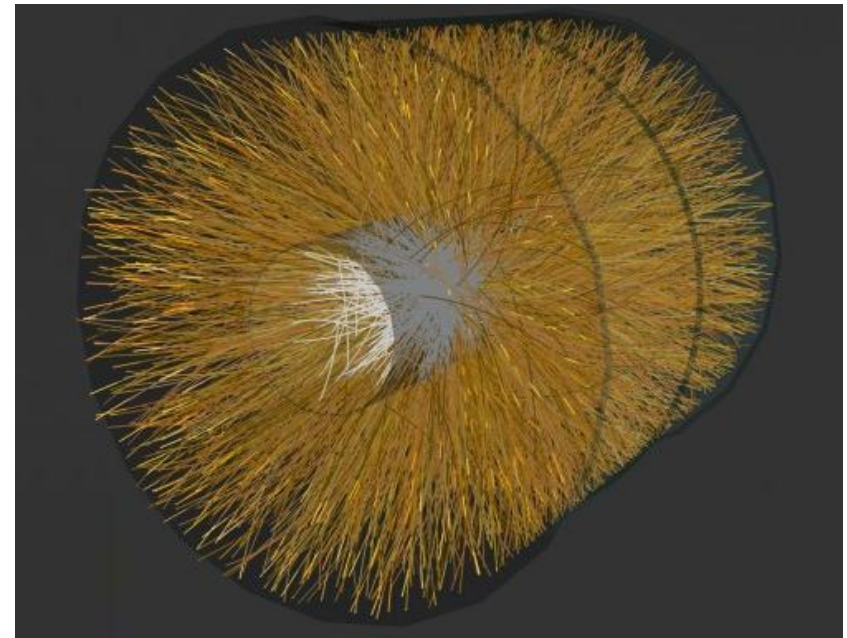


Részecskegyorsítók az Ősrobbanás nyomában avagy a tökéletes kvarkfolyadék

Csanád Máté (ELTE Atomfizikai Tanszék)



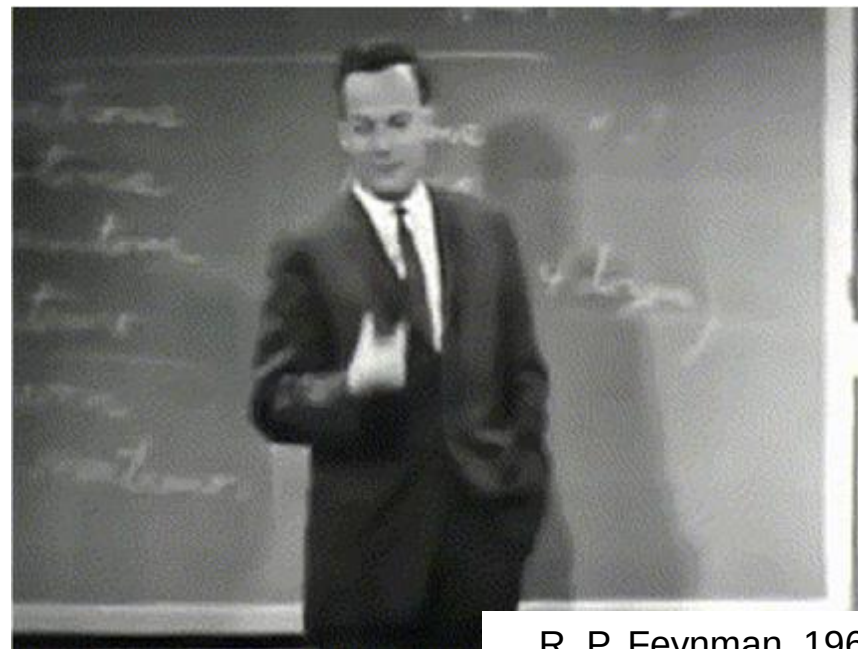
„Új természeti törvények felfedezéséről”

„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.



R. P. Feynman, 1964

Ha ellentmond a kísérleteknek, akkor az elméletünk hibás.



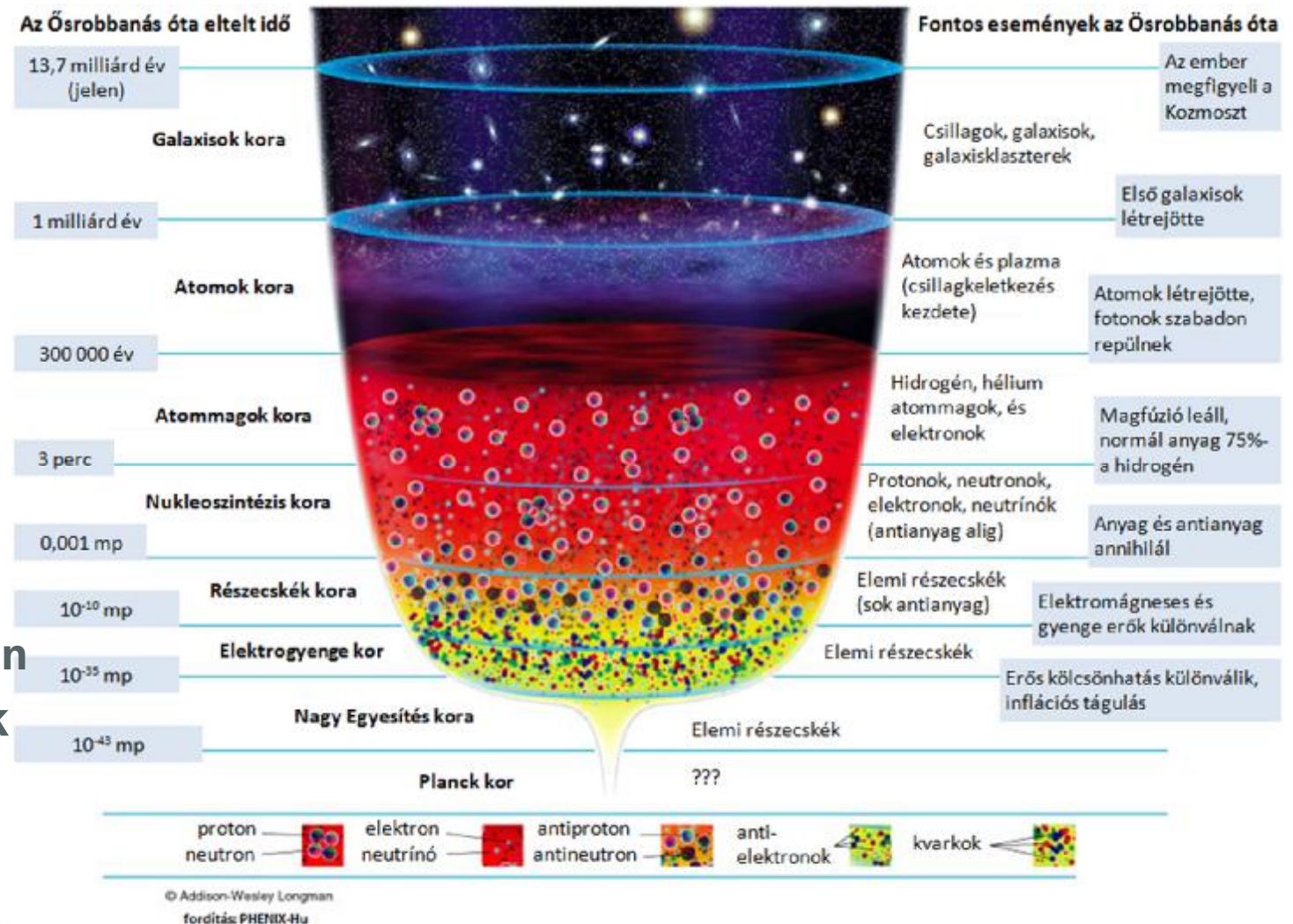
Ebben az egyszerű állításban van a tudomány kulcsa.

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.”

/Richard P. Feynman/

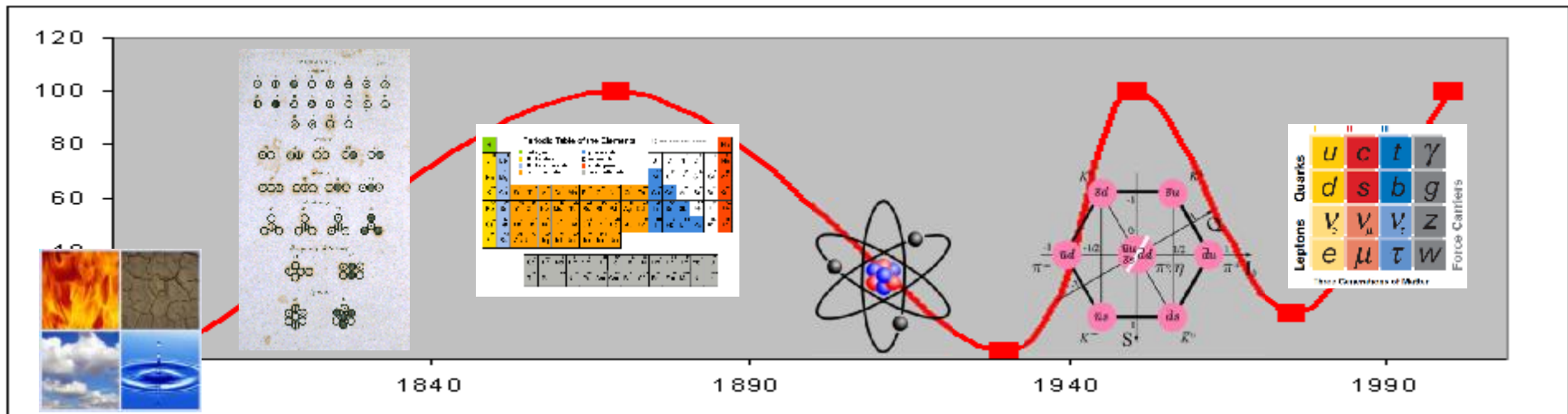
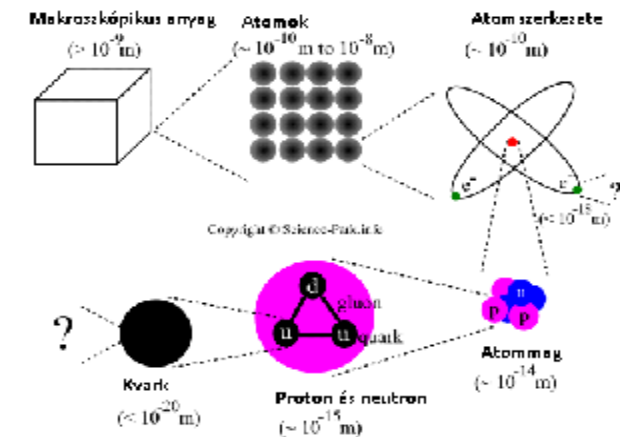
A Világegyetem története

- **Ősrobbanás:**
0 másodperc
- **Jelen:**
13,7 mrd év
- **Nem mindig léteztek:**
 - Galaxisok
 - Csillagok
 - Atomok
 - Atommagok
 - Proton, neutron
- **Meddig tudunk visszamenni elméleti modellekkel?**



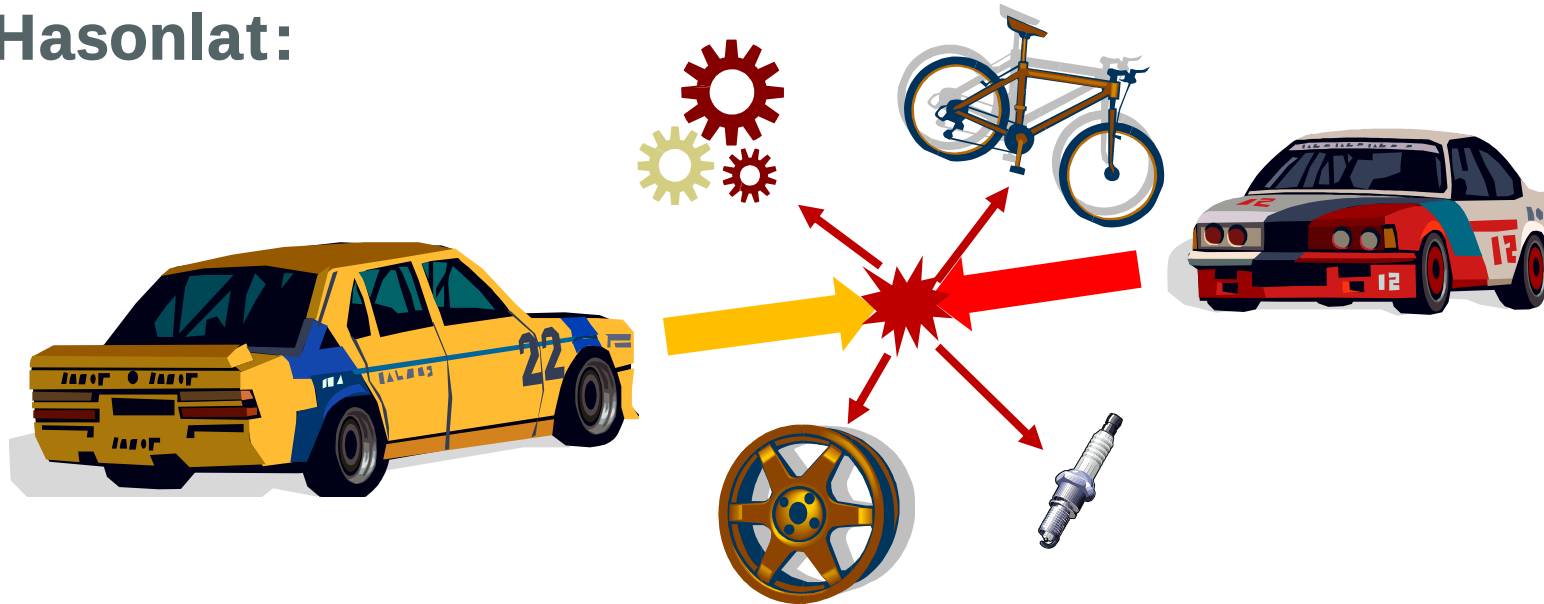
Miből van, hogy működik a világ?

- Ókor: négy elem, majd rengeteg különböző anyag
- 1789: Dalton elemei 33
- 1869: atomok, 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? ??

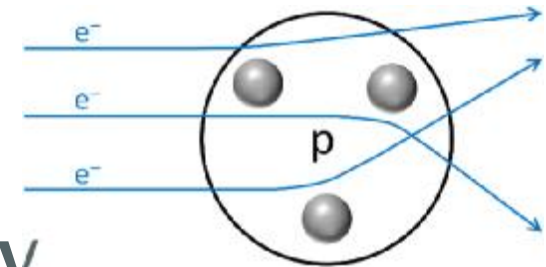


A részecskefizika módszere

- Nagyenergiás ütközésekben keletkeznek új részecskék
- Hasonlat:

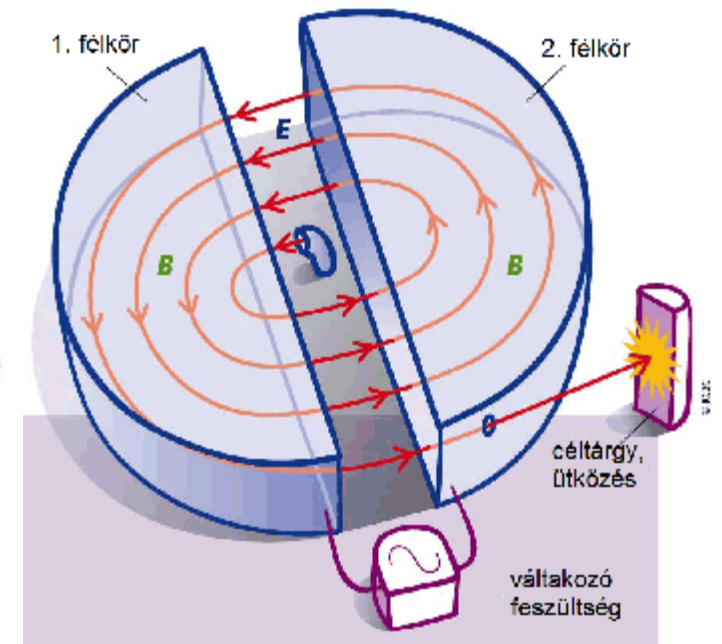
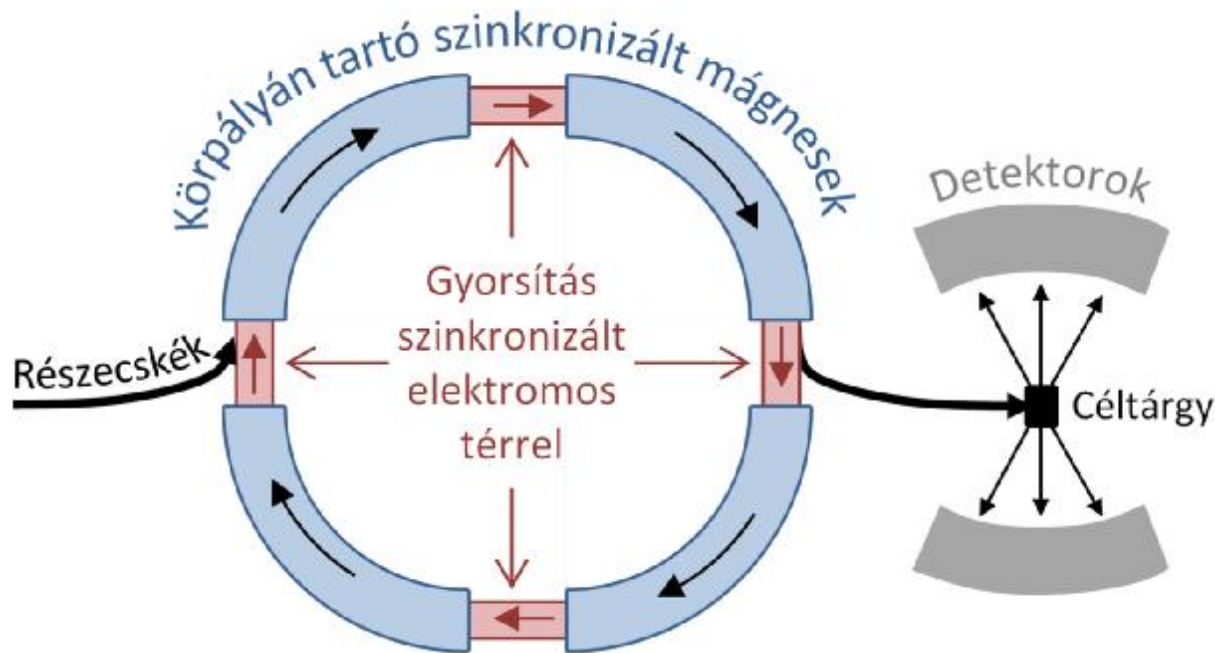
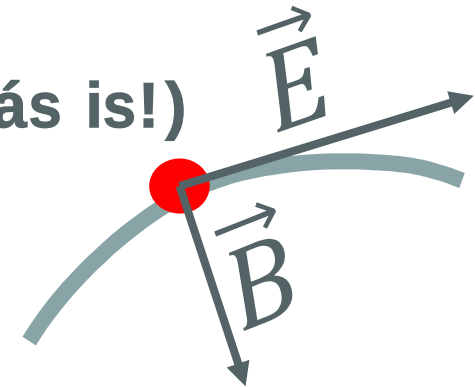


- Szétrepülő alkatrészek, ritkán új modellek állnak össze
- Így vizsgálták a proton szerkezetét is
- Felbontás: $\approx hc/E$, protonméret: 1 GeV
- Részecsegyorsítók!



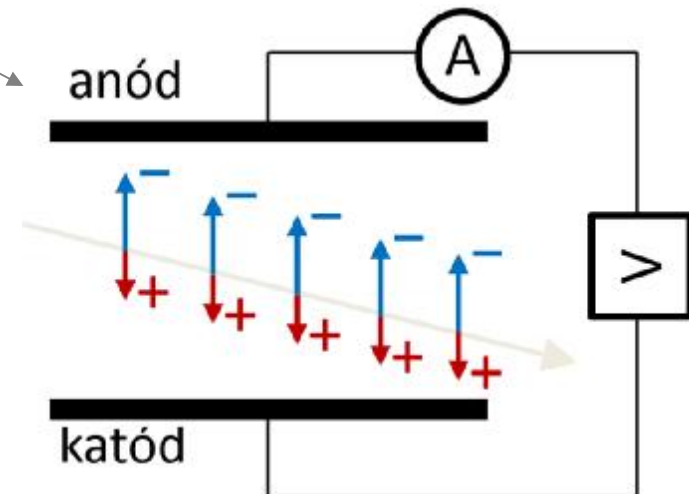
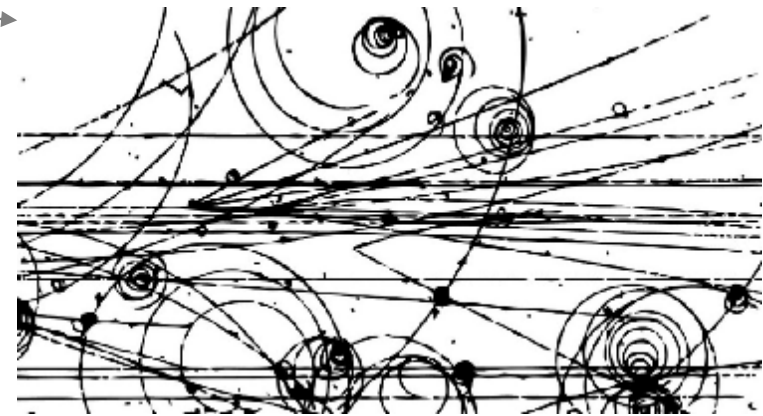
Részecskegyorsítók

- Gyorsítás: elektromos tér (feszültség)
- Pályán tartás: mágneses tér (fókuszálás is!)
- Ciklotron: félkörök között gyorsítás
- Szinkrotron: fix körpálya



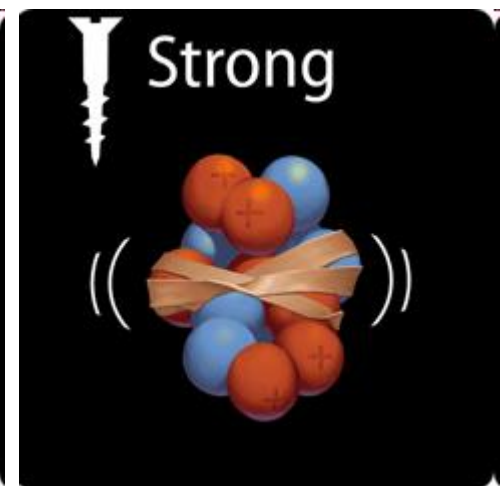
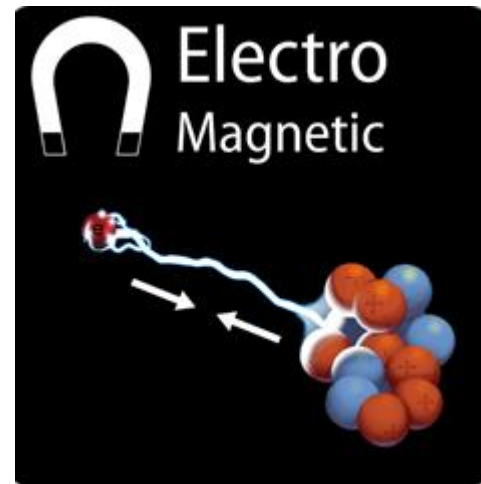
Részecskedetektorok

- Buborékkamra: túlhevített folyadék, buborékképződés eredmény lefényképezése
- Ködkamra: túltelített gőz, cseppképződés, fényképezés
- Ionizációs detektor: áthaladó részecske ionizál, elektronikus észlelés
- Szcintillációs detektor: sugárzás hatására felvillanás
- Félvezető detektor: digitális fényképező CCD chiphez hasonló
- Sok Nobel-díj a témában: Wilson, Glaser, Charpak,



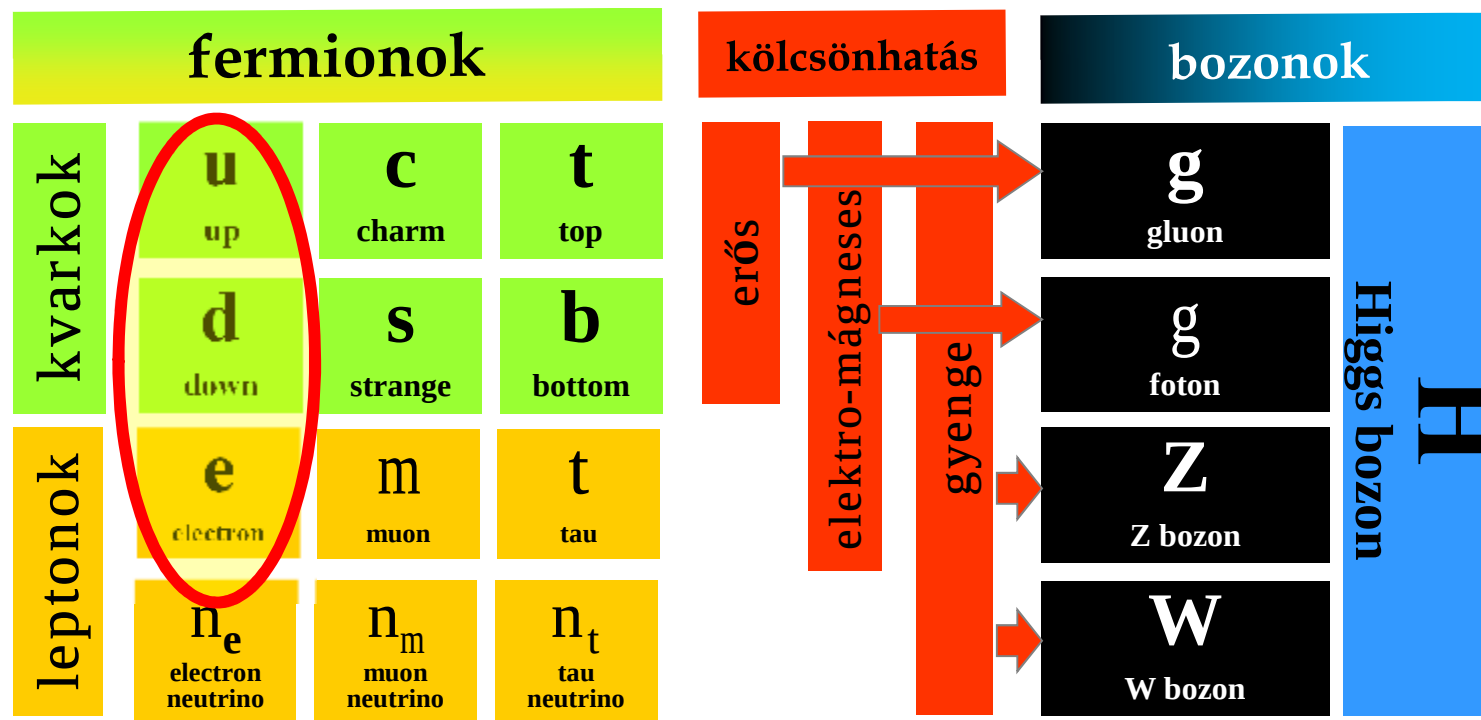
Kölcsönhatások és közvetítőik

- **Elektromos és mágneses:**
 - Közvetítő: foton
 - Molekulák, fény
 - Telefon, számítógép, ...
- **Gyenge kölcsönhatás**
 - Közvetítő: W, Z bozon
 - Radioaktivitás
- **Erős kölcsönhatás: gluon**
 - Atommagokat összetartó erő
 - Nap működtetője
- **Gravitáció**
 - Rövid távon a leggyengébb
 - Alapvetően más: „téridő görbülete”



A részecskék Standard Modellje

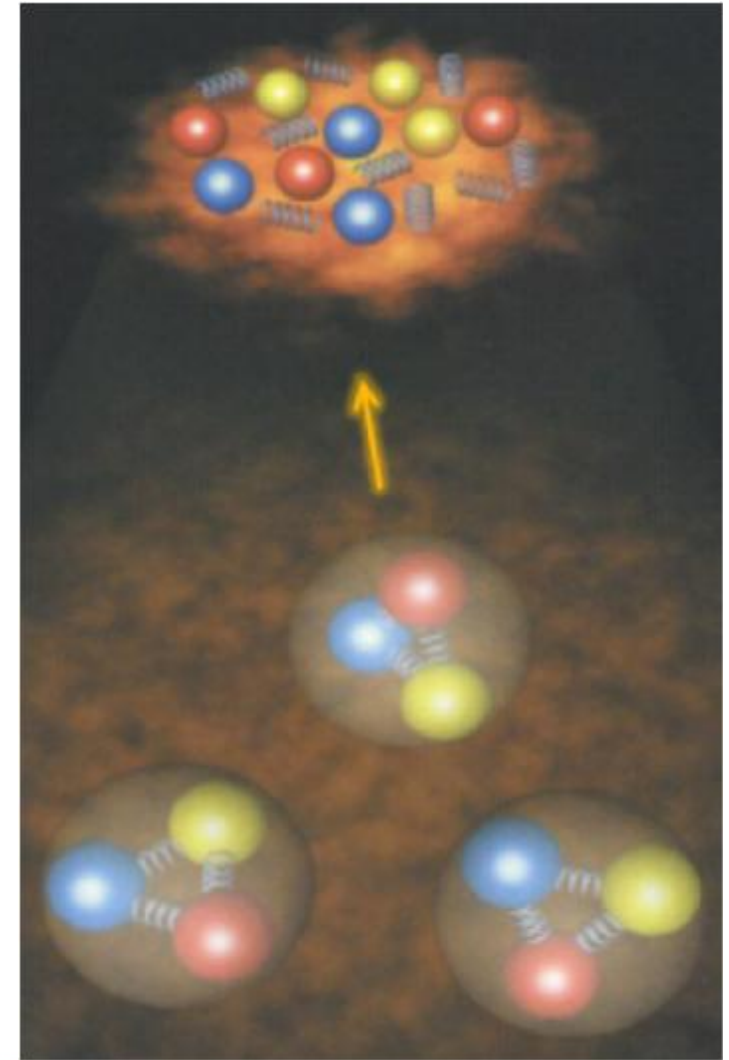
- Három kölcsönhatás: elektromágneses, erős, gyenge
- Közvetítő bozonok szerepe



- Hétköznapi anyag: u, d kvarkok és elektronok
- Ősrobbanás utáni ezredmp.: erős kcsk a legfontosabb

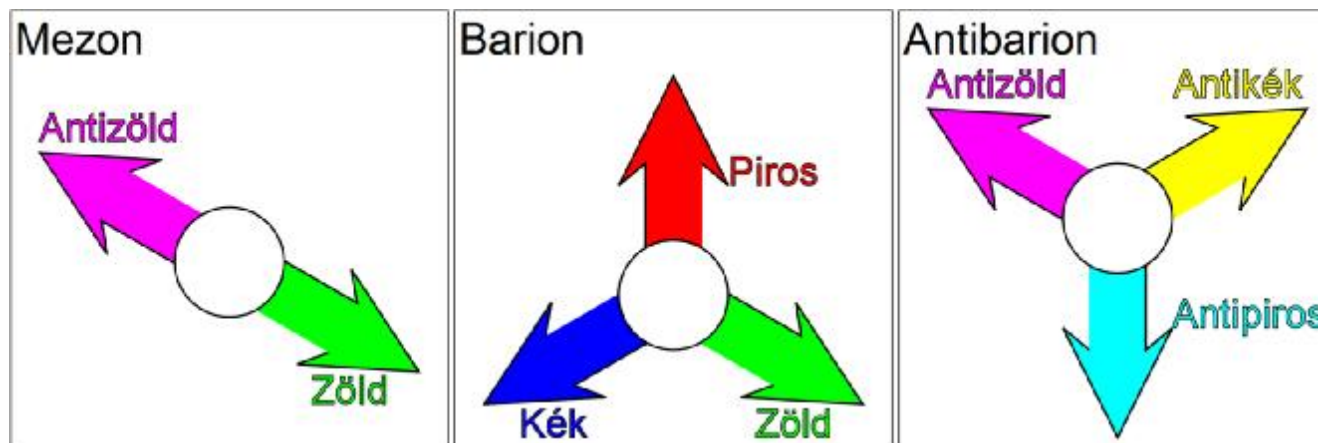
Miért vizsgáljuk az erős kölcsönhatást?

- **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
- **Talán 20-50-100 év múlva konkrétan hasznosítjuk az erős kölcsönhatást!**



Az erős kölcsönhatás

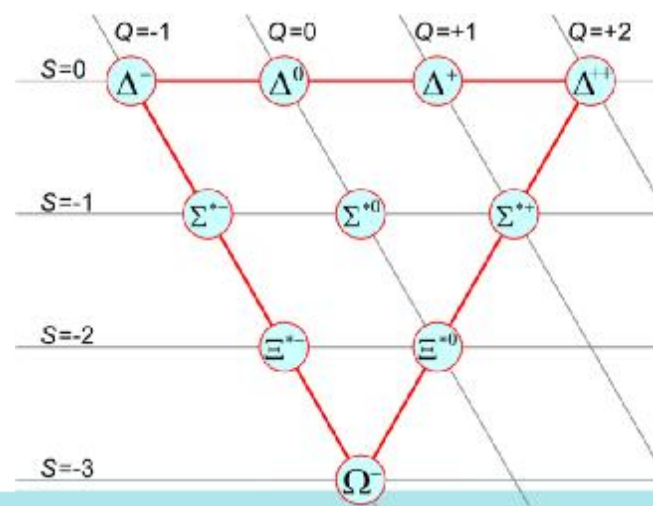
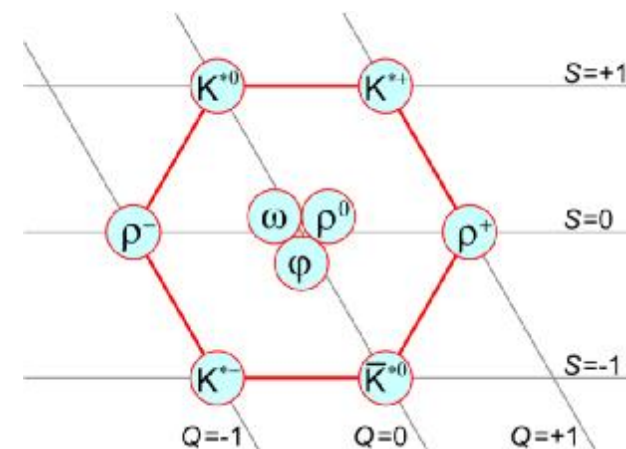
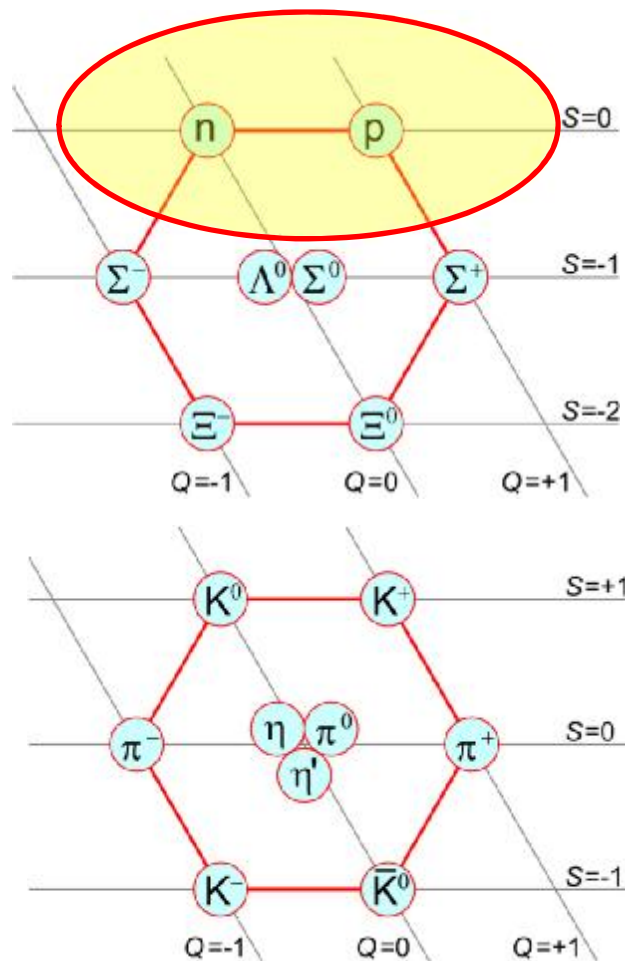
- Kvarkok kölcsönhatása
- Erő közvetítője: gluon (elektromosság: foton)
- Elektromos kölcsönhatás: elektromos töltés (+, -)
- Erős kölcsönhatás: színtöltés
 - piros, zöld és kék ill. magenta, cián és sárga



- Megfigyelhető mezonok és barionok: színsemlegesek („fehérek”)
- Kvarkok megfigyelhetőek mezonokon v. barionokon kívül?

Mezonok és barionok táblázatai

- Ezek szabályosságai vezettek a kvarkokhoz



Ismert mezonok és barionok

- Mezonok ($q\bar{q}$)

π^0	0	0	0.135 GeV	$(\bar{u}u - \bar{d}d)/\sqrt{2}$
π^+, π^-	+1, -1	0	0.139 GeV	$\bar{d}u, \bar{u}d$
K^+, K^-	+1, -1	0	0.494 GeV	$\bar{s}u, \bar{u}s$
$K^0, \bar{K}^0$	0	0	0.498 GeV	$\bar{s}d, \bar{d}s$
η	0	0	0.548 GeV	$(\bar{u}u + \bar{d}d)/\sqrt{2}$
η'	0	0	0.958 GeV	$\bar{s}s$
ρ^0	0	1	0.776 GeV	$(\bar{u}u - \bar{d}d)/\sqrt{2}$
ρ^+, ρ^-	+1, -1	1	0.776 GeV	$\bar{u}d, \bar{d}u$
ω	0	1	0.783 GeV	$(\bar{u}u + \bar{d}d)/\sqrt{2}$
ϕ	0	1	1.019 GeV	$\bar{s}s$
K^{*+}, K^{*-}	+1, -1	1	0.892 GeV	$\bar{s}u, \bar{u}s$
$K^{*0}, \bar{K}^{*0}$	0	1	0.896 GeV	$\bar{s}d, \bar{d}s$
$D^0, \bar{D}^0$	0	0	1.865 GeV	$\bar{c}u, \bar{u}c$
D^+, D^-	+1, -1	0	1.870 GeV	$\bar{c}d, \bar{d}c$
J/ψ	0	0	3.096 GeV	$\bar{c}c$
$\psi(2S)$	0	0	3.686 GeV	$\bar{c}c$
$B^0, \bar{B}^0$	0	0	5.280 GeV	$\bar{d}b, \bar{b}d$
B^+, B^-	+1, -1	0	5.279 GeV	$\bar{d}b, \bar{b}d$
$B_s^0, \bar{B}_s^0$	0	0	5.367 GeV	$\bar{s}b, \bar{b}s$
$\Upsilon(1S)$	0	1	9.460 GeV	$\bar{b}b$
$\Upsilon(2S)$	0	1	10.023 GeV	$\bar{b}b$
$\Upsilon(3S)$	0	1	10.355 GeV	$\bar{b}b$

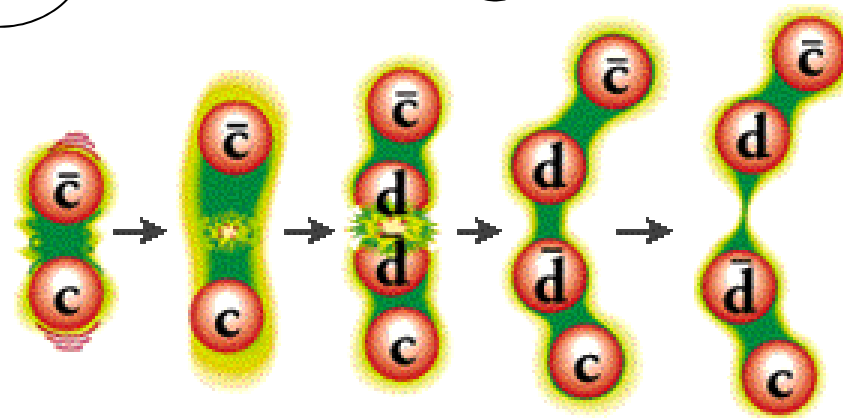
- Barionok (qqq)

p	1	1/2	0.938 GeV	uud
n	1	1/2	0.940 GeV	uud
Λ	0	1/2	1.116 GeV	uds
Σ^+	+1	1/2	1.189 GeV	uus
Σ^0	0	1/2	1.193 GeV	dds
Σ^-	-1	1/2	1.197 GeV	uds
Ξ^0	0	1/2	1.315 GeV	uss
Ξ^-	-1	1/2	1.321 GeV	dss
Δ^{++}, Δ^+	+2, +1	3/2	1.232 GeV	uuu, uud
Δ^0, Δ^-	0, -1	3/2	1.232 GeV	udd, ddd
Σ^*	+1, 0, -1	3/2	1.385 GeV(平均)	uus, uds, dds
Ξ^*	0, -1	3/2	1.533 GeV(平均)	uus, uds, dds
Ω^-	-1	3/2	1.672 GeV	sss
Λ_c	+1	1/2	2.286 GeV	udc
Λ_b	0	1/2	5.619 GeV	udb

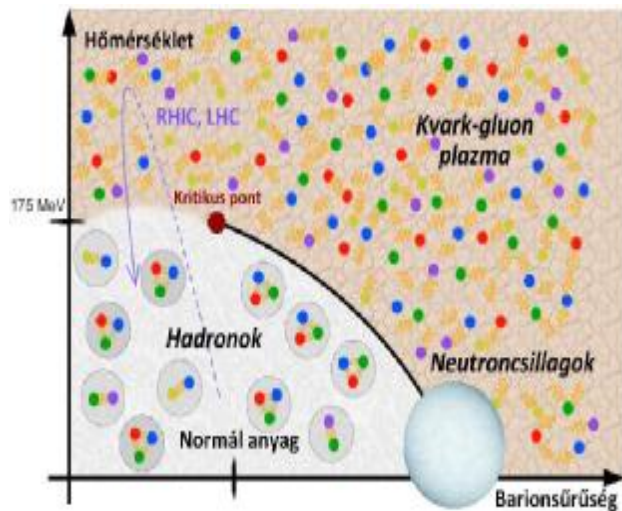
- És sokan mások...

A kvarkbezárás

- Szabad kvarkok nem figyelhetőek meg
- Összetett részecskék
- 2: mezon, 3: barion
- Távolodás: energia
- Újabb kvarkok!
- Újra bezáródnak
- Ellentéte: aszimptotikus szabadság
- Óriási hőmérsékleten kiszabadulhatnak?

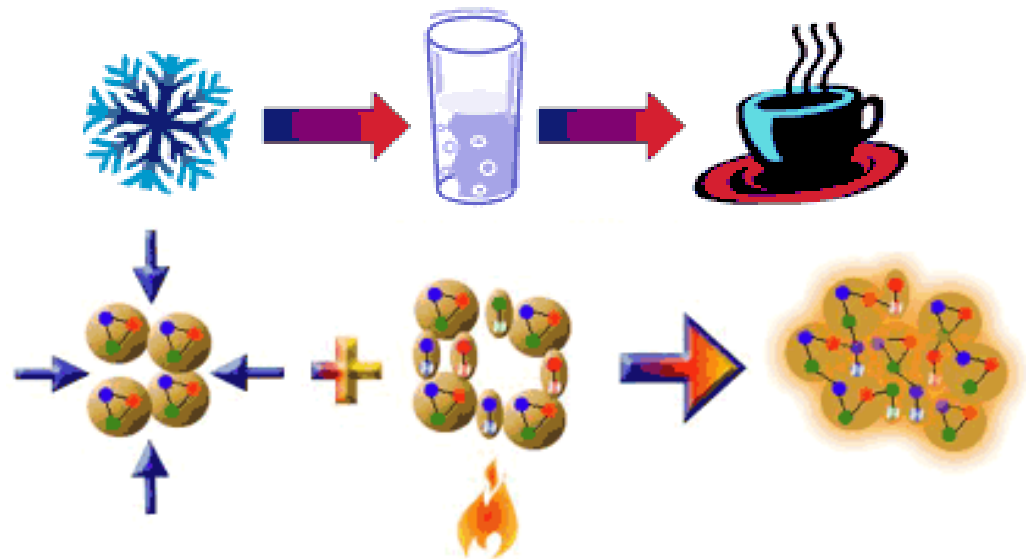


A maganyag megolvasztása



- Nukleon-olvasztás
- Kvarkok bezárása, kiszabadítása
- Hasonlat: jégből víz vagy gőz
 - Szárzjég? Vízjég?
- Nagy energiájú ütközéssel elérhető

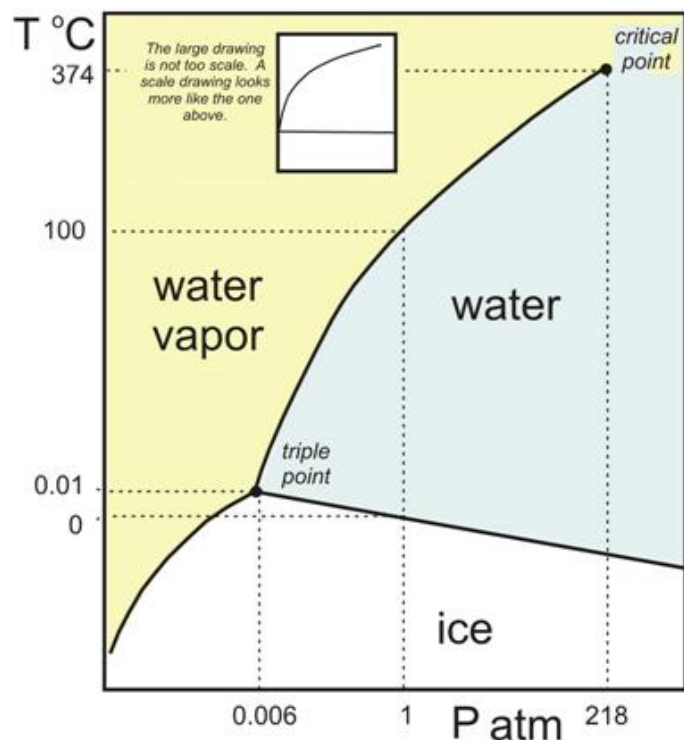
- 10^{-22} másodpercre létrejöhet az ősi anyag
- Várakozás: gáz vagy folyadék?



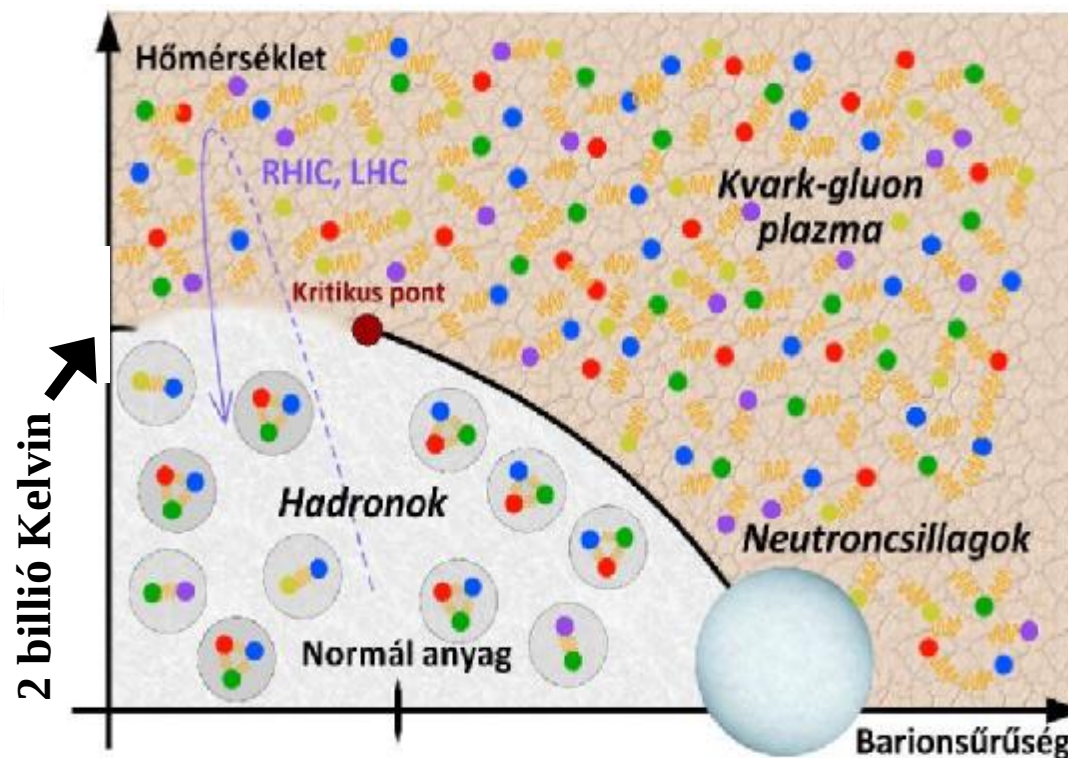
A maganyag fázisai

- Fázisdiagram: állapotjelzők – fázisok

Víz



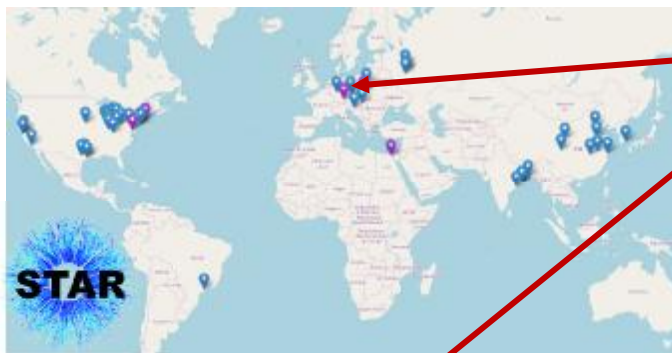
Maganyag



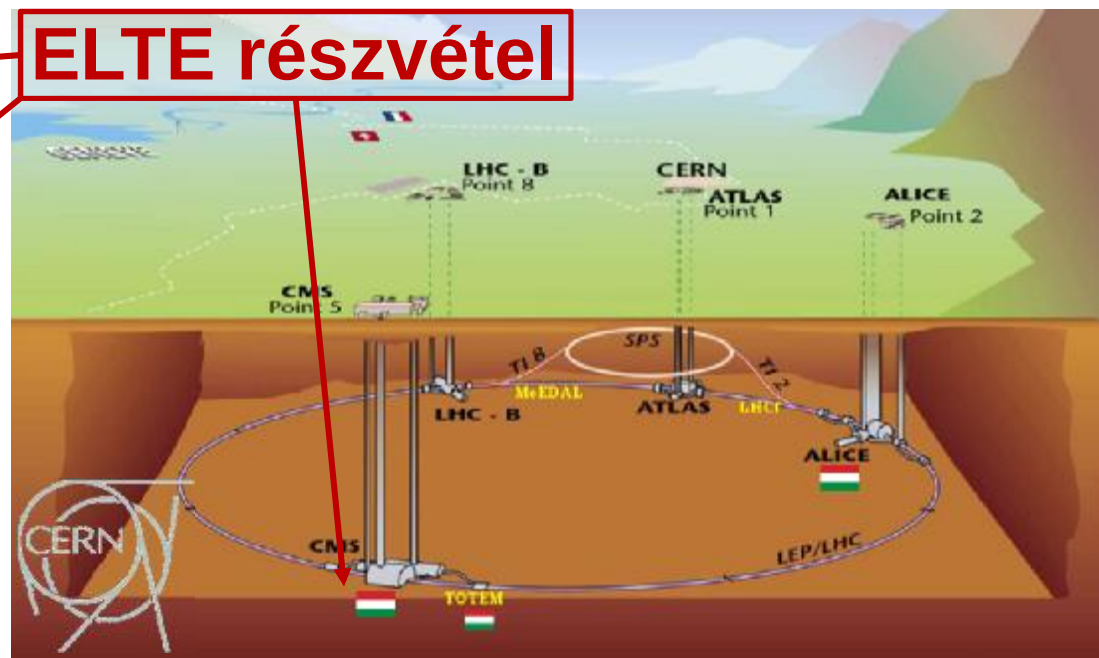
- Maganyag is hasonló fázisokkal rendelkezik
- Elméleti számítások: $T_c \approx 170 \text{ MeV} \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ K}$ ($\cdot k_{\text{Boltzmann}}$)

Kutatási helyszínek: RHIC, CERN

- RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider)
 - New York, Long Island mellett, 3.8 km
- LHC (Large Hadron Collider)
 - Genf mellett, Svájc és Franciaország határán, 27 km



ELTE részvétel

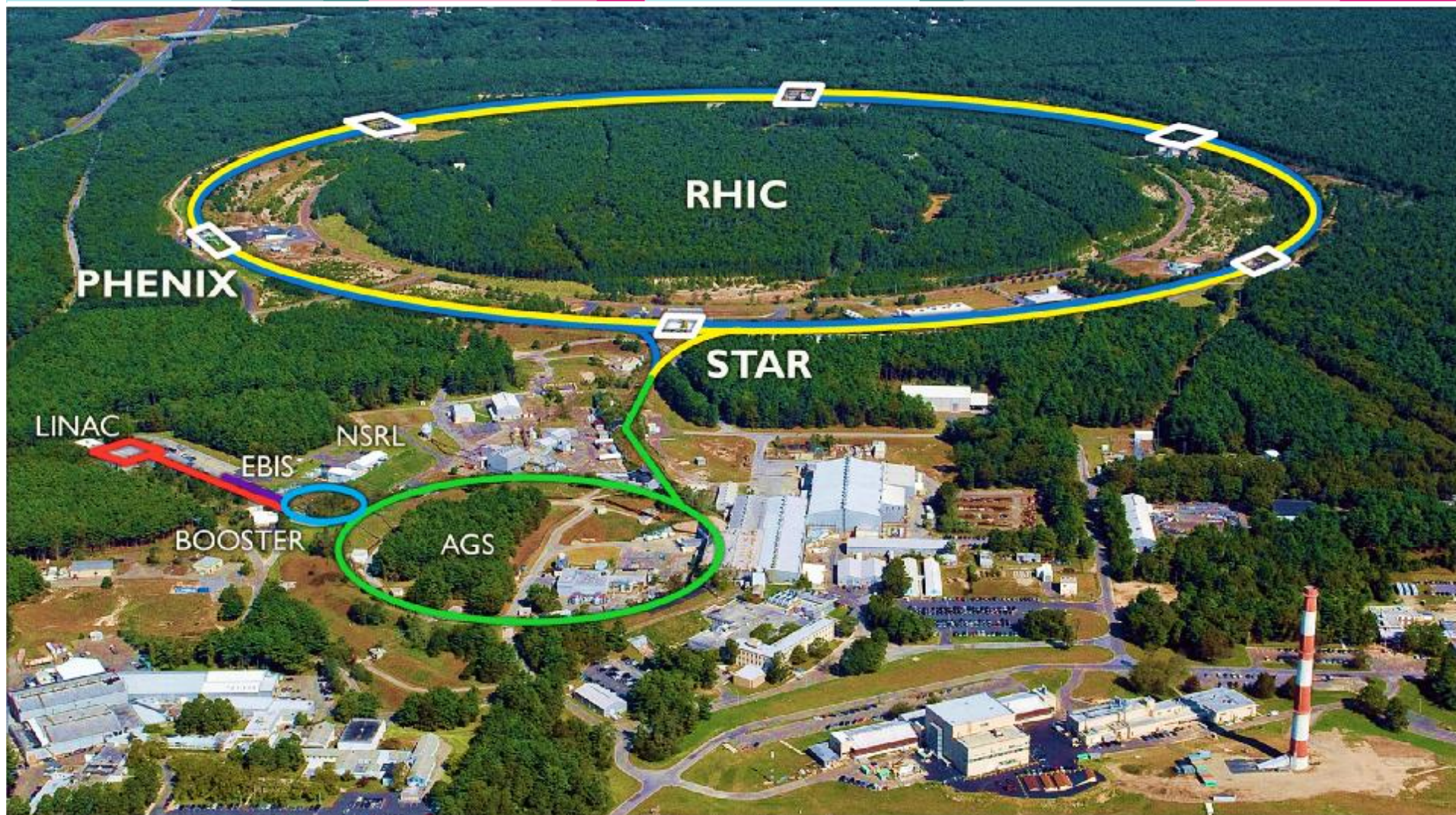


Kutatási helyszínek: ELTE

- **LHC, RHIC: világelső kísérletekben részvétel az ELTE-ről**
- Elmélet: térelmélet, hidrodinamika, femtoszkópia, ...
- Mindez itthonról lehetséges!
- Azért néha ki kell látogatni

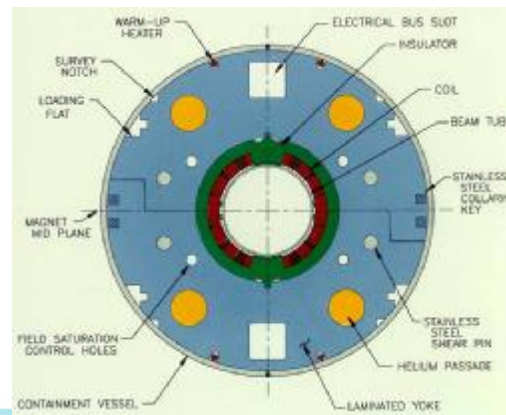
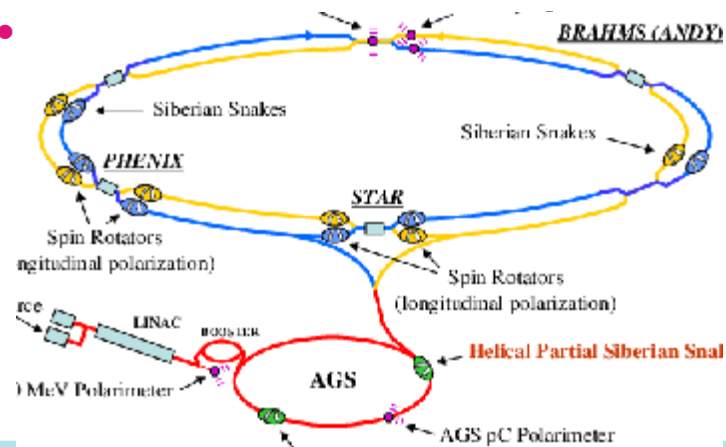


Légifotó a RHIC-ről



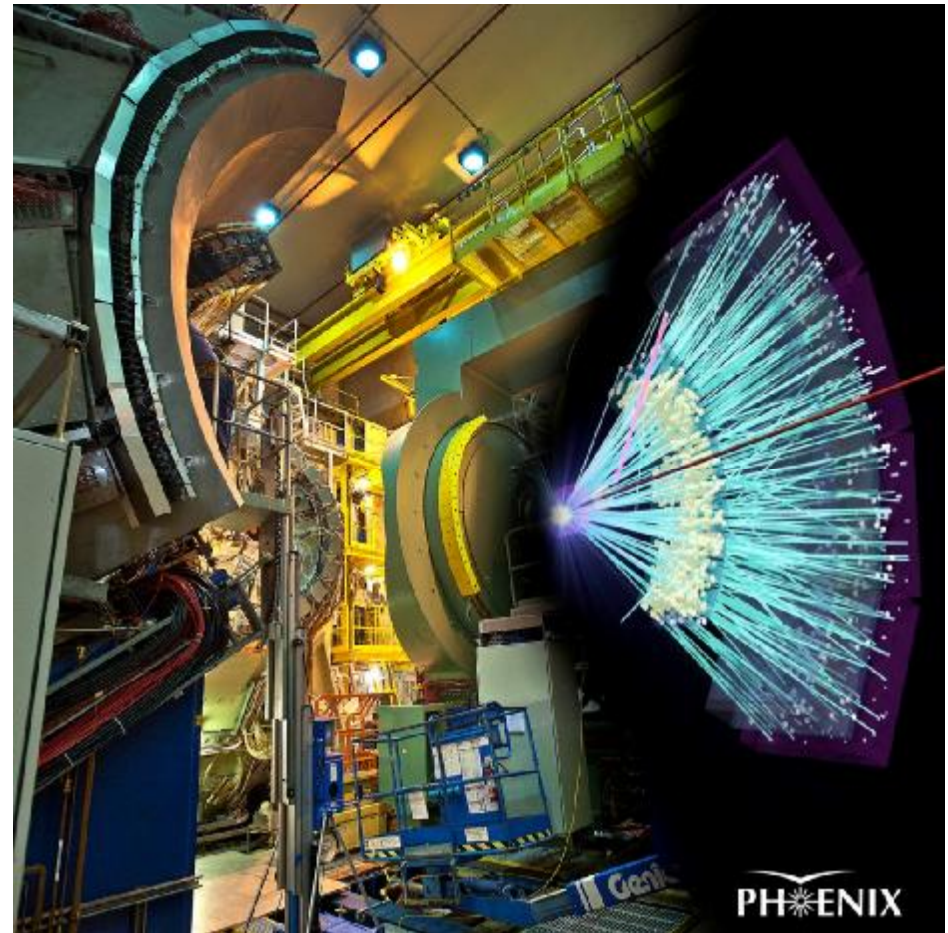
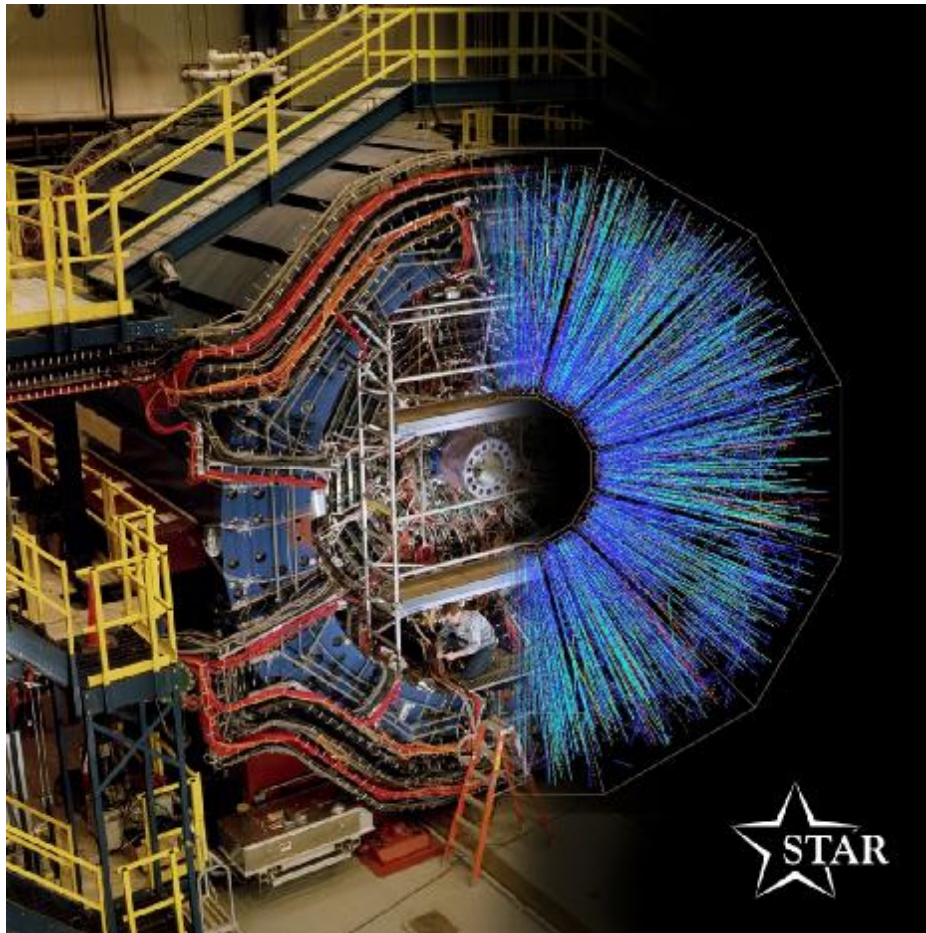
A RHIC számokban

- Két 4 km-es gyűrű
- 99,995% fénysebesség
- Egy ütközés: 6 μJ (197-200 GeV)
- 111 atomcsomag
- 80 000 kör/másodperc
- Sokezer ütközés/másodperc
- 1740 szupravezető mágnes
- 21000 km szupravezető vezeték
- 25 tonna 4,2 K hélium

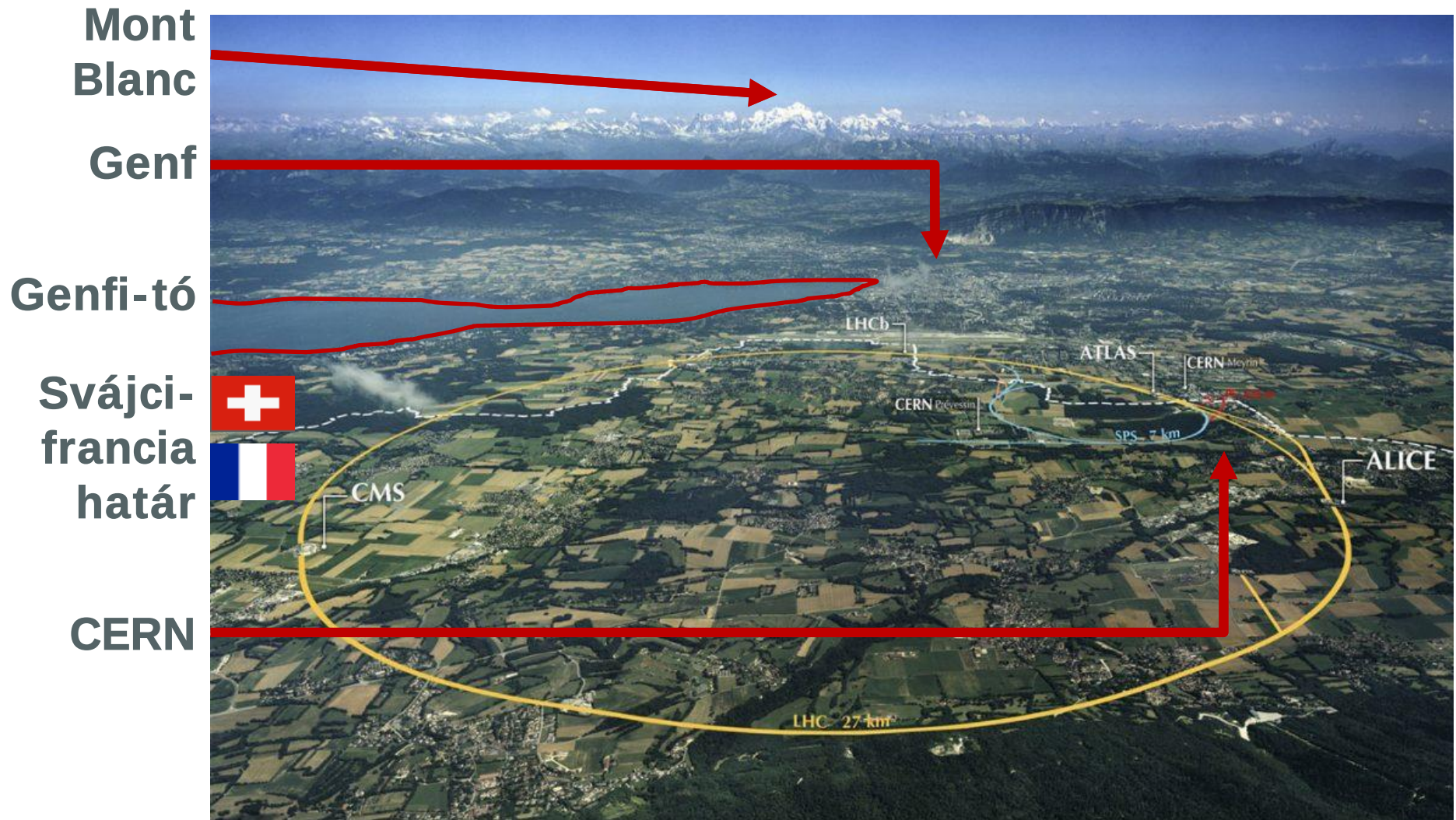


Au+Au ütközések a RHIC-nél

- ELTE-s részvétel mindkét nagy kísérletben

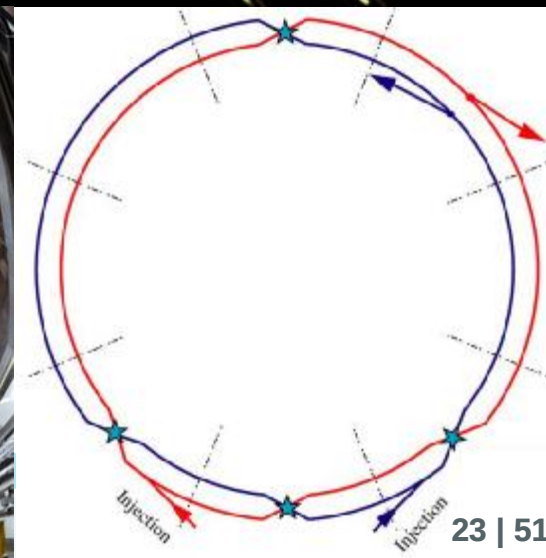
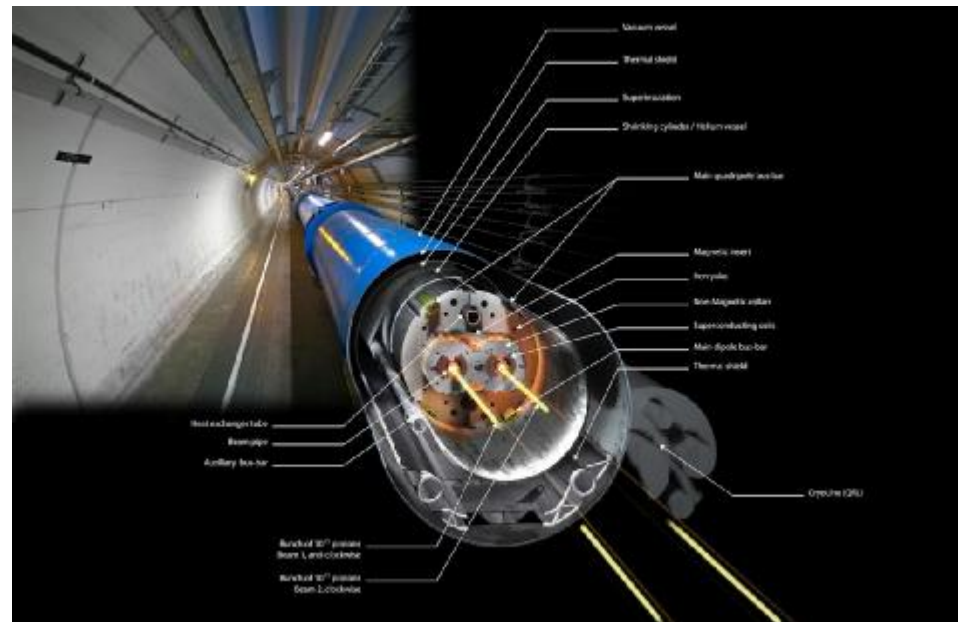


A CERN, az LHC és környéke

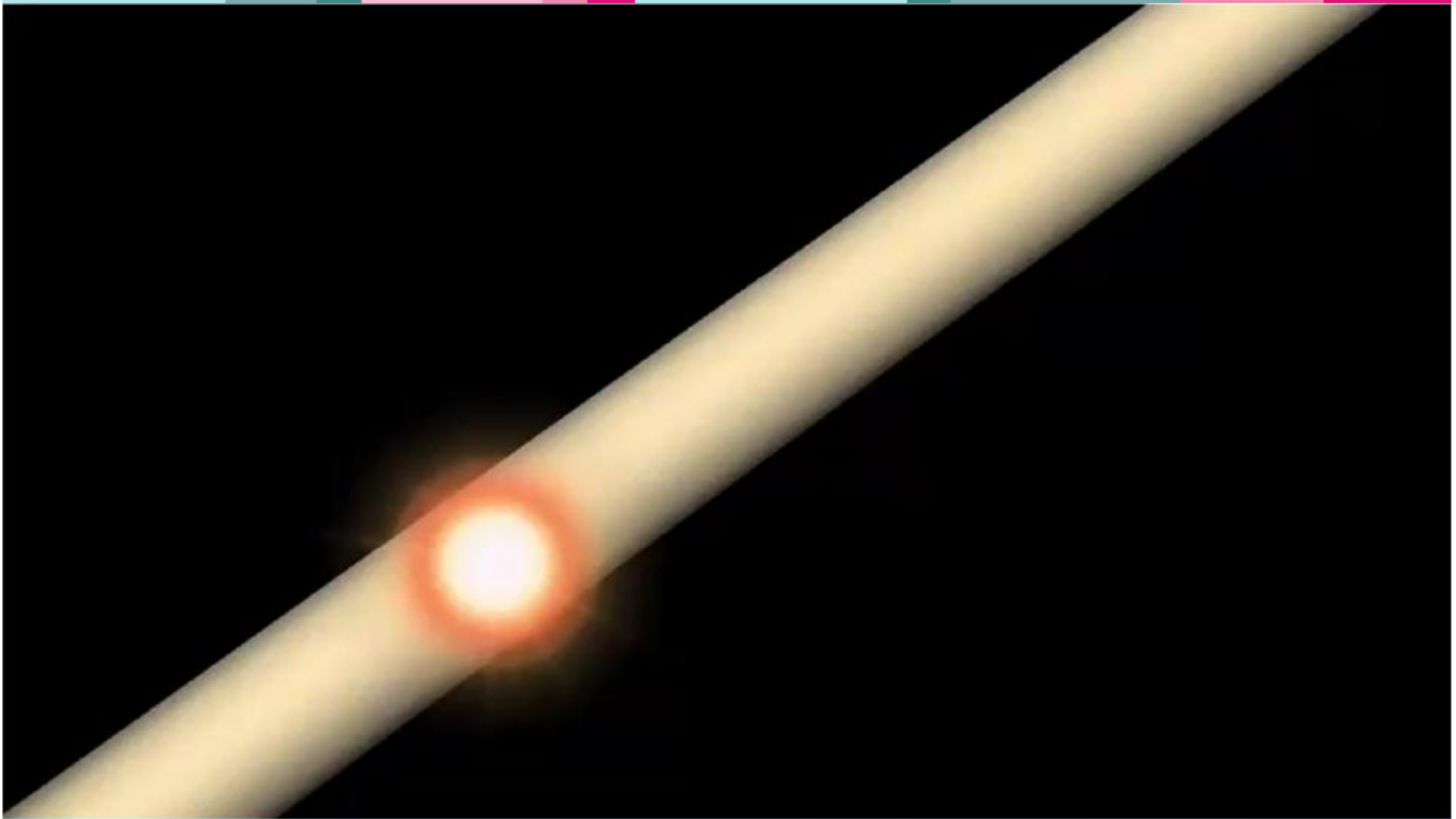


Az LHC számokban

- 2x27 km, 150-200 m mélyen
- Ütközések: 4 metszéspont
- ~3000 atommagcsomag
- 99,9999991% fénysebesség
- 10000-szer körbeér / mp
- 600 millió ütközés / mp
- 10000 szupravezető mágnes
- 10000 tonna folyékony N: 80 K
- 120 tonna folyékony He: 2 K
- 120 MW fogyasztás: nagyváros
- 10 év alatt hat μg H^+
- Évente 15000 terabyte adat



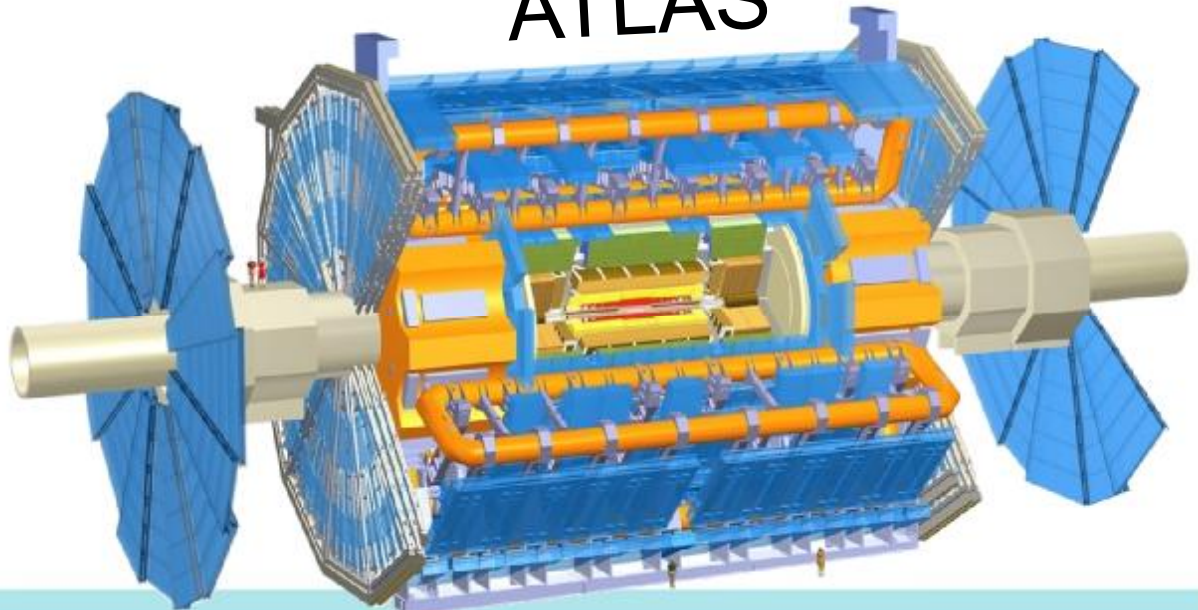
A gyorsítástól az ütközésig



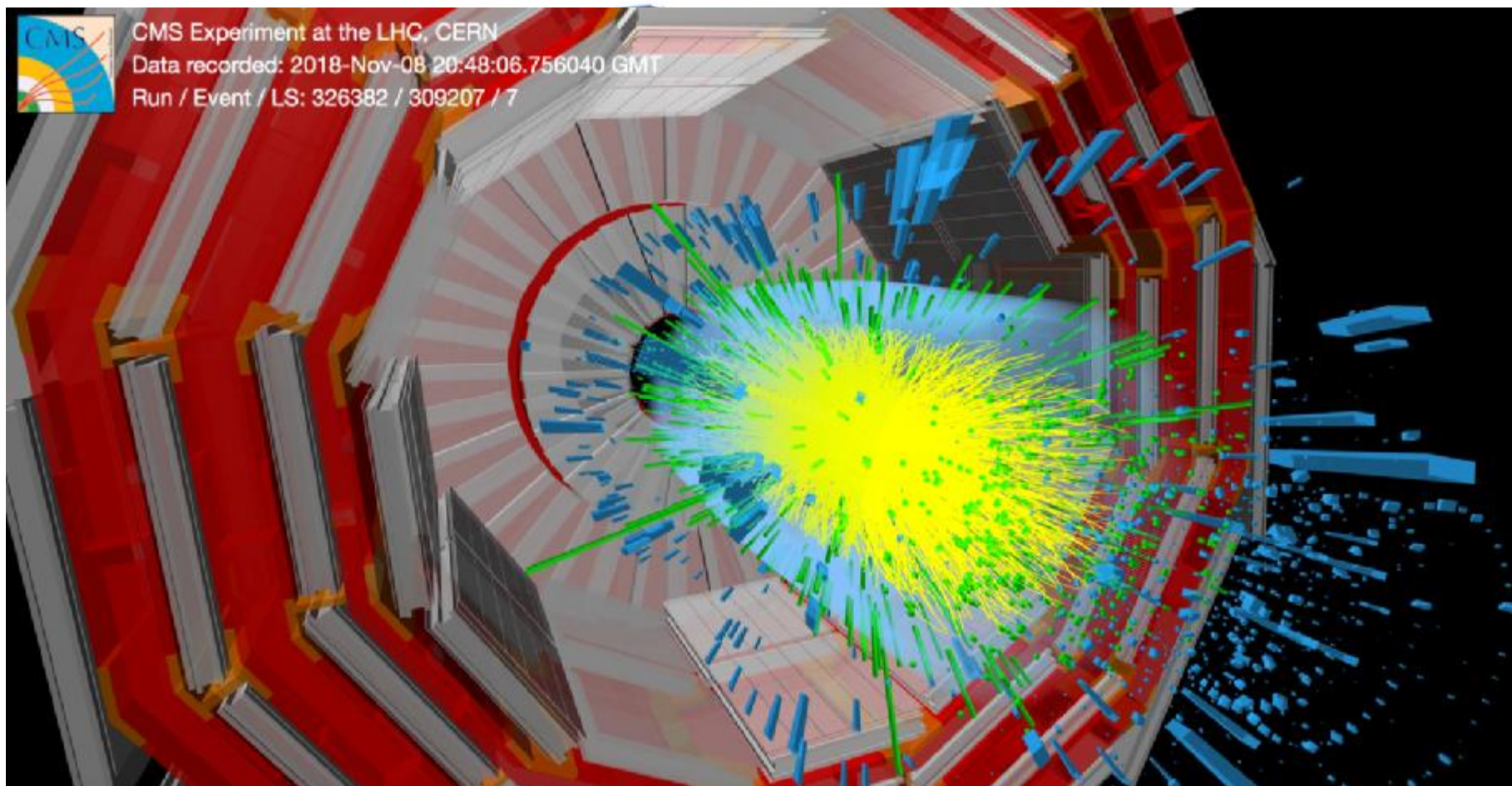
Detektorrendszerek felépítése

- Legbelül és legtávolabb: események karakterizálása (ütközési csomópont és idő meghatározása)
- Középső réteg: részecskék nyomkövetése, energialeadás (dE/dx) mérése
- Külső réteg: kalorimetria, repülési idő $\rightarrow$ részecsketípus
- Legkívül: müonok észlelése
- Egészlet összeköti: adatfelfevő rendszer (millió esemény/mp)

ATLAS



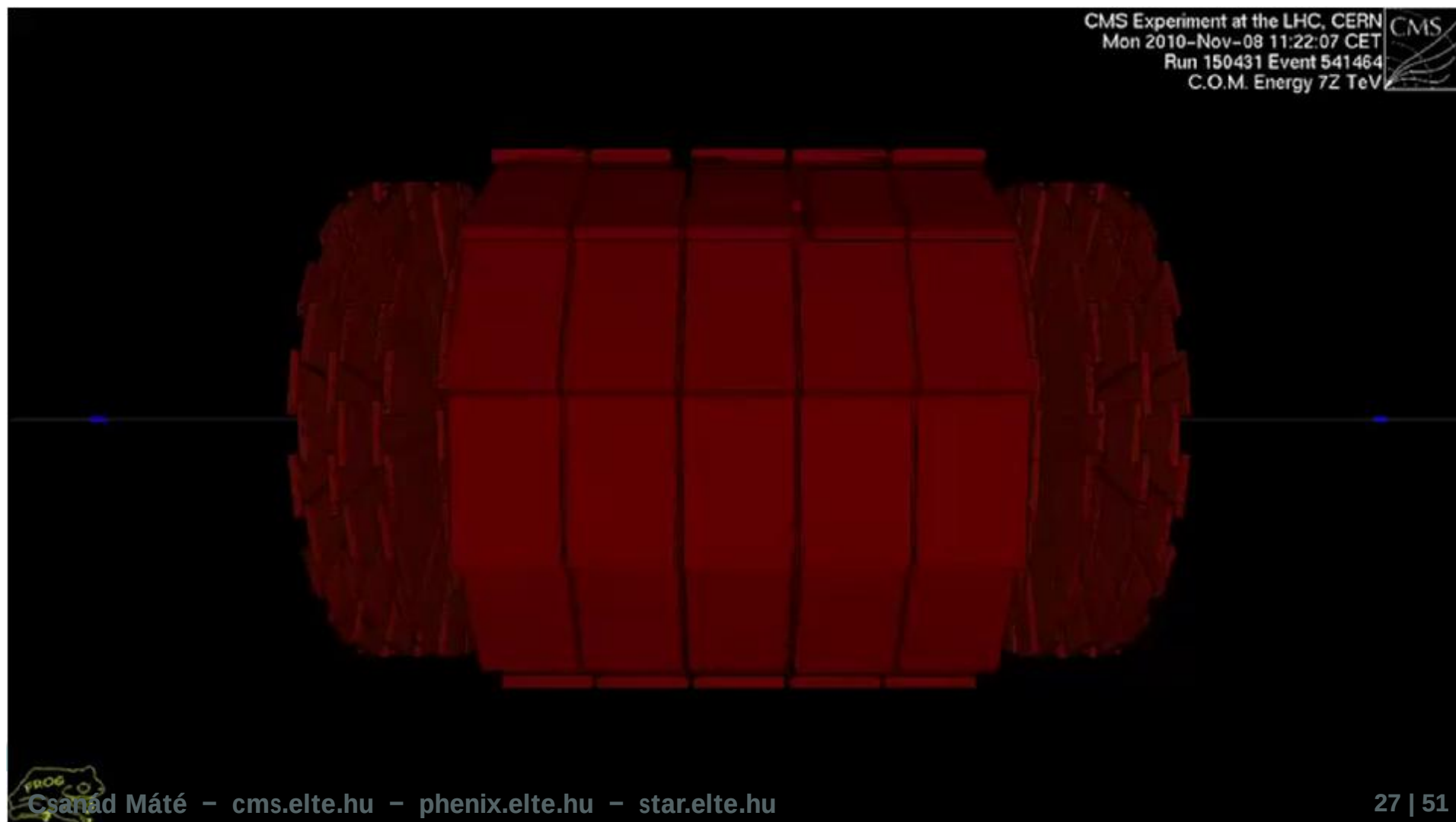
A CMS detektor 3D rajza



- **Többszemeletes ház mérete**

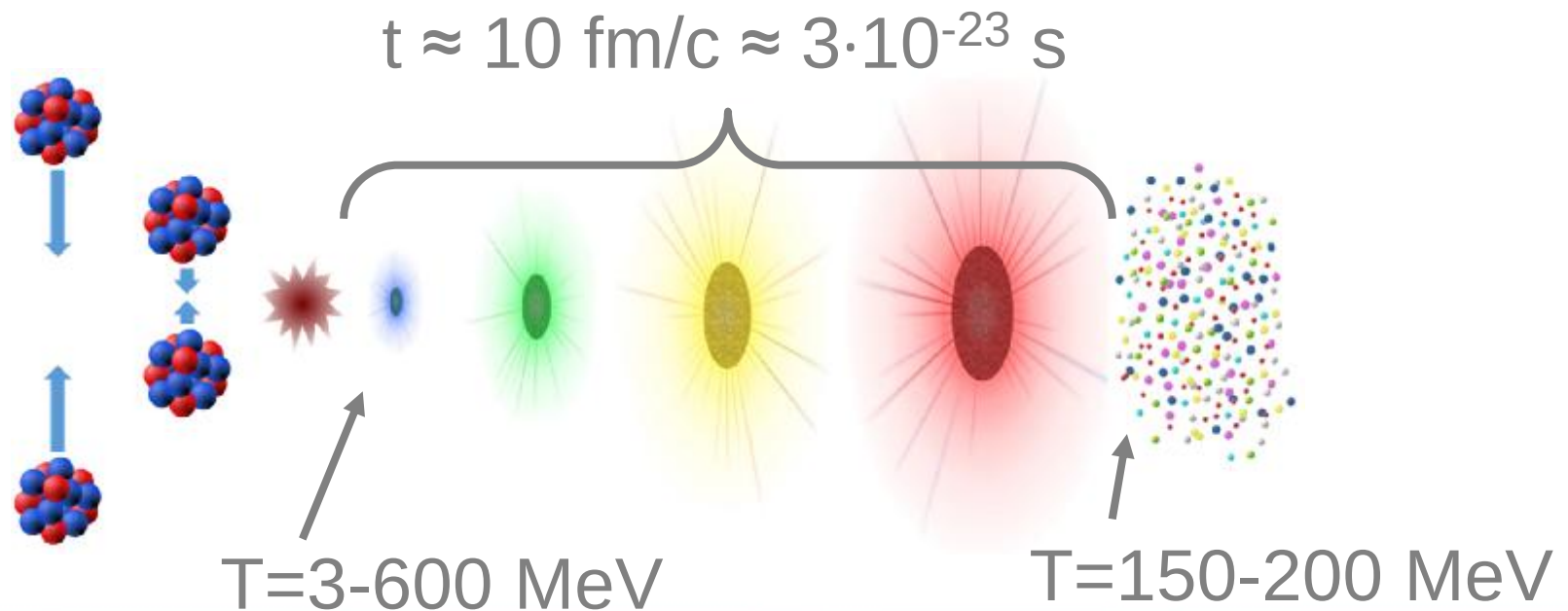
Egy Pb+Pb ütközés a CMS-ben

- A kirepülő részecskék nyomot hagynak a detektorokban



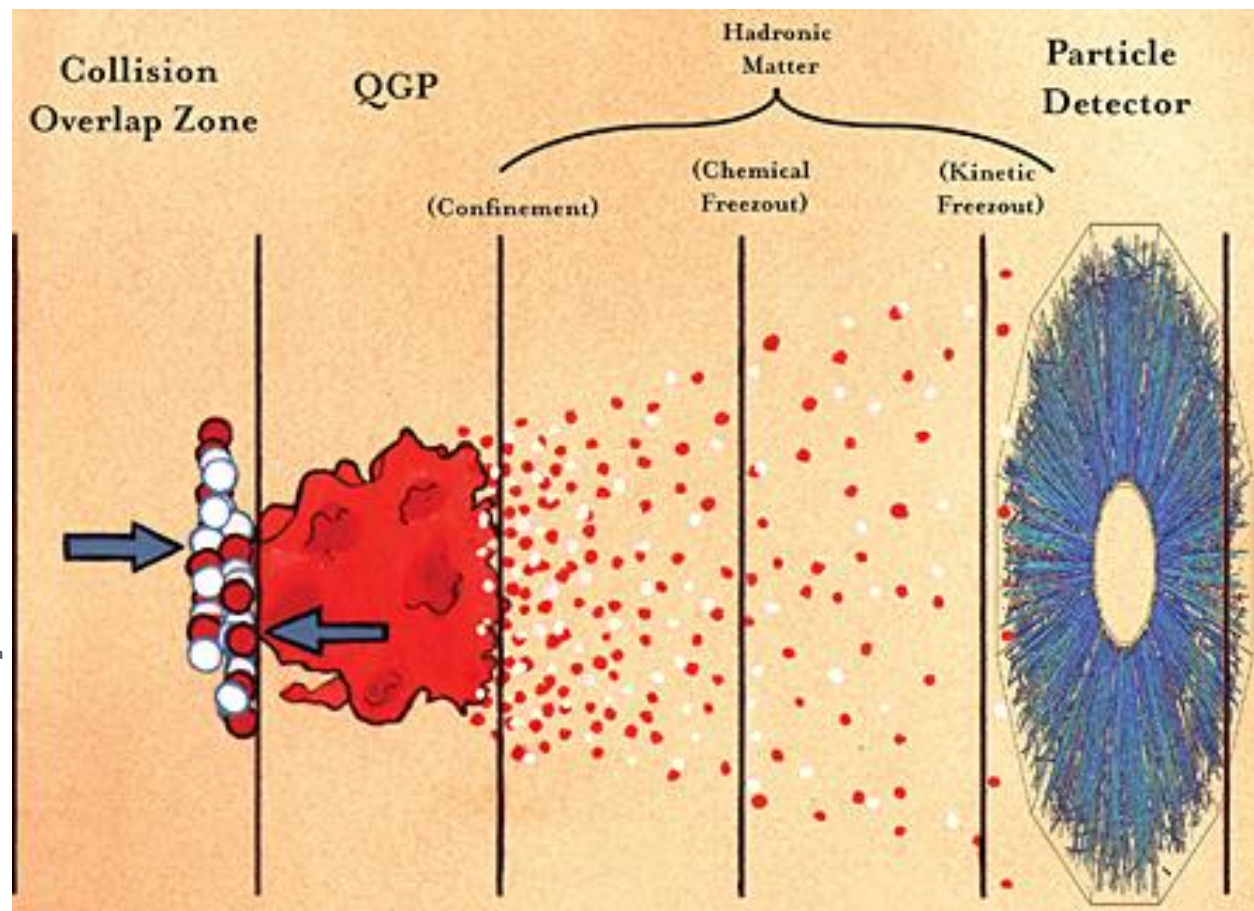
Mi történik a Kis Bumm során?

- Kezdetben extrém magas hőmérséklet: 3-600 MeV
- Protonok, neutronok megolvadnak
- Kvarkanyag kiszabadul, kvark-gluon-plazma formájában
- Ahogy lehűl, „hadronokká fagy” 10 fm/c után
- A „kifagyott” részecskéket észleljük



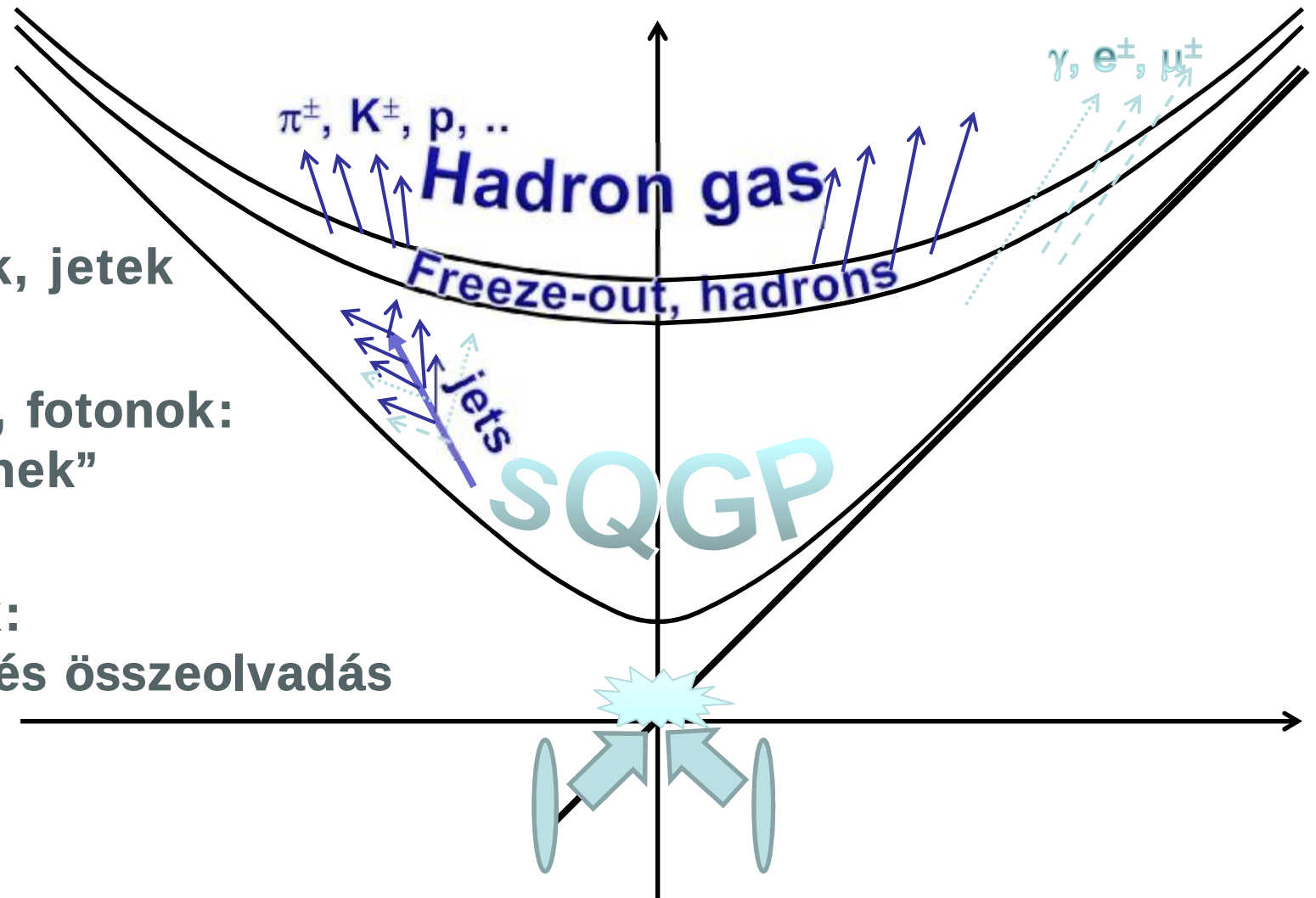
Kvarkanyagtól hadronokig

- Szín szab. fokok: 150-200 MeV-ig
- Hadronok átalakulásai (pl: $\pi\pi \rightarrow \rho$)
- Kinetikus kifagyás: utolsó rugalmas ütközés
- Végül: több méter szabad repülés detektorokig

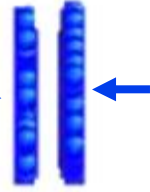


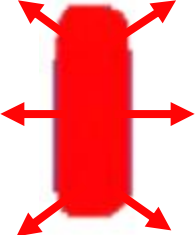
Időfejlődés relativisztikusan

- Kezdeti szakasz: kemény ütközések, jetek
- Leptonok, fotonok: „átfénylenek”
- Hadronok: szétesés és összeolvadás

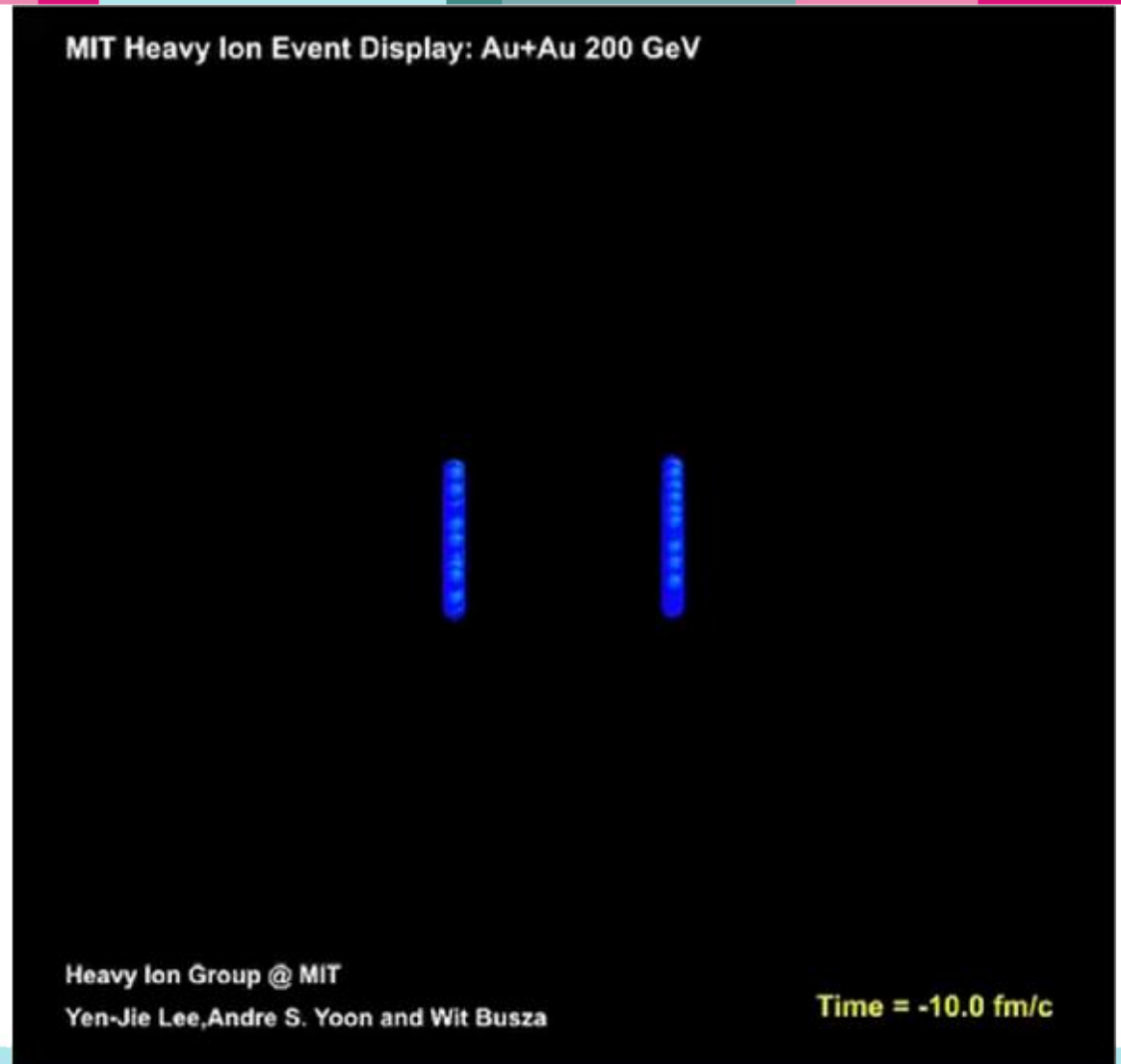
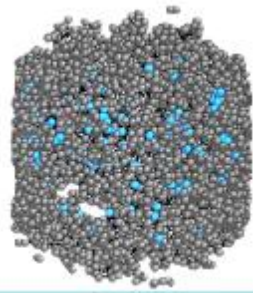


Hogy képzeljünk el egy ütközést?

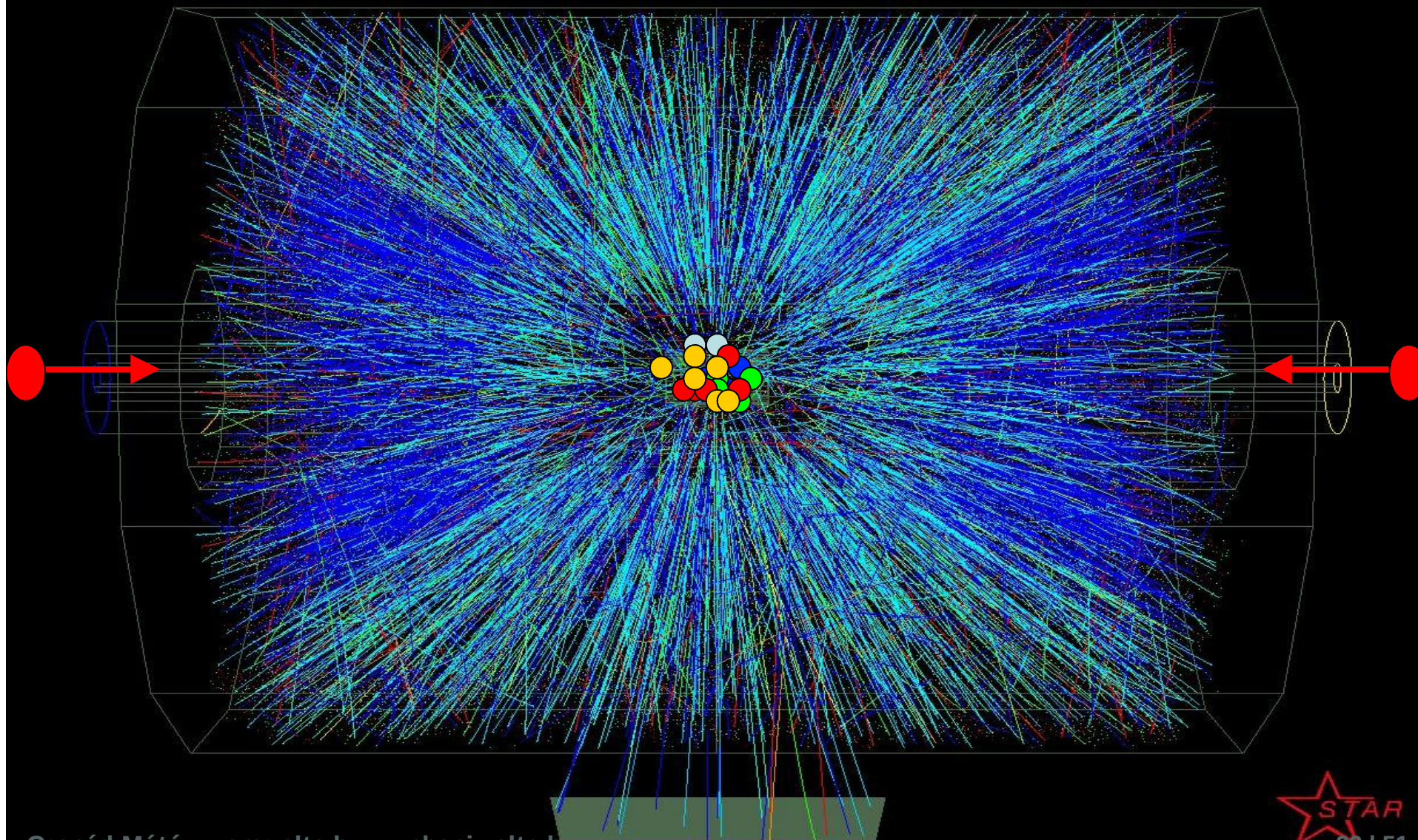
- Ütközés előtt:
atommagok $\rightarrow$ 
($\gamma \approx 200$)

- Ütközés után:
kvarkanyag
(10^{-22} mp-ig) 

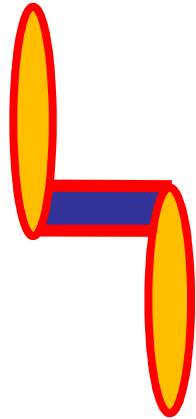
majd észlelhető
részecskék
„felhője”:



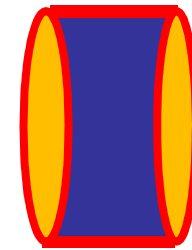
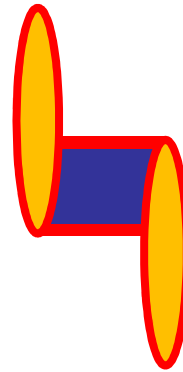
Mit észlelünk egy ütközésben?



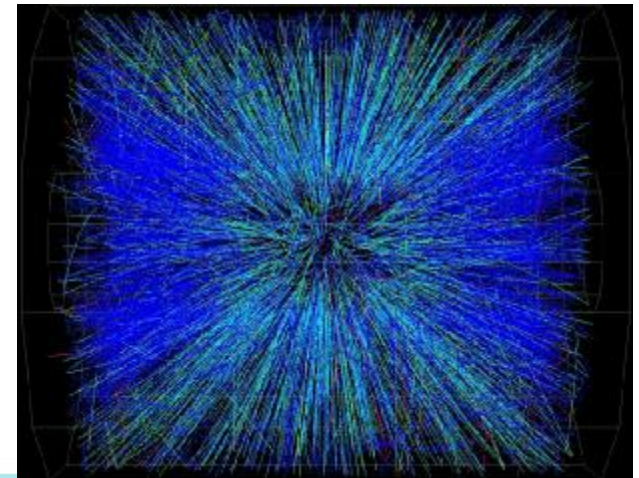
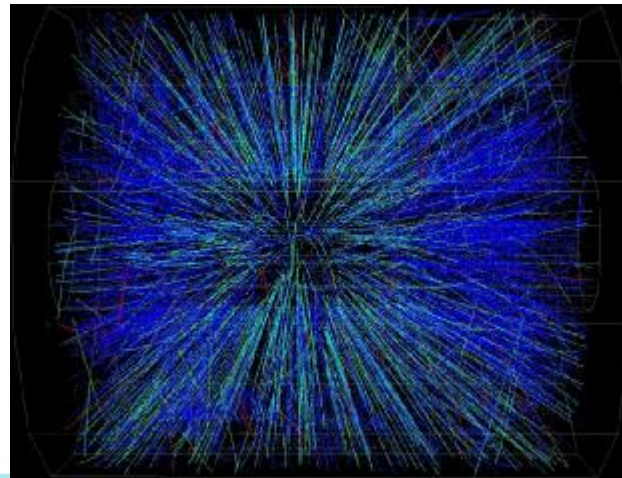
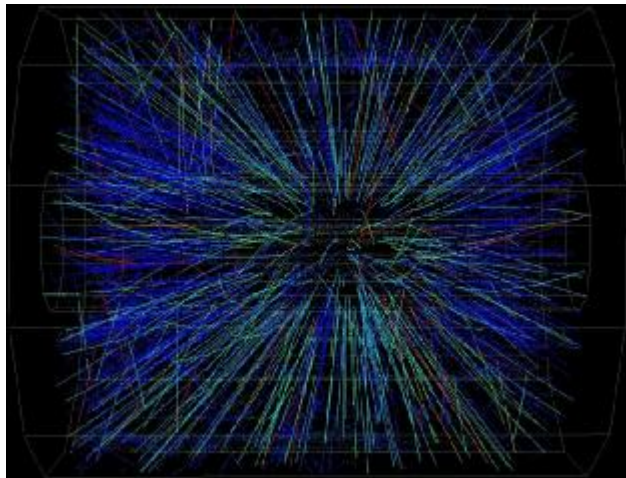
Nem minden ütközés azonos!



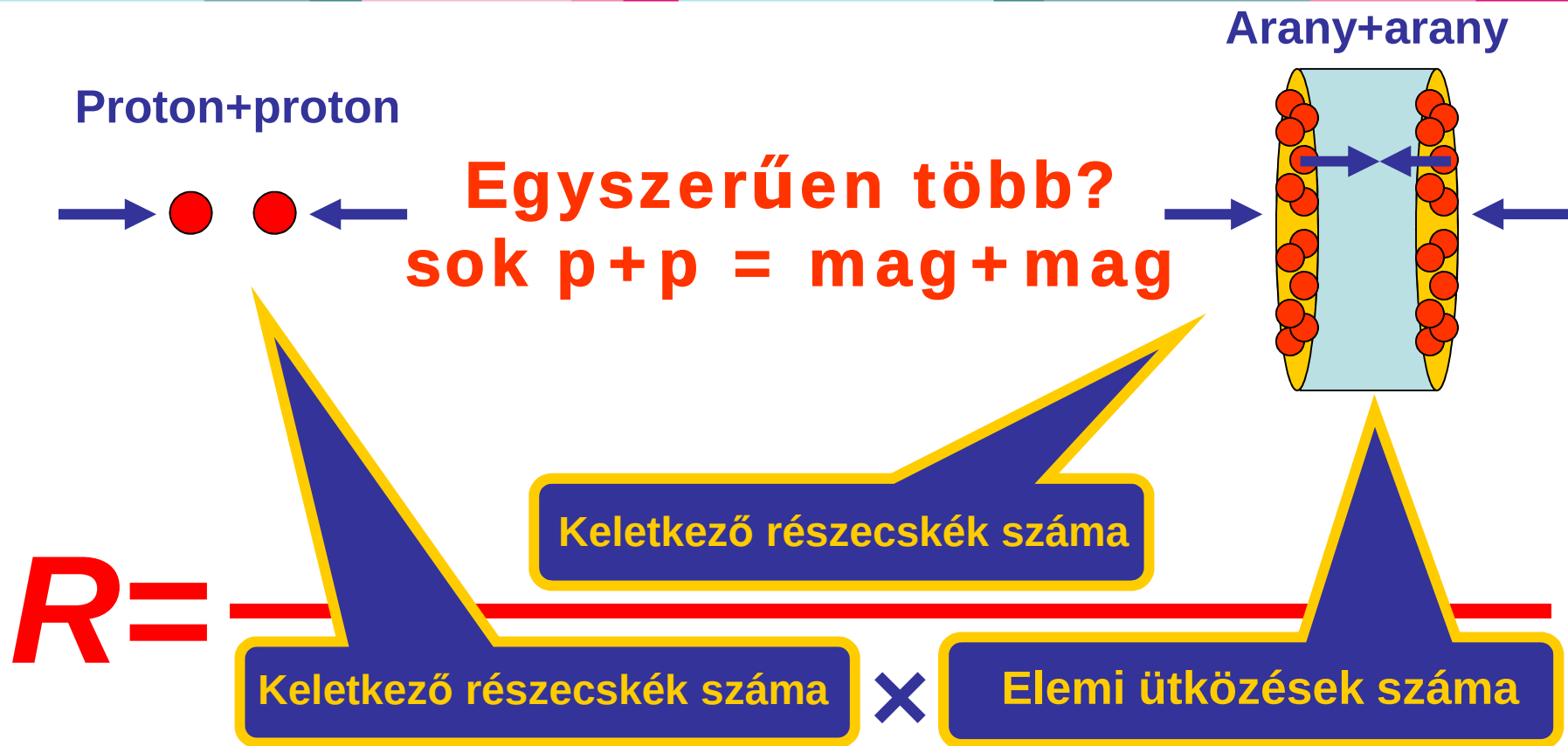
Periférikus
(p_l 80-90%)



Centrális
(p_l 0-5%)



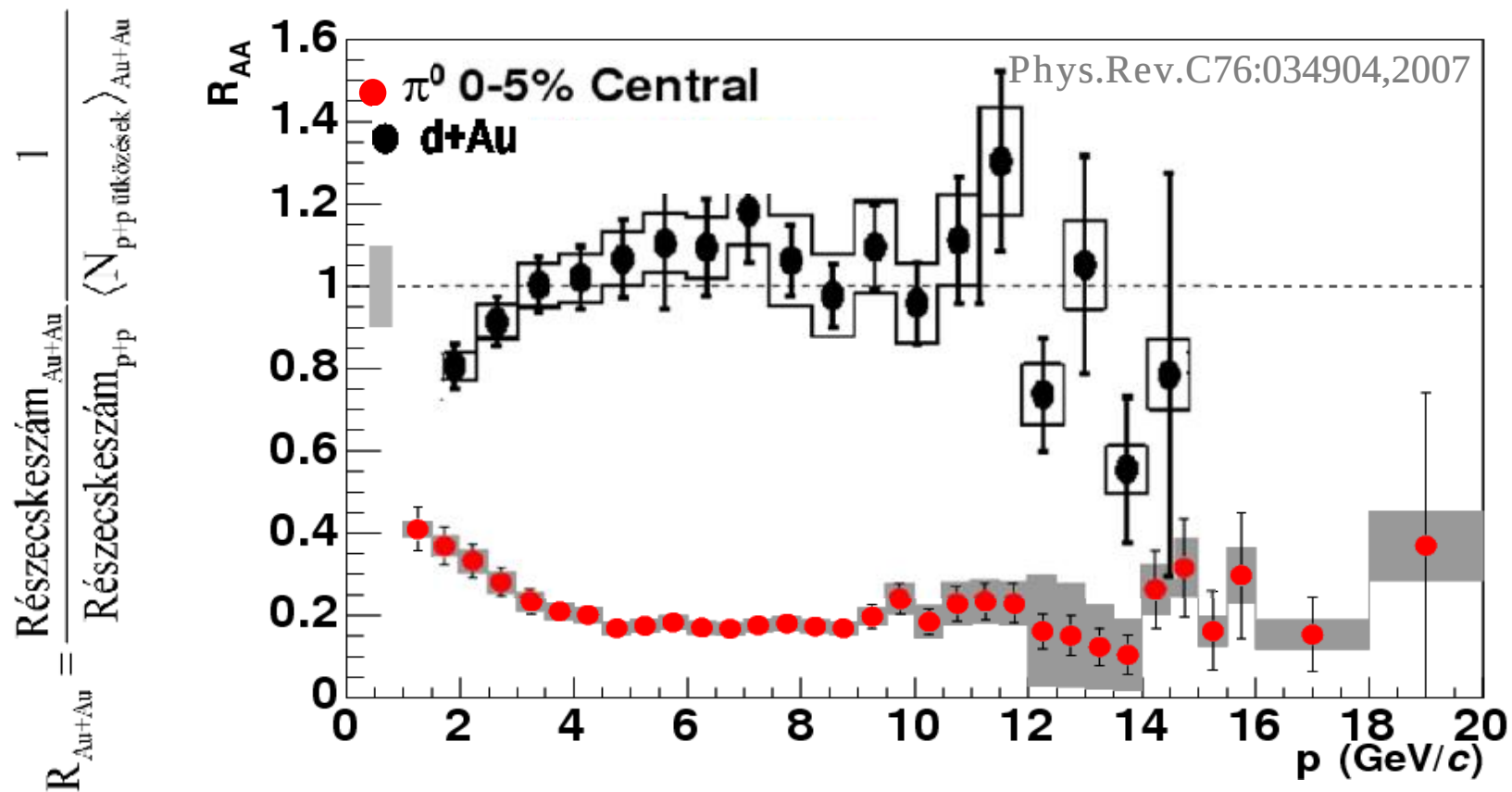
Első mérések: mag-módosulási faktor



Ha $R \neq 1$: mag-módosulás!

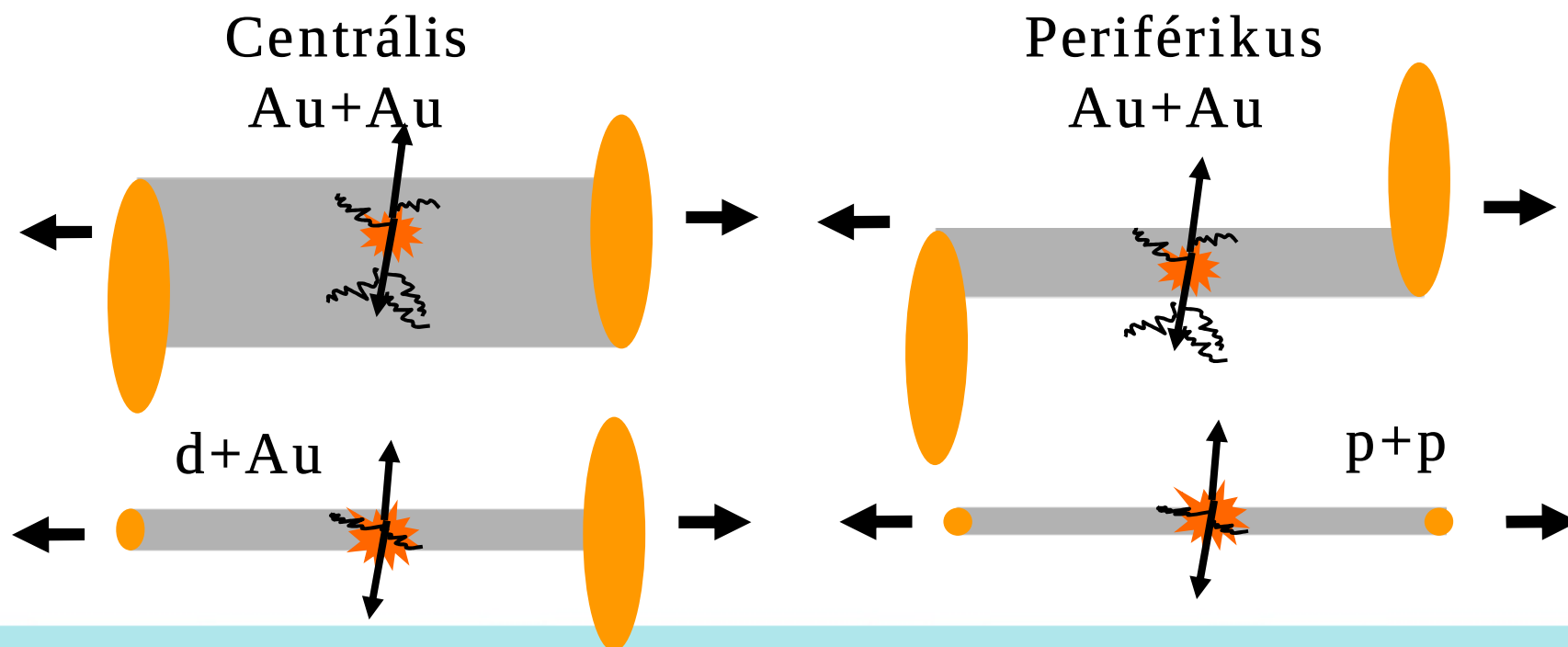
Szisztematikus vizsgálat

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



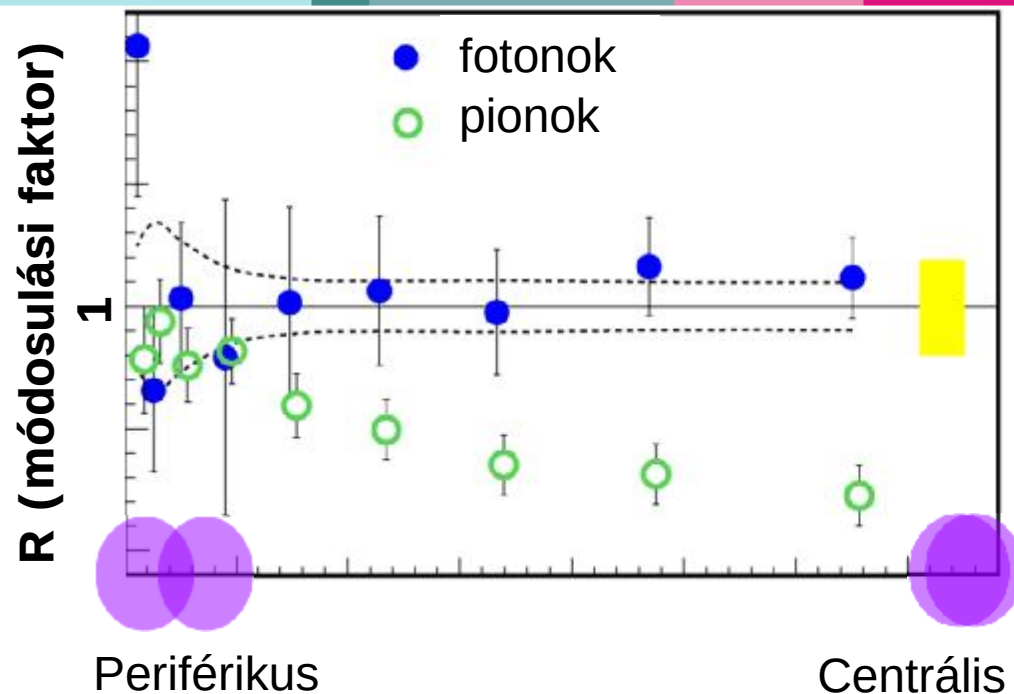
Elnyelő hatás értelmezése

- Tényleg a méret miatt jelenik meg az elnyelés?
- Ellenőrzés: $d+Au$ ütközésekkel
- Itt nincs elnyelés, mint periférikus $Au+Au$ esetén!



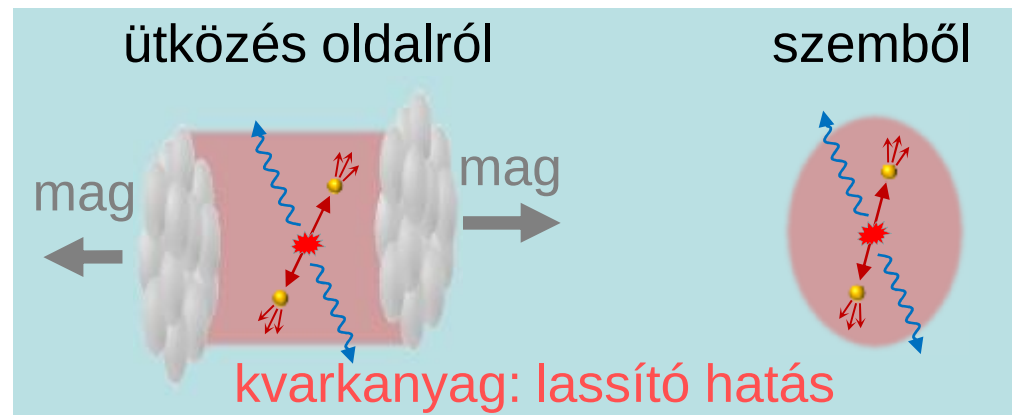
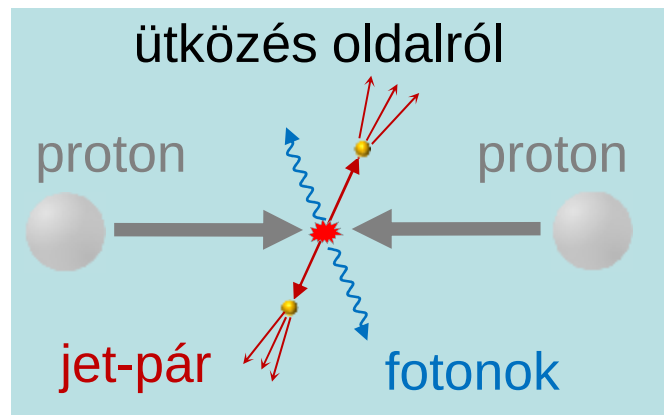
Hadronok lelassulnak, fotonok nem

- Nagy energiás részecskék, 10^{-15} méternyi közeg
- Fotonok áthatolnak
- Periférikus ütközések: pionok is áthatolnak
- Centrális ütközések: pionok elnyelődnek!
- Létrejött közeg méretétől függ?
- Foton: elektromágneses kölcsönhatásban vesz részt
- Pion: hadron (mezon), erős kölcsönhatásban vesz részt
- Pion elnyelődik, foton nem
- Erősen kölcsönható anyag!



Erősen kölcsönható közeg

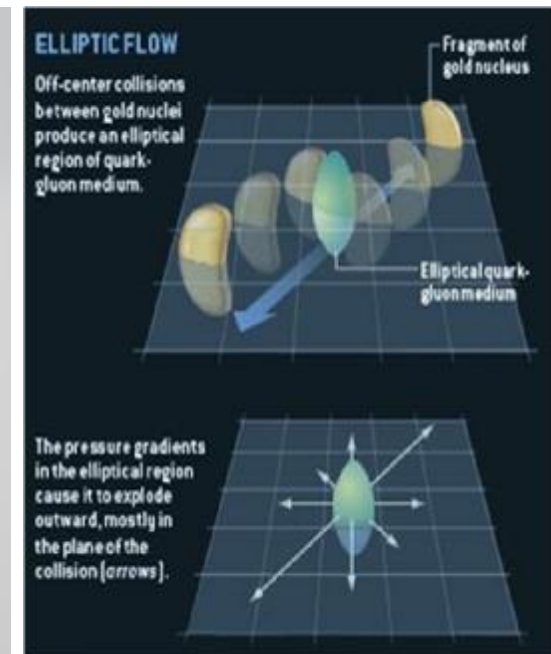
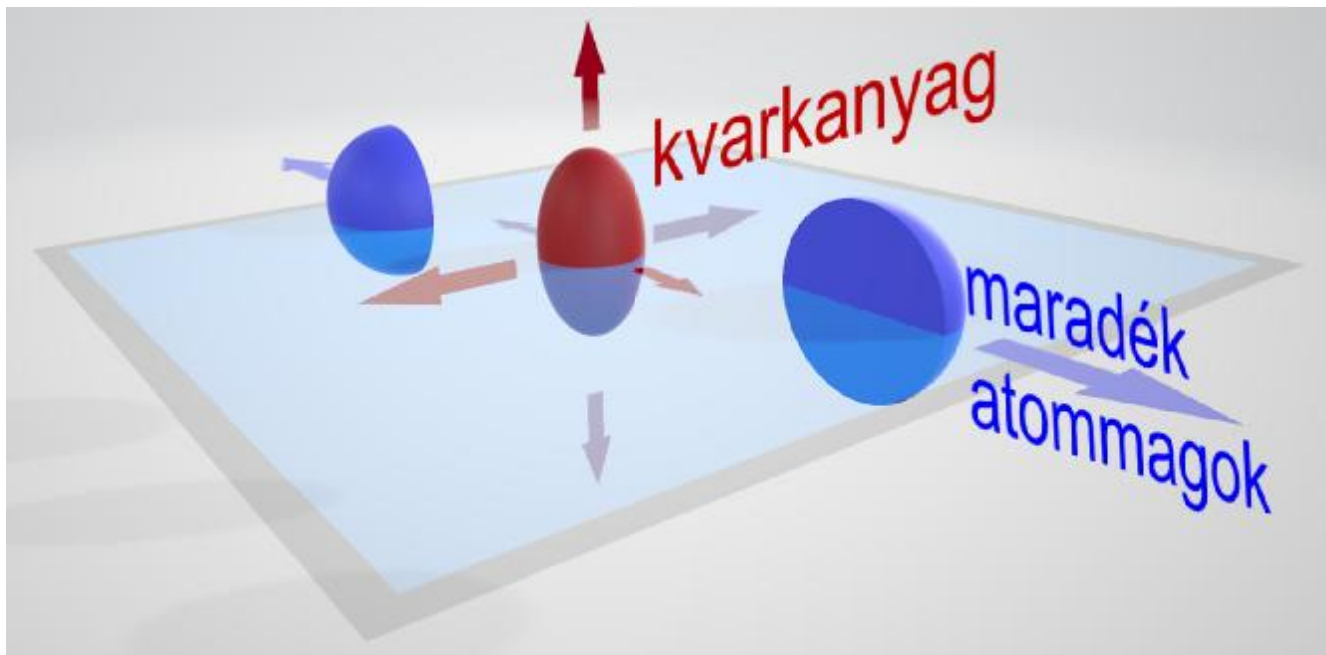
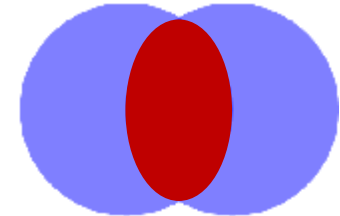
- Hány jet és hány foton keletkezik? Becslés pp ütközésből
- Mérés mag-mag ütközésben: jetek lelassulnak
- Fotonokat nem lassítja: erősen kölcsönható anyag!



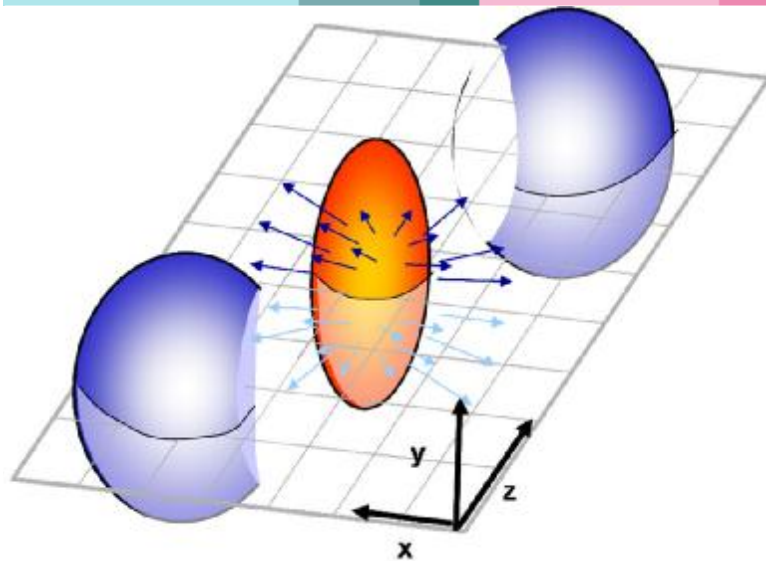
- Elnyelő képesség összehasonlítása:
 - Gamma sugárzás ólomban: néhány cm-t tesz meg
 - Alfa sugárzás vízben: néhány μm -t tesz meg
 - Jetek kvarkanyagban: néhány fm-t tesznek meg

Folyadék viselkedés

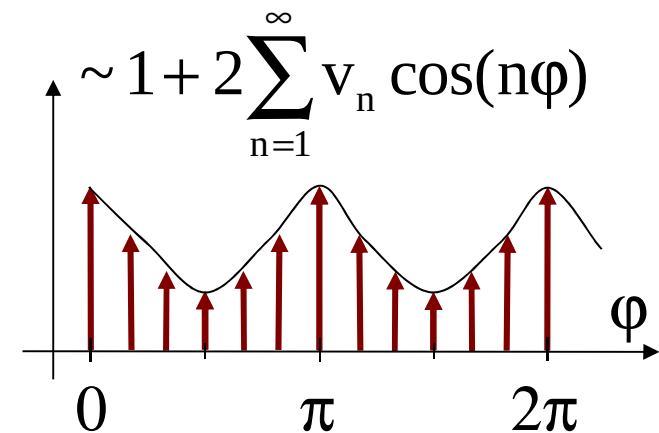
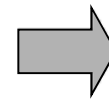
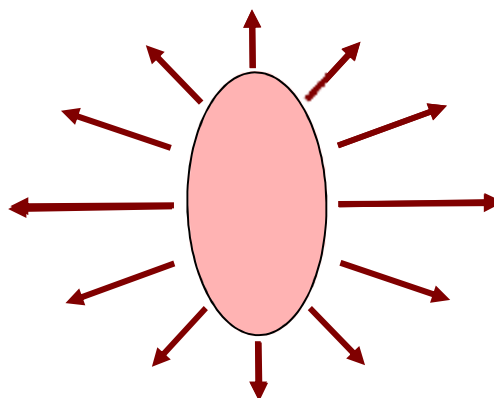
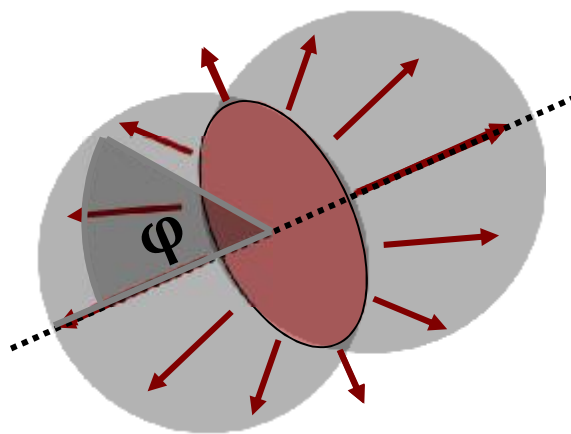
- **Ütközési zóna:** mandula (ellipszoid) alakú térrész
- **Maradék (spektátor) atommagok** továbbrepülnek
- Létrejövő anyag robbanásszerűen tágul
- Ha folyadék: nyomás-aszimmetria → tágulási aszimmetria
- Mérések igazolják a folyadék-viselkedést!



Az elliptikus folyás



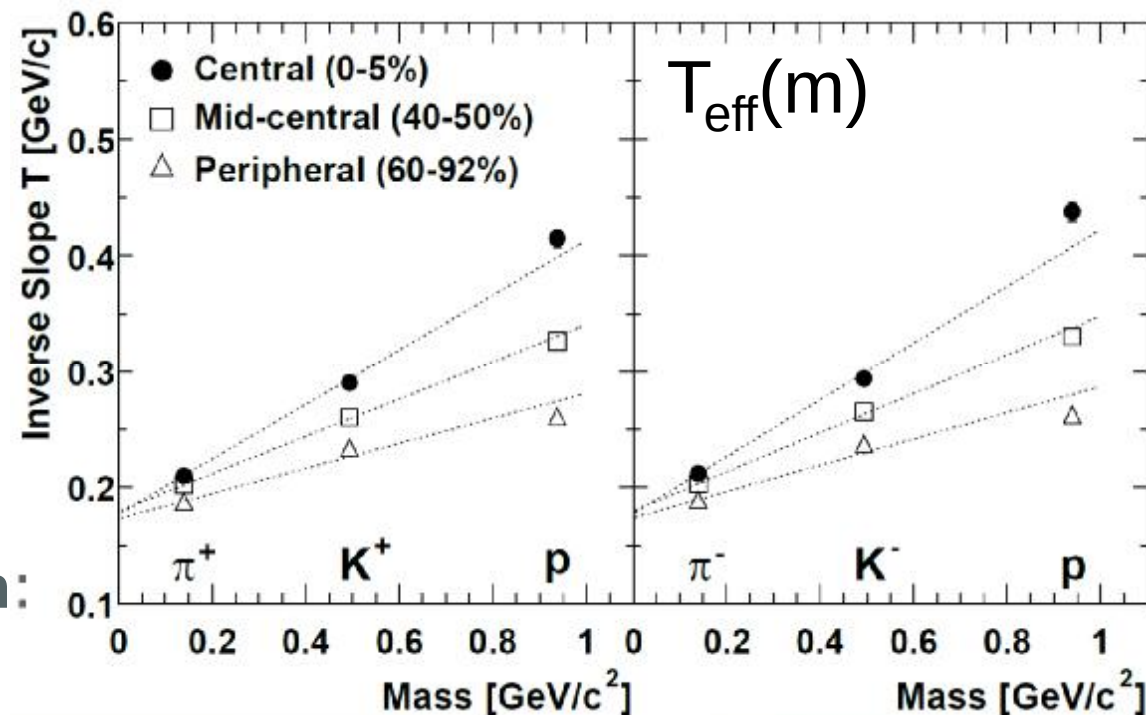
- Tágulás: nyomásgradiens
- Egyes irányokban lapultabb alak!
- Elliptikus folyás, v_2 : aszimmetria
- Ritka gáz: $v_2 = 0$
- Hidrodinamika: $v_2 > 0$



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

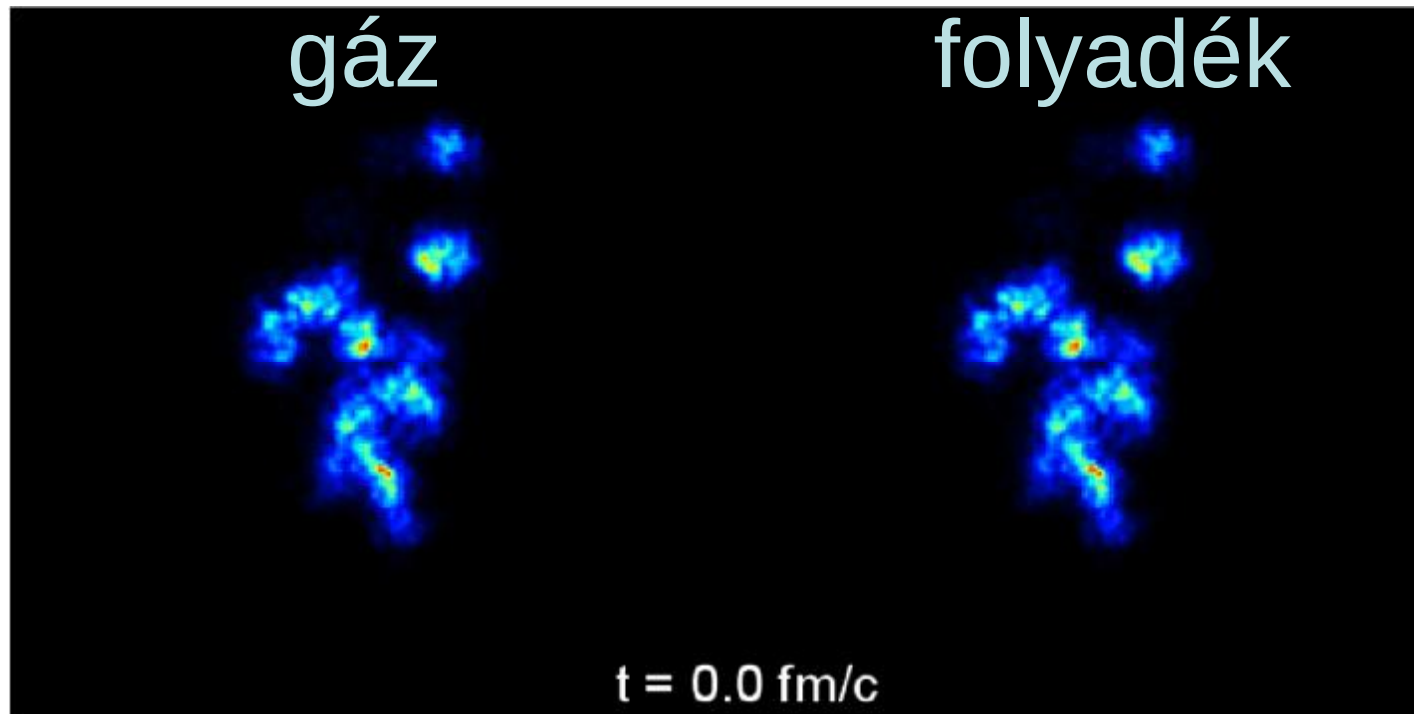
Hidrodinamikai skálázás

- Nagy hatáskeresztmetszet, sok ütközés: korai termalizáció
- Nagyjából 1 fm/c idő után termalizált közeg
- Észlelt hadronok eloszlása boltzmanni: $\exp(-E/T_{\text{eff}})$
- Effektív hőmérséklet
 T_{eff} : tágulás miatt $\neq$ hőmérséklet
- Egyszerű hidrodin. modell:
 $T_{\text{eff}} = T + m \cdot u^2$
- Kísérleti megerősítés
- Hasonló viselkedés más mennyiségekben: pl v_2 skálázása



Folyadékviselkedés

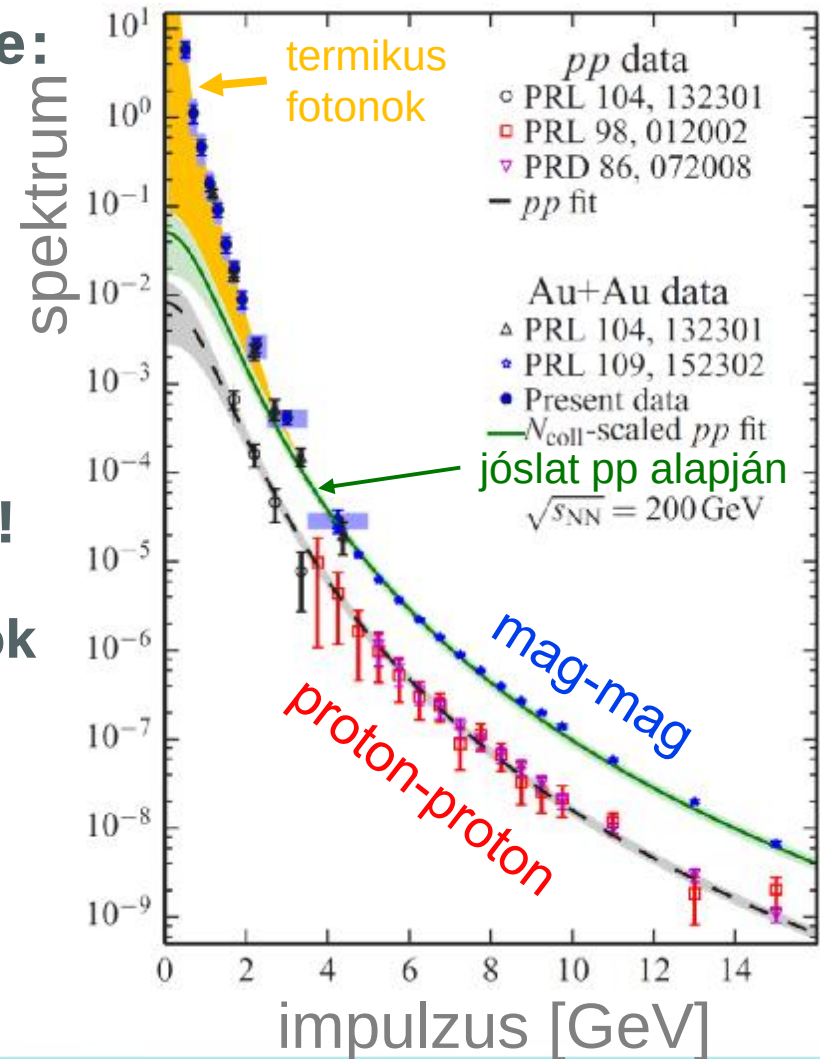
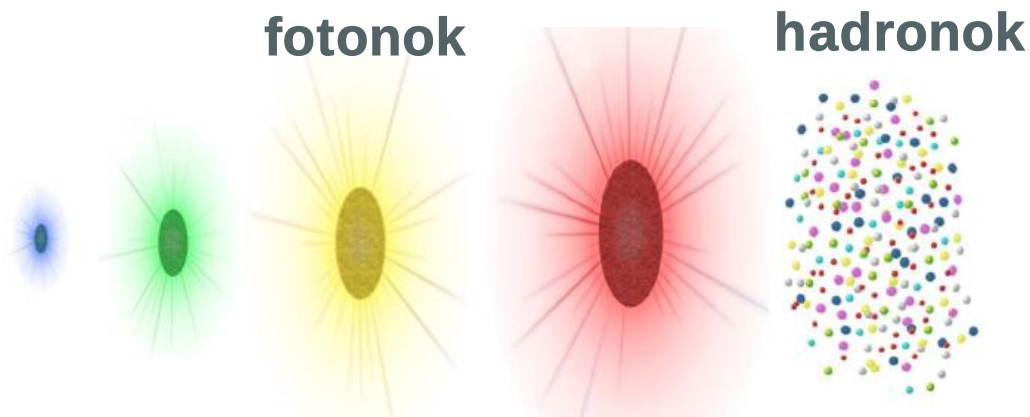
- Kirepülő részecskék mozgása: folyadékviselkedés!



- Időskála: 1 fm/c, amíg a fény áthalad egy protonon
- Gáz: szabad áramlás; folyadék: erős csatolás

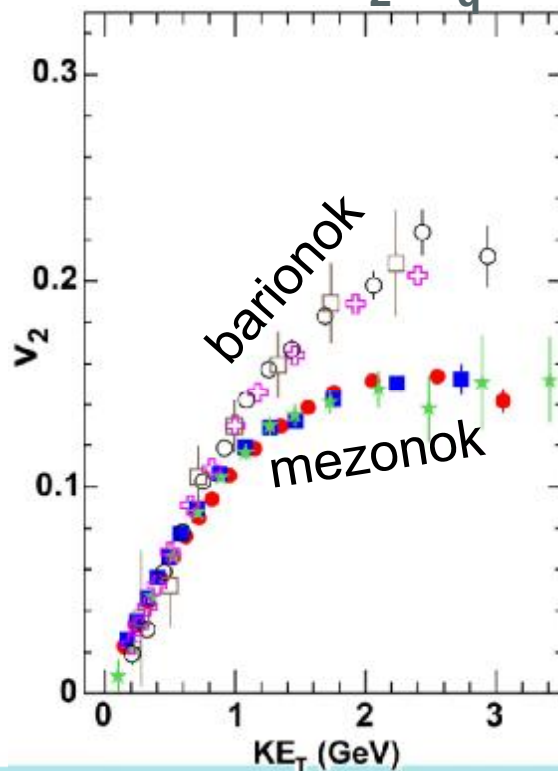
A hőmérséklet mérése

- Összetett részecskék keletkezése: kvarkanyag megszűnése után
- Fotonok áthatolnak az anyagon
- Bomlási fotonok kiszűrése után direkt fotonok mérhetőek
- Planck-spektrum $\rightarrow$ hőmérséklet
- Akár 600 MeV, közel 10^{13} Kelvin!



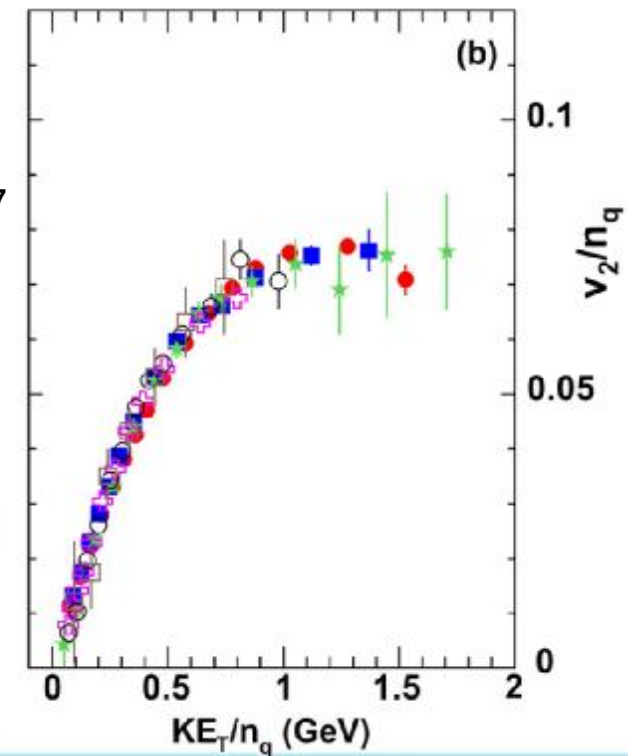
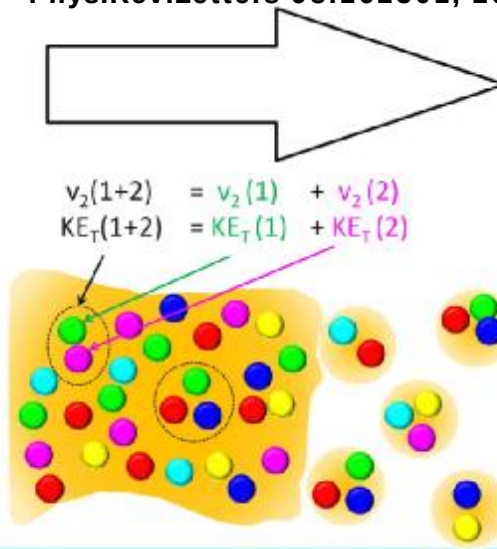
Kvark szabadsági fokok?

- Elliptikus folyás skálaviselkedése
- A transzverz mozgási energia (KE_T) függvényében mérjük
- Az aszimmetria részecsktípusokra: kvarkszámtól (n_q) függ!
- Skálázás: v_2/n_q versus KE_T/n_q , barionokra = mezonokra



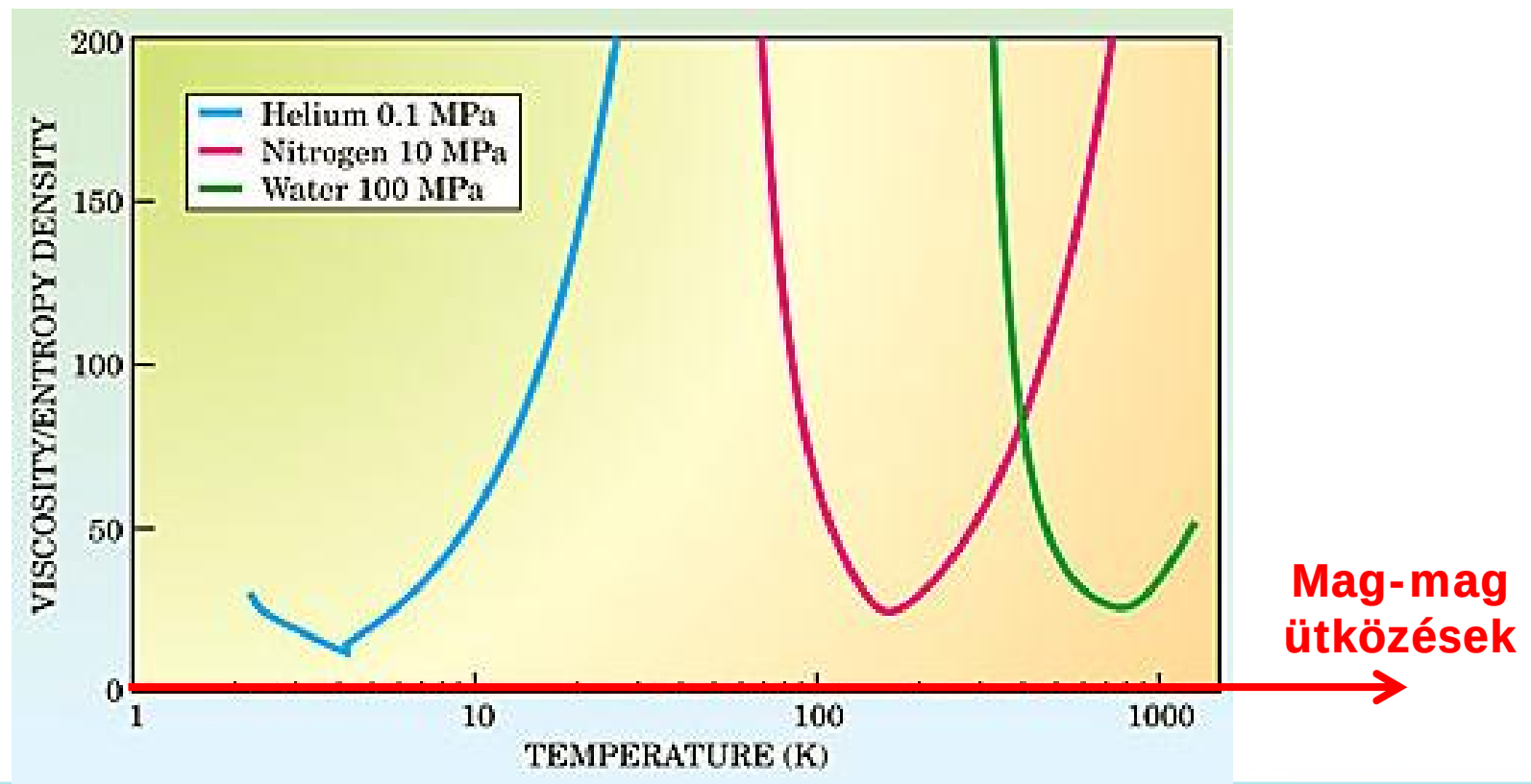
● $\pi^+ + \pi^-$ (PHENIX) ✦ $p + \bar{p}$ (PHENIX)
■ $K^+ + K^-$ (PHENIX) ○ $\Lambda + \bar{\Lambda}$ (STAR)
★ K_S^0 (STAR) □ $\Xi^- + \Xi^+$ (STAR)

Phys.Rev.Letters 98:162301, 2007



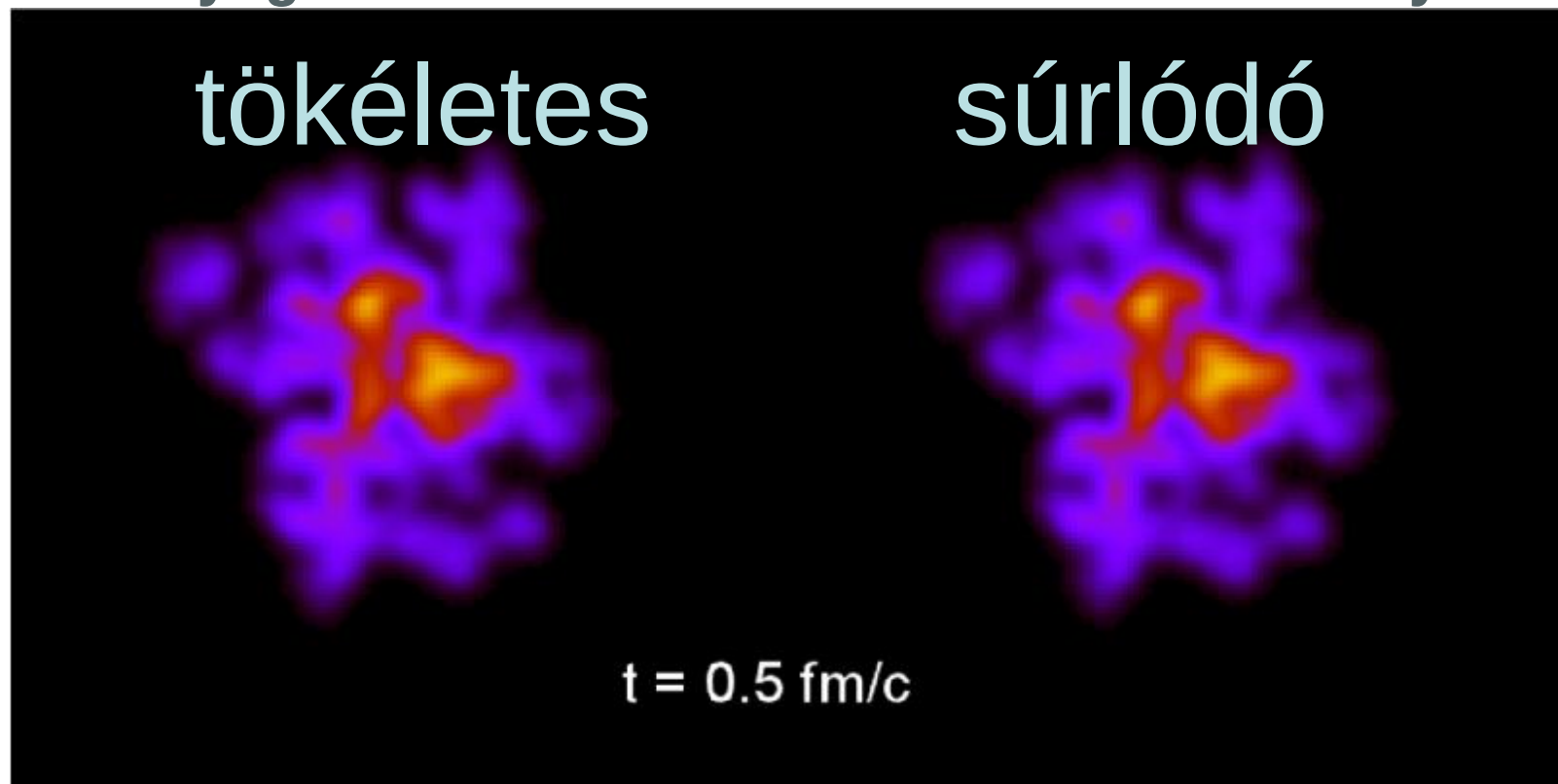
A kvarkanyag viszkozitása

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



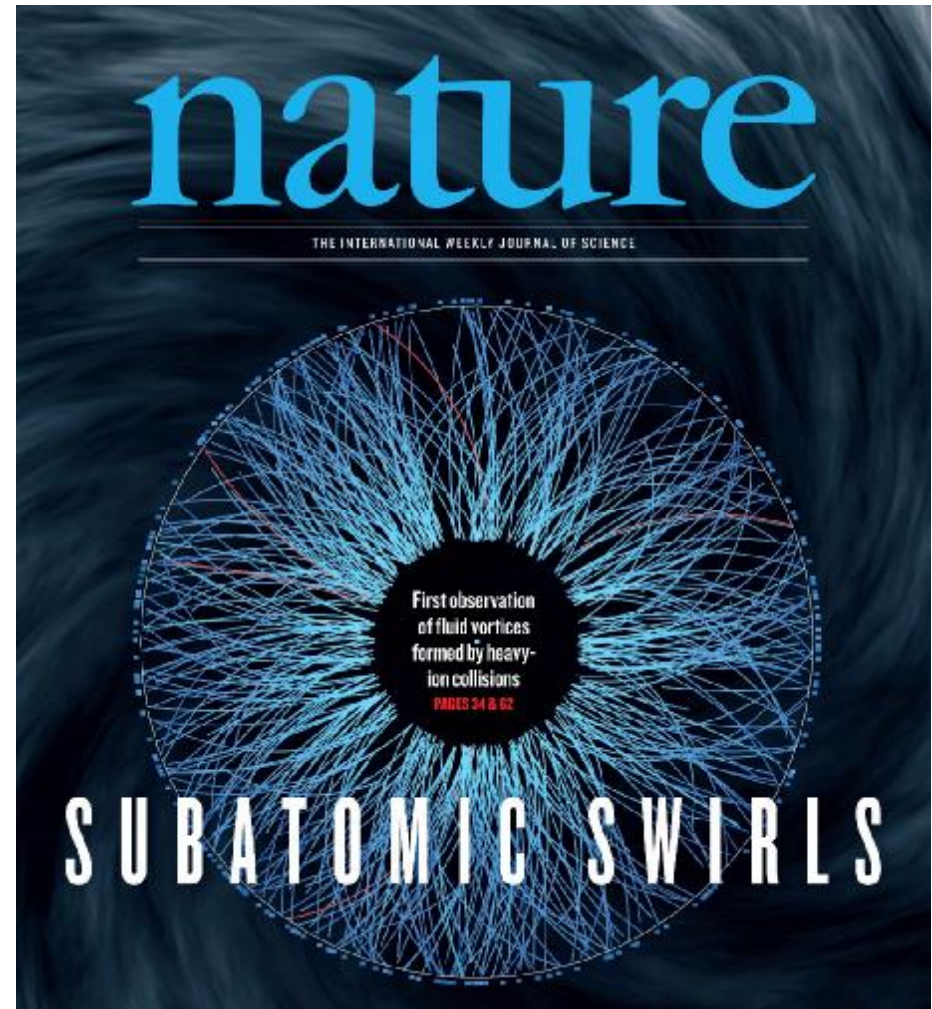
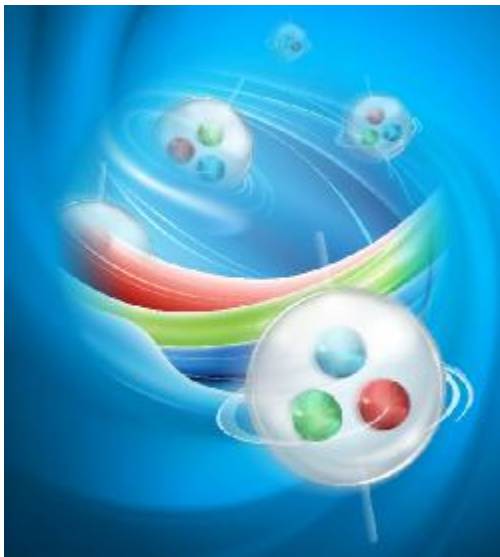
A tökéletes folyadék

- Folyékonyság mérőszáma: viszkozitás
- Sok érdekes jelenség, pl. hélium szuperfolyékonysága
- Kvarkanyag viszkozitása szinte nulla: tökéletes folyadék



A legörvényesebb folyadék

- Kísérlet: kirepülő részecskék forgása rendezett
- A kvarkanyag örvénylik, forog
- A leggyorsabb tornádónál is sokmilliárdszor gyorsabban

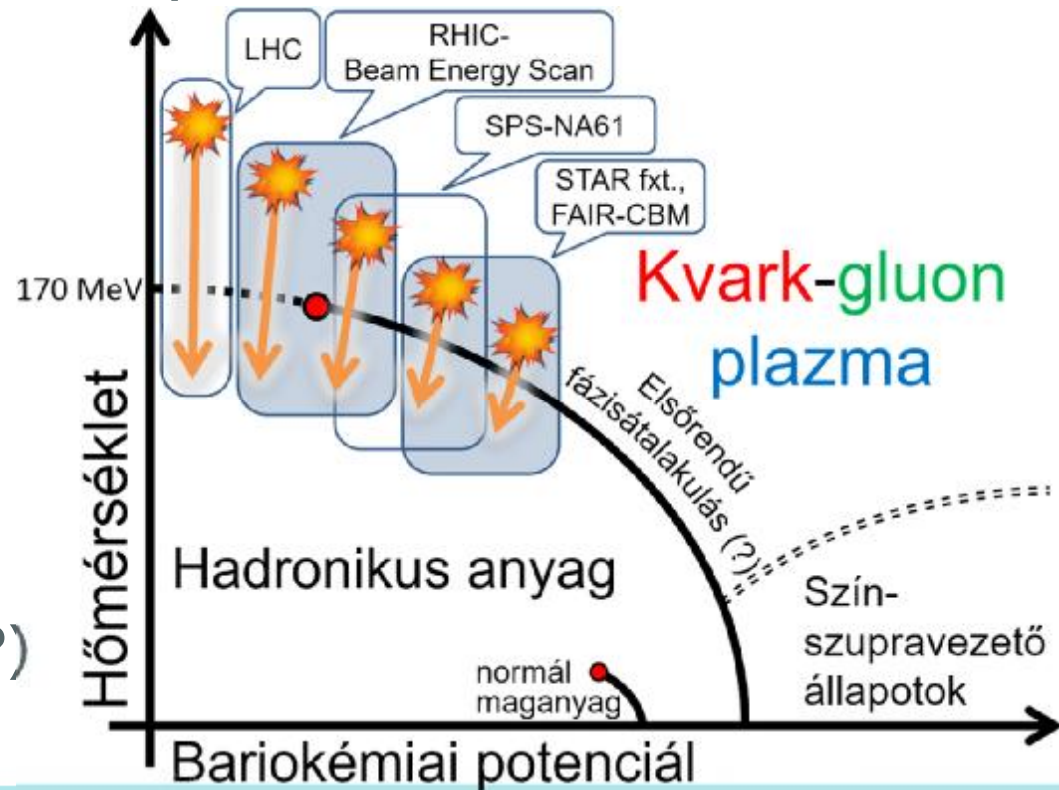


A laborban létrehozott ősrobbanás

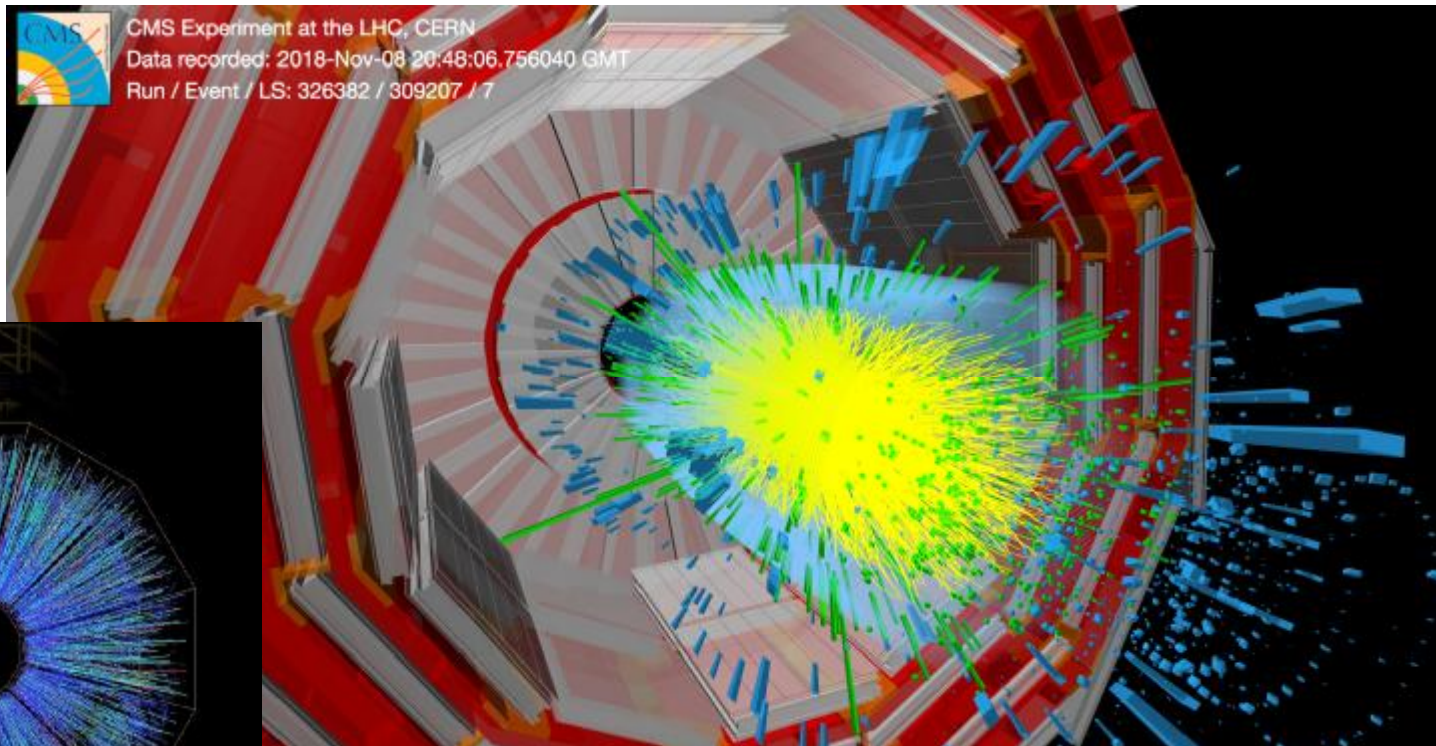
- ... nagyon erősen elnyelő
 - Atommagnyi méretben is alig áthatolható
- ... tökéletes folyadék
 - Extrém kis viszkozitás, extrém gyors örvénylés
- ... kvarkokból áll
 - Forróbb, mint eddig bármi (milliószor millió K)
- Összegzés: **A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK**

A kritikus pont keresése

- Fázistérkép: hőmérséklet vs barionsűrűség (kém. potenciál)
- Variálható: ütközési energia, ütközési centralitás
- Kérdés: folytonos, elsőrendű, másodrendű átalakulás?
- Nagy ütk. energia: kis kémiai potenciál, folytonos átmenet!
- Kis ütk. energia: elsőrendű fázisátalakulás (valószínűleg)
- Közte: kritikus pont? (másodrendű átmenet?)



Köszönöm a figyelmet



részletek: cms.elte.hu , phenix.elte.hu , star.elte.hu

Tartalék diák

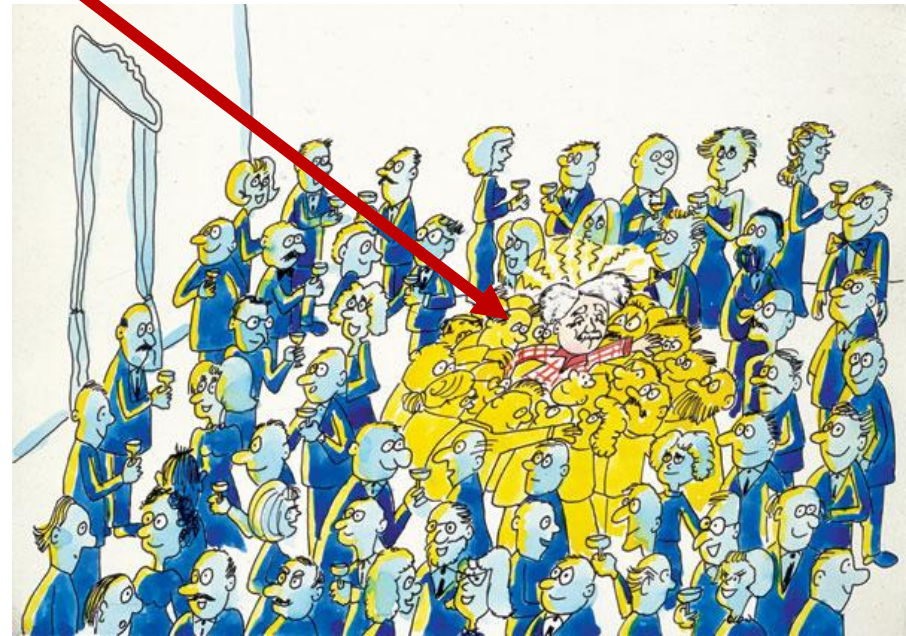
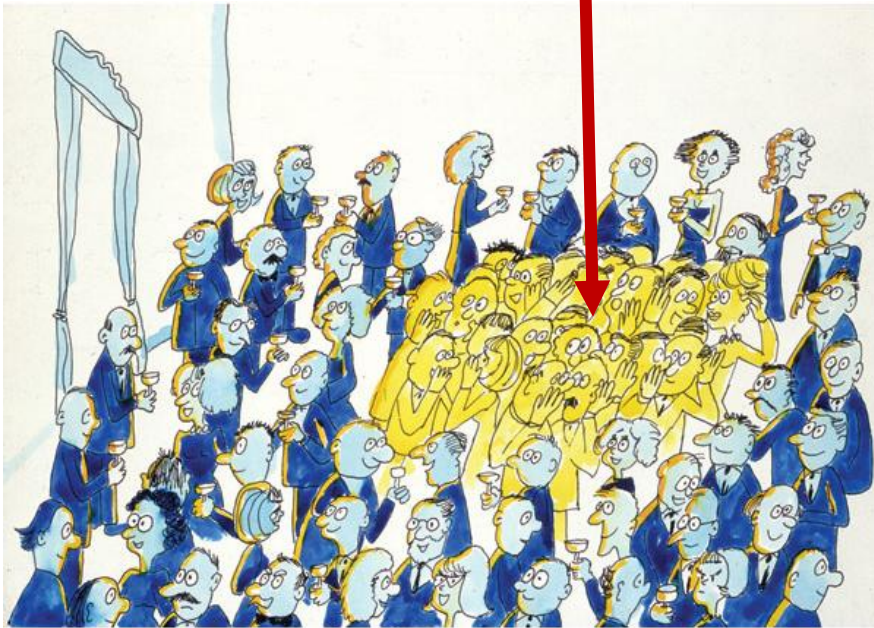
Nyitott alapkérdések a fizikában

- Az Univerzum gyorsuló tágulása
 - Sötét energia?
- Az antianyag hiánya
 - Honnan az aszimmetria?
- A galaxisok gyors forgása
 - Sötét anyag?
- Kvantummechanika és gravitáció
 - Hogyan egyesíthetők ezen elméletek?
- A tömeg eredete, a Higgs részecske
 - Van-e más, Higgs jellegű részecske?
- A kvantummechanika alapjai
 - Mi történik a kvantumos összeomláskor?
- Az első mikromásodperc
 - Mik a „kvantumszínes” anyag tulajdonságai?



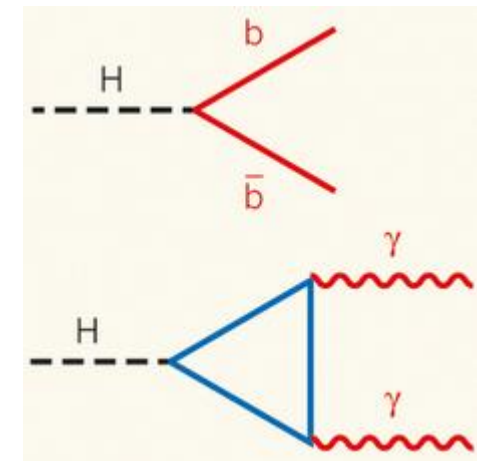
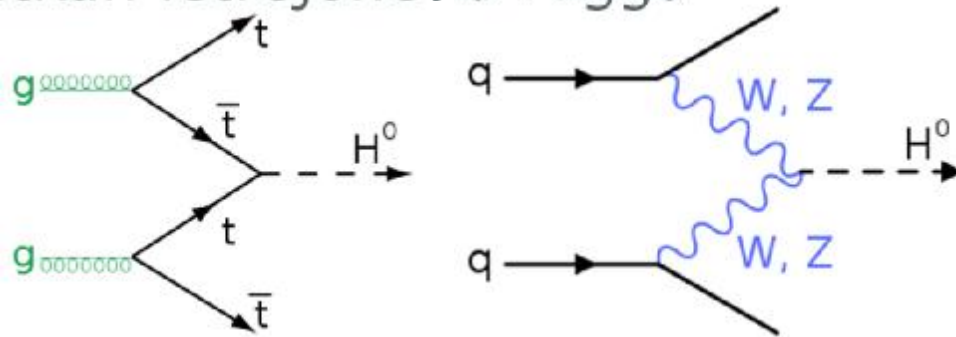
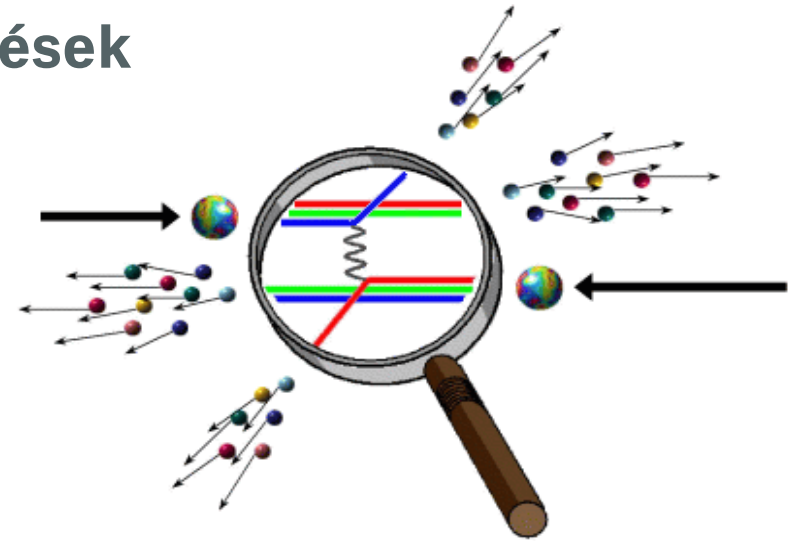
A Higgs szerepe

- Elemi részecskék tömege: nem alapvető tulajdonság
- Tömeg eredete: kölcsönhatás a Higgs-mezővel
- Higgs-részecske: a mező önkölcsönhatása



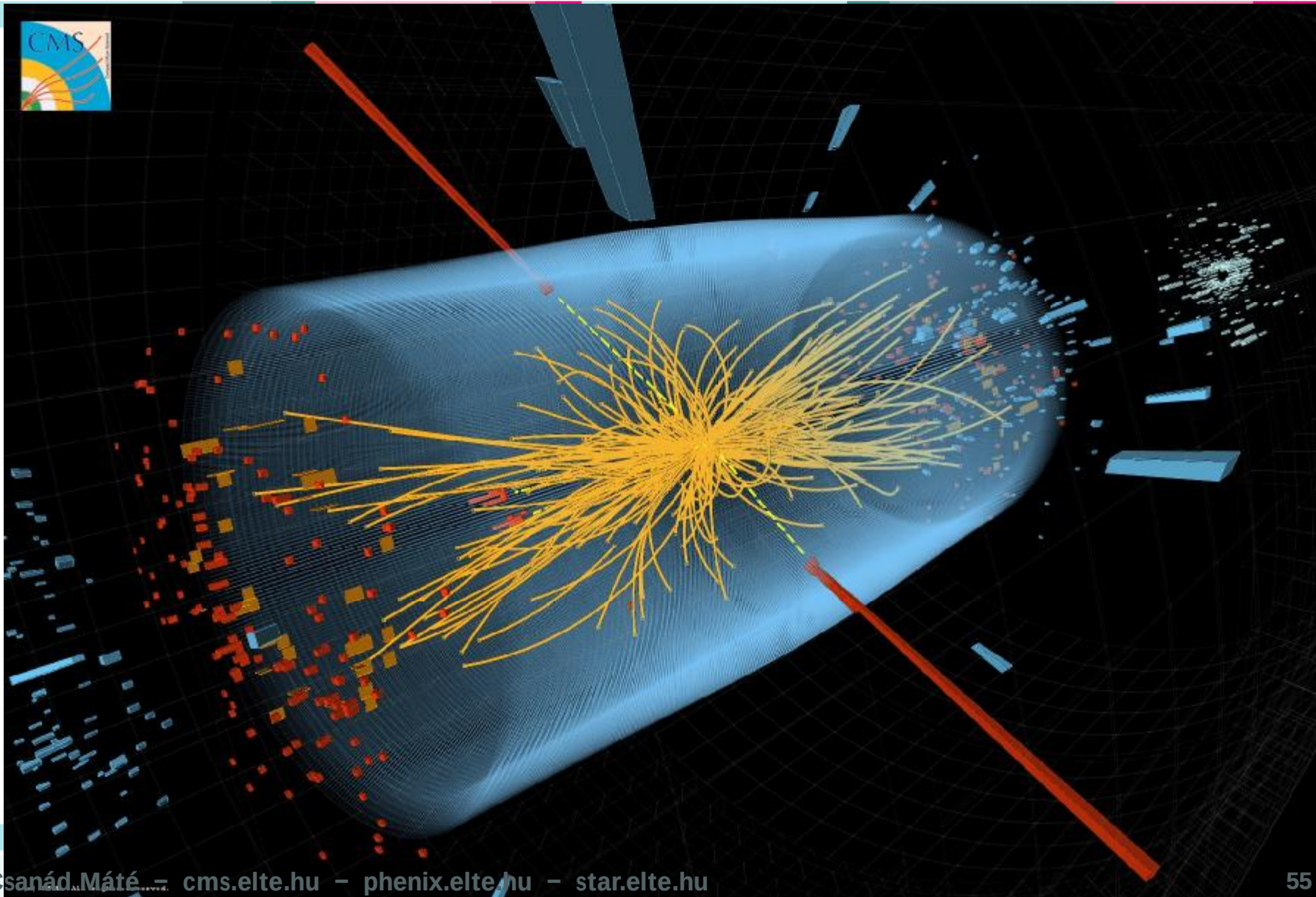
A Higgs keresése

- Nagyenergiás proton-proton ütközések
- Gyors proton szétesik gluonokra és kvarkokra
- Ezek hadronokká és bozonokká alakulnak
- Ritkán létrejöhet a Higgs



- Az ilyen ritka eseményeket kell megtalálni!
- Észlelés: bomláson keresztül

Egy Higgs-esemény a CMS-ben



Kvarkfolyadék mérföldkövek

- 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.)

Az első két mérőldkő

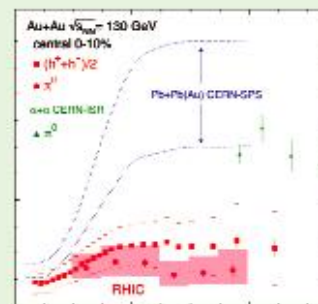
- Két Phys. Rev. Letter címlap, tudományos konszenzus
- Részvétel komoly anyagi ráfordítás nélkül (sok munkával)
- Lehetőség az újabb felfedezésekre

1. mérőldkő

PHYSICAL REVIEW LETTERS

14 January 2002

Volume 88, Number 2



Member Subscription Copy
Library or Other Institutional Use Prohibited Until 2007



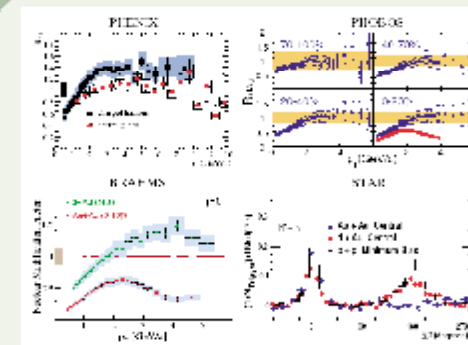
Published by The American Physical Society

2. mérőldkő

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

Erősen kölcsönható kvarkfolyadék

- Az Amerikai Fizikai Intézet szerint 2005. legfontosabb eseménye: az erősen kölcsönható folyadék felfedezése a RHIC-nél
- Négy kísérlet öt éves munkája, egybehangzóan
- 4000-nél több hivatkozás az összefoglaló cikkekre

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

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS [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](#)

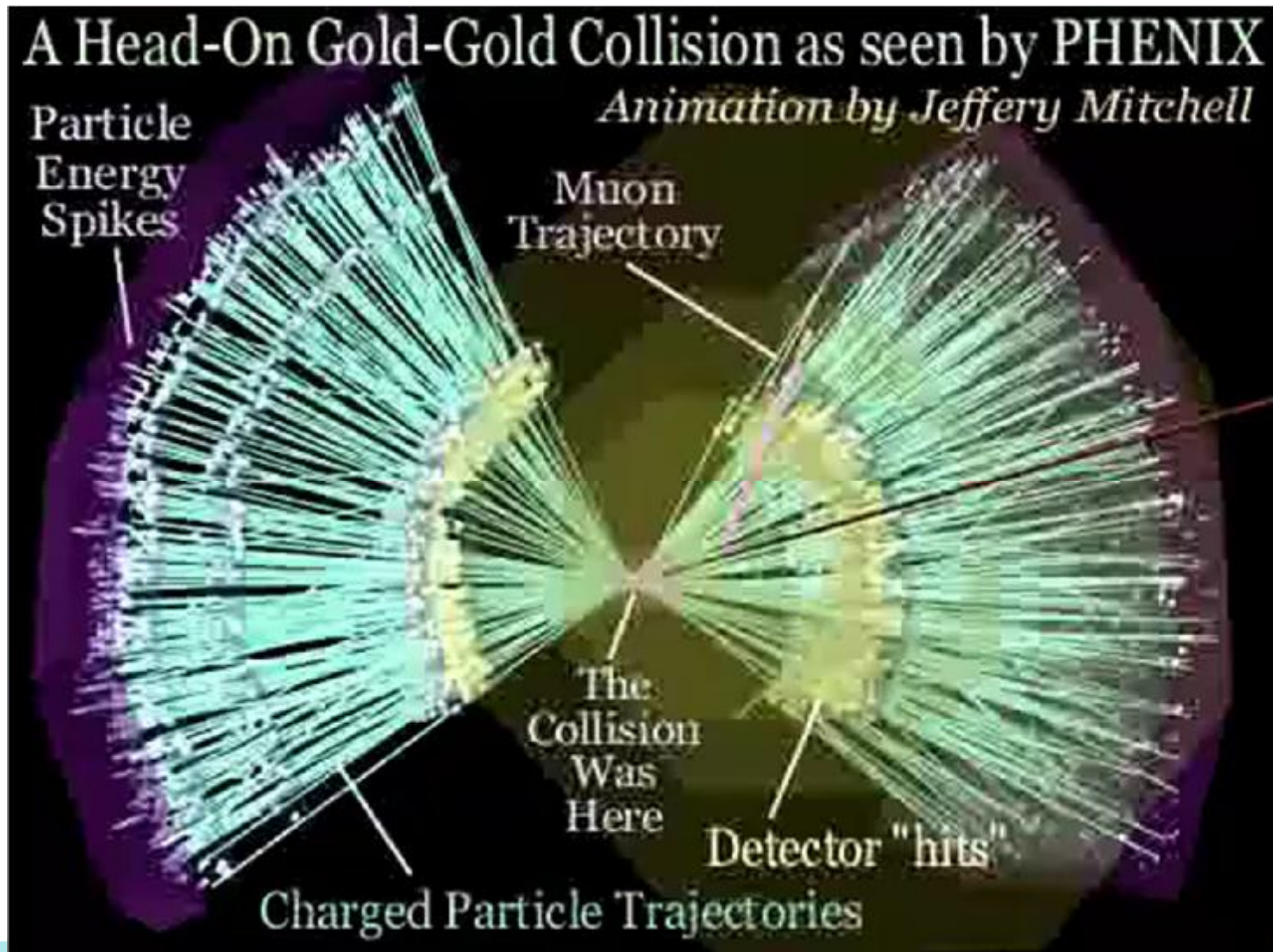
Archives

[2006](#)

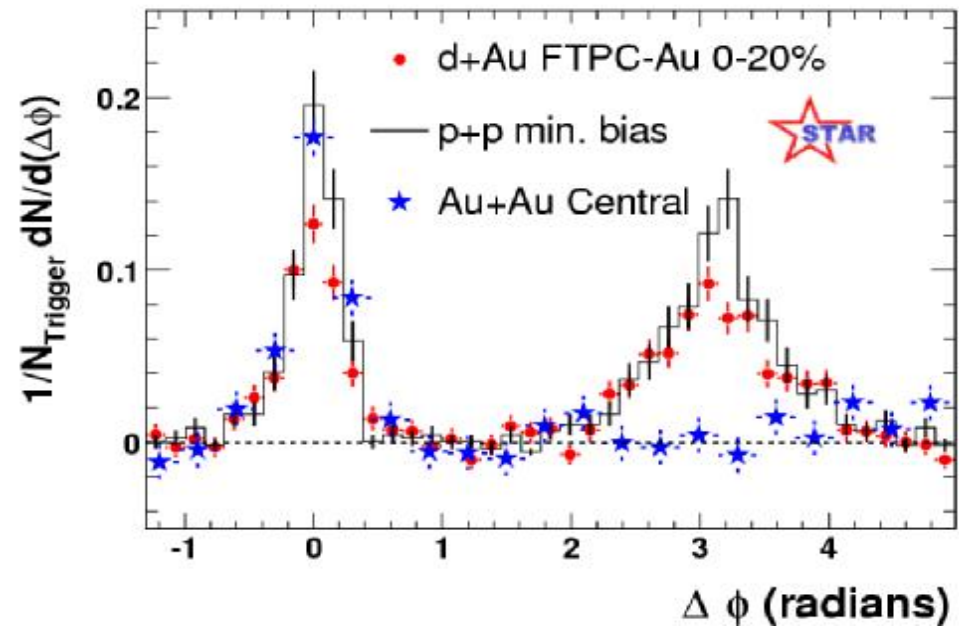
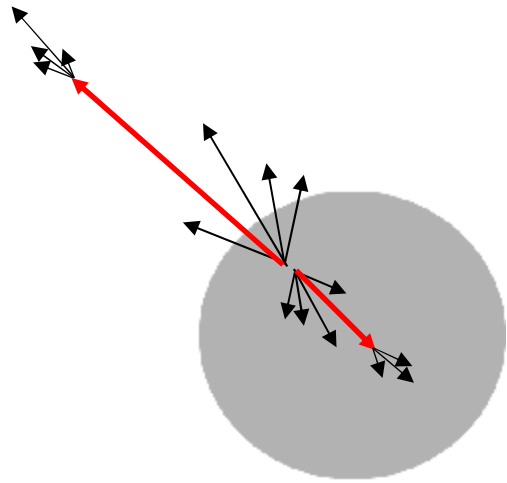
[2005](#)

[2004](#)

Egy PHENIX Au+Au esemény



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

A hőmérséklet mérése

- Összetett részecskék keletkezése: kvarkanyag megszűnése után
- Fotonok áthatolnak az anyagon
- Hőkamerához hasonló elv
- Kezdetben $\sim 10^{13}$ Kelvin!

