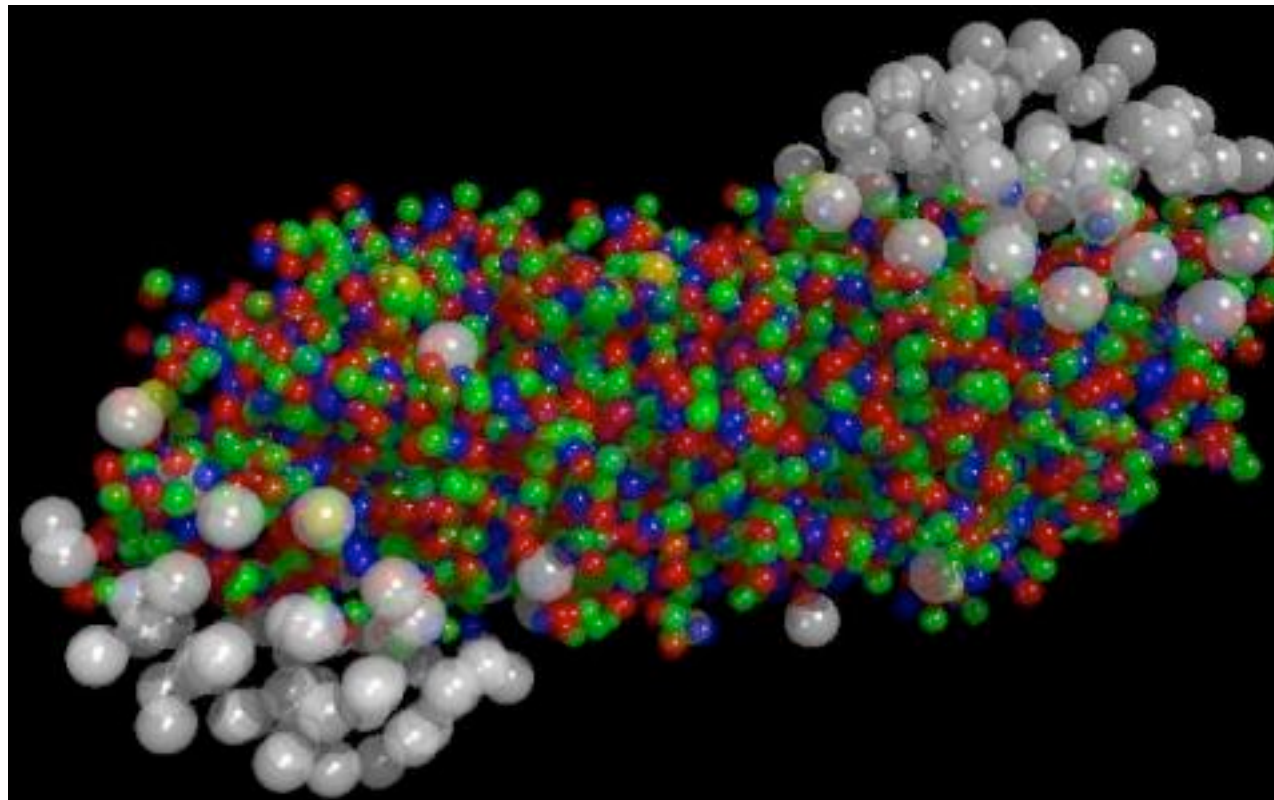


Piaty element - kvarkovo-gluónová plazma v experiment ALICE



Okná CERN-u dokorán II, Aula Maxima TUKE, 19. 11. 2015

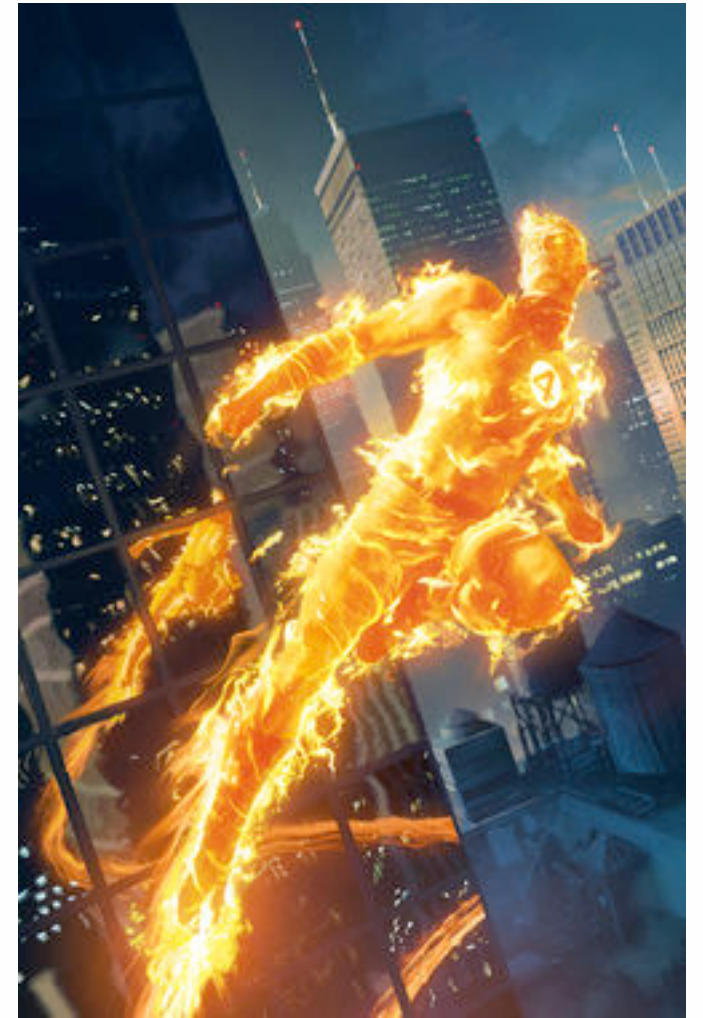
Marek Bombara, UPJŠ



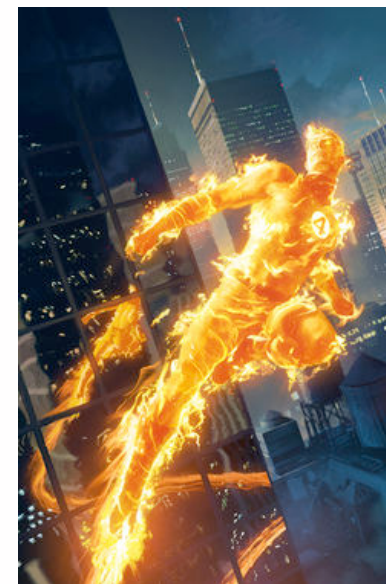
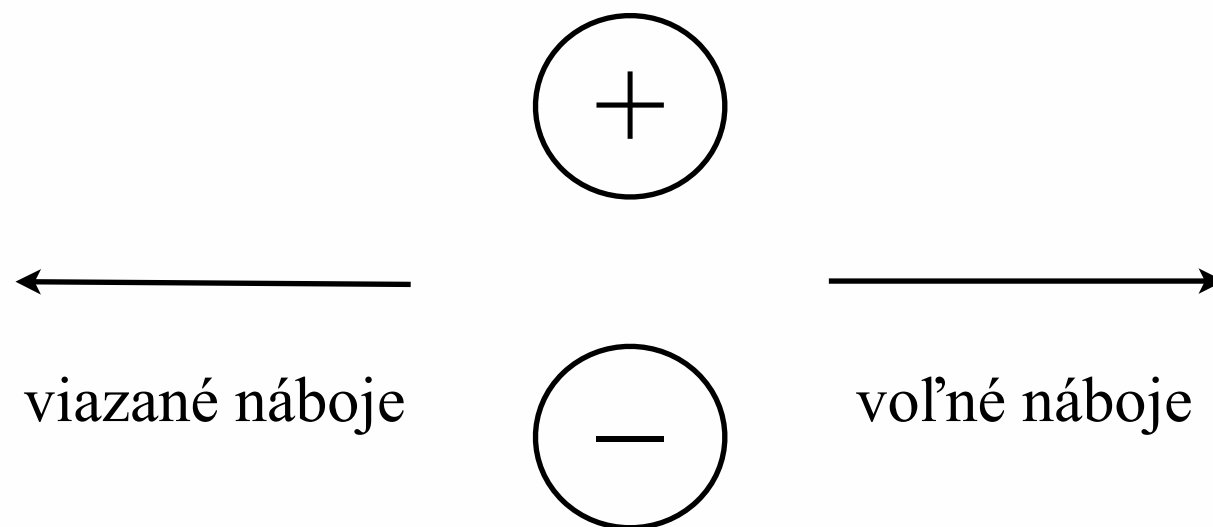
V prírode poznáme štyri skupenstvá hmoty (niekedy spájaných so živlami alebo elementami), ktorých vlastnosti úzko súvisia s ich vnútornou štruktúrou.



marvel.wikia.com/wiki/



Ich vlastnosti sú rozdielne, ale majú spoločný základ:



Existuje aj piate skupenstvo hmoty?



www.imdb.com

Áno, ale nie je postavené na interakcii elektrických nábojov...

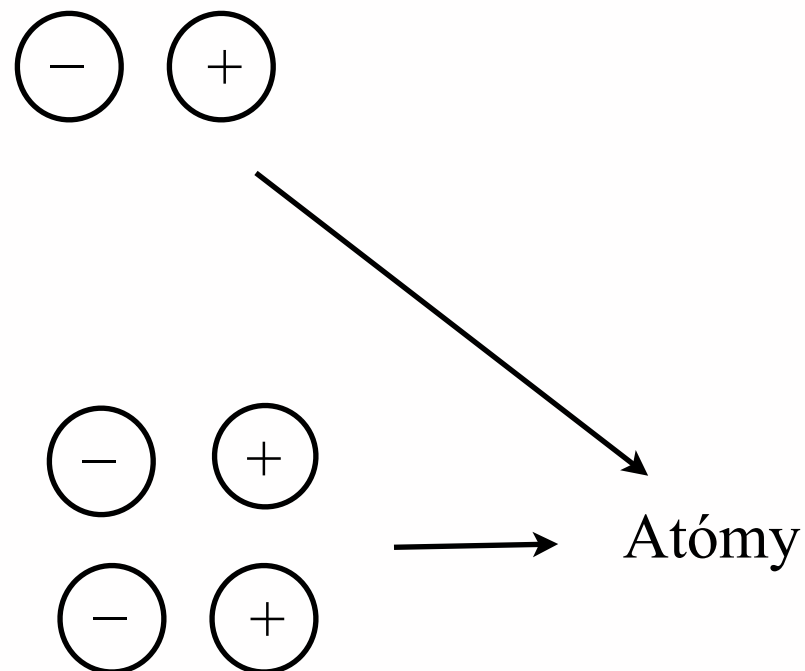
Viazané stavy

Gravitačná interakcia: nie na úrovni elementárnych častíc

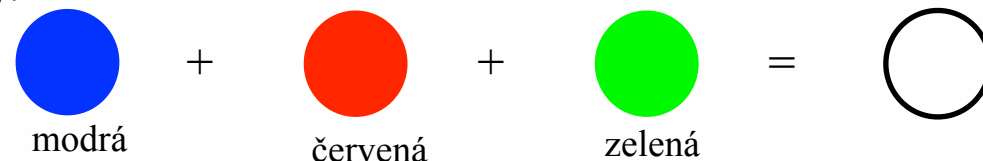
Slabá interakcia: nie sú známe

Silná interakcia:

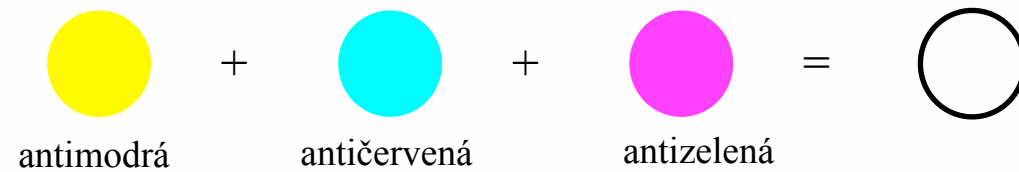
Elektromagnetická interakcia:



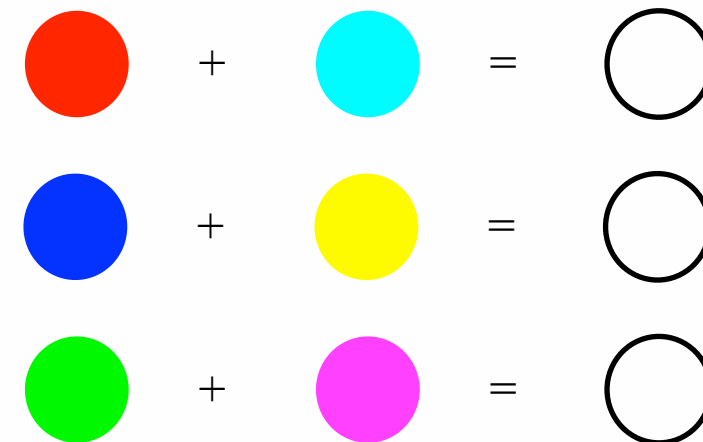
Baryóny:



Antibaryóny:



Mezóny:



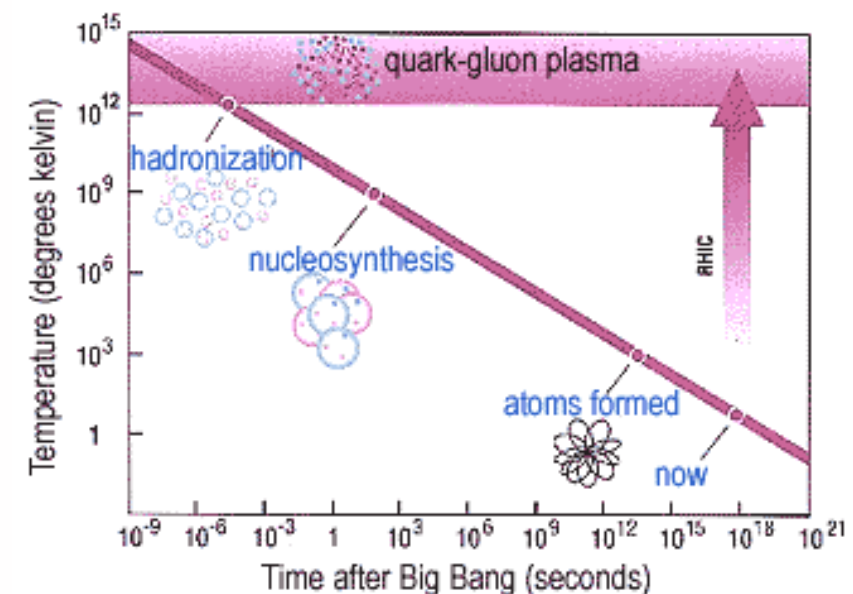
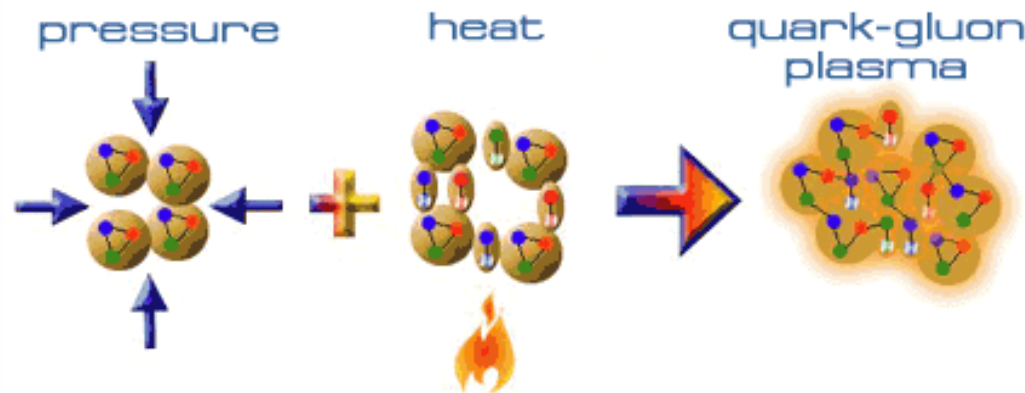
Hadróny

Viazané stavy v silnej interakcii (hadróny) sú v prírode vždy bezfarebné!

Kvarkovo-gluónová plazma ako piate skupenstvo hmoty

Plazma v prírode: plyn voľne sa pohybujúcich elektrónov a kladných iónov - elektrický náboj je voľný.

Kvarkovo-gluónová plazma - systém voľne sa pohybujúcich kvarkov a gluónov (v rámci systému) - silný náboj je voľný.

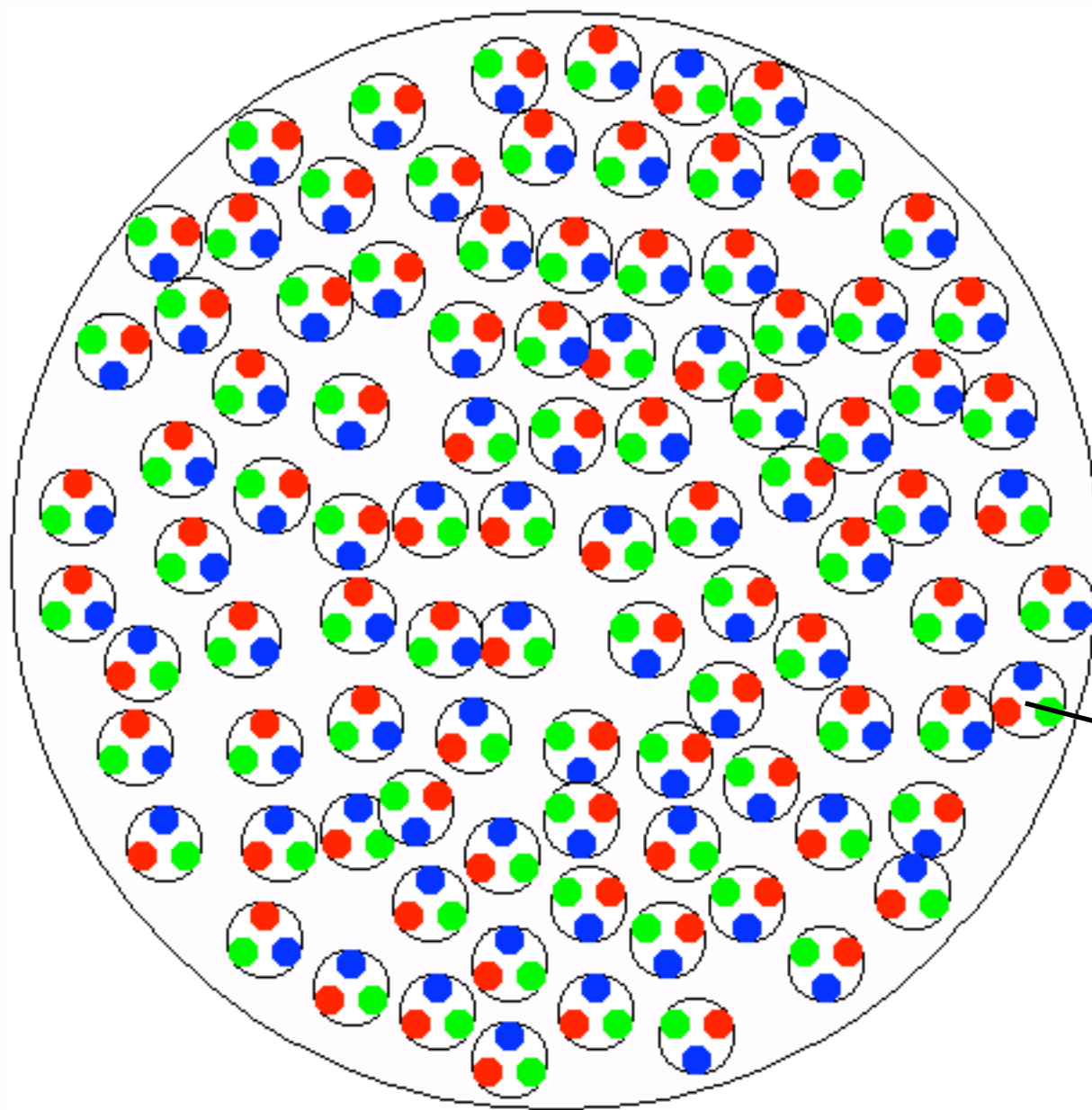


Definícia: Stav hmoty v tepelnej rovnováhe, v ktorom sú kvarky a gluóny zbavené svojho uväznenia v hadrónoch.

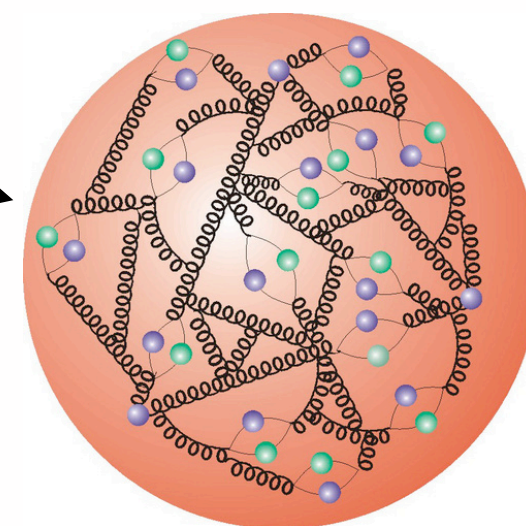
Možný výskyt:

- raný Vesmír
- neutrónové hviezdy
- zrážky ťažkých iónov

Kvarkovo-gluónová plazma v zrážkach ťažkých iónov na LHC

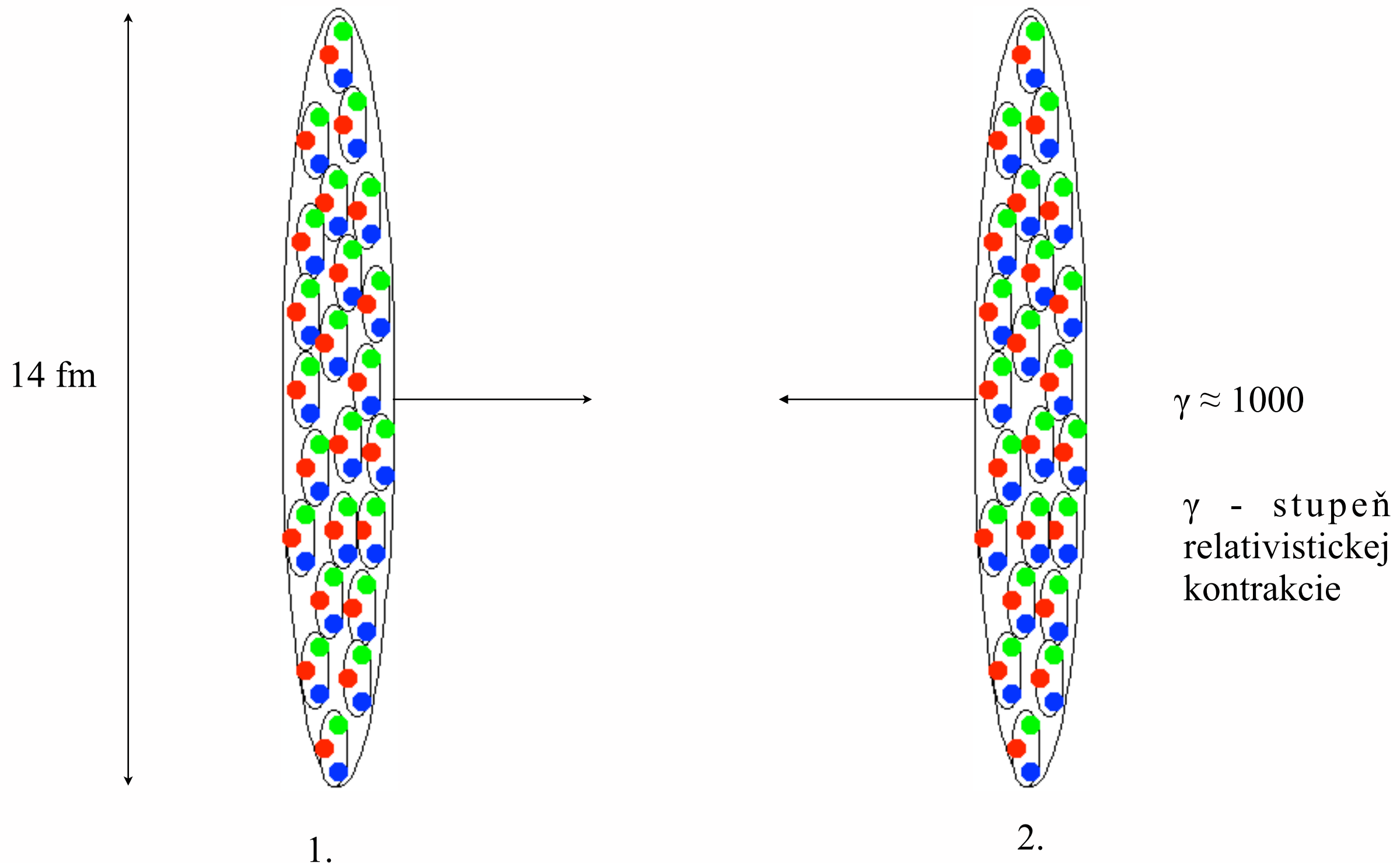


Na LHC sa zrážajú ióny Pb (elektrónový obal odstránený) t.j. 208 nukleónov, s energiou 2.51 TeV na jeden nukleón (november 2015).



Štruktúra protónu na LHC videná v sústave nalietaťavajúceho protónu (6,5 TeV).

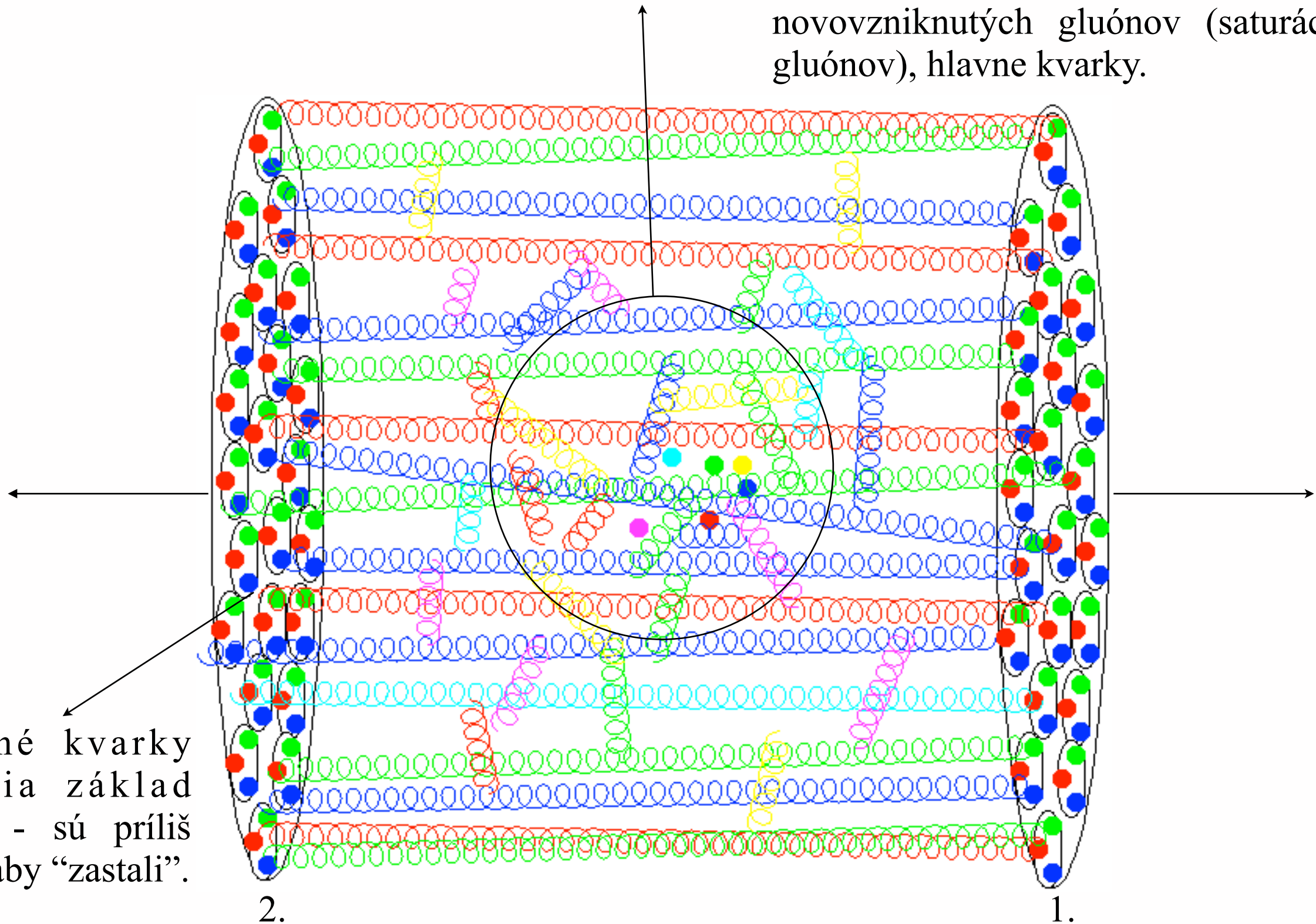
Relativistické ťažké ióny



Na LHC sa zrážali jadrá olova pri energii 2.76 TeV na jeden nukleónovo-nukleónový pár. V tomto roku sa realizujú zrážky pri 5.02 TeV na jeden nukleónovo-nukleónový pár.

Zrodenie kvarkovo-gluónovej plazmy

Na začiatku hlavne gluóny, neskôr, po vyrovnaní sa počtov zaniknutých a novovzniknutých gluónov (saturácia gluónov), hlavne kvarky.

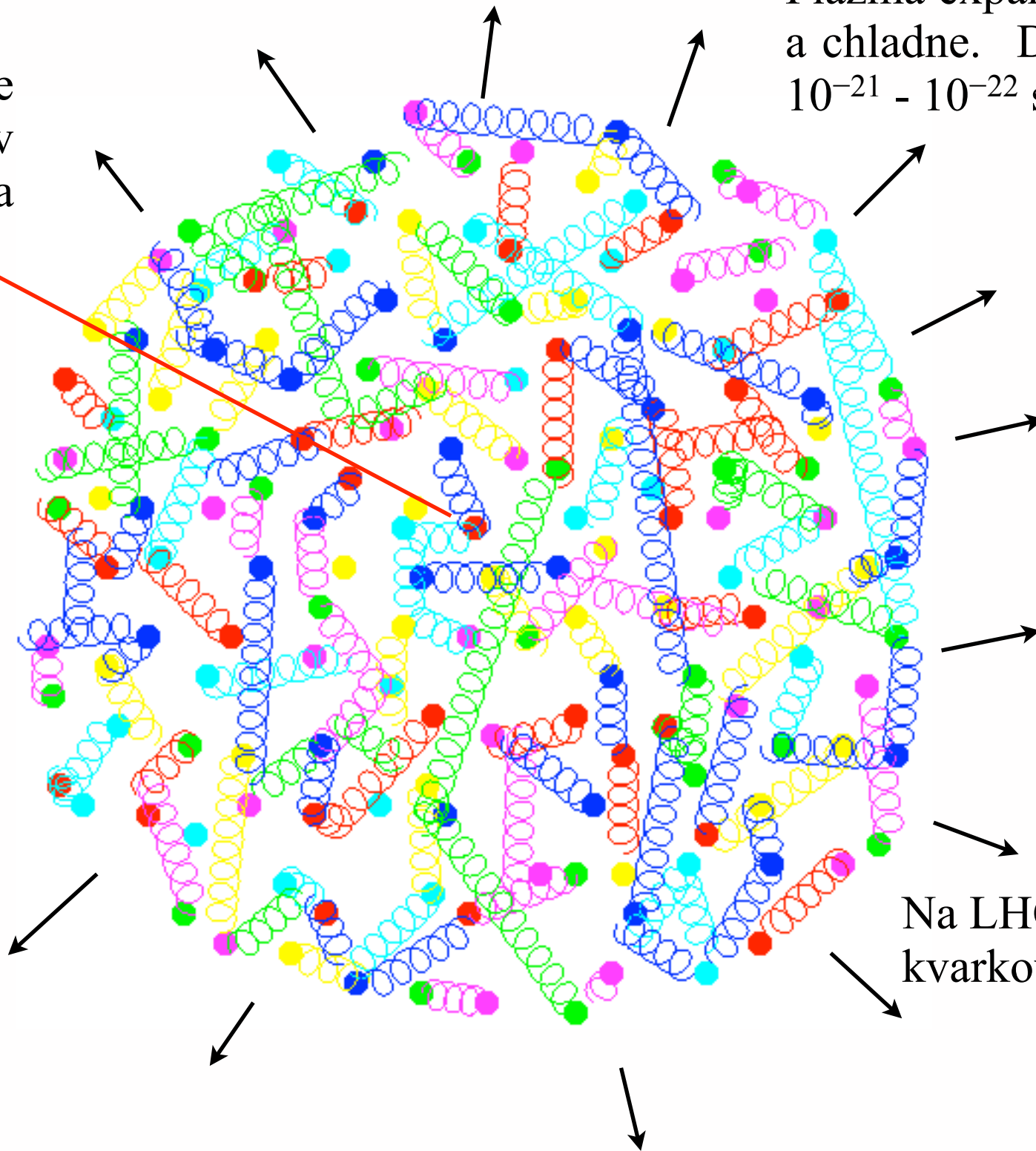


Pôvodné kvarky netvoria základ plazmy - sú príliš rýchle, aby "zastali".

Kvarkovo-gluónová plazma

Teplota plazmy na LHC je pravdepodobne najvyššia v celom Vesmíre: 5.5 bilióna kelvinov!

Plazma expanduje do priestoru a chladne. Doba života okolo $10^{-21} - 10^{-22}$ s.



On 13 August 2012 scientists at CERN's Large Hadron Collider, Geneva, Switzerland, announced that they had achieved temperatures of over 5 trillion K and perhaps as high as 5.5 trillion K. The team had been using the **ALICE experiment** to smash together lead ions at 99% of the speed of light to create a quark gluon plasma – an exotic state of matter believed to have filled the universe just after the Big Bang.

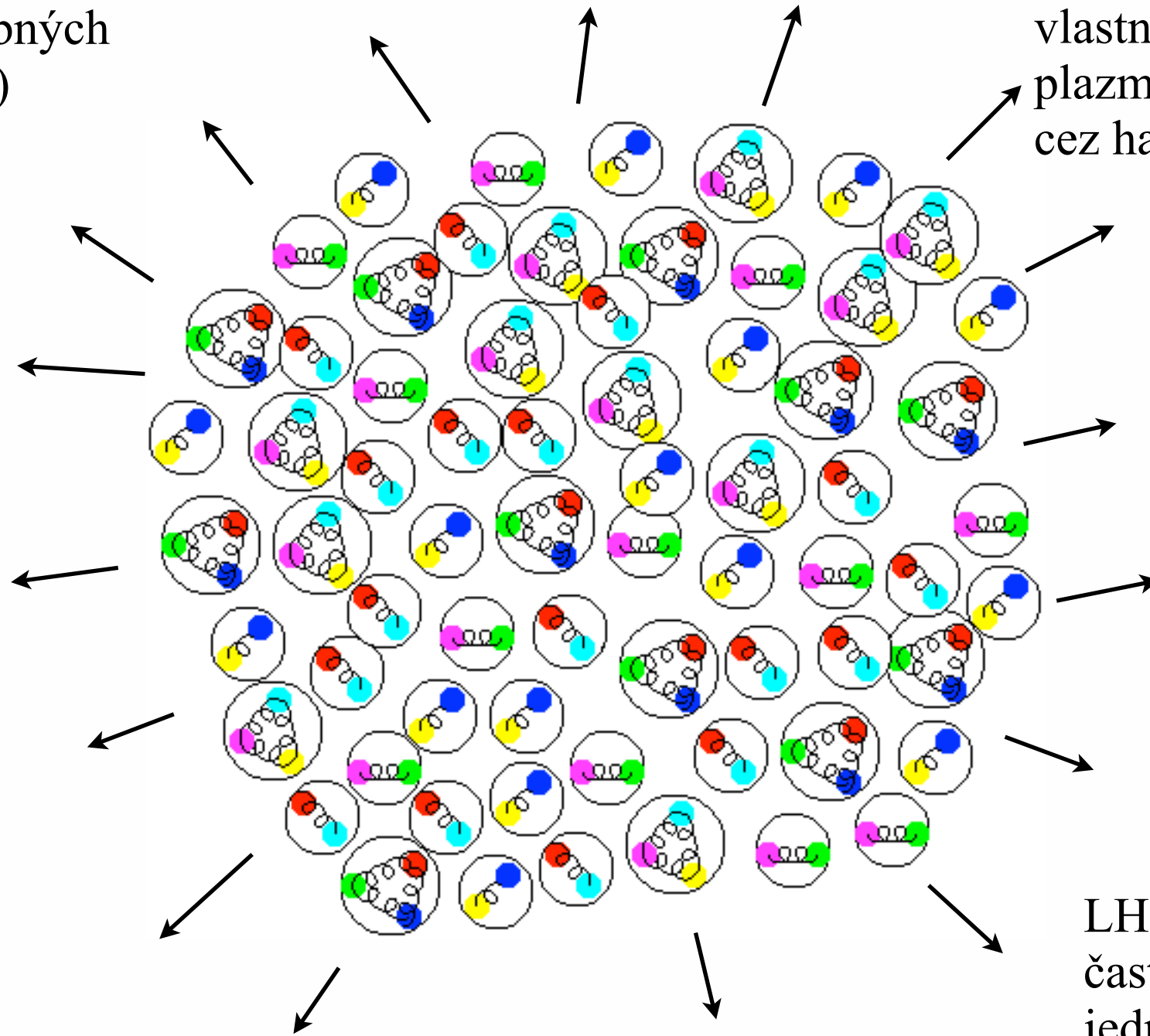
Na LHC: okolo 100000 kvarkov a antikvarkov

<http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/highest-man-made-temperature>

Zánik kvarkovo-gluónovej plazmy - hadronizácia

Hadronizácia: spájanie kvarkov do bezfarebných objektov (hadrónov)

Toto vidíme v detektore, t.j. vlastnosti kvarkovo-gluónovej plazmy môžeme študovať len cez hadróny.

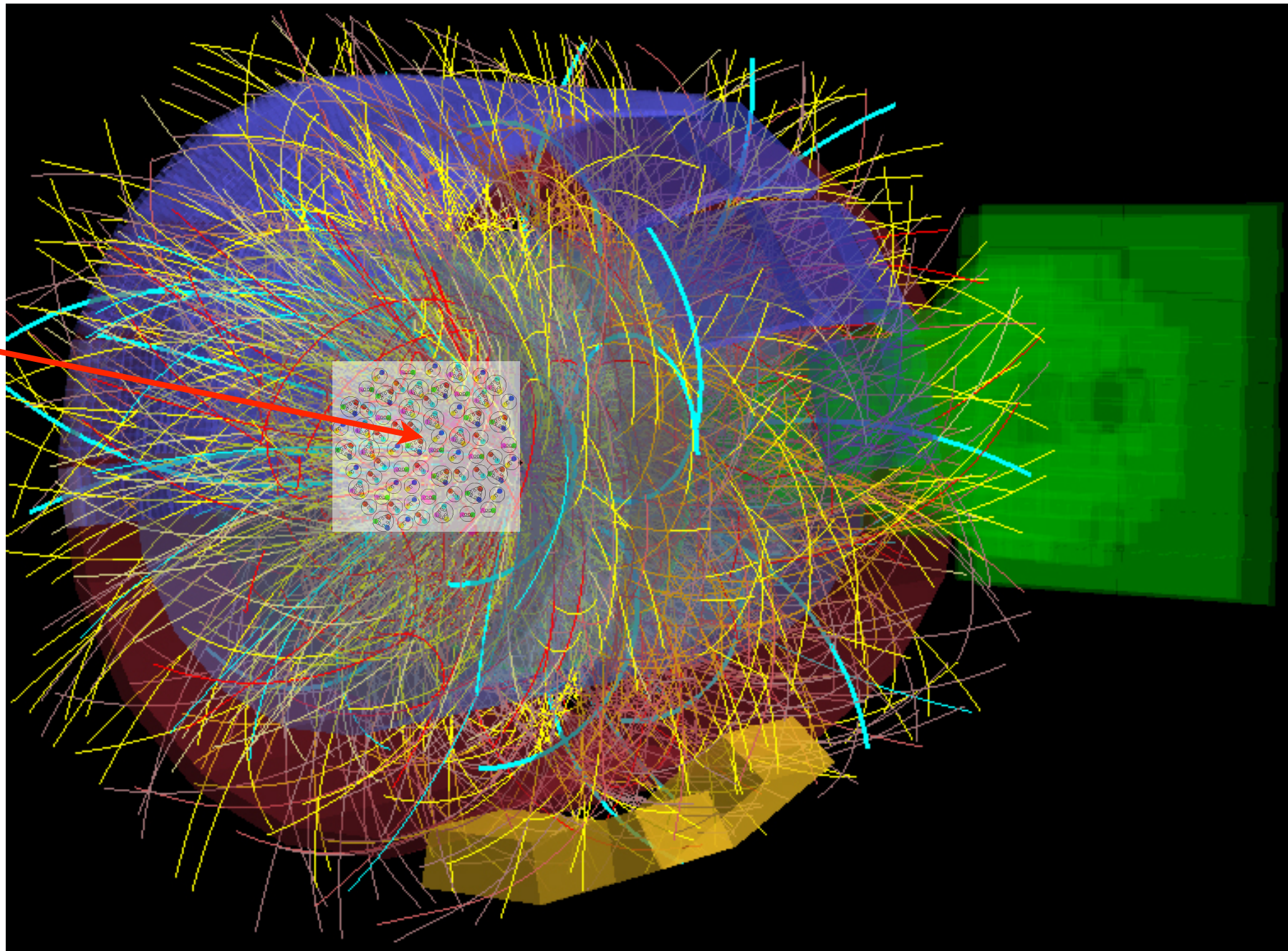


Podobnou zmenou prešiel aj Vesmír približne jednu mikrosekundu po Veľkom Tresku!

LHC: rádovo tisícky častíc detekovaných v jednej centrálnej zrážke PbPb

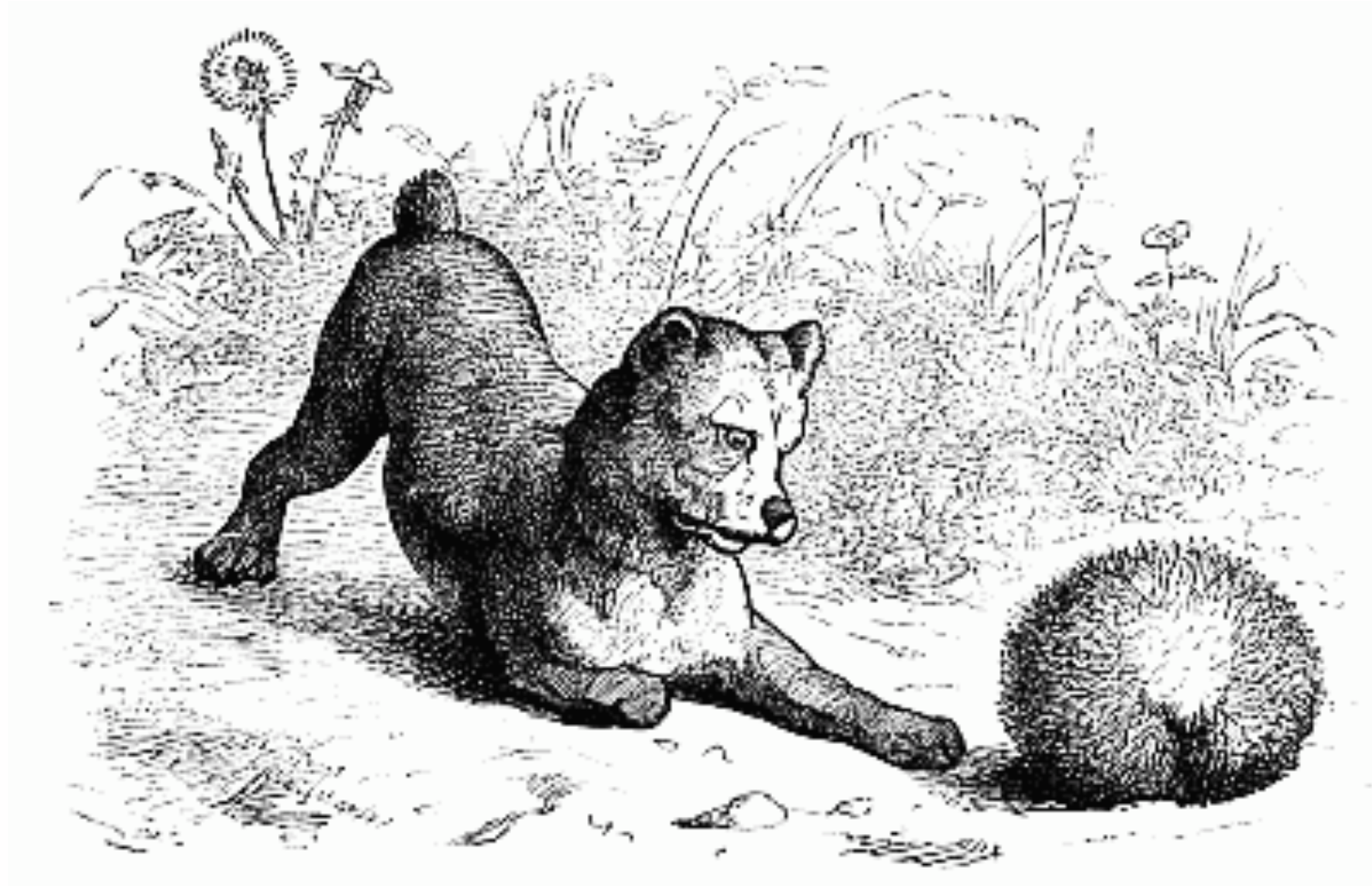
Hadróny sa rozletia do detektora. Skutočný prípad olovo-olovenej zrážky videný experimentom ALICE:

Hadróny



Vlastne takto nepriamo (na základe vlastností (nielen) hadrónov) študujeme vlastnosti plazmy. Kvarkovo-gluónovú plazmu študuje aj ATLAS a CMS.

Ako študovať štruktúru objektov?

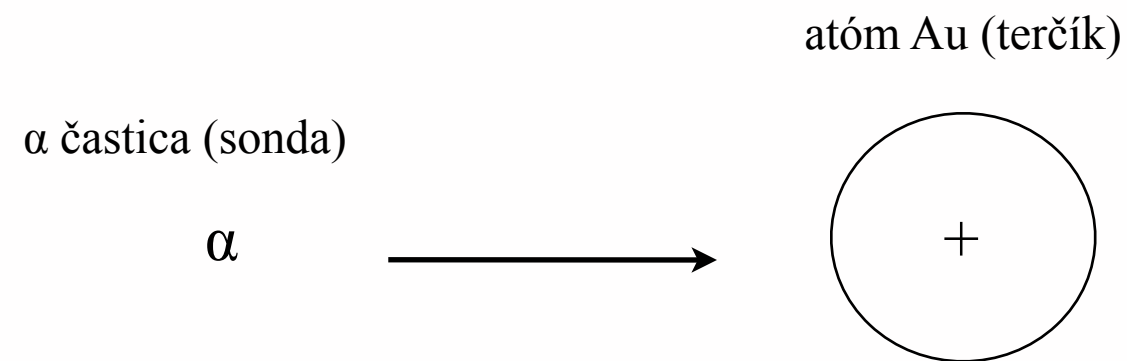


<http://www.gutenberg.org/files/28129/28129-h/28129-h.htm>

Ako študovať štruktúru objektov... vo svete elementárnych častíc?

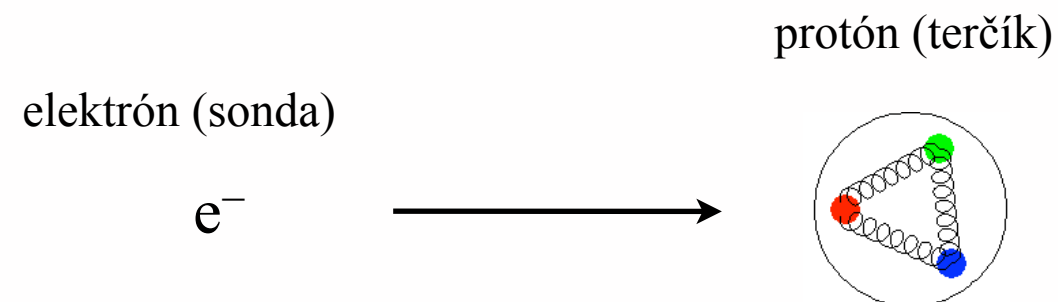
Štúdium štruktúry atómu:

Rutherford, 1911



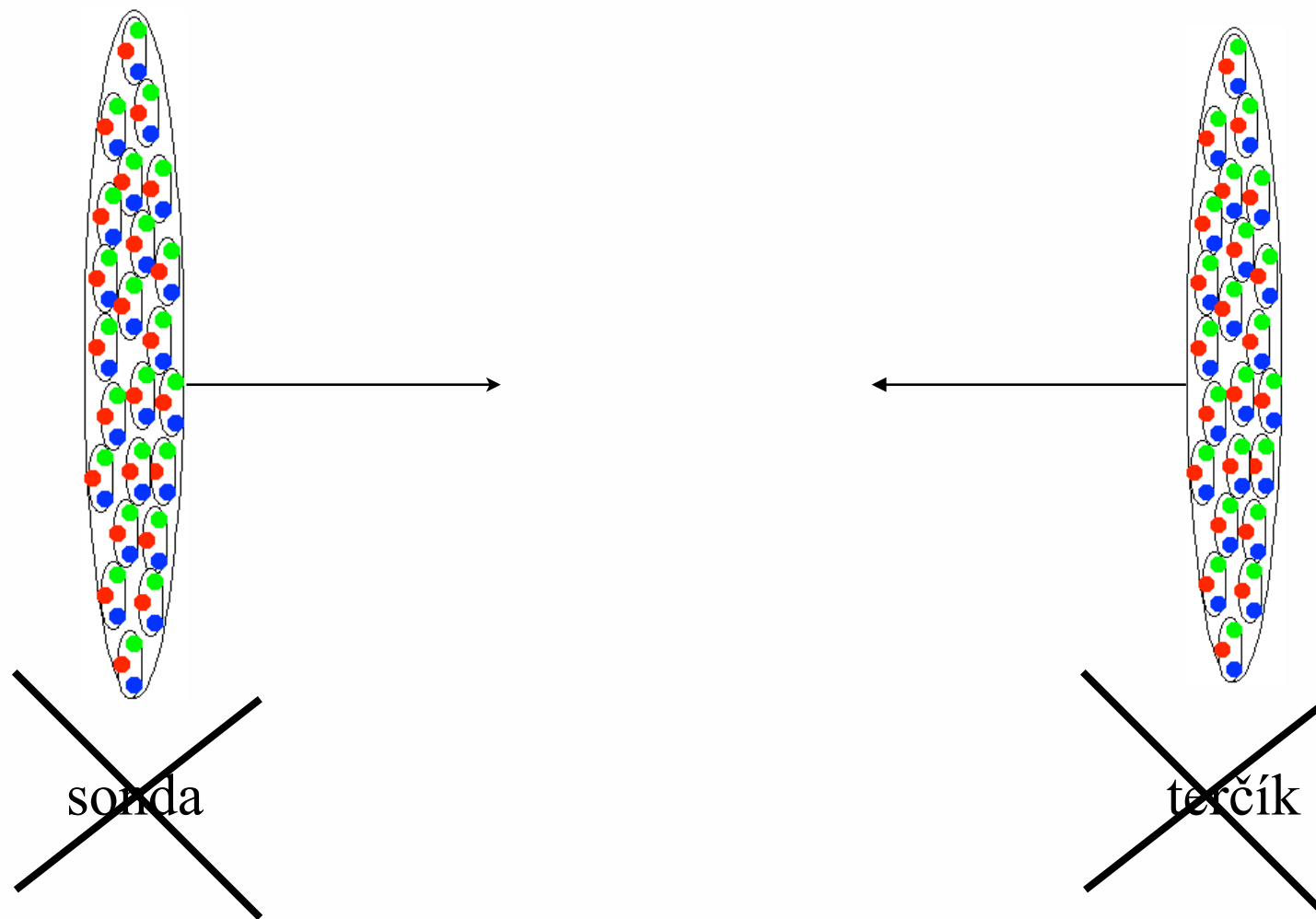
Štúdium štruktúry protónu:

SLAC, tie roky 60-te..



Ako študovať štruktúru objektov... vo svete elementárnych častíc?

Priame štúdium štruktúry kvarkovo-gluónovej plazmy?:

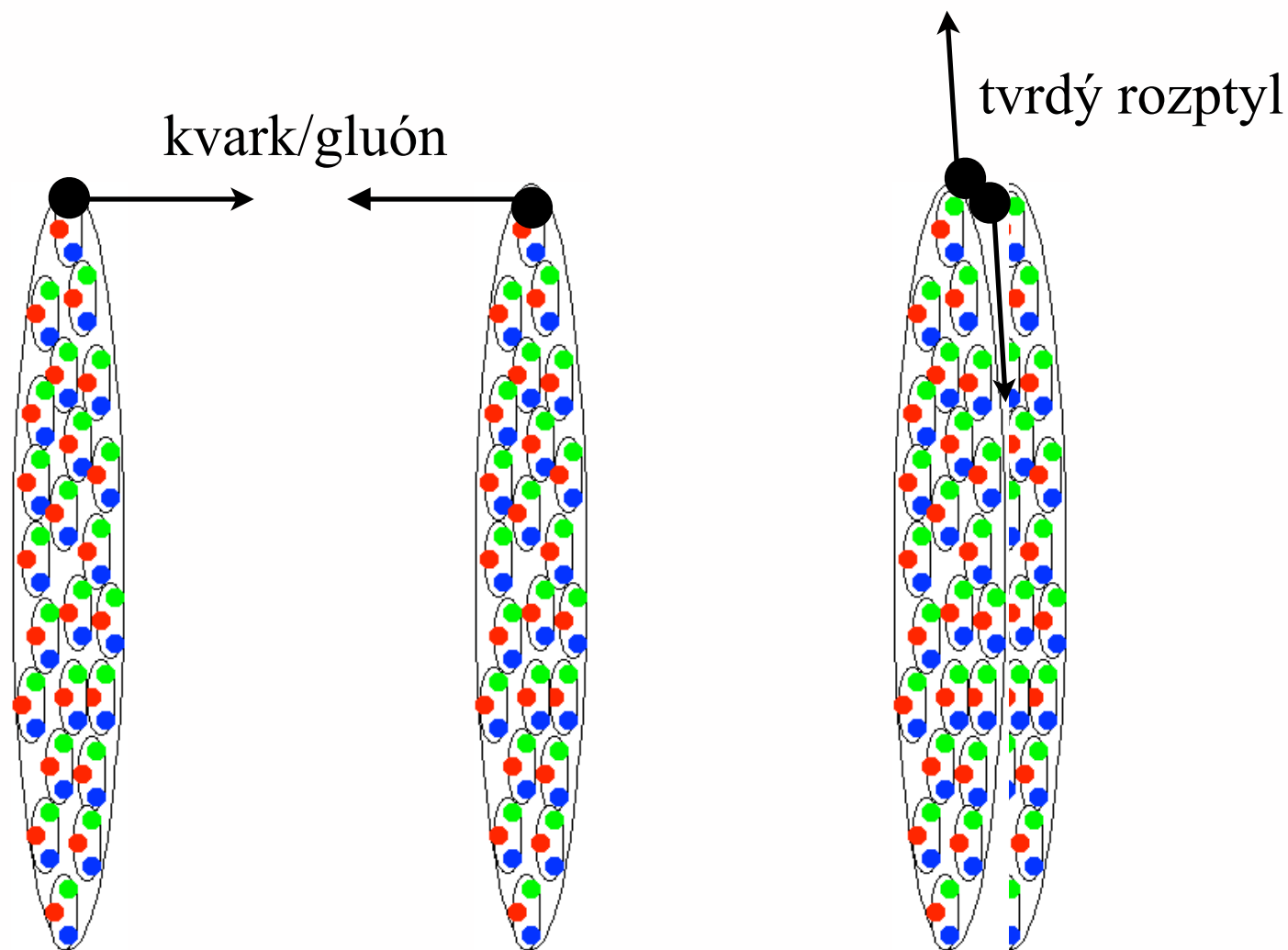


Zdá sa, že táto cesta nevedie...

Ako študovať štruktúru objektov... vo svete elementárnych častíc?

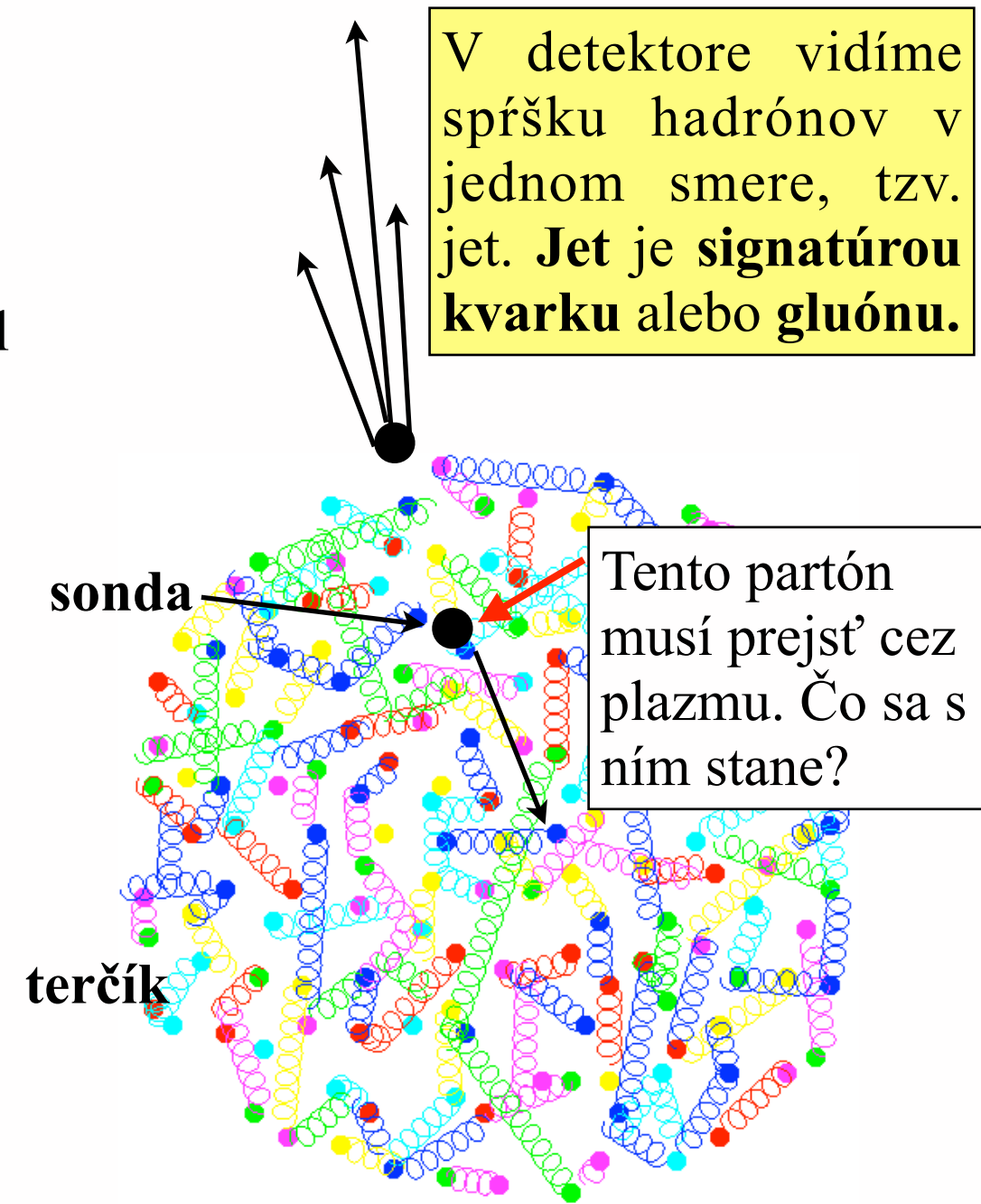
Ide to, len si treba sondu a terčik vyrobiť...

Štúdium štruktúry kvarkovo-gluónovej plazmy:



pred zrážkou

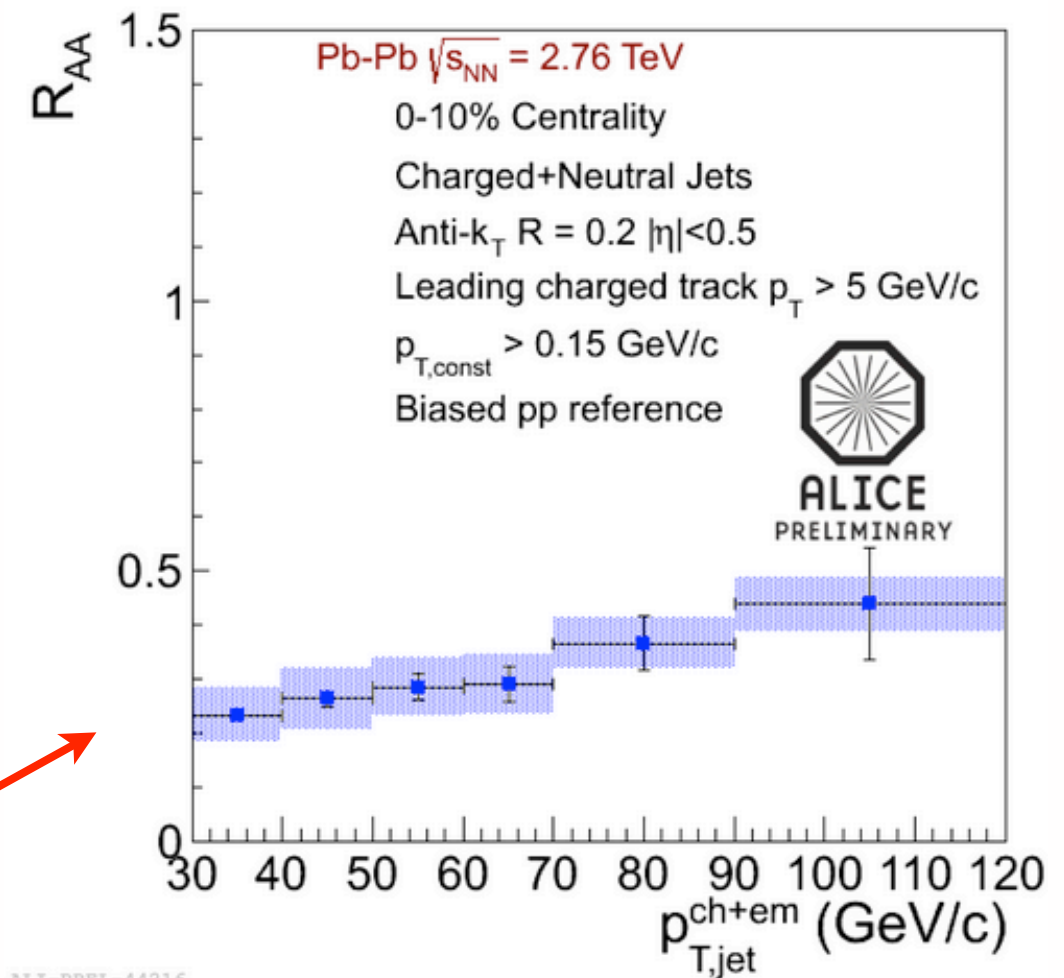
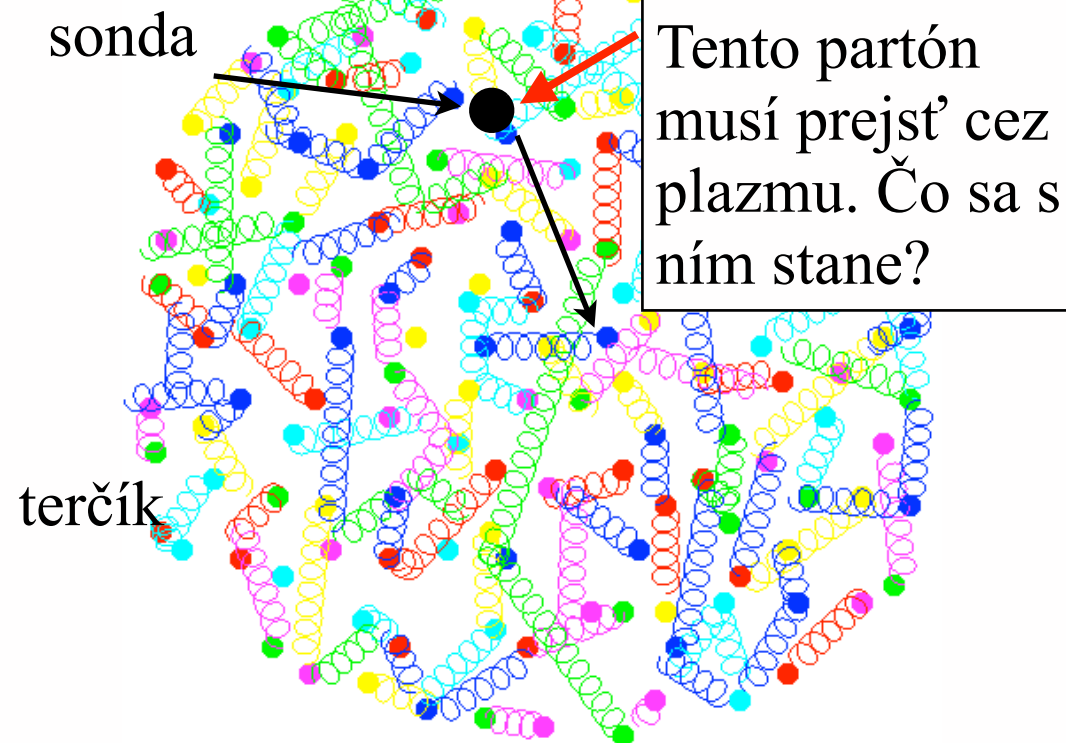
zrážka



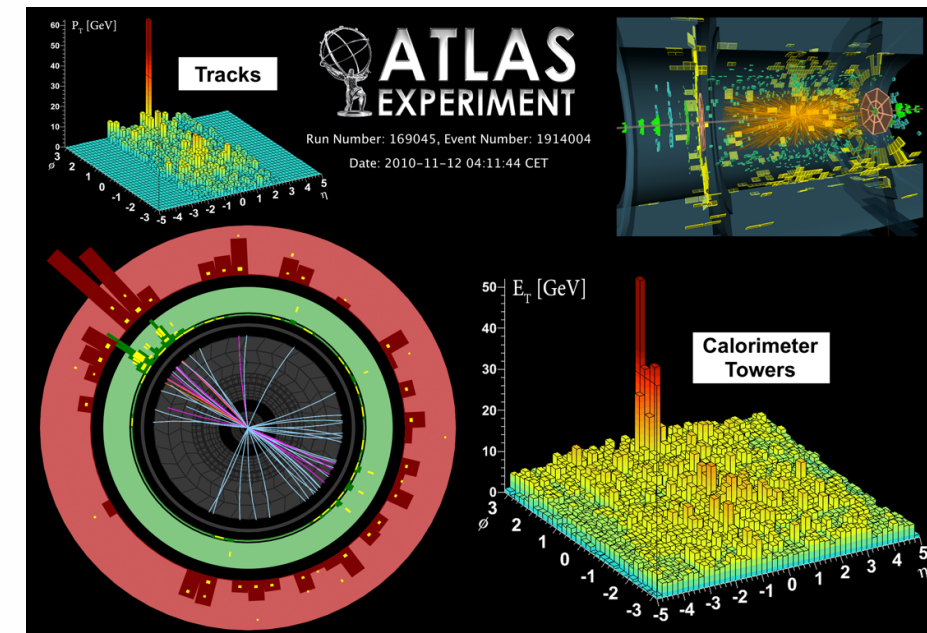
po zrážke

Zhasenie jetu...

V detektore vidíme spršku hadrónov v jednom smere, tzv. jet. Jet je signatúrou kvarku alebo gluónu.



LHC, ATLAS

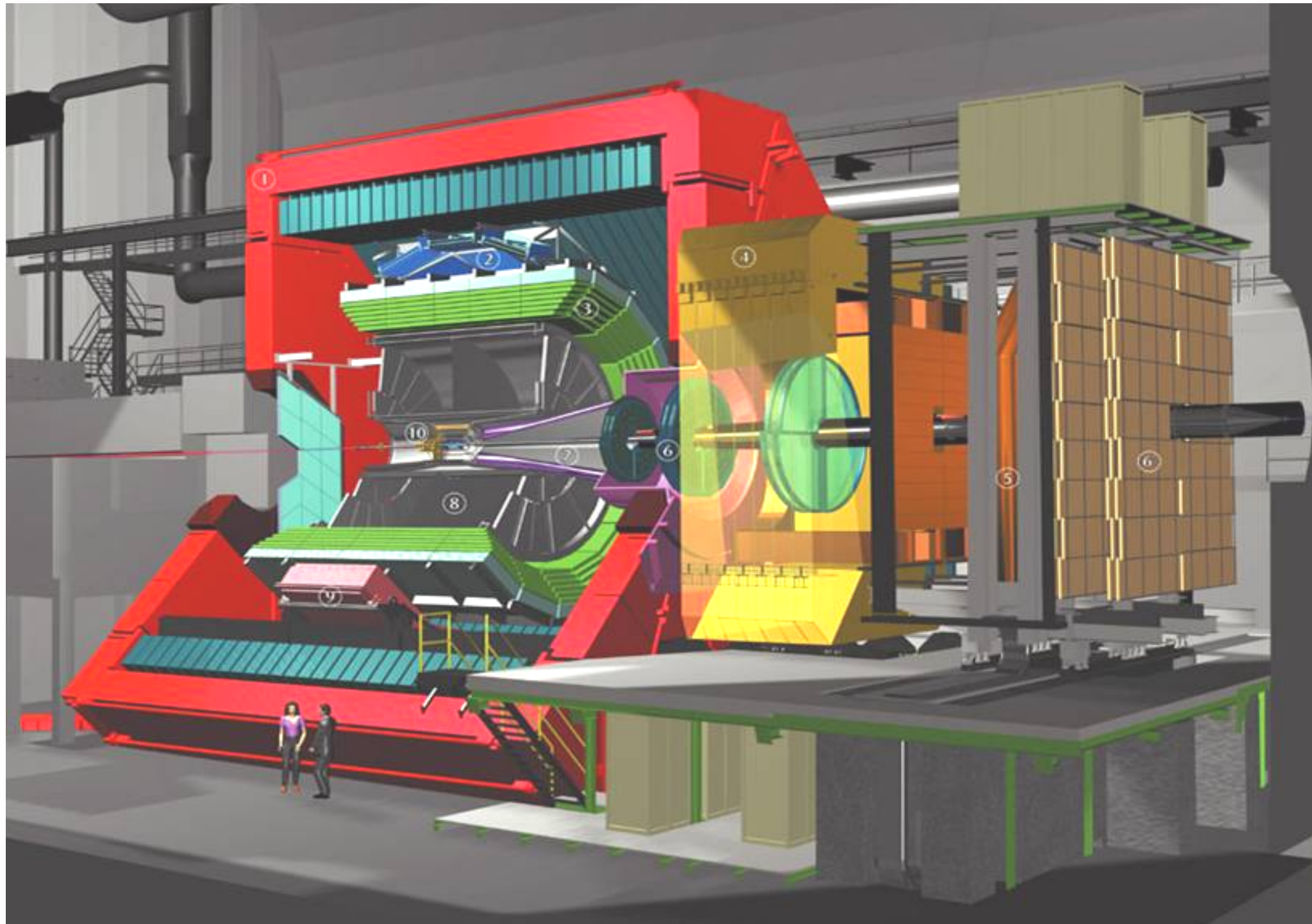


Hmota vytvorená v zrážke je tak hustá, že naša sonda bola pohltená...

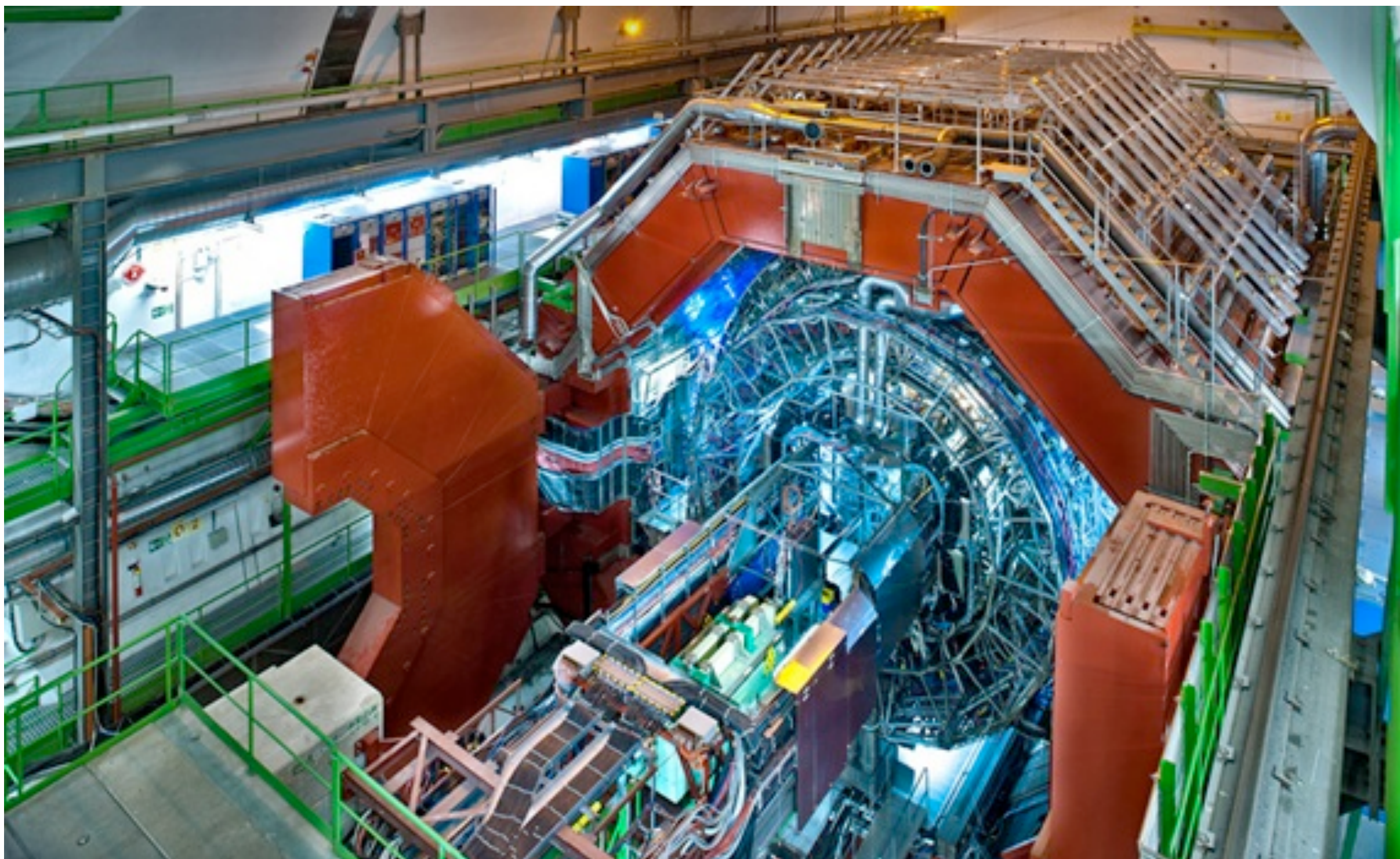
ALICE

(A Large Ion Collider Experiment)

Experiment ALICE študuje vlastnosti hmoty, ktorá sa vytvára v zrážkach Pb+Pb.

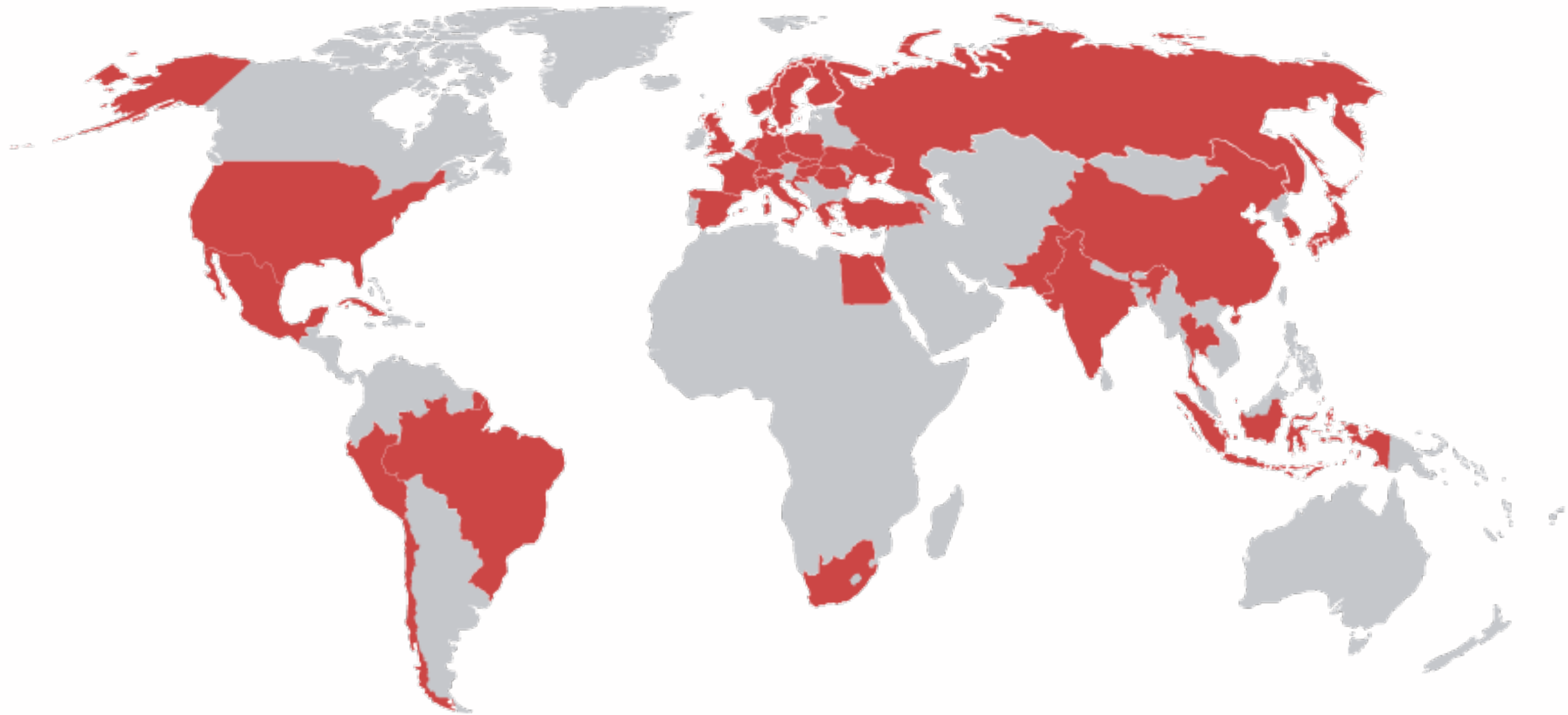


Množstvo signatúr kvarkovo-gluónovej plazmy kladie veľké nároky na dizajn detektora.



ALICE - medzinárodná kolaborácia

37 krajín, 151 univerzít alebo inštitútov, 1550 členov



Slovenská účasť v ALICE



FMFI UK



Bratislava

Team Leader: Branislav Sitár

Členovia:

M. Mereš, M. Pikna, P. Strmeň,
I. Szarka

PhD študenti:

A. Szabo

PF UPJŠ



Košice

Team Leader: Ivan Králik

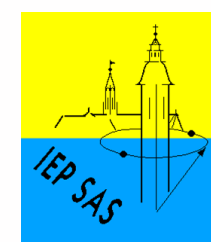
Členovia:

M. Bombara, A. Jadlovská, J. Jadlovský, S.
Jadlovská, P. Kaliňák, A. Kravčáková, L. Šándor,
M. Krivda, I. Kuľková, J. Mušínský, M. Straka, J.
Špalek, M. Val'a, J. Vrláková

PhD študenti:

J. Čabala, J. Čerkala, M. Kopčík, M. Šefčík,
M. Oravec

ÚEF SAV



FEI TUKE



Zhrnutie

- Pravdepodobne najhorúcejšia hmota vo Vesmíre sa produkuje na LHC v CERN v zrážkach olovených jadier. Odborne sa nazýva kvarkovo-gluónová plazma.
- Na jej štúdium je dizajnovaný jeden z veľkých experimentov na LHC: ALICE
- Slovensko aktívne prispieva do ALICE (hardware, software, fyzikálna analýza)