

Bevezetés a nehéz-ion fizikába

Zoltán Fodor

KFKI – RMKI

CERN



- A Nagy Bummnál minden anyag egy pontban sűrűsödött össze, ami azután tágulva lehűlt.
- Ennek az anyagnak a tulajdonságai teljes bizonyossággal mások voltak mint a ma közvetlenül megfigyelhető világnak.
- Tudjuk-e tanulmányozni ezt az anyagot?

- A quarkok be vannak zárva, a mai normál körülmények közötti állapotban.
- Mi történik akkor, ha a részecskék olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy már nincs közöttük szabad hely?

A quarkok kiszabadulnak a „börtönükből”, és az egyensúly nem a hadronok között lesz, hanem a quarkok között. Ezt az anyagot nevezzük **QuarkGluonPlazmának**.

De hogyan lehet ezt tanulmányozni?

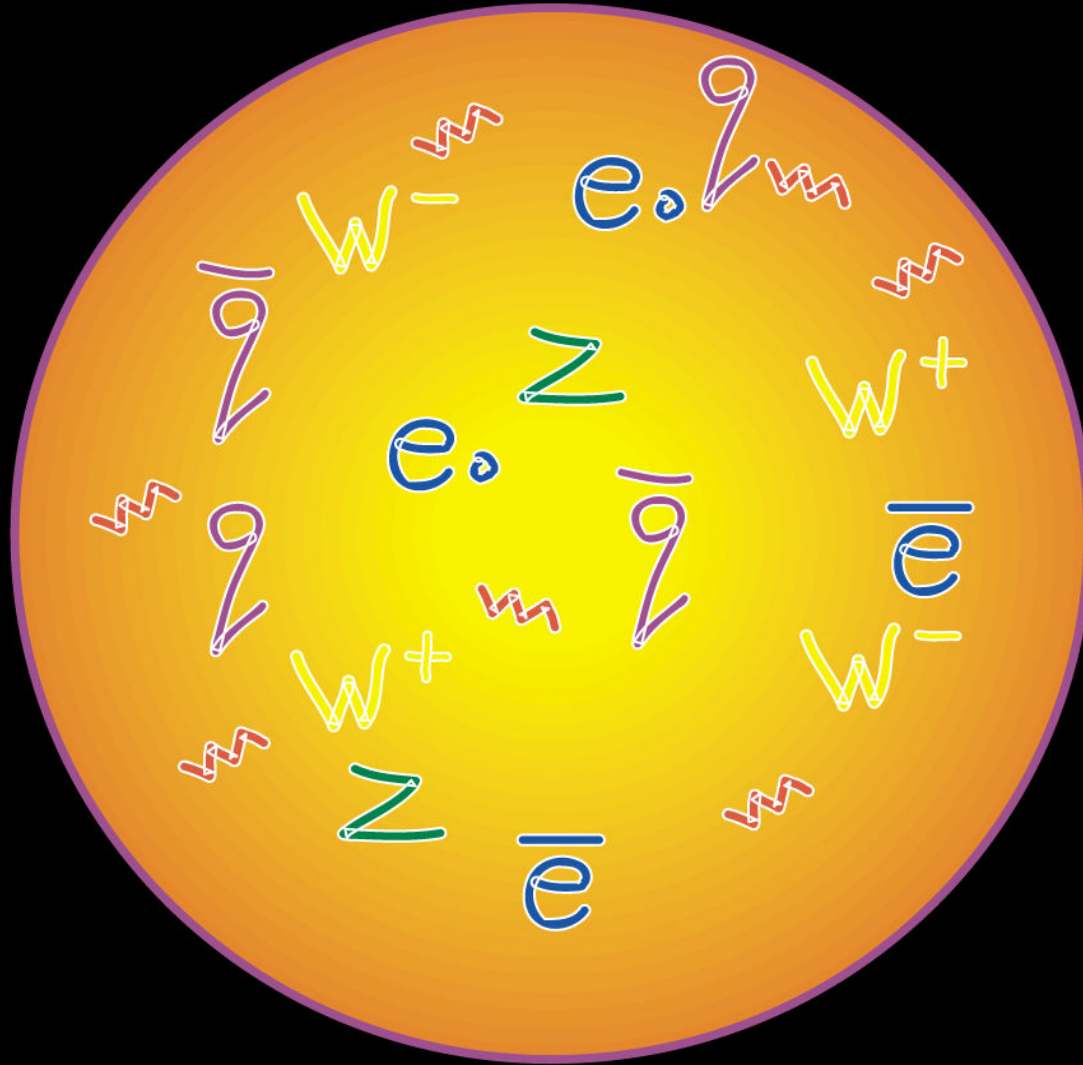
Visszafelé is végrehajtható-e?

10^{-43} seconds



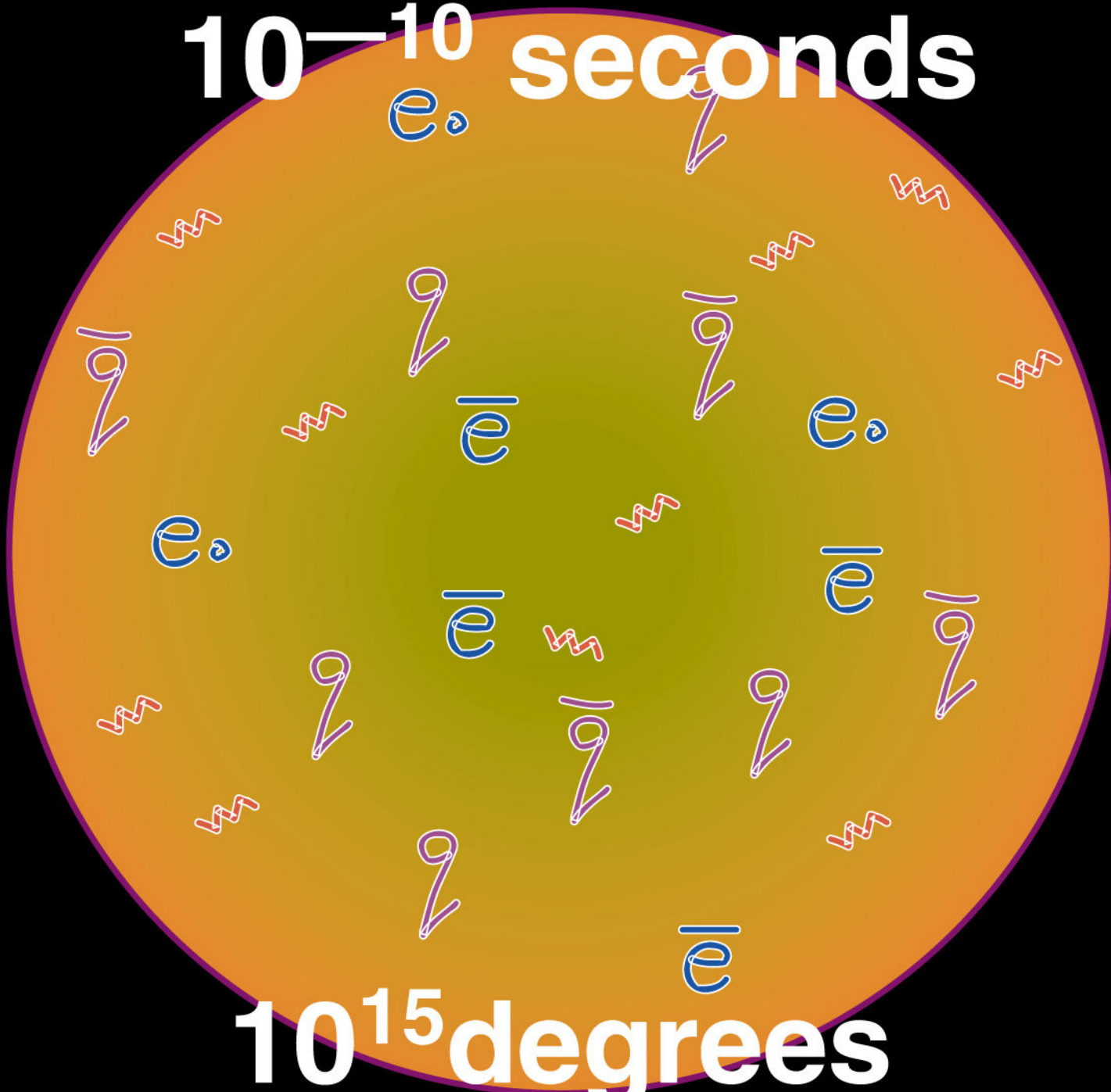
10^{32} degrees

10^{-34} seconds



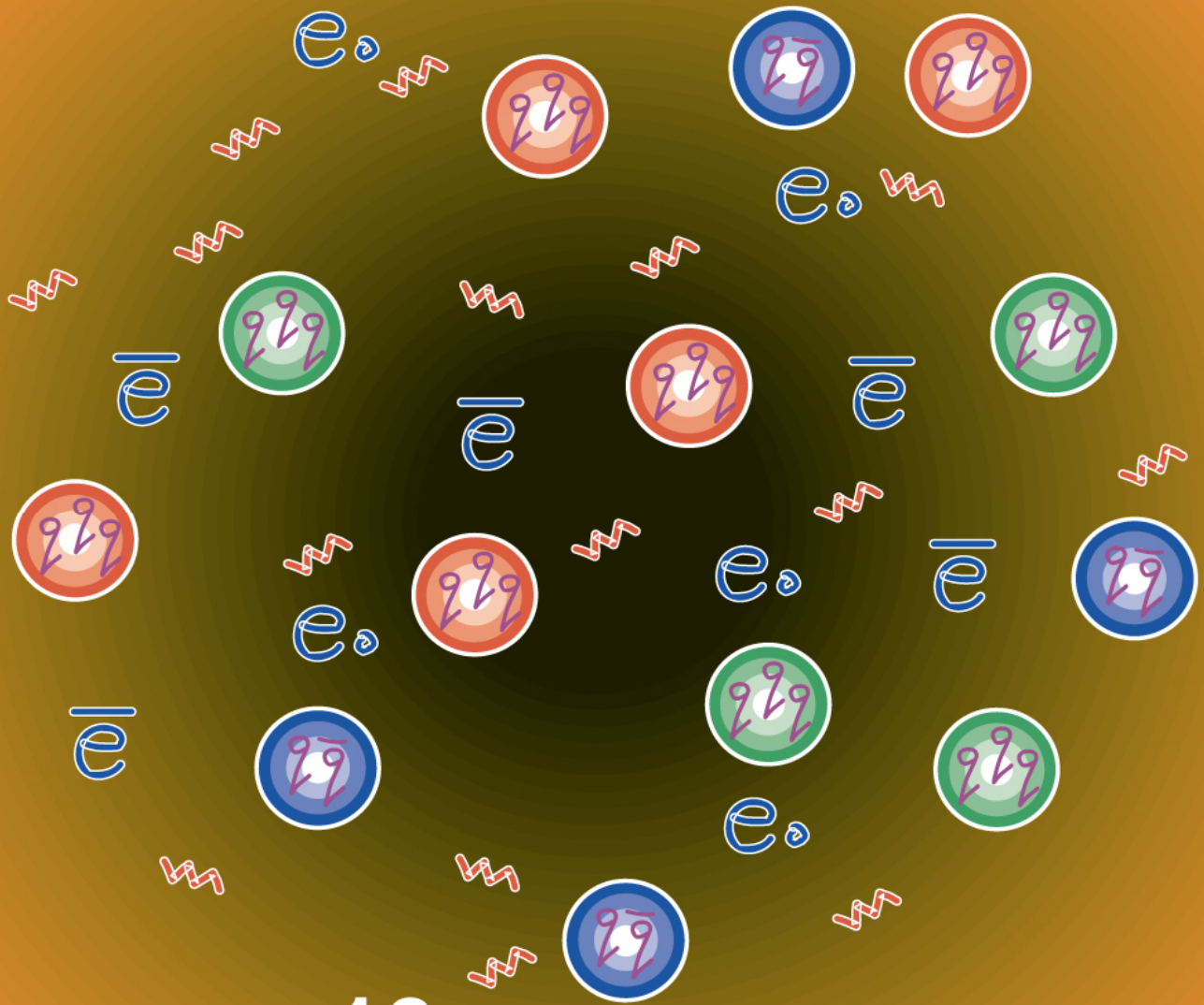
10^{27} degrees

10^{-10} seconds



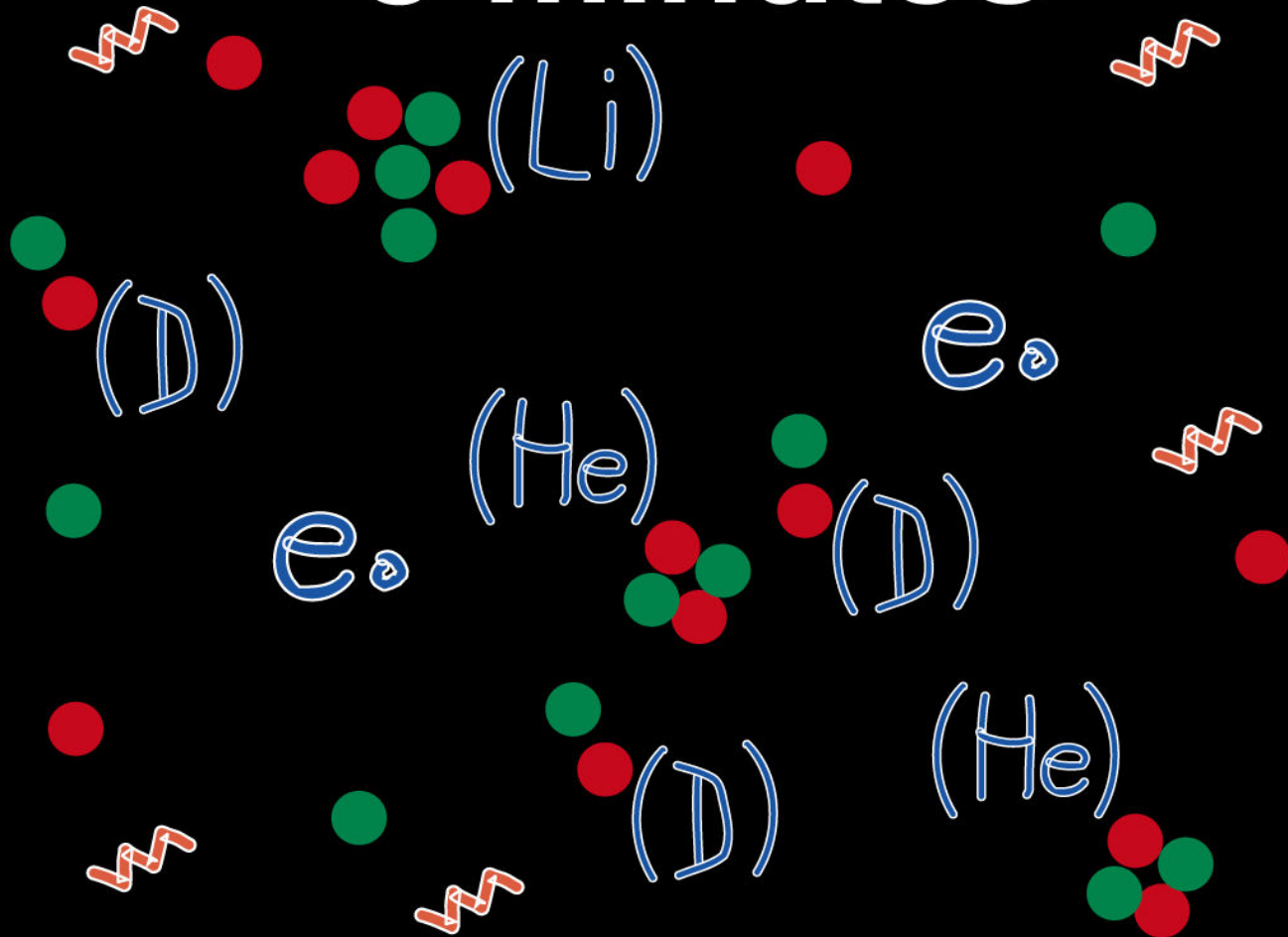
10^{15} degrees

10^{-5} second



10^{10} degrees

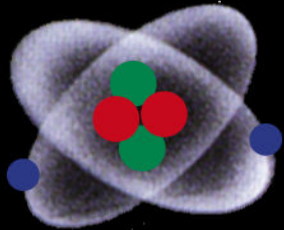
3 minutes



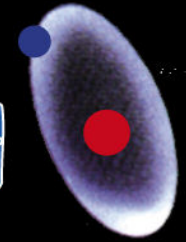
10^9 degrees

300 thousand
years

He



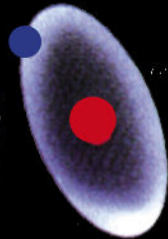
H



D



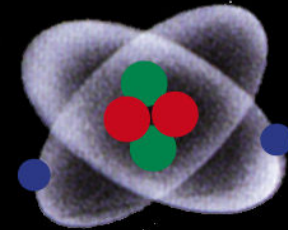
H



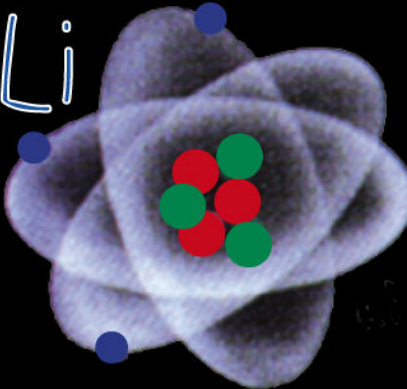
D



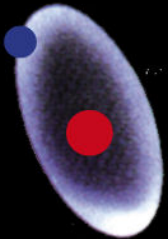
He



Li



H

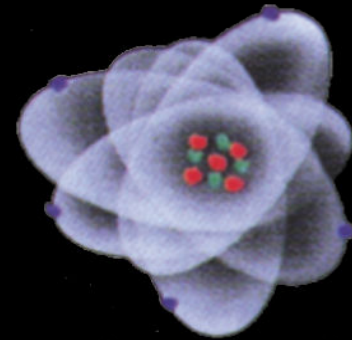


D



6000 degrees

**1 thousand
million years**



18 degrees

- **Hogyan tudunk ilyen anyagot előállítani?**
 - nehézionok nagyenergiával történő ütköztetésével
- **Mivel tudjuk megnézni?**
 - Az ütközést körülvevő detektorokkal, de mérni csak a kifagyott hadronokat tudjuk.
- **Hogyan tudjuk meghatározni az állapot paramétereit?**
 - Ismert törvényszerűségek és összefüggések segítségével.

Helye	Max energia/nukleon	üzembeállítás
GSI, Darmstadt	1.5 GeV	1991
AGS, Brookhaven	9 GeV	1992
CERN SPS, Genf	160 GeV	1994
RHIC, Brookhaven	20.000 GeV	2000
CERN, LHC	14.500.000 GeV	2008/ Nehéz-ion 2010/
FAIR, Darmstadt	45 GeV	2015



LHC

ALICE

NA49/NA61

Alice
A
L
I
C
E

SPS

NA49-future

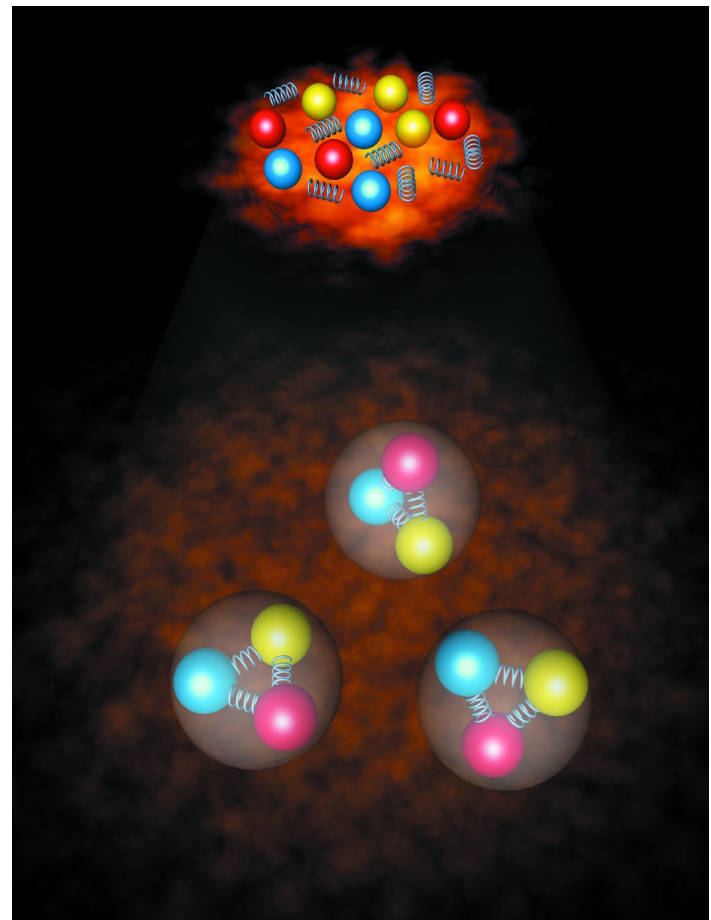
- **Alacsonyabb energiákon:**
 - Állapotegyenlet $\rho(p)$ meghatározása a stabilitási pont közelében
 - Új, a stabilitási vonaltól távol eső atommagok előállítása
- **Magasabb energiákon:**
 - Állapotegyenletnek a $\rho(T)$ és $\rho(p)$ meghatározása
 - Új fajtájú anyag a **Quark Gluon Plazma** előállítása és tulajdonságainak vizsgálata
 - A fázisátalakulási görbék meghatározás
 - Részecske tulajdonságainak meghatározása a maganyagban

- **Ütközési paraméter**
 - A nem kölcsönható anyagrész mennyiségének mérése
 - Az ütközésben keletkezett részecskék számának mérése
- **A keletkezett tűzgömb geometriai nagysága**
 - Azonos típusú részecskék eloszlásából
- **A tűzgömb hőmérséklete**
 - A keletkezett részecskék nyalábra merőleges irányú impulzus eloszlása
- **Kémiai összetétele**
 - A keletkezett részecskék fajtájának eloszlása /különösen értékesek, amelyek megmaradnak a kifagyás folyamata alatt/

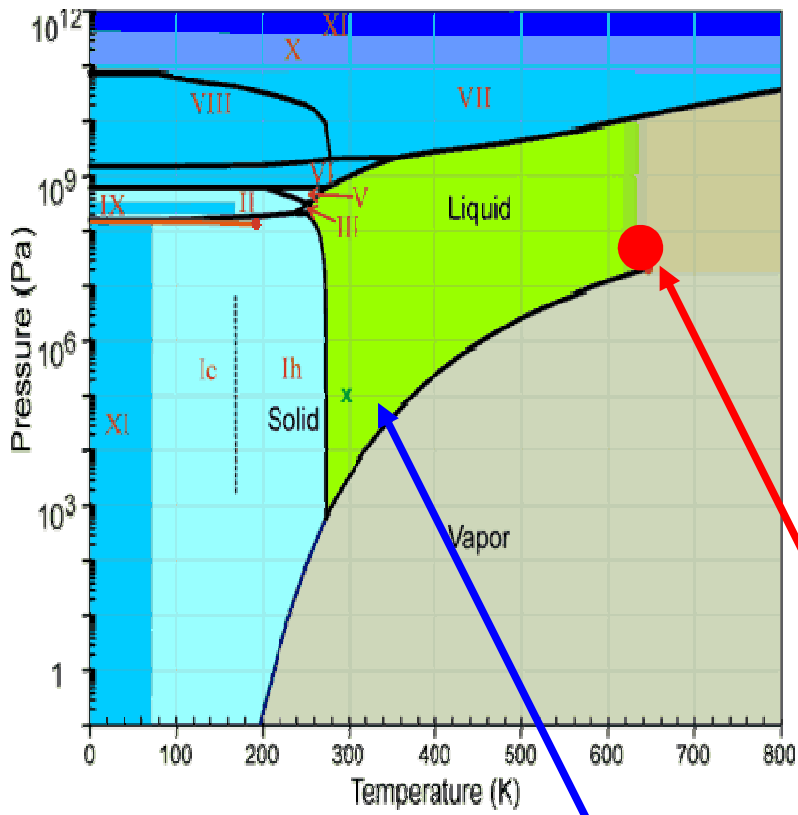
A víz fázisai



Az erősen kölcsönható anyag fázisai



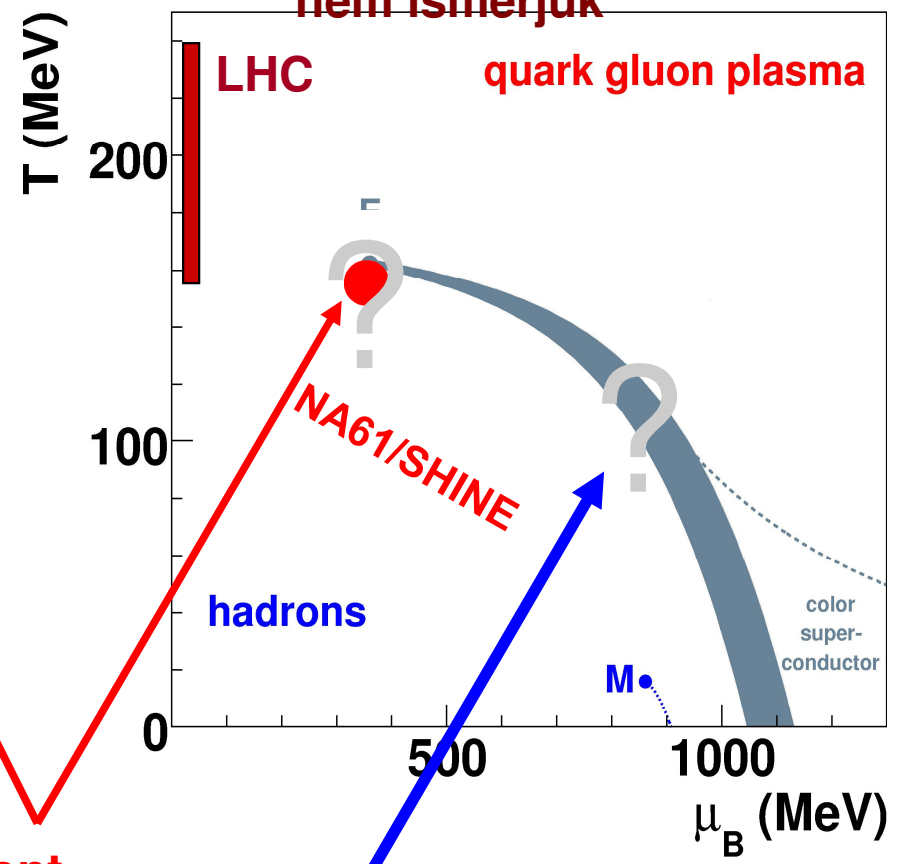
A víz fázisgörbéi



Kritikus pont

Első rendű fázisátalakulás

A maganyag fázis görbéit még nem ismerjük

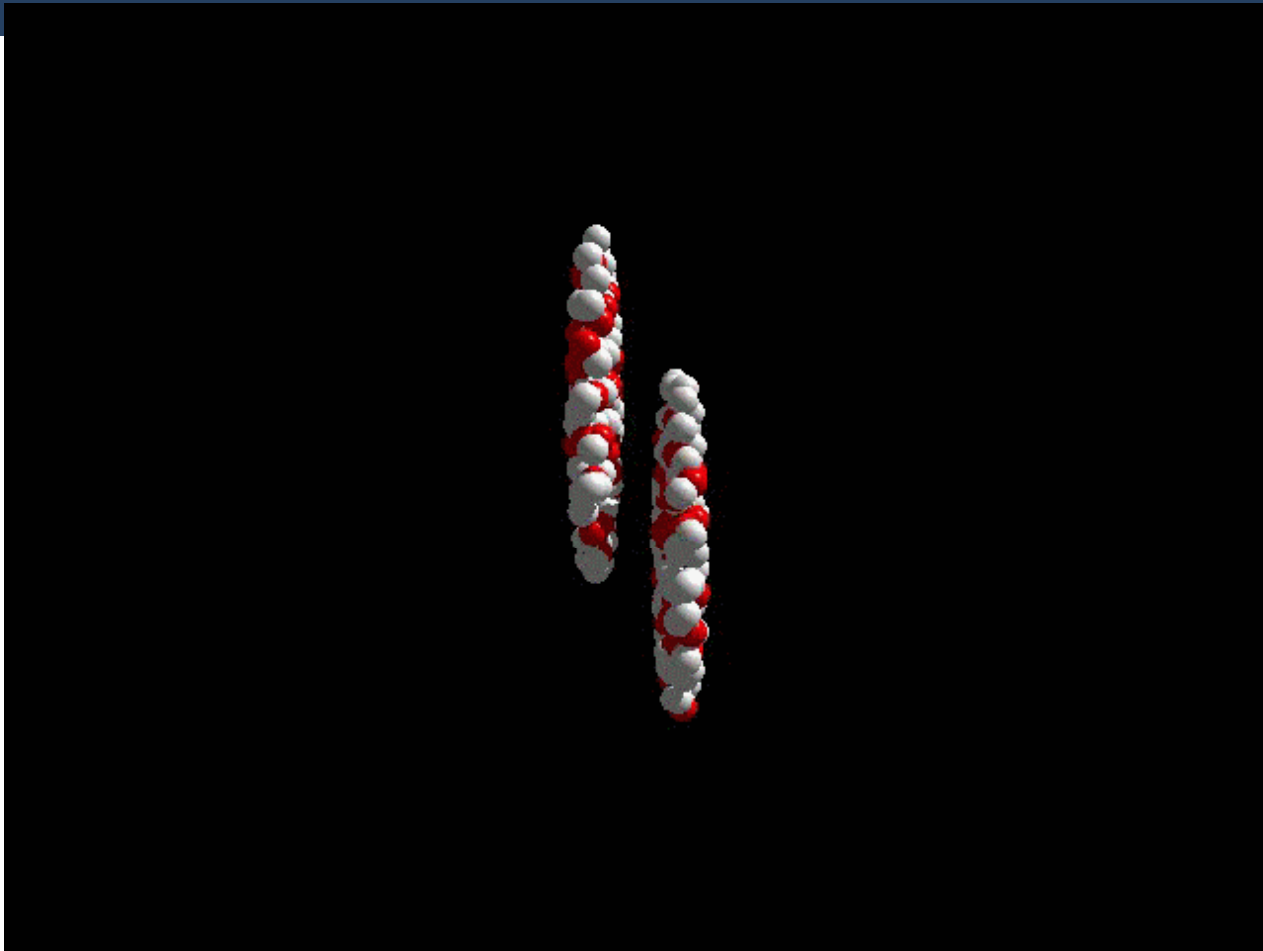


LHC

quark gluon plasma

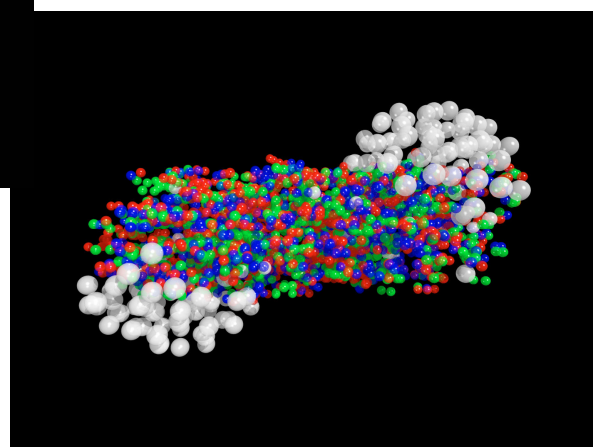
hadrons

Baryochemical potential (MeV)



**Ólom atommagok
 ütközése, $5500 \cdot 208 \text{ GeV}$
 = 0,00018 J**

**Szimuláció
 10^{-13} cm méretskálán**



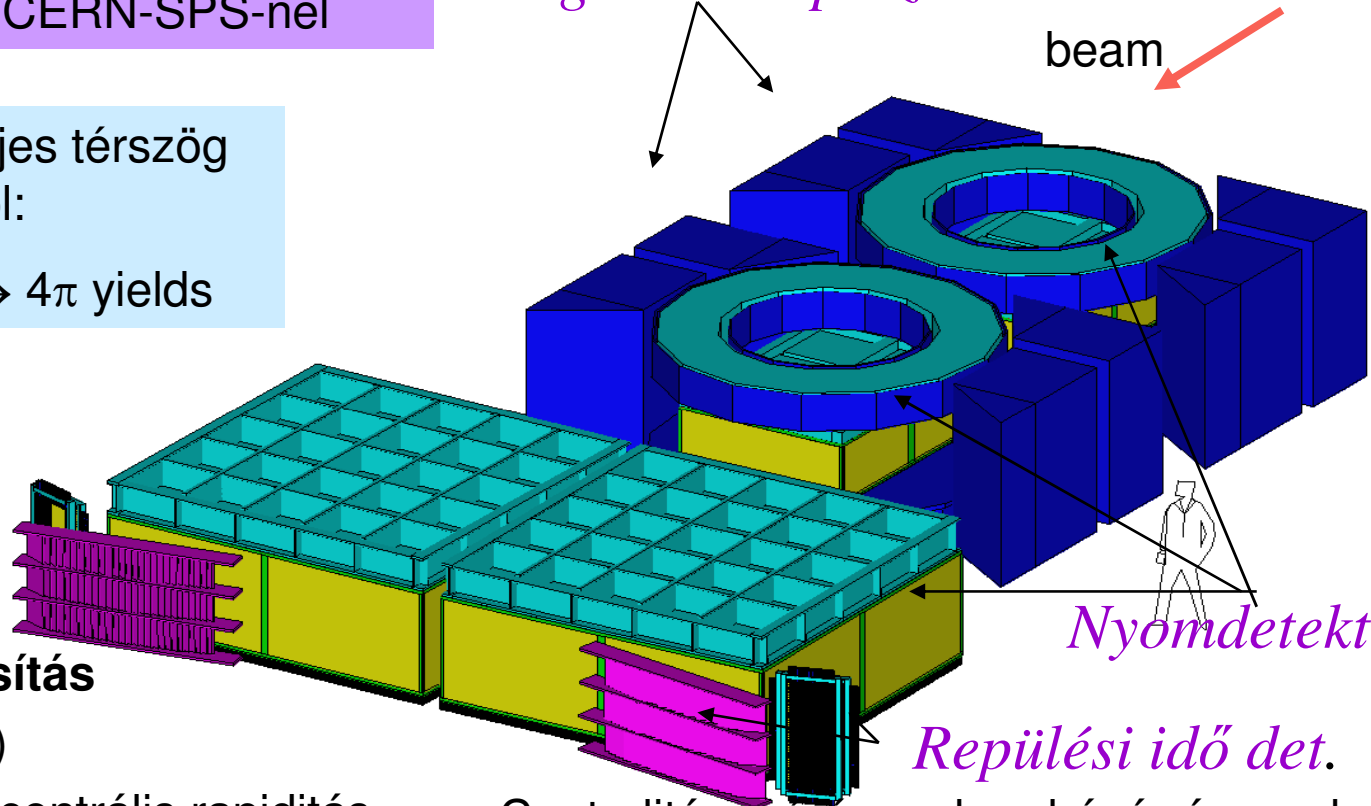
nagy térszögű hadron spektrométer a CERN-SPS-nél

Az előremenő teljes térszög le lett fedve ebből:

(y, p_t) -spektrum $\rightarrow 4\pi$ yields

Mágnesek impulzus mérésre

beam



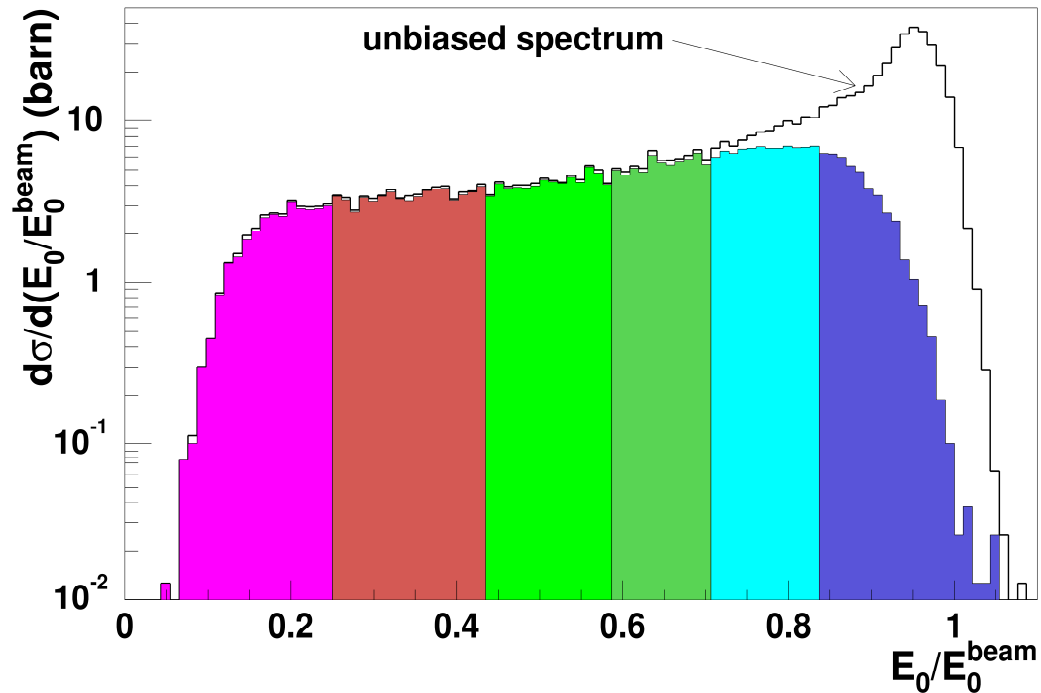
Nyomdetektorok

Repülési idő det.

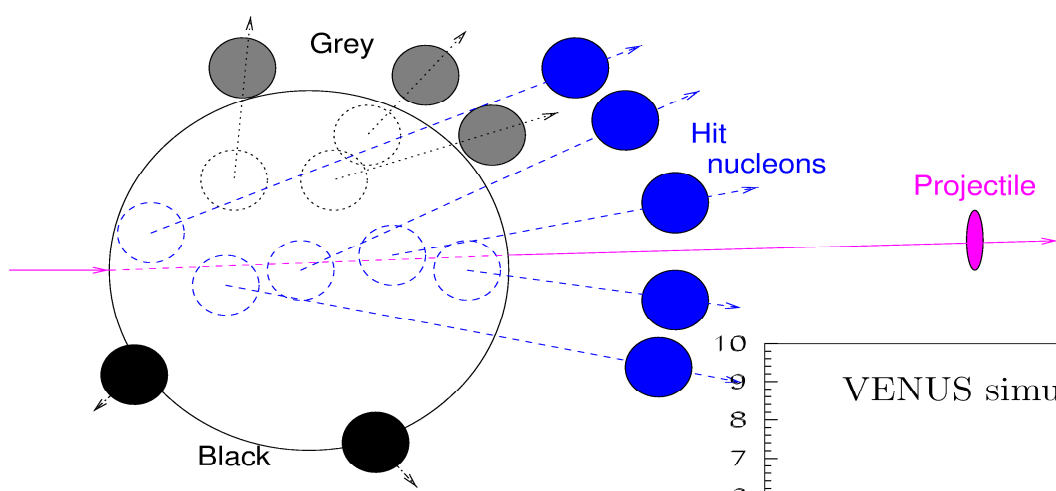
részecske azonosítás

- dE/dx (3-6% res.)
- TOF (60 ps res.) centrális rapiditás körül
- invariant mass + topology (5-10 MeV res.)

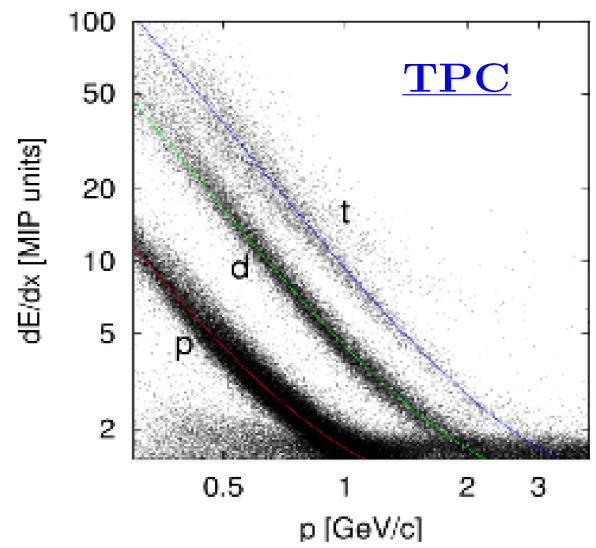
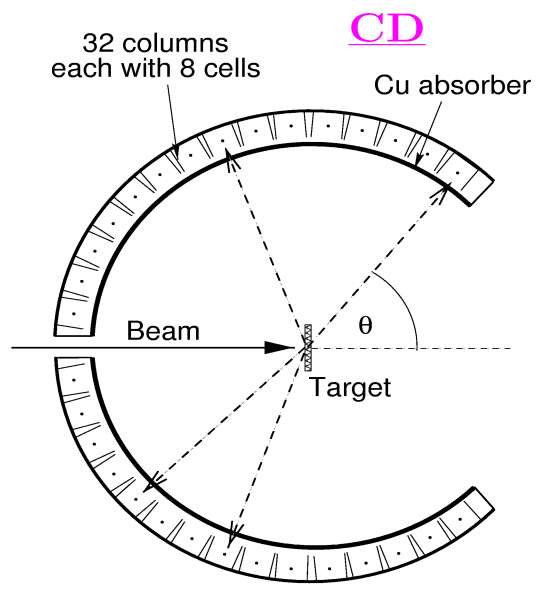
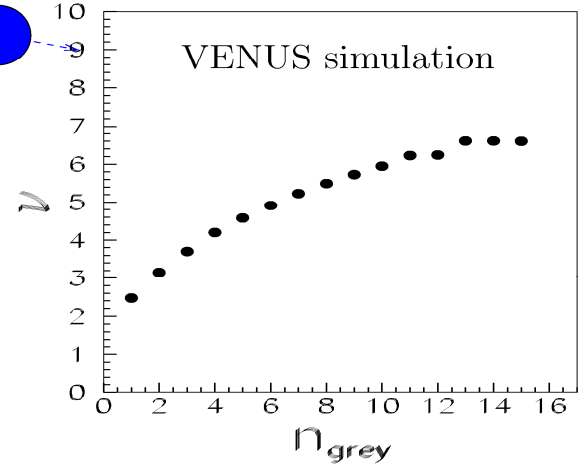
- Centralitás mérése a bombázó részecske fragmentumai energiáinak alapján AA esetén
- könnyebb bombázó részecskék az ólom atommag hasításából



bin	fraction of cross section	$\langle b(\text{fm}) \rangle$	$\langle N_{\text{part}} \rangle$
1	0.05	2.2	362 ± 12
2	0.09	4.6	304 ± 16
3	0.09	5.7	241 ± 16
4	0.09	7.0	188 ± 16
5	0.15	8.5	130 ± 14
6	0.52	10.5	72 ± 8



- grey: $0.15 < p < 1.0$ GeV/c
- black: $p < 0.15$ GeV/c



- Cu absorber 200μ eliminates

- A legnagyobb azonos körülmények között mért adathalmaz a CERN-i SPS gyorsítónál centrális Pb+Pb ütközéseknél, /NA49/
- Pb+Pb, Si+Si, C+C reakciók mérése az impakt paraméter függvényében, és p+p valamint p+A adatok az összehasonlításhoz
- energiafüggés meghatározása az SPS által elérhető teljes energia tartományban
 → jelenleg szinte teljesen folytonosan léteznek adatok az SPS küszöbenergiájától a maximális RHIC energiáig
 → az SPS által elért energia tartomány rendkívül érdekes az utóbbi évek eredményei alapján
 → nagy pontosságú adatok az elemi ütközéseknél

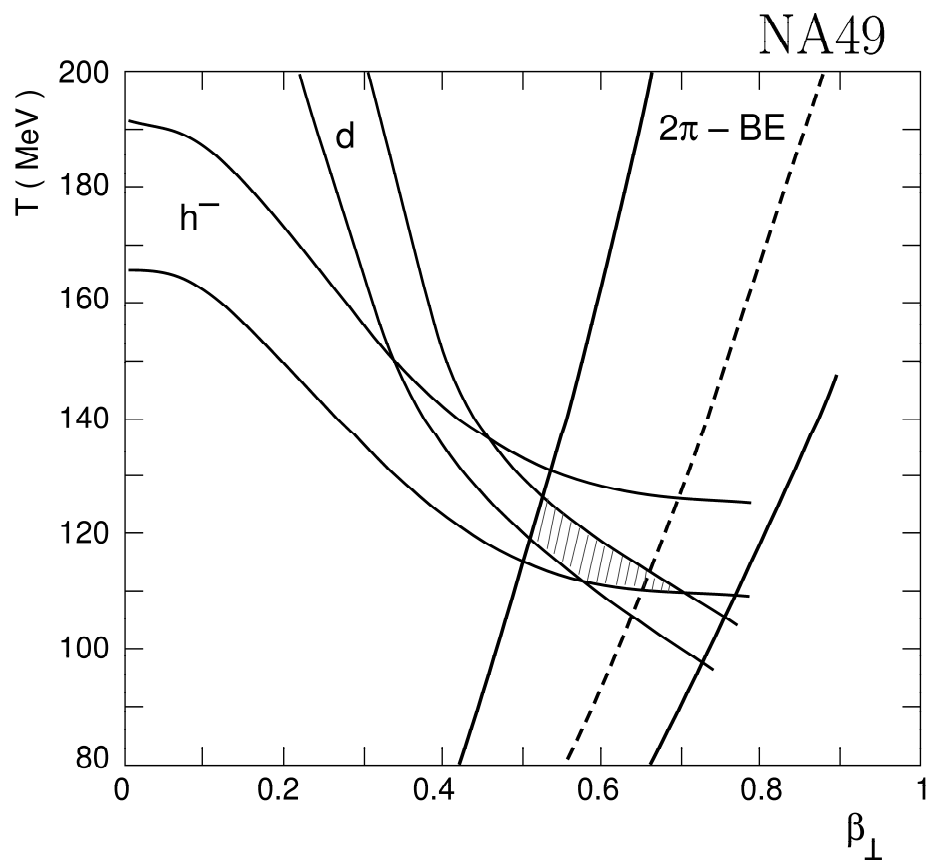
• C+C, Si+S	158, 40 GeV/n	NA61-ben tervezett
• Pb+Pb	158, 80, 40, 30, 20, 10 GeV/n	
• p+p	158, 80, 40, 30, 20, 10 GeV	In+In 10-160 GeV/n Si+Si 10-160 GeV/n C+C 10-160 GeV/n
• p+Pb, p+C	158 GeV	
• π +p, π +Pb	158 GeV	
• n+p, /d+p -ból/	158 GeV	

A tüzgömb méretének meghatározása

- Bose-Einstein koreláció alapján
 - A bozonok szeretnek azonos impulzus állapotba kerülni, és hogy ez mekkora relatív impulzus tartományig hat, az függ a forrás méretétől.
- Deuteronok és a protonok arányából
 - Az egymáshoz közeli impulzusú p és n szeret deuteronná egyesülni és ennek a folyamatnak a hatáskeresztmetszete is függ a forrás nagyságától
- A különböző részecskék nyalábra merőleges impulzus eloszlásai és a forrás nagysága és kiterjedésének sebessége között is van egy összefüggés, ami szintén a forrás nagyságától függ

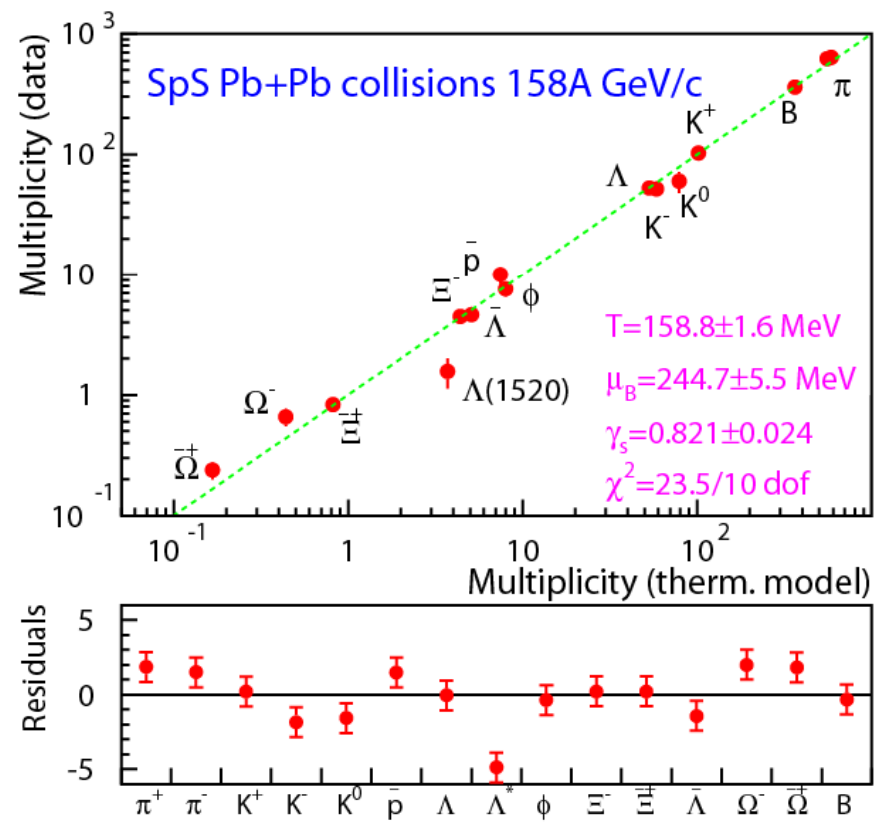
- Információt hordoz az anyagon belüli kölcsönhatások erősségéről.
- Hogyan mérhető?
 - Részecske korelációkkal
- Mivel jellemezhető?
 - Folyási sebességgel
 - Folyási irányokkal

A tűzgolyó hőmérséklete



Felületen a tágulási sebesség

- Kezdeti állapot: energia sűrűség $\varepsilon \approx 3 \text{ GeV/fm}^3$ [NA49, PRL 75(1995)3814]
- Végállapot: kémiai egyensúlyban lévő hadron gáz



- Kifagyási paraméterek SPS-nél:
 $T_{\text{chem}} \approx 160 \text{ MeV}$
 $\mu_B \approx 240 \text{ MeV}$
 $(\gamma_s \approx 0.8)$
- RHIC:
 $T_{\text{chem}} \approx 160 \text{ MeV}$
 $\mu_B \approx 30 - 50 \text{ MeV}$

A hadronizáció a fázis átmenethez közel történik

Becattini et al. PRC 69(2004) 024905

Hadronkeltés hatáskeresztmetszeteit mértük meg 20-158 GeV/n

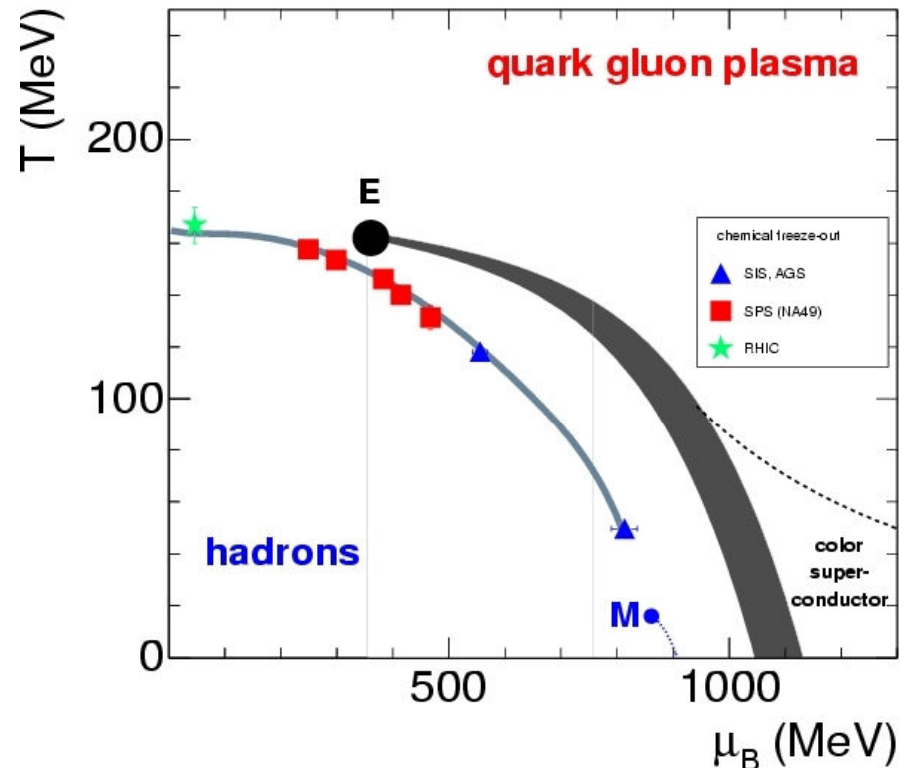
→ (T, μ_B) a hadrokémiai kifagyásnál

Új program a kritikus pont kísérleti kimutatása:

- Fluktuációk mérésével a bombázó energia és atommag függvényében

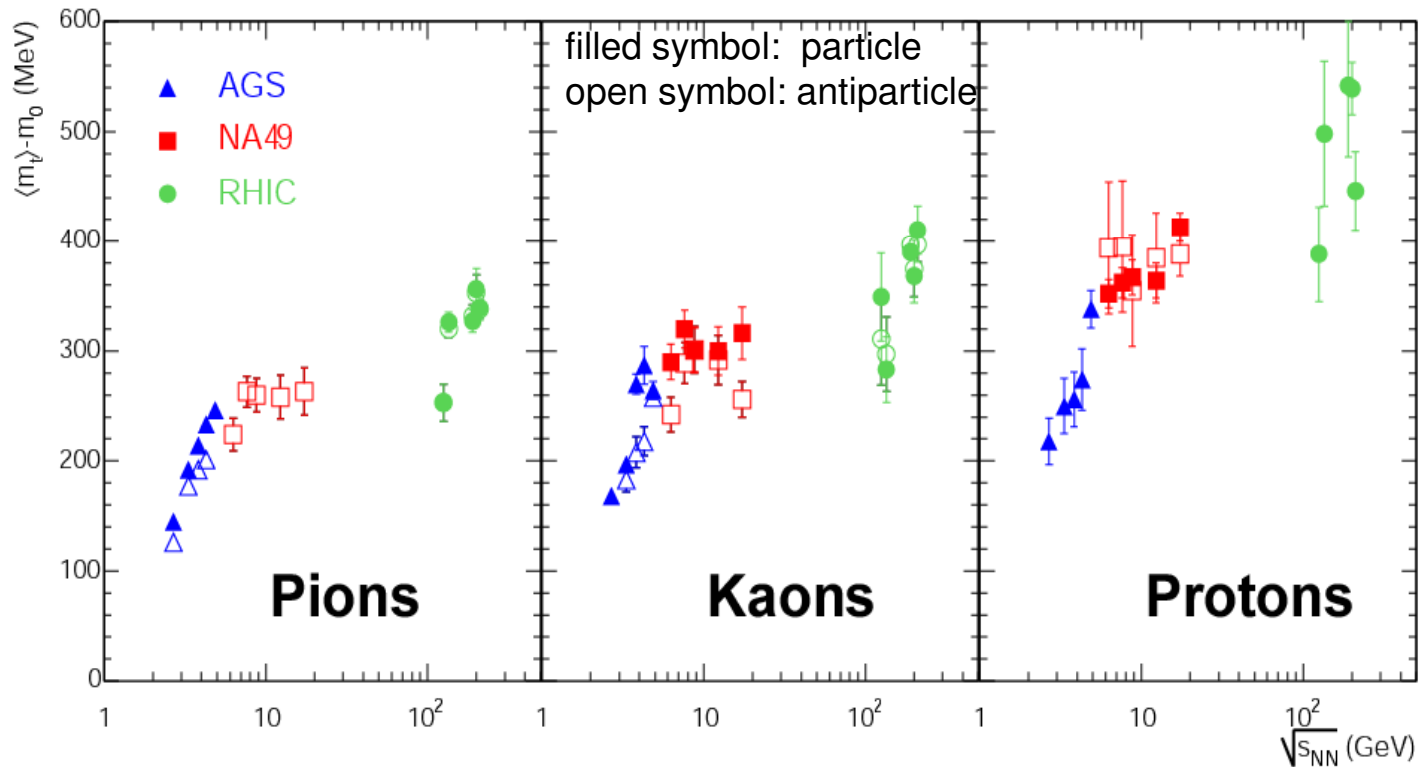
NA61

- A deconfinementet hol érjük el? Az SPS-nél vagy a RHIC-nél?
- Alacsony SPS energiáknál
 - Csökkenő hőmérséklet
 - növekvő barion sűrűség
 - (depart from phase boundary)

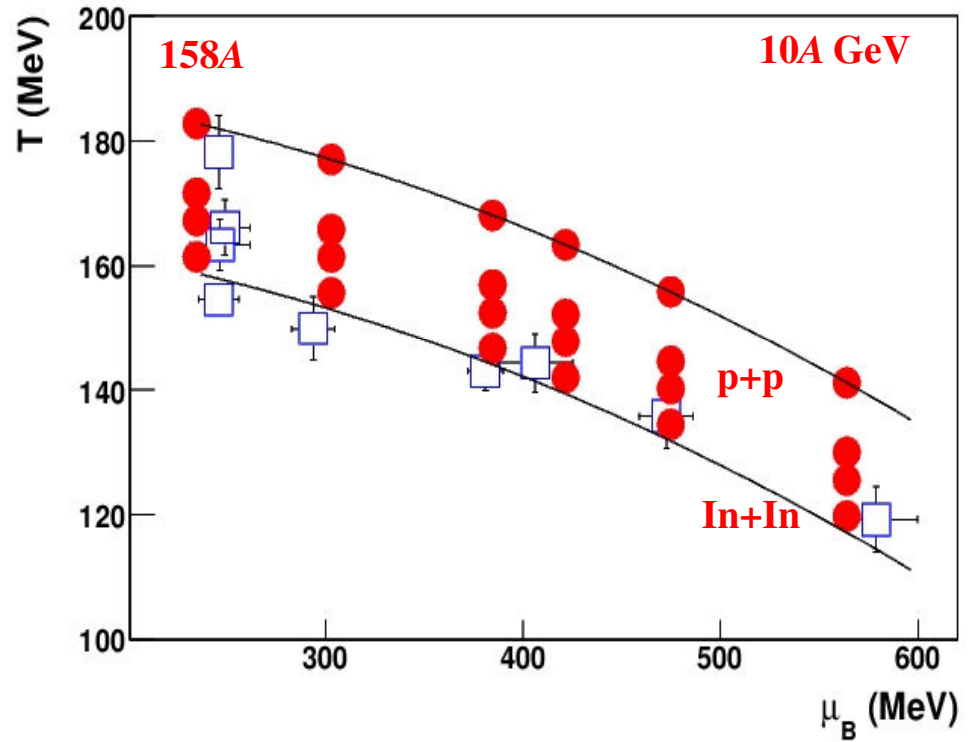
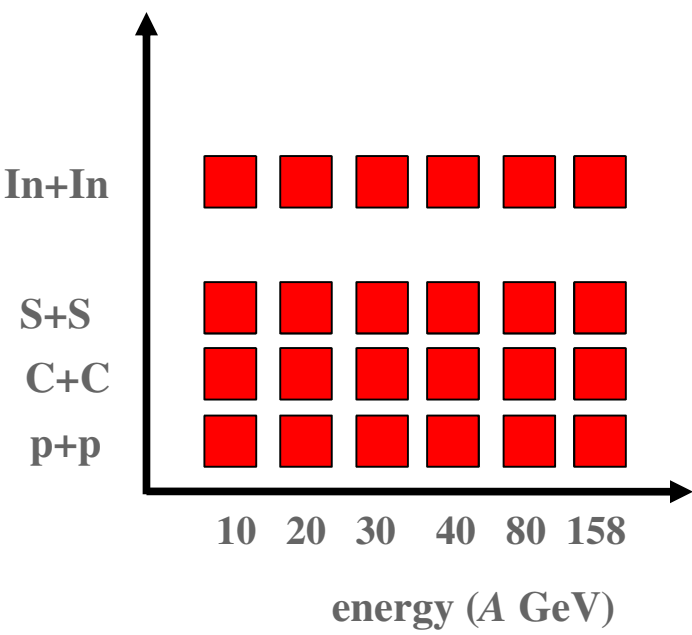


Kritikus pont (E): Fodor and Kratz, Hadron Gas(γ_s): J. Manninen et al., Grey band: elsőrendű fázisátalakulás]

- az $\langle m_t \rangle$ energiafüggésében is változás figyelhető meg az alacsonyabb SPS energiáknál



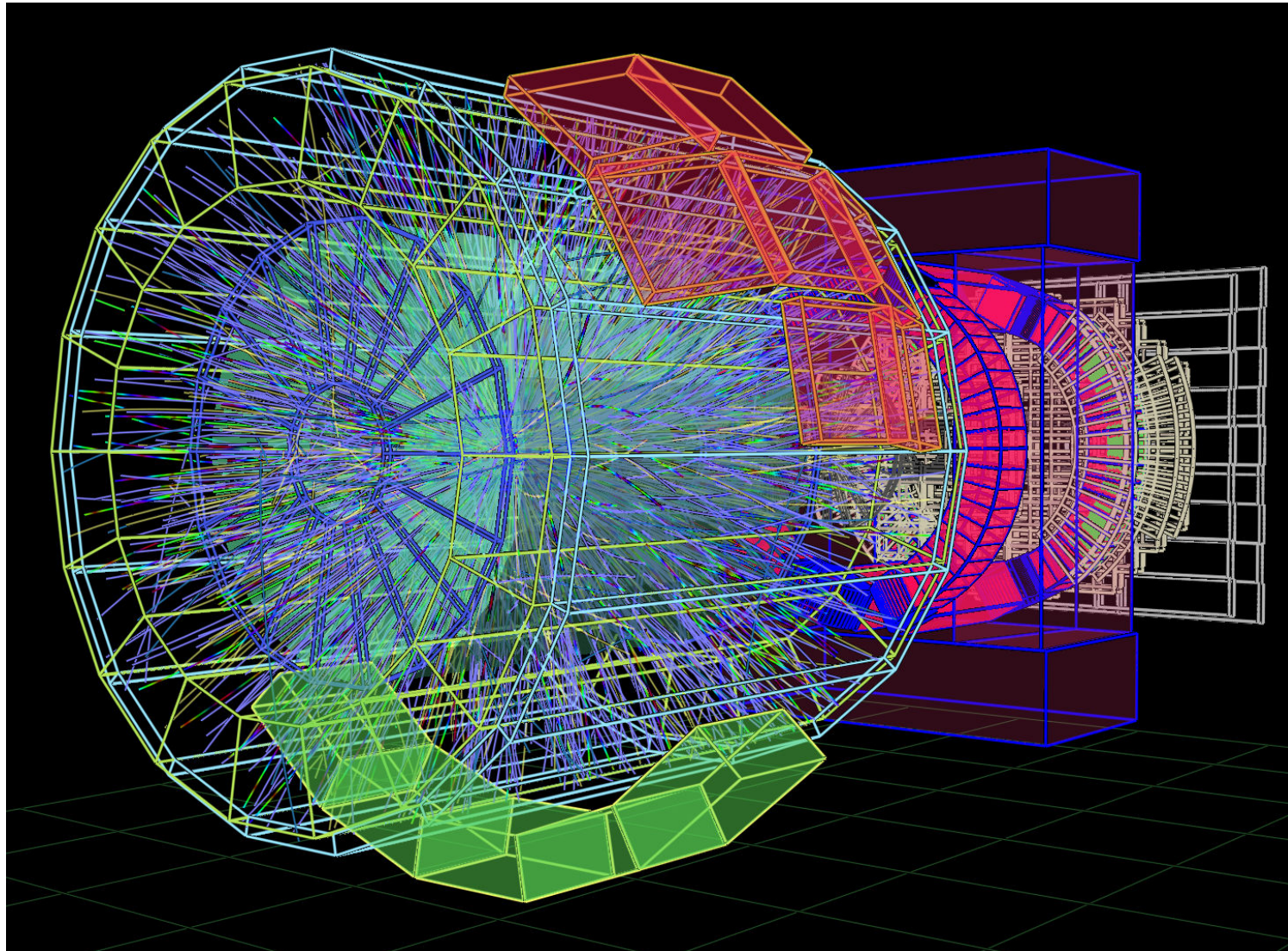
NA61 tervezett mérései



Azt várjuk, hogy, kritikus pont környékén megnőnek a fluktuációk

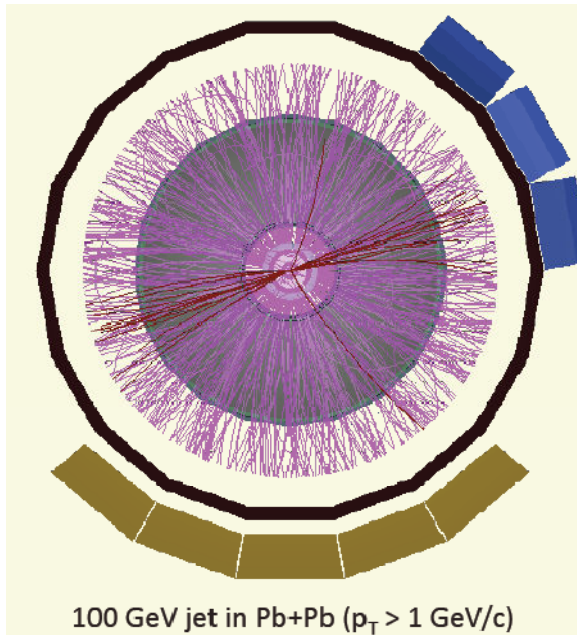
Fluctuations and CP: Stephanov, Rajagopal, Shuryak, Phys. Rev. D 60, 114028

Freeze-out points: Becattini et al., Phys. Rev. C 73, 044905



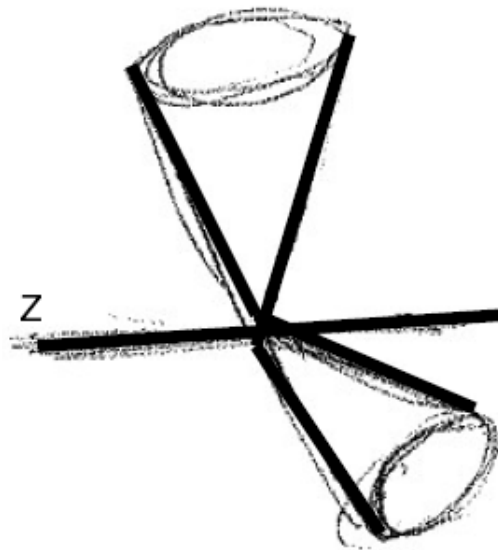
Fizikai analízis (kísérleti):

jetek vizsgálata
 $p+p$ és $PbPb$ ütközésekben



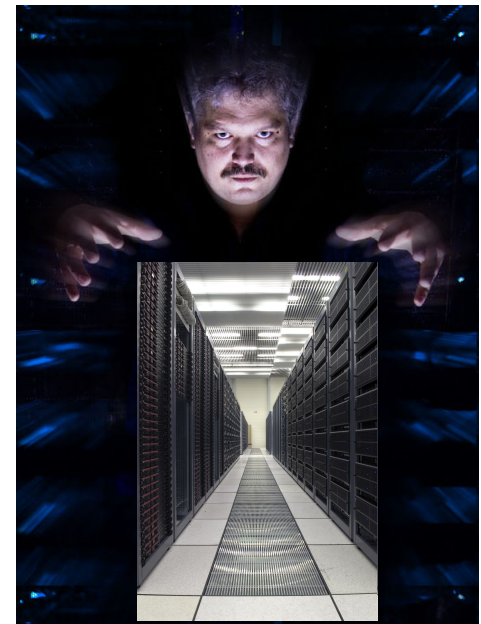
Fizikai analízis (elméleti):

Jetek és kölcsönhatásaik vizsgálata:
 QCD, rekombináció, ...



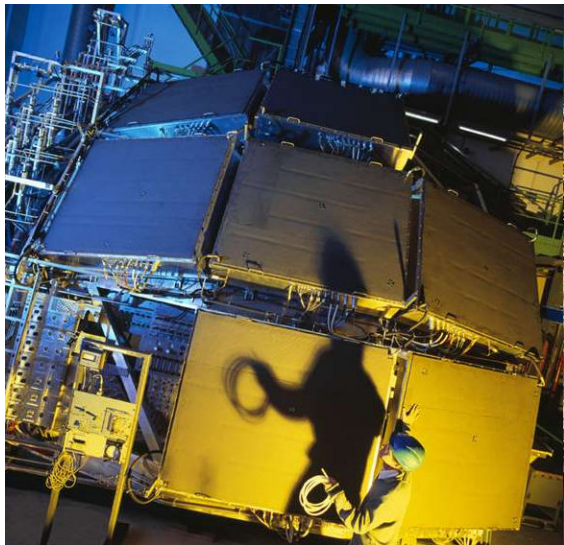
ALICE Grid:

Az RMKI Tier 2.es
 Grid központjának
 üzemeltetése



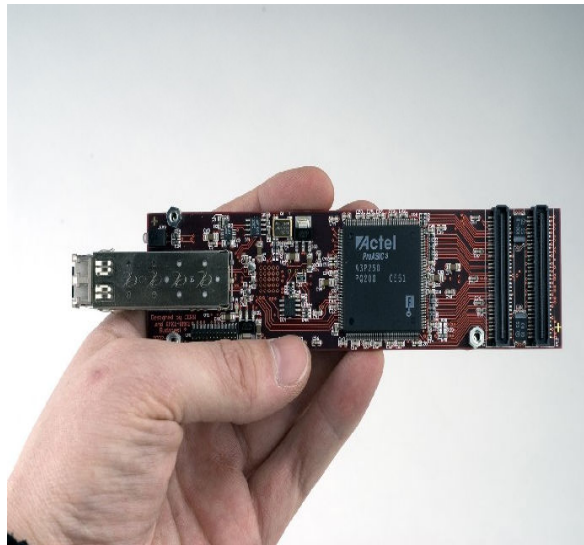
Detektor feladatok:

Az ALICE – HMPID
detektorának
Run Koordinációja



Új hardware építése:

Az ALICE kiolvasó
elektronikájának
(DDL = Detector Data Link)
továbbfejlesztése



ALICE továbbfejlesztés:

Új detektor – VHMPID –
építése az ALICE-ben

