

Jetý

**ve srážkách
těžkých iontů**

CERN, 7. 6. 2013

Jiří Dolejší, Ústav částicové a jaderné fyziky MFF

Předehra, opakování and all that

http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/textbook/particle_textbook_CZ.htm

Kvarky

Během let, kdy fyzikové používali urychlovače ke studiu srážek, objevili postupně více než stovku dosud neznámých částic. V roce 1964 vyslovili Gell-Mann a Zweig novou revoluční myšlenku, že téměř všechny částice jsou složeny z malého počtu druhů ještě menších objektů nazvaných kvarky, které musí mít elektrické náboje $+2/3$ a $-1/3$ náboje protonu. Pro takovéto zlomkové náboje nebyl tehdy znám žádný důkaz.

Kvarky		spin = 1/2	
Vůně		Přibližná hmotnost GeV/c ²	Elektrický náboj
u	up	0.003	2/3
d	down	0.006	-1/3
C	charm	1.3	2/3
S	strange	0.1	-1/3
t	top	175	2/3
b	bottom	4.3	-1/3

Teprve na konci šedesátých a na začátku sedmdesátých let ukázaly experimenty na urychlovačích, že kvarky s předpokládanými vlastnostmi skutečně existují, avšak zůstávají uvězněny uvnitř částic s celočíselným nábojem.

Důvěrně známý svět kolem nás je složen téměř jen z kvarků *u* a *d*. Existují i další čtyři kvarky - *s*, *c*, *b* a *t*. Ty mají větší hmotnost, jsou nestabilní a rodí se jen na urychlovačích nebo ve srážkách působených kosmickým zářením.

Kvarky uvězněné v mezonech a baryonech

Kvarky a gluony není možné od sebe odtrhnout, jsou uvězněny v barevně neutrálních částicích nazývaných **hadrony**. Toto uvěznění (vazba) je důsledkem mnohonásobné výměny gluonů mezi barevně nabitými kvarky i gluony samými. Když se barevně nabitá částice (kvarky, gluony) pokusíme oddělit, energie gluonového pole mezi nimi roste. Tato energie se nakonec přemění na další pár kvark-antikvark. Kvarky a antikvarky nakonec vytvoří hadrony, které pozorujeme. V přírodě existují dva typy hadronů: **mezony** $q\bar{q}$ a **baryony** qqq .

Fermiony

Baryony qqq a antibaryony $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryony jsou hadrony s poločíselným spinem.
Existuje okolo 120 druhů baryonů.

Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Bosony

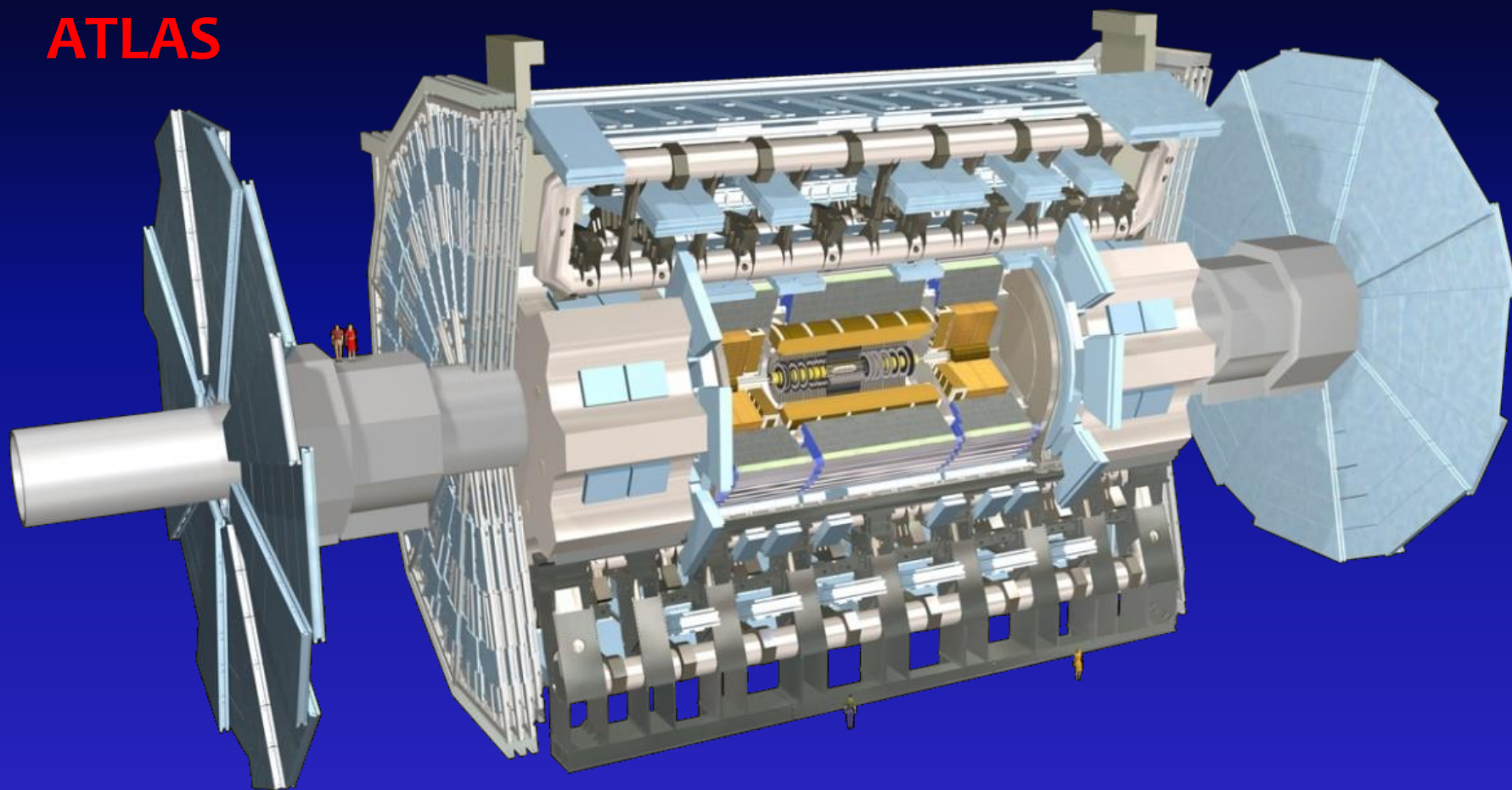
Mezony $q\bar{q}$

Mezony jsou hadrony s celočíselným spinem (bosony).
Existuje okolo 140 druhů mezonů.

Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	ro	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-nula	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

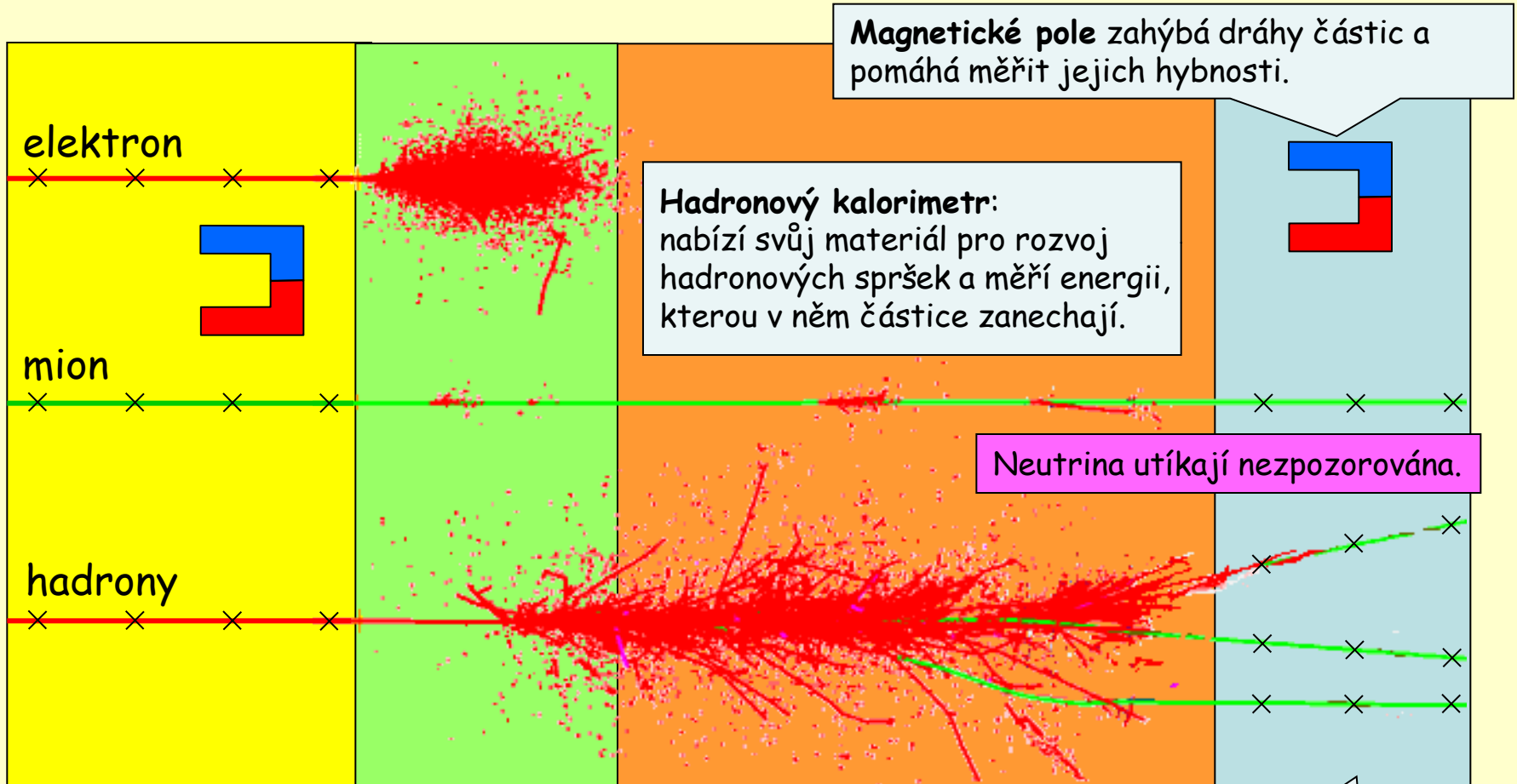
Ke každému typu **částice** existuje odpovídající typ **antičástice** (označená pruhem nad příslušným symbolem dané částice). Částice a antičástice mají **stejnou hmotnost a spin**, ale **opačné náboje**. Některé elektricky neutrální bosony (např. Z^0 , γ a $\eta_c = c\bar{c}$, avšak nikoli $K^0 = d\bar{s}$) jsou samy sobě antičásticí.

ATLAS



Zvláště pro senzacechtivá média: ATLAS = 2900 fyziků z 37 zemí a 172 univerzit a ústavů, 45m × 25 m velký, 7 000 tun vážící, připravený změřit miliardu pp srážek/s, vybrat si z nich cca 200 zajímavých/s a zaznamenat je pro analýzu.

Přehled konstrukce současných detektorů slibující zachycení téměř všech částic:



Magnetické pole zahýbá dráhy částic a pomáhá měřit jejich hybnosti.

Hadronový kalorimetr: nabízí svůj materiál pro rozvoj hadronových spršek a měří energii, kterou v něm částice zanechají.

Neutrína utíkají nezpozorována.

Vnitřní dráhový detektor: Minimum materiálu, jemná segmentace aby bylo možné měřit přesně body na drahách částic.

Electromagnetický kalorimetr: nabízí materiál pro rozvoj elektromagnetických spršek a měří absorbovanou energii.

Mionový detektor: nepokouší se miony zachytit, ale zaznamenává jejich dráhy.

ATLAS Control Room, first beams, 20 November 2009



Restart na sklonku roku 2009, [video](#)



LHC Page1 Fil: 892.0 E: 450 GeV 09-12-2009 07:40:40

BEAM SETUP: CIRCULATE AND DUMP

BCT T12:	0.00e+00	BCT T16:	0.00e+00	IBE1:	0.00e+00	IBR2:	6.20e+08
TED T12 position:	12.831	TED T16 position:	12.831				
TDE P2 gaps/mm:	upstream: 19.99	downstream: 19.97					
TDE F6 gaps/mm:	upstream: 19.97	downstream: 19.99					

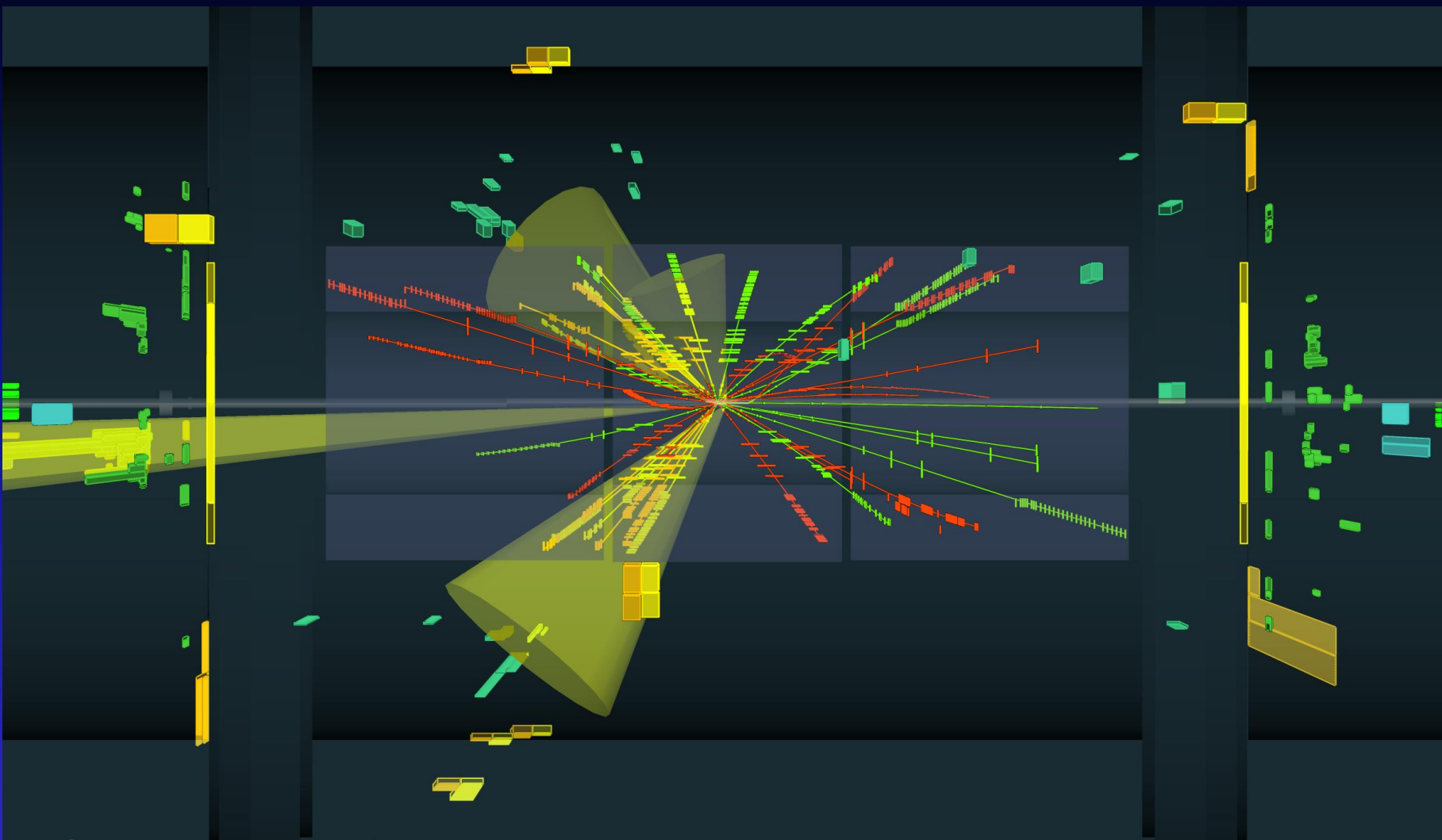
Comments: 03-12-2009 04:30:36
circulating and dump beam 1 and 2
beta-beat measurements

SMP Flags Beam 1 Beam 2

Global Beam Permit	OK	OK
Setup Beam	OK	OK
Beam Presence	OK	OK
Moveable Devices Allowed In Stable Beams	OK	OK

LHC Operation #: CCC - 71600, 3rdAnn PH Status B1 PH Status B2

Restart na sklonku roku 2009



Jet Event at 2.36 TeV Collision Energy

2009-12-14, 04:30 CET, Run 142308, Event 482137

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

Počátek „běžného“ provozu LHC – 30. 3. 2010

Collision Event at
7 TeV



2010-03-30, 12:58 CEST
Run 152166, Event 316199

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

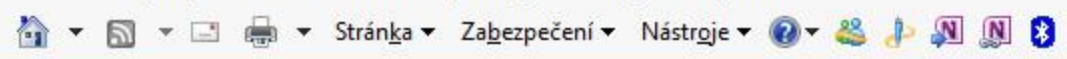




http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/

ATLAS Experiment

Soubor Úpravy Zobrazit Oblíbené položky Nástroje Nápověda



ATLAS Experiment
http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaborat

Login

European Organization for Nuclear



Collaboration

ATLAS Now

ATLAS Public

MEETINGS



GENERAL

ATLAS Organization

Management

Organigram

Institutions

Collaboration Board

Executive Board

Committees & Databases

MoU & Annexes

Policy Documents

Policy for External Collaboration

GENERAL NEWS

ATLAS RESULTS

Public Results

ATLAS Event Displays

Conferences & Talks

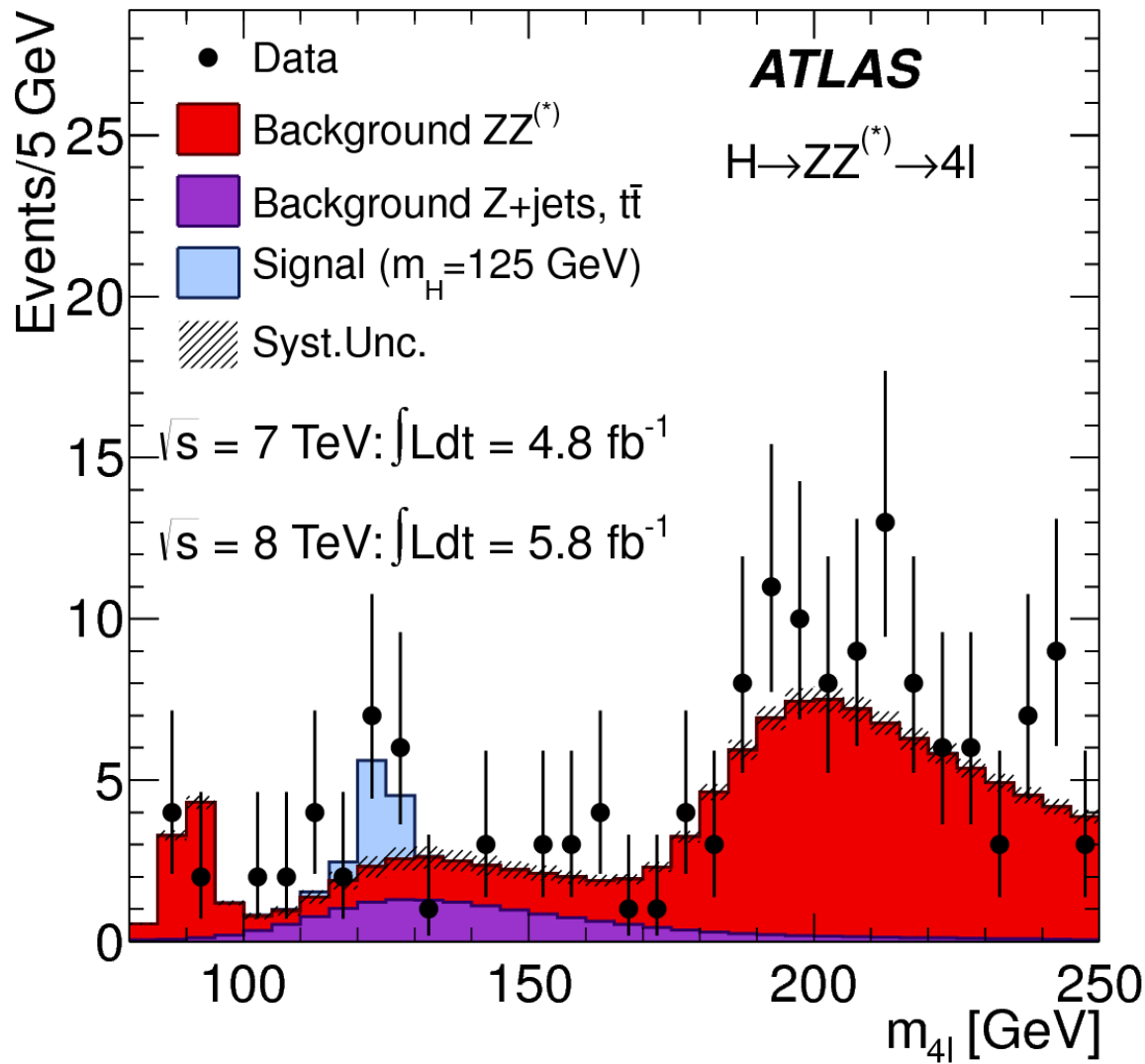
Analysis Tracking - Papers

Analysis Tracking - Conference Notes

DETECTOR ACTIVITIES

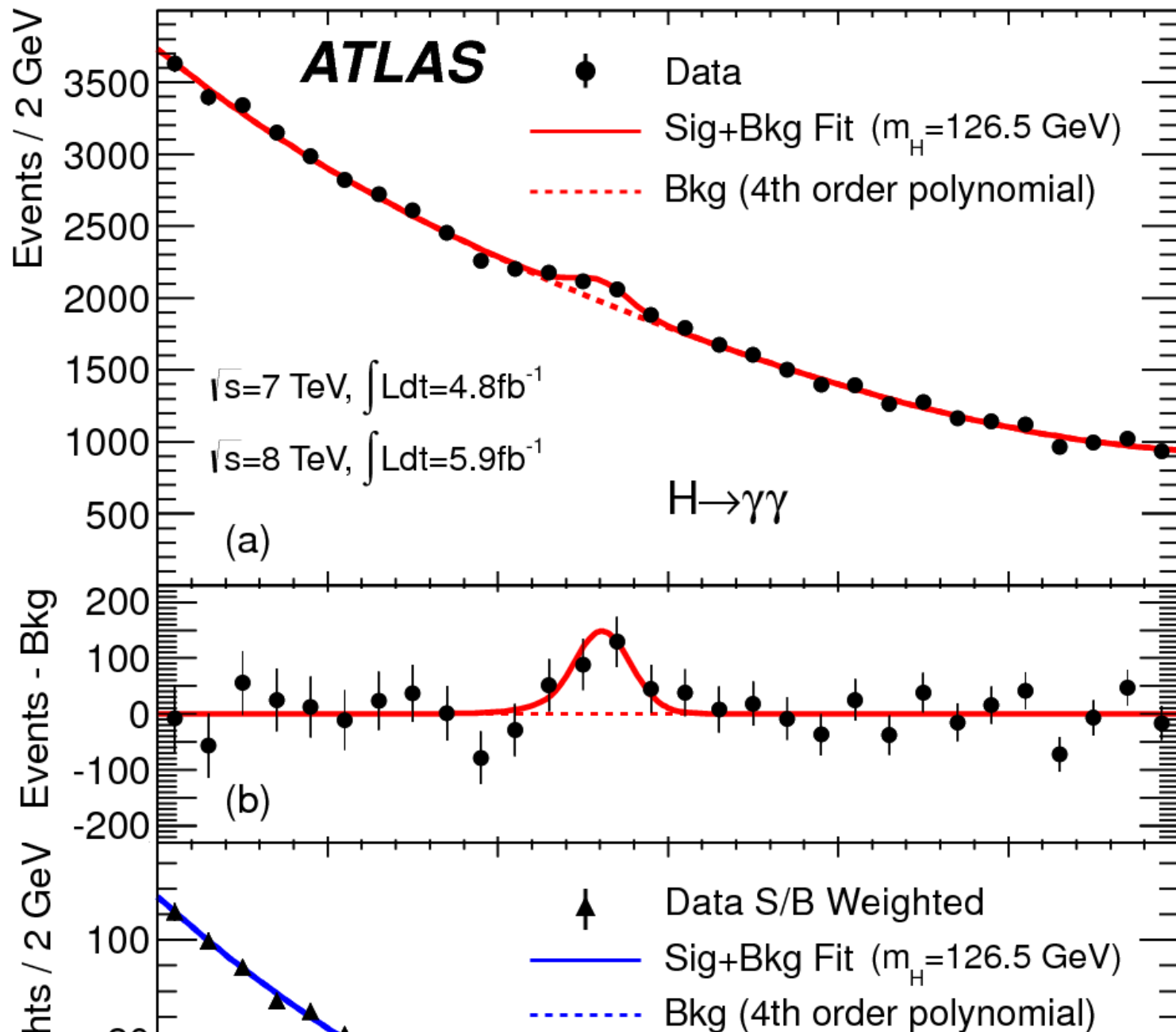
SEARCH & PHONES

SERVICES & TOOLS



The distribution of the four-lepton invariant mass, m_{4l} , for the selected candidates, compared to the background expectation in the 80 to 250 GeV mass range, for the combination of the $\sqrt{s} = 7$ TeV and $\sqrt{s} = 8$ TeV data.

The signal expectation for a SM Higgs with $m_H = 125$ GeV is also shown.

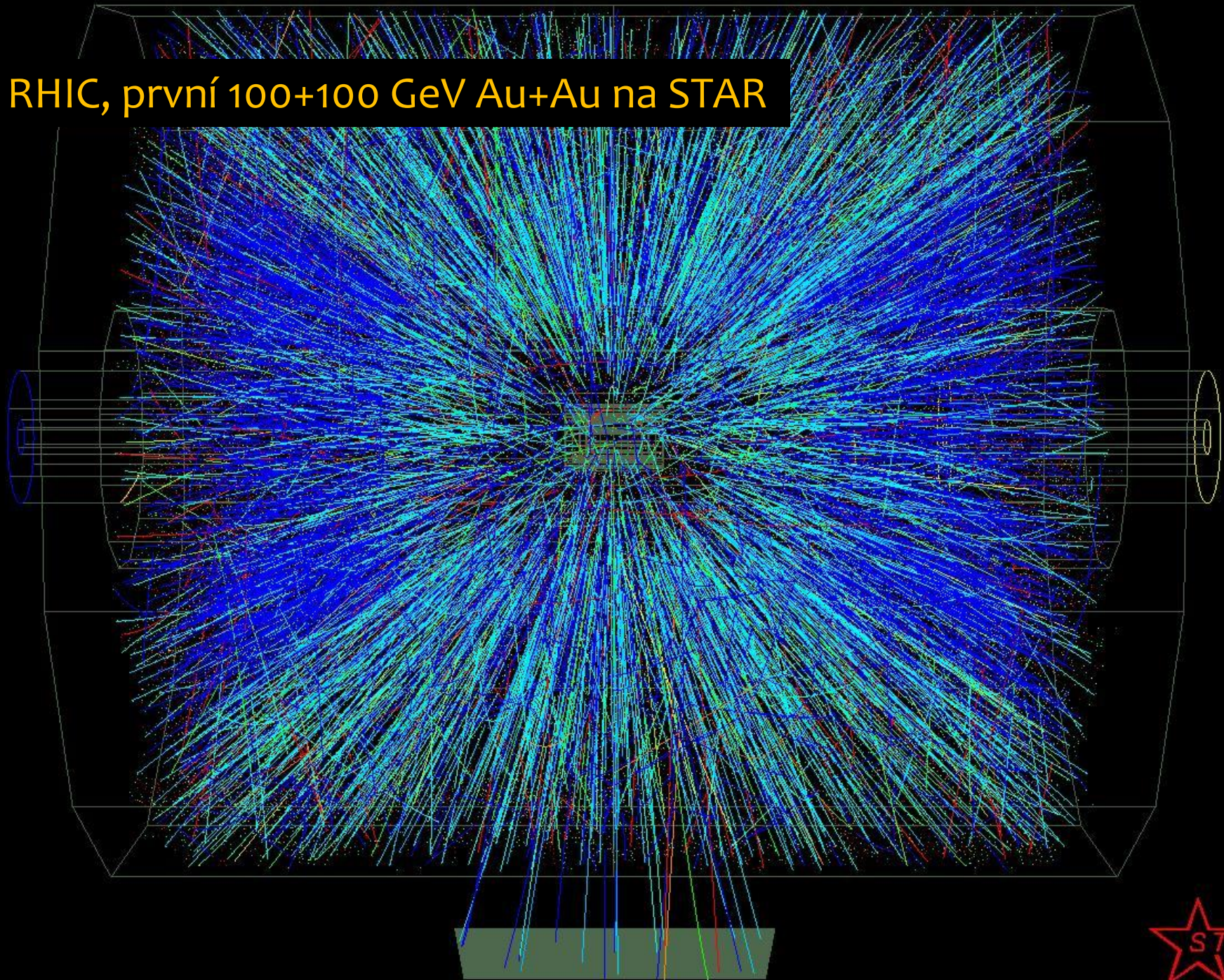


Srážky těžkých iontů, tedy olova

Praha, 1. 1. 2010

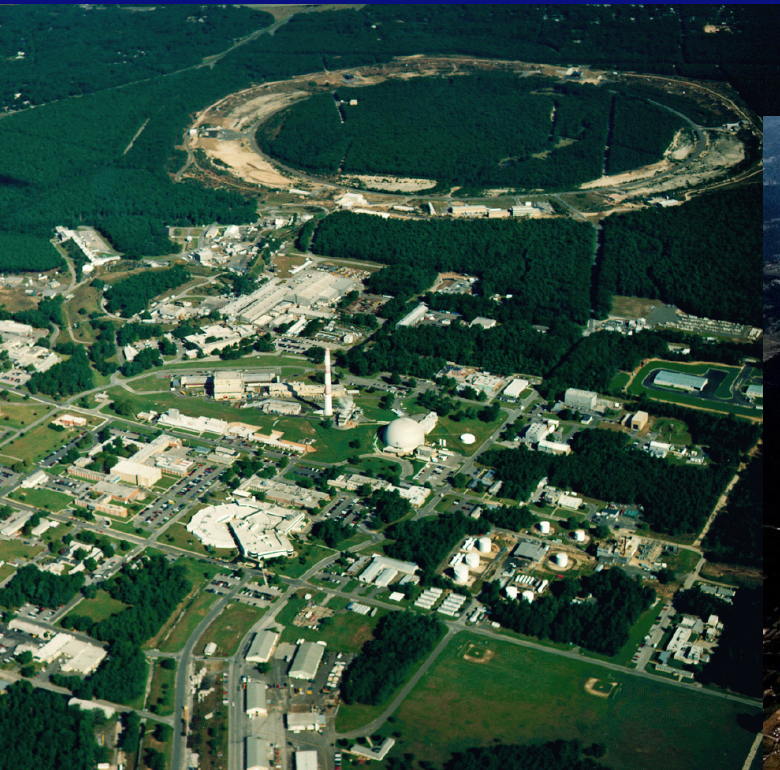


RHIC, první 100+100 GeV Au+Au na STAR



Skok v energii, ...

Na urychlovači **RHIC** se srážejí
vstřícné svazky jader zlata ($^{79}\text{Au}_{197}$)
s energiemi 100 GeV + 100 GeV
(ale také protony 250 GeV + 250 GeV)



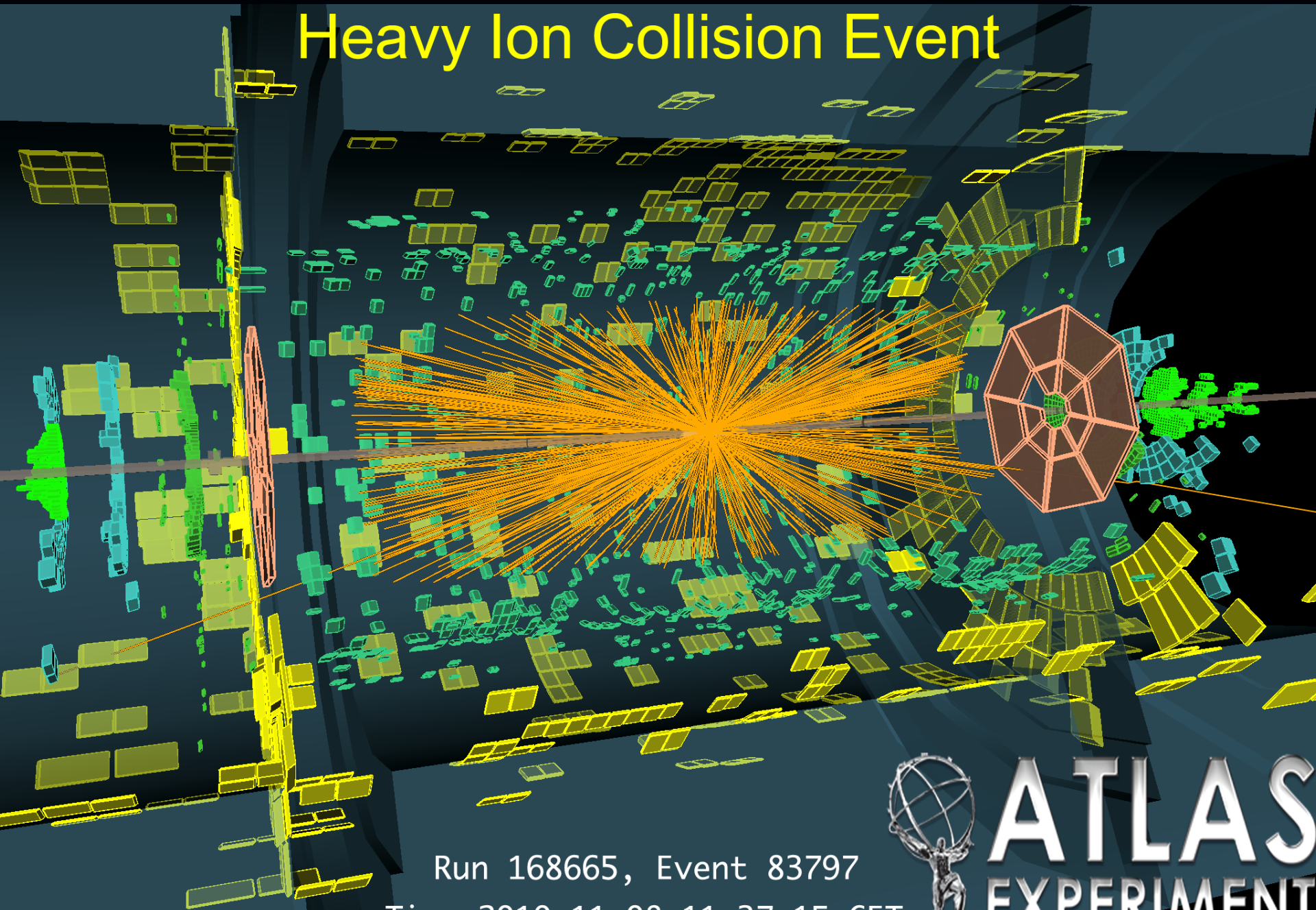
3,8 km → 27 km

...krok do neznáma

Na urychlovači **LHC** se srážejí vstřícné
svazky protonů, plánovaná energie je
7 000 GeV + 7 000 GeV,
naplánované srážky jader olova ($^{82}\text{Pb}_{207}$)
s energiemi 2 770 GeV + 2 770 GeV



Heavy Ion Collision Event



Run 168665, Event 83797

Time 2010-11-08 11:37:15 CET



ATLAS
EXPERIMENT

LHC Page1

Fill: 1534

E: 3500 Z GeV

01-12-2010 12:57:26

ION PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy:

3500 Z GeV

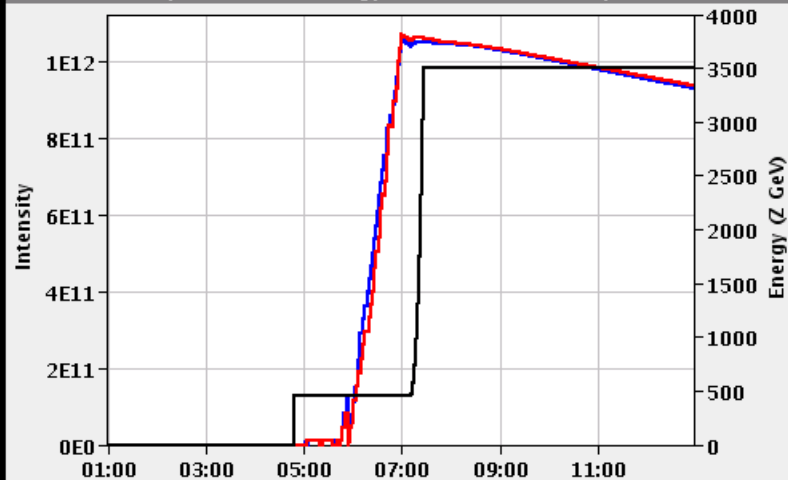
I(B1):

9.38e+11

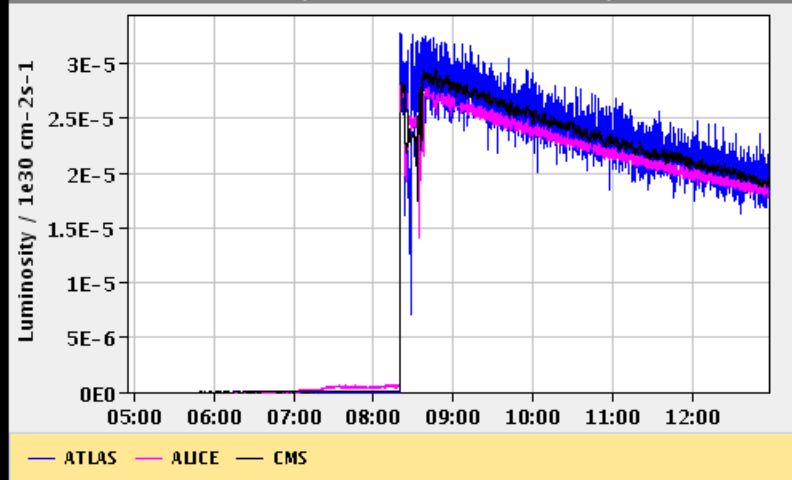
I(B2):

9.47e+11

FBCT Intensity and Beam Energy Updated: 12:57:25



Instantaneous Luminosity Updated: 12:57:26



Comments 01-12-2010 08:45:54 :

beams are stable

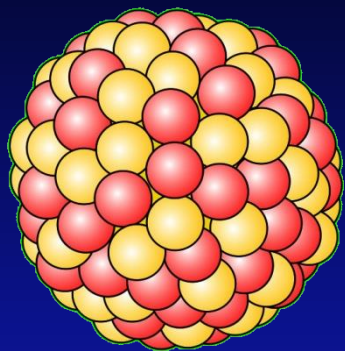
BIS status and SMP flags

B1 B2

Link Status of Beam Permits	true	true
Global Beam Permit	true	true
Setup Beam	false	false
Beam Presence	true	true
Moveable Devices Allowed In	true	true
Stable Beams	true	true

AFS: 500ns_121b_113_114_0_4bpi31inj_IONS

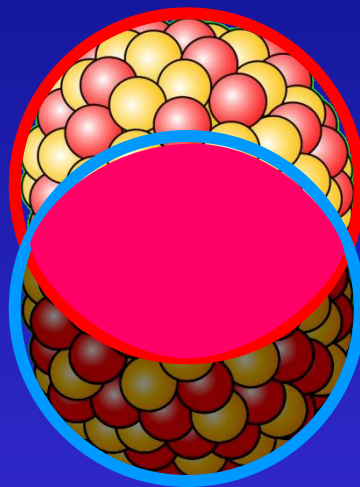
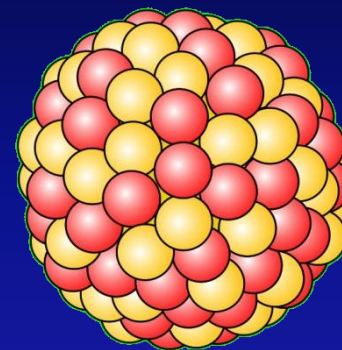
PM Status B1 **ENABLED** PM Status B2 **ENABLED**

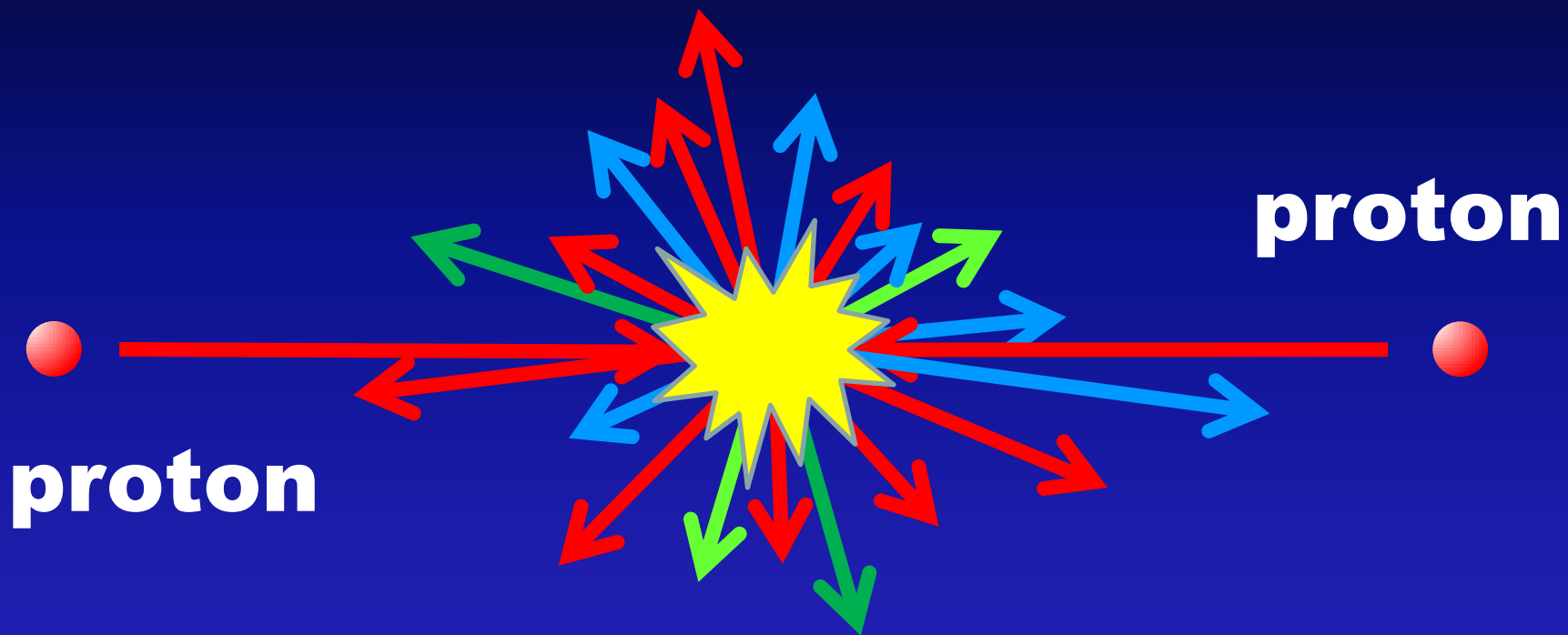


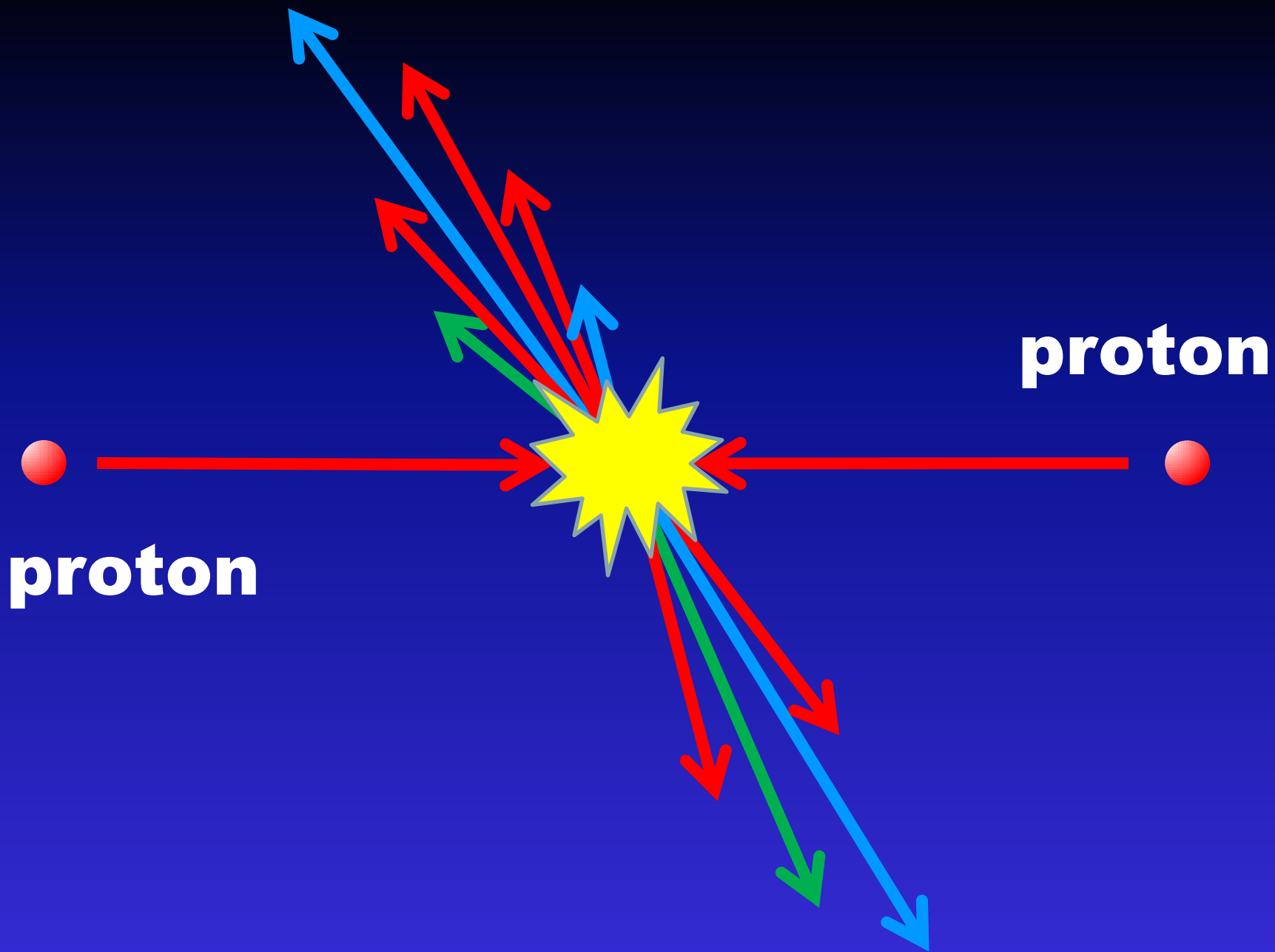
jádro



jádro







Mezihra: Kvantová chromodynamika:

... vazbová konstanta „běží“
s charakteristickou škálou procesů ...
poruchová teorie je dobře použitelná
v procesech s velkým přenosem
hybnosti

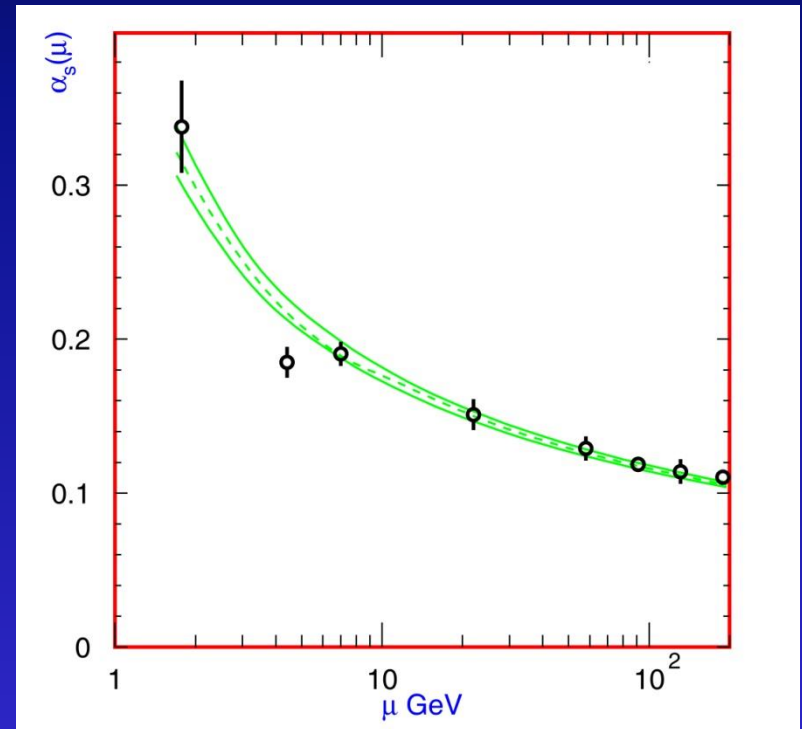
Záchrana?

... neporuchové metody, například
QCD na mříži
... výpočetně velmi složitá úloha
(dnes do $32^3 \times 256$), zatím daleko od
dynamiky při malých přenosech
hybnosti, od produkce částic atd.

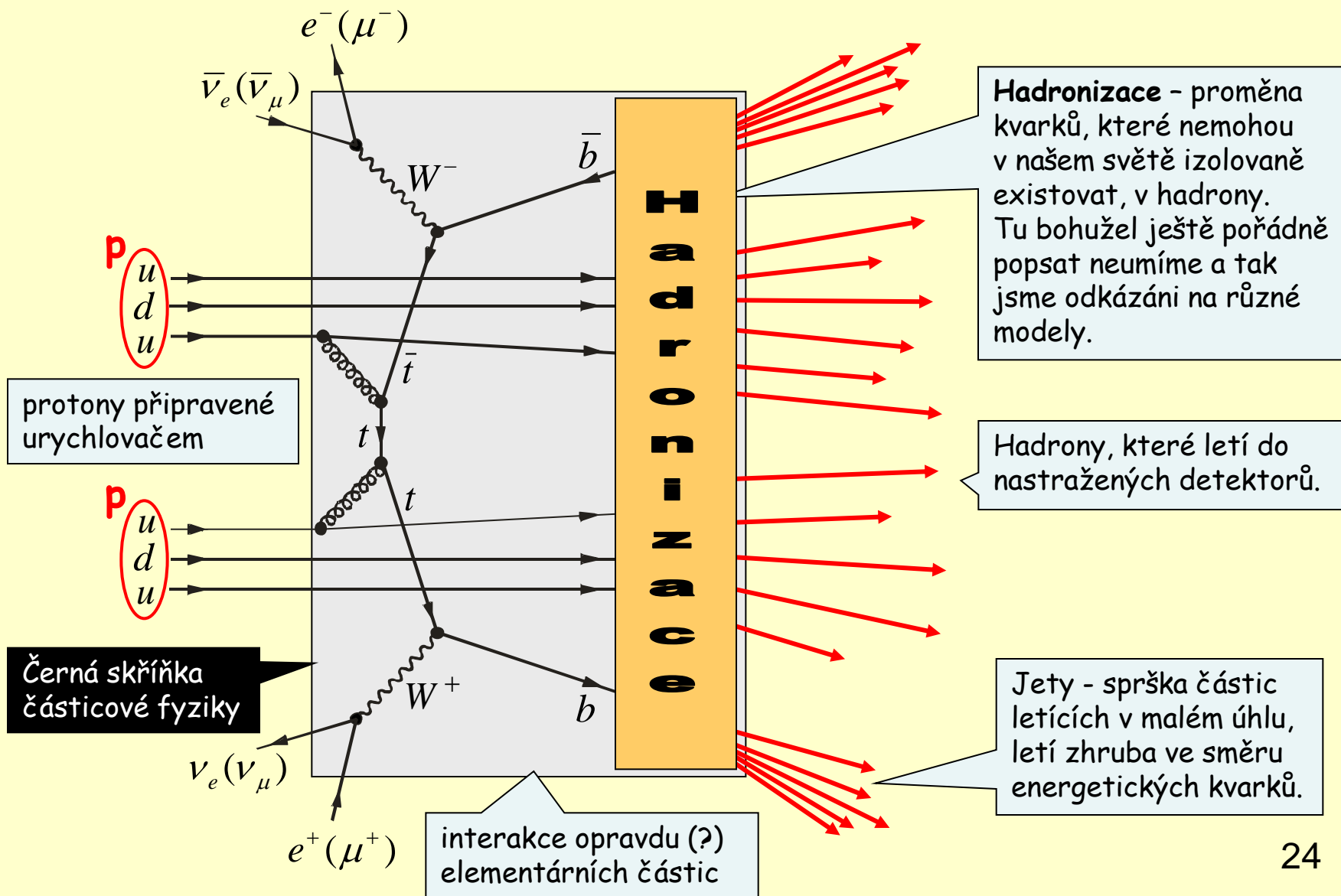
„Nouzové“ řešení:

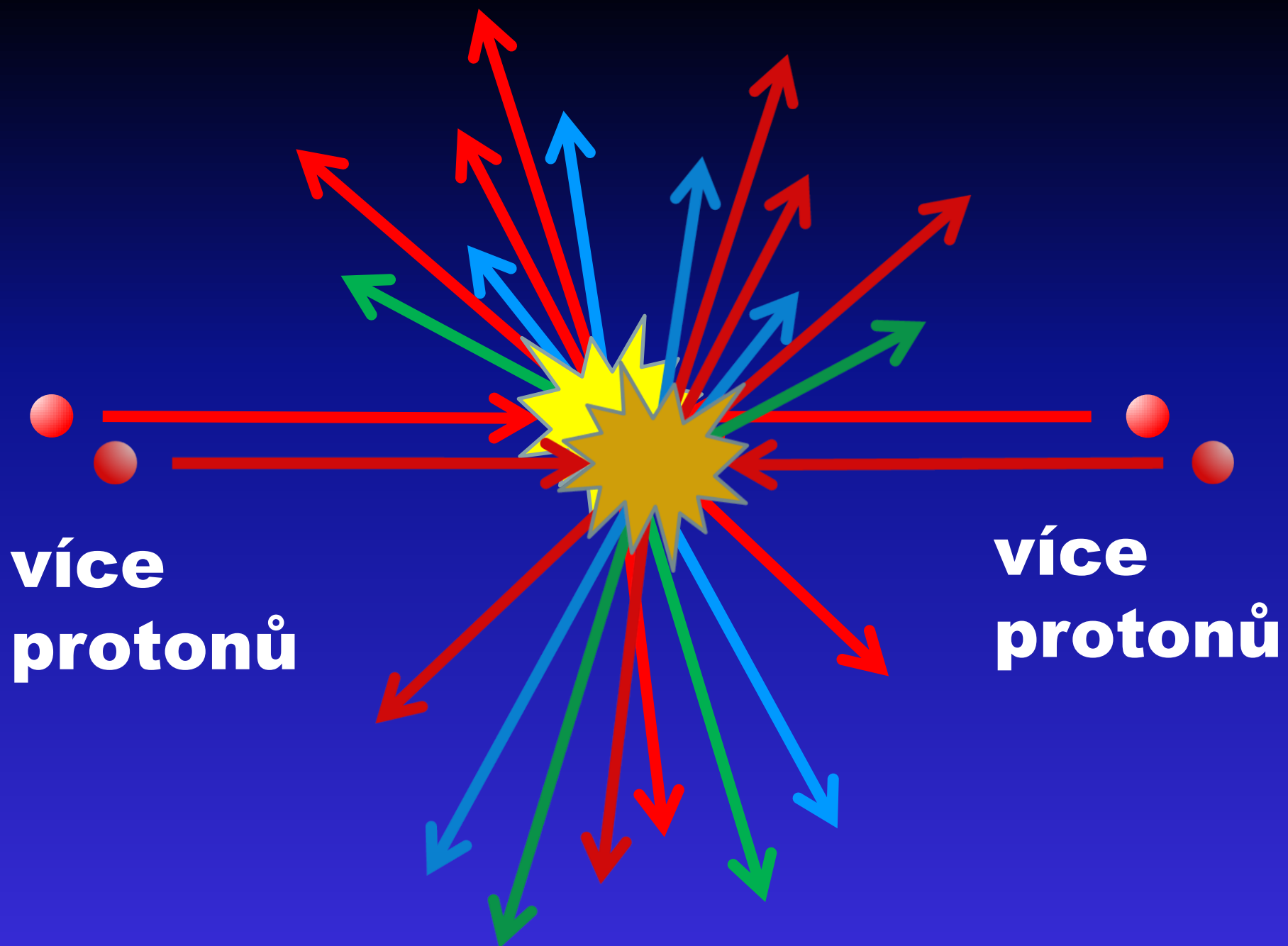
Fenomenologie,
modely motivované QCD

Figure 9.2: Summary of the values of $\alpha_s(\mu)$ at the values of μ where they are measured. The lines show the central values and the $\pm 1\sigma$ limits of our average. The figure clearly shows the decrease in $\alpha_s(\mu)$ with increasing μ . The data are, in increasing order of μ , τ width, Υ decays, deep inelastic scattering, e^+e^- event shapes at 22 GeV from the JADE data, shapes at TRISTAN at 58 GeV, Z width and e^+e^- event shapes at 135 and 189 GeV.



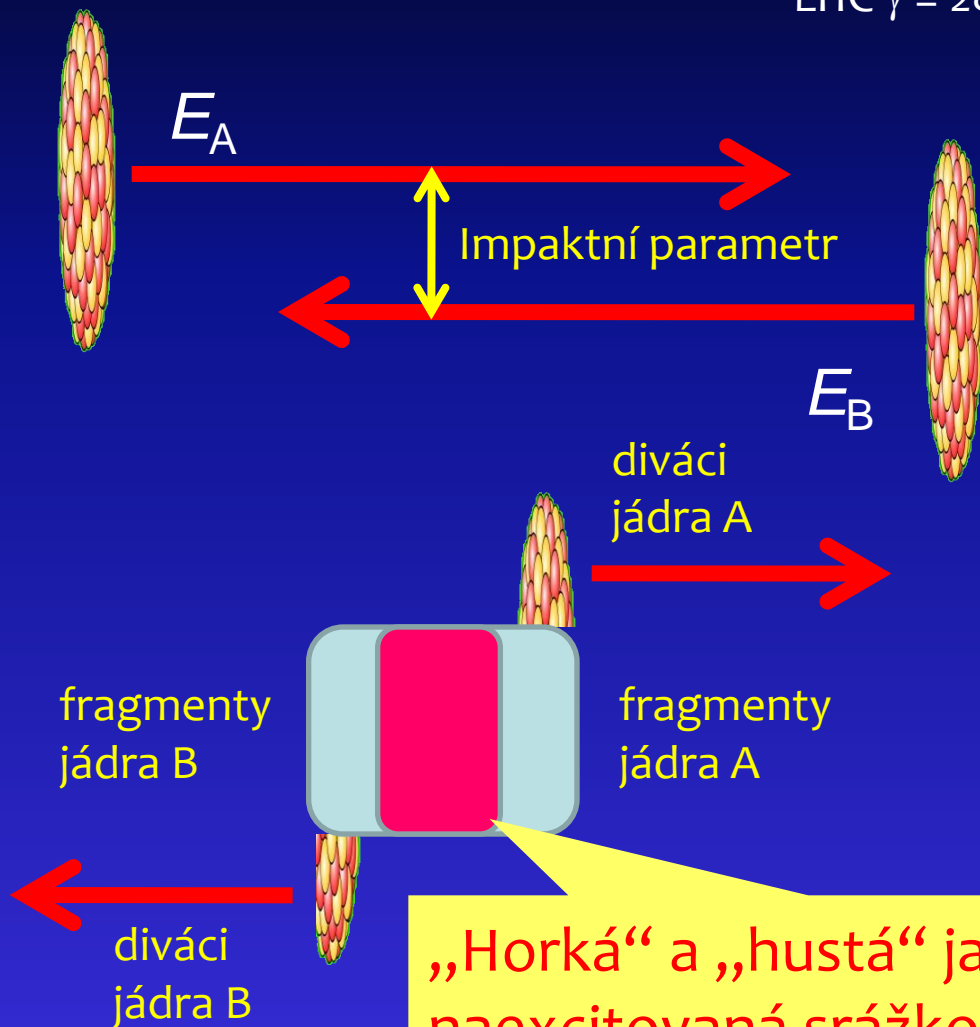
Jedna srážka protonů na LHC





Srážky těžkých iontů

Relativistické energie, $E_A/N_A = \gamma \gg 1 \dots$ RHIC $\gamma = 100$,
LHC $\gamma = 2800$



„Jaderný pohled“:

vzniká kapka srážkou vysoce naexcitované jaderné hmoty, spíše kvark-gluonového plazmatu, je to hmota po malém Big Bangu.

„Částicový pohled“:

hadrony ze srážejících se jader a jejich partony protrpí mnohonásobné interakce, vývoj kaskády probíhá v médiu.

Srážky těžkých iontů

„Jaderný pohled“

se stará především o tuto oblast;

veličiny např.

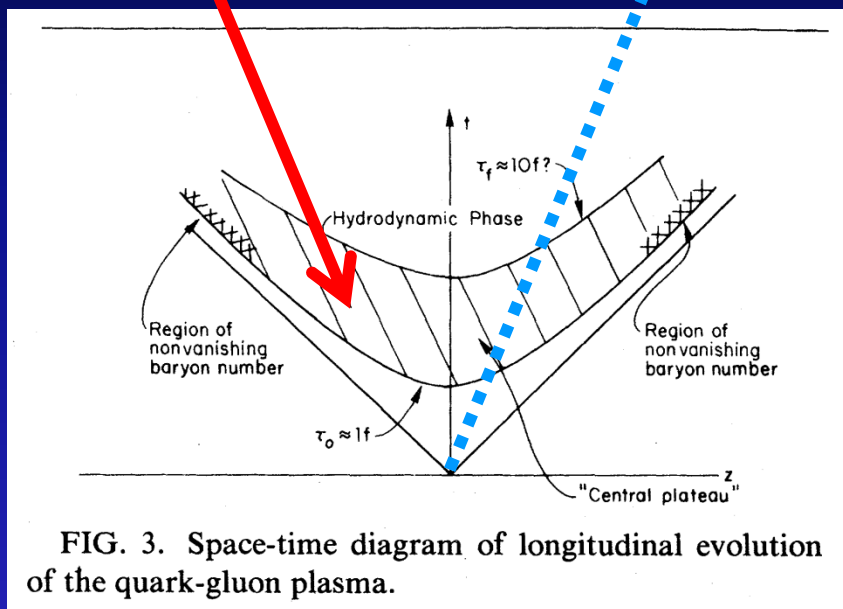
- teploty nabitované na inkluzivní spektra částic,
- parametry „kapaliny“ jako stlačitelnost, viskozita ...
- eliptický tok, ...

„Částicový pohled“

se stará o osud částic od okamžiku střetu;

veličiny např.

- multiplicity částic,
- inkluzivní spektra částic
- poměr produkce podivných a nepodivných částic,
- produkce kvarkónií,
- produkce a vlastnosti jetů, ...



PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 27, NUMBER 1

1 JANUARY 1983

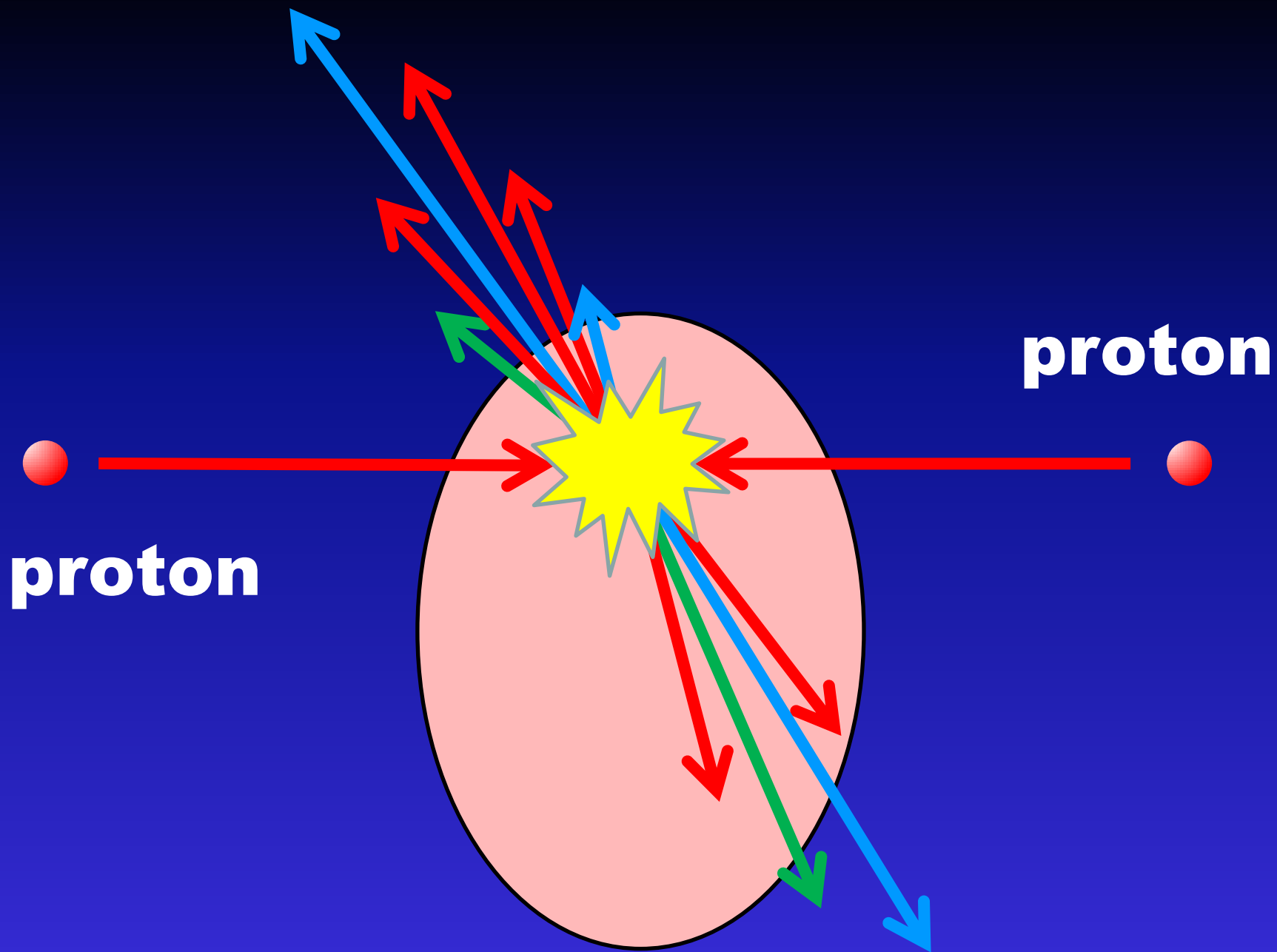
Highly relativistic nucleus-nucleus collisions: The central rapidity region

J. D. Bjorken

*Fermi National Accelerator Laboratory, * P.O. Box 500, Batavia, Illinois 60510*

(Received 13 August 1982)

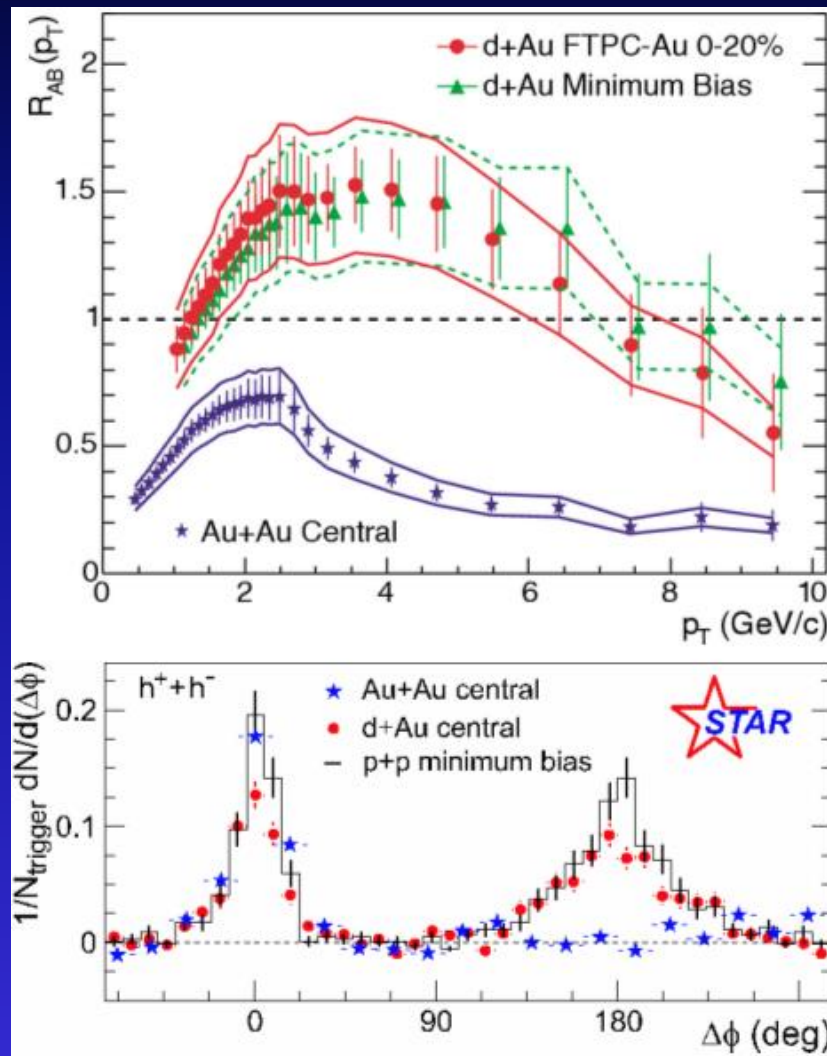
The space-time evolution of the hadronic matter produced in the central rapidity region in extreme relativistic nucleus-nucleus collisions is described. We find, in agreement with previous studies, that quark-gluon plasma is produced at a temperature $\gtrsim 200\text{--}300$ MeV, and that it should survive over a time scale $\gtrsim 5$ fm/c. Our description relies on the existence of a flat central plateau and on the applicability of hydrodynamics.



Srážky těžkých iontů

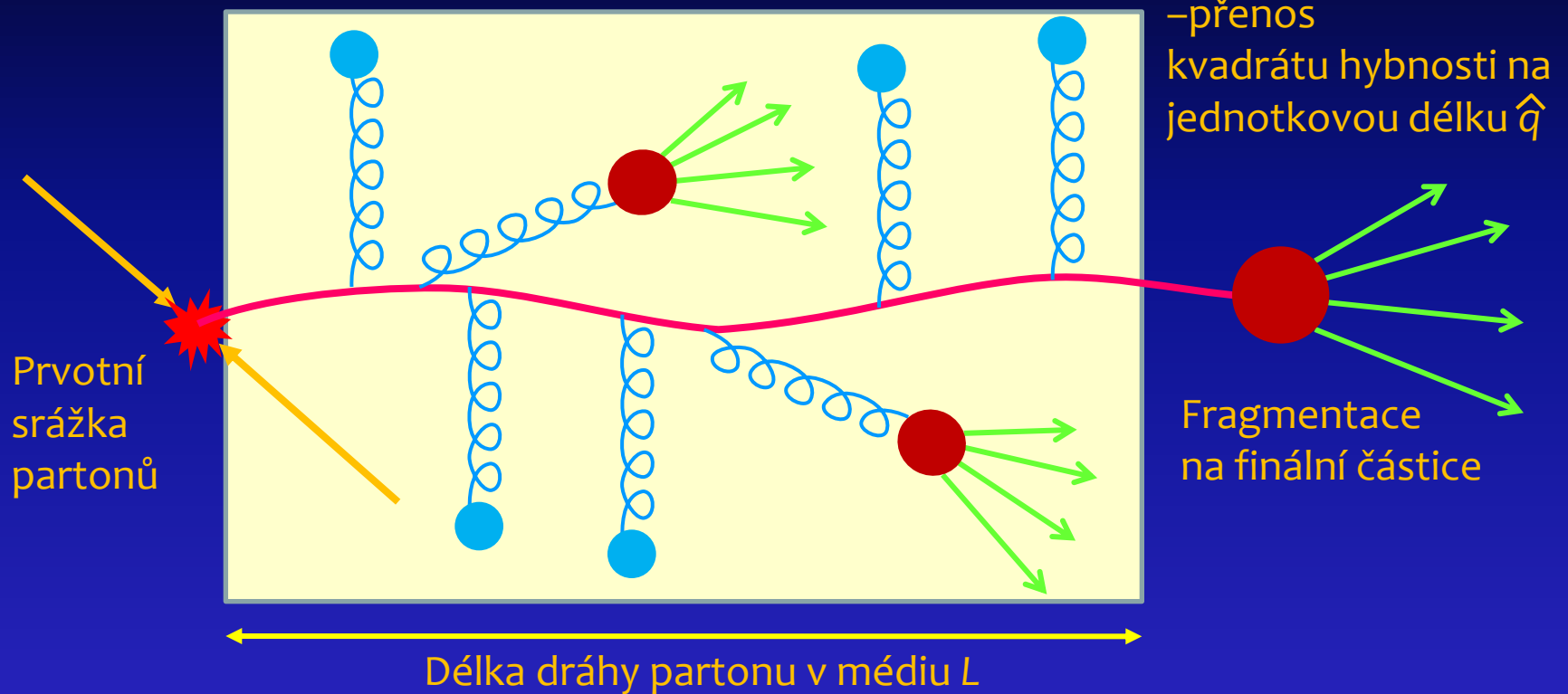
Ilustrace dalších vrcholně zajímavých proměnných – jety a jejich vlastnosti

- dlouhou dobu předpovědi zhášení (quenching) nebo jiné modifikace jetů horkým a hustým médiem,
- výsledky experimentů na RHIC: **očekávané/předpovídáné**



Srážky těžkých iontů

Šíření rychlých partonů v médiu



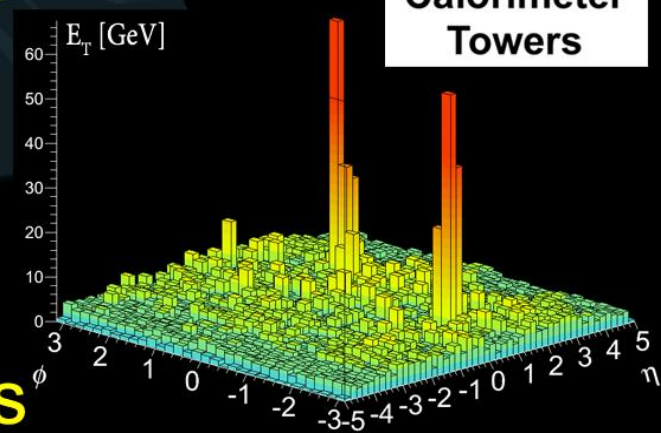
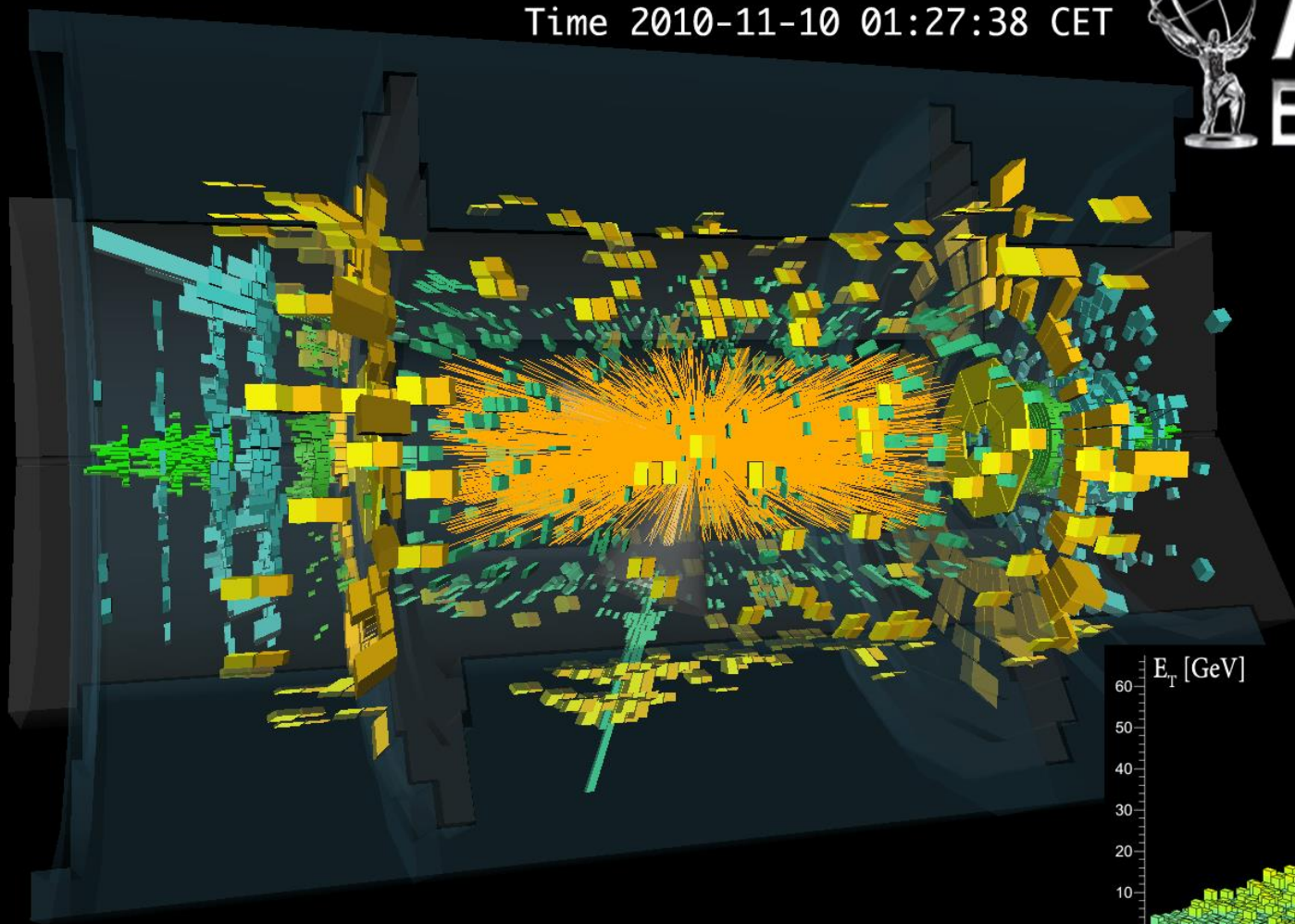
Různé modely (Baier, Dokschitzer, Mueller, Peigné, Schiff – Armesto, Salgado, Wiedemann – Gyulassy, Lévai, Vitev – HT: Luo, Qiu, Sterman – Arnold, Moore, Yaffe), používající poruchovou QCD, liší se rolí ztrát ve srážkách s partony média a ztrát vyvolaných gluonovým „brzdovým zářením“.

Run 168875, Event 1577540
Time 2010-11-10 01:27:38 CET



ATLAS

EXPERIMENT



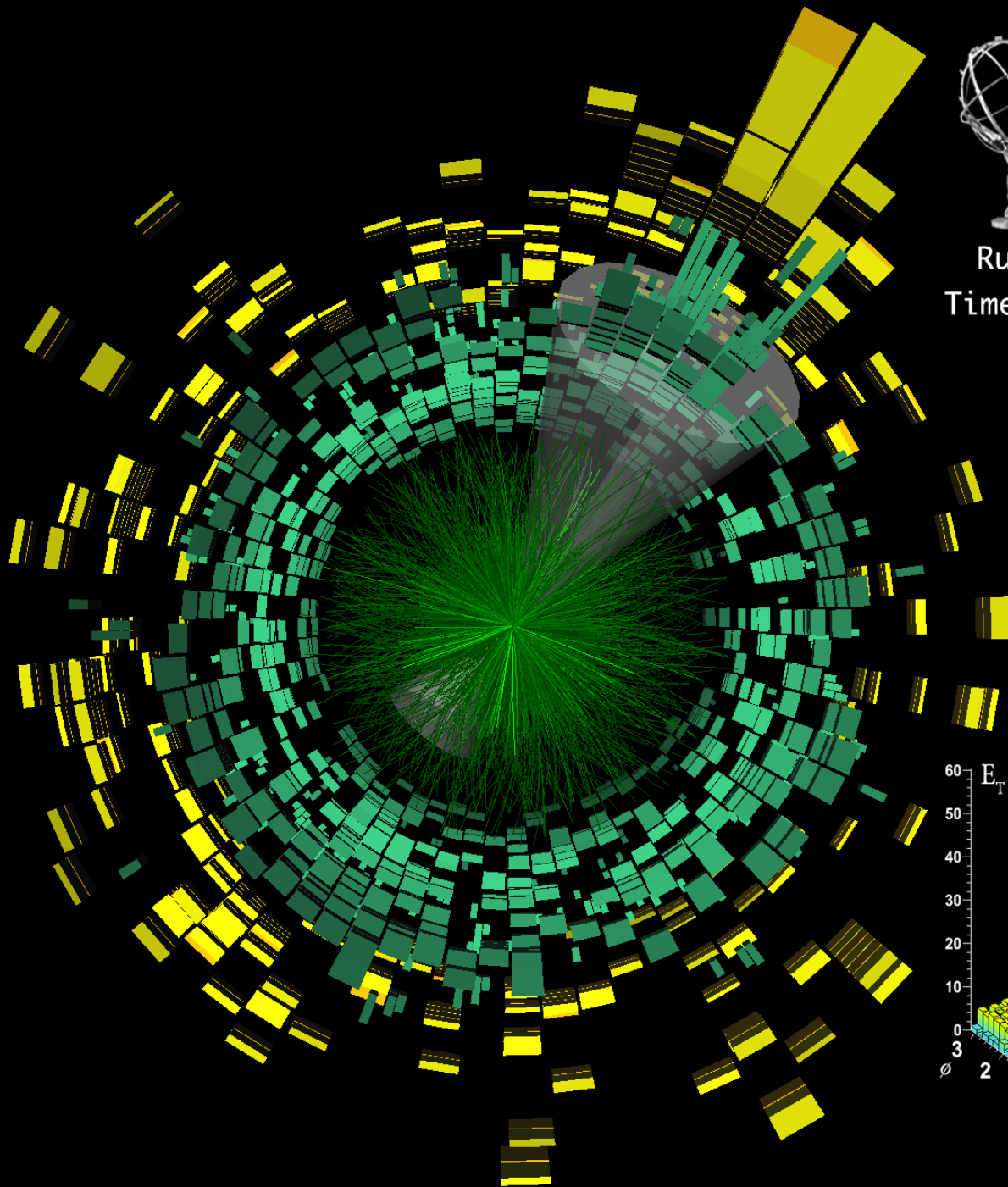
Heavy Ion Collision Event with 2 Jets



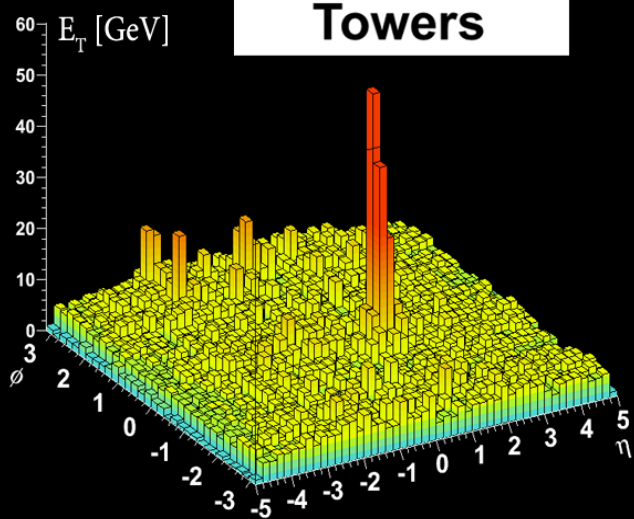
ATLAS EXPERIMENT

Run 168795, Event 7578342

Time 2010-11-09 08:55:48 CET



**Calorimeter
Towers**



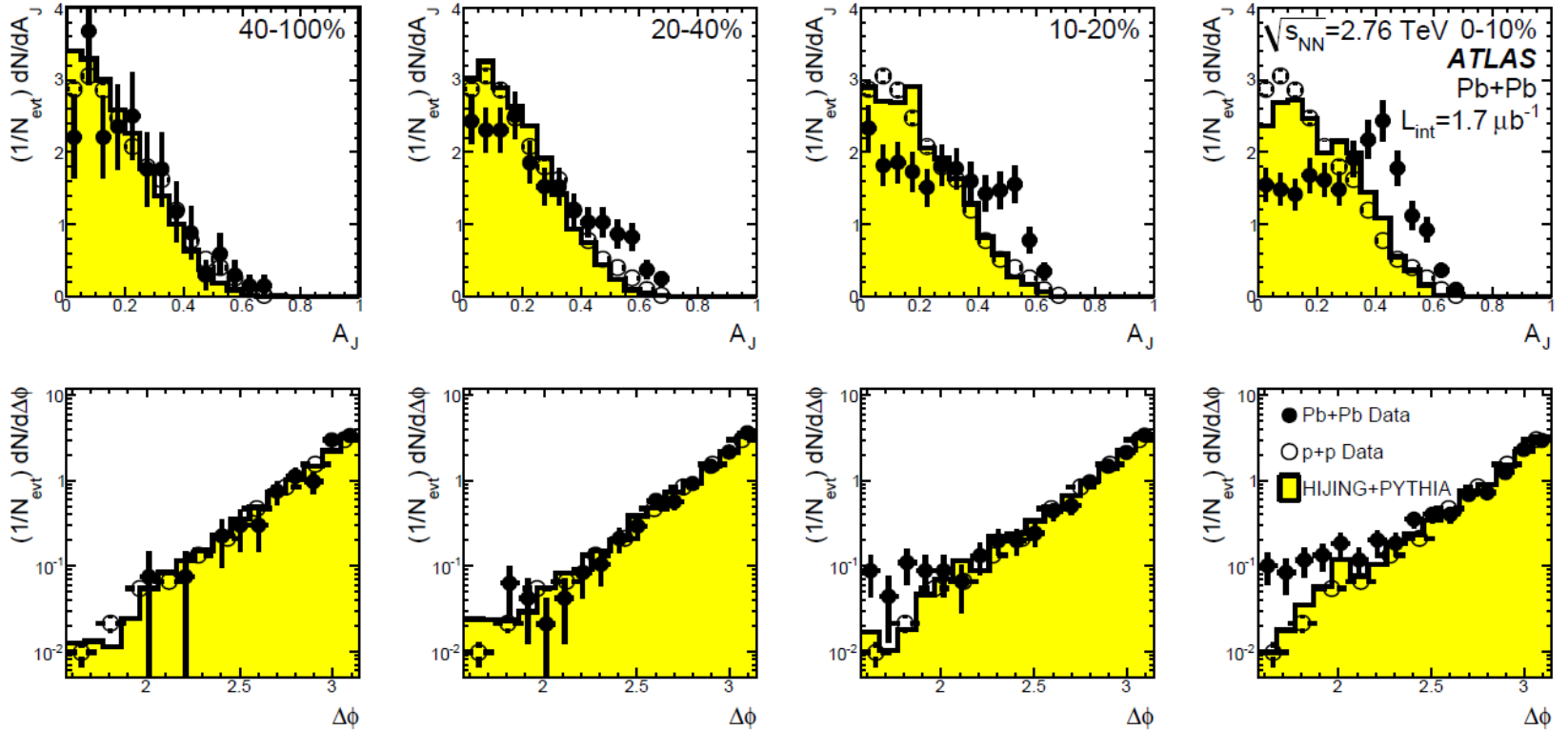


FIG. 3: (top) Dijet asymmetry distributions for data (points) and unquenched HIJING with superimposed PYTHIA dijets (solid yellow histograms), as a function of collision centrality (left to right from peripheral to central events). Proton-proton data from $\sqrt{s} = 7$ TeV, analyzed with the same jet selection, is shown as open circles. (bottom) Distribution of $\Delta\phi$, the azimuthal angle between the two jets, for data and HIJING+PYTHIA, also as a function of centrality.

$$A_J = \frac{E_{T1} - E_{T2}}{E_{T1} + E_{T2}}, \Delta\phi > \frac{\pi}{2}$$

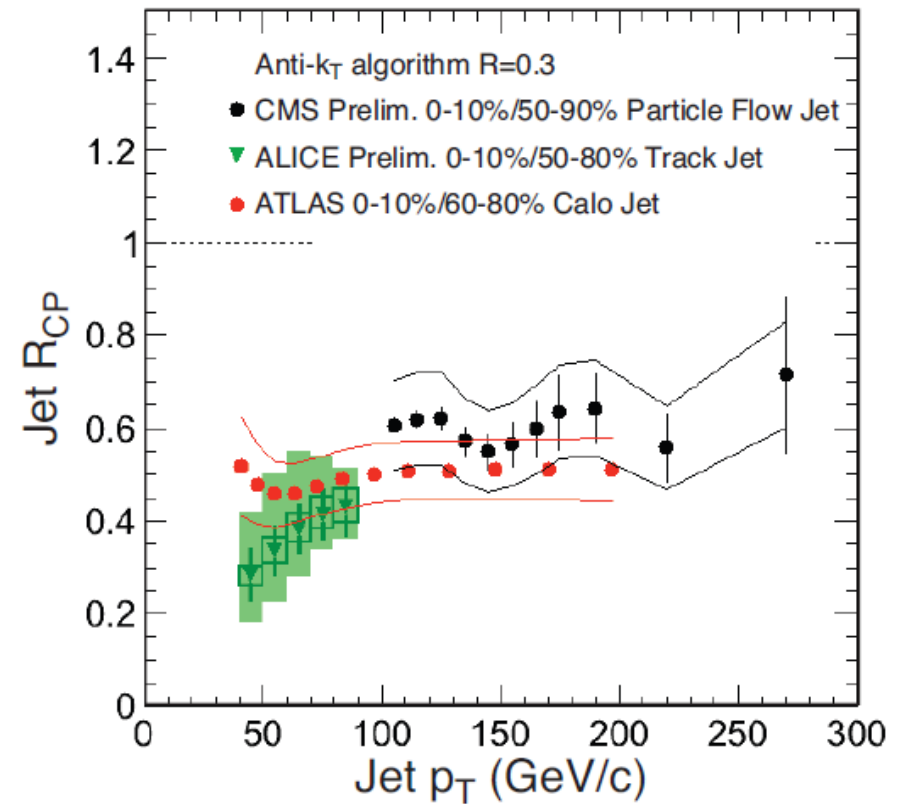
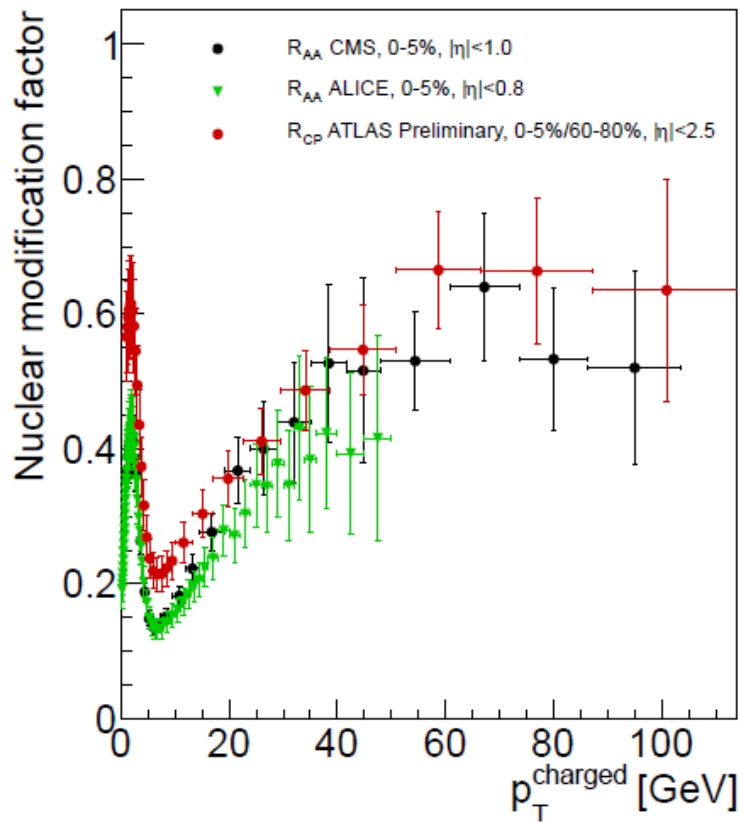


Figure 2: *Left:* Nuclear modification factor of charged particles by ALICE [69], ATLAS [70], and CMS [71]. *Right:* Nuclear modification factor of jets at LHC from Ref. [72].

Proč se tím zabýváme na MFF?



Proč se tím zabýváme všude?



Proč se tím zabýváme ?

- Fyzika srážek těžkých iontů je jedno z **integrujících témat** na ÚČJF (experiment + teorie, jádro + částice).
- Některé **otázky jsou přístupné** pro bakaláře, magisterští studenti se přirozeně začleňují do mezinárodní vědecké komunity (Balek–Kosek–Rybář–Spousta)
- Fyzika těžkých iontů je pokročilá, ale **krásně nehotová** s perspektivou nových experimentálních dat a tím stimulace teorie.
- Fyzika je tu stále **dobrodružství poznání**.

