

Az atomoktól a csillagokig

Közérthető fizika, nem csak középiskolásoknak

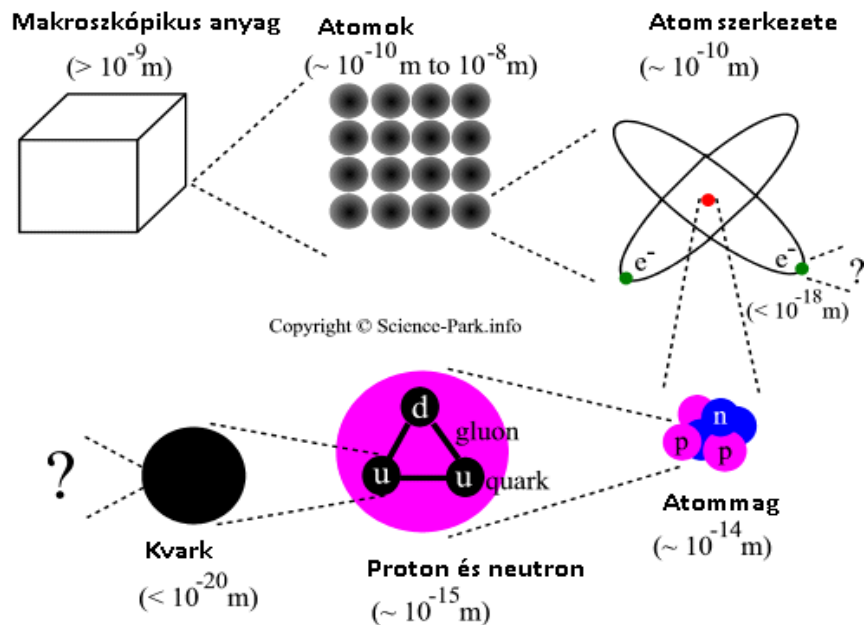
Csanád Máté

A tökéletes kvarkfolyadék Részecskegyorsítókkal az Ősrobbanás nyomában

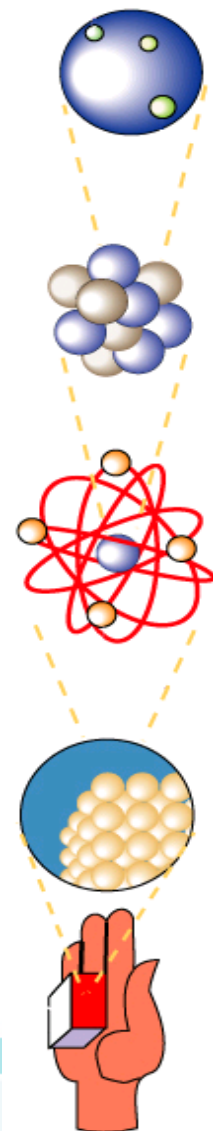
Budapest, 2010. december 16.

Az anyag szerkezete

- Atomok → proton, neutron, elektronok
- Elektron elemi részecske
- Proton, neutron nem elemi ⇒ kvarkok

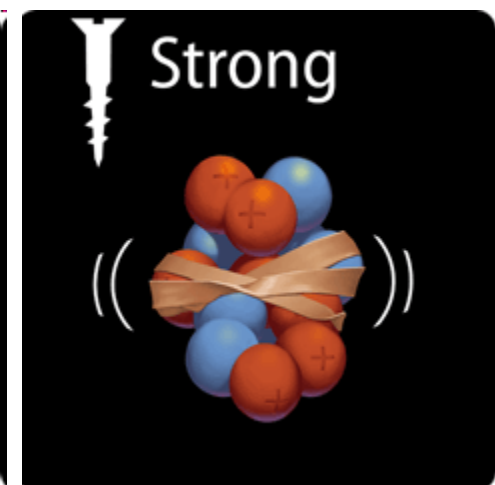
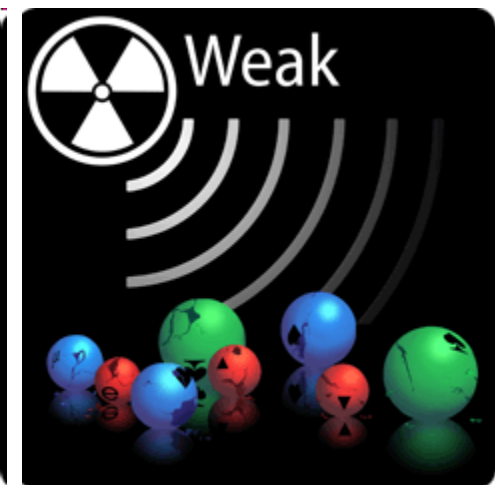
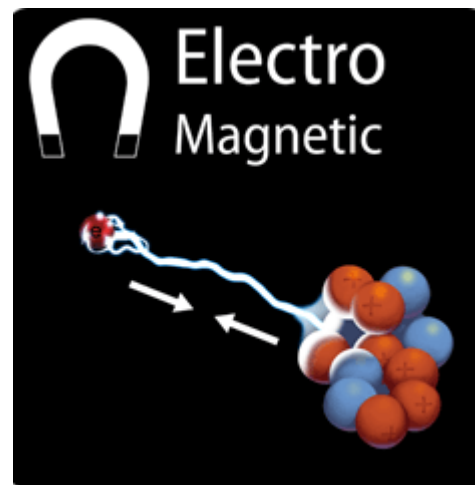


- Kvarkokat nem látunk szabadon!
- Ki lehet szabadítani őket a protonból?



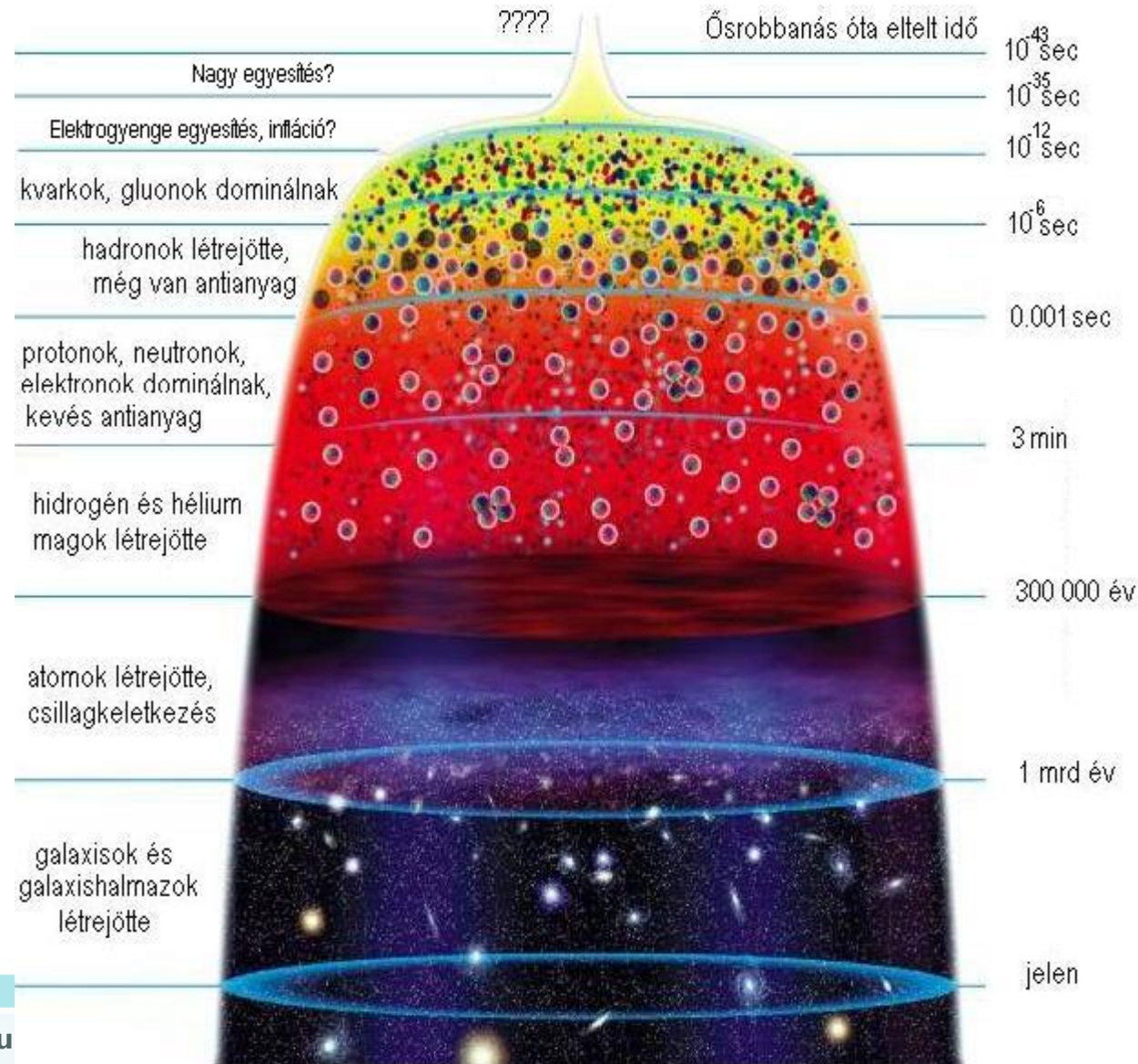
Kölcsönhatások és közvetítőik

- Elektromos és mágneses:
foton
 - Közvetítő: foton
 - Molekulák, fény
 - Telefon, számítógép, ...
- Gyenge kölcsönhatás
 - Közvetítő: W, Z bozon
 - Radioaktivitás
- Erős kölcsönhatás: gluon
 - Atommagokat összetartó erő
 - Nap működtetője
- Gravitáció
 - Alapvető különbség
 - „Téridő görbülete”



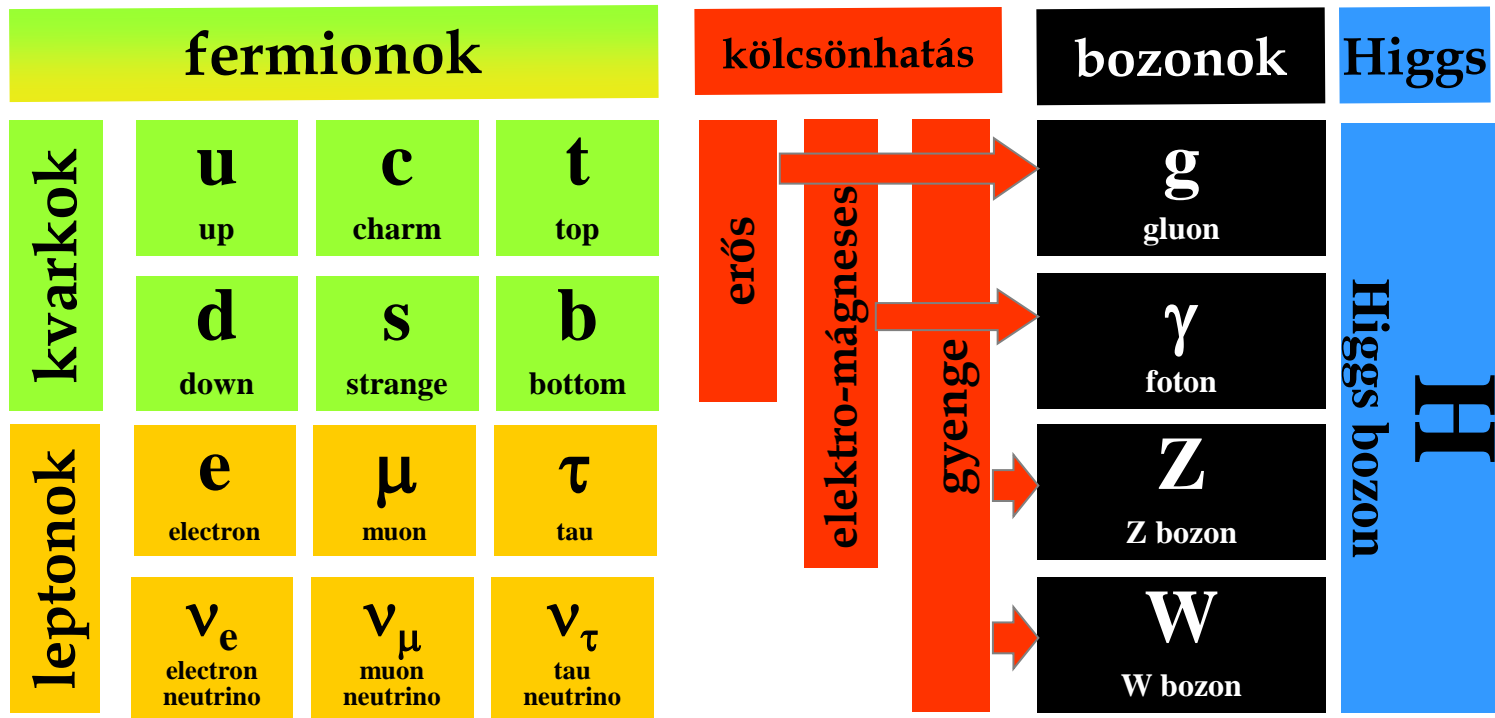
Az Ősrobbanás története

- Ősrobbanás:
0 másodperc
- Jelen:
14 mrd év
- Nem mindig voltak
 - Galaxisok
 - Csillagok
 - Atomok
 - Atommagok
 - Proton, neutron
- Meddig tudunk
visszamenni?



A részecskék Standard Modellje

- Három kölcsönhatás: elektromágneses + még kettő
- Közvetítő bozonok szerepe



- Erős kölcsönhatás: a kvarkoknak „színe” van

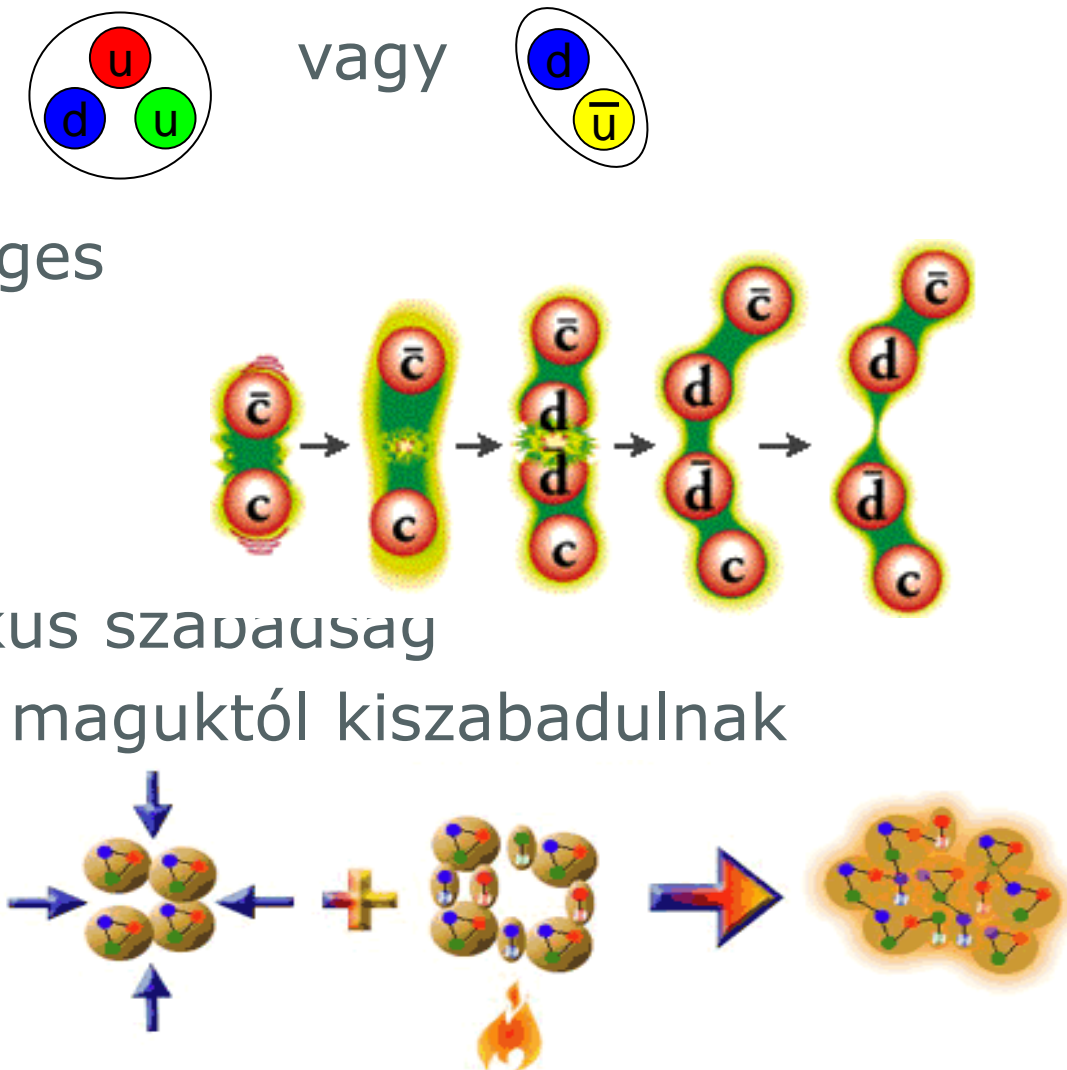
Rengeteg nyitott kérdés

- Az Univerzum gyorsuló tágulása
 - Sötét energia?
- Az antianyag hiánya
 - Honnan az aszimmetria?
- A galaxisok felépítése: sötét anyag?
 - Mi alkotja ezt az anyagot?
- A tömeg eredete, a Higgs részecske
 - Miért annyi a részecskék tömege, amennyi?
- Létezik-e kvarkanyag?
 - Mi alkotta az ősi Univerzumot?

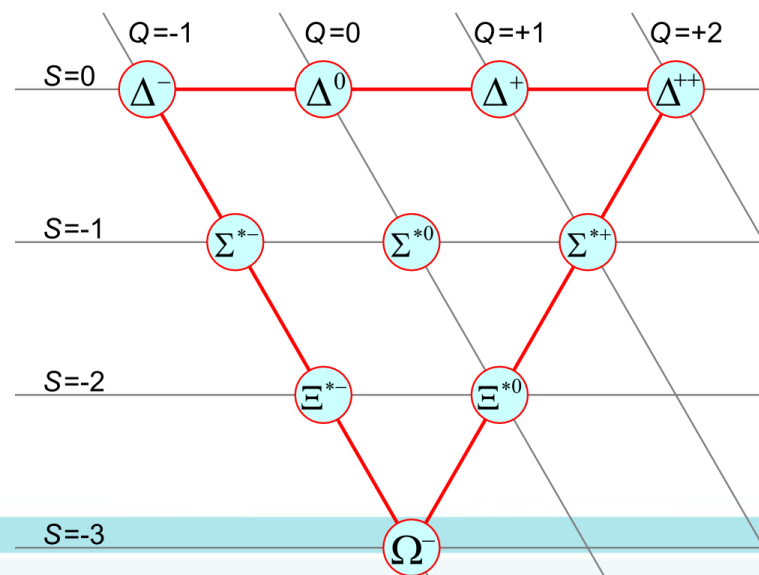
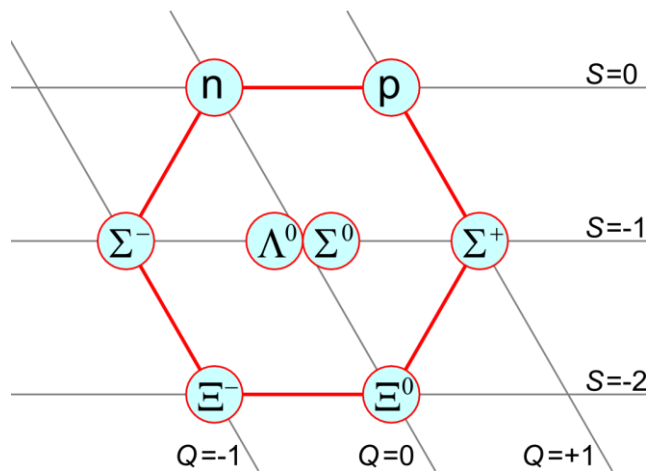
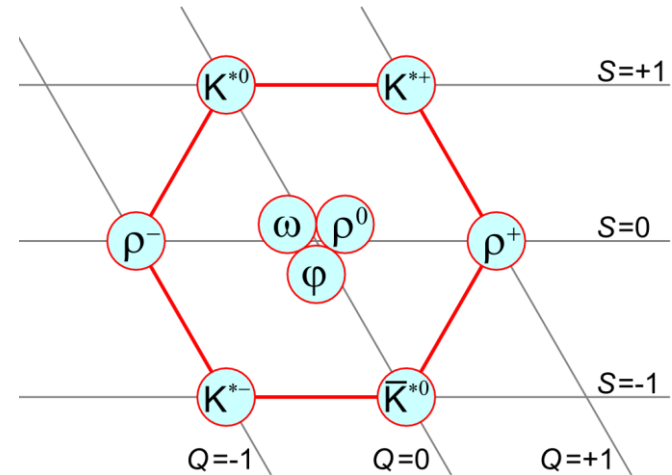
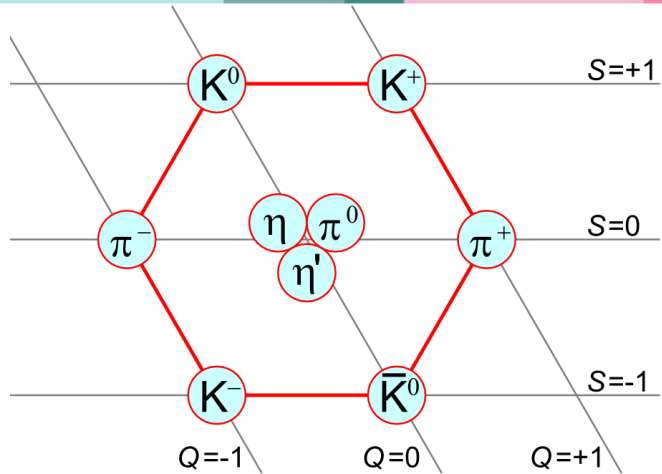


A kvarkbezárás

- Szabad kvarkok nem léteznek
- Összetett részecskék vagy
- 2: mezon, 3: barion
- Mindegyik szín-semleges
- Távolodás: energia
- Újabb kvarkok!
- Újra bezáródnak
- Ellentéte: aszimptotikus szabadság
- Óriási hőmérsékleten maguktól kiszabadulnak

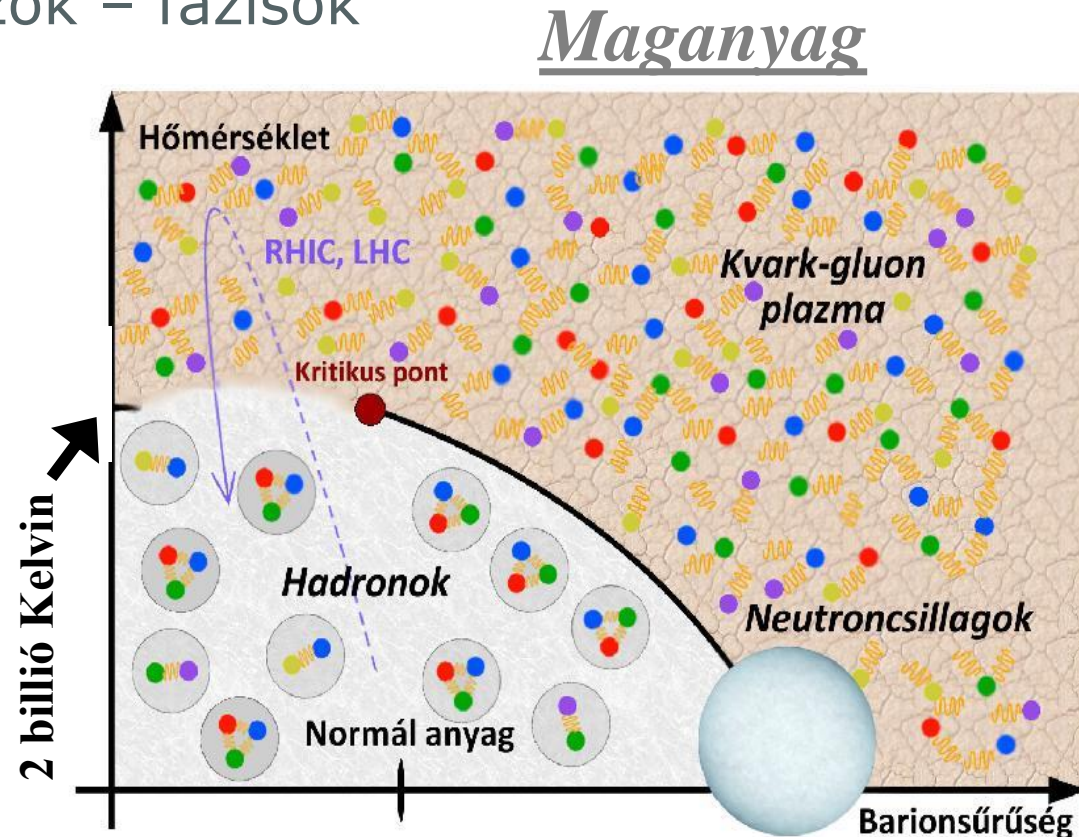
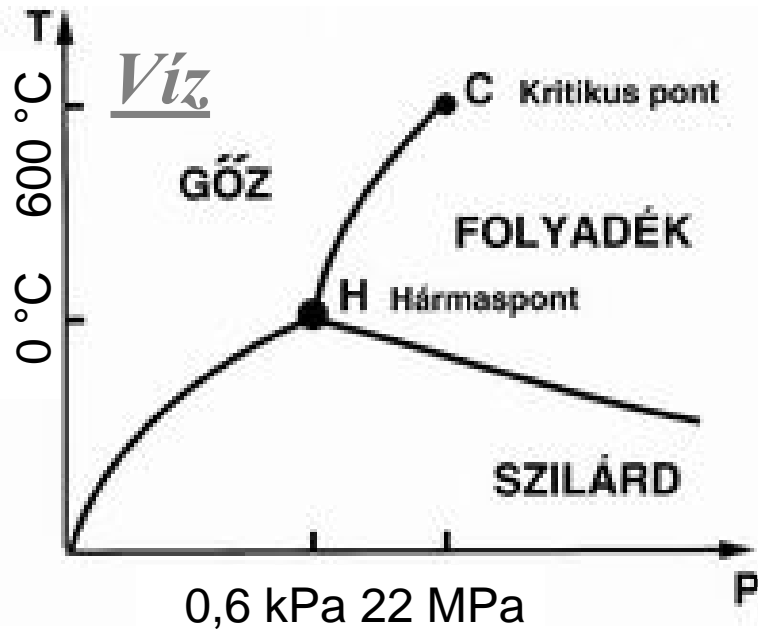


Ismert mezonok és barionok



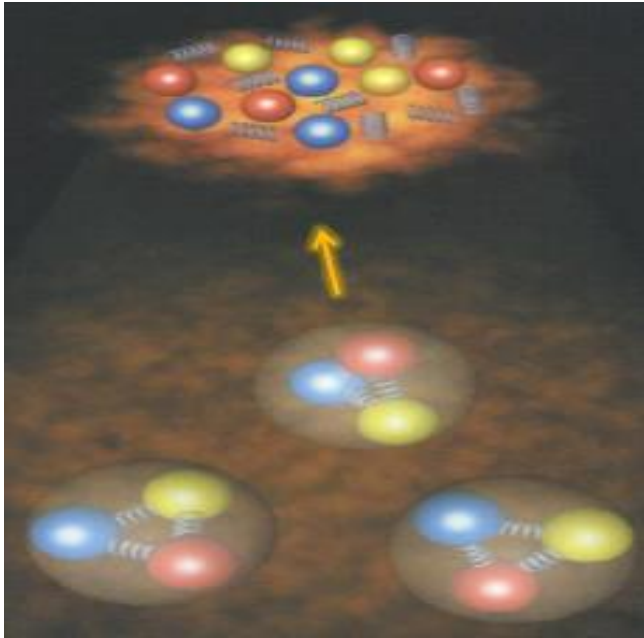
Az anyag fázisai

- Fázisdiagram: állapotjelzők – fázisok
- Víz: három fázis



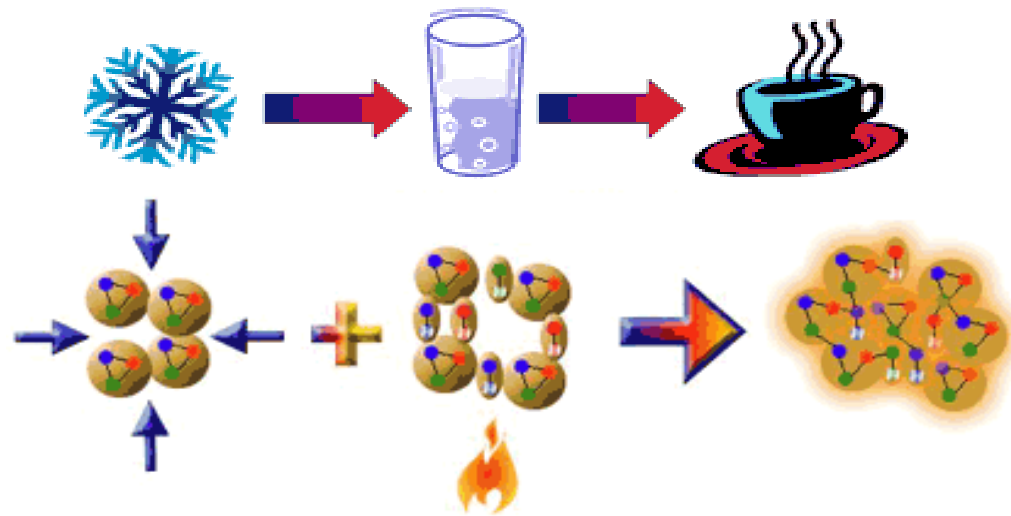
- Maganyag is hasonló fázisokkal rendelkezik
- Elméleti számítások: $T_c \approx 2 \cdot 10^{12}$ K felett kvarkanyag!

Nehézion-ütközések: Kis Bumm



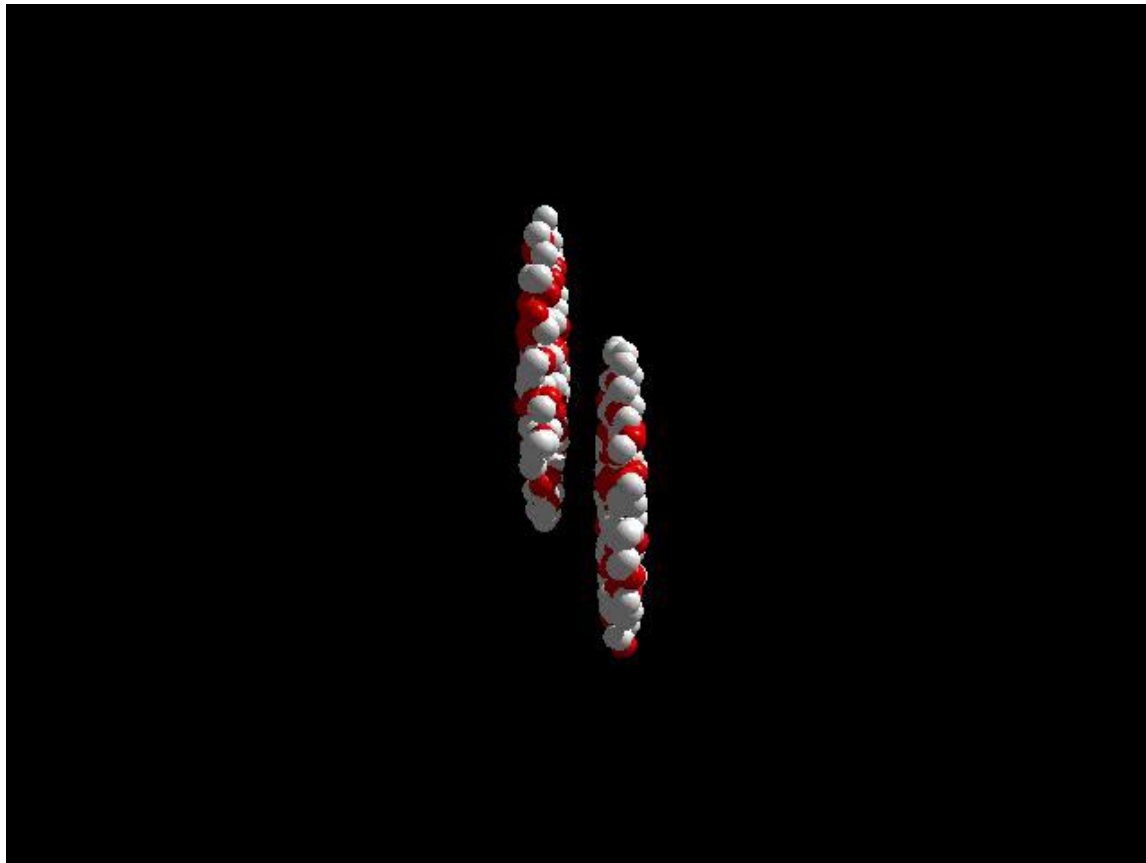
- Nukleon-olvasztás
- Kvarkok bezárása, kiszabadítása
- Hasonlat: jégből víz vagy gőz
 - Szárzajég? Vízjég?
- Nagy energiájú ütközéssel mindez elérhető (?)

- 10^{-22} másodpercre létrejöhet az ősi anyag
- Várakozás: gáz vagy folyadék?

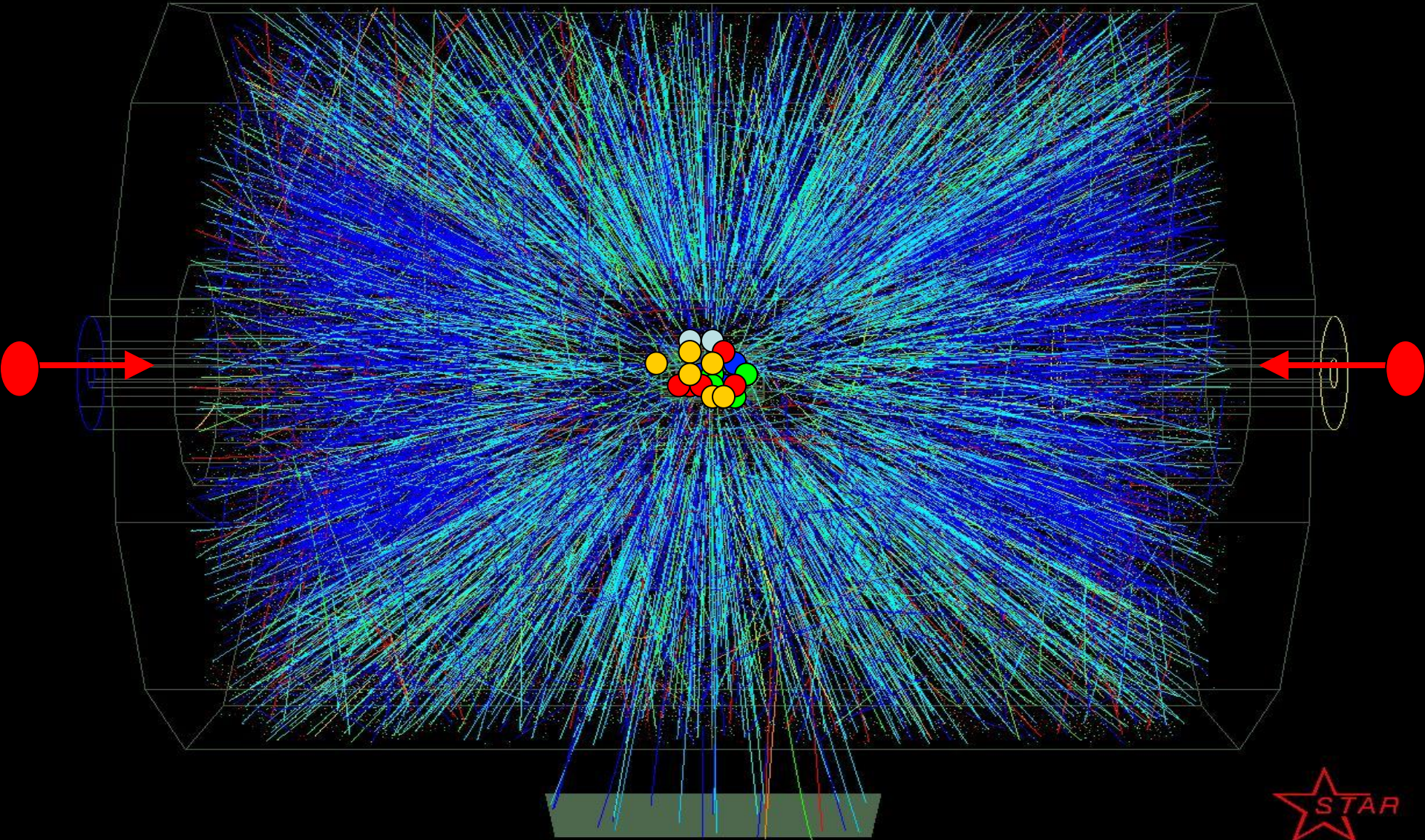


Egy szimulált atommag-ütközés

- Ütközés után: részecskék keletkezése
- Részecskék szétrepülnek, őket kell észlelnünk



Egy Au+Au ütközés a STAR-ban



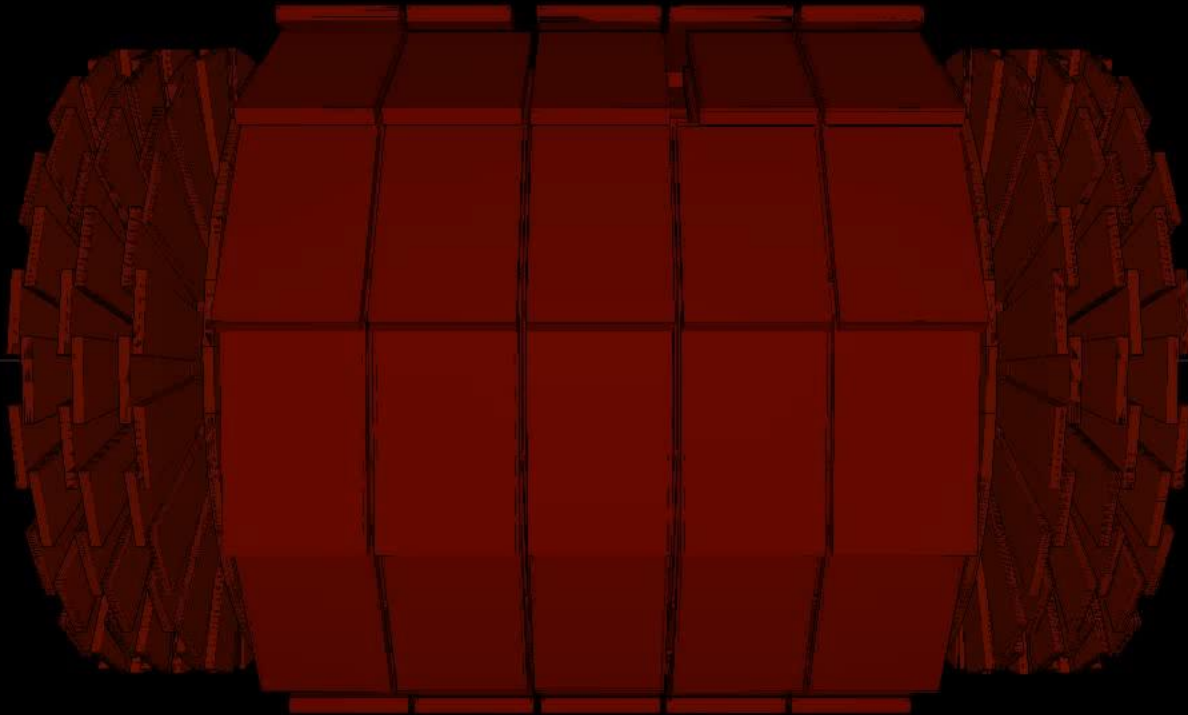
Egy PHENIX Au+Au esemény



Egy Pb+Pb ütközés a CMS-ben

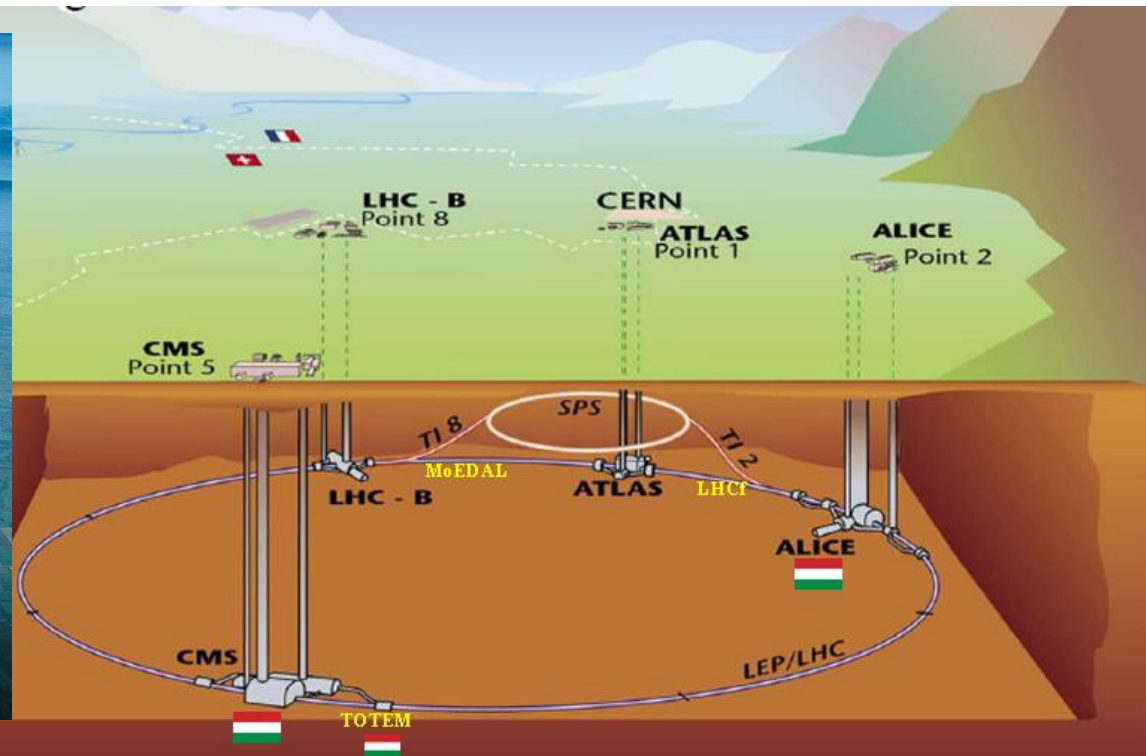
- A kirepülő részecskék nyomot hagynak a detektorokban

CMS Experiment at the LHC, CERN
Mon 2010-Nov-08 11:22:07 CET
Run 150431 Event 541464
C.O.M. Energy 7Z TeV



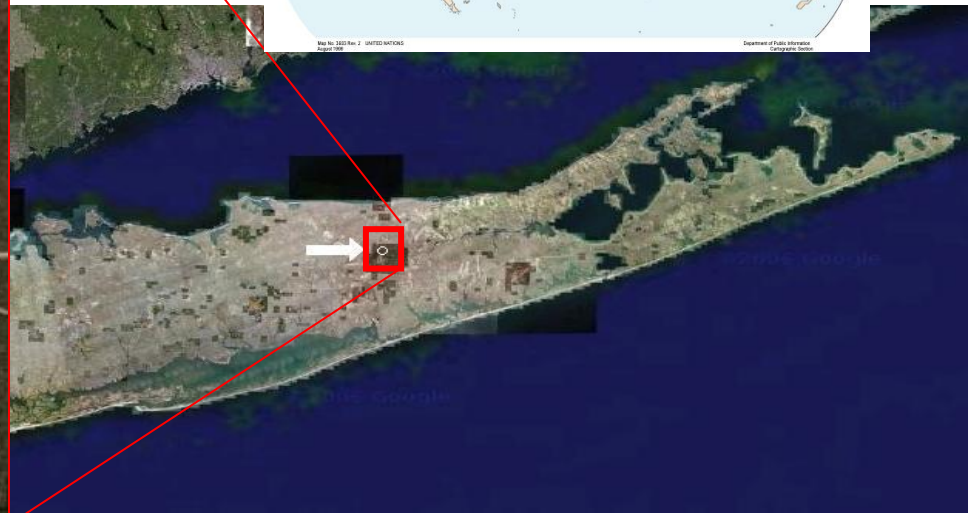
Kutatási helyszínek: CERN

- SPS (Super Proton Synchrotron)
 - Magyar részvétel több kísérletben, sokféle kísérlet
- LHC (Large Hadron Collider)
 - Ólom-ólom (2010. november) és p+p (2009. október óta)



Kutatási helyszínek: BNL

- RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider)
 - 2000 óta arany-arany és p+p ütközések, sok más is
 - 4 kísérleti együttműködés, egyben magyarok is
 - Sok felfedezés

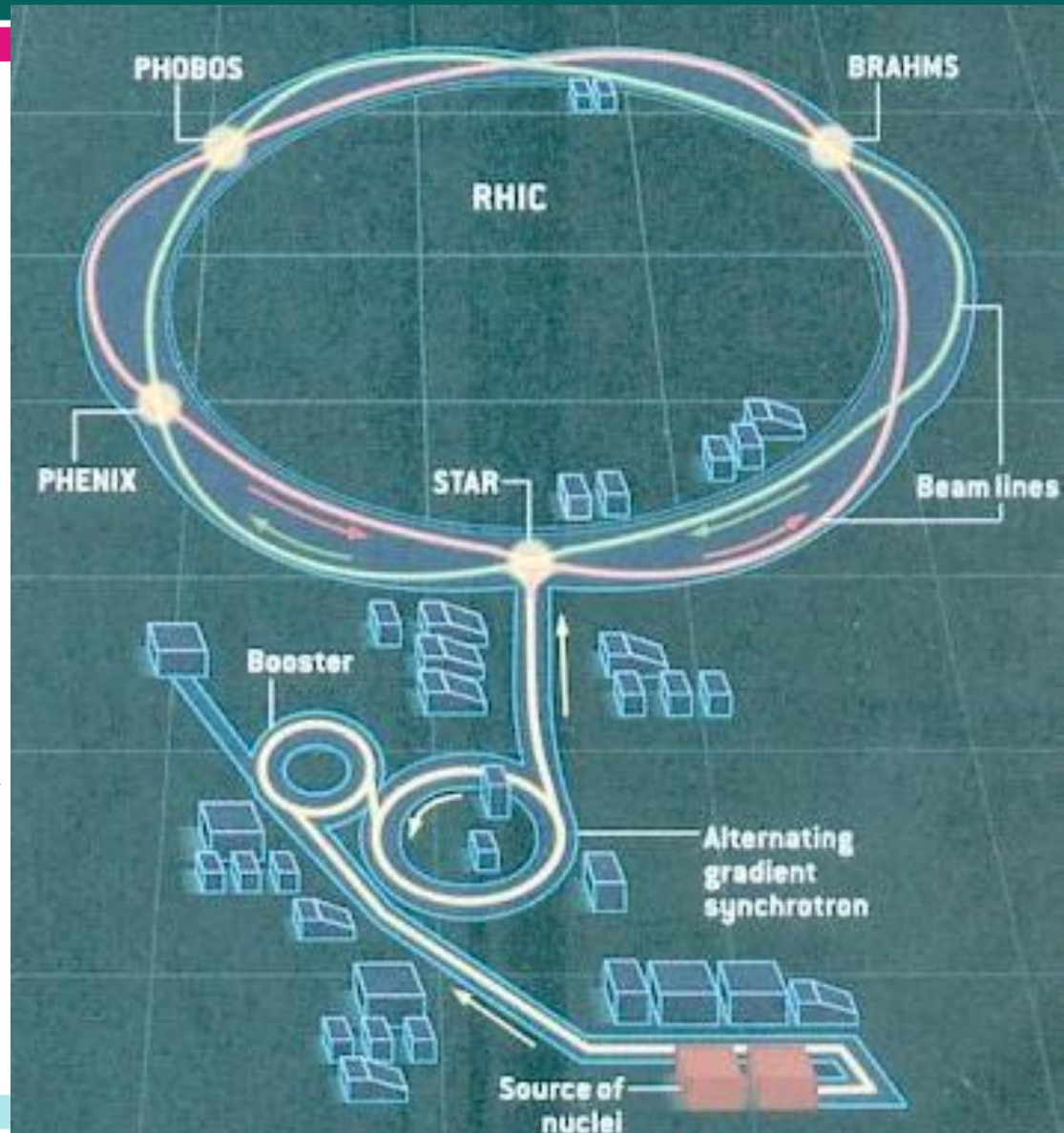


Légifotó a RHIC-ről



A RHIC gyorsító-együttes

- Sok előgyorsító
- AGS: Nobel-díjak...
- Elektronok leválasztása folyamatosan történik
- Ionok a RHIC gyűrűbe
- Két gyűrű valójában
- Metszéspontok: kísérletek



A Virtual Tour of RHIC

2004

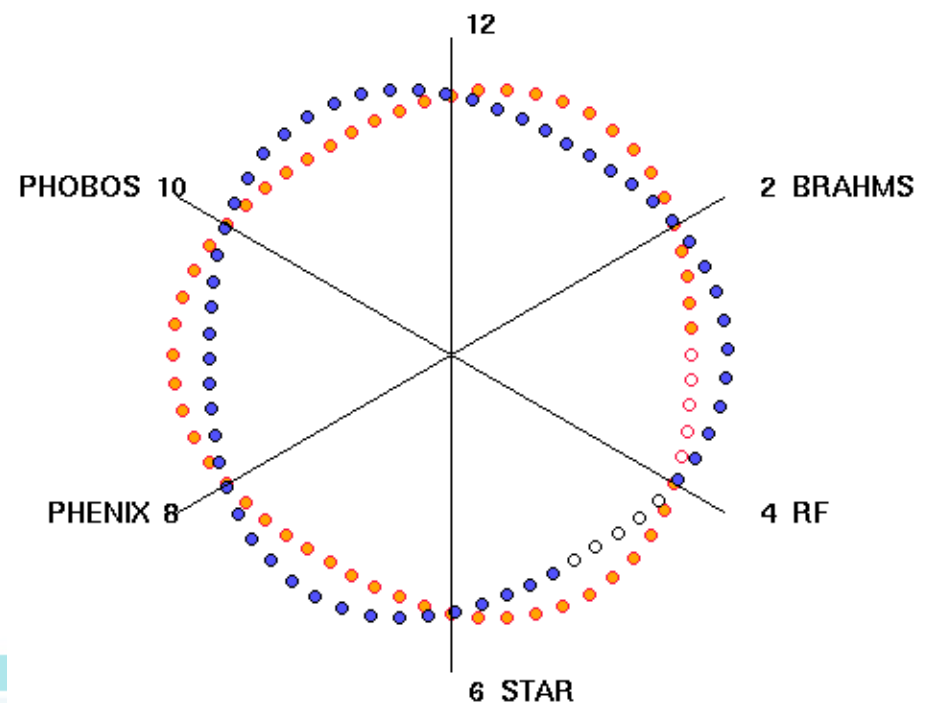
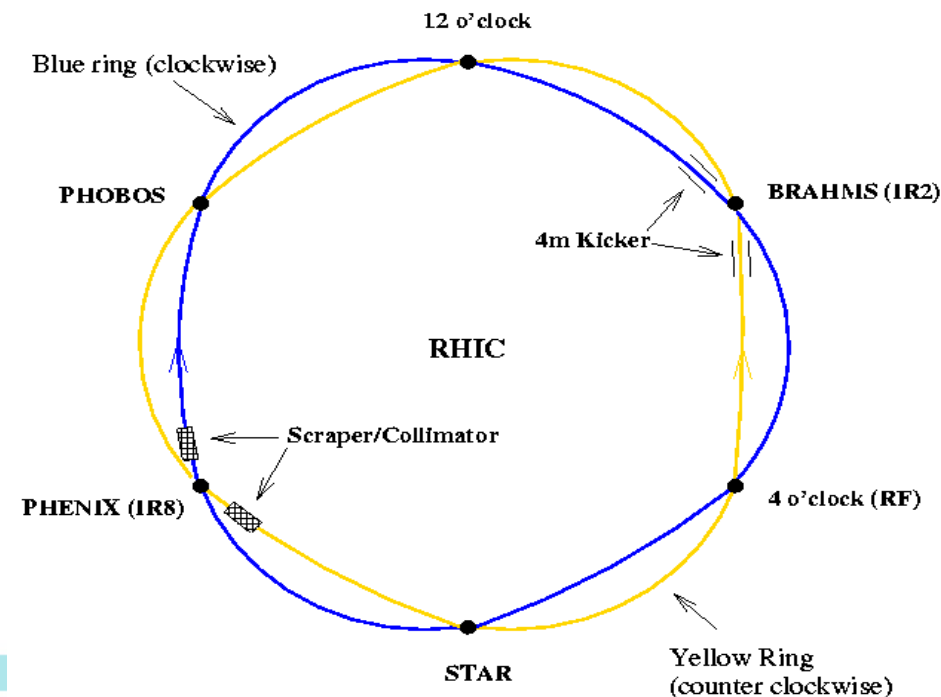


BROOKHAVEN
NATIONAL LABORATORY

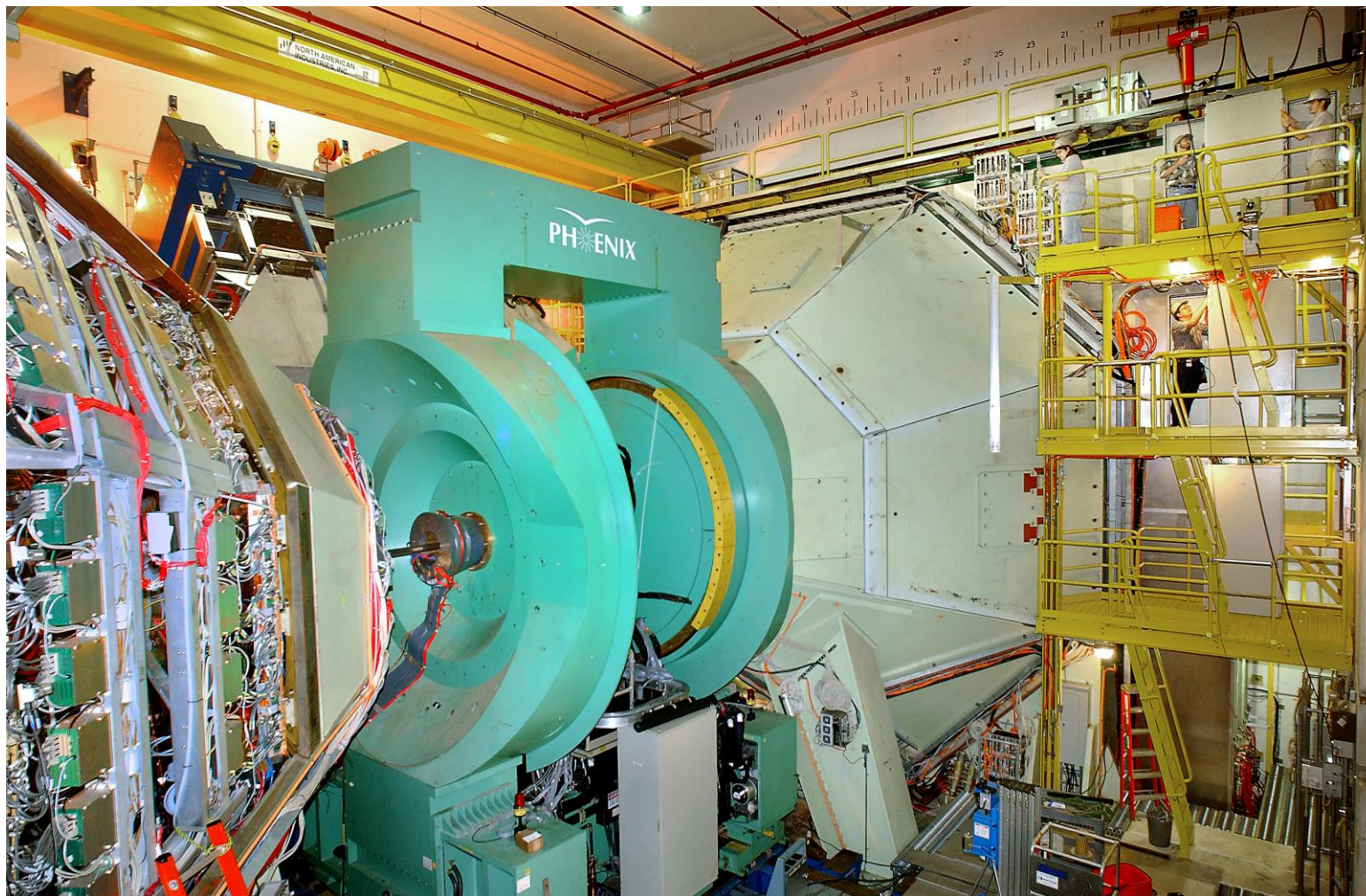
*Animation by
Jeffery Mitchell*

RHIC geometria és számok

- Két 3.9 km-es gyűrű
- Hat metszéspont, négy kísérlet
- ~ 100 atommagcsomag, 99.995% fénysebesség
- 1740 db szupravezető mágnes, 4 K hőmérséklet
- 15 MW fogyasztás: ~ 100.000 háztartás
- 20 év alatt egy milliomod gramm arany 😊

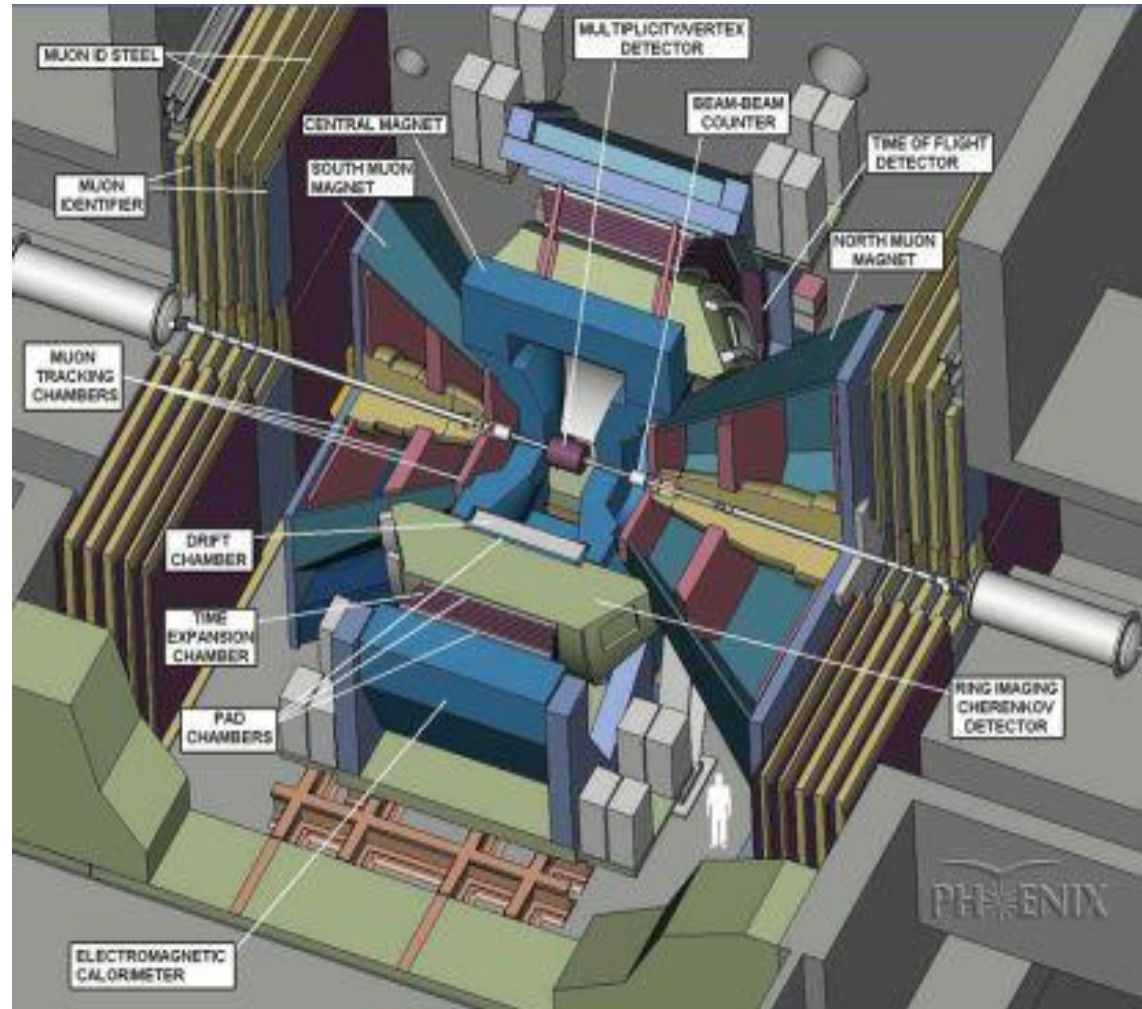


A PHENIX detektorrendszer



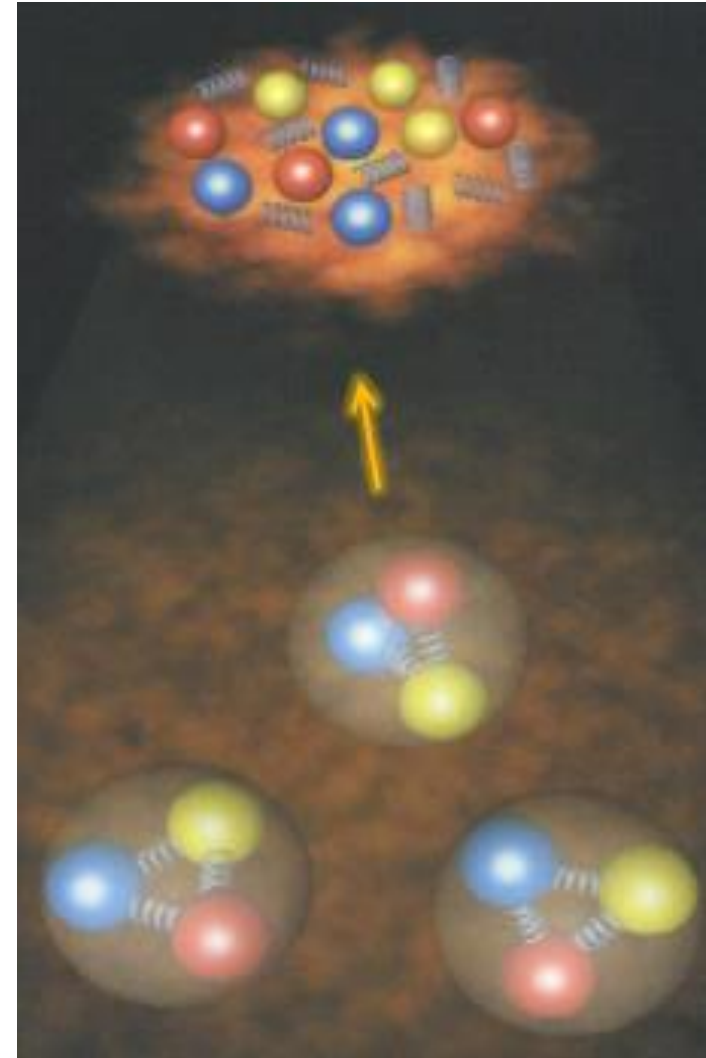
A PHENIX 3D rajza

- Ütközések a középpontban
- Sokféle detektor
- Hagymahéj szerkezet
- Többemeletes családi ház mérete



Mi a kísérletek célja?

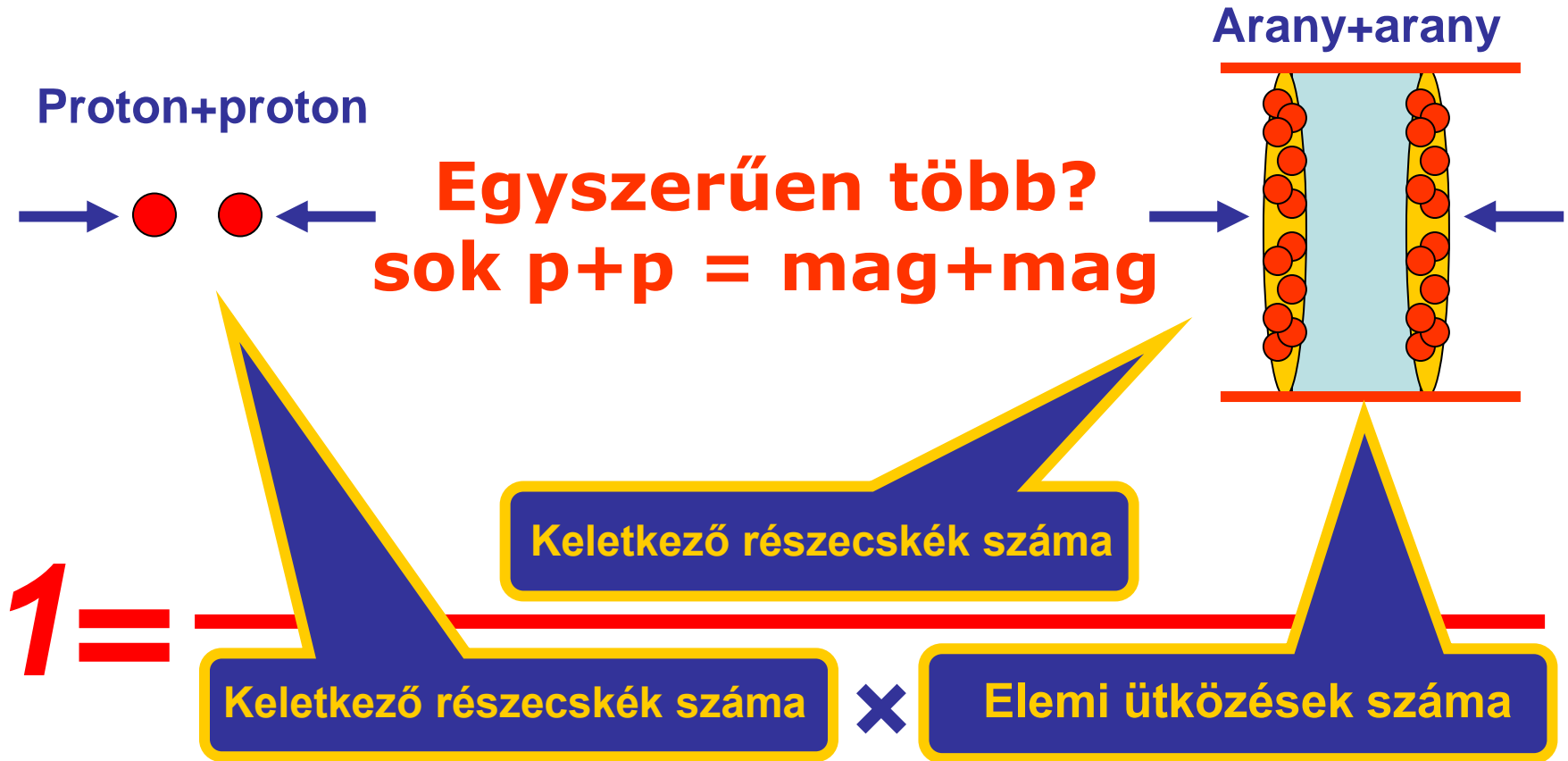
- Ősrobbanás indirekt vizsgálata
- Mag-anyag megolvasztása
- Kvark-anyag létrehozása
- Tulajdonságainak vizsgálata
- Az erős kölcsönhatás megismerése
 - ~1930: erős kölcsönhatás felfedezése
 - ~1970: erős kölcsönhatás magyarázata
 - ~1990: óriás részecskegyorsítók
- Hasonlat: elektromosság felfedezése
 - 1750-90 – Elektromosság
 - 1830-70 – Elméleti leírás
 - 1876 – Telefon
 - ~1900 – Televízió, számítógép
 - ~1970 – Mobiltelefon, Internet



RHIC mérőföldkövek

- Nagyimpulzusú részecskék elnyelődése, [új jelenség](#)
 - Phys. Rev. Lett. 88, 022301 (2002) (címlap, >500 hiv.)
 - Phys. Rev. Lett. 91, 072301 (2003) (>400 hiv.)
- Elnyelődés hiánya d+Au ütközésekben: [új anyag](#)
 - Phys. Rev. Lett. 91, 072303 (2003) (címlap, >300 hiv.)
- Kollektív viselkedés: az anyag [folyadék](#)
 - Nucl. Phys. A 757, 184-283 (2005) (>900 hiv.)
- Skálaviselkedés: [kvark szabadsági fokok!](#)
 - Phys. Rev. Lett. 98, 162301 (2007) (140 hiv.)
- A [viszkozitás](#) az elméleti alsó határ közelében
 - Phys. Rev. Lett. 98, 172301 (2007) (254 hiv.)
- [Kezdeti hőmérséklet](#) messze a kritikus felett
 - Phys. Rev. Lett. 104, 132301 (2010) (72 hiv.)

Mag-modifikációs faktor

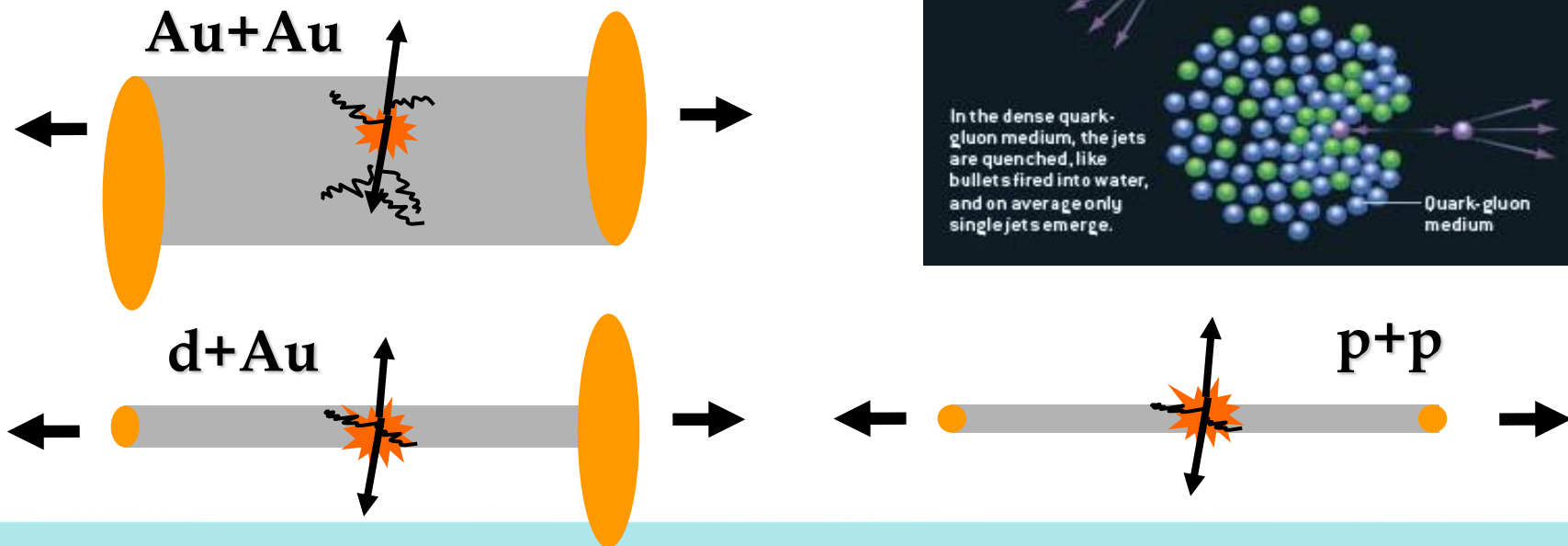


$$R_{\text{Au+Au}} = \frac{\text{Részecskeszám}_{\text{Au+Au}}}{\text{Részecskeszám}_{\text{p+p}} \langle N_{\text{p+p ütközések}} \rangle_{\text{Au+Au}}} \cdot 1$$

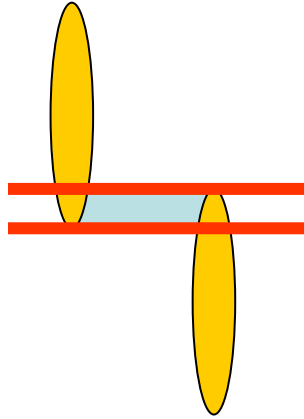
Nagyimpulzusú részecskék elnyelése

- Mag-módosulási tényező:
Mérés Au+Au, referencia: p+p
- Nagyimpulzusú részecskék elnyelődnek!
 - 1. mérőföldkő: Jet Quenching
- Ellenpróba: d+Au → Közeg hatása
 - 2. mérőföldkő
- 2 PRL címlap

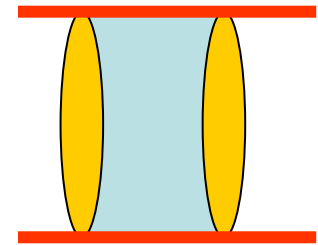
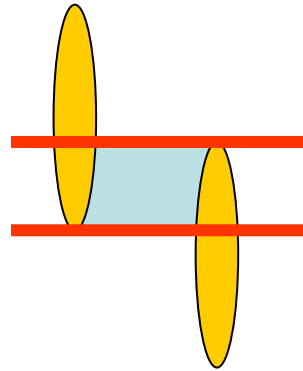
$$R_{\text{Au+Au}} = \frac{1}{\langle N_{\text{bin. ütk.}} \rangle_{\text{Au+Au}}} \frac{\text{Részecskeszám}_{\text{Au+Au}}}{\text{Részecskeszám}_{\text{p+p}}}$$



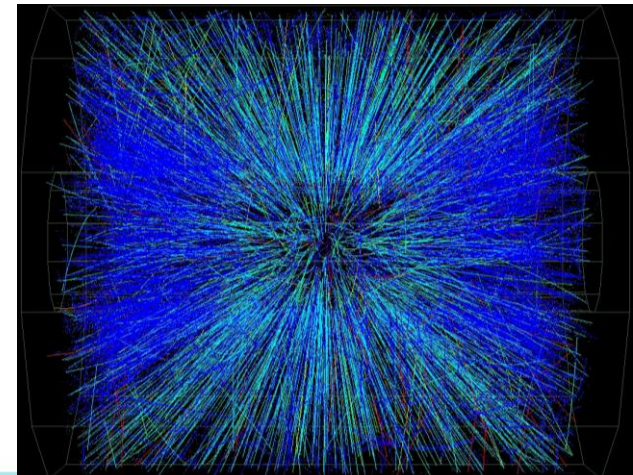
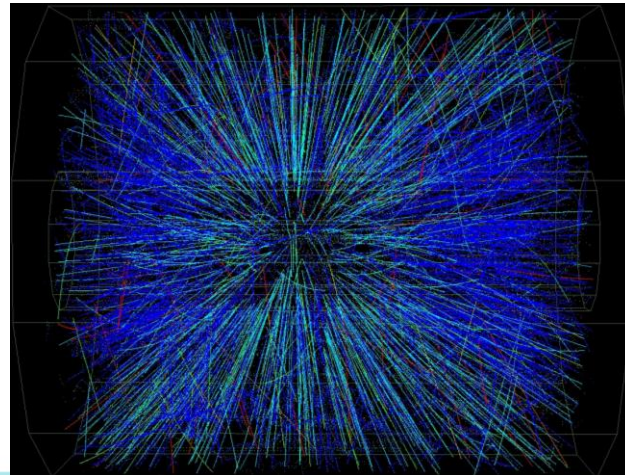
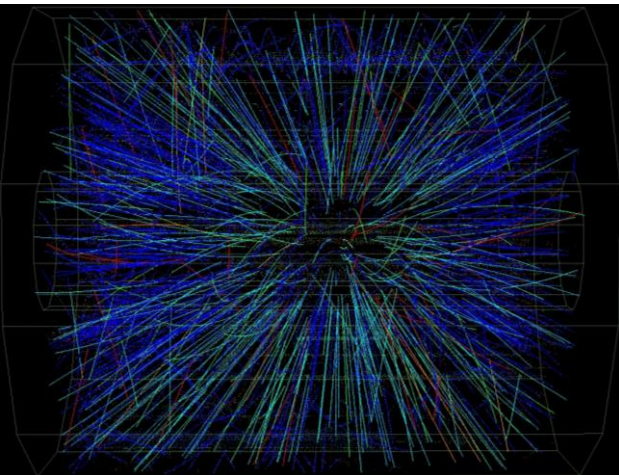
Nem minden ütközés azonos!



**Periférikus
(pl 80-90%)**



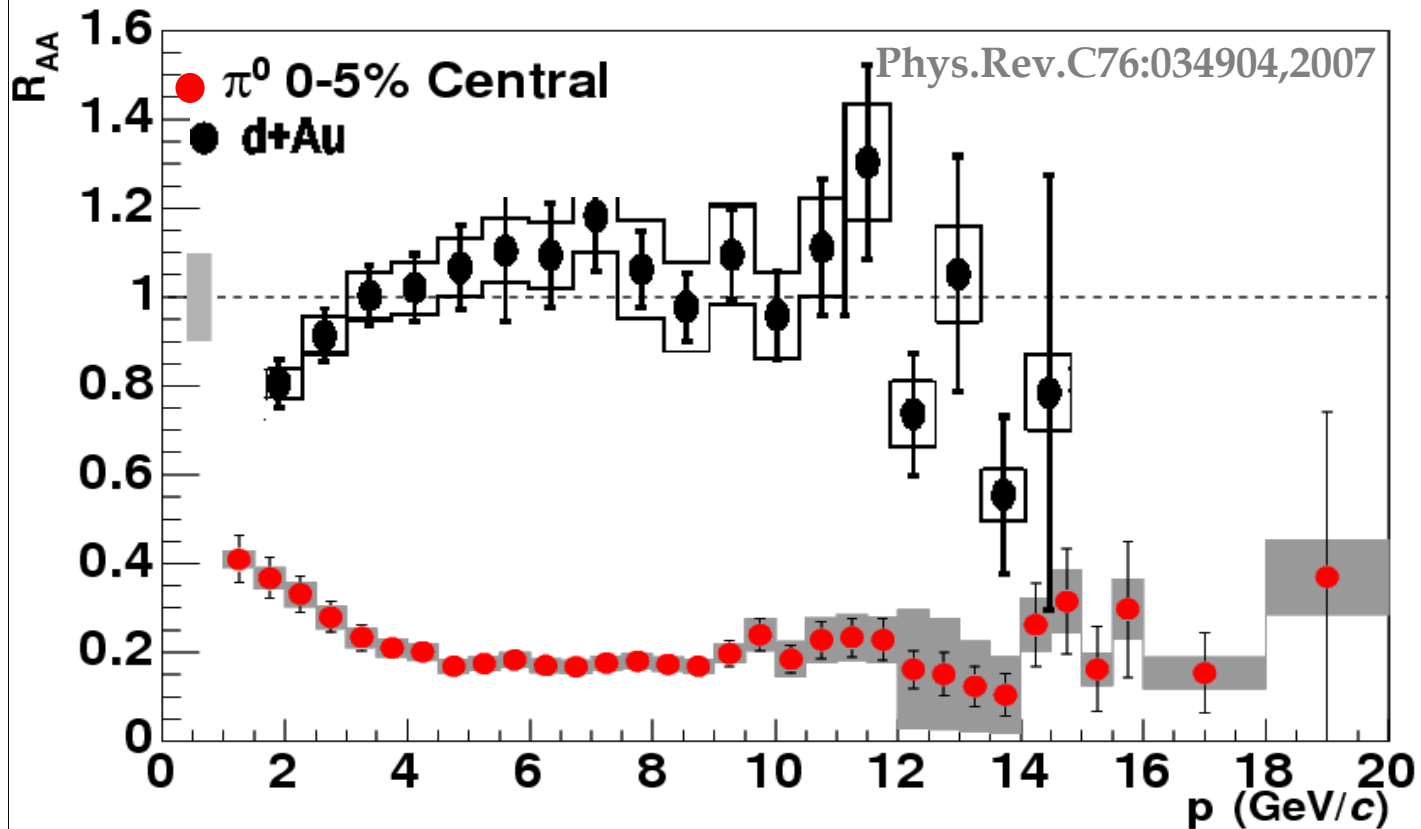
**Centrális
(pl 0-5%)**



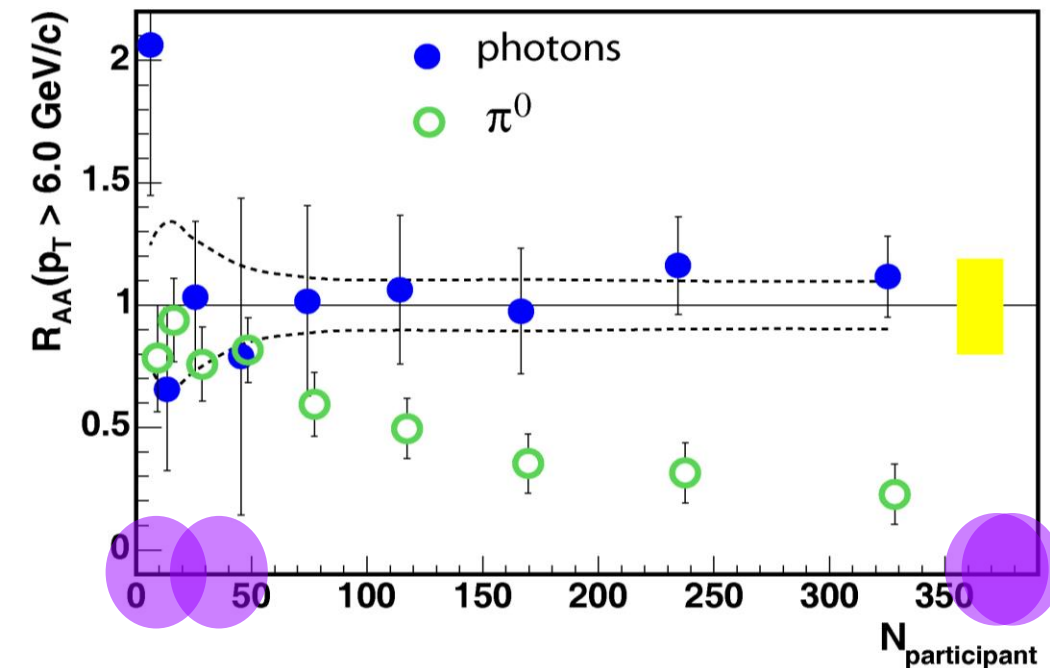
Szisztematikus vizsgálat

- Periférikus (>80%) Au+Au és d+Au: nincs elnyelődés
- Centrális (<10%) Au+Au: nagy elnyelődés!

$$R_{\text{Au+Au}} = \frac{\text{Részecskeszám}_{\text{Au+Au}}}{\text{Részecskeszám}_{\text{p+p}}} \frac{1}{\langle N_{\text{p+p ütközések}} \rangle_{\text{Au+Au}}}$$



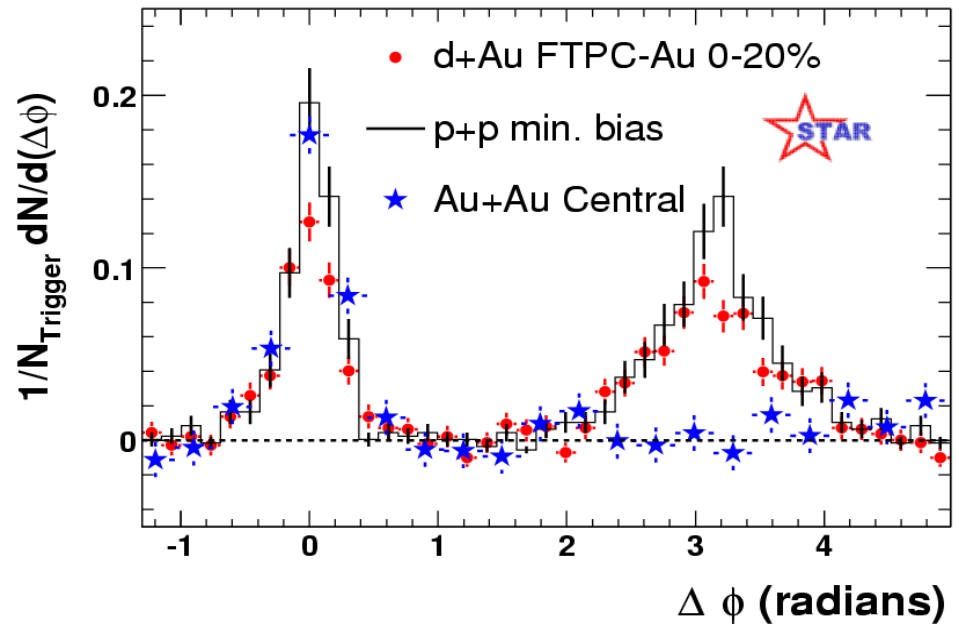
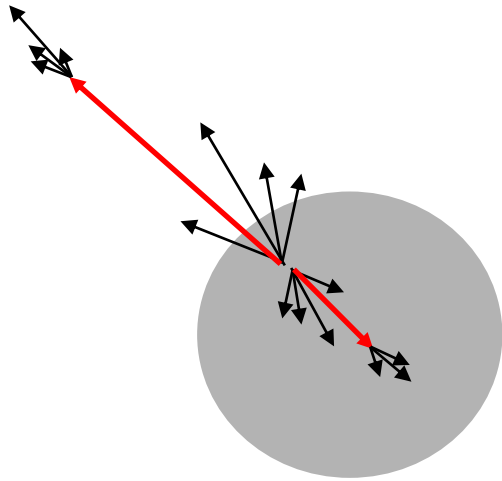
Csak a hadronok nyelődnek el!



- Négy mérés:
 - Foton- és pion-spektrum
 - Au+Au és p+p
- Szisztematikus hibák ellenőrzése több nagyságrenden keresztül

- Direkt fotonok „átfénylenek” az anyagon
- A pionok elnyelődése változatlan 20 GeV-ig
- A közeg fotonok számára átlátszó, hadronoknak áthatolhatatlan

Szögkorreláció vizsgálata



- Szögkorreláció mérése
 - 0 – egyirányúak
 - π – ellentétesek
- Kifelé: p+p, d+Au, Au+Au hasonló
- Befelé: elnyelődés csak Au+Au esetén
- Erősen kölcsönható közeg, az anyag egy új formája

Az első két mérőkönyv

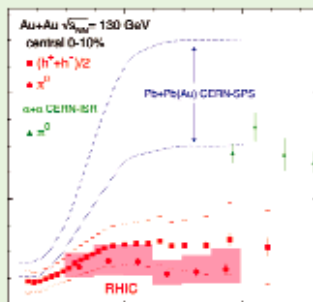
- Két Phys. Rev. Letter címlap, tudományos konszenzus
- Részvétel komoly anyagi ráfordítás nélkül (sok munkával)
- Lehetőség az újabb felfedezésekre

1. mérőkönyv

PHYSICAL
REVIEW
LETTERS

14 January 2002

Volume 88, Number 2



Member Subscription Copy
Library or Other Institutional Use Prohibited Until 2007



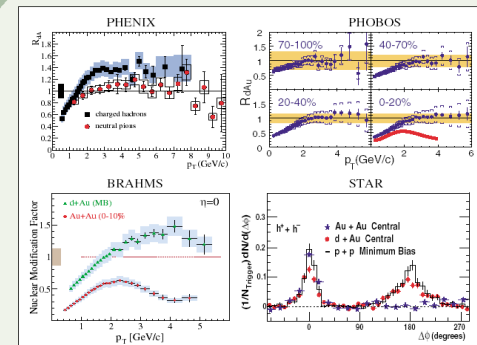
Published by The American Physical Society

2. mérőkönyv

PHYSICAL
REVIEW
LETTERS

Articles published week ending
15 AUGUST 2003

Volume 91, Number 7

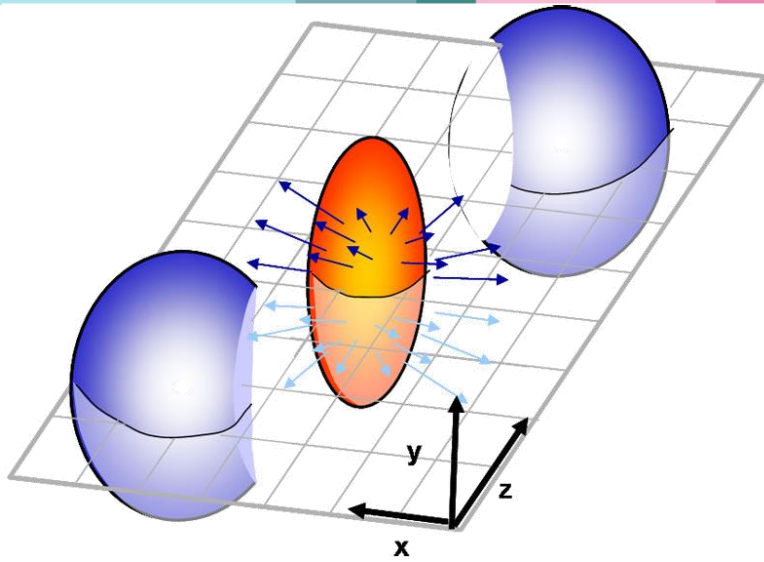


Member Subscription Copy
Library or Other Institutional Use Prohibited Until 2008

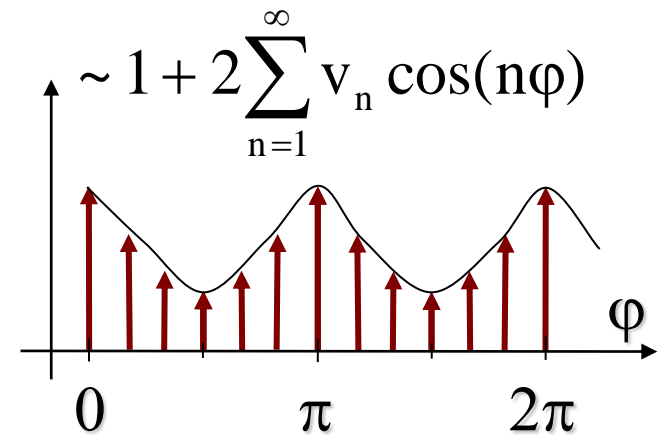
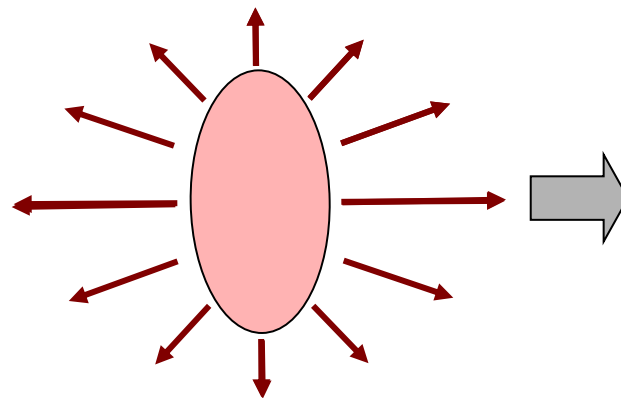
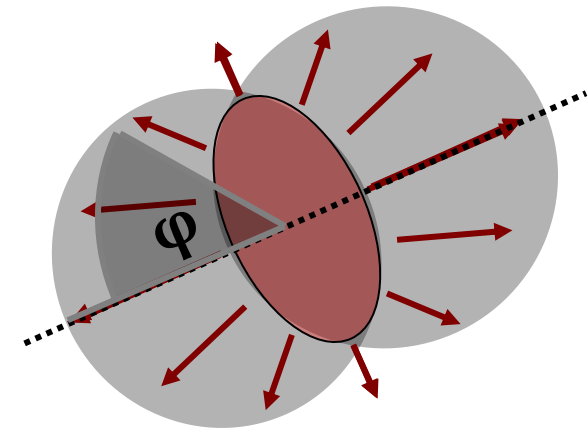


Published by The American Physical Society

Kollektív dinamika



- Tágulás: nyomásgradiens
- Egyes irányokban lapultabb alak!
- Elliptikus folyás, v_2 : aszimmetria
- Ritka gáz: $v_2 = 0$
- Hidrodinamika: $v_2 > 0$



$$v_2 = \langle \cos(2\varphi) \rangle$$

Folyadék állapot: 3. mérföldkő

- Az Amerikai Fizikai Intézet szerint 2005. legfontosabb eseménye: az erősen kölcsönható folyadék felfedezése a RHIC-nél
- Négy kísérlet öt éves munkája, egybehangzóan
- 3350 hivatkozás az összefoglaló cikkekre

Cím <http://www.aip.org/pnu/2005/split/757-1.html>

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS SEARCH advanced search home

Physics News Update

The AIP Bulletin of Physics News

Number 757 #1, December 7, 2005 by Phil Schewe and Ben Stein

The Top Physics Stories for 2005

At the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) on Long Island, the four large detector groups agreed, for the first time, on a consensus interpretation of several year's worth of high-energy ion collisions: the fireball made in these collisions -- a sort of stand-in for the primordial universe only a few microseconds after the big bang -- was not a gas of weakly interacting quarks and gluons as earlier expected, but something more like a liquid of strongly interacting quarks and gluons ([PNU 728](#)).

Other top physics stories for 2005 include, in general chronological order of their appearance throughout the year, the following:

the arrival of the Cassini spacecraft at Saturn and the successful landing of the Huygens probe on the moon Titan ([PNU 716](#));

the development of lasing in silicon ([Nature 17 February](#));

[Subscribe to Physics News Update](#)

[Physics News Graphics](#)

[Physical Review Focus](#)

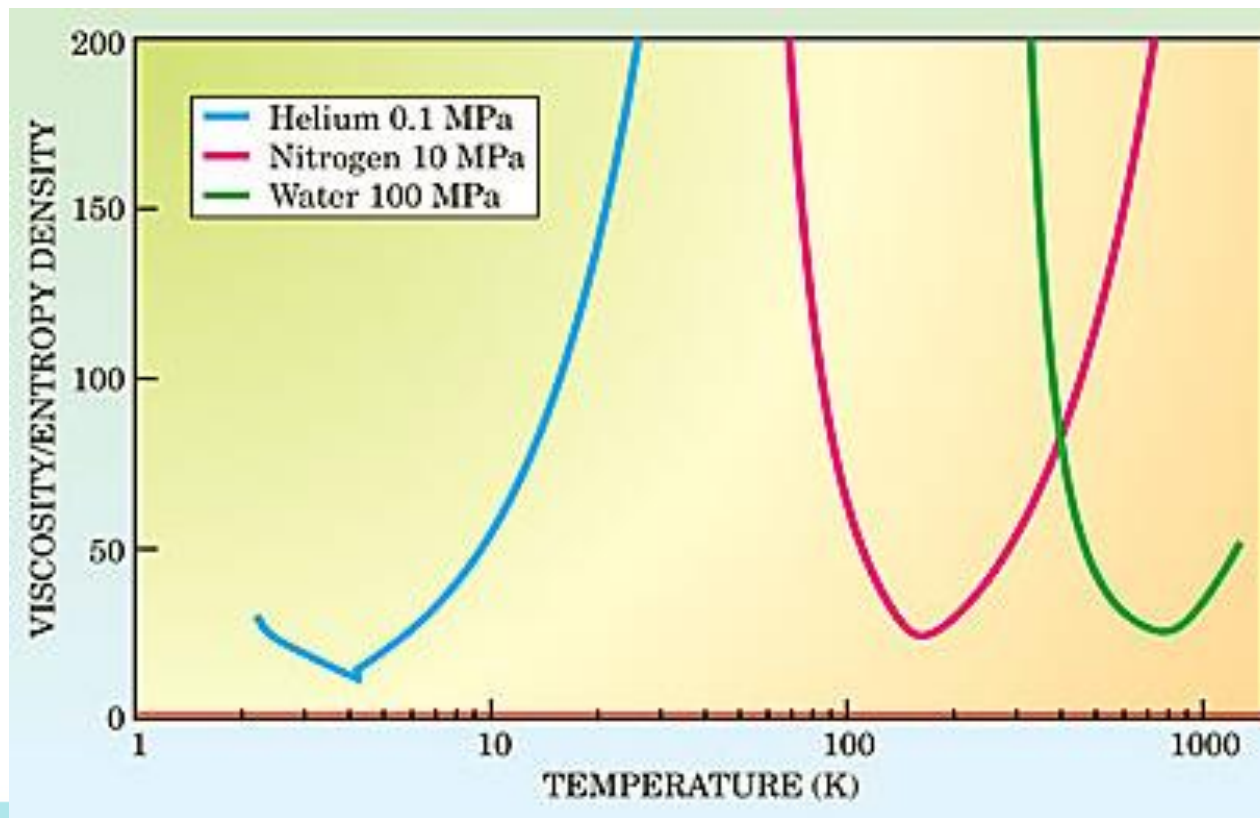
[Physics News Links](#)

Archives

- [2006](#)
- [2005](#)
- [2004](#)

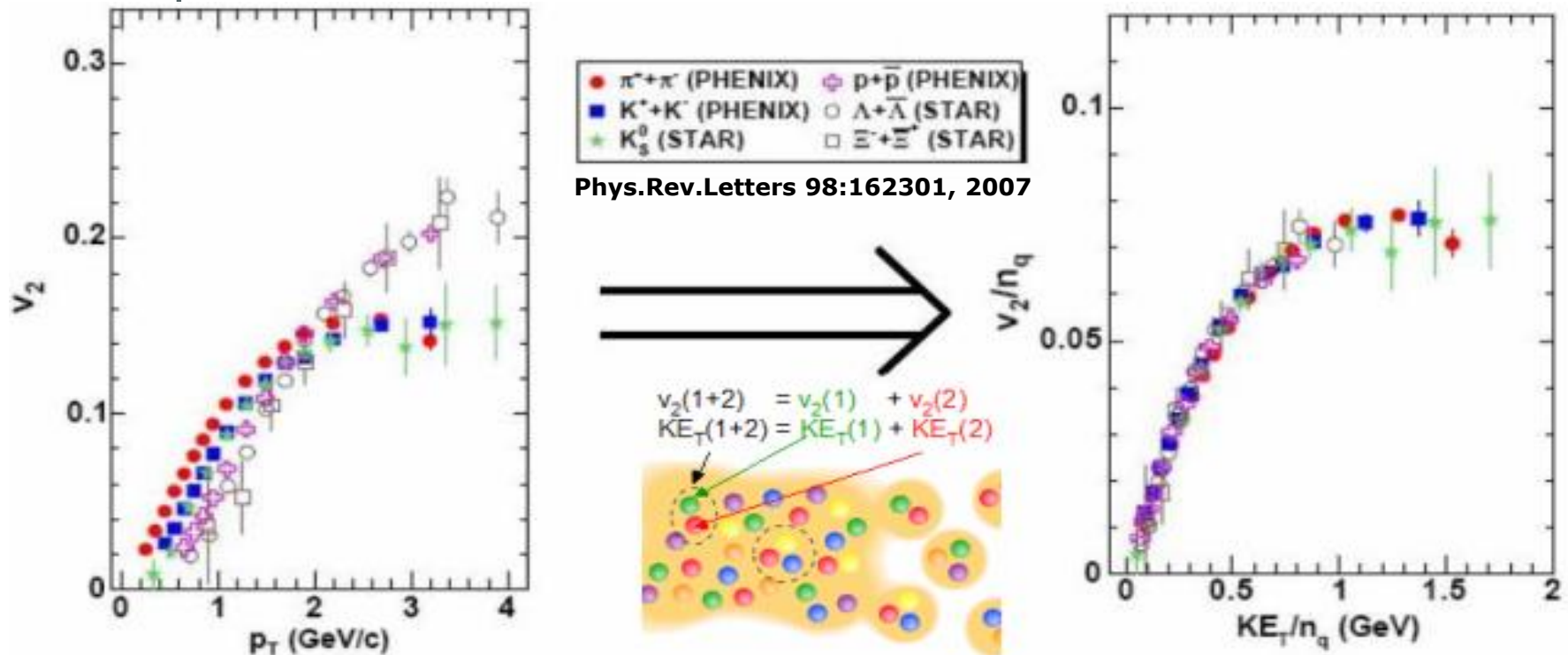
A tökéletes folyadék: 4. mérődkő

- Folyékonyság mérőszáma: viszkozitás
- Sok anyag: adott ponton nagyon alacsony viszkozitás
- Vizsgált anyag viszkozitása szinte nulla!



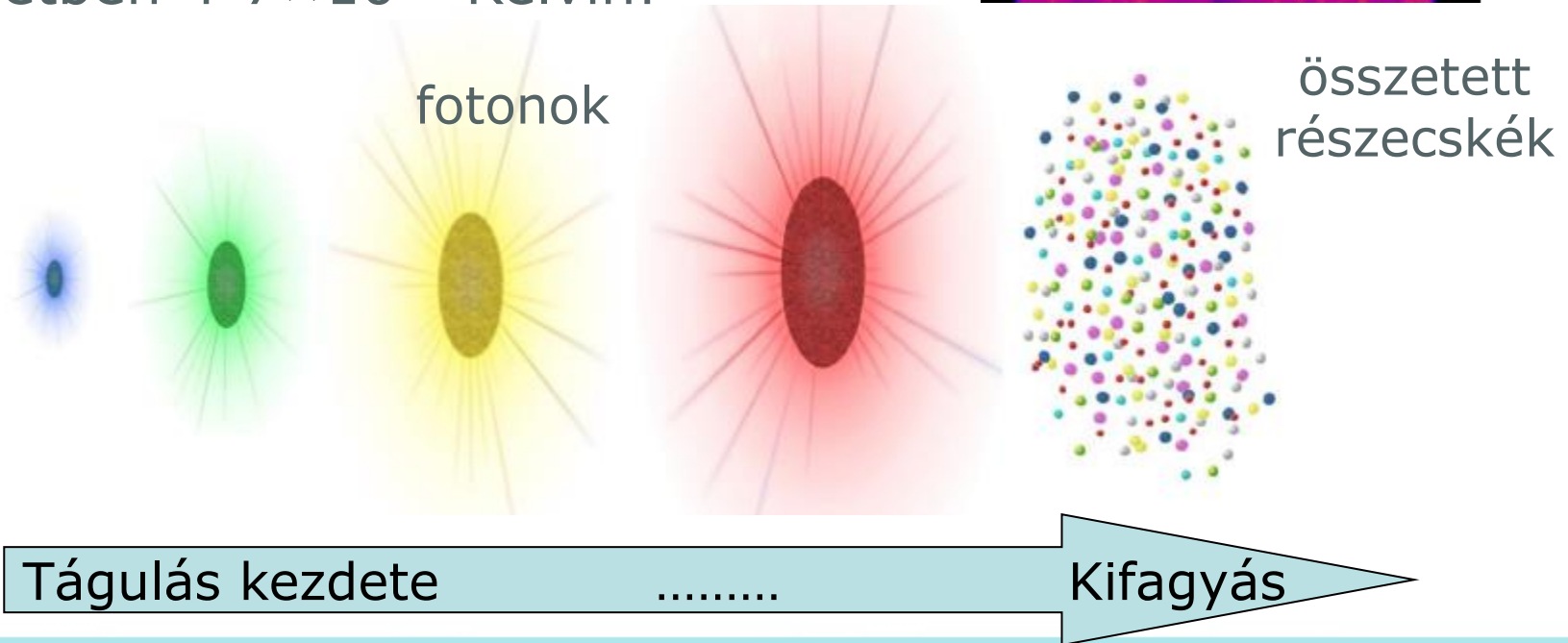
Kvarkok jelei: 5. mérődkő

- Elliptikus folyás skálaviselkedése
- A mozgási energia (KE) függvényében mérjük
- Az aszimmetria részecsketípusokra: kvarktartalomtól függ!
- Skálaparaméter: kvarktartalom



A hőmérséklet mérése: 6. mérődkő

- Összetett részecskék keletkezése: kvarkanyag megszűnése után
- Fotonok folyamatosan keletkeznek
- Hőkamerához hasonló elv
- Kezdetben $4-7 \times 10^{12}$ Kelvin!

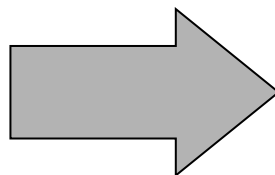


Hol járunk?

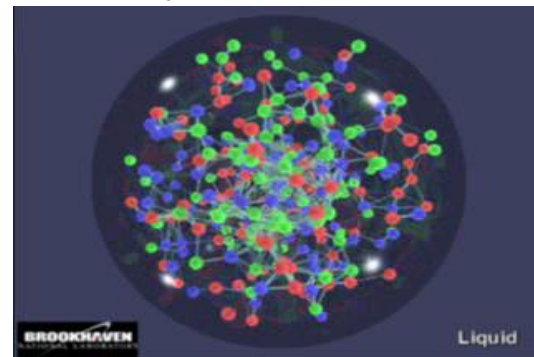
- Az anyag nagyon erősen elnyelő
 - 10^{-15} méterrel elnyeli a részecskéket
 - Hagyományos anyag: mm vagy cm skála
- Az anyag tökéletes folyadék
 - Viskozitása kisebb, mint eddig bárminek
- Az anyag forróbb, mint eddig bármi (10^{12} K)
 - A kvarkok kiolvadnak börtönükből!
- Összegzés: A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK!
- sQGP

- MTV Híradó: [Magyar kutatók az űsrobbanás utáni állapotot vizsgáló kísérletekben](#)
- MTA: [Megmérték a legforróbb anyag hőmérsékletét](#)
- Origo.hu: [Létrehozzák az Univerzum őanyagát](#)
- Index.hu: [A legnagyobb hőség a Nagy Bumm óta](#)
- [New York Times](#), [USA Today](#), [Discovery](#), [Gizmodo](#), [The Telegraph](#), ...

Összegzés



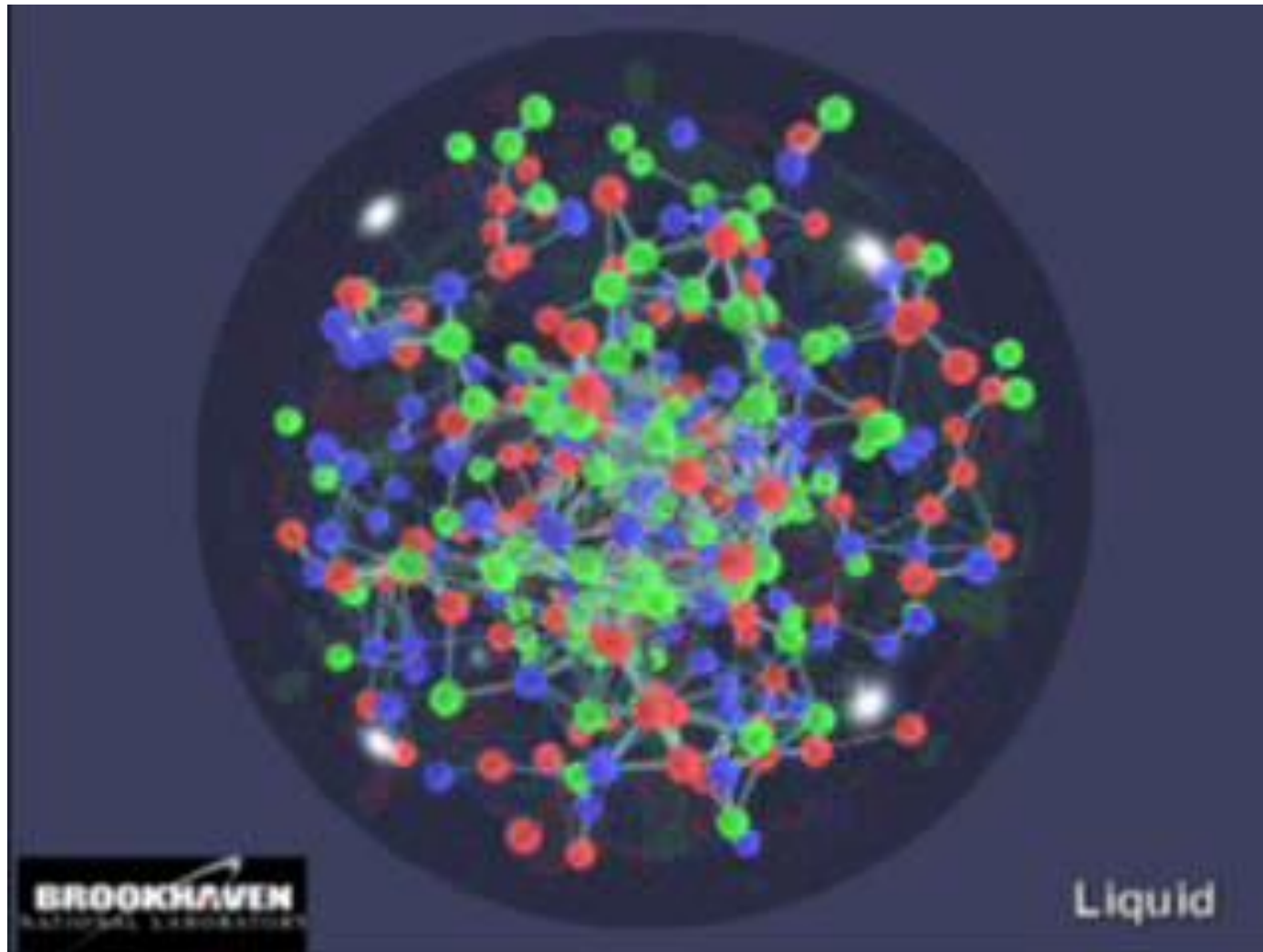
SQGP!



~~Szabad Q-G plazma~~



Köszönöm a figyelmet



Érdekeség

CITES PER PAPER (>= 23 PAPER THRESHOLD)

Rank	Nations	Citations	Papers	Cites per paper
1	HUNGARY	7,753	194	39.96
2	ISRAEL	8,051	237	33.97
3	CROATIA	3,052	101	30.22
4	DENMARK	2,865	102	28.09
5	ROMANIA	2,078	76	27.34
6	TAIWAN	11,435	431	26.53
7	SWEDEN	9,840	406	24.24
8	BRAZIL	14,358	650	22.09
9	NORWAY	3,416	162	21.09
10	POLAND	13,782	679	20.30
11	SOUTH KOREA	14,210	703	20.21
12	AUSTRALIA	1,317	66	19.95
13	CANADA	11,618	615	18.89
14	INDIA	14,665	800	18.33
15	CZECH REPUBLIC	7,192	404	17.80
16	PORTUGAL	2,517	145	17.36
17	SLOVENIA	1,325	77	17.21
18	ENGLAND	23,428	1,380	16.98
19	RUSSIA	24,577	1,454	16.90
20	FRANCE	25,521	1,557	16.39

- Thomson Reuters friss felmérése a tudományos eredményességről
- Országok rangsora, idézettség
 - Abszolút: USA, EU nagyok
 - Relatív: Magyarország!
- Intézmények
 - Abszolút idézettség: Brookhaven, CERN, JINR (Dubna)
 - Relatív idézettség: IHEP (Protvino), FSU, Columbia

„Új természeti törvények felfedezéséről”

„Általában az alábbi módon keressük az új természeti törvényeket.

Első lépésben felteszünk egy elméletet.

Aztán megvizsgáljuk a feltételezésünk következményeit, hogy lássuk, mit jelentene, ha az elméletünk igaz lenne.

Majd a számítások eredményeit összehasonlítjuk a Természettel, közvetlenül a megfigyelésekkel, kísérlet vagy tapasztalat által, hogy lássuk, működik-e.

Ha ellentmond a kísérleteknek, akkor hibás az elméletünk.

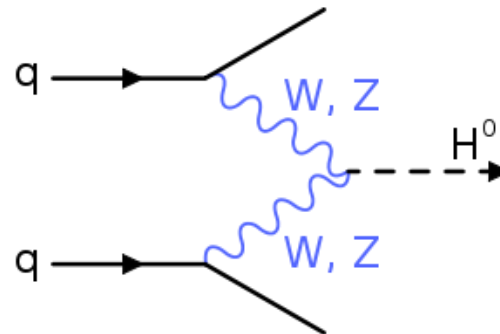
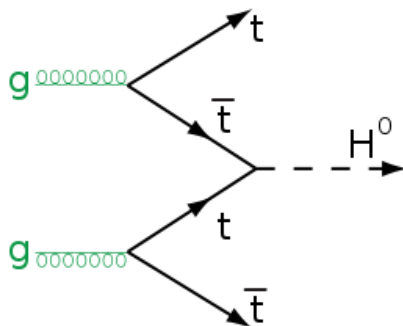
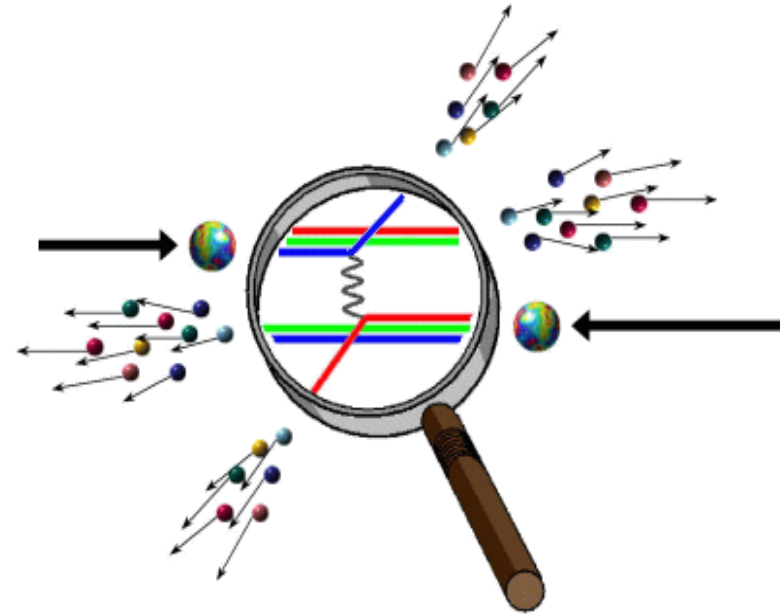
Ebben az egyszerű állításban van a tudomány kulcsa.

Nem számít, milyen szép az elméletünk, nem számít, milyen okosak vagyunk, hogy ki találta ki az elméletet, hogy őt hogy hívják —ha ellentmond a kísérleteknek, akkor hibás.”

/R.P. Feynman/

A Higgs keresése

- Nagyenergiás ütközések
- Gyors proton szétesik gluonokra és kvarkokra
- Ezek hadronokká és bozonokká alakulnak
- Létrejöhet a Higgs
- Az ilyen ritka eseményeket kell megtalálni!



Az elemi részek száma

- Ókor: négy elem 4
- 1869: periódusos rendszer ~ 100
- 1930: proton, neutron, elektron 3
- 1930-1960: „hadronok” ~ 100
- 1975: standard modell 4
- ~ 2000 : elemi részek sok altípusa ~ 100
- Még elemibb részecskék? ??

