

# HOUPÁNÍ NA VLNÁCH PROSTOROČASU

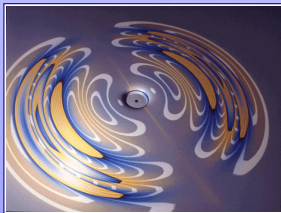
aneb fyzika na stopě gravitačních vln

Lukáš Richterek

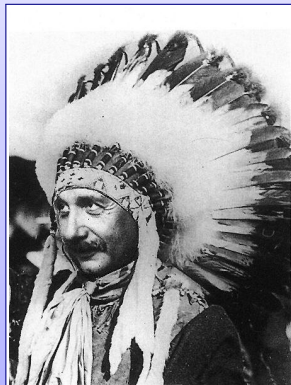
[lukas.richterek@upol.cz](mailto:lukas.richterek@upol.cz)

Katedra experimentální fyziky PřF UP

17. listopadu 1192/12, CZ-771 46 Olomouc

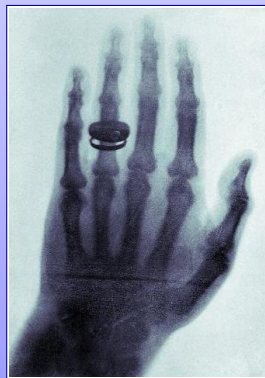
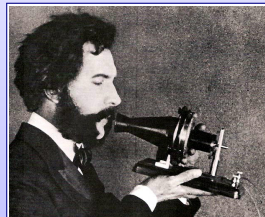
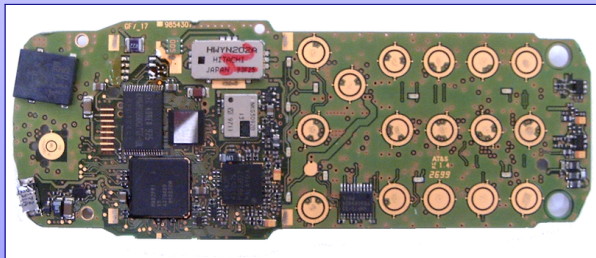


- 1 Ať žijí vlny aneb vlním, vlníš, vlníme ...
- 2 Gravitace poprvé: budiž Newton!
  - Problémy Newtonovy teorie
- 3 Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“
- 4 Zdroje gravitačních vln
- 5 Vlastnosti gravitačních vln
- 6 Detektory gravitačních vln
- 7 Perspektivy možná ne zcela vzdálené
- 8 Důkazy? Ano, ale nepřímé ...
- 9 Einstein@Home
- 10 Appendix: Einstein v Praze
- 11 Použité prameny



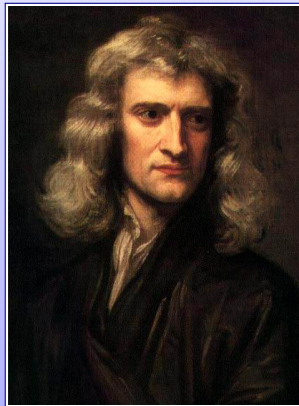
# Ať žijí vlny aneb vlním, vlníš, vlníme ...

- vlnění hlavním zdrojem informací nejen o vesmíru
- až do roku v astronomii 1932 pouze „optické okno“



# Gravitace poprvé: budiž Newton!

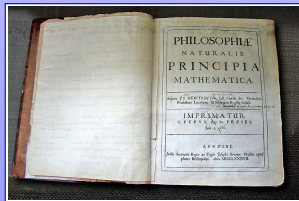
- **gravitace** – nejslabší interakce, ve Vesmíru dominantní
- informace o hvězdách, mlhovinách, galaxiích, kvazarech, ... pomocí **elmag. záření** (popř. neutrin, kosmického záření) – gravitační „symfonii“ posloucháme s klapkami na uších
- „Matematické základy přírodních věd“ (1686–1687)



## Newtonův gravitační zákon

$$\mathbf{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \mathbf{r},$$

$$G = \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$



# Gravitace poprvé: budiž Newton!

- **gravitace** – nejslabší interakce, ve Vesmíru dominantní
- informace o hvězdách, mlhovinách, galaxiích, kvazarech, ...pomocí **elmag. záření** (popř. neutrin, kosmického záření)  
– gravitační „symfonii“ posloucháme s klapkami na uších
- „Matematické základy přírodních věd“ (1686–1687)

## Newtonův gravitační zákon

$$\mathbf{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \mathbf{r},$$

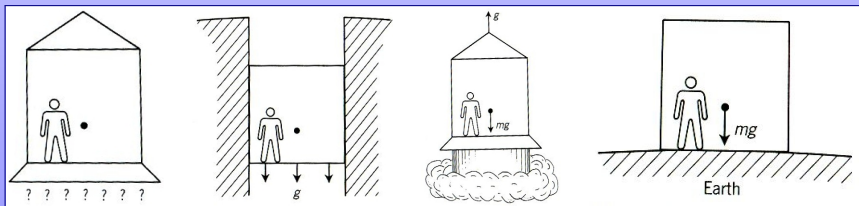
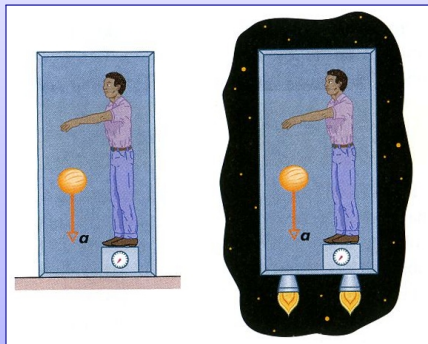
$$G = \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$



Woolsthorpe manor  
odrůda Flower of Kent  
strom do roku 1820

# Problémy Newtonovy teorie

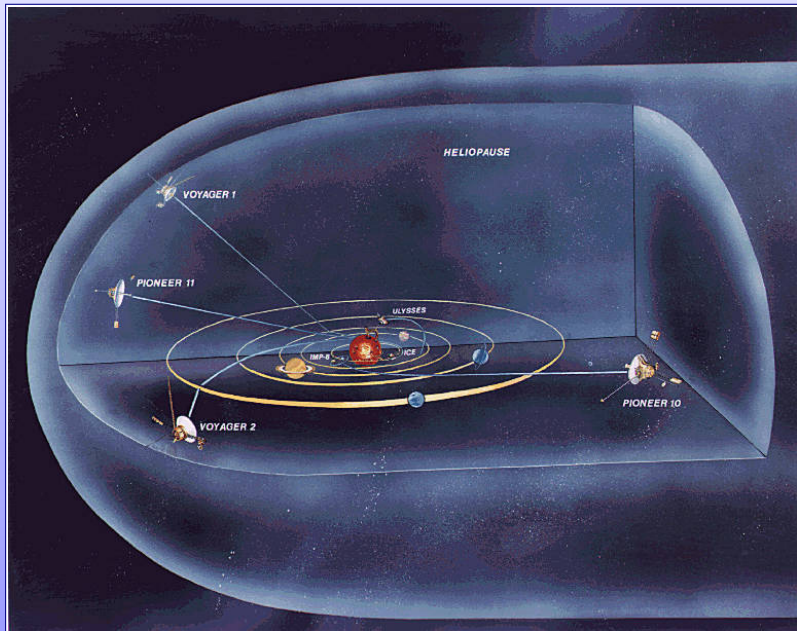
- okamžité působení na dálku
- co to vlastně je???  
(Hypotheses non fingo –  
2. vydání Principií)
- ale ve sluneční soustavě s tím  
VĚTŠINOU vystačíme!
- Einsteinova nejšťastnější  
myšlenka  $\implies$  princip  
ekvivalence



# Problémy Newtonovy teorie



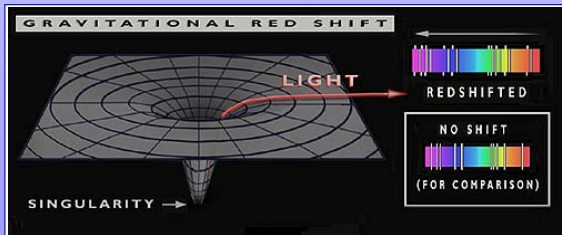
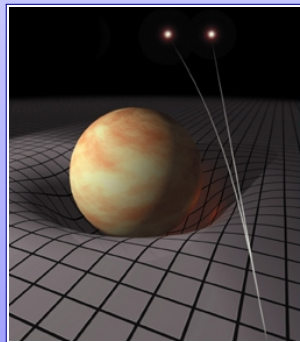
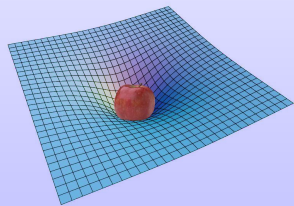
# Problémy Newtonovy teorie





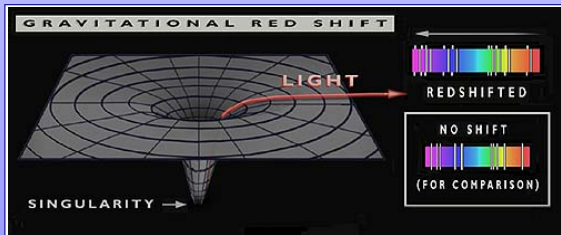
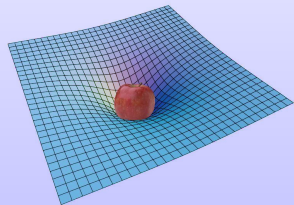
# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

- gravitace je důsledkem zakřivení prostoru a času
- každý hmotný bod mění geometrické vlastnosti prostoročasu ve svém okolí (dokonce strhává k rotaci)  $\implies$  **žádná síla**
- základní experimenty: posun perihelia, ohyb světelných paprsků, gravitační rudý posuv, zpoždování radarových signálů – mnohokrát experimentálně ověřeno



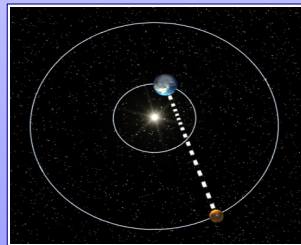
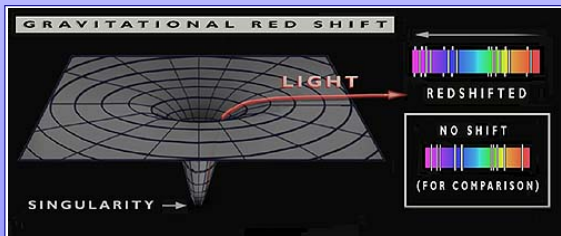
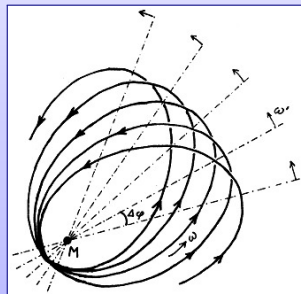
# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

- gravitace je důsledkem zakřivení prostoru a času
- každý hmotný bod mění geometrické vlastnosti prostoročasu ve svém okolí (dokonce strhává k rotaci)  $\implies$  **žádná síla**
- základní experimenty: posun perihelia, ohyb světelných paprsků, gravitační rudý posuv, zpoždování radarových signálů – mnohokrát experimentálně ověřeno

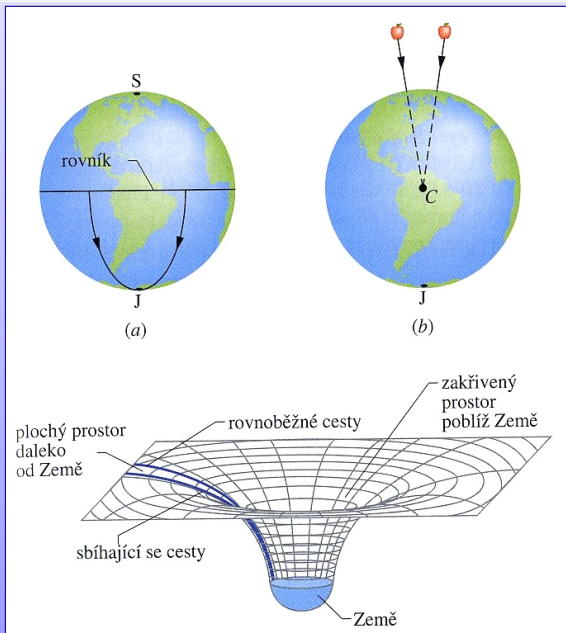


# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

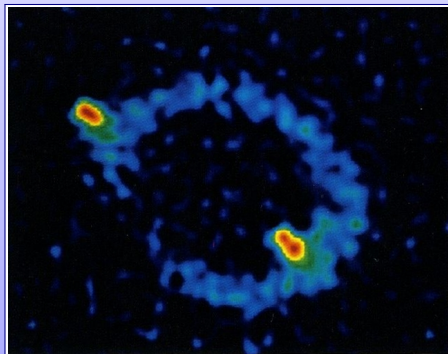
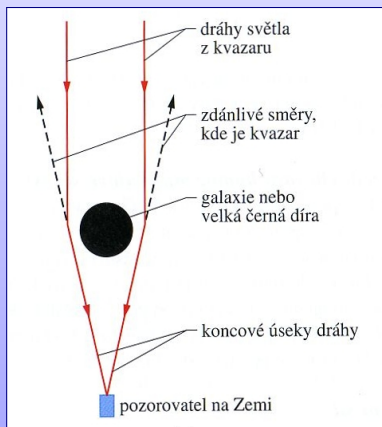
- gravitace je důsledkem zakřivení prostoru a času
- každý hmotný bod mění geometrické vlastnosti prostoročasu ve svém okolí (dokonce strhává k rotaci)  $\implies$  **žádná síla**
- základní experimenty: posun perihelia, ohyb světelných paprsků, gravitační rudý posuv, zpoždování radarových signálů – mnohokrát experimentálně ověřeno



# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

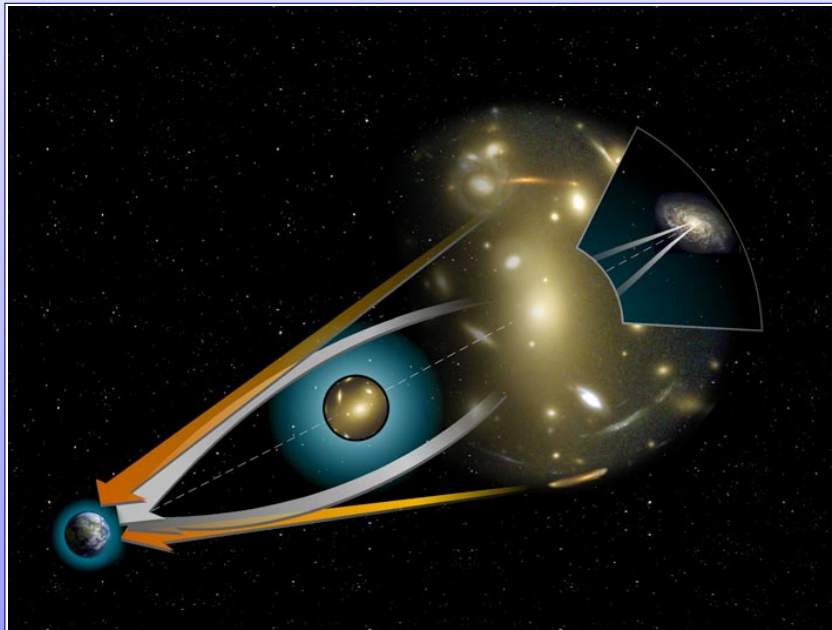


# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

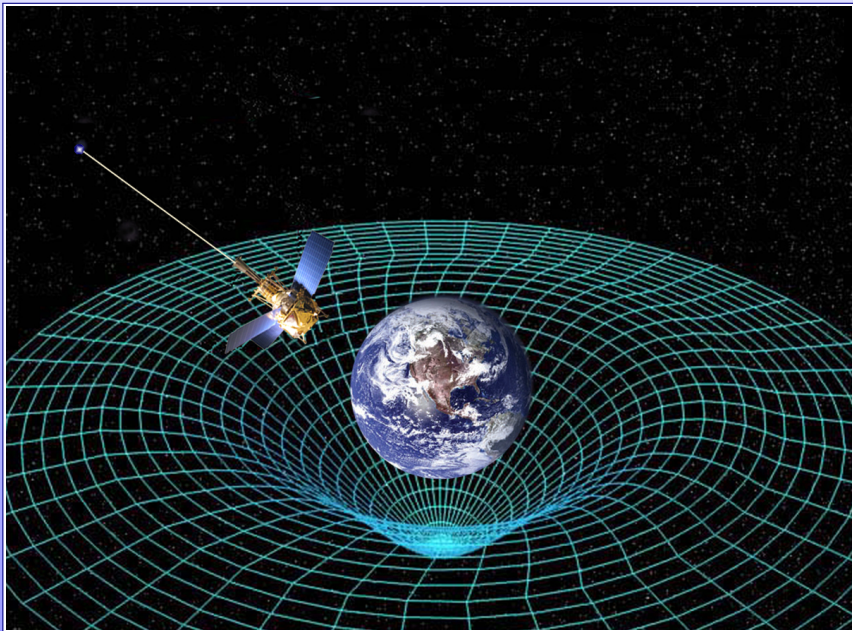


Einsteinův prstenec MG 1 131+0 456

# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“

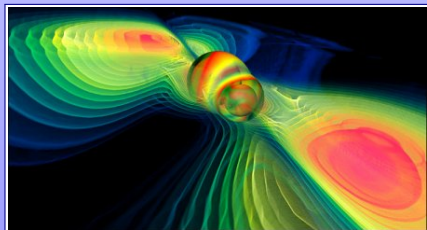
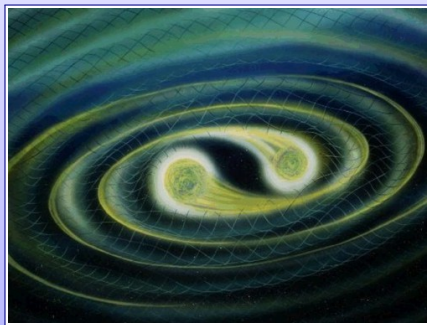


# Gravitace podruhé: Eisteinova „oprava“



# Zdroje gravitačních vln

- Einstein si uvědomil možnost existence grav. vln (1916, 1918): jestliže se zdroj deformací prostoročasu periodicky pohybuje (dvojhvězdný systém), prostoročas by měl vibrovat
- binární systémy, supernovy, srážky černých děr, velký třesk
- vlny nesou informaci o těchto dějích (např. velkoškálová struktura Vesmíru)



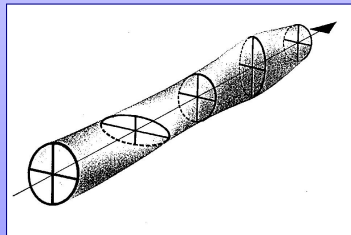
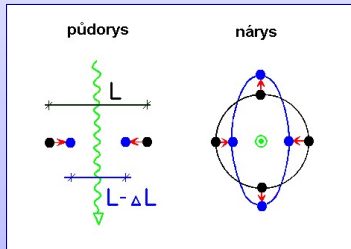


# Vlastnosti gravitačních vln

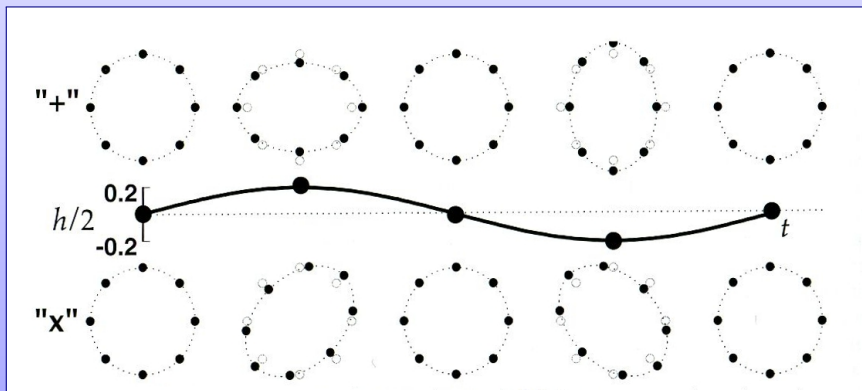
- šíří se rychlostí světla, příčné vlny (jako elmag.!)
- vlastně periodická deformace slapových účinků – relativní zrychlení částic kolmo na směr šíření
- **velmi** slabé; relativní změna vzdálenosti dvou testovacích částic

$$h = \frac{\Delta L}{L} < 10^{-21} !!!$$

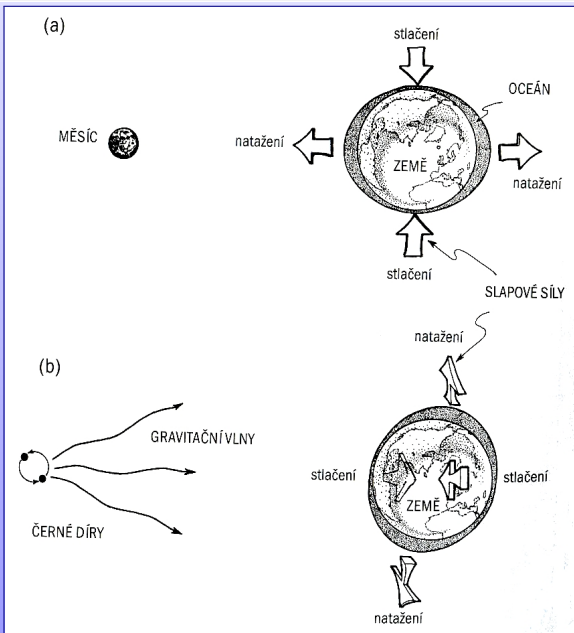
jako 1 AU s přesností 1 atomu



# Vlastnosti gravitačních vln



# Vlastnosti gravitačních vln

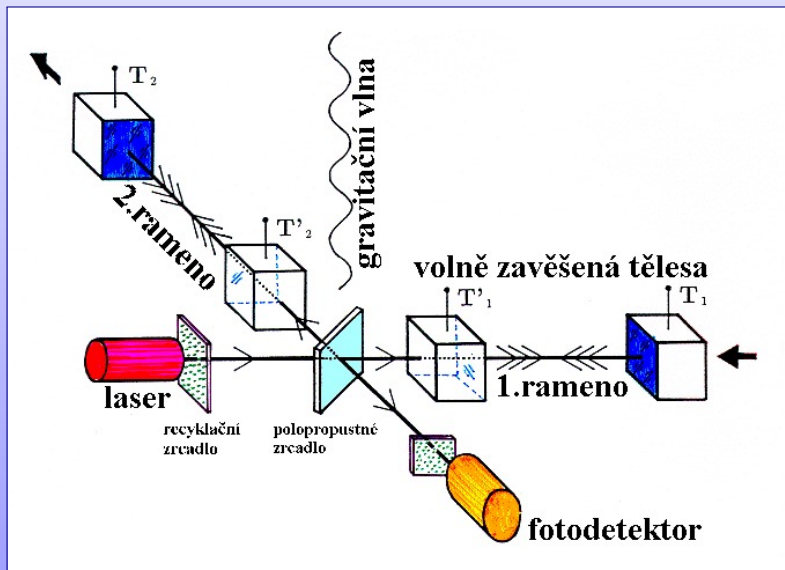


# Detektory gravitačních vln

- počátkem 60. let 20. století **Joseph Weber** (1919–2000)
- velké hliníkové válce, rezonancí se rozkmitají,  $h \approx 10^{-16}$
- dnes i kvantové senzory, chlazení (italské superkryohenní projekty NAUTILUS a AURIGA při  $T = 0,01$  K)
- **nevýhoda**: naladění na určitou frekvenci (asi 900 Hz)

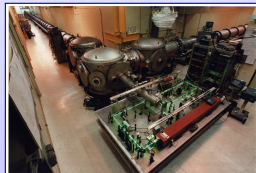


# Laserové interferometry



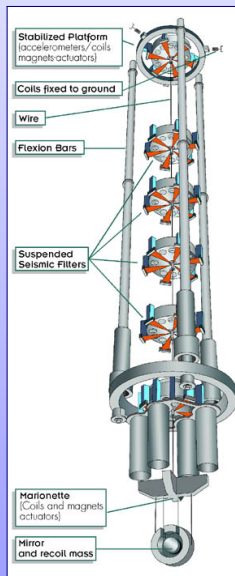
# Laserové interferometry

- příprava od 80. let 20. století, širokospektrální
- Rainer Weiss a Robert Forward
- periodický posun interferenčních proužků úměrný  $h$
- 90. léta Kip Thorn a Ronald Drever (Caltech a MIT) – MARK 2, ramena 40 m, citlivost  $10^{-18}$
- vyšší přesnost:
  - stabilní pevnofázový Nd:YAG laser, 10 W,  $\lambda = 1064 \text{ nm}$
  - křemenná zrcadla (rozměry asi 25 cm, hmotnost 11 kg, odrazivost 99,999 998)
  - vysoký stupeň vakua, závěsy, odrušení vibrací
  - prodloužení ramen: TAMA 300, GEO 600 LIGO (4 km), VIRGO (3 km)



# Laserové interferometry

- vyšší přesnost:
  - stabilní pevnofázový Nd:YAG laser, 10 W,  $\lambda = 1064 \text{ nm}$
  - křemenná zrcadla (rozměry asi 25 cm, hmotnost 11 kg, odrazivost 99,999 998)
  - vysoký stupeň vakua, závěsy, odrušení vibrací
  - prodloužení ramen: TAMA 300, GEO 600 LIGO (4 km), VIRGO (3 km)
- LIGO (<http://www.ligo.caltech.edu>) dva 3 000 km vzdálené detektory: Hanford (Washington), Livingstone (Louisiana), největší citlivost okolo 100 Hz, pět cyklů měření, dosaženo  $h = 10^{-21}$
- VIRGO (<http://www.ego-gw.it>) Cascina nedaleko Pisy, největší citlivost okolo 10 Hz; (lze najít na [Google maps](#))



# Laserové interferometry



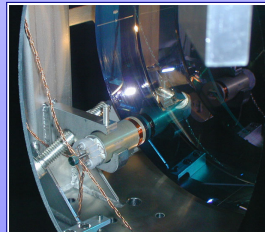
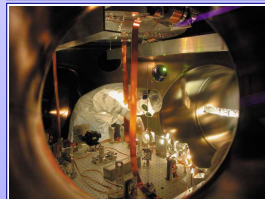
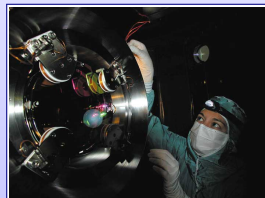


# Laserové interferometry



# Perspektivy možná ne zcela vzdálené

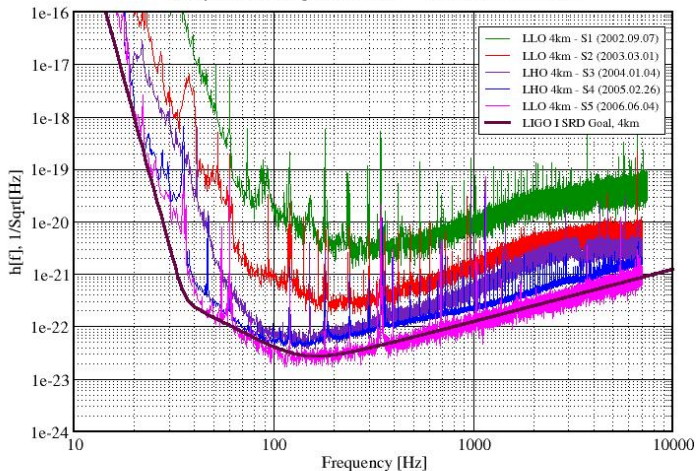
- **zatím výsledky negativní**  $\implies$  vlny slabší, při těchto amplitudách asi mnohem vzácnější, než se čekalo
- i některé novější výpočty odhadují, že srážky ČD a NH méně „divoké“, výbuchy supernov ne tak asymetrické
- 2008: „Enhanced LIGO“, výkon laseru 35 W, citlivost dvojnásobná,  $2\times$  delší dosah (potenciálních zdrojů  $8\times$  více)
- do 2014: „Advanced LIGO“ a „Advanced Virgo“, výkon laserů 180 W, těžší a větší zrcadla (40 kg) na křemenných vláknech s několika násobnou aktivní seismickou izolací, lepší oddělení šumu (650 odborníků, 59 institucí, 11 zemí)



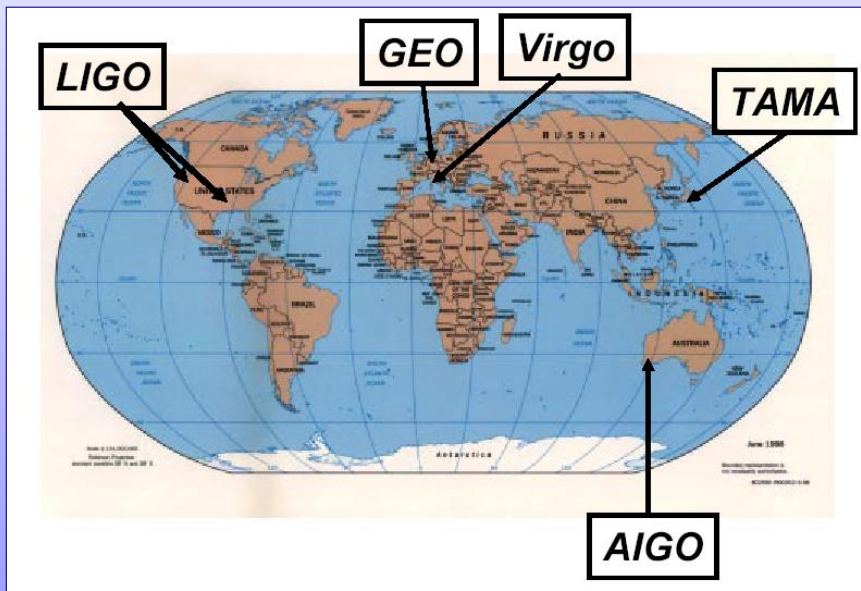
# Perspektivy možná ne zcela vzdálené

## Best Strain Sensivities for the LIGO Interferometers

Comparisons among S1 - S5 Runs LIGO-G060009-02-Z

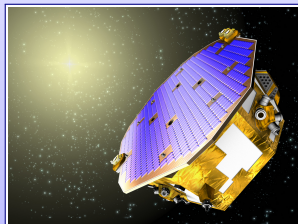
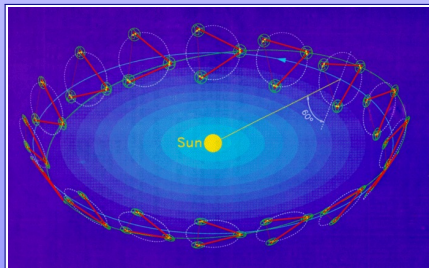


# Perspektivy možná ne zcela vzdálené



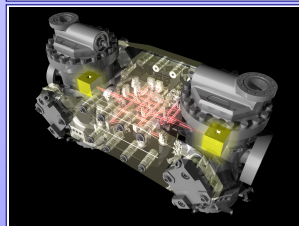
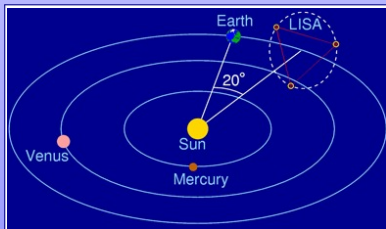
# LISA – další naděje?

- rozměry na Zemi nelze neomezeně zvětšovat (cena vakuového systému, zakřivení), seismické procesy neumožňují měřit pod 1 Hz
- NASA + ESA = LISA (Laser Interferometer Space Antenna):  
<http://lisa.nasa.gov/>,  
<http://sci.esa.int/lisa>
- rovnostranný  $\triangle$  o straně 5 000 000 km, sleduje dráhu Země,  $\angle Z-S$ -detektor =  $20^\circ$ , sklon k ekliptice  $60^\circ$ , stáčení s periodou 1 rok
- úhlové rozlišení lepší než  $1'$

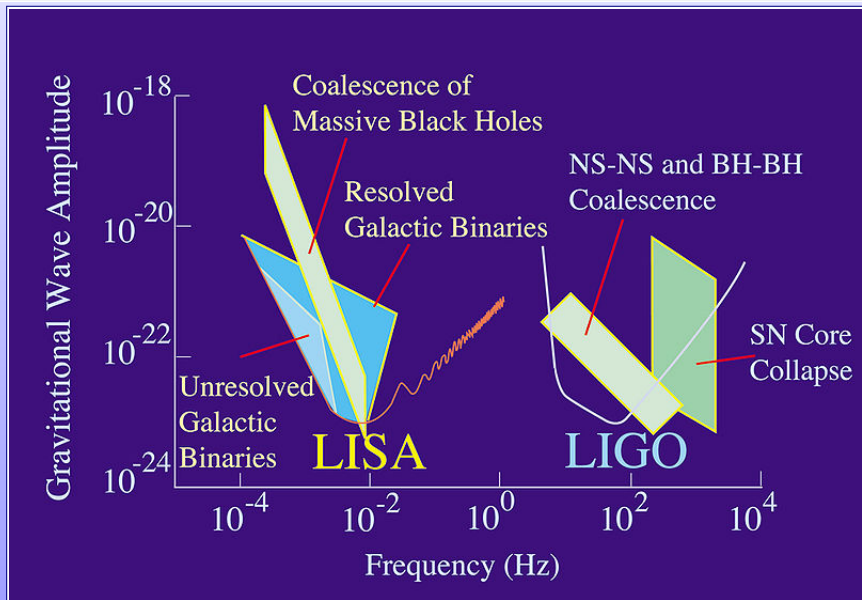


# LISA – další naděje?

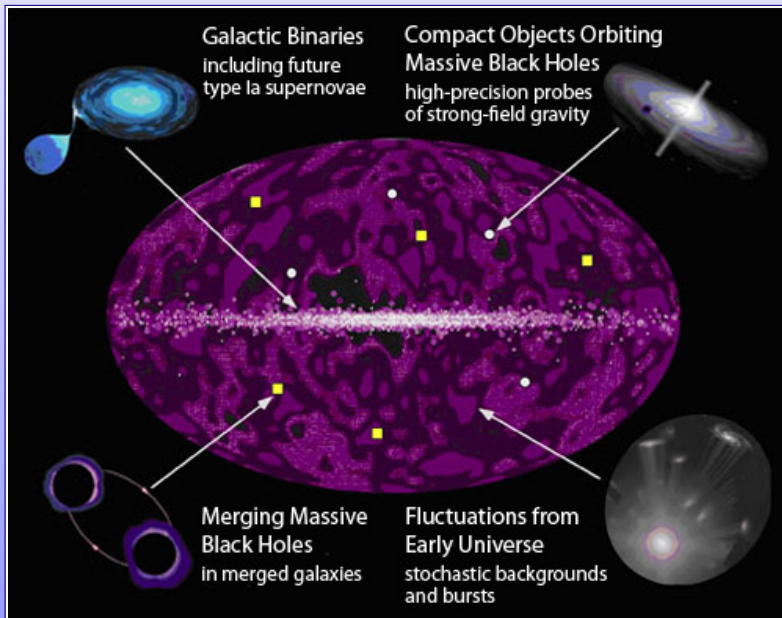
- geodetická „bezsilová trajektorie“ ( $\times$  tlak záření, magnetické pole, ...)  $\implies$  referenční krychle (46 mm) z Pt a Au, jemné trysky s tahem  $\mu\text{N}$ ; stěny krychle zároveň zrcadlem
- výhody:
  - $h < 10^{-23}$
  - bez seismického rušení
  - jiný frekvenční rozsah  $10^{-4}$  Hz – 0,1 Hz: kompaktní binární systémy
- nevýhody: cena 2 miliardy dolarů  $\implies$  testovací sonda „LISA Pathfinder“ („Předvoj LISY“), start 2011 do okolí bodu L1



# LISA – další naděje?

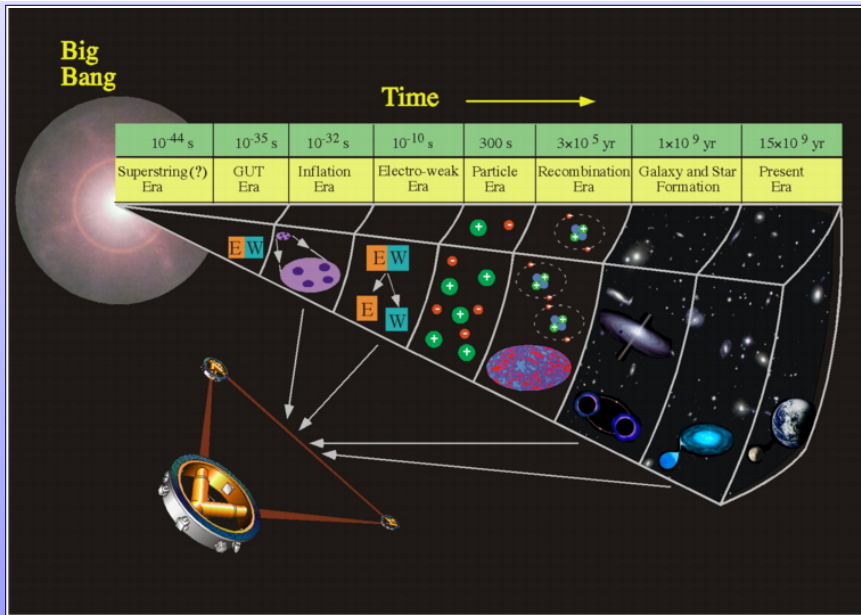


# LISA – další naděje?

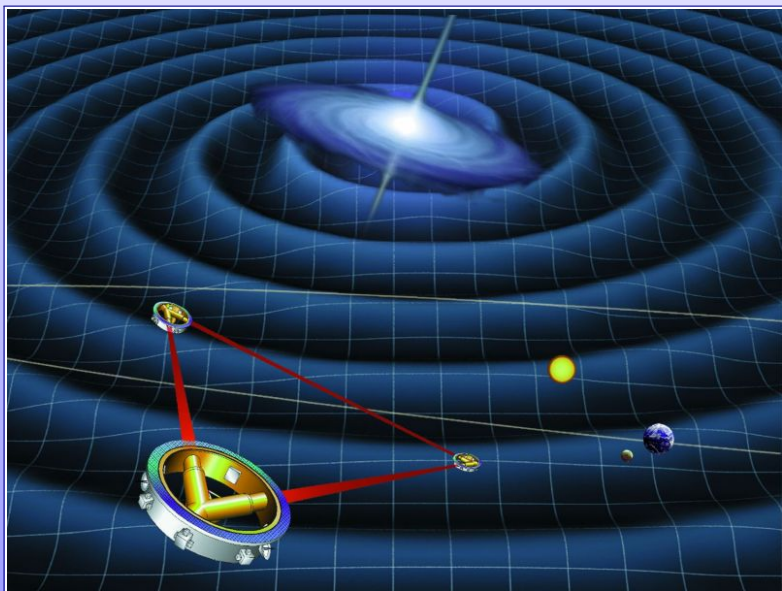




# LISA – další naděje?



# LISA – další naděje?



# LISA – další naděje?

The poster features a central image of a galaxy with concentric ripples representing gravitational waves. A constellation of three spacecraft, labeled L1, L2, and L3, is shown in a triangular formation, connected by red lines. A blue waveform representing a signal is at the bottom. The text 'Gravity is talking. LISA will listen.' is written in yellow.

**Supermassive Black Hole Binaries**

**Compact Object Captures**

**Galactic White Dwarf Binaries**

**Cosmic Strings and Phase Transitions**

**LISA**  
Laser Interferometer Space Antenna

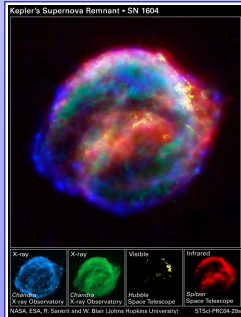
*Gravity is talking. LISA will listen.*

**NASA** **esa**

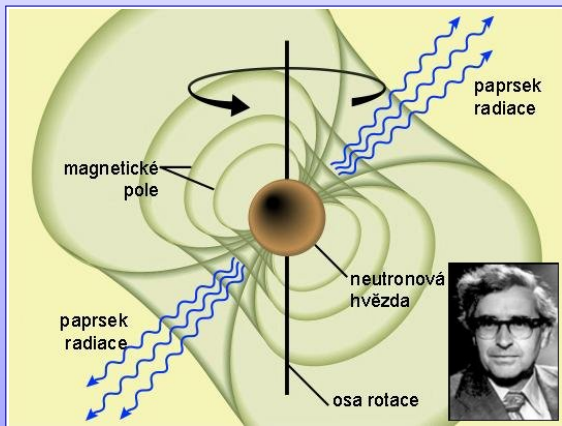
ESA and NASA are the lead agencies for the LISA mission. The LISA Consortium consists of 11 member states: Australia, Belgium, Canada, France, Germany, Italy, Japan, Korea, Spain, Switzerland, and the United Kingdom. The LISA Consortium is a not-for-profit organization. For more information, visit [www.lisa-space.org](http://www.lisa-space.org).

# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...

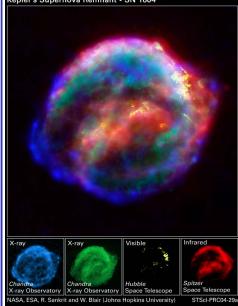
- Antony Hewish a Jocelyn Bell (1967): pulsary, perioda rotace 0,0016 – 4 s, NC 1974 s Martinem Ryleem
- Joseph Taylor a Russell Hulse (1974, NC 1993) binární pulsar PSR B1913+16
- hmotnosti  $1,4 M_{\odot}$ ,  $T = 7,75193909$  h, zkracuje se o  $76 \mu\text{s}/\text{rok}$ , přibližování o  $3,5 \text{ m}/\text{rok}$ , vzdálenost  $0,733 - 3,1 \cdot 10^6 \text{ km}$
- 2003: PSR J0737-3039, přibližování o  $7 \text{ mm}/\text{den}$ , precese perihelia  $16,9^{\circ}/\text{rok}$ , splynutí asi za 85 miliónů let



# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...

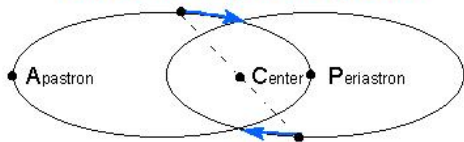


Kepler's Supernova Remnant • SN 1604

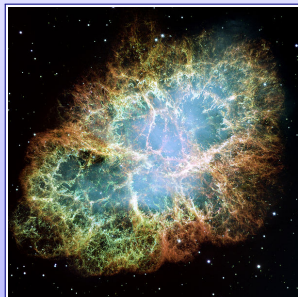


# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...

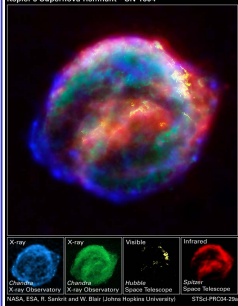
## Hulseův–Taylorův pulsar



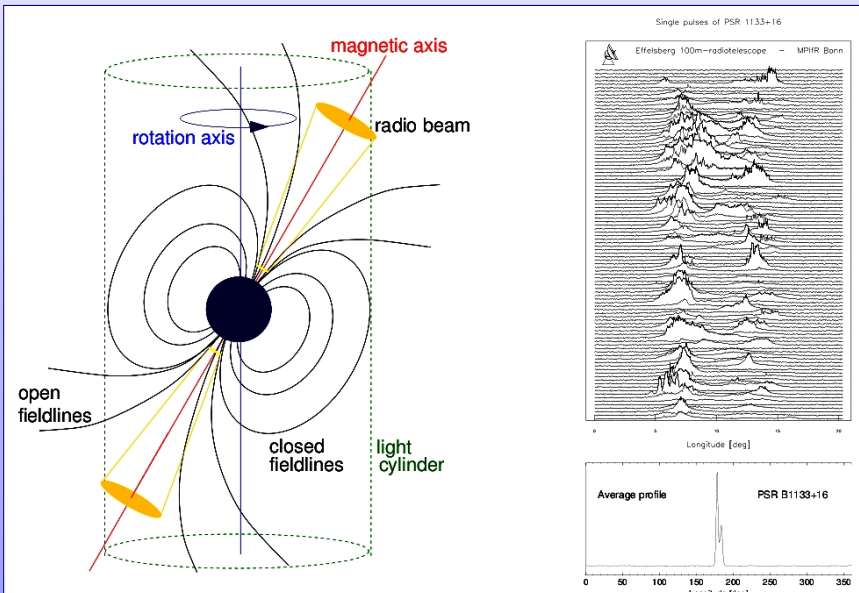
$T=7\text{h } 45\text{ min}$



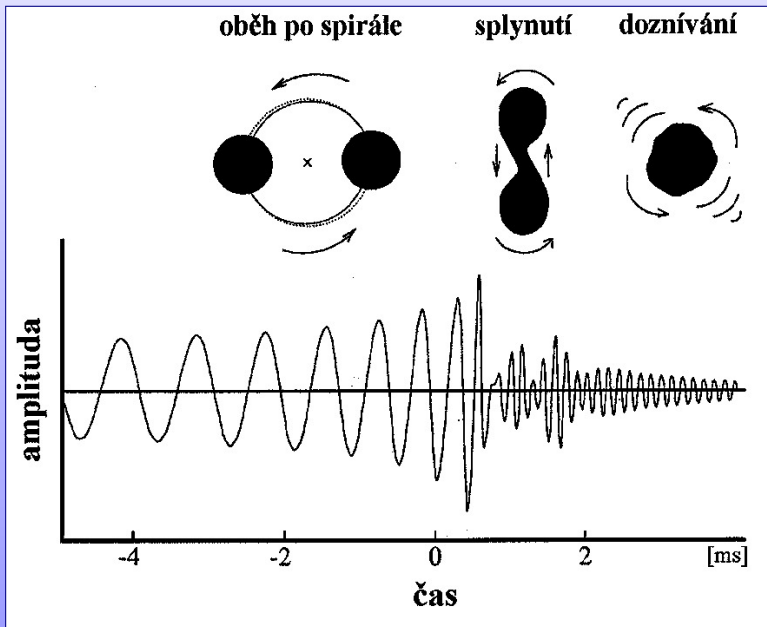
Kepler's Supernova Remnant • SN 1604



# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...



# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...





# Důkazy? Ano, ale nepřímé ...

Arecibo - Portoriko



Green Bank Telescope - Virginie, USA



Lovell Telescope - Jodrell Bank Observatory  
Manchester, UK

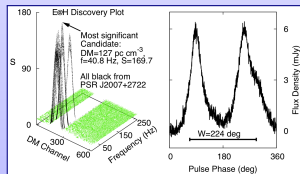


Parkes Observatory - Nový Jižní Wales, Austrálie



<http://einstein.phys.uwm.edu/>

- Center for Gravitation and Cosmology (University of Wisconsin-Milwaukee), Max Planck Institute for Gravitational Physics (Hannover)
- asi 250 000 dobrovolníků, přes 190 zemí, Czech National Team 4 nejlepším týmem na světě.
- „podezřelý vzorek“  $\implies$  dodatečné pozorování objektu
- uživatelé, kteří analyzovali údaje, v nichž byl nalezen kandidát na pulzar – poděkování ve vědeckém článku
- **srpen 2010**: Chris and Helen Colvin (Ames, Iowa) a Daniel Gebhardt (Universität Mainz), pulzar PSR J2007+2722 (rotace 41 Hz), součást Mléčné dráhy asi 17 000 ly (Lištička), **není dvojhvězda**, vzorek signálů z Arecibo Observatory



# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

- první kontakt 1910 (dvorní rada Ferdinand Lippich do penze), komise (Georg Pick, Anton Lampa), doporučení Plancka (srovnání s Koperníkem), ministerstvo nechce cizince ⇒ Gustav Jaumann (technika v Brně) místo uraženě odmítá („secundo loco“ pro fakultu)
- v Curychu zvýšen plat z 4 500 na 5 000 franků, Praha 8 672 korun (≈ 9 000 franků, 1910 \* 2. syn), důležitý vztah k E. Machovi (první rektor)
- úřady vyžadovaly vyznání – „mosaické“ (císař – bez vyznání nelze složit přísahu věrnosti)
- dorazil s rodinou 1.4. 1911; bydleli v novém domě na Smíchově – Lesnická 7 (Třebízského, busta z r. 1979); nový dům (elektřina), musí převařovat vodu, štěnice, národnostní spory; Milevě se v Praze nelíbí



# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

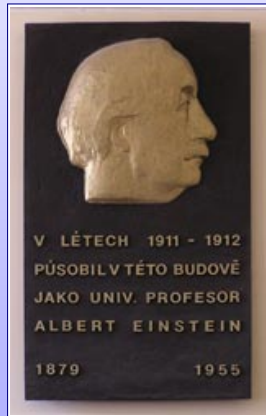
- řádný profesor, přednosta Ústavu teoretické fyziky německé části Karlo-Ferdinandovy univerzity (přeměna Kabinetu matematické f.)
- semestr začal po velikonocích 20.4., 5 hodin týdně mechanika a termodynamika + 2 hodiny seminárního cvičení týdně, Klementinum a Viničná 7 (Filozofická fakulta německé K-FU)
- izolace; „*nekonečně mnoho papírování pro sebemenší hloupost*“; „*to podělané inkoustování nebere konce*“, studenti „málo zapálení pro věc“
- navštívil ho Paul Ehrenfest, nástupce *Philipp Frank*



# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze



S Einsteinovým příchodem byl dřívější kabinet přejmenován na Ústav pro teoretickou fyziku (min. výnosem z 13. 1. 1911) a Einstein jmenován jeho ředitelem. Ústav sídlil v budově ve Viničné č. 3 (dnes č. 7), postavené r. 1879. Pracovna, knihovna a seminární místnosti se nacházely v nejvyšším patře. Budova a její okolí si dodnes zachovaly svou podobu.



V LÉTECH 1911 - 1912  
PŮSOBIL V TÉTO BUDOVĚ  
JAKO UNIV. PROFESOR  
ALBERT EINSTEIN

1879

1955

„Moje místo a můj ústav mi dávají mnoho radosti. ... Mám tady krásný ústav a bohatou knihovnu ... možnost hovět si ve vědeckém dumání nerušen.“

„Kolega Lampa říká, že zájem o vědu je zde u studentů velmi slabý. Ale věřím, že na tomto poli také platí ‚jak zaseješ, tak sklidiš‘. Nevzdávám své iluze tak snadno.“

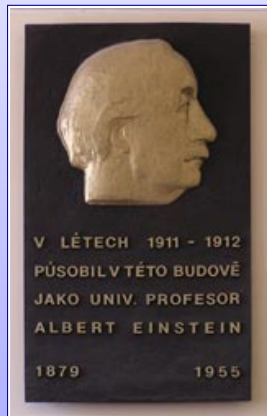


# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

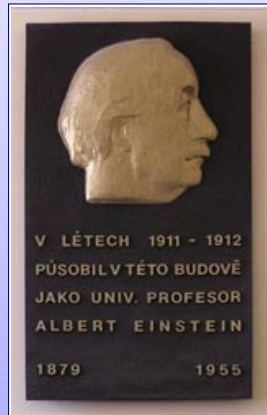
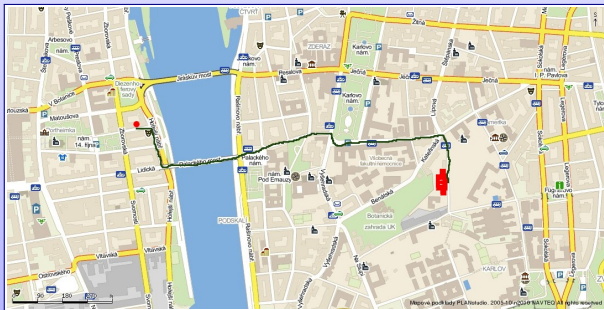
Lit. Pag. 224.

Das politzliche Ereignis Stilleben	Cis. domu	Jméno a příjmení	Hodnost nebo zaměstnání	Řek narození Geburtsjahr	Vyznání náboženské Gemeinschaft	Rodiště, obec domovská, státním týkající se odvětví a listin o příslušnosti do- movské a jiné posamostatní
	Daus- No.	Vor- und Zunamen	Charakter oder Beschäftigung			Geburts- und Wohnort sowie Religionsart, bez- weilung und Heimatgemein- schaft und sonstige Anmerkungen
19. 12. 1911 911		Frühling, Litzka	in Plauen			
Smolechov		Einstein	Universitäts- professor	1879	Christl.	ang. nach Prag Litzka
		Milera geb. Maritz	Gattin	1875		
		Albert	Sohn	1904		
		Eduard	"	1900		

Pobytová přihláška na pražském policejním ředitelství s datem 1. 9. 1911. Povinností byla také příslušnost k některé uznávané církvi; v dotazníku Einstein formálně uvedl náboženství „Mojžišovo“. Od pobytu v Praze, kde se prolínaly i soupeřily česká, německá a židovská kultura, se datuje Einsteinovo vnímání problémů židovské identity.



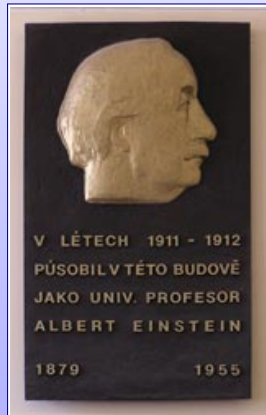
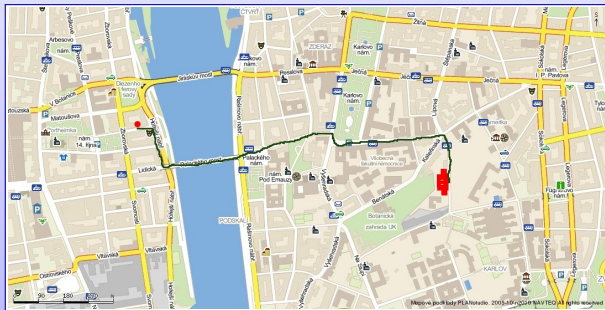
# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze



**„Praha je nádherná, tak krásná,  
že už sama stojí za velký výlet“**



# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze



„Domy a věci jsou poněkud špinavé a sešlé, ...“  
„Vzduch je plný sazí, voda životu nebezpečná, ...“  
„... lidé jsou mi tak cizí. To nejsou lidé s přirozeným smýšlením; bezcitnost a zvláštní směs třídně založené blahosklonnosti a servility, bez jakékoli dobré vůle ke spoluobčanům. ... Nuznost myšlení bez víry.“  
„... lidé povrchní, mělcí a neotesaní, ačkoli, zdá se, v zásadě dobromyslní.“  
„Jsou mistrní kuchaři. Mnoho z nich má jistý půvab.“





# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

Jahr 1911  
R. K. Ministerium für Kultus und Unterricht  
Nr. 842  
Department Nr. VII  
Datum 6. Jänner 1911  
präs. P.

Ah. Entschliessung  
s. Z. 49735 ex 1910

Zur Einsicht:

Ich ernenne den ausserordentlichen Professor an der Universität in Zürich Dr. Albert Einstein zum ordentlichen Professor der theoretischen Physik an der deutschen Universität in Prag mit den systemmässigen Bezügen und zwar mit der Nechtwirkksamkeit vom 1. April 1911.  
Wien, am 6. Jänner 1911.  
Franz Joseph k. u. f.

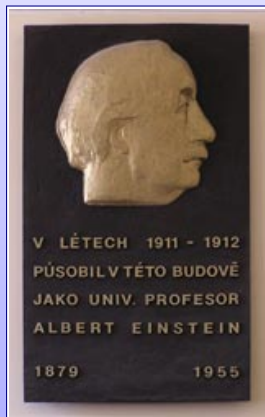
1.  
Dekret  
Für den ausserordentlichen Professor an der Universität in Zürich Dr. Albert Einstein in Zürich.

Seine k. u. k. Apostolische Majestät haben mit Ah. Entschliessung vom 6. Jänner 1911 Sie zum ordentlichen Professor der theoretischen Physik an

Zur Register am 24. 11.  
Altkonferenz: 7. 1. 1911, N. 1911/100  
Ministerrat: 1. 1. 1911

Fakultät: Prag Philosophische Fakultät  
Einstein  
S. v. Prag. Akademie der Wissenschaften

Datum der Expedition 13/1 - 19/1  
Zum Exped. am 14/1  
Merkmal: 1911/100  
Bestell. am 13/1 - 18 JAN 1911  
Zum Protokoll am 21/1



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

Die Frage, ob die Ausbreitung des Lichtes durch die Schwere beinflußt wird, habe ich schon an einer vor 3 Jahren erschienenen Abhandlung zu beantworten gesucht.<sup>1)</sup> 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 Schwerfeld (Schwerebeschleunigung  $\gamma$ ) befinde sich ein ruhendes Koordinatensystem  $K$ , das so orientiert sei, daß die Kraftlinien des Schwerfeldes in Richtung

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

Titulní strana Einsteinova nejvýznamnějšího pražského článku o vlivu gravitace na šíření světla (Annalen der Physik, 4. Folge, Band 35, 1911, č. 10, str. 898–908). Některými interprety bývá právě tato stránka označována za rozhodující pro obecnou teorii relativity.



# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

- pobyt přinesl 11 vědeckých prací, vrátil se r. 1921 – přednáška o teorii relativity (pozvání pražské německé společnosti Urania); předmluva knížky (1923): „*Těší mě, že tato malá knížka ... vychází nyní v národní řeči oné země, v níž našel jsem soustředění nutné k tomu, abych základní myšlenku obecné teorie relativity, kterou jsem pojal již v roce 1908, poněmáhlu přiodíval určitější formou.*“
- 25.7.1912 opouští Prahu do Curychu (profesor teoretické fyziky), 1914 ředitelem Institutu císaře Viléma, německé občanství („nevím, jestli ještě snesu nějaké vejce“)

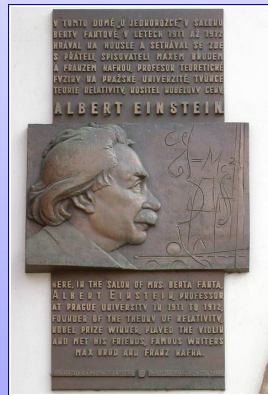
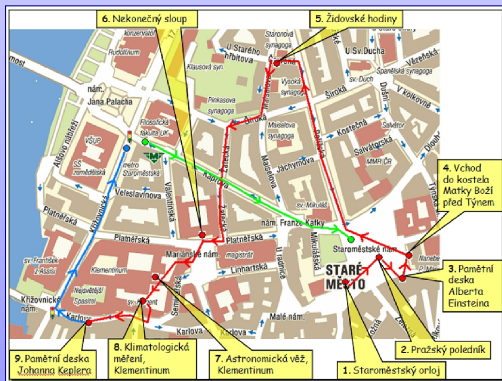
„... že polobarbarskou Prahu opustím s lehkým srdcem, to je jisté.“



Restaurace  
Kamenný stůl

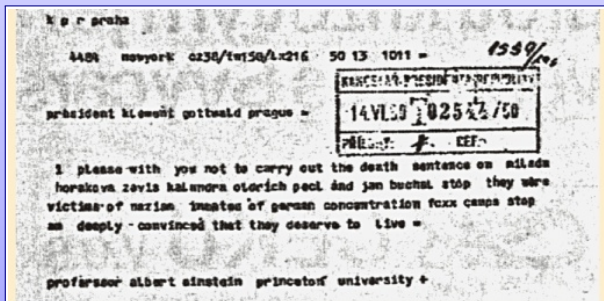
# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

- salón Berty Fantové (Starom. nám. 17/551, filozofování, hra na housle) – Max Brod, Franz Kafka(?);  
„... se scházela parta nerealistických lidí, odvolávajících se na středověk.“
- nevlastní dcera Joanna Fanta v knihovně v Princetonu

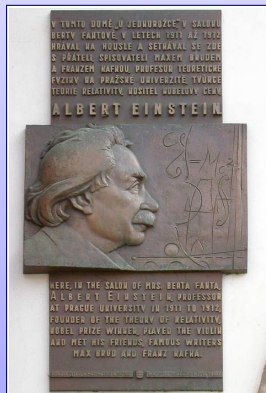


# Appendix: 100 let od Einsteinova pobytu v Praze

- sympatie k ČSR, navrhoval Masaryka na NC míru











Einsteinův poslední přímý kontakt s českými zeměmi: telegram z Princeton University adresovaný prezidentu Klementu Gottwaldovi, přijatý Kancelářem prezidenta republiky 14. 6. 1950, v němž Einstein žádal milost pro Miladu Horákovou.













*Ernest Solvay* (1838 – 1922), bohatý mecenáš a průmyslník, levnější způsob výroby sody, ovládl světový trh ⇒ podpora rozvoje moderní fyziky (25 nejlepších fyziků) první od **29. října 1911**, Grandhotel Metropole, Brusel

# Použité prameny

-  Bičák, J. (2005). „Einstein's Days and Works in Prague.“ In: *Physics and Prague* (ed.: Jansa J., Niederle J.), s. 69–84. Academia, Praha.
-  Fölsing A. (2001). *Albert Einstein*. Volvox Globator, Praha.
-  Greene B.: *Elegantní vesmír*. Mladá fronta, Praha 2001.
-  Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 2: Mechanika – Termodynamika*. VUTIUM a Prometheus, Brno a Praha 2000.
-  d'Inverno R.: *Introducing Einstein's Relativity*. Clarendon Press, Oxford University Press, Oxford 1992.
-  Podolský J.: „Gravitační vlny a jejich detektory“. *Astropis Speciál 2010*, 34–37;  
<http://utf.mff.cuni.cz/~podolsky/GraVlny/GraVlny.htm>.
-  Podolský J.: „Pátrání po gravitačních vlnách“.  
<http://utf.mff.cuni.cz/~podolsky/gravlny2/gravitvln.htm>.
-  Smoljak, L. (1973). „Jára Cimrman (k 100. výročí narození).“ *Čs. čas. fyz. A*, 23:184-185.

# Použité prameny

-  Schutz B.: *Gravity from the ground up*. Cambridge University Press, Cambridge 2003. URL: <http://www.gravityfromthegroundup.org/>.
-  Šolcová A., Křížek M. (2007). „Procházky prahou matematickou, fyzikální a astronomickou (2. část).“ *Pokroky matematiky, fyziky & astronomie*, 52(2):127-141.
-  Štoll I. (2009). *Dějiny fyziky*. Prometheus, Praha.
-  Svoboda E., Bartuška K., Bednařík M. a kol.: *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, Praha 2006. [22]
-  The Albert Einstein Archives at The Hebrew University of Jerusalem. <http://www.albert-einstein.org/>.
-  Thorne K.S.: *Černé díry a zborcený èas (Pozoruhodná dědictví Einsteinova génia)*. Mladá fronta, Praha 2004.
-  Ullmann V.: *Gravitace, èerné díry a fyzika prostoroèasu*. ČAS, Ostrava 1986. URL: <http://www.sweb.cz/AstroNuklFyzika/GravitCerneDiry.htm>.
-  Wikipedie, otevřená encyklopedie. <http://cs.wikipedia.org>.



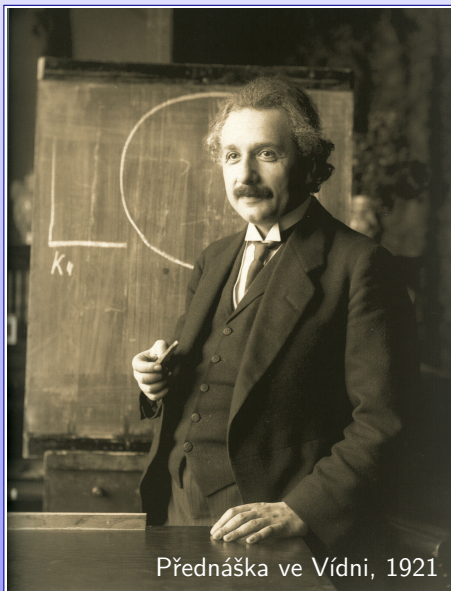
Vysvětlení synovi, proč je tak slavný: „Podívej se na slepého brouka, který leze po povrchu koule. Nevšimne si, že jeho cesta je zakřivena. Mně se poštěstilo, že jsem si toho povšiml.“

Není to tím, že jsem chytřejší, ale tím, že se problémy zabývám déle.

Žádné množství pokusů nikdy nemůže dokázat, že jsem měl pravdu. Jediný pokus však kdykoliv může dokázat, že jsem se mýlil.

Jenom život, který žijeme pro ostatní, stojí za to.

*A. Einstein*  
(1879-1955)



Přednáška ve Vídni, 1921