

**Urychlovače na nebi a pod zemí,  
aneb  
Velký třesk za všechno může**

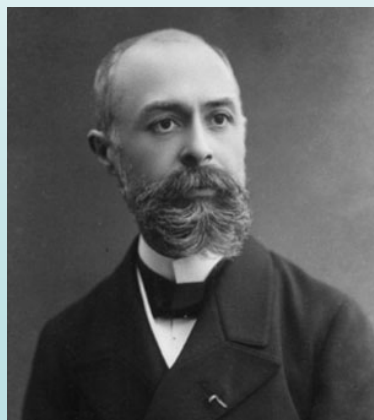
**Jiří Grygar**  
Fyzikální ústav AV ČR, Praha

# Cesta do mikrosvěta



W. Röntgen

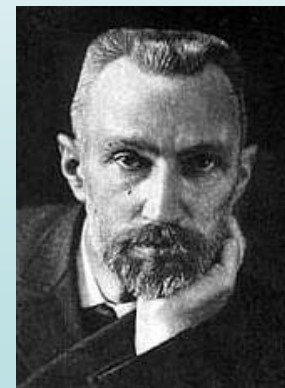
- 1895 – **W. Röntgen:** paprsky X
- 1896 – **H. Becquerel:** radioaktivita uranu
- 1897 – **J.J. Thomson:** elektrony
- 1898 – **M. + P. Curieovi:** paprsky  $\alpha$  (radium)



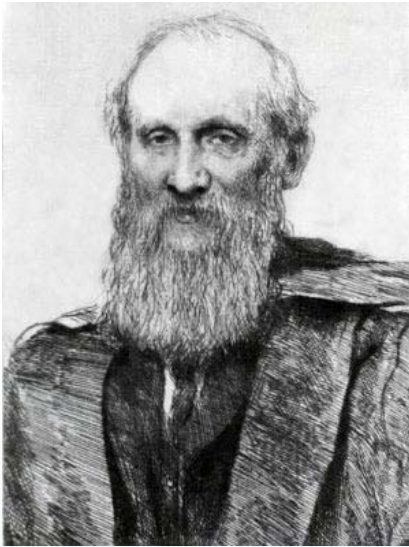
H. Becquerel



J.J. Thomson

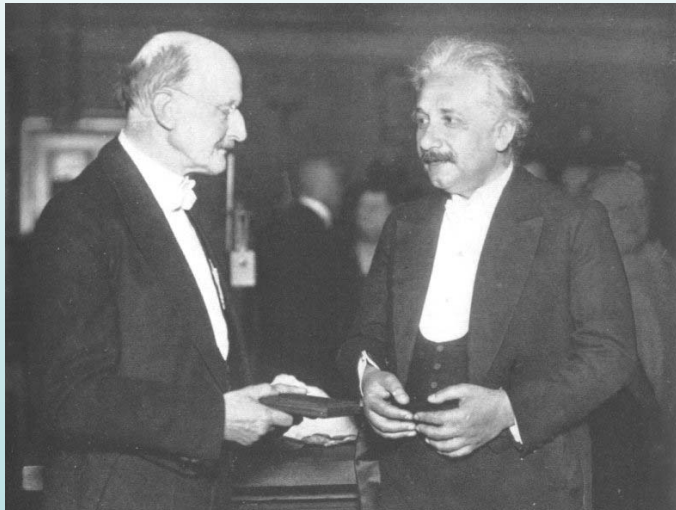


Marie a Pierre Curie



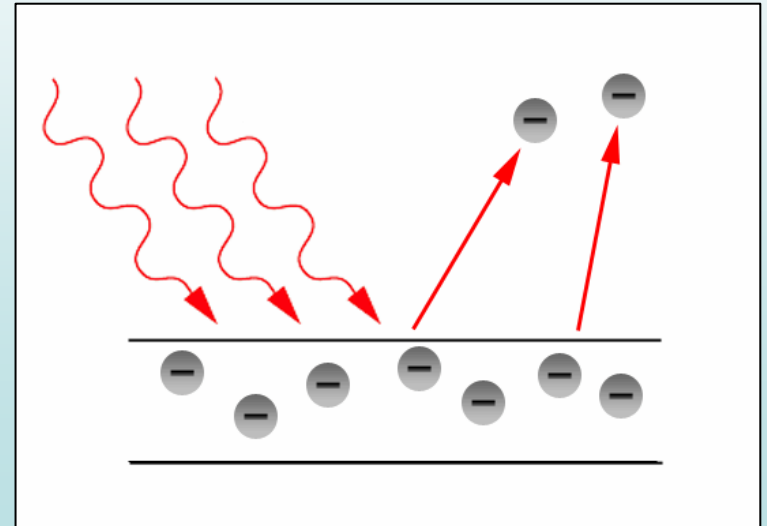
W. Thomson

- 1900 – **M. Planck**: záření černého tělesa
- 1901 – **W. Thomson (lord Kelvin)**: kladný náboj jádra atomu?
- 1905 – **A. Einstein**: Brownův pohyb (molekuly, atomy); Fotoefekt (fotony);  $L = m.v^2$

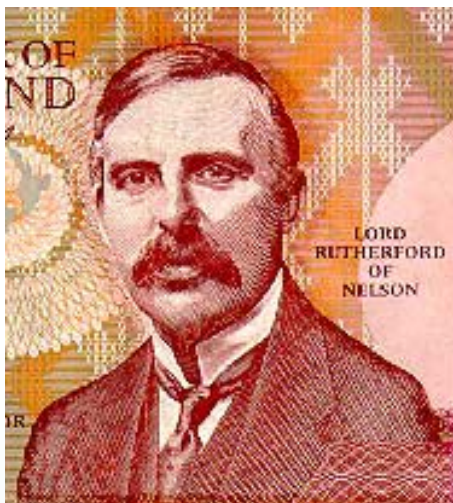


M. Planck

A. Einstein



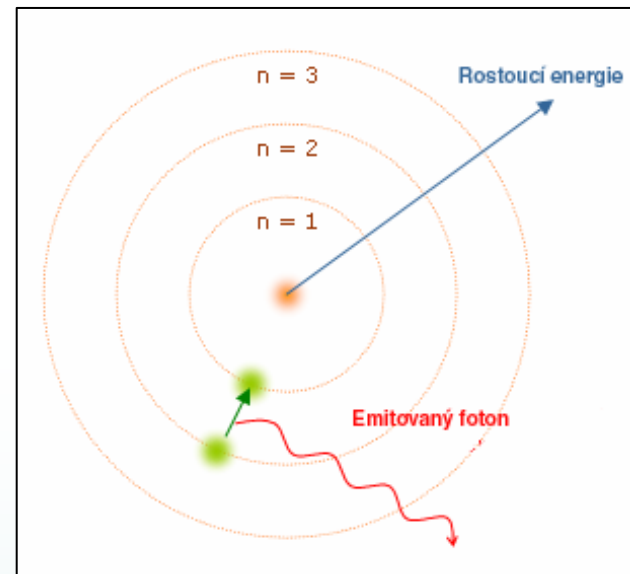




E. Rutherford



N. Bohr



E. Schrödinger

- 1903 – **E. Rutherford**: částice  $\alpha$  = ionty He
- 1911 – **C. Wilson** – mlžná komora (náboj i energie částic)
- 1911 – **E. Rutherford**: jádra atomů jsou nepatrná
- 1913 – **N. Bohr**: model atomu H
- 1921-24 – **J. Chadwick, E. Rutherford**: transmutace prvků
- 1925-27 **M. Born, W. Heisenberg, E. Schrödinger**: kvantová mechanika



P. Dirac

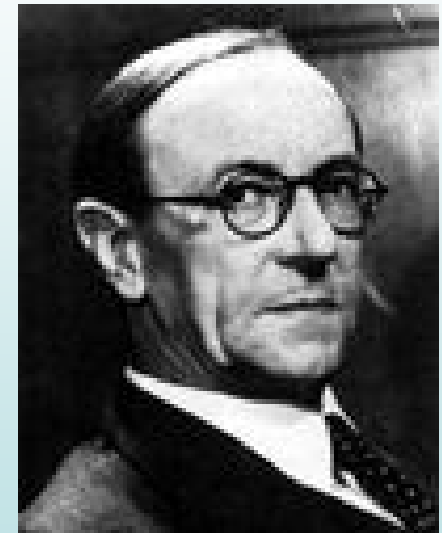
- 1928 – **G. Gamov**: tunelový jev
- 1928-31 – **P. Dirac, C. Anderson**: antičástice (pozitron)
- 1931 – **W. Pauli**: neutrino (prokázáno 1956)
- 1932 – **I. Tamm, W. Heisenberg, J. Chadwick**: neutron



W. Pauli



W. Heisenberg



J. Chadwick



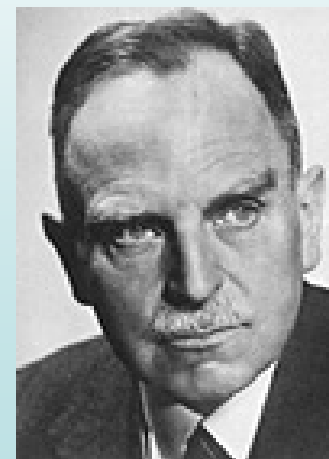
- 1929 – **E. Lawrence**: první urychlovač částic (cyklotron)
- 1934 – **P. Blackett**: vznik a zánik párů pozitron-elektron
- 1938 – **O. Hahn, L. Meitnerová, F. Strassmann**: jaderné štěpení uranu bombardováním neutrony
- 1942 – **E. Fermi**: jaderný štěpný reaktor
- 1951 – **E. Teller**: termonukleární exploze D a T



E. Lawrence



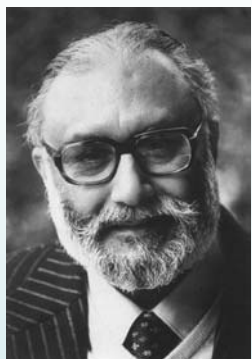
E. Fermi



O. Hahn



S. Glashow

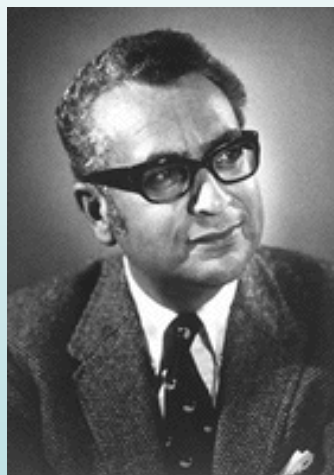


A. Salam



S. Weinberg

- 1957 – **C. Yang, T. Lee**: narušení parity slabé interakce
- 1961- 68 – **S. Glashow, A. Salam, S. Weinberg**: elektroslabá interakce
- 1963 – **M. Gell-Mann, G. Zweig**: kvarky
- 1983 – **C. Rubbia, S. van der Meer**: intermediální bosony



M. Gell-Mann



C. Rubbia



S. van der Meer



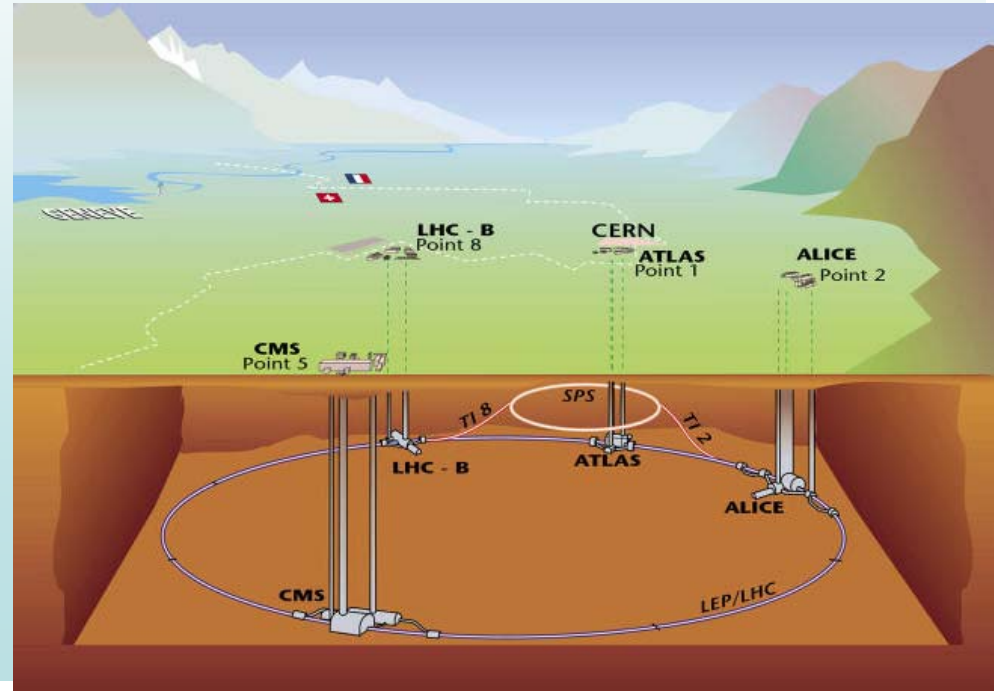
# Urychlovače pod zemí

- vstříčné svazky, investice řádu miliard euro

1983 – **Tevatron** (Fermilab) – protony x antiprotony: 1 TeV

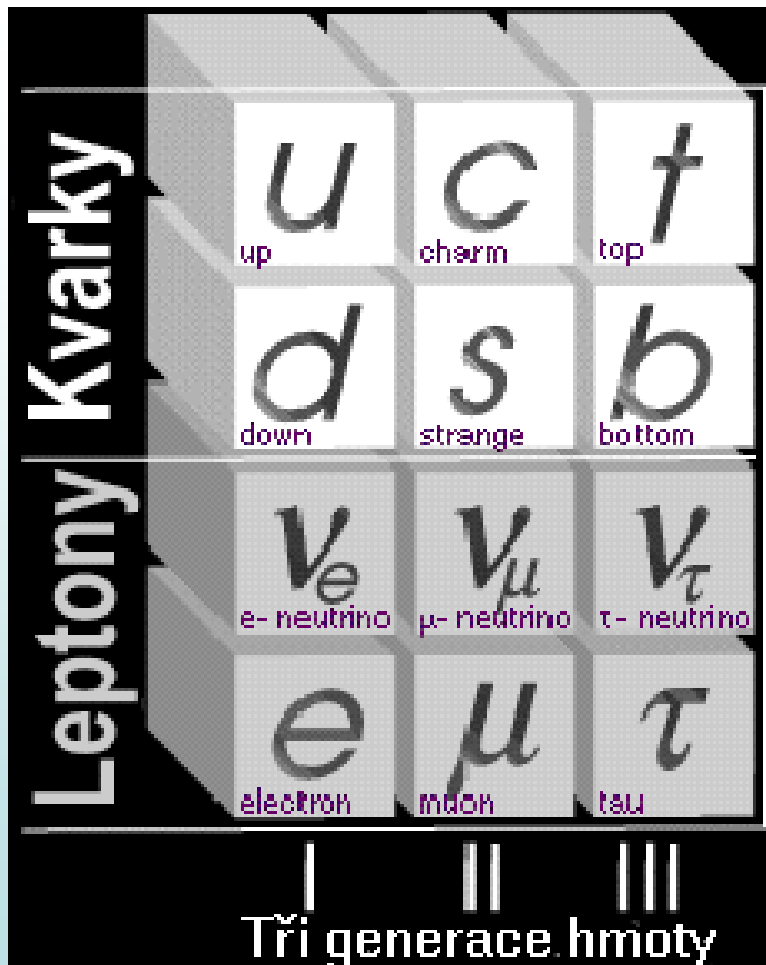
1989 – **LEP** (CERN) – elektrony x pozitrony: 200 GeV

2008 – **LHC** (CERN) – protony x antiprotony: 10 TeV





# Standardní model



6 vůní kvarků (antikvarků):

$d, u, s, c, b, t$

elektrický náboj  $-1/3$  nebo  $+2/3$ ;

3 barvy,

uvěznění v hadronech:

baryony ze 3 kvarků,

mezony z párů kvark-antikvark

6 leptonů (antileptonů):

neutrina  $e, \mu, \tau$ ;

elektron, mion, tauon

# Čtyři síly, které vládnou vesmíru

INTERAKCE	gravitační	slabá elektroslabá	elektromag- netická	silná
působí na	hmotu-energii	slabý náboj ("vůni")	elektrický náboj	barevný náboj
interagující částice	všechny	leptony kvarky	elektricky nabitě	kvarky gluony
nosiče interakce	graviton (dosud nebyl pozorován)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$ (foton)	gluony
síla mezi 2 kvarky { na $10^{-18}$ m na $3 \cdot 10^{-17}$ m (v poměru k elektro- magnetické)	$10^{-41}$ $10^{-41}$	0,8 $10^{-4}$	1 1	25 60
2 protony v jádru	$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	nelze vyjádřit

# Cesta do megasvěta

1915 – **A. Einstein**: obecná teorie relativity

1922 - 1927 – **A. Fridman, G. Lemaître**: modely vesmíru

1925 – **E. Hubble (Mt. Wilson)**: galaxie = vesmírné ostrovy

1925 – **C. Gapoškinová**: Slunce je z 98% z vodíku a hélia



A. Fridman



G. Lemaître



E. Hubble



C. Gapoškinová





F. Zwicky



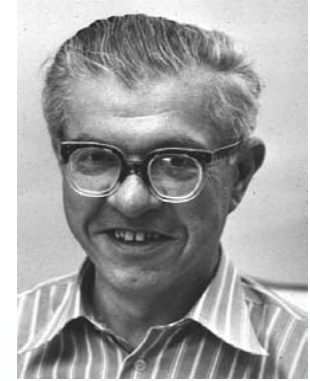
W. Baade



H. Bethe



G. Gamov



F. Hoyle

**1929 – E. Hubble:** červený posuv úměrný vzdálenostem:  
vesmír se rozpíná!

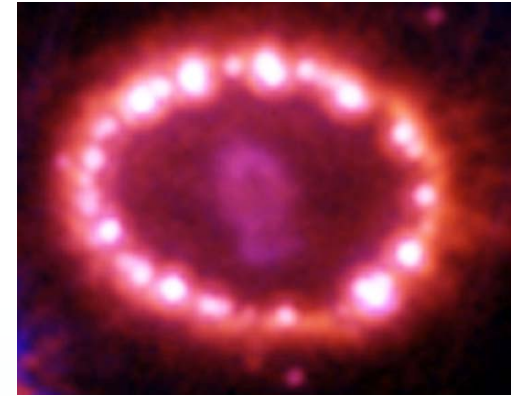
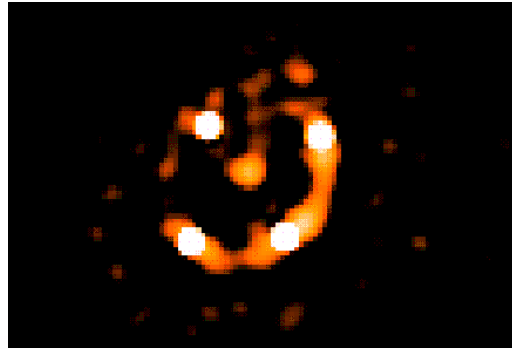
**1933 – F. Zwicky:** skrytá látka (*dark matter*) v kupách galaxií

**1934 – F. Zwicky, W. Baade:** objev supernov

**1939 – H. Bethe:** termonukleární energie ve hvězdách

**1948 – G. Gamov:** žhavý velký třesk

**1957 – G. a M. Burbidgeovi, W. Fowler, F. Hoyle:**  
vznik chemických prvků ve hvězdách ( $C \rightarrow Fe$ ),  
resp. při explozích supernov ( $Cu \rightarrow U$ )



1963 – **M. Schmidt**: kvasary (černé veledíry)

1965 – **A. Penzias, R. Wilson**: mikrovlnné *reliktní záření*

1968 – **J. Bellová- Burnellová, A. Hewish**: pulsary  
(rychle rotující neutronové hvězdy)

1973 – **R. W. Klebesadel aj.**: zábleskové zdroje záření gama

1976 – **J. Trümper aj.**: neutronové hvězdy s magnetickým  
polem 100 MT

1979 – **D. Walsh aj.**: kvasar zobrazený gravitační čočkou

1981 – **A. Guth**: inflační fáze ve velmi raném vesmíru

1987 – **M. Koshiba**: detekce neutrin ze supernovy 1987A ve  
Velkém Magellanově mračnu

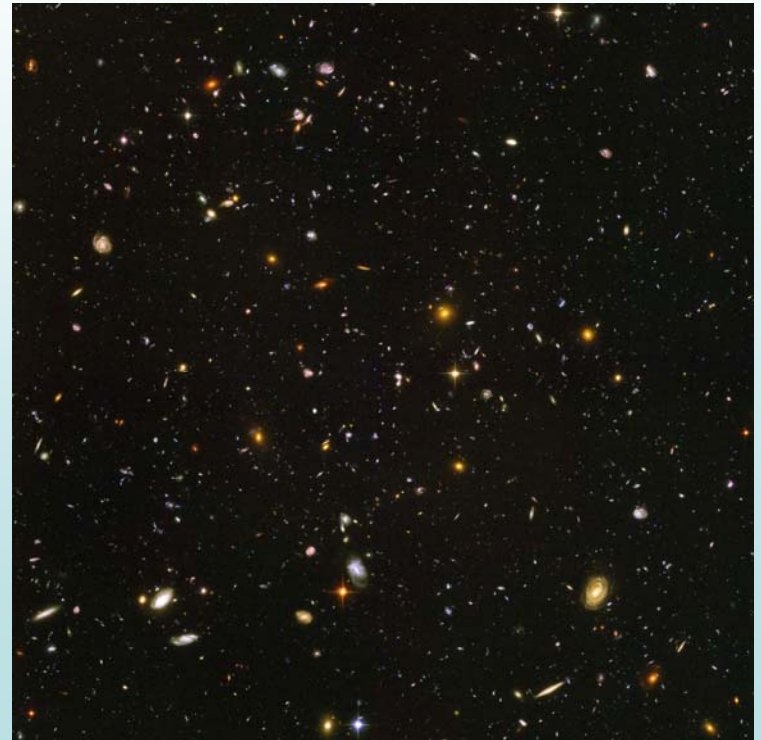
1993 – **MACHO, OGLE, EROS**: gravitační mikročochky

1994 – **Hubblův kosmický teleskop** v plném provozu

1998 – **A. Riess aj., S. Perlmutter aj.**: skrytá energie

2002 – **WMAP, 2dF, SDSS**: *stáří vesmíru je 13,5 miliardy let*

2004 – **HUDF**: pohled do nejvzdálenějších hlubin vesmíru





# Urychlovače na nebi

1912 – **V. Hess:** objev kosmického záření

1 eV ~ 10<sup>-19</sup> J

1938 – **P. Auger:** energie až 1 PeV, zdroj neznámý

1942 – Slunce: 100 MeV – 10 GeV

1949 – **E. Fermi:** urychlování v supernovách do 10 PeV

1991 – **D. Bird aj. (Utah):** rekordní energie 320 EeV (51 J)

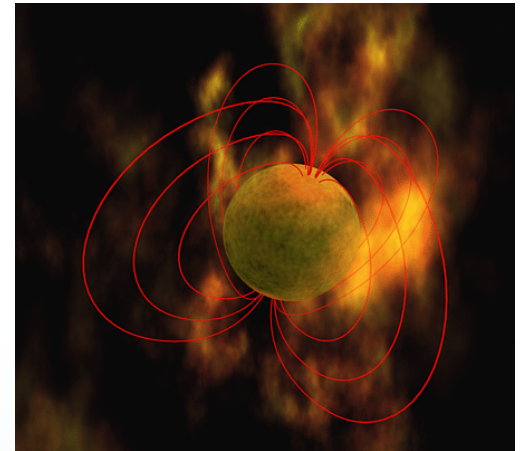
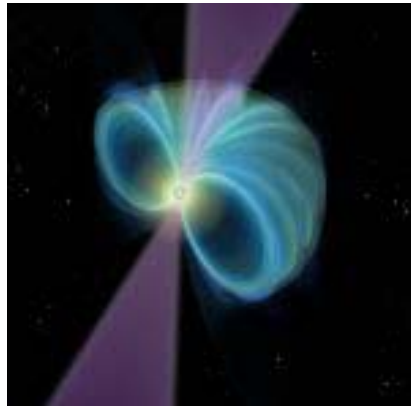


P. Auger



V. Hess



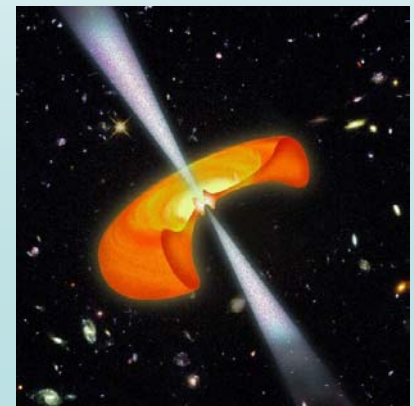
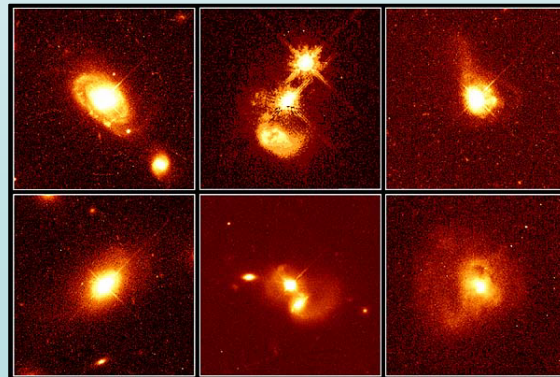


**Možné zdroje uvnitř Galaxie:**

supernovy, pulsary, magnetary (pole až 100 GT), hvězdné černé díry

**Možné zdroje mimo Galaxii:**

aktivní jádra galaxií, kvasary, zábleskové zdroje záření gama, rozpad exotických částic zbylých po velkém třesku?,  
??? (*Hic sunt leones*)



# Velký třesk

... opravdu za všechno může ...

- **$10^{-43}$  sekundy:**

Planckův čas – začíná fyzika:

teplota  $10^{32}$  K; energie částic  $10^{28}$  eV;

hustota  $10^{97}$  kg/m<sup>3</sup>;

narušení supersymetrie (gravitace se oddělila od velkého sjednocení GUT), asymetrie hmoty a antihmoty (narušení parity?) v poměru  $(10^9+1)/10^9$



- **$10^{-35}$  sekundy:**

kosmologická inflace – rozepnutí  $10^{30}$ krát!

volné kvarky, leptony a fotony:

energie  $< 10^{23}$  eV, teplota  $< 10^{27}$  K

narušení GUT (silná jaderná síla se oddělila od elektroslabé)

- **$10^{-10}$  sekundy:**

*éra hadronová*

narušení symetrie elektroslabé interakce na elektromagnetickou a slabou jadernou interakci

energie **100 GeV**, teplota **1 PK**

- **0,1 milisekundy:**

*éra leptonová*

energie **100 MeV**, teplota **1 TK**, hustota  **$10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>**

- **0,1 sekundy:**

vesmír je průhledný pro neutrina

hustota  $10^7 \text{ kg/m}^3$

anihilace párů elektron-pozitron na záření gama

- **10 sekund:**

energie  $500 \text{ keV}$ , teplota  $5 \text{ GK}$ , hustota  $10^4 \text{ kg/m}^3$

éra záření

- **3 minuty:**

vznik jader  $\text{H/He} = 3/1$  (podle hmotnosti)

dominuje *reliktní záření*

- **380 tisíc let:**

záření se odděluje od látky

elektrony se slučují s atomovými jádry na neutrální atomy  
průhledný vesmír ztmavne – **šerověk** (*Dark Age*)

- **200 mil. let:**

vznik I. generace velmi hmotných hvězd H/He

výbuchy supernov začínají obohacovat vesmír

o chemické prvky C → U

černé díry se slévají na zárodky kvasarů a jader galaxií

- **1 miliarda let:**

první galaxie a kupy galaxií, hvězdy II. generace



- **7 miliard let:**

rozpínání vesmíru se díky skryté energii začíná znovu zrychlovat

- **9 miliard let:**

vzniká Slunce a planetární soustava včetně Země

- **13,5 miliard let:**

pomalou končí tato přednáška



**Ačkoliv se fyzika mikrosvěta a astronomie vydaly před sto lety opačným směrem, nedávno se podivuhodně sešly: stručné dějiny vesmíru lze popsat díky vzájemné interakci částicové fyziky a astronomických pozorování.**

**Hloubení tunelu pod Mt. Blancem z italské a francouzské strany bez jakéhokoliv zaměření: bezešvé setkání vrtných souprav uprostřed –  
**astročásticová fyzika.****