F. A. C. GRAY, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF.

NEUE FOLGE.

BAND XVI.

DER GANZEN FOLGE ZWEIHUNDERT ZWEI UND FÜNFZIGSTER.

UNTER MITWIRKUNG

DER PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT IN BERLIN

UND INSBESONDERE DES HERREN

H. HELMHOLTZ

HERAUSGEGEBEN VON

G. WIEDEMANN.

NEBST FÜNF FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1882.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH

# ANNALEN DER PHYSIK.

BEGÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH  
F. A. C. GRAY, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. E. H. WIEDEMANN, P. BLOND.

VIerte Folge.

BAND 49.

DER GANZEN FOLGE 501. BAND.

KURATORIUM:

M. PLANCK, G. QUINCKE,  
W. C. RÖNTGEN, W. VOIGT, K. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG

DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

HERAUSGEGEBEN VON

W. WIEN UND M. PLANCK.

MIT EINEM PORTRÄT UND EINFACH FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1916.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH

Vol. 12. SEPTEMBER 1856. No. 78.

*Published the First Day of every Month.—Price 2s. 6d.*

## THE LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN PHILOSOPHICAL MAGAZINE, AND JOURNAL OF SCIENCE.

*Being a Continuation of Tilloch's 'Philosophical Magazine,'  
Nicolson's 'Journal,' and Thomson's 'Annals of Philosophy.'*

EDITED BY  
SIR DAVID BREWSTER, K.H. LL.D. F.R.S. L. & E. &c.  
RICHARD TAYLOR, F.S.A. L.S. G.S. Astr. S. &c.  
SIR ROBERT KANE, M.D. F.R.S. M.R.L.A.  
WILLIAM FRANCIS, Ph.D. F.L.S. F.R.A.S. F.C.S.  
JOHN TYNDALL, Ph.D. F.R.S. &c.

FOURTH SERIES.

N° 78.—SEPTEMBER 1856.

LONDON:

PRINTED BY TAYLOR AND FRANKLIN, ONE ADEPH STREET, FLEET STREET.  
Printers and Publishers to the University of London.

Sold by Longman, Brown, Green, and Longmans; Paper and Co.; Simpkin,  
Marshall and Co.; Whittaker and Co.; and E. Bullfinch, London—and by  
A. and C. Black, and Thomas Clark, Edinburgh; Smith and Son, Glasgow—  
Hodges and Smith, Dublin—and Putnam, New York.

# ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG  
DER  
DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

VON

KARL SCHEEL

95. BAND. 1. UND 2. HEFT

MIT 55 TEXTFIGUREN

(ABGESCHLOSSEN AM 14. MAI 1933)



VERLAG VON JULIUS SPRINGER, BERLIN

1935

105

# ANNALEN DER PHYSIK.

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH  
F. A. C. GREY, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDEMANN.

VIERTE FOLGE.

BAND 17.

DES GANZEN REIHE 322. BAND.

KURATORIUM:  
F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE,  
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG  
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

UND INSBESONDERE VON  
M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON  
PAUL DRUDE.

MIT FÜNF FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1905.

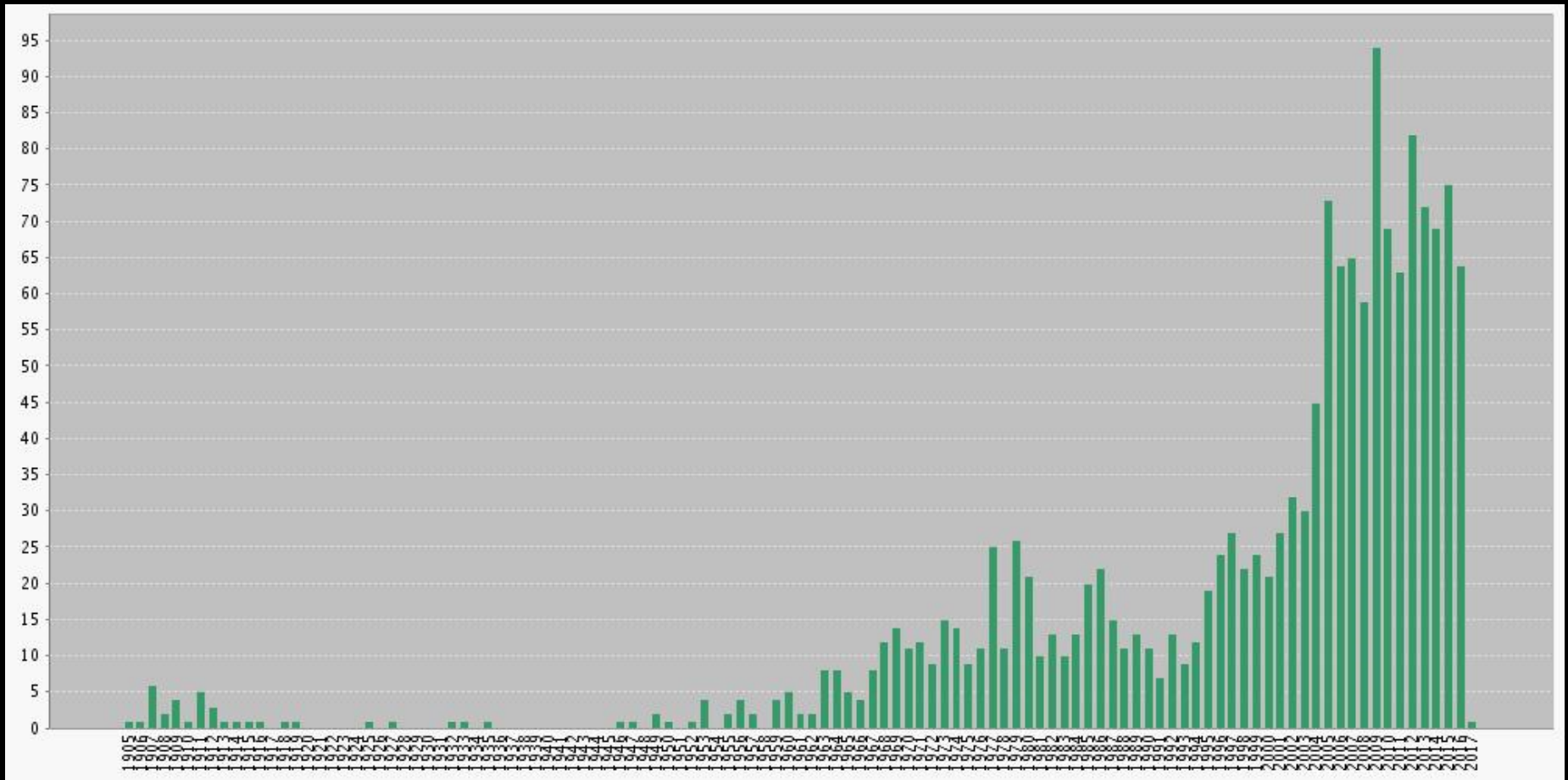
AMBROSIIUS BARTH.

## 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 — Gleiches der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßt — vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

←----- historical/courtesy citations -----→



Citations to Einstein's 1905 paper on special relativity

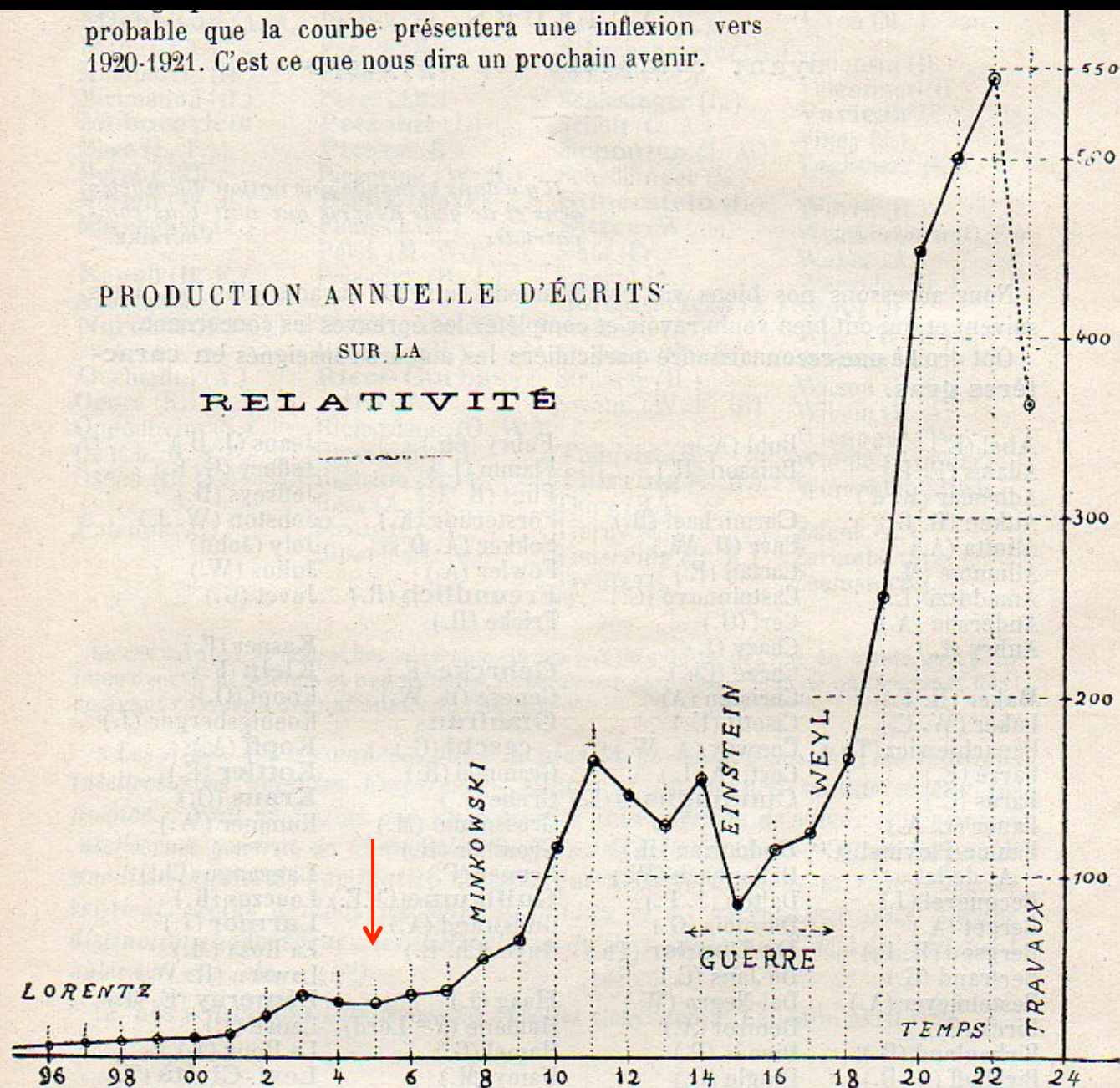
(Web of Science)

probable que la courbe présentera une inflexion vers 1920-1921. C'est ce que nous dira un prochain avenir.

## PRODUCTION ANNUELLE D'ÉCRITS

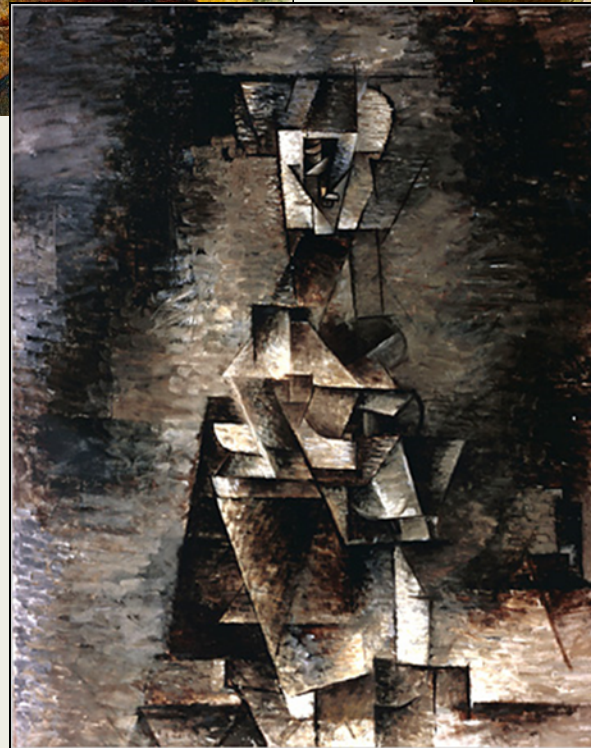
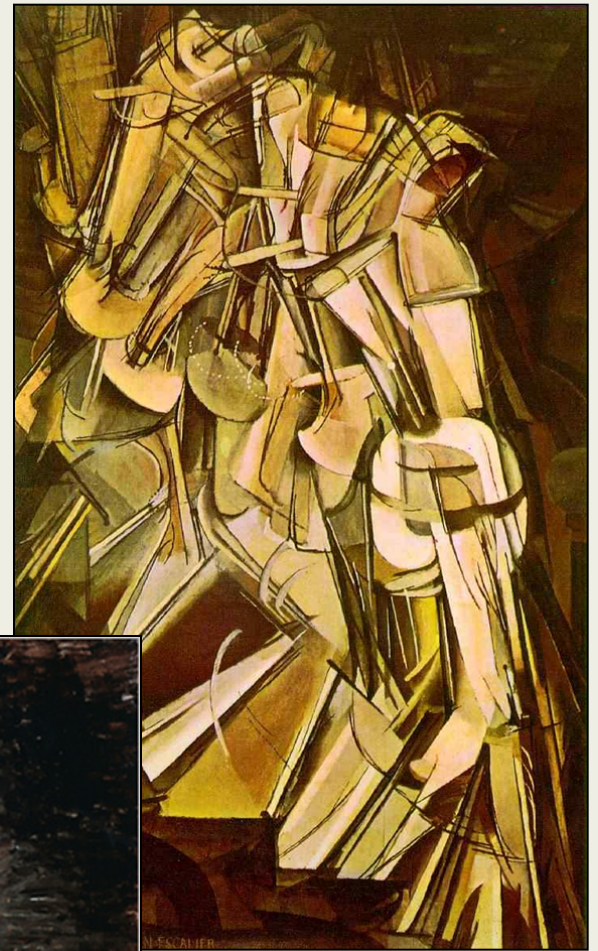
SUR LA

## RELATIVITÉ



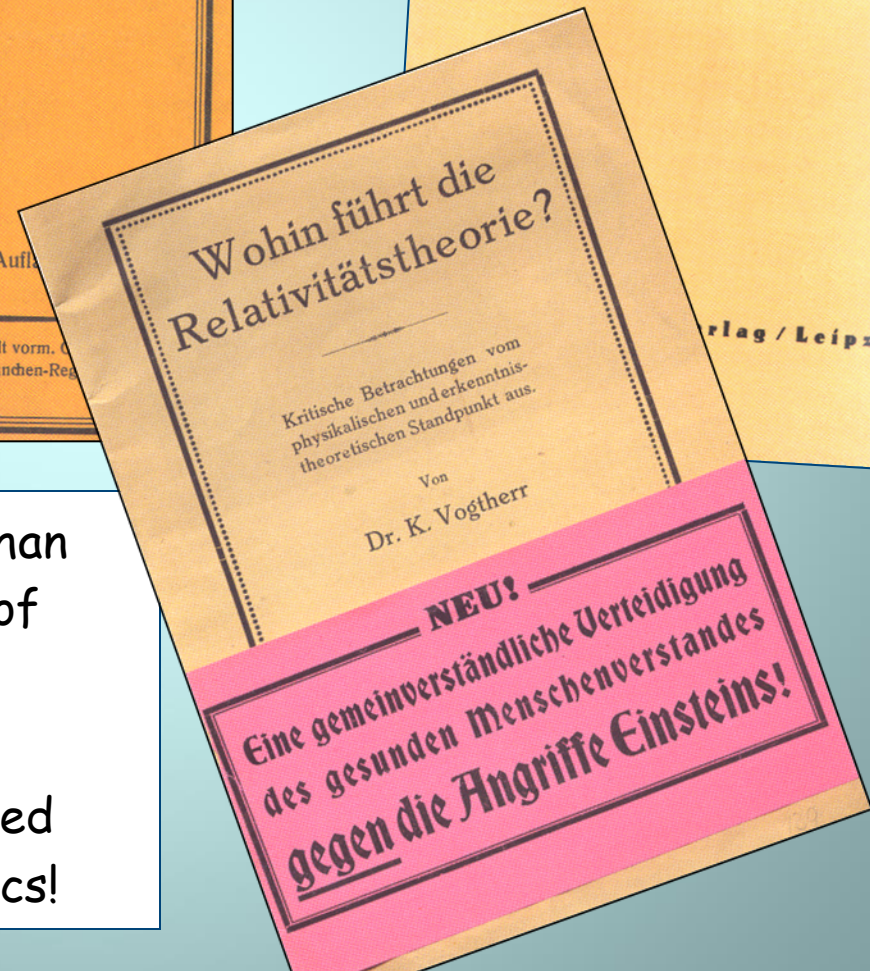
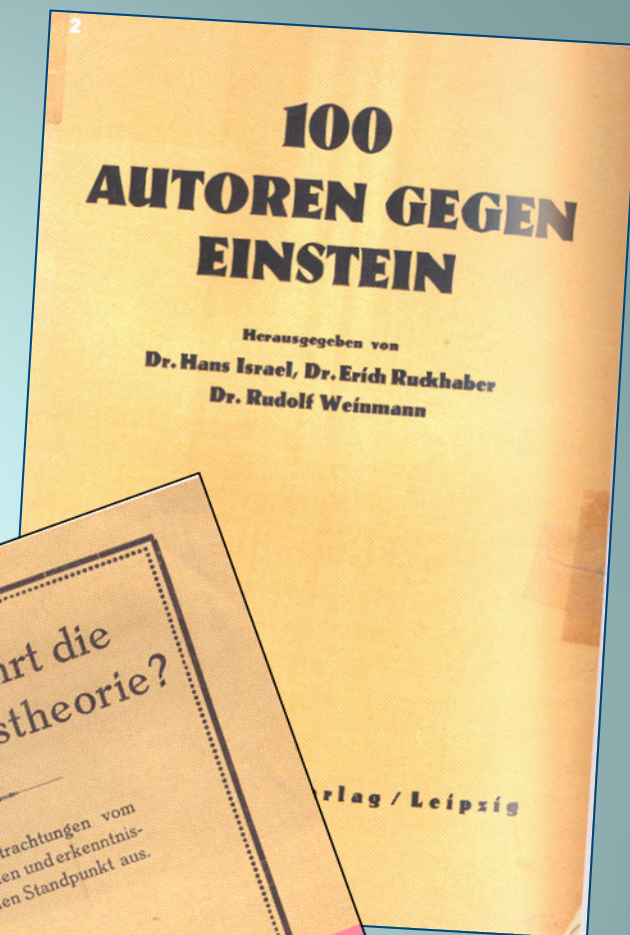
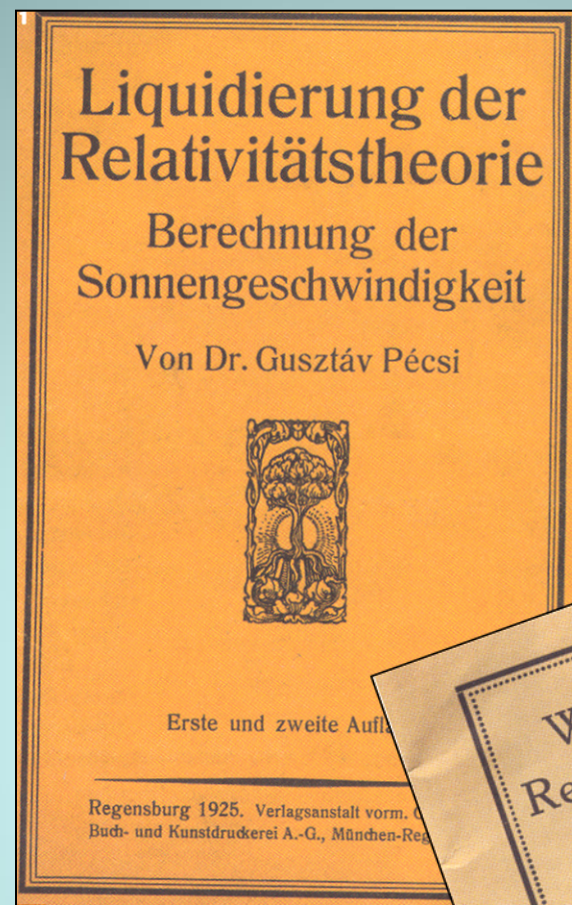
# Artistic inspiration from relativity theory

U. Boccioni  
M. Duchamp  
P. Picasso  
&c.



The "4<sup>th</sup> dimension"  
in art before  
Einstein 1905

Anti-relativity  
(and anti-  
Einstein)  
literature in the  
1920s, in Germany  
and other  
countries.



More publications within this genre than  
scientific publications on the theory of  
relativity.

A minor part of the literature featured  
anti-semitic tendencies. Jewish physics!

## Misunderstandings of relativity theory

"Einstein's theory is a marvellous proof of the harmonious multiplicity of all possible points of view. If the idea is extended to moral and aesthetics, ... instead of regarding non-European cultures as barbarous, we now begin to respect them as views which are equivalent to our own. There is a Chinese perspective which is fully as justified as the Western."

"Relativity theory is a befogged speculation producing universal doubt about God and his creation ... cloaking the ghastly apparition of atheism."

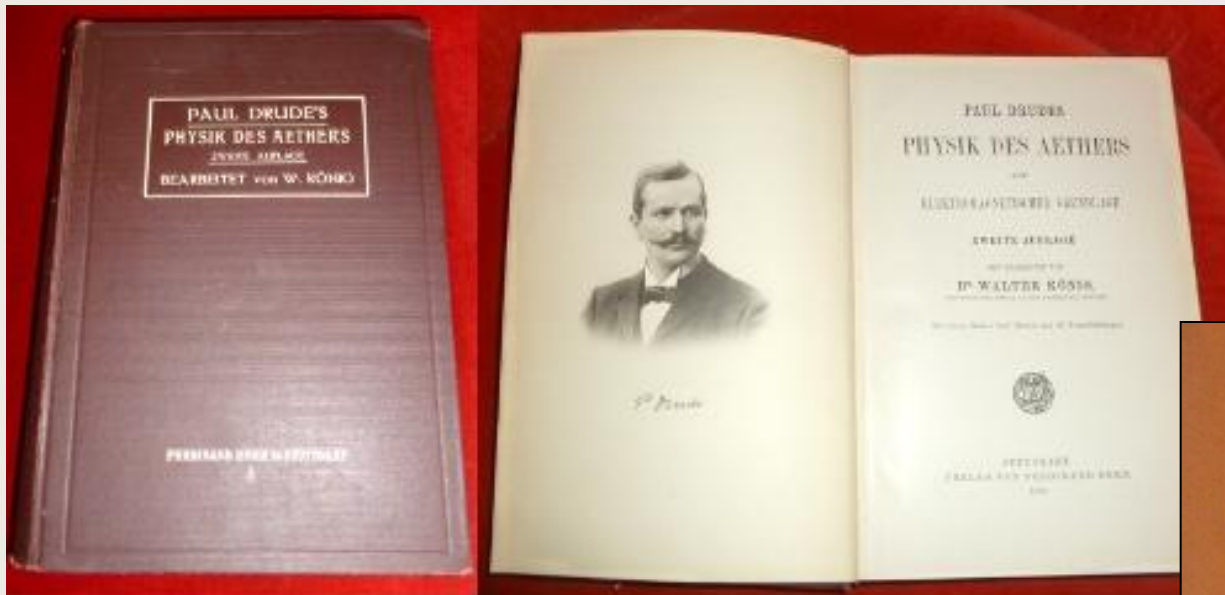


J. Ortega y Gasset (1883-1936)



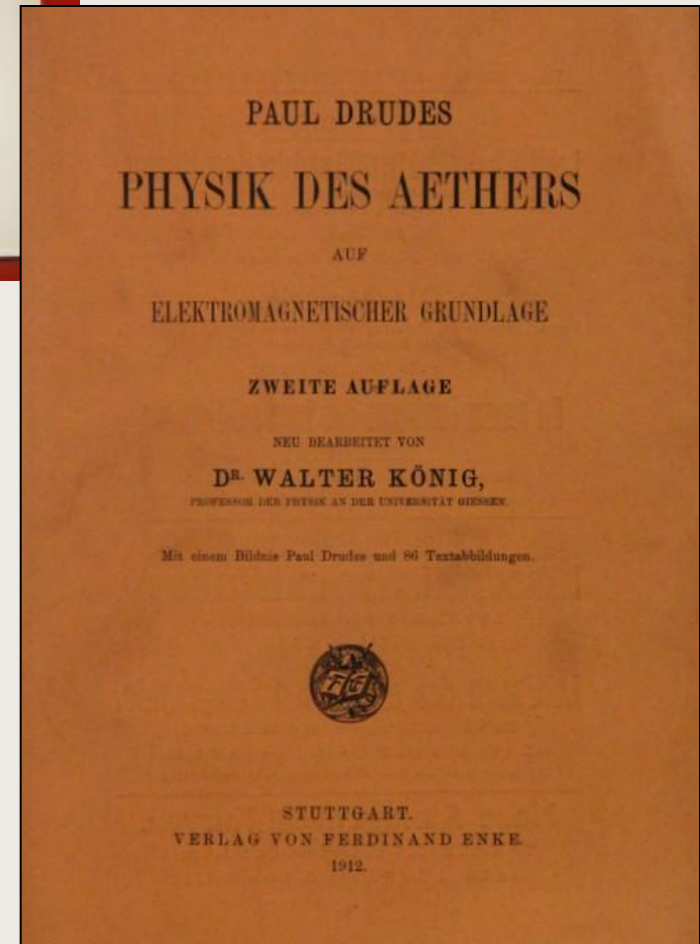
*William Cardinal O'Connell  
(1859 - 1944)  
Courtesy of ACUA*

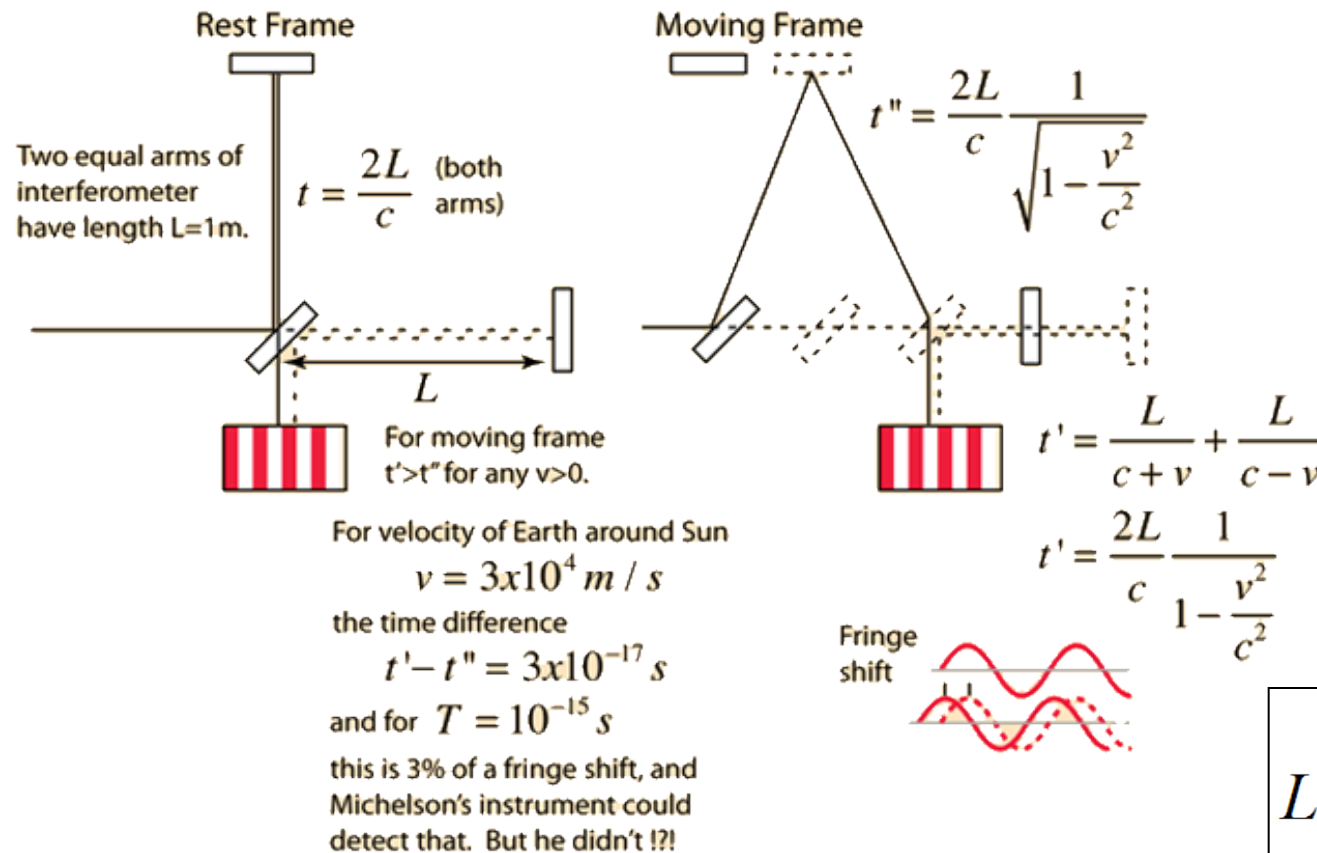
## ***The electromagnetic ether***



*"Space without ether is like a forest without trees."*  
(A. Föppl, 1894)

*"The ether is one of the grandest generalizations of modern science; all phenomena of the physical universe are only different manifestations of the various modes of motion of this all-pervading substance – the ether."*  
(A. Michelson, 1902)





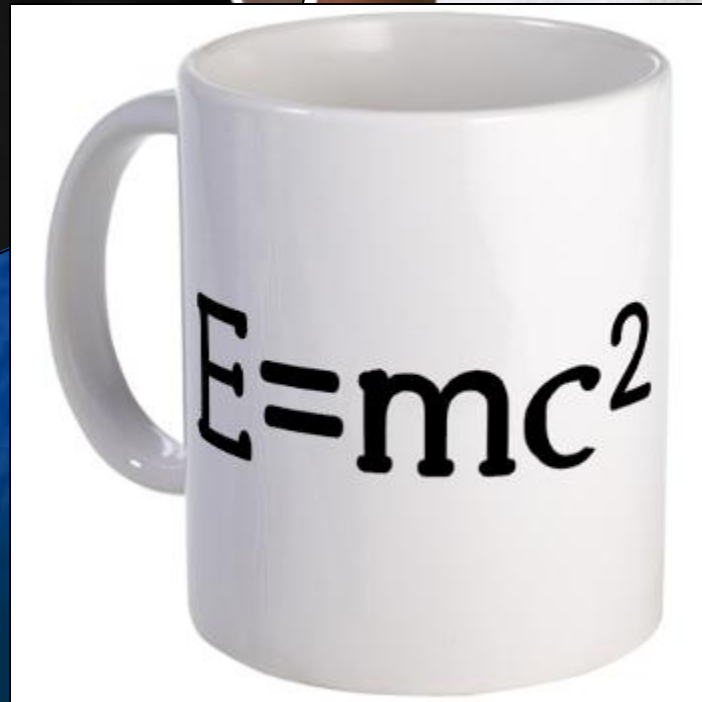
Michelson-Morley experiment (1887) to detect the motion of the Earth relative to the ether.

No effect found to the accuracy of  $(v/c)^2$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

The null-result of the MM experiment can be explained (or explained away?) if length contraction in direction of ether wind is assumed, so-called Lorentz contraction (1899, 1904).

**What was the role of the MM experiment in Einstein's route to relativity?**



# Elektromagnetic (“apparent”) mass

If a charged particle (“electron”) moves in the electromagnetic ether, it will acquire an additional momentum and mass,  $m = m_{\text{mech}} + m_{\text{em}}$ . The “electromagnetic mass” relates to the electron’s electrostatic energy as

$$E_{\text{em}} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{a} \quad \& \quad m_{\text{em}} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2} \rightarrow \mathbf{E_{em} = \frac{3}{4} m_{em} c^2} \quad \left( a = \frac{e^2}{mc^2} \cong 10^{-15} \text{m} \right)$$

The charge  $e$  uniformly distributed on surface, and  $a$  is the classical electron radius.

If the entire mass is electromagnetic,  $m_{\text{mech}} = 0$  and “matter does not exist.” What we conceive as matter is really concentrated structures in the electromagnetic

ether, called electrons ( $\pm$  !). Moreover, the electron mass varies with the velocity  
 J. J. Thomson (1885); O. Heaviside (1889); F. Searle (1897); M. Abraham (1902); H. A. Lorentz (1904); A. Bucherer (1904); P. Langevin (1904); H. Poincaré (1905), ...  
 $m_{\text{em}} = \frac{E_{\text{em}}}{c^2}$

N.B.: Error in Kragh (1999), p. 106: should be  $e^2/Rc^2$  and not  $e^2/R^2c$ .

# Radioactivity, energy and mass

THE question as to the origin of the energy possessed by the Becquerel rays is one of considerable interest. The existence of substances capable of emitting radiations possessing energy, without any appreciable loss of weight or introduction of work from external sources, would appear to be impossible from the view of conservation of energy. The measurements of M. Henri Becquerel upon the deviation of the radium rays in an electric field, taken in conjunction with those of M. and Mme. Curie of the charges carried by these rays, lead to results which show a way out of this difficulty, on account of the extreme minuteness of the quantities of energy in question. The calculations of M. Becquerel show that the energy radiated per square centimetre is of the order of one ten-millionth of a watt per second. Hence a loss of weight of about a milligram in a thousand million years would suffice to account for the observed effects, assuming the energy of the radium to be derived from an actual loss of material.



*Nature* 61 (5 April, 1900), s. 547

"It is not to be expected that the law of conservation of mass will hold true for radioactive phenomena, ... the total mass must be less after disintegration than before. Atomic mass must be regarded as a function of the internal energy, and the dissipation of the latter in radioactivity occurs at the expense of the mass of the system."



# University of Glasgow. RADIO-ACTIVITY.

Mr. FREDERICK SODDY, M.A., Lecturer in Physical Chemistry and Radio-activity, will give a course of from twelve to fifteen Lectures in the above subject twice weekly through the present term, on Tuesdays and Thursdays, at 9 a.m., in the LECTURE ROOM of the Senior Chemical Building, commencing TUESDAY, JANUARY 23rd, 1906.

## SYLLABUS.

Radiation phenomena—Cathode-rays and X-rays—the radio-active elements, uranium, thorium, radium, polonium, and actinium—the distinguishing features of the radio-elements—methods of

## RADIO-ACTIVITY:

AN ELEMENTARY TREATISE,

From the Standpoint of the Disintegration  
Theory.

BY  
FREDK. SODDY, M.A.,  
LECTURER ON PHYSICAL CHEMISTRY AND RADIO-ACTIVITY  
IN THE UNIVERSITY OF GLASGOW.

WITH FORTY ILLUSTRATIONS.

COPYRIGHT.

NEW YORK:  
THE D. VAN NOSTRAND COMPANY,  
23, MURRAY STREET, AND 27, WARREN STREET.

ENGLAND:  
"THE ELECTRICIAN" PRINTING & PUBLISHING COMPANY, LTD.,  
SALISBURY COURT, FLEET STREET, LONDON

1904.

"The relativity principle, in association with Maxwell's equations, requires that the mass be a direct measure of the energy contained in a body ... A noticeable reduction of mass would have to take place in the case of radium. The consideration is amusing and seductive; but for all I know, God Almighty might be laughing at the whole matter and might have been leading me around by the nose."

Olympia-  
Academy, ca.  
1902

(C. Habicht,  
M. Solovine,  
A. Einstein)



Einstein to  
Conrad  
Habicht, ca.  
June 1905)

Gibt ein Körper die Energie  $L$  in Form von Strahlung ab, so verkleinert sich seine Masse um  $L/c^2$ . Hierbei ist es offenbar unwesentlich, daß die dem Körper entzogene Energie gerade in Energie der Strahlung übergeht, so daß wir zu der allgemeineren Folgerung geführt werden:

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um  $L$ , so ändert sich die Masse in demselben Sinne um  $L/9 \cdot 10^{20}$ , wenn die Energie in Erg und die Masse in Gramm gemessen wird.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maße veränderlich ist (z. B. bei den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen wird.

Wenn die Theorie den Tatsachen entspricht, so überträgt die Strahlung Trägheit zwischen den emittierenden und absorbierenden Körpern.

Bern, September 1905.

(Eingegangen 27. September 1905.)

13. *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*  
von A. Einstein.

Die Resultate einer jüngst in diesen Annalen von mir publizierten elektrodynamischen Untersuchung<sup>1)</sup> führen zu einer sehr interessanten Folgerung, die hier abgeleitet werden soll.

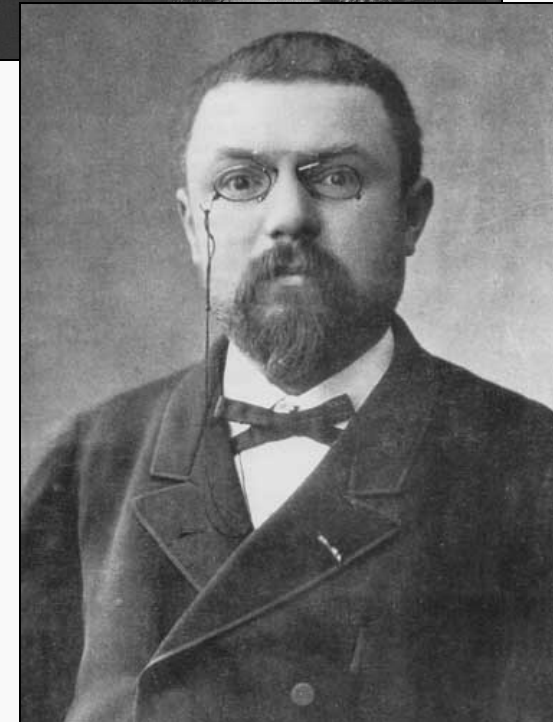
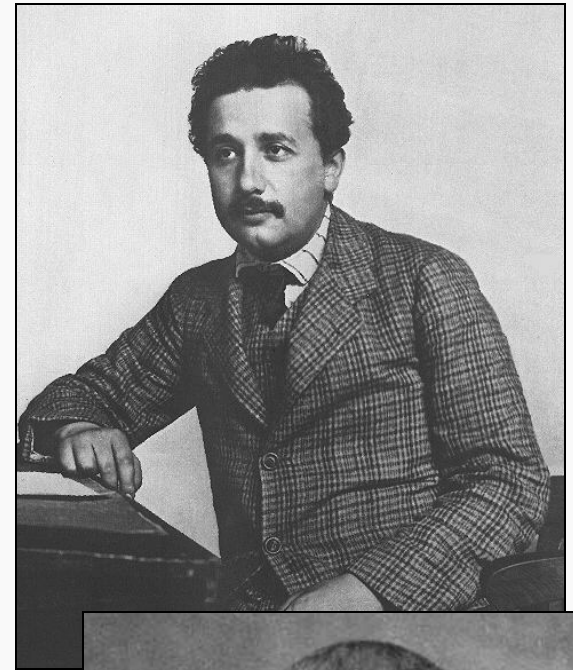
## Einstein's 1905 postulates (and Poincaré's):

- (1) The laws of physics have the same form in any inertial system.
- (2) The speed of light in vacuum is a constant, independent of the system.

It follows that

- Simultaneity is relative
- Length is relative
- The rate of a clock is relative
- ... and much more

BUT, some physical quantities are *invariants*, with same value in any moved system.



# ***On the Electrodynamics of Moving Bodies***

## Introduction

### I. KINEMATICAL PART

- §1. Definition of simultaneity
- §2. Relativity of length and time
- §3. Transformation of coordinates
- §4. Moving rigid bodies and clocks
- §5. Composition of velocities

### II. ELECTRODYNAMICAL PART

- §6. Transformation of Maxwell equations
- §7-9. Doppler principle; aberration; energy of light;
- §10. Slowly accelerated electrons

# ANNALEN DER PHYSIK.

HERAUSGEGEBEN VON  
F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDERMAN.

VIERTHE FOLGE.

BAND 17.

DES GANZEN ANCHER THEILS BANDS.

KURATORIUM:  
F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE,  
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG  
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT  
UND INSPEKTORAT VON  
M. PLANCK

BERATUNGSGEBER VON  
PAUL DRUDE.

MIT FÜNF FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1905.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIIUS BARTHEL

## 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

Felde entzogene Energie gleich der Bewegungsenergie  $W$  des Elektrons gesetzt werden. Man erhält daher, indem man beachtet, daß während des ganzen betrachteten Bewegungsvorganges die erste der Gleichungen (A) gilt:

$$W = \int \epsilon X dx = \int_0^v \beta^3 v dv = \mu V^2 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}} - 1 \right\}.$$

$W$  wird also für  $v = V$  unendlich groß. Überlichtgeschwindigkeiten haben — wie bei unseren früheren Resultaten — keine Existenzmöglichkeit.

Auch dieser Ausdruck für die kinetische Energie muß dem oben angeführten Argument zufolge ebenso für ponderable Massen gelten.

Wir wollen nun die aus dem Gleichungssystem (A) resultierenden, dem Experimente zugänglichen Eigenschaften der Bewegung des Elektrons aufzählen.

...t sich der Leiter,  
kein elektrisches  
che Kraft, welcher  
— Gleichheit der  
gefaßten Fällen  
n derselben Größe  
wie im ersten Falle

# Galilean vs Lorentz

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$



$$v \ll c$$

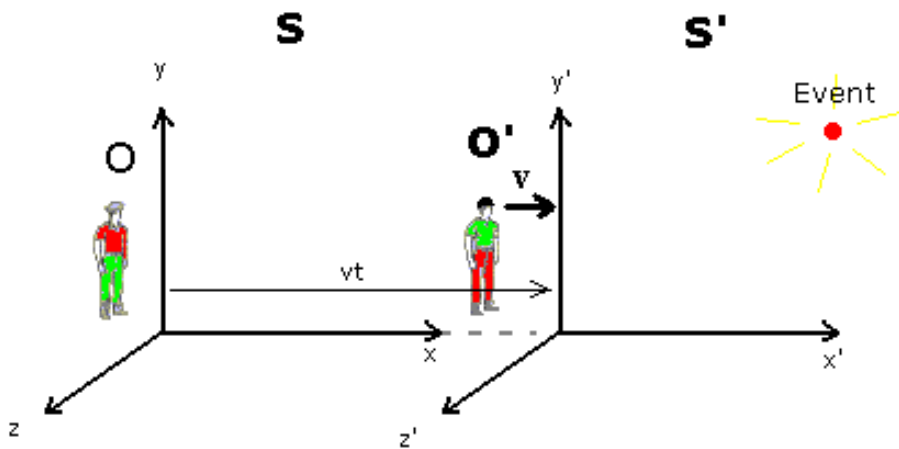
$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

## Transformation of Coordinates



The observers are moving at a relative velocity of  $v$  and each observer has their own set of coordinates  $(x, y, z, t)$  and  $(x', y', z', t')$ . What coordinates do they assign to the event?

Space-time transformations

Out of a million particles at 10 km, how many will reach the Earth?

Measure muon flux at 10 km height.

$\mu$  1,000,000

$v = .98c$

$L_0 = 10 \text{ km}$

$\mu$  0.3

$\mu$  : mass  $207 m_e$   
charge + or -

Rest halflife:  
 $T_0 = 1.56 \times 10^{-6} \text{ sec}$

Simultaneously monitor flux at ground level.

$$\text{Distance: } L_0 = 10^4 \text{ meters}$$

$$\text{Time: } T = \frac{10^4 \text{ m}}{(0.98)(3 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$T = 34 \times 10^{-6} \text{ s} = 21.8 \text{ halflives}$$

Survival rate:

$$\frac{1}{I_0} = 2^{-21.8} = 0.27 \times 10^{-6}$$

Or only about 0.3 out of a million.

First confirmation of relativistic time dilation (half-life of muons), 1940

Out of a million particles at 10 km, how many will reach the Earth?

Measure muon flux at 10 km height.

$\mu$  1,000,000

$v = .98c$   
 $\gamma = 5$

$L_0 = 10 \text{ km}$

$\mu$  49,000

$\mu$  : mass  $207 m_e$   
charge + or -  
Rest halflife:  
 $T_0 = 1.56 \times 10^{-6} \text{ sec}$

Simultaneously monitor flux at ground level.

$$\text{Distance: } L_0 = 10^4 \text{ meters}$$

$$\text{Time: } T = \frac{10^4 \text{ m}}{(0.98)(3 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

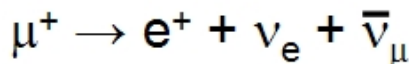
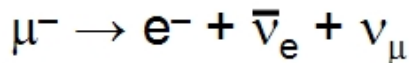
$$T = 34 \times 10^{-6} \text{ s} = 4.36 \text{ halflives}$$

Survival rate:

$$\frac{1}{I_0} = 2^{-4.36} = 0.049$$

Or about 49,000 out of a million.

The muon's clock is time-dilated, or running slow by the factor  $T = \gamma T_0$ , so its measured halflife is  $5 \times 1.56 \mu\text{s} = 7.8 \mu\text{s}$ .



## Addition of velocities

Classical:  $u = v_1 + v_2$

Relativity:

$$u = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$v > c$  ???

For  $v_2 = c$ ,  $u = c$  even for  $v_1 \rightarrow c$ .

## Variation of $m$ with velocity

Classical:  $m = \text{konstant}$

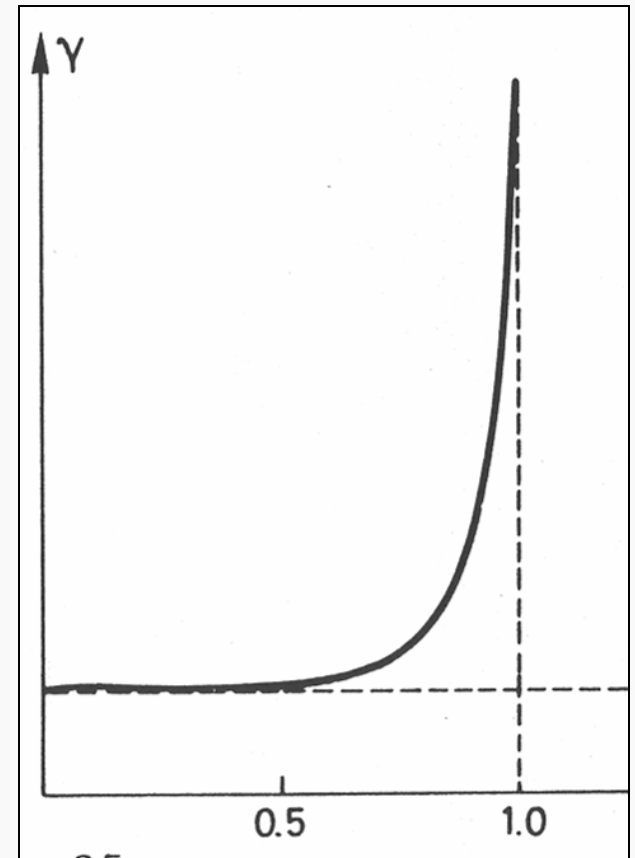
Relativity:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

For  $v \rightarrow c$ ,  $v/c \rightarrow 1$  and  $m \rightarrow \infty$

Longitudinal mass? Transverse mass?

[www.mathpages.com/home/kmath674.htm](http://www.mathpages.com/home/kmath674.htm)

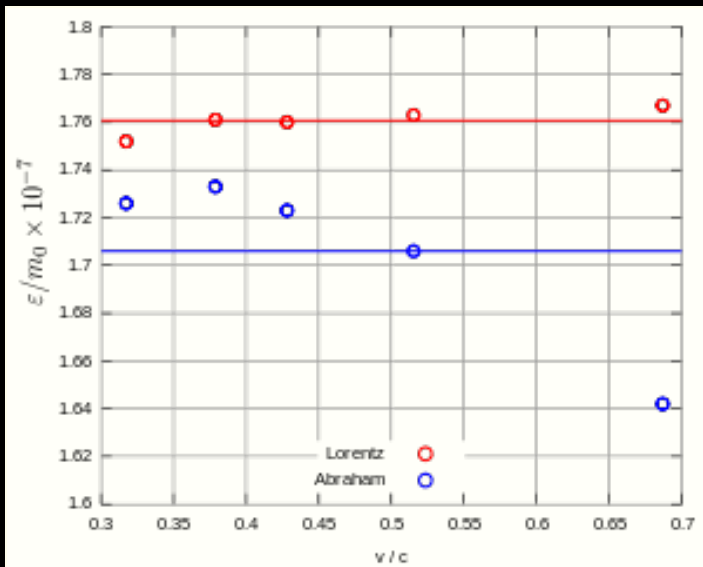


A test of relativity theory? How does  $m$  vary with  $v = \beta c$ ?

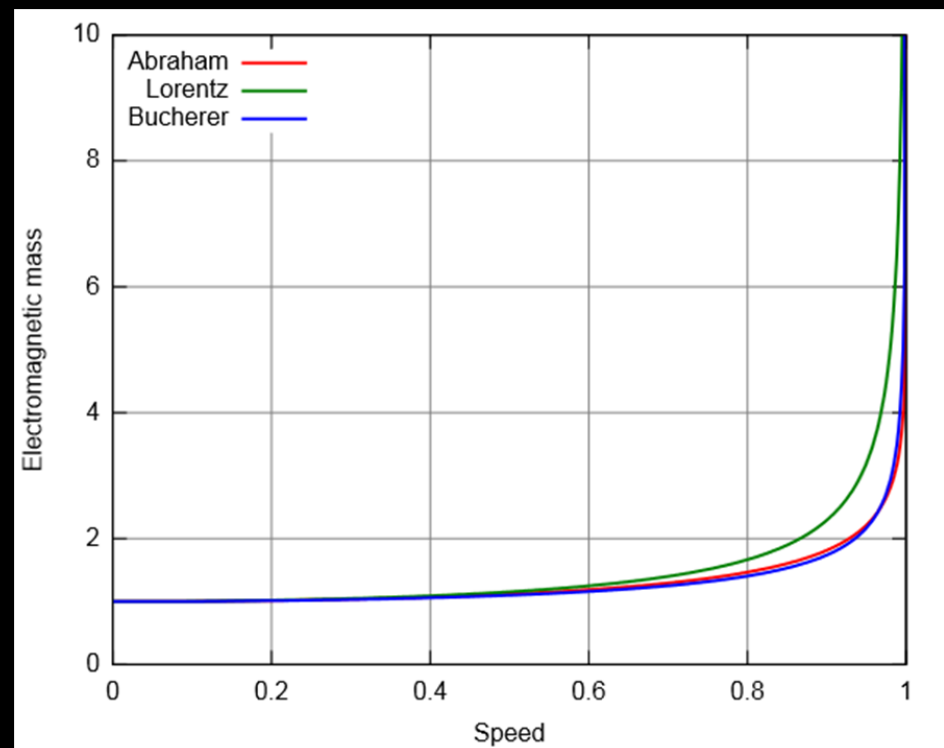
Among the rival theories were Lorentz's deformable electron and Abraham's rigid electron. And Einstein's?

$$m_{\text{LE}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cong m_0 \left( 1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4 + \dots \right)$$

$$m_{\text{A}} = [\text{complicated}] \cong m_0 \left( 1 + \frac{2}{5}\beta^2 + \frac{9}{35}\beta^4 \dots \right)$$



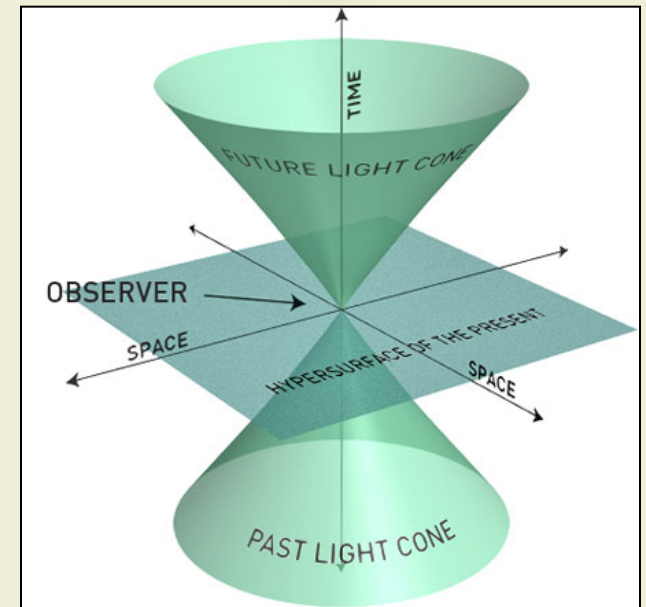
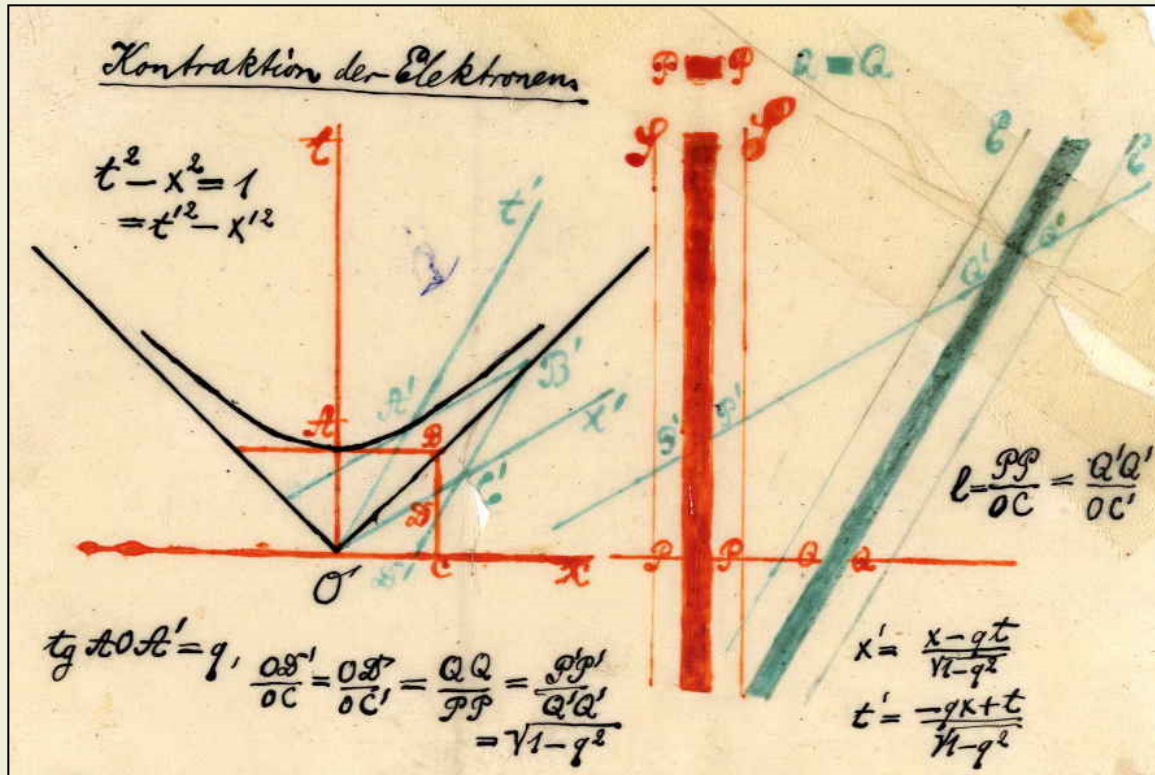
In both theories,  $e/m_0 = \text{constant}$



Hermann Minkowski (1864-1909)

## Minkowski diagrams

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$



$$[m] = m_0 (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$T = m_0 c^2 ((1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} - 1) \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$\frac{e^2 N}{a^2} \cdot v [m] \cdot \frac{v}{a} = \frac{v^2 [m]}{a}$$

$$\omega = \frac{v}{2\pi a} = \frac{v}{2\pi e^2 N} \cdot \frac{e^2 N}{a} \cdot \frac{v^2 [m]}{2\pi e^2 N}$$

$$-A = \frac{N e^2}{a} - T = m_0 c^2 (\beta^2 (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} - (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} + 1) = m_0 c^2 (1 - (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}})$$

1) Angular Momentum constant  $\frac{nh}{2\pi} = M$

$$M = a v [m] = \frac{e^2 N}{v} \quad \underline{\underline{v = \frac{2\pi e^2 N}{nh}}} \quad (\text{assumption equal to } 0)$$

$$2) \quad \frac{\partial A}{\partial m} = h \omega$$

$$-\frac{\partial A}{\partial m} = m_0 v (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} \frac{dv}{dm} \quad h \omega = \frac{h m_0 v^2 (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}}{2\pi e^2 N}$$

$$-\frac{\partial v}{\partial m} \frac{1}{v^2} \frac{h}{2\pi e^2 N} \quad \frac{1}{v} = \frac{h m}{2\pi e^2 N} + C \quad C = 0$$

$$\underline{\underline{v = \frac{2\pi e^2 N}{h m}}}$$

1) of 2) gives same result

Deriving of Radiation per Second of Electrons

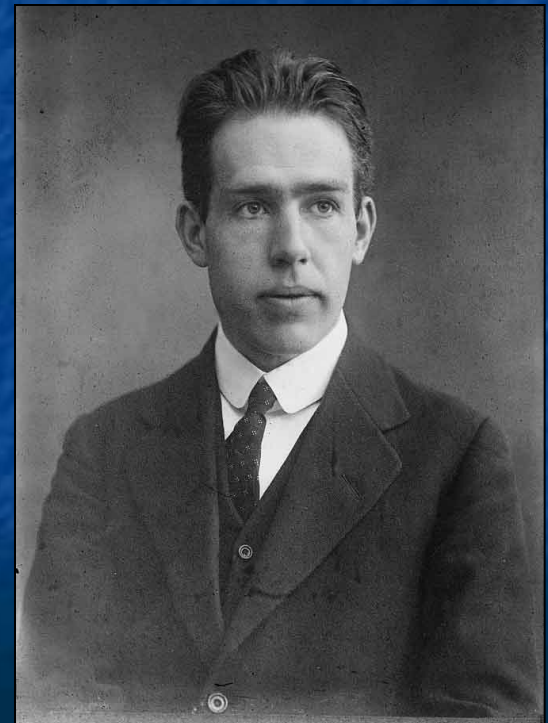
Indefinite Velocity

$$E = \frac{2\pi^2 m_0 e^2 v^2}{h^2} \frac{1}{n} \left(1 + \frac{h^2 v^2}{c^2 h^2} \frac{1}{n}\right)$$

$$\underline{\underline{v = \frac{2\pi^2 m_0 e^2 N}{h^2} \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right) \left(1 + \frac{h^2 v^2}{c^2 h^2} \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right)\right)}}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1.32 \cdot 10^{-5}$$

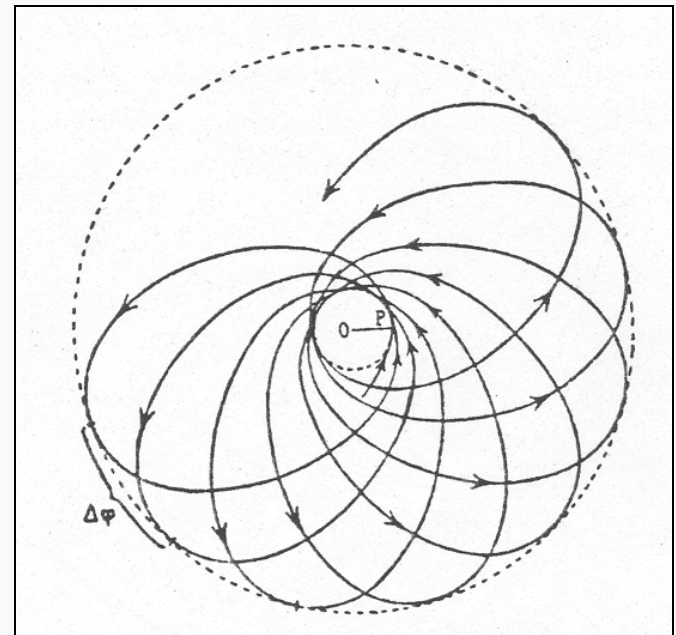
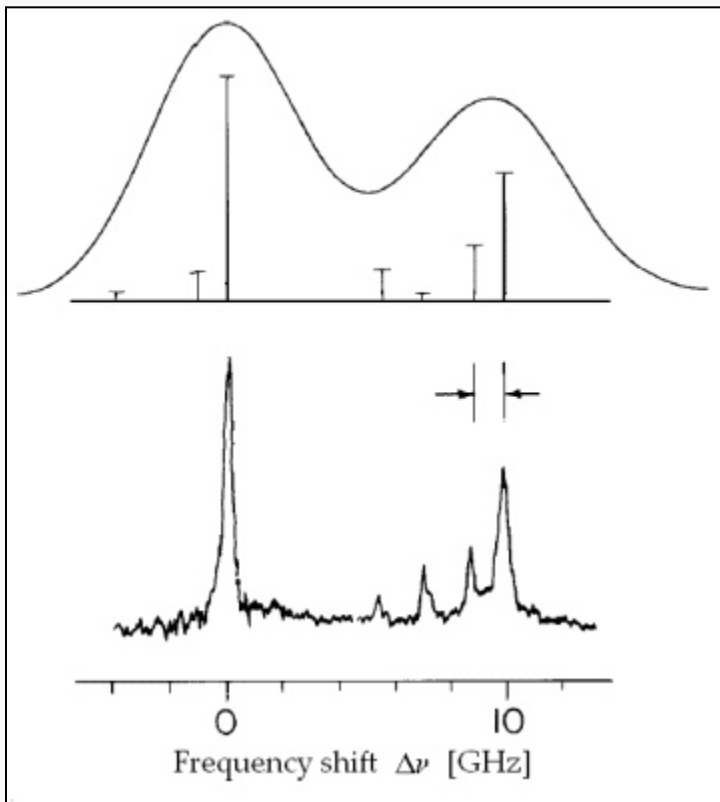
Bohr (1914) attempted to take into account the mass variation of the electron, but only as a correction, and he did not succeed to get an expression in agreement with the measured fine-structure separation.



Arnold Sommerfeld and the fine structure of the hydrogen (and  $\text{He}^+$ ) spectrum.

Bohr and Sommerfeld, September 1919.

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} \equiv \frac{e^2}{\hbar c} \cong \frac{1}{137}$$





## Die Feldgleichungen der Gravitation.

VON A. EINSTEIN.

In zwei vor kurzem erschienenen Mitteilungen<sup>1</sup> habe ich gezeigt, wie man zu Feldgleichungen der Gravitation gelangen kann, die dem Postulat allgemeiner Relativität entsprechen, d. h. die in ihrer allgemeinen Fassung beliebigen Substitutionen der Raumzeitvariablen gegenüber kovariant sind.

Der Entwicklungsgang war dabei folgender. Zunächst fand ich Gleichungen, welche die NEWTONSCHE Theorie als Näherung enthalten

“Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie” (AP, 11 May 1916)

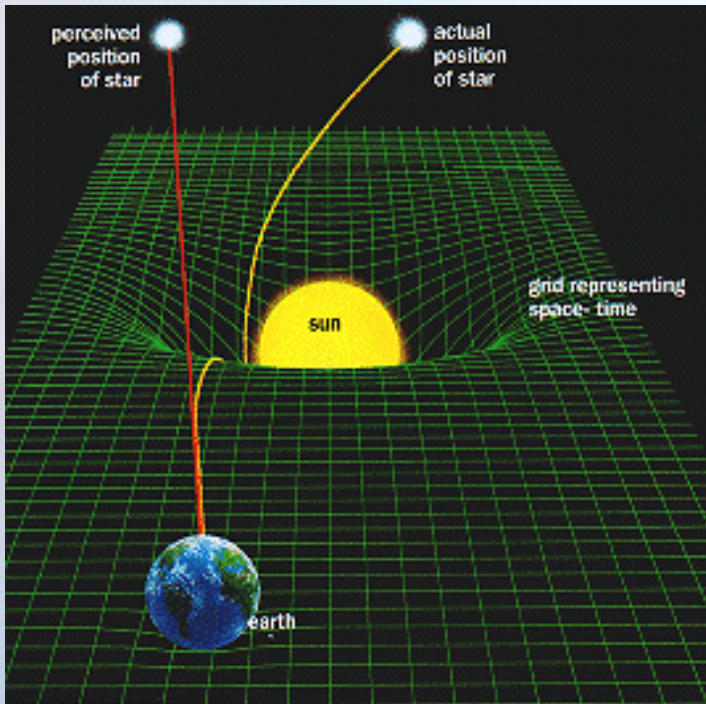
setzen ( $t = t_a^a$ ). Man erhält also an Stelle der Gleichungen (47)

$$(51) \quad \begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_a} (g^{\sigma\beta} \Gamma_{\mu\beta}^a) = -\kappa (t_\mu^\sigma - \frac{1}{2} \delta_\mu^\sigma t) \\ \sqrt{-g} = 1. \end{cases}$$

# The bending of light

In 1913 Einstein explains in a letter to George Hale his prediction of the bending of light, which in the case of the Sun will be ca.  $0,84''$ . Can astronomers measure the tiny angle?

In his later theory of 1915 Einstein gets double the value, ca.  $1,7''$ .



Zürich. 14. X. 13.

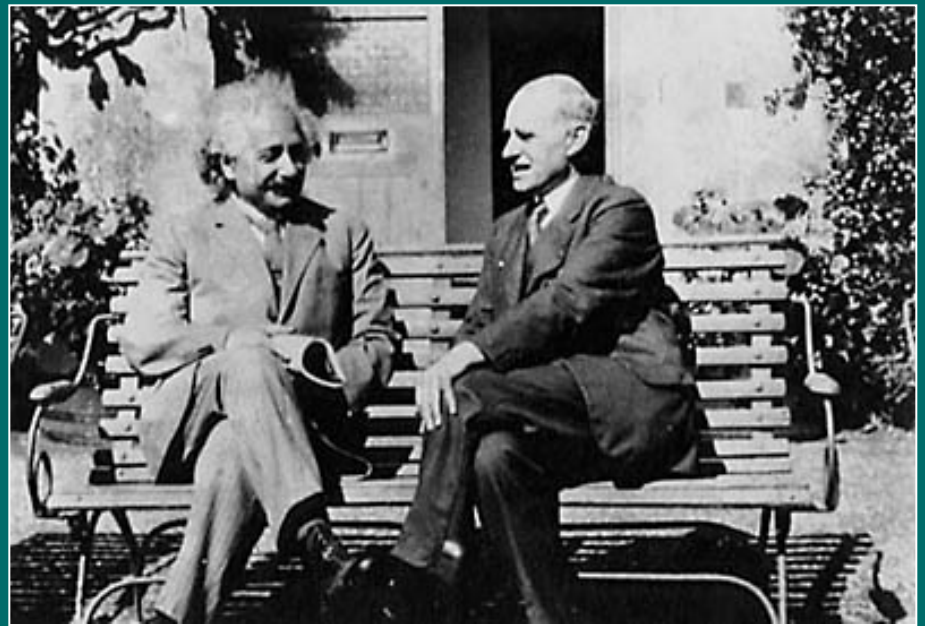
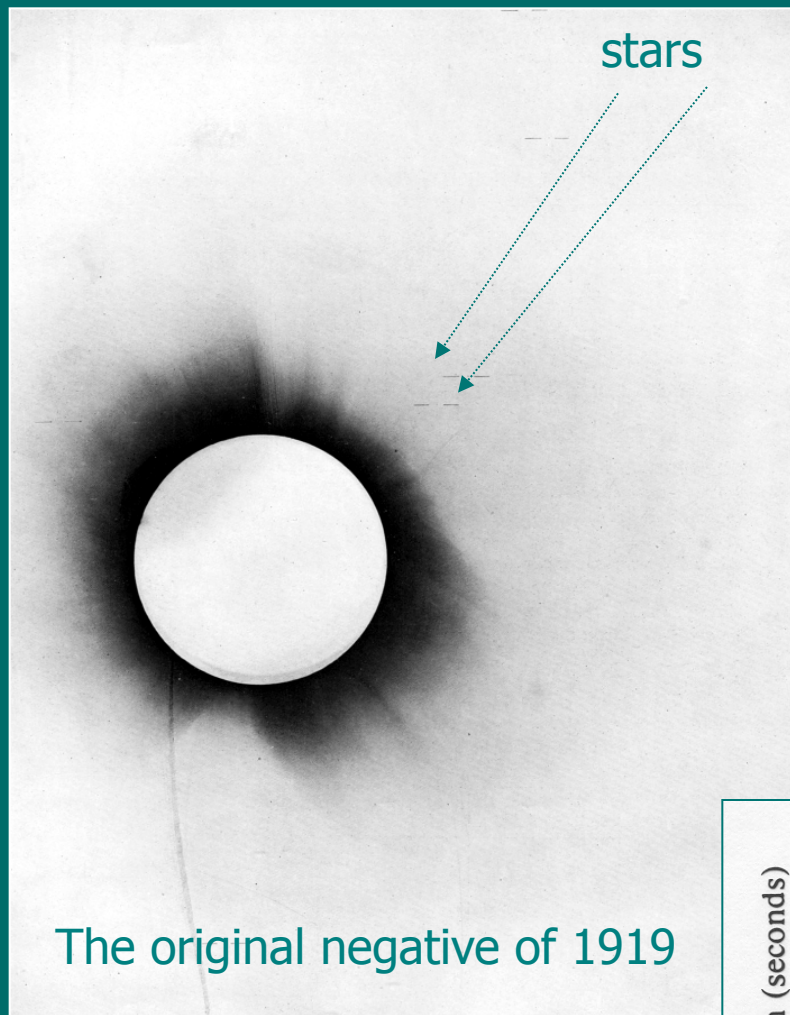
Aus  
Hoch geehrter Herr Kollege!

Eine einfache theoretische Überlegung macht die Annahme plausibel, dass Lichtstrahlen in einem Gravitationsfelde eine Deviation erfahren.

An Sonnenrande müsste diese Ablenkung  $0,84''$  betragen und wie  $\frac{1}{R}$  abnehmen ( $R = \text{Entfernung vom Sonnen-Mittelpunkt}$ ).

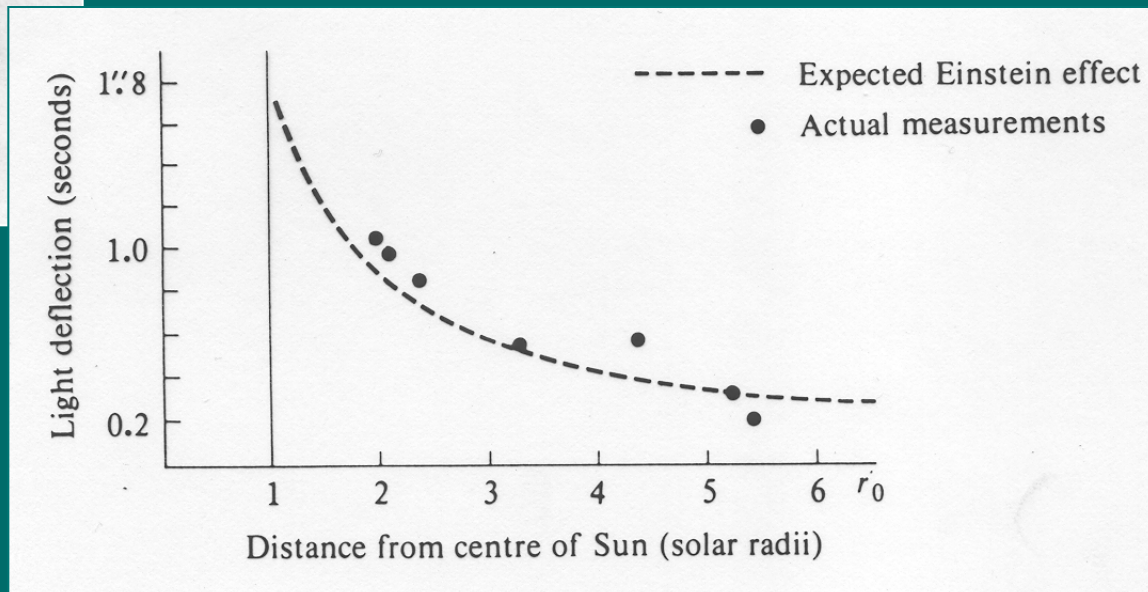
Es wäre deshalb von grösstem Interesse, bis zu wie grosser Sonnen-nähe <sup>helle</sup> ~~grosse~~ Fixsterne bei Anwendung der stärksten Vergrösserungen bei Tage (ohne Sonnenfinsternis) gesehen werden können.

MOUNT WILSON  
ARCHIVES  
OBSERVATORY



Einstein and Eddington

Sobral: 1.61  $\pm$  0.30  
 Principe Island: 1.98  $\pm$  0.12  
 Theory: 1.7



Nº 068

prof einstein huberlandstrasse 5

berlin =

Telegramm Nr. \_\_\_\_\_

den 22. 9. 1912

um 10.40 Uhr

von \_\_\_\_\_

durch \_\_\_\_\_

Telegraphie des Deutschen Reichs.

Berlin, Haupt Telegraphenamt Leitung Nr. \_\_\_\_\_

Befördert den \_\_\_\_\_

um \_\_\_\_\_

in Bg. \_\_\_\_\_ an \_\_\_\_\_

durch \_\_\_\_\_

aus bln sgravenhage 0046 21/19 22/9 10.40 M = \_\_\_\_\_ um \_\_\_\_\_ Uhr \_\_\_\_\_ Min. \_\_\_\_\_

eddington fand sternverscheidung am sonnenrand vorlaeufig grüsse  
zwischen neun zehntel sekunde und doppeltem = Lorentz +

Einstein receives the news of  
the British confirmation of his  
light-bending prediction

Postkarte

Frank

Pauline Einstein

Samedonim Rosen

Langerer (Schwartz)

Stad. Einstein

Hausenstr. 5

Frankfurt

Ich vermiss dich von Herzen  
Gute Tage. Sei innig gegrüßt  
von deinem Albert

Grüsse an die Schwester, Frau  
Dana mit ihrem Sohn, Maja, Pauli  
und El. Doktor. Nächstes Mal  
ausführlicher!

22. IX. 19

Liebe Mutter!

Heute eine freudige Nach-  
richt. H. A. Lorentz hat mir  
telegraphiert, dass die englischen  
Expeditionen die Lichtablenkung  
an der Sonne wirklich bewiesen  
haben. Maja schreibt mir, Li-  
der, dass Du nicht nur viel  
Schmerzen hast, sondern dass  
Du Dir auch noch trübe Ge-  
danken machst. Wie gern würde  
ich Dir wieder Gesellschaft leisten,  
dass Du nicht dem heissen Ge-  
fährn überlassen wärest! Aber  
ein Weile werde ich doch hier  
bleiben müssen und arbeiten.  
Stech nach Holland werde ich  
für einige Tage fahren, um mich  
Ehrenfest dankbar zu verweisen,  
obwohl der Zeitverlust recht  
schmerzhaft ist.

# LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

Men of Science More or Less  
Agog Over Results of Eclipse  
Observations.

## EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed  
or Were Calculated to be,  
but Nobody Need Worry.

## A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could  
Comprehend It, Said Einstein When  
His Daring Publishers Accepted It.

## ECLIPSE SHOWED GRAVITY VARIATION

Diversion of Light Rays Ac-  
cepted as Affecting New-  
ton's Principles.

