

# O čo ide v projekte THOR COST v jazyku laika

COST Action CA15213

Theory of HOf matter and Relativistic heavy ion collisions  
Teória horúcej hmoty a relativistických zrážok ťažkých iónov

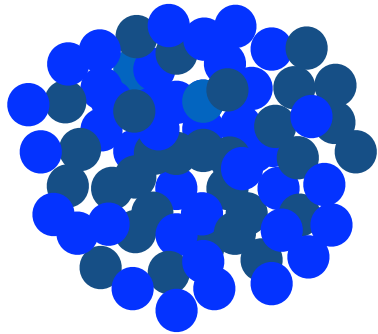
**Boris Tomášik**

*Univerzita Mateja Bela*

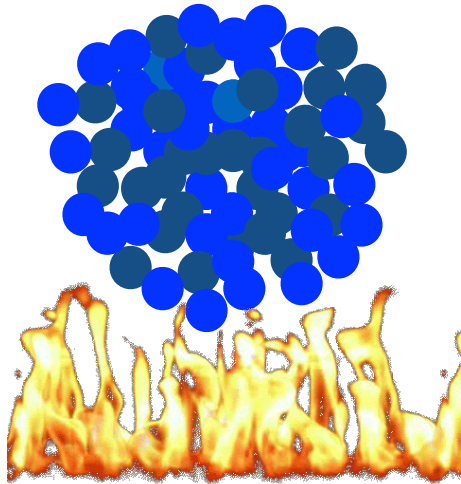


# Horúca hmota...

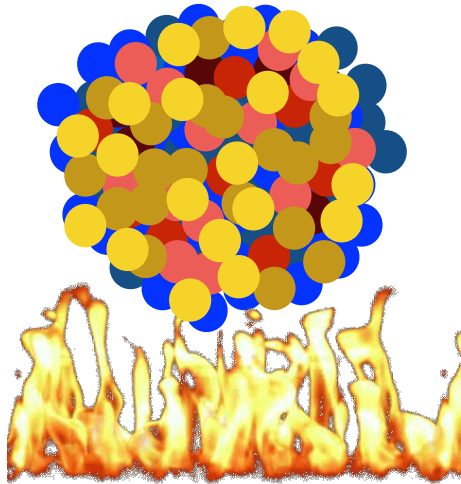
# Horúca hmota...



# Horúca hmota...



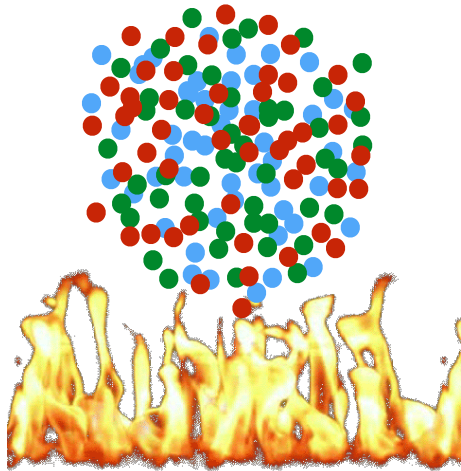
# Horúca hmota...



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

## Raný vesmír

# Horúca hmota...



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

## Raný vesmír

## Kvarkovo-gluónová plazma

# Kritické podmienky

$$T_c = 2\,000\,000\,000\,000\,000\,^{\circ}\text{C}$$

# Kritické podmienky

$$T_c = 2\,000\,000\,000\,000\,000\,^{\circ}\text{C}$$

Energia v  $1\text{ cm}^3$  kvarkovo-gluónovej plazmy:  
10 000 000 000 000 000 TWh



# Kritické podmienky

$$T_c = 2\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,^{\circ}\text{C}$$

Energia v  $1\text{ cm}^3$  kvarkovo-gluónovej plazmy:  
10 000 000 000 000 000 TWh

ročná produkcia Slovenských elektrární:  
23 TWh

# QGP v laboratóriu: jadrové zrážky

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

simulácia: Marcus Bleicher a kol. (J.W. Goethe Universität Frankfurt)

animácia: Jeffery Mitchell (Brookhaven National Laboratory)

# QGP v laboratóriu: jadrové zrážky



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

simulácia: Marcus Bleicher a kol. (J.W. Goethe Universität Frankfurt)  
animácia: Jeffery Mitchell (Brookhaven National Laboratory)

# *CERN: zrážanie ťažkých iónov*

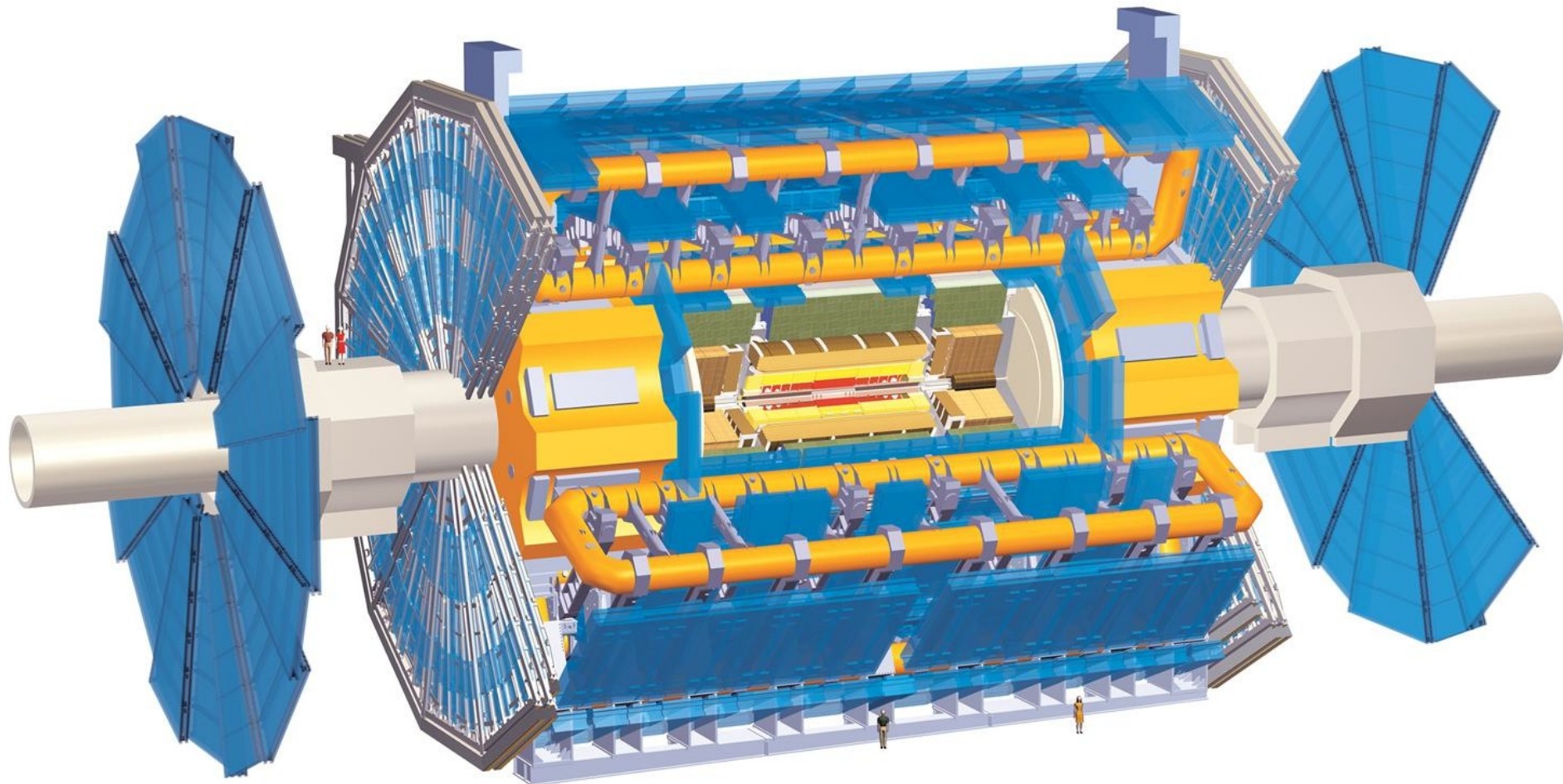


# CERN: zrážanie ťažkých iónov





# Experiment ATLAS





# CERN: zrážanie ťažkých iónov

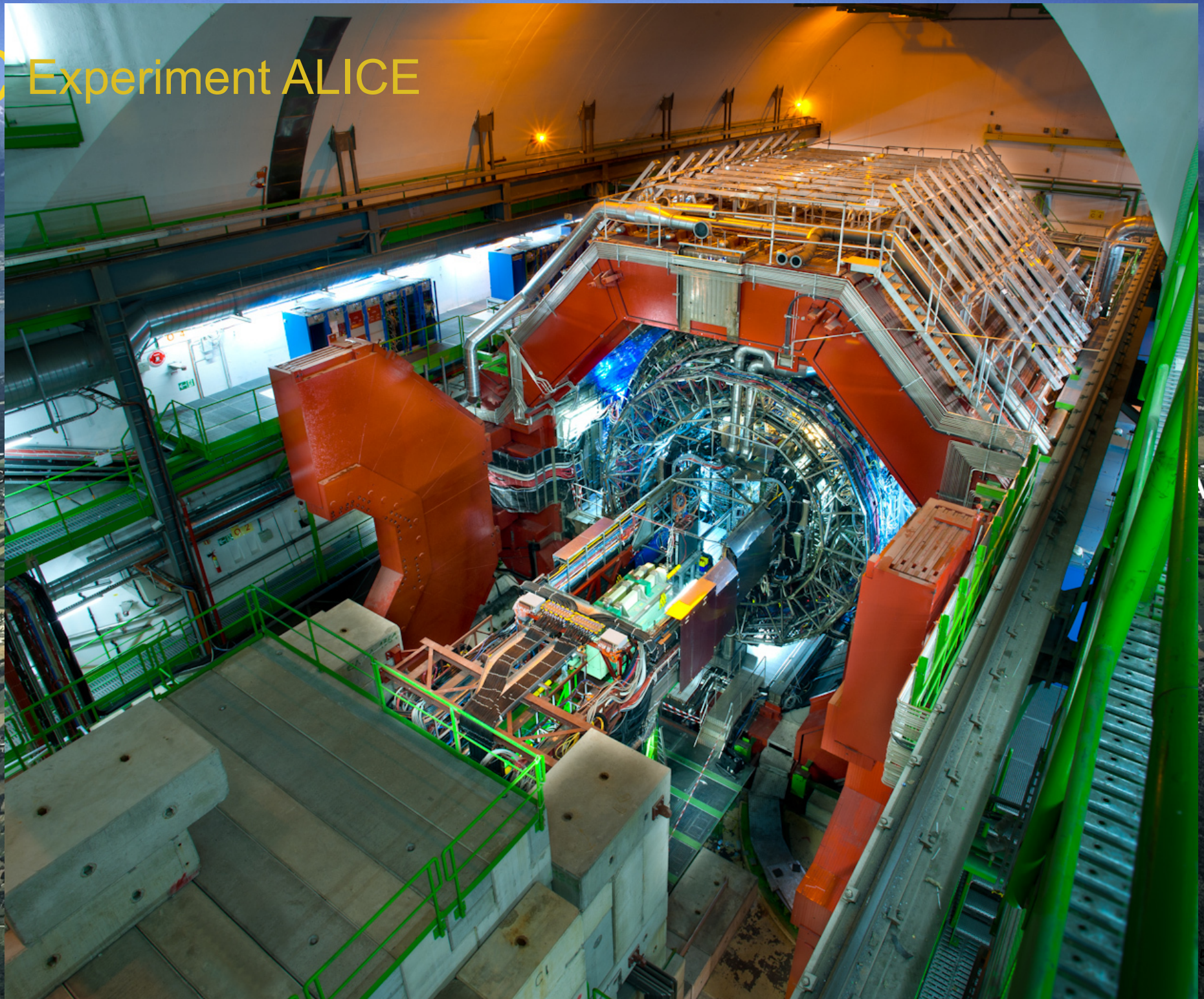




# Experiment ALICE

SUISSE  
FRANCE

ALICE





# CERN: zrážanie ťažkých iónov



SUISSE  
FRANCE

CMS

LHCb

ATLAS

CERN Meyrin

CERN Prévessin

SPS 7 km

LHC 27 km

ALICE



# Vlastnosti kvarkovo-gluónovej plazmy

- Aký má tlak pri takej vysokej teplote?
- Akú má viskozitu?
- Ako sa sformuje?
- Akú teplotu dosiahne?
- ...

# Typické energie, veľkosti a časy

## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

# Typické energie, veľkosti a časy


## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

Typický rozmer:  $10^{-14}$ m

jablko

$10^{-1}$ m

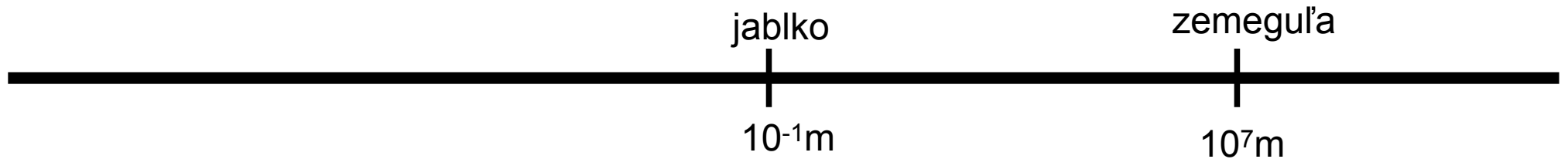
A horizontal black line representing a scale. A vertical tick mark is positioned at the center of the line. Above the tick mark is the word 'jablko' and below it is the value '10^-1m'.

# Typické energie, veľkosti a časy

## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

Typický rozmer:  $10^{-14}$ m

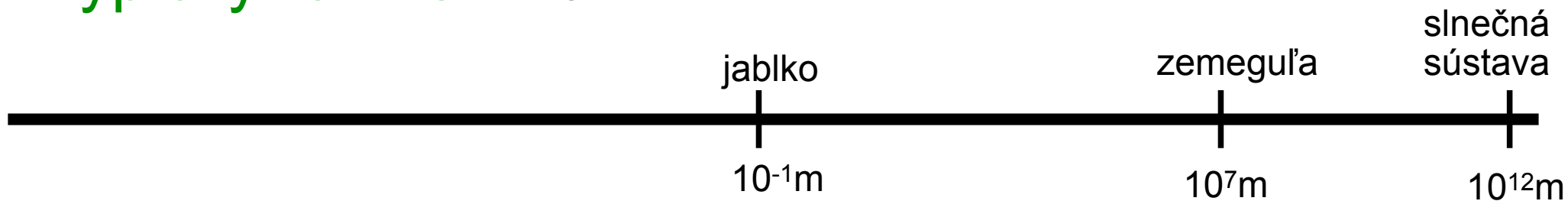


# Typické energie, veľkosti a časy

## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

Typický rozmer:  $10^{-14}$ m

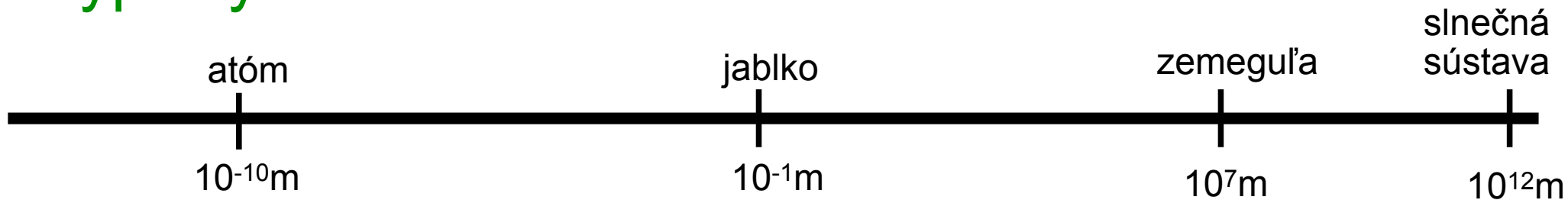


# Typické energie, veľkosti a časy

## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

Typický rozmer:  $10^{-14}$ m

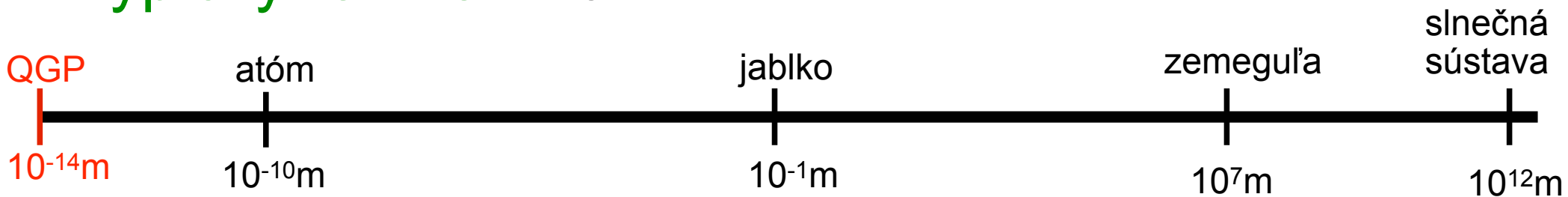


# Typické energie, veľkosti a časy

## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

Typický rozmer:  $10^{-14}$ m



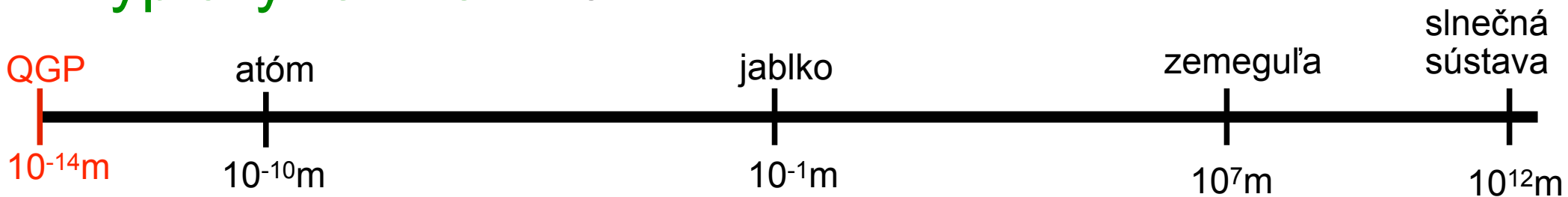


# Typické energie, veľkosti a časy

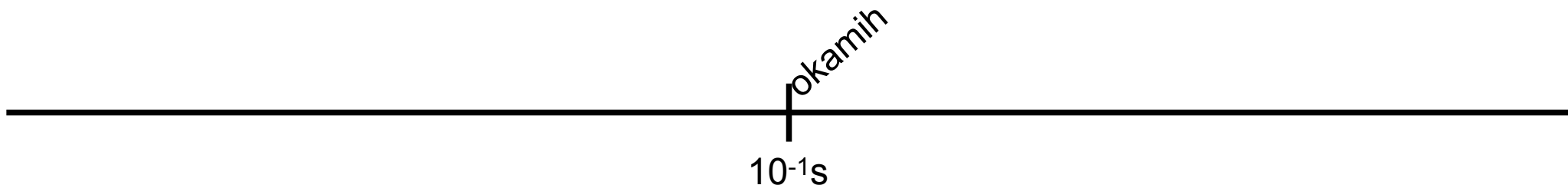
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m



## Typická doba života: $10^{-22}$ s

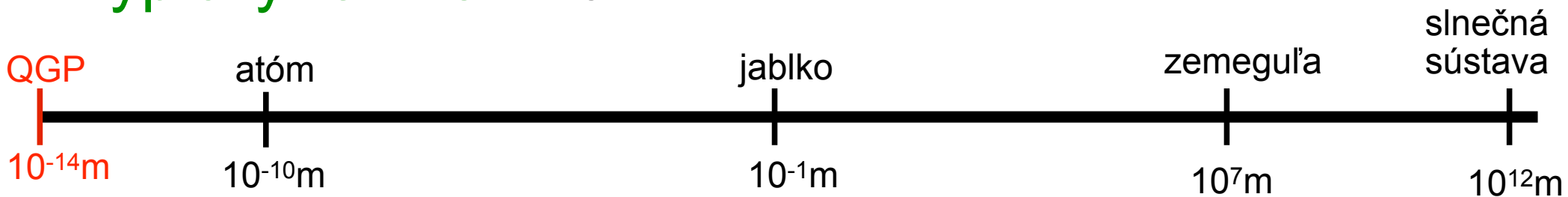


# Typické energie, veľkosti a časy

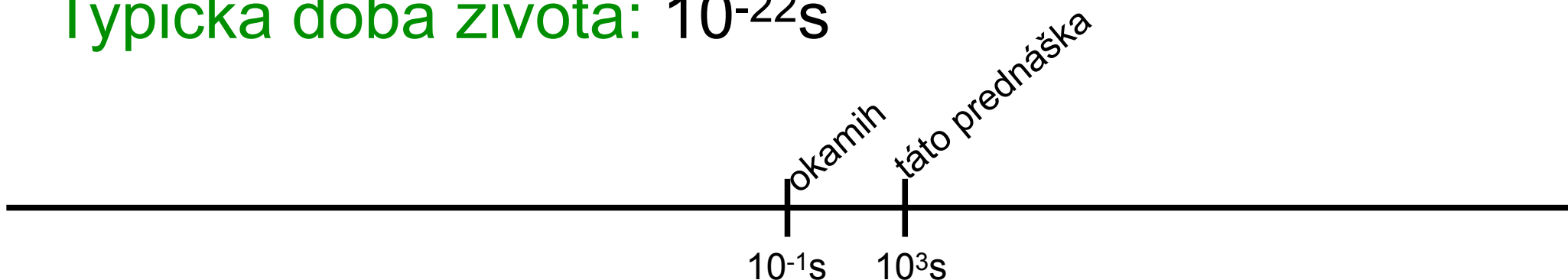
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m



## Typická doba života: $10^{-22}$ s

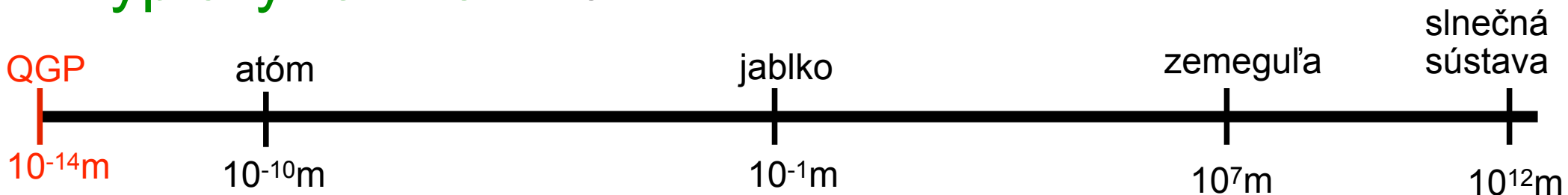


# Typické energie, veľkosti a časy

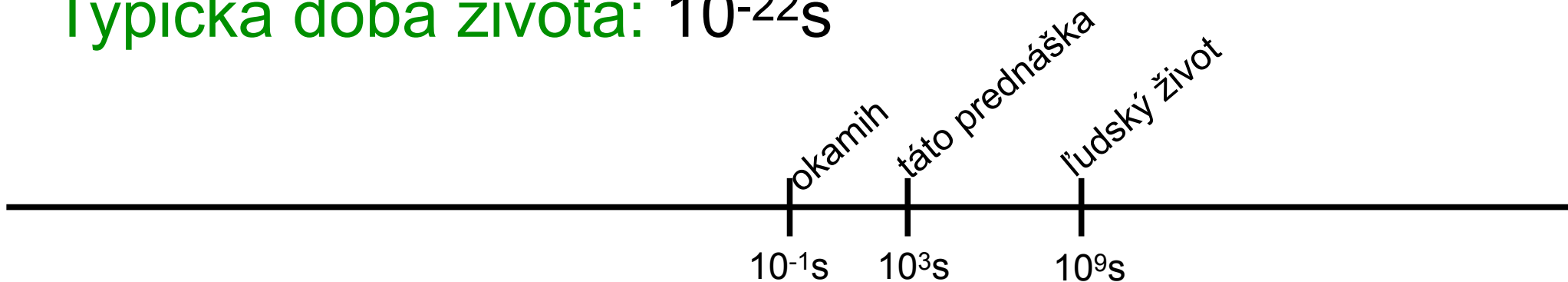
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m



## Typická doba života: $10^{-22}$ s

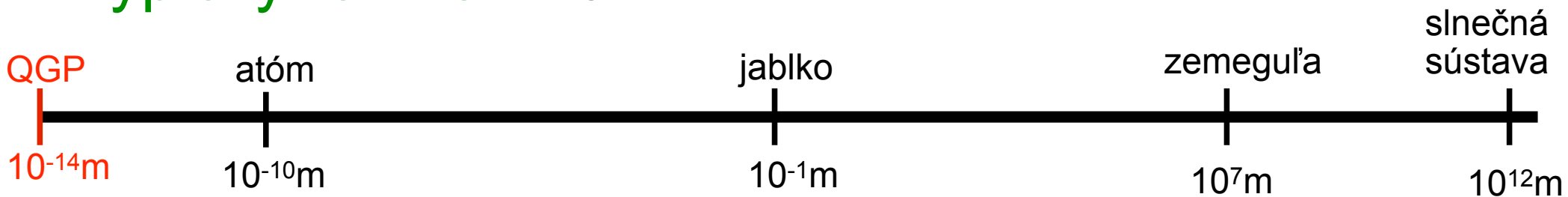


# Typické energie, veľkosti a časy

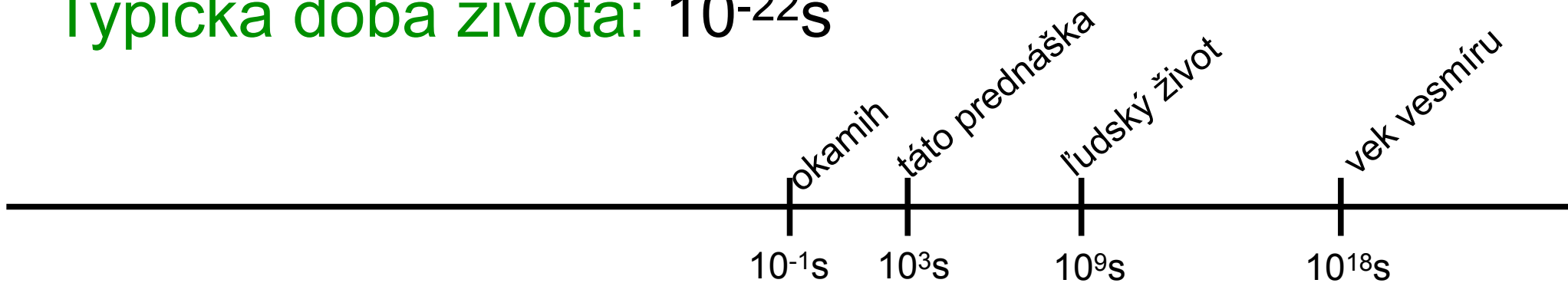
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m



## Typická doba života: $10^{-22}$ s

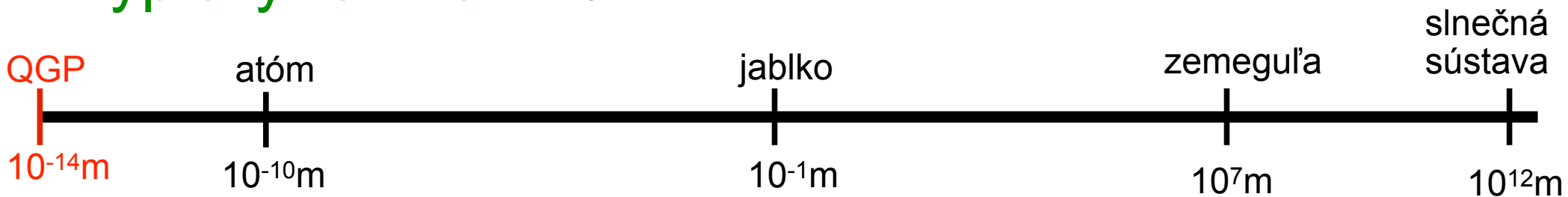


# Typické energie, veľkosti a časy

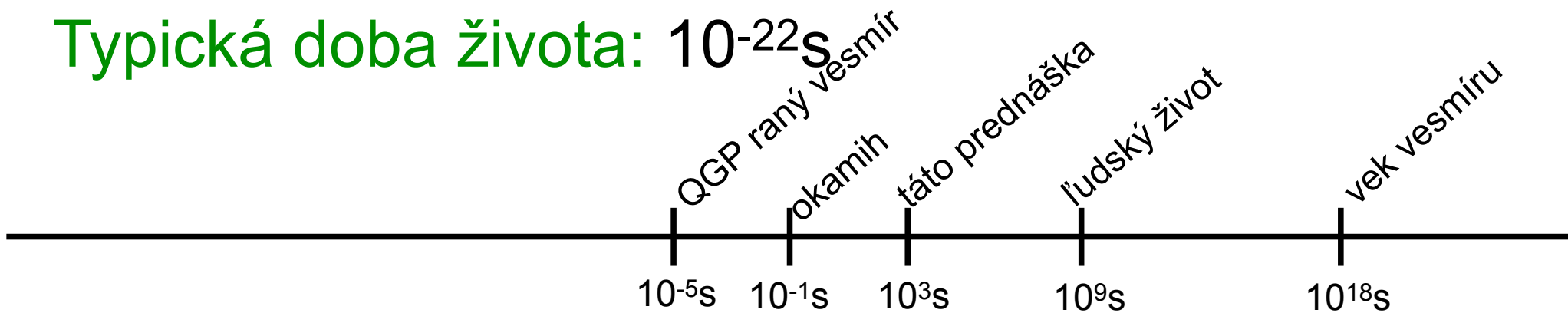
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m



## Typická doba života: $10^{-22}$ s

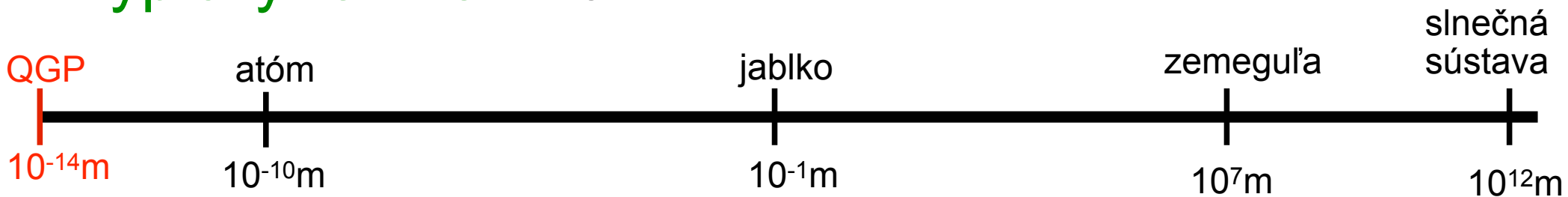


# Typické energie, veľkosti a časy

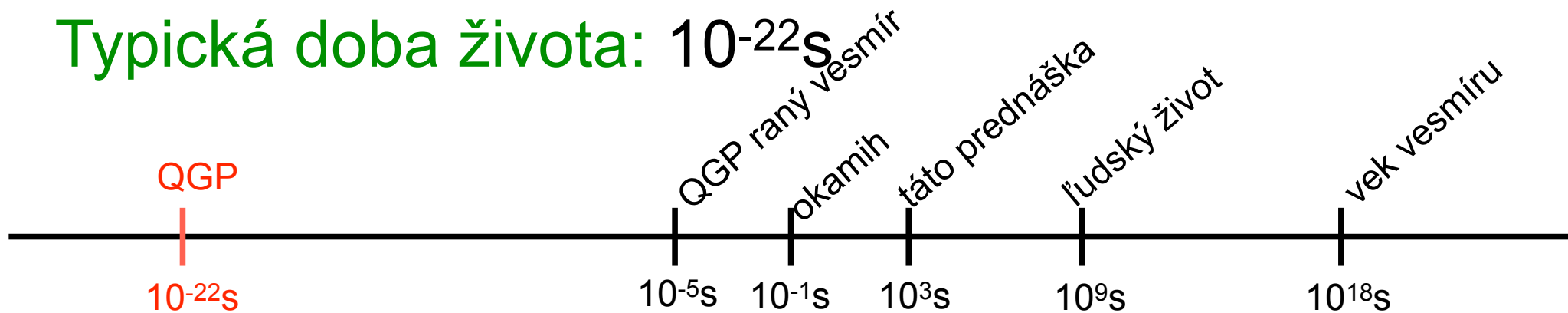
## Energia zrážky

LHC: 1 144 TeV  $\approx$  0,2 mJ (energia letiaceho sršňa)

## Typický rozmer: $10^{-14}$ m

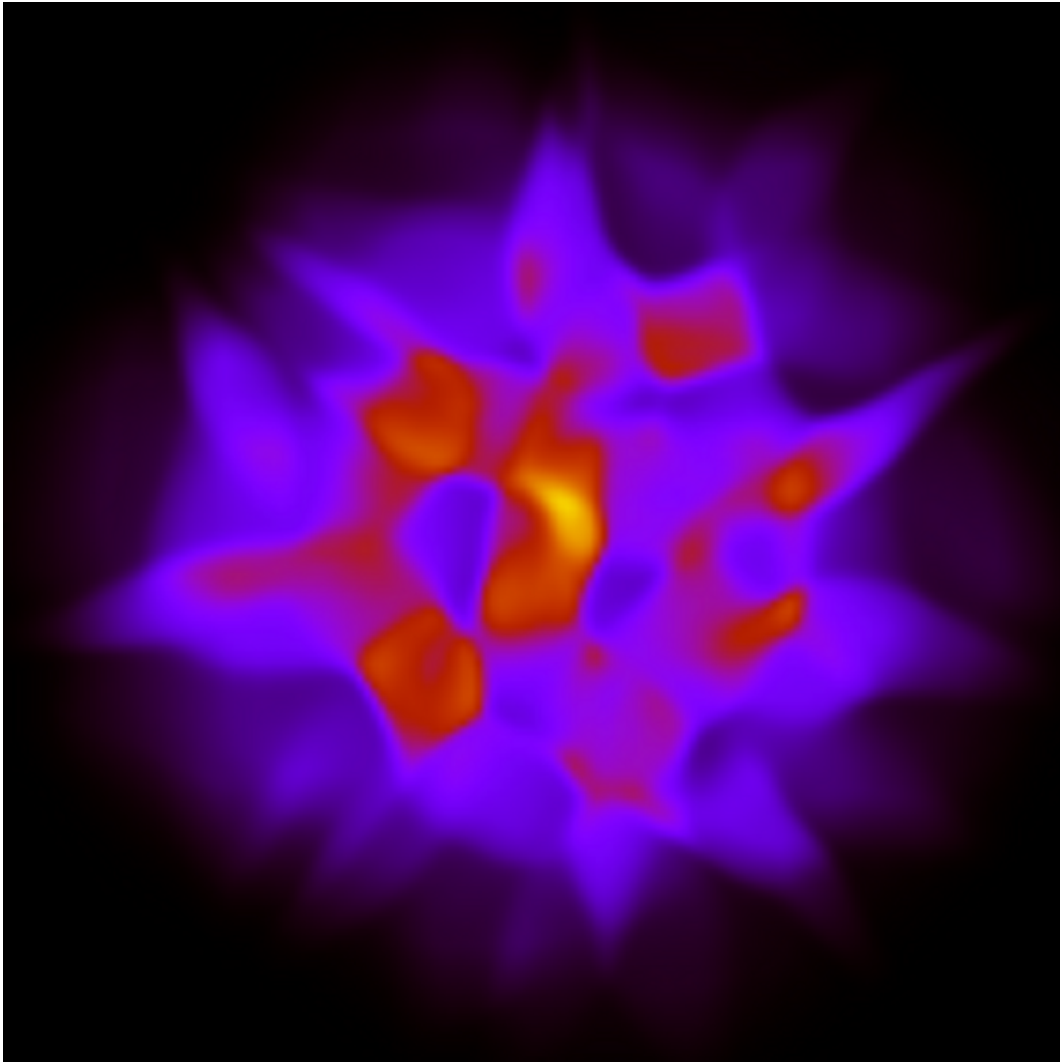


## Typická doba života: $10^{-22}$ s



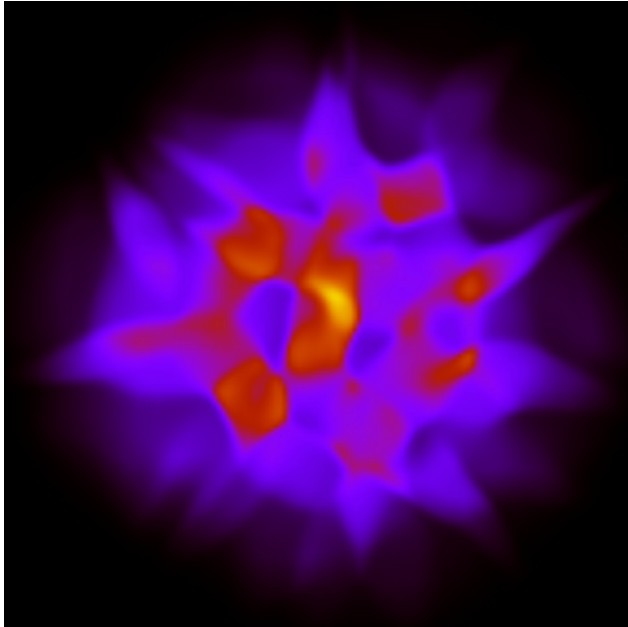
# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

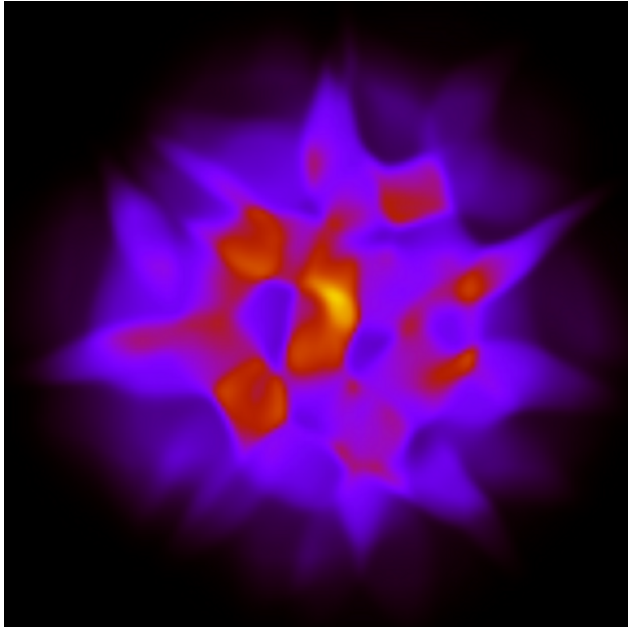




# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy



# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy



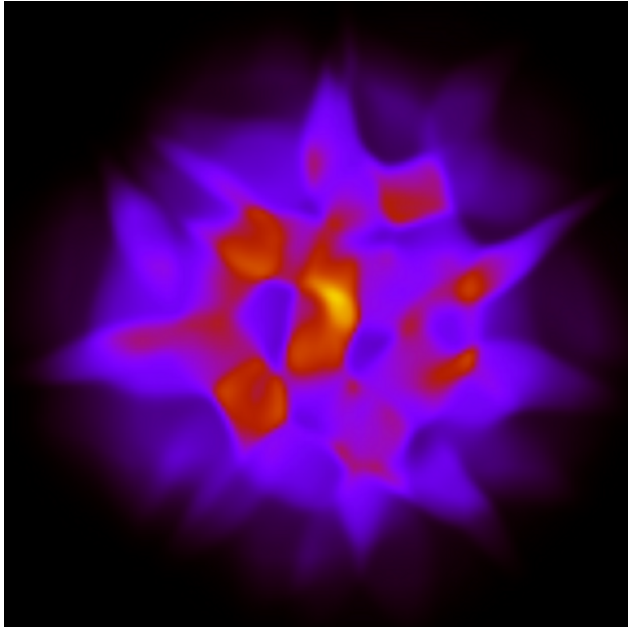
$$\partial_{\mu} T^{\mu\nu} = J^{\nu}$$

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

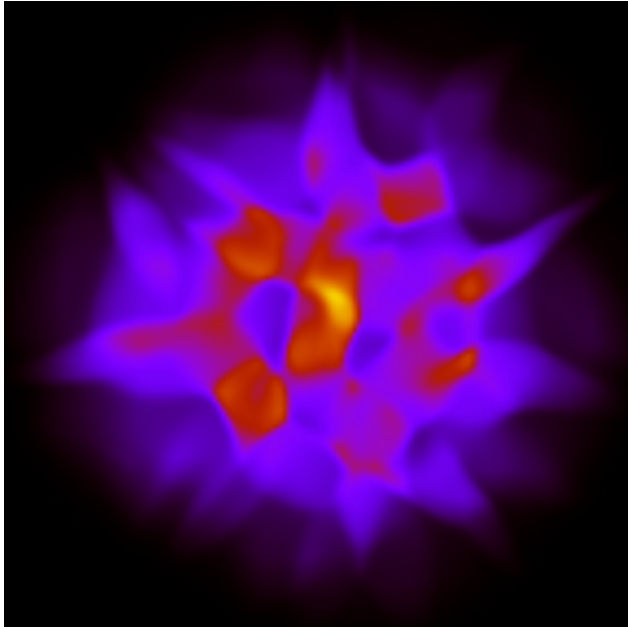
$$T_0^{\mu\nu} = (\varepsilon + p)u^{\mu}u^{\nu} - pg^{\mu\nu}$$

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

# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

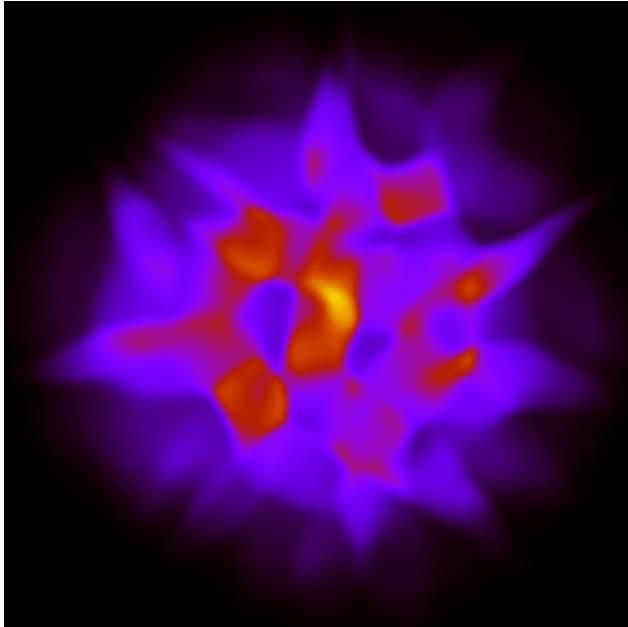


# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

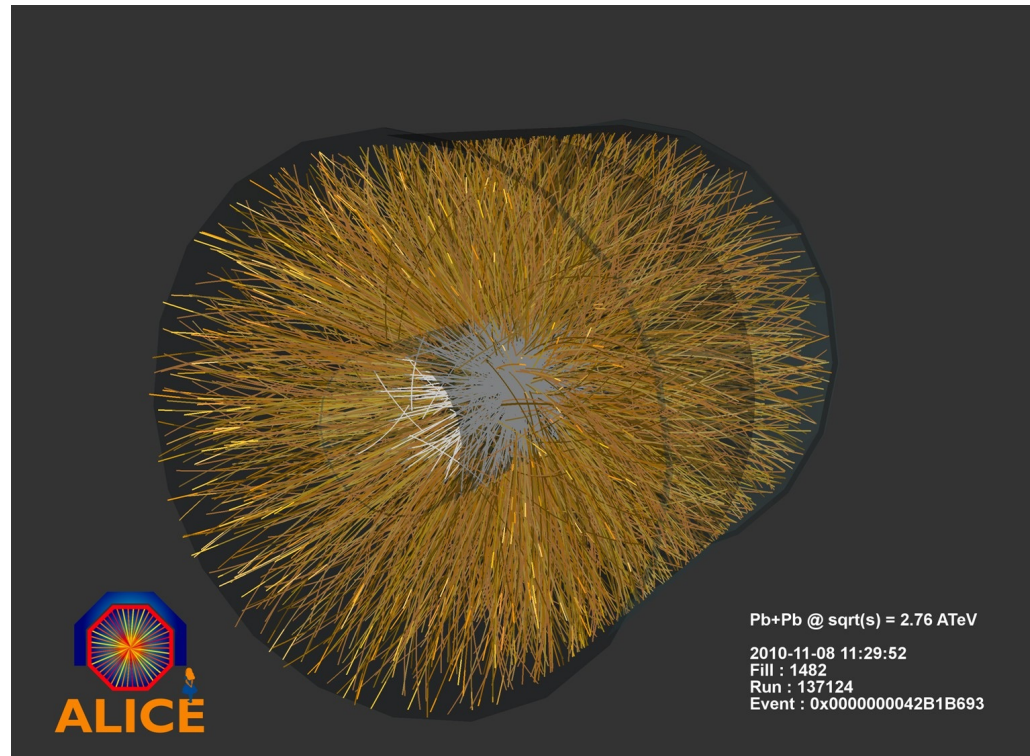
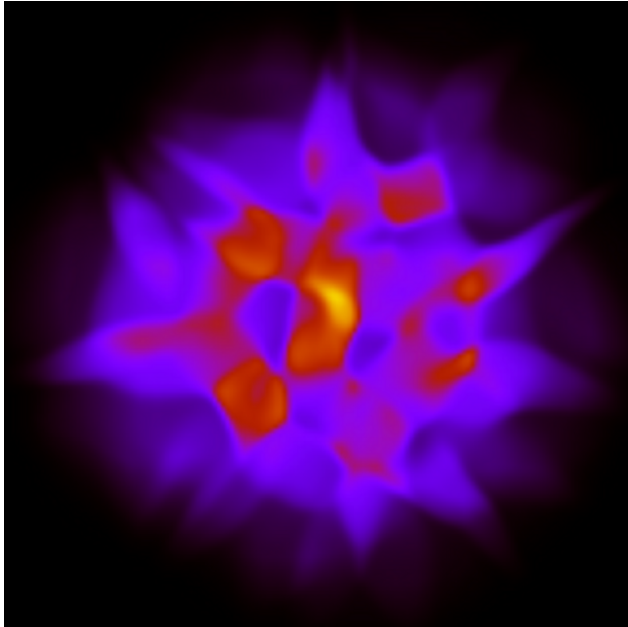


```
1fluid.f
[]
  if(over.eq.1 .and.under.eq.1)then
    call fillcube(i,j,k,hyperstep,e,elast,HyperCube)
    Ngp = COUNT(HyperCube.ge.CTParam(64))
    call Cornelius(CTParam(64),HyperCube,Ngp,dSigma,Nsurf,Vmid,
    & dthyper,dxh,dxh,dxh,Nanbi,Ndisc)
  c hp interpolate values on hypersurface and write them to hypersurface array
  call fillcube(i,j,k,hyperstep,n,nlast,Hypern)
  call fillcube(i,j,k,hyperstep,vx,vxlast,Hypervx)
  call fillcube(i,j,k,hyperstep,vy,vylast,Hypervy)
  call fillcube(i,j,k,hyperstep,vz,vzlast,Hypervz)
  t0=t
  x0=(float(i)-float(ngr)*.5-.5)*sngl(dx)
  y0=(float(j)-float(ngr)*.5-.5)*sngl(dx)
  z0=(float(k)-float(ngr)*.5-.5)*sngl(dx)
  DO ii=1,Nsurf
    Hypert=t0+Vmid(0,ii)
    Hyperx=x0+Vmid(1,ii)
    Hypery=y0+Vmid(2,ii)
    Hyperz=z0+Vmid(3,ii)
    emid= Quadrilinear(Vmid(:,ii),HyperCube,dthyper,dxh,dxh,dxh)
    nmid = Quadrilinear(Vmid(:,ii),Hypern,dthyper,dxh,dxh,dxh)
    Vxmid = Quadrilinear(Vmid(:,ii),Hypervx,dthyper,dxh,dxh,dxh)
    Vymid = Quadrilinear(Vmid(:,ii),Hypervy,dthyper,dxh,dxh,dxh)
    Vzmid = Quadrilinear(Vmid(:,ii),Hypervz,dthyper,dxh,dxh,dxh)
    Tmid=Temp(emid,nmid)
    muqmid=chem(emid,nmid)
    musmid=schem(emid,nmid)
    pressmid=press(emid,nmid)
  c calculate net baryon density flow through surface
    gammid=1.d0/sqrt(1.d0-Vxmid**2-Vymid**2-Vzmid**2)
    umudsigm=gammid*(dSigma(0,ii)+Vxmid*dSigma(1,ii)
    & +Vymid*dSigma(2,ii)+Vzmid*dSigma(3,ii))
    bflow=nmid*umudsigm*n0
    tnn=(emid+pressmid)*gammid**2-pressmid
    tnx=(emid+pressmid)*Vxmid*gammid**2
    tny=(emid+pressmid)*Vymid*gammid**2
    tnz=(emid+pressmid)*Vzmid*gammid**2
    ene=(dSigma(0,ii)*tnn+dSigma(1,ii)*tnx
    & +dSigma(2,ii)*tny+dSigma(3,ii)*tnz)*e0/1.d3
    if((bflow).lt.0)then
      negbflow=negbflow+bflow
    else
      posbflow=posbflow+bflow
    endif
    if((ene).lt.0)then
      negene=negene+ene
    else
      posene=posene+ene
    endif
  END DO
  END IF
END SUBROUTINE
```

# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy

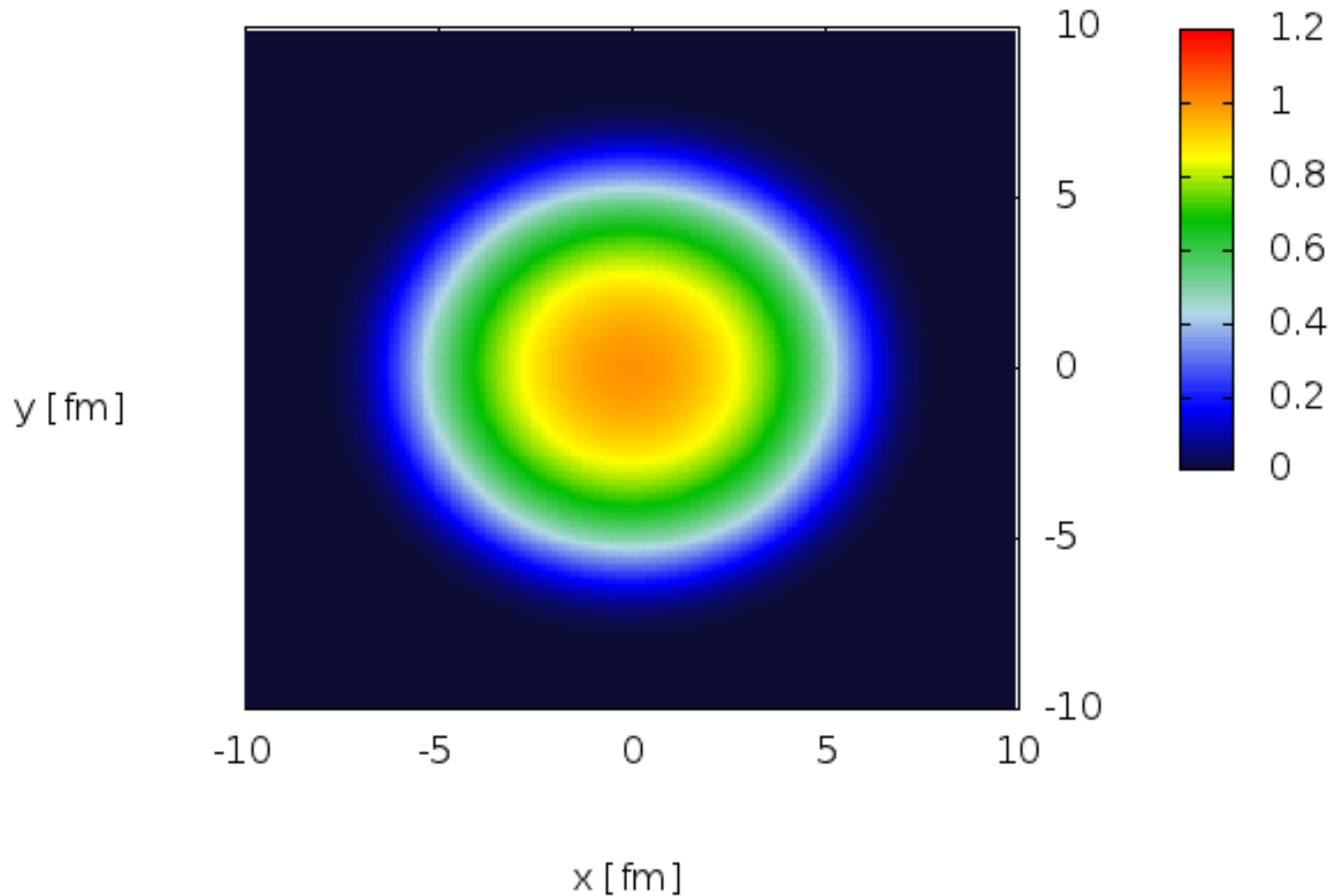


# Rozpínanie kvarkovo-gluónovej plazmy



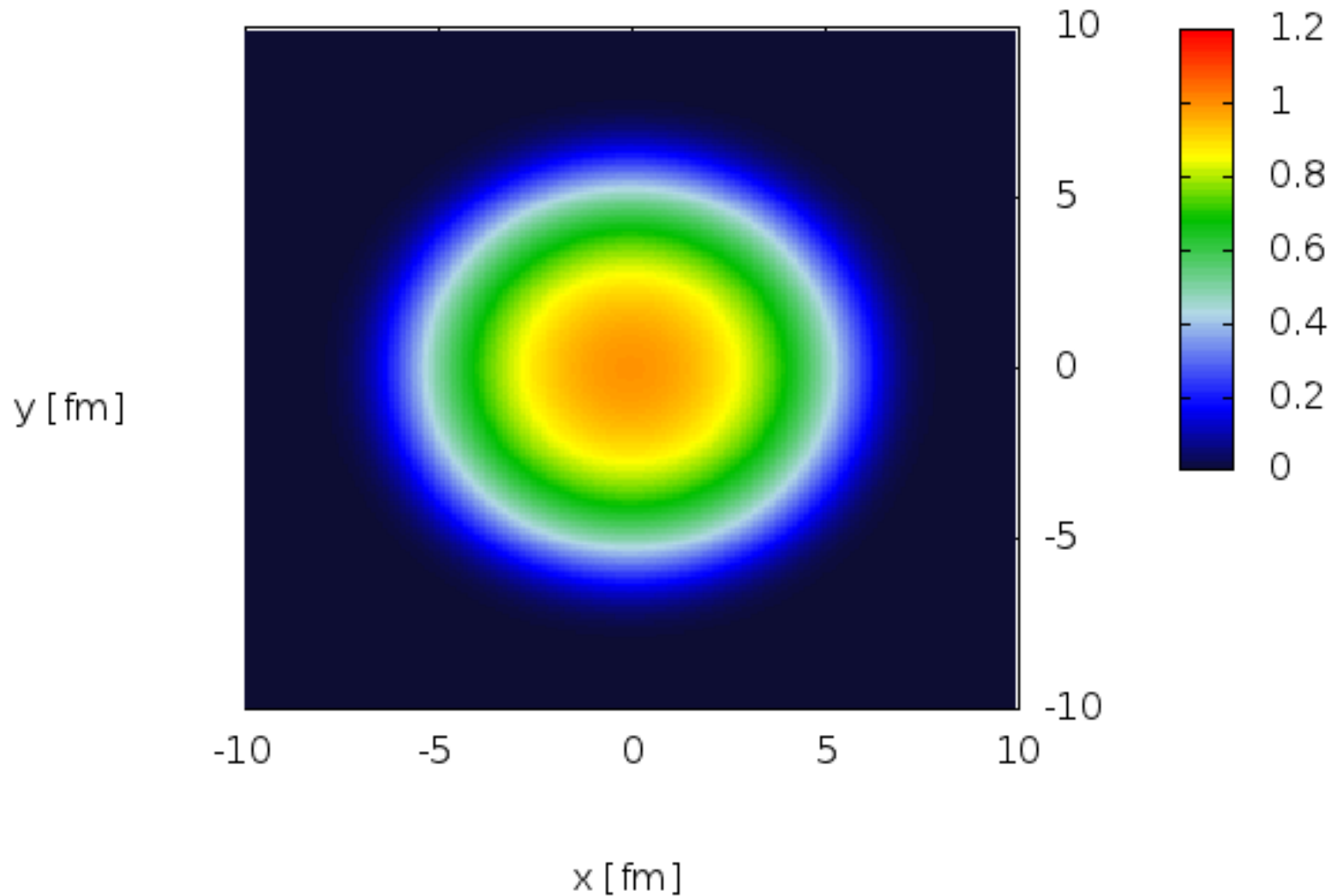
# Čo robíme my

Cez plazmu prelietajú veľmi rýchle kvarky a gluóny a strhávajú ju za sebou



# Čo robíme my

Cez plazmu prelietajú veľmi rýchle kvarky a gluóny a strhávajú ju za sebou





# Štúdium kvarkovo-gluónovej plazmy

# Štúdium kvarkovo-gluónovej plazmy

- na urýchľovači LHC dokážeme zrážaním jadier olova vyrobiť malé kvapky hmoty s roztopenými protónmi:  
kvarkovo-gluónovú plazmu

# Štúdium kvarkovo-gluónovej plazmy

- na urýchľovači LHC dokážeme zrážaním jadier olova vyrobiť malé kvapky hmoty s roztopenými protónmi:  
kvarkovo-gluónovú plazmu
- kvarkovo-gluónová plazma vyplňala náš vesmír veľmi krátko po Veľkom tresku

# Štúdium kvarkovo-gluónovej plazmy

- na urýchľovači LHC dokážeme zrážaním jadier olova vyrobiť malé kvapky hmoty s roztopenými protónmi:  
kvarkovo-gluónovú plazmu
- kvarkovo-gluónová plazma vyplňala náš vesmír veľmi krátko po Veľkom tresku
- vieme merať vlastnosti takejto horúcej hmoty!!!

# Grantová žiadosť COST

# Grantová žiadosť COST

- Návrh grantu podáva skupina navrhovateľov, ideálne z viacerých krajín
- ak je návrh schválený, je niekoľko mesiacov čas, aby k Akcii pristúpili členské krajiny COST, ktoré majú záujem
  - musí pristúpiť dostatočný počet štátov
  - členmi Akcie COST sú štáty
  - prístupová procedúra je v každom štáte iná
  - Slovensko: kontaktný bod je Prof. Milan Dado, ŽU
  - členské štáty nominujú zástupcov do Riadiaceho výboru
  - zloženie Riadiaceho výboru je formálne nezávislé od toho, kto boli navrhovatelia
- Akcia COST začína na prvom zasadnutí Riadiaceho výboru

# Riadenie Akcií COST

# Riadenie Akcií COST

- Na prvom zasadnutí Riadiaceho výboru sa zvolí Action Chair a Grant Holder (inštitúcia)
- Agentúra posiela všetky peniaze Grant Holderovi, ktorý sa stará o financie a administratívu
- Odborné veci rieši Action Chair spolu s Riadiacim výborom
- Väčšina platieb ide priamo spolupracovníkom na osobné účty
- Do aktivít sa formálne môže zapojiť každý, kto pracuje v niektorej z krajín, ktoré sú v akcii zahrnuté



# Genéza CA15213 THOR

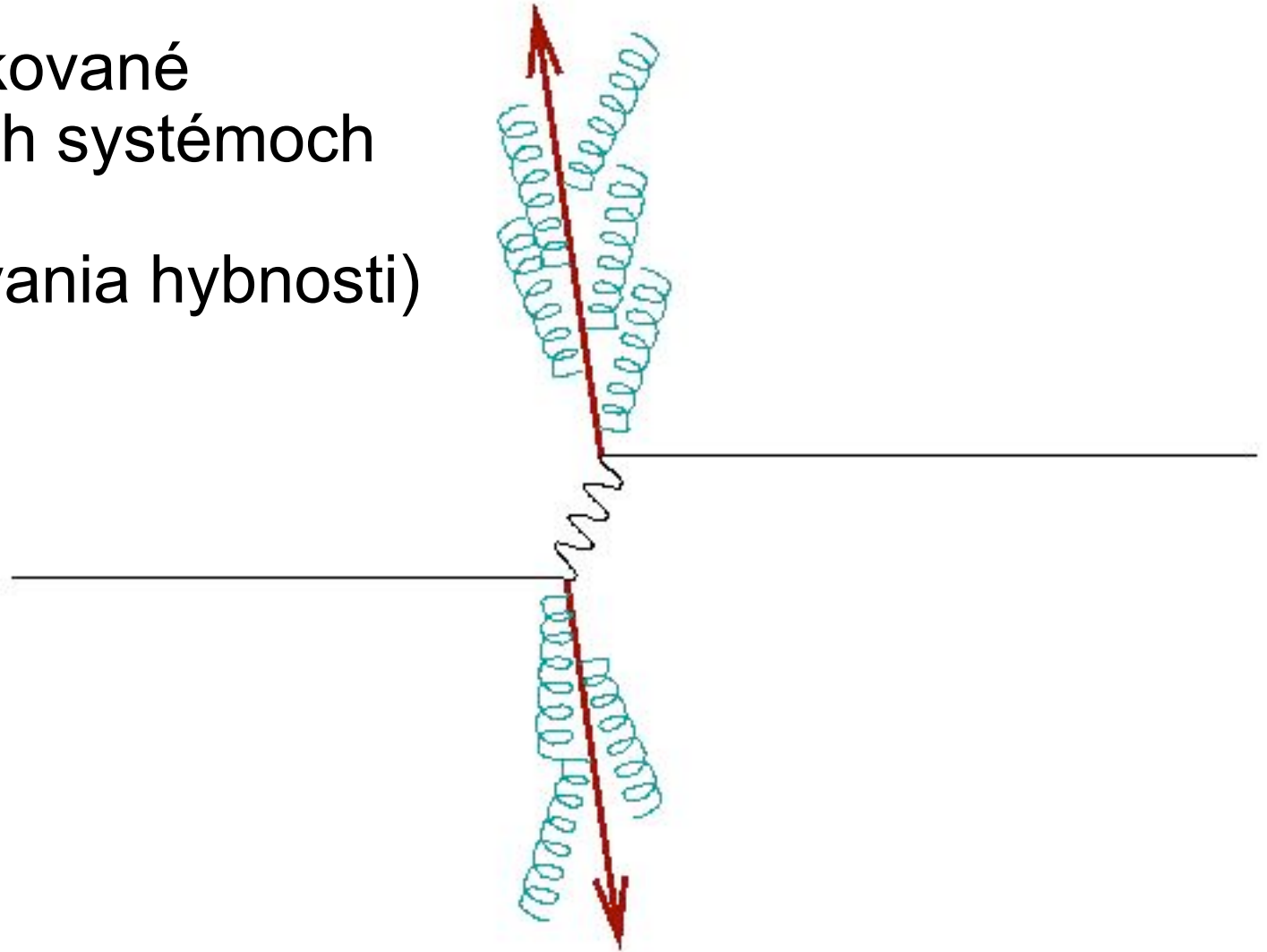
# Genéza CA15213 THOR

- jar 2015: BT sabatikálne voľno na Univerzite vo Frankfurte - napísali sme s Marcusom Bleicherom prvý text návrhu grantu
- oslovili sme okolo 50 ďalších kolegov s ostatných krajín, aby okomentovali návrh a pridali sa k nemu
- leto 2015: konzultácie s UCMP, či by sme boli schopní grant manažovať, ak by nás schválili ako Grant Holdera
- leto 2015: ladenie textu (veľká pomoc z nemeckej strany)
- september 2015: podanie návrhu
- február 2016: návrh bol schválený Agentúrou
- jar 2016: schválenie našej kandidatúry na Grant Holdera vo vedení UMB
- jar-leto 2016: kontaktovanie krajín, aby sa pridali
- október 2016: 1. zasadnutie Riadiaceho výboru, UMB sa stala Grant Holderom

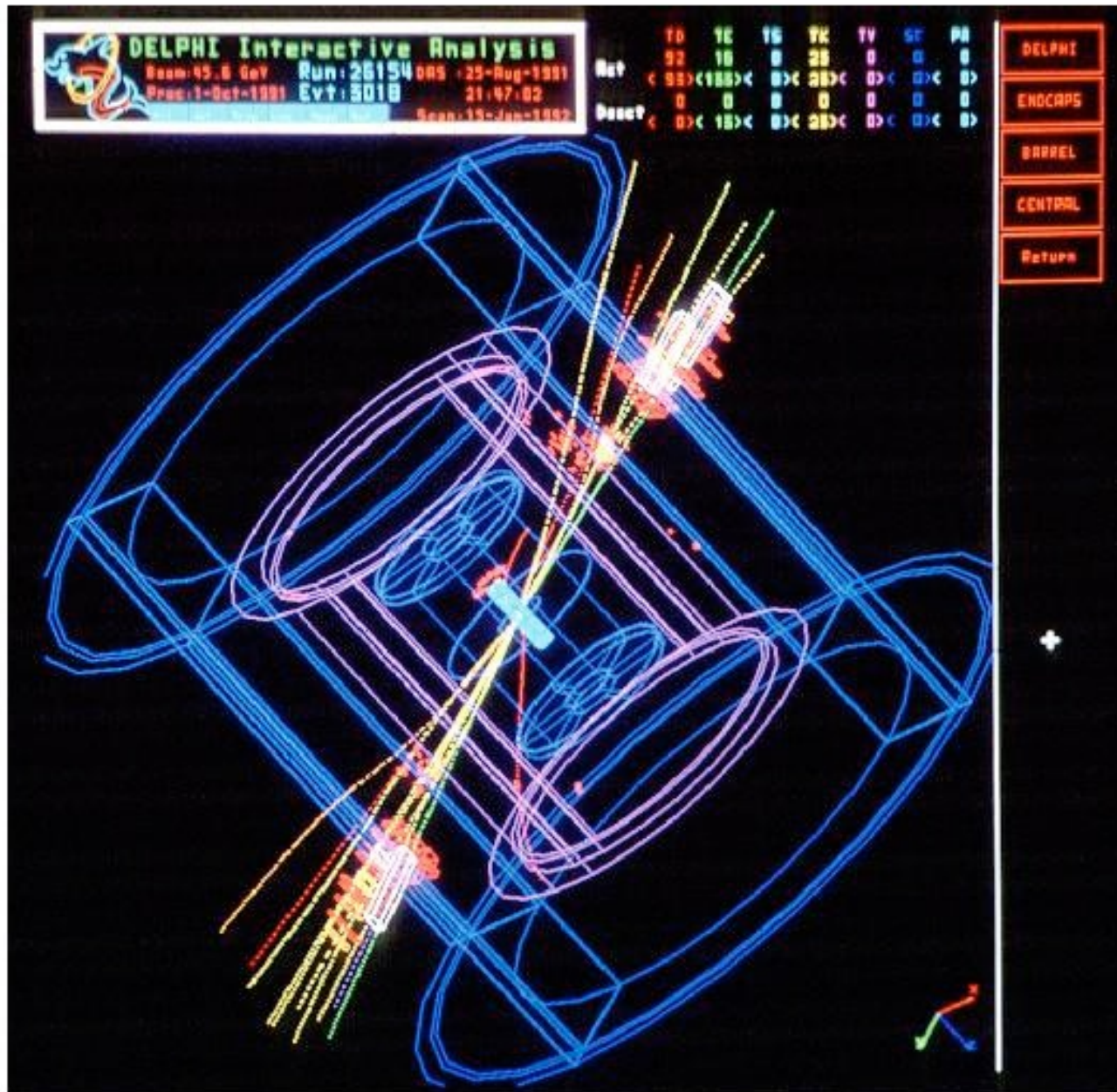
# Záloha

# Potlačenie jetov

Jety sú produkované  
v jednoduchých systémoch  
vždy vo dvojici  
(zákon zachovania hybnosti)

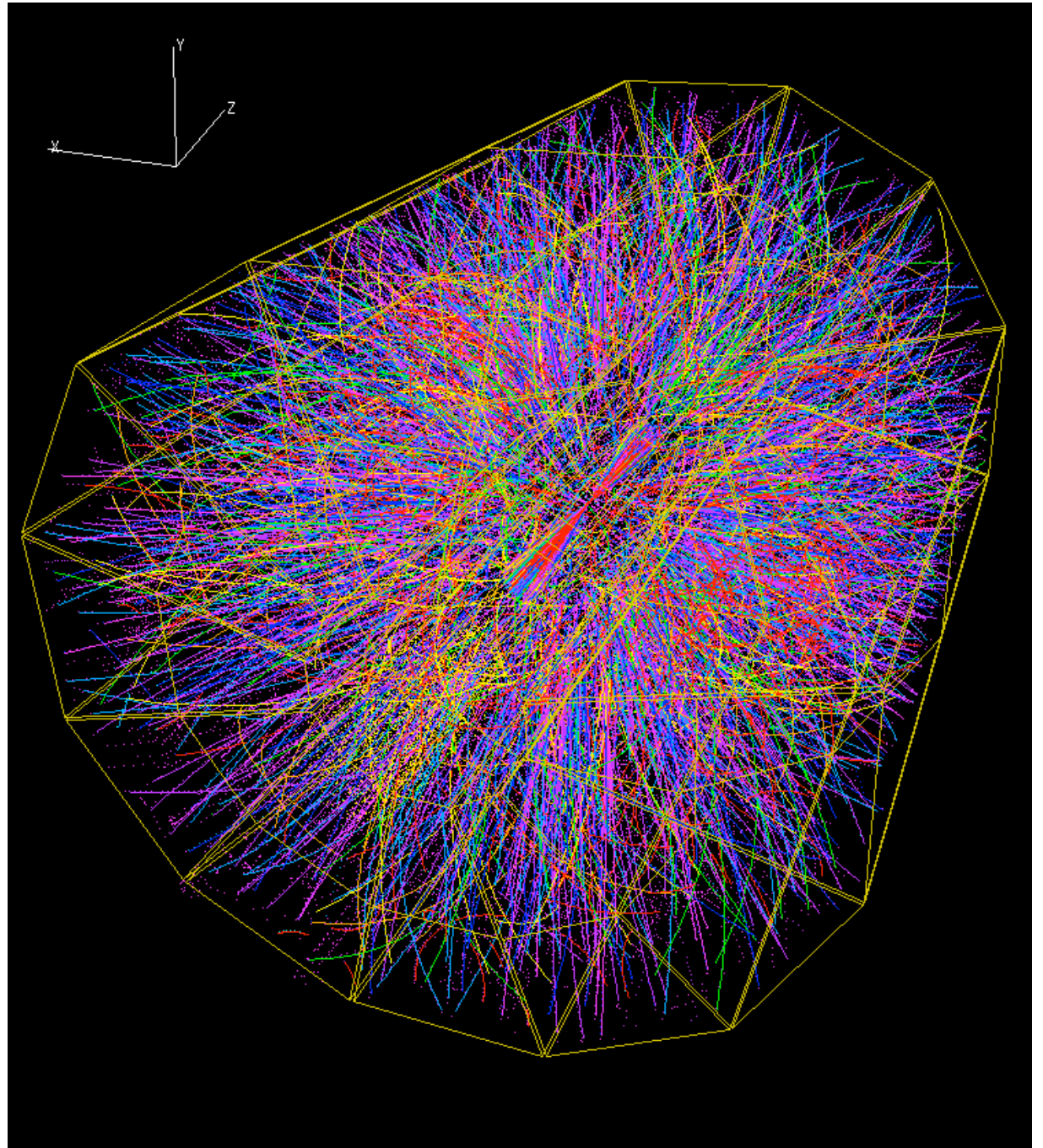


# Jety v zrážce $e^+e^-$



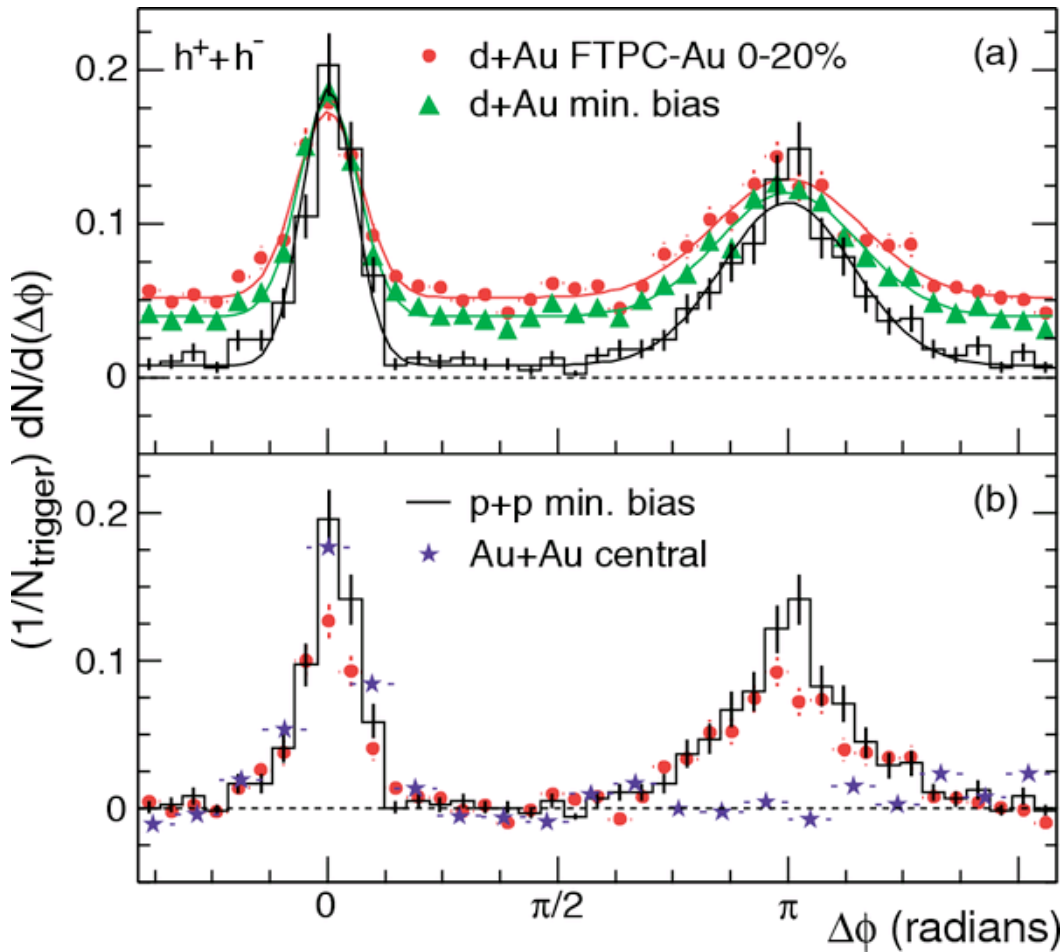


# Jety v zrážce Au+Au?



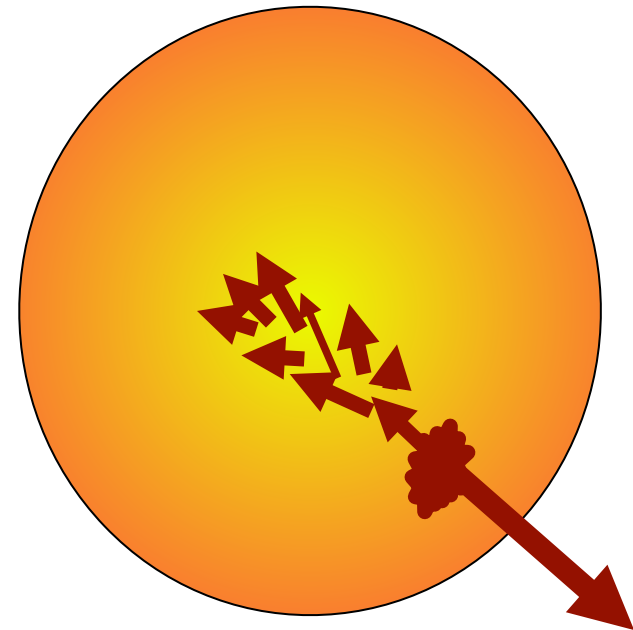
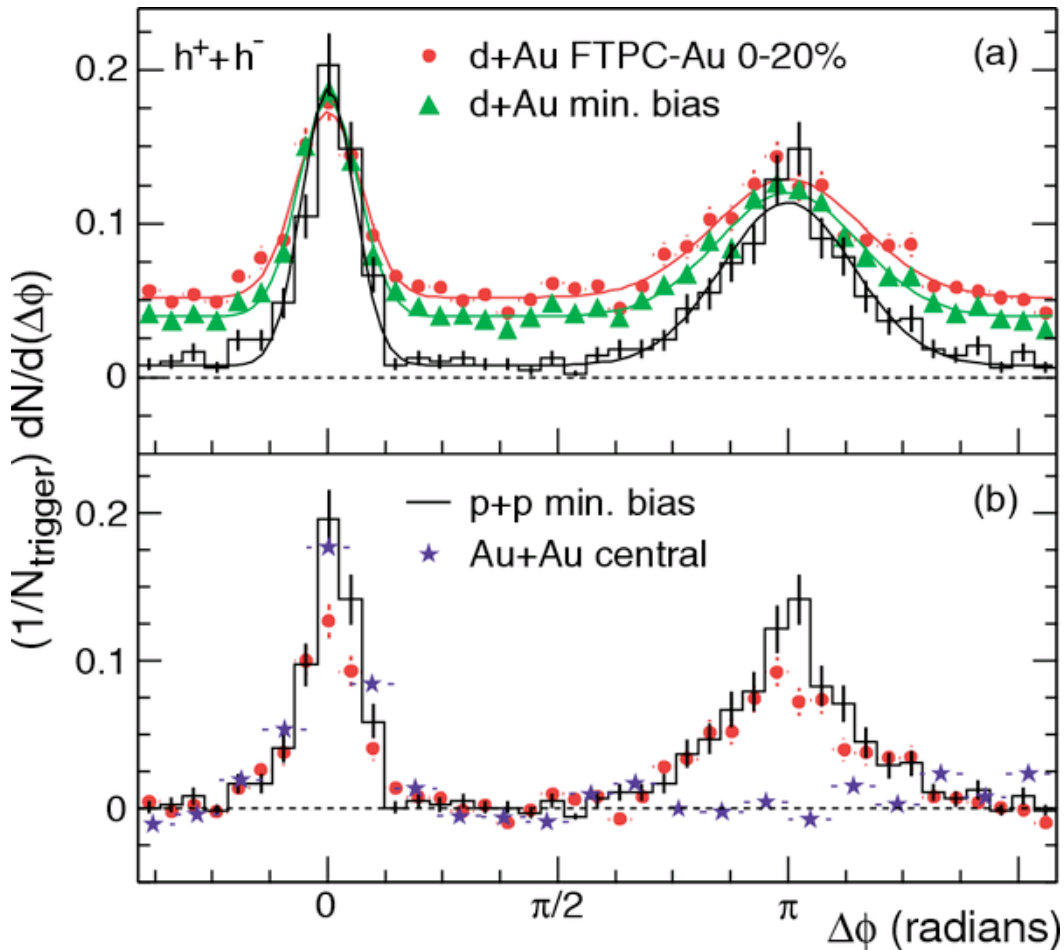


# Vyhasnutie jetu na druhej strane



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

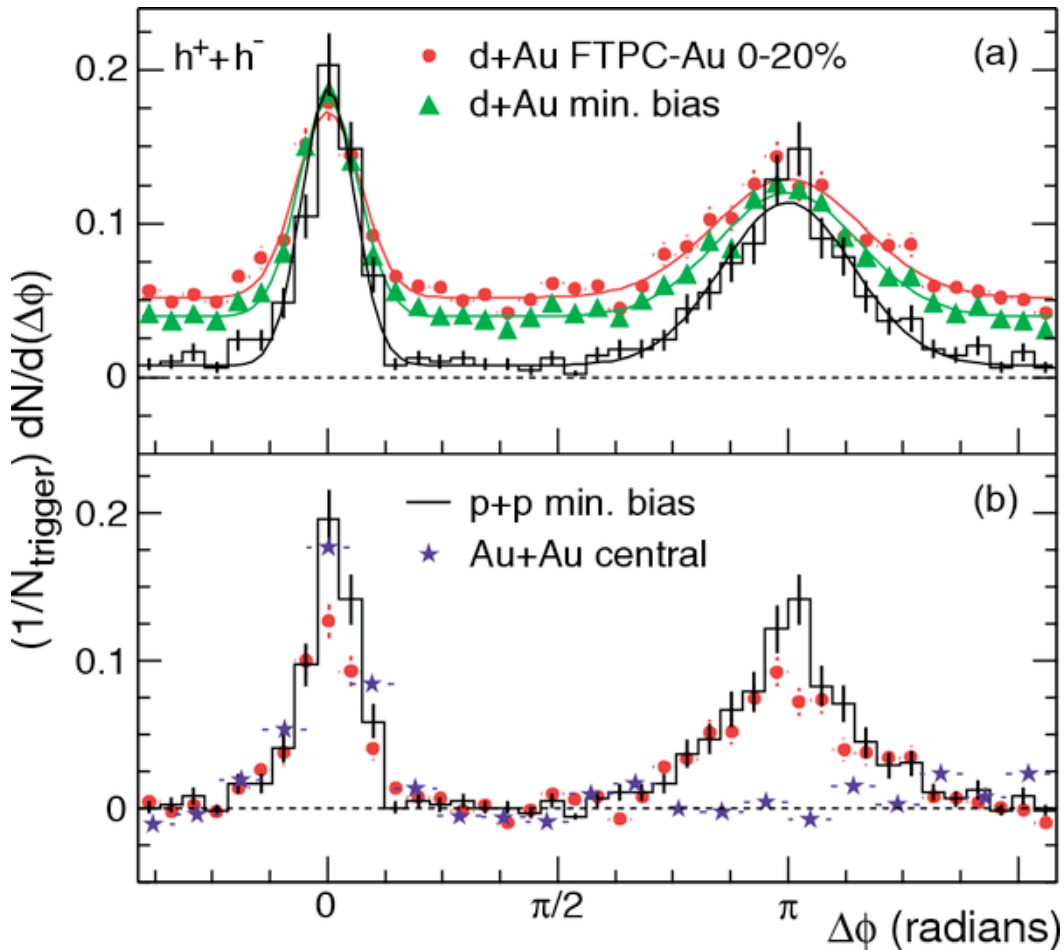
# Vyhasnutie jetu na druhej strane



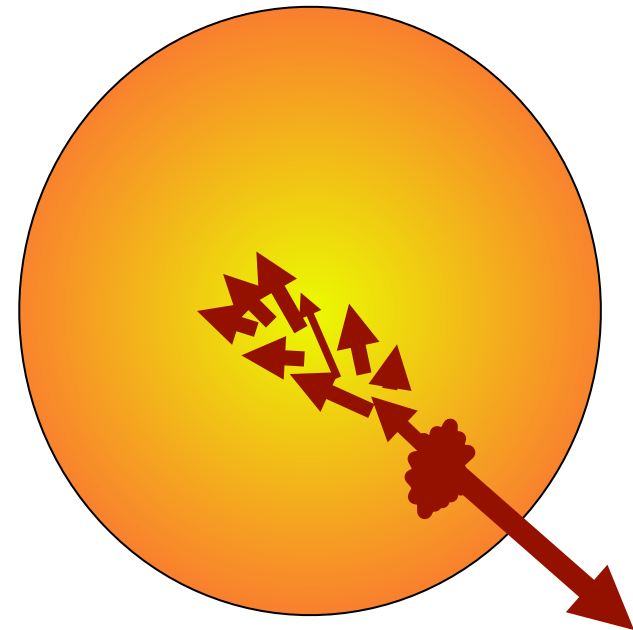
Druhý jet je pohltený v médiu

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

# Vyhasnutie jetu na druhej strane



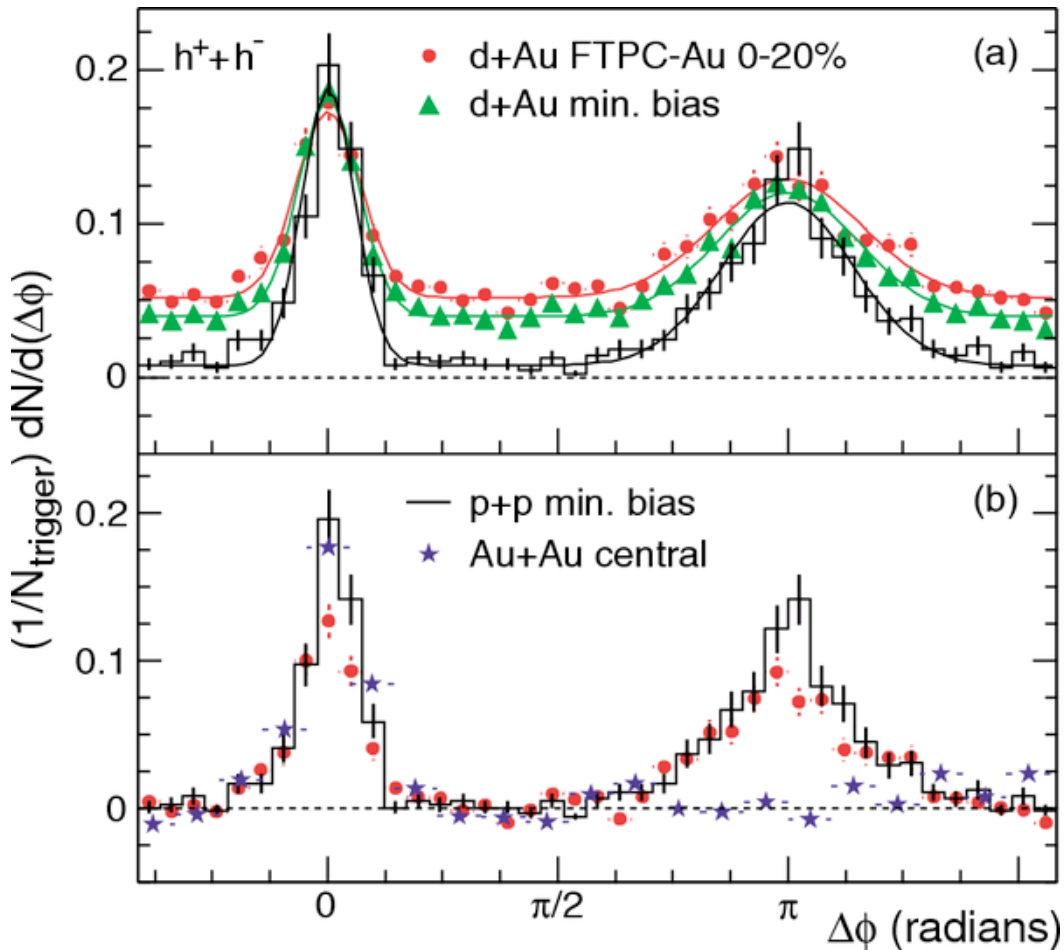
[STAR Collaboration, PRL **91** (2003) 072304]



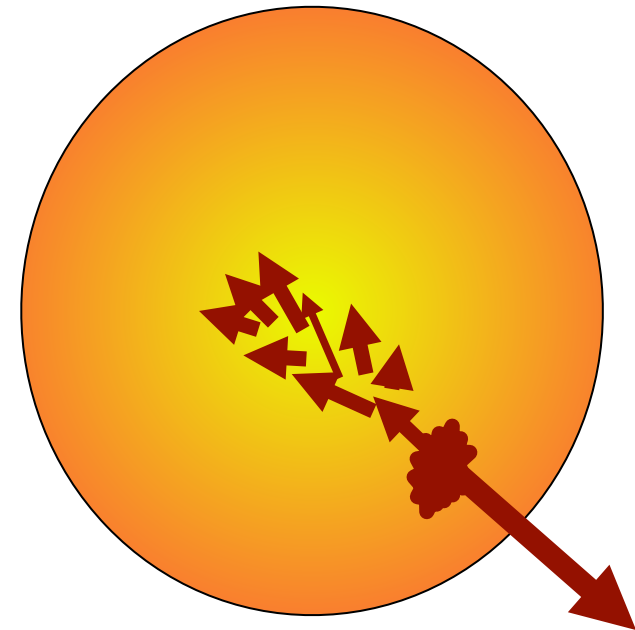
Druhý jet je pohltený v médiu

V zrážke sa produkuje médium požierajúce jety!

# Vyhasnutie jetu na druhej strane



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



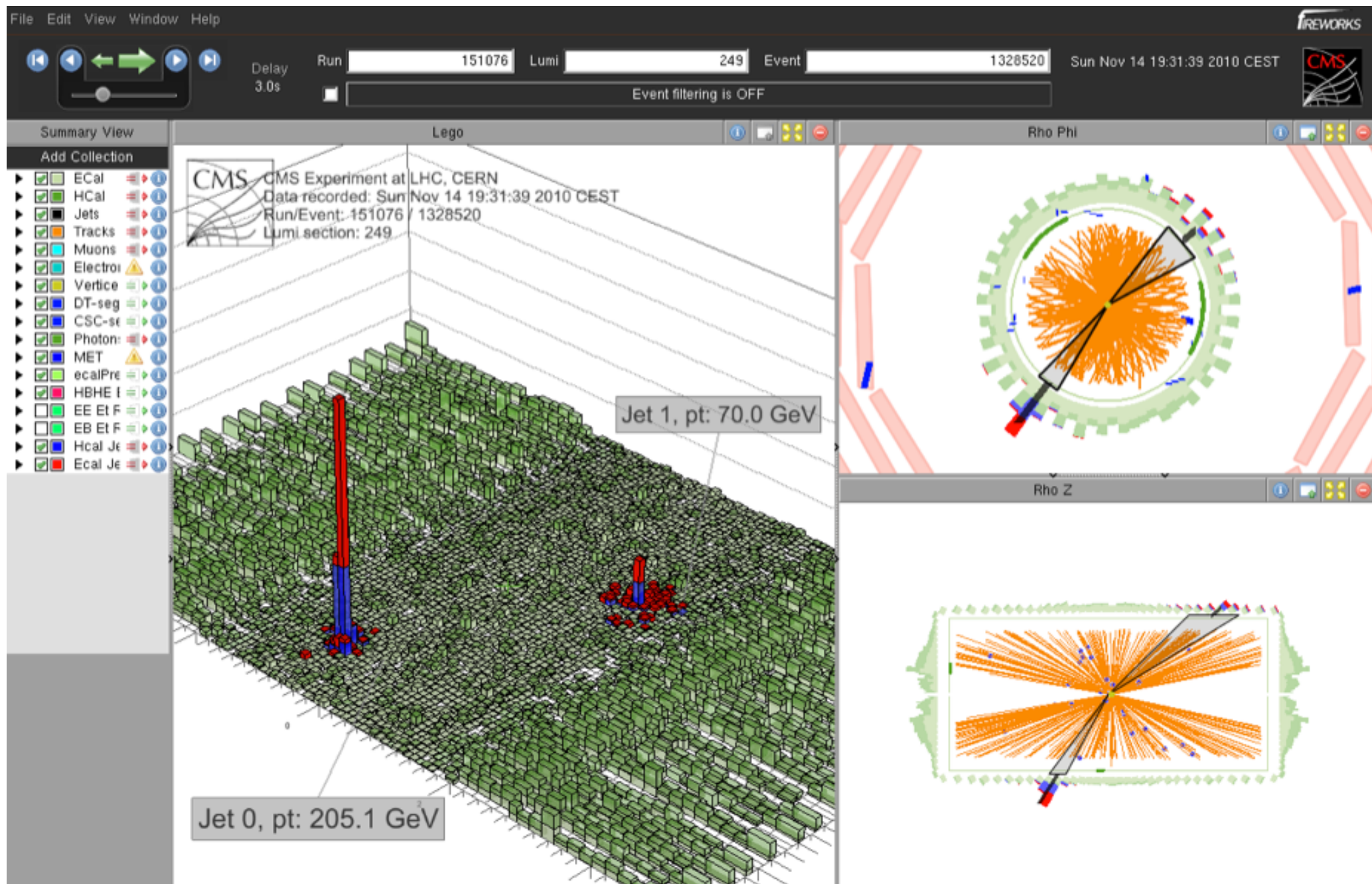
Druhý jet je pohltený v médiu

V zrážke sa produkuje médium požierajúce jety!

Jediné také známe médium je **kvarkovo-gluónová plazma.**



# Výsledky LHC/CMS: silné potlačenie jetov



# Fázový diagram

