

Jak poznávat nejjemnější strukturu hmoty (urychlovače a detektory)

„Pokud označíme snahu o nalezení příznaků nové fyziky pomocí urychlovače LHC jako ono pověstné hledání jehly v kupě sena, tak v současnosti jsme ve fázi, kdy teprve pracně vytváříme zmíněnou kupu sena“

!!! Už se překonalo, kupa už je vytvořena, hledejme jehly !!!

Jiří Chýla

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AVČR, 250 68 Řež, E_mail: WAGNER@UJF.CAS.CZ, WWW: ojs.ujf.cas.cz/~wagner/

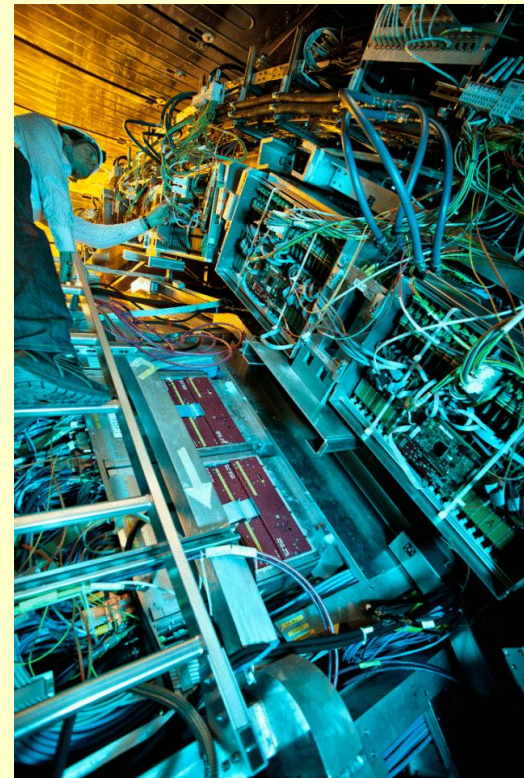
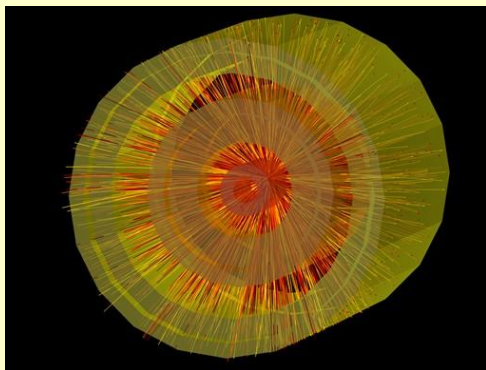
1. Úvod

2. Proč stále větší urychlovače?

3. Jak urychlovat částice a jádra?

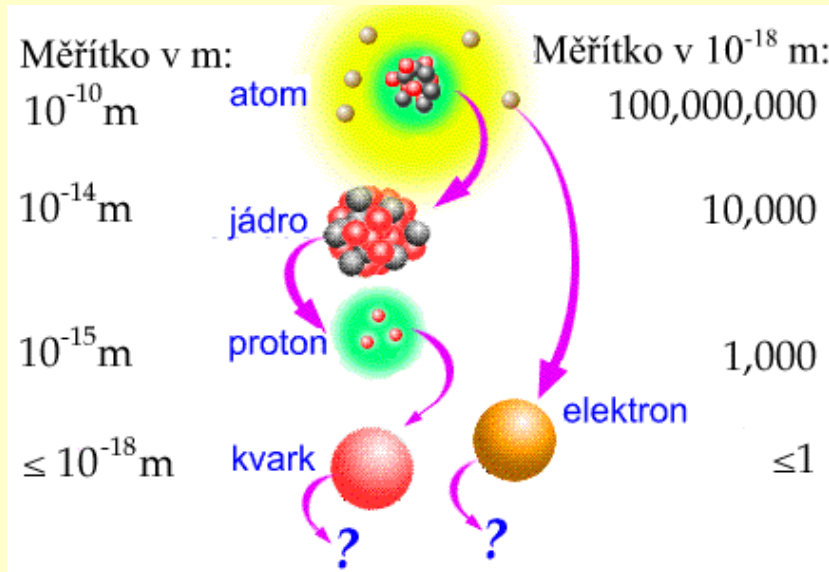
4. Jak chytat částice a měřit v mikrosvětě?

5. Závěr



Složení hmoty

Hmota je složena z částic - mezi nimi působí interakce



Atomová fyzika, fyzikální chemie

Jaderná fyzika

Fyzika elementárních částic

Superstrunové teorie? (rozměr 10^{-35} m)?

Hustota vody 10^3 kg/m³ $\xleftarrow{R_{\text{ATOM}}/R_{\text{JÁDRO}} \sim 10^5 \rightarrow V_{\text{ATOM}}/V_{\text{JÁDRO}} \sim 10^{15}}$ Hustota jádra $\sim 10^{18}$ kg/m³

Důležité nástroje pro popis mikrosvěta:

- 1) **Speciální teorie relativity** - rychlosti blízké rychlosti světla, kinetická energie srovnatelná s klidovou
- 2) **Kvantová fyzika** - velmi malé hodnoty veličin \rightarrow kvantový a pravděpodobnostní charakter, Heisenbergův princip neurčitosti

Větší detaily, energie a teploty, produkce těžších částic

Experimentální pozorování je rozhodujícím kritériem pro uznání platnosti hypotézy a její přeměnu v teorii

Stěžejní nástroj – srážka urychlených částic

1) Nárůst energie → větší detaily

Zatím největší urychlovače $E \sim 100 \text{ GeV} \rightarrow 10^{-18} \text{ m}$

2) Produkce částic s vyšší klidovou energií (hmotností)

Klidová hmotnost protonu: $\sim 1 \text{ GeV}$

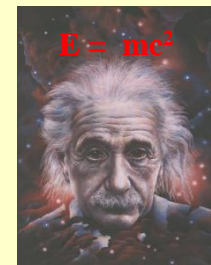
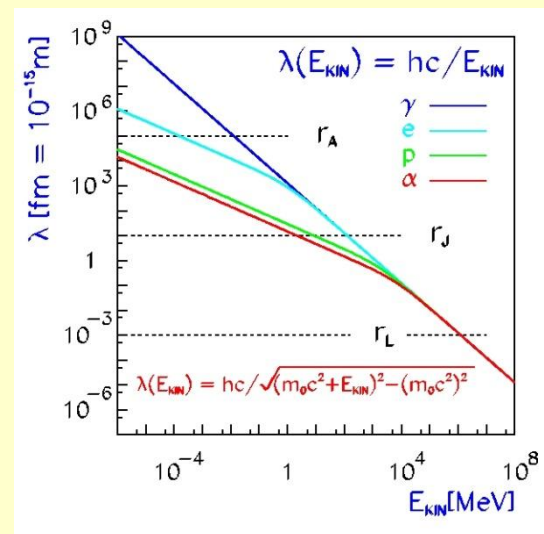
LHC – srážka protonů s energiemi 7000 GeV

Jádra olova (208 nukleonů) na každý $2700 \text{ GeV} \rightarrow 1\,123\,200 \text{ GeV} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

3) Dosažení co nejvyšších hustot a teplot

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Celkové energie už přímo makroskopické – pád $0,02 \text{ g}$ z výšky $1 \text{ m} \rightarrow$ srážka dvou menších much nebo větších komárů



Hmotnost 1 g se stejnou rychlostí $\rightarrow 5 \cdot 10^{17} \text{ J}$ (10 000 hirošimských bomb)

!!! Potřebujeme urychlovač !!!

Potřeba urychlovat částice na vyšší energie –
produkce a hledání nových částic

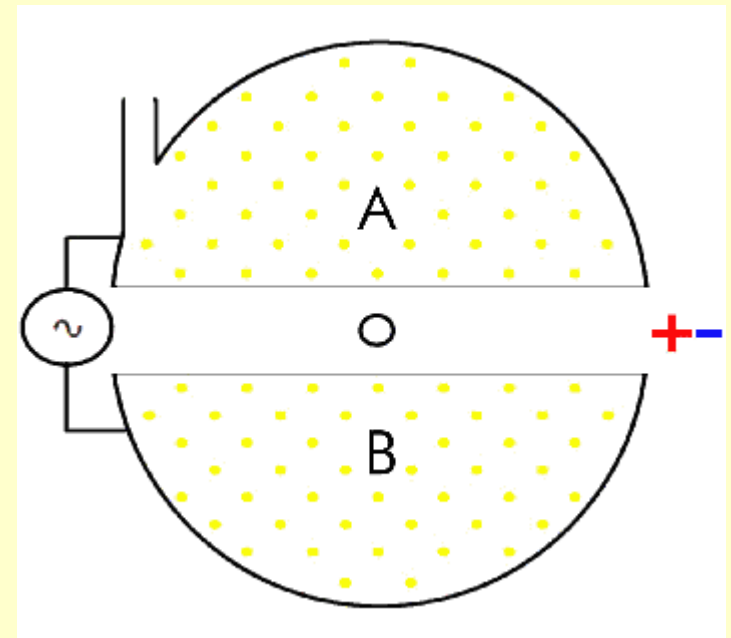
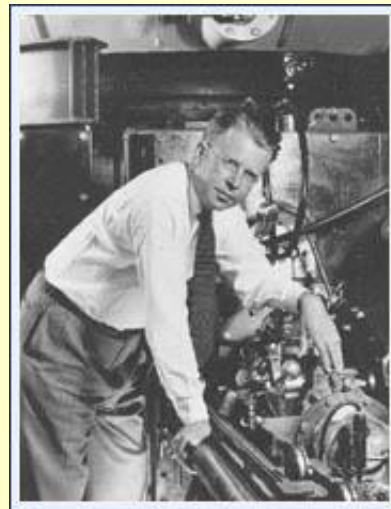
Existence kosmického záření – jeho doplnění
umělým zdrojem

První urychlovač – E.O. Lawrence v roce 1930

typ – cyklotron

Nobelova cena za fyziku 1939

nyní více než 10 000 urychlovačů různých typů



Princip urychlovače typu cyklotron

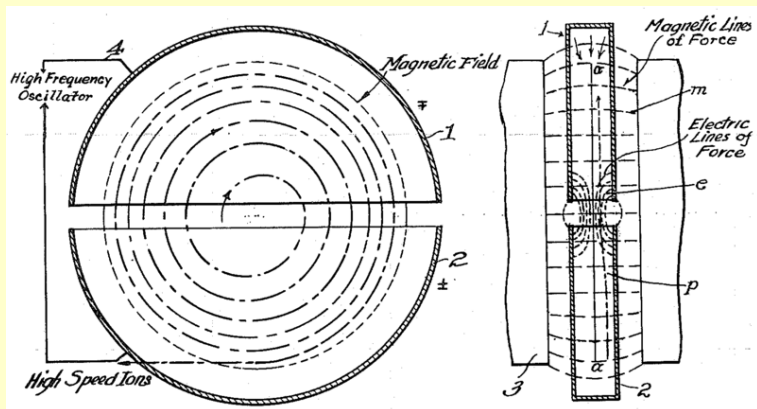
zdroj částic

magnetické pole – kruhová dráha částice

elektrické VF pole pro urychlení

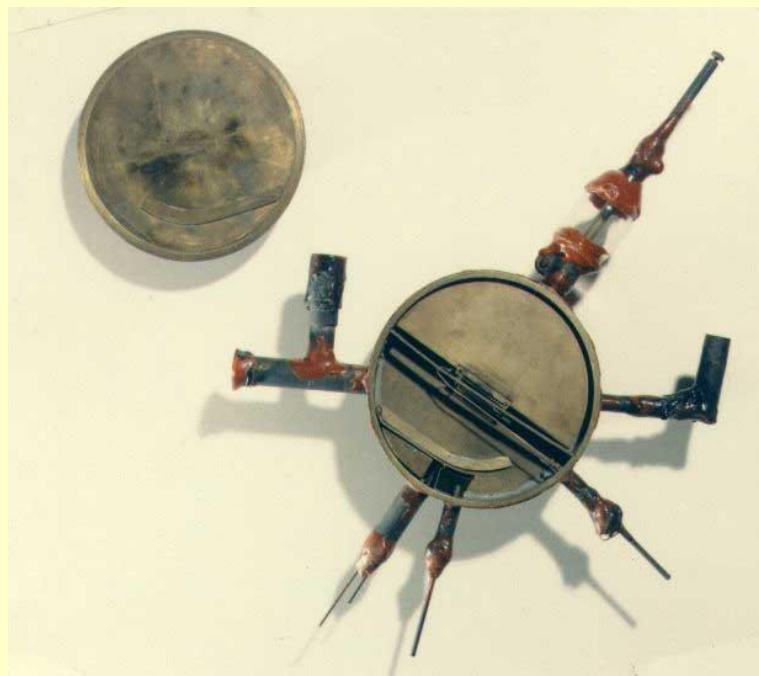
Historické stránky Americké fyzikální společnosti (AIP)

<http://www.aip.org/history/lawrence/larger-image-page/epa-20.htm>



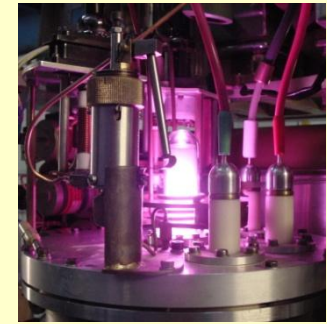
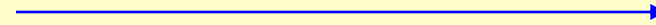
Původní patentový náčrtek a model prvního urychlovače (průměr okolo 11 cm, $V = 1800$ V)

Současné urychlovače – obrovské množství různých typů. Od malých produkčních pro medicínu (japonský $R = 1$ m) až po giganty v CERNu ($R = 4$ km)



Z čeho se urychlovač skládá

Iontový zdroj – produkce nabitých částic



Zdroj plazmy – elektrický výboj

Elektrostatické nebo proměnné elektrické pole – urychlení částice – urychlovací systém

Magnetické pole – určuje dráhu částice, provádí fokusaci svazku – magnetické čočky vedou svazek a snaží se co nejvíce jej zúžit

Vakuový systém – částice se při urychlování musí pohybovat ve vysokém vakuu – nutný systém vývěv

Chlazení – supravodivé magnety potřebují heliové teploty

Radiační ochrana – zajištění bezpečnosti pomocí stínění

Řídicí systém – ovládání, řízení a kontrola práce urychlovače



Urychlovací prvky LHC



Kryogenní systém pro LHC

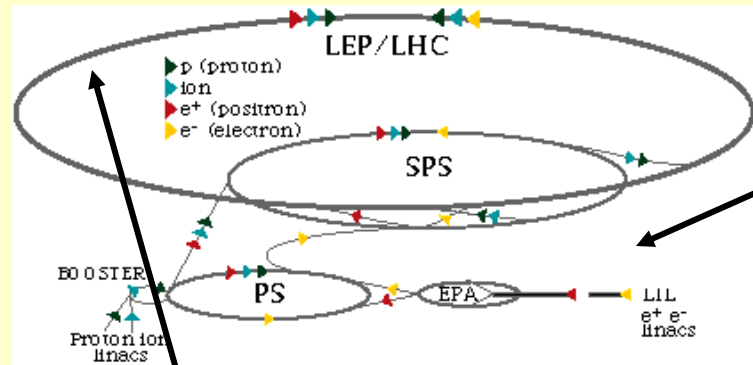


Řídicí centrum urychlovače LHC



Dipólové magnety LHC

LHC navazuje na systém menších urychlovačů (několik synchrotronů – PS, SPS, LHC)



Soustava urychlovačů v CERNu (Švýcarsko)

Pohled na rozmístění urychlovačového komplexu v CERNu

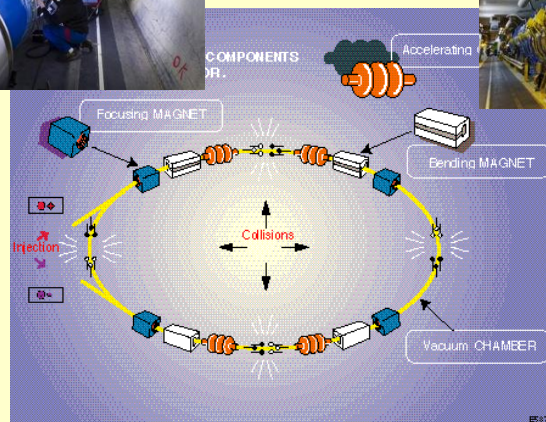


Schéma synchrotronu

Proč supravodivý synchrotron urychlující protony a jádra proti sobě?

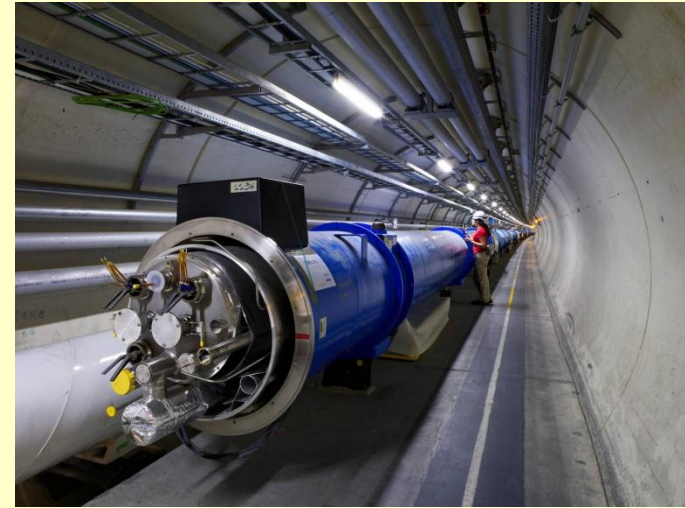
Synchrotron – kruhový urychlovač - urychlování na relativistické hmotnosti, vzrůst hmotnosti
→ vzrůst magnetického pole (zůstává stejný poloměr dráhy a frekvence)

Proč supravodivý? – jediná možnost získat tak silné magnetické pole ~ 10 T (mag. pole Země 0,04 mT)
Maximum pro „teplé“ magnety ~ 2 T.

Nutnost chlazení tekutým Heliem (teplota 1,9 K).



Jeden z největších „teplých“ magnetů (experiment ALICE)



Magnet urychlovače LHC

Proč vstříčné svazky? – získaná energie ve srážce ($E_{\text{KIN}} = 7 \text{ TeV}$):
Pevný terč: 0,118 TeV

Vstříčné svazky: 14 TeV

Elektrony: **výhody:** „bodový“ objekt – veškerá energie koncentrována do jedné interakce
nevýhody: brzdné záření

Protony: **výhody** – zanedbatelné brzdné záření, možnost srážet těžké ionty
nevýhody – proton je složená částice, sráží se jeho jednotlivé komponenty

Supravodivé magnety



LHC - intenzita pole 8,36 T
Velké magnety (14 m)

Slitina niobu a titanu – hranice 10 T

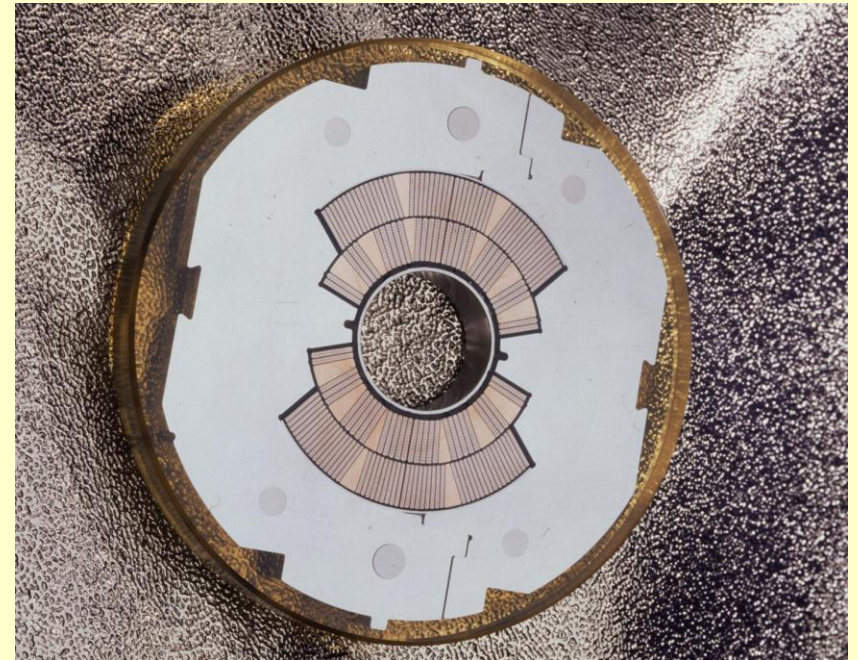
Možná v budoucnu?

Slitina niobu a cínu – hranice 22 T
(zatím jen menší a drahé magnety)



Helium na teplotě
1,9 K → nejen
supravodivost,
ale helium je i
supratekuté

120 tun He



Supravodivý kabel



Obvod 27 km – slušná linka metra
- čtyři experimenty → čtyři zastávky
→ čtyři křížení dvojice rour



Spouštění magnetu do podzemního tunelu

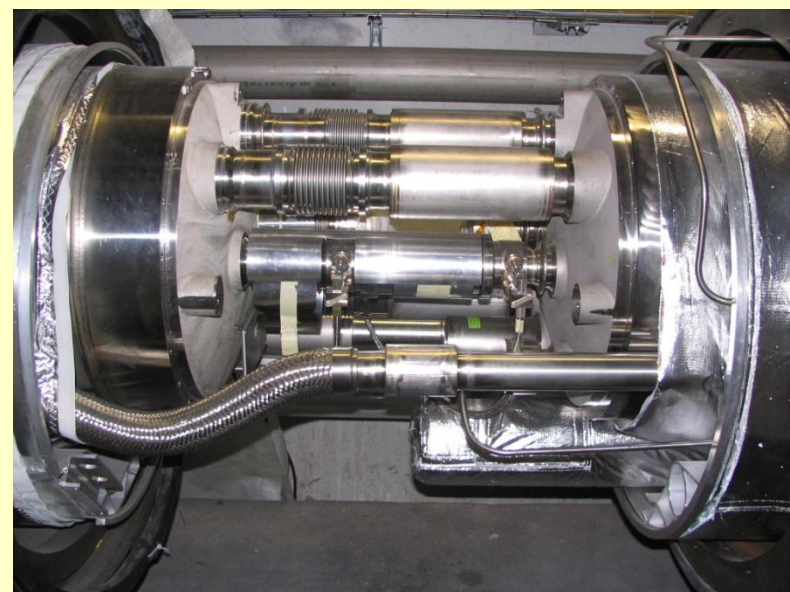
1700 supravodivých magnetů
z nich 1232 největších dipolových
200 teplých magnetů

Tedy 1700 kryogenních propojení.

Tedy 50000 kryogenních svarů

200 000 m² vícevrstevné izolace

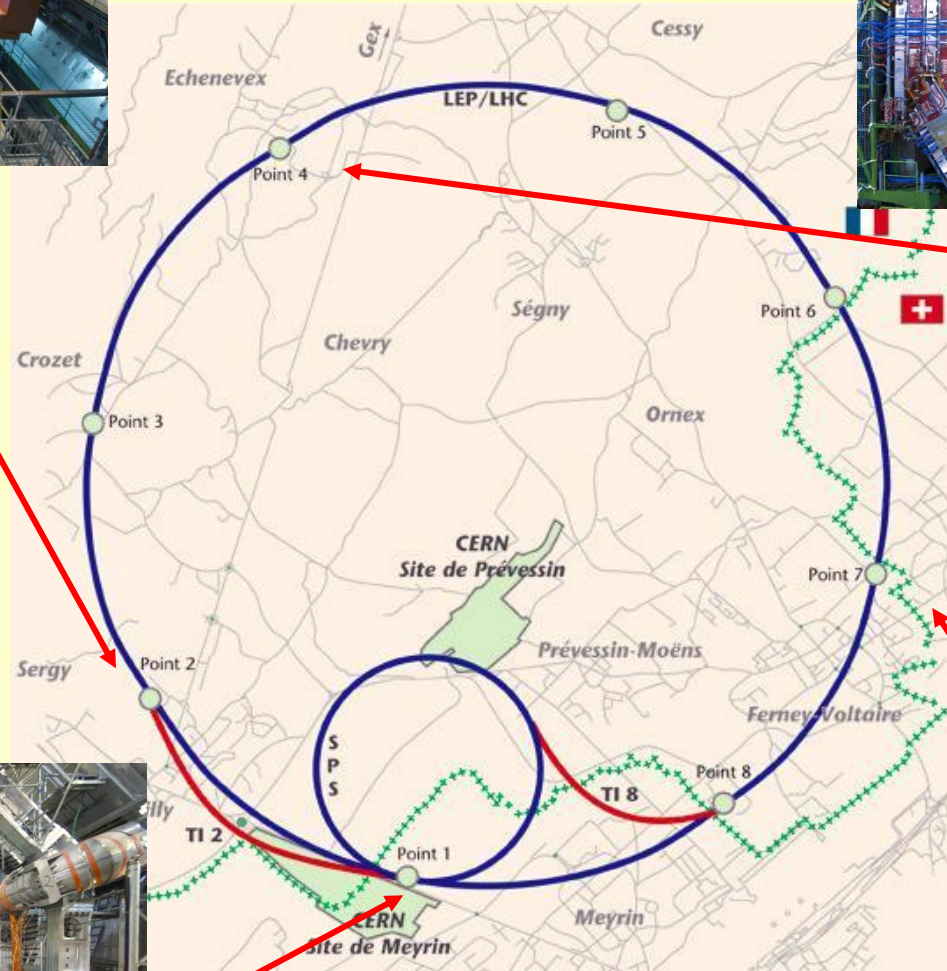
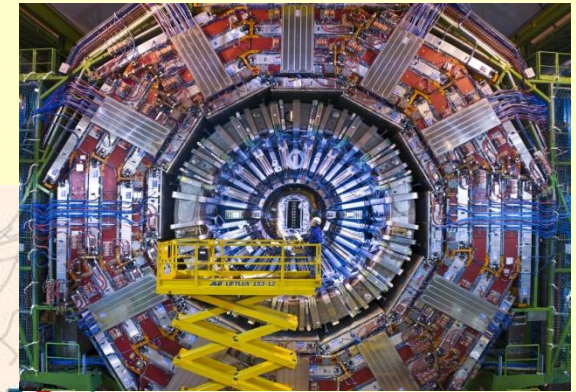
120 tun supravodivého a supratekutého helia



Spojovací část mezi jednotlivými sekcemi

V současnosti největší urychlovač na světě je LHC



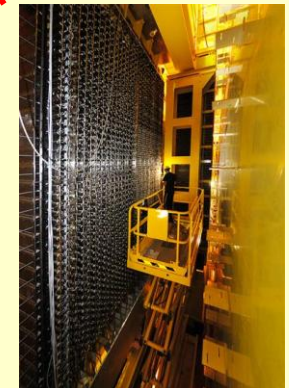
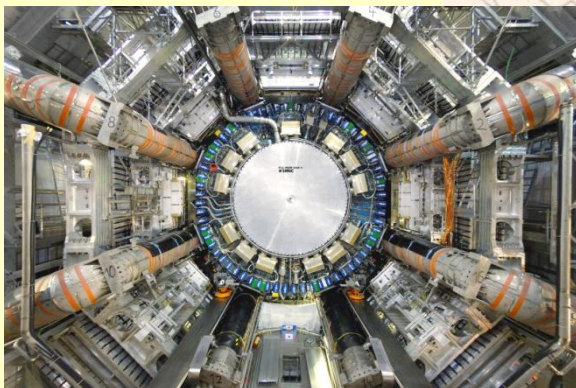


ALICE

CMS

ATLAS

LHCb



Detekce částic (záření)

Jak? – Pomocí ionizace → nutnost nabité částice

Neutrální částice předá energii nabitě

Ionizace pomůže vytvořit nakonec elektrický signál

Může se integrálně studovat intenzita záření nebo jednotlivé částice

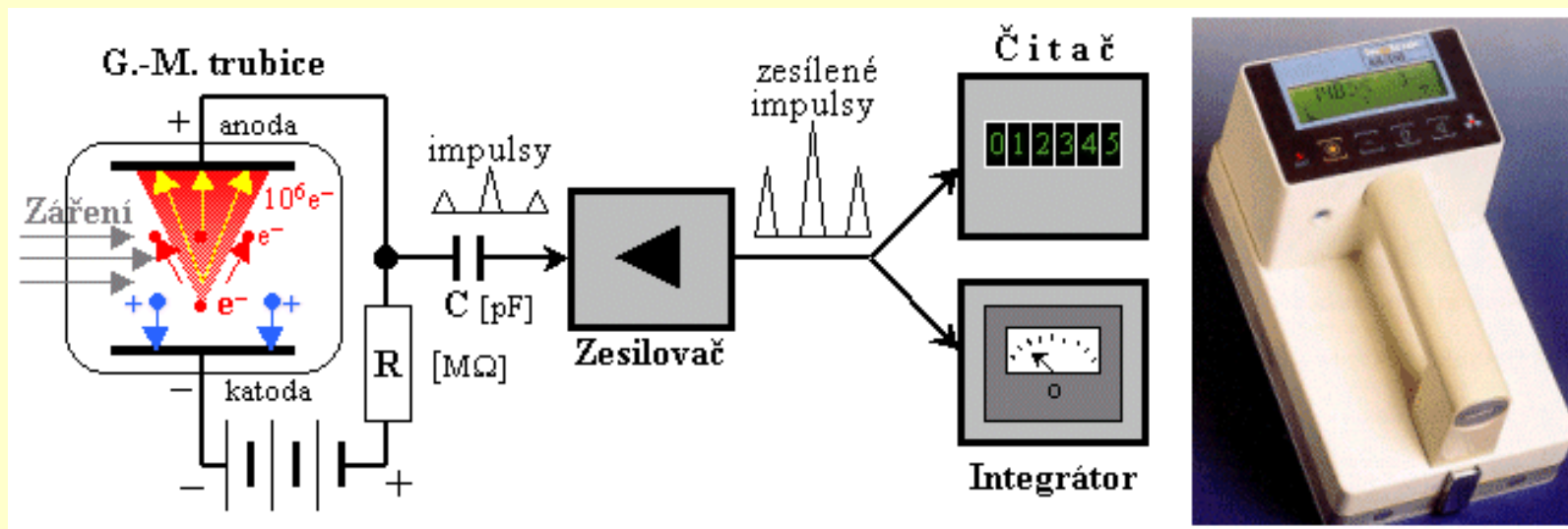


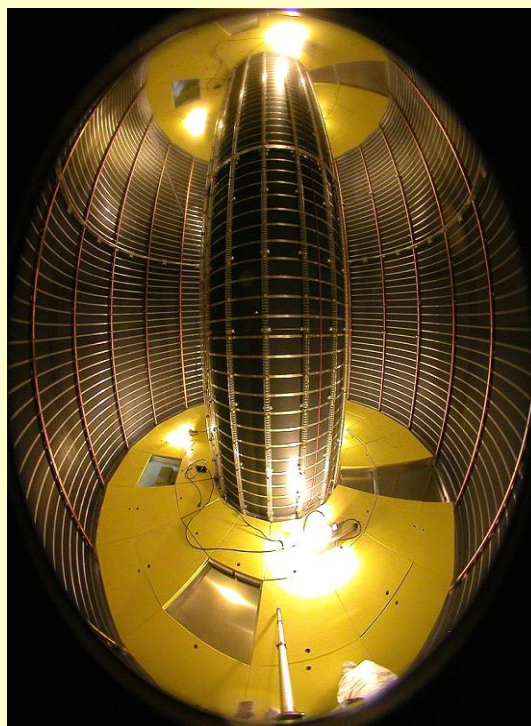
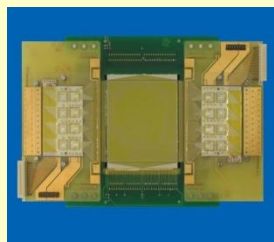
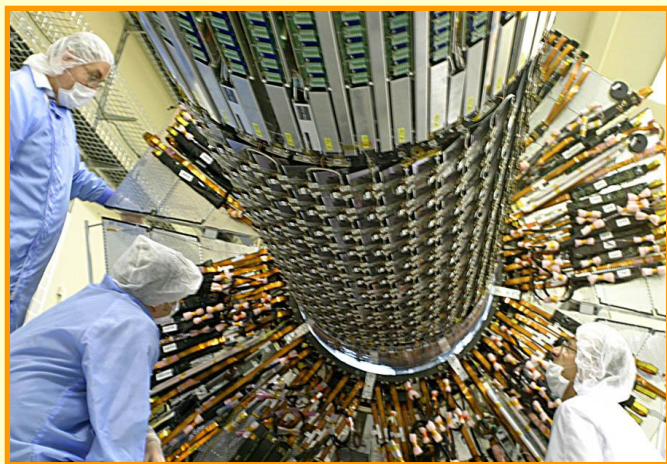
Schéma Geiger-Müllerovy počítáče a jeho využití v dozimetrickém zařízení

Jak vypadá vysokoenergetický experiment

Úkoly:

- 1) Zachytit co nejvíce částic a určit jejich parametry (pokrýt co největší prostorový úhel)
- 2) Zachytit a určit energii i těch nejenergetičtějších částic
- 3) Zachytit dráhu krátce žijících částic nebo dráhy jejich produktů rozpadu
- 4) Určit hybnosti částic
- 5) Určit náboje částic

Vnitřní dráhové detektory



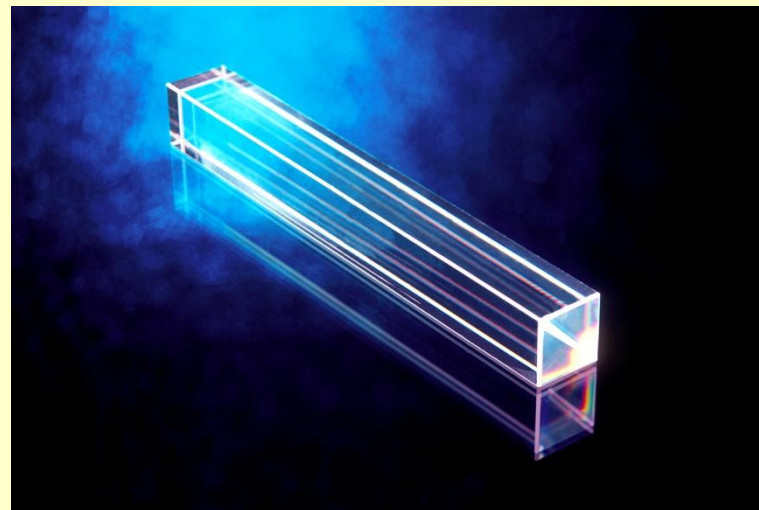
Velké dráhové komory
(umístěné v magnetickém poli)

Hadronové kalorimetry



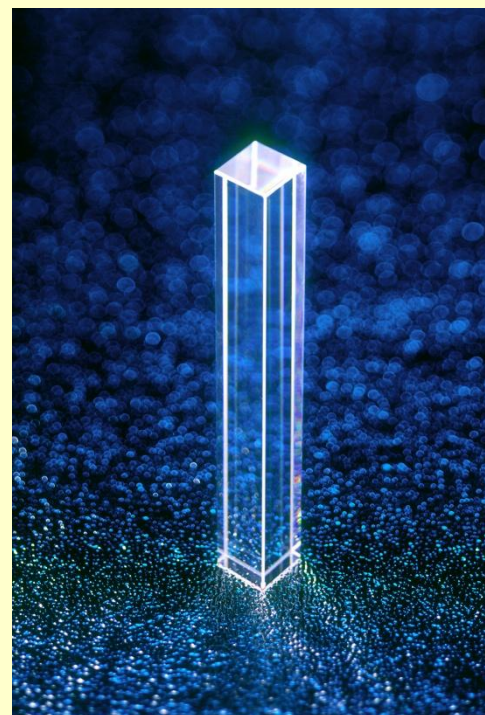
Elektromagnetické kalorimetry





**BaF₂ krystaly fotonového spektrometru TAPS
ultrafialové komponenty $\lambda=220\text{nm}$ a $\lambda=310\text{ nm}$**

**Krystal PbWO₄ vysokoenergetického fotonového
spektrometru projektu ALICE,
modrá $\lambda= 420\text{ nm}$ a zelená $\lambda= 480\text{-}520\text{ nm}$**



TAPS a ALICE prezentované fotomateriály

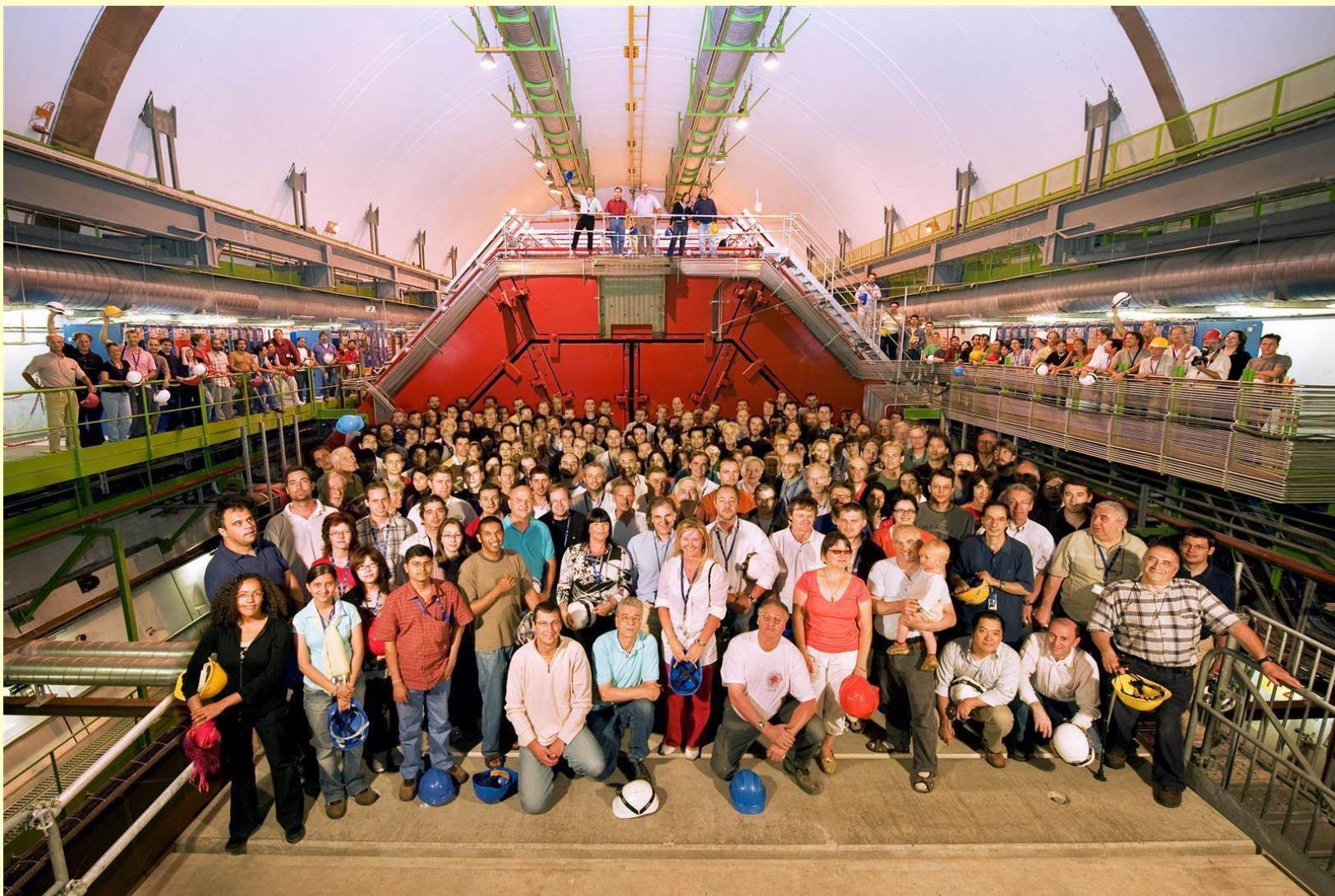
Atlas – velice přesné měření energie hadronových výtrysků



Umožněno perfektními obrovskými kalorimetry

!!! Velký experiment – potřeba hodně lidí !!!

Jeden z posledních snímků ALICE před uzavřením jeskyně a zahájením provozu



(nejmladší „fyzik“ na obrázku pochází z české ALICE komunity)

Nejen na ALICI pracují i čeští fyzikové

Účast našich studentů jak na instalaci křemíkových driftových detektorů a jejich elektroniky tak i měření



Browser Eve

Eve Files

- Window Manager
- Viewers
- Scenes
- Transients
- Transient Lists
- Online Event
- Primary Vertex
- Primary Vertex SPD
- ITS Clusters
- TPC Clusters
- TRD Clusters
- TOF Clusters
- HMPID Clusters
- EMCAL
- SPD0
- SPD1
- SDD2
- SDD3
- SDD4
- SDD5
- TPC 2D
- TPC 3D
- TOF
- VZERO_RAW_A
- VZERO_RAW_C
- ESD Tracks by category
- RhoPhi (0.0)
- RhoZ (0.0)

Style Guides Clipping

Name
GLViewer::TGLSA Viewer

Update behaviour

- Ignore sizes
- Reset on update
- Reset on dbl-click

Update Scene

Camera Home

Max HQ draw time: 5000

Max LQ draw time: 100

Clear Color

Light sources:

- Top Bottom
- Left Right
- Front Specular

Viewer 1 Multi View DataSelection

Hide 3D View Actions

File Camera Help

RPhi View

Hide RPhi View Actions

File Camera Help

RhoZ View

Hide RhoZ View Actions

File Camera Help

Command EventCtrl

First Prev 190 /-1 Next Last || Refresh || Autoload Time: 5

```

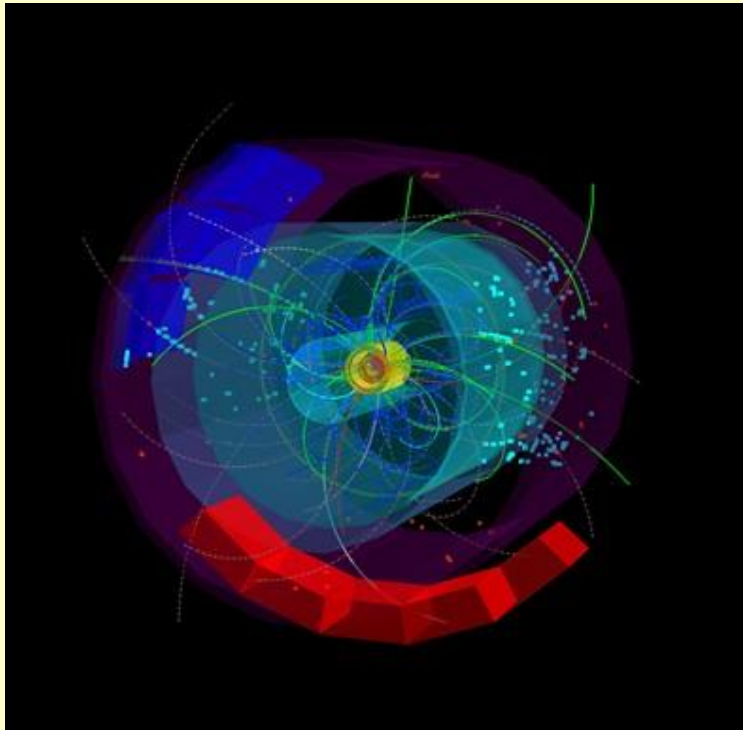
RAW event info: Run#: 105160 Event type: 7 (PHYSICS_EVENT) Period: 2 Orbit: 701fbb BC: b8a
Trigger: 100000000000
Detectors: 8006feff (ITSSPD ITSSDD ITSSD TPC TRD TOF HMPID PHOS PMD MUONTRK MUONTRG FMD TO VZERO ZDC TRG EMCAL )
Attributes: 7f-0-30 Timestamp: 2009-12-15 00:51:26
ESD event info: Run#: 105160 Event type: 7 (PHYSICS_EVENT) Period: 2 Orbit: 701fbb BC: b8a
Active trigger classes: CBEAMB-ABCE-NOPF-ALL CINT1B-ABCE-NOPF-ALL CINT1-E-NOPF-ALL CMUS1B-ABCE-NOPF-MUON CMUS1-E-NOPF-MUON CINT1A-ABCE-N
Trigger: 100000000000 ()

```

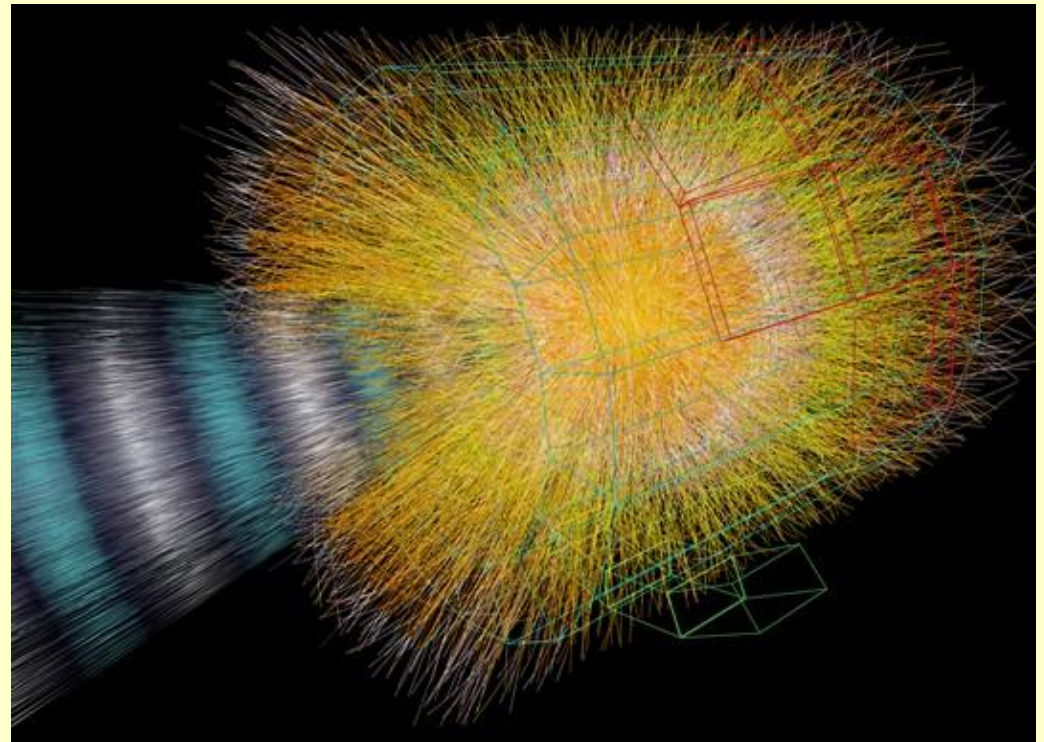
1 2 3 4 offline@aldaa... offline@aldaa... offline@aldaa... X Alice Online R... X Eve Main Win 01:52:31 AM

Srovnání srážek protonů a těžkých iontů

ALICE p+p srážka

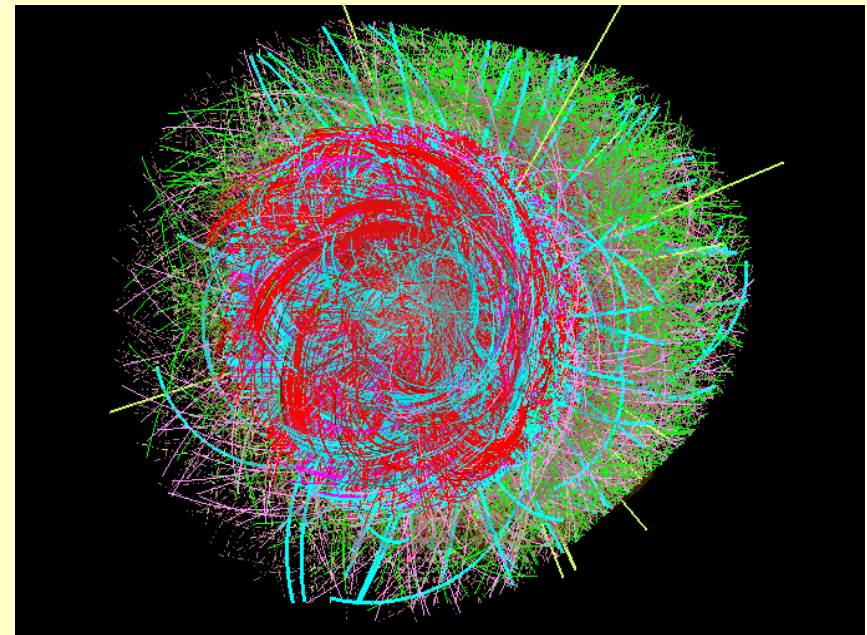
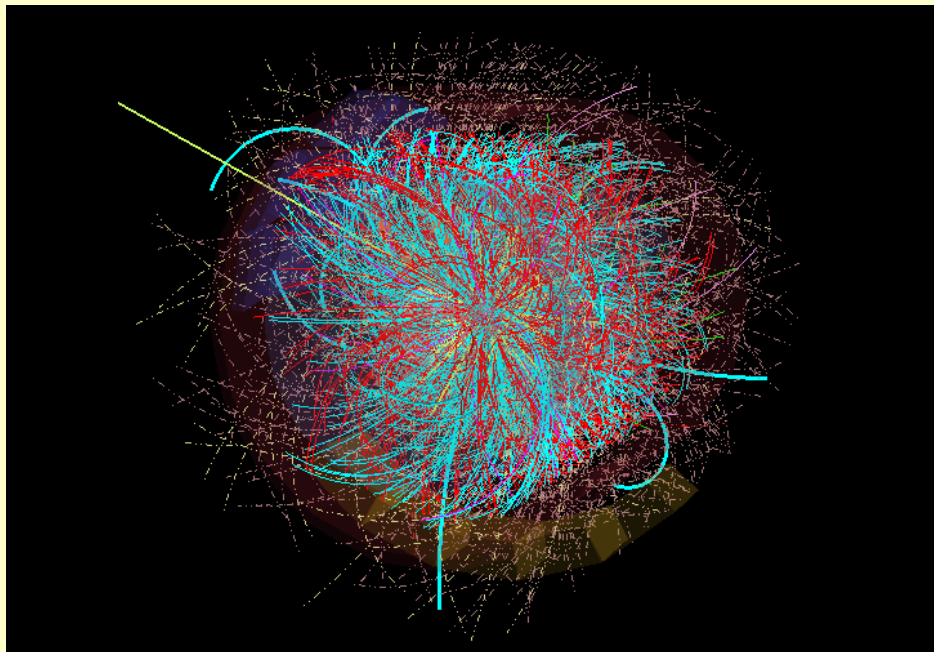
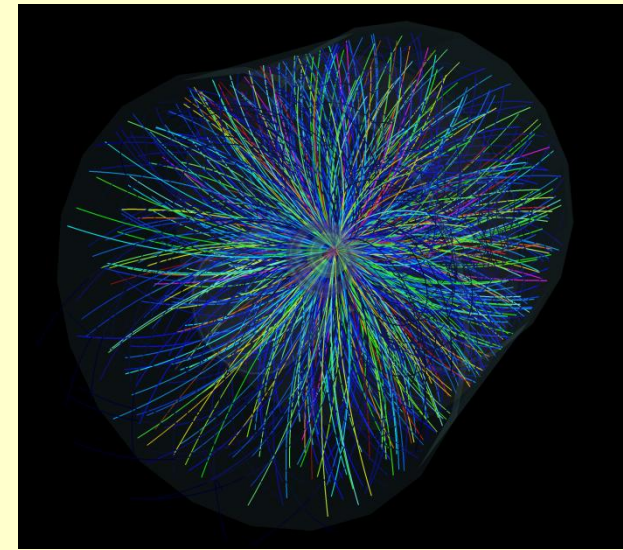
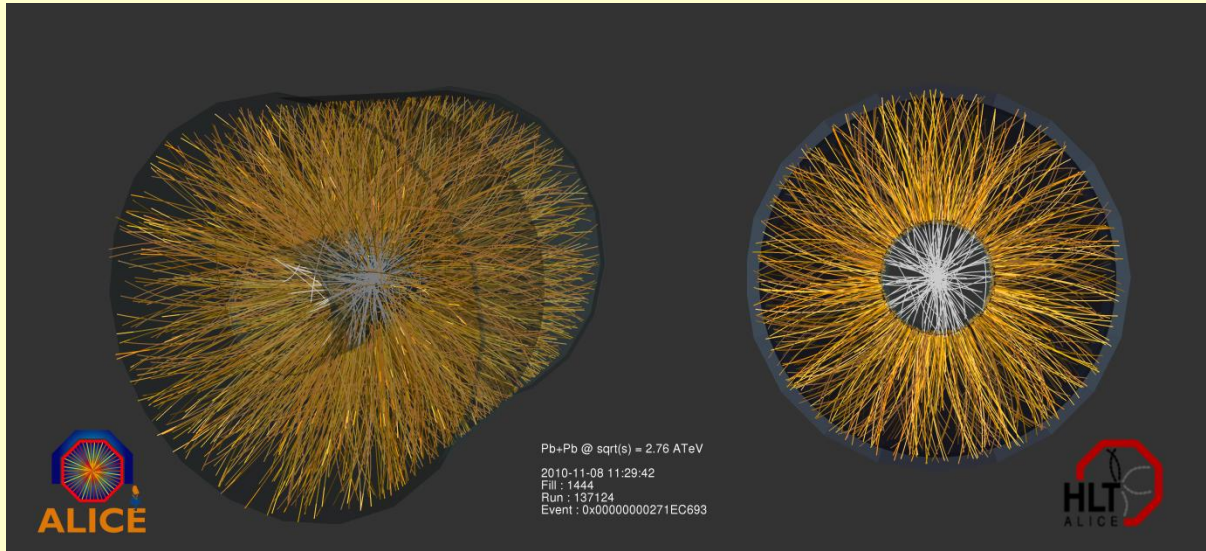


ALICE Pb+Pb



První případy srážek dvou jader olova z experimentu ALICE

(místo 10 až 100 částic se ve srážce produkuje až 10 000 částic)



Velmi horká jaderná hmota – počátek našeho vesmíru

Kam se kouká LHC?

Dosažená teplota:

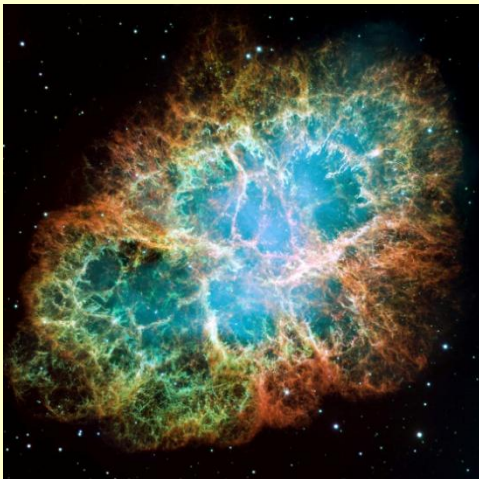
$\sim 3 \times 10^{12} \text{ K}$

(100 000krát více než v
nitru Slunce)

Dosažená hustota:

$\sim 10^{18} \text{ kg/m}^3$

Takové hustoty má i
hmota v nitru
supernovy a
neutronové hvězdy



$1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$

Kvark-gluonové plazma

$10 \mu\text{s} = 10^{-5} \text{ s}$

Hadronová hmota

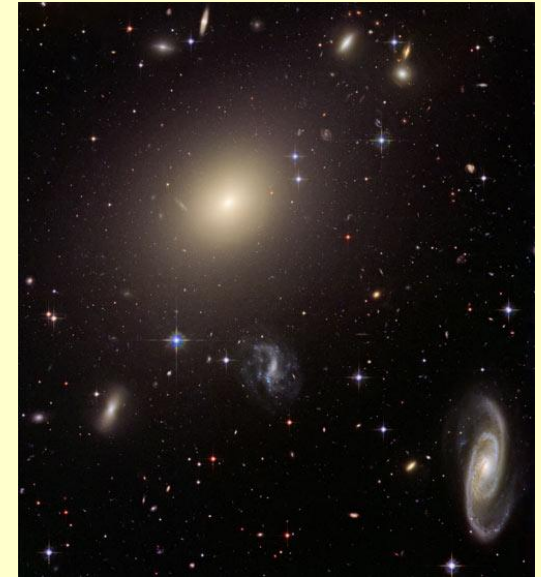
V pozdější fázi jen nejlehčí
baryony – proton a neutron

$3 \text{ min} = 1,8 \cdot 10^2 \text{ s}$

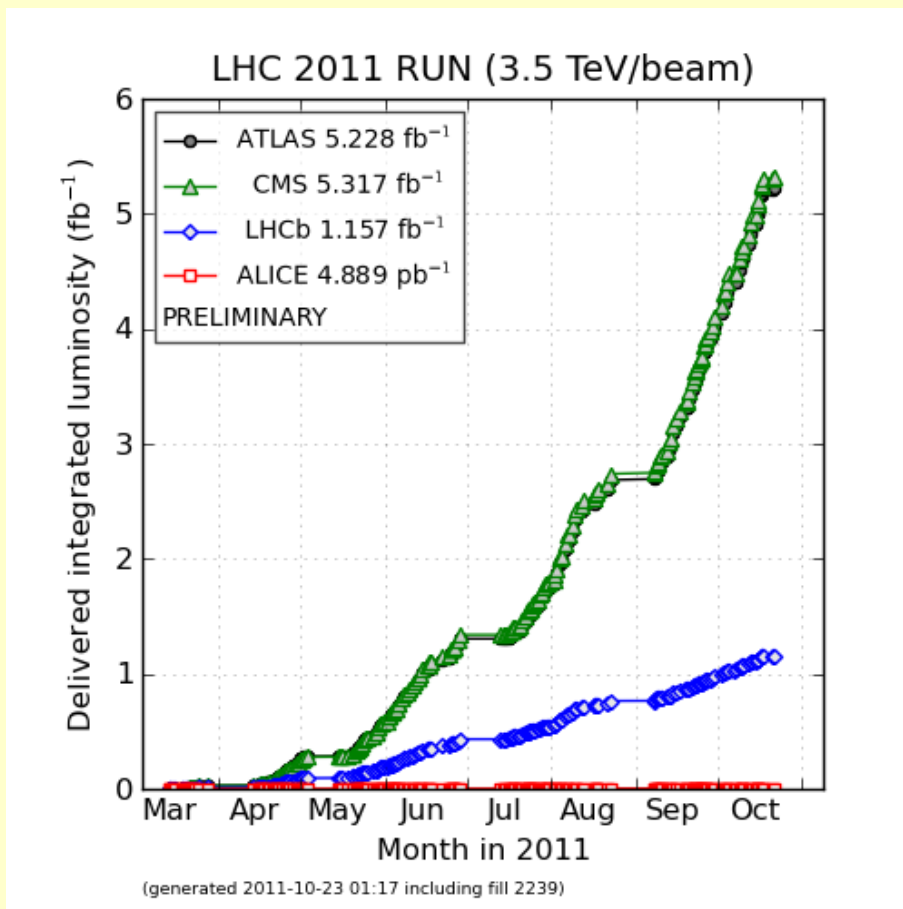
Atomová jádra – vodík, helium
a trochu těžších jader

$400\,000 \text{ let} \sim 10^{13} \text{ s}$

Reliktní záření



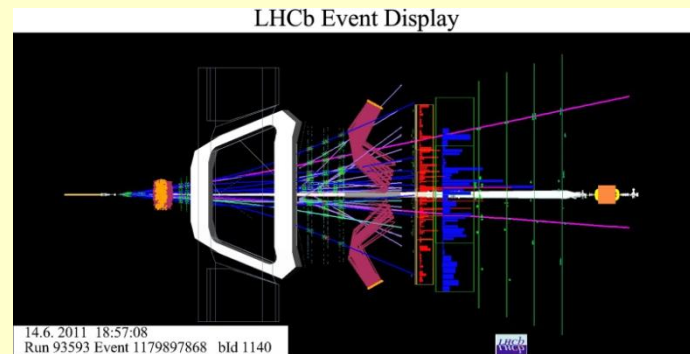
Nutnost nachytat co největší počet srážek



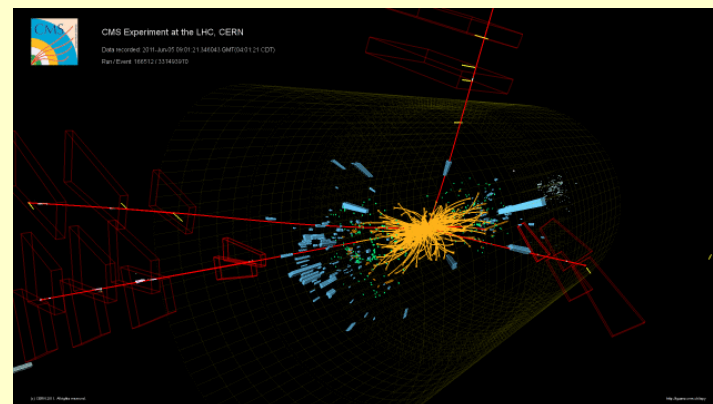
2800 shluků, 100 miliard protonů/shluk
600 milionů srážek/s

Získáno velké množství srážek, produkce velmi těžkých částic (třeba t –kvarků v nebývalém počtu)

!!!! Hledejte Higgse – jehlu v kupce sena !!!!



Rozpad B⁰ mezonu na pár mion a antimion

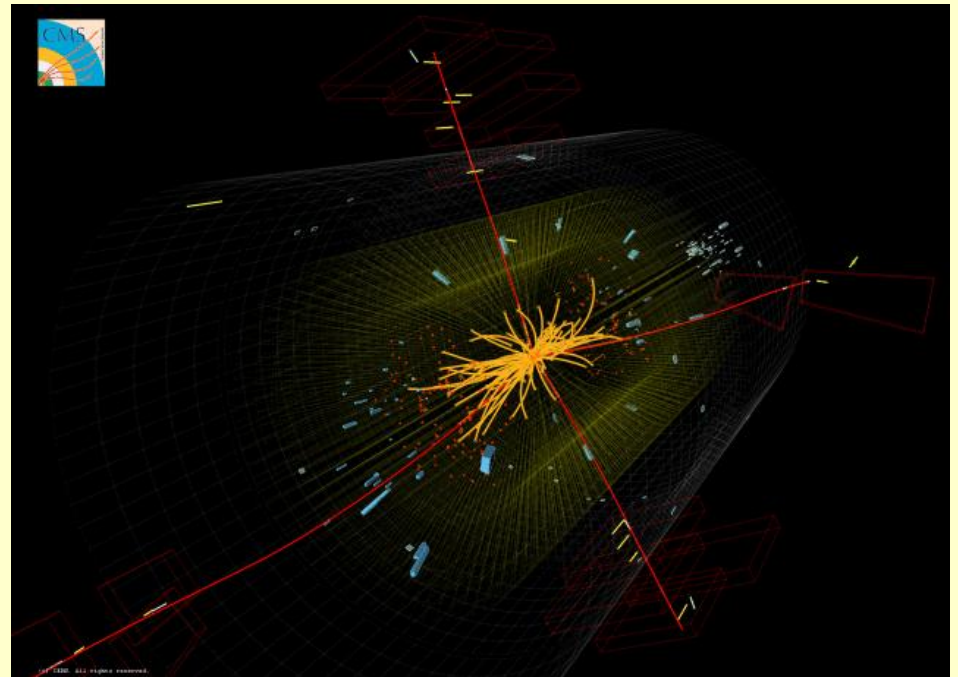
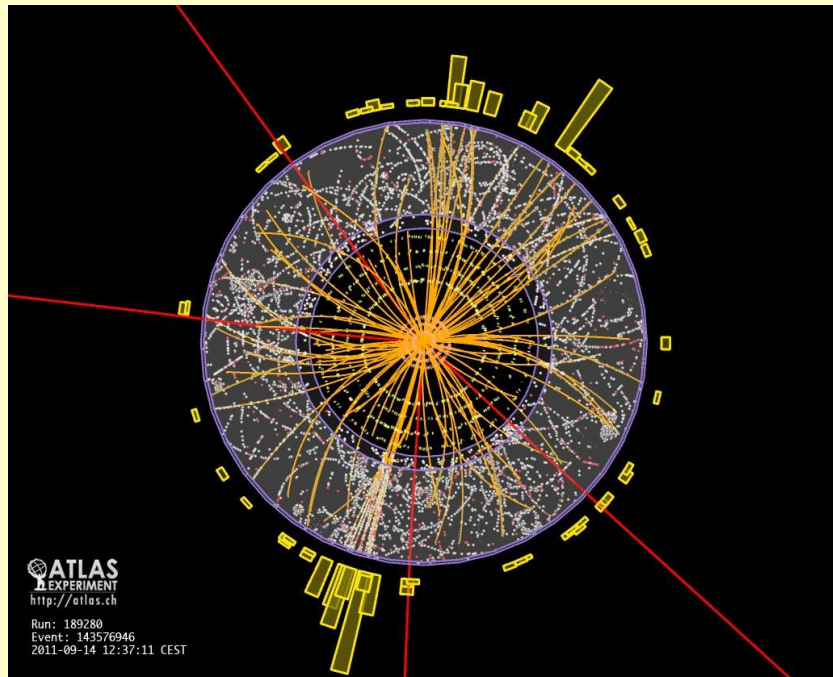


Vznik dvojice Z⁰ částic a jejich rozpad na páry mionu a antimionu

Jak identifikovat částici detekcí produktů rozpadu?

$$\left(\sum_{i=1}^n E_i \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \vec{p}_i \right)^2 c^2 = (mc^2)^2$$

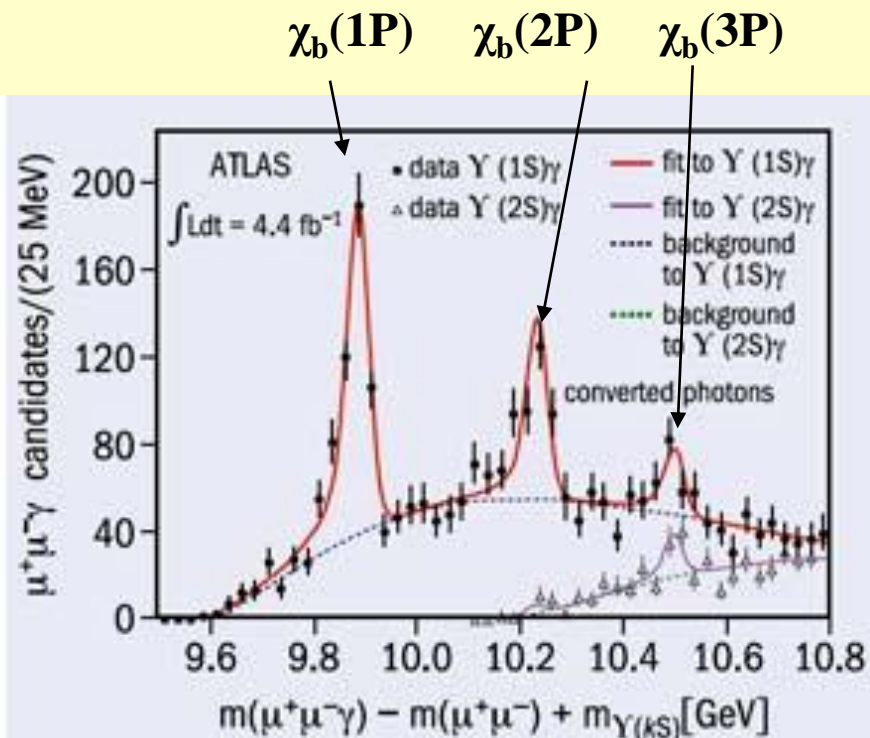
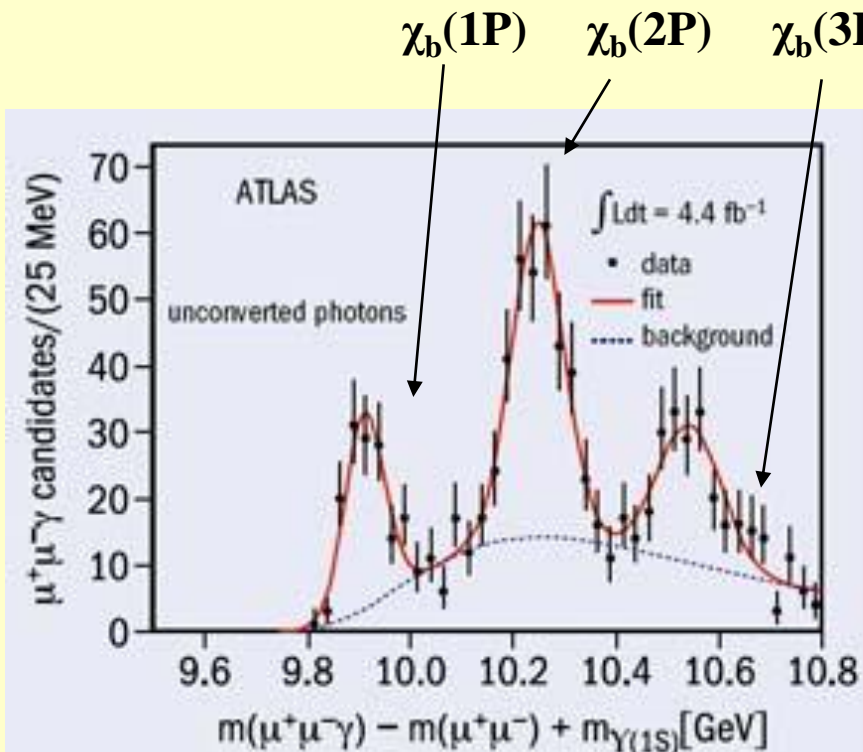
Určit hybnosti a energie produktů rozpadu a z nich spočítat klidovou hmotnost původní částice

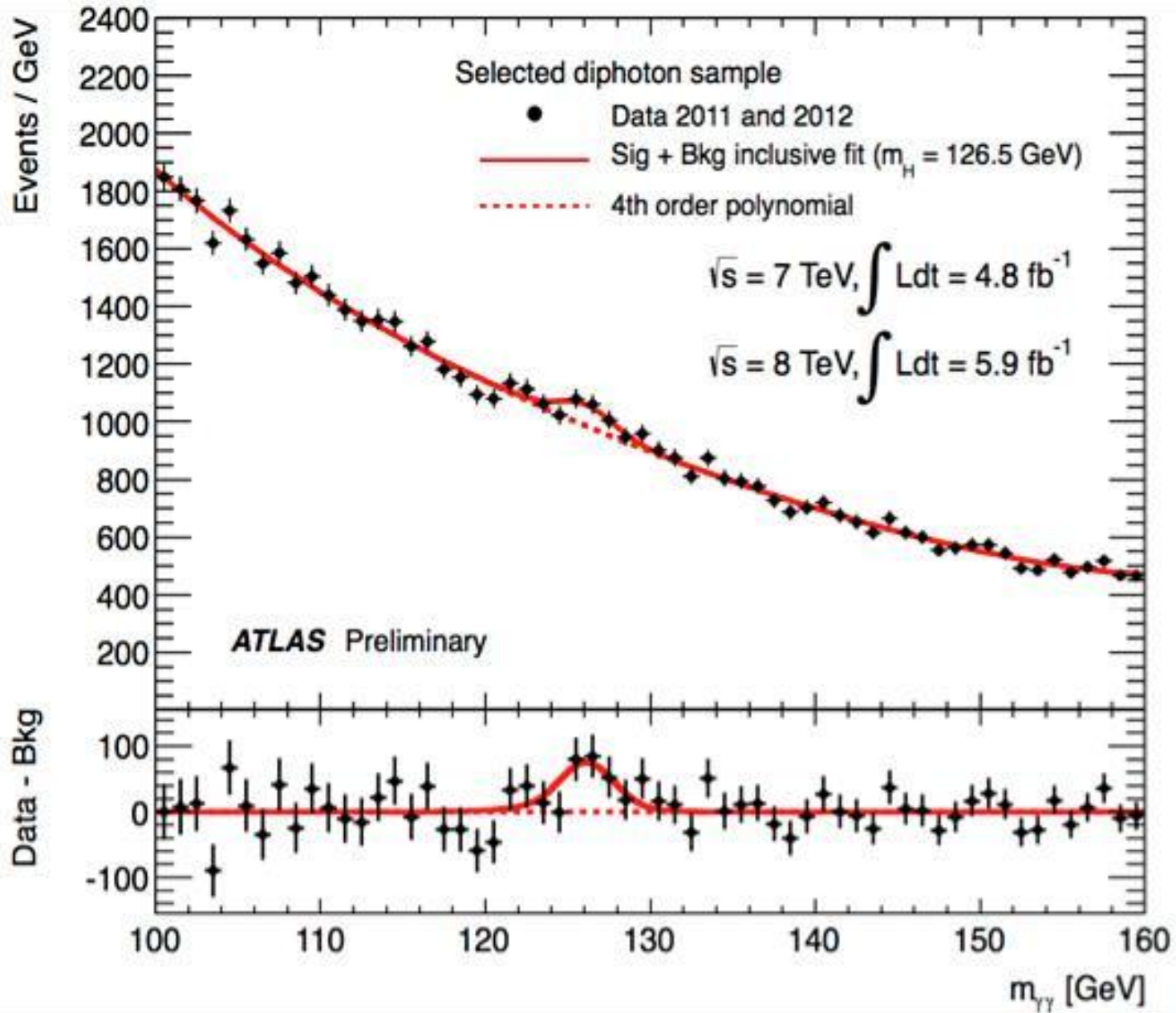


Nová částice $\chi_b(3P) = b$ anti- b

Další malý krůček ve spektroskopii hadronů

V budoucnu se dá čekat velký počet nových mezonů i baryonů (jejich excitovaných stavů)





Urychlovač LHC už letos (třetí rok) běží sedmý měsíc

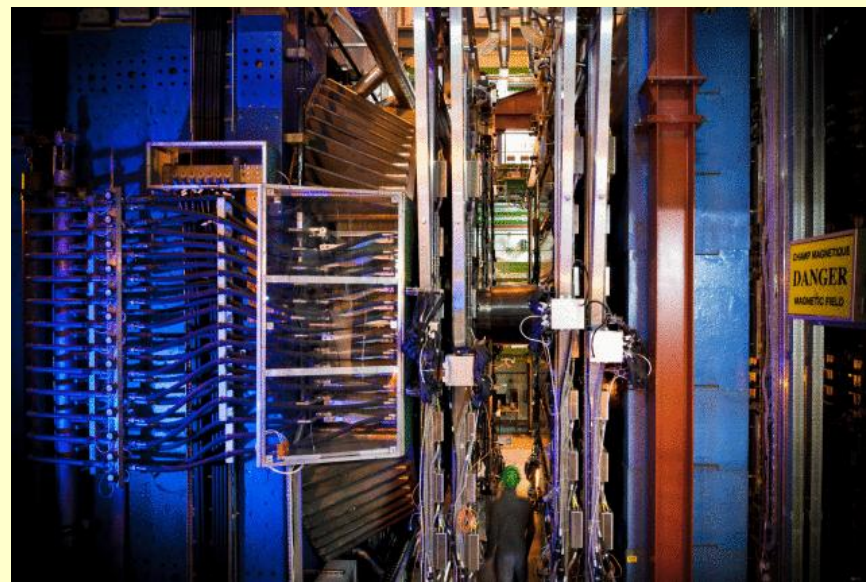
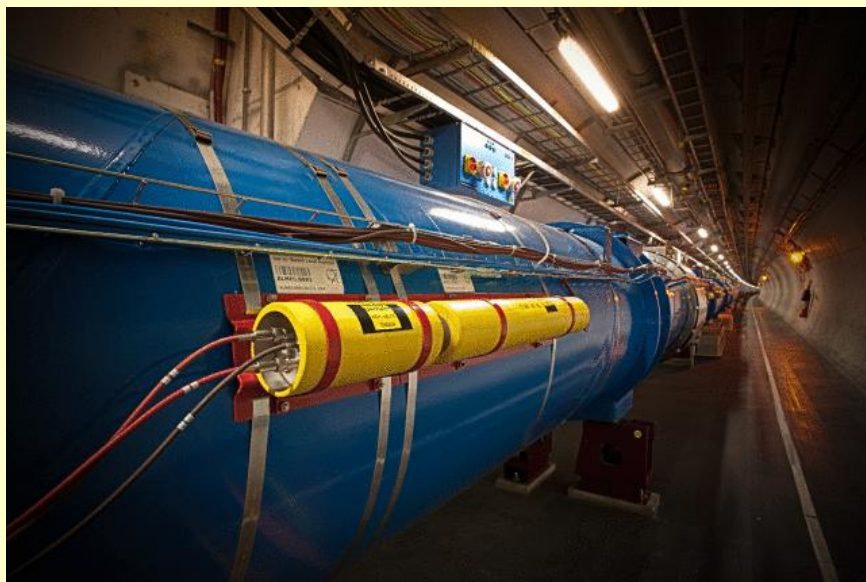


Stabilní srážení od 5. dubna 2012
Energie svazku 4 TeV (o 14 % větší)

Prvních šest dnů – jako šest týdnů loni

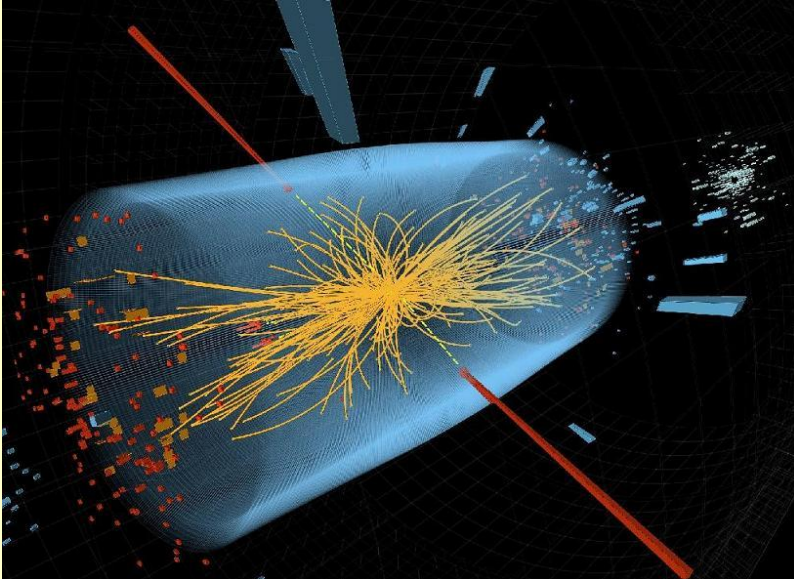
Už nyní 1380 shluků protonů
Menší průměr svazku k 20 mikrometrům
(je to spíše nit – několik cm délka)

Předpoklad – 4krát větší statistika



Závěr

- 1) Urychlovače – nutný nástroj k poznání mikrosvěta
- 2) Je třeba nejen připravit hmotu v extrémním stavu, ale ji i studovat
- 3) Různé typy detektorů
- 4) Studium extrémně horké a husté hmoty
- 5) Hledání nových částic
- 6) LHC na cestě k nové fyzice



Kandidát na rozpad higgse



LHC - CERN