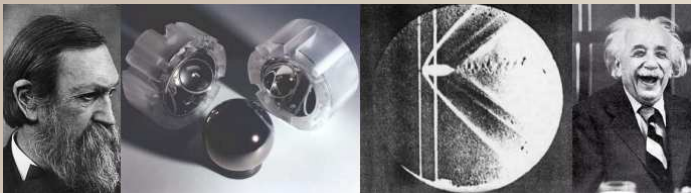


ERNST MACH



A OTR





- 1 Ernst Mach známý a neznámý
 - Pamětní deska
 - Machovo číslo
- 2 Setrvačné síly v mechanice
 - Machův princip
- 3 Mach a teorie relativity
 - Kosmologické modely
 - Gravitomagnetismus
- 4 Gravity Probe B
- 5 Jiné teorie gravitace



Ernst Mach známý a neznámý

- * 18. února 1838 v Chrlicích v rodině šlechtického vychovatele
- nejstarší ze třech dětí Johanna a Josefy Machových (matka rozená Lanhausová)
- matrika v Tuřanech: **Ernst Walfried Joseph Wenzel**, po baronce Ernestině (kmotra)
- od roku 1840 po 12 let v Untersiebenbrunnu; 1847-1848: prima benediktinského gymnázia v Seitenstettenu – „sehr talentlos“, učí otec, truhlářem
- ve 14 do sexty kroměřížského gymnázia, dobře připraven, hledá pozici mezi spolužáky



Dr. Ernst Mach

Ernst Mach známý a neznámý

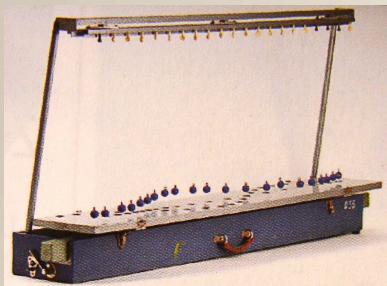
- 1855 M-F ve Vídni, 1860 doktorát, 1861 habilitace
- 1864 Gratz, 1867 Praha, sňatek s Luisou Marrusigovou, dcera, 4 synové (2. sebevražda)
- ředitel fyzikálního kabinetu, 1872–1873 děkan filozofické fakulty
- 1879–1880 rektor Karlo-Ferdinandovy univerzity (7. dubna 1348, **Henricus de Etwat**, 1654), 1883–1884 rektor německé univerzity, nesouhlasil s rozdělením – přepych (28. 2. 1882, Václav Vladivoj Tomek)
- výborný experimentátor, pomalé děje, pohyby rostlin



Machovo kyvadlo

Ernst Mach známý a neznámý

- několik výborných učebnic, vchoval řadu vynikajících fyziků (August Seydler, Čeněk Strouhal, František Josef Studnička), u zrodu novodobé fyziky u nás
- 1895 na vídeňskou univerzitu, filozofie a historie přírodních věd
- 1898 záchvat mrtvice, ochrnula pravá polovina těla
- 1901 ze zdravotních důvodů penzionován, člen Panské sněmovny, 1910–1914 nominace na NC (Lorentz)
- † 1916 u nejstaršího syna Ludwiga (lékaře) ve Vaterstettenu (Haar) u Mnichova na selhání srdce



Machův vlnostroj

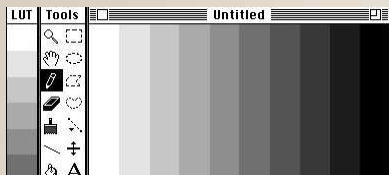


Haar roku 1936, dnes E-M-Gymnasium

Ernst Mach známý a neznámý

- zkoumání hranic lidského poznání
⇒ filozofii a psychologii
- snaha oprostit fyziku od experimentem nepodložených spekulací – uznává toliko kriticky přijímanou osobní zkušenost ⇒ **empirikriticismus** (machismus), druh pozitivismu
- „úvahy o světě, který nemůžeme pozorovat, jsou vždy nesmyslné“, „Už jste nějaký ten atom viděl?“
- ovlivnil mj. zakladatele pragmatismu Williama Jamese, Vídeňský spolek, Rudolfa Carnapa, pozitivisté později proti kvarkům

„Není žádná Machova filozofie, nanejvýš snad přírodovědná metodologie a psychologie poznání, a obě jsou – jako všechny přírodovědné teorie – pouze předběžné nedokonalé pokusy.“



Machovy proužky

Ernst Mach známý a neznámý

- Čestná oborová medaile Ernsta Macha udělovaná AVČR, od 14. února 1995 pro domácích i zahraničních vědce v oboru fyzikálních věd (Bolzana, Křížíka, Heyrovského, Mendela, . . .)
- „Zkrátil bych výrazně počet hodin na školách. Neznám nic strašnějšího než ubohé lidi, kteří se učili příliš mnoho. Místo zdravého silného úsudku, který by se byl snad vyvinul, kdyby se neučili ničemu, se jejich myšlenky úzkostlivě plíží stále po týchž cestách za jakýmisi slovy, větami a formulacemi. To, co mají, je pavučina myšlenek, příliš slabá, aby se na ni dalo spoléhat, ale dost komplikovaná, aby popletla.“



Pamětní deska

- **1. deska** sochaře Karla Korschanna ke 100. výročí narození (14. února 1938), po roce zatřeno slovo „československý“, roku 1943 zachráněna před roztavením, chybné datum úmrtí
- 16. 3. 1948 MNV rozhodl o „znovuzavěšení pamětní desky Arnošta Macha na ústav slepců“, v roce 1950 přes noc odstraněna a asi roku 1965 roztavena
- **2. deska** ke 150. výročí narození (14. 5. 1988)
- **17. 5. 2008** přidán reliéf sochaře Jiřího Sobotky



Pamětní deska

- **1. deska** sochaře Karla Korschanna ke 100. výročí narození (14. února 1938), po roce zatřeno slovo „československý“, roku 1943 zachráněna před roztavením, chybné datum úmrtí
- 16. 3. 1948 MNV rozhodl o „znovuzavěšení pamětní desky Arnošta Macha na ústav slepců“, v roce 1950 přes noc odstraněna a asi roku 1965 roztavena
- **2. deska** ke 150. výročí narození (14. 5. 1988)
- **17. 5. 2008** přidán reliéf sochaře Jiřího Sobotky



Pamětní deska

- **1. deska** sochaře Karla Korschanna ke 100. výročí narození (14. února 1938), po roce zatřeno slovo „československý“, roku 1943 zachráněna před roztavením, chybné datum úmrtí
- 16. 3. 1948 MNV rozhodl o „znovuzavěšení pamětní desky Arnošta Macha na ústav slepců“, v roce 1950 přes noc odstraněna a asi roku 1965 roztavena
- **2. deska** ke 150. výročí narození (14. 5. 1988)
- **17. 5. 2008** přidán reliéf sochaře Jiřího Sobotky

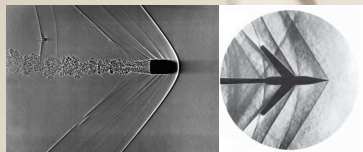
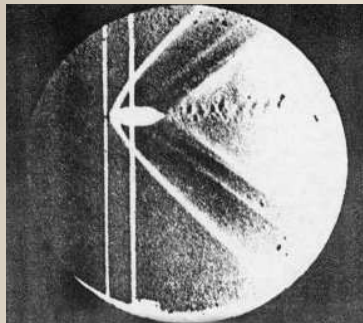


Machovo číslo

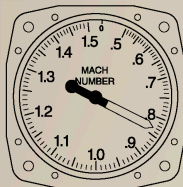
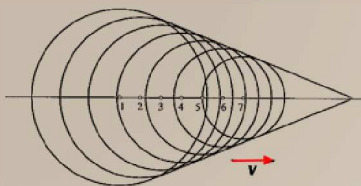
$$Ma = \frac{v}{c}, \quad Ma = 1 \Leftrightarrow 1225 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$c \propto \sqrt{\frac{p}{\rho}}, \quad f = f_0 \frac{c}{c - v \cos \vartheta}$$

- tlaková (zvuková) bariéra při obtékání, střílení kolem uší
- rázová vlna, **akustický (sonický) třesk** (i u biče), nadzvukové rychlosti povoleny jen ve velkých výškách
- při rychlostech nad $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ vypaření (meteory)
- dělení rychlostí: subsonické ($Ma < 1$), sonické ($Ma = 1$), transonické ($0,8 < Ma < 1,2$), supersonické ($1,2 < Ma < 5$) a hypersonický ($Ma > 5$),
 $v_k \approx 23 Ma$



Machovo číslo



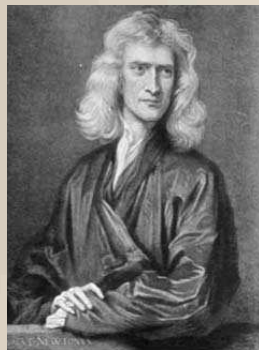
- 14. října 1947 Charles „Chuck“ Yeager na pokusném raketovém letadle Bell X-1



Spor o původu setrvačných sil

- na počátku všeho byl Newton (nebo Aristotelés) . . .
- Galileo Galilei *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), **princip relativity** (pohyb lodi)
- Newtonovy zákony – jak poznáme inerciální soustavu?

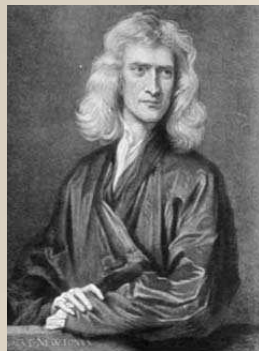
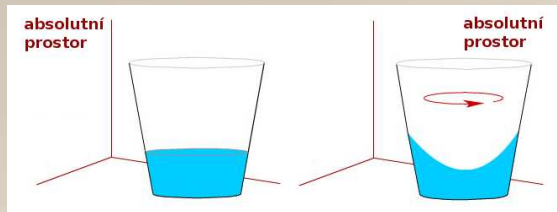
Setrvačnost je spojena s pohybem těles vzhledem k absolutnímu prostoru, rotace vůči absolutnímu prostoru je zdrojem **setrvačných (fiktivních) sil** \implies „Newtonovo vědro“



Spor o původu setrvačných sil

- Galileo Galilei Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632), **princip relativity** (pohyb lodí)
- Newtonovy zákony – jak poznáme inerciální soustavu?

Setrvačnost je spojena s pohybem těles vzhledem k absolutnímu prostoru, rotace vůči absolutnímu prostoru je zdrojem **setrvačných (fiktivních) sil** \Rightarrow „Newtonovo vědro“



Závisí na rotaci vody vzhledem k prostoru, ne vědru!



Spor o původu setrvačných sil

- odstředivá síla, Coriolisova
- kritika Newtona už Leibnitz (1646–1716), biskup Berkeley (1685–1753): smysl má pouze **relativní** pohyb – jak popsat pohyb v jinak prázdném vesmíru?
- zdrojem setrvačných sil okolní hmota, určuje „**lokální inerciální VS**“ \Rightarrow vzdálené hvězdy
- zákony fyziky by měly mít stejný tvar ve všech VS zahrneme-li vzdálené kosmické hmotnosti
- Co když vědro stojí a vesmír se točí?



Spor o původu setrvačných sil

- Foucaultovo kyvadlo – (L)IVS nerotuje vůči vzdáleným hvězdám, pro Newtona koincidence!
- problém – kvantitativní určení, setrvačnost by měla záviset na rozložení hmot ve vesmíru, nahrazení abs. prostoru vzdálenými hvězdami?
- anizotropie hmotnosti vyloučena v řádu 10^{-22} (Hughes, Drever 1960, magnetická nukleární rezonance), ale vesmír asi izotropní
- plně machovská teorie by uměla vypočítat κ



Machův princip

- Mach E.: *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung (Historisch-kritisch dargestellt)*. Leipzig 1883 (Mechanika ve svém historickém vývoji).
- označení pochází od Einsteina

Absolutní prostor neexistuje. Setrvačnost je spojena s pohybem těles vzhledem k ostatní hmotě ve vesmíru



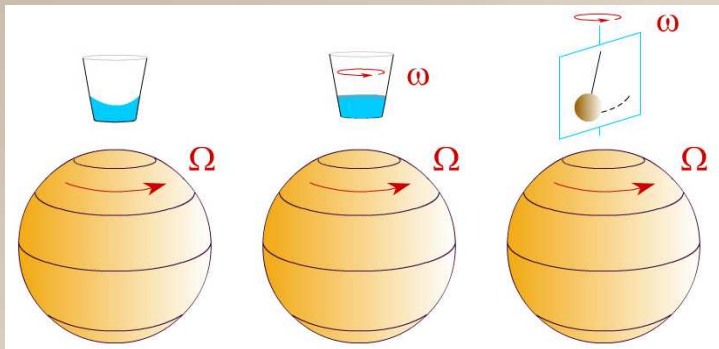
Machův princip

- současná rotace *veškeré* hmoty ve vesmíru není pozorovatelná
- rotace části hmoty ve vesmíru ovlivňuje chování inerciálních soustav (Foucaultovo kyvadlo na severním pólu)



Machův princip

- současná rotace *veškeré* hmoty ve vesmíru není pozorovatelná
- rotace části hmoty ve vesmíru ovlivňuje chování inerciálních soustav (Foucaultovo kyvadlo na severním pólu)



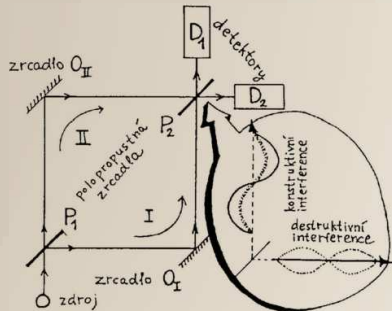
Myslím, že dokonce i Ti, kteří se pokládají za Machovy protivníky, jsou si sotva vědomi, jak mnoho z Machova způsobu myšlení vstřebali tak říkajíc s mateřským mlékem.



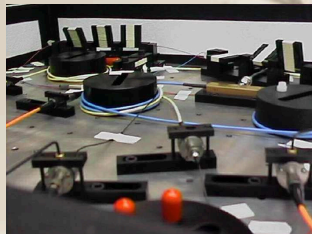
Při čtení Machových děl na nás přechází příjemná pohoda: stejnou musel pociťovat autor, když s lehkostí psal své obsažné, výstižné věty. Ale nejen pro intelektuální potěšení a radost z dobrého slohu je četba jeho knih tak přitažlivá, nýbrž i pro jeho laskavou, lidsky přátelskou a naději vzbuzující mysl, která často probleskuje mezi řádky, když se mluví o obecně lidských věcech.

Mach a OTR

- podobně jako N. mechaniku kritizoval i TR – první Optiky, přikázal přitom synu Ludwigovi vydat oba díly jen v případě, že bude pravda na jeho straně (spálena)
- Einstein: „Váš oddaný žák“, práce z roku 1905 – tyče, hodiny, měřitelné veličiny, . . . , v Paříži 1922: Mach je „un bon mécanicien“, ale „deplorable philosophe“
- rozložení hmoty a energie určuje geometrii prostoročasu
- princip relativity – symetrie mezi vztažnými soustavami

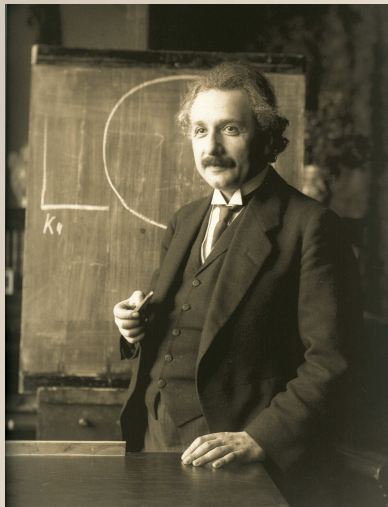


Machův-Zehnderův interferometr



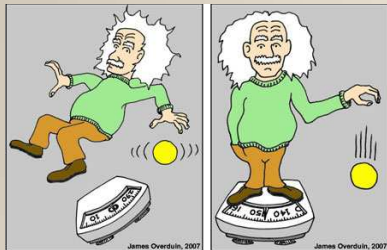
Mach a OTR

- podobně jako N. mechaniku kritizoval i TR – první Optiky, přikázal přitom synu Ludwigovi vydat oba díly jen v případě, že bude pravda na jeho straně (spálena)
- Einstein: „Váš oddaný žák“, práce z roku 1905 – tyče, hodiny, měřitelné veličiny, . . . , v Paříži 1922: Mach je „un bon mécanicien“, ale „deplorable philosophe“
- rozložení hmoty a energie určuje geometrii prostoročasu
- princip relativity – symetrie mezi vztažnými soustavami

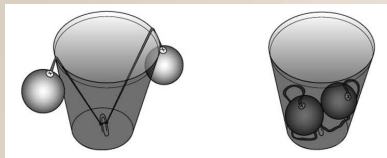


Mach a OTR

- podobně jako N. mechaniku kritizoval i TR – první Optiky, přikázal přitom synu Ludwigovi vydat oba díly jen v případě, že bude pravda na jeho straně (spálena)
- Einstein: „Váš oddaný žák“, práce z roku 1905 – tyče, hodiny, měřitelné veličiny, . . . , v Paříži 1922: Mach je „un bon mécanicien“, ale „deplorable philosophe“
- rozložení hmoty a energie určuje geometrii prostoročasu
- princip relativity – symetrie mezi vztažnými soustavami



princip ekvivalence



srovnání:

Gravitace podle Newtona

Gravitace podle Einsteina

- Einsteinův kosmologický model (1917) – snaha zahrnout MP, nestabilní, „největší omyl života“
- de-Sitterův vesmír (1916–1917): Willem de Sitter, ředitel observatoře v Leidenu (1872 – 1934), prázdný expandující vesmír s $\Lambda \Rightarrow$ nesplňuje Machův princip, dnes velmi zajímavý pro $\Lambda > 0$, tj. odpudivé, nezávisle také Levi-Civita
- anti-de-Sitterův vesmír – obdobné, $\Lambda < 0$
- Einsteinův-de Sitterův model (1932): homogenní, izotropní, euklidovský vesmír $\Lambda = 0$
- Kurt Gödel (1949): strhávání prostoročasu bez rotace vesmíru jako celku, časové smyčky

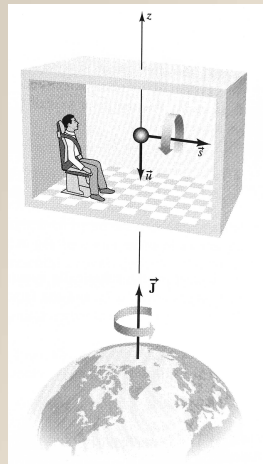


Gravitomagnetismus

- podobně el. proud (pohyb nábojů) působí na nabitě částice
- „machovské“ efekty, zakřivování dráhy, strhávání soustav, gravitace více než newtonovská síla, **efekt závisí na směru pohybu**

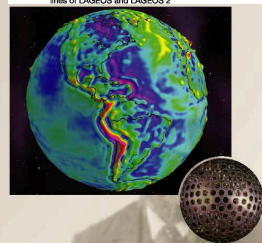
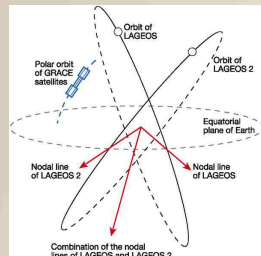


- Lenseův-Thirringův jev (1918): Josef Lense (1890-1985), Hans Thirring (1888-1976),
 $\propto 1/c^2 r^3$



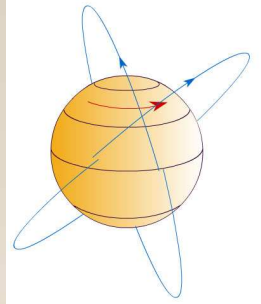
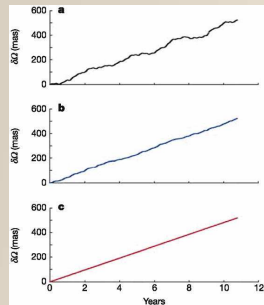
Gravitomagnetismus

- Lenseův-Thirringův jev (1918): Josef Lense (1890-1985), Hans Thirring (1888-1976),
 $\propto 1/c^2 r^3$
- družice LAGEOS (1976), LAGEOS2 (1992)
– Laser Geodynamics Satellites: odrazem paprsků určujeme přesnou polohu, výška okolo 12 270 km a 12 210 km, průměr 60 cm, hmotnost 406 kg
- cíl: hlavně tvar geoidu (nepravidelný!, model EIGEN-GRACE02S) a posun kontinentů, strhávání bonus navíc (tlak sl. záření, odpor vzduchu, změny rotace Země ...) 11 let dat (100 miliónů měření)– potvrzuje OTR 99% \pm 5% předpovězené hodnoty (Ciufolini, Pavlis. Nature 2004)



Gravitomagnetismus

- Lenseův-Thirringův jev (1918): Josef Lense (1890-1985), Hans Thirring (1888-1976),
 $\propto 1/c^2 r^3$
- družice LAGEOS (1976), LAGEOS2 (1992)
– Laser Geodynamics Satellites: odrazem paprsků určujeme přesnou polohu, výška okolo 12 270 km a 12 210 km, průměr 60 cm, hmotnost 406 kg
- cíl: hlavně tvar geoidu (nepravidelný!, model EIGEN-GRACE02S) a posun kontinentů, strhávání bonus navíc (tlak sl. záření, odpor vzduchu, změny rotace Země ...) 11 let dat (100 miliónů měření)– potvrzuje OTR 99% \pm 5% předpovězené hodnoty (Ciufolini, Pavlis. Nature 2004)

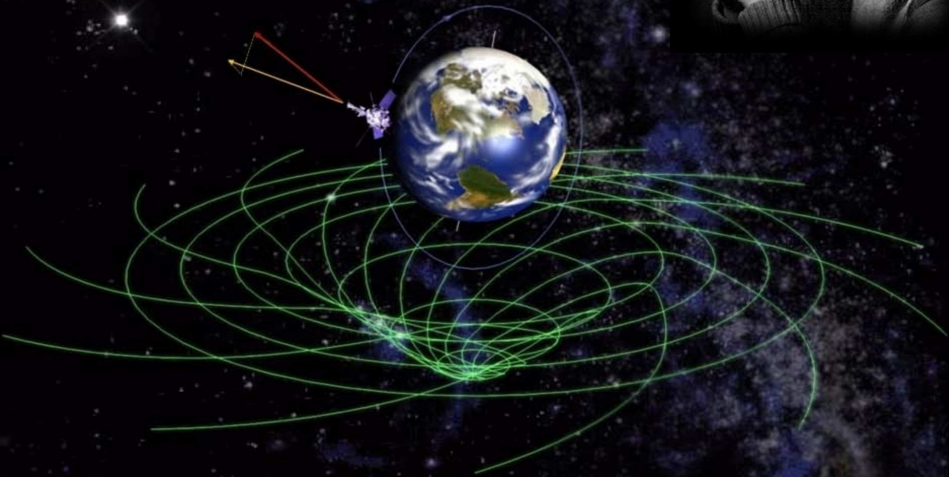
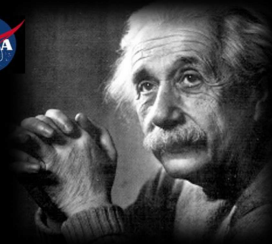




Gravity Probe B



Testing Einstein's Universe



Gravity Probe B

<http://einstein.stanford.edu>

- předchůdce Gravity Probe A (Vessot a Levine 1976, rudý posuv měřený vodíkovými maserovými hodinami, konec v Atlantiku, přesnost $2 \cdot 10^{-4}$)
- start: 20. dubna 2004, cena \$750 milionů
- „létající termoska“ se čtyřmi kuličkami velikosti pingpongového míčku (taveného brazilského křemene, přesnost 40 atomových vrstev), povrch z niobu (supravodivost)



Gravity Probe B

<http://einstein.stanford.edu>

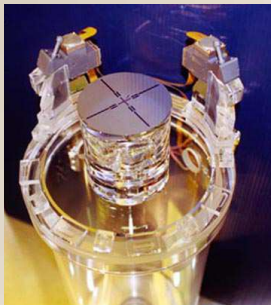
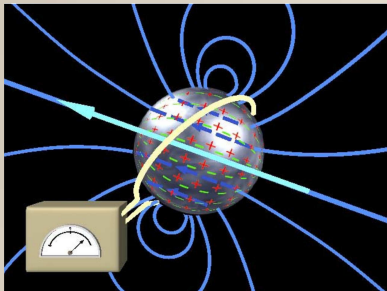
- „létající termoska“ se čtyřmi kuličkami velikosti pingpongového míčku (taveného brazilského křemene, přesnost 40 atomových vrstev), povrch z niobu (supravodivost)
- 3 400 kg, polární dráha ve výšce 640 km
- Dewarova nádoba s $2,5 \text{ m}^3$ kapalného helia (1,8 K), zásoba asi na 1 rok (září 2005)



Gravity Probe B

<http://einstein.stanford.edu>

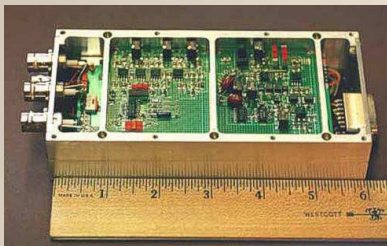
- otáčení supravodivého niobu → nenulový magnetický moment měřený vodivou smyčkou (SQUID – Superconducting QUantum Interference Devices), měří osu rotace
- naváděcí dalekohled na IČ hvězdu IM Pegasi (300 ly), k ní osy setrvačnicků (dvojice s opačnou rotací), její pohyb $0,035''/\text{rok}$ sledován vůči kvasaru (VLBI, data za 10 let)

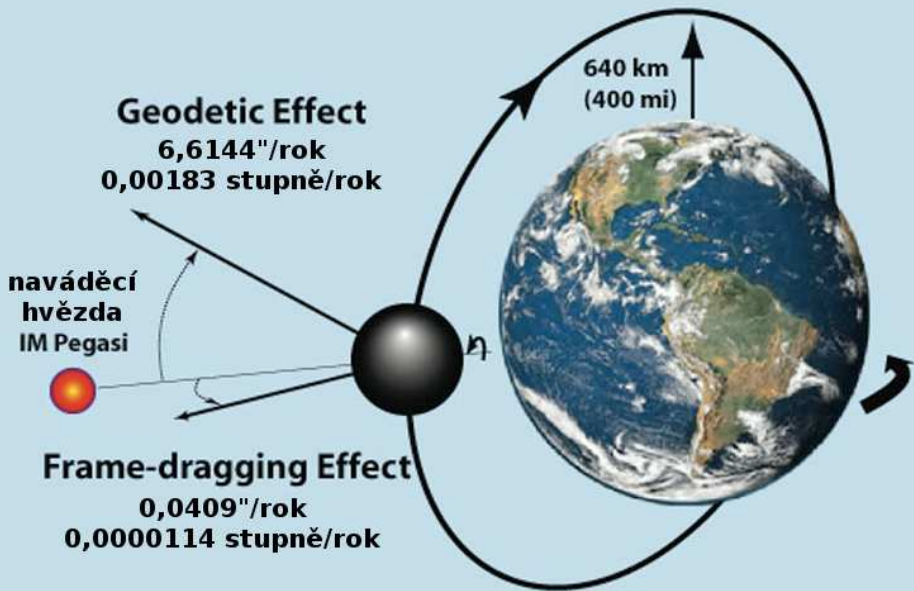


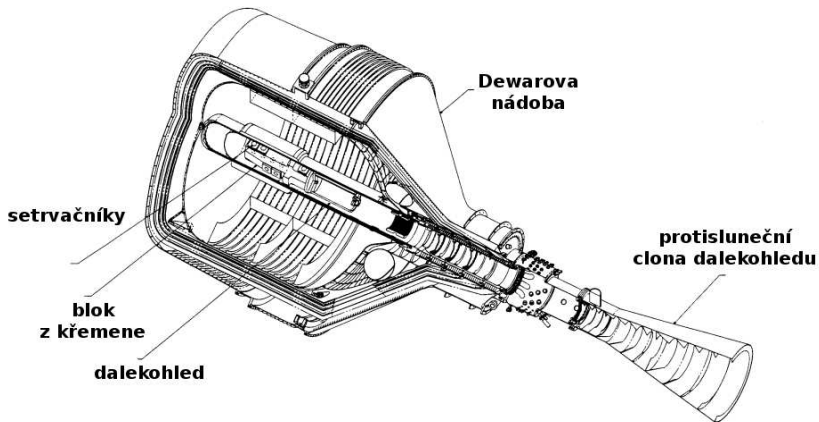
Gravity Probe B

<http://einstein.stanford.edu>

- návrh Leonard Schiff (1960, Stanford)
- dva kolmé efekty – geodetický ($6,6''/\text{rok}$ s 0,01%), L-T jev ($0,042''/\text{rok}$ s 1% – vlas ze vzdálenosti 40 km)







Animace:

Ustavení na oběžné dráze

Měření pomocí setrvačníků

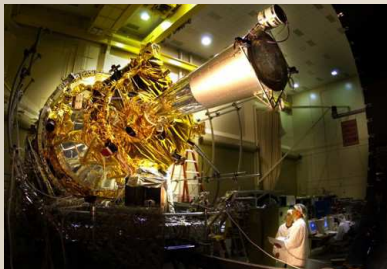
Odečítání směru rotace



Gravity Probe B – výsledky

<http://einstein.stanford.edu>

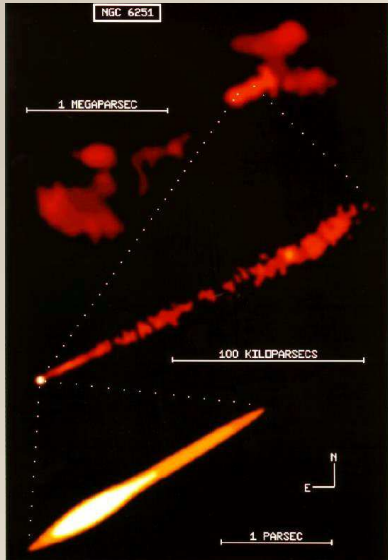
- geodetický efekt potvrzen s 15%
- problémy se zpracováním (plán do 2010), šum ze slunečních vzplanutí, neočekávané torzní síly, měla být 10x přesnější \Rightarrow v květnu 2008 NASA zastavuje podporu na analýzu dat navzdory doporučení výboru vedeného C. Willem, součást omezování základního výzkumu v NASA
- Mars Global Surveyor (lorio 2006,2007, prý přesnost 0,5%)



Gravity Probe B – výsledky

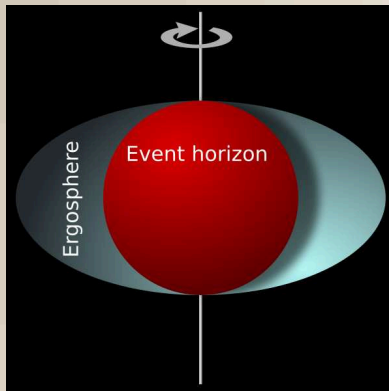
<http://einstein.stanford.edu>

- geodetický efekt potvrzen s 15%
- problémy se zpracováním (plán do 2010), šum ze slunečních vzplanutí, neočekávané torzní síly, měla být 10x přesnější \Rightarrow v květnu 2008 NASA zastavuje podporu na analýzu dat navzdory doporučení výboru vedeného C. Willem, součástí omezování základního výzkumu v NASA
- Mars Global Surveyor (lorio 2006,2007, prý přesnost 0,5%)



<http://einstein.stanford.edu>

- geodetický efekt potvrzen s 15%
- problémy se zpracováním (plán do 2010), šum ze slunečních vzplanutí, neočekávané torzní síly, měla být 10x přesnější \Rightarrow v květnu 2008 NASA zastavuje podporu na analýzu dat navzdory doporučení výboru vedeného C. Willem, součást omezování základního výzkumu v NASA
- Mars Global Surveyor (lorio 2006,2007, prý přesnost 0,5%)



Jiné teorie gravitace

- *Robert Henry Dicke* (6. 5. 1916 – 4. 3. 1997): „laboratoř, Země a sluneční soustava nemohou být izolovány od zbytku Vesmíru“
- C. Brans and R. H. Dicke: „Mach’s principle and a relativistic theory of gravitation“, *Phys. Rev.* **124** (1961) 925. – pokus o „machovskou“ OTR
- gravitační konstanta κ se mění (závisí na skalárním poli), další parametr (vazební konstanta) $\omega \rightarrow \infty$ vede k OTR
- problém zploštění slunečního disku (Dicke, Goldenberg 1966) a vlivu na pohyb planet

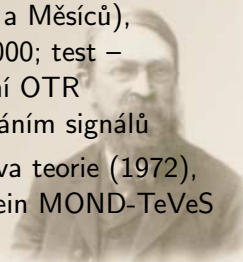


Jiné teorie gravitace

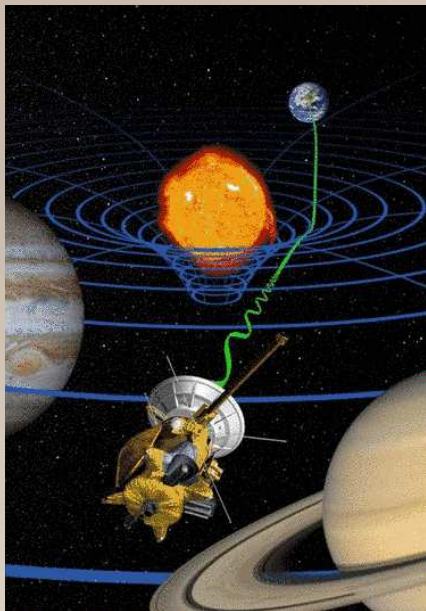
- *Robert Henry Dicke* (6. 5. 1916 – 4. 3. 1997): „laboratoř, Země a sluneční soustava nemohou být izolovány od zbytku Vesmíru“
- C. Brans and R. H. Dicke: „Mach's principle and a relativistic theory of gravitation“, *Phys. Rev.* **124** (1961) 925. – pokus o „machovskou“ OTR
- gravitační konstanta κ se mění (závisí na skalárním poli), další parametr (vazební konstanta) $\omega \rightarrow \infty$ vede k OTR
- problém zploštění slunečního disku (Dicke, Goldenberg 1966) a vlivu na pohyb planet



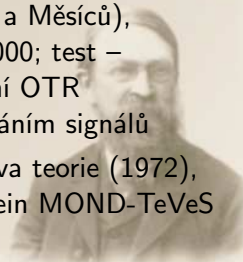
- Hill (1973) 1/5 hodnoty, v souladu s OTR
- Cassini-Huygens (projekt NASA a ESA, studium Saturnu a Měsíců), $\omega > 40\,000$; test – potvrzení OTR zpožděním signálů
- Rastallova teorie (1972), Bekenstein MOND-TeVS (2004)









Jiné teorie gravitace

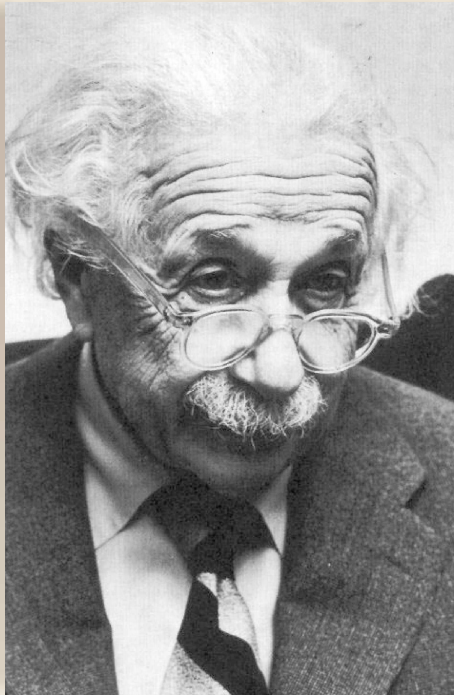


- Hill (1973) $1/5$ hodnoty, v souladu s OTR
- Cassini-Huygens (projekt NASA a ESA, studium Saturnu a Měsíců), $\omega > 40\,000$; test – potvrzení OTR zpožděním signálů
- Rastallova teorie (1972), Bekenstein MOND-TeVS (2004)



-  Einstein A.: *Teorie relativity*. VUTIUM, Brno 2005.
-  Embacher F.: *Mach, Thirring & Lense, Gödel - getting dizzy in space-time*. International Symposium on Kurt Gödel's Scientific Heritage, Brno 2006; <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Goedel/>.
-  Hartle J.B.: *Gravity. An Introduction to Einstein's General Relativity*. Addison Wesley 2003.
-  Holton G.: *Věda a antivěda*. Academia, Praha 1999.
-  Schutz B.: *Gravity from the ground up*. Cambridge Univ. Press. 2003.
-  Weinberg S.: *Snění o finální teorii*. Hynek, Praha 1996.





**„Gravity cannot
be held
responsible for
people falling in
love.“**



$$\int \frac{x^3+x+1}{x^2+2x+3} \cdot x-2+\frac{2x+7}{x^2+2x+3} dx \quad x=y-1(dx=dy)$$

$$K = \frac{x^2}{2} - 2x + \int \frac{2x+7}{x^2+2x+3} dx \quad x=y-1(dx=dy)$$

$$\int \frac{2y+5}{y^2+2} dy = \int \frac{2y}{y^2+2} dy + \int \frac{5}{y^2+2} dy = \ln(y^2+2) + 5 \cdot$$

$$\int \frac{1}{y^2+2} dy \quad y = (\sqrt{2})z \quad [dy = (\sqrt{2})dz]$$

$$\int \frac{1}{z^2+2} (\sqrt{2})dz = \frac{\sqrt{2}}{2} \int \frac{1}{z^2+1} dz = \frac{\sqrt{2}}{2} \arctan z = \frac{\sqrt{2}}{2} \arctan \frac{x+1}{\sqrt{2}}$$

$$K = \frac{x^2}{2} - 2x + \ln(x^2+2x+3) + \frac{\sqrt{2}}{2} \arctan \frac{x+1}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{\text{ŠTĚŤI}}}$$



Chyby jedněch lidí bývají nezřídka ve svých důsledcích plodnější než objevy druhých...
Ernst Mach

doc. Jiří Langer o Ernstu Machovi

ČRo Leonardo 20. 2. 2008

