



# Košická stopa v CERN

30 rokov spolupráce košických pracovník s CERN



Marek Bombara, 20. 5. 2024, Danišovce

PF UPJŠ   ÚEF SAV   FEI TUKE





# Obsah

- Začiatky
- Experimenty na SPS:
  - ▶ NA34/3 (Helios-3)
  - ▶ WA94, WA97
  - ▶ NA57
- Príspevok k vybudovaniu LHC
- Experimenty na LHC:
  - ▶ ATLAS
  - ▶ ALICE
- Popularizácia





# Začiatky

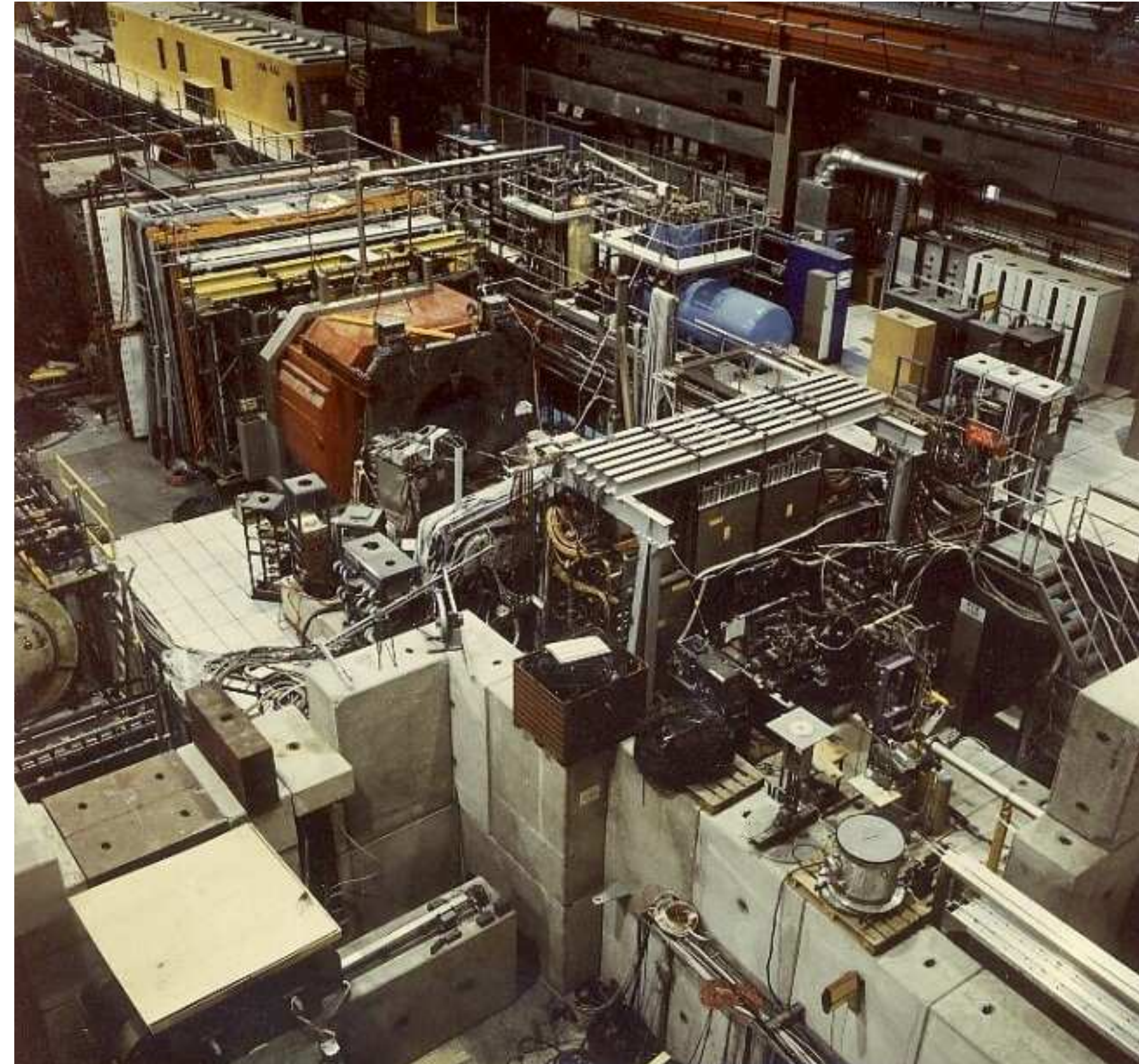
- prvé kontakty s československou komunitou už v 80-tych rokoch (CERN-JINR HEP škola v Táboře v 1983)
- vtedajší generálny riaditeľ (DG) CERN-u Herwig Schopper, rodák z Lanškrouna na Morave, inicioval priame kontakty ČSSR a CERN
- všetko oficiálne začalo prijatím ČSFR do CERN v roku 1992 a následne prijatím Slovenska do CERN v roku 1993
- prvé experimenty, na ktorých sa začali zúčastňovať košickí pracovníci, boli experimenty na (vtedy) najvýkonnejšom cernskom urýchľovači SPS





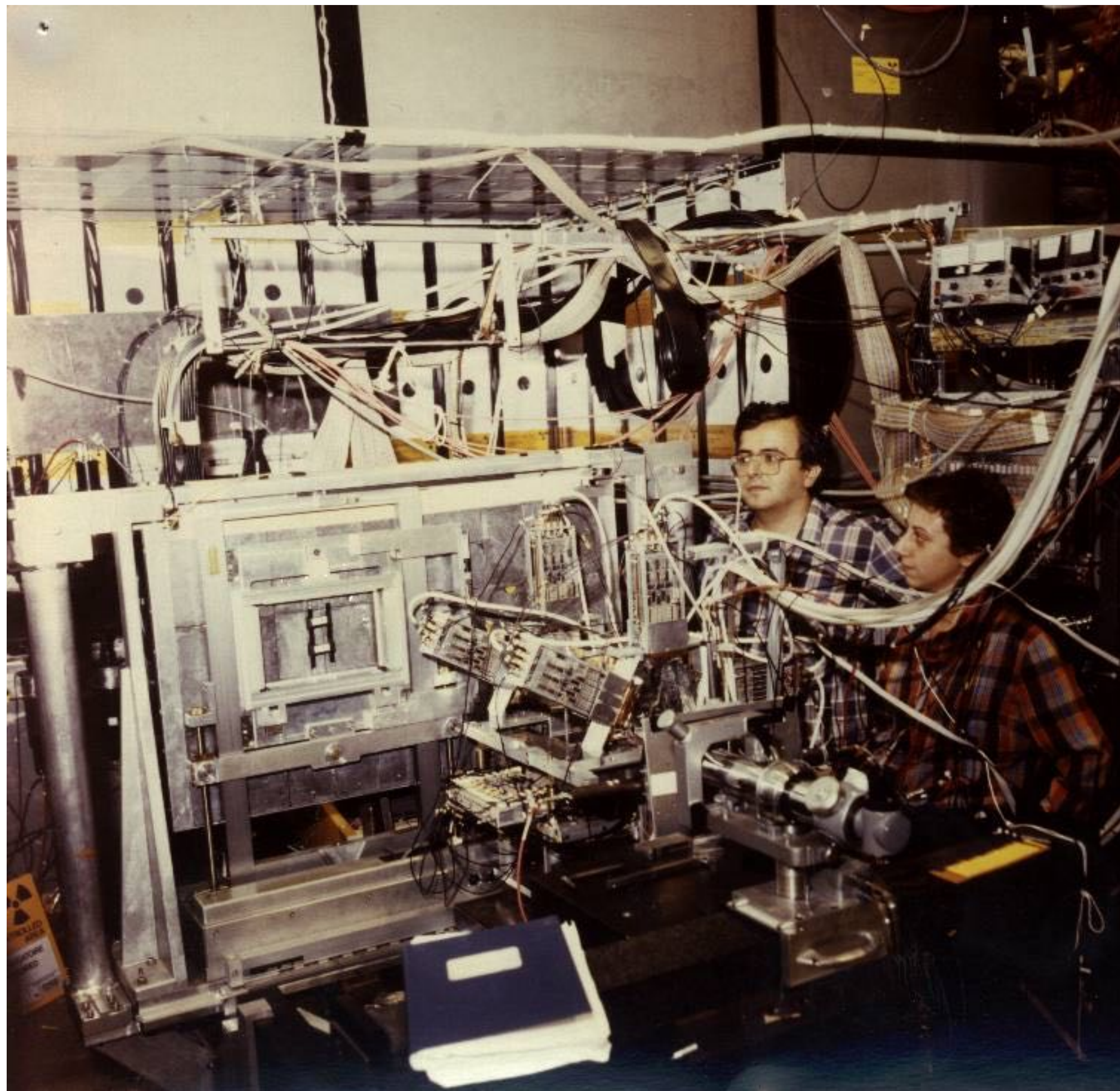
# Experiment HELIOS-3 (a.k.a. NA34/3)

- študujúci spektrum dileptónov (dimiónov) v jadro-jadrových zrážkach (S-W) a porovnanie so spektrom v protón-protónových zrážkach (HELIOS-1) alebo protón-jadrových zrážkach (p-W)
- skupina fyzikov z ÚEF SAV po predbežných diskusiách s Christianom Fabjanom začala neformálne kontakty a spoluprácu na experimente NA34 (HELIOS), ktorý viedol William J. Willis.
- ročné pracovné pobyty v skupine HELIOS pre Michala Semana (1984), Ladislava Šándora (1987) a Jaroslava Antoša (1989)
- po 1989 CERN fellowshipy pre mladých odborníkov z bývalých socialistických krajín. Za Slovensko: Ivan Králik, Peter Lichard ml. a Štefan Olejník.





# Experiment HELIOS-3 (a.k.a. NA34/3)



- individuálna účasť košických fyzikov v experimente HELIOS vyústila do prvej oficiálnej účasti československého pracoviska – Ústavu experimentálnej fyziky (ÚEF) SAV v Košiciach – v experimente CERN-u (Jaroslav Antoš, Ivan Králik, Ladislav Šándor, Jozef Urbán). Išlo o experiment HELIOS-3 (NA34/3), ktorého vedúcim bol Georges London.
- zároveň pravdepodobne posledný experiment v CERN, na ktorom sa zúčastnila celá košická komunita (následné štiepenia: H1 HERA (1987) a WA94, WA97, NA57 na SPS; momentálne ATLAS a ALICE na LHC)



# Experiment HELIOS-3 (a.k.a. NA34/3)

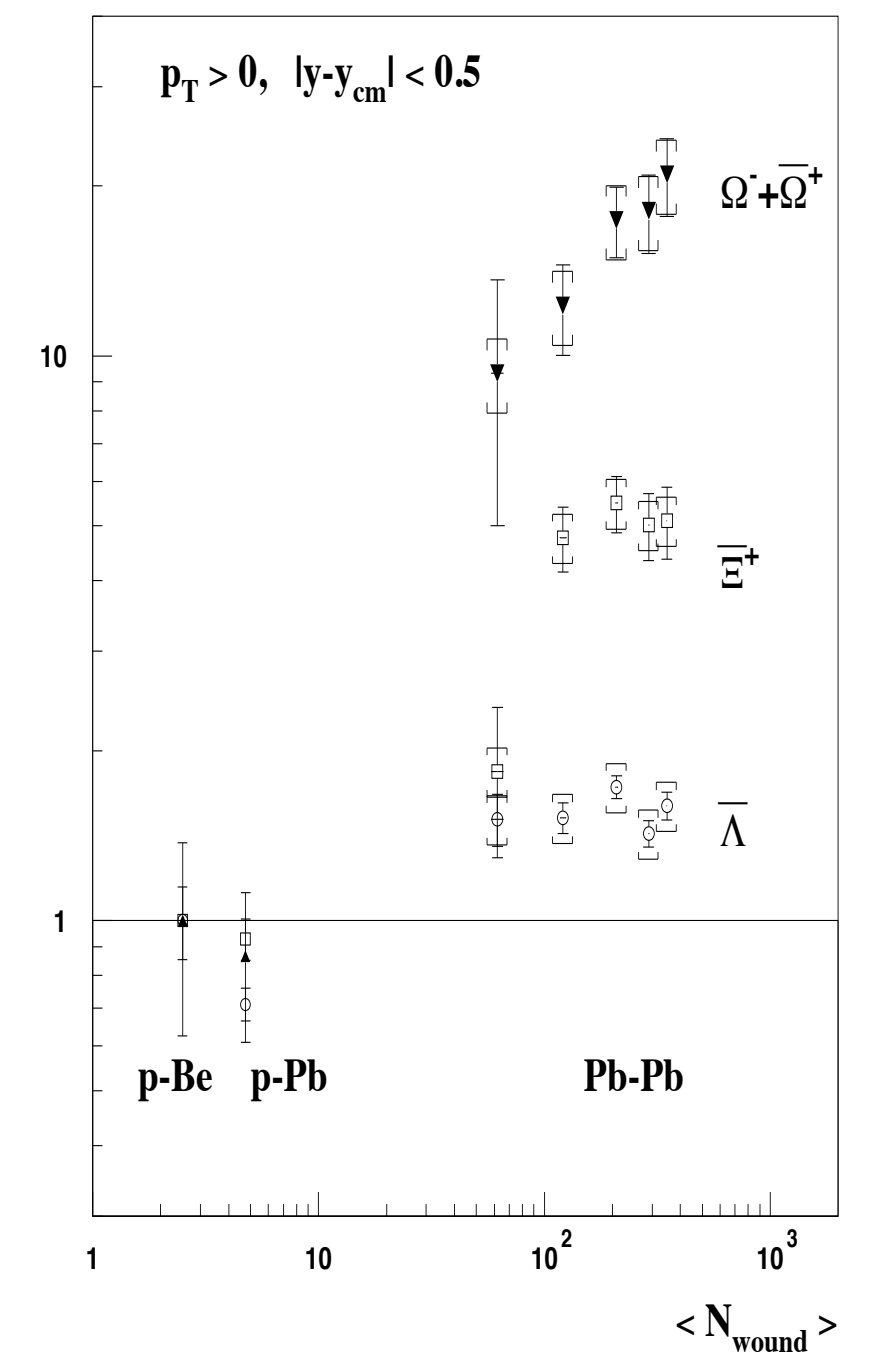
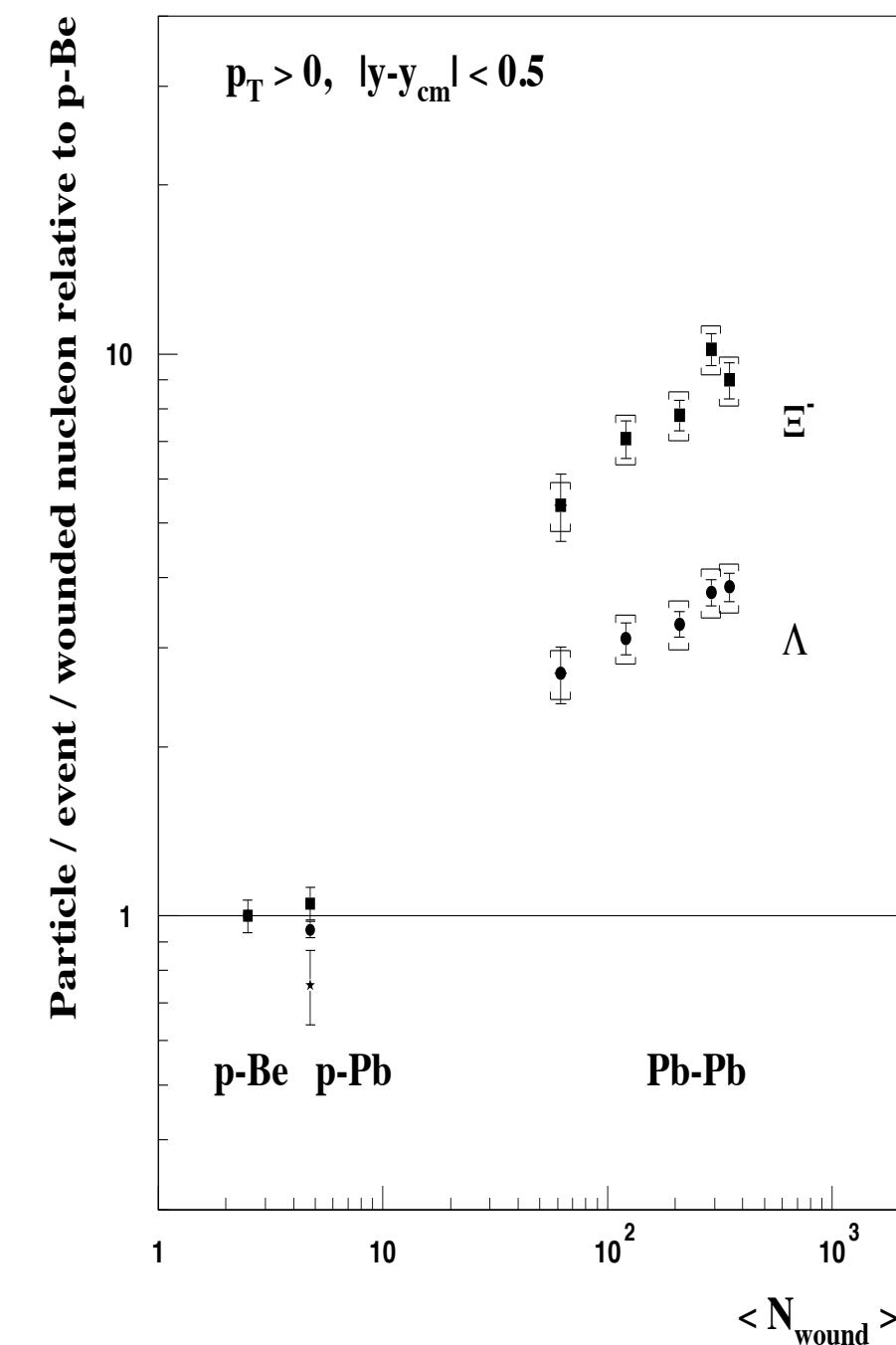
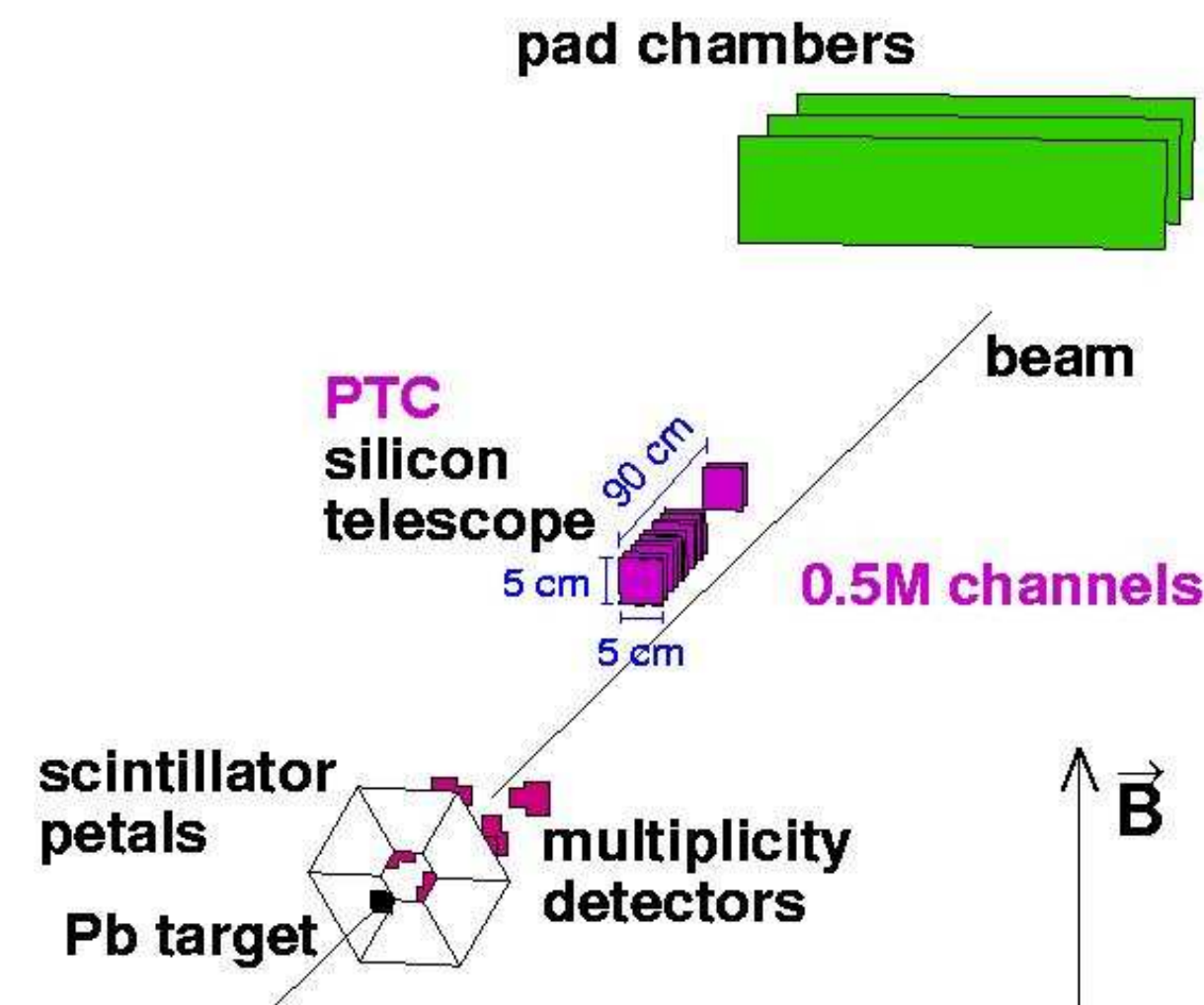
- významnú úlohu v metodickej i fyzikálnej analýze údajov v celej študovanej oblasti hmotností zohral Ivan Králik, ktorý v roku 1991 absolvoval ročný štipendijný pobyt v CERN-e
- hlavným výsledkom bolo zistenie, že v celom študovanom intervale hmotností dimiónov sa pozoruje v jadro- -jadrových zrážkach anomálna (zvýšená) produkcia dimiónov. Nasledujúce experimenty, najmä experimenty CERES (NA45) a NA38, tieto závery potvrdili





# WA94 a WA97

- Experimenty s Omega spektrometrom – WA94 (zrážky S-S) a WA97 (zrážky Pb-Pb)
- WA97 - Systém mnohovláknových proporcionálních komôr (pad chambers) slúžil na zabezpečenie presnejšieho merania hybnosti častíc s vysokou energiou. Košická skupina v experimente prijala zodpovednosť za vývoj a realizáciu riadiacej a kontrolnej elektroniky pre tieto komory (J. Bán, M. Lupták).





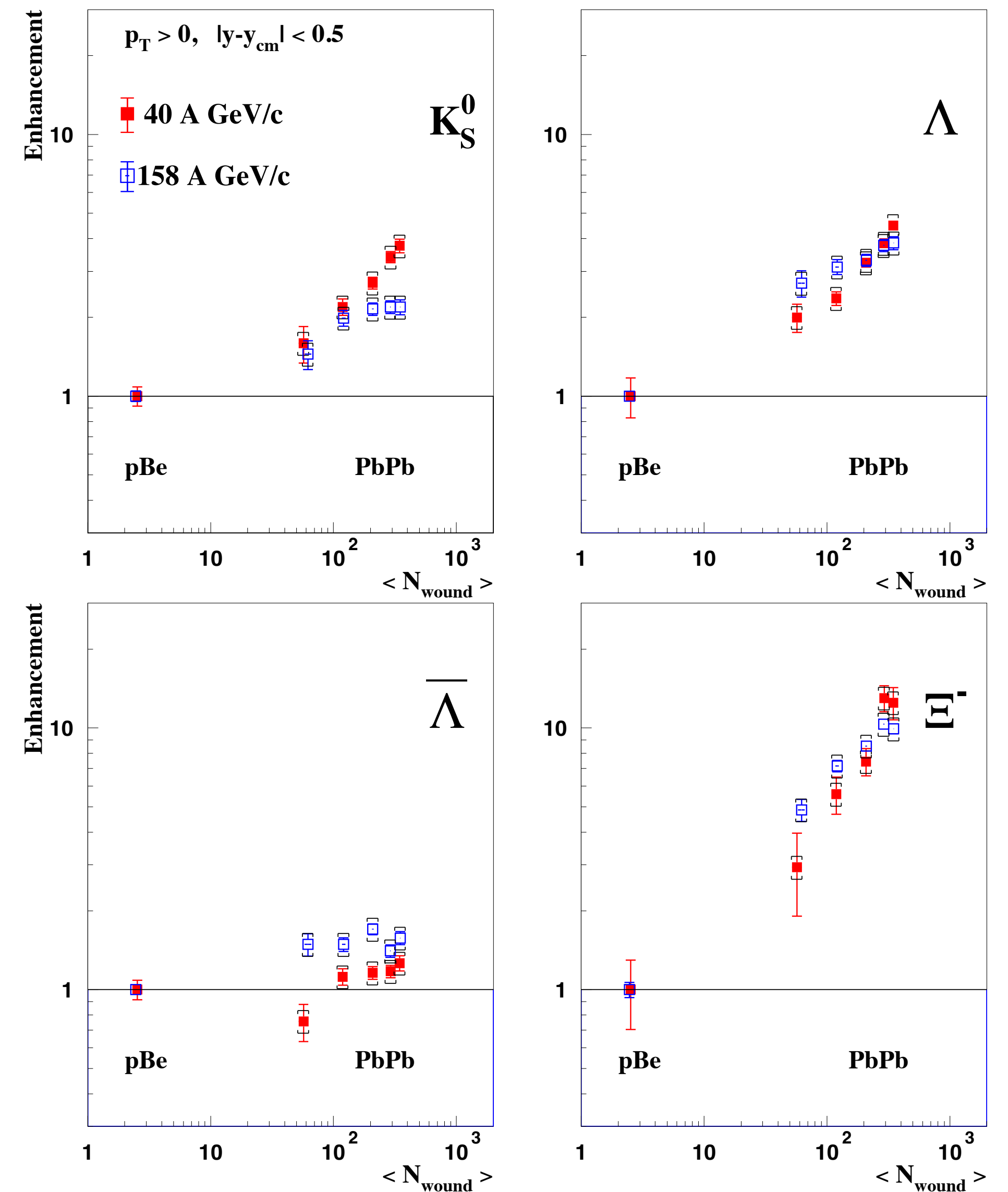




# NA57

- Na fyzikálnej analýze a interpretácii výsledkov aktívne participovali M. Bombara, A. Kravčáková, I. Králik, R. Lietava, K. Šafařík a L. Šándor

$$E_S = \left( \frac{1}{\langle N_{\text{part}} \rangle} \frac{dN(\text{Pb+Pb})}{dy} \Big|_{y=0} \right) / \left( \frac{1}{2} \frac{dN(\text{p+p(Be)})}{dy} \Big|_{y=0} \right)$$



*Strangeness enhancements at central rapidity in 40 A GeV/c Pb-Pb collisions / F. Antinori ... [et al.]. - NA57 Collaboration; In: Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics. - Vol. 37, no. 4 (2010), art.no. 045105.*



# NA57

- K vybudovaniu experimentu NA57 košická skupina prispela tiež softvérom na monitorovanie spúšťacieho systému – triggera (A. Jusko).
- Cena SAV za výsledky v experimentoch WA97 a NA57 v júni 2002 (presnejšie: Ceny SAV v oblasti medzinárodnej spolupráce kolektívu pracovníkov ÚEF SAV, PF UPJŠ a FMFI UK v zložení: L. Šándor, A. Jusko, I. Králik, K. Šafařík (ÚEF SAV), J. Urbán (PF UPJŠ) a R. Lietava (FMFI UK))

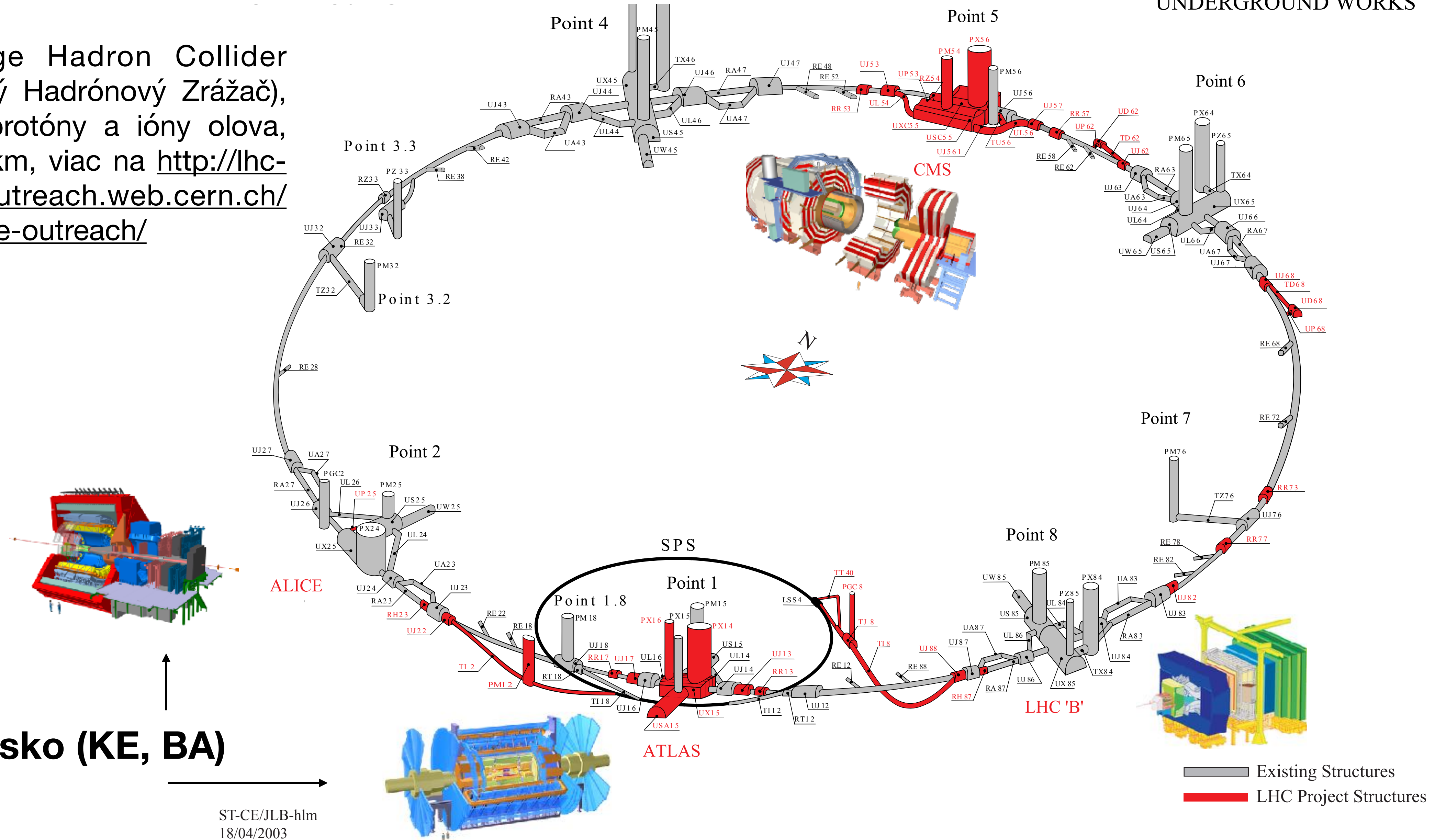




# Large Hadron Collider v CERN

UNDERGROUND WORKS

LHC (Large Hadron Collider alebo Veľký Hadrónový Zrážač), urýchľuje protóny a ióny olova, obvod 27 km, viac na <http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/>

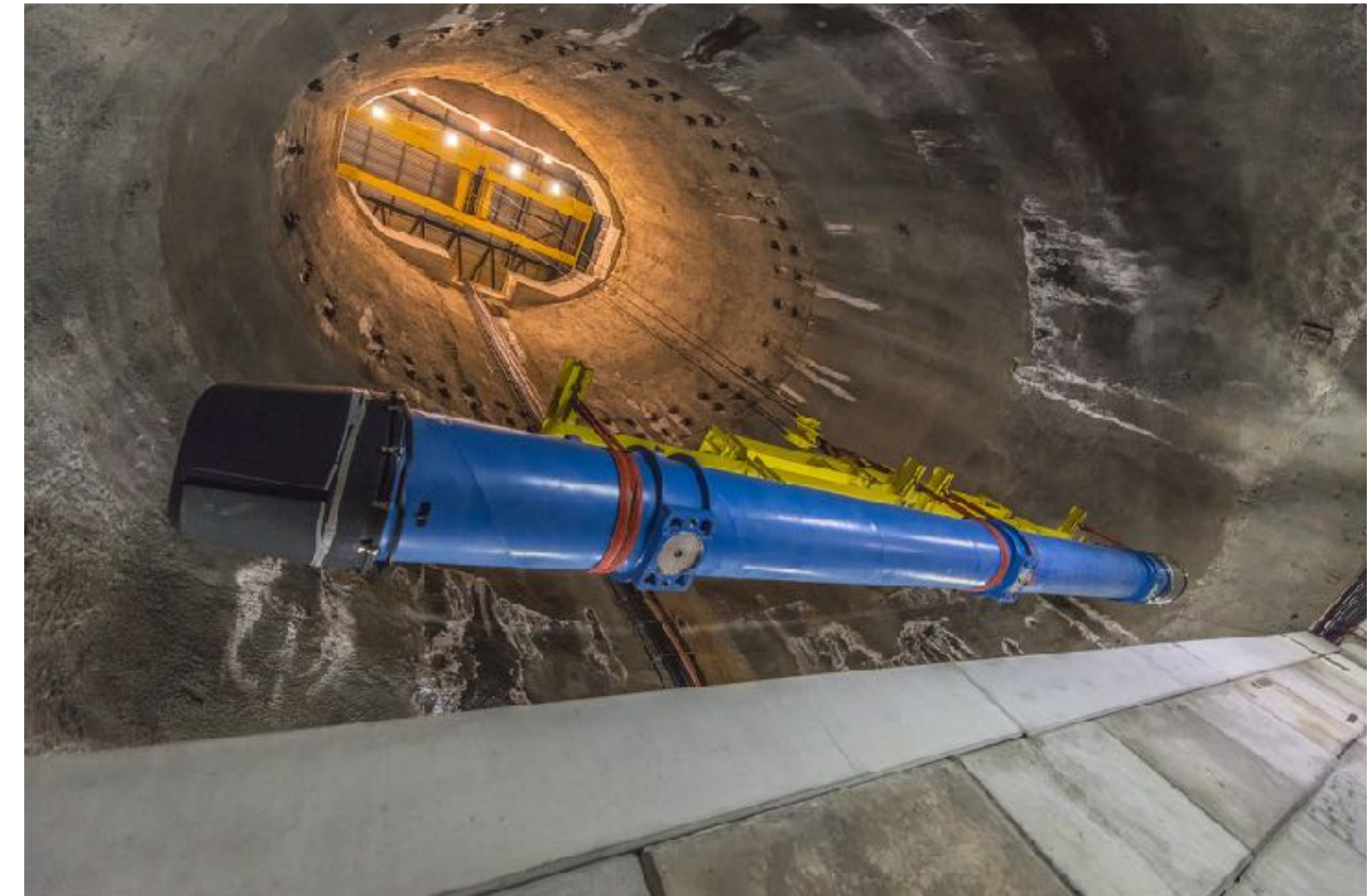
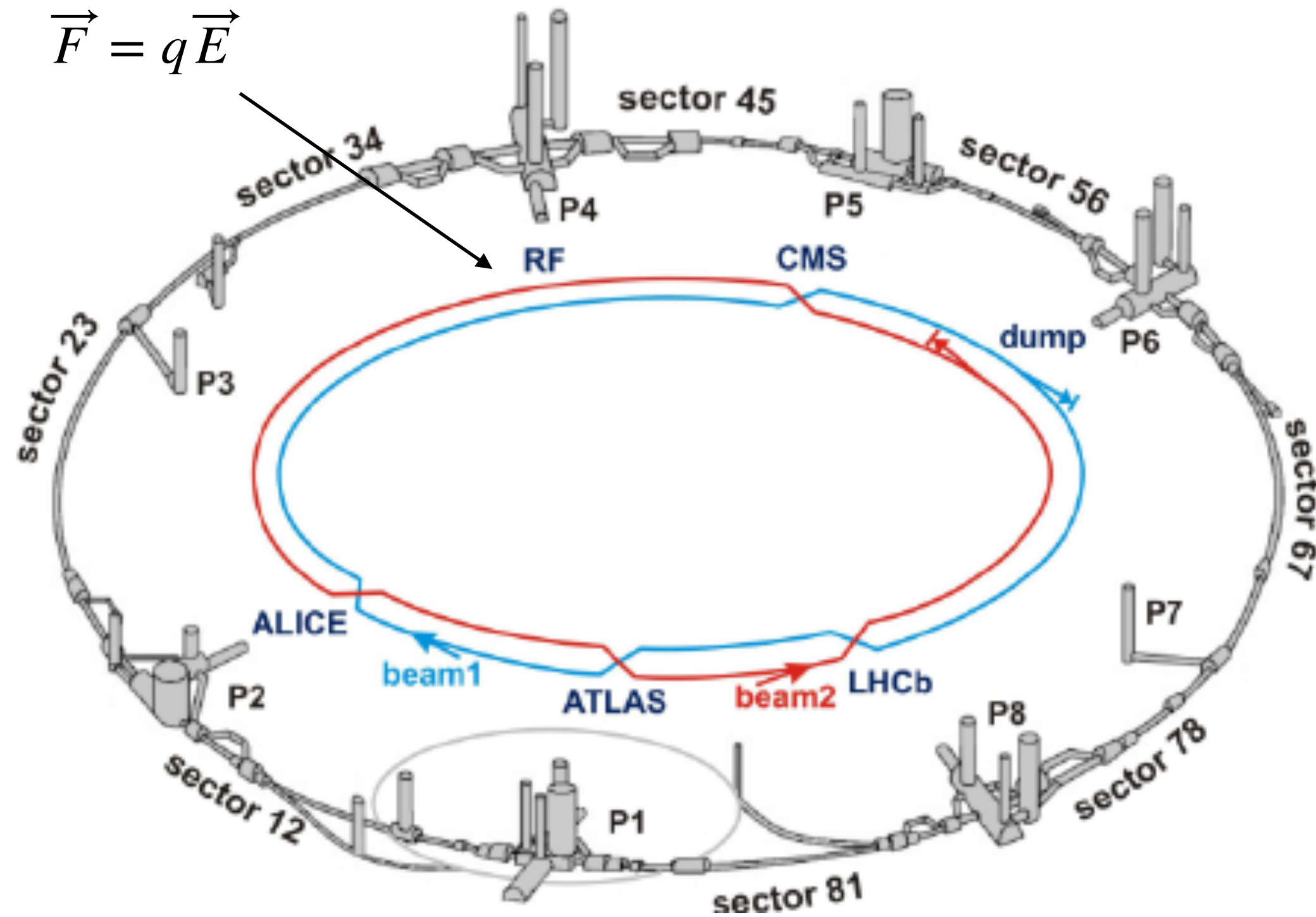


Slovensko (KE, BA)

ST-CE/JLB-hlm  
18/04/2003

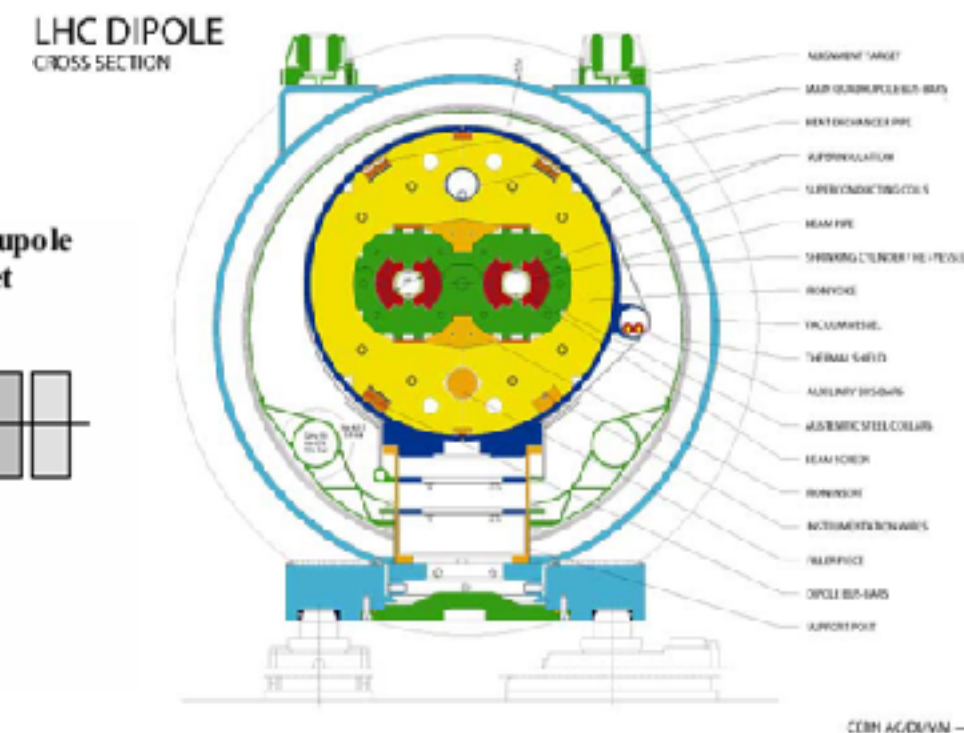
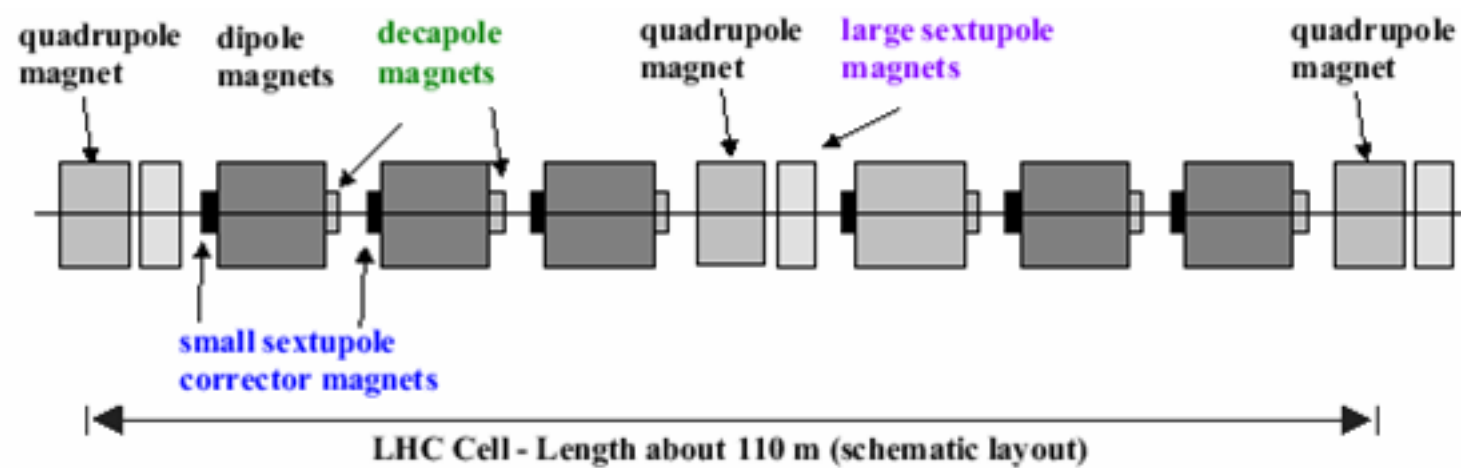


# Large Hadron Collider v CERN



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

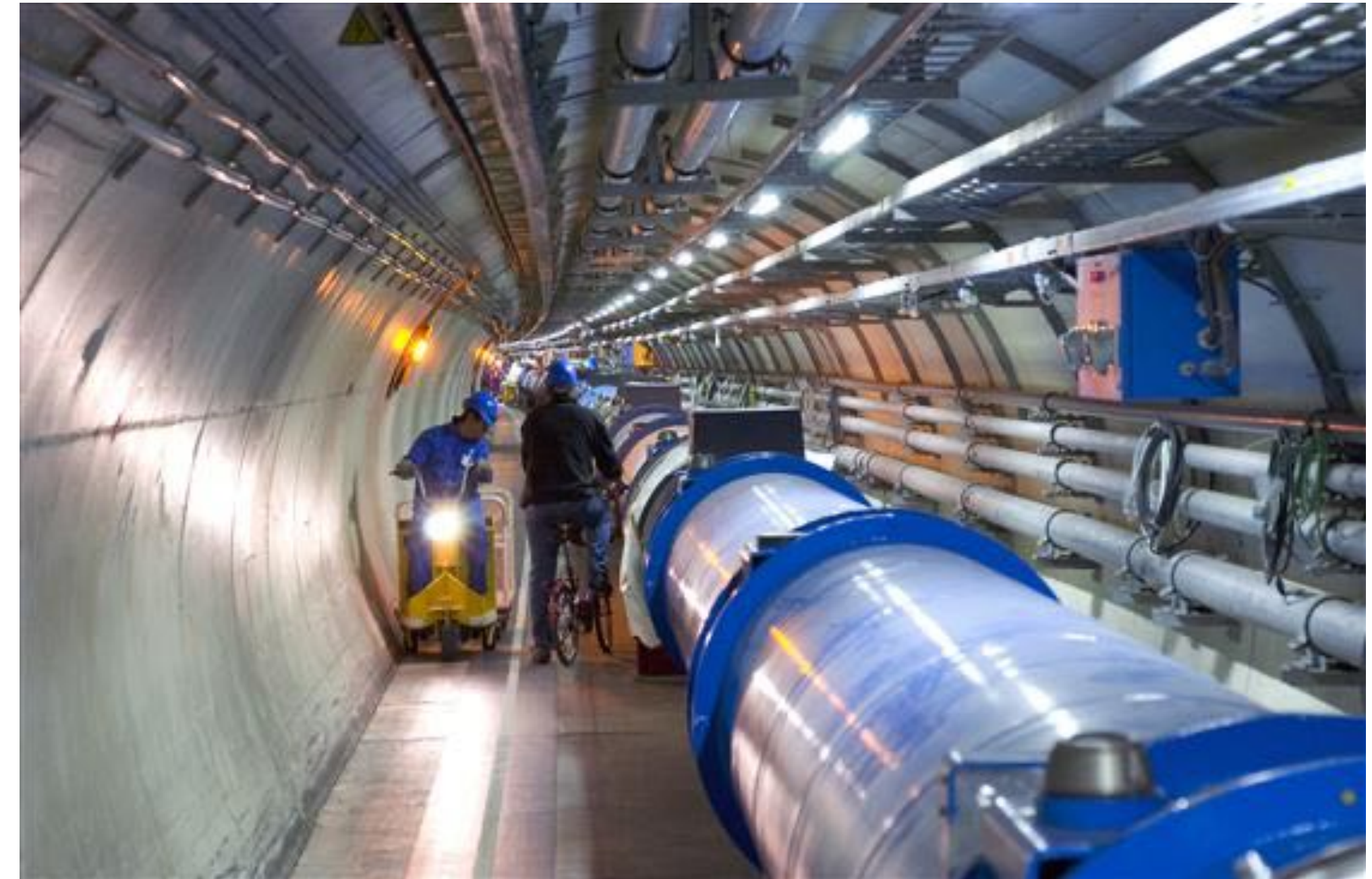
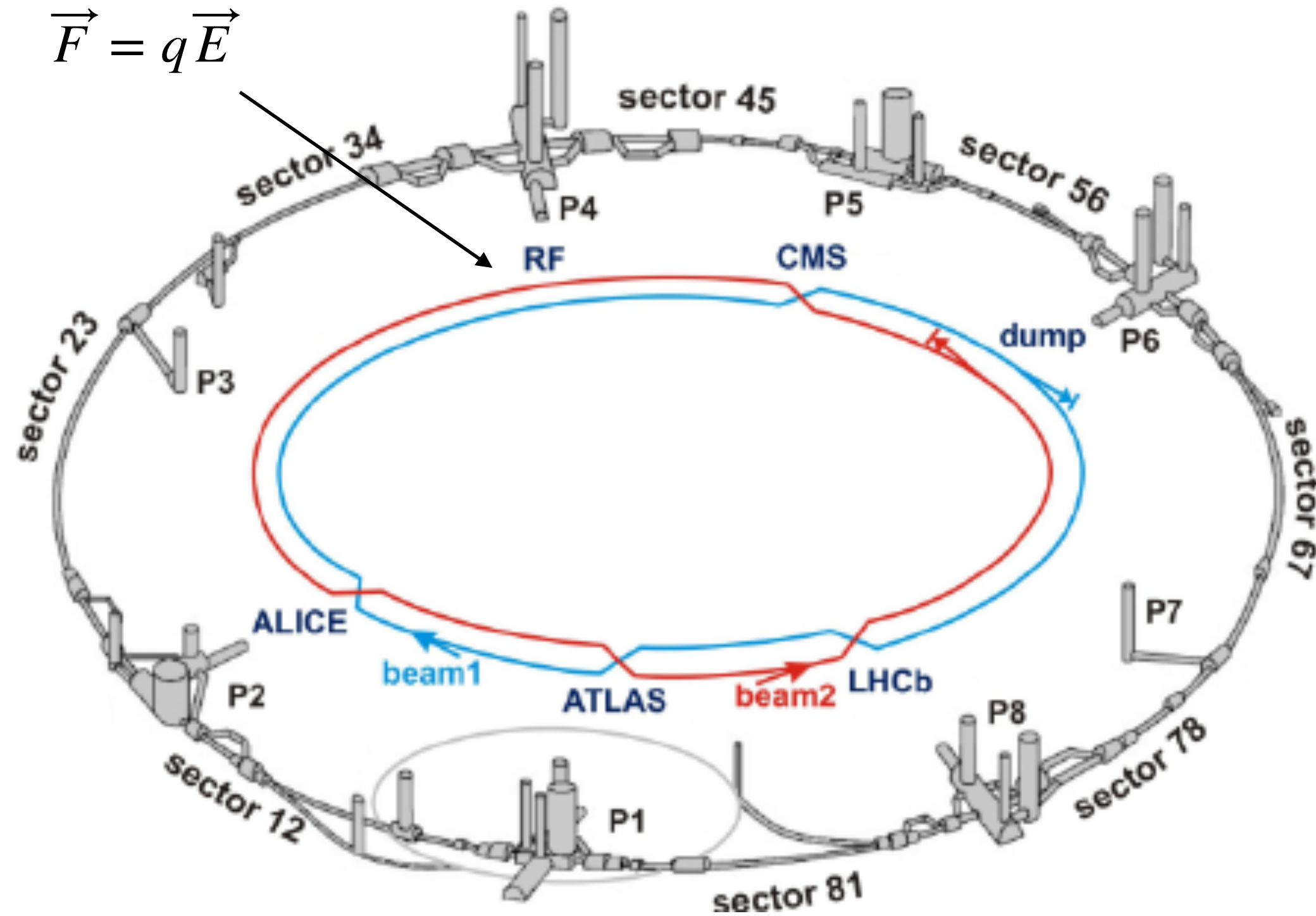
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



- k "nakopnutiu" protónov dochádza na veľmi krátkom úseku
- zvyšok obehu - udržanie zväzku, aby sa nerozletel (kvadrupólové magnety) a neodletel (dipólové magnety)..

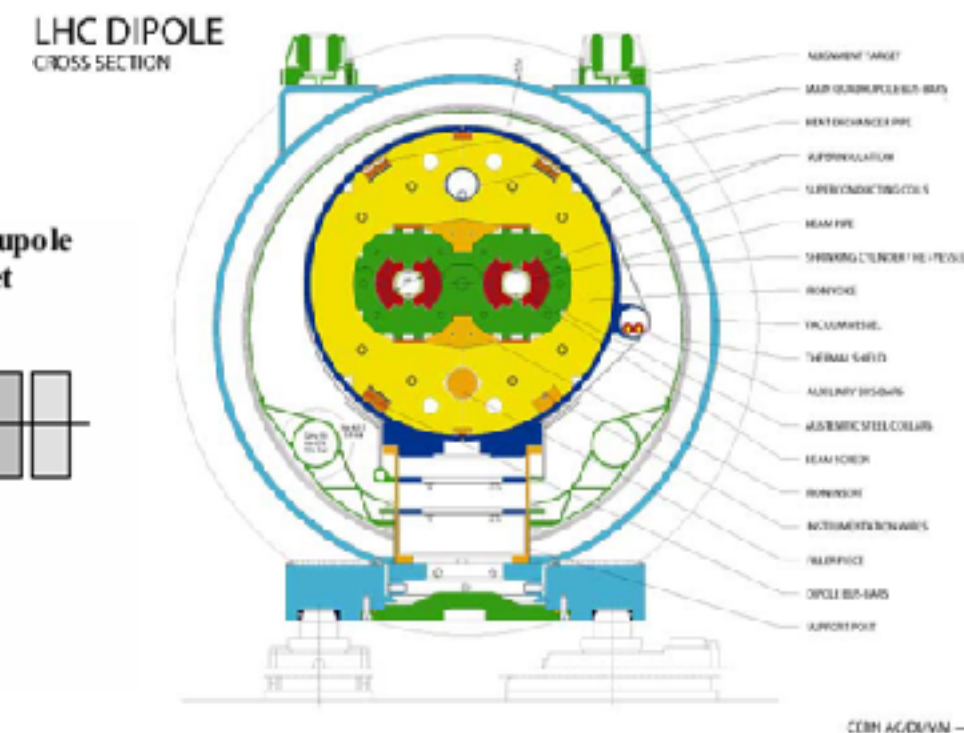
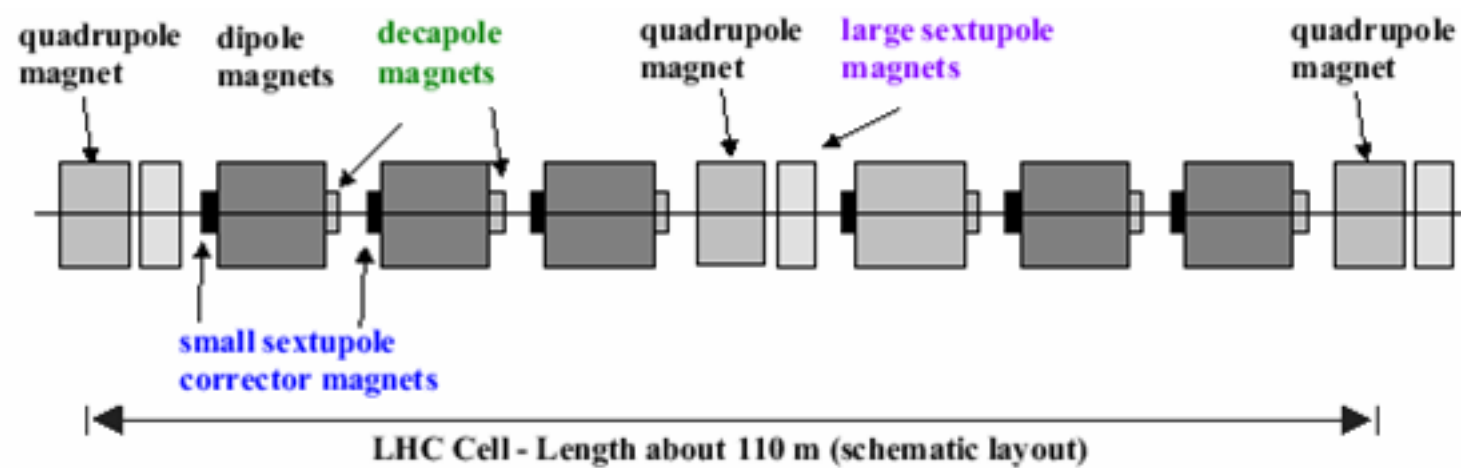


# Large Hadron Collider v CERN



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



- k "nakopnutiu" protónov dochádza na veľmi krátkom úseku
- zvyšok obehu - udržanie zväzku, aby sa nerozletel (kvadrupólové magnety) a neodletel (dipólové magnety)..



# Príspevok ZŤS VVÚ Košice do budovania LHC

- špeciálne robotické súpravy pre polohovanie magnetov (16 m, 34 ton) s presnosťou stoviek mikrometrov
- v medzinárodnom tendri na dodávku zariadenia porazili 87 firiem z celej Európy (bez lobingu!)
- víťaz ceny Golden Hadron 2005

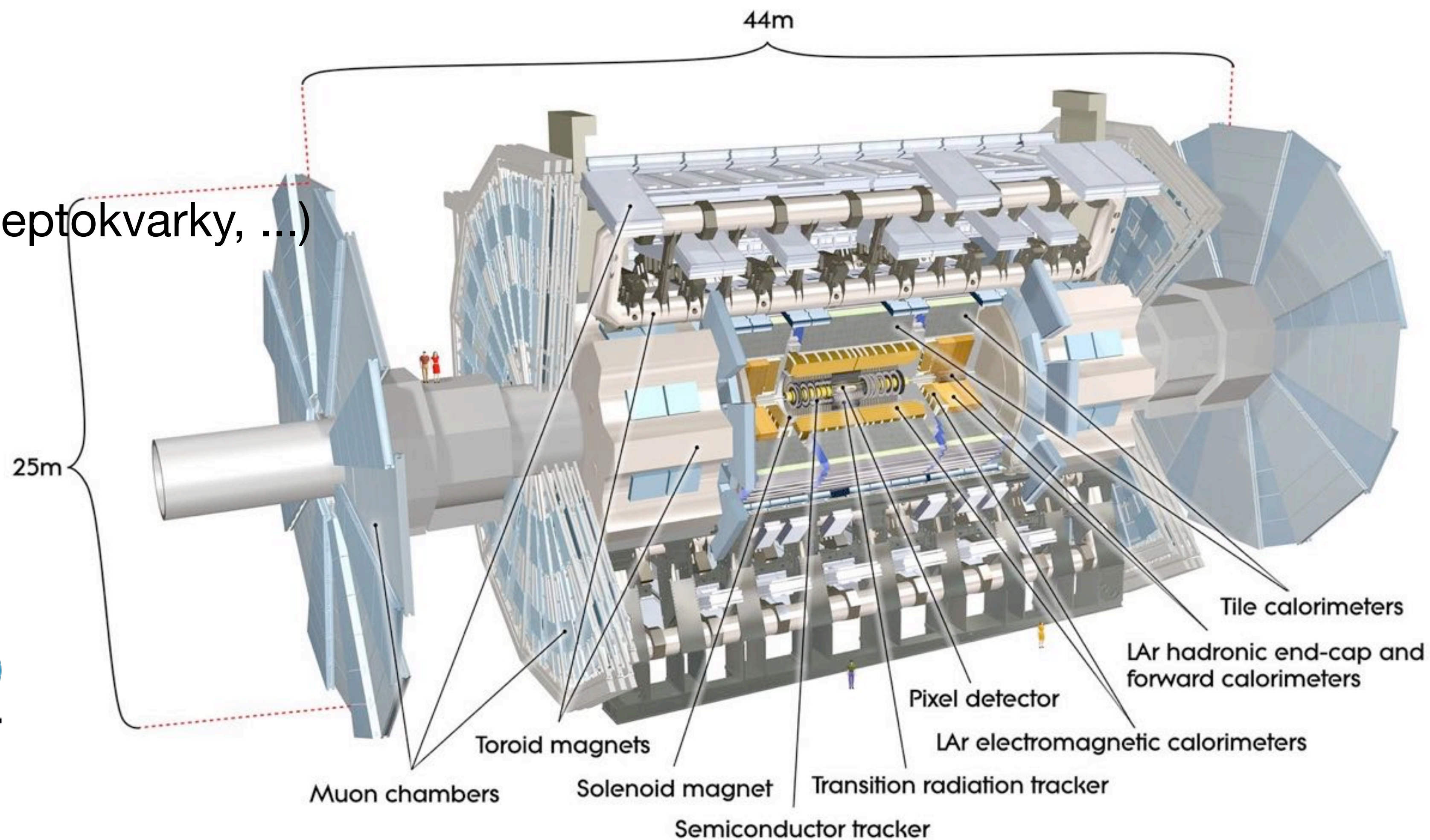




# Experiment ATLAS

Fyzikálny program experimentu ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS):

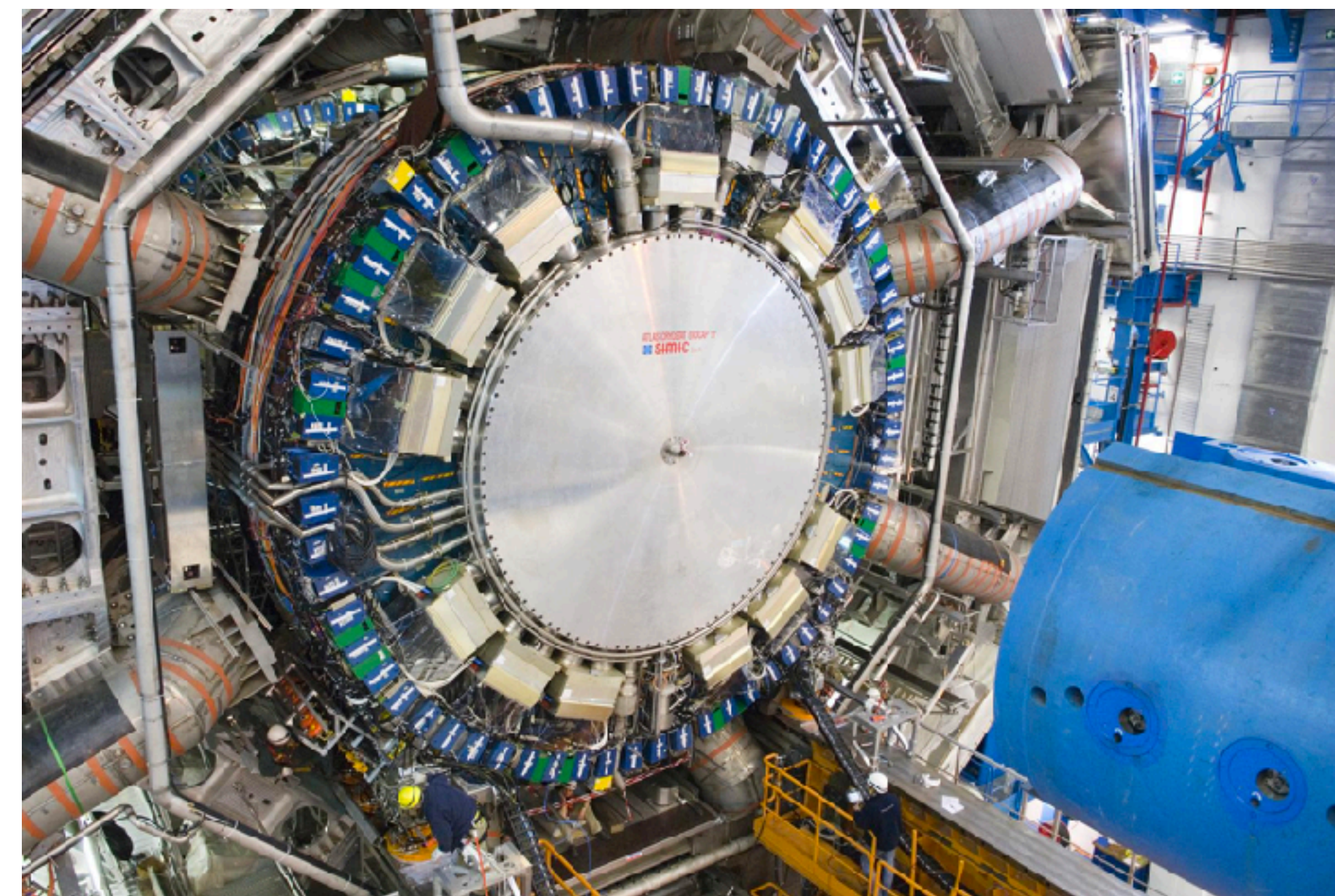
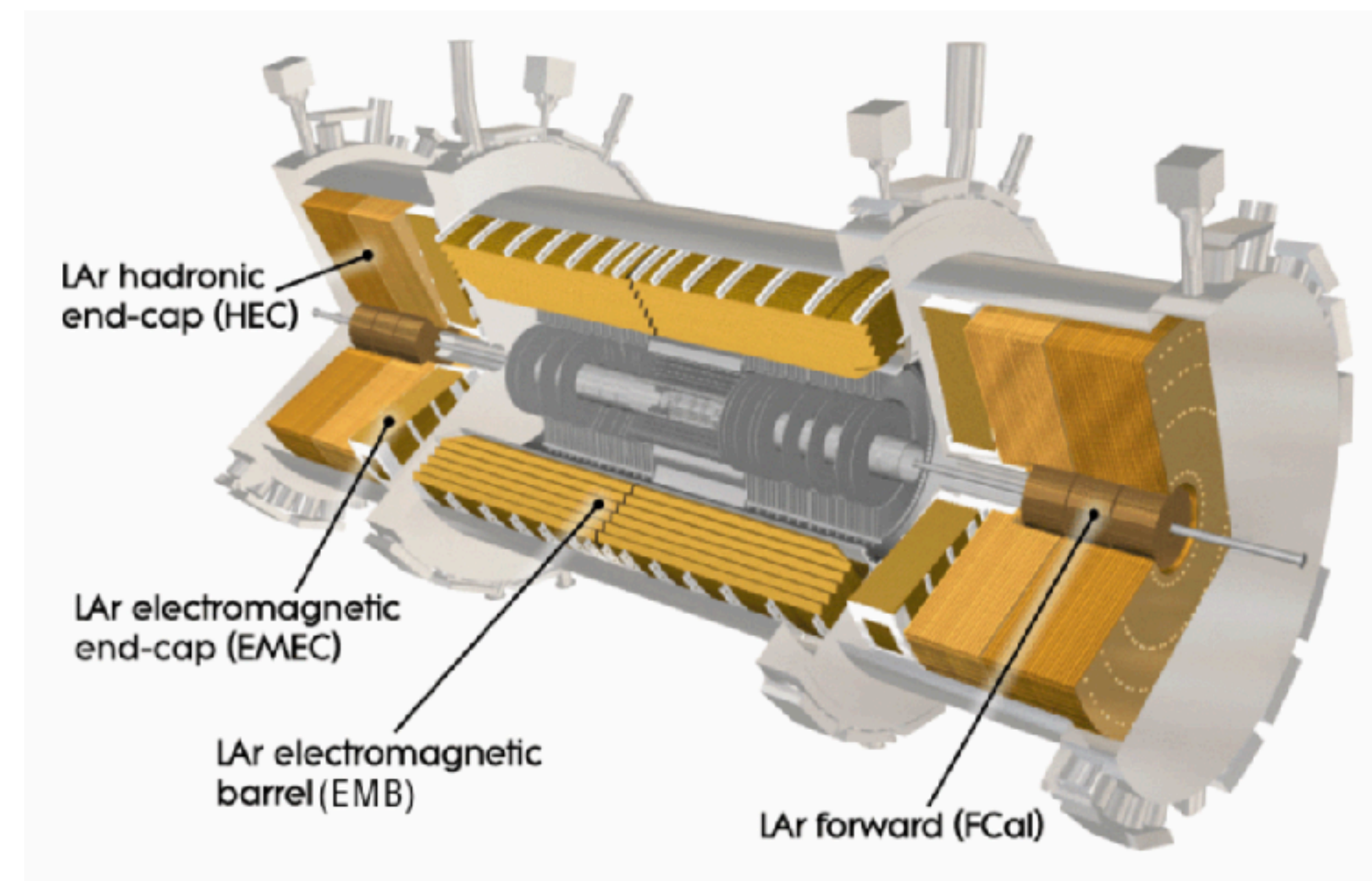
- \* Štandardný model
- \* Higgsov bozón
- \* Supersymetria
- \* Exotika (extra dimenzie, leptokvarky, ...)
- \* Ťažké ióny





# Experiment ATLAS

- ÚEF SAV - zakladajúci člen (spolu s FMFI UK) od 1994, využité skúsenosti z kalorimetrie v H1 (DESY, Hamburg)
- návrh, vývoj, realizácia, testy a následne údržba on-line (elektronickej) kalibrácie HEC detektora (J. Bán, P. Stríženec, E. Kladiva, D. Bruncko).
- signálne a vysokonapäťové (HV) elektródy pre tento kalorimeter (E. Kladiva)
- zaviedenie metodiky on-line kalibračnej procedúry
- „filter box“ elektronika, ktorá slúži ako rozhranie medzi chladnou a teplou elektronikou, teda medzi prostredím v podmienkach kvapalného argónu a izbovej teploty (E. Kladiva).





# Experiment ATLAS

- magnetická ochrana LAr kalorimetra. V úzkej spolupráci s Laboratóriami Nevis, Kolumbijská Univerzita, USA, významne prispel aj v elektronike pre celkovú kalorimetriu ATLAS – išlo o vývoj, testy a následnú realizáciu takzvaných vyčítacích dosiek (J. Bán).
- lokálna hadrónová kalibrácia kalorimetrov, hlavne kalorimetra HEC (P. Stríženec, P. Šťavina, M. Pécsy).
- členstvo v LAr Steering Group, LAr Management Group a LAr Speaker Committee (P. Stríženec)
- fyzikálna analýza sa zameriava hlavne na štúdium vlastností top kvarkov v dileptónovom kanáli v pp zrážkach pri 7 a 8 TeV, a to zvlášť na analýzu nábojovej asymetrie a na produkčný mechanizmus v tomto kanáli (J. Antoš, P. Stríženec, J. Urbán, D. Bruncko).

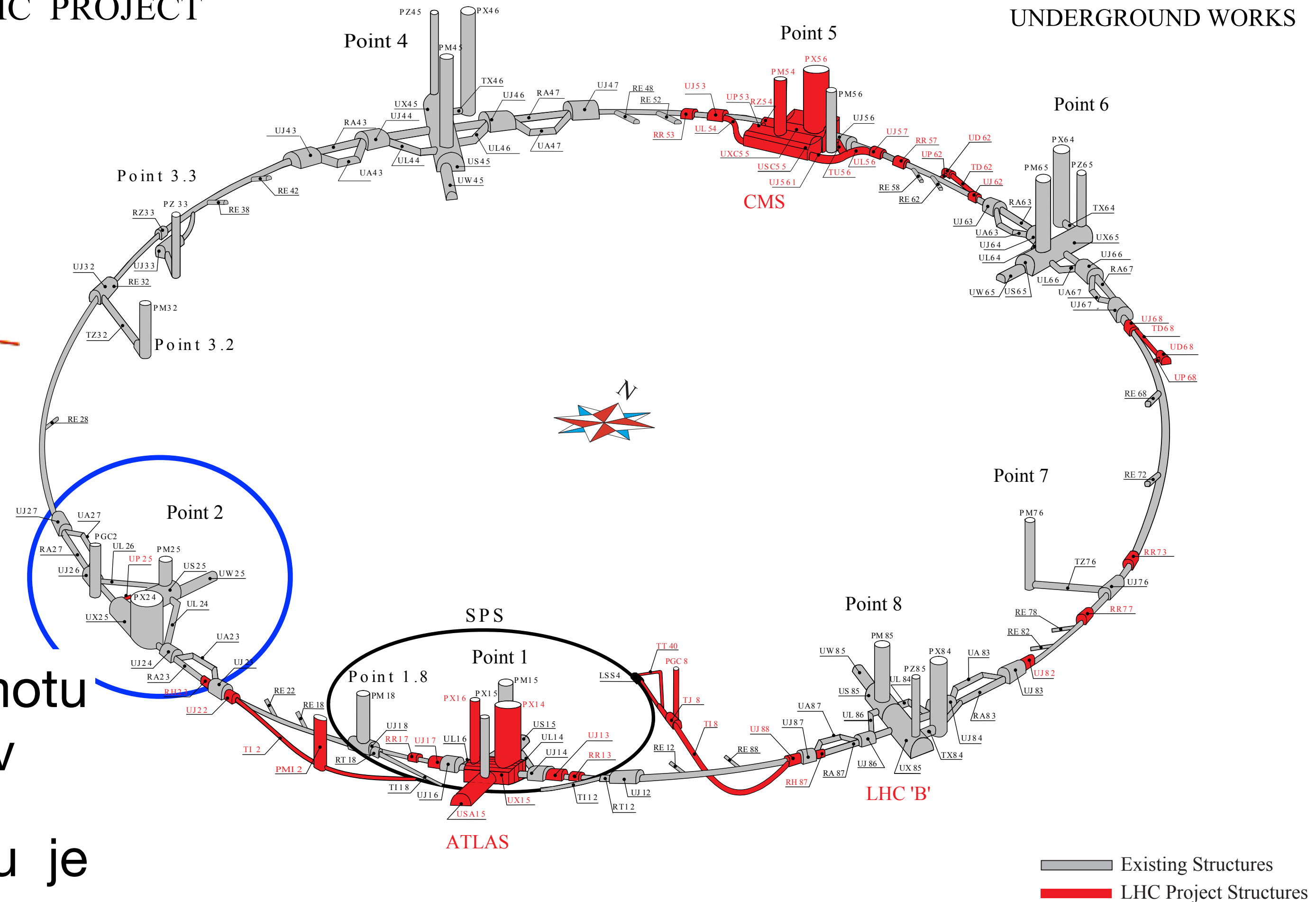
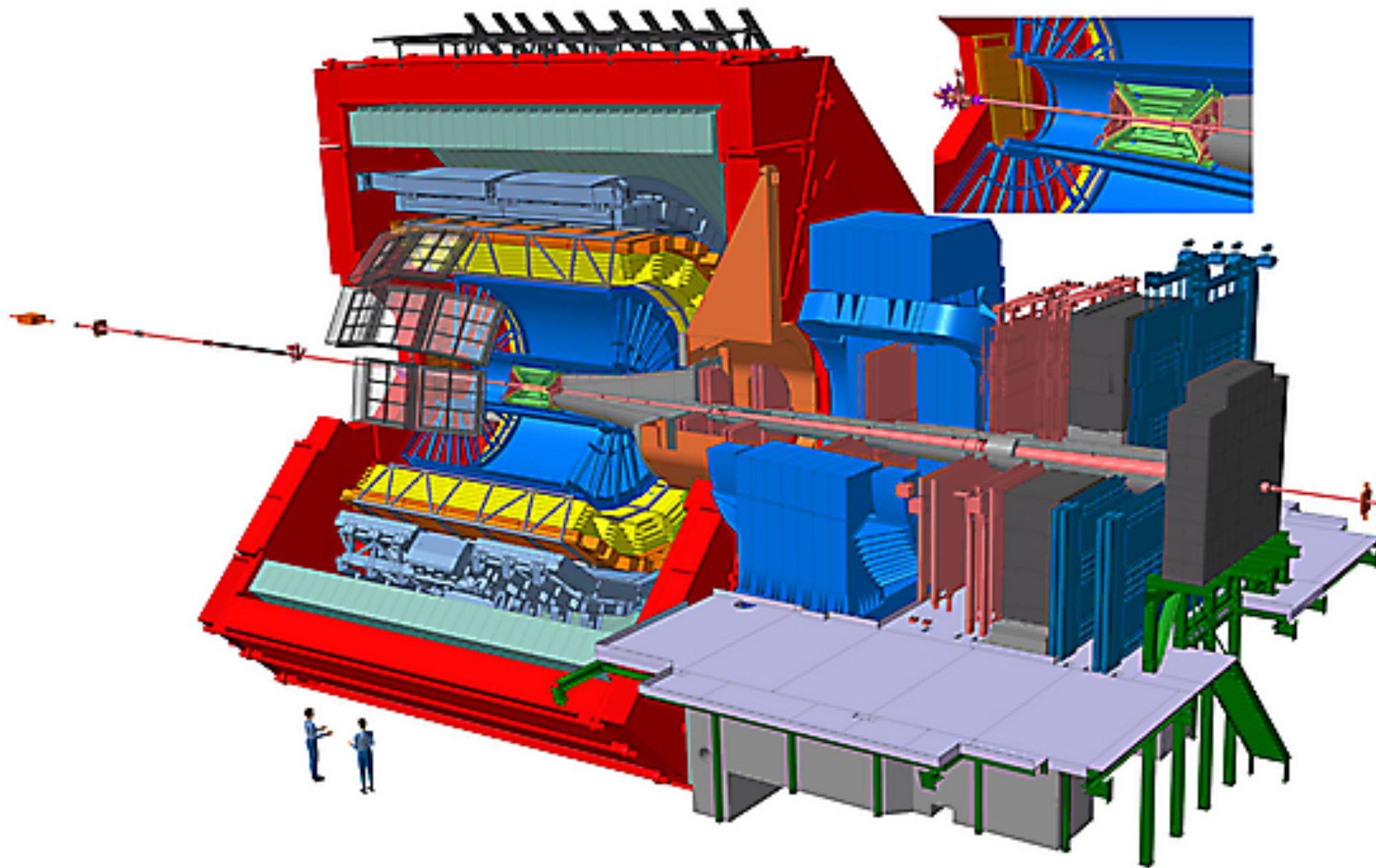


# Experiment ALICE (A Large Ion Collider Experiment)

## na LHC

LHC PROJECT

UNDERGROUND WORKS



- študuje horúcu a hustú jadrovú hmotu produkovanú v zrážkach ťažkých iónov
- významná časť fyzikálneho programu je štúdium pp a p-Pb zrážok







# Prečo študujeme zrážky ťažkých iónov?

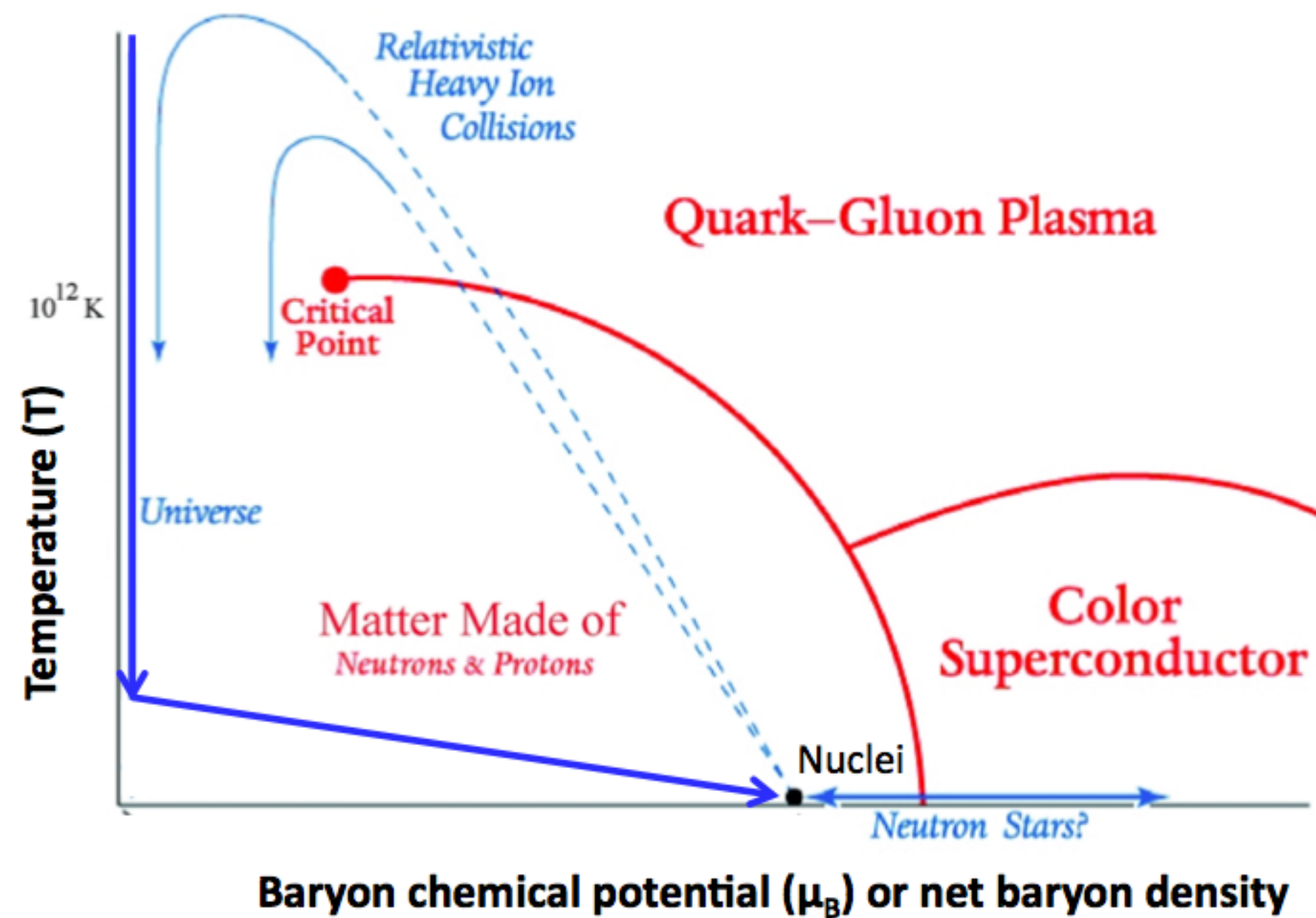
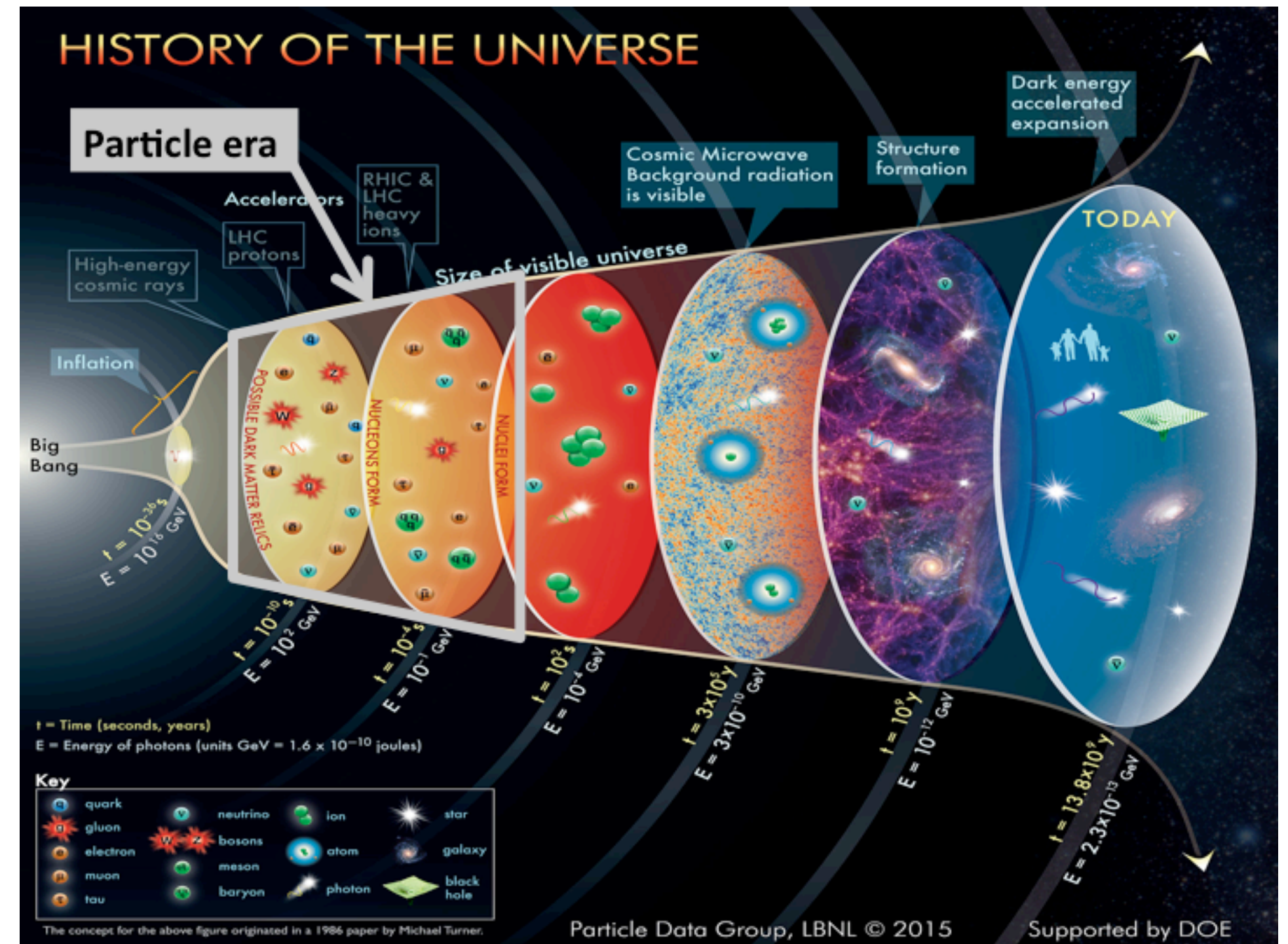


Fig: <http://inspirehep.net/record/1397855/plots>

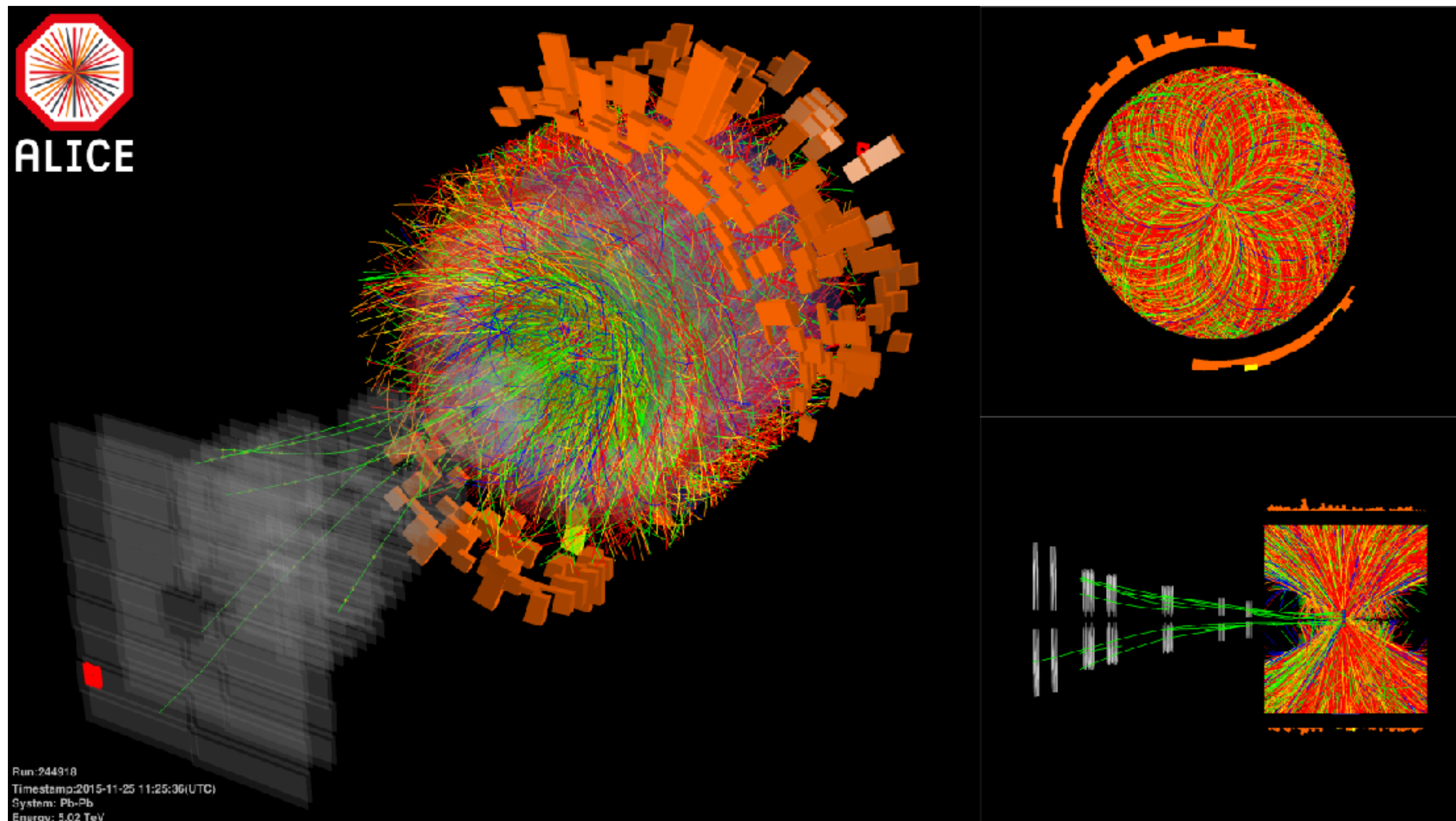
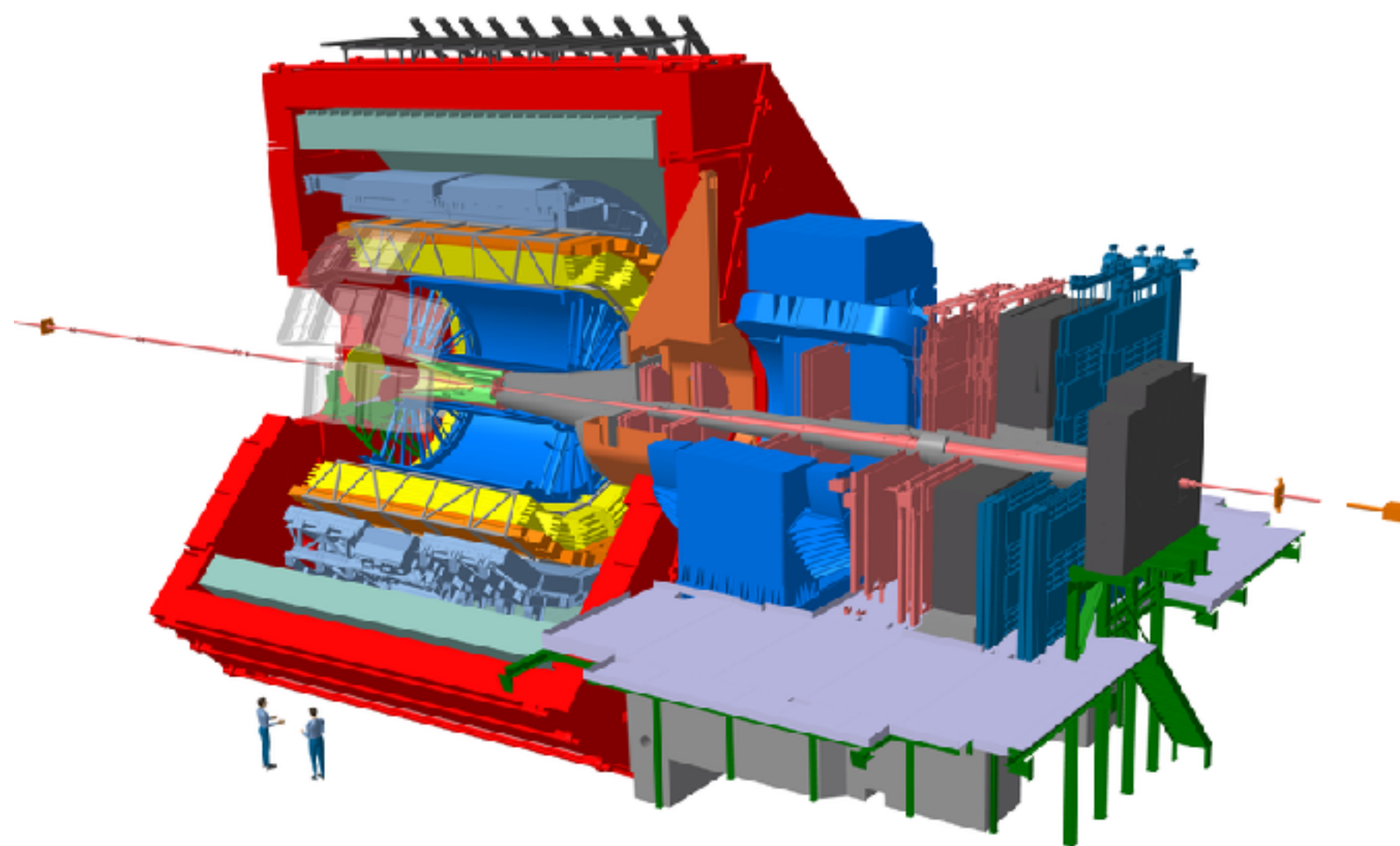


- aby sme porozumeli fázovému diagramu QCD

- jedinečná príležitosť na štúdium podmienok Veľkého tresku v laboratóriu



# ALICE - officially amazing



OFFICIALLY  AMAZING

EXPLORE RECORDS

SET A RECORD

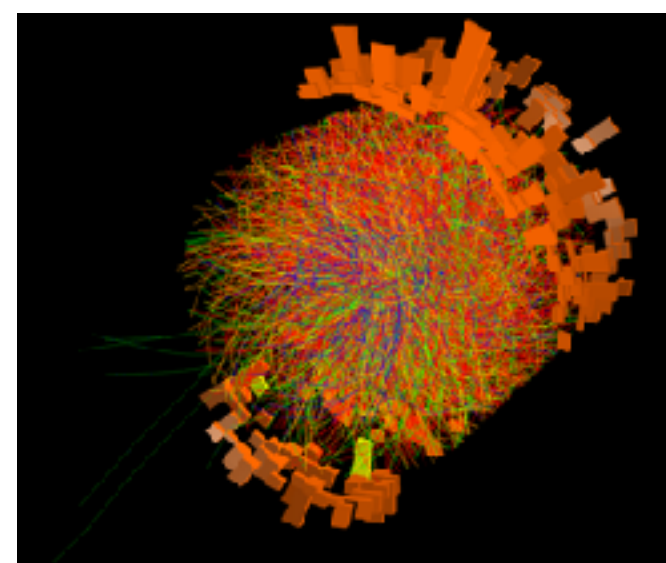
**Highest man-made temperature**

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.

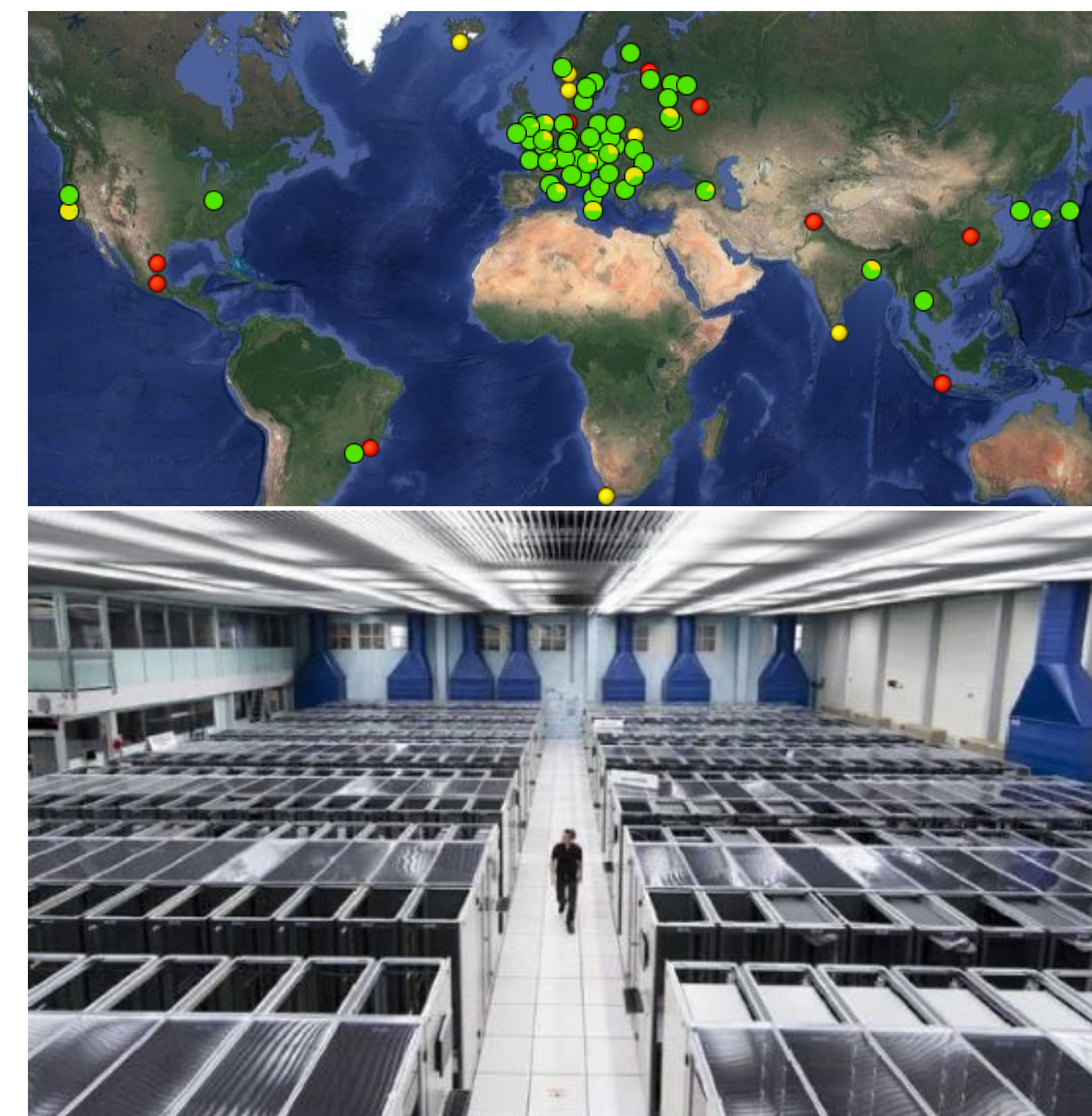


# ALICE - n(i)e obyčajný fyzikálny experiment

$\Sigma$



$= \sim 10^9 \rightarrow$



- miliardy zrekonštruovaných zrážok (pp, Pb-Pb,...) pri rôznych energiách
- bilióny častíc na spracovanie
- enormné a špecifické požiadavky na hardvér a softvér

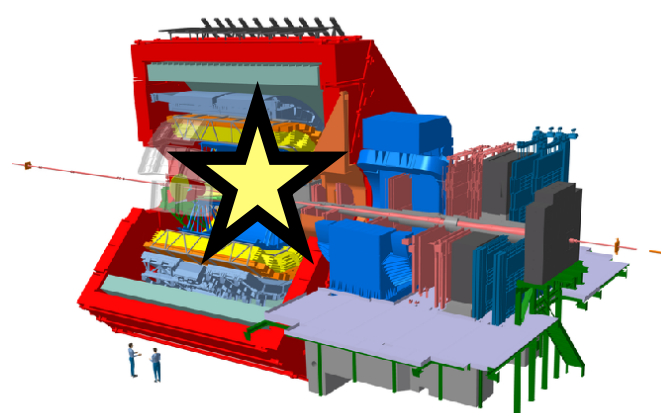


# Dátový tok experimentu ALICE Data v Run 1 (2009-2013), Run 2 (2015-2018) a čiastočne v Run3 (2022-2025)

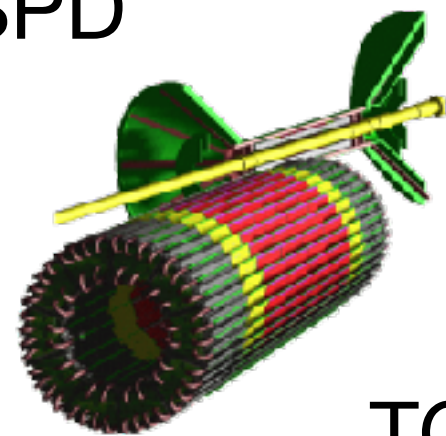
Triggering detectors

Detector readout, Detector Control System (DCS)

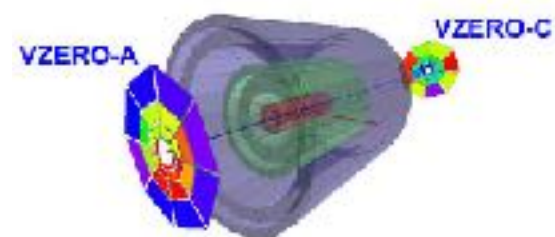
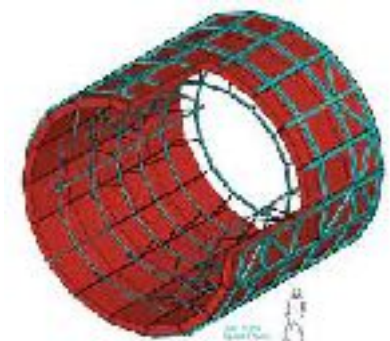
Zrážka na LHC



SPD



TOF

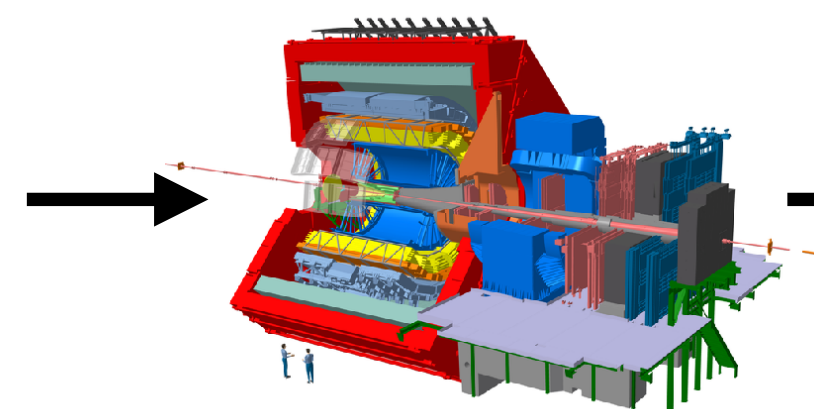


V0

CTP  
(Central Trigger Processor)



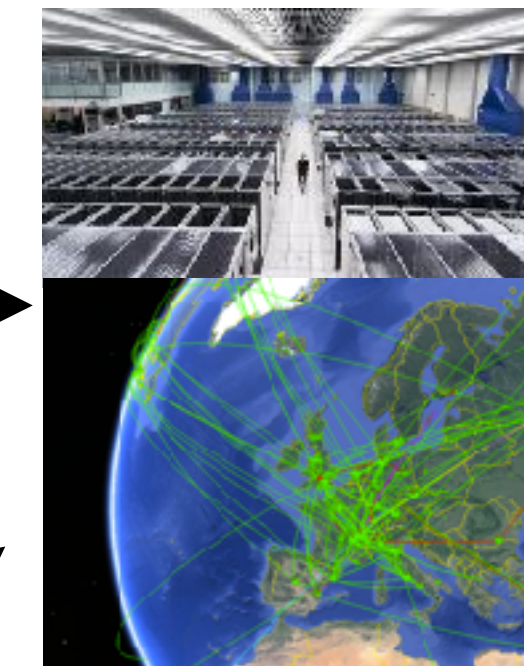
Kľúčové detektory:  
SPD and TPC



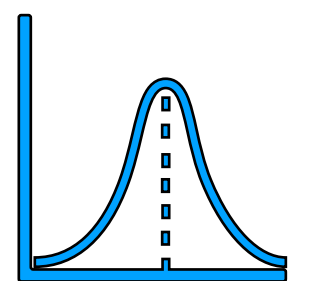
DAQ/HLT  
Event Builder



GRID



Data analysis



Rekonštrukcia a "objektívizácia" dát

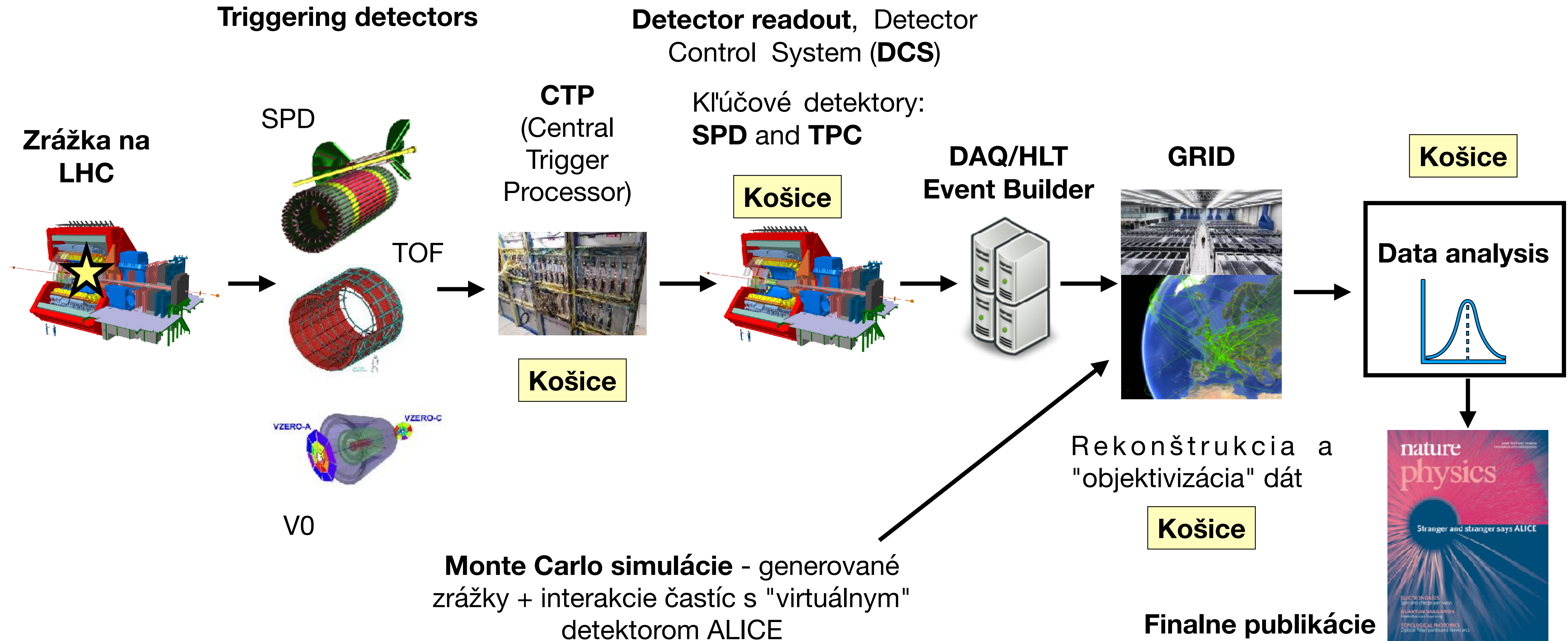
Monte Carlo simulácie - generované zrážky + interakcie častíc s "virtuálnym" detektorom ALICE

Finalne publikácie

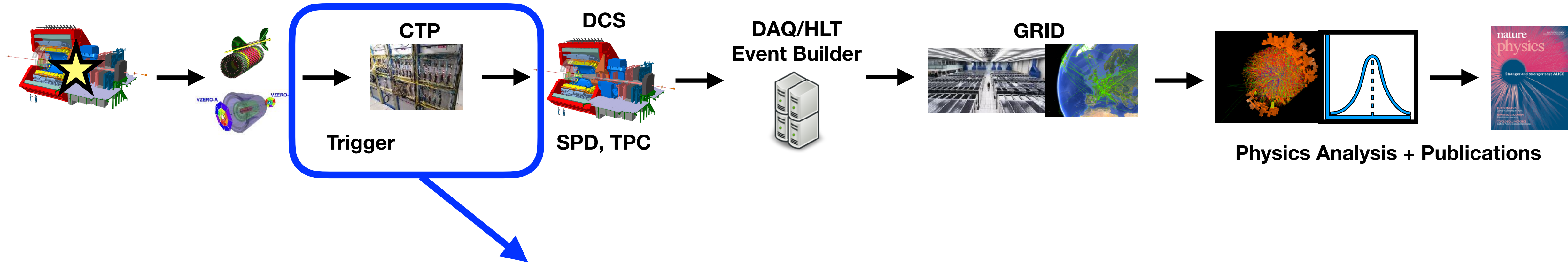




# Dátový tok experimentu ALICE Data v Run 1 (2009-2013), Run 2 (2015-2018) a čiastočne v Run3 (2022-2025)

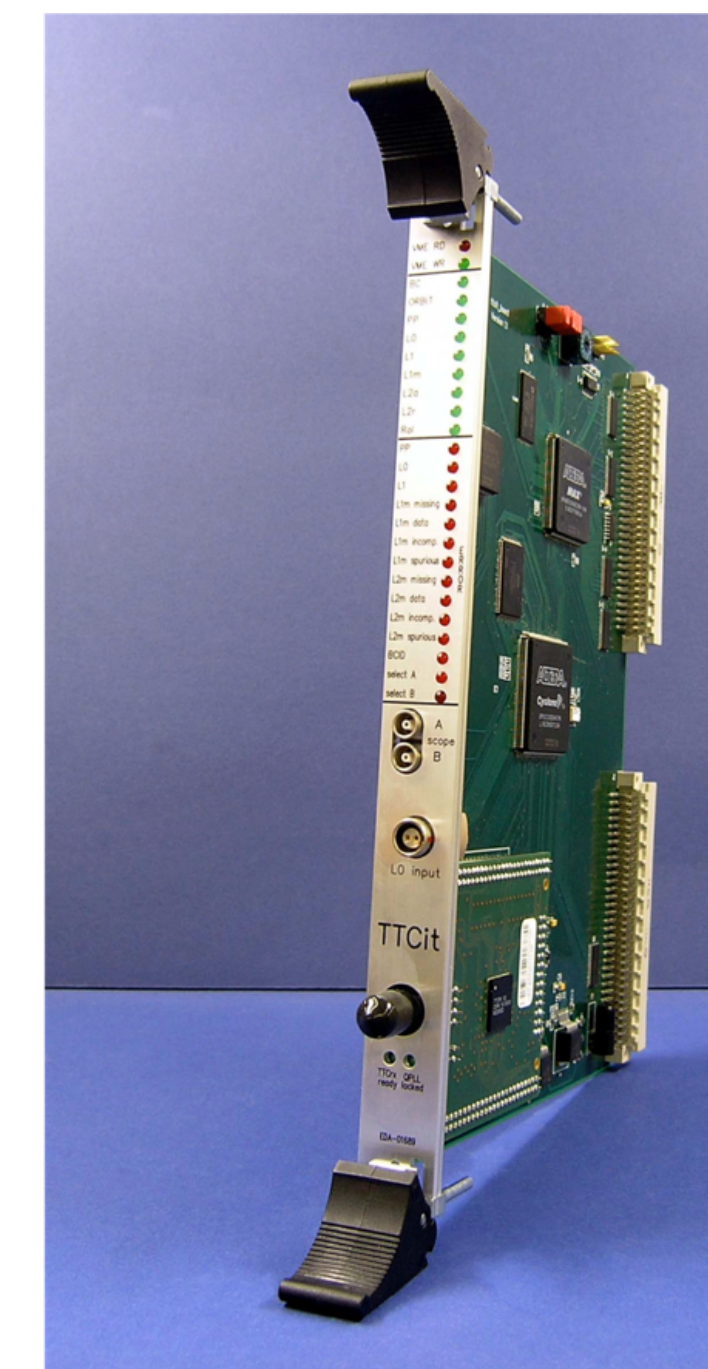






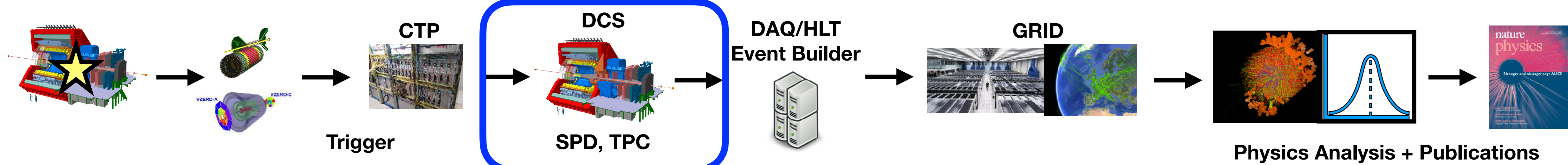
## Košický príspevok k **Trigger** systému:

- veľmi úzka spolupráca s University of Birmingham (UoB)
- Trigger Timing a Control interface test (TTCit) board pre Run 1 (IEP SAS)
- vývoj, produkcia a testovanie mezzanine FMC-CTP card pre Run 3 a debuggovanie novej L0 dosky (IEP SAS)
- on-line meranie luminozity v ALICE interakčnom bode (s použitím trigger dát) v Run 1, Run 2 a Run 3 (I. Králik)
- implementácia trigger softvéru do analyzačného frameworku ALICE pre Run 2 (R. Lietava, M. Bombara)
- monitorovanie (kontrola kvality) trigger systému pre Run 2 (M. Bombara) a Run 3 (M. Val'a, L. A. Tarasovičová)

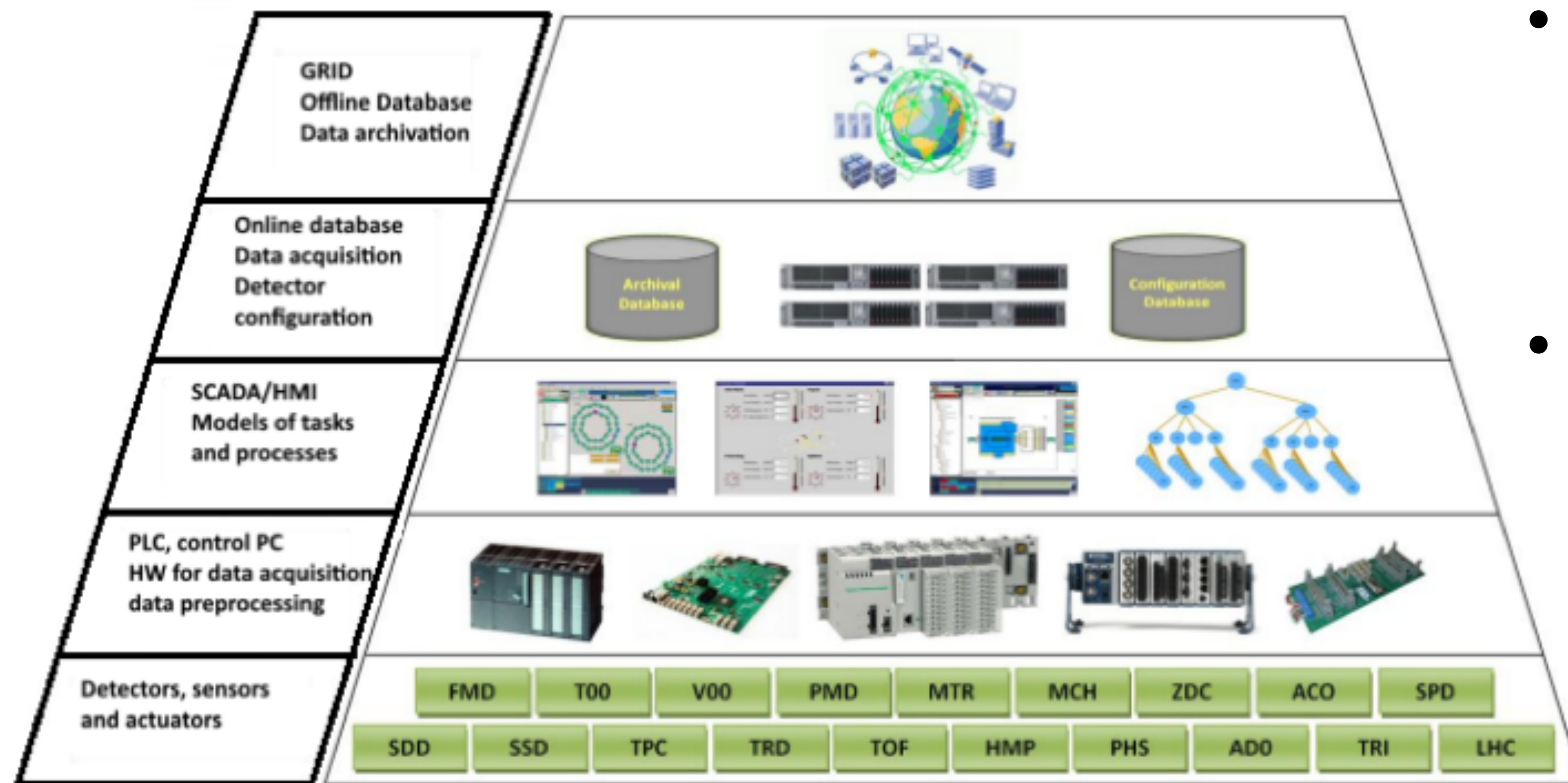


TTCit board



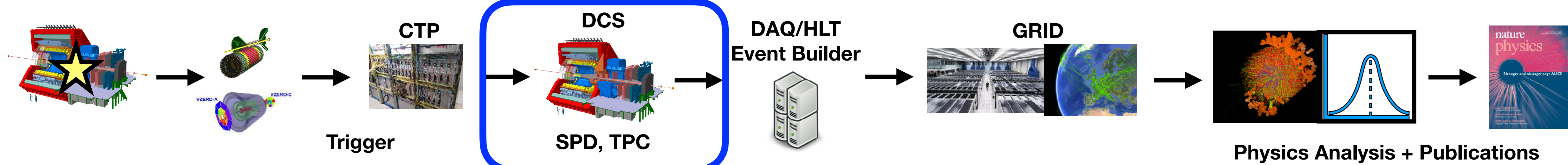


## Košický príspevok k **Detector Control System:**

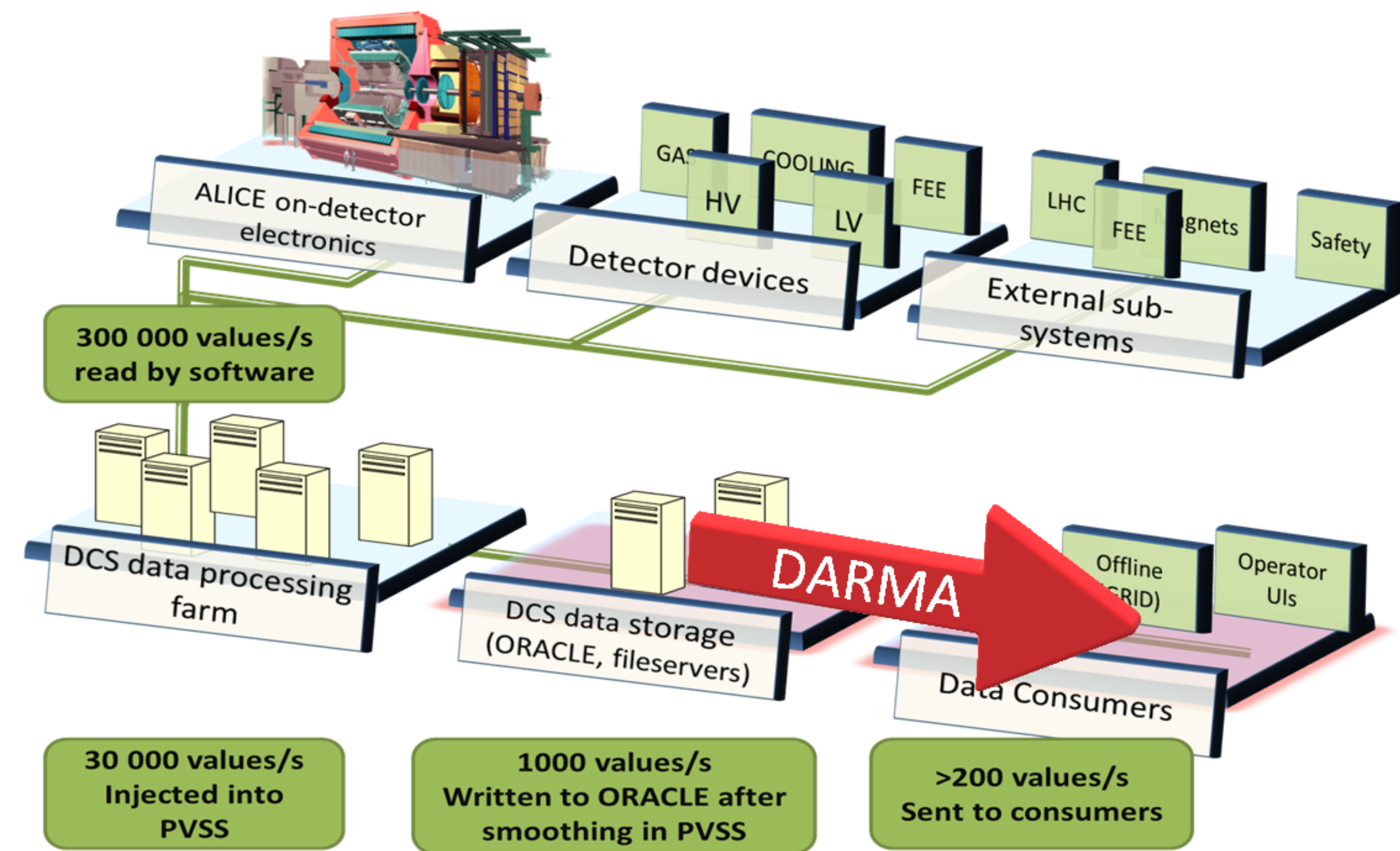


- vývoj DARMA (DCS archive manager) (TUKE):
  - remote access ku offline dátam (ALICE DCS)
  - webová aplikácia prístupná z CERNskej siete
- vývoj FRED - Scalable Framework for Detector Control & Monitoring (TUKE):
  - pôvodne vyvinutý pre DCS ITS detektora, v súčasnosti široko používaný ďalšími detektormi v ALICE
  - stabilná kontrola detektorov a rýchly monitoring



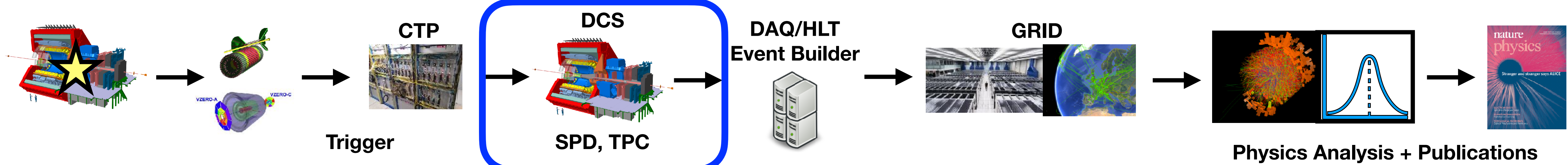


## Košický príspevok k **Detector Control System**:

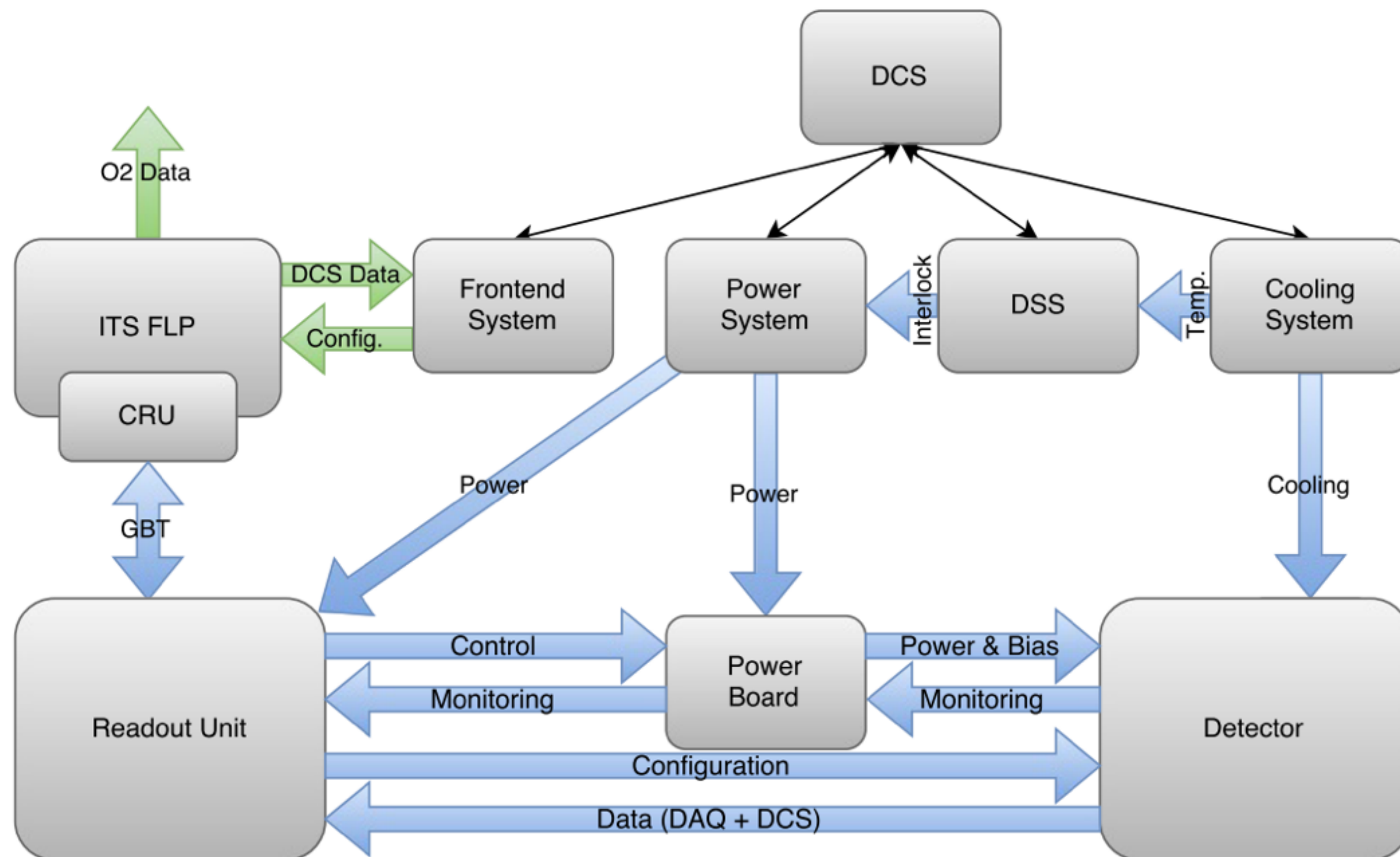


- vývoj **DARMA** (DCS archive manager) (TUKE):
  - remote access ku offline dátam (ALICE DCS)
  - webová aplikácia prístupná z CERNskej siete
- vývoj FRED - Scalable Framework for Detector Control & Monitoring (TUKE):
  - pôvodne vyvinutý pre DCS ITS detektora, v súčasnosti široko používaný ďalšími detektormi v ALICE
  - stabilná kontrola detektorov a rýchly monitoring



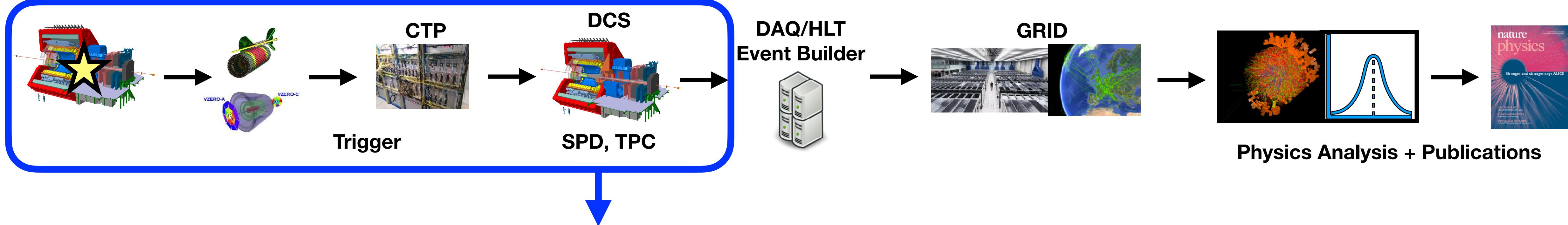


## Košický príspevok k **Detector Control System:**



- vývoj DARMA (DCS archive manager) (TUKE):
  - remote access ku offline dátam (ALICE DCS)
  - webová aplikácia prístupná z CERNskej siete
- vývoj **FRED** - Scalable Framework for Detector Control & Monitoring (TUKE):
  - pôvodne vyvinutý pre DCS ITS detektora, v súčasnosti široko používaný ďalšími detektormi v ALICE
  - stabilná kontrola detektorov a rýchly monitoring



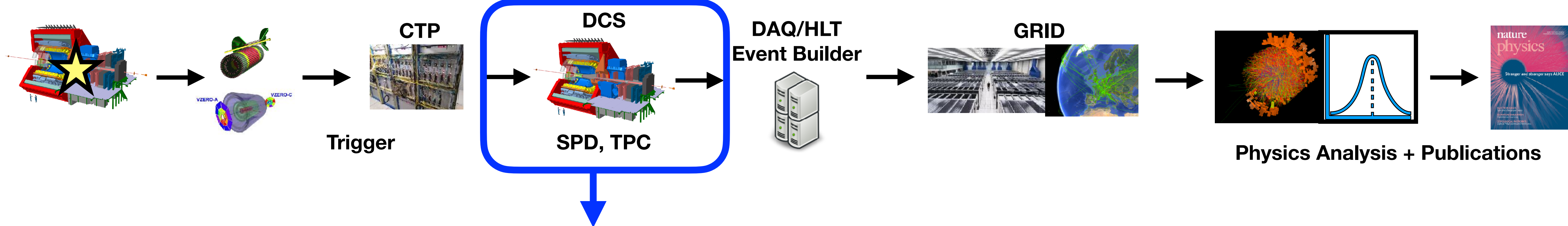


## Košický príspevok k **Data Taking**:

- Skúsení shifteri (aj počas HI runu) pre DCS v Run 1, Run 2 a Run 3 (I. Králik, P. Kaliňák)
- On-call CTP experti pre Run 2 a Run 3 (M. Vaľa, I. Ahuja, L. Tropp, M. Bombara)
- QC shifteri v Run 3 (Z. Paulínyová)

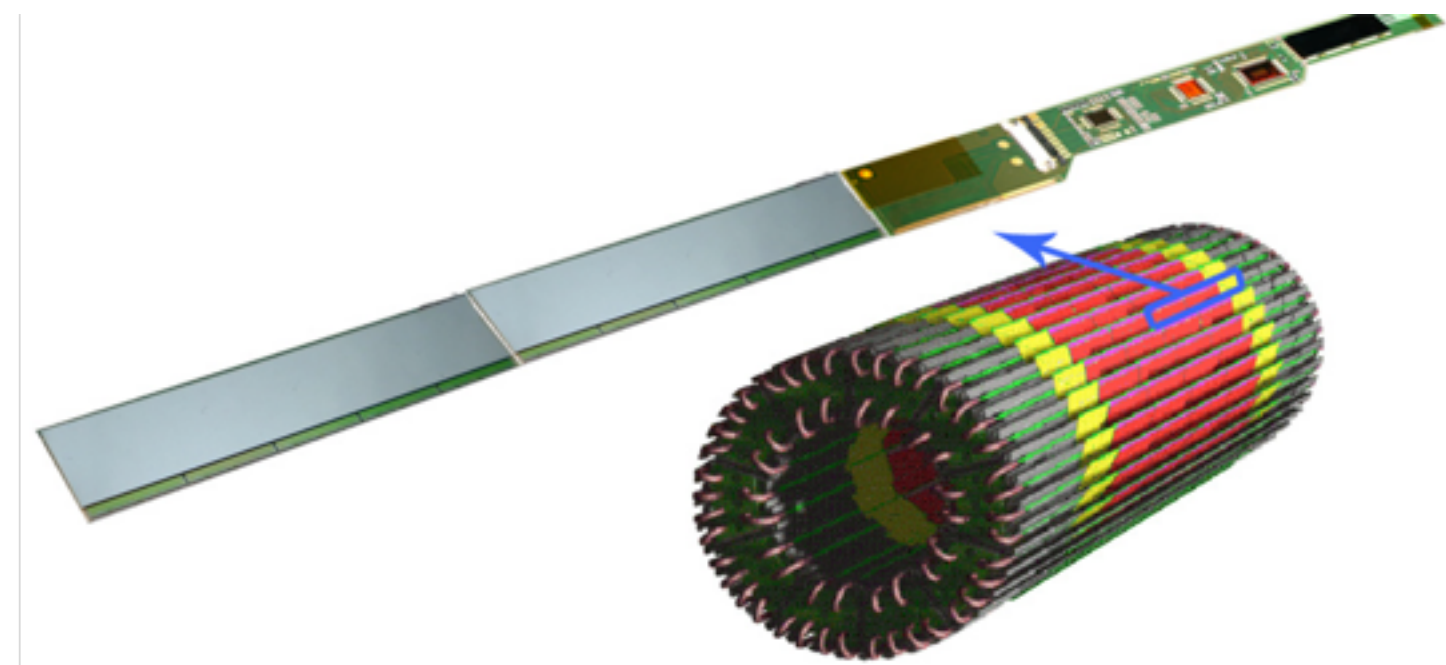




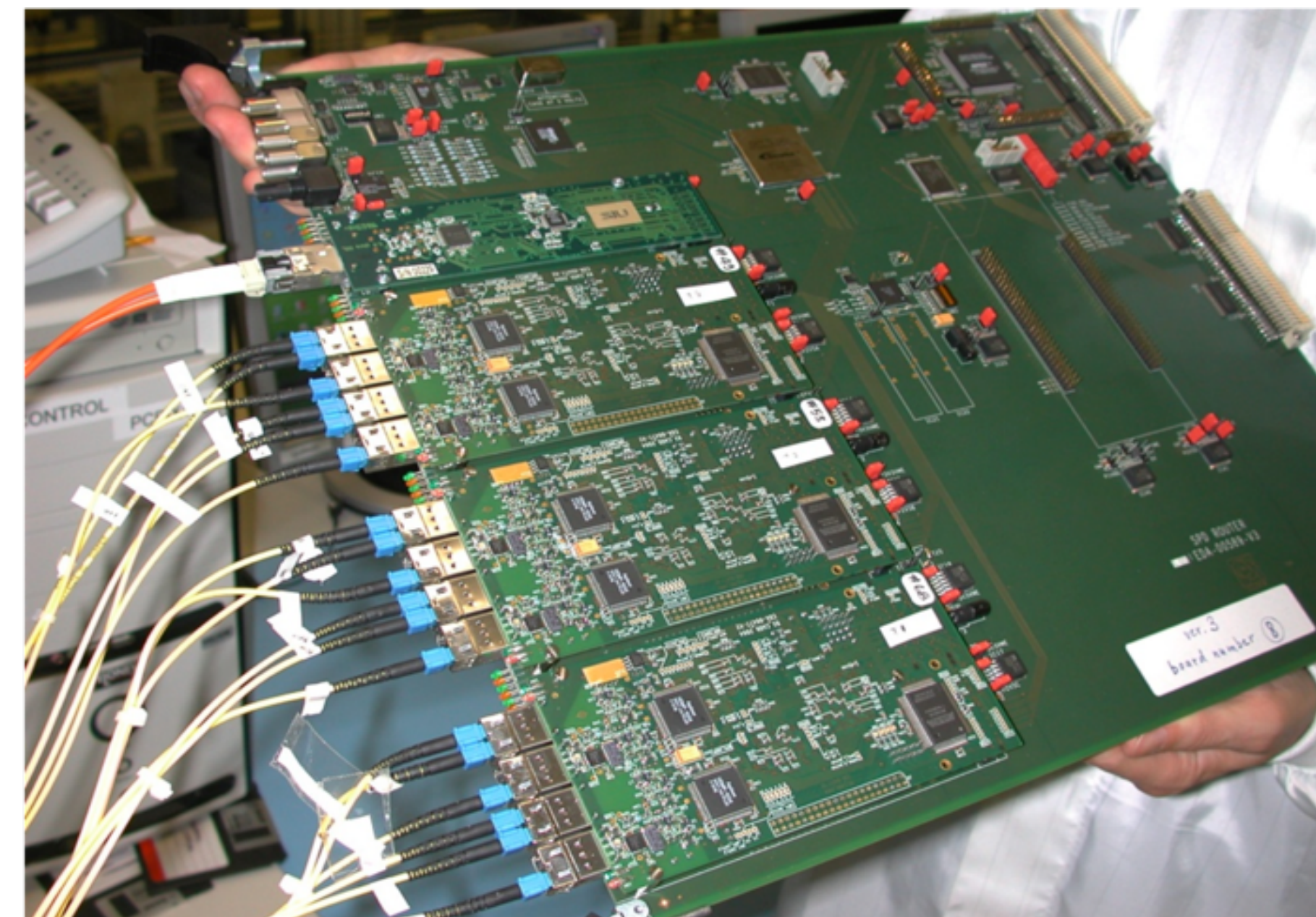


## Košický príspevok k Silicon Pixel Detector:

- vyčítavacia elektronika - SPD router - interface k CTP, DCS, SPD a DAQ, 20 dosiek inštalovaných v ALICE (J. Bán, M. Krivda)
- v Run3 - kompletne nový DCS pre ITS-2 (TUKE)

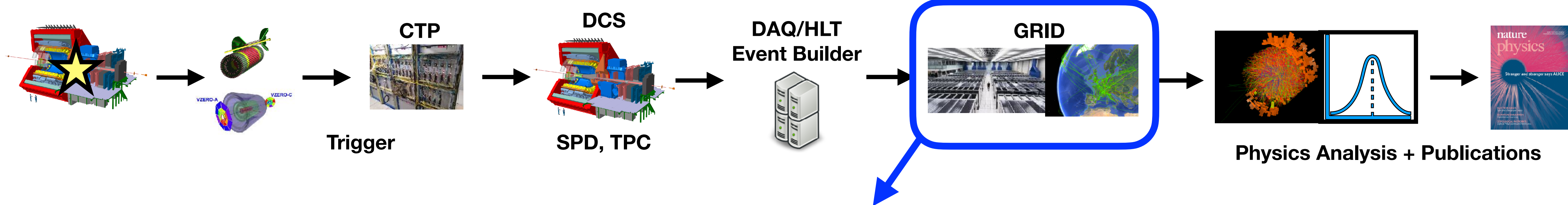


SPD consists of 120 half staves



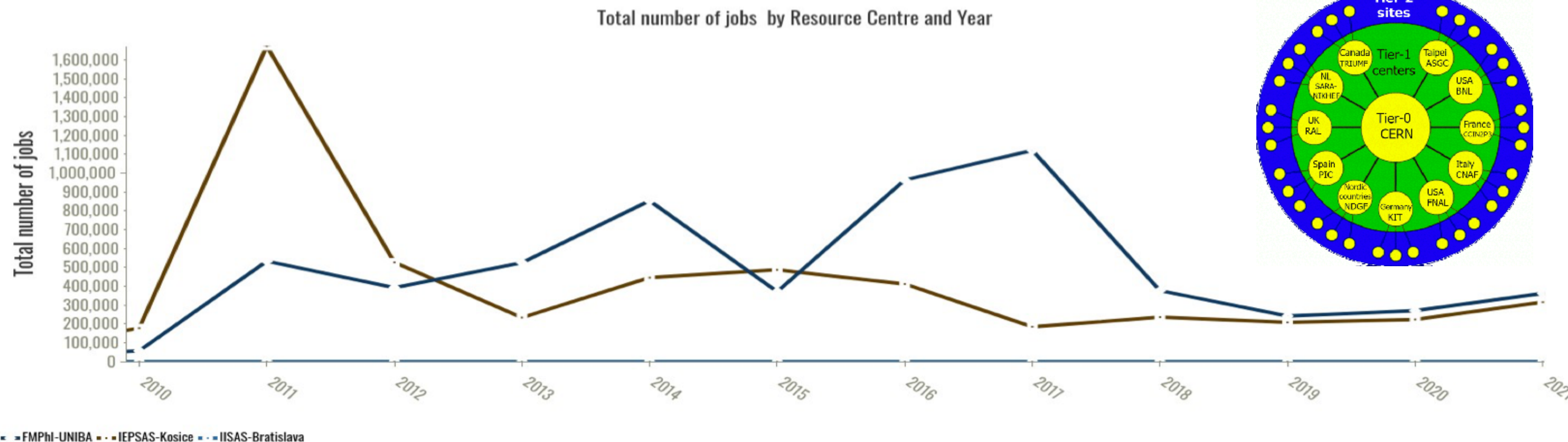
SPD router connected to 6 half staves - 20 boards needed



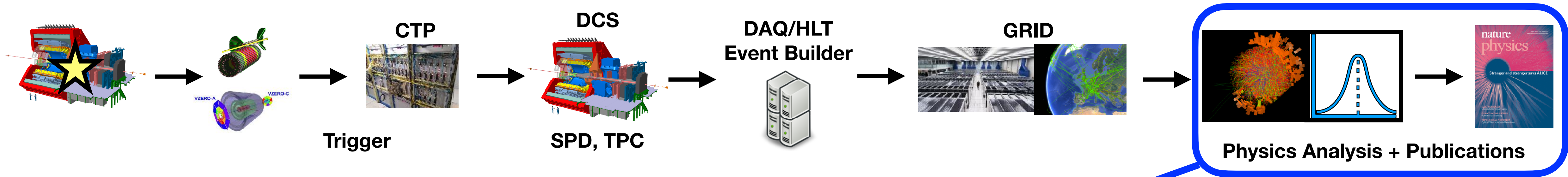


## Košický príspevok k GRID Computing:

- Tier-2 centrum in ÚEF SAV používané (pre ALICE a ATLAS) v Run1, Run2 a Run3: 5PB a 2000 CPUs, ~1M jobs/year (M. Straka, I. Kul'ková, R. Bílek, J. Vrláková)
- v Run1: SKAF (Slovak Košice Analysis Facility) a CAF (CERN Analysis Facility) - klastery s bežiacim PROOF (Parallel ROOT Facility) - distribuovaný systém vhodný pre menšie datasety ako na GRIDE (M. Val'a)

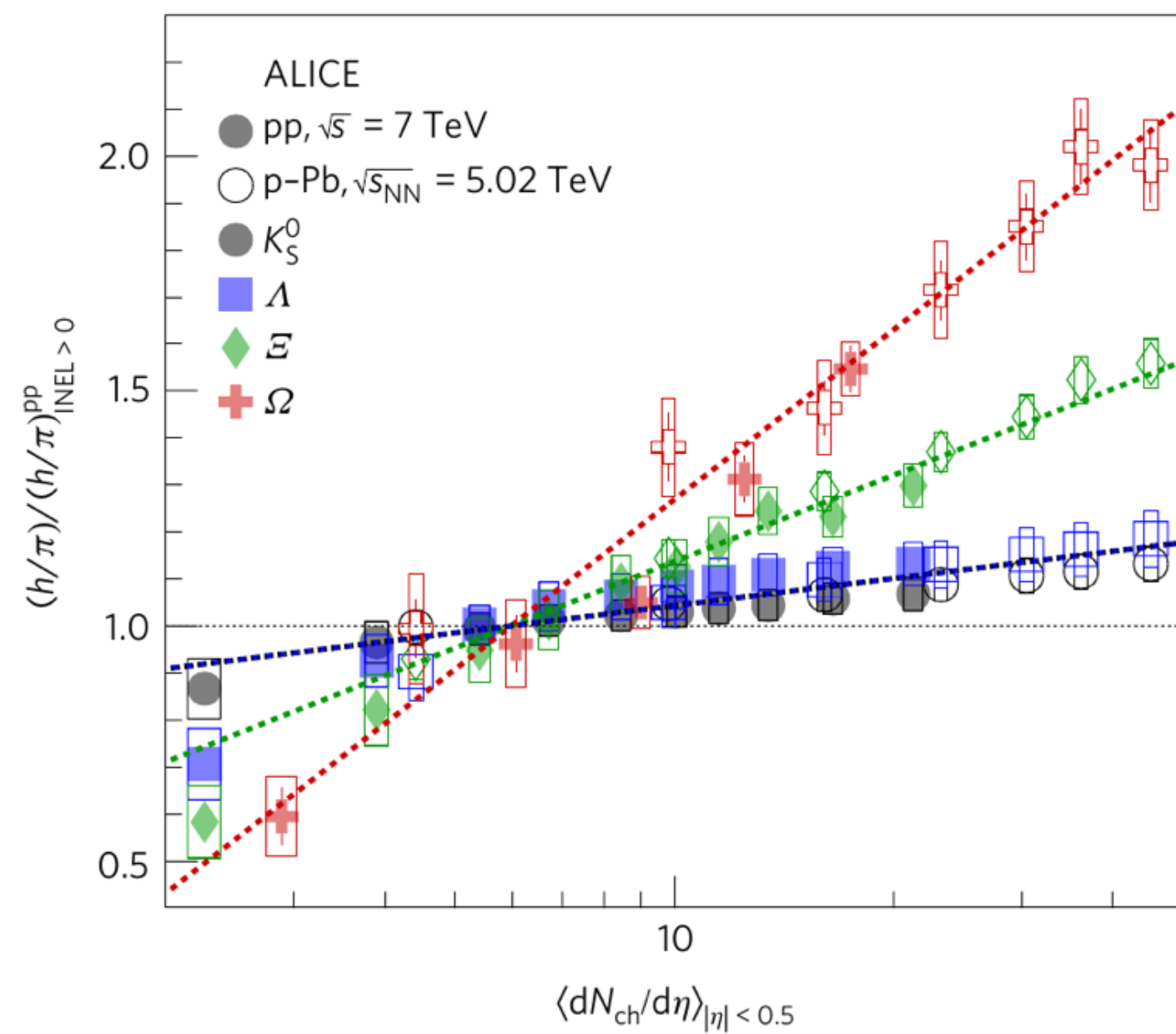




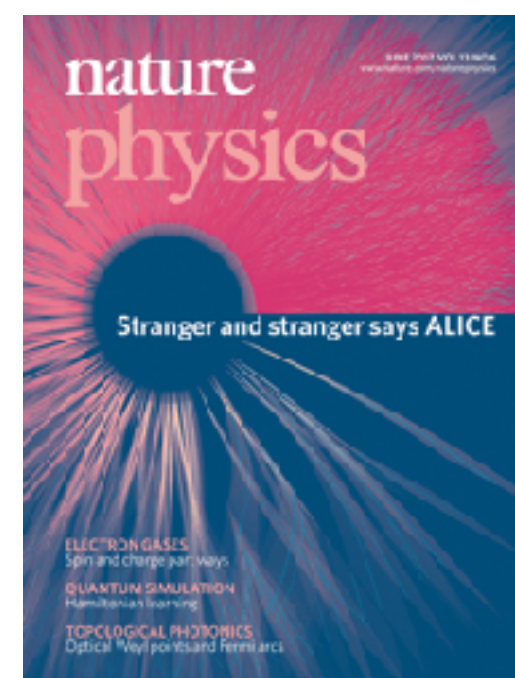


## Košický príspevok k **Physics**:

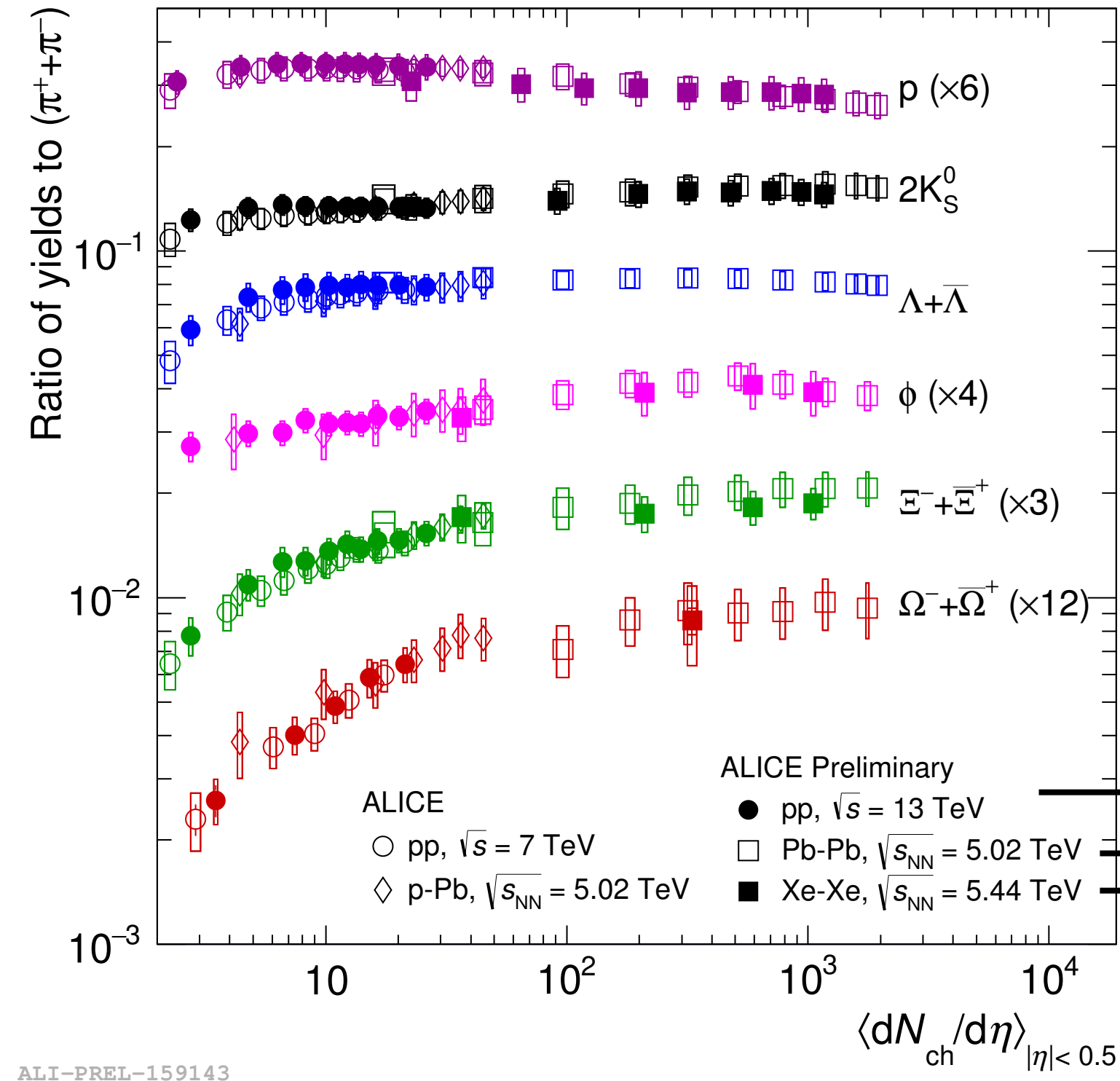
- strange particles production in various colliding systems - important to understand the hadron production mechanism (UPJŠ, IEP SAS and FMFI UK)



Upgrade of



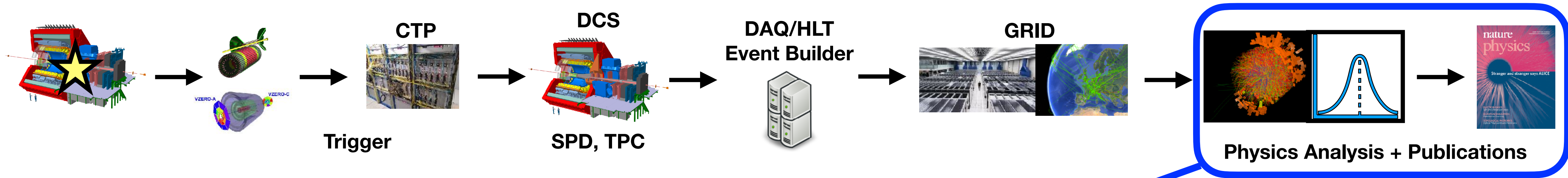
in



IEP SAS  
UPJŠ  
FMFI UK

*Eur. Phys. J. C 81 256 (2021)*

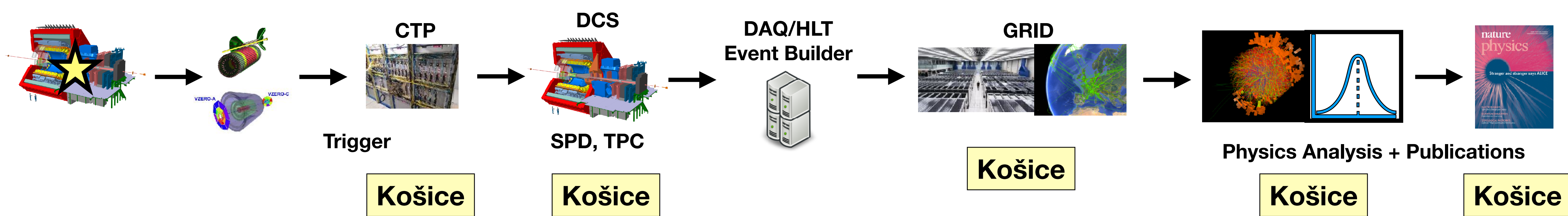




## Košický príspevok k **Physics**:

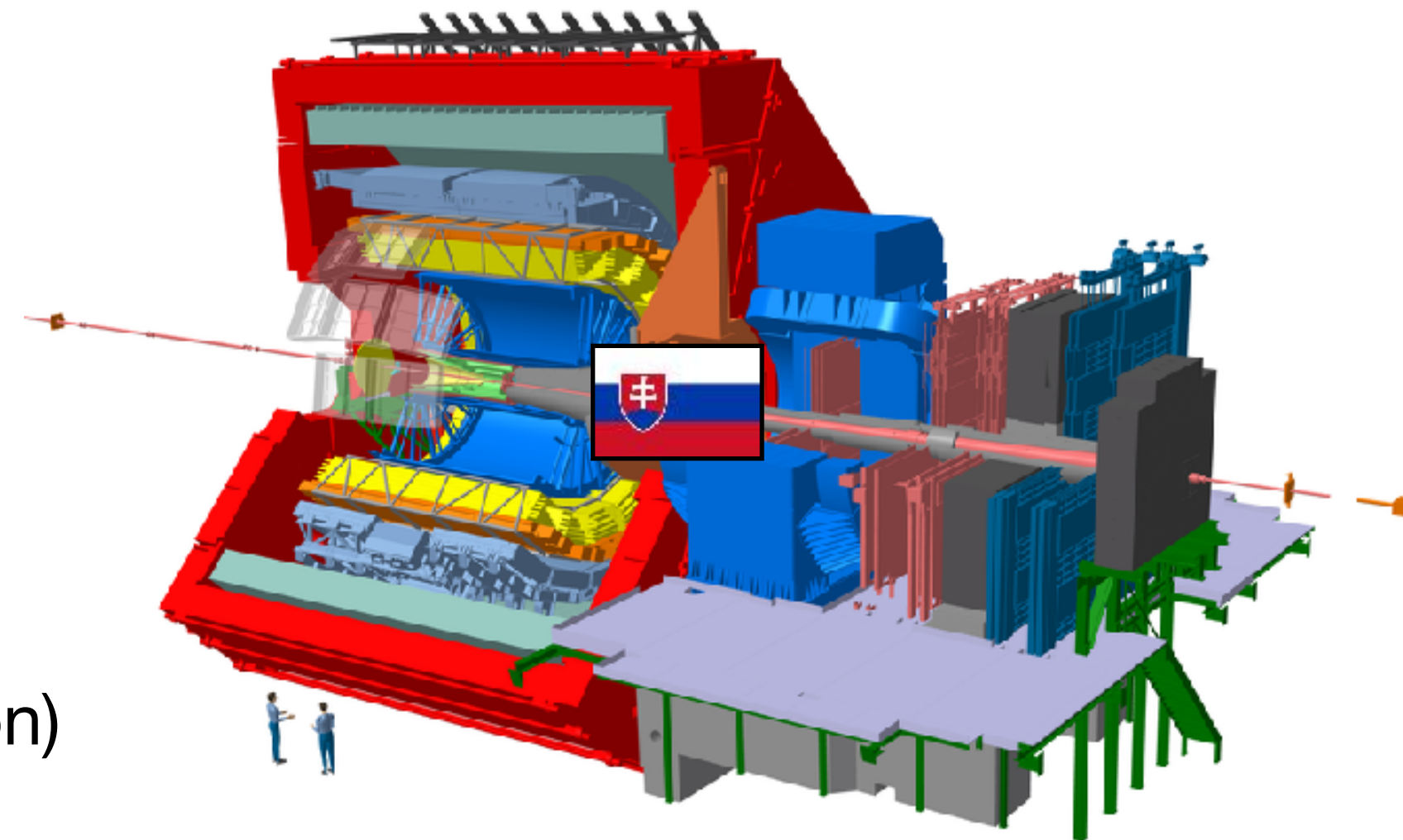
- koordinácia Correlations Physics Analysis Group (L.A.Tarasovičová)
- koordinácia Strangeness Physics Analysis Group (M. Bombara)
- úspešne obhajení PhD študenti: M. Vaľa, P. Kaliňák, M. Putiš, M. Šefčík, Z. Jakubčinová
- ongoing PhD študenti: I. Ahuja, V. Barbasová
- lost PhD študenti: Z. Tóthová, L. Tropp, K. Troppová





## Summary

- Košice has been playing an important role in ALICE story due to involvement in crucial parts:
  - Trigger system
  - DCS (Detector Control System)
  - SPD (Silicon Pixel Detector)
  - Grid (Tier-2 center)
  - Physics (mostly strange particle production)
- For the ongoing Run3 and next Run4 Košice cluster continues as a reliable member of the ALICE family.





# Popularizácia

- od 2007 organizovanie zájazdov učiteľov a stredoskolákov (Zuzana Ješková, Teaching coordinator pre SR)
- výročie Masterclasses v Košiciach a v Prešove + mnoho regionálnych kôl
- Noc výskumníkov - každý rok