

Einsteinovy dny a práce v Praze: relativita tehdy a dnes

Overtura: Život & Kultura

1. věta: Přednášky & články

2. věta: Princip ekvivalence
intermezzo ze současnosti

Ohyb světla

intermezzo (pozorování,
čočky, temná hmota, černé díry)

3. věta: Vlečení inerciaálních systémů,
Mach, gravomagnetismus
intermezzo (Gravity Probe B)

4. věta: Základní rysy teorie gravitace
v červenci 1912 - dnes

Coda

Hlavní data Einsteinova života

- 1879** 14. března se v Ulmu narodil Albert Einstein. Rodiče: Hermann Einstein (1847–1902) a Pauline Einsteinová, roz. Kochová (1858–1920).
- 1880** Rodina se přestěhovala do Mnichova.
- 1889** Vstup na gymnázium v Mnichově.
- 1894** Odchod ze školy bez závěrečných zkoušek. Odjezd k rodičům do Milána.
- 1895** Přijímací zkoušky na *Federální vysokou školu technickou* v Curychu — neuspěl. Říjen 1895 — září 1896 žákem 4. třídy kantonální školy v Aarau.
- 1896** Přijat na techniku v Curychu. Studium učitelství v oboru matematická fyzika. Přátelství se spolužáky Marcelem Grossmannem (později spolupracovníkem při vytváření obecné relativity) a s Milevou Maričovou (pozdější manželkou). Mezi profesory, jejichž přednášky poslouchal, i Hermann Minkowski.
- 1900** Diplom o ukončení studia na technice v Curychu vydán 2. srpna. Neúspěšně se ucházel o místo asistenta na této škole.
- 1901** Krátce pomocným učitelem ve Winterthuru a v Schaffhausenu. První samostatná publikace: „Důsledky jevů kapilarity“.
- 1902** Od 23. června technickým úředníkem na *Federálním patentovém úřadě* v Bernu.
- 1903** 6. ledna sňatek s Milevou Maričovou (naroz. 1875 v Titelu).
- 1904** 14. května narození prvního syna Hanse Alberta (později profesora hydrauliky na universitě v Berkeley).
- 1905** Disertace „Nové určení rozměrů molekul“ (obhájena na universitě v Curychu). Vědecky velmi plodný rok: objev světelných kvant, práce o Brownově pohybu, fundamentální práce o speciální teorii relativity („Elektrodynamika pohybujících se těles“).
- 1908** První přednáška o teorii záření (s třemi posluchači — Einsteinovými přáteli) na universitě v Bernu. Zde také habilitace (soukromý docent).
- 1909** Přednáška na sjezdu přírodovědců v Salcburku. Setkání s některými významnými fyziky (Planckem, Wienem, Sommerfeldem, Bornem). Jmenován mimořádným profesorem na universitě v Curychu. Opouští patentový úřad v Bernu. 15. října nástup na universitě v Curychu.
- 1910** 28. července narození druhého syna Eduarda.
- 1911** 15. dubna nastoupil na německé universitě v Praze jako řádný profesor. První soustředění na problémy gravitace, základní myšlenky obecné teorie relativity. Jako reprezentant Rakouska-Uherska na 1. solvayském kongresu v Bruselu — seznámení s paní Curieovou, Poincaréem, Langevinem, Rutherfordem, Lorentzem.
- 1912** Koncem července odjezd z Prahy do Curychu, řádným profesorem na *Federální technice* v Curychu.
- 1913** Společná práce s Marcelem Grossmannem: poprvé uveden popis gravitace pomocí Riemannovy geometrie. Zvolen řádným členem *Pruské akademie věd* v Berlíně, jmenován ředitelem výzkumného fyzikálního ústavu *Společnosti císaře Wilhelma* v Berlíně.
- 1914** Začátkem roku odjezd z Curychu do Berlína, rodina zůstává v Curychu.
- 1915** Objasnění pohybu perihélia Merkura, objev gravitačního zákona, dovršení obecné teorie relativity.
- 1916** Fundamentální spis „Základy obecné teorie relativity“.
- 1917** Kosmologické aplikace obecné relativity. Zavedení emisních a absorpčních koeficientů. První populární knížka („všem srozumitelná“) o speciální a obecné teorii relativity.
- 1919** Expedice Královské společnosti v Londýně vedená Sirem Arthurem Eddingtonem potvrdila odklon světelného paprsku v gravitačním poli Slunce. Einstein se stal známým nejširší ve-

řejnosti. Právní potvrzení rozchodu s Milevou. Manželství s Elsou (Einsteinova sestřenice), adopce jejich dvou dcer Ily a Margoty.

1921 Návštěva Československa (Prahy) a Rakouska. První cesta do Spojených států, návštěva dalších zemí. Nobelova cena za objasnění fotoelektrického jevu.

1927 5. solvayský kongres, na němž začala známá diskuse mezi Einsteinem a Bohrem o pojmové struktuře a gnoseologickém významu kvantové mechaniky.

1933 Nástup Hitlera k moci, Einstein na návštěvě na *California Institute of Technology* v Pasadena. Návrat do Evropy, ne však již do Německa. Krátce hostem belgické královské rodiny, návštěva Anglie a 17. října odjezd natrvalo do Spojených států na *Institute for Advanced Study* do Princetonu. Zde práce na problémech pohybu a záření v obecné teorii relativity, zvláště však na unitárních teoriích — až do konce života. Častěji se vyjadřuje k otázkám společnosti a morálky.

1939 Dopis prezidentu Rooseveltovi o nebezpečí výroby atomové bomby v Německu.

1946 Předsedou *Výboru atomových vědců* (pro zabránění atomové války).

1952 Odmítl nabídku stát se prezidentem Izraele.

1953 Poslední verze unitární teorie (dodatek II k 4. vydání „Meaning of relativity“).

1955 Poslední vědecká práce: přepracování dodatku II pro 5. vydání knihy „Meaning of relativity“. 11. dubna podpis Russellova manifestu, později nazývaného Russelovým-Einsteinovým. 18. dubna Albert Einstein zemřel.

J. B.

Jednu věc jsem během svého dlouhého života pochopil: že ve srovnání s realitou je veškerá naše věda primitivní a dětinská — a přesto je nejcennější věcí kterou máme.

A. Einstein

Lit.

Pag. 224.

Den průběžný Datum ber. vřízení Reditu	Cis. domu	Jméno a příjmení För- und Sunamen	Hodnost neb zaměstnání	Charakter oder Beschäftigung	Rok narození Geburtsjahr	Vyznání náboženské Konfession	Kodiště, obec domovská, záznam týkající se oddavek a listin o příslušnosti do- movské a jiná poznámky
19. 12. 1915. 911	Smichov	Einstein albert Universitäts- professor		1879	1879	ang. nad Grace	
		Milena Jathlin	1875.				
		geb Maritz					
		Albert	Sohn	1904			
		Edmund	"	1910			

HESIOD (7th cent. BCE) W&D:

"Works & Days"

"THE PRICE

OF ACHIEVEMENT

IS TOIL^{x)}; AND ^{THE} GODS HAVE RULED
THAT YOU MUST PAY IN ADVANCE

SUMMARY:

EINSTEIN PAID MUCH IN PRAGUE

Days: April 1911 - July 1912

Works: Principle of Equivalence;
light bending (observable); dragging
of inertial frames; features of
a future theory of gravity

x) Schinderei, Plage, Räckerei

- Why and how invited to Prague

F. Lippich

A. Lampa, G. Pick, A. Rotmuth
"Machian" Gas?

confession

without → mosaic

Ehrenfest

Library

Planck's letter, Austrian
ambassador

- Days in Prague

the city „herrlich“, „electric!“

visits of colleagues, Berta Fanta's house

Kafka, Max Brod Johanna

Tycho Brahe's Weg zu Gott

[Fürth] Streitbares Leben (Insel Verlag 72)

- Relations to Czech popul. - culture, 1921

- Lectures

- Solvay

Quantum

gravity

Zwischenspiel in Prag

Die Deutsche Universität in Prag hatte auf Initiative der beiden Mach-Schüler Georg Pick und Anton Lampa einstimmig die Berufung Einsteins ausgesprochen. Obwohl ein Veto des Kaisers Franz Joseph drohte, da Einstein Jude war und der Monarch bekanntermaßen Wert auf die Zugehörigkeit zu einer anerkannten Kirche legte, wurde der Ruf schließlich doch staatlicherseits bestätigt, unter der Bedingung, daß Einstein die österreichisch-ungarische Staatsbürgerschaft zusätzlich annähme – eine Notwendigkeit, da er als ordentlicher Professor den Status eines Staatsbeamten hatte. Insgesamt lebte Einstein nur sechzehn Monate in Prag und arbeitete intensiv an der Allgemeinen Relativitätstheorie. Vorbereitung dafür war die Veröffentlichung »Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes«.



Das Gebäude der Philosophischen Fakultät der Deutschen Universität in Prag. Hier befand sich das Institut für Theoretische Physik mit dem Arbeitszimmer Einsteins.

Anton Lampa wurde am 17. Januar 1868 als Sohn eines Eisenbahningenieurs in Budapest geboren. Nach seinem Physikstudium in Wien habilitierte er sich dort 1897 und wurde 1904 außerordentlicher Professor. Für das Wintersemester 1909/10 suchte man an der Deutschen Ferdinand-Karls-Universität in Prag einen Nachfolger des Lehrstuhls für Experimentalphysik. Die Berufungskommission empfahl an erster Stelle Johannes Stark an zweiter Lampa. Der damalige Kultusminister, Graf Stürgkh, hatte nun nach den Gutachten eine vorläufige Entscheidung zu treffen und diese dem Kaiser vorzutragen, bei dem formal die endgültige Entscheidung lag. Darin hieß es, daß »bei Vorhandensein einer tüchtigen inländischen Kraft« er es sich erlaube »mit Übergehung des an erster Stelle genannten Ausländer, Professor Stark, Dr. Anton Lampa als Nachfolger... in Antrag zu bringen.« Ein Jahr später setzte sich Lampa dafür ein, daß wieder ein Ausländer einen Lehrstuhl besetzen sollte. Er empfahl als Ordinarius für theoretische Physik Albert Einstein, den er 1909 auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte in Salzburg kennengelernt hatte. Anton Lampa legte seinen Lehrstuhl 1919 nieder, kehrte nach Wien zurück und arbeitete dort in der Erwachsenenbildung. 1938, wenige Tage nach seinem siebzigsten Geburtstag, starb er.



Philipp Frank (1884 – 1966), der spätere Nachfolger Einsteins am Lehrstuhl für Theoretische Physik der Universität Prag und Biograph Einsteins.

Einstein
His Life and Times

To President
Dr. Edward Benes
dedicated respectfully
by the author.

Philip Frank
May 1, 1947
Cambridge, Mass.



The building of the former Faculty of Philosophy of the German University in Viničná 7 where Einstein had his office and, in 1912, gave his lectures. There is no consensus where Einstein's office was located. Prof. P. G. Bergmann and his wife studied in Prague under Prof. P. Frank who was head of the Institute of Theoretical Physics from Einstein's departure in 1912 until 1938. In 1979 they recalled the main door of the building but disagreed as to which window belonged to Frank's office, not to mention Einstein's.

In any case, Einstein's office could not have been on the ground floor because through its window one could overlook a park where Einstein, as Frank writes, could see people "walking alone sunk in deep meditation" while others "engaged in vehement discussions". On one occasion Einstein explained to Frank that the park belonged to the insane asylum of Bohemia and remarked: "Those are the madmen who do not occupy themselves with the quantum theory."

In Prague, Einstein and his family considered the smartest part of Prague (No. 7) was new and, in contrast to installed. For the first time the Einstein On the occasion of Einstein's centenary building (the artists are M. Benda & University and the Czechoslovak Academy place in the Carolinum, the historical 27. Among more than 300 participants directly connected with Einstein, incl:



Margot and Peter Bergmann looking at
the university building in Prague (1979).
A. Einstein and P. Frank had their offices here,
and Peter and Margot met during their studies.



Peter and Margot Bergmann in Bicáks' apartment
(1979)

Alan J. Friedman, Carol C. Donley: *EINSTEIN AS MYTH AND MUSE*

Cambridge Univ. Press 1985

Approaches to relativity in fiction 83

► *Approaches to relativity in fiction*

Writers of prose fiction displayed an equally excited and wide-ranged interest in Einstein's marvels. From use of the profoundly wrong aphorism "everything is relative," to intricate, accurate analogies, the possibilities of Einstein and his theories as models for subject and form were explored by authors of novels and short stories.

A remarkable early exposition of the possibilities appeared in 1924, with Karel Čapek's novel, *Krakatit* (translated into English the following year).⁴¹ Čapek's awareness of science and technology was indicated by mentions in the novel of the leading scientists of the day, including Einstein, Rutherford, Planck, Bohr, and Millikan. The plot concerns an inventor who has discovered a way to release atomic energy, and who is pursued by those who would use his discovery for their own purposes. The technical details are as accurate as they could be in the early 1920's, and atomic energy is correctly seen as a possibility emerging from the radioactivity work of Becquerel and Rutherford, and not from Einstein's theories – a distinction lacking in much subsequent fiction and popular treatments. Speculations about atomic energy were not new, even in 1924, as will be discussed in Chapter 6. A novelist's use of relativity as metaphor and form, however, may have occurred first in *Krakatit*.

The inventor, Prokop, is torn in the traditional struggle between God and the devil for his soul and his discovery. Prokop's bewilderment, in the literal form of a fever, is described by the first metaphor from relativity:

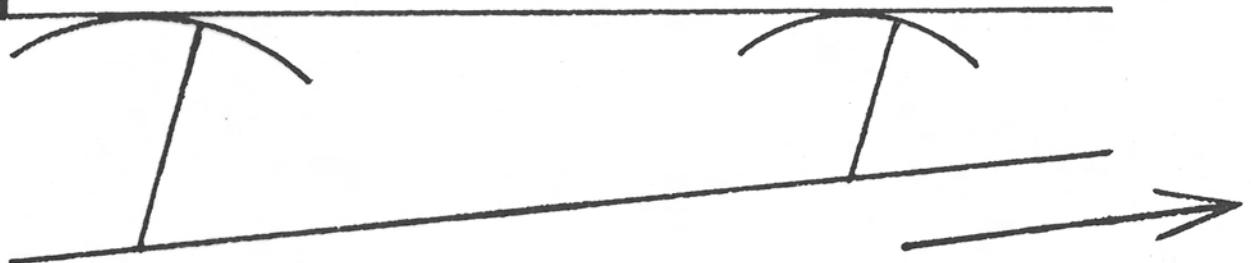
Inside his head the blows had become faster and more painful.

It appeared that he was moving with the minimum velocity of light; in some way his heart was compressed. But that was only the Fitzgerald-Lorentz contraction, he explained to himself; soon he would become as flat as a pancake. And suddenly there appeared in front of him countless glass prisms; no, they were only endless, highly polished planes which intersected at sharp angles like models of crystals. He was thrown against the edge of one of them with terrible speed.

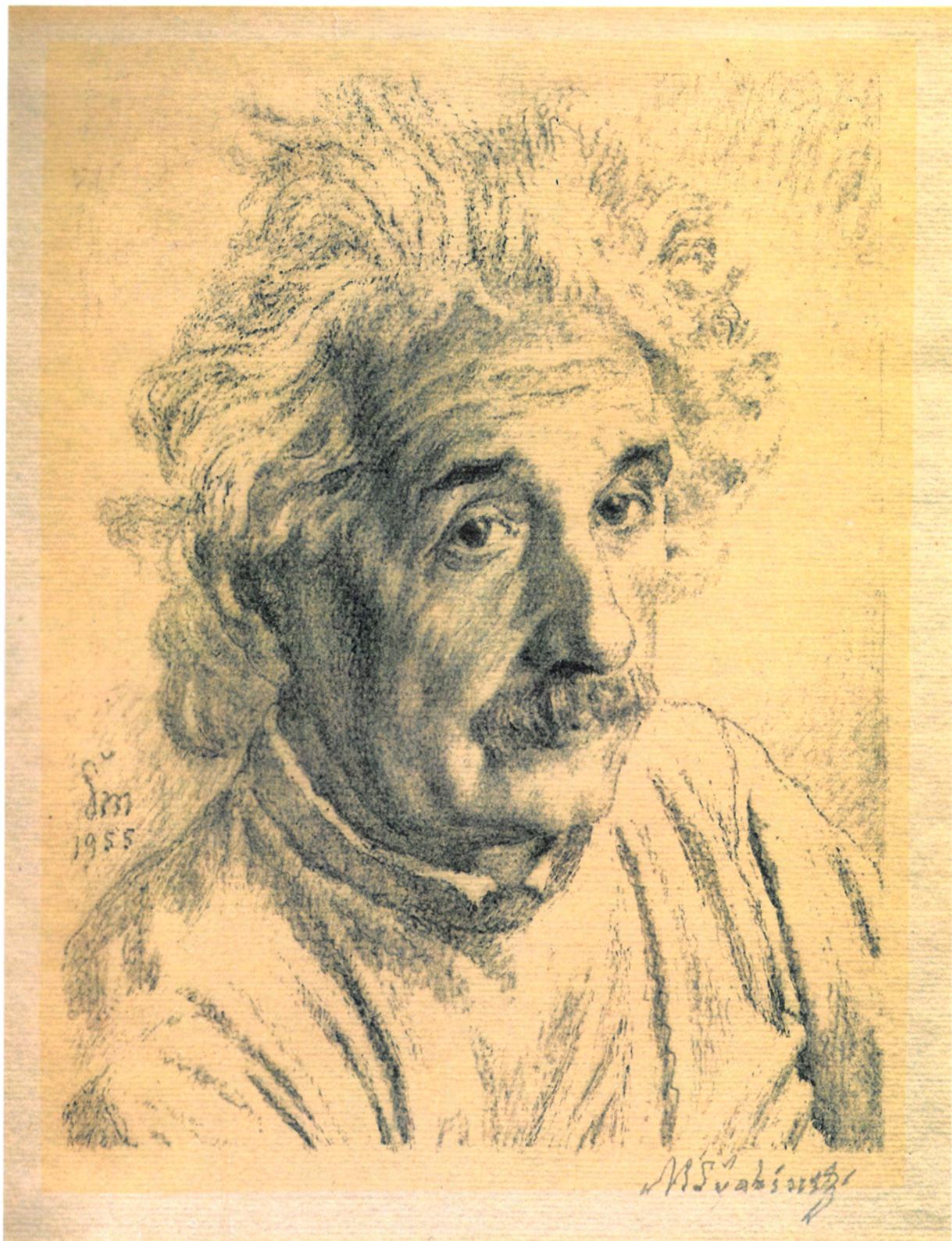
. . . Prokop sobbed with fear. This was Einstein's universe and he must get there before it was too late!⁴²

Failures of the old absolute references for morality and survival are represented in the novel by the new physics. Towards the end of the

Einstein



A P R A H A



ALBERTUS EINSTEIN
ANNUS MIRABILIS 1905

MÉ IDEÁLY,

*které přede mnou zářily a vždy znovu mě
naplňovaly radostnou životní odvahou, byly
DOBRO, KRÁSA A PRAVDA.*

*Bez pocitu, že se shoduji se stejně smýšlejícími,
bez hledání objektivního, věčně nedosažitelného
na poli umění a vědeckého bádání,
je vil by se mi život prázdný.*

ALBERT EINSTEIN



Participants at the Einstein centenary celebrations
in 1979 at the Charles University in Prague:
J.A. Wheeler, A. Trautman, Mrs. Melcher,
E. Schmutzner, J. Langer, M. Bergmann, P. Bergmann,
H. Melcher (f.l.t.r.)

John Archibald Wheeler – mág bez magie

Jiří Bičák

Ústav teoretické fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta Karlovy univerzity, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Jeden z velikánů fyziky 20. století profesor John Archibald Wheeler (nar. 9. 7. 1911, Jacksonville, Florida) zemřel 13. dubna 2008 na zápal plic ve svém domově v Highstownu v New Jersey. Zásadními pracemi a mnoha novými myšlenkami obohatil různé oblasti fyziky – od vlastností elementárních častic, atomových jader, jáderných výbuchů a exotických atomů až k problémům kvantových měření a filozofie kvantové mechaniky; od fundamentálních vlastností prostoru a času po astrofyzikální a kosmologické projevy černých dér. V jedné pražské restauraci mi o něm jeho „východní protějšek“ Jakov Borisovič Zeldovič řekl: „Je to fantasta, jeho fantazie mu ale často vycházejí.“ Naopak, během společenského večera při příležitosti velké relativistické konference GR-8 v Jeně v létě 1980 přišel Wheeler k Zeldovičovu stolu a věnoval mu kostky: „Ted, více než 100 let od narození Alberta Einsteina, už pánbůh v kostky hrát může.“

Wheelerův vědecký život byl před válkou a během ní hluboce ovlivněn jeho blízkým vztahem k Nielsu Bohrvi a později, po smrti Alberta Einsteina v roce 1955 v Princetonu, převzetím Einsteinovy „role“ vedoucího relativisty v Princetonu – a vlastně na celém světě. Koběma této pilířům teoretické fyziky 20. století choval hluboký obdiv. Mnohaletá debata mezi Einsteinem a Bohrem o významu kvantové teorie byla pro něho největší v historii lidského myšlení, řekl v rozhovoru pro tento časopis před mnoha lety [1]. Snad nejvlivnějším se stal množstvím žáků, které inspiroval svými myšlenkami a vysoce originálním a nakažlivě optimistickým přístupem k vědě. Mezi těmi nejpřímějšími jsou zakla-

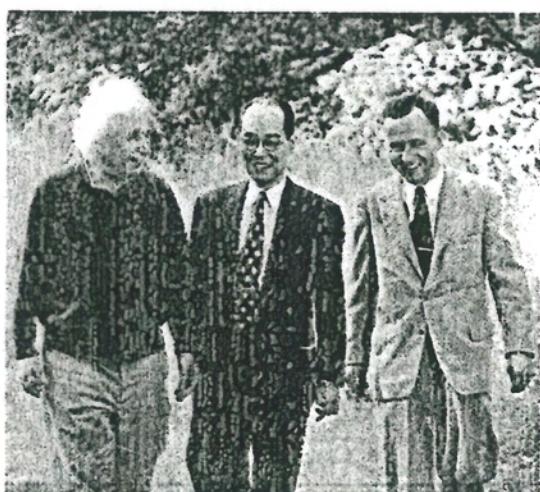


John Archibald Wheeler (9. 7. 1911 – 13. 4. 2008)

» „Ted, více než 100 let od narození Alberta Einsteina, už pánbůh v kostky hrát může.“ «

datelé nových fyzikálních oborů, jako jeho byvší doktorand Richard Feynman (Wheelerova otázka „a co když elektron a pozitron jsou stejnými česticemi, které ale cestují v opačných směrech v čase“ vedla nakonec k Feynmanovým diagramům), Arthur Wightman, zakladatel axiomatické formulace kvantové teorie pole, Kip Thorne, „Feynman professor“ na Caltechu, sám učitel řady dnes předních relativistů a astrofyziků, jeden z hlavních architektů relativistické astrofyziky (oboru, který vznikl po objevu kvasarů v roce 1963 a „expandoval“ do obrovské šíře a hloubky), Charles Misner, Jim Isenberg, Bob Geroch a Demetrios Christodoulou, vedoucí odborníci v matematické relativitě, Jacob Bekenstein, Bob Wald a Bill Unruh, autoři zásadních prací v problematice vztahu kvantové teorie a teorie gravitace, zvláště kvantové teorie „na pozadí“ prostoročasu černých dér, nebo Hugh Everett, s jehož dodnes rozebíranou interpretací kvantové teorie měření, při nichž dochází ke štěpení do různých kanálů v „paralelních vesmírech“, Wheeler nesouhlasil, ale považoval ji za zajímavou a často o ní hovořil a psal.

V roce 1998 vyšla jeho autobiografie [2], sepsaná s pomocí jeho žáka a později kolegy Kennetha Forda.



Einstein, Yukawa a Wheeler v Marquand Park, Princeton, 1954

A L B E R T E I N S T E I N

THEORIE RELATIVITY

SPECIÁLNÍ I OBECNÁ

Lehce srozumitelný výklad

Se zvláštní předmluvou autorovou

k českému vydání

1923

Nakladatel Fr. Borový v Praze

Přednášky a semináře A.E. v Praze

20. 4. 1911

- konec

července 1911

Mechanik diskreter

Massenpunkte (3h.)

13p.

Thermodynamik (2h.)

12

Seminar

6

19. 10. 1911

- středa před
Květnou nedělí

1912

Mechanik diskreter

Massenpunkte (3h.)

12

Wärmelehre (2h.)

13

Seminar

7

12. 4. 1912

- konec

července 1912

Mechanik der Kontinua

(2h.)

10

Molekulartheorie

der Wärme (3h.)

11

Seminar

7

PŘEDMLUVA AUTORA K ČESKÉMU VYDÁNÍ

Těší mě, že tato malá knížka, v níž jsou bez matematického propracování vyloženy hlavní myšlenky theorie relativity, vychází nyní v národní řeči oné země, v níž našel jsem soustředění nutné k tomu, abych základní myšlenku obecné theorie relativity, kterou jsem pojal již r. 1908, poněhlu přidival určitější formou. V tichých místnostech ústavu pro theoretickou fysiku pražské německé university ve Viničné ulici jsem objevil, že z ekvivalentního principu vyplývá odchylka světelných paprsků v blízkosti Slunce v míře pozorovatelné, aniž jsem tehdy věděl, že před více než sto lety podobný důsledek byl odvozen z Newtonovy mechaniky a z jeho emissní theorie světla. V Praze také jsem objevil důsledek o posunu spektrálních čar k červenému konci, který dosud není bezvadně potvrzen. Rozhodující myšlenku o obdobě mezi Gaussovou teorií ploch a matematickým problémem svojí theorie pojal jsem ovšem teprve r. 1912 po svém návratu do Curychu, aniž jsem zprvu znal bádání, jež v tom směru vykonali Riemann, Ricci a Levi-Civitá. Na ně byl jsem upozorněn teprve svým přítelem Grossmannem v Curychu, když jsem mu předložil problém vyhledati obecně kovariantní tensory, jejichž složky by závisely jen na derivacích koeficientů kvadratického základního invariantu. Zdá se, že jest dnes již možno jasně přehlédnouti výkony i hranice výkonnosti celé theorie. Podává hluboké poznatky o fysikální povaze prostoru, času, hmoty, gravitace, avšak neposkytuje dostatečného prostředku k řešení problému kvant, jakož i atomistického složení elementárních elektrických útvarů, z nichž sestává hmota.

A. EINSTEIN

PRAŽSKÉ PRÁCE ALBERTA EINSTEINA

Z teorie relativity a gravitace:

1. Zum Ehrenfestschen Paradoxon,
Phys. Z. **12** (1911), 509–510.
2. Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes,
Ann. d. Phys. **35** (1911), 898–908.
3. Lichtgeschwindigkeit und Statik des Gravitationsfeldes,
Ann. d. Phys. **38** (1912), 355–369.
4. Zur Theorie des statischen Gravitationsfeldes,
Ann. d. Phys. **38** (1912), 443–458.
5. Gibt es eine Gravitationswirkung, die der elektrodynamischen Induktionswirkung
analog ist?
Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin **44** (1912), 37–40.
6. Relativität und Gravitation: Erwiderung auf eine Bemerkung von M. Abraham,
Ann. d. Phys. **38** (1912), 1059–1064.

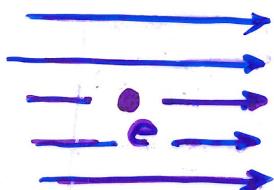
Z termodynamiky, z teorie záření a kvant:

7. Elementare Betrachtungen über die thermische Molekularbewegung in festen
Körpern,
Ann. d. Phys. **35** (1911), 679–694.
8. État actuel du problème des chaleurs spécifiques,
Instituts Solvay, Conseil de Physique, Rapport et discussions de la Réunion Solvay,
1911; Paris, Gauthiers 1912, 407–435.
Materiály Solvayského kongresu vyšly v německém překladu, mezi nimi i Einsteinova
přednáška:
Zum gegenwärtigen Stande des Problems der spezifischen Wärme,
Deutsche Bunsengesellschaft, Abhandlungen, Nr. 7 (1914), 330–364.
9. Thermodynamische Begründung des photochemischen Äquivalentgesetzes,
Ann. d. Phys. **37** (1912), 832–838.
10. Nachtrag zu meiner Arbeit: „Thermodynamische Begründung des
photochemischen Äquivalentgesetzes“, Ann. d. Phys. **38** (1912), 881–884.
11. Antwort auf eine Bemerkung von J. Stark: „Über eine Anwendung
des Planckschen Elementargesetzes“, Ann. d. Phys. **38** (1912), 888.

Ekvivalence tělové a setrvačné hmoty

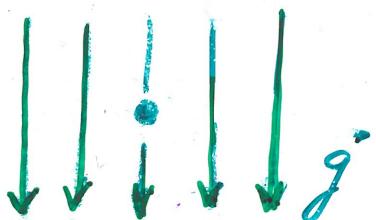
ELEKTROMAGNETISMUS

(Praha 1911
B. Hoffmahn)



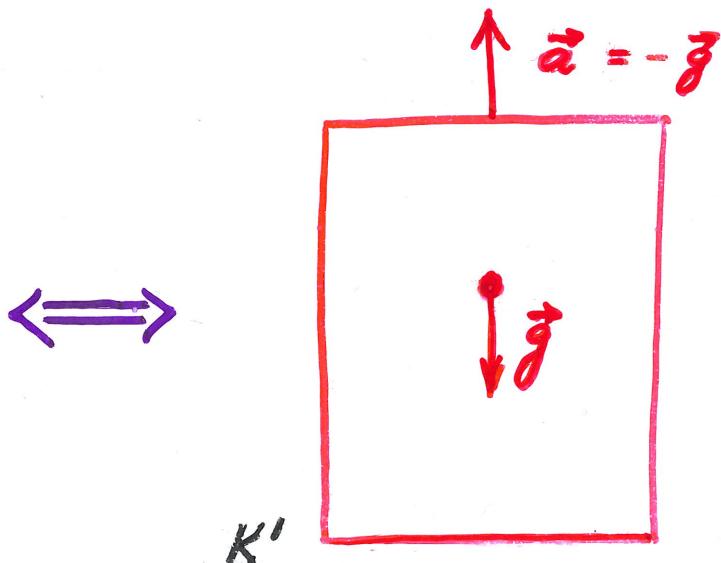
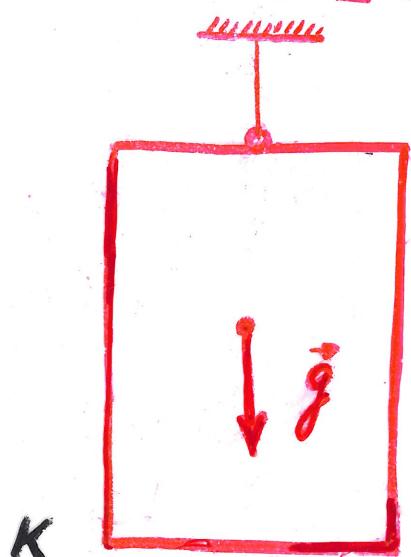
$$m_{\text{setrv.}} \vec{a} = e \vec{E}$$

GRAVITACE



$$m_{\text{setrv.}} \vec{a} = m_{\text{grav.}} \vec{g}$$

EINSTEIN



v klidu v homogenním gravitačním poli

v rovnoměrně zrychleném pohybu v prázdném prostoru

GR + EXPERIMENT

$$\gamma \equiv \frac{\Delta a}{a} = \frac{a_{(1)} - a_{(2)}}{\frac{1}{2}(a_{(1)} + a_{(2)})} < 10^{-3} \text{ (Newton)}$$

$< 2 \cdot 10^{-5}$ (Bessel 1827)

$< 5 \cdot 10^{-8}$ (Eötvös 1890)

$< 3 \cdot 10^{-11}$ (Dicke 1963)

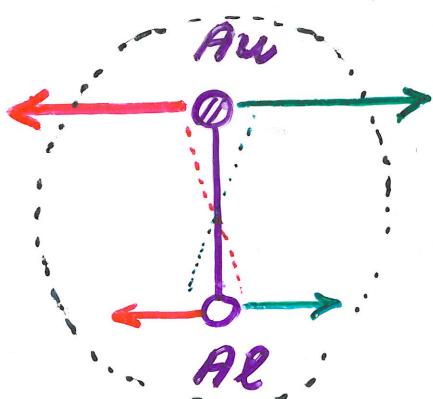
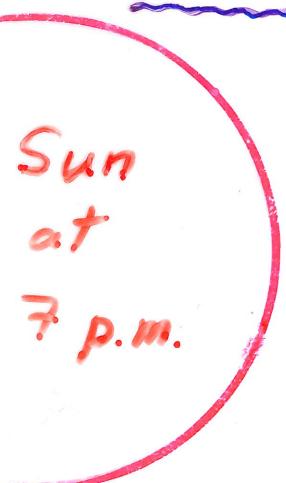
$< 1 \cdot 10^{-12}$ (Braginskij 1970)

$< 1 \times 10^{-18}$ (Everitt 2010+?)

~~$\min. a = m/g \cdot g$~~

2008: \rightarrow EÖT-WASH
 $\eta_{Be-Ti} = (0.3 \pm 1.8) \times 10^{-13}$

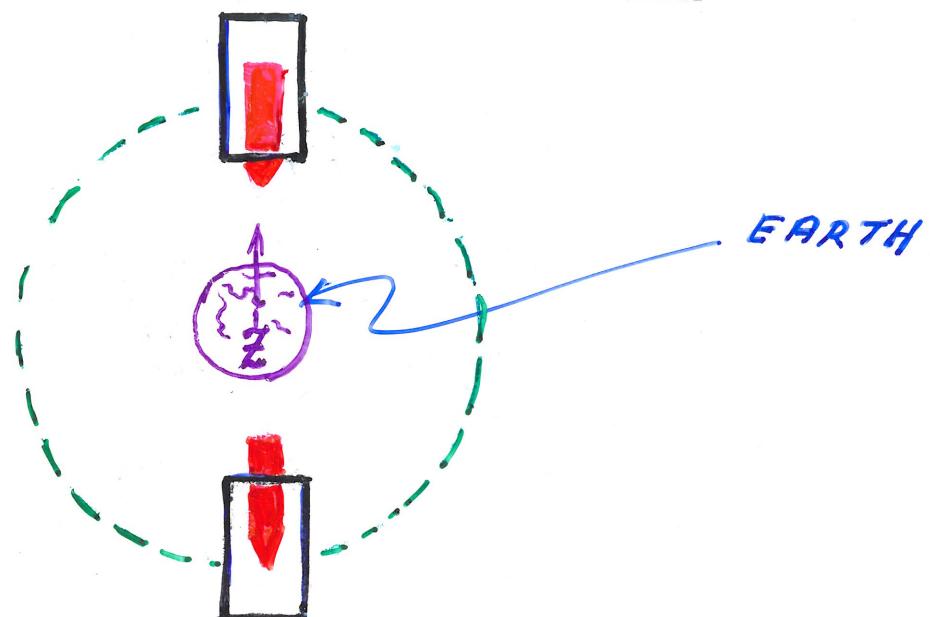
Dicke:



Everitt:

ESA/NASA

STEP
Satellite Test
of Eq. principle



Banesh Hoffmann („EIH“,...) : „A. Einstein: Creator & Rebel“
p. 105

„In the paper of 1907 ... Einstein had already begun his attack on the problem of acceleration, and he returned to it in his Prague paper of 1911. His argument, particularly in its 1911 form, must rank as one of the most remarkable in the history of science

A.E. 1911 [Über den Einfluss der Schwerkraft... auf C^M]

So lange wir uns auf rein mechanische Vorgänge aus dem Gültigkeitsbereich von Newtons Mechanik beschränken, sind wir der Gleichwertigkeit der Systeme K und K' sicher. Unsere Auffassung wird jedoch nur dann tiefere Bedeutung haben, wenn die Systeme K und K' in bezug auf alle physikalischen Vorgänge gleichwertig sind, d. h. wenn die Naturgesetze in bezug auf K mit denen in bezug auf K' vollkommen übereinstimmen. Indem wir dies annehmen, erhalten wir ein Prinzip, das, falls es wirklich zutrifft, eine große heuristische Bedeutung besitzt.

Mark Twain (Life on Mississippi):

"The nice thing about Science is
that one gets such wholesale
returns of conjecture from such
a trifling investment of fact"

E.G. Adelberger...

Torsion
fiber

magnetic shields

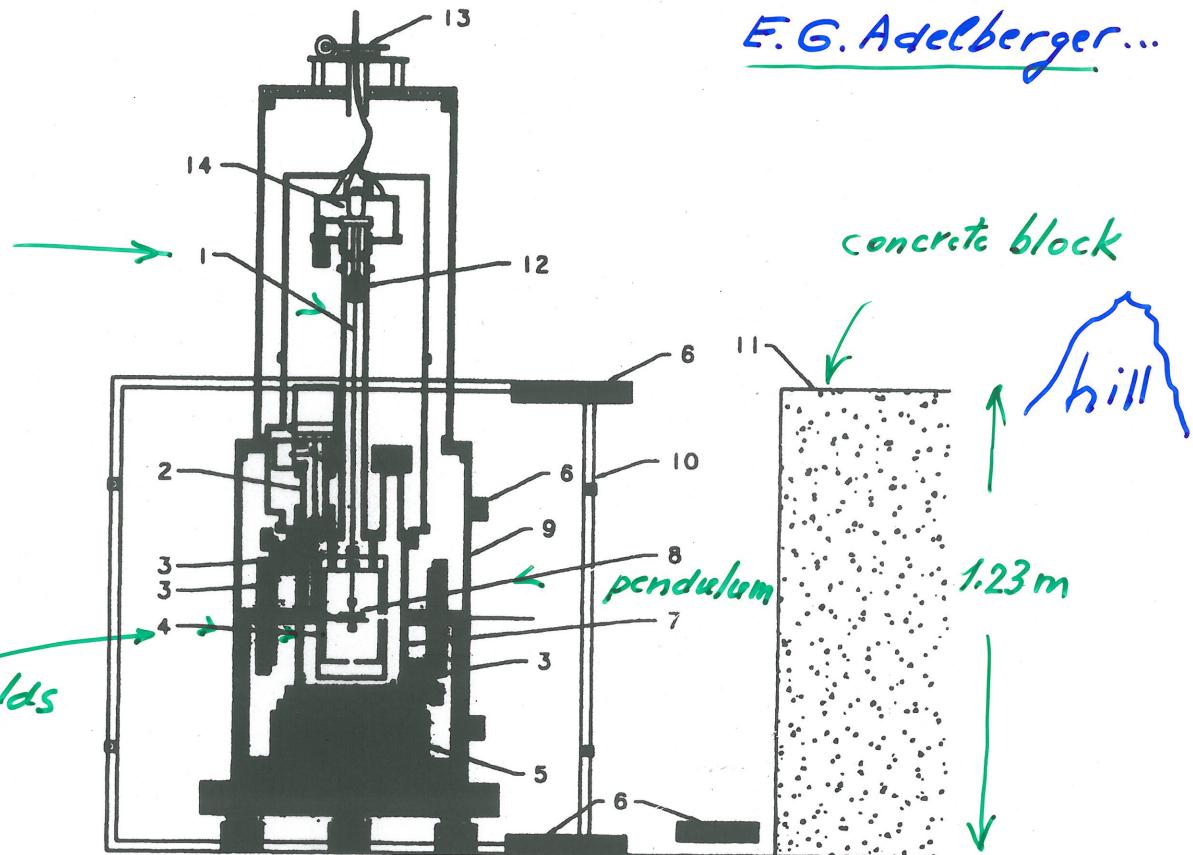


FIG. 1. Cross section of Eöt-Wash apparatus. 1, torsion fiber; 2, autocollimator; 3, rotateable gravity-gradient compensators; 4, magnetic shields; 5, turntable; 6, stationary gravity-gradient compensators; 7, vacuum vessel; 8, pendulum; 9, outer heat shield; 10, Helmholtz coils; 11, concrete block; 12, damper; 13, corotating cable clamp; 14, upper fiber attachment mechanism. The concrete block abuts the hillside wall of the laboratory and is 1.23 m high.

U ei

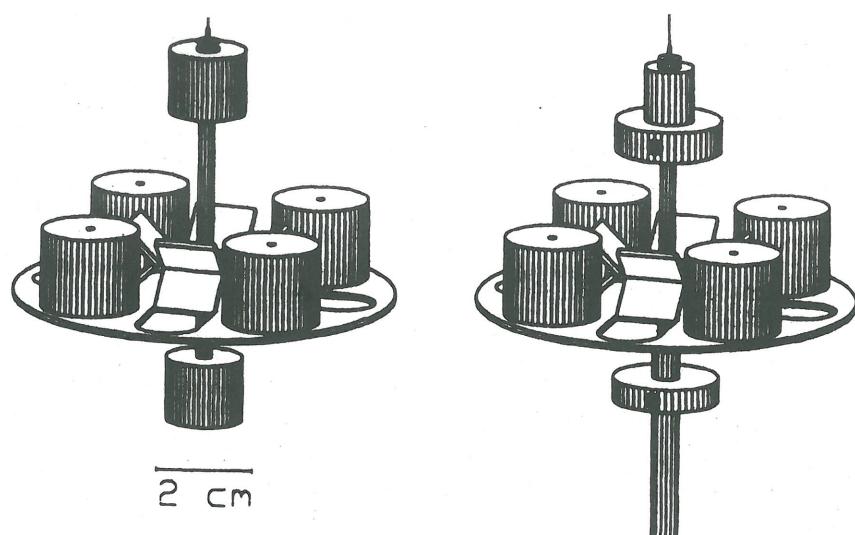


FIG. 2. Details of the two torsion pendulums used in this

a torque about
the vertical axis (fiber)
if net forces on
different bodies
don't lie in the
same plane

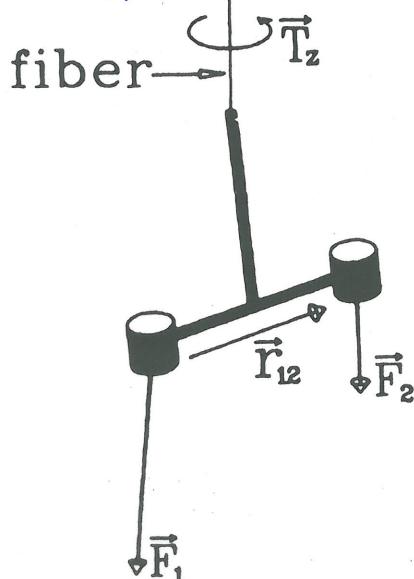


FIG. 1. Operating principle of the torsion balance. This idealized balance consists of two test bodies attached to a rigid, massless frame supported by a torsion fiber. If \mathbf{F}_1 and \mathbf{F}_2 denote the net forces on the two test bodies, the torque about the fiber is given by $T_z = (\mathbf{F}_1 \times \mathbf{F}_2) \cdot \mathbf{r}_{12} / |\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2|$.

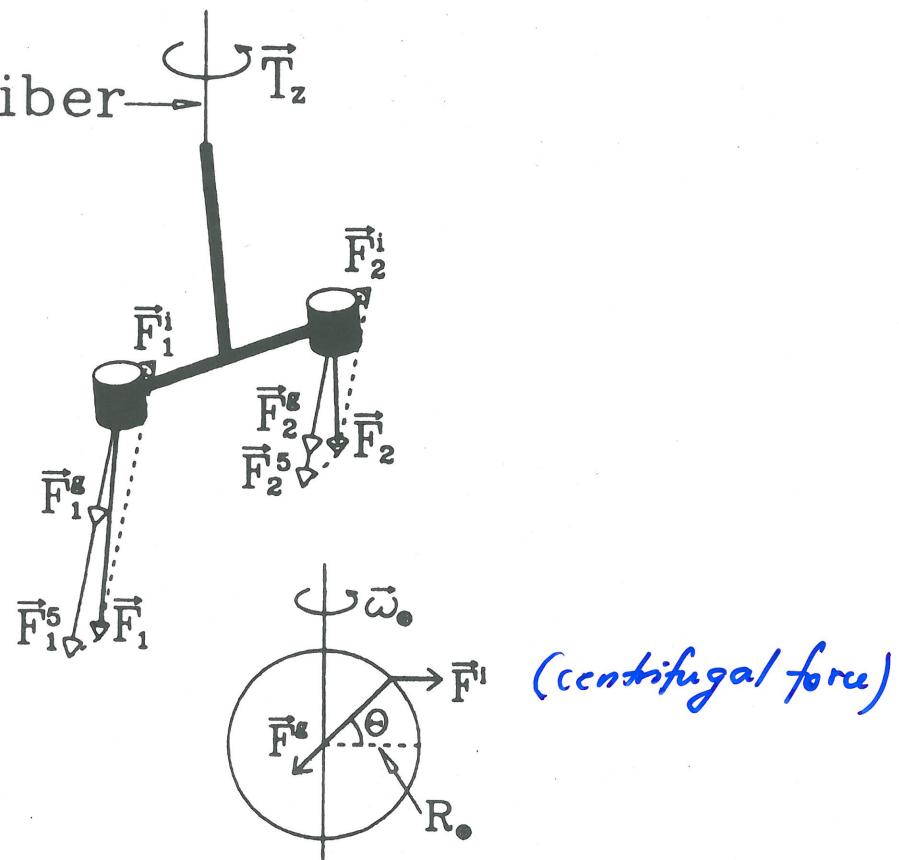


FIG. 2. Forces on a torsion balance located at a latitude Θ . We assume an attractive composition-dependent force F_5 between the test bodies and the Earth that is stronger for body 1 than for body 2. The possible strength of F^s has been greatly exaggerated and the magnitude of F^g compared to the inertial force F^i has been reduced by a factor of roughly 100.

Present-day formulation (e.g. C. Will,

in „100 Years of Relativity: Spacetime Structure - Einstein and Beyond,” ed. A. Ashtekar, World Sci.)
(Winter 2005)

- test bodies fall with the same acceleration independently of their structure or composition (WEP)
- the outcome of any local non-grav. experiment is independent of:
 - the velocity of the local inertial frame in which it is performed (LLI)
 - of where and when in the universe it is performed (LPI)

The present best limit on

$$\gamma = \frac{a_A - a_B}{\frac{1}{2}(a_A + a_B)} < (0.3 \pm 1.8) \times 10^{-13} \quad *)$$

Eöt-Wash

$$< (-1.0 \pm 1.4) \times 10^{-13}$$

Lunar Laser
ranging ***)

(fall of Earth and
Moon toward the Sun)

Future : - MICROSCOPE (French) 2011 (?) $\gamma \lesssim 10^{-15}$
- STEP (NASA-ESA) $\gamma < 10^{-18}$

*) Berillium-Titan

Schlamminger...Adelberger

Phys. Rev. Lett. 100, 041101 (2008)

**) PRL 93, 261101
(2004)

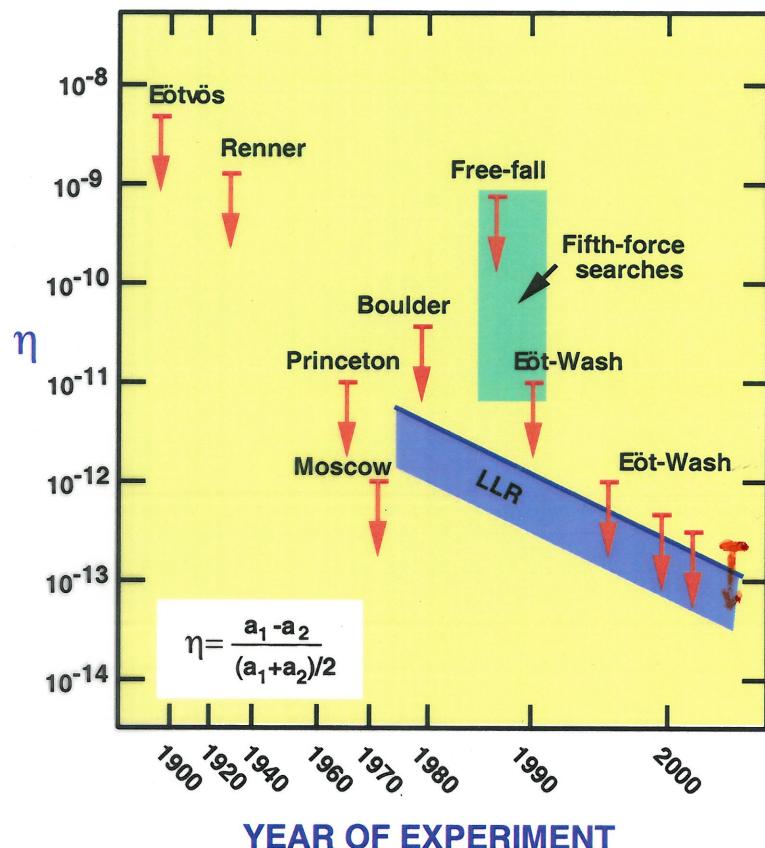


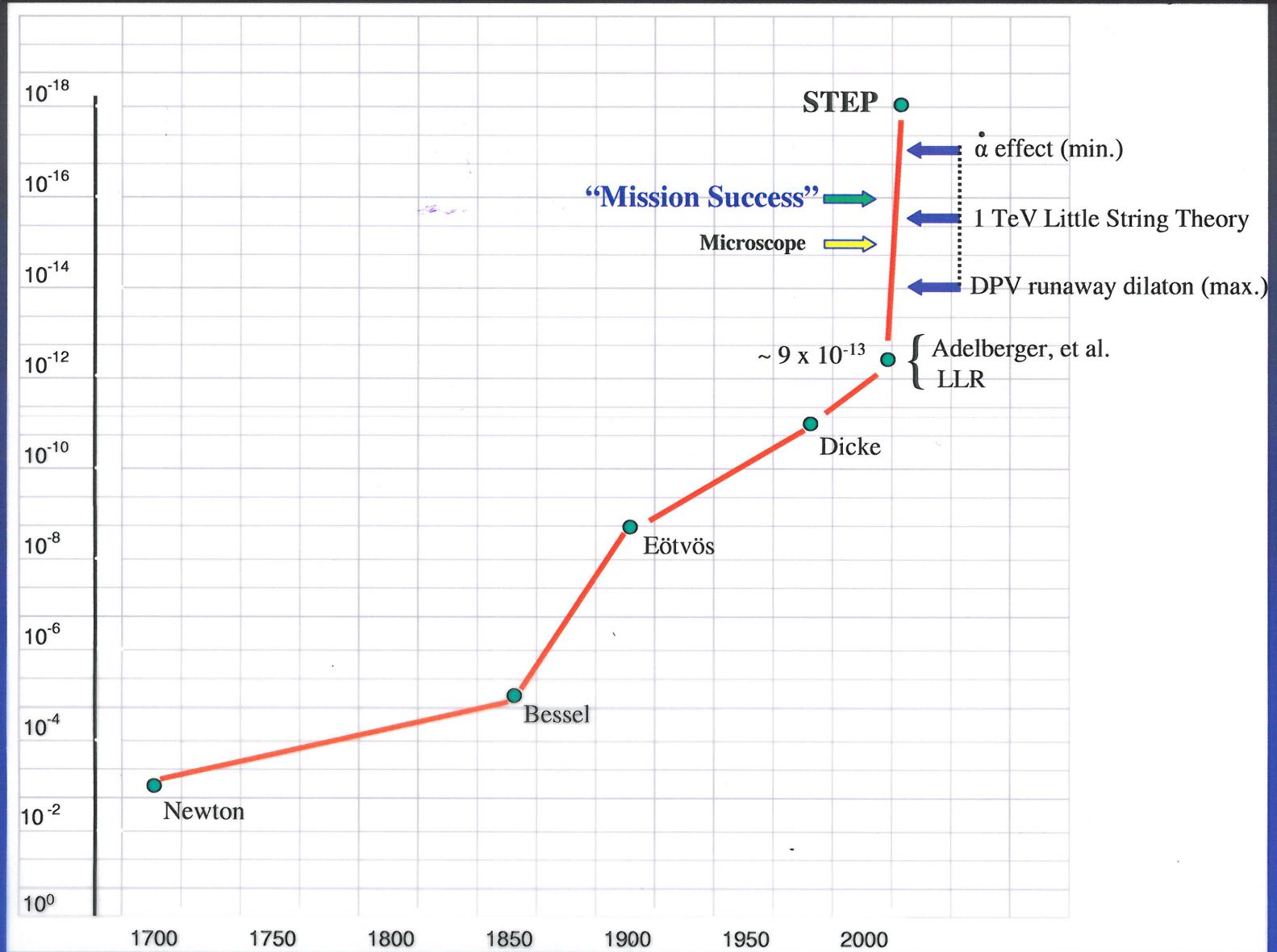
Fig. 1. Selected tests of the Weak Equivalence Principle, showing bounds on the fractional difference in acceleration of different materials or bodies. “Free-fall” and Eöt-Wash experiments, along with numerous others between 1986 and 1990, were originally performed to search for a fifth force. Blue line and shading shows evolving bounds on WEP for the Earth and the Moon from Lunar laser ranging (LLR).

hanced laser and telescope technology, together with a good, high-altitude site in New Mexico, to improve the Lunar laser-ranging bound by as much as an order of magnitude¹⁰.

High-precision WEP experiments, can test superstring inspired models of scalar-tensor gravity, or theories with varying fundamental constants in which weak violations of WEP can occur via non-metric couplings. The project MICROSCOPE, designed to test WEP to a part in 10^{15} has been approved by the French space agency CNES for a possible 2008 launch. A

* *MICRO-Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivale*
nce update 12.08.2008 - in flight 10/2012
2 differential accelerometers - accuracy $> 10^{-12} \text{ m/s}^2$

Space > 5 Orders of Magnitude Leap

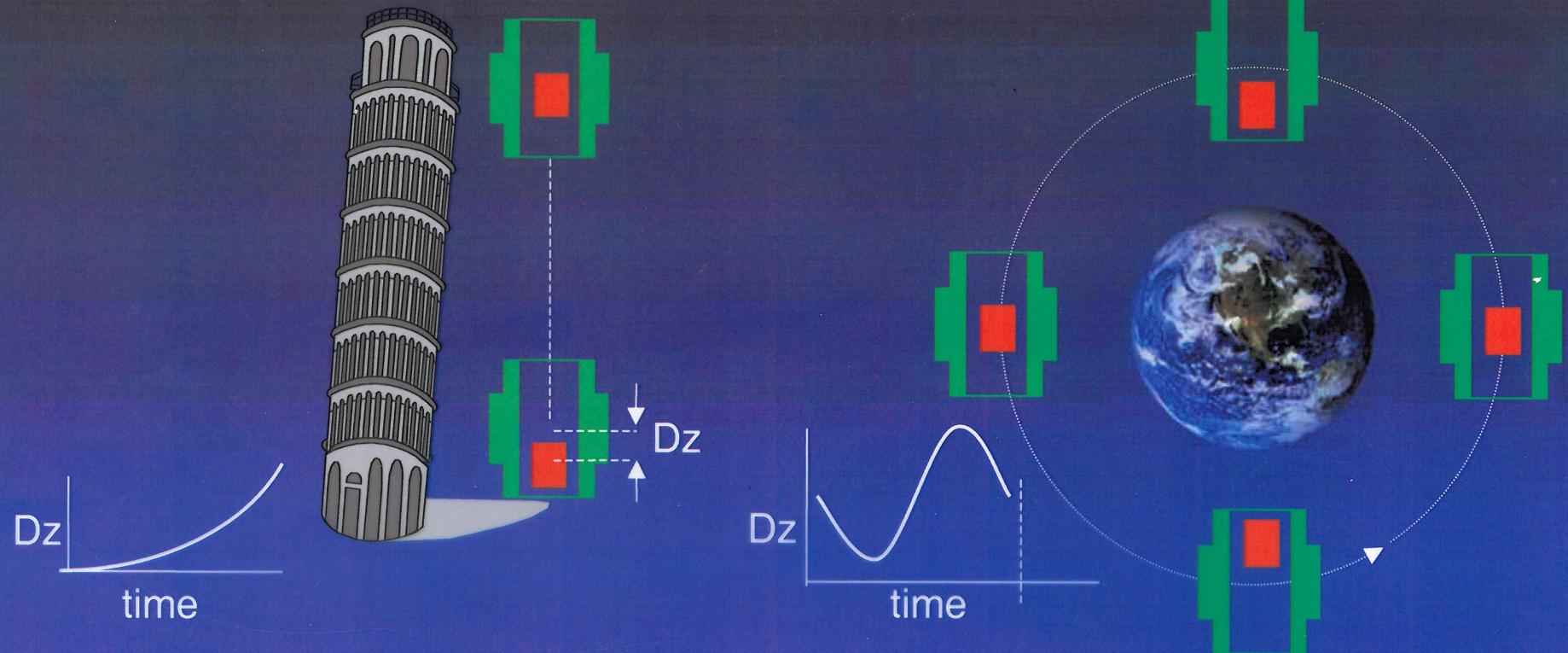


Satellite Test of the Equivalence Principle -- STEP

Newton's Mystery

$$\left. \begin{array}{l} F = ma \\ I = \text{inertia} \\ G = GMm/r^2 \end{array} \right\}$$

mass - the receptacle of
mass - the source of gravitation



Orbiting drop tower experiment

- {
- * More time for separation to build
- * Periodic signal

High-precision experiments on (w) EP

can test superstring inspired models of

(i) Scalar (dilaton)-tensor gravity

(ii) theories with varying fundamental constants

Simple example:

The 4-dim action in the "string" (Jordan) frame
for Brans-Dicke theory:

$$S_{BD} = \frac{1}{16\pi} \int d^4x \sqrt{-g} \left[\phi R - \frac{\omega}{\phi} (\nabla_\mu \phi)(\nabla^\mu \phi) \right]$$

$$+ S_{MATTER}$$

by the conformal transf. to the Einstein frame

$$\left(\tilde{g}_{\mu\nu} = G\phi g_{\mu\nu}, \tilde{\phi} = \sqrt{\frac{2\omega+3}{16\pi G}} \ln(G\phi) \right)$$

$$S = \int d^4x \sqrt{-\tilde{g}} \left[\frac{\tilde{R}}{16\pi G} - \frac{1}{2} \tilde{\nabla}_\mu \tilde{\phi} \tilde{\nabla}^\mu \tilde{\phi} + e^{A\tilde{\phi}} L_M(\tilde{g}) \right]$$

coupling of long-range

scalar (dilaton-like) field to matter

e.g. Damour - Polyakov "effective theory of long-range
dilaton"

in the "Einstein frame" (without \sim)

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = \frac{1}{4g} R - \frac{1}{2g} (\nabla \varphi)^2 - \frac{1}{4e^2(\varphi)} (\nabla_\mu A_\nu - \nabla_\nu A_\mu)^2 - \sum_A [\bar{\psi}_A \gamma^\mu (\nabla_\mu - i A_\mu) \psi_A + m_A(\varphi) \bar{\psi}_A \psi_A] + \dots$$

φ -dependence
of the fine-structure
constant

$$+ m_A(\varphi) \bar{\psi}_A \psi_A \} + \dots$$

\sim of various masses

The strength of coupling of dilaton φ to the mass $m_A(\varphi)$:

$$\alpha_A \equiv \frac{\partial \ln m_A(\varphi_0)}{\partial \varphi_0}$$

value of φ
"around"
mass m_A

φ generated by external
masses and cosmological history

"universal" $\alpha_A \rightarrow \alpha_{\text{had(ronic)}}$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{\alpha_A - \alpha_B}{\frac{1}{2}(\alpha_A + \alpha_B)} \approx (\alpha_A - \alpha_B) \alpha_E$$

"external mass"
e.g. Earth

$$\sim \underbrace{-5 \times 10^{-5}}_{\gamma} \alpha_{\text{had}}^2$$

$$\sim -5 \times 10^{-5} \cdot 10^{-17} \text{ for } A = Be \text{ like in Eöt-Wash}$$

$$\sim 10^{-16} - 10^{-17} \text{ for } B = Cu$$

Tests of local Lorentz invariance (LLI)

- Michelson-Morley ...
- independence of c of the source velocity
(binary X-ray sources, high-energy pions)
- tests of the isotropy of c

one "framework": suppose a non-metric coupling to elmag. interactions (by some long-range field)

$$\Rightarrow c \neq c_0$$

\nearrow light velocity \nwarrow limiting particles speed
put = 1

isotropy only in a preferred frame (CMB(?)

\Rightarrow shifts in the fundamental frequencies
of atomic clocks depending the orientation
with respect to the velocity w.r.t. preferred frame

Tests of local position invariance (LPI)

e.g. that requires internal binding energies
of atoms independent on " x^μ "

$$\text{if } \alpha = \frac{\partial \ln(E_B)}{\partial (U/c^2)} \quad \Delta v/v = (1+\alpha) \frac{\Delta U}{c^2} \quad \alpha < 2 \times 10^{-4}$$

"v_{test}"

local external grav. pot. $\alpha = 0$ if LPI holds

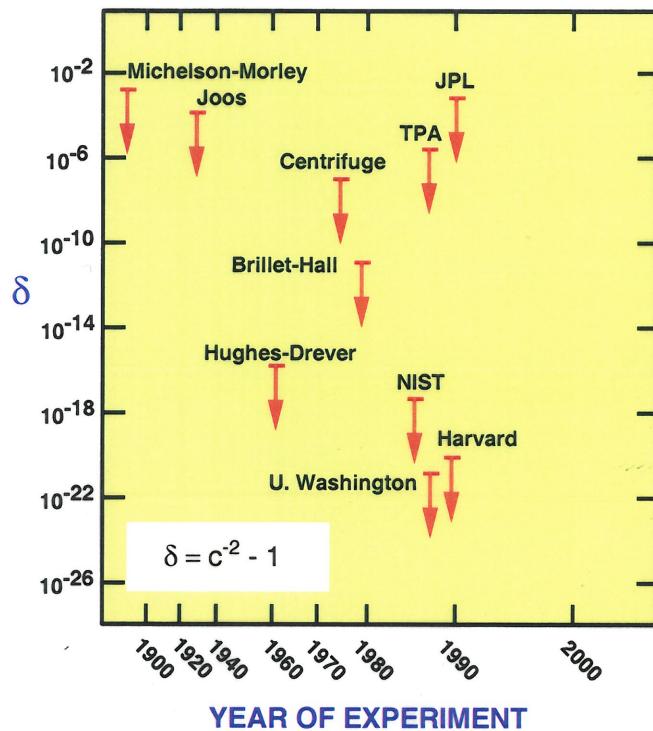


Fig. 2. Selected tests of local Lorentz invariance, showing bounds on the parameter $\delta = c^{-2} - 1$, where c is the speed of propagation of electromagnetic waves in a preferred reference frame, in units in which the limiting speed of test particles is unity.

experiment)^{41,42,43}. The results are:

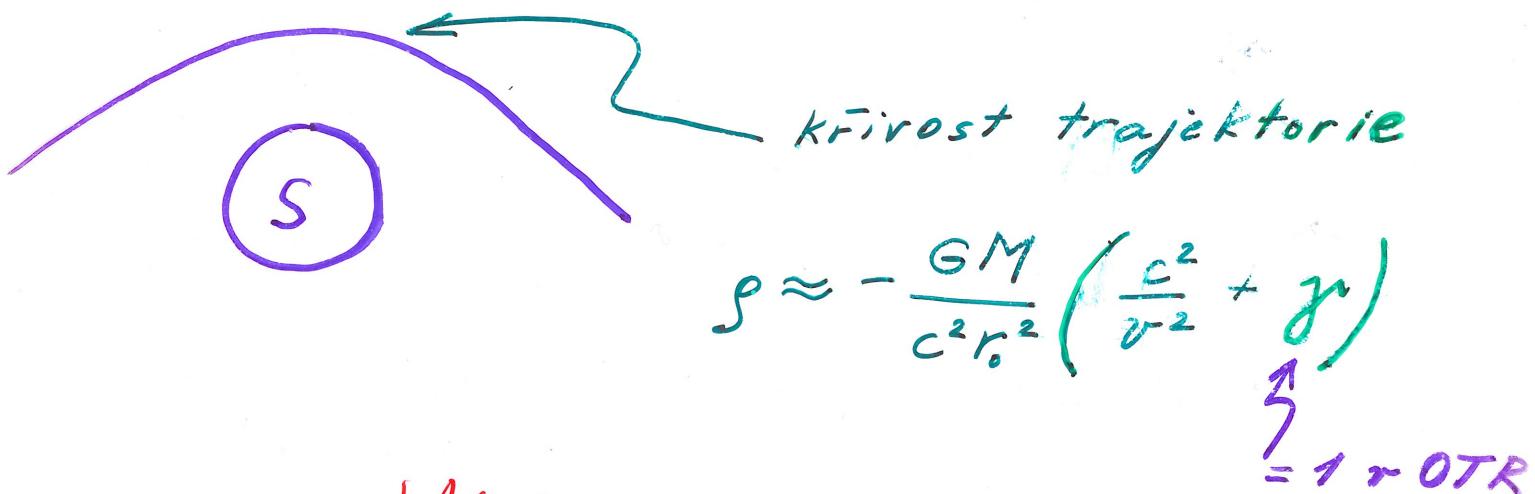
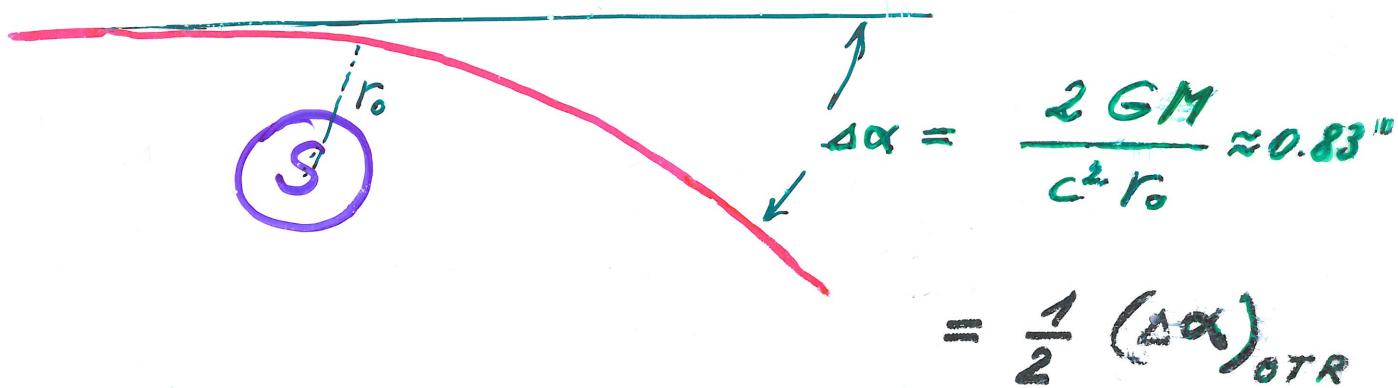
$$\alpha_{\text{Maser}} < 2 \times 10^{-4}, \quad \alpha_{\text{Null}} < 10^{-4}. \quad (3)$$

Recent “clock comparison” tests of LPI were designed to look for possible variations of the fine structure constant on a cosmological timescale. An experiment done at the National Institute of Standards and Technology (NIST) in Boulder compared laser-cooled mercury ions with neutral cesium atoms over a two-year period, while an experiment done at the Observatory of Paris compared laser-cooled cesium and rubidium atomic fountains over five years; the results showed that the fine structure constant α is constant in time to a part in 10^{15} per year^{44,45}. Plans are being developed to perform such clock comparisons in space, possibly on the International Space Station.

Ohyb světla v grav. poli Slunce

$$\text{Princip ekvivalence} \rightarrow c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2}\right)$$

Einstein (Praha, 1911)



Newton, Laplace, Soldner, Einstein
Michell

1919 Eddington

:

1969 - 1979 - ... rádiovlny, VLBI

Bending of light, Prague 1911

898

4. Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes; von A. Einstein.

Die Frage, ob die Ausbreitung des Lichtes durch die Schwerkraft beeinflußt wird, habe ich schon an einer vor 3 Jahren erschienenen Abhandlung zu beantworten gesucht.¹⁾ Ich komme auf dies Thema wieder zurück, weil mich meine damalige Darstellung des Gegenstandes nicht befriedigt, noch mehr aber, weil ich nun nachträglich einsehe, daß eine der wichtigsten Konsequenzen jener Betrachtung der experimentellen Prüfung zugänglich ist. Es ergibt sich nämlich, daß Lichtstrahlen, die in der Nähe der Sonne vorbeigehen, durch das Gravitationsfeld derselben nach der vorzubringenden Theorie eine Ablenkung erfahren, so daß eine scheinbare Vergrößerung des Winkelabstandes eines nahe an der Sonne erscheinenden Fixsternes von dieser im Betrage von fast einer Bogensekunde eintritt.

Es haben sich bei der Durchführung der Überlegungen auch noch weitere Resultate ergeben, die sich auf die Gravitation beziehen. Da aber die Darlegung der ganzen Betrachtung ziemlich unübersichtlich würde, sollen im folgenden nur einige ganz elementare Überlegungen gegeben werden, aus denen man sich bequem über die Voraussetzungen und den Gedankengang der Theorie orientieren kann. Die hier abgeleiteten Beziehungen sind, auch wenn die theoretische Grundlage zutrifft, nur in erster Näherung gültig.

§ 1. Hypothese über die physikalische Natur des Gravitationsfeldes.

In einem homogenen Schwefeld (Schwerebeschleunigung γ) befindet sich ein ruhendes Koordinatensystem K , das so orientiert sei, daß die Kraftlinien des Schwefeldes in Richtung

¹⁾ A. Einstein, Jahr, f. Radioakt. u. Elektronik IV, 4.

808 A. Einstein. Einfluß der Schwerkraft usw.

Nach Gleichung (4) erleidet ein an einem Himmelskörper vorbeigehender Lichtstrahl eine Ablenkung nach der Seite sinkenden Gravitationspotentiale, also nach der dem Himmelskörper zugewandten Seite von der Größe

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int \frac{kM}{r^2} \cos \vartheta \cdot ds = \frac{2kM}{c^2 d},$$

$$\vartheta = \pm \frac{\pi}{2}$$

wobei k die Gravitationskonstante, M die Masse des Himmelskörpers, d den Abstand des Lichtstrahles vom Mittelpunkt des Himmelskörpers bedeutet. Ein an der Sonne vorbeigehender Lichtstrahl erleidet demnach eine Ablenkung vom Betrage $4 \cdot 10^{-6}$ = 0,83 Bogensekunden. Um diesen Betrag erscheint die Winkeldistanz des Sternes vom Sonnenmittelpunkt durch die Krümmung des Strahles vergrößert. Da die Fixsterne der Sonne zugewandten Himmelspartien bei totalen Sonnenfinsternissen sichtbar werden, ist diese Konsequenz der Theorie mit der Erfahrung vergleichbar. Beim Planeten Jupiter erreicht die zu erwartende Verschiebung etwa $1/100$ des angegebenen Betrages. Es wäre dringend zu wünschen, daß sich Astronomen der hier aufgerollten Frage annähmen, auch wenn die im vorigen gegebenen Überlegungen ungenügend fundiert oder gar abenteuerlich erscheinen sollten. Denn abgesehen von jeder Theorie muß man sich fragen, ob mit den heutigen Mitteln ein Einfluß der Gravitationsfelder auf die Ausbreitung des Lichtes sich konstatieren läßt.

Prag, Juni 1911.

(Eingegangen 21. Juni 1911.)

The first and last pages of Einstein's paper "On the Influence of Gravity on the Propagation of Light" which was written in Prague in 1911 and marked the beginning of Einstein's systematic concentration on the construction of a relativistic theory of gravity; this ended only in 1915 when Einstein arrived at the final formulation of general relativity. Although the paper is best known for the prediction that the deflection of light due to the Sun is an observable effect, it is of even greater importance for the very foundation of the future theory of gravity. It contains what Eddington considered to be the original statement of the principle of equivalence, thus discounting Einstein's formulation of 1907, and about which Einstein's collaborator Bannesh Hoffmann says that "his argument [Einstein's principle of equivalence], particularly in its 1911 form, must rank as one of the most remarkable in the history of science".

Über den Einfluss der Schwerkraft... auf die Ausbreitung des Lichtes 29
 oder nach (3) gleich

$$-\frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial n'}.$$

Endlich erhalten wir für die Ablenkung α , welche ein Lichtstrahl auf einem beliebigen Wege (s) nach der Seite n' erleidet, den Ausdruck

$$(4) \quad \alpha = -\frac{1}{c^2} \int \frac{\partial \Phi}{\partial n'} ds.$$

Dasselbe Resultat hätten wir erhalten können durch unmittelbare Be- trachtung der Fortpflanzung eines Lichtstrahles in dem gleichförmig beschleunigten System K' und Übertragung des Resultates auf das System K und von hier auf den Fall, daß das Gravitationsfeld beliebig gestaltet ist.

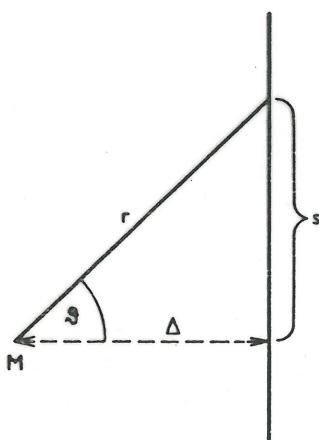


Fig. 3.

Nach Gleichung (4) erleidet ein an einem Himmelskörper vorbeigehender Lichtstrahl eine Ablenkung nach der Seite sinkenden Gravitationspotentials, also nach der dem Himmelskörper zugewandten Seite von der Größe

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\vartheta = -\pi/2}^{\vartheta = +\pi/2} \frac{kM}{r^2} \cos \vartheta \cdot ds = \frac{2kM}{c^2 \Delta},$$

wobei k die Gravitationskonstante, M die Masse des Himmelskörpers, Δ den Abstand des Lichtstrahles vom Mittelpunkt des Himmelskörpers bedeutet (Fig. 3). Ein an der Sonne vorbeigehender Lichtstrahl erlitte demnach eine Ablenkung vom Betrage $4 \cdot 10^{-6} = 0,83$ Bogensekunden. Um diesen Betrag erscheint die Winkeldistanz des Sternes vom Sonnenmittelpunkt durch die Krümmung des Strahles vergrößert. Da die Fixsterne der der Sonne zugewandten Himmelspartien bei totalen Sonnenfinsternissen sichtbar werden, ist diese Konsequenz der Theorie mit der Erfahrung vergleichbar....

Prag, Juni 1911

Max Pechstein:
Bildnis des Erwin
Finlay Freundlich,
1919



- [29] ABRAHAM M.: Relativität und Gravitation. Erwiderung auf eine Bemerkung des Hrn. A. Einstein. Ann. d. Physik 38 (1912), 1056.
- [30] KUCHAŘ K.: Základy obecné teorie relativity. Academia, Praha 1968.
- [31] WEINBERG S.: Gravitation and Cosmology. John Wiley, New York 1972 (viz také ruský překlad).

Došlo 4. 1. 1979.

Ve světle již nabytého poznání se nám zdálo to, čeho jsme šťastně dosáhli, téměř samozřejmě — a každý inteligentní student to pochopí bez přílišné námahy. Ale hledání v temnu, plné předtuch a trvající roky, napjatá touha, střídání naděje a skleslosti a konečné proniknutí k pravdě, to zná jen ten, kdo to sám zažil.

Poznámky o vzniku obecné teorie relativity, 1933

Už se nikdy nenechám tak vyvést z míry jako v Nauheimu. Je mi úplně nepochopitelné, jak jsem mohl ztratit svůj smysl pro humor, když jsem se ocitl ve zlé společnosti....

V dopise Maxu Bornovi, o své reakci na přednášku P. H. Lenarda, kterou organizovala nacionalisticky orientovaná „Studijní skupina německých přírodních filozofů“ v Bad Nauheimu 25. září 1920.

Chci oponovat myšlence, že škola musí učit přímo těm speciálním znalostem a výsledkům, které jsou bezprostředně potřeba později v životě.... Protiví se mi jednání s jednotlivcem jako s mrtvým nástrojem. Škola by vždy měla považovat za svůj cíl, aby ji mladý člověk opouštěl jako harmonická osobnost, ne jako specialista. Podle mého názoru by tomu tak v určitém smyslu mělo být i v případě tech-

nických škol.... Na prvním místě by vždy mělo stát rozvíjení obecné schopnosti nezávislého myšlení a úsudku....

O výchově, 1936

Drahá matko,
dnes dobré zprávy. H. A. Lorentz mi telegrafoval, že britské expedice skutečně potvrdily odklon světla poblíž Slunce...

Tvůj

Albert

(Pohlednice matce z 27. září 1919)

Seht die Sterne, die da lehren
Wie man soll den Meister ehren
Jeder folgt nach Newtons Plan
Ewig schweigend seiner Bahn.

Báseň, kterou A. E. napsal (pro „soukromou potřebu“) pravděpodobně v r. 1942 při 300. výročí narození Isaaca Newtona.

Vychovávat je možno jen vlastním příkladem. Jestliže to nejde jinak, tak příkladem odstrašujícím.

V dopisu o výchově a vychovatelích
(Jak vidím svět, 1934)

Z myšlenek a dopisů A. Einsteina

Schwarzschild Metric

(Communicated Jan. 13, 1916)

$$(S) \quad ds^2 = -\left(1 - \frac{2M}{r}\right)dt^2 + \frac{1}{1 - \frac{2M}{r}}dr^2 + r^2 \underbrace{\left(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2\right)}_{= d\Omega^2}$$

Indep. J. Droste (student of H.A. Lorentz), May 1916

Impact on experimental relativity

Eddington, Robertson, ... Will PPN

Parametrized post-Newtonian

\Rightarrow dimensionless parameters \leftrightarrow experiment

The simplest generalization of (S) (no dragging, oblateness, prof. frames)

$$ds^2 = -\left[1 - \frac{2M}{r} + 2\beta \quad \frac{M^2}{r^2}\right]dt^2 + \left(1 + 2\gamma \frac{M}{r}\right)dr^2$$

(in general 10 PPN parameters)

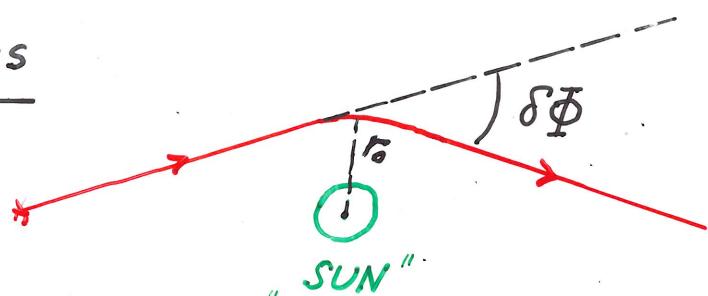
GR: $\beta = \gamma = 1$

Advance of the pericentre

$$\Delta\psi = \frac{1}{3} (2 + 2\gamma - \beta) \frac{6\pi M}{a(1-e^2)}$$

Total deflection of waves

$$\delta\Phi = \frac{2(1+\gamma)M}{r_0}$$



PPN framework (metric theories, slow motions, weak fields)

10 parameters

γ ... spatial curvature

β nonlinearity 

$f, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ how LPI and LLI violated
in gravitational experiments
(i.e. violations of SEP)

e.g. spherically symm. metric

$$ds^2 = -\left[1 - \frac{2M}{r} + 2(\beta - \gamma) \frac{M^2}{r^2}\right] dt^2 + \left(1 + 2\gamma \frac{M}{r}\right) dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)$$

GR : $\beta = \gamma = 1$

Deflection of light

$$\Delta\Theta = \left(\frac{1+\gamma}{2}\right) \frac{4GM}{dc^2}$$



distance of closest approach

$$= \left(\frac{1+\gamma}{2}\right) \times 1.7505 \frac{R_O}{d} \text{ arcsec}$$

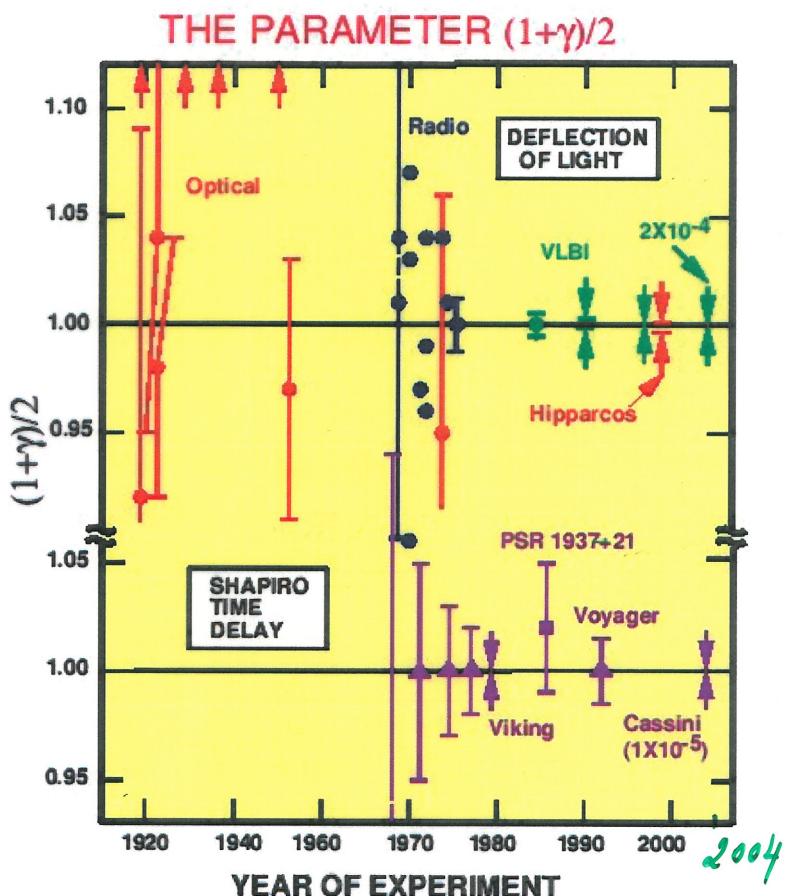


Figure 5: Measurements of the coefficient $(1 + \gamma)/2$ from light deflection and time delay measurements. Its GR value is unity. The arrows at the top denote anomalously large values from early eclipse expeditions. The Shapiro time-delay measurements using the Cassini spacecraft yielded an agreement with GR to 10^{-3} percent, and VLBI light deflection measurements have reached 0.02 percent. Hipparcos denotes the optical astrometry satellite, which reached 0.1 percent.

A 2004 analysis of ~ 2 million VLBI observations of 541 radio sources at 87 VLBI sites:

$$\gamma - 1 = (-1.7 \pm 4.5) \times 10^{-4}$$

Scalar-tensor theories must have
 $\omega > 40000$ to be compatible

$$g = (1+\omega)/(2+\omega) \quad \omega = BDJ$$

feature article

Testing relativity from the 1919 eclipse—a question of bias

Daniel Kennefick

When interpreting experimental results, context is everything. The researchers who took and analyzed the most important eclipse data had good reasons for judging the experiment a victory for Albert Einstein.

Daniel Kennefick is an assistant professor of physics at the University of Arkansas at Fayetteville.

One of the most famous measurements in the history of 20th-century astronomy was made over the course of several months in 1919. Teams of observers from the Greenwich and Cambridge observatories in the UK traveled to Brazil and western Africa to observe a total solar eclipse that took place on 29 May 1919. Their aim was to establish whether the paths of light rays were deflected in passing through the strong gravitational field of the Sun. Their observations were subsequently presented as establishing the soundness of general relativity; that is, the observations were more consistent with the predictions of the new gravitational theory developed by Albert Einstein than with the traditional Newtonian theory.

In recent decades many physicists and historians of science have cast doubt on the soundness of the famous experiment. They claim that the measurements made in 1919 were not sufficiently accurate to decide between the Einsteinian and Newtonian theories of gravity. It has been further alleged, especially by some philosophers of science, that the conclusion in favor of Einstein was motivated by bias on the part of the expeditions' most famous member, Arthur Stanley Eddington. Eddington was known to be an enthusiastic proponent of general relativity and is said to have been anxious to make a gesture toward reconciliation between the UK and Germany in the aftermath of World War I by verifying the theory of one of Germany's leading men of science, who, like Eddington himself, was a pacifist.¹ Thus the 1919 eclipse is nowadays sometimes given as a prime example of experimenters fitting their data to the expected result—the so-called predictor effect.

The story that the 1919 eclipse was not the decisive experiment it was cracked up to be has two versions. One, common among physicists since at least the 1970s, goes to accuracy: The experimenters were simply lucky to get reasonably close to one of the two predictions, so the experiment does not constitute a really viable test of the theories. The other story, common among philosophers and historians of science but beginning to find a popular audience, originates in a 1980 paper by philosophers John Earman and Clark Glymour.² They specifically charge Eddington and his collaborators with throwing out data that appeared to support Isaac Newton rather than Einstein. Some modern critics have charged that such action was not justifiable on scientific grounds and was more likely motivated by Eddington's theoretical and political bias.

Of course, it's not possible to be certain about any reconstruction of nearly century-old experimental decisions, but I argue that the balance of evidence lies heavily in favor of the view that the leaders of the 1919 expedition, Frank Watson Dyson and Eddington, had reasonable grounds for judging that their results were inconsistent with the prediction of

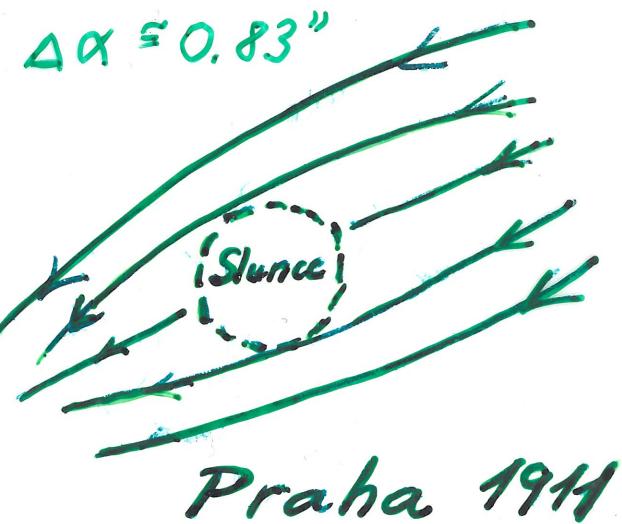
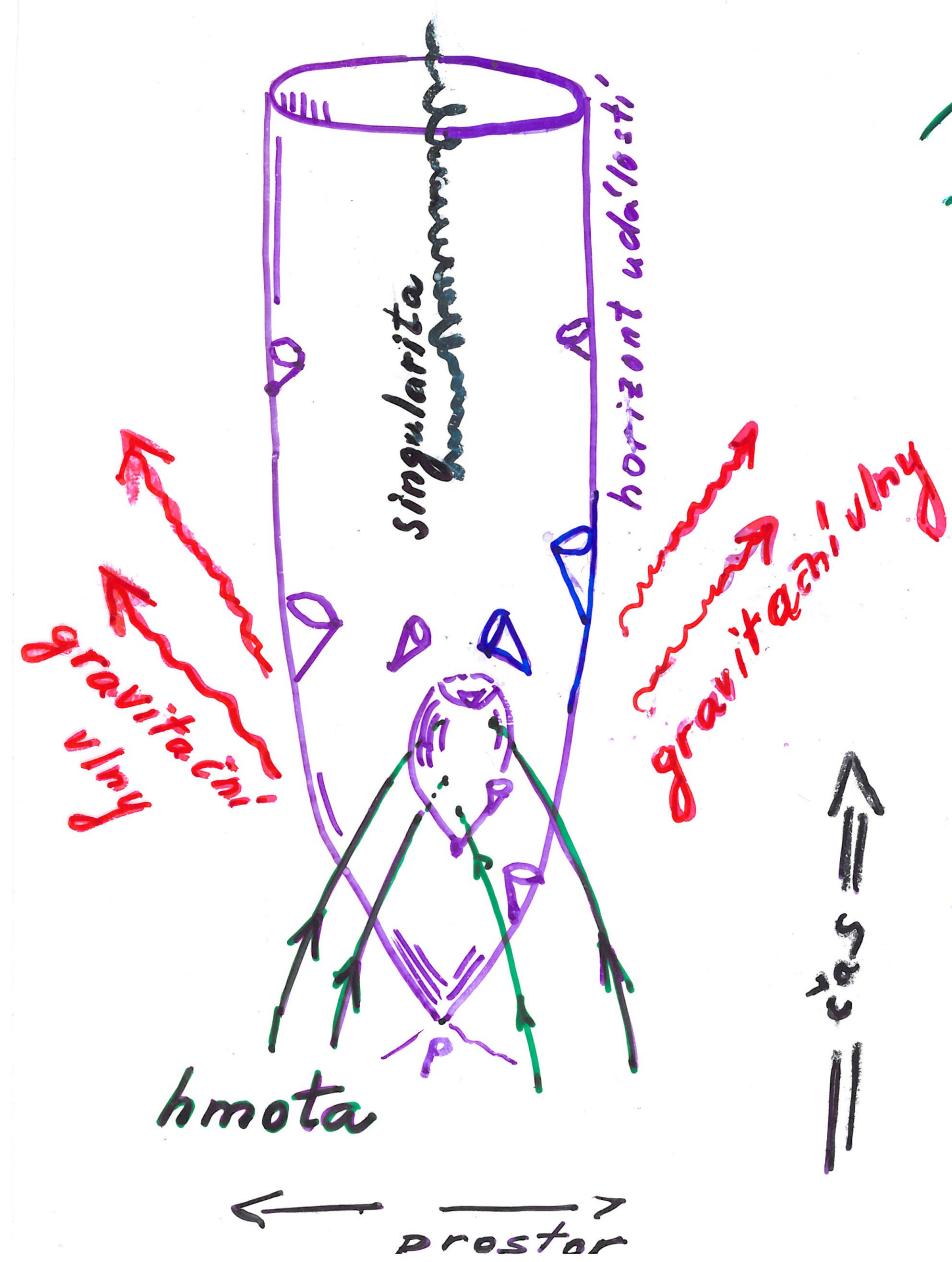


Arthur Stanley Eddington (1882–1944). In 1919 Eddington had already acquired a major reputation as a result of his work on the internal structure of stars. His enthusiasm for general relativity has led some historians to accuse him of bias in the analysis of the 1919 eclipse data. (Courtesy of the AIP Emilio Segrè Visual Archives.)

GRAVITAČNÍ KOLAPS & ČERNÉ DÍRY

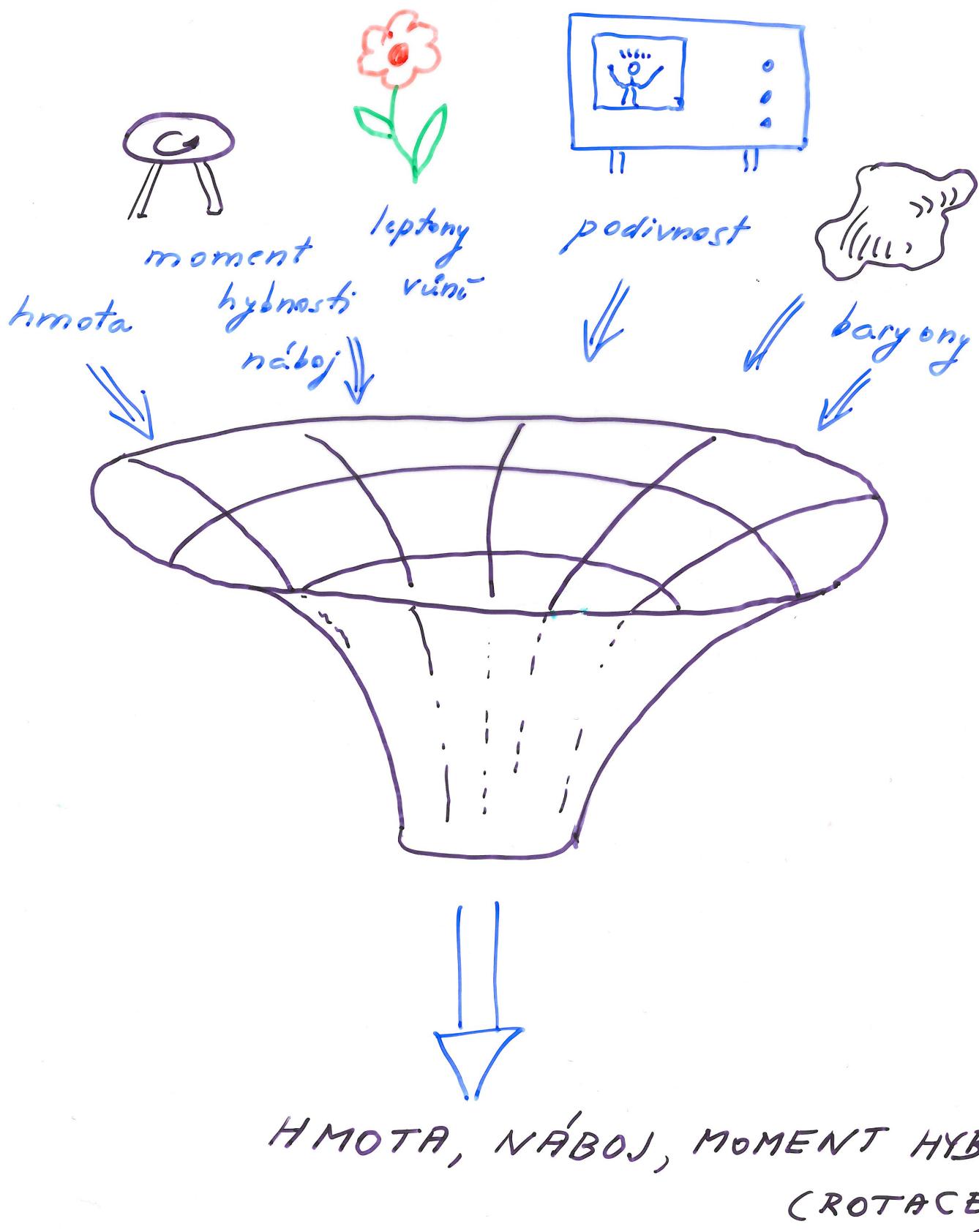
COLLAPSUS PICTUS 2005
+6

ČERNÁ DÍRA



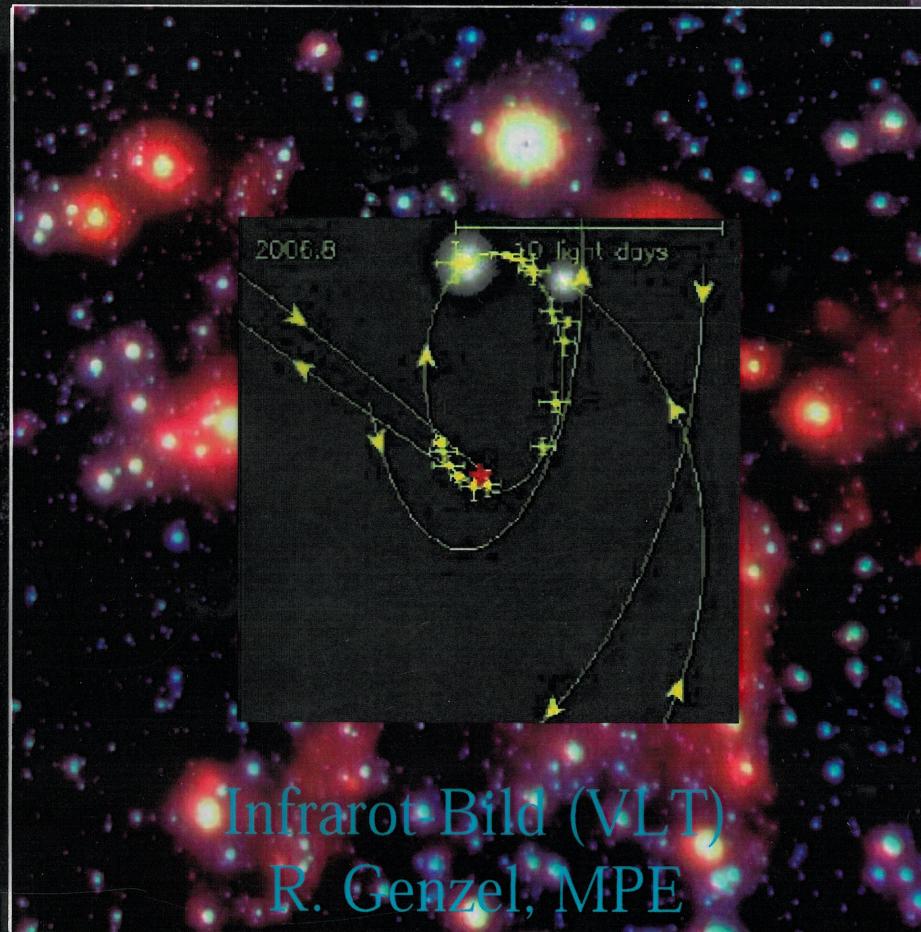
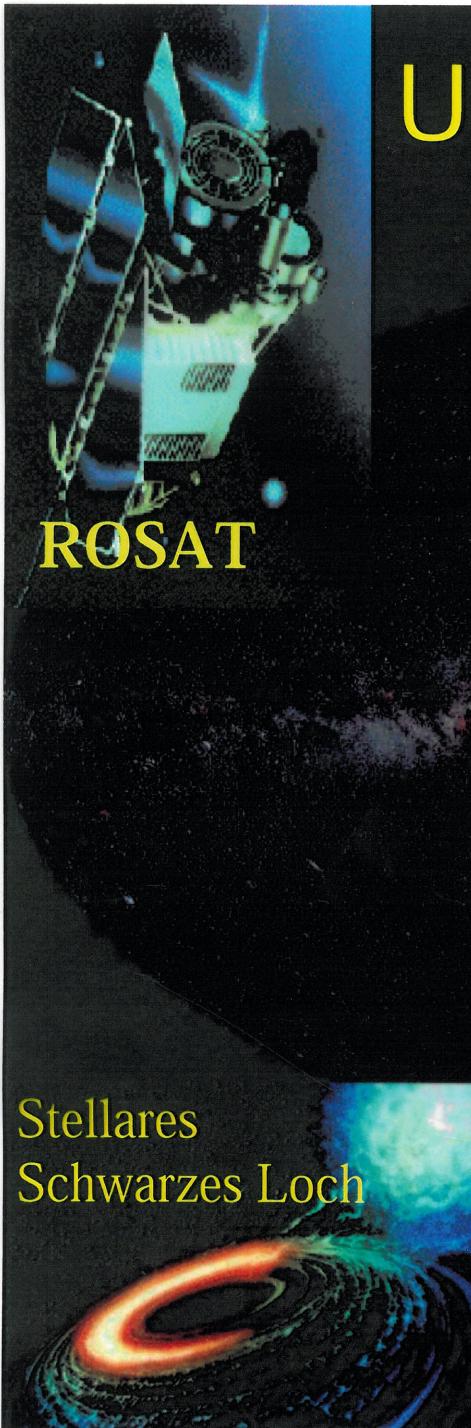
Kosmická
censura

ČERNÁ DÍRA JE SEDNODUCHÁ

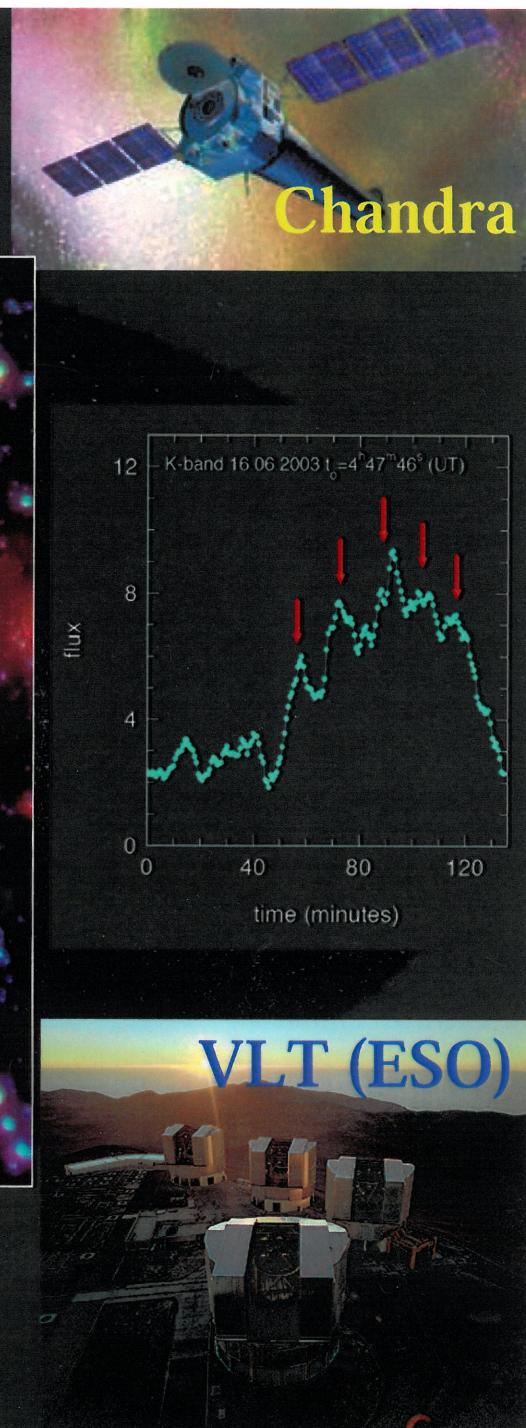


"ČERNÁ DÍRA NEMÁ VLASY"

Unsere Milchstrasse



Schnell rotierendes
Schwarzes Loch mit 2-3
Millionen Sonnenmassen



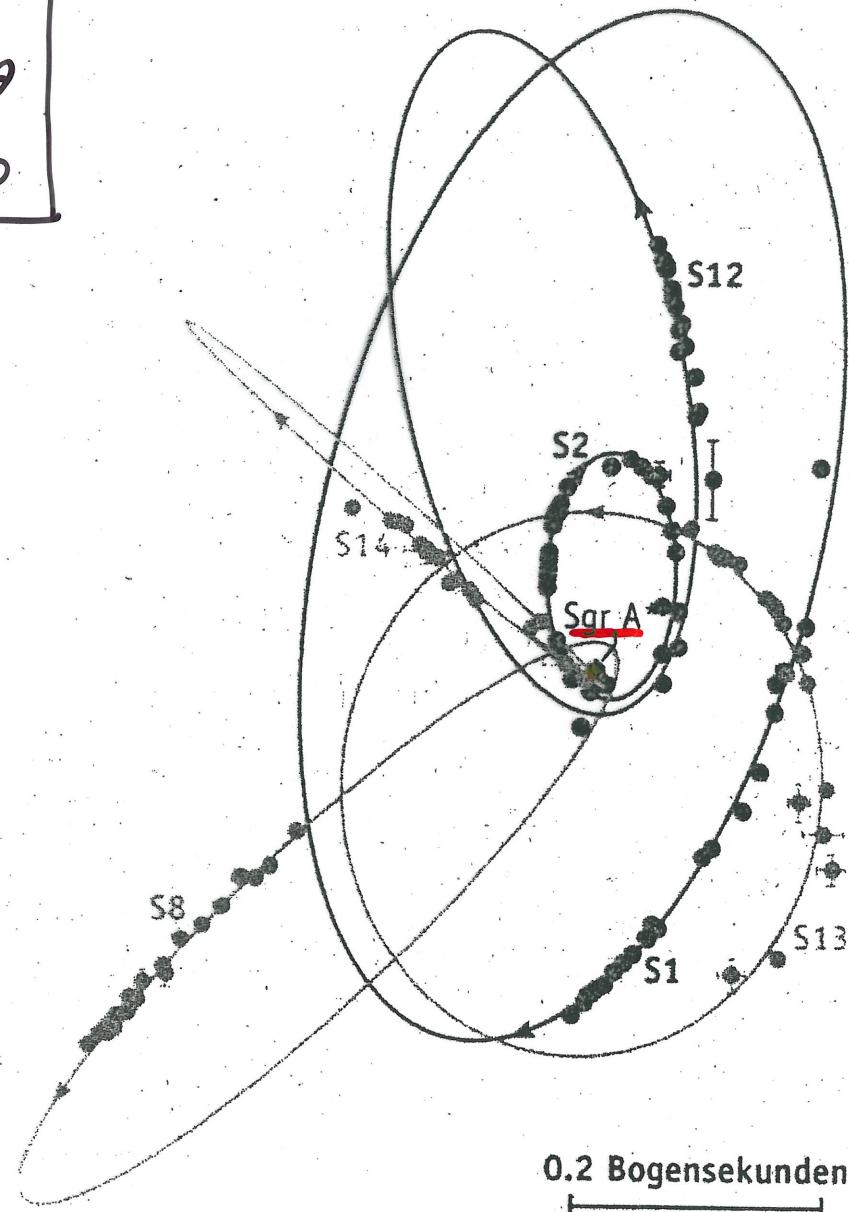
Hruška

S2 na jaře 2002 $v \sim 10000 \text{ km/s}$ ve vzdálosti ≈ 10 svět. hodin
od Sgr A - $T \sim 15$ let ($\sim 3x$ slunec - Pluto)

V centru:

ČERNA DÍRA

$M \sim 3 \text{ miliony } M_{\odot}$



Gillessen & Genzel,
Sterne und Weltraum, December 2006

SUPERHMO TNE' ČERNE' DIRY

—“ MASSIVE BLACK HOLES

„most distinct“

Martin J. Rees

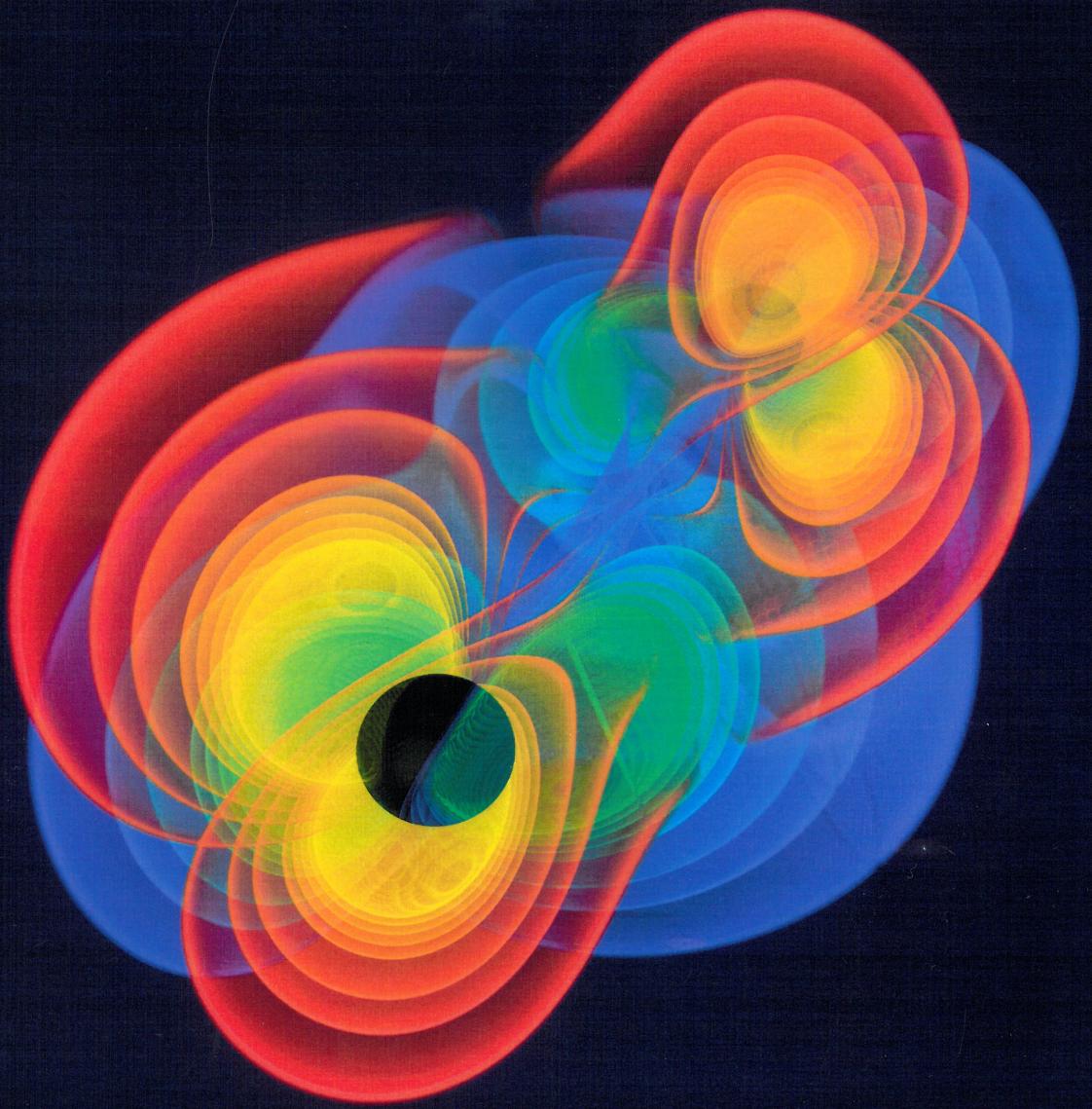
	M_h/M_\odot	Method
M87	2×10^9	Stars + opt.disc
NGC 3115	10^9	Stars
NGC 4486 B	5×10^8	Stars
NGC 4594 (Sombrero)	5×10^8	Stars
NGC 3377	8×10^7	Stars
NGC 3379	5×10^7	Stars
NGC 4258	4×10^7	Masing H ₂ O disc
M31 (Andromeda)	3×10^7	Stars
M32	3×10^6	Stars
Galactic centre	2.5×10^6	Stars + 3-D motions

the case of highest density
in the smallest volume

Supermassive holes.

hundreds km / s

(Genzel, Eckart
Hasinger,)

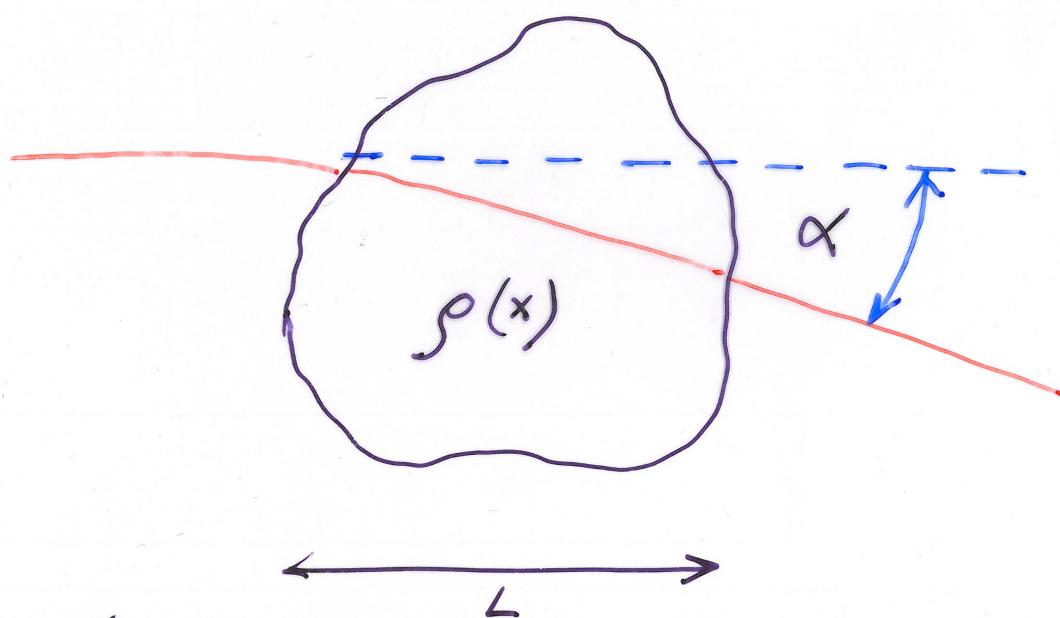


Gravitační čočky

1911 A.E. Praha

1936 A.E. "inspirován" českým ing. Mandlem

rozvoj v 80. letech, zvl. ~1989 - ...



např. galaxie nebo kupa galaxií
prostorově omezená, transparentní grav. čočka

Limita slabého pole

$$ds^2 = -(1+2\Phi_N)dt^2 + (1-2\Phi_N)d\ell^2$$

$$\Phi_N = -G \int d\vec{x}' \frac{\rho(\vec{x}')}{| \vec{x} - \vec{x}' |}$$

(Euclid.)

Pro $\alpha L \ll L$ ("vzdy" ~ galaxie $L \sim 30 \text{ kpc}$, $\alpha \sim 1''$)
 $\Rightarrow \alpha L \sim 0.3 p \ll 30 \text{ kpc}$

integrace "přes zdroj" (Φ_N) po průměru

this ‘distortion’ matrix for image A and the inverse of the matrix at image B yields the (linear) transformation between images ([GO84.1], see Sect. 13.1). This product, the relative magnification, can be determined observationally from VLBI observations, that yield the brightness models shown in Fig. 2.7. In particular, that this matrix has a negative determinant which shows that the images A and B are different [GO88.2], as predicted by all

Additional observations at ultraviolet [GO82.1] and infrared wavelengths confirmed the positions of the images and the radio source.

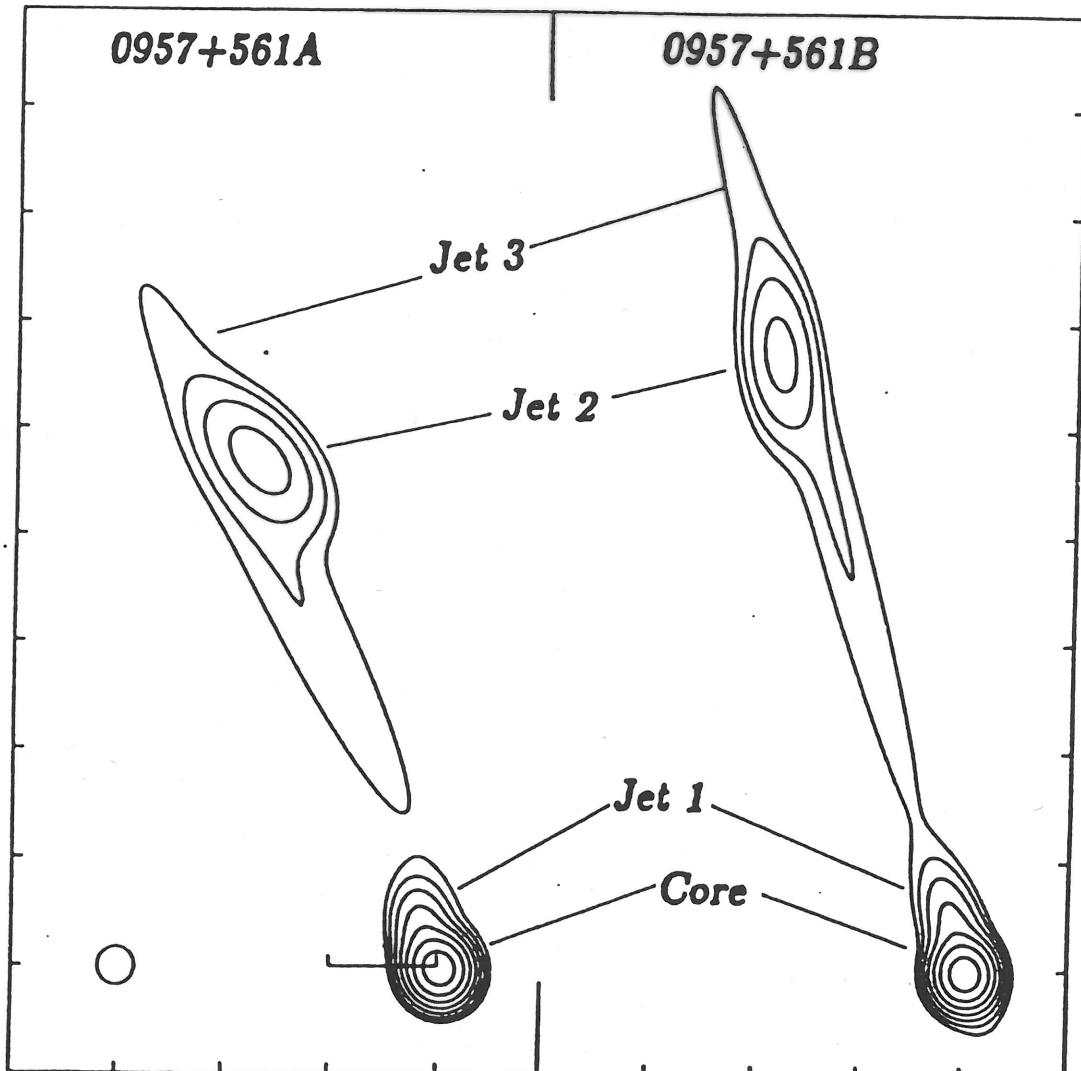
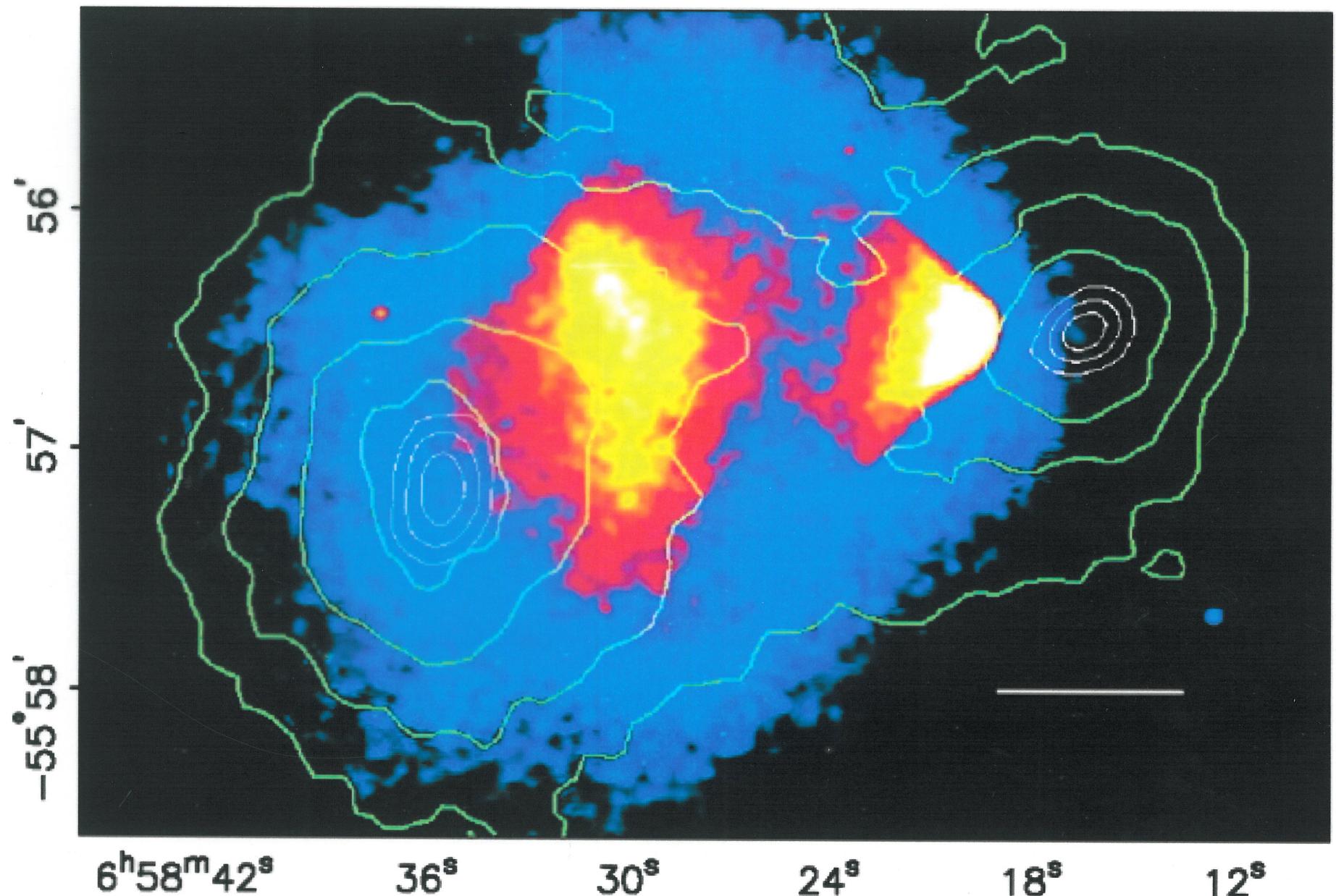


Fig. 2.7. 13-cm brightness model for 0957+561 based on VLBI observations.

Kolize mezi clustery galaxií (1E0657-558) na d. 100 mil. let



Clowe et al. (2006)

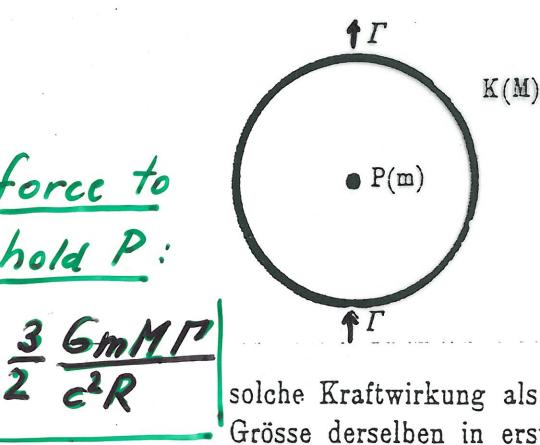
3.

Gibt es eine Gravitationswirkung, die der elektrodynamischen Induktionswirkung analog ist?

Von

Prof. Dr. Einstein-Prag.

Die in der Ueberschrift aufgeworfene Frage kann in Anlehnung an einen übersichtlichen Spezialfall in folgender Weise formuliert werden.



Es werde ein System ponderabler Massen betrachtet, bestehend aus der Kugelschale K mit homogen über die Kugelfläche verteilter Masse M und dem im Mittelpunkt dieser Kugelschale angeordneten materiellen Punkt P mit der Masse m . Wirkt auf den festgehaltenen materiellen Punkt P eine Kraft, wenn ich der Schale K eine Beschleunigung Γ erteile? Die folgenden Ueberlegungen werden uns dazu führen, eine solche Kraftwirkung als tatsächlich vorhanden anzusehen und uns die Grösse derselben in erster Annäherung ergeben.

1. Nach der Relativitäts-Theorie ist die träge Masse eines abgeschlossenen physikalischen Systems von dessen Energieinhalt in solcher Weise abhängig, dass ein Energiezuwachs des Systems um E die träge Masse um $\frac{E}{c_2}$ vergrössert, wenn c die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Bezeichnet man also mit M die träge Masse von K bei Abwesenheit von P , und mit m die träge Masse von P bei Abwesenheit von K , oder mit anderen Worten mit $M + m$ die träge Masse des aus P und K zusammen bestehenden Systems für den Fall, dass m sich in unendlicher Entfernung von K befindet, so folgt, dass die träge Masse des aus K und m bestehenden Systems, für den Fall, dass sich m im Mittelpunkt von K befindet, den Wert

$$M + m - \frac{k M m}{R c^2} \dots \dots (1)$$

7. "Is There a Gravitational Effect Which Is Analogous to Electrodynamic Induction?"

[Einstein 1912e]

PUBLISHED July 1912

The "first" dragging effect (really "quantified")

A. Einstein - 1 of 5 papers

on gravitation from the Prague period:

Gibt es eine Gravitationswirkung, die der elektrodynamischen Induktionswirkung analog ist?

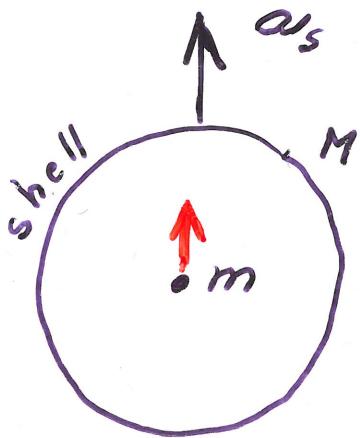
[Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin 44 (1912), 37.]

$$ds^2 = -c^2(x^i) dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

$$\Delta c = k \varphi + \frac{1}{2} \frac{\text{grad}^2 c}{c}$$

from PE \rightarrow egs. of motion of a test particle

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{m \dot{x}}{\sqrt{c^2 - \dot{z}^2}} \right] = - \frac{mc (\partial c / \partial x)}{\sqrt{c^2 - \dot{z}^2}}$$



Force on m :

$$\frac{3}{2} \frac{GmM}{c^2 R} \cdot \omega_s$$

Lense & Thirring $\omega_{\text{drag}} = \frac{4}{3} \frac{GM}{c^2 R} \omega_s$

linear in M/R Brill & Cohen, Pfister & Braun, ...

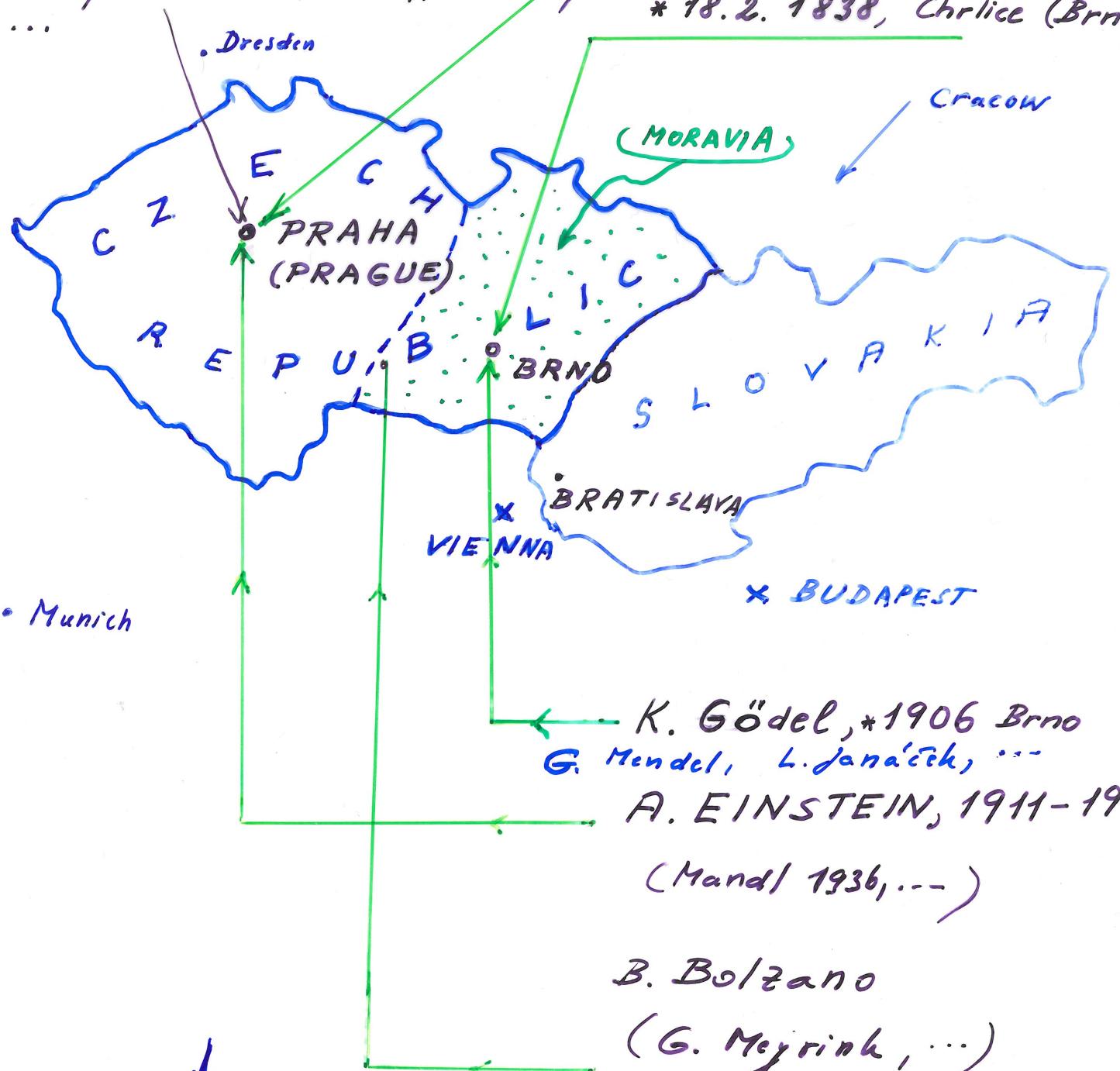
↑ SZECIN

"SPIRITUS LOCI"

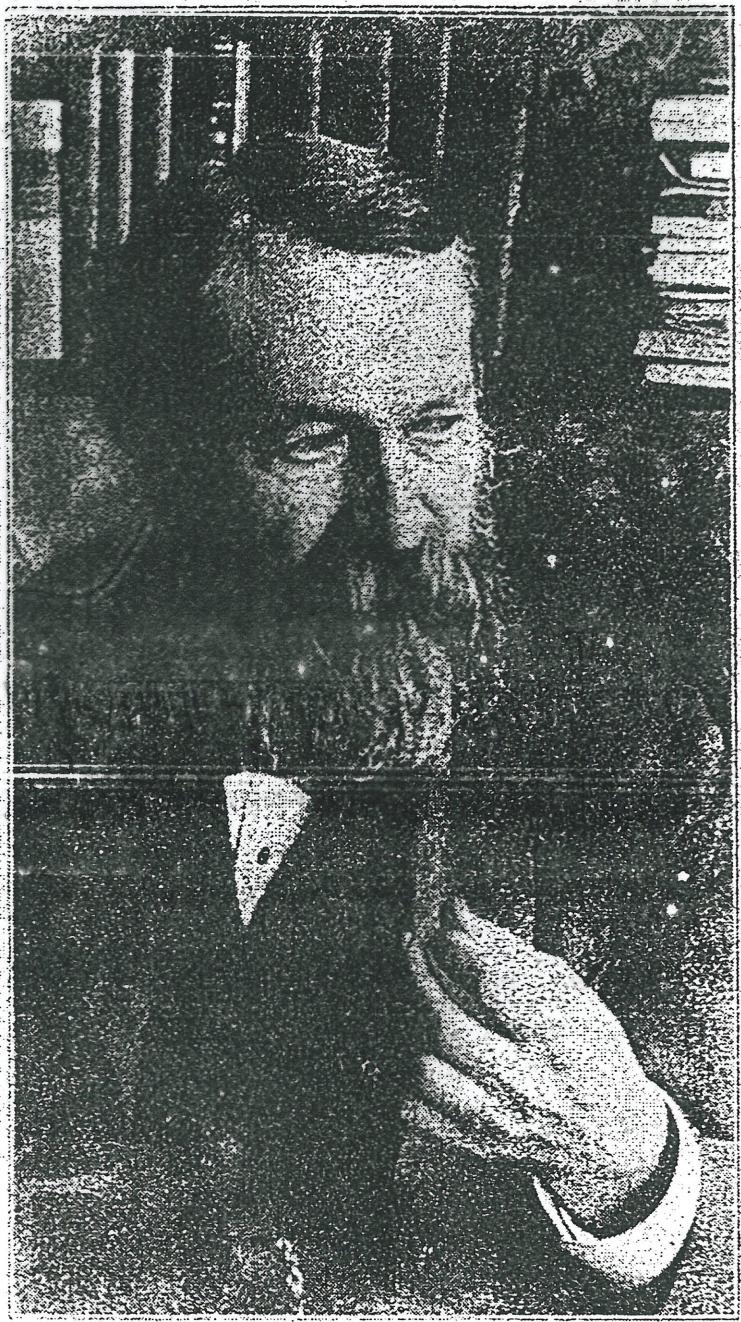
Tycho Bratre

J. Kepler (1600-), Ch. Doppler (1842)

...



TRIESTE



Dr Ernst Mack

* 18 Feb 1838

in Chrlice (today part of Brno)
Moravia

last year 170 annivers.

+ 19 Feb 1916

Vaterstetten *)
Bavaria

* (today part of Munich)

Mach was interested in history ^{of} physics
CV

today Brno

18.2. 1838 born in Chrlice, Moravia

(part of Austria -

1855 - 1860 studies in Vienna

- Hungary Empire)

1861 - 1864 Privatdozent in Vienna

1864 - 1867 Prof. of maths, then of physics in Graz

1867 - 1895 Professor of experimental physics
and director of the Institute
of Physics at the Univ. of Prague

1879 - 1884 Rector of the Univ. in Prague
(break 81, 82, 83.)

1895 - 1901 Professor of philosophy
at the University of Vienna

1898 ... stroke

19.2. 1916 death in Vaterstetten, Bavaria

A \longleftrightarrow B

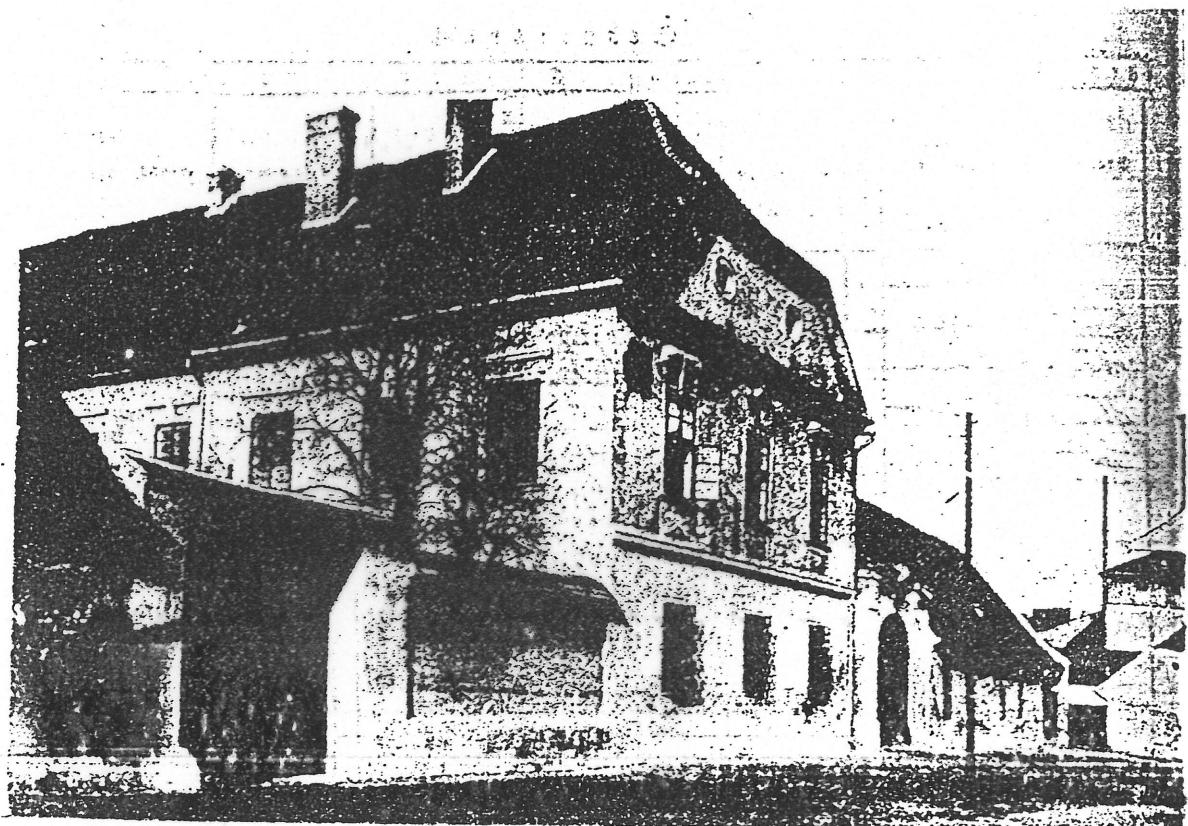


Fig.8 The native house of Ernst Mach

induction.⁹ A year later, he submitted another thesis – probably a study of the Doppler Effect – and became “Privatdozent”.¹⁰

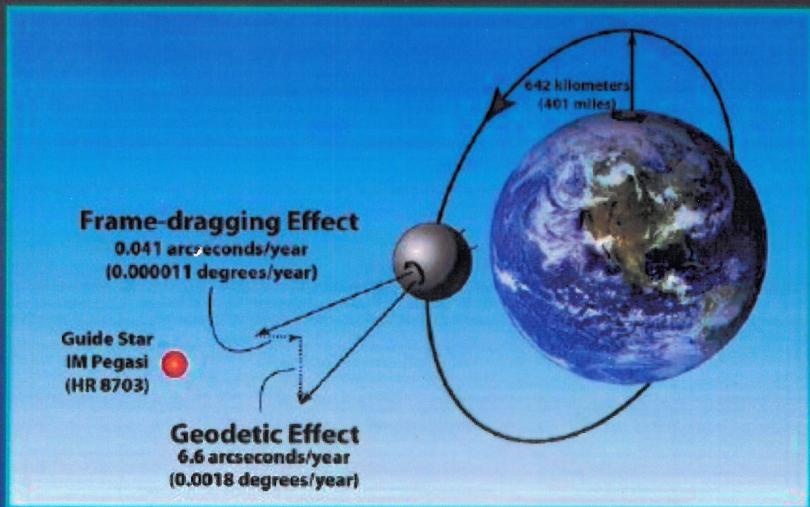
The Doppler Effect represented a problem which in those days fuelled a scientific controversy revolving around the original papers of the phenomenon provided by Prof. C.Doppler (1803-1854) of Prague Technical University. The Doppler Effect was Mach’s central preoccupation¹¹ between 1860 and 1862 when he studied the problem in depth in the laboratory of his teacher Prof. A. von Ettingshausen (1796-1878), mathe-

⁹ Sitzber. d. Wien. Akad., 1859.

¹⁰ The academic degree attained by Mach is “Dozent” (Associate Professor). The qualifier “Privat-” (private) was appended if the holder of the degree was not employed by the university. A “Privatdozent” could lecture at the university for two hours weekly without drawing any fees. If the “Dozent” was employed by the university on a full-time basis he received remuneration and was called “honorierter Dozent”. The “Dozenture” was a stepping stone to Professorship.

¹¹ Ann. d. Phys. Bd. 112 (1861); Ann. d. Phys. Bd. 116 (1862).

The Relativity Mission Concept



*"If at first the idea is not absurd,
then there is no hope for it."*
-- A. Einstein



- Basic formula: **Leonard Schiff**

$$\ddot{\vec{R}} = \frac{3GM}{2c^2R^3}(\vec{R} \times \vec{v}) + \frac{GI}{c^2R^3} \left[\frac{3\vec{R}}{R^2}(\vec{\omega} \cdot \vec{R}) - \vec{\alpha} \right]$$

- Oblateness correction: * **Dan Wilkins (Physics), John Breakwell (Aero/Astro)**

Page 2

$$d\vec{S}_o/dt = \vec{\Omega} \times \vec{S}_o$$

\vec{S}_o = spin angular momentum
in co-rotating frame

$\vec{\omega}$... angul. vel. Earth
 I ... moment of inertia

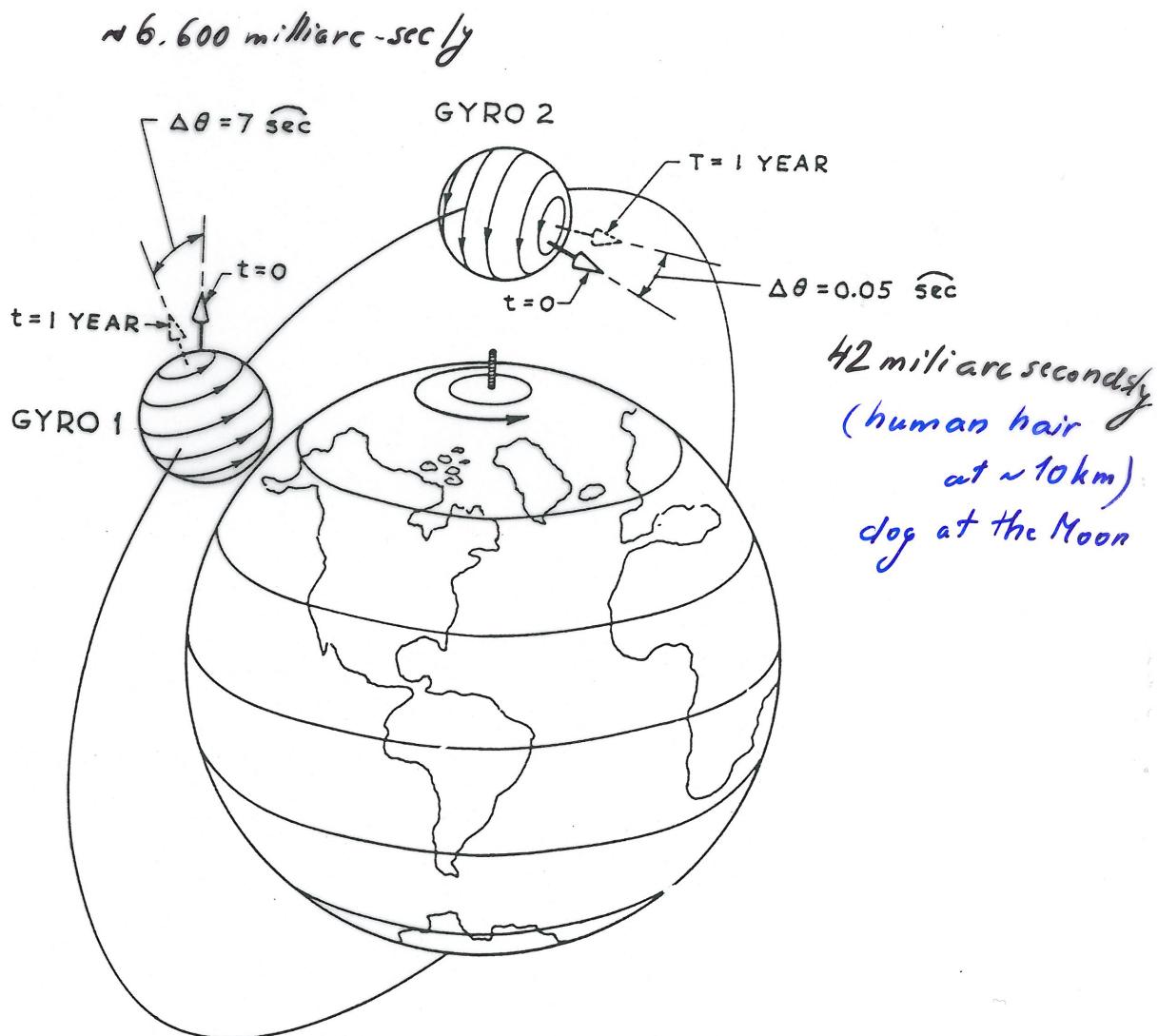


Figure 1

STANFORD GYRO EXPERIMENT *

Idea : 1959

Launch: April 20, 2004

First results: April 14, 2007 (APS, Jacksonville)

Final results: End of 2007 NO!

\$35 mil.
↓
\$700 mil.

* "GRAVITY PROBE B" (NASA)

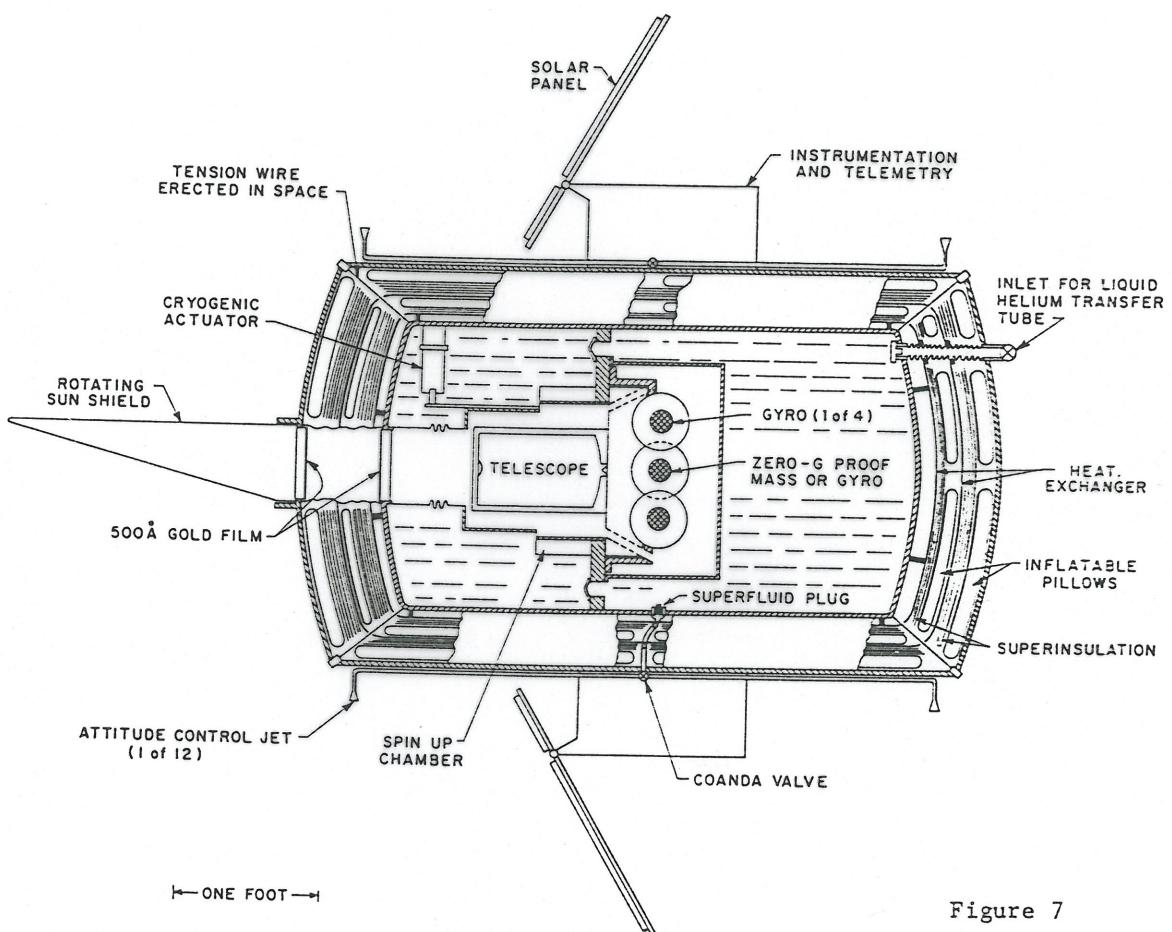


Figure 7

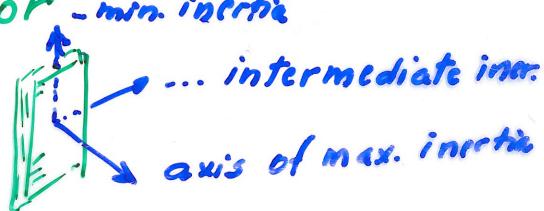
800 l Helia --- 1.8 K
 gyros (setrvačníky) homogené ^{eous} 1:10⁶
 spherical (sférické) 1:10⁶
 accuracy of angle measurement
 (prísnost měření úhlů) $\sim 3 \times 10^{-4}''$
 \longleftrightarrow lidský vlas ze vzdálenosti
 human hair at 10 mil

Mission Update - November 12, 2009

The accuracy of GP-B results has improved 17x since APS meeting in April 2007

In past 2.5 years modeling and removing three Newtonian sources of error

- 1) damped polhode motion



- 2) misalignment torques

torques on the gyros when spacecraft's axis of symmetry not aligned with gyro's axes

- 3) roll-polhode resonance

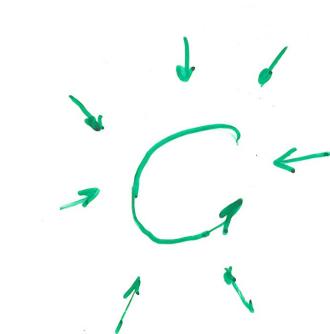
All 3 effects due to "patch-effect" anomalies

"while mechanically both rotor and housing are exceedingly spherical, electrically they are not

patch charges arise from varying surface electrical potentials in 'polycrystalline materials'

Analysis up to now:

COMBINED 4-GYRO RESULT GIVES STATISTICAL UNCERTAINTY OF 14% (≤ 5 miliarc sec)
FOR THE FRAME DRAGGING

ψ at different times

anticlockwise
rotating
waves

$m = 10$

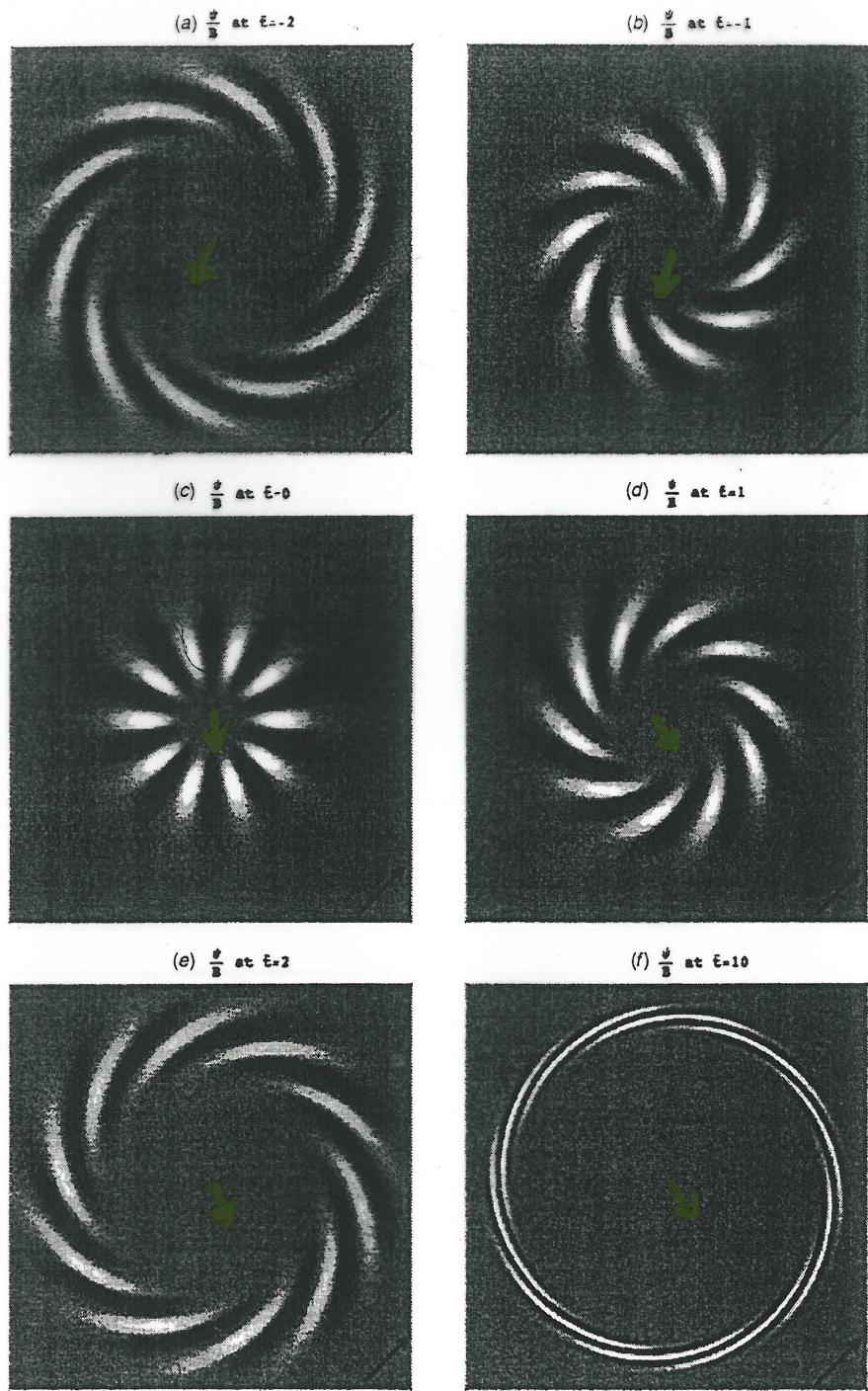


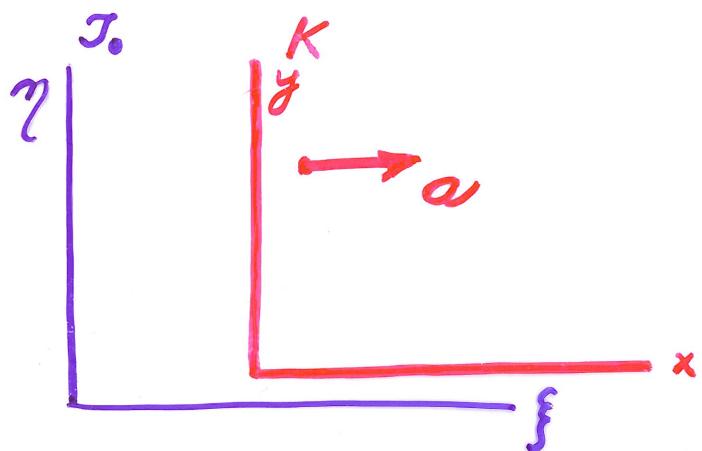
Figure 5. This shows the $m = 10$ wave which always rotates anticlockwise. As it comes inwards (a) at $\bar{t} = -2$ it is in the form of a leading spiral with the outer parts of the arms ahead of the central parts. By $\bar{t} = -1$ (b) the spiral has started to open. By $\bar{t} = 0$ (c) the central parts have caught up and the spiral has changed to a cartwheel structure but rotation keeps it beyond $\bar{\rho} \simeq 0.4$. By $\bar{t} = 1$ (d) the spiral has become trailing as befits a wave that now feeds angular momentum outwards. By $\bar{t} = 2$ (e) the spiral becomes tighter and the flat central cylinder becomes larger. We show $\bar{t} = 10$ (f) at a small scale but note the beautiful tight wrapping of the narrow arms. Also note the opposite spirality of the conjugate pairs $\bar{t} = \pm 2$ and $\bar{t} = \pm 1$. Figures encompass a radius $\bar{\rho} \simeq 7$ ($\bar{\rho} \simeq 17$ for $\bar{t} = 10$). The height of ψ/B reduced by a factor of 10^{-4} is between 0 and 1. Lighting falls at 45° from the left. The view is along the z axis from above at a distance of $10^{-4}\psi/B = 40$.

orientation of rod at the origin:

$$\phi(t) = \varphi_0 + \int_{-\infty}^t \langle \omega \rangle_0 dt = \dots \text{explicitly known}$$

EINSTEIN - pražské práce

o gravitaci, 1912



$$f = x + \frac{\alpha c}{2} t^2$$

$$\gamma = y, f = z$$

$$z = ct$$

$$c = c_0 + \alpha x$$

1)
⇒

$$\Delta C = 0$$

rovnice statického
gravitačního pole
ve vakuu

$$\Delta C = k c \rho$$

~ v prostředí
s hustotou hm. ρ

2)

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} \left\{ \frac{m \dot{x}}{\sqrt{c^2 - \mathbf{g}^2}} \right\} = - \frac{mc \frac{\partial C}{\partial x}}{\sqrt{c^2 - \mathbf{g}^2}} \quad (y, z \text{ anat.})$$

$$(\mathbf{g}^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)$$

pohybová rovnice částice
v gravitačním poli

\Rightarrow síla na částici v klidu

$$\vec{F} = -m \text{ grad } c$$

spojitý prostředí

$$\vec{f} = -\rho \text{ grad } c$$

v kombinaci s rovnicemi pole vede k rozporu:

$$\int \vec{f} dV \neq 0$$



\Rightarrow modifikace rovnic pole:

$$\boxed{\Delta c = k \left\{ c\rho + \frac{1}{2k} \underbrace{\frac{\text{grad}^2 c}{c}}_{\text{hustota gravit. energii}} \right\}}$$

Rovnice gravit.
pole nelineární!

hustota gravit. energii

Lokální pohled na princip ekvivalence:

při odvození pohybových rovnic lze využít z obecnějších transf. vztahů, např.

$$\xi = x + \frac{1}{2} c \frac{dc}{dx} t^2, \quad c(x) \text{ libov.}$$

„Kapesní“ teplota : $c_1 T_1 = c_2 T_2 = \text{konst.}$

Praha, léto 1912:

- (i) lokální význam principu ekvivalence
 - (ii) pohybové rovnice hm. bodů;
rovnice elmag. pole za přítomnosti gravitace;
 - (iii) (nelineární) rovnice grav. pole
 - (iv) všechny rovnice musí co do tvaru být invariantní vzhl. k sítě grupě než je Lorentzova
 - (v) „prostorocasové“ souřadnice ztrácejí svůj jednoduchý fyzikální význam
($\Delta x, \Delta y \dots$ neurčují vzdálenost)
- gravitace cele popsána jedinou funkcií - (promínnou) rychlosť světla

Curych, zima 1912 / 1913

(s M. Grossmannem)

gravitace popsána 10 funkcemi

$$g_{\mu\nu}$$

(i) rovnice geodetiky

$$\delta \int \sqrt{-g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} = 0$$

[Praha: $g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$, $g_{44} = -c^2(x_1, x_2, x_3)$]

(ii) Maxwellovy rovnice v gr. poli invariantní v učit. $x^\mu \rightarrow x'^\mu (x^\nu)$

(iii) Zdroj gravitace $T^{\mu\nu}$,

$$T^{\mu\nu}_{;\nu} = 0$$

(iv) Rovnice pole

$$\Gamma_{\mu\nu} = \partial T_{\mu\nu}$$



$$R_{\mu\nu} \rightarrow \Delta \Phi = 4\pi G \rho$$

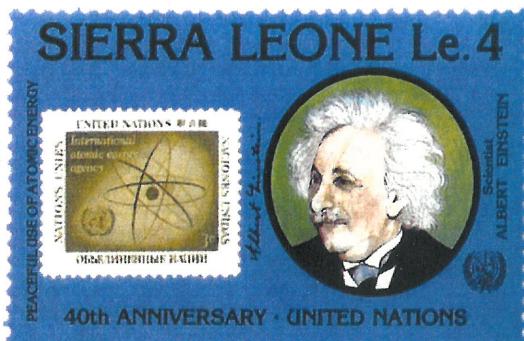
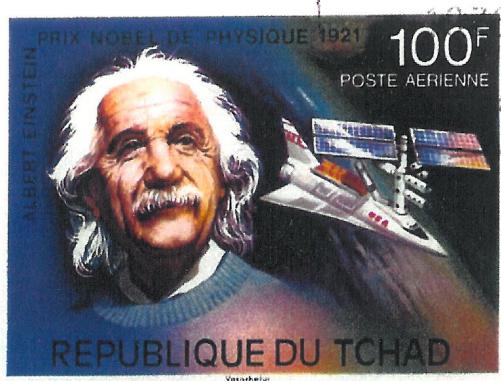
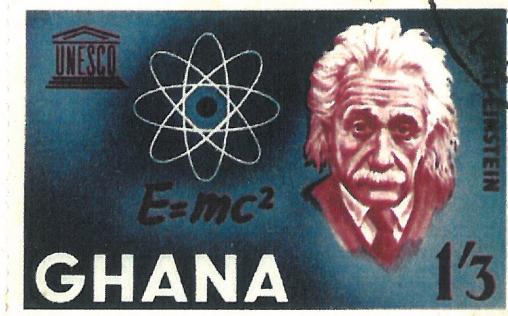
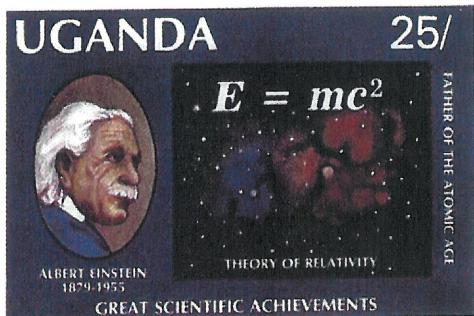
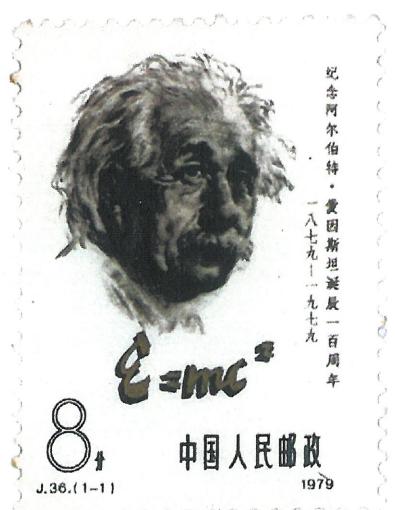
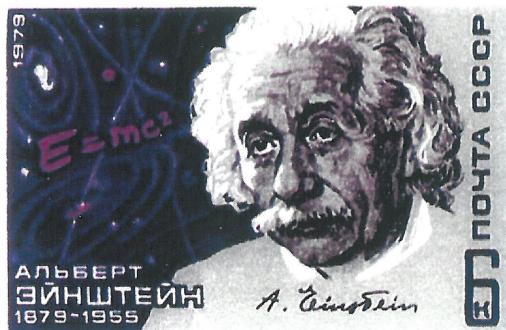
25. 11. 1915, Berlin

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \alpha T_{\mu\nu}$$

Einstein's field equations

„Matter says to geometry how to curve,
the geometry to the matter how to move“





MOUDROST DIALEKTICKÉHO MATERIALISMU

V tváře potu se do úmoru dřít
a pravdy zrnko snad jednou objevit?

Blázen, kdo tak se plahocí!
nám partaj pravdu předurčí!

A kdo vznese drzé námitky
hned pár ran schytá do lebky.
Jen tak se tu budují
duch sladké harmonie.

A.E.

O bohatství

Jsem pevně přesvědčen o tom, že žádné poklady světa nemohou pomoci lidstvu vpřed, ani v rukou člověka zcela oddaného cíli. Jen příklad velkých a čistých osobností může vést k ušlechtilému chápání a činům. Peníze přitahují jen zištnost a vždy neodolatelně svádějí k zneužití.

Může si někdo představit Mojžíše, Ježíše nebo Gandhiho vyzbrojeného měšcem Carnegiho?

Všichni cítíme, že volná hra hospodářských sil, nespořádaný a bezuzdný hon jedinců za majetkem a mocí už sám o sobě nevede ke snesitelnému řešení problémů. Je třeba jistého racionálního pořádku ve výrobě statků, v užívání pracovních sil a v rozdělování vyrobeného zboží, abychom zabránili hrozivému vyřazování cenných produktivních sil a ochuzování a zvlčlosti velkých skupin obyvatelstva.

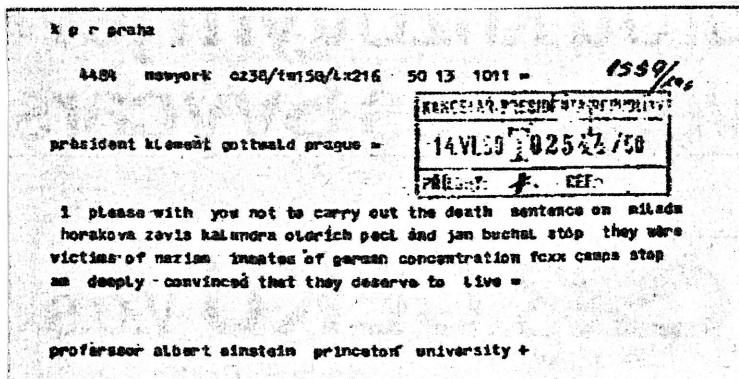
Morální rozklad (1937)

Jsem pevně přesvědčen, že vášnívá vůle po spravedlnosti a pravdě udělala více pro zlepšení lidských podmínek než vypočítavá politická chytrost, která nakonec pouze vyvolá všeobecnou nedůvěru. Kdo může pochybovat o tom, že Mojžíš byl lepším vůdcem lidstva než Machiavelli?

Kopie telegramu Alberta Einsteinu → Princeton

Klementu Gottwaldovi,

aby nedodalo k propravi Milady Horákové,
andatice



President Klement Gottwald Prague 14.6.50 Klement
presid. rep. bly

I please with you not to carry out
the death sentence on Milada Horáková,
záviš Kalandra, Oldřich Pecl and Jan Buchal
STOP THEY were victims of nazism inmates
of german concentration camps STOP am deeply
convinced that they deserve to live

Professor Albert Einstein Princeton University



The last photograph of Einstein, made on his
seventy-sixth birthday, 14 March 1955.

Let us now hear from Einstein. To Solovine, who had written congratulating him on his seventieth birthday, he wrote in reply on 28 March 1949, saying in part:

You imagine that I look back on my life's work with calm satisfaction. But from nearby it looks quite different. There is not a single concept of which I am convinced that it will stand firm, and I feel uncertain whether I am in general on the right track.

Joanna Fanta

Z posledních let...

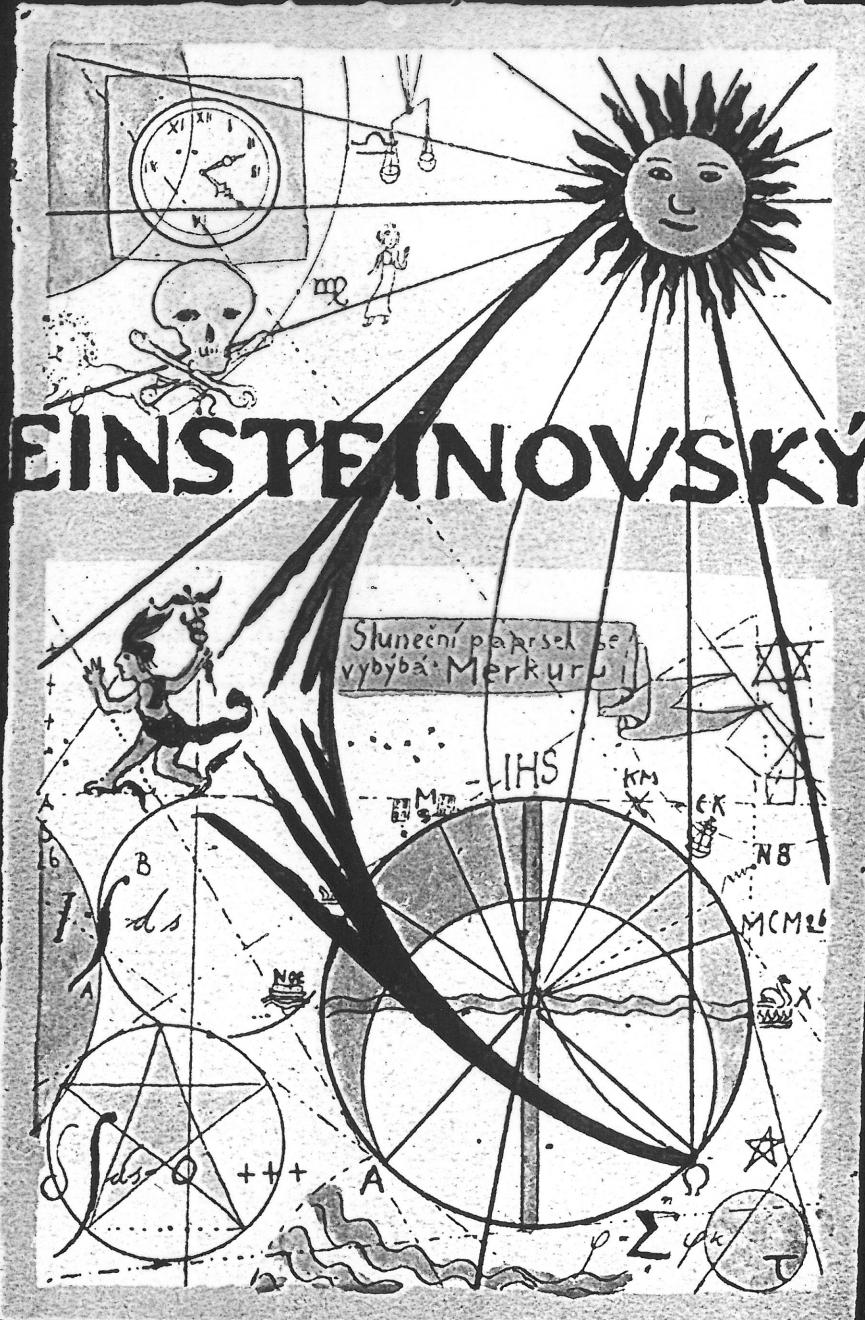
„S prací už to příliš nejde,
už toho moc nedokážu a musím se spokojit
tím, že hraju starou excelenci a
židovského svatého (hlavně to druhé)“

„Ve starí' je jedna věc pozoruhodná! V tom,
že ^{se} ztrácí intímní vztah ke všemu „zde“
a „nyní“ a že se více či méně ocita'me
sami v nekonečnosti, aniž bychom v něco
doufali či se něčeho obávali; jen se
dále díváme...“

„Starý pán“ se neměnil, jen se stával
stále více sám sebou.

+ 18. dubna 1955

KURSI



v září MCMXXVI

„... Základem naší theorie jest t.z.v. národní čest. Jsme totiž přesvědčeni, že s vyhynutím Umění a Vědy, lépe řečeno Poesie a Moudrosti, vymírá i národ. Tot' axiom, který nám nevyvrátí sebe větší blahobyt národních drštěk. Národní drštky a národ není totéž... Chceme tím jen říci, že jako není vše zlato, co se leskne, tak není vše národem, co se rodí, co žere a co se nakonec po mnohých jiných živočišných funkcích promění v humus, od něhož se odvozuje dnešní humanita. Tedy národní čest. Že jí tolik jest ještě v národě, bychom se s naší Vědou a Uměním udrželi, v to s pomocí Boží doufáme.

Tož FAC ET SPERA!“ Čiň se a doufej!

Josef Florian

viz A. Stankovič: Okradli chudého

EINSTEIN'S
1912 MANUSCRIPT
ON THE
SPECIAL THEORY
OF RELATIVITY

A FACSIMILE

GEORGE BRAZILLER, Publishers
in association with the
Jacob E. Safra Philanthropic Foundation
and the Israel Museum, Jerusalem

$$\left. \begin{array}{l} x' = \frac{x + \beta u}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{u - \beta x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{array} \right\} \quad (\text{II a})$$

oder mit weller Zeitvariable t geschrieben

$$x' = \frac{x - \beta c t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{\beta}{c} x}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Diese Gleichungen lassen zunächst leicht die Bedeutung der Konstante β erkennen. Für einen Aufgangspunkt von \mathcal{E}' sei nämlich dann $x' = x - \beta c t = 0$. Es ist also $\beta c = v$, die Größe der Geschwindigkeit, mit der dieser Aufgangspunkt längs der X -Achse von \mathcal{E} glitt. Er hat mehrere Geschwindigkeiten v , so nehmen die Transformationsgleichungen die Form an

$$\left. \begin{array}{l} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right\} \quad (\text{II b})$$

Dies System nennt man die "spezielle Lorentz-Transformation". Bevor wir es sind dies die Gleichungen, welche nach der Relativitätstheorie an die Stelle der Gleichungen (II) aus § 6 treten müssen.

List man diese Gleichungen nach x, y, z, t auf, so erhält man Gleichungen derselben Gestalt, nur das v durch $(-v)$ ersetzt ist. Es ist also \mathcal{E} mit der Geschwindigkeit $-v$ gegenüber \mathcal{E}' bewegt. Führt man mehrere Lorentz-Transformationen hintereinander aus, so erhält man wieder eine Lorentz-Transformation, d. h. die Gesamtheit der Lorentz-Transformationen bildet eine Gruppe. Dies folgert man ohne weitere Rechnung aus (15a), denn für alle derartigen Transformationen ist der Ausdruck $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ eine Invariante.

Wir können nun das Relativitätsprinzip auch so aussprechen, dass Relativitätstheorie verlangt, dass alle Gleichungssysteme der Physik, in Gleichungssysteme von derselben Form übergehen, wenn man sie unterliegt der Lorentz-Transformation transformiert.

Man erkennt durch einfache Rechnung, dass die Grundgleichungen der klassischen Mechanik (§ 6) diese Eigenschaft nicht haben. Sie sind also mit der Relativitätstheorie nicht vereinbar.