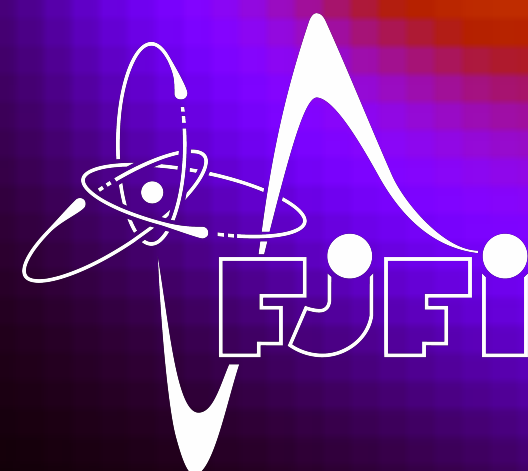


Kvarky, ktoré tečú

Boris Tomášik

*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica*

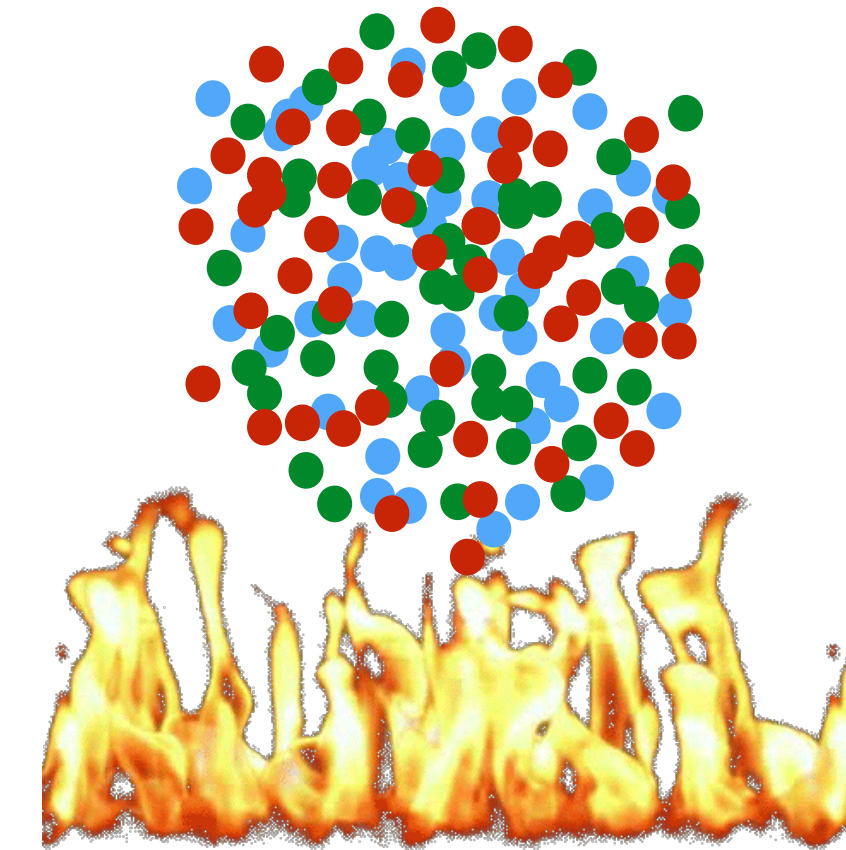


Atómové jadro v extrémnych podmienkach



extrémne vysoký tlak
extrémne vysoká hustota častíc
extrémne vysoká hustota energie

Neutrónové hviezdy



extrémne vysoká teplota
extrémne vysoká hustota (nových) častíc
extrémne vysoká hustota energie

Raný vesmír

Kvarkovo-gluonová plazma

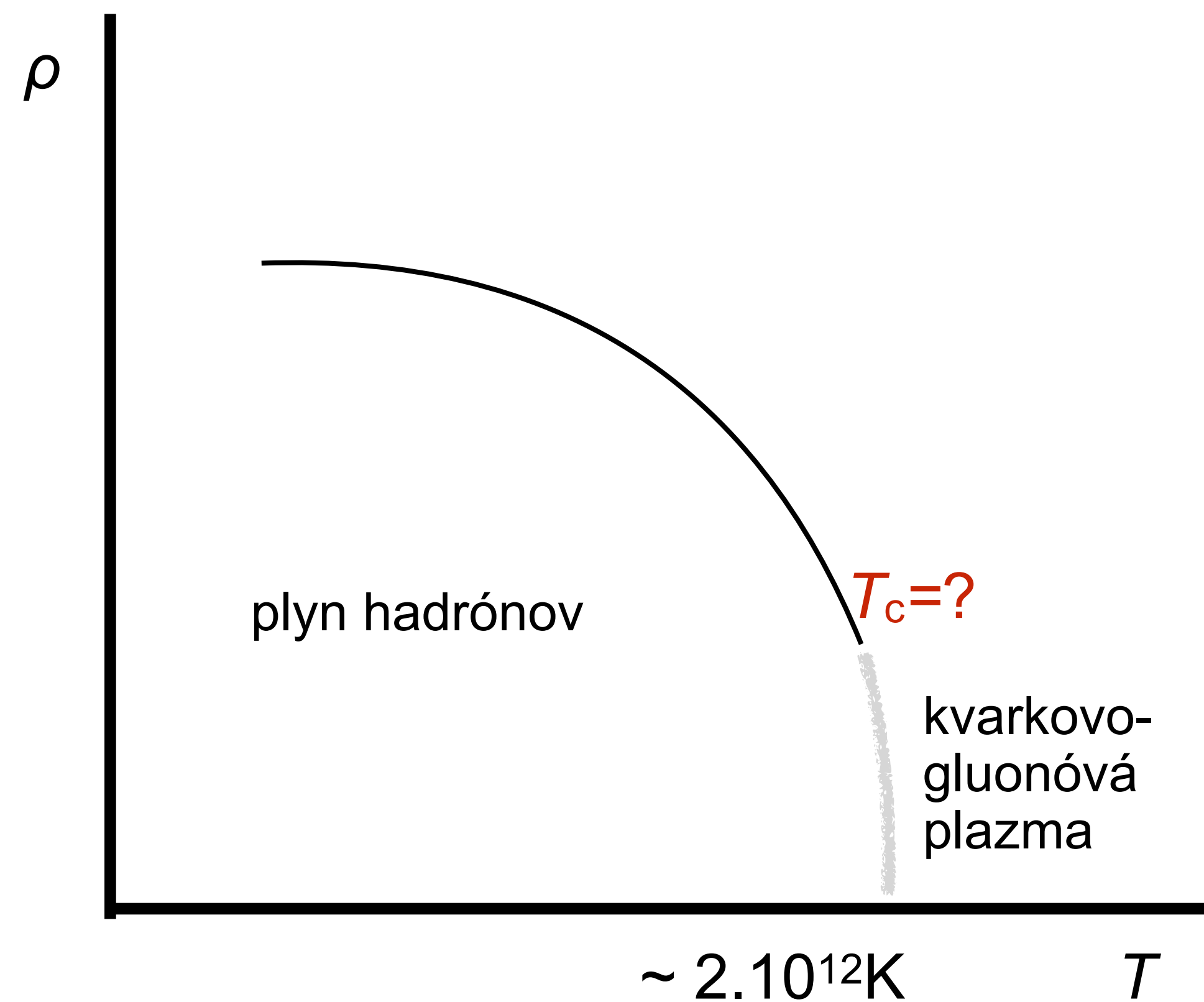
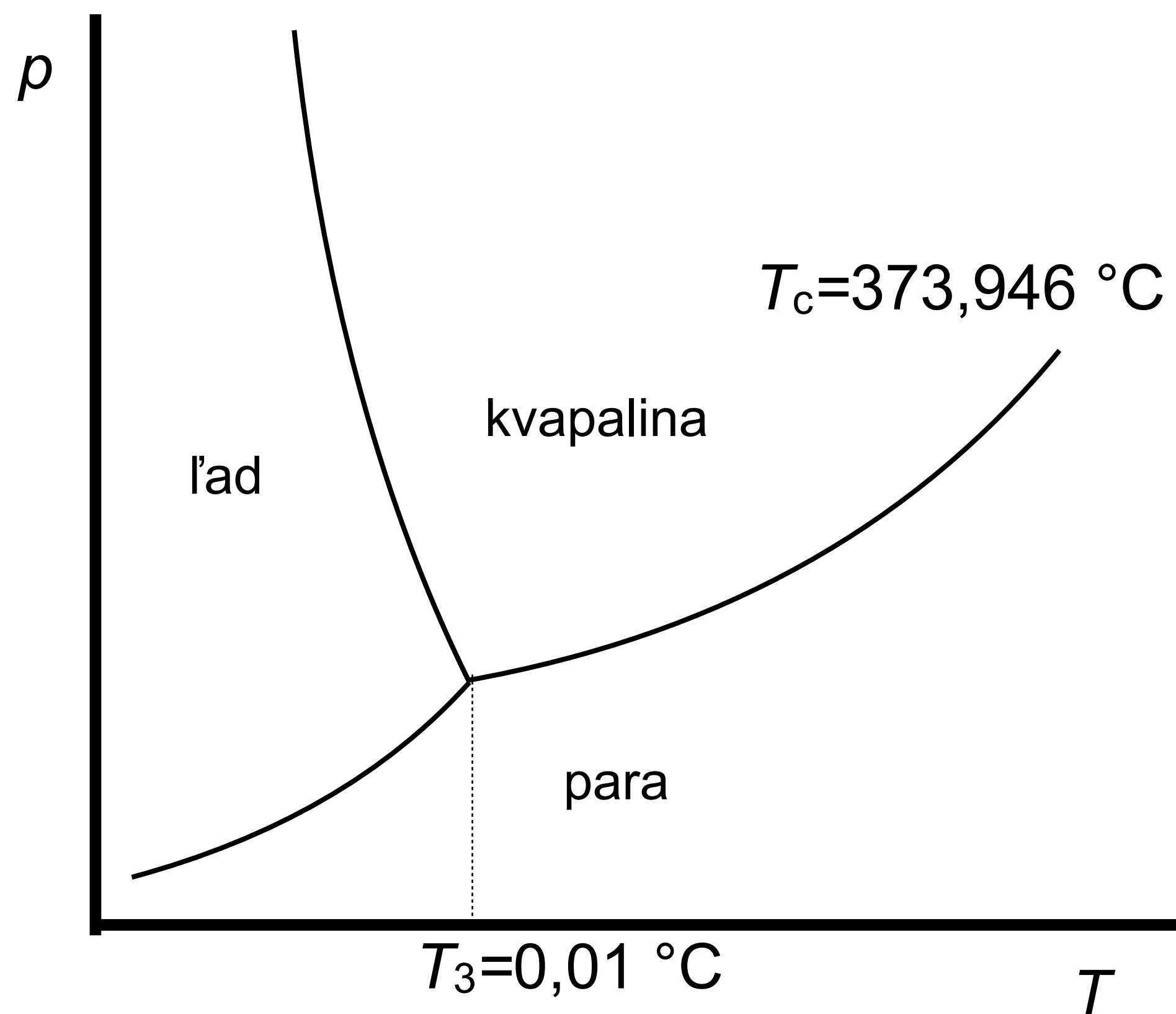
QGP v laboratóriu: jadrové zrážky



Simulácia zrážky Au+Au pri 200 GeV na nukleón (urýchľovač RHIC v BNL)

kinetický výpočet: model UrQMD
(len hadrónová fáza, žiadna plazma)
animácia: Jeffery Mitchell
(Brookhaven National Laboratory)

Fázový diagram

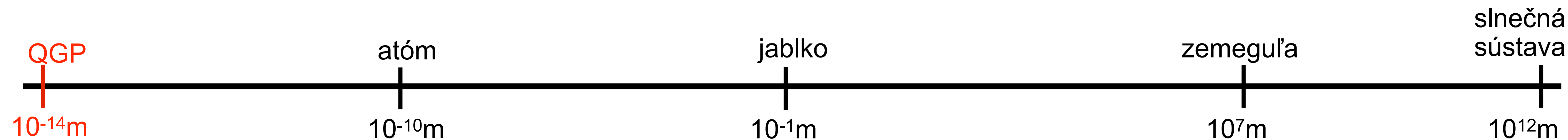


Typické energie, veľkosti a časy

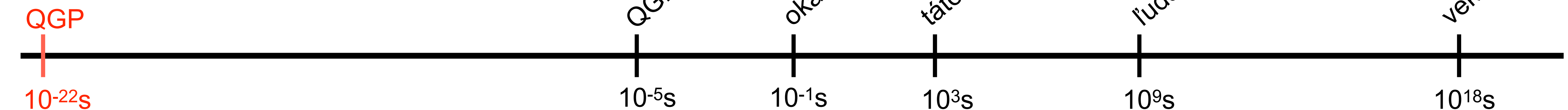
Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV \approx 0,2 mJ

Typický rozmer: 10^{-14} m



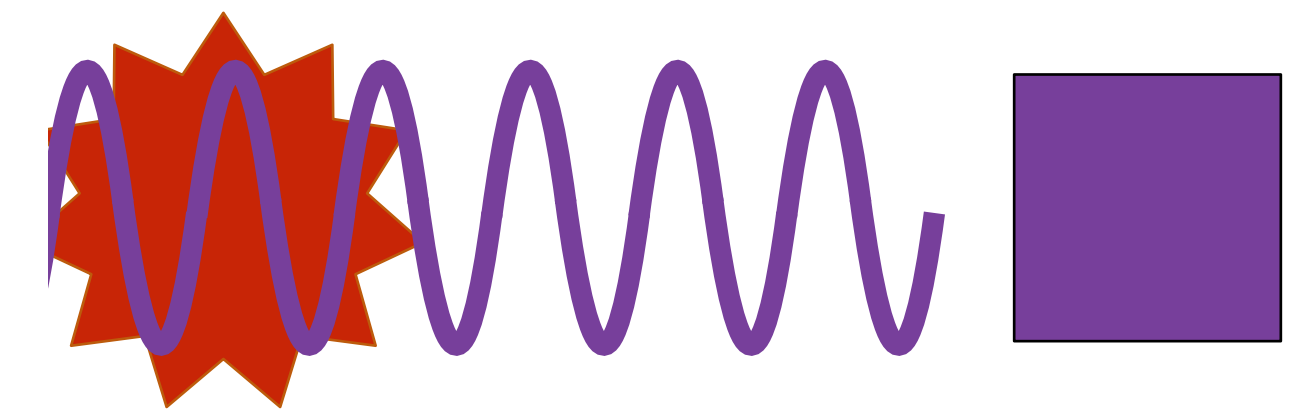
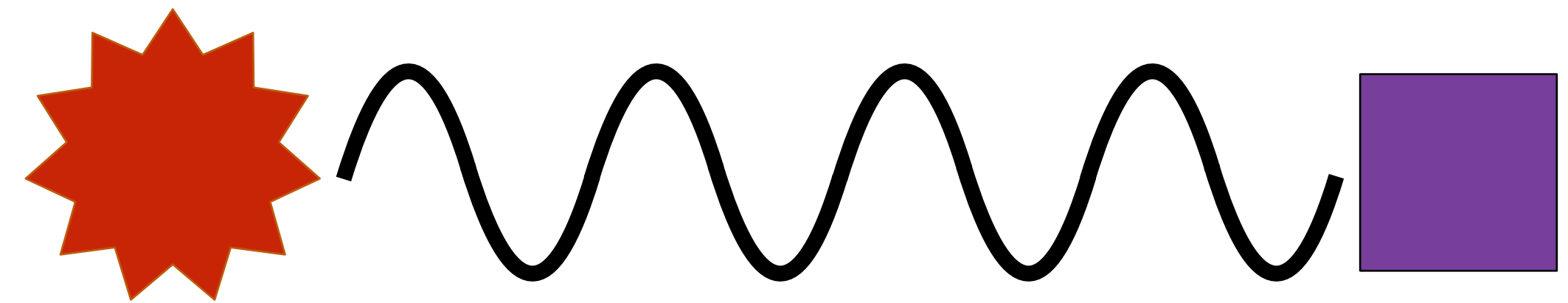
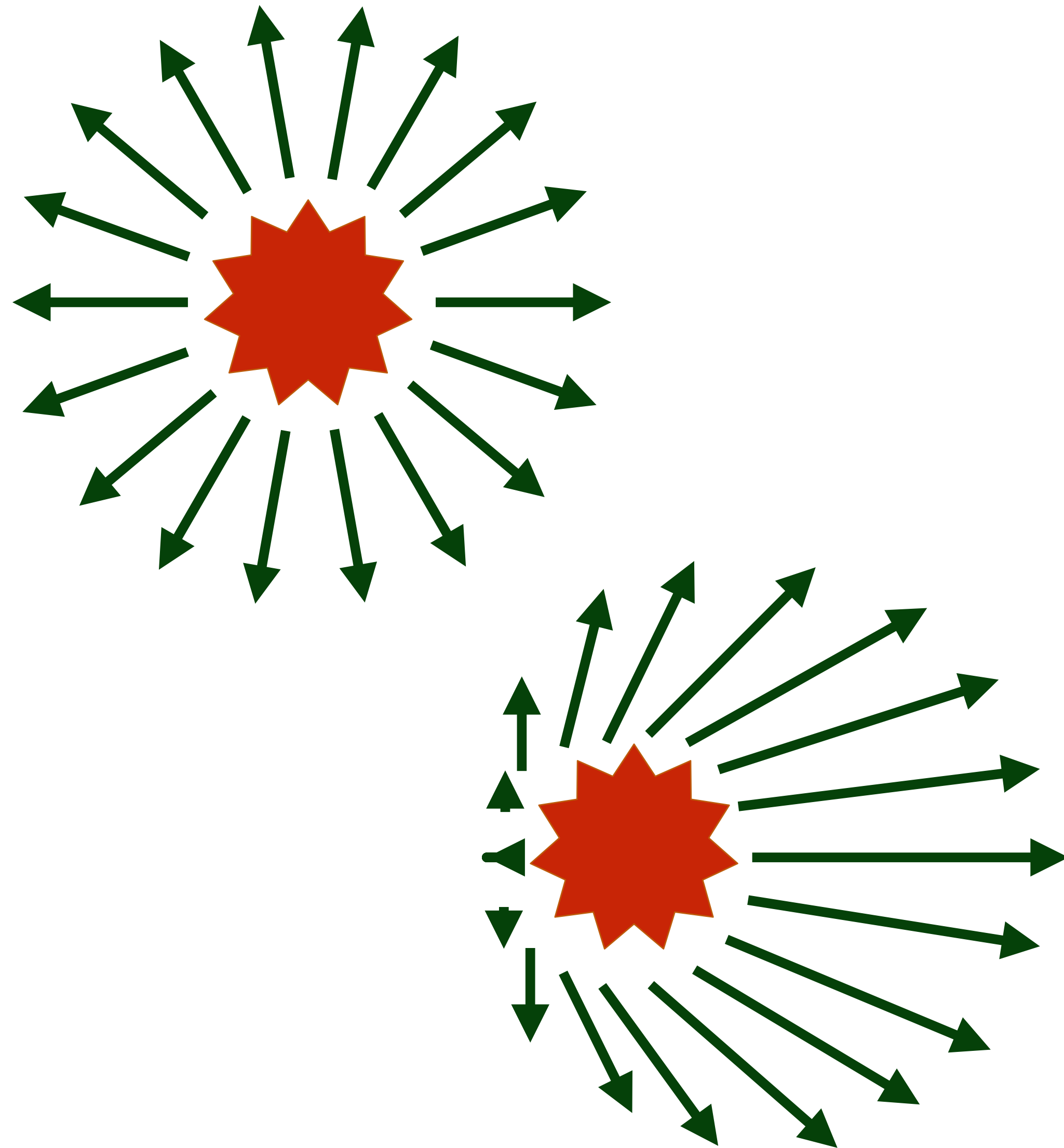
Typická doba života: 10^{-22} s



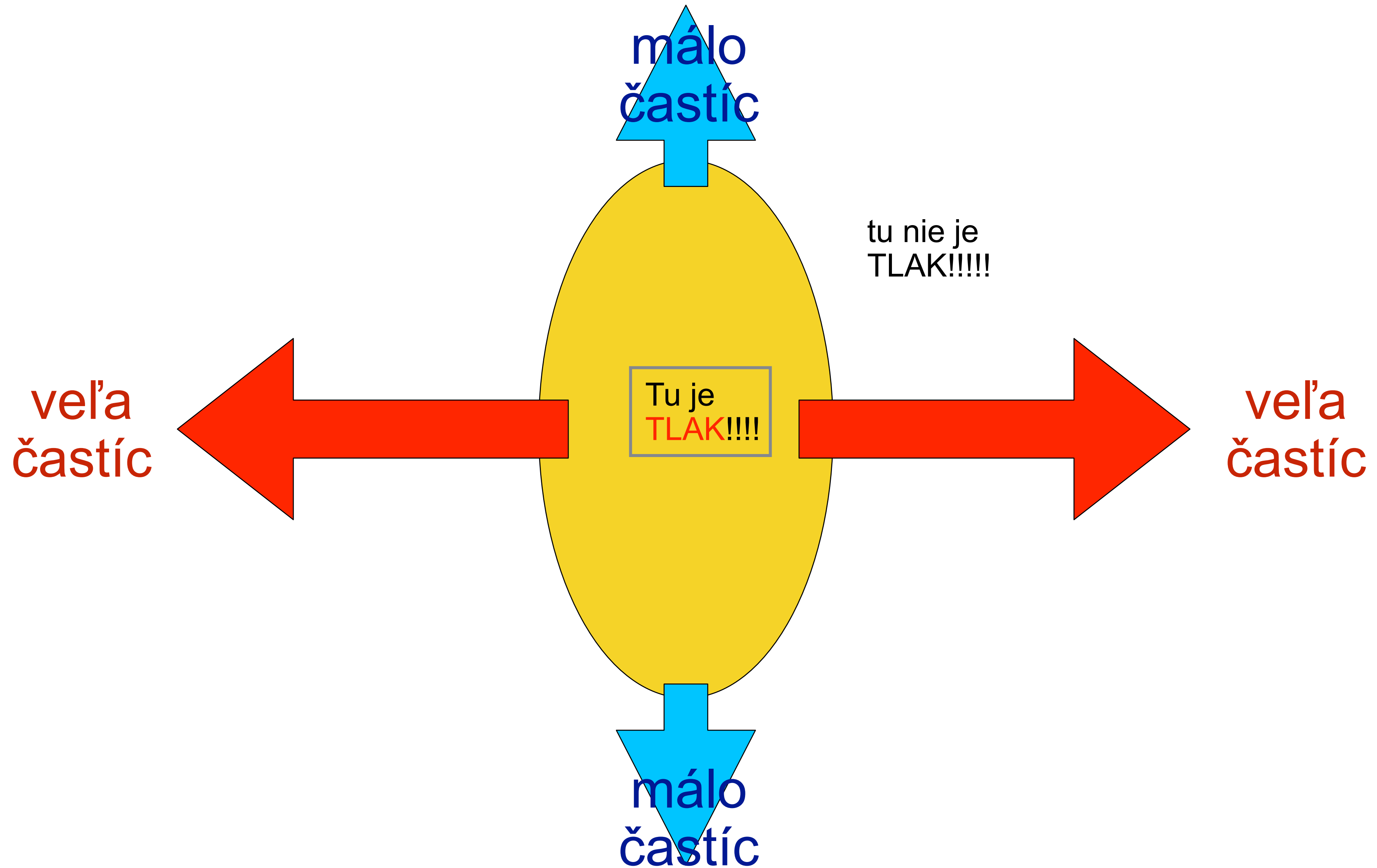
Štúdium kvarkovo-gluónovej plazmy

- na urýchľovači LHC dokážeme zrážaním jadier olova produkovať malé kvapky hmoty s roztopenými protónmi: **kvarkovo-gluónovú plazmu**
- kvarkovo-gluónová plazma vyplňala náš vesmír krátko po Veľkom tresku
- dokážeme merať vlastnosti tejto horúcej hmoty!!!
- **meriame, ako rýchlo expanduje**

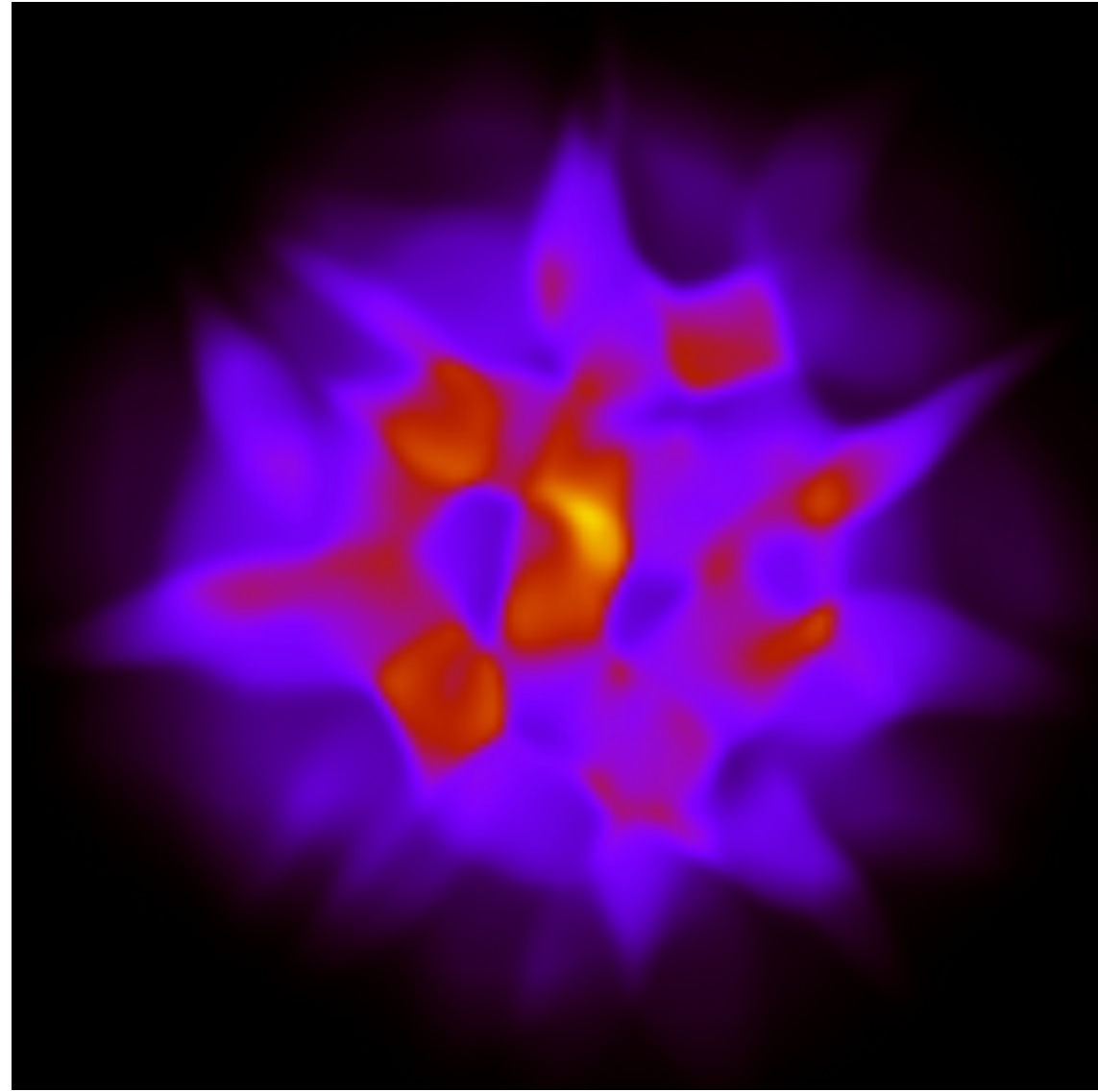
Rýchlosť expanzie meriame Dopplerovým javom



Ako kvarkovo-gluónová plazma expanduje



Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

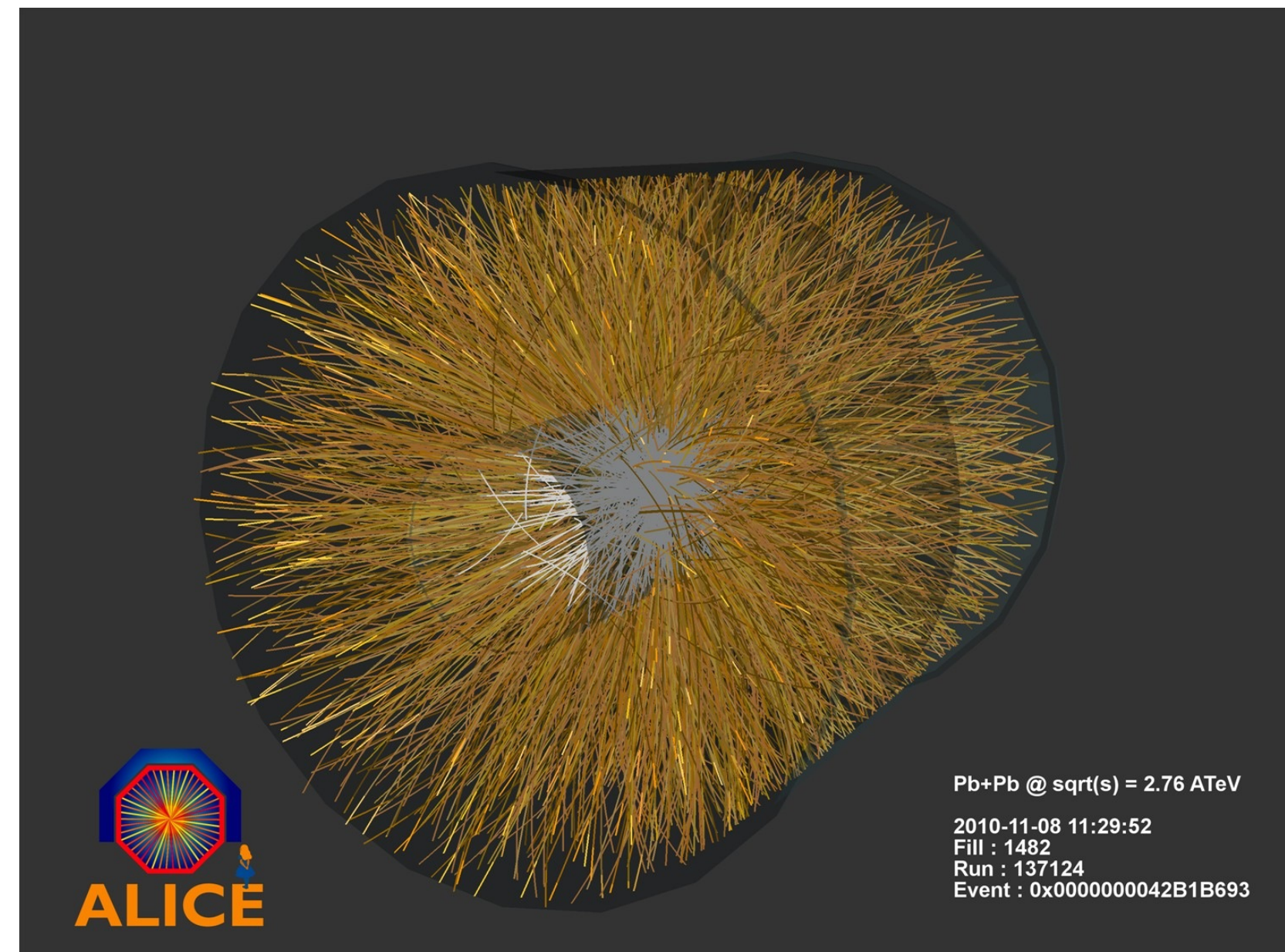


$$\nabla_{\mu} T^{\mu\nu} = J^{\nu}$$

$$T^{\mu\nu} = T_0^{\mu\nu} + \Pi^{\mu\nu}$$

$$T_0^{\mu\nu} = (\varepsilon + p)u^{\mu}u^{\nu} - pg^{\mu\nu}$$

$$\Pi^{\mu\nu} = \Delta^{\mu\nu} \zeta \nabla_{\alpha} u^{\alpha} + \eta \nabla^{\langle\mu} u^{\nu\rangle}$$



Zhrnutie

- protóny a neutróny sa pri vysokých teplotách roztopia na kvarky, vznikne kvarkovo-gluónová plazma
- kvarkovo-gluónovú plazmu dokážeme vyrobiť a študovať v CERNe a na niekoľkých ďalších urýchľovačoch
- teoreticky dokážeme simulovať vlastnosti kvarkovo-gluónovej plazmy

