

Standardní model a kvark-gluonové plazma

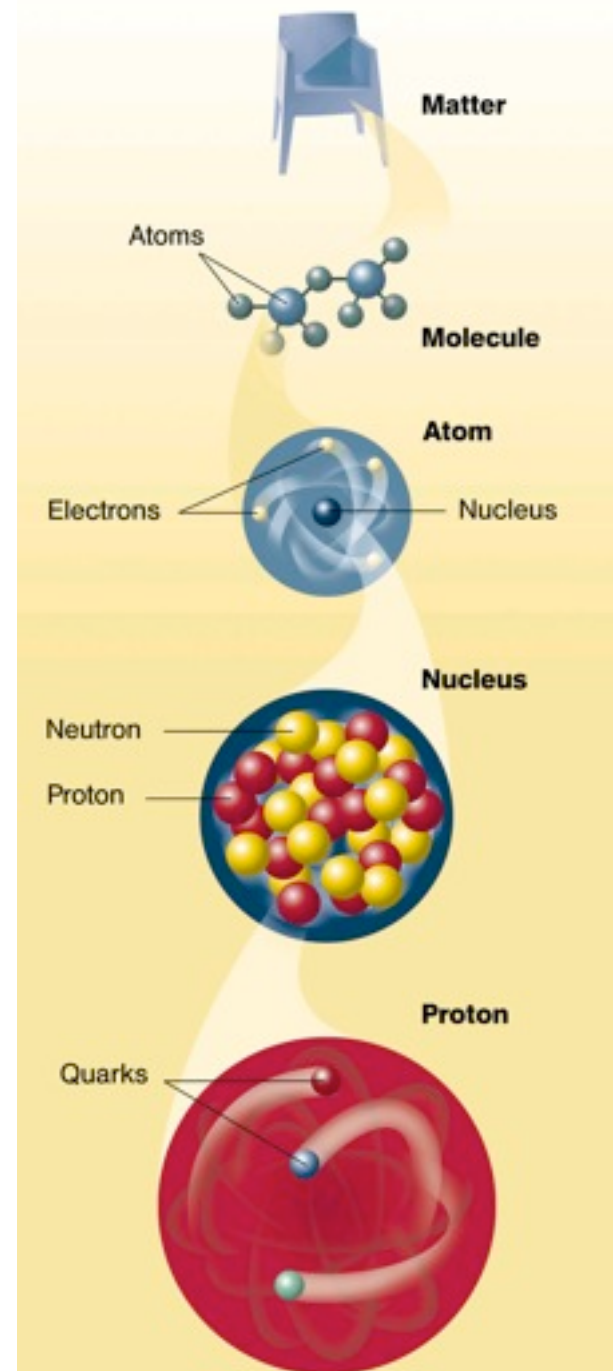
Boris Tomášik

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT

International Particle Physics Masterclasses 2012
7.3.2012

Struktura hmoty

- molekuly
- atomy
- jádra a **elektrony**
- **protony a neutrony**



Podivné V-částice, částicová ZOO

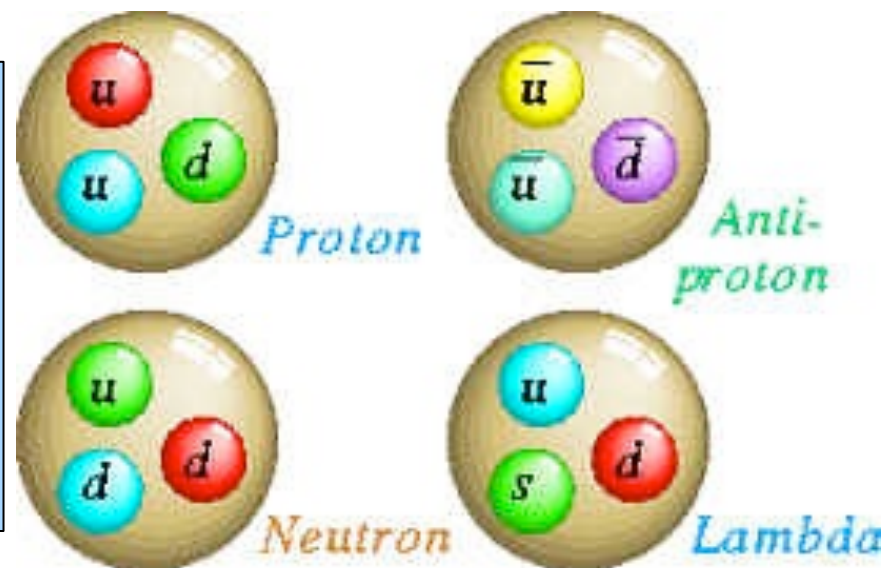
- v 50 letech:
podivně stabilné nové
částice
- částice K a Λ
- částicová ZOO:
 ρ , n , π , Σ , Ξ , Δ , η , Φ , Σ^* , ...

Tohle nevypadá elementárně!



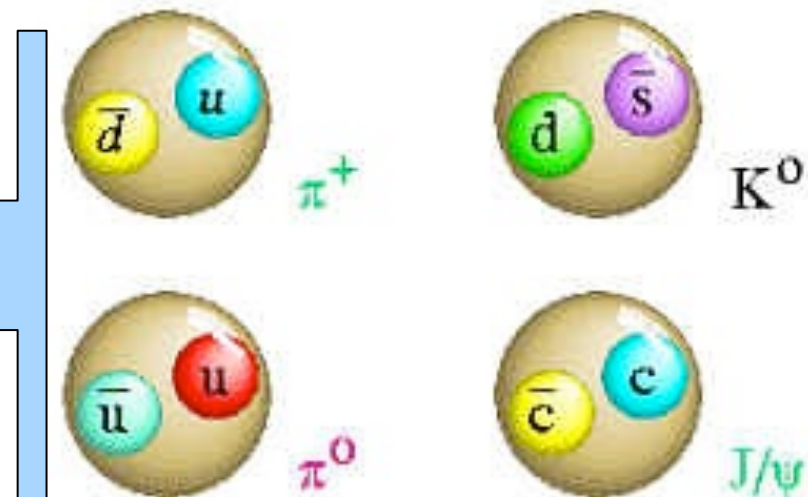
Hadrony se skládají z kvarků

baryony



Kvarky: up, down, strange
(charm, bottom, top)
spin 1/2, náboj 2/3, -1/3
antikvarky

mezony

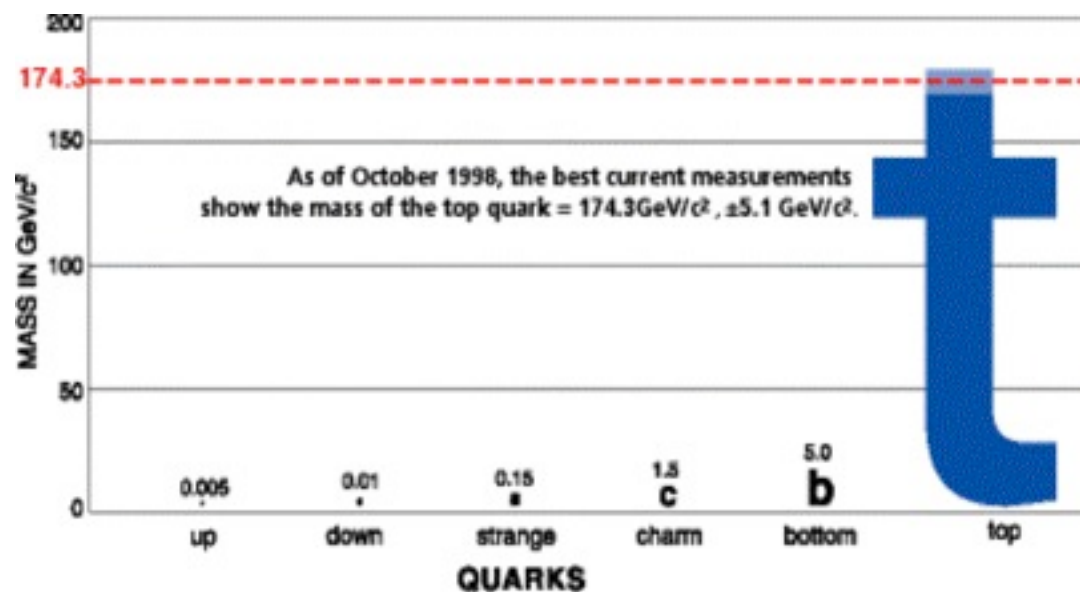


Těžší hadrony, těžší kvarky

Tři kvarkové rodiny:

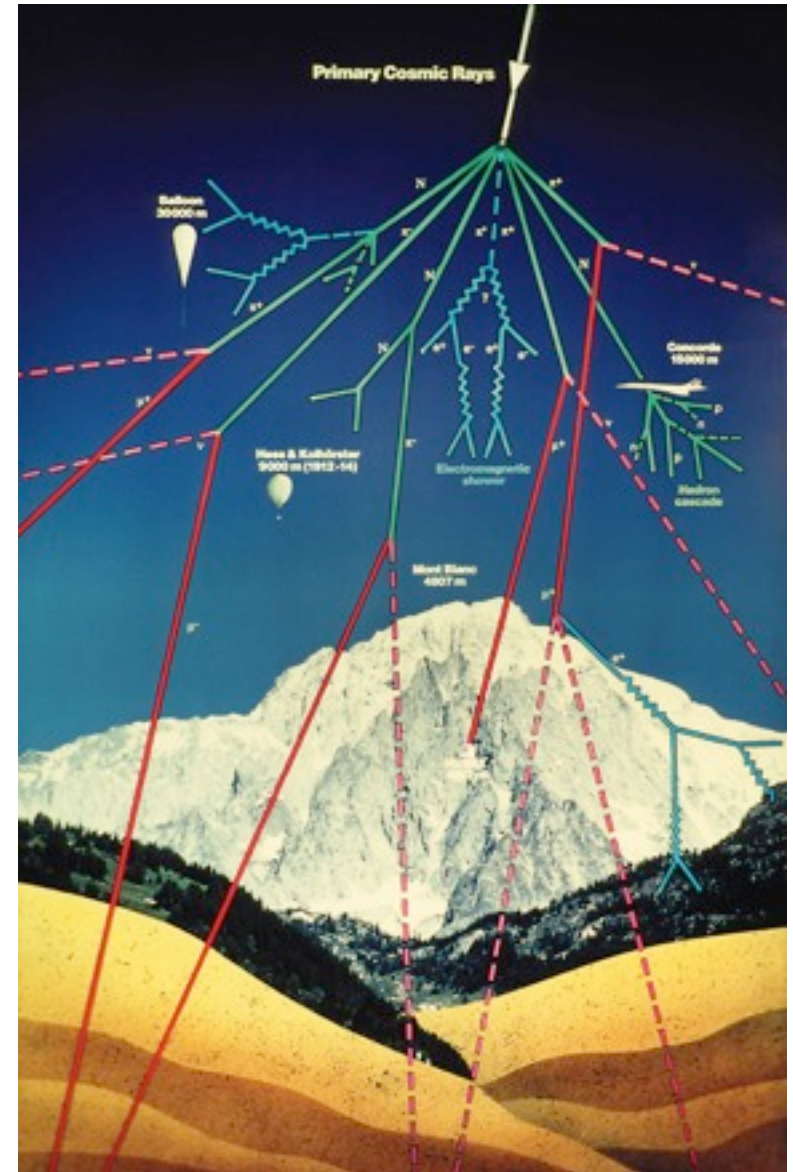
up charm bottom
down strange top

ke každému je taky antikvark

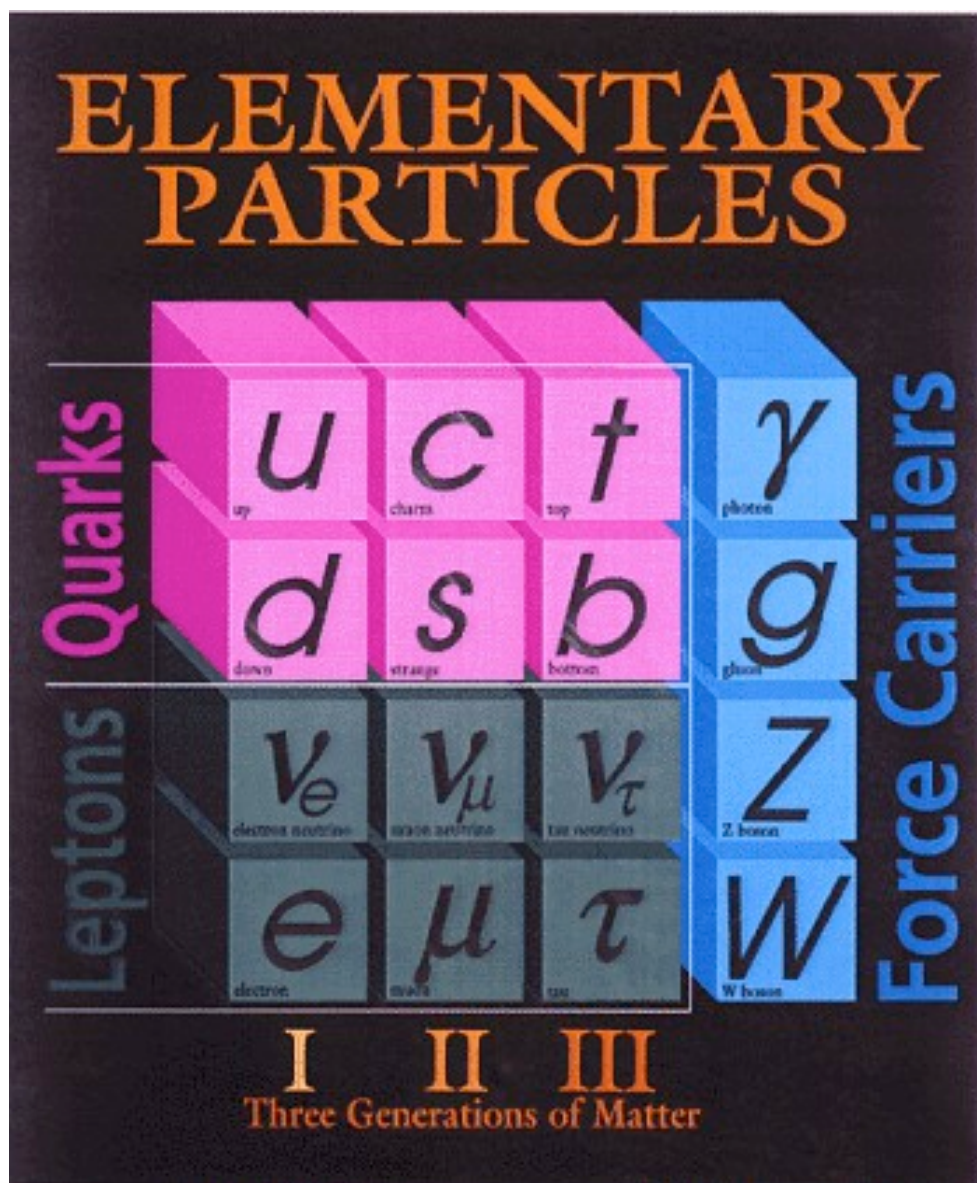


Leptony (lehké částice)

- elektron
elementární částice
žádná struktura
bodová částice
- mion – kosmické záření
slabě interagující,
na povrchu $1/\text{cm}^2/\text{min}$
(rozpadá se)
- tau – lepton
(rozpadá se rychle)



Shrnutí: standardní model



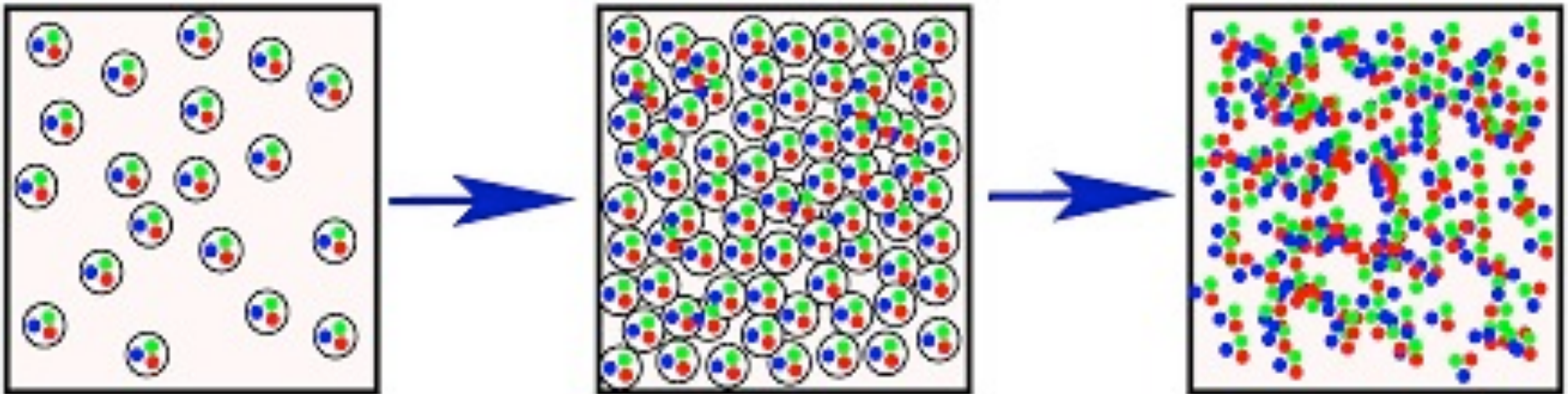
+ Higgsův boson
(nebo něco jiné)
=> LHC

(supersymetrie?
Superstruny?, ...)

tmavá energie
a tmavá hmota: 96%
zatím neznámé

Vaření jaderné hmoty

- zvyšováním teploty se zvyšuje kinetická energie
- při srážkách jsou produkovány nové částice
- „překryv“ částic:
osvobození kvarků → kvark-gluonové plazma



Kritické podmínky

Naivní odhad:

vnitro protonu

kritická hustota energie

$$\varepsilon = \frac{mc^2}{V} = 10^{32} \text{ J.m}^{-3}$$

$$T_c = 150 \text{ MeV} \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ K}$$

pro porovnání:

1 cm³ QGP = 10¹³ TWh

roční produkce CZ = 80 TWh (2009)

QGP v přírodě: prapolévka

Dá se v přírodě najít kvark-gluonové plazma?

Ano: **v raném vesmíru**

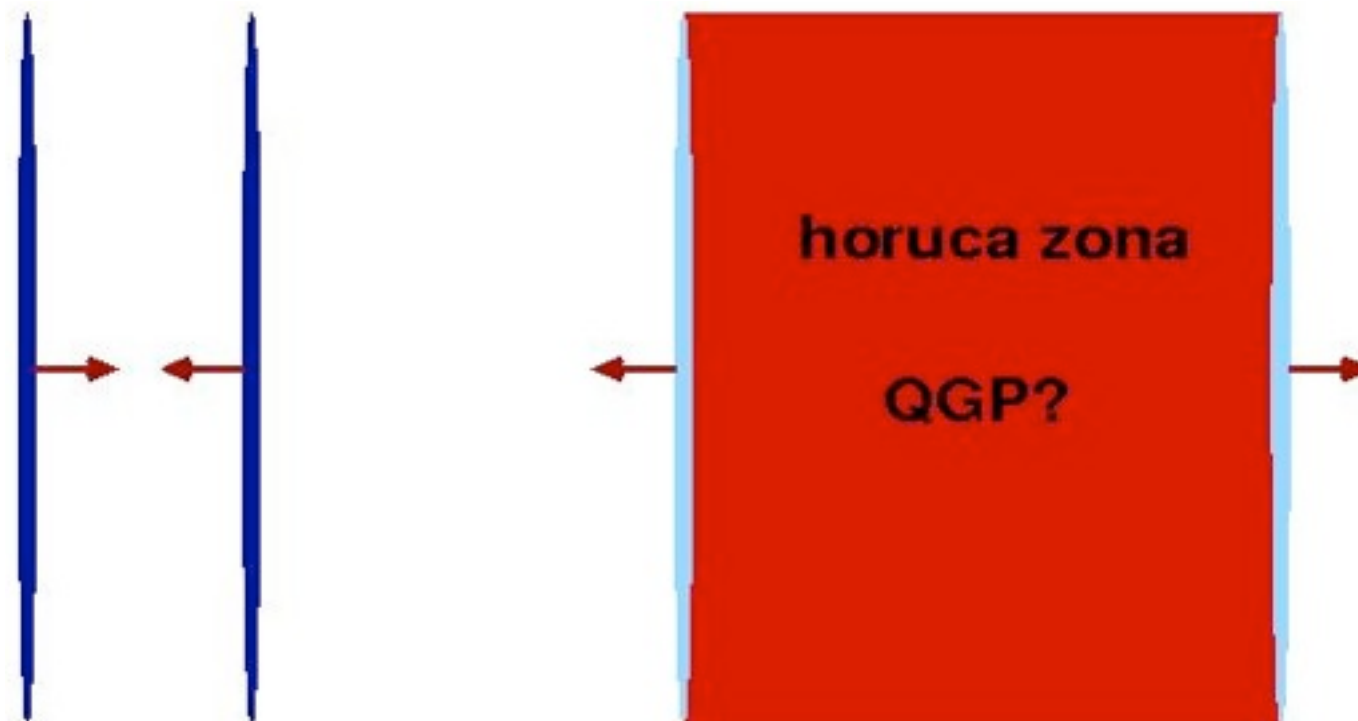
souvis času a teploty v expandujícím vesmíru

$$T^4 = \frac{90}{16\pi^2 g_{\text{eff}}} \frac{h^2 c^4 M_{\text{Pl}}^2}{k_B^4} \frac{1}{t^2}$$

$$t = 10 - 100 \mu\text{s}$$

Jak udělat QGP?

Ve srážkách těžkých atomových jader



QGP v laboratoři: jádrové srážky



Simulace srážky Au+Au při 200 GeV na nukleon (urychlovač RHIC v BNL)

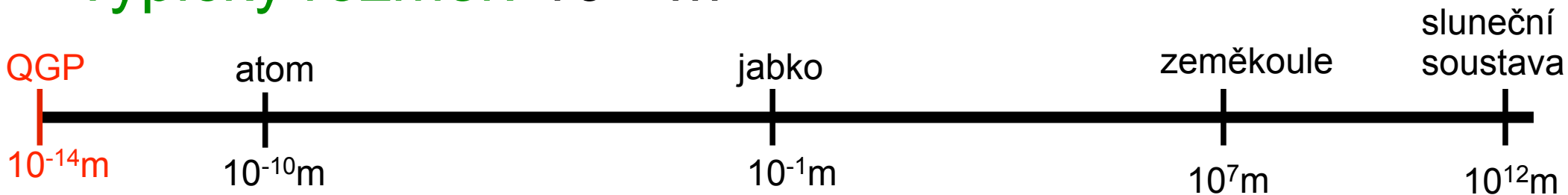
kinetický výpočet: kaskádový generátor UrQMD (jen hadronová fáze, žádné plazma)
animace: Jeffery Mitchell (Brookhaven National Laboratory)

Typické energie, velikosti a časy

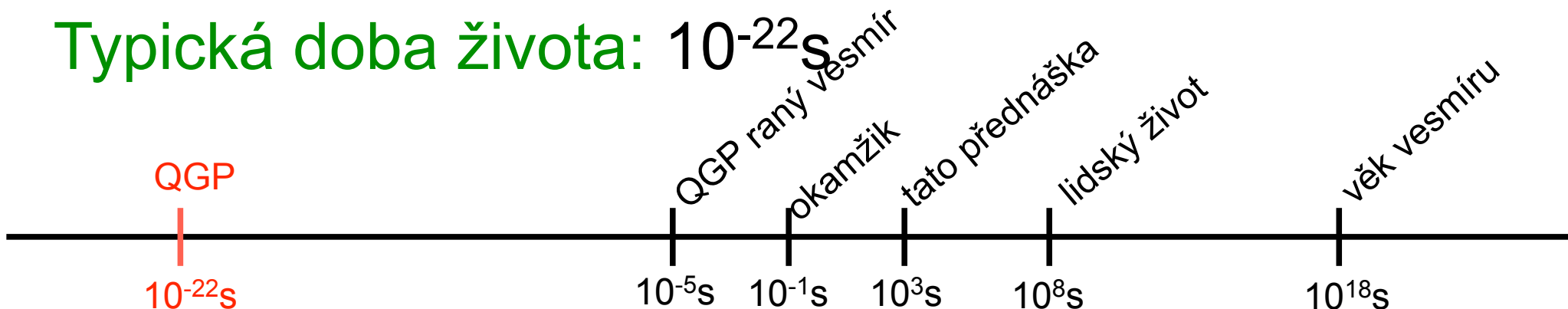
Energie srážky

RHIC: 200 AGeV $\approx 6,3 \mu\text{J}$, LHC: 5,5 AGeV $\approx 0,2 \text{ mJ}$

Typický rozměr: 10^{-14}m



Typická doba života: 10^{-22}s



Co si zapamatovat

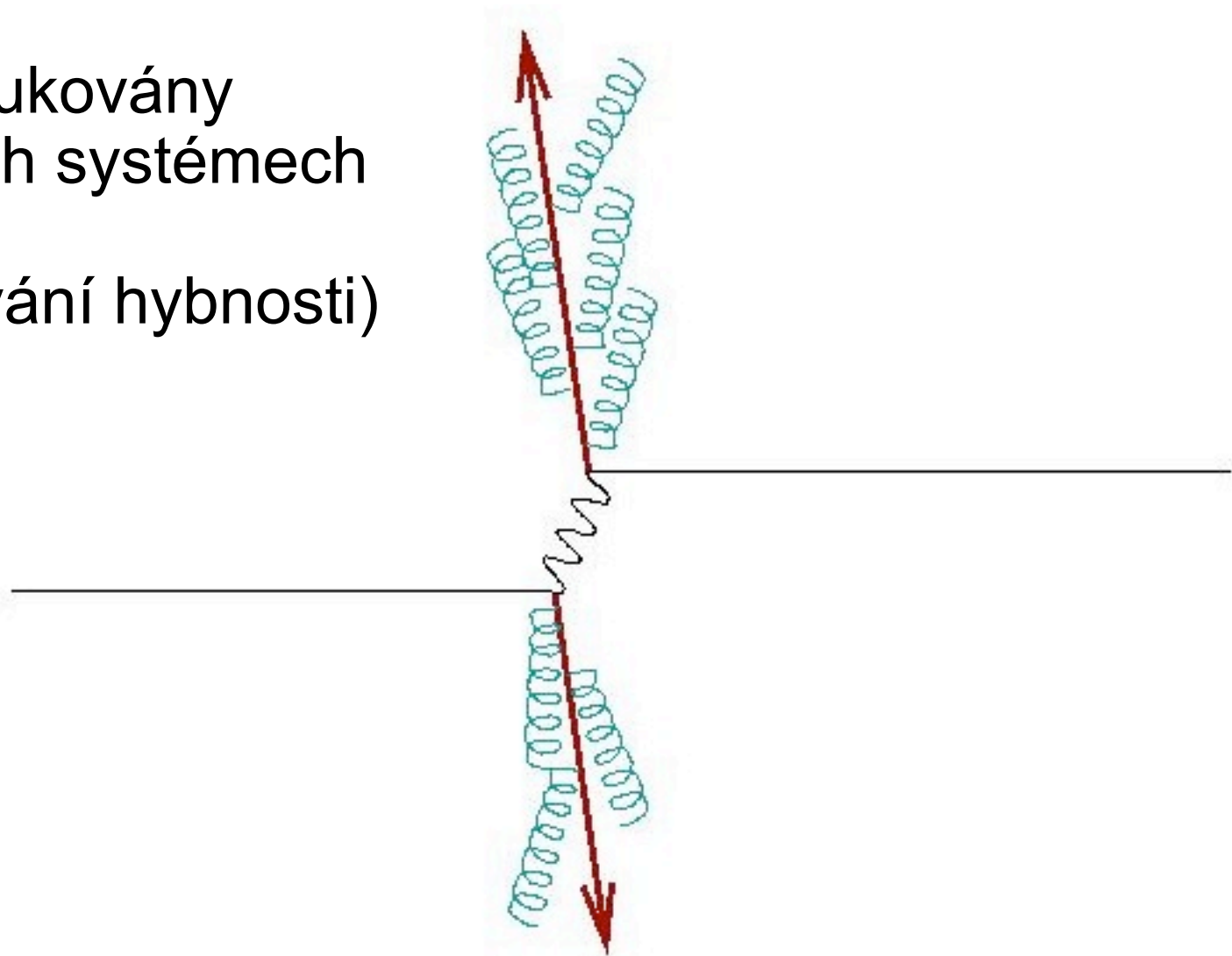
Když se hmota zahřeje na extrémně vysokou teplotu (mnohem více než ve středu Slunce), pak protony a neutrony roztají na kvarky

V jaderných srážkách na LHC a RHIC byla vyrobena taková hmota s kvarky v **osvobozeném stavu**

Jedním se znaků produkce QGP je zvýšená produkce podivných hadronů.

Potlačení jetů

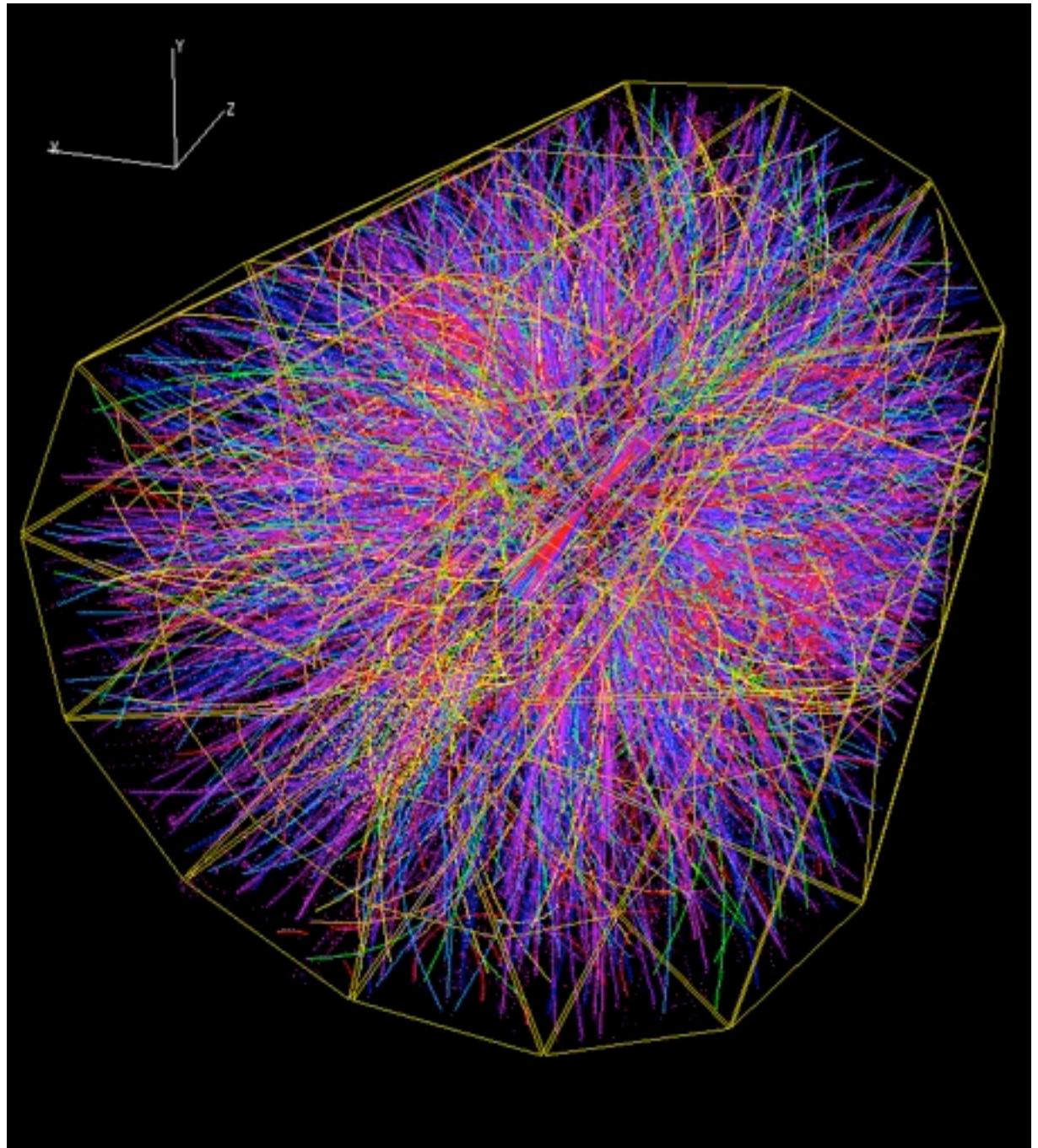
Jety jsou produkovány
v jednoduchých systémech
vždy ve dvojici
(zákon zachování hybnosti)



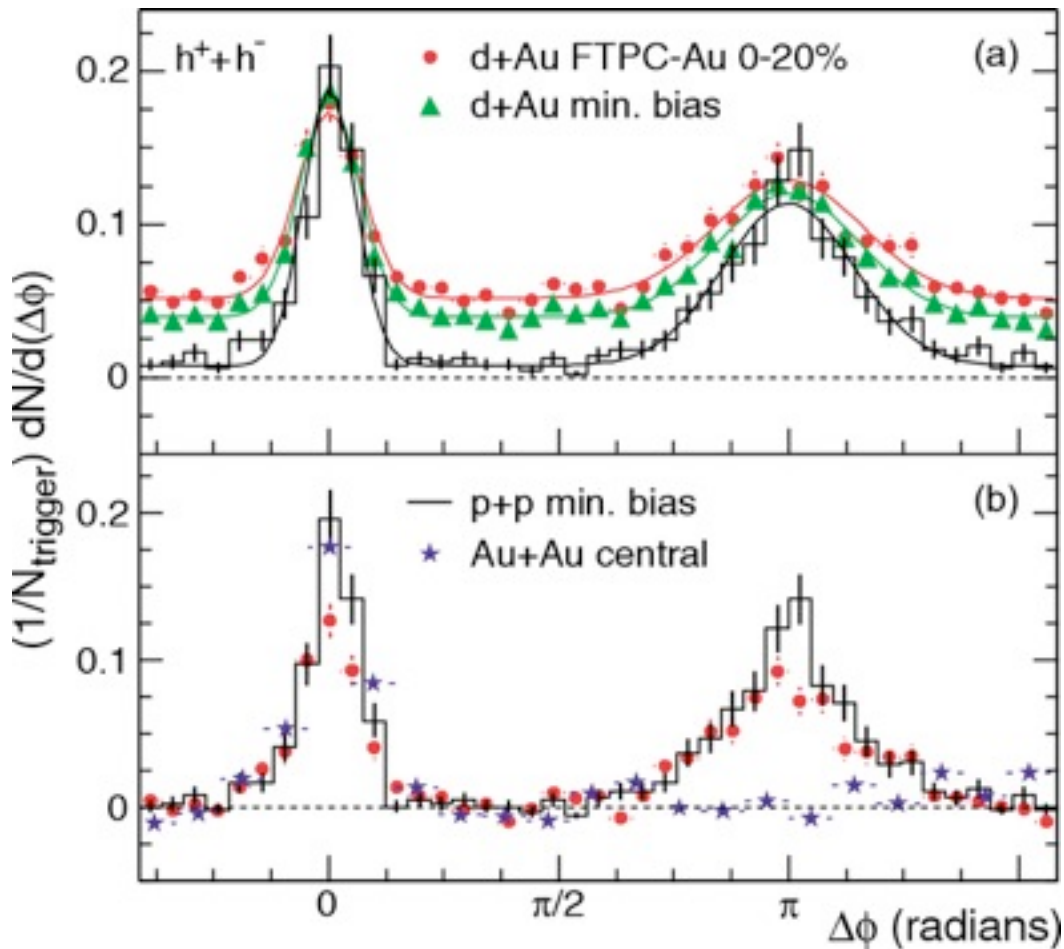
Jety ve srážce e^+e^-



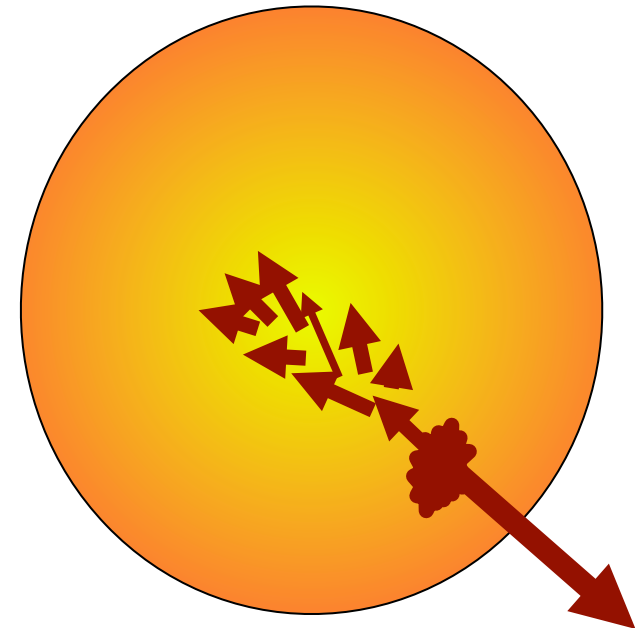
Jety ve srážce Au+Au?



Vyhasnutí jetu na druhé straně



[STAR Collaboration, PRL **91** (2003) 072304]

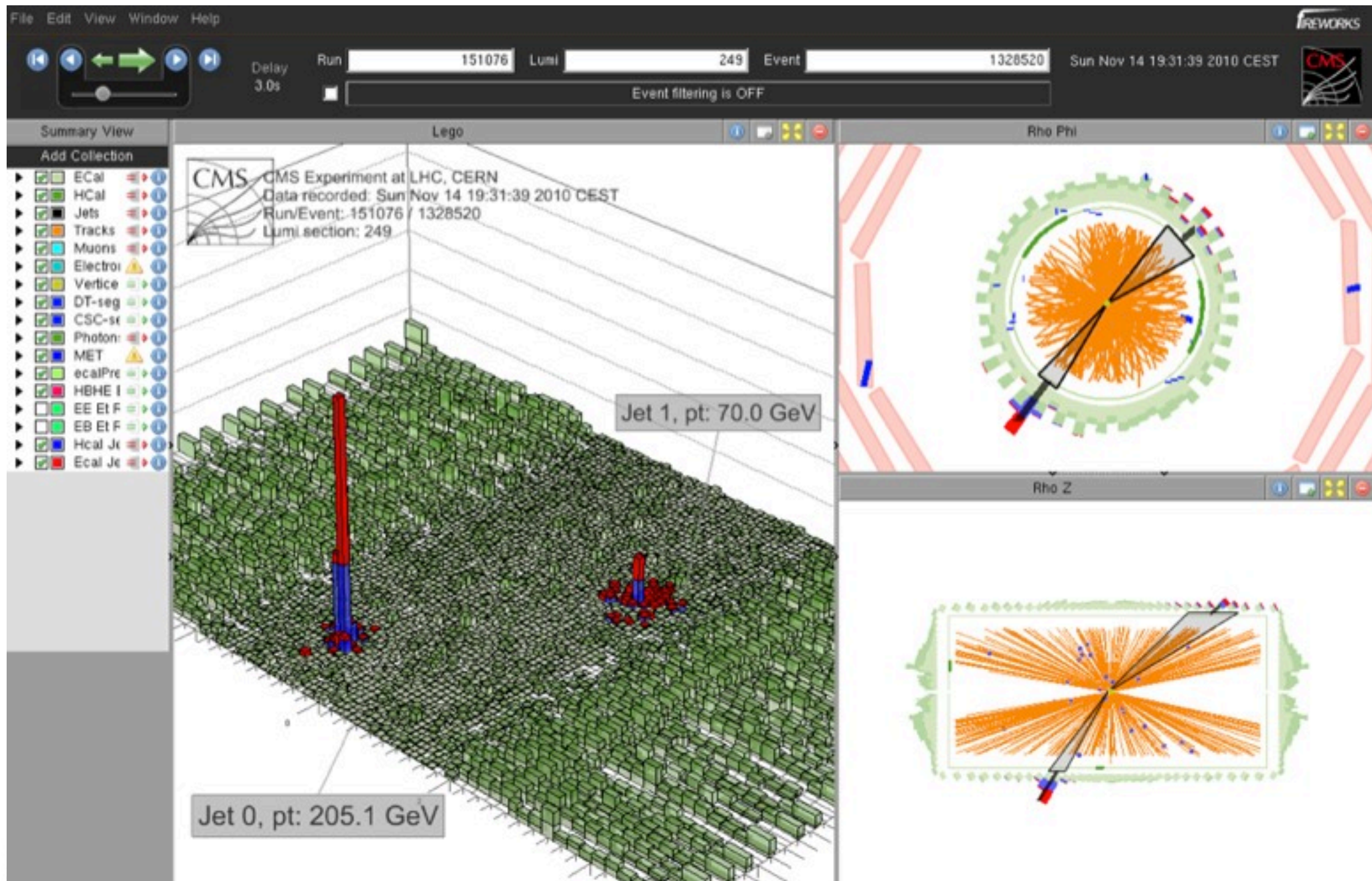


Druhý jet je pohlcen v médiu

**RHIC produkuje médium
požírající jety!**

Jediné takové známe médium je Kvark-gluonové plazma.

Výsledky LHC/CMS: silné potlačení jetů



Produkce podivnosti

v kvark-gluonovém plazmatu je produkce podivných částic energeticky levnější než v plynu hadronů

Prahové energie:

Hadronový plyn: 530 MeV $\pi + N \rightarrow \Lambda + K$

QGP: 200-300 MeV $g + g \rightarrow s + \bar{s}$

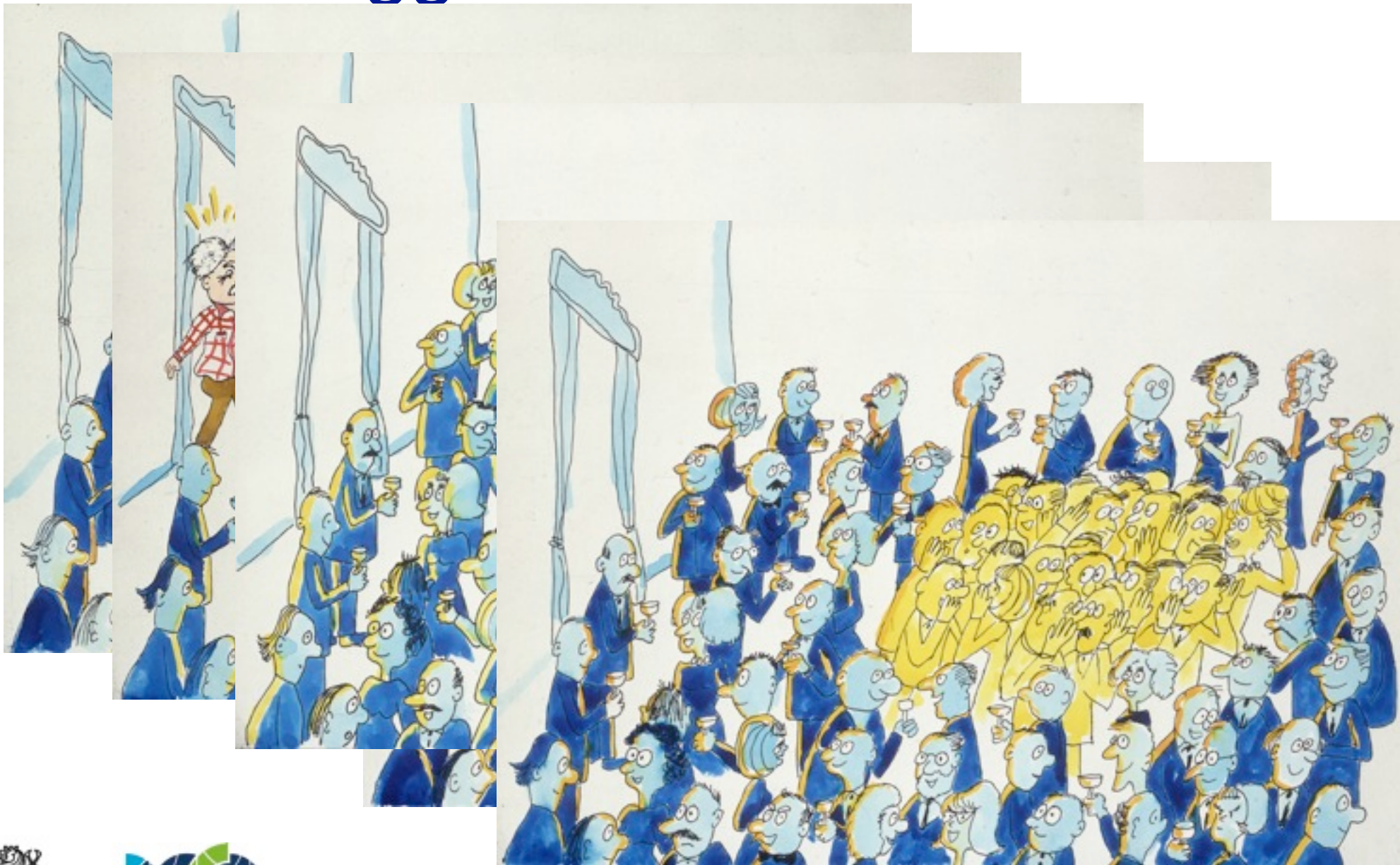
Je potřeba měřit produkci podivných částic ve srážkách jaderných a porovnávat ji s referenčními hodnotami se srážek protonů

Shrnutí

LHC a RHIC produkuje **kvark-gluonové plazma**.

Vyrábíme malé rané vesmíry! \Rightarrow **Malé třesky**

Bonus: Higgsův boson



Bonus: Hledání Higgsovo bosonu

