

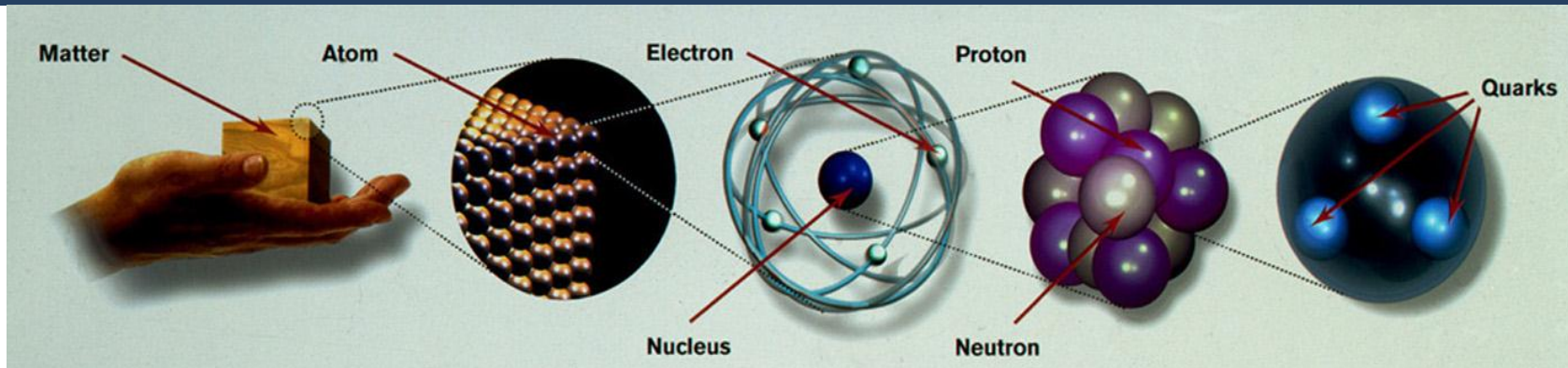
# Bevezetés a nehézion-fizikába

**Zoltán Fodor**

KFKI – RMKI



# Az anyag elemi építő kövei



## Napjaink periódusos rendszere

	Quarks		Leptons	
<b>Generation 3</b>	Top	Bottom	Tau	Tau-neutrino
<b>Generation 2</b>	Charm	Strange	Muon	Muon-neutrino
<b>Generation 1</b>	Up	Down	Electron	Electron-neutrino

Kölcsönhatásuk különbözik az eddig ismertektől → csak kötött állapotban lehetnek

De minidig így volt ez ?

- 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?

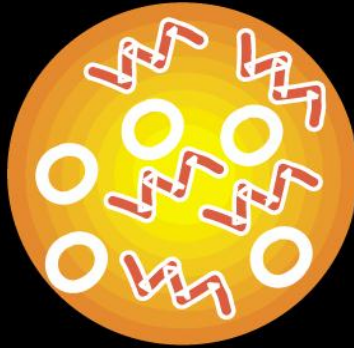
- A quarkok be vannak zárva, a mai normál körülmények közötti állapotban.
- Mi történik akkor, ha a részecskék olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy már nincs közöttük szabad hely?

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?

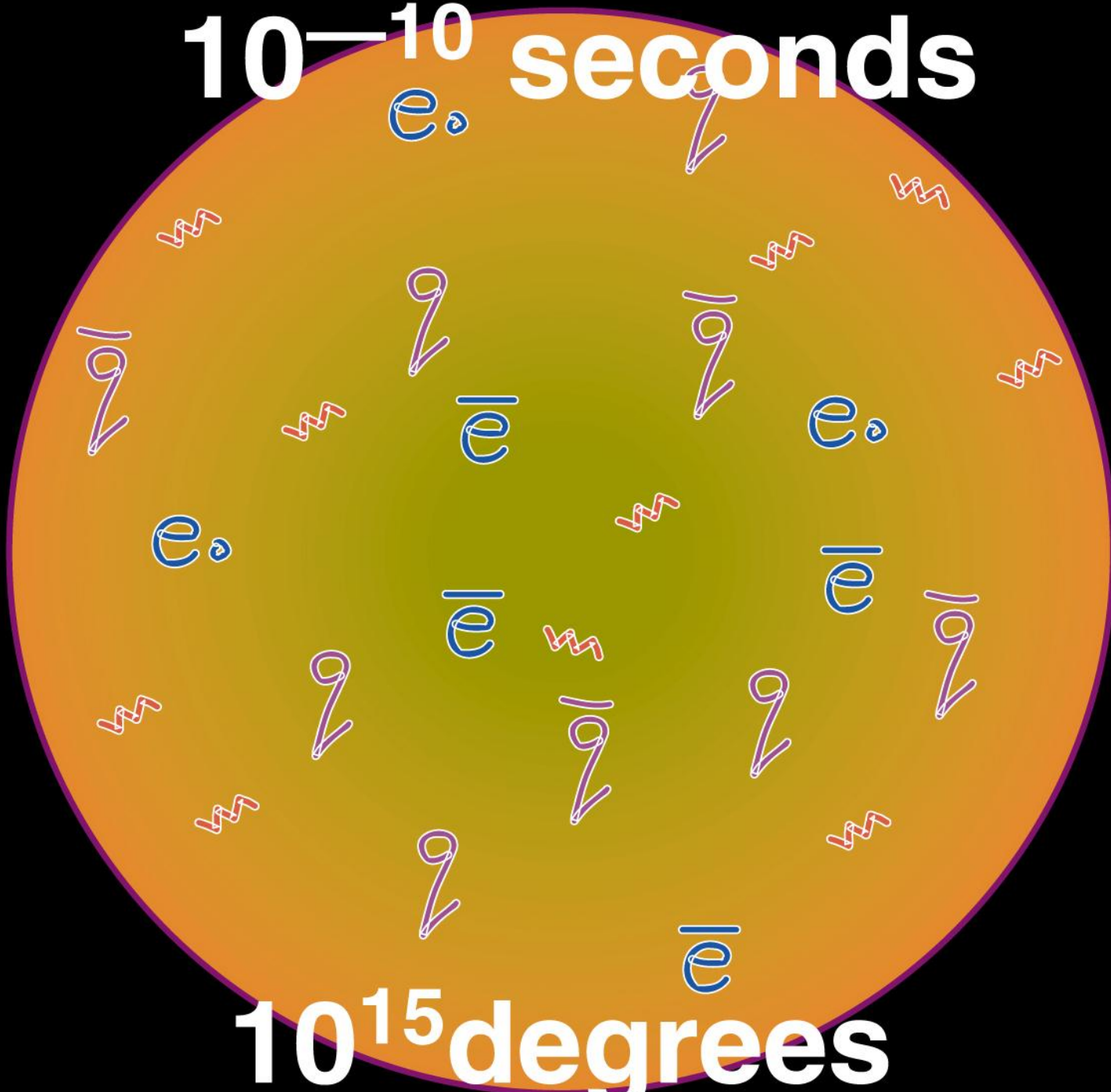
$10^{-43}$  seconds



$10^{32}$  degrees

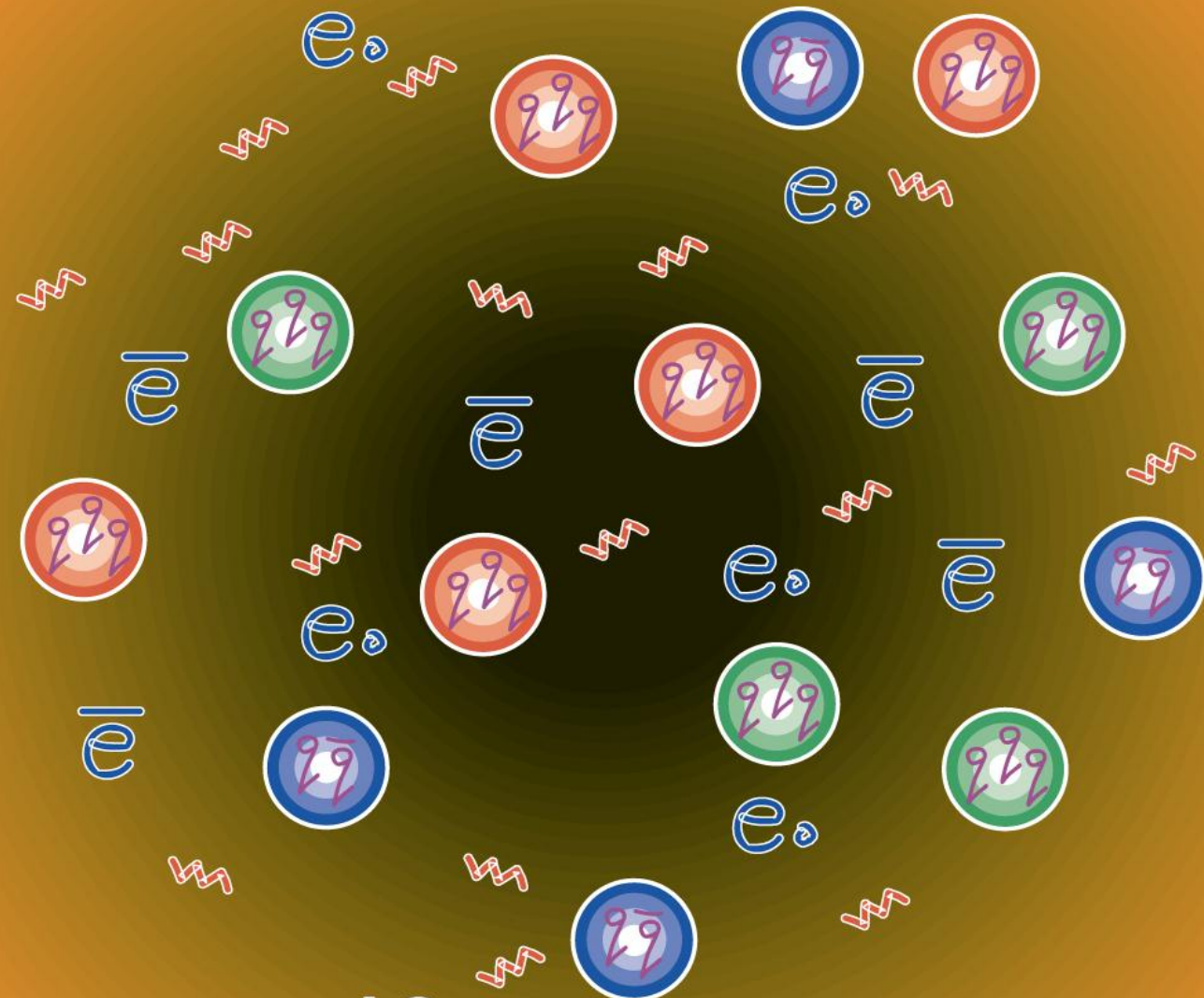


$10^{-10}$  seconds



$10^{15}$  degrees

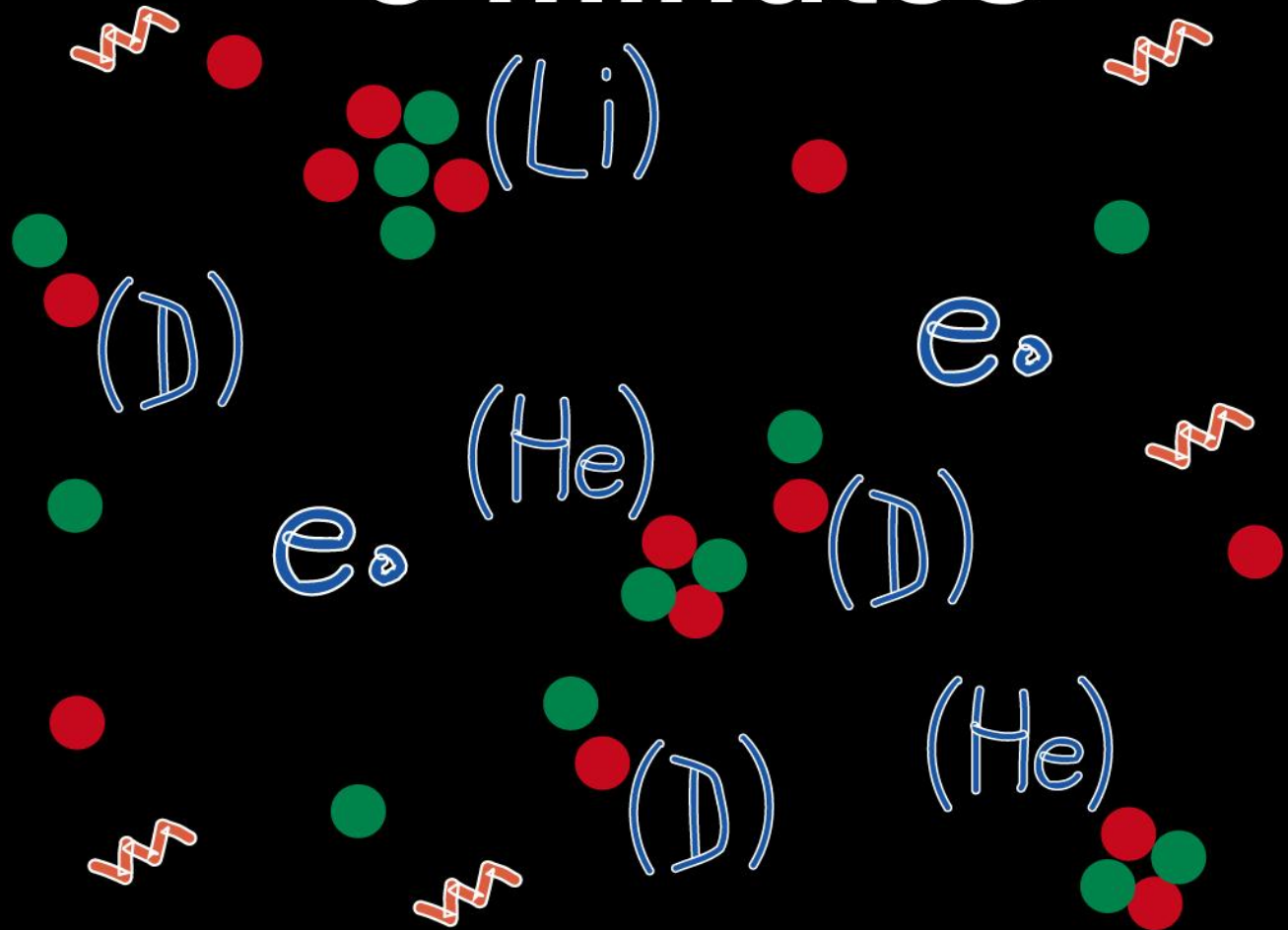
$10^{-5}$  second



$10^{10}$  degrees



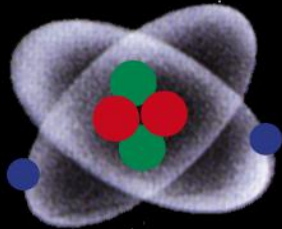
**3 minutes**



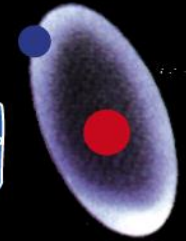
**$10^9$  degrees**

300 thousand  
years

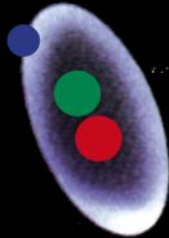
He



H



D



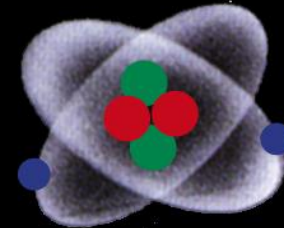
H



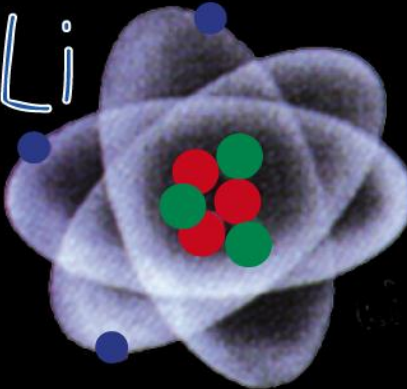
D



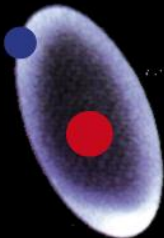
He



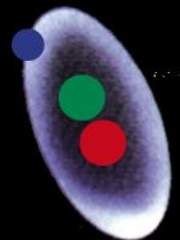
Li



H

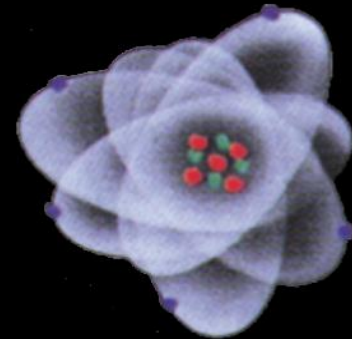


D



6000 degrees

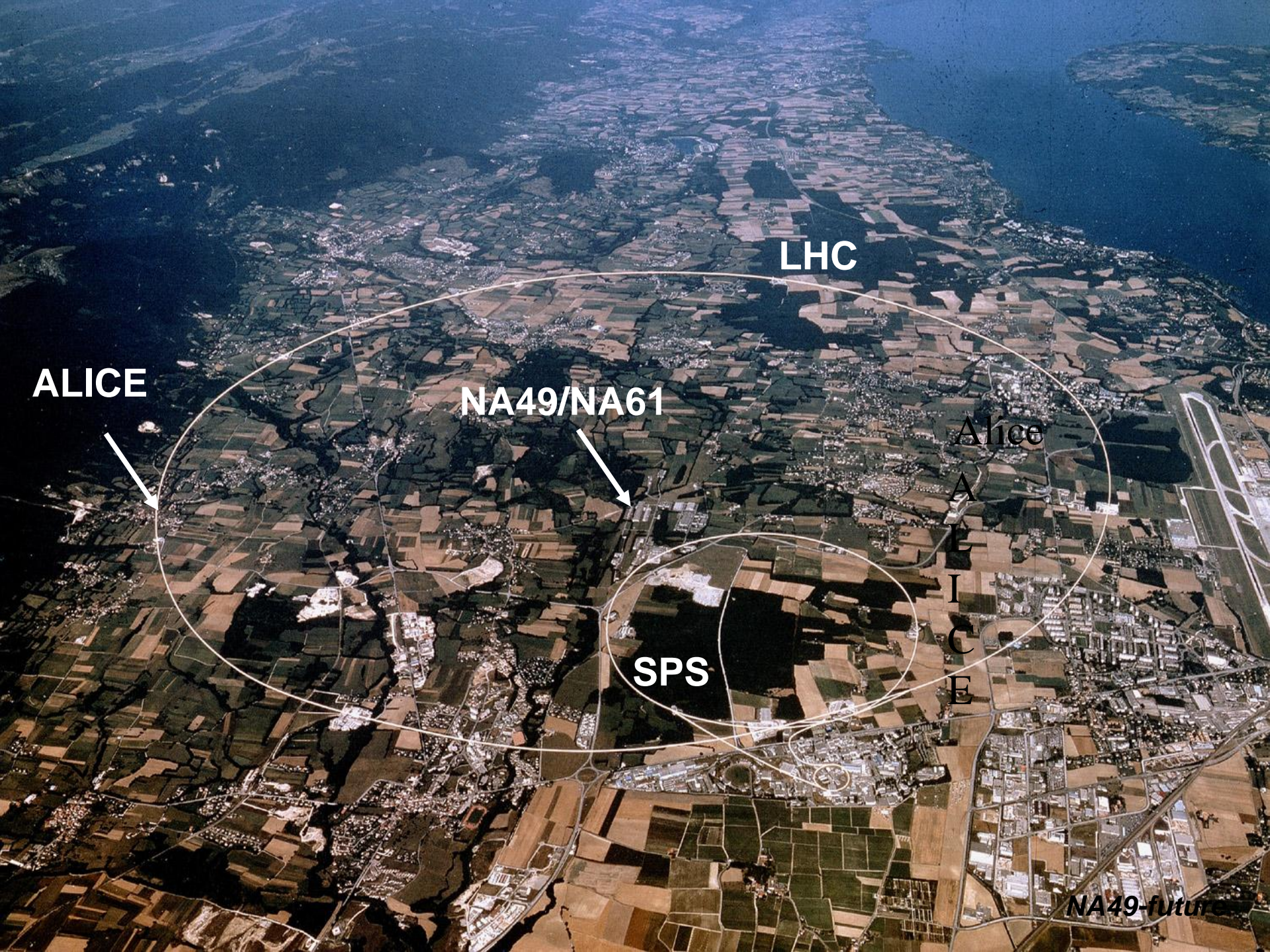
**1 thousand  
million years**



**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	22GeV(45 GeV)	<b>2018</b>



LHC

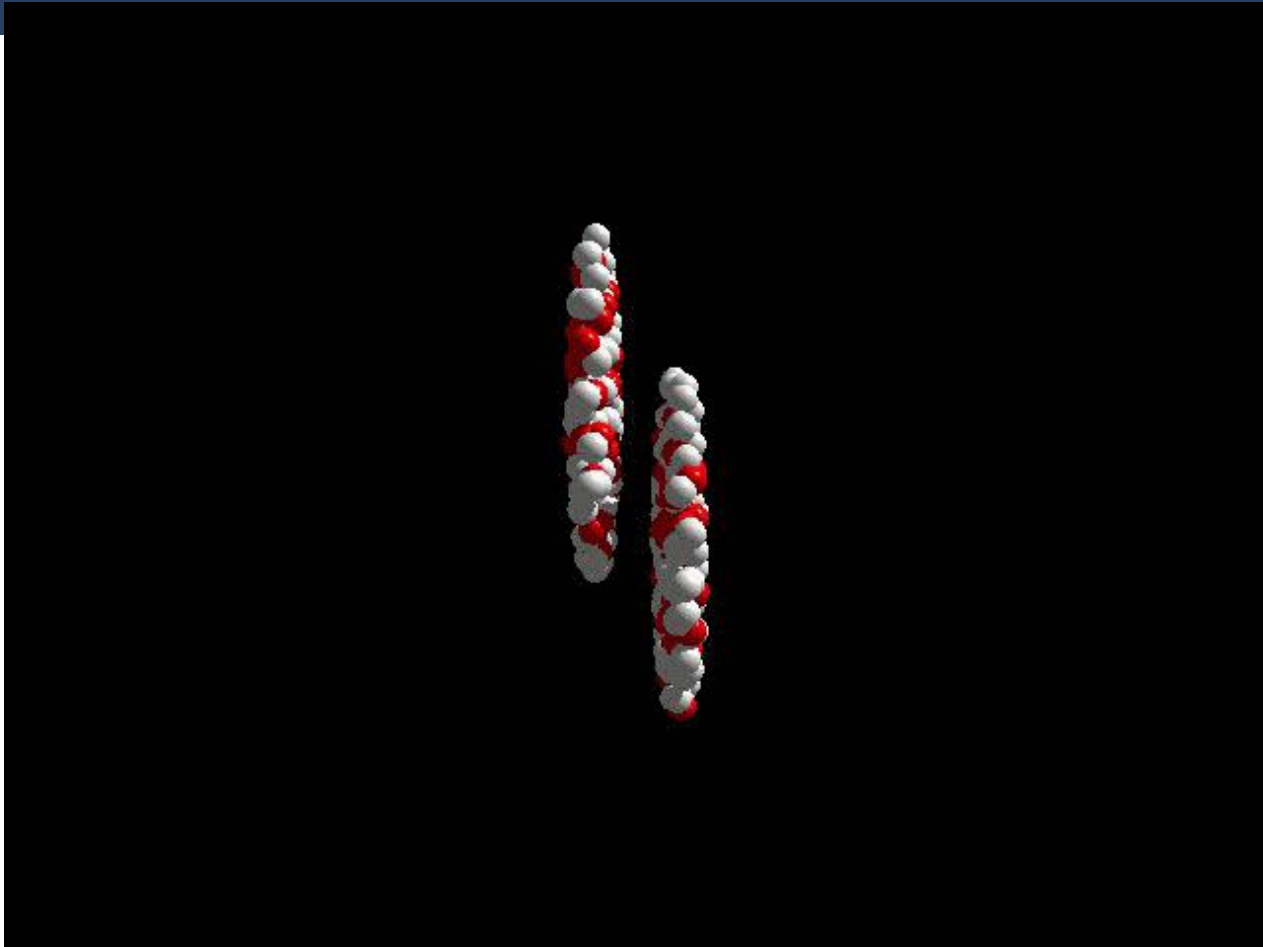
ALICE

NA49/NA61

Alice  
A  
L  
I  
C  
E

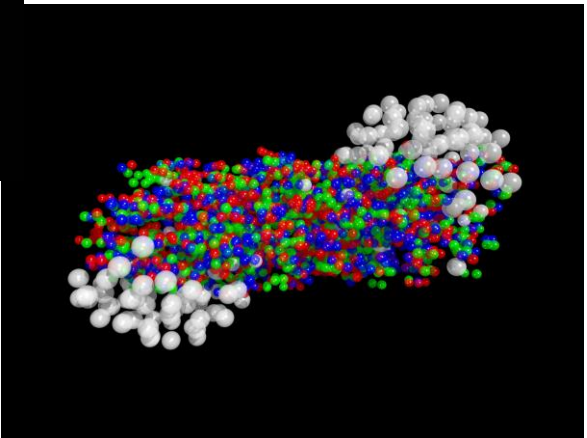
SPS

NA49-future



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

**Szimuláció  
 $10^{-13} \text{ cm}$  méretskálán**



- **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 meghatározása
  - Részecske tulajdonságainak meghatározása a maganyagban

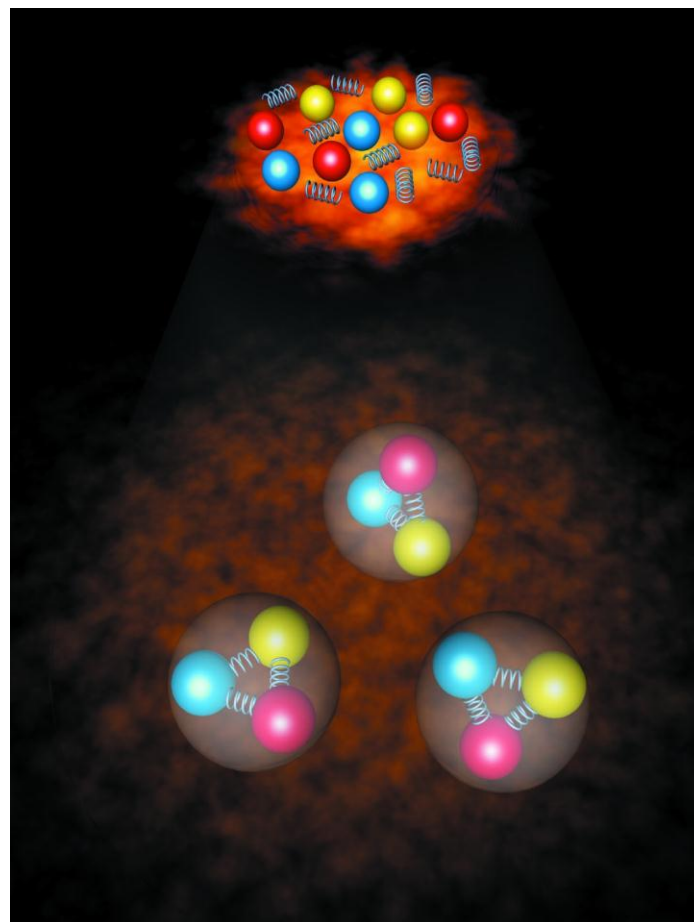


- **Ütközési paraméter**
  - A nem kölcsönható anyagrész mennyiségének mérése
  - Az ütközésben keletkezett részecskék számának mérése
- **A keletkezett tűzgömb geometriai nagysága**
  - Azonos típusú részecskék eloszlásából
- **A tűzgömb hőmérséklete**
  - A keletkezett részecskék nyalábra merőleges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

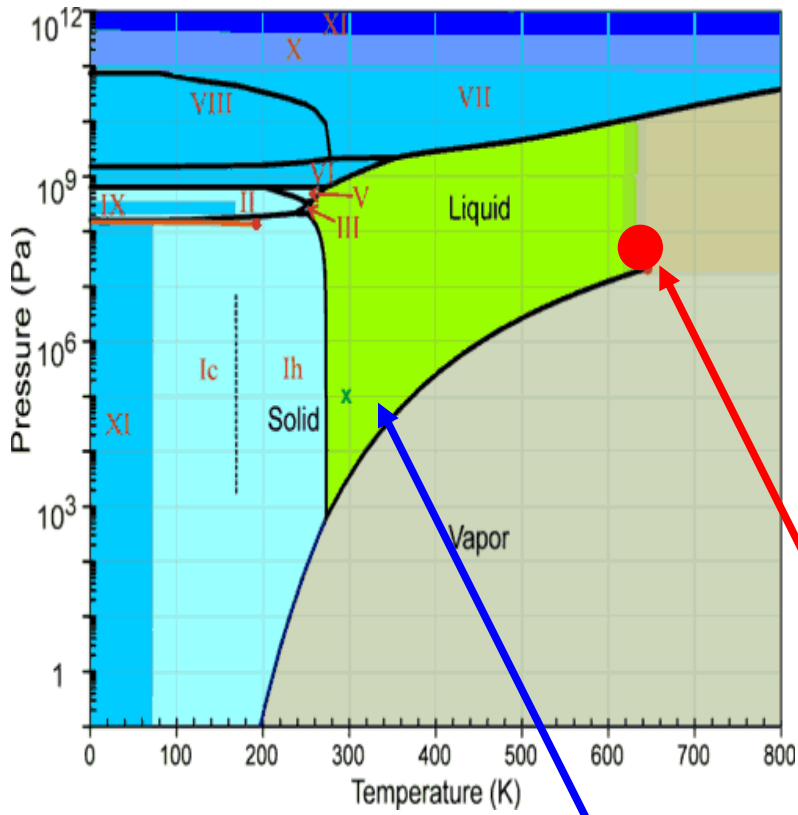
## A víz fázisai



## Az erősen kölcsönható anyag fázisai



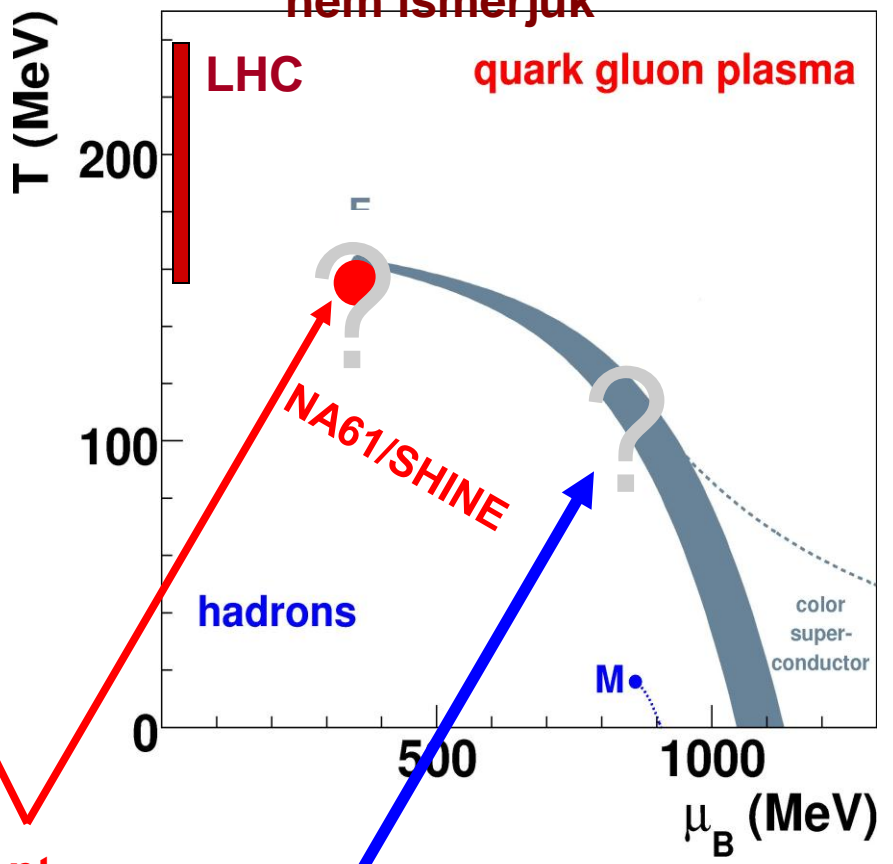
### A víz fázisgörbéi



**Kritikus pont**

**Első rendű fázisátalakulás**

### A maganyag fázis görbéit még nem ismerjük



**Baryochemical potential (MeV)**

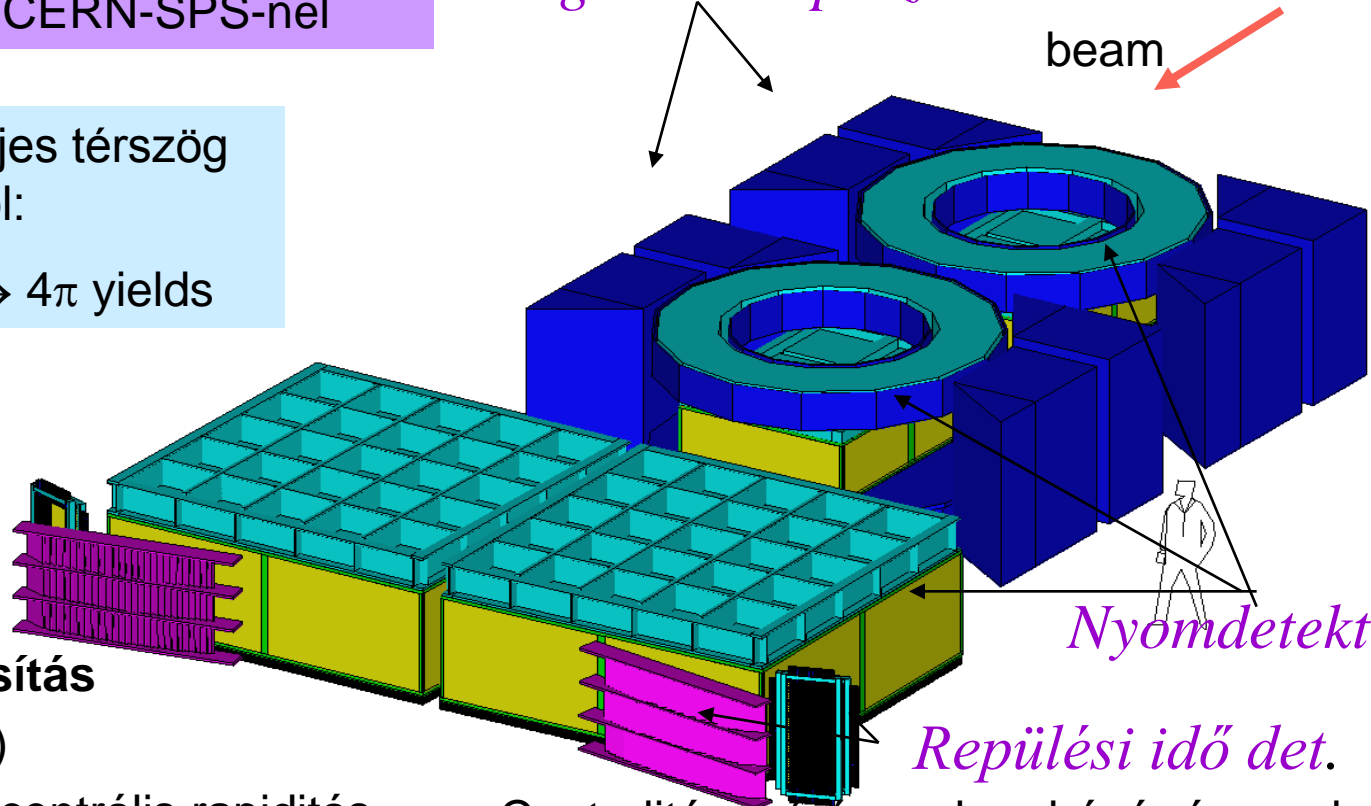
nagy térszögű hadron spektrométer a CERN-SPS-nél

Az előremenő teljes térszög le lett fedve ebből:

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

*Mágnesek impulzus mérésre*

beam



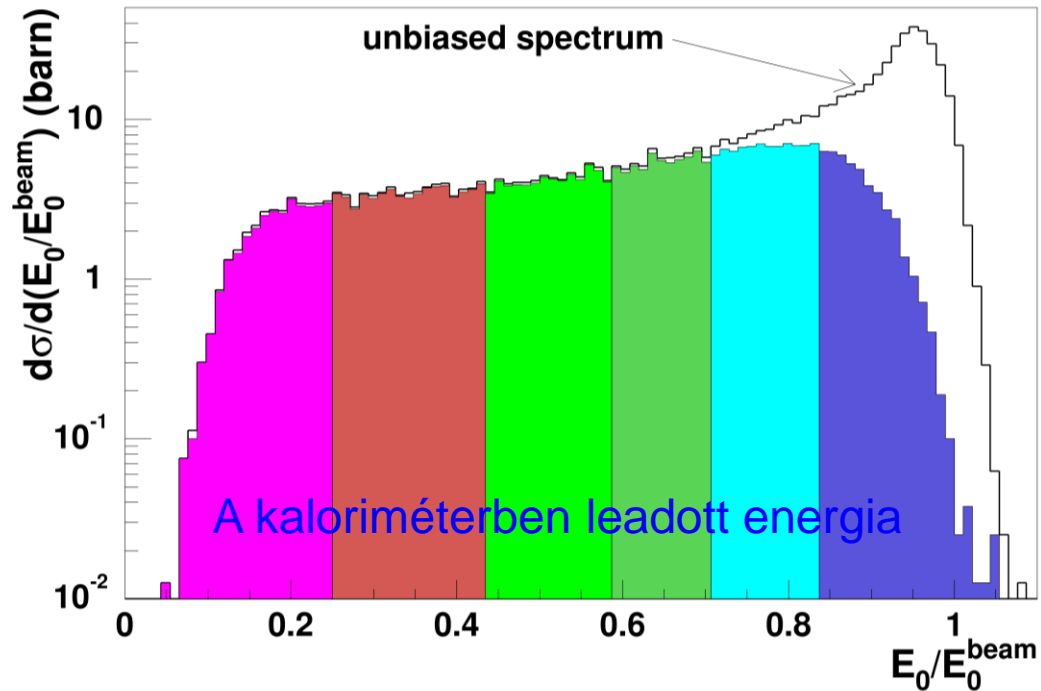
*Nyomdetektorok*

*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	$362 \pm 12$
2	0.09	4.6	$304 \pm 16$
3	0.09	5.7	$241 \pm 16$
4	0.09	7.0	$188 \pm 16$
5	0.15	8.5	$130 \pm 14$
6	0.52	10.5	$72 \pm 8$

- 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+Si          | 158, 40 GeV/n                 |
| • Pb+Pb               | 158, 80, 40, 30, 20, 10 GeV/n |
| • p+p                 | 158, 80, 40, 30, 20, 10 GeV   |
| • p+Pb, p+C           | 158 GeV                       |
| • $\pi$ +p, $\pi$ +Pb | 158 GeV                       |
| • n+p, /d+p -ból/     | 158 GeV                       |

NA61-ben tervezett

Xe+La 13-160 GeV/n

Ar+Ca 13-160 GeV/n

Be+Be 13-160 GeV/n

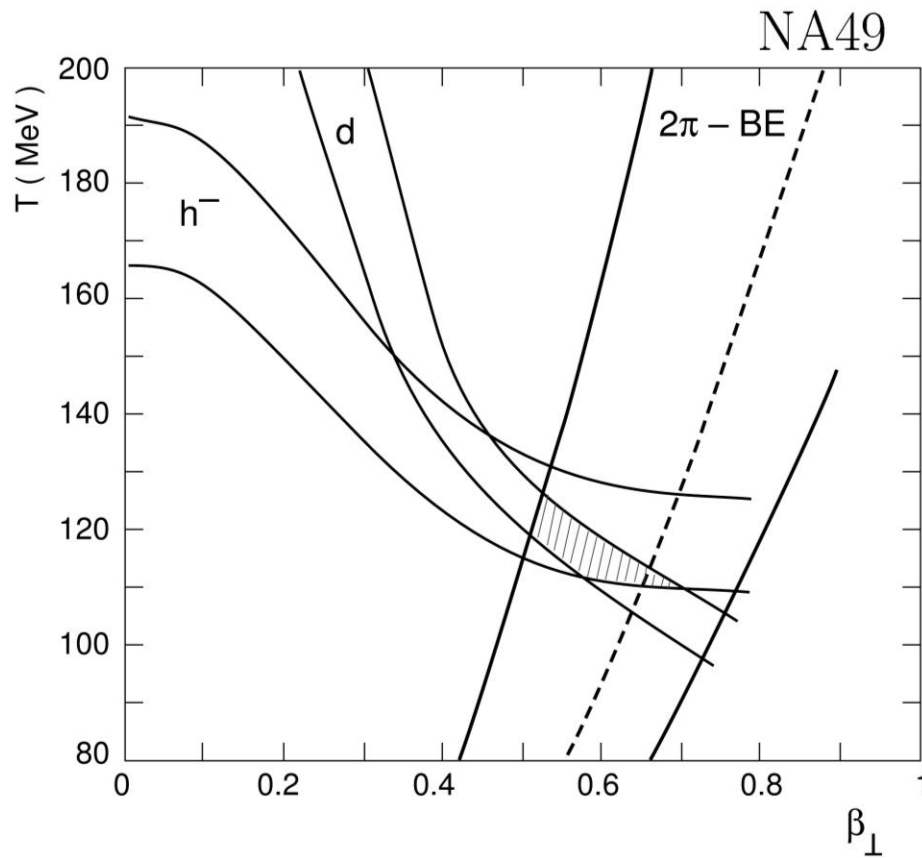
# A tűzgömb méretének meghatározása

- 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

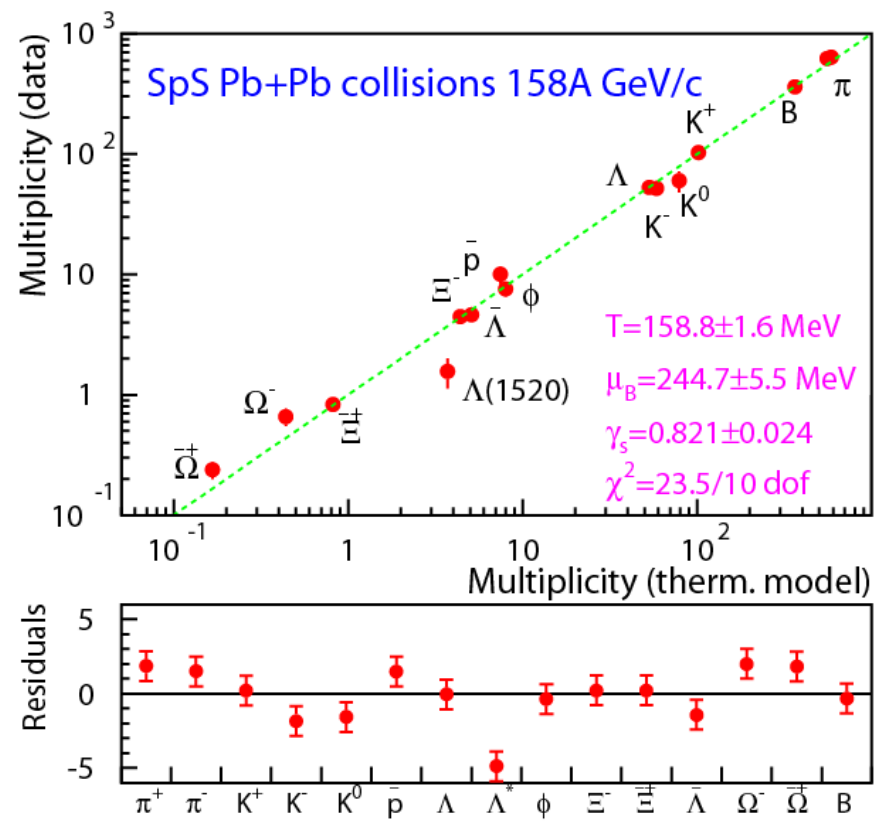


A tűzgolyó hőmérséklete



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

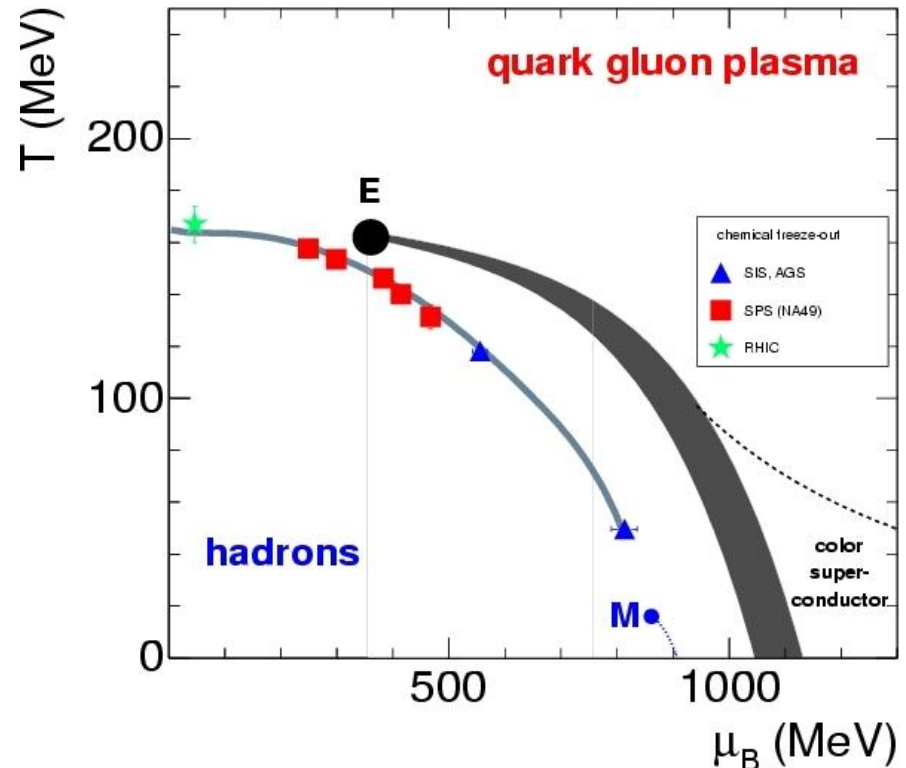
→  $(T, \mu_B)$  a hadrokémiai kifagyásnál

Új program a kritikus pont kísérleti kimutatása:

- Fluktuációk mérésével a bombázó energia és atommag függvényében

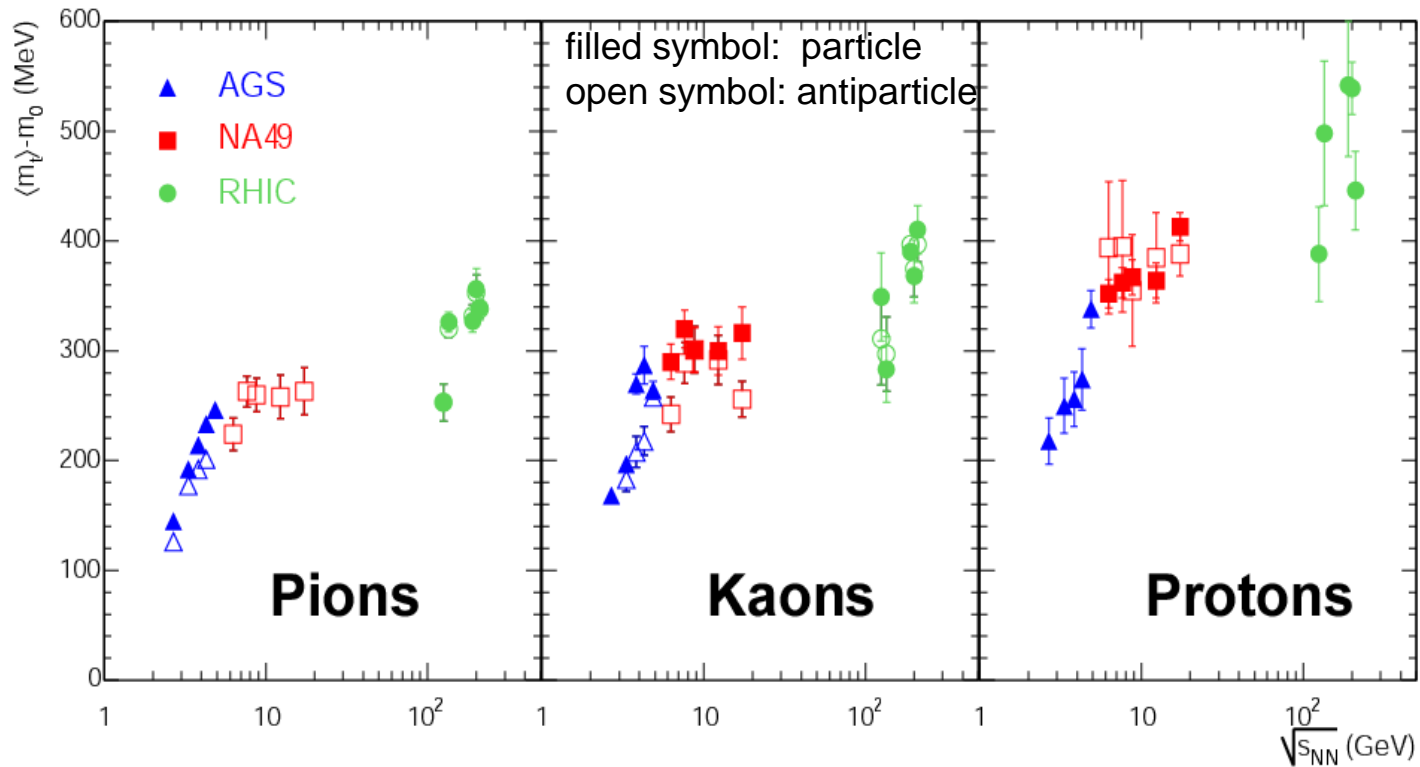
**NA61**

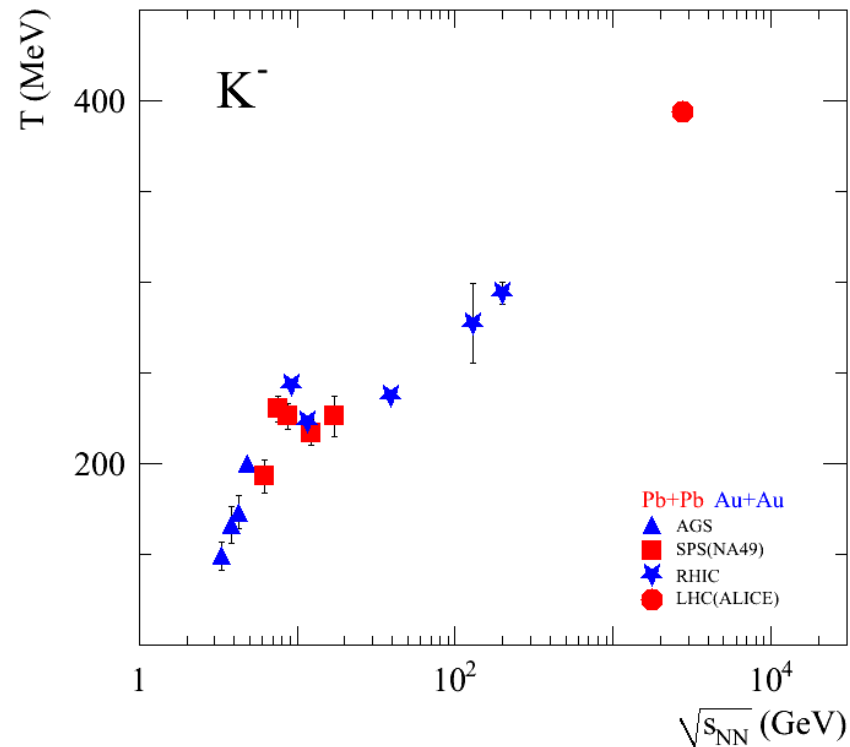
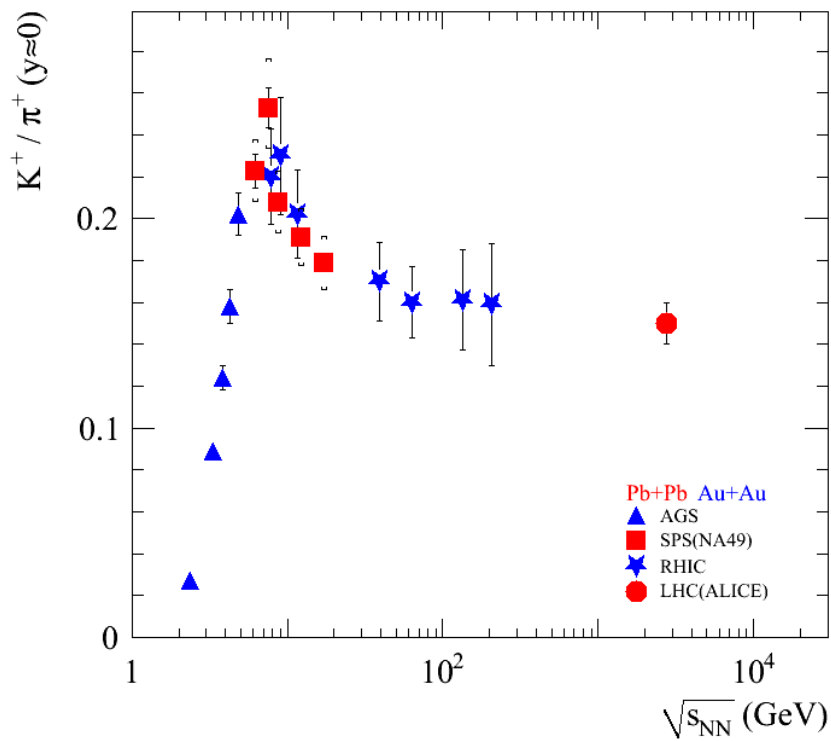
- A deconfinementet hol érjük el? Az SPS-nél vagy a RHIC-nél?
- Alacsony SPS energiáknál
  - Csökkenő hőmérséklet
  - növekvő barion sűrűség
  - (depart from phase boundary)



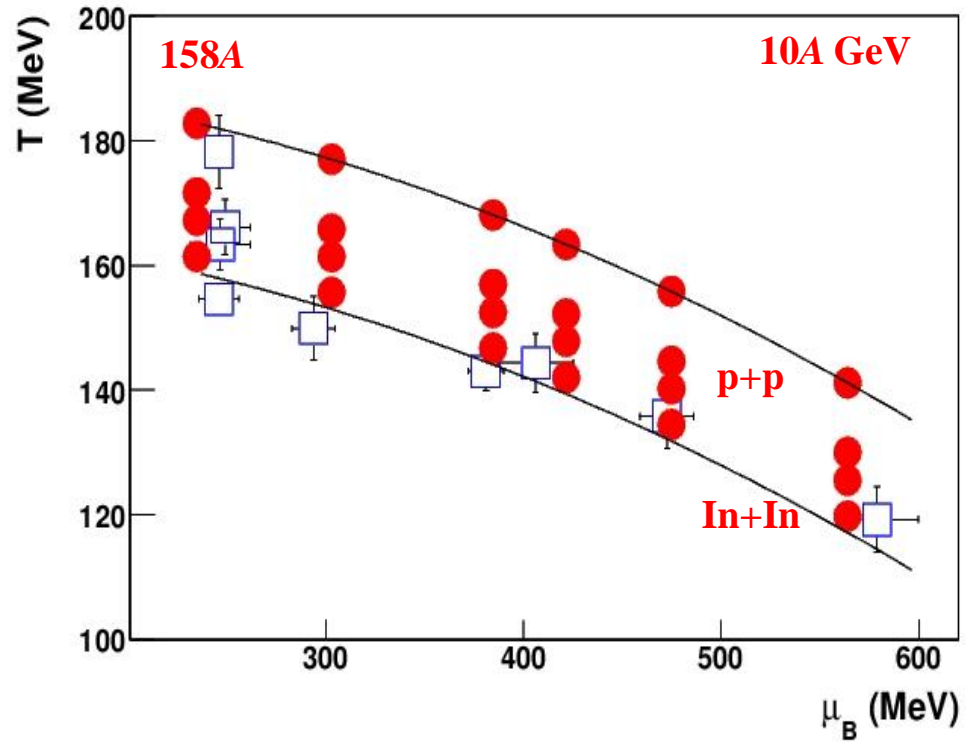
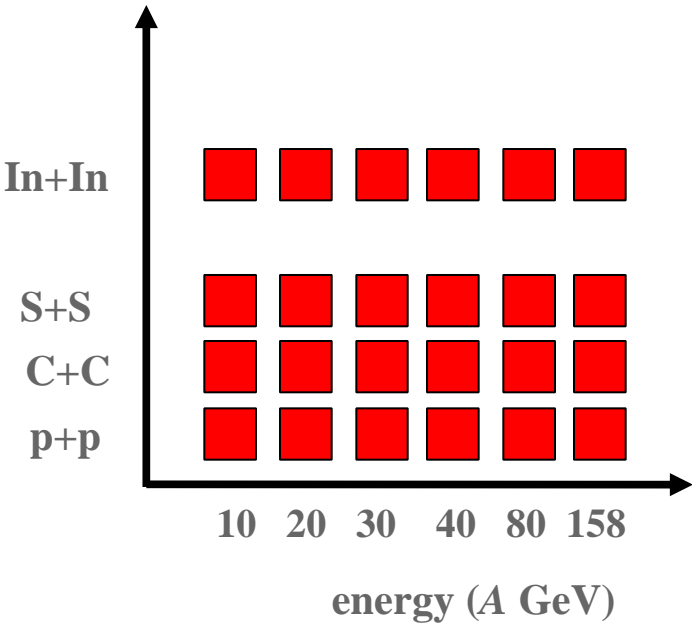
Kritikus pont (E): Fodor and Kratz,  
Hadron Gas( $\gamma_s$ ): J. Manninen et al.,  
Grey band: elsőrendű fázisátalakulás]

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





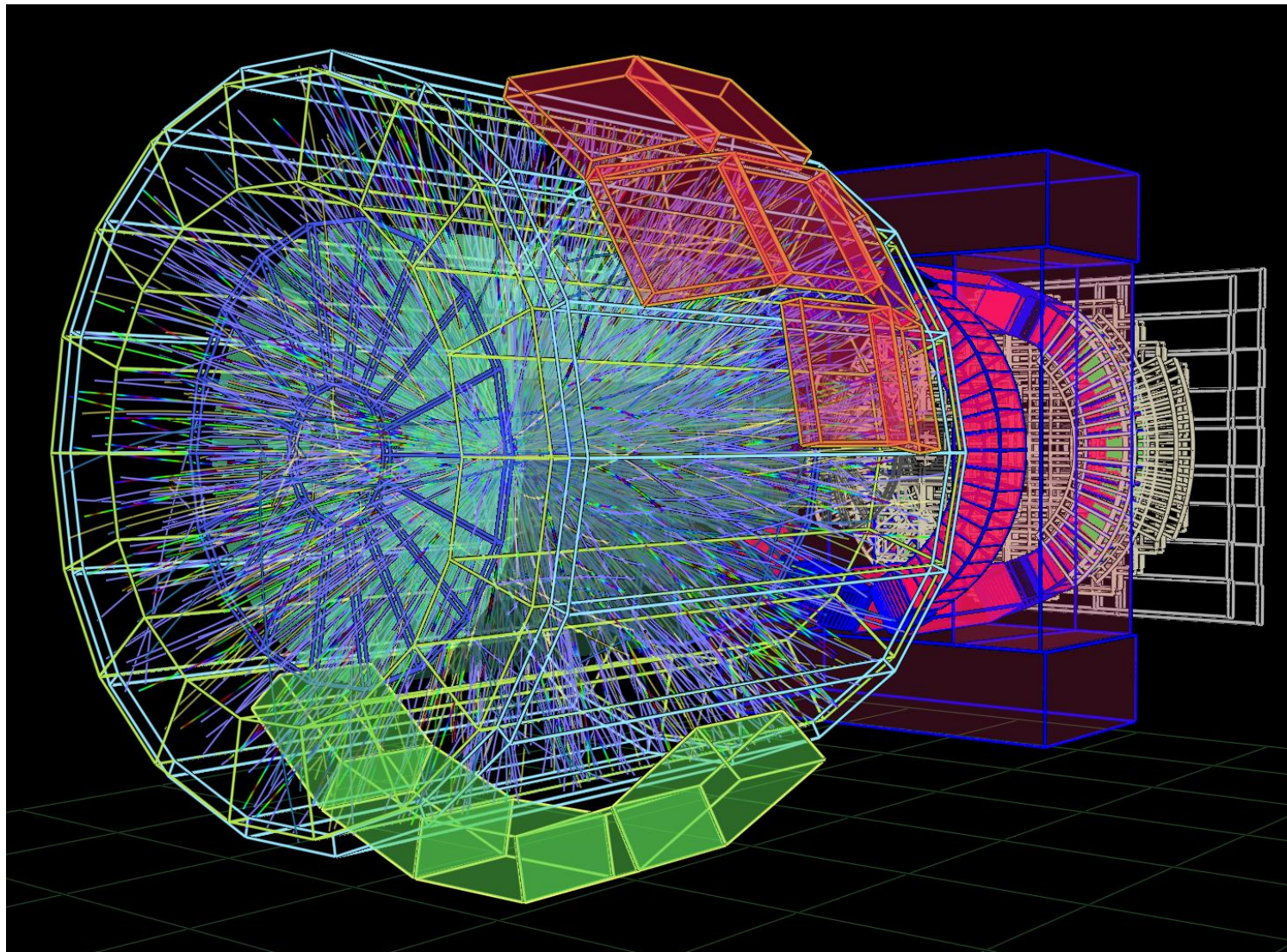
**NA61 tervezett mérései**



**Azt várjuk, hogy, kritikus pont környékén megnőnek a fluktuációk**

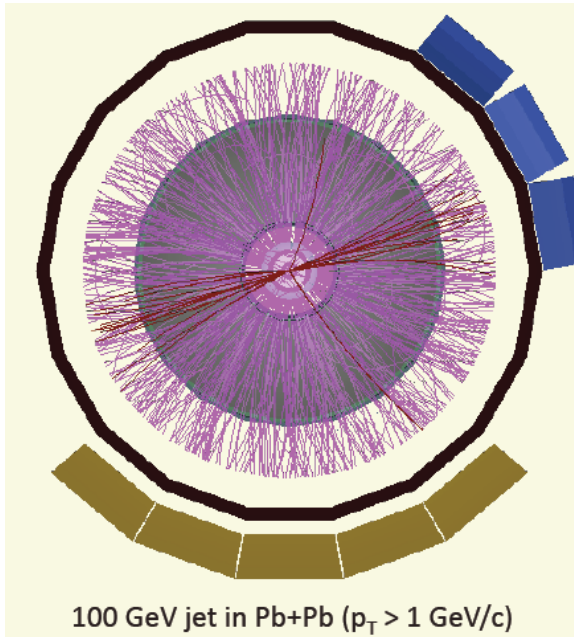
*Fluctuations and CP: Stephanov, Rajagopal, Shuryak, Phys. Rev. D 60, 114028*

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



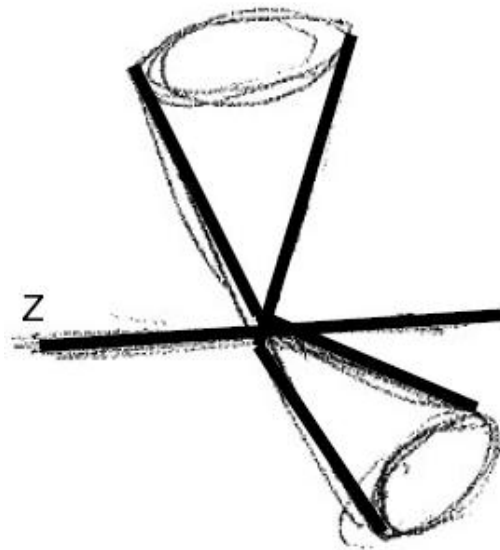
## Fizikai analízis (kísérleti):

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



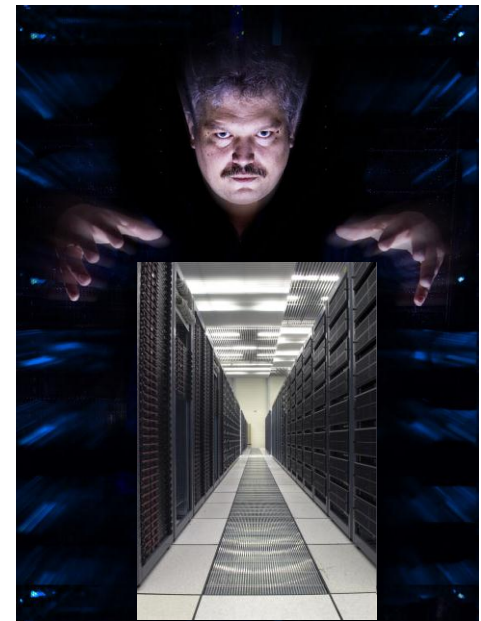
## Fizikai analízis (elméleti):

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



## ALICE Grid:

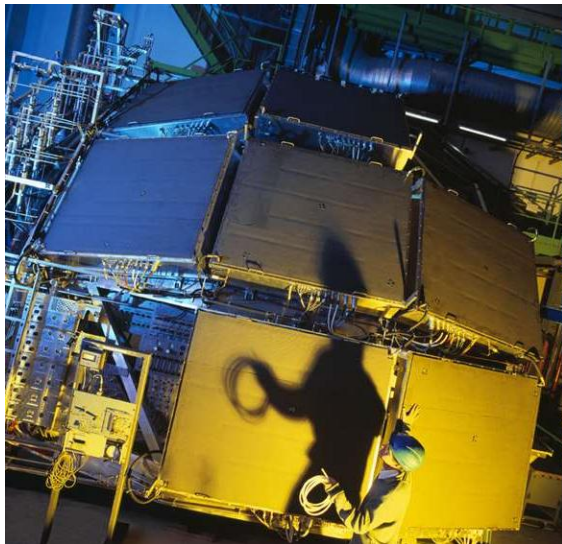
Az RMKI Tier 2.es  
 Grid központjának  
 üzemeltetése





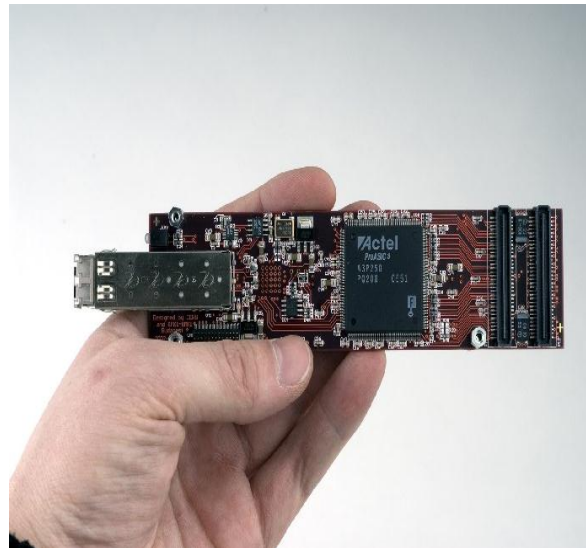
## Detektor feladatok:

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

