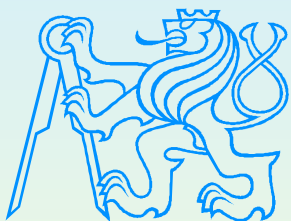


Od kvarků k prvním molekulám



Petr Kulháněk

České vysoké učení technické v Praze

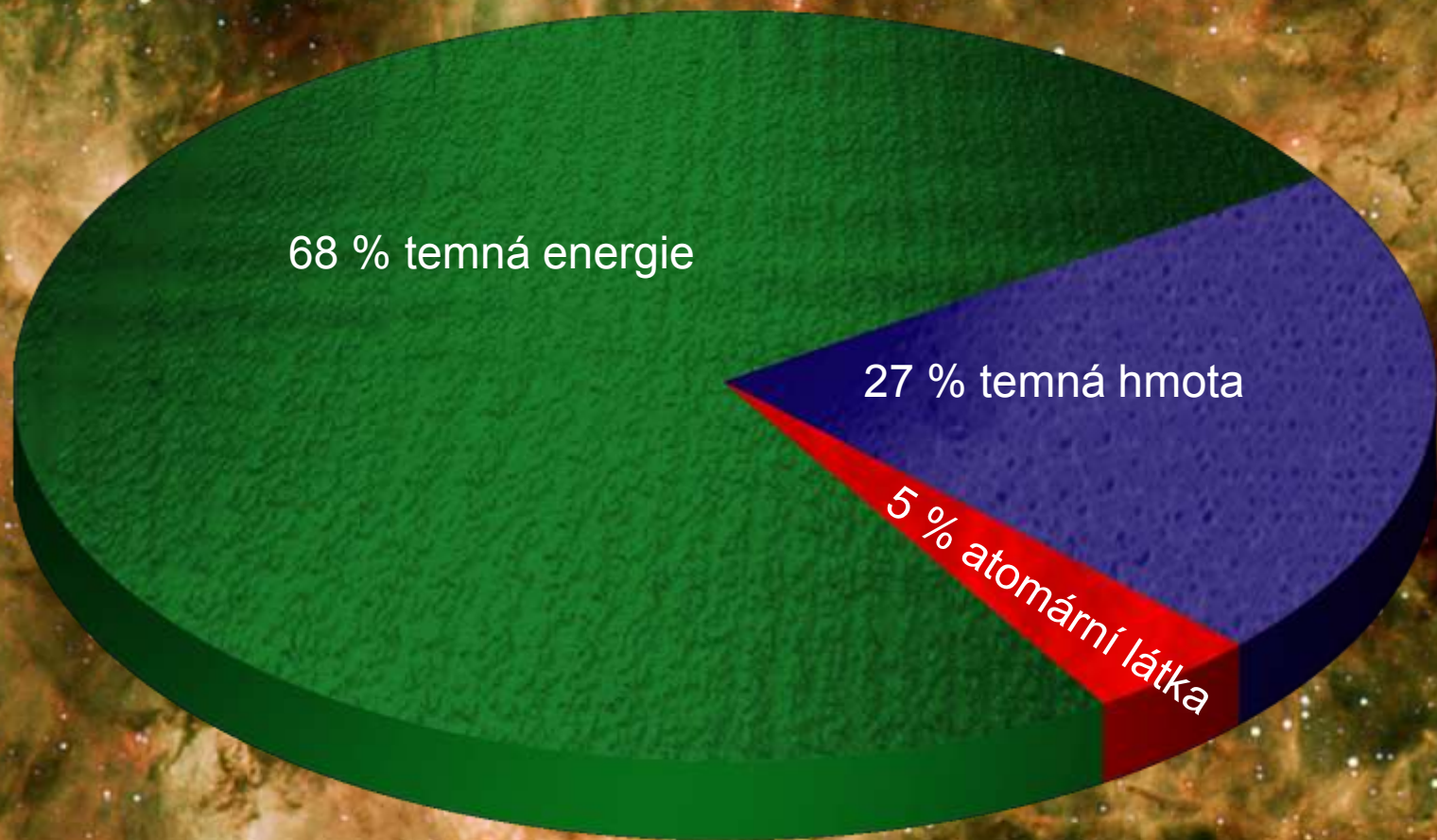
Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy

Aldebaran Group for Astrophysics

kulhanek@aldebaran.cz

www.aldebaran.cz

ZÁKLADNÍ SLOŽKY VESMÍRU



KVARKY



POLNÍ ČÁSTICE

LEPTONY

FERMIONY

BOSONY

Kvarky – Murray Gell-Mann (1929)

- 1964 – předpověď kvarků (Murray Gell-Mann, George Zweig)
Jamese Joyce: Finnegans Wake
- 1964 – Ω částice *sss?*
- 1969 – SLAC, Stanford: *protony složeny z kvarků d, u.*
- 1974 – listopadová J/ψ revoluce, objev *cc (charmonium)*
J : Brookhaven (protonový urychlovač, Ting)
 ψ : Stanford (kolider SPEAR, Richter)
- 1976 – vázané stavy *bb (ypsilonium)*
- 1995 – Fermilab: *t kvark*
- 2000 – CERN: QGP: *volné kvarky a gluony*



DOWN



STRANGE



UP

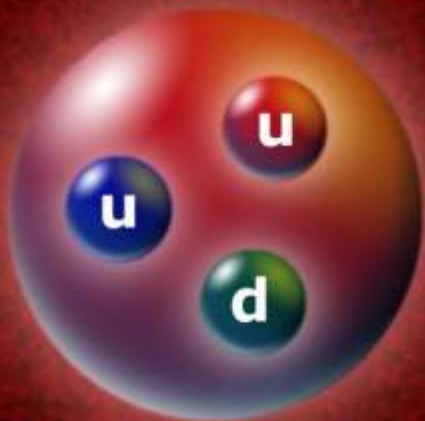


CHARM

hadrony

baryony

mezony



proton



neutron



pion



Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 5 oktober 2004 beslutat
att med det

NOBELPRIS

som detta år tillerkännes den som inom
fysikens område gjort den viktigaste
upptäckten eller uppfinnningen
gemensamt belöna

H David Politzer

David J Gross och Frank Wilczek
för upptäckten av asymptotisk frihet
i teorin för den starka växelverkan

• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2004 •

Jean Van der Meer  Gunnar Engström

98



Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 5 oktober 2004 beslutat
att med det

NOBELPRIS

som detta år tillerkännes den som inom
fysikens område gjort den viktigaste
upptäckten eller uppfinnningen
gemensamt belöna

Frank A Wilczek

David J Gross och H David Politzer
för upptäckten av asymptotisk frihet
i teorin för den starka växelverkan

• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2004 •

Jean Van der Meer  Gunnar Engström

98



Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 5 oktober 2004 beslutat
att med det

NOBELPRIS

som detta år tillerkännes den som inom
fysikens område gjort den viktigaste
upptäckten eller uppfinnningen
gemensamt belöna

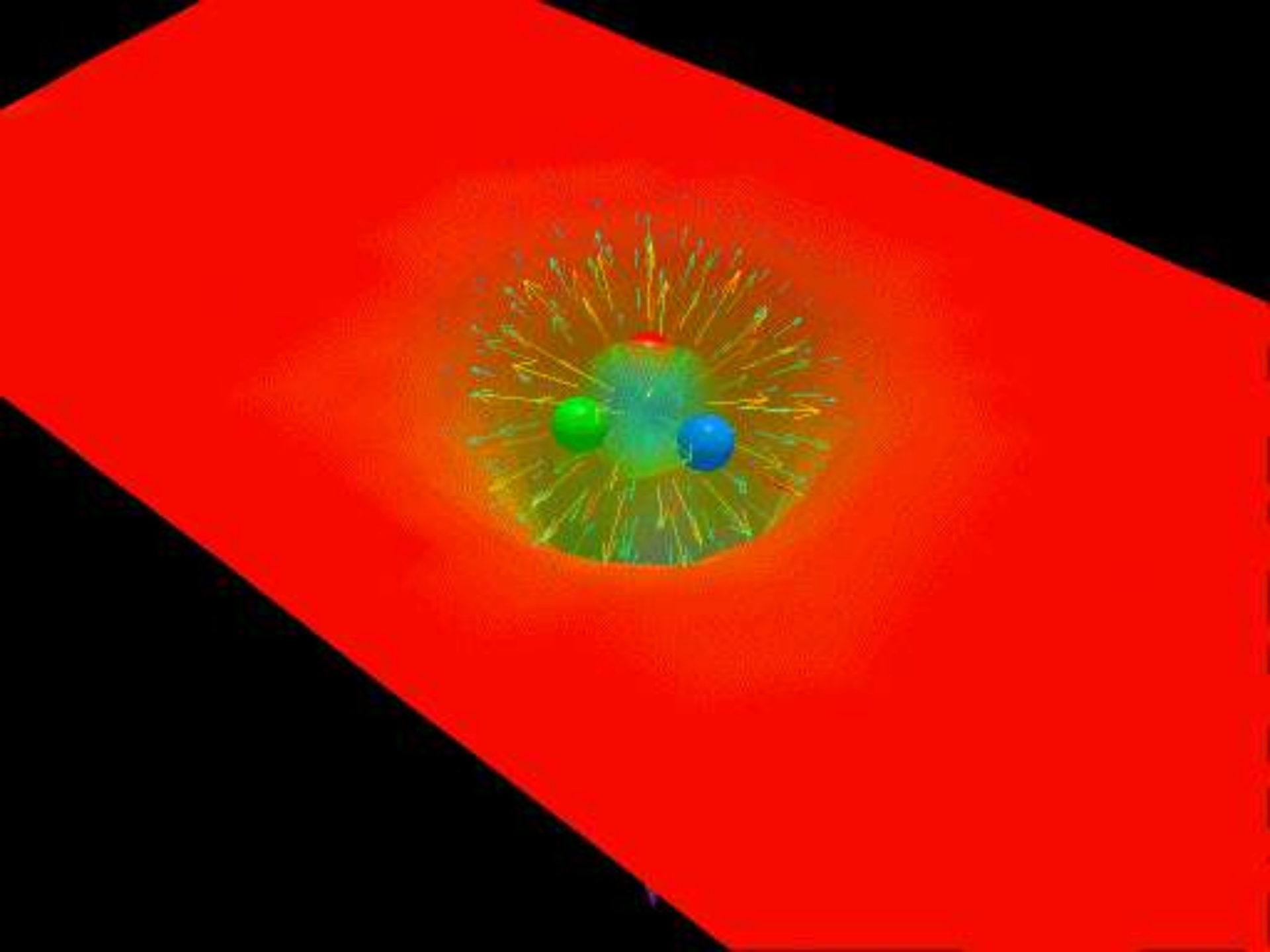
David J Gross

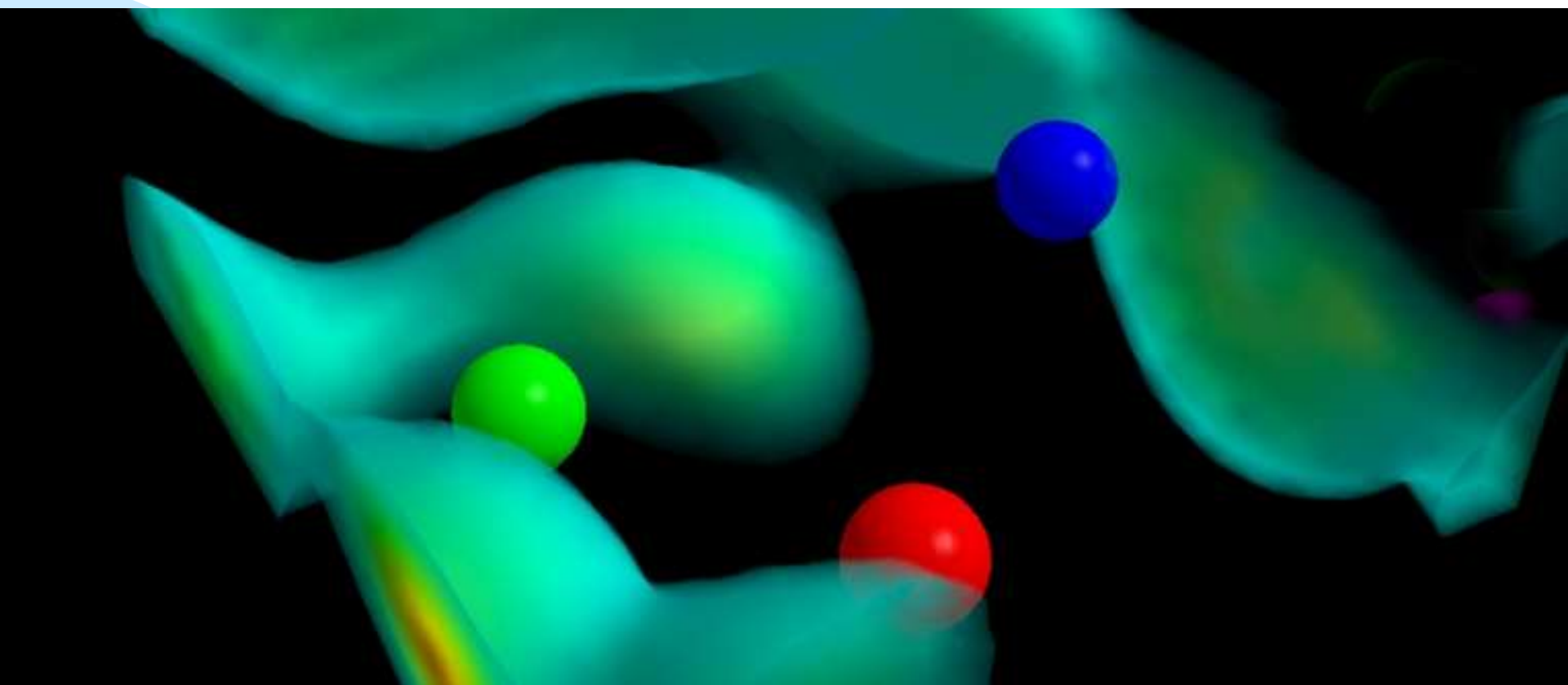
H David Politzer och Frank Wilczek
för upptäckten av asymptotisk frihet
i teorin för den starka växelverkan

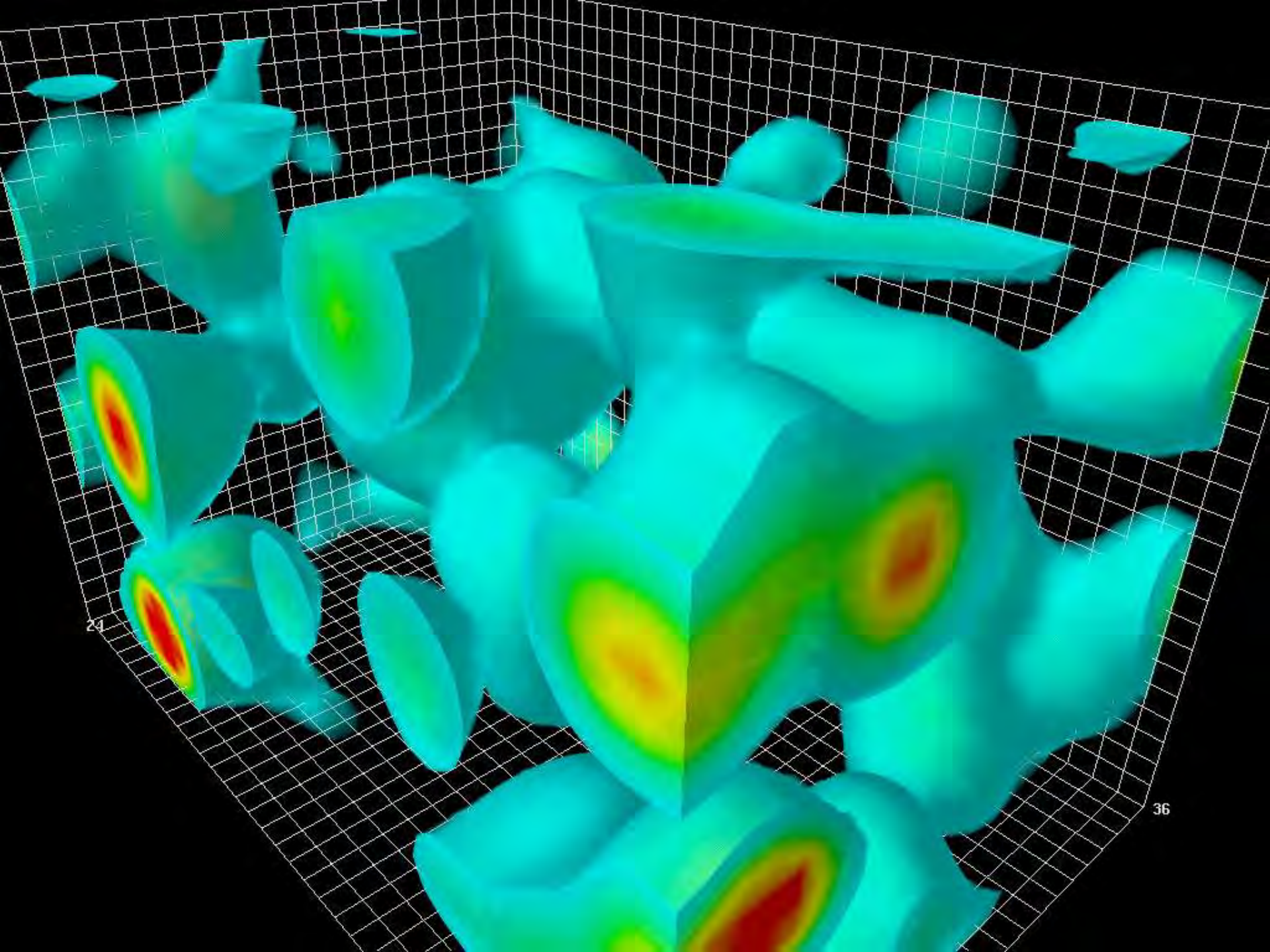
• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2004 •

Jean Van der Meer  Gunnar Engström

98





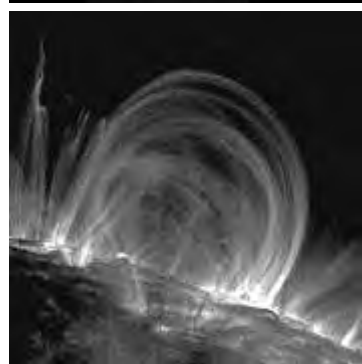


INTERAKCE

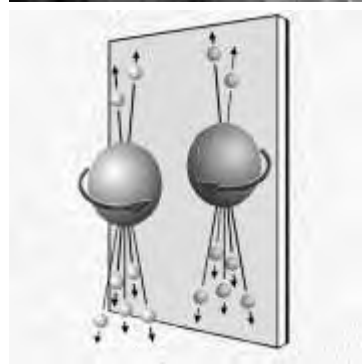
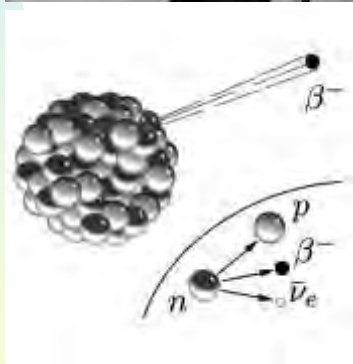
jaderná



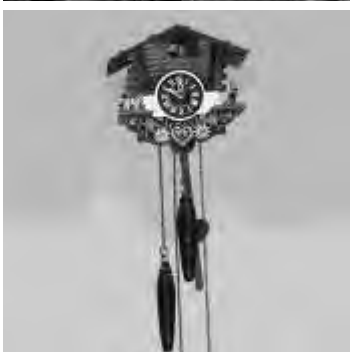
elektromagnetická



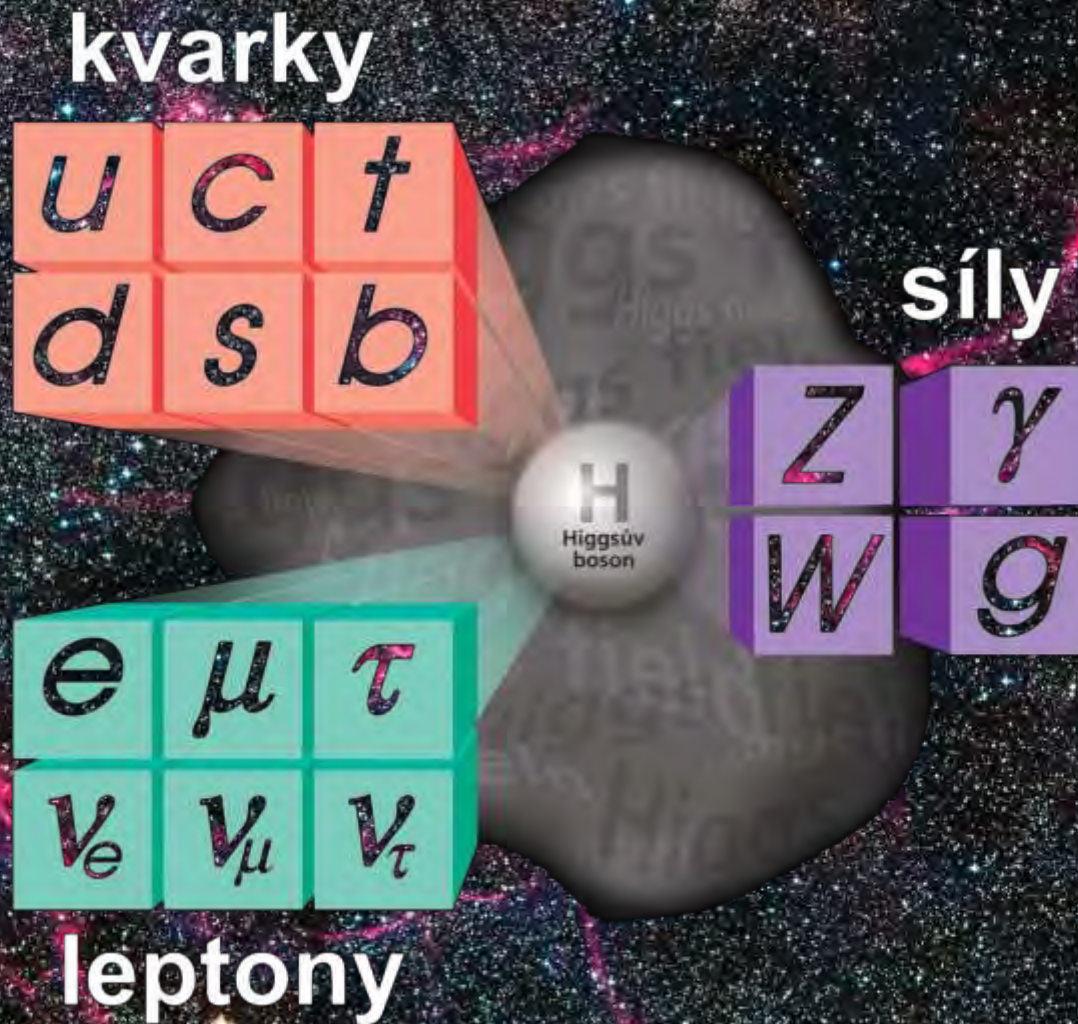
slabá

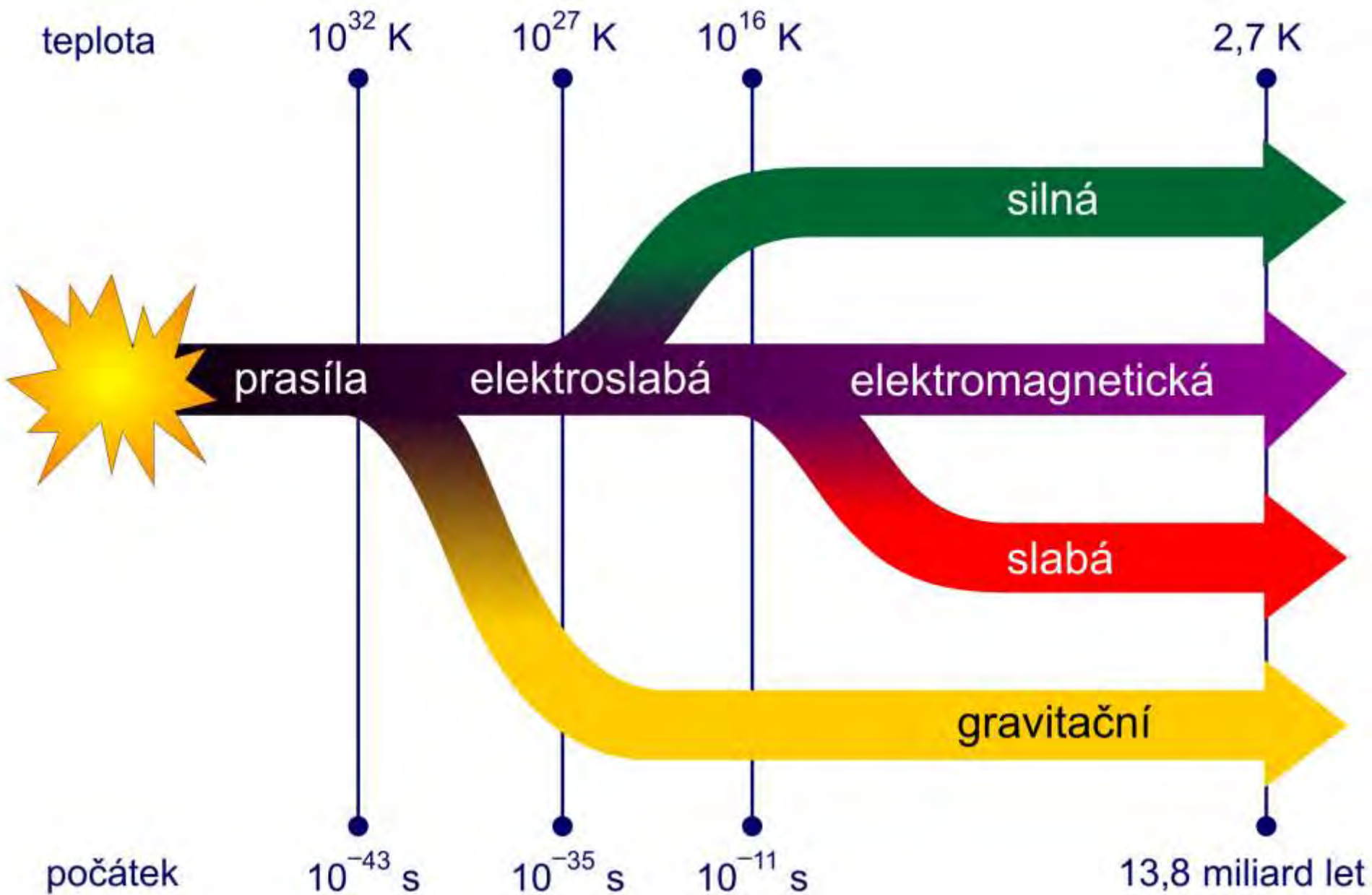


gravitační



Standardní model





NOSIČE SIL

interakce	polní částice	dosah	teorie
elektromagnetická	foton	∞	kvantová
silná	gluony	10^{-15} m	kvantová
slabá	bosony $W^{\pm}, Z^0$	10^{-17} m	kvantová

gravitační	graviton?	∞	obecná relativita
------------	-----------	----------	-------------------



γ



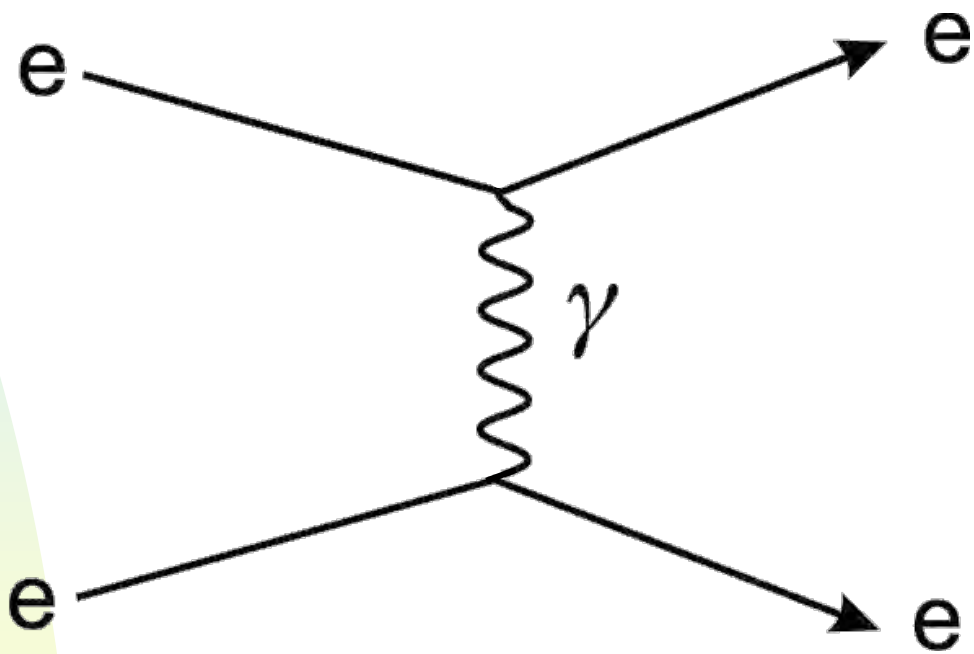
W

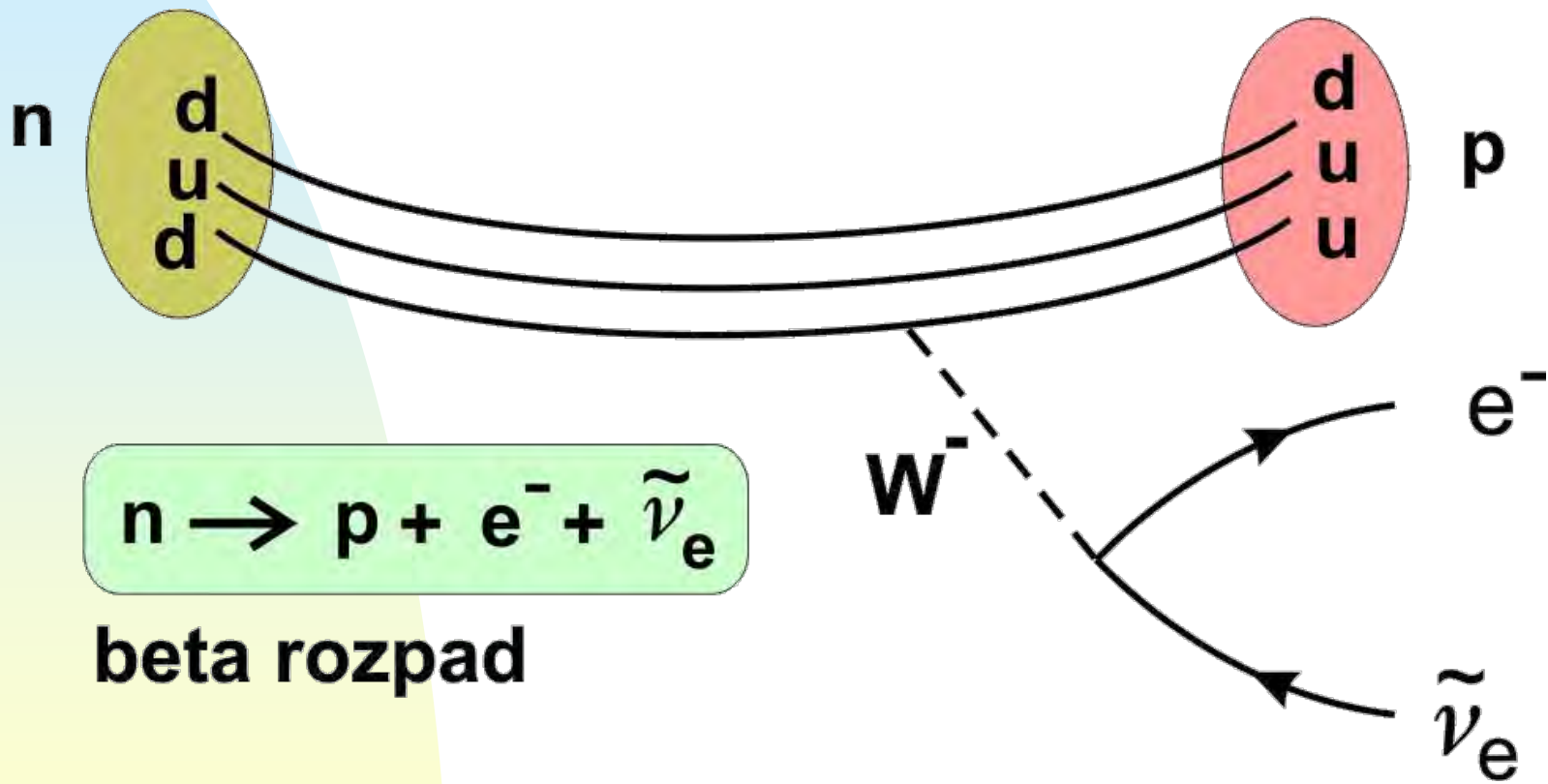


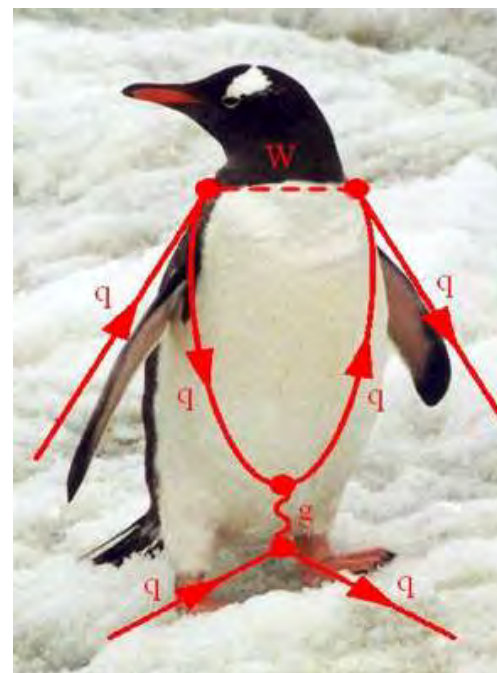
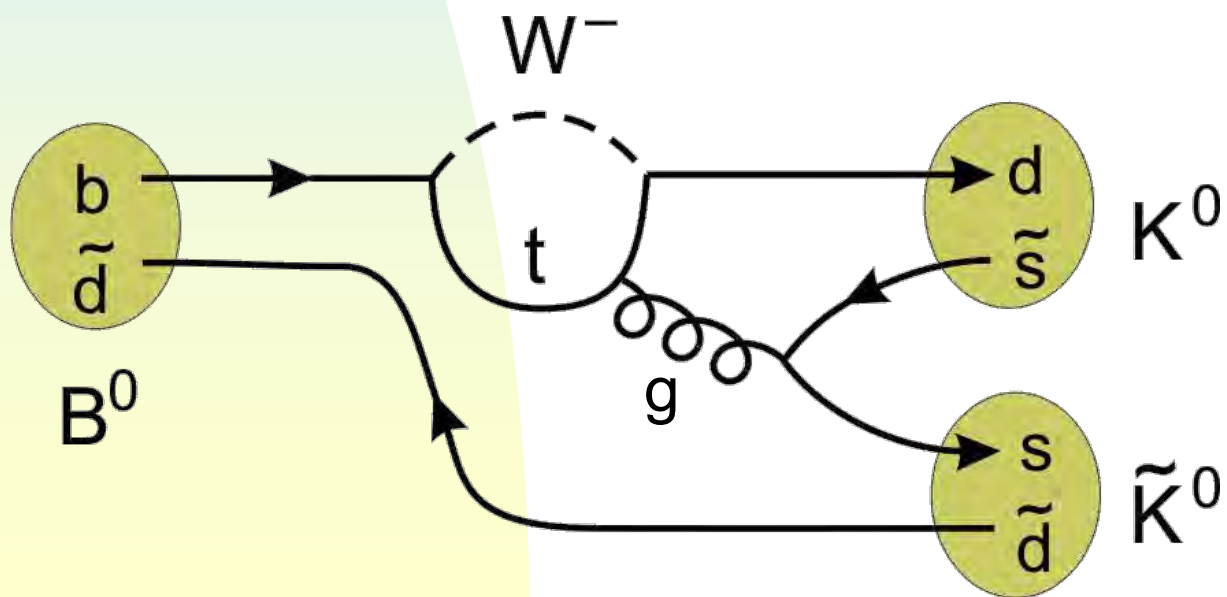
Z



g





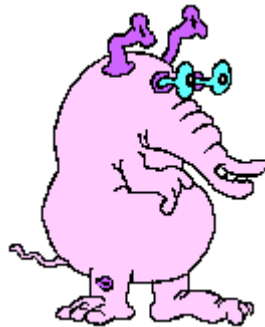


VÝVOJ VESMÍRU K ŽIVOTU

„surovina“	„produkt“	interakce	místo
kvarky	nukleony	silná	kvarkové-gluonové plazma
nukleony	atomová jádra	silná, slabá	nitro hvězd
atomová jádra	atomy	elektromagnetická	mezihvězdný prostor
atomy	jednoduché molekuly	elektromagnetická	mezihvězdný prach
jednoduché molekuly	organické molekuly	elektromagnetická	protoplanetární disk
organické molekuly	jednoduchý organizmus	elektromagnetická	vhodné planety?

10^{-43} s

$T = 10^{32}$ K, $E = 10^{19}$ GeV, $\rho = 10^{94}$ g/cm³. Planckův čas, hodnota, kterou získáme kombinací základních konstant c , G , h . Oddělení gravitační interakce od ostatních. Narušení SUSY symetrie? Převládá éra záření. Kvarky, leptony, IM částice a těžké částice vznikající při energetických srážkách. Možná přítomni superpartneři: fotina, selektrony atd. Částice jsou struny v 10 dimenzionálním prostoru? (27?). $R(t) \sim t^{1/2}$, probíhá inflace? $R(t) \sim \exp[\chi t]$?



10^{-39} s

$T = 10^{29}$ K, $E = 10^{16}$ GeV, $\rho = 10^{84}$ g/cm³. Vznik bosonů X a Y z fluktuací vakua? Jde o částice, které by v dnešní době měly být zodpovědné za rozpad protonu s poločasem přes 10^{33} let



10^{-35} s



$T = 10^{27}$ K, $E = 10^{14}$ GeV. Oddělení silné interakce od ostatních. Narušení GUT symetrie. Převládá éra záření. S narušením symetrie může být spojen fázový přechod, následná inflace a ohřev vesmíru uvolněnou energií. Probíhají přechody mezi leptony a kvarky pomocí polních částic X a Y a naopak

kvark $\longleftrightarrow$ antilepton
antikvark $\longleftrightarrow$ lepton

10^{-30} s

$T = 10^{25}$ K, $E = 10^{12}$ GeV. Prahová energie pro vznik X a Y.
Narušení CP symetrie.

X a $Y \rightarrow$ antikvark a lepton,
 X' a $Y' \rightarrow$ kvark a antilepton.

Procesy přechodu mezi leptony a kvarky probíhají mírně
asymetricky a postupně ustávají. Nadvláda hmoty nad antihmotou.
(poměr 1 000 000 000 : 1 000 000 001)

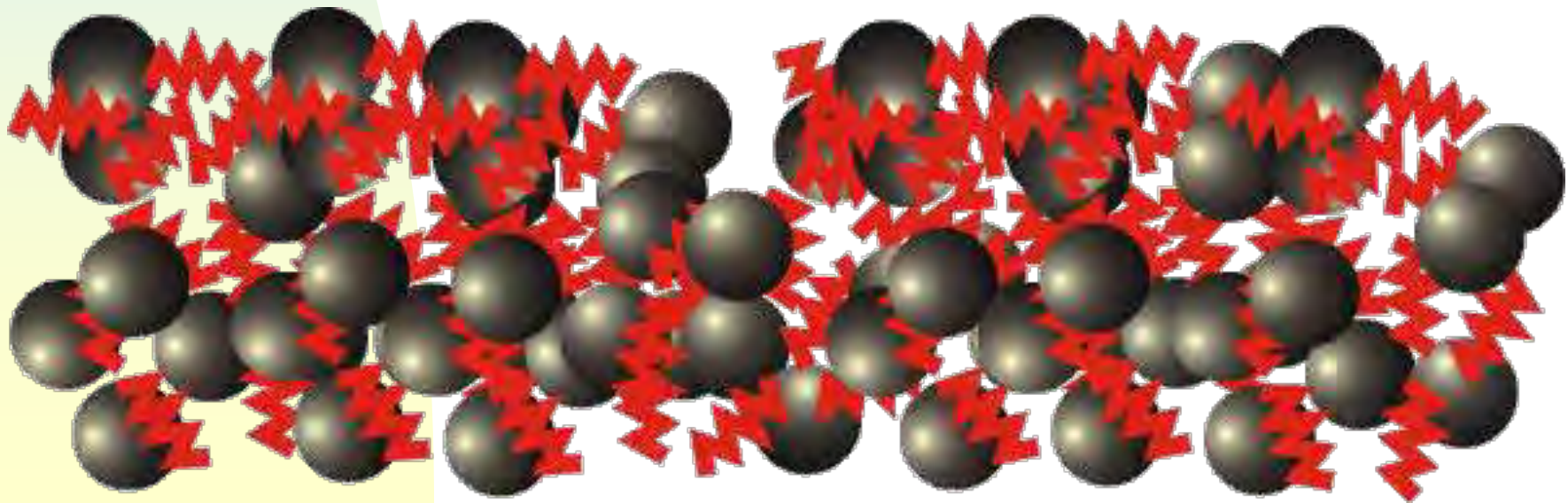
kvark $\leftrightarrow$ antilepton
antikvark $\leftrightarrow$ lepton



10^{-10} s

$T = 10^{15}$ K, $E = 10^2$ GeV. Narušení elektroslabé symetrie pomocí Higgsových částic. Oddělení slabé interakce.

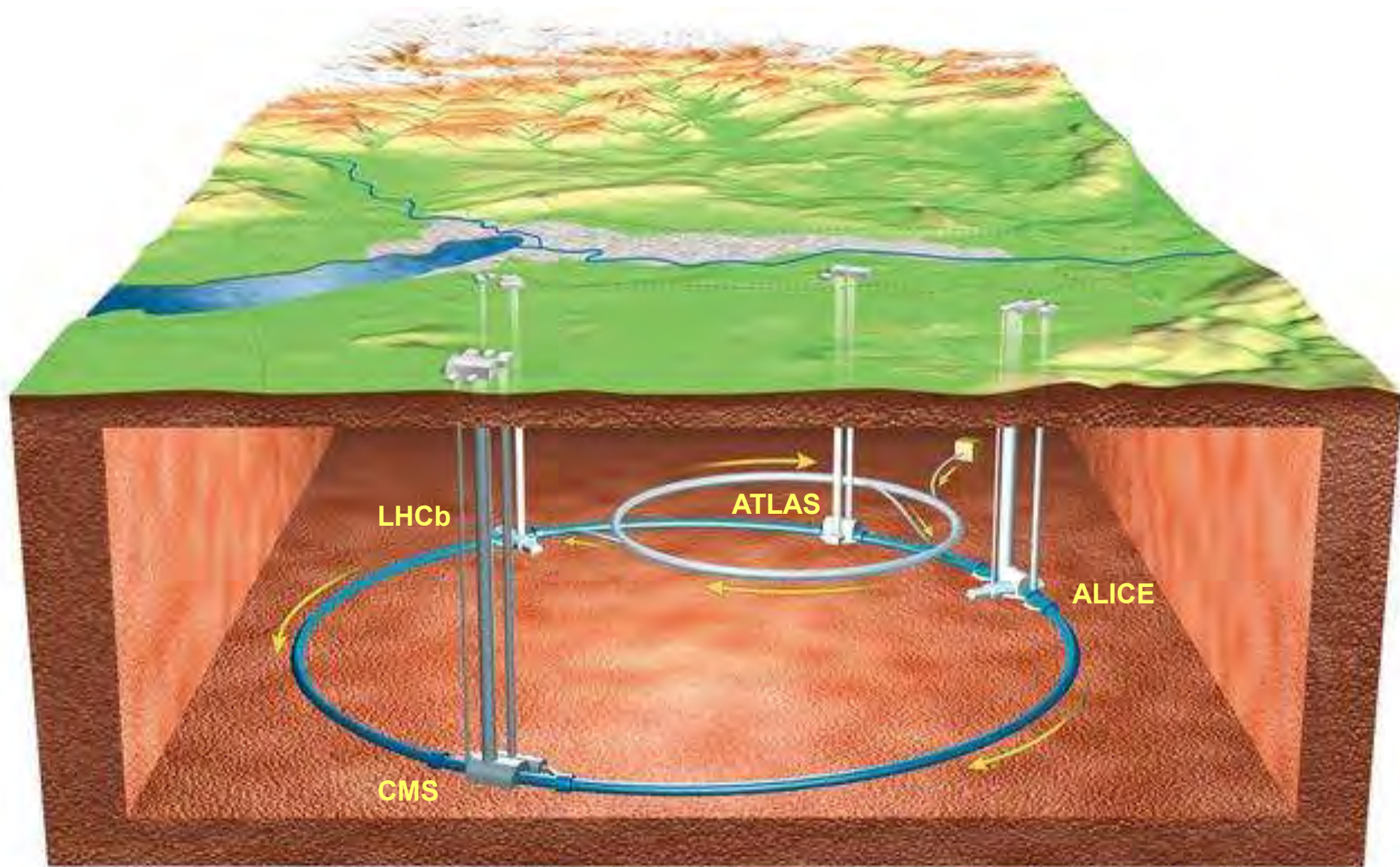
Od tohoto okamžiku 4 interakce jaké známe. S narušením symetrie mohl být opět spojen fázový přechod do nižšího vakuového energetického stavu a následná inflační fáze spojená s ohřevem vesmíru. Vesmír stále složen z kvarků leptonů, polmích částic a částic vznikajících při srážkách, které odpovídají energii 10^2 GeV.



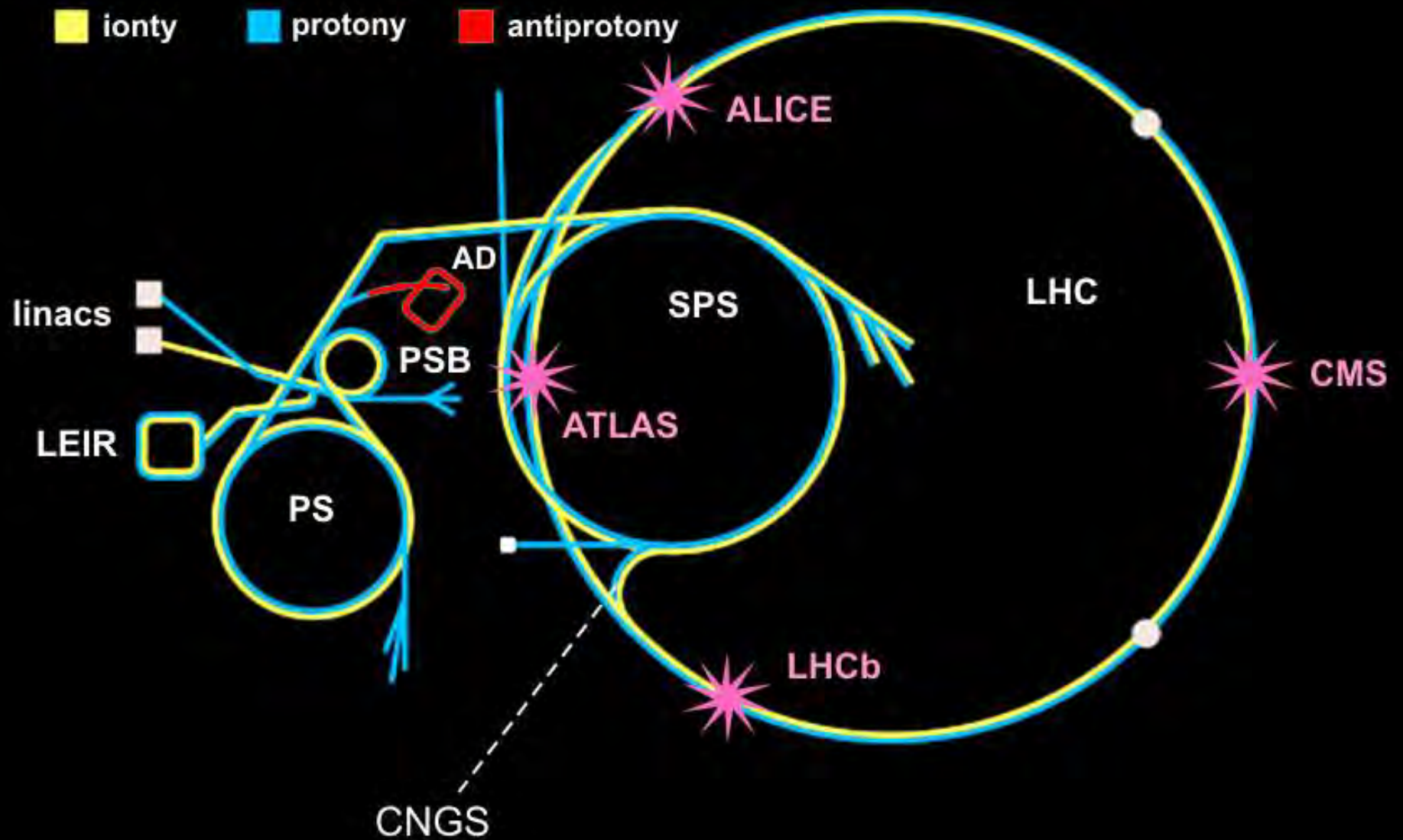
CERN

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire,
Evropské centrum jaderného výzkumu.
Komplex urychlovačů a laboratoří na pomezí Švýcarska
a Francie založený v roce 1954. Na výzkumu se podílí
20 členských zemí včetně České republiky.



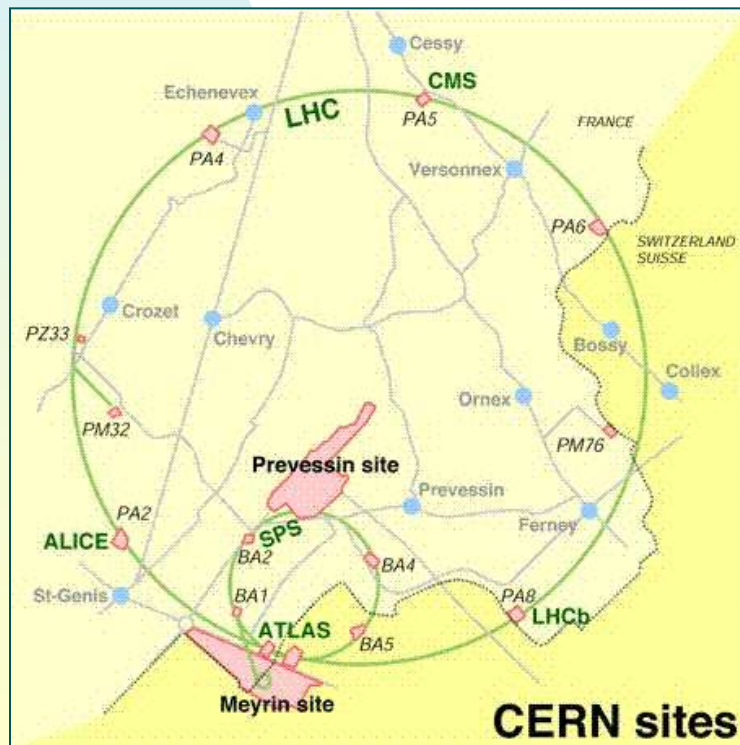


CERN

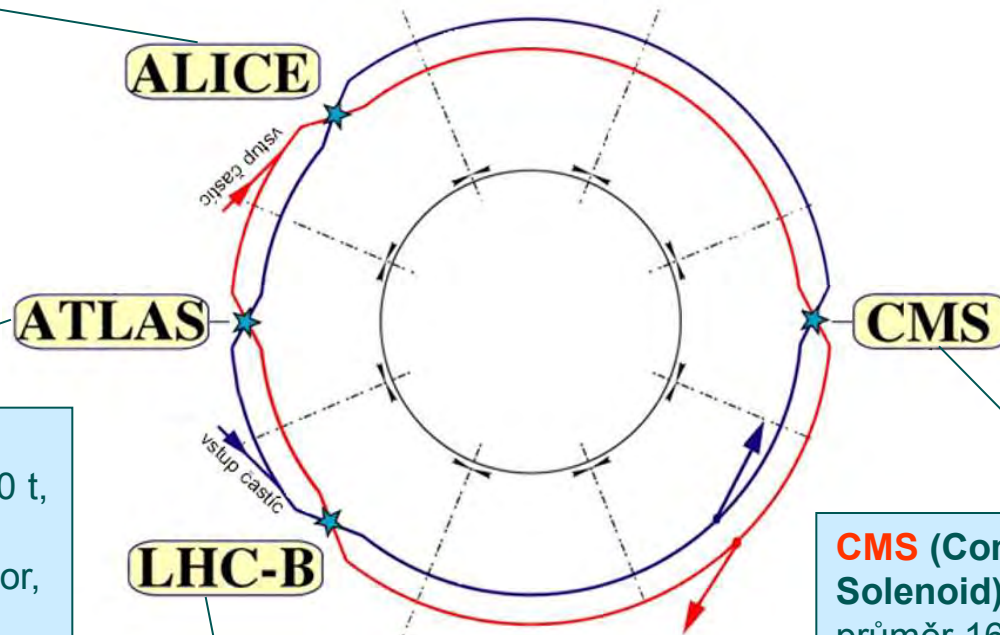


CERN – úspěchy

- vznik www stránek
- objev neutrálních toků
- objev polních částic slabé interakce
- příprava antivodíku
- příprava kvark-gluonového plazmatu



ALICE (A Large Ion Collider Experiment. Experiment), specializovaný detektor těžkých iontů, unikátní fyzikální vlastnosti interakcí jádro-jádro, QGP

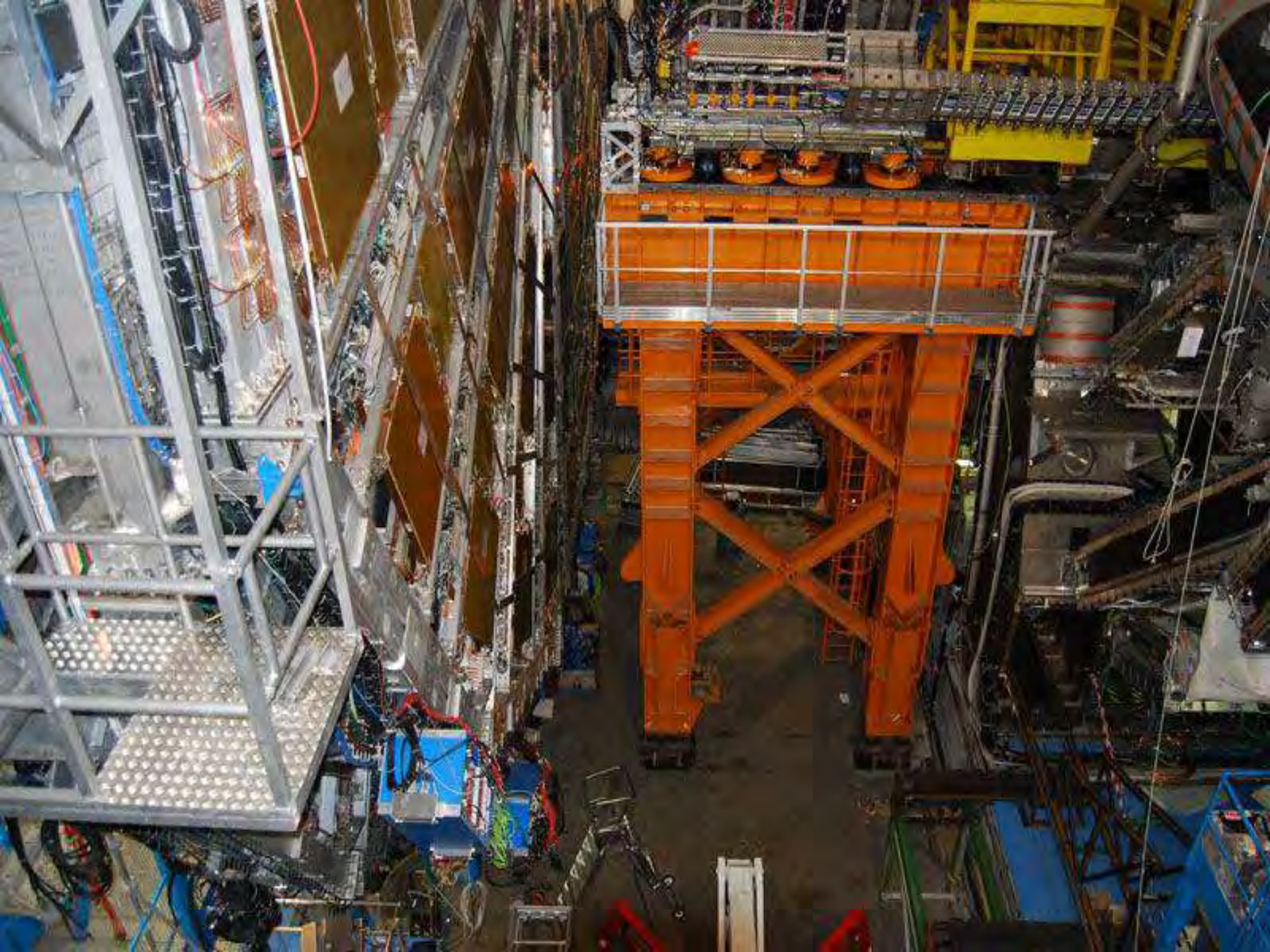


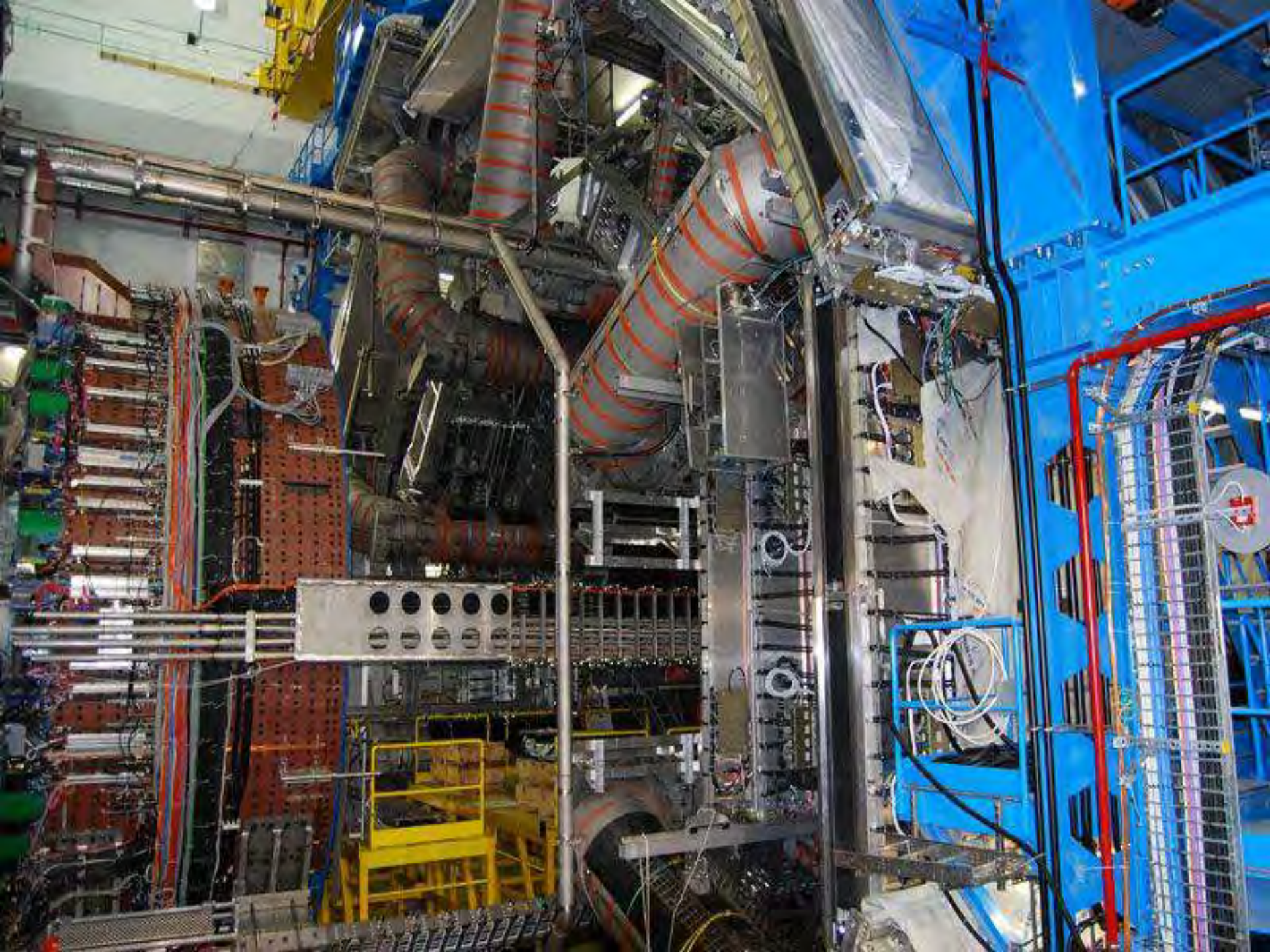
ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS), hmotnost 7 000 t, délka 44 m, průměr 25 m, pole 2 T. Multifunkční detektor, Higgsovy bosony, QGP.

LHCb (Large Hadron Collider beauty), multifunkční detektor, na kterém bude sledováno narušení CP symetrie a zkoumány hadrony obsahující kvark b.

CMS (Compact Muon Solenoid), hmotnost 12 500 t, průměr 16 m, délka 22 m, 15 000 000 detekčních kanálů. Obří supravodivá cívka (6 m průměr, 13 m délka, 4 T pole), 2,5 GJ uchovávaná energie). Největší magnet na světě. Multifunkční detektor, Higgsovy bosony.









CMS











CERN
This machine is a SEI
DO NOT POWER
DOWN!!

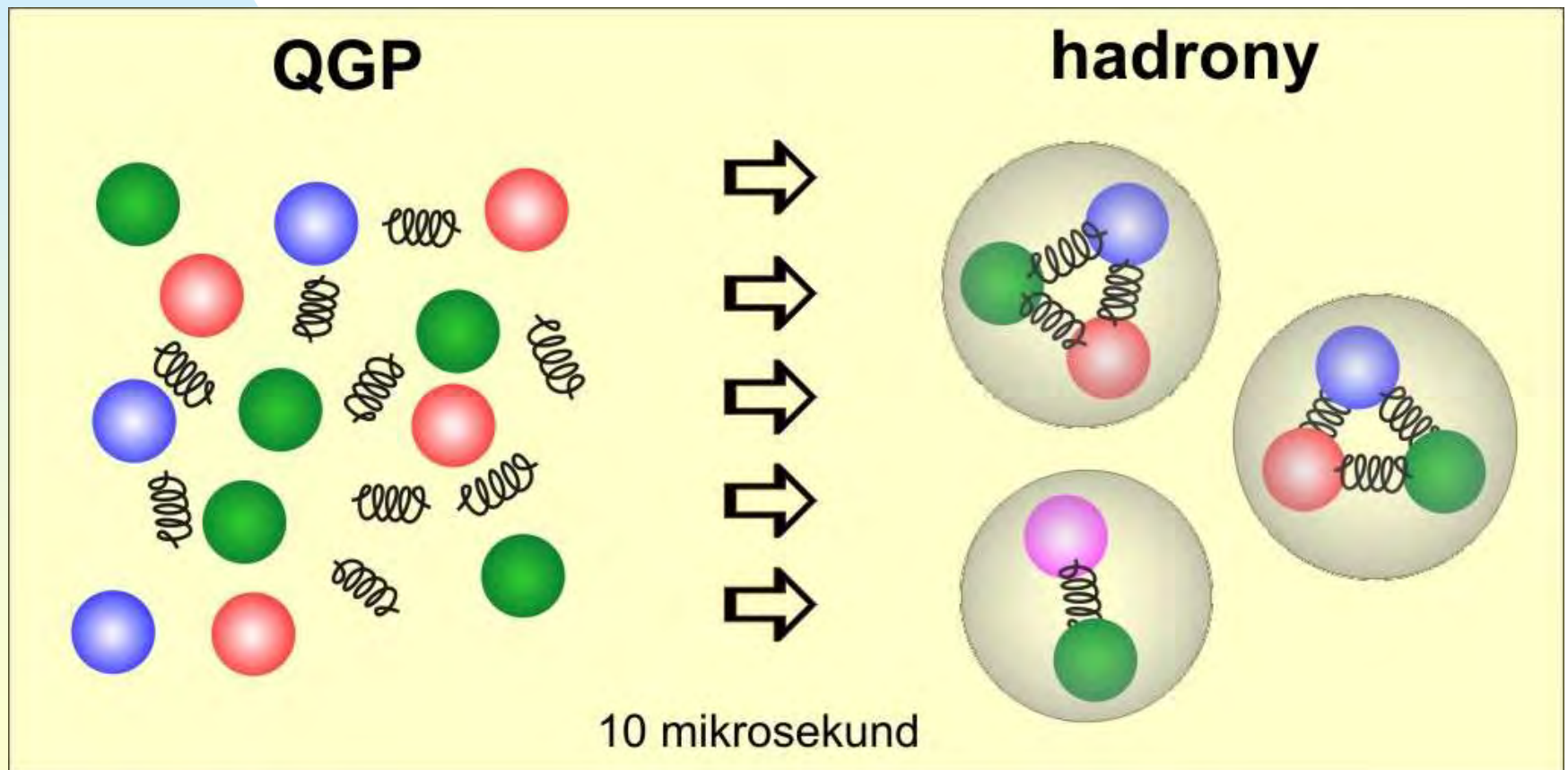
PROPRIETARY CERN

LEONARD
ROSEN
1971-1972

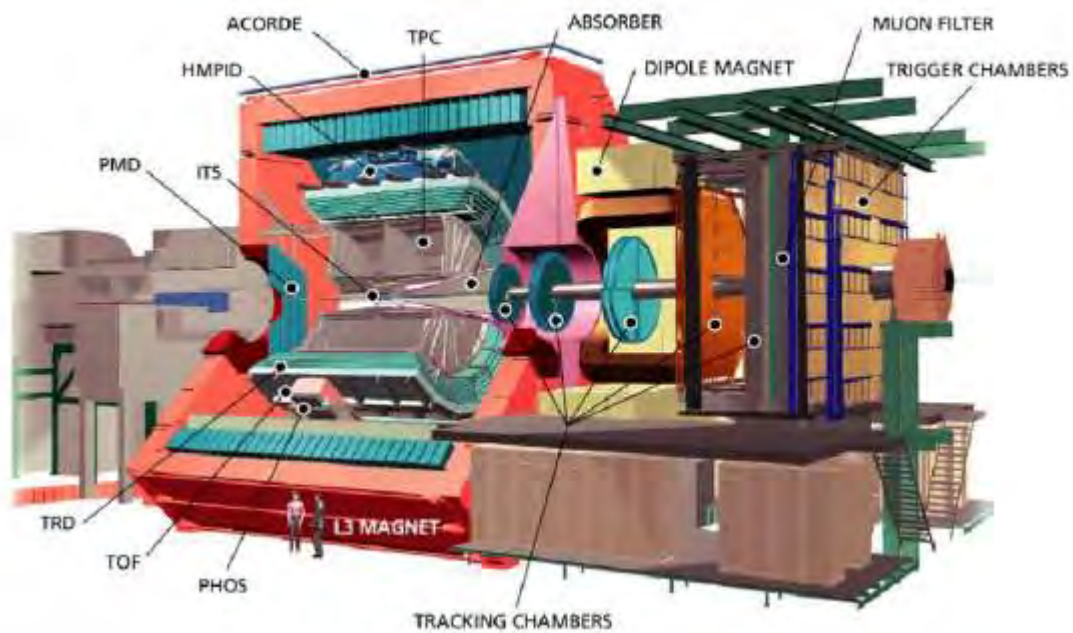
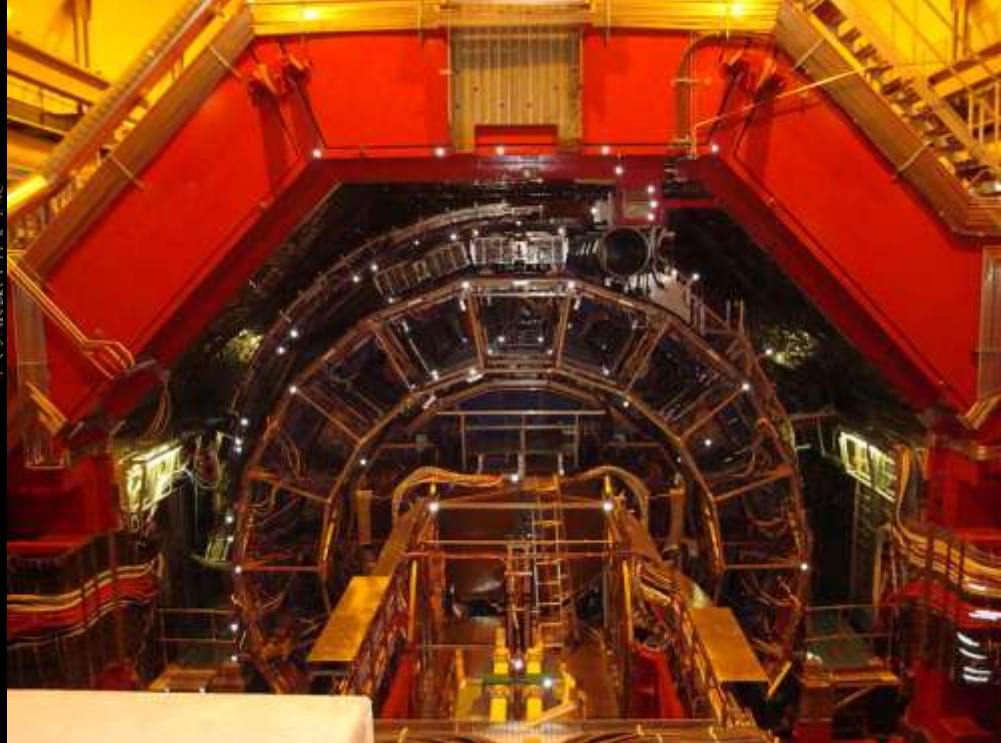
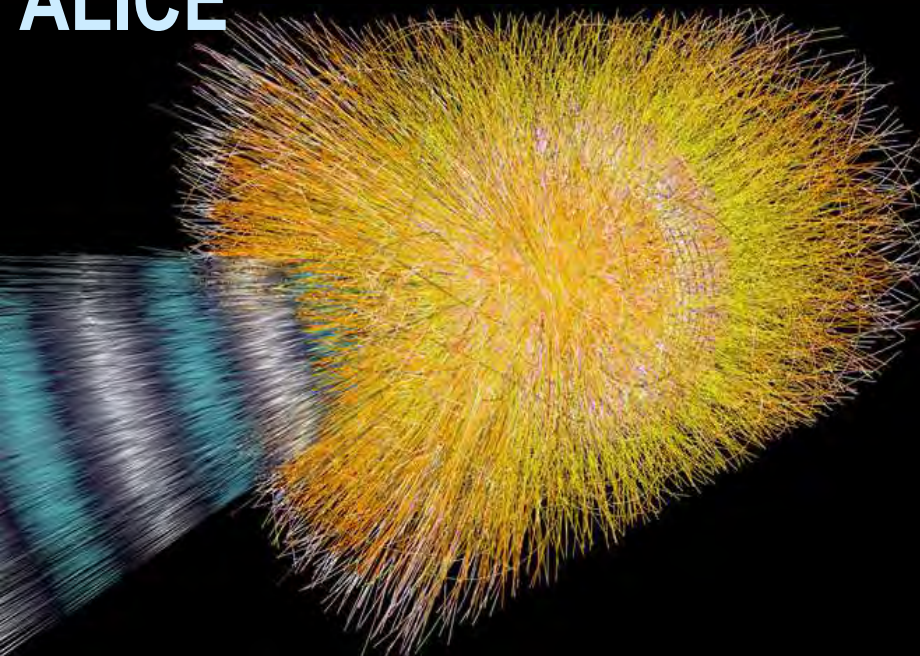


10^{-5} s: hadronizace hmoty

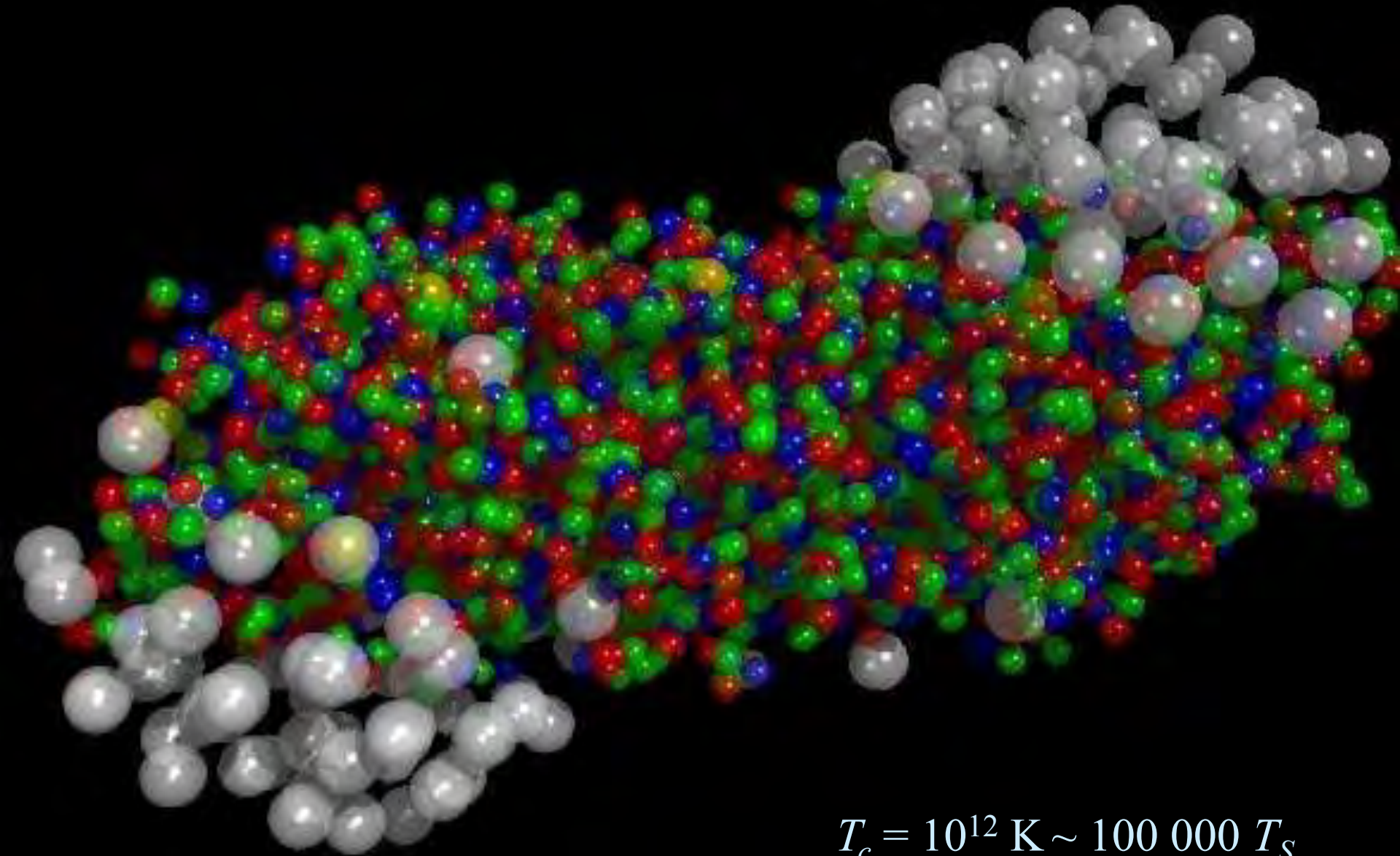
Teplota: 10^{13} K
Energie: 1 GeV



ALICE



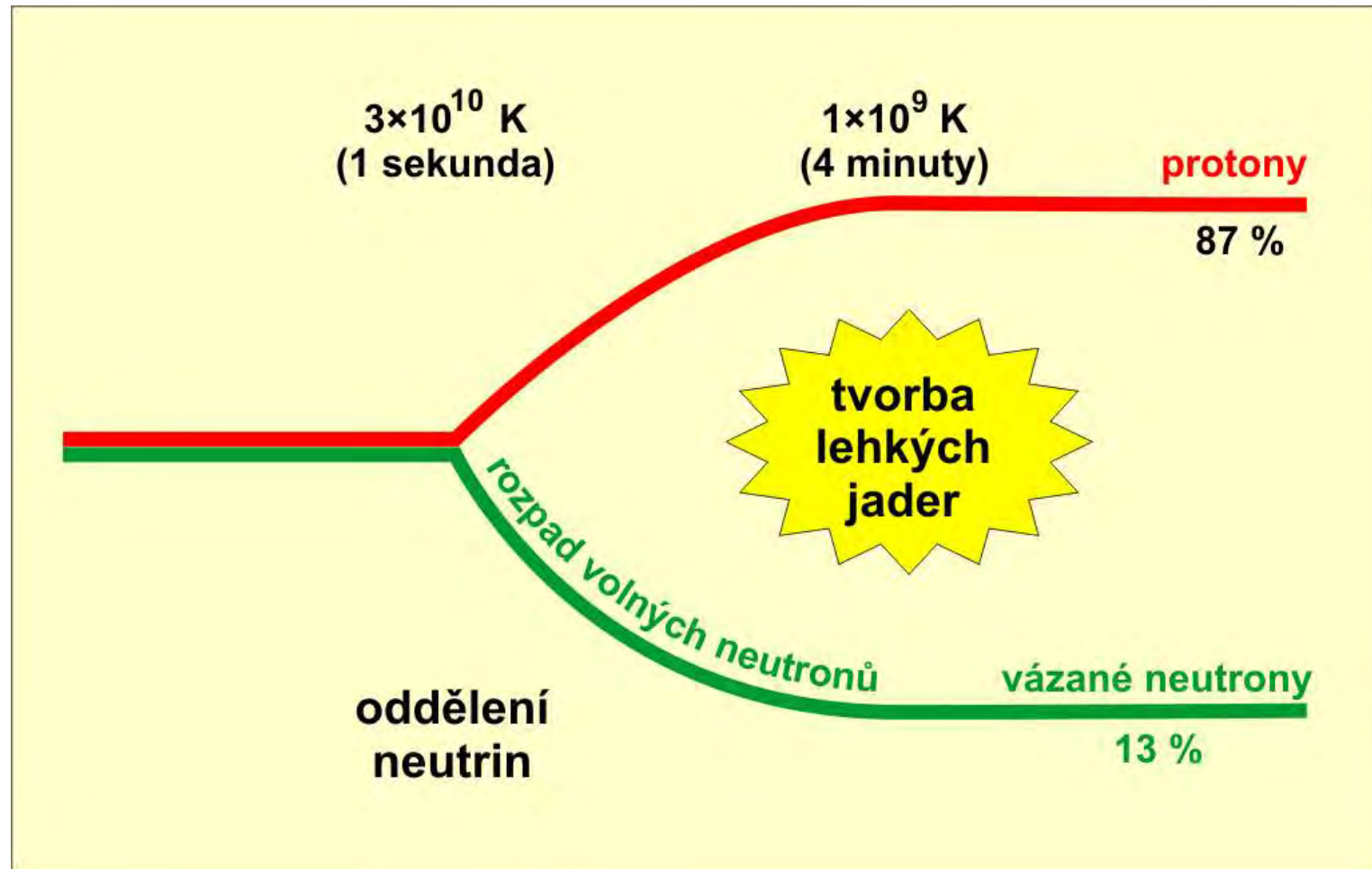
QGP – CERN, 2000



$$T_c = 10^{12} \text{ K} \sim 100\,000 T_S$$
$$\rho_c = 1 \text{ GeV/fm}^3 \sim 20 \rho_{\text{jad}}$$

1 sekunda: oddělení neutrin

Teplota: 3×10^{10} K
Energie: 3 MeV

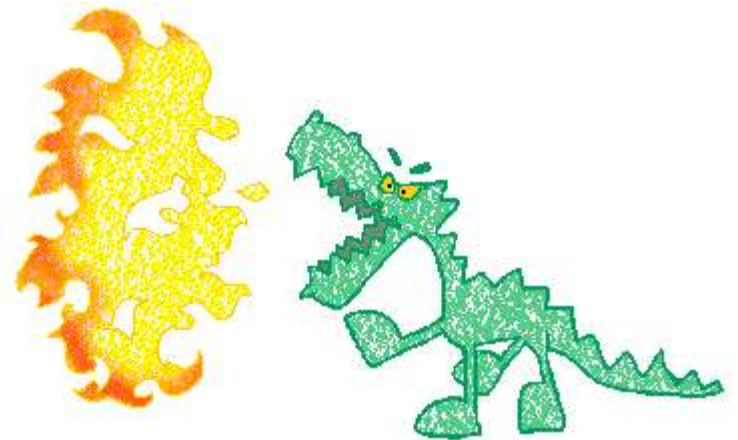


Oddělení neutrin od látky, efektivní zastavení slabé interakce mezi elektrony, neutrinami, protony a neutrony. Volné neutrony se rozpadají rychleji než tvoří. Pokles počtu neutronů.

3 sekundy

$T = 6 \times 10^9 \text{ K}$, $E = 500 \text{ keV}$. Prahová teplota rovnováhy $e + e^+ \leftrightarrow \text{záření}$ (střední tepelná energie kT je rovna klidové energii elektronů pozitronů $m_e c^2$). Nad touto teplotou jsou elektrony a pozitrony v rovnováze se zářením a probíhá stejný počet anihilačních procesů i kreačních procesů:
 $\text{elektron} + \text{pozitron} \leftrightarrow \text{záření}$.

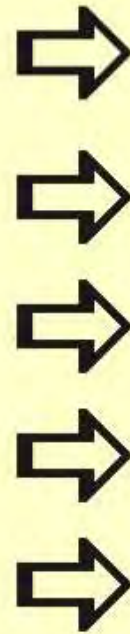
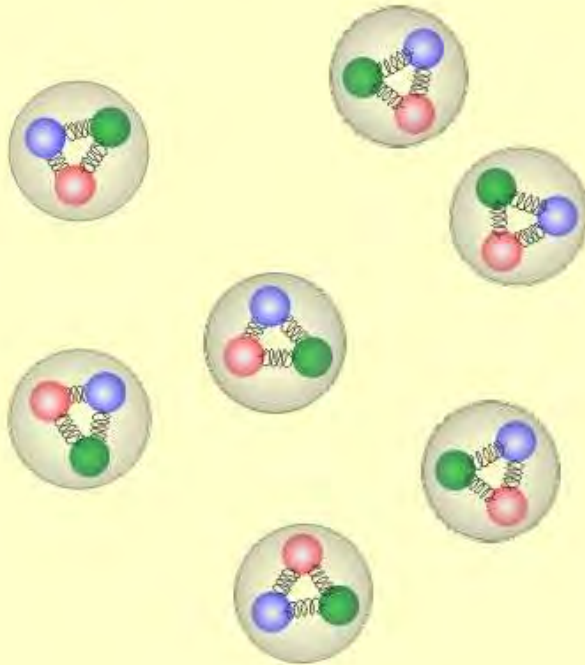
Nyní převládá anihilace. Teplota vesmíru bude o 40 % vyšší než teplota reliktních neutrin. Díky narušení CP zůstane z miliardy elektronů a pozitronů po anihilaci jeden volný elektron. Ten mnohem později poslouží ke stavbě atomárních obalů ...



4 minuty: tvorba jader

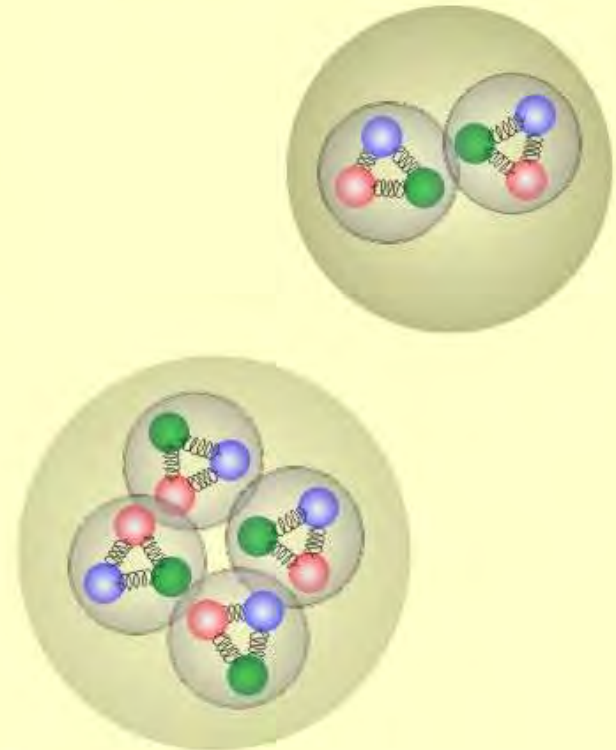
Teplota: 10^9 K
Energie: 90 keV

protony a neutrony



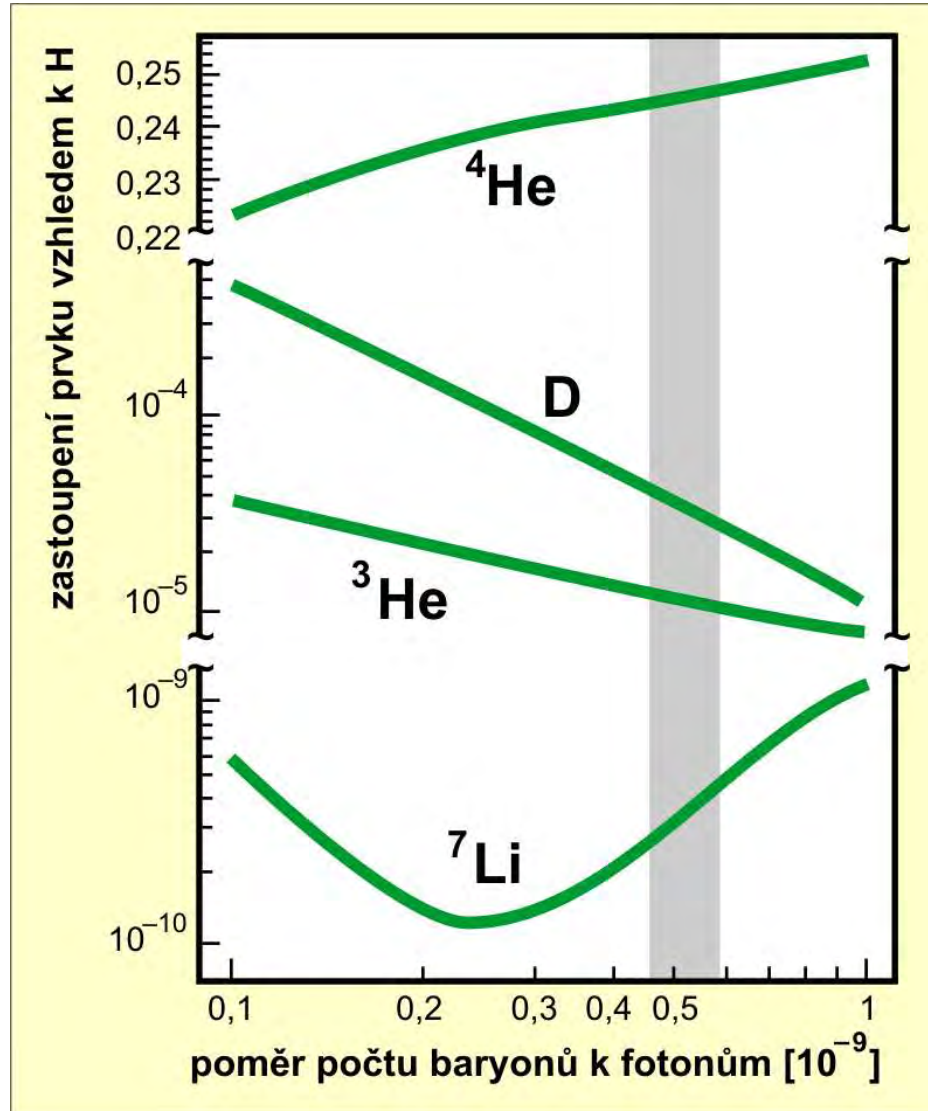
4 minuty

lehká jádra

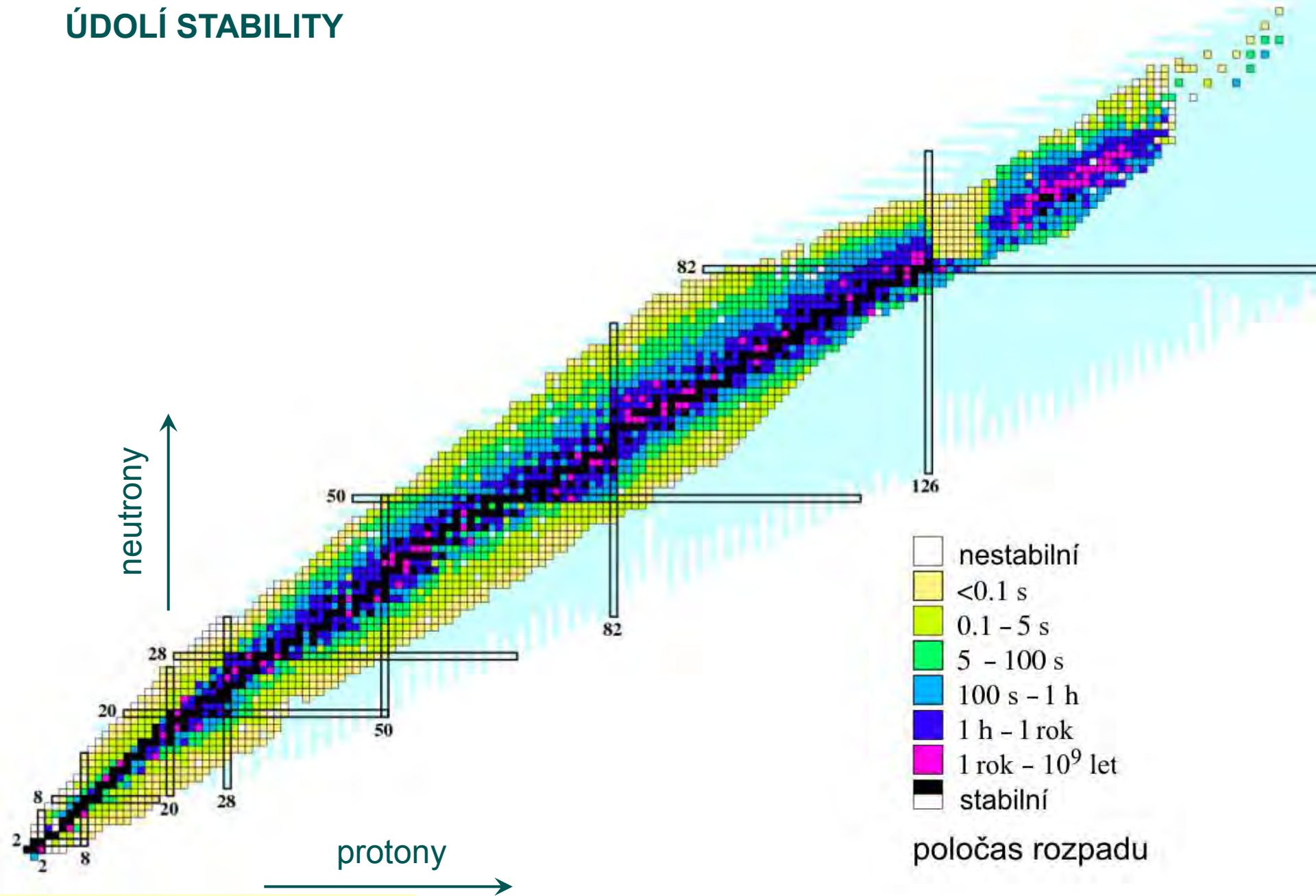


4 minuty: tvorba jader

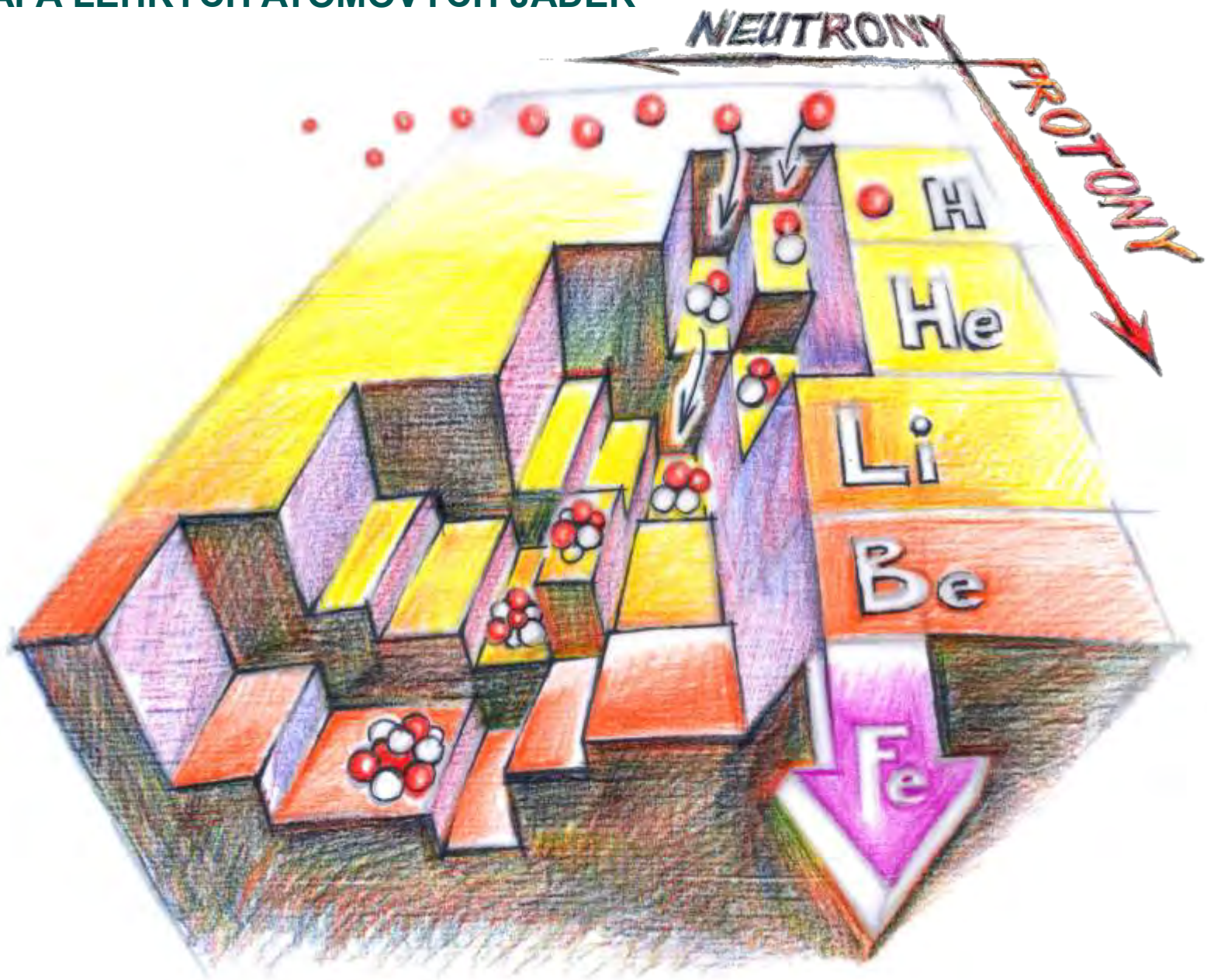
Teplota: 10^9 K
Energie: 90 keV



ÚDOLÍ STABILITY



MAPA LEHKÝCH ATOMOVÝCH JADER

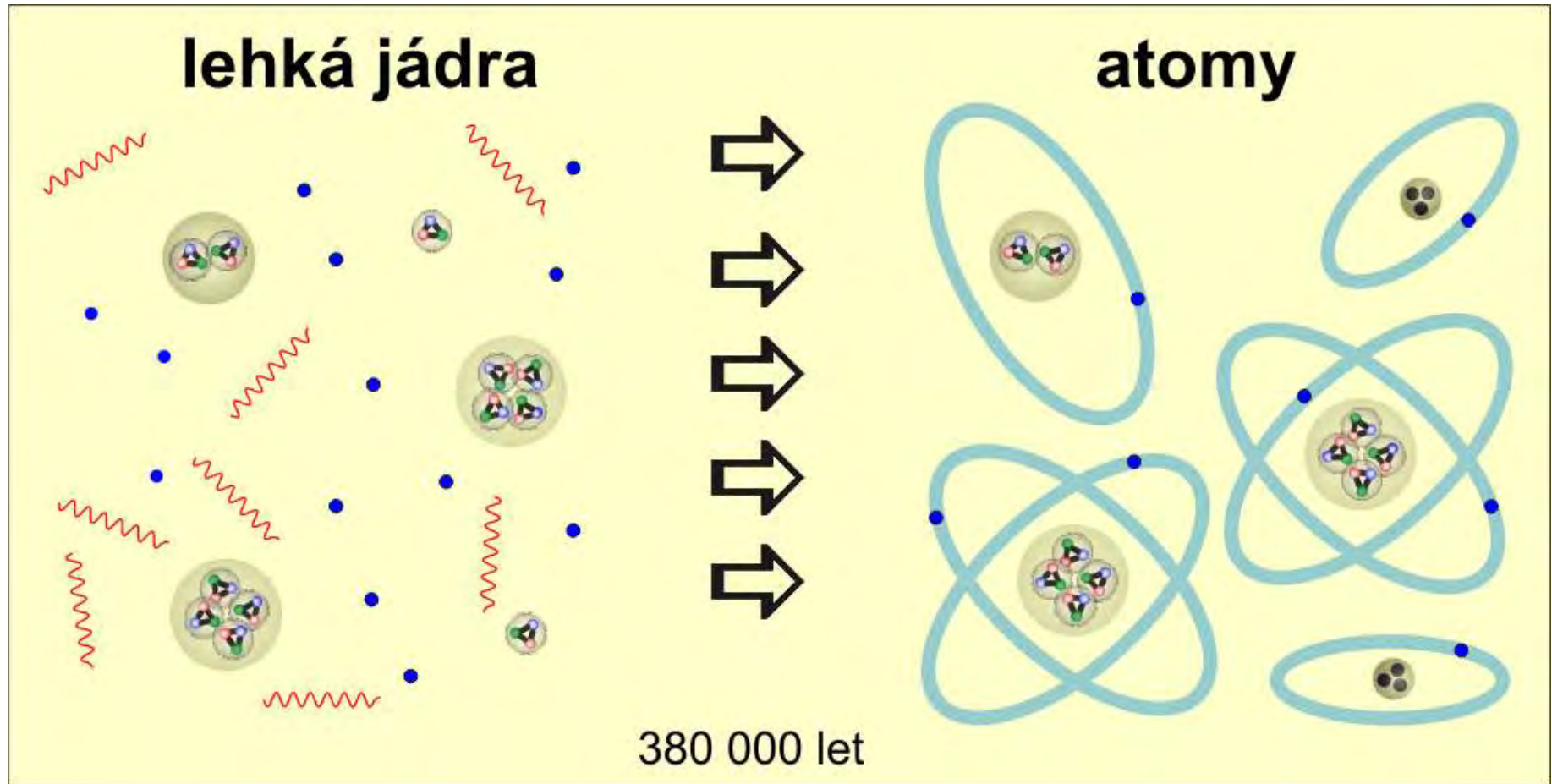


400 000 let: vznik elektronových obalů

Teplota: 4000 K
Energie: 0.4 eV

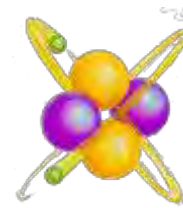
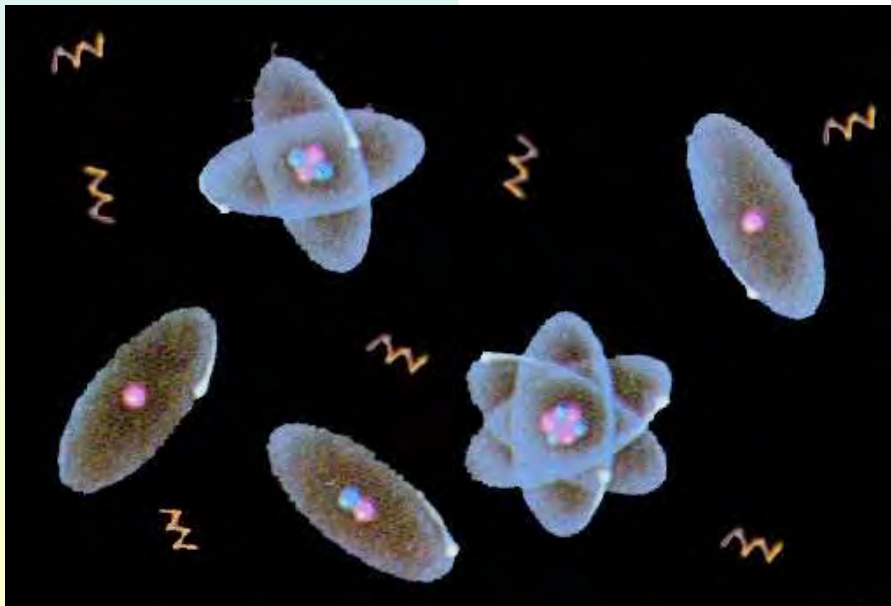
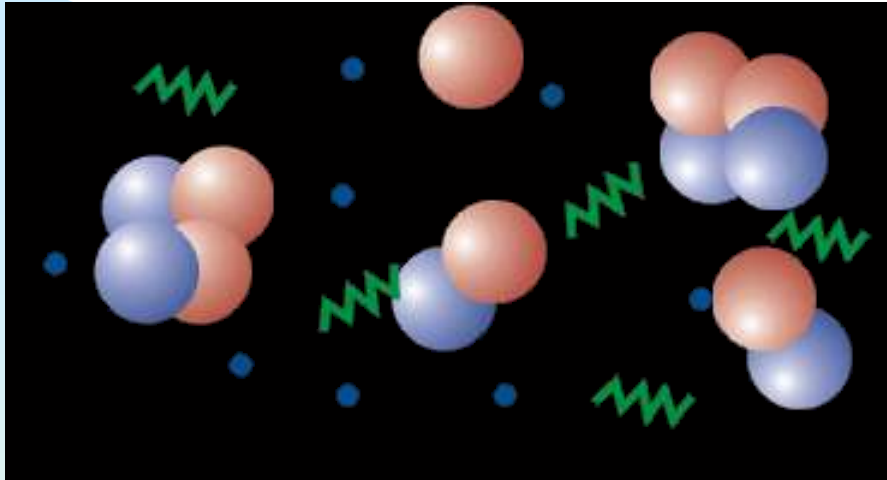
počátek éry látky (baryonová + temná)

$$R(t) \sim t^{2/3}$$

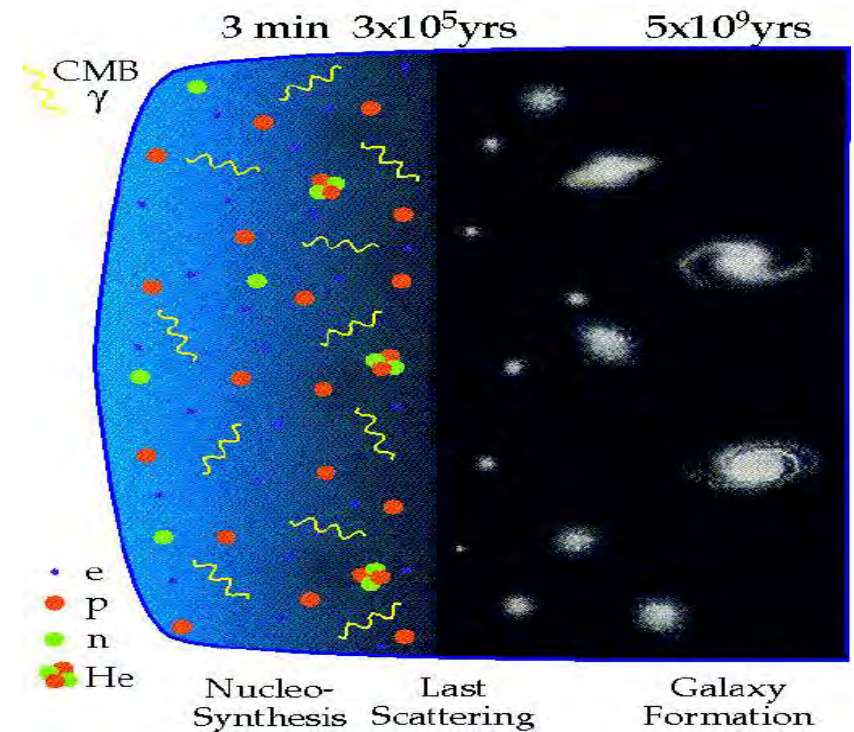


400 000 let: vznik elektronových obalů

Teplota: 4000 K
Energie: 0.4 eV



(Very) Brief History



Ralph Alpher, Hans Bethe, George Gamow, 1948

1965

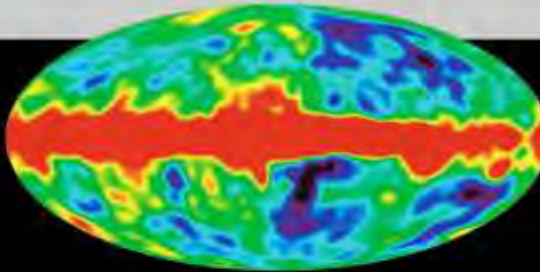
Penzias a Wilson



objev šumu z konce
Velkého třesku

1989/1992

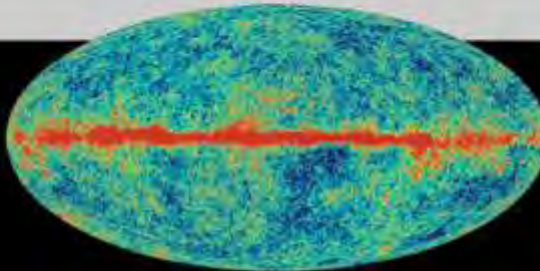
COBE



jde o záření černého tělesa $T = 2,73 \text{ K}$
objev fluktuací (anizotropie)
 $\Delta T = 30 \mu\text{K}$, $\Delta \varphi = 7^\circ$

2001/2003

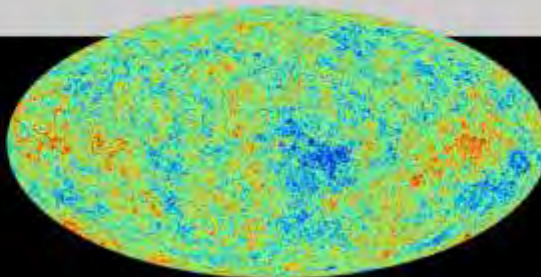
WMAP



stanovení základních
parametrů Vesmíru
 $\Delta T = 20 \mu\text{K}$, $\Delta \varphi = 15'$

2009/2013

Planck



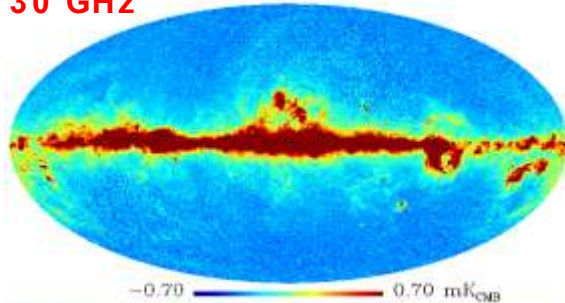
$\Delta T = 2 \mu\text{K}$, $\Delta \varphi = 5'$

Obloha z Plancku po roce pozorování

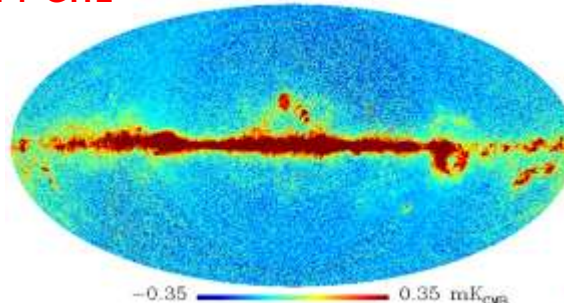


reliktní záření je odečteno

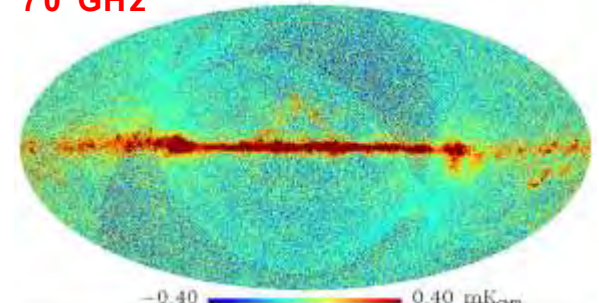
30 GHz



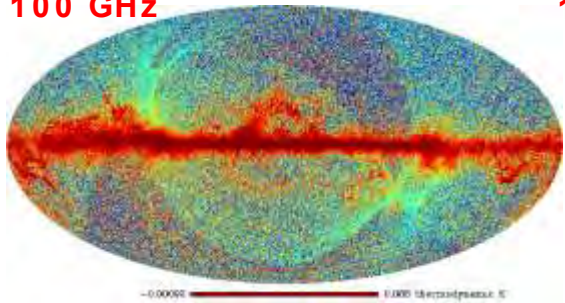
44 GHz



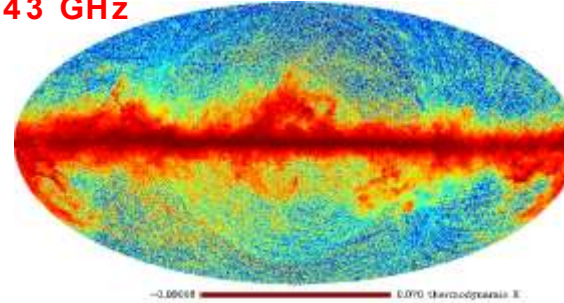
70 GHz



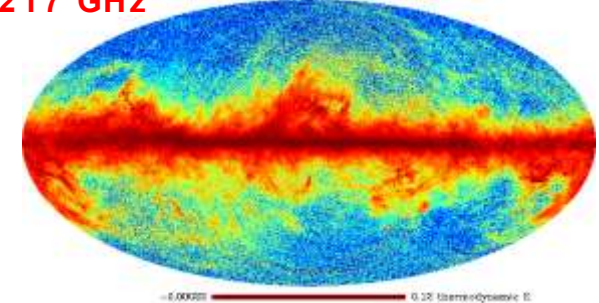
100 GHz



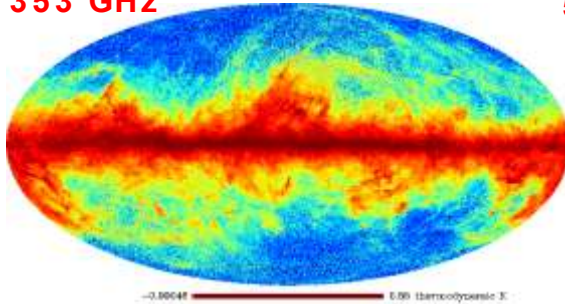
143 GHz



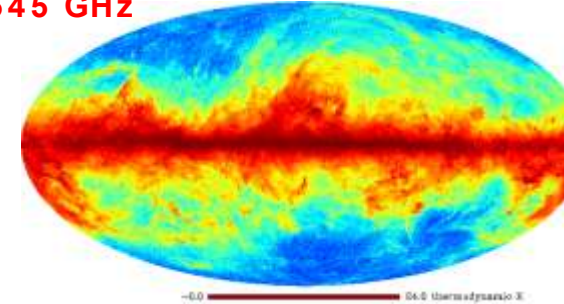
217 GHz



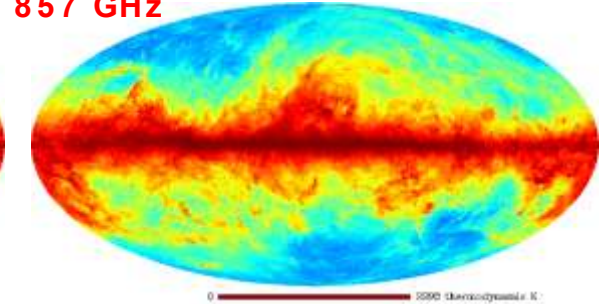
353 GHz



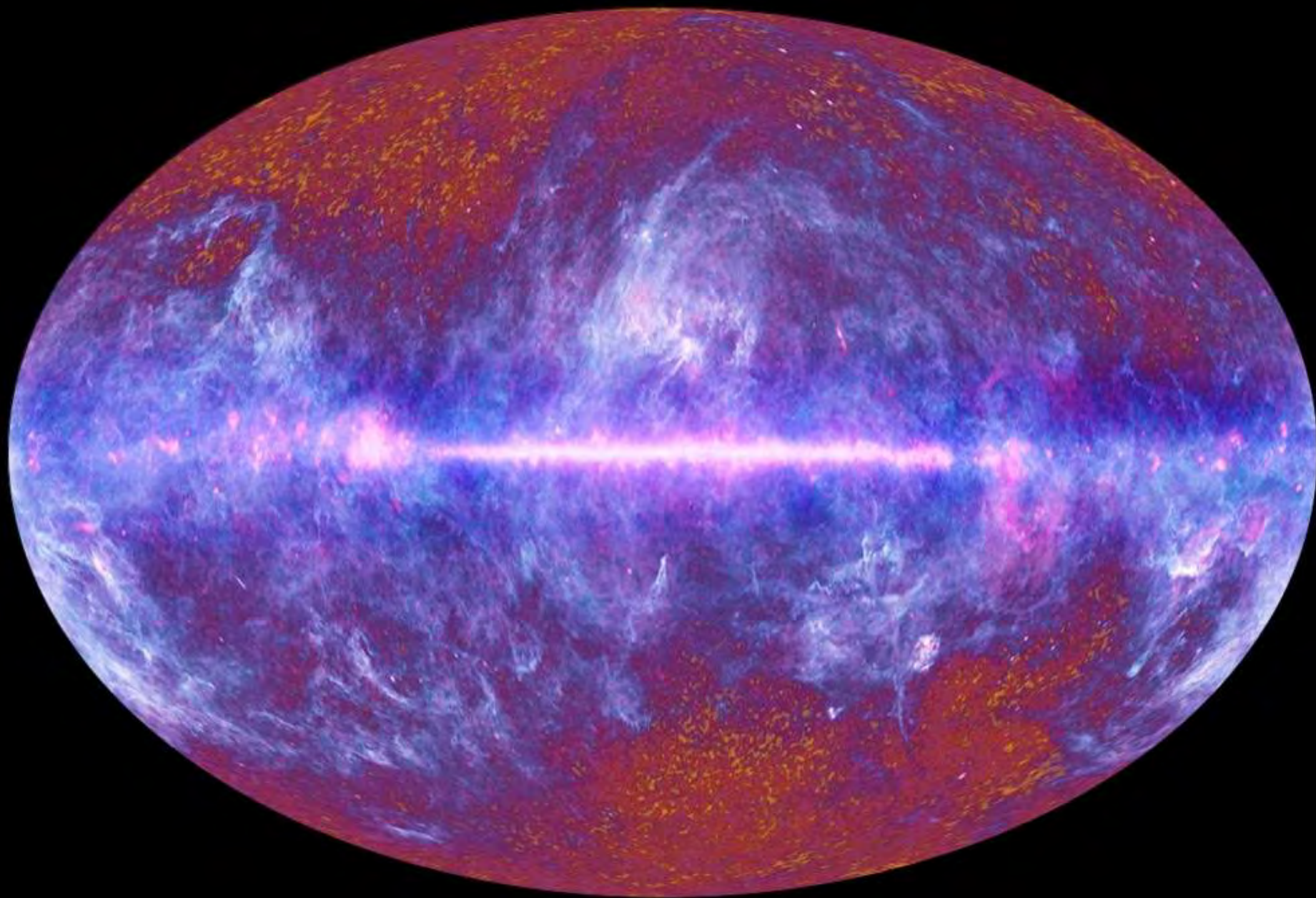
545 GHz



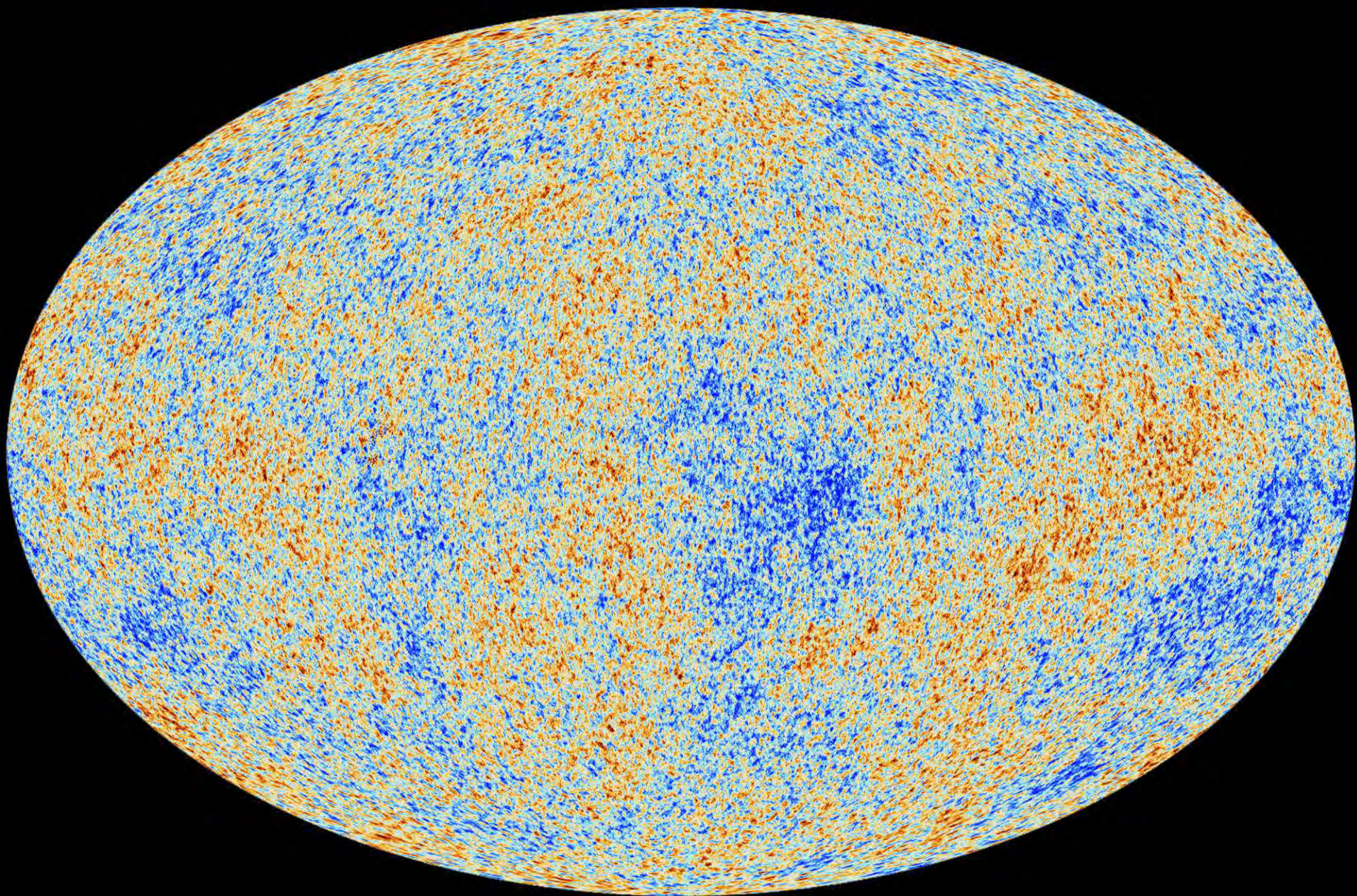
857 GHz



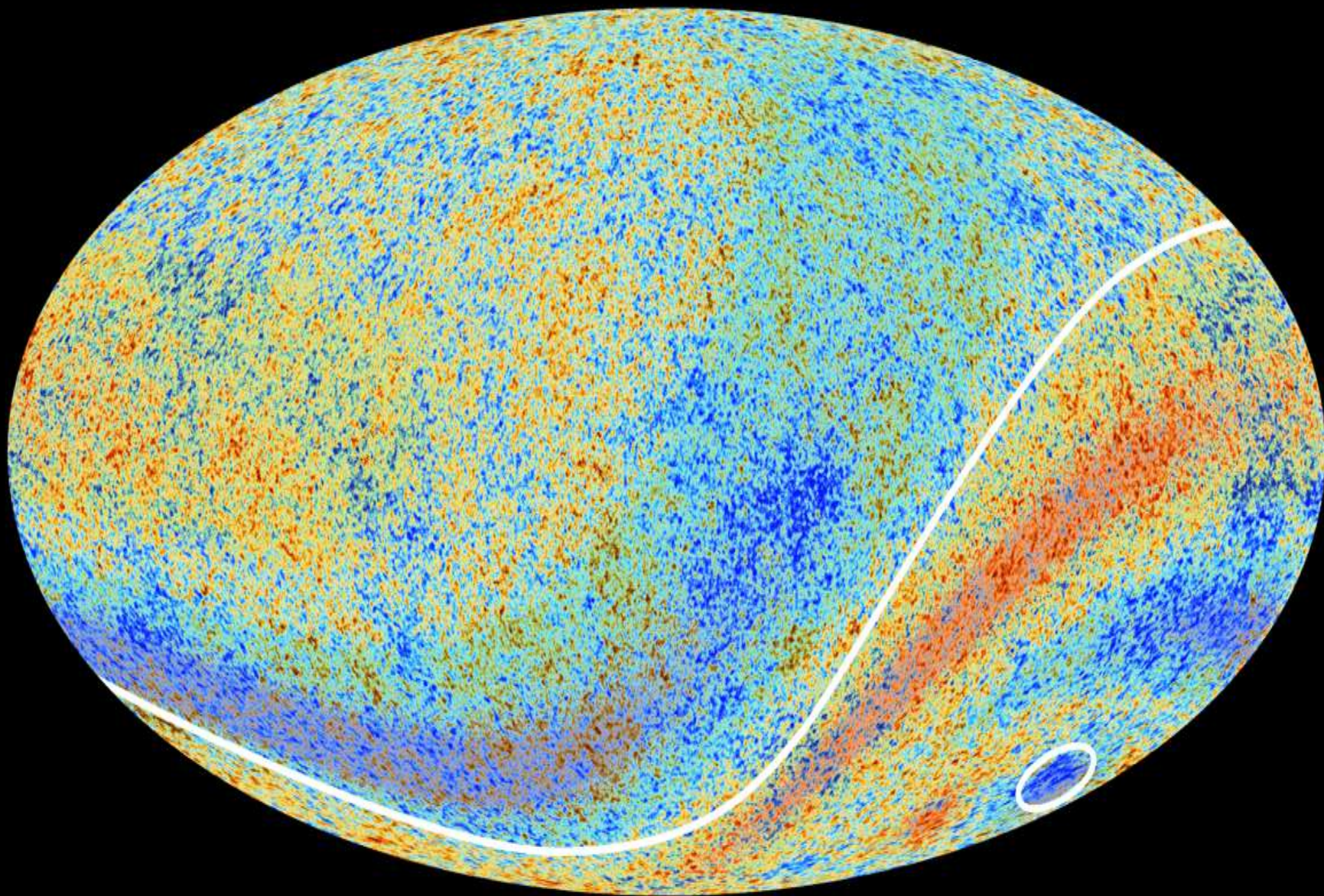
Planck, po roce (červenec 2010)



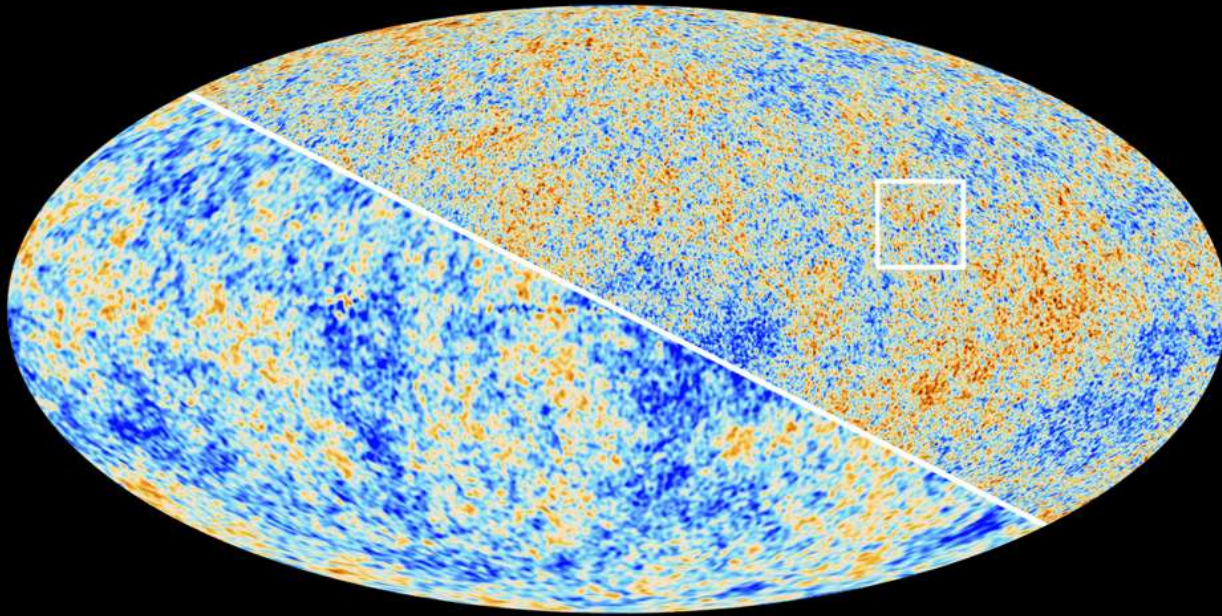
Planck (2013)



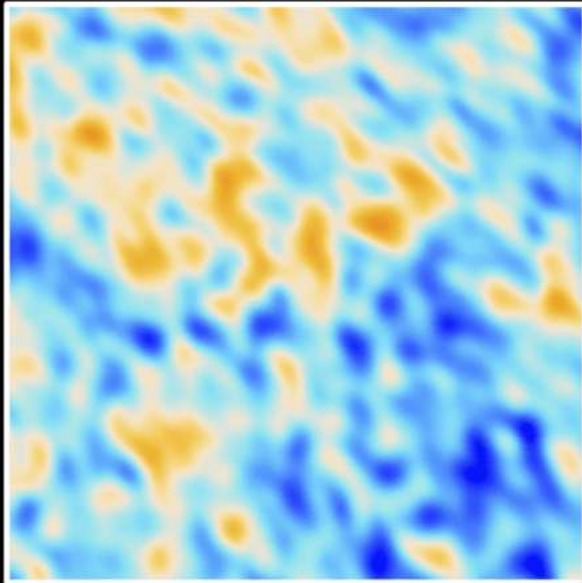
Planck (2013)



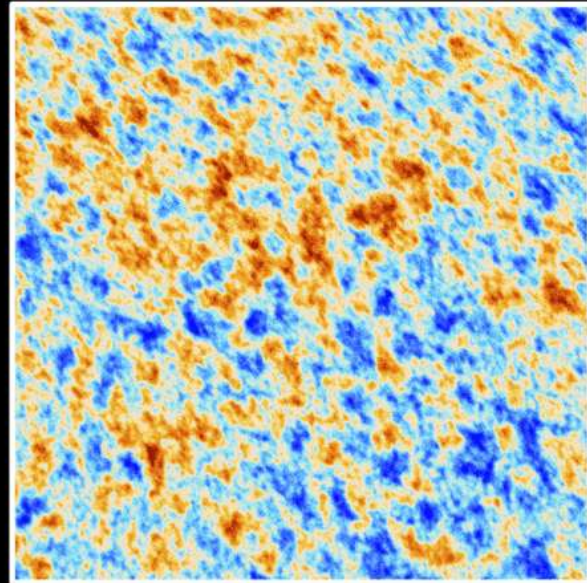
Planck (2013)



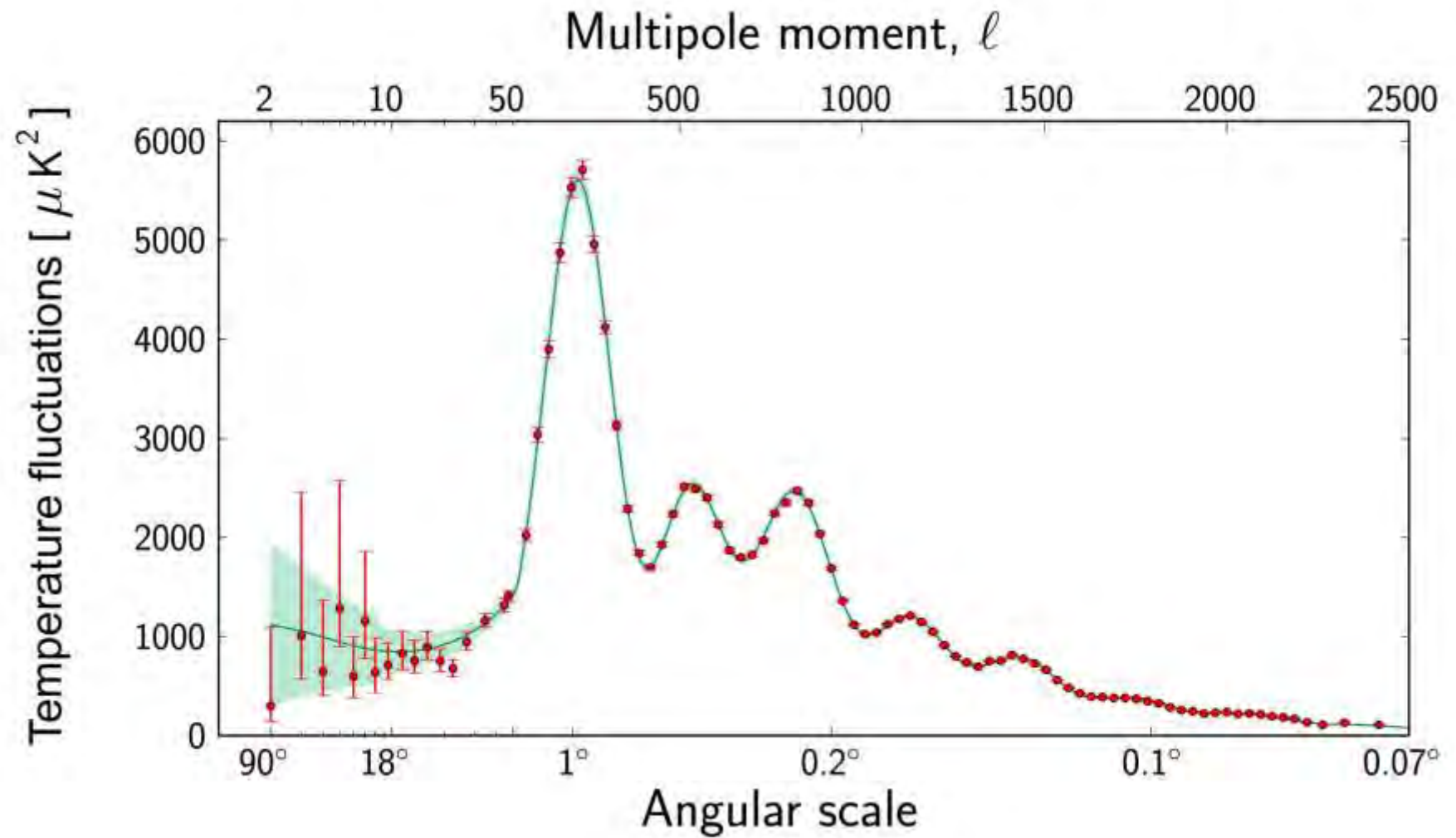
WMAP

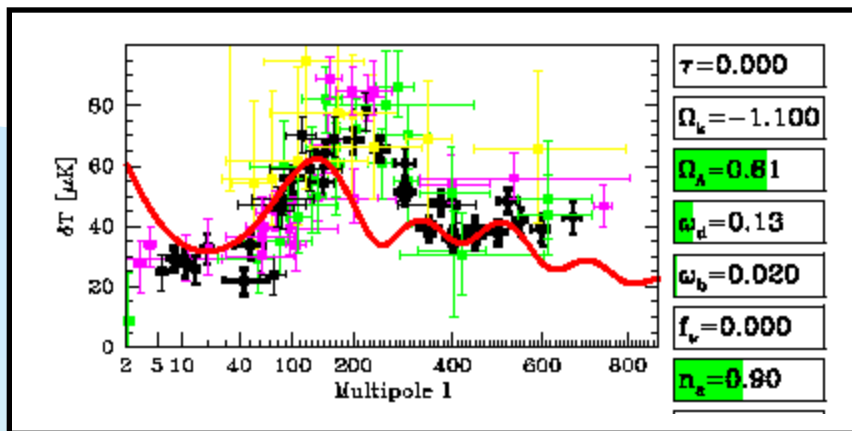


Planck

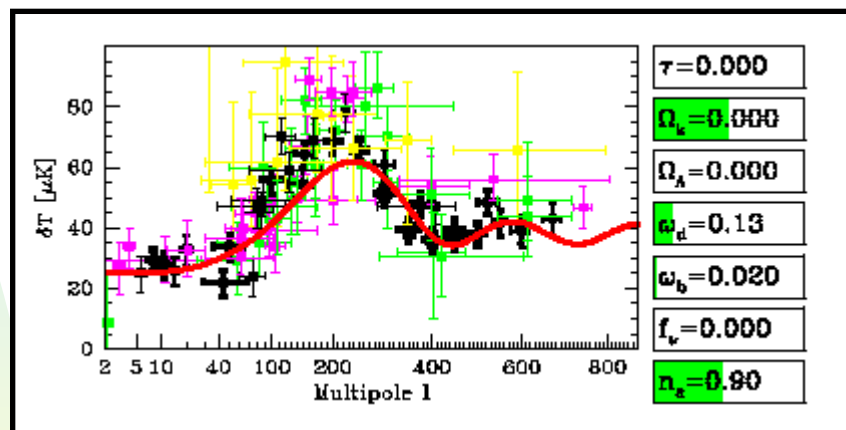


Planck (2013)



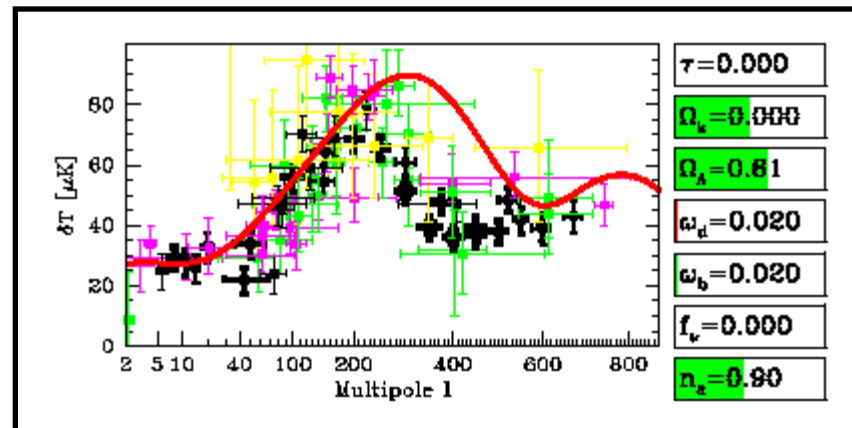


křivost



kosmologická
konstanta

skrytá hmota

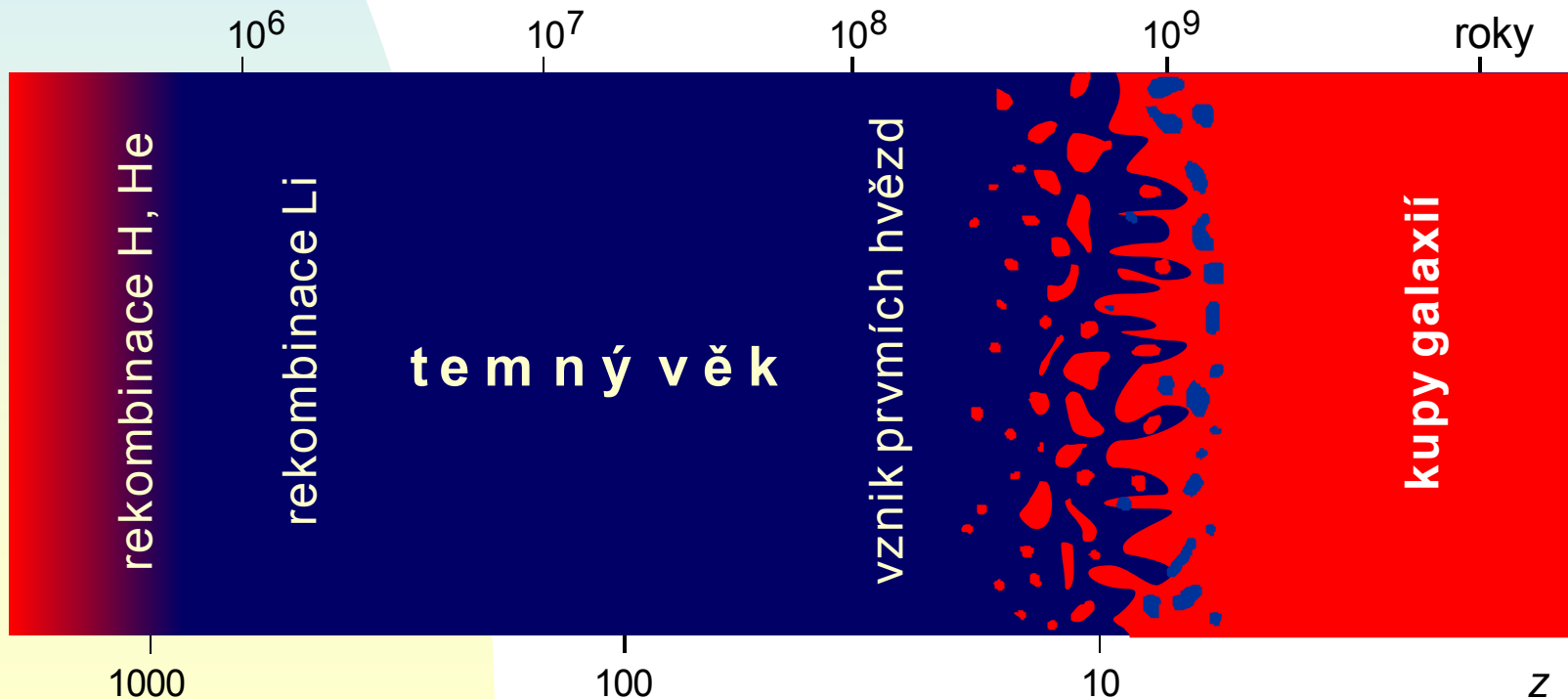


parametr	WMAP	Planck
stáří vesmíru	$13,7 \times 10^9$ let	$13,8 \times 10^9$ let
konec Velkého třesku	380 000 let	380 000 let
Hubbleova konstanta	71 km/s/MPc	67 km/s/Mpc
množství atomární látky	4 %	5 %
množství temné hmoty	23 %	27 %
množství temné energie	73 %	68 %

400 000 000 let – vznik prvních hvězd

Teplota: 200 K
Energie: 20 meV

Období překotné tvorby velmi hmotných hvězd. Ve velkém množství vznikají obří hvězdy nulté generace s velmi rychlým vývojem. Již nikdy v budoucnu nebude produkce hvězd natolik intenzivní a jejich životní cyklus tak krátký. Látka je znovu ionizována pronikavým zářením vzniklých hvězd, končí *temný věk* vesmíru.



kvantové
fluktuace

reliktní
záření

první
hvězdy

zrychlená
expanze

éra
záření

temný
věk

tvorba hvězd,
galaxií, planet, ...



COBE



WMAP



Planck

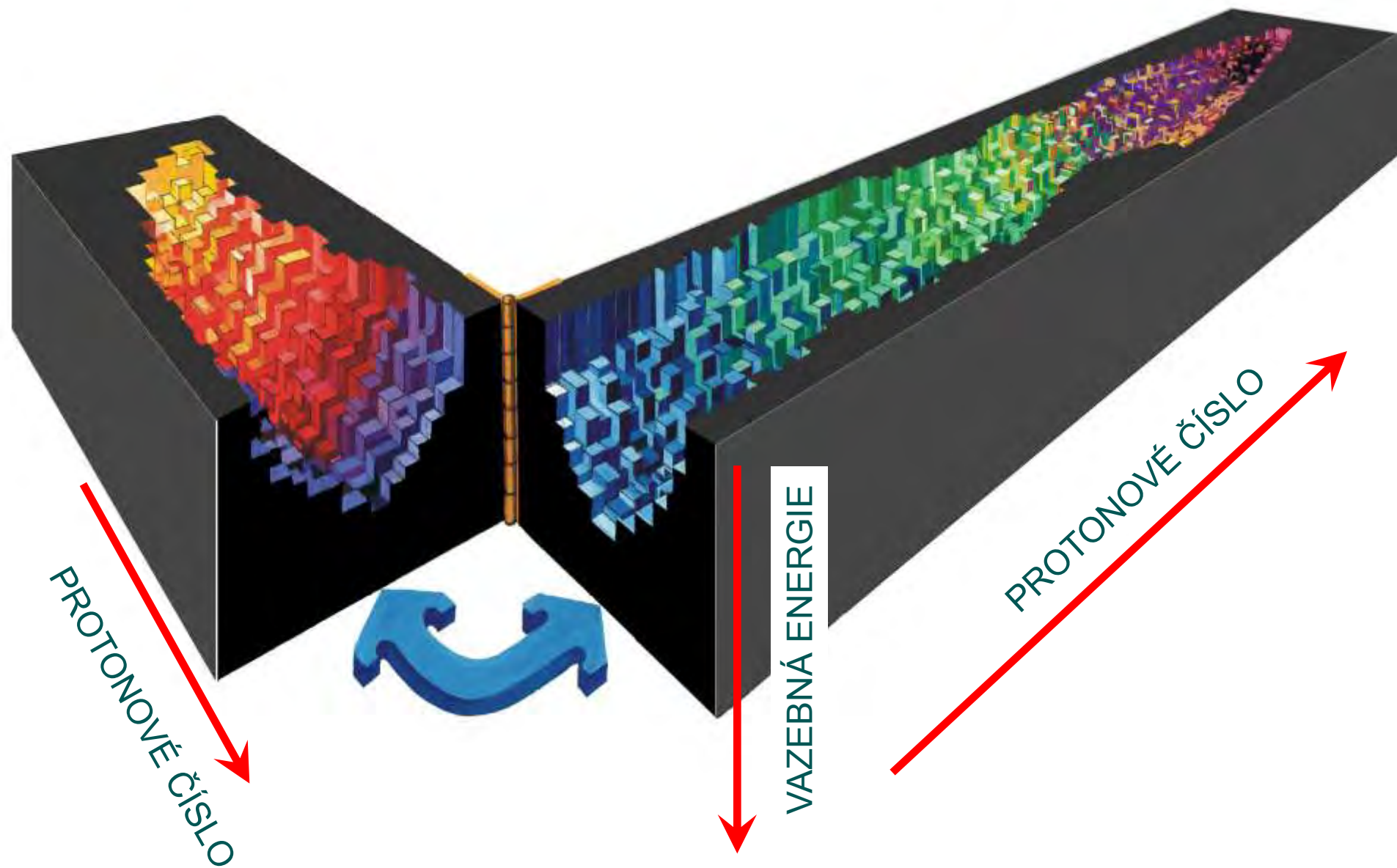
éra látky

éra temné energie

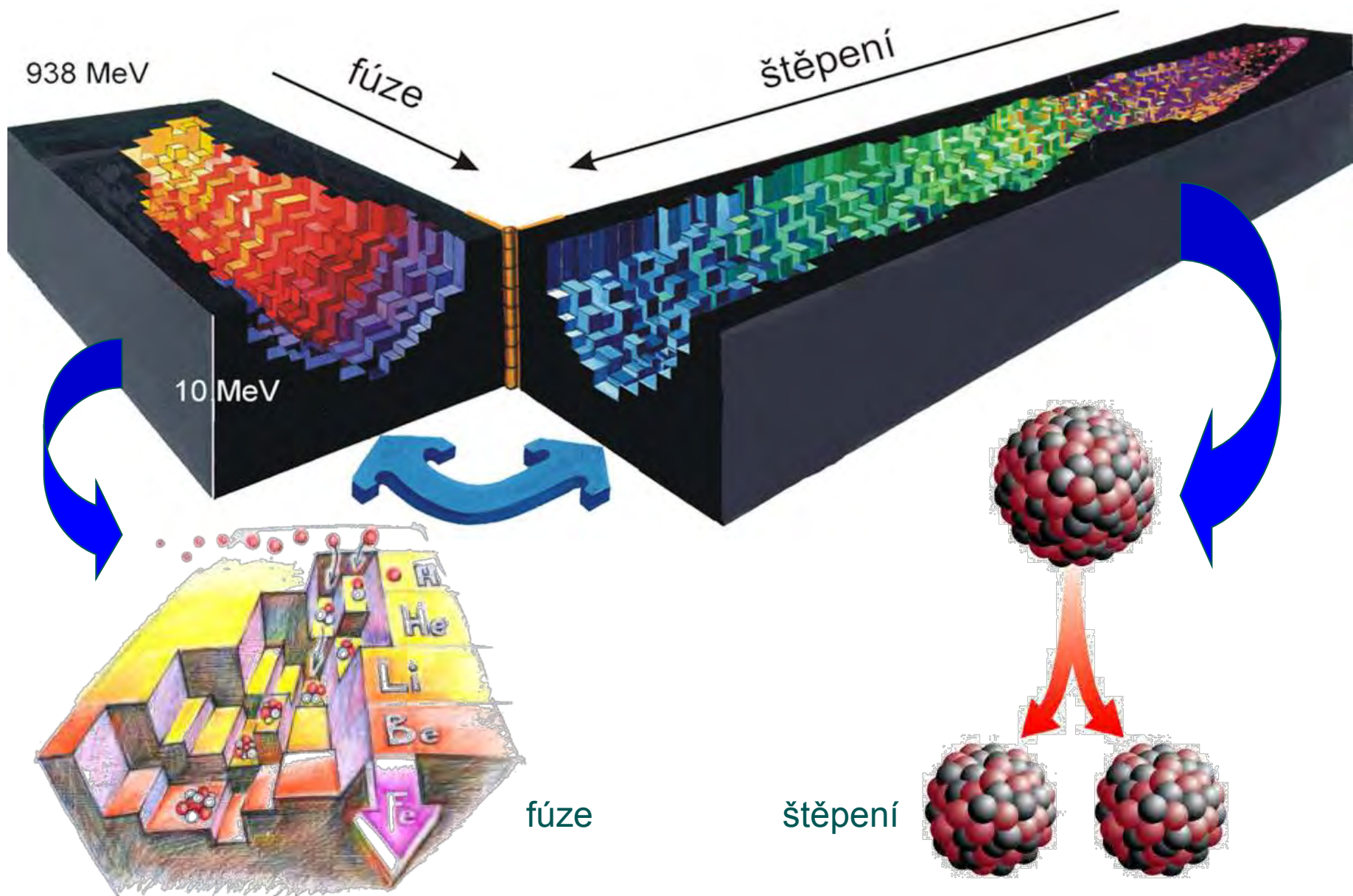
13,7 miliardy let existence vesmíru



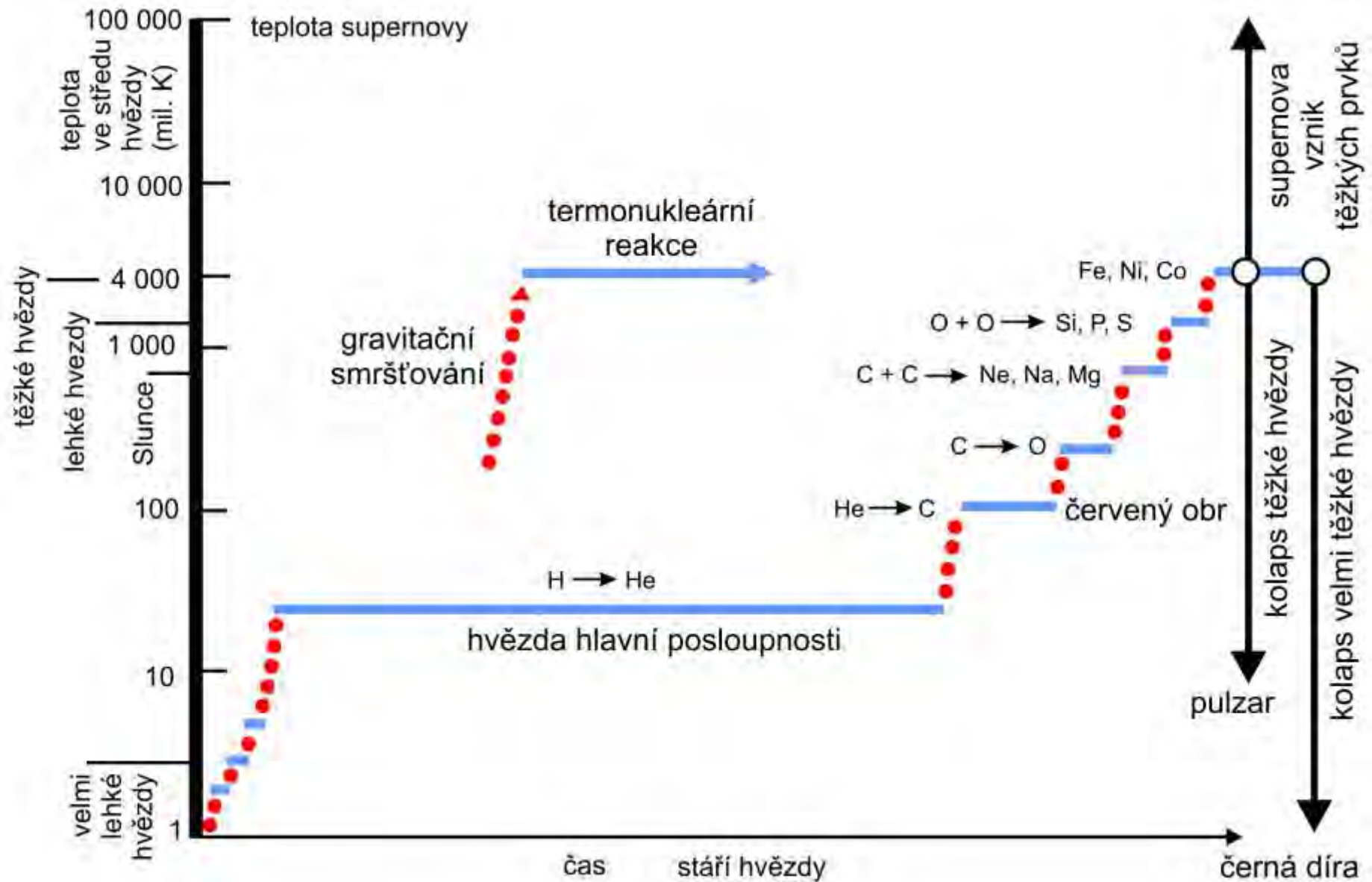
ÚDOLÍ STABILNÍCH JADER



FÚZE A ŠTĚPENÍ



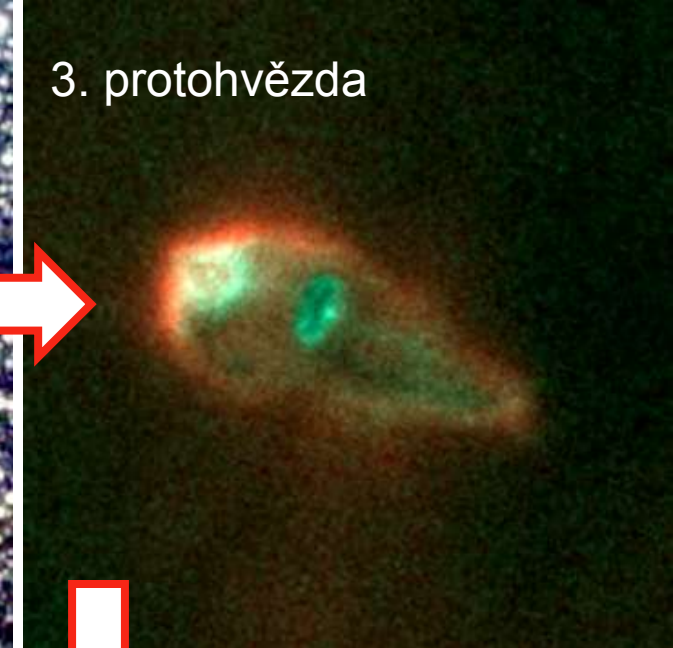
FÚZE VE HVĚZDÁCH



VZNIK SLUNCE

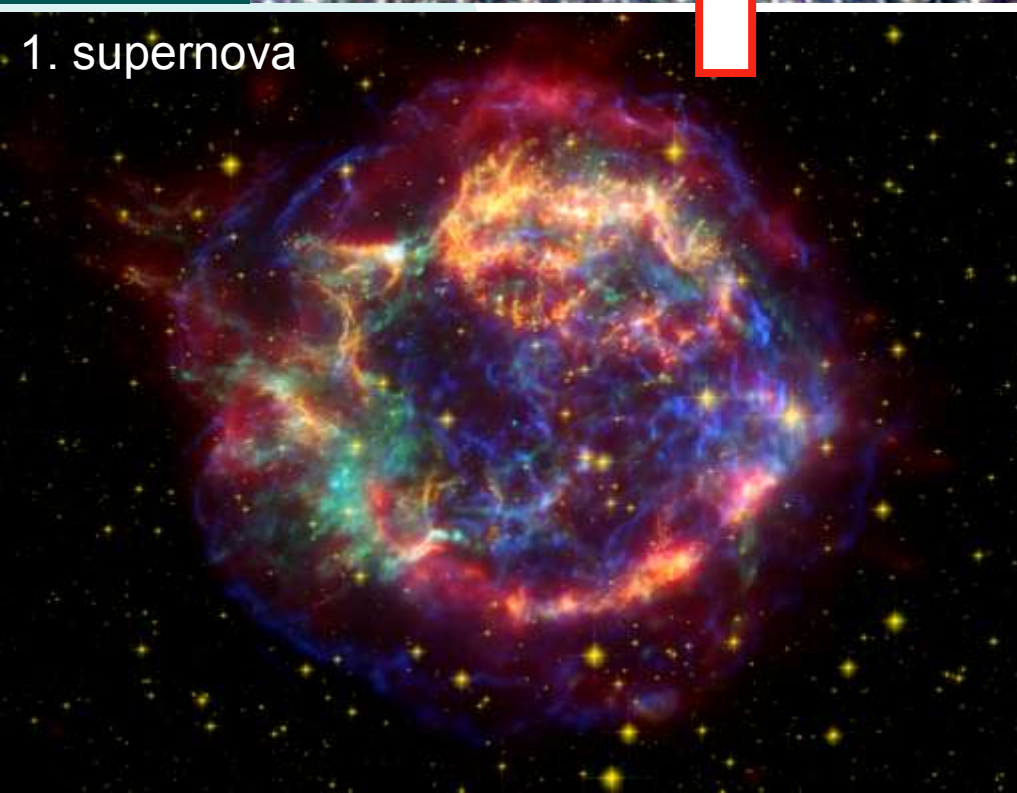


3. protohvězda



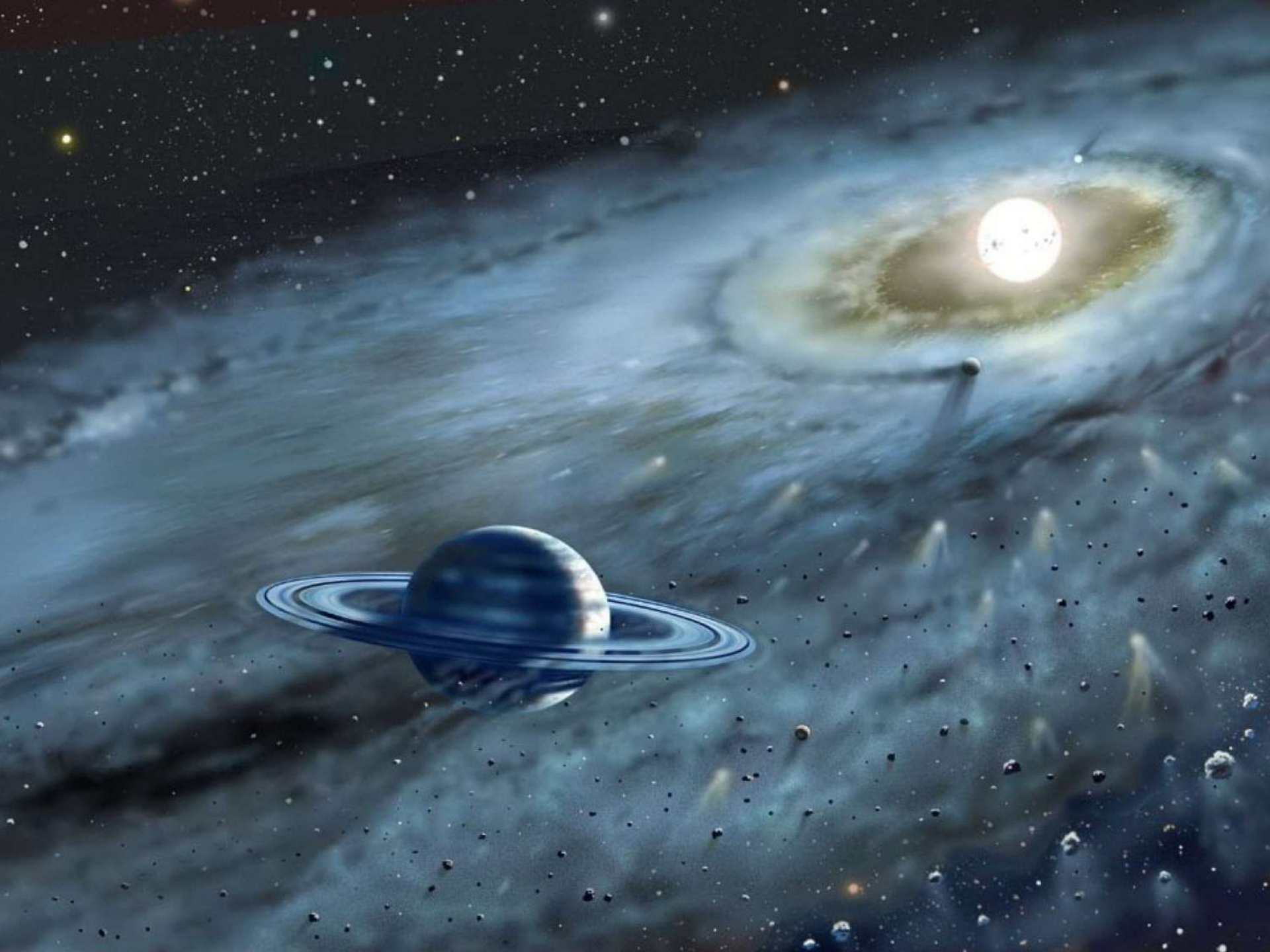
2. globule

1. supernova



4. protoplanetární disk





MLHOVINY – ZDROJE OBŘÍCH MOLEKUL

planetární mlhovina

Malý Magellanův
oblak

fullereny

