



Nagy Márton

Az űsanyag nyomában: Nehézionfizikai kutatások Long Island-en

Leövey Klára Gimnázium
Budapest, 2016. november 16.

www.meetthescientist.hu



“Tudásunk sziget az ismeretlen óceánjában, és minél nagyobbra nő ez a sziget, annál hosszabb parton érintkezik az ismeretlennel.”

(Victor Weisskopf)

...erős kölcsönhatás, magfizika, nehézionfizika, kvark-gluon-plazma, részecskegyorsító, PHENIX kísérlet...

+ beszámoló a 2015/2016-os évre kapott Fulbright Kutatói Ösztöndíjról (Stony Brook & BNL, New York)

Részecskefizika...

Mottó: *A részecske egyenletesen mozog a térben.*

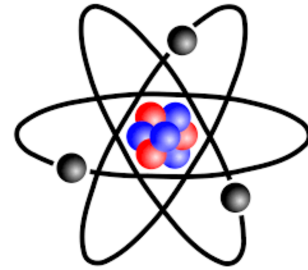
- speciális relativitáselmélet (1905):
...mi is az, hogy *egyenletesen mozog*? (téridő...)
- általános relativitáselmélet (1916):
...mi is az, hogy *a térben*? (görbült téridő...)
- kvantummechanika (1925-től):
...mi is az, hogy *mozog*? (részecske-hullámok...)
- részecskefizika:
...*mi is az, hogy részecske*???

XX. század: minőségi változás az alaptörvényekben!

Részecskék...

Atom (görög “oszthatatlan”): részekből áll:

- **Elektron** (Thomson, 1898: katódsugárzásban)
- **Foton** (Einstein, 1905, rossz érvelés, helyes eredmény...)
- **Proton** (Rutherford, 1913, atommagban)
- **Pozitron** (1928: elektron antirészecskéje, kozmikus sugárzásban)
- Neutron** (Chadwick, 1932, semleges részecske az atommagban)



.....
Müon (olyan, mint az elektron, csak egészen más :D bomlik, nehéz)

Pion (magerőket “közvetíti”, 3 féle: +, 0, -)

Kaonok (4 féle: +, -, a_0 , 0), **Hiperonok** (Ω , Ξ , Λ , Σ , Δ , ...)

... 1960-as évek: **200+ féle “elemi részecske”!**

“Igazi” elemi részecskék: **kvarkok** (proton, neutron, stb. alkotórészei)
leptonok (pl. elektron, müon)

Részecskék...

Fermionok: kvarkok, leptonok (3 “család”)

u up kvark	d down kvark	e elektron	ν_e elektron-neutrínó
c charm kvark	s strange kvark	μ műon	ν_μ műon-neutrínó
t top kvark	b bottom kvark	τ tauon	ν_τ tau-neutrínó

Bozonok: közvetítőrészcskék

W W bozon	Z Z bozon	γ foton	g gluon
gyenge köölcsönhatás		elektromágneses köölcsönhatás	erős köölcsönhatás

H Higgs bozon
tömeg

...és kölcsönhatásaik

Gravitáció:

- Evolúció :)
- Newton, Einstein...



Elektromágneses

- Mágneses és elektromos kapcsolata (ókor: filozofálás, Oersted: kísérlet)
- Faraday, Ampère, Maxwell...

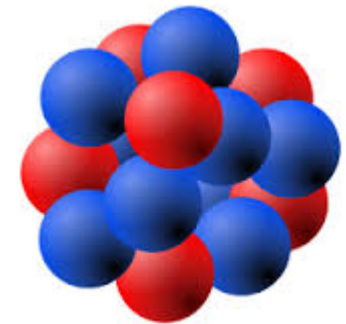
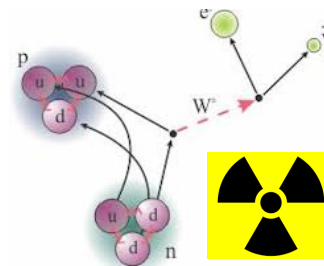


Gyenge kölcsönhatás:

- Radioaktív bomlások (b-bomlás...)

Erős kölcsönhatás:

- atommagok összetartóereje
- mélyebben: kvarkok összetartója a protonon belül!



Az elektromágneses és az erős...

Elektromágneses:

Forrás: töltés (1 féle)

Közvetítőrészcseke: *foton*
elektromosan semleges!

Történet:

első ismeretek: antik idők

~1790: galvánelemek, áramok

~1830-1900: alapelmélet

~1900-tól napjainkig: alkalmazás

Faraday, 1831:

- “*Mi haszna van egy ma
született csecsemőnek?*”

Erős:

Kvarkok: háromféle *színtöltés*:

piros, kék, zöld

Közvetítő: *gluon, színes!*

Történet:

- első ismeretek: ~1940

~1970: alapvető elmélet

~napjainkig: elmélet igazolása,
vizsgálata

Alkalmazás:

“*Ma született csecsemő!*”

Utazás: az időben visszafelé, az anyag szerkezetébe

~13.4 milliárd évvel ezelőtt

- Sűrű, forró Univerzum

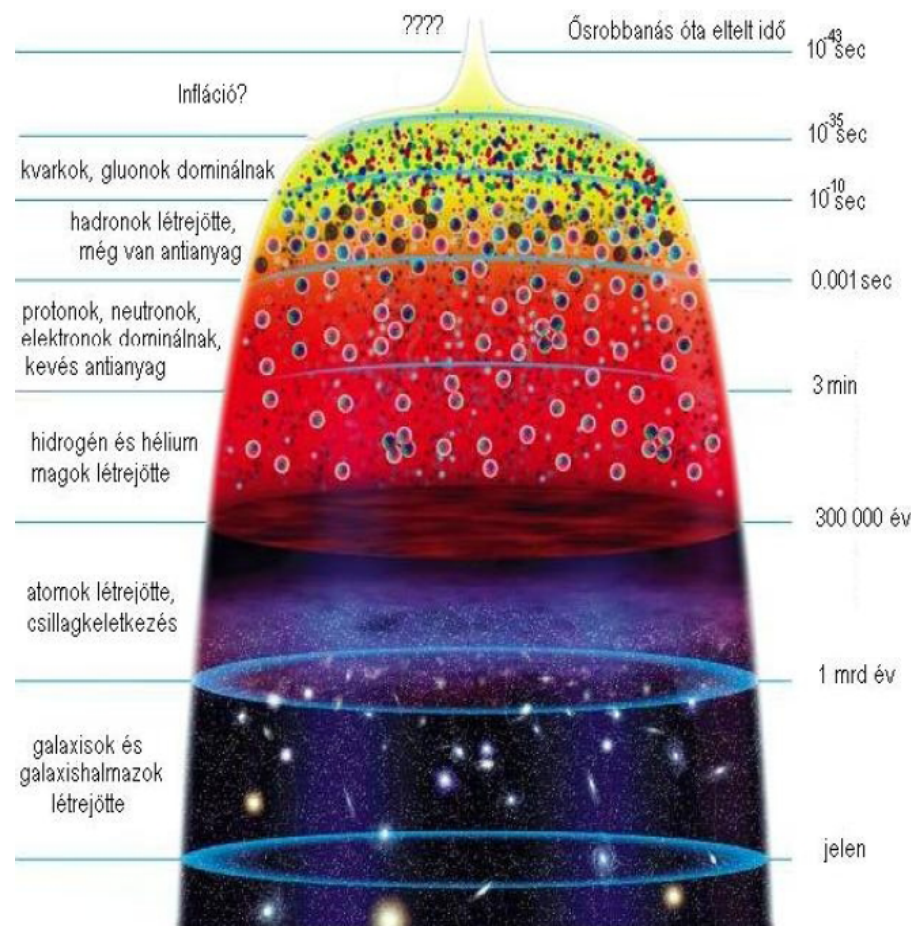
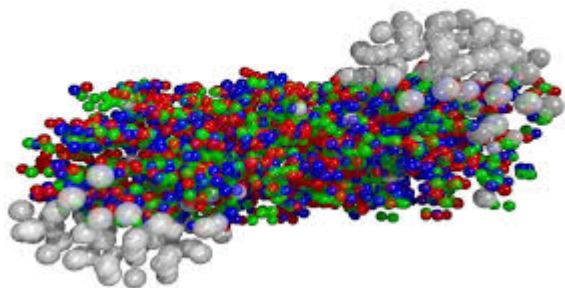
Egyre kisebb méretek →

Egyre nagyobb energia!

- Molekulák → atomok →

→ proton, neutron → kvarkok!

- Vizsgálati módszer: nagy energiájú részecskeütközések

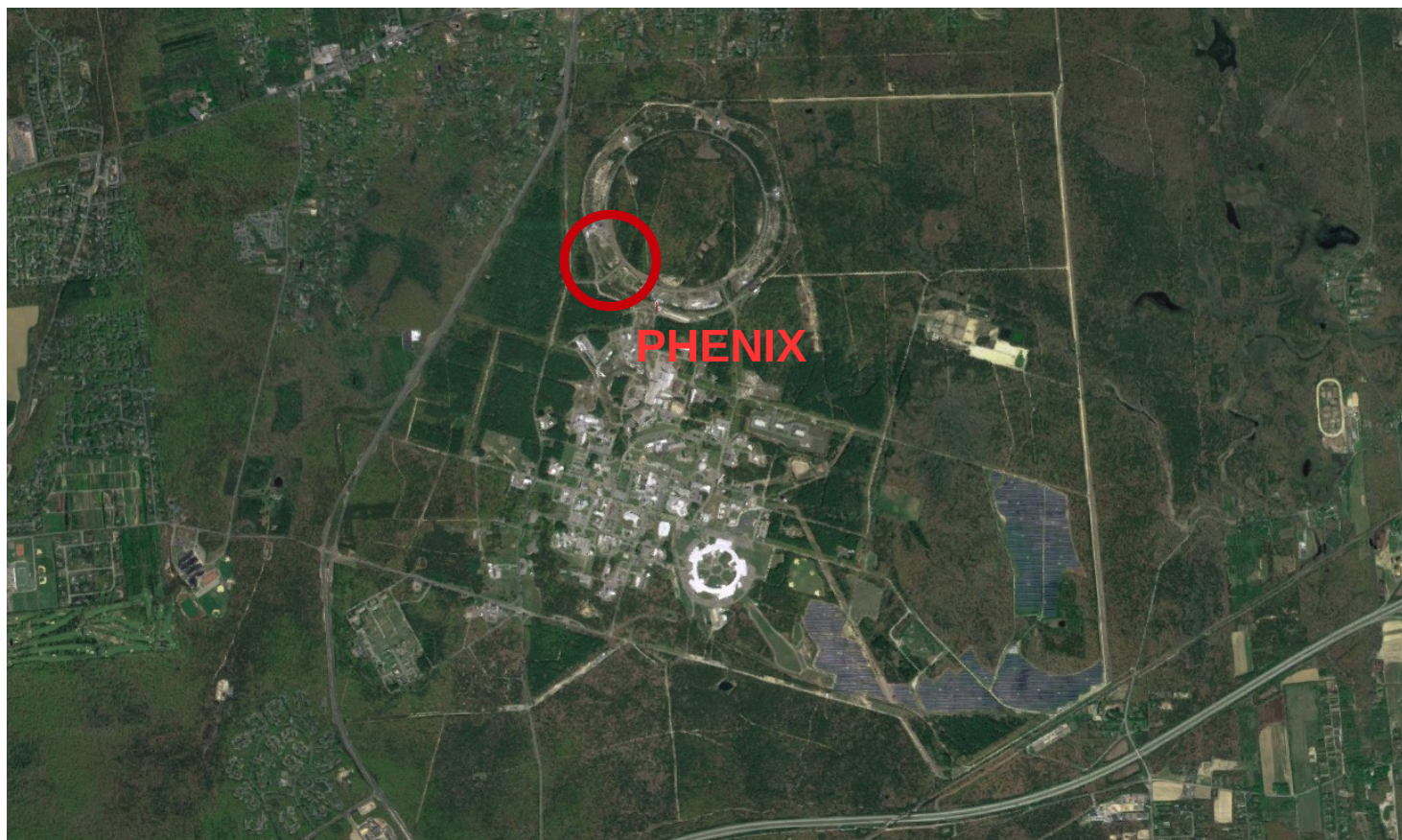


Az én utazásom...

Brookhaven National Laboratory (BNL) *Long Island, NY, USA*



Az én utazásom...



Az én utazásom...



Az én utazásom...



Az én utazásom...



Az én utazásom...



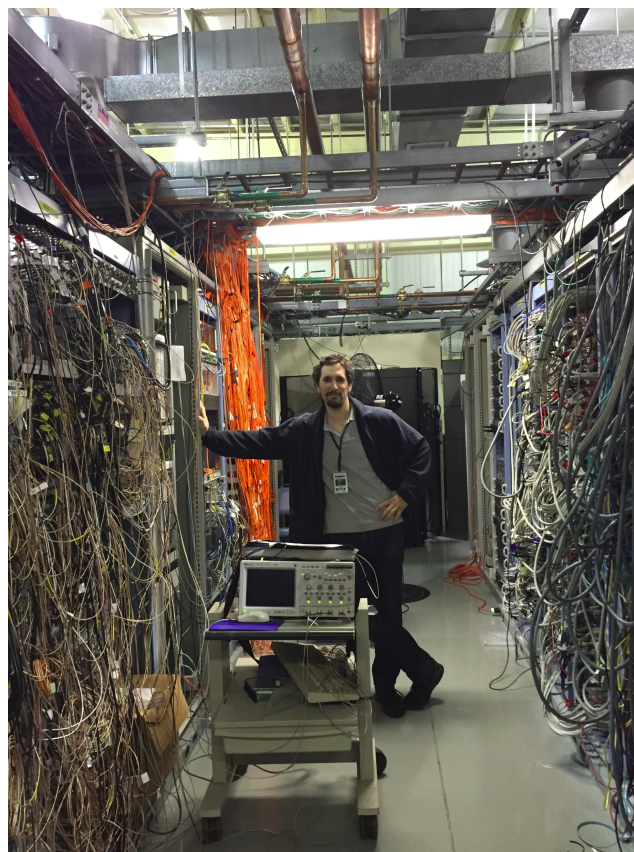
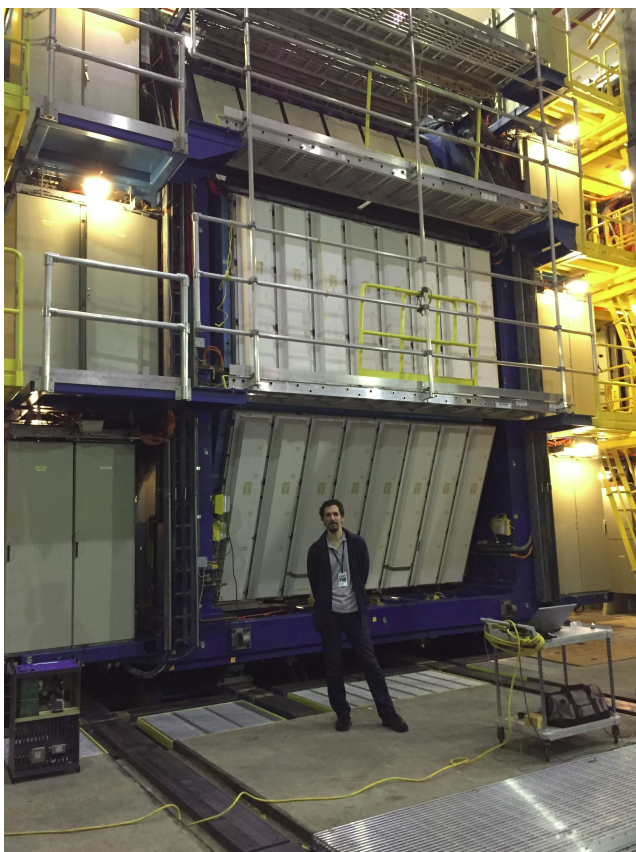
Az én utazásom...



Az én utazásom...



Az én utazásom...



Kvarkbezáras

Emlék: proton / neutron alkotói: színes kvarkok
→ anyag részekre bontása: kvarkok??

Szabad kvarkok nincsenek!

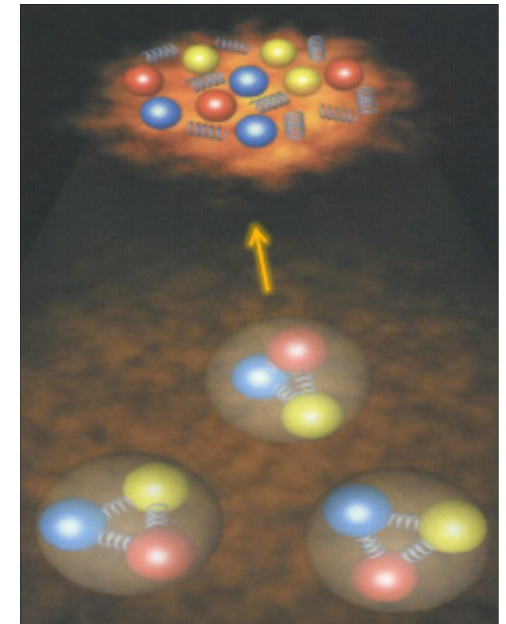
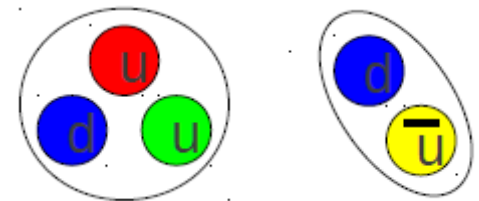
(A Nap holnap is felkel...)

kvarkok “mezonok”-ban (kvark-antikvark)
vagy “barionok”-ban (pl. proton, neutron)

Magas hőmérsékleten:

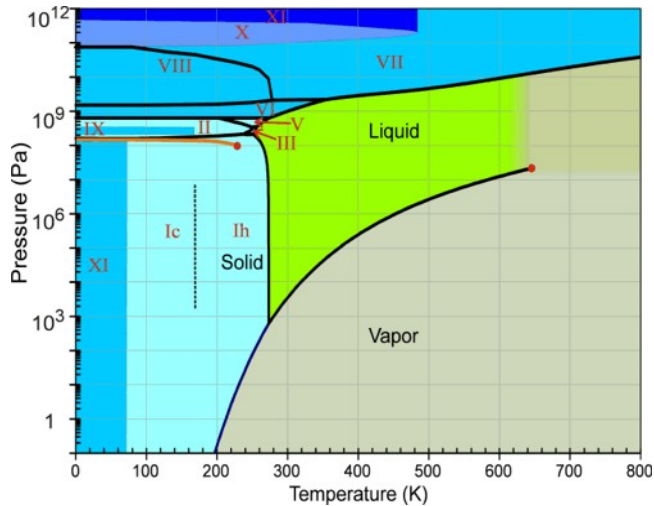
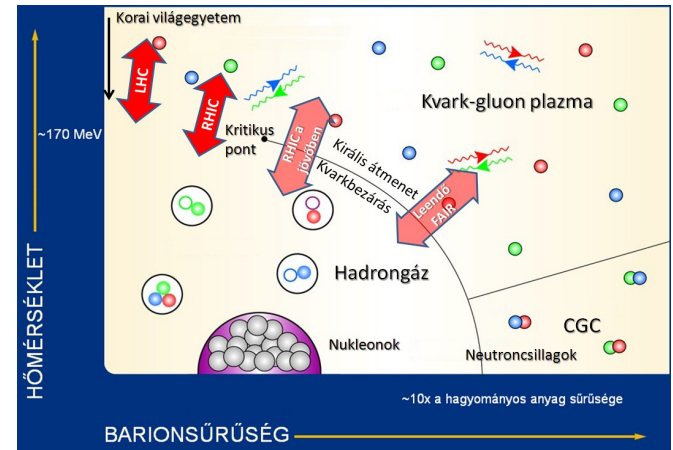
- hátha...
- kvark-gluon-plazma (QGP) keresése!

- Ősrobbanás utáni 10^{-6} másodperces időben...



Az erősen kölcsönható anyag fázisai

Analógia: víz fázisai (folyadék, gőz, jég, jég, jég...)


$$\text{H}_2\text{O}$$


erősen kölcsönható anyag

- Atommagok anyaga: “egyszerű”... :D
 - Nagy sűrűség, alacsony hőmérséklet: neutroncsillagok
 - Nagy hőmérséklet: kvark-gluon-plazma
- ...fázisátmenet helye, rendje, kritikus pont...? Alapvető kutatás

A PHENIX kísérlet

RHIC (Relativisztikus Nehézion-Ütköztető):

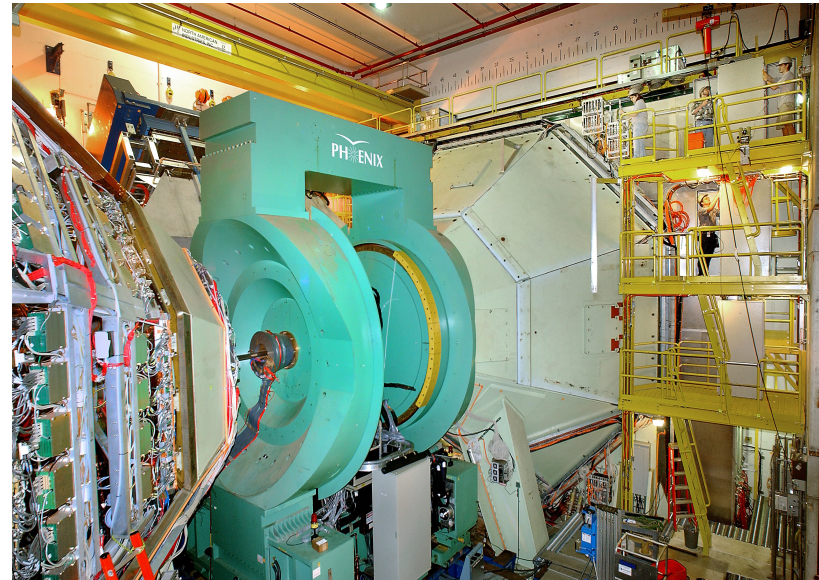
- Au+Au, p+p, d+Au, U+U, stb. ütközések
- Fő cél: atommag-anyag “megolvasztása”, kvark-anyag létrehozása

PHENIX kísérlet: sokféle detektor

- az ütközési pont körül, ~tornaterem
- “hagymahéj”-szerkezet: részecskék nyomkövetése, energiamérése

Célja (volt, van...):

- atommag-ütközésekben keletkező anyag (=ősrobbanás-kori állapotok) vizsgálata: kirepülő részecskékből!
- Erősség: sokféle részecske azonosítása, ritka folyamatok...



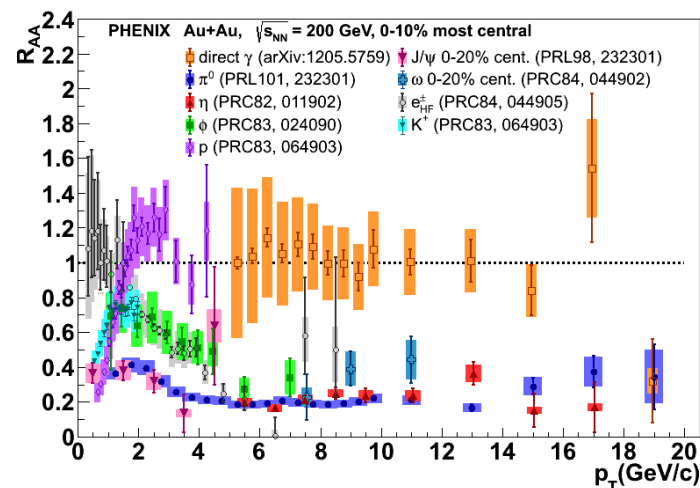
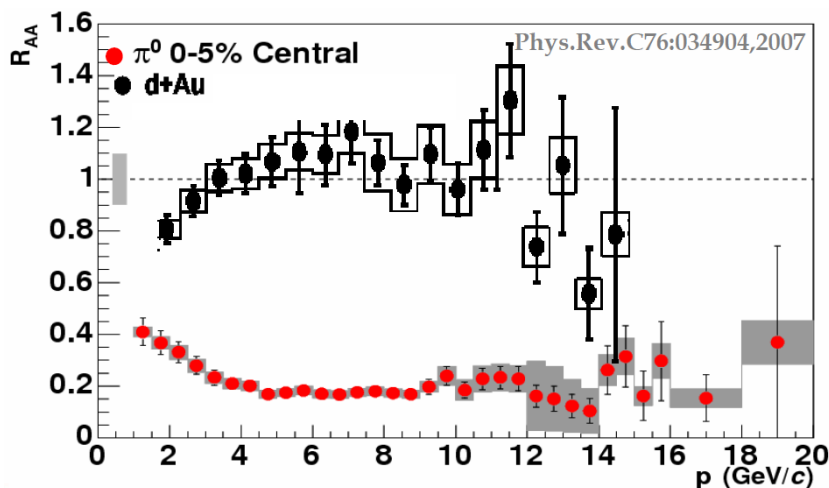
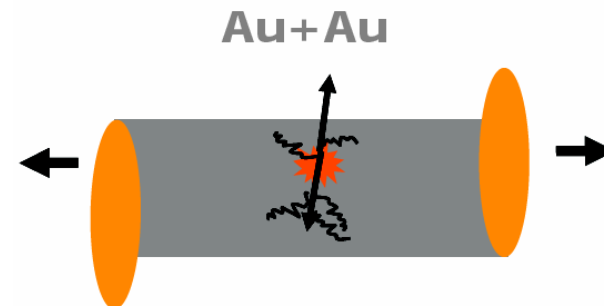
Mit tudunk már? - Új anyag (QGP)

Új anyag keletkezik!

- Nagy energiás részecskék
“elnyomódnak” mag-mag ütközésekben!

$$R_{AA} = \frac{\text{részecskehozam}(Au+Au)}{\text{részecskehozam}(p+p) \times pp\text{ütközések száma}}$$

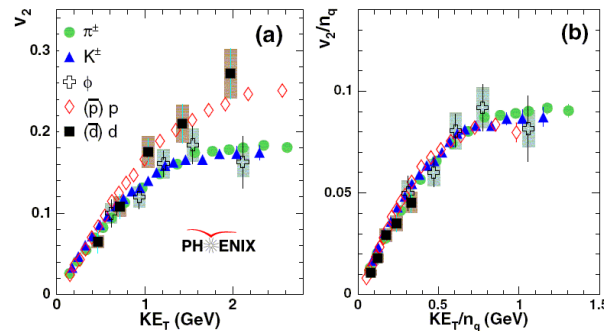
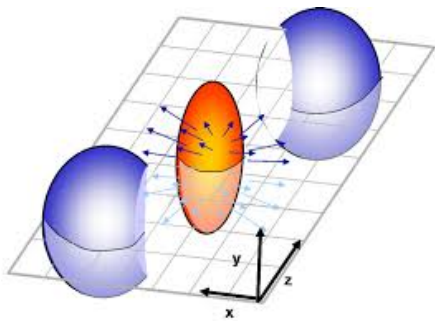
- d+Au ütközésben nincs ilyen: új anyag!



Az új anyag (majdnem) tökéletes folyadék!

Az új anyag *folyik!*

- Keletkező részecskék irány-eloszlásából meghatározható
- Egészen “egzotikus” (ritka, “bájos”, stb.) részecskék is részt vesznek a folyásban
- Sűrűdés: mérhető, a legkisebb a valaha előállított anyagok közül!
- Nagy meglepetés volt... (gáz-szerű QGP-t vártak)



A legforróbb anyag

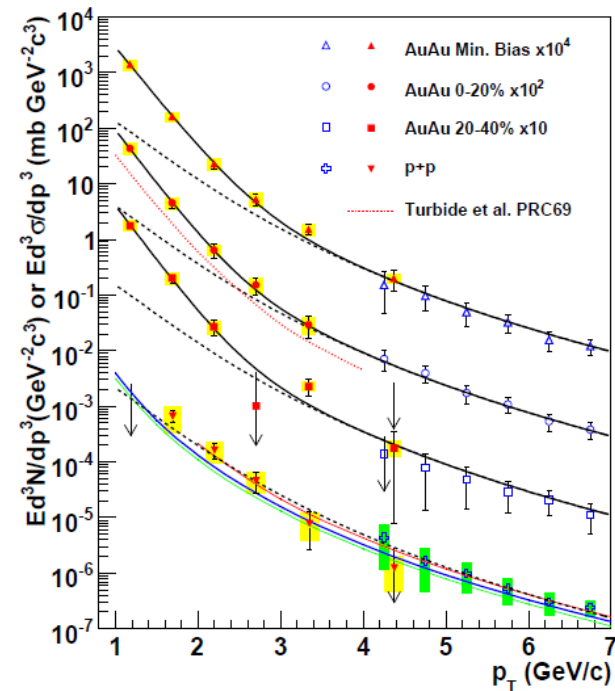
Hőmérséklet-mérés: “hősugárzás”-ból!

$T \sim 4$ billió K, ~ 250000 -szer forróbb a Nap belsejénél (15 millió K)!

Nehéz mérés...

Összefoglalva:

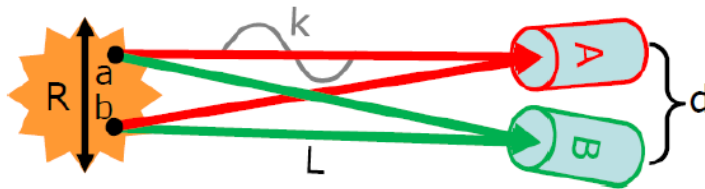
- forró, sűrű, tökéletes folyadék
- új anyag: kvarkok folyadéka!
- alapvető elméletet ellenőrzünk!



Saját terület: korrelációs mérések

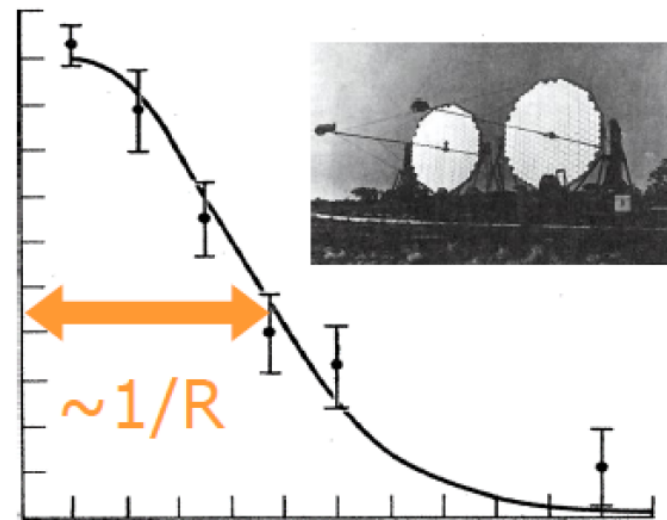
Részecske-korrelációk:

- Először a csillagászatban használták (1953), **HBT**-effektus (R. Hanbury Brown, R. Twiss): a Szíriusz átmérőjét megmérték!
- Fotonok **két** távcsőbe korreláltan érkeznek!



- Hasonló jelenség a mag-mag ütközésekben is van!
- 10^{-15} m-es feloldású “mikroszkóp”:

Femtoszkópia!

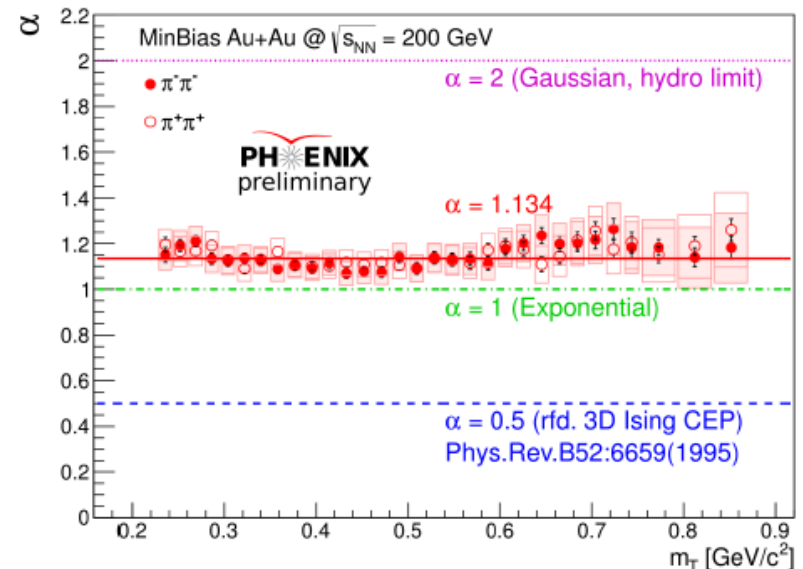
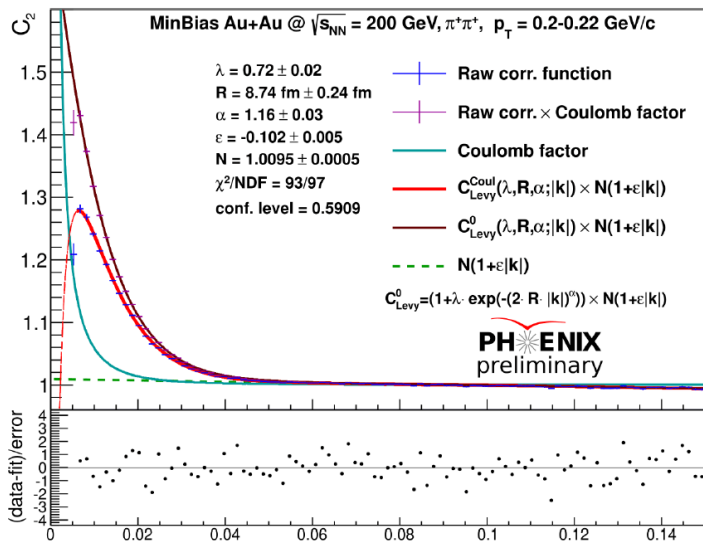


Saját terület: korrelációs mérések

Nyitott kérdésekre választ várhatunk...

- Mekkora a QGP hogyan tágul, hol van az átmeneti hőmérséklet, energia...
- Mi a QGP *állapotegyenlete*, van-e kritikus pont...

Egy friss mérés (csoportunk munkája):



Tökéletes kvarkfolyadék felfedezése...

- “Kolumbusz felfedezte az Új Világot”
- Feltérképezés: hátra van...
- Precíziós korszak
- LHC (CERN): energia-staféta, RHIC: jelenté
- egyre nagyobb mennyiségű adat, sok kutatási lehetőség...

Hol járunk?

- “*Ma született csecsemő*” : alkalmazások talán évtizedek múlva
-

Sok új felfedezés lehetősége “bújkál”...

Ki fogja fellebbenteni a fátylat a következő titokról?



Köszönöm a figyelmet!

Külön köszönet:

Támogatók:

Hungarian Fulbright Commission

ELTE TTK Fizikai Intézet

Brookhaven National Laboratory

Stony Brook University

... Kollégák, barátok, családom...

www.meetthescientist.hu

