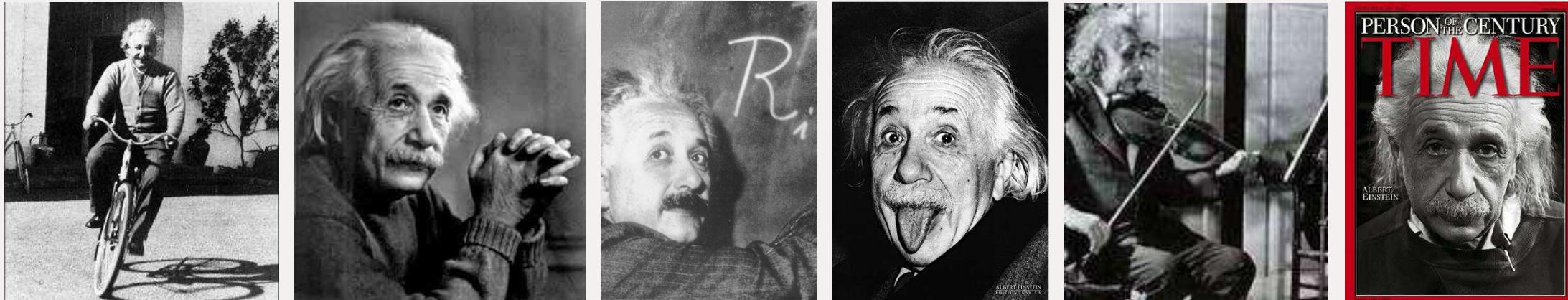


*Svetovno leto fizike:*  
**POMEN EINSTEINOVIH ODKRITIJ**



$$K = h\nu - W_0$$

$$R_{ik} - \frac{R}{2}g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ik}$$

$$E = mc^2$$

ALI  
**ZGODBA O KONCU FIZIKE**

R. Krivec  
*Institut J. Stefan*



Albert Einstein 1879 - 1955

2005: **100 let** od čudovitega leta Einsteina

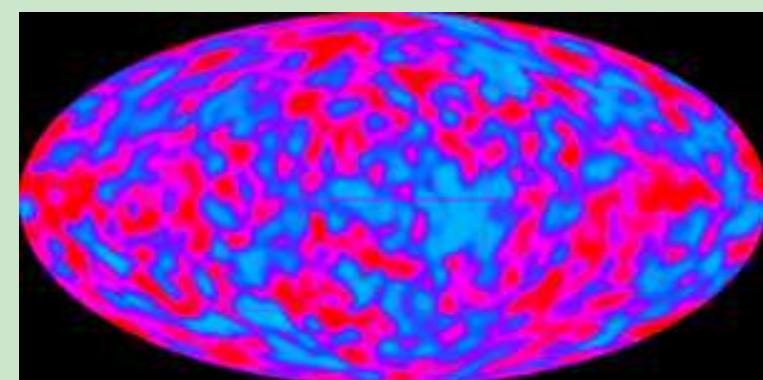
**339 let** od čudovitega leta Newtona



**Einsteinova zapuščina**

Judovska narodna in univerzitetna knjižnica

**Racahov Institut za fiziko**  
Hebrejska univerza,  
Jeruzalem



COBE

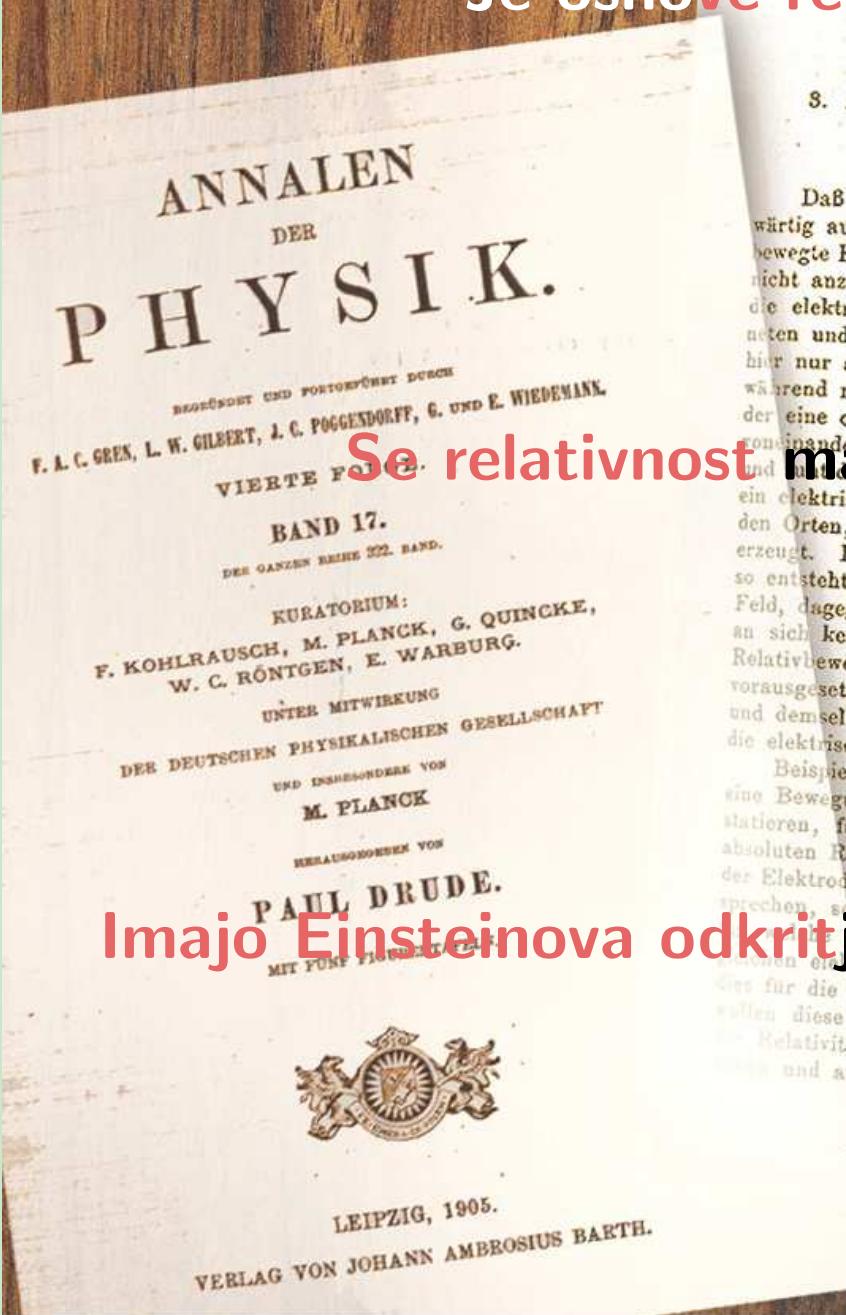


NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (Hebrew Univ.), H. Ford (JHU),  
M. Clampin(STScl), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory),  
the ACS Science Team and ESA STScI-PRC03-01a

gravitacijske leče

# Je osnove relativnosti mogoče razumeti?

891



8. 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 anzuhaf ten 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 bewegt sei, streng voneinander trennen und unregelmäßig sind. Wenn ein Magnet und ein 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, welche an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichgültig der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten — vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Fall die elektrischen Kräfte:

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche einer 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 Koordinatenrichtungen, welche man belieben wünsche, gelten, auch die 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 erklären und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche



Se relativnost manifestira v vsakdanjem življenju?  
Imajo Einsteinova odkritja kak neposreden pomen za tehnologijo?



# RELATIVNOST V SENCI: MEHANIKA

-350 Aristotel gibanje = sila

1543 Kopernik

1564 rojen Galilei

vztrajnost

enaka hitrost padanja

1642 rojen Newton, umrl Galilei

1676 Römer izmeri hitrost svetlobe

1666 Newton poenotenje zakonov zemeljske in nebesne mehanike

**RELATIVNOST (1): obstaja neskončno koordinatnih sistemov, ki se drug glede na drugega gibljejo enakomerno, v katerih veljajo enaki zakoni mehanike.**

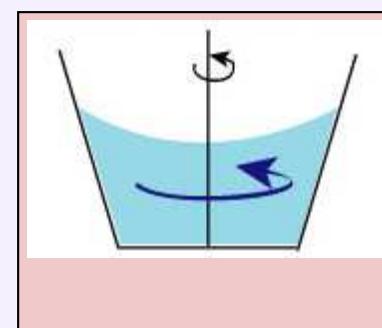
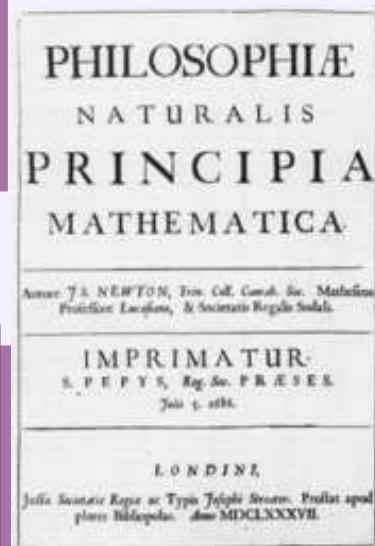
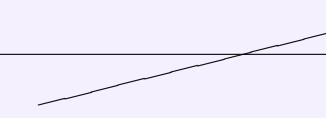
absolutni čas

absolutni prostor

sila na daljavo



zadošča za let na Luno!



# ELEKTROMAGNETIZEM

1864

Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} - \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



valovanje polj VEDNO s  
hitrostjo svetlobe  $c$

poenotenje svetlobe in elektromagnetizma



kaj pa mehanika

**nosilec svetlobe = ETER = absolutni prostor?**

18—

Kljub nerazumevanju: industrijska revolucija tudi pri električnih napravah

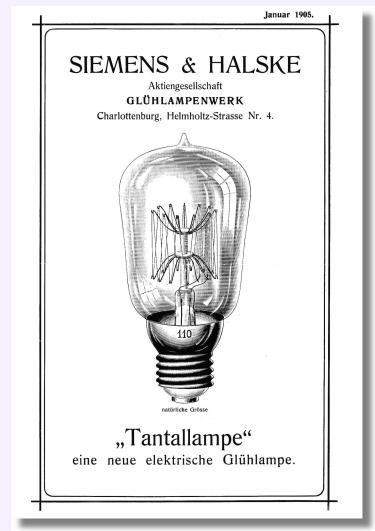
Tesla-Westinghouse 1885:  
večfazni izmenični tok



Tesla 1900: brezžični  
prenos energije



Siemens 1905:  
tantalova žarnica



1900

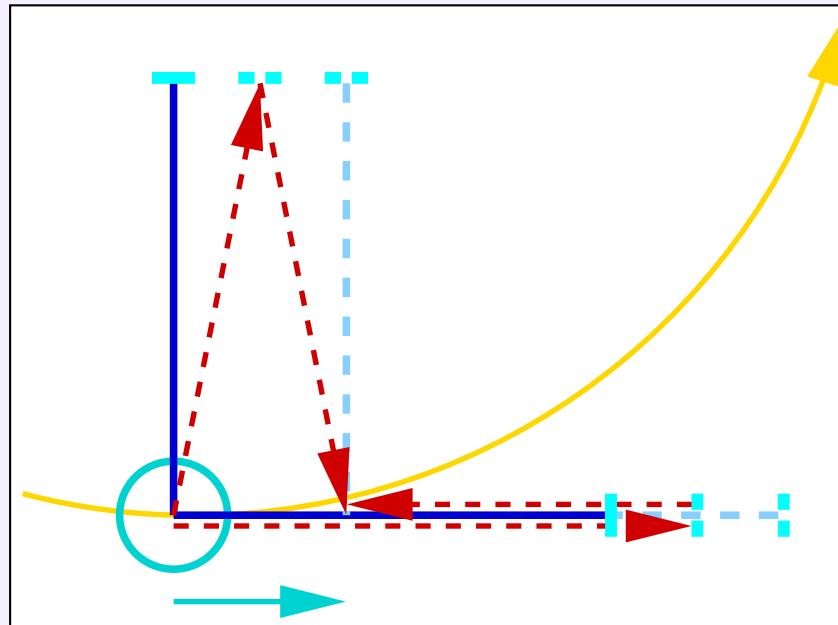
Kelvin: "V fiziki ne bo novih odkritij." – Transatlantski kabel 1855



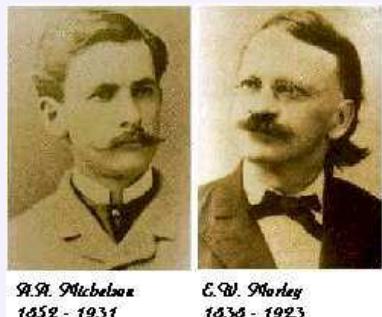
**M + EM = ...?**

1881

Michelson, Morley

**... EKSPERIMENT!**

enaka časa potovanja  
žarkov!



1895

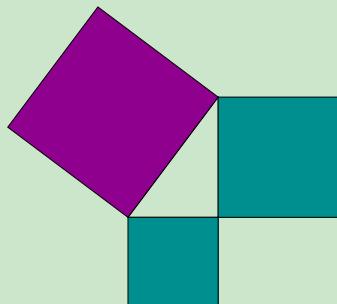
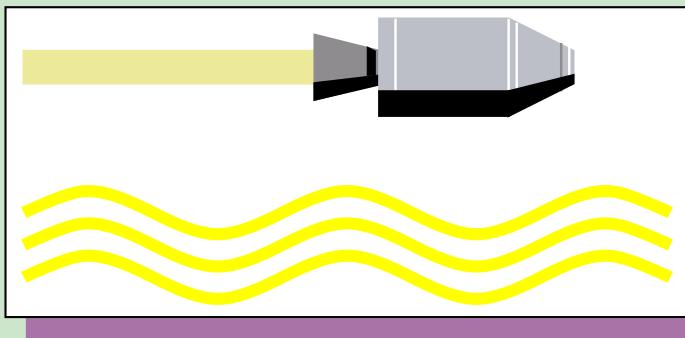
FitzGerald, Lorentz: krčenje SNOVI v smeri gibanja

1905

Poincaré: Lorentzova transformacija

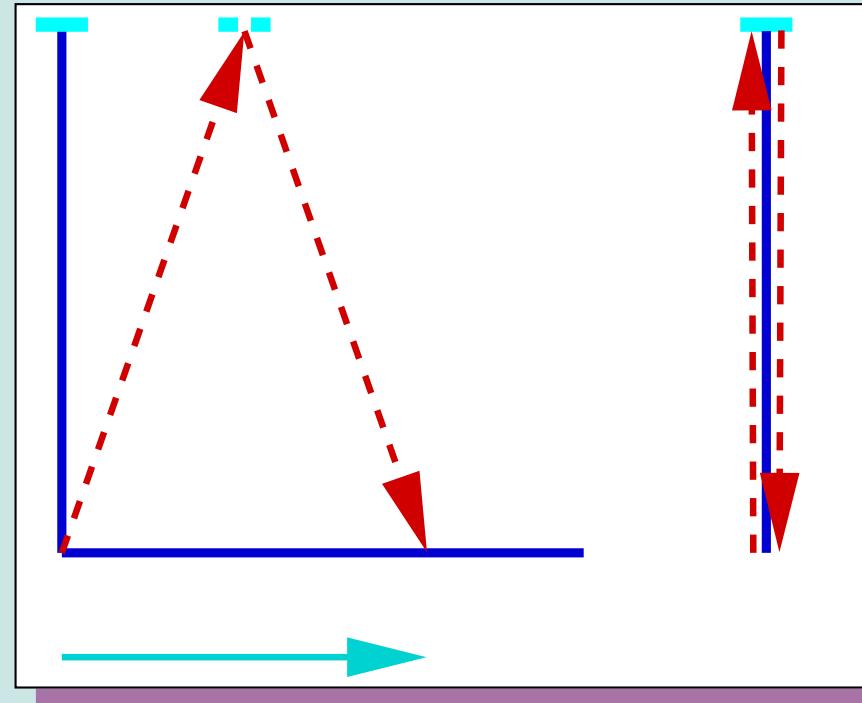
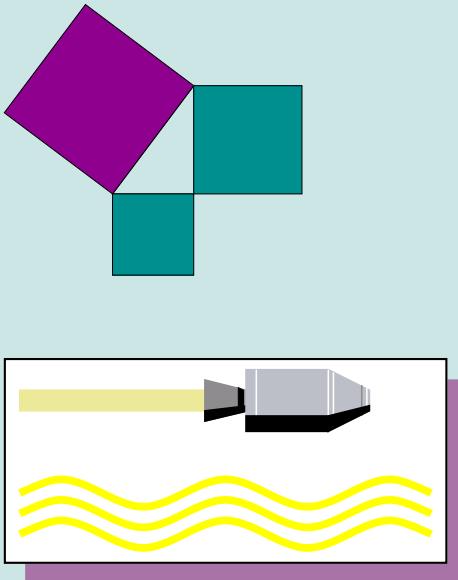
tragični junaki



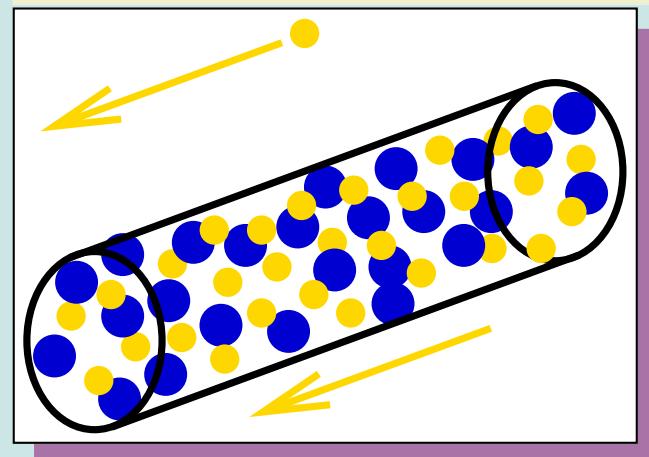
1879	rojen Einstein; umrl Maxwell				
1902	patentni urad Bern				
1903	poroka z Milevo Marić				
1905	doktorat (Bern) <i>Nova določitev velikosti molekul</i> <i>O hevrističnem pogledu na nastanek in pretvorbo svetlobe fotoefekt *</i> <i>O gibanju delcev, suspendiranih v mirujoči tekočini, ... Brownovo gibanje</i> <i>O elektrodinamiki gibajočih se teles</i> specialna teorija relativnosti <i>Ali je vztrajnost telesa odvisna od njegove energije? <math>E = mc^2</math></i>				
1909	izredni profesor, Zürich				
1915	<i>O splošni teoriji relativnosti</i> <i>Razlaga gibanja perihelija Merkurja ...</i> <i>Enačbe teorije polja za gravitacijo</i>				
1919	Eddington izmeri napoved uklona svetlobe zaradi Sonca				
1921	Nobelova nagrada *				



# SPECIALNA TEORIJA RELATIVNOSTI



PROSTOR se skrajša  
gibajoče se ure zaostajajo  
magnetno ali električno polje?



**RELATIVNOST (2):** obstaja neskončno koordinatnih sistemov, ki se drug glede na drugega gibljejo **enakomerno**, v katerih veljajo enaki zakoni **mehanike in elektromagnetizma**.

**Hitrost svetlobe je v vseh takih koordinatnih sistemih enaka.**

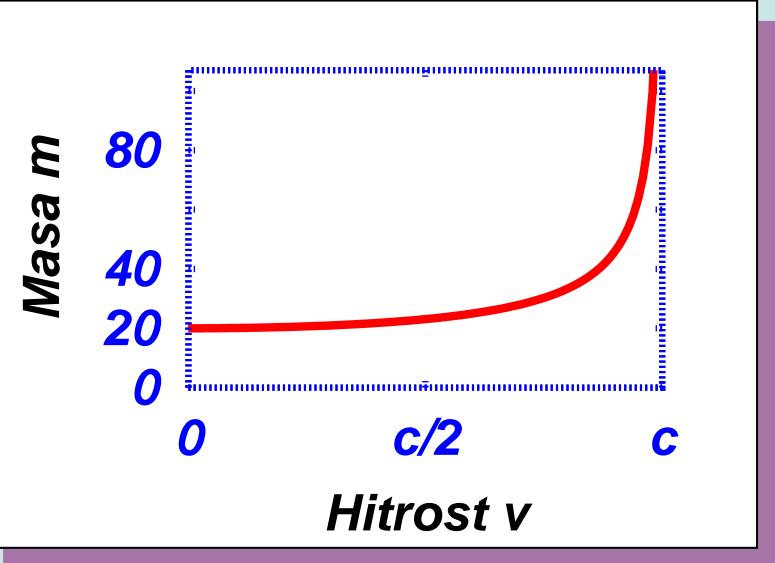


Indukcija: dva pojava ali eden?

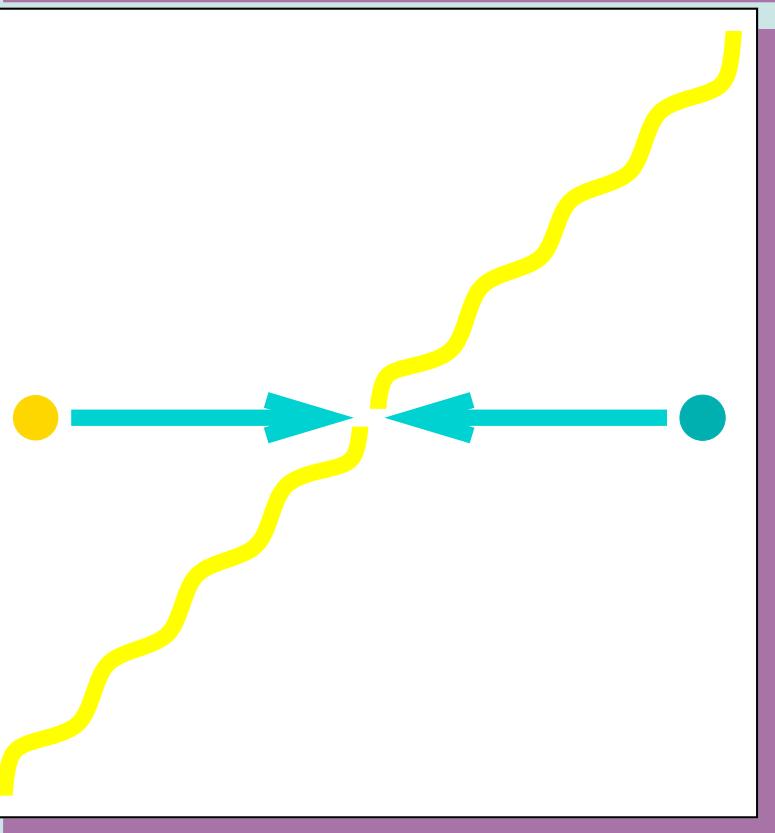


Kako spraviti lestev skozi ozka vrata?

## POSLEDICE ...



masa narašča, ne moremo preseči hitrosti svetlobe



anihilacija materije in antimaterije

2 fotona z energijo  $E = mc^2$

# ... GRAVITACIJA IZGINE!

1893

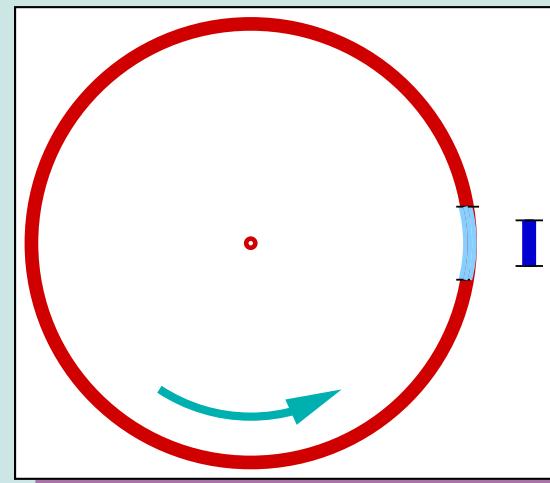
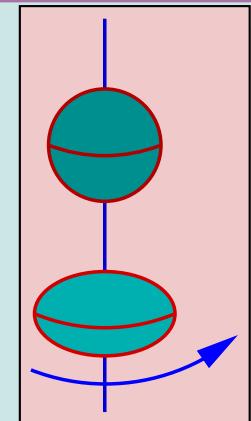
Mach **inercija posledica drugih mas**

nemogoča pojava v praznem vesolju

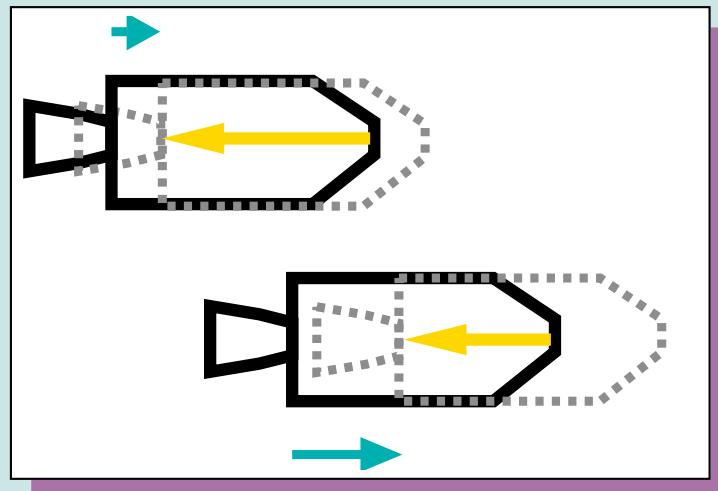
1907

Einstein **PRINCIP EKVIVALENCE**

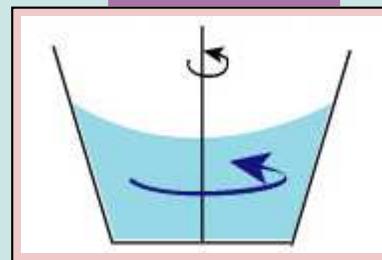
pospešek = gravitacija



ukrivljenost prostora



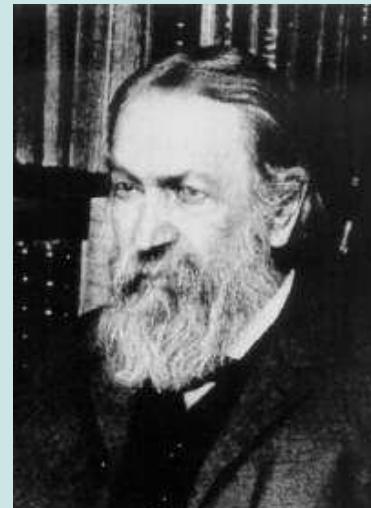
različen tek ur



1915

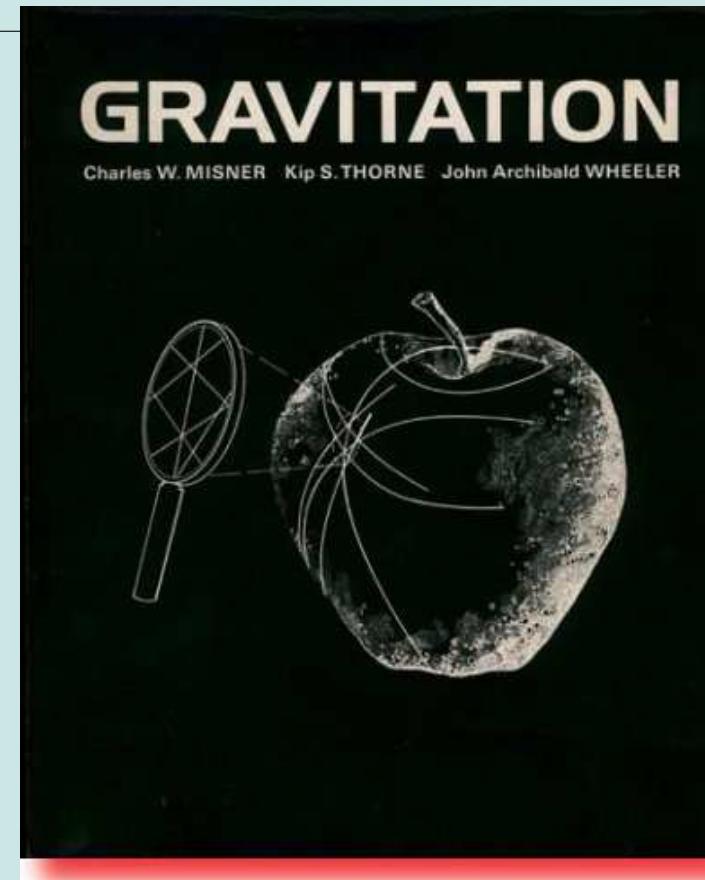
Einstein **SPLOŠNA TEORIJA RELATIVNOSTI**

**RELATIVNOST (3): ZAKONI FIZIKE SO ENAKI  
V VSEH KOORDINATNIH SISTEMIH.**



# POSLEDICE ...

Newtonovo jabolko: ukrivljeno, od blizu ravno →



1783

Mitchell črne luknje

presežni polmer Zemlje: 1.5 mm

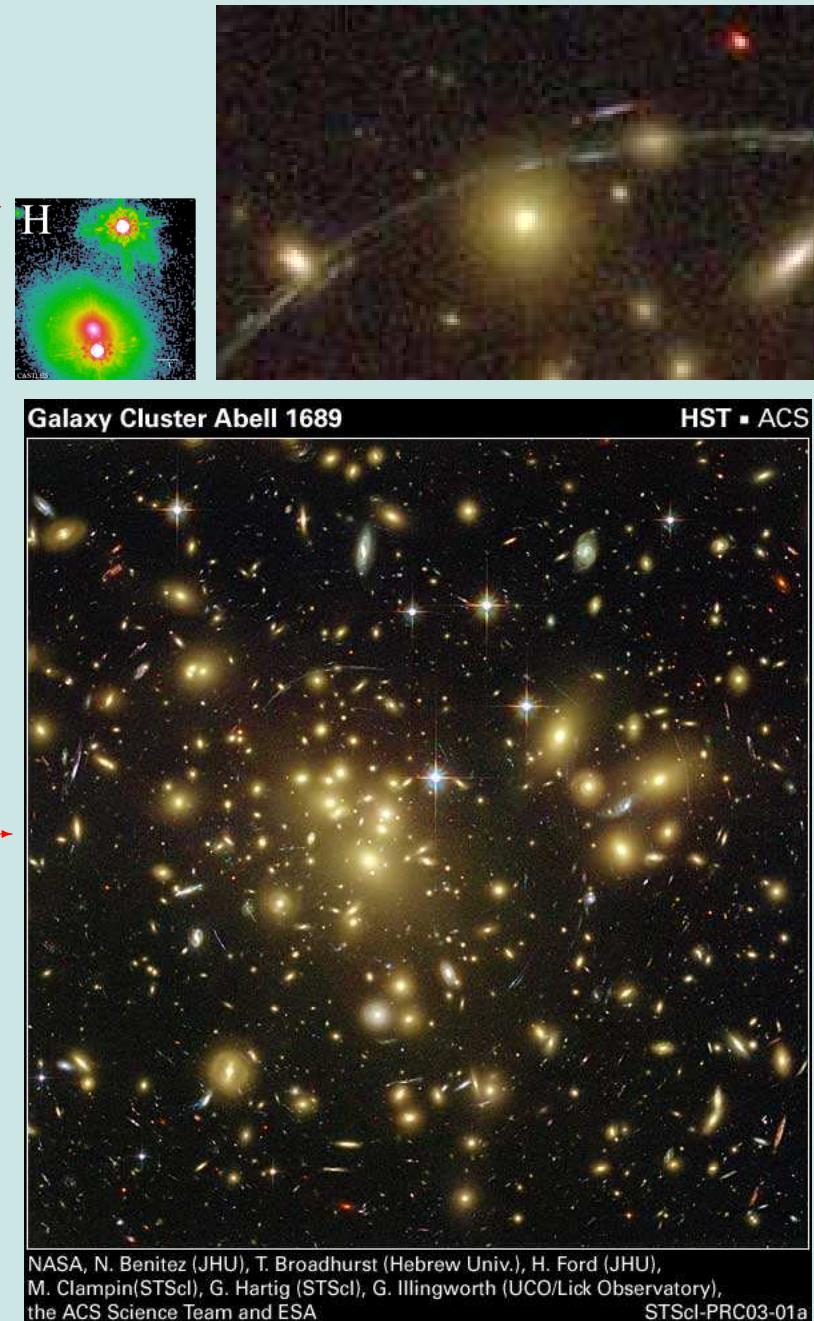
presežni polmer Sonca: 1.5 km

1977

satelitske ure: napaka  $\approx 30 \mu\text{s}$  na dan

# POTRDITVE ...

- 1915 razлага spreminjanja orbite Merkurja
- 1917 E. spremeni lastne kozmološke enačbe 
- 1919 ukrivljenost poti svetlobe (Eddington)
- 1922 Friedmann: širjenje vesolja  
popravi E. "največjo napako"
- 1929 Hubble izmeri širjenje vesolja
- 1959 rdeči premik (Pound, Rebka)
- 1977 GPS satelitske ure: 1%
- 1979 prvi primer gravitacijske leče
- 1997 Cassini-Huygens Zemlja - Saturn
- 2002 Hubblov teleskop: g. leča



## MIMOGREDE ...

1827 Brownovo gibanje

1905 Einstein razlaga B. g., masa, velikost molekul

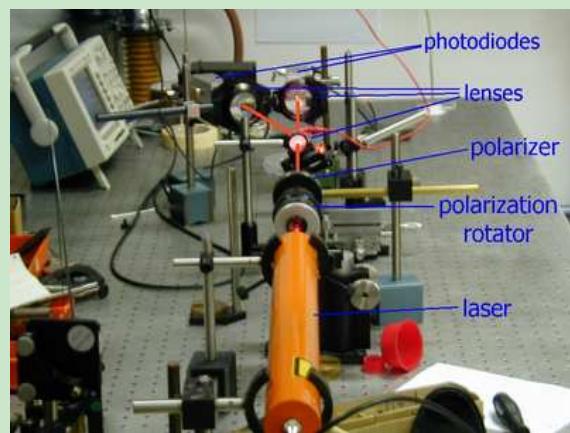
1911 Perrin



1905 kvanti - fotoefekt



1916 stimulirano sevanje - laser



(IJS)

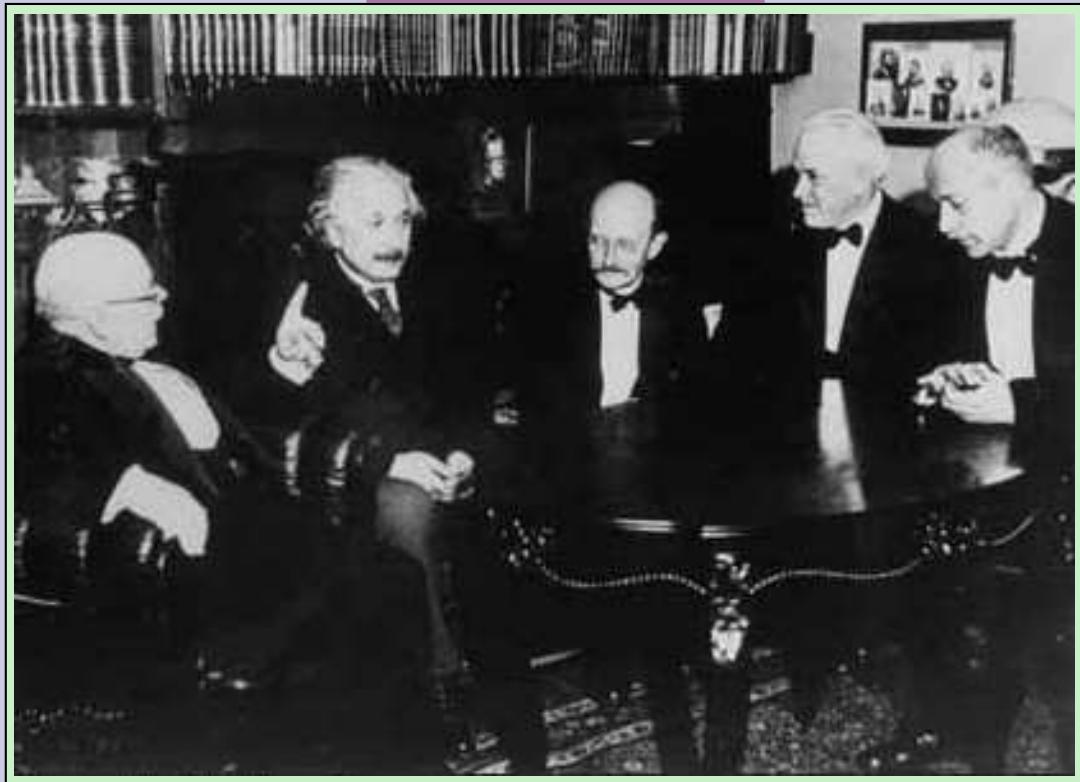
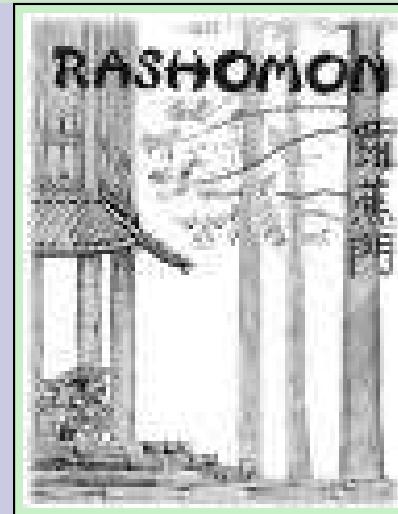


# POMEN EINSTEINOVIH ODKRITIJ

TEORIJA	ZNANOST	APLIKACIJE
Brownovo gibanje	molekularna zgradba snovi	difuzija
svetlobni kvanti	fotoefekt	
stimulirano sevanje svetlobe	laser	
specialna teorija relativnosti	poenotenje elektromagnetizma in mehanike	GPS ( $c = \text{konstanta}$ )
splošna teorija relativnosti	gravitacija = ukrivljenost prostora črne luknje, kozmologija	

“Relativnost nas uči povezav med različnimi opisi ene in iste realnosti.”

“To so reči, o katerih so drugi razmišljali kot otroci. Ker pa je bil moj intelektualni razvoj upočasnjen, sem o prostoru in času razmišljal šele, ko sem odrasel.”



Koliko aplikativnih fizikov je na sliki?



“I will a little tink ...”