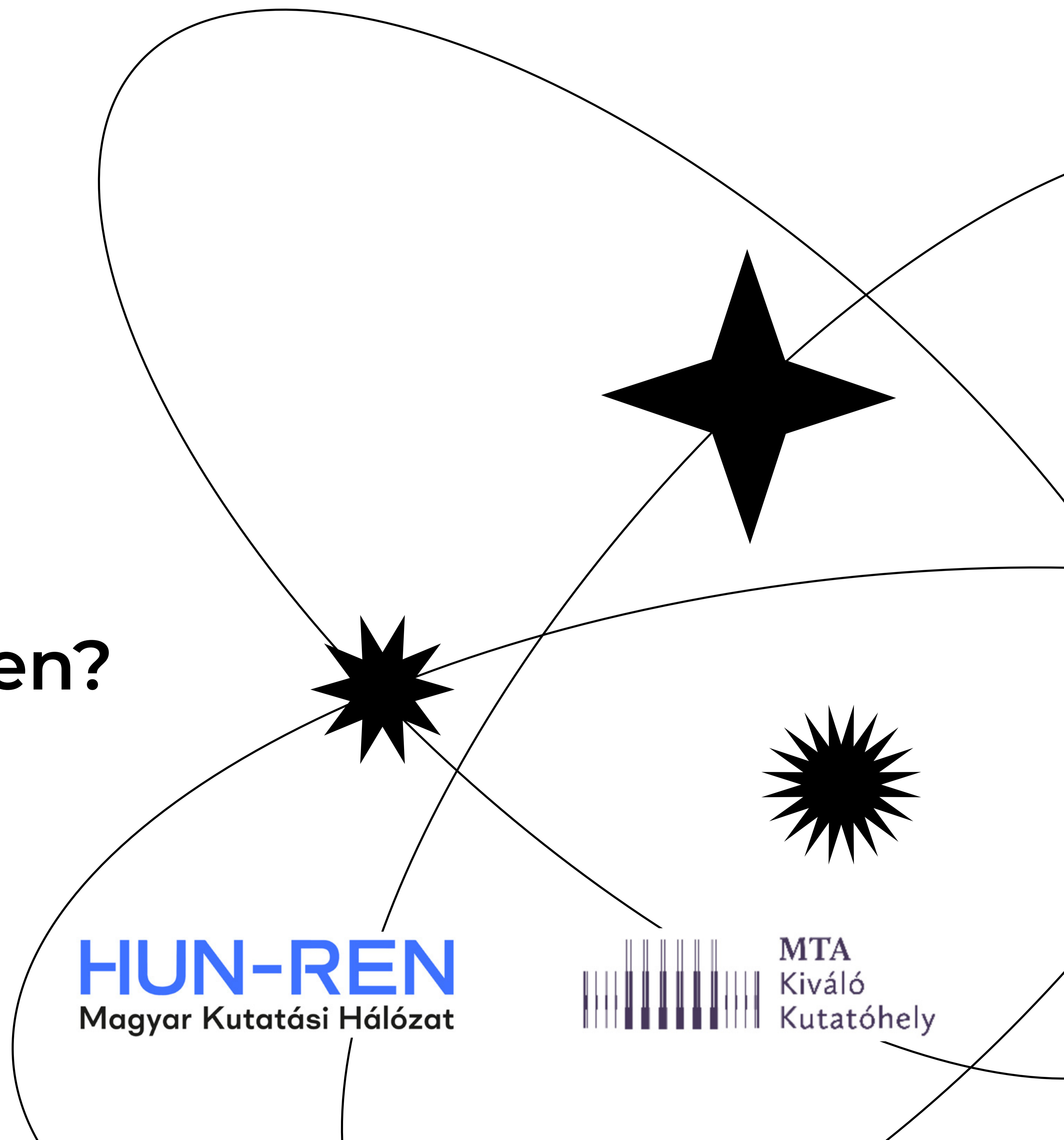
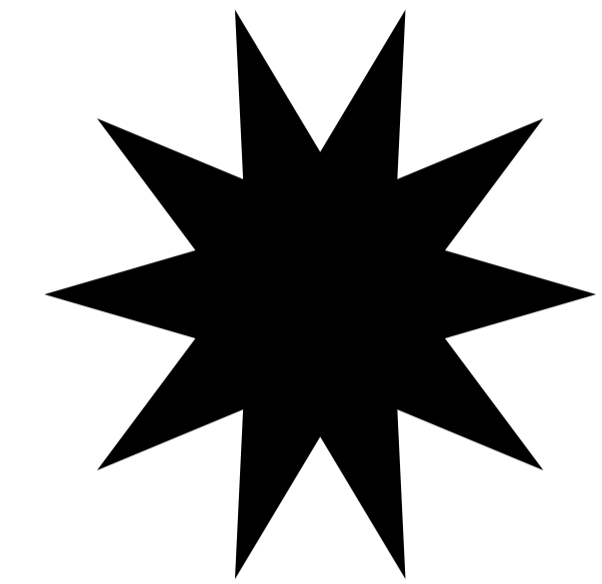


Elpárologó atommagok

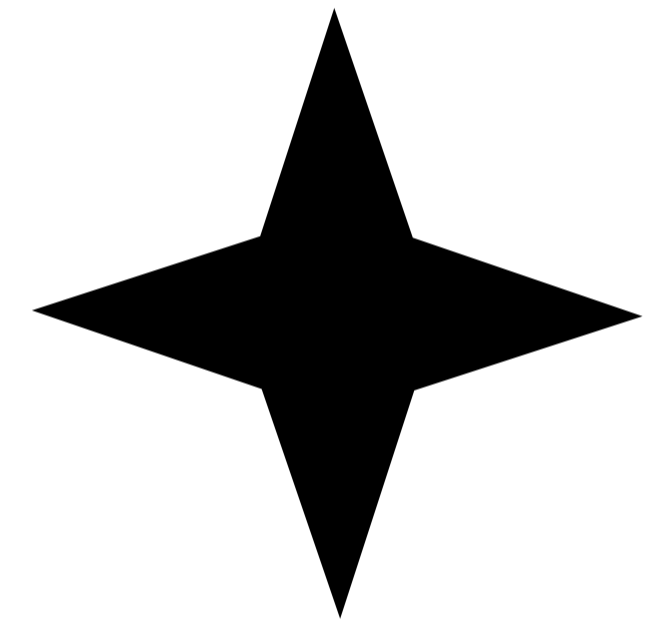
Kvarkcsillagot csinálunk a CERN-ben?



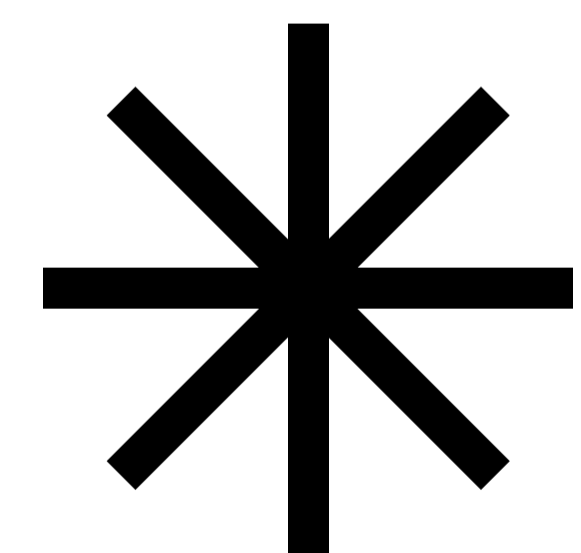
TARTALOM



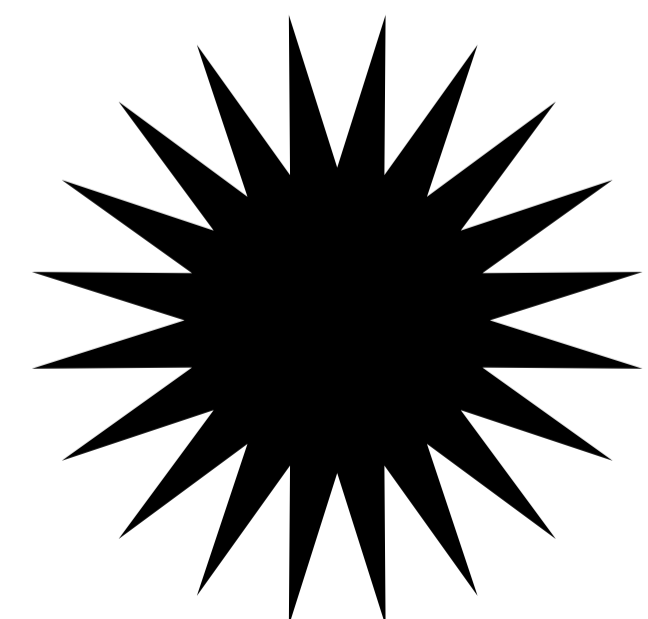
Az erős kölcsönhatás:
atommagok és csillagok



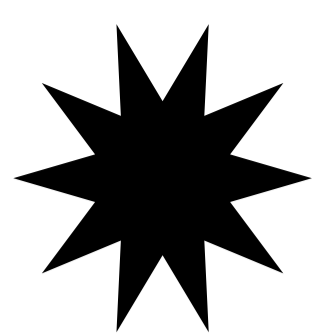
Fázisdiagram
– víz és erősen kölcsönható anyag



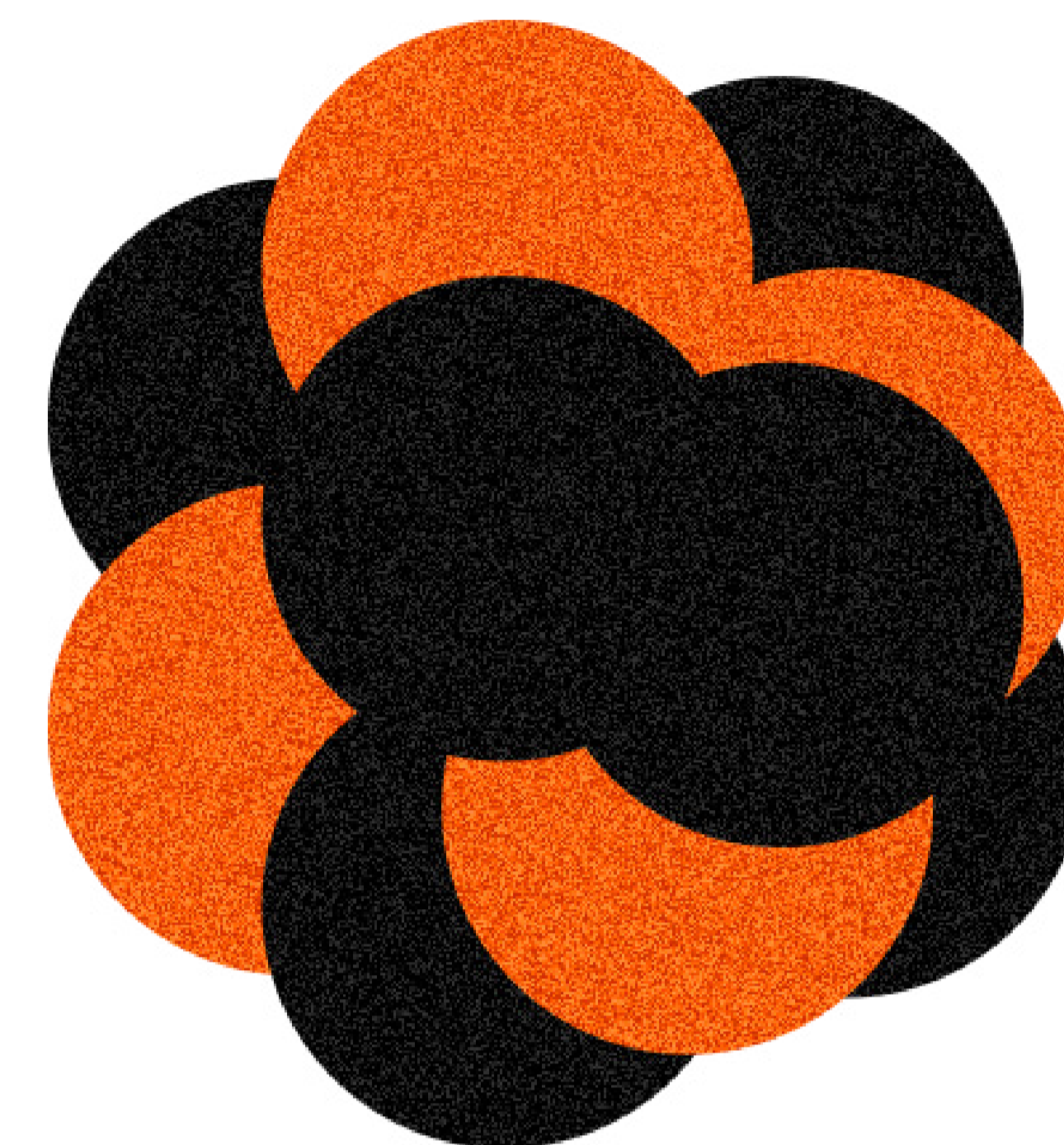
Miben más egy neutroncsillag vagy kvarkcsillag
mint a CERN-beli nehézion ütközések?



Elméleti megközelítések
Mitől függhet a fázisdiagram?



Atommagban lévő nukleonok
(protonok és neutronok)

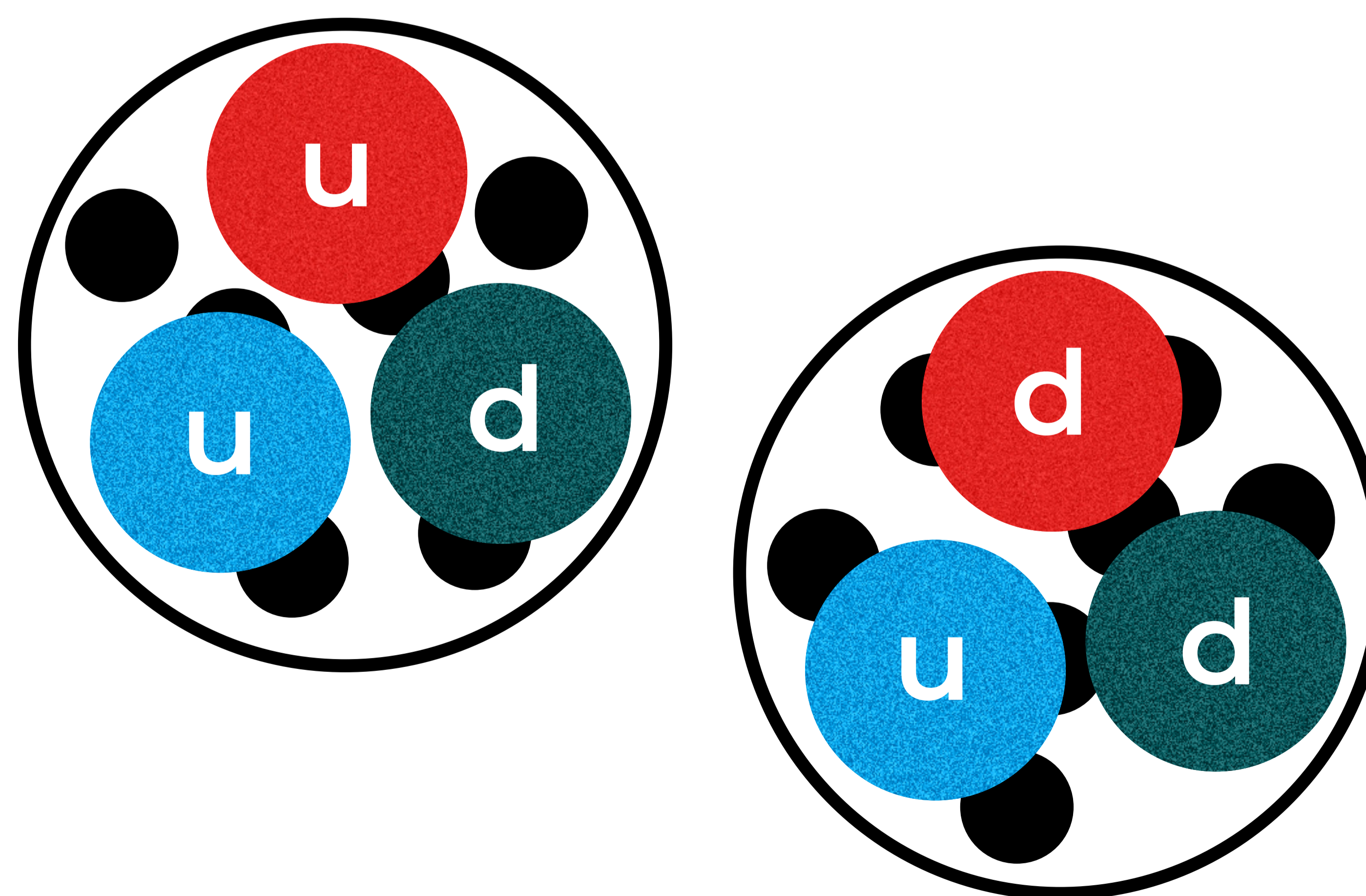


- Proton (+)
- Neutron (0)

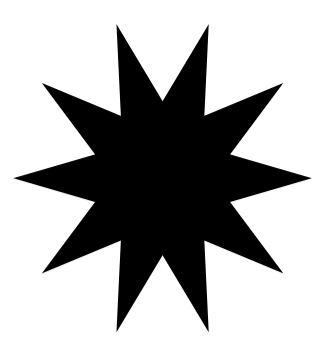
Erős kölcsönhatás

Nukleonokban lévő kvarkok
és gluonok (partonok)

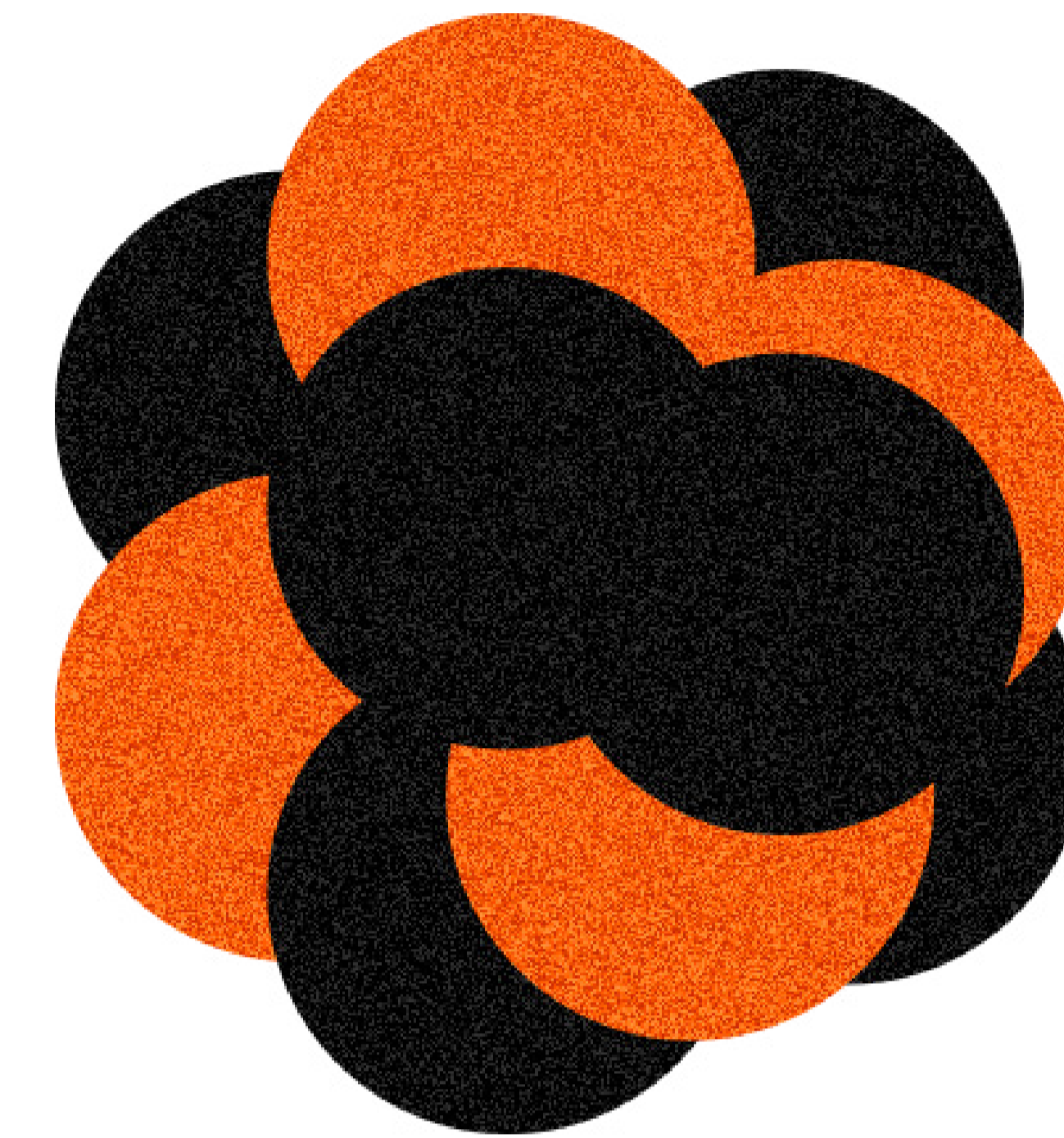
színtöltés, színbezárás
– kvantum színdinamika (QCD)



- Kvark (R,G,B)
- Gluon
(szín + antiszín)



Atommagban lévő nukleonok
(protonok és neutronok)

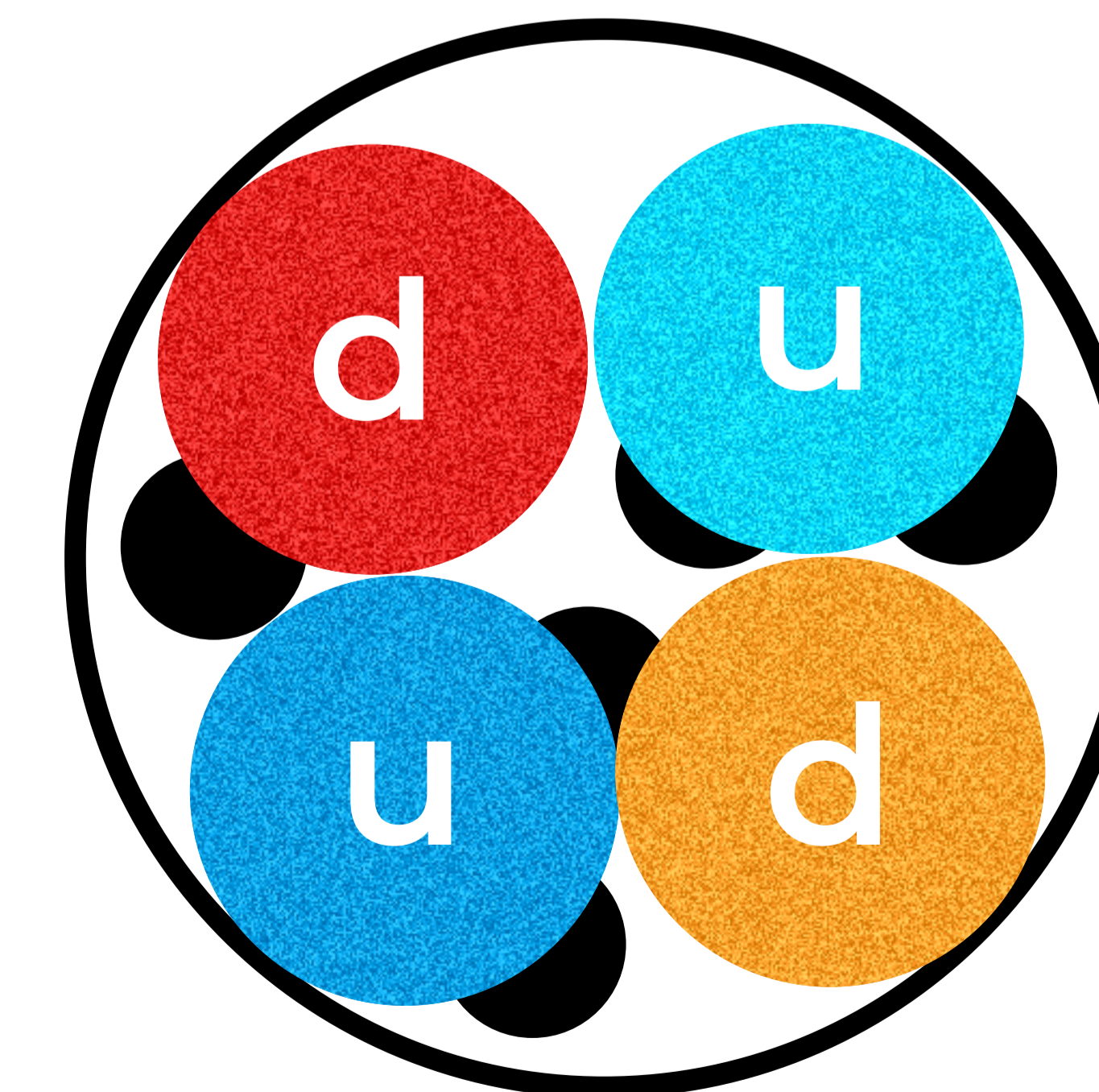
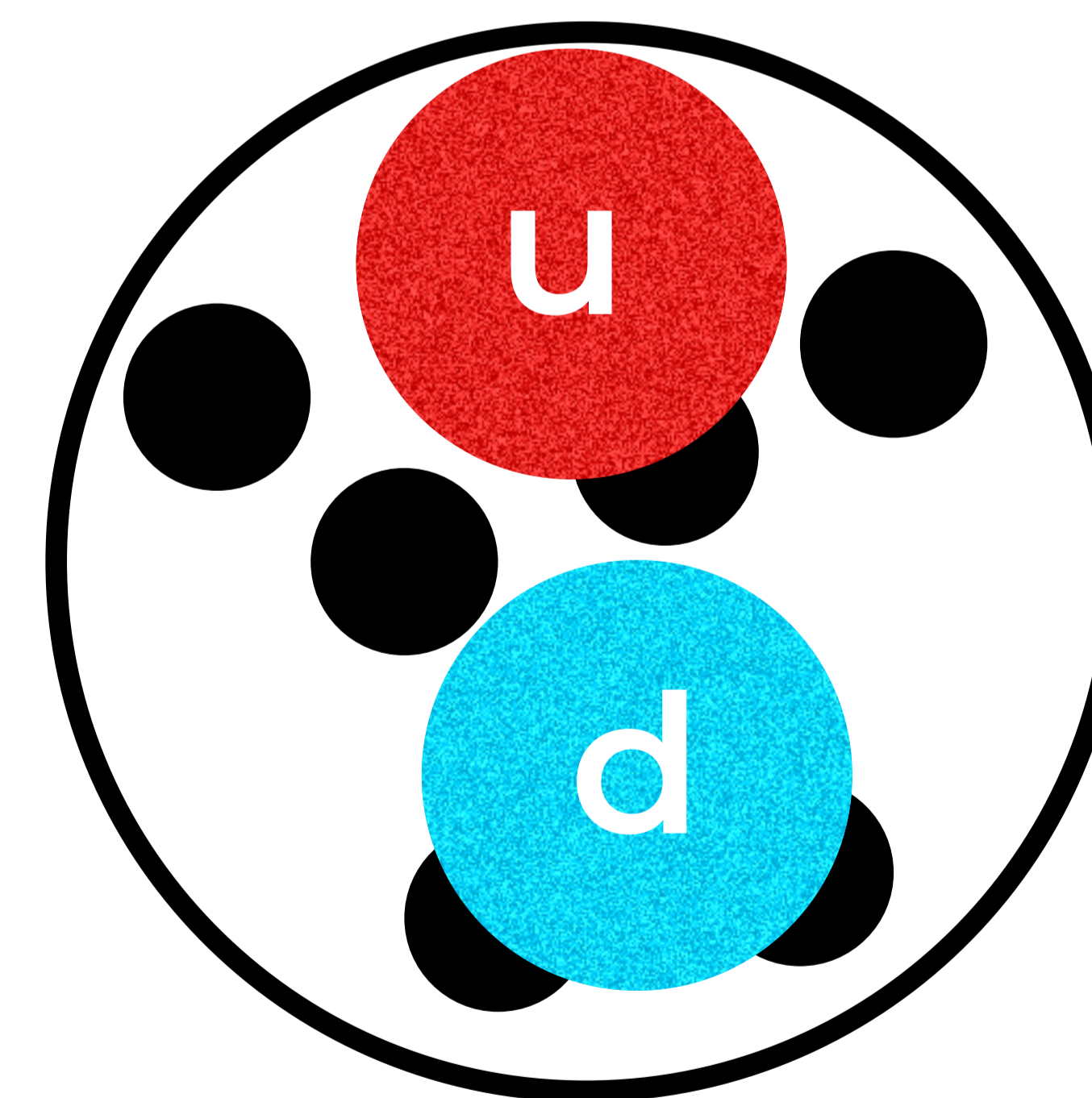


- Proton (+)
- Neutron (0)

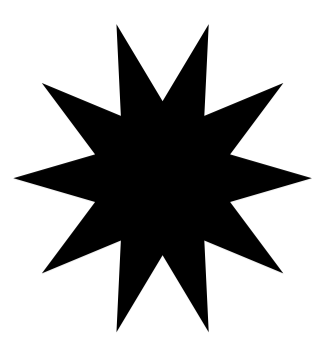
Erős kölcsönhatás

Mezonok, tetraquarkok ...

színtöltés, színbezárás
– kvantum színdinamika (QCD)



- ● Kvark (R,GB)
- ● Antikvark (\bar{R},\bar{G},\bar{B})

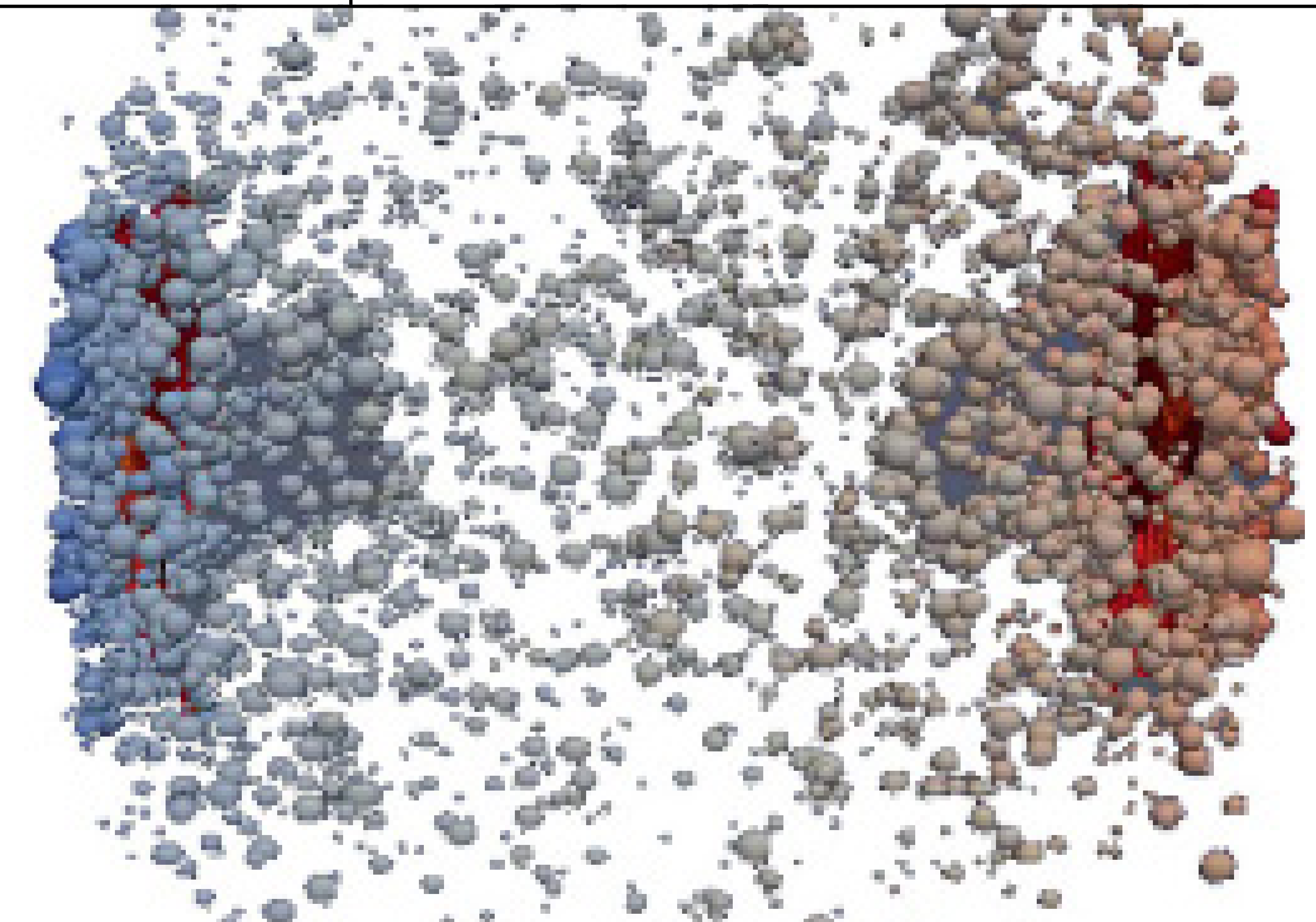
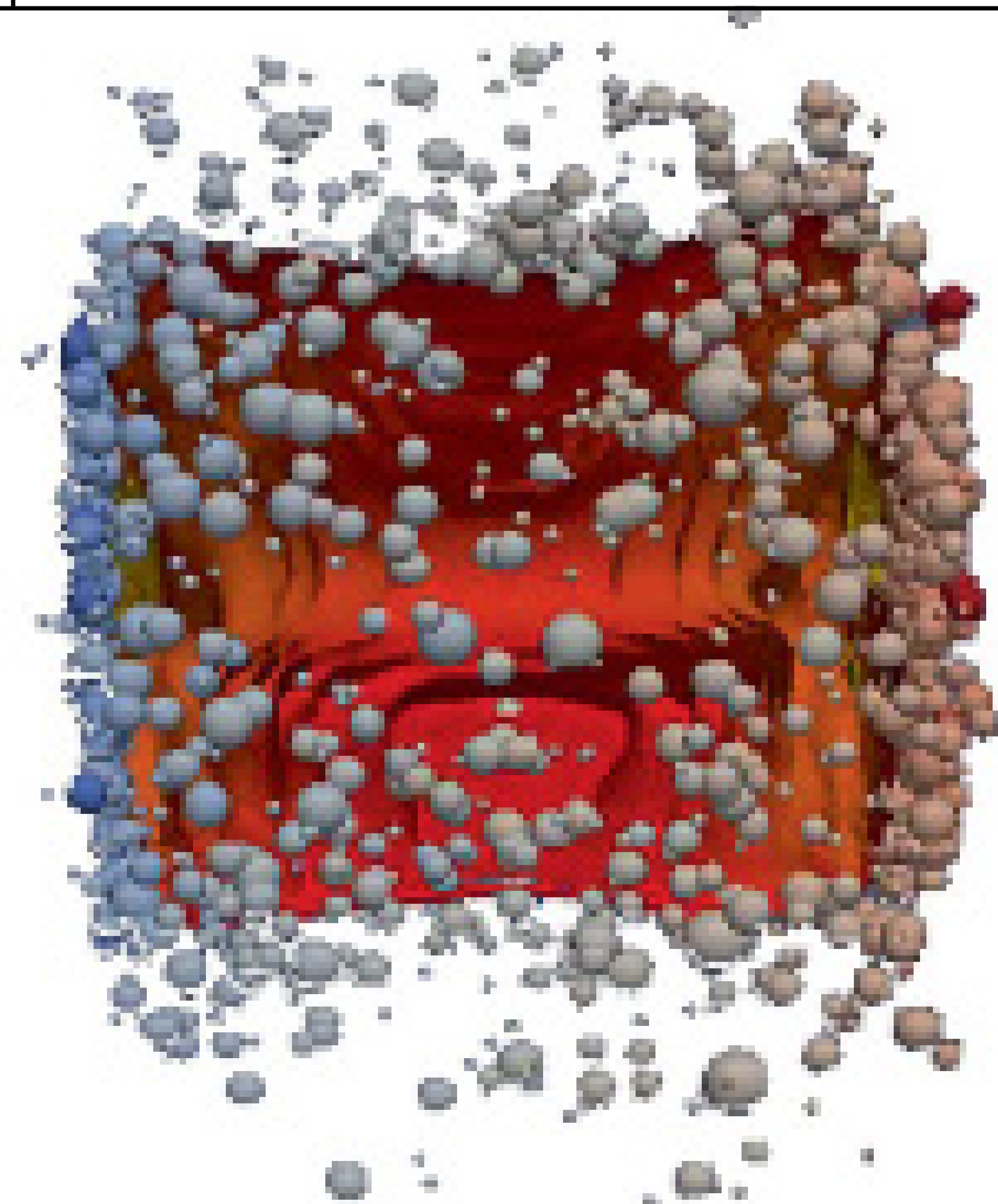
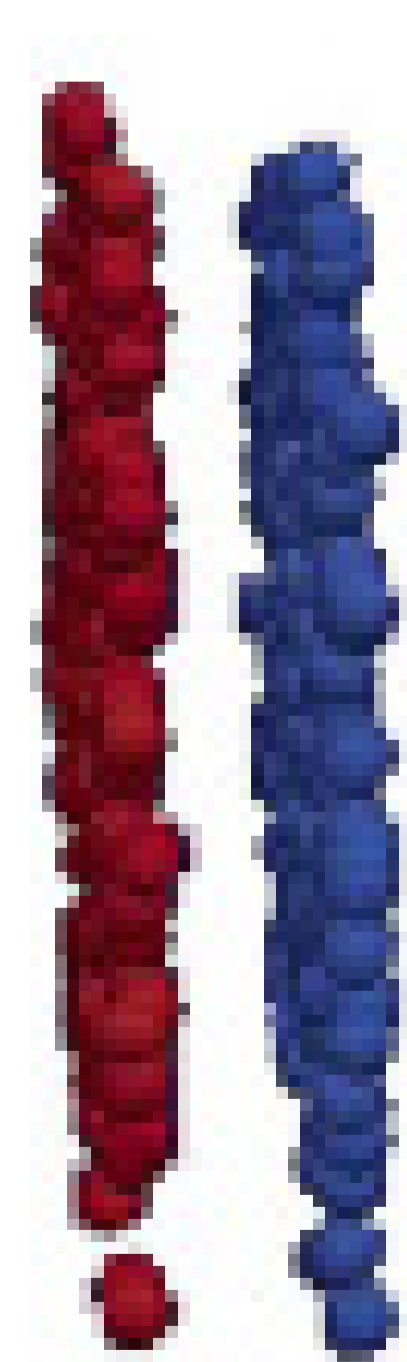


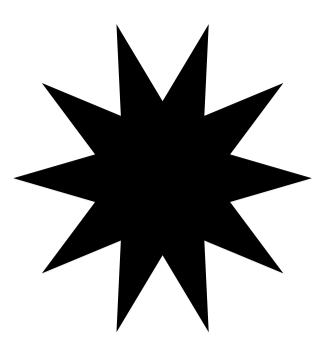
Hogy lehet megfigyelni?

/ Nagy energia szükséges,
hogy az atommagba lássunk

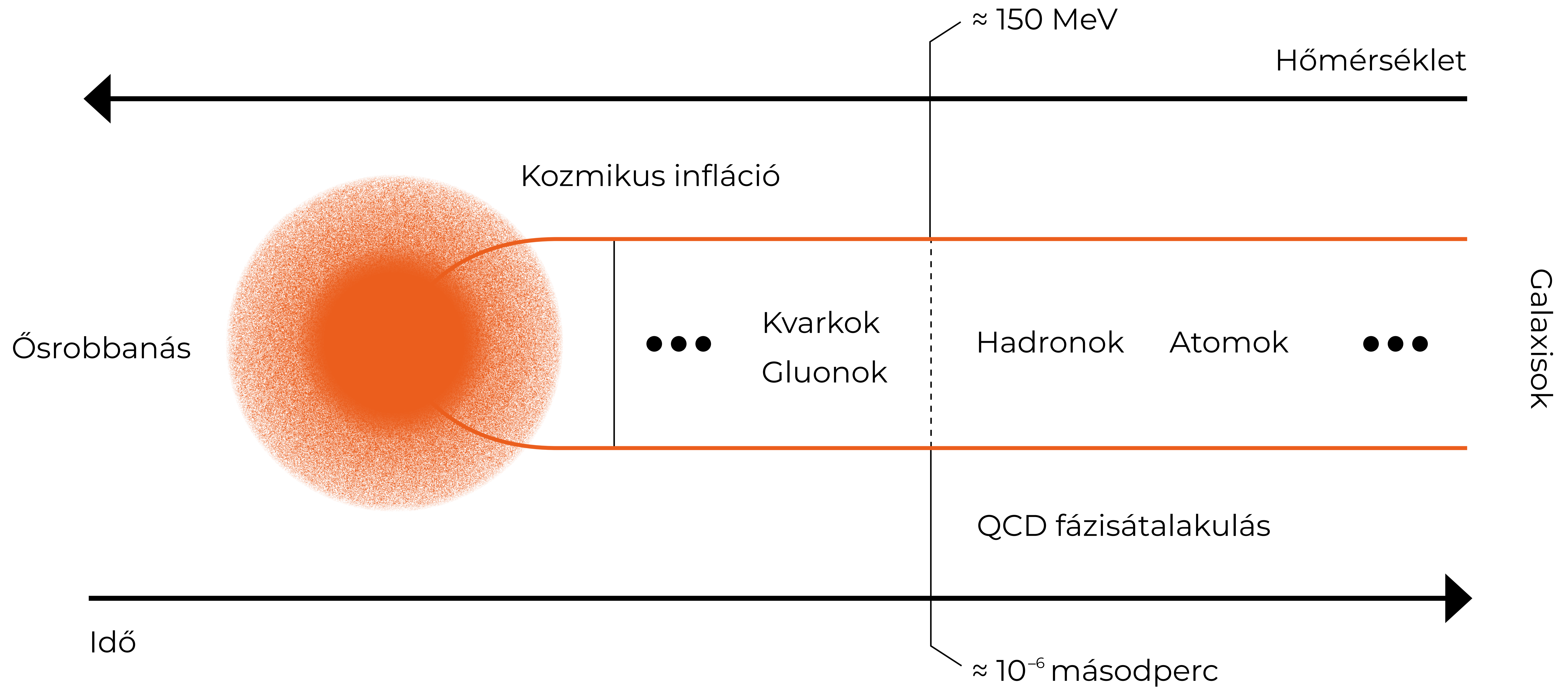
/ A kvark-gluon plazma fázisban
szabad kvarkok és gluonok

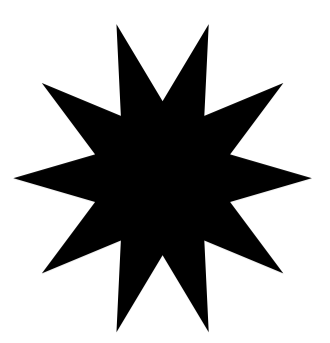
/ Részecskegyorsítók,
nehézion ütközések





A korai univerzumban





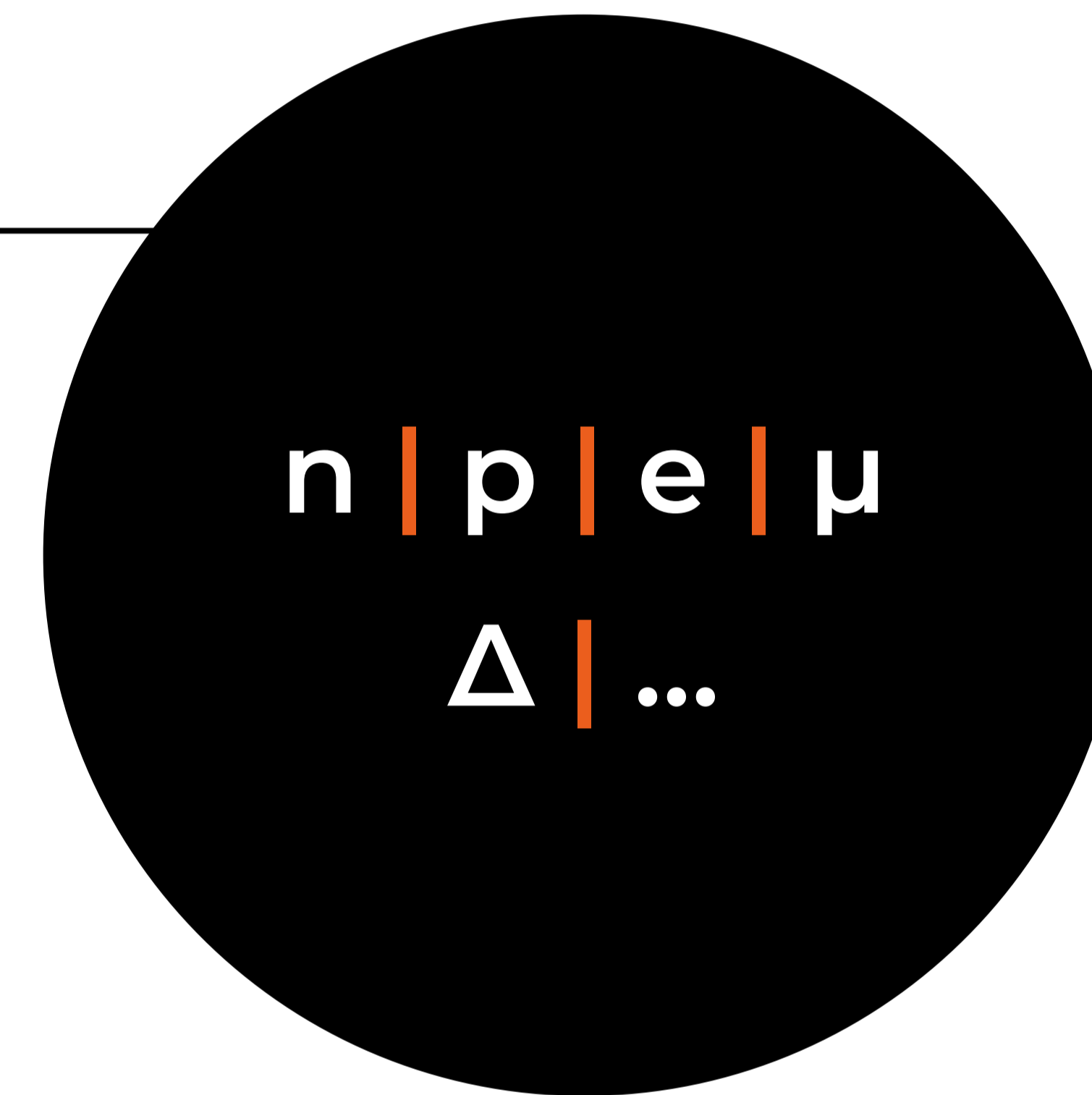
Kompakt csillagok

(neutroncsillagok, kvarkcsillagok)

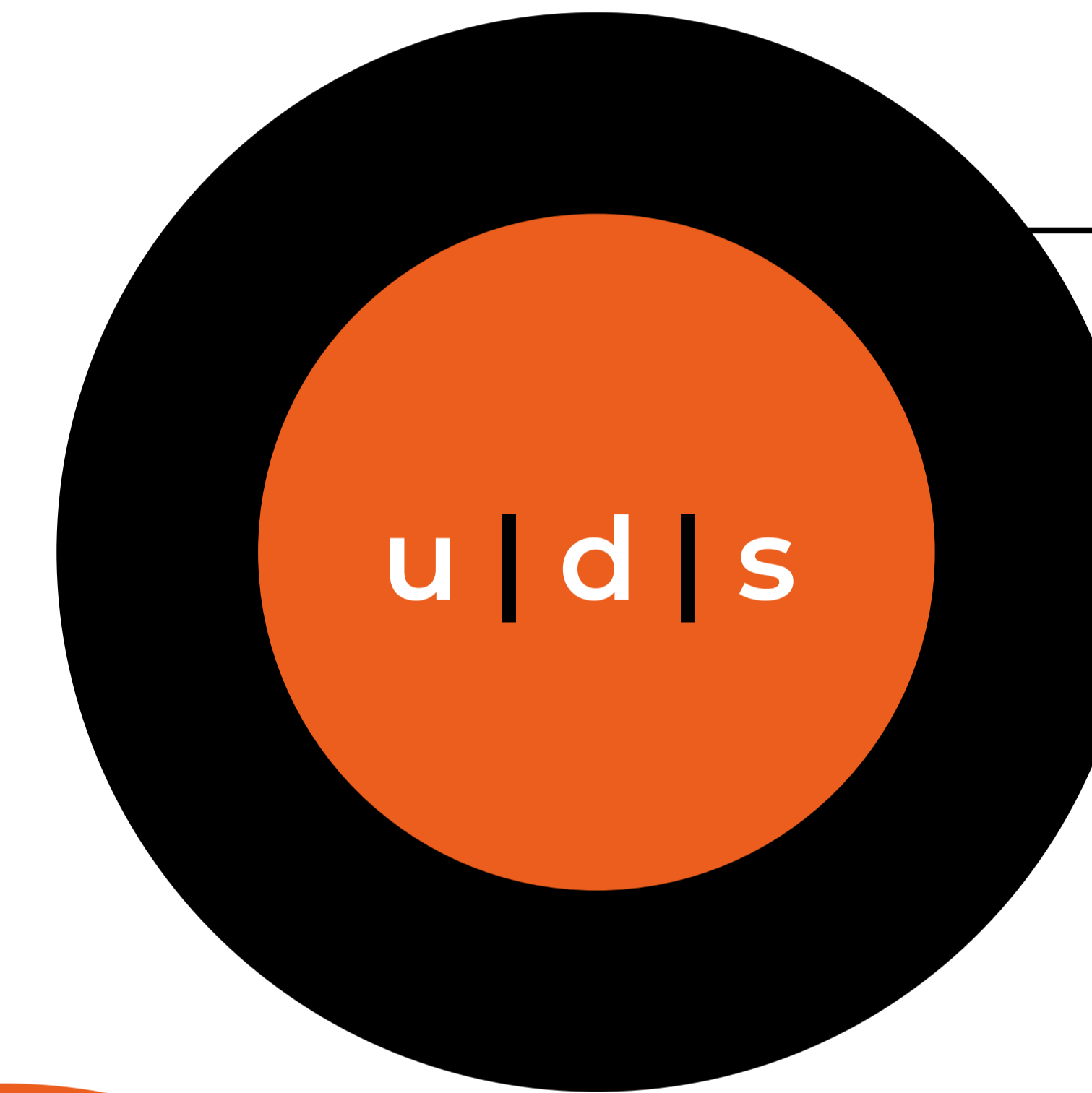
Több rétegű felépítés:

kéregben atommagok,
beljebb partonok, akár kvarkok

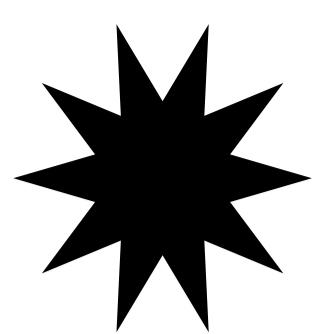
Neutroncsillag



Hibrid csillag



Kvarkcsillag



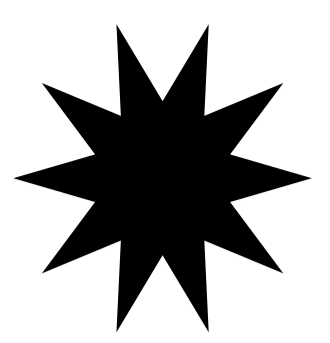
Kompakt csillagok

(neutroncsillagok, kvarkcsillagok)

“QGP” a csillag magjában
A fázisátalakulás megfigyelhető

Megfigyelések
pulzárok, gravitációs hullámok ...

Tömeg–sugár arány, M-R görbe (akár $2 M_{\odot}$, 6-14 km)
Állapot egyenlet (nyomás–energiasűrűség)
Árapály deformáció



Kompakt csillagok

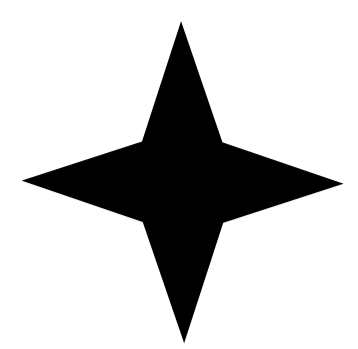
(neutroncsillagok, kvarkcsillagok)

“QGP” a csillag magjában
A fázisátalakulás megfigyelhető

Megfigyelések
pulzárok, gravitációs hullámok ...

Tömeg–sugár arány, M-R görbe (akár $2 M_{\odot}$, 6-14 km)
Állapot egyenlet (nyomás–energiasűrűség)
Árapály deformáció

CERN és kompakt csillagok
Ugyan azt az állapotot
figyeljük meg?



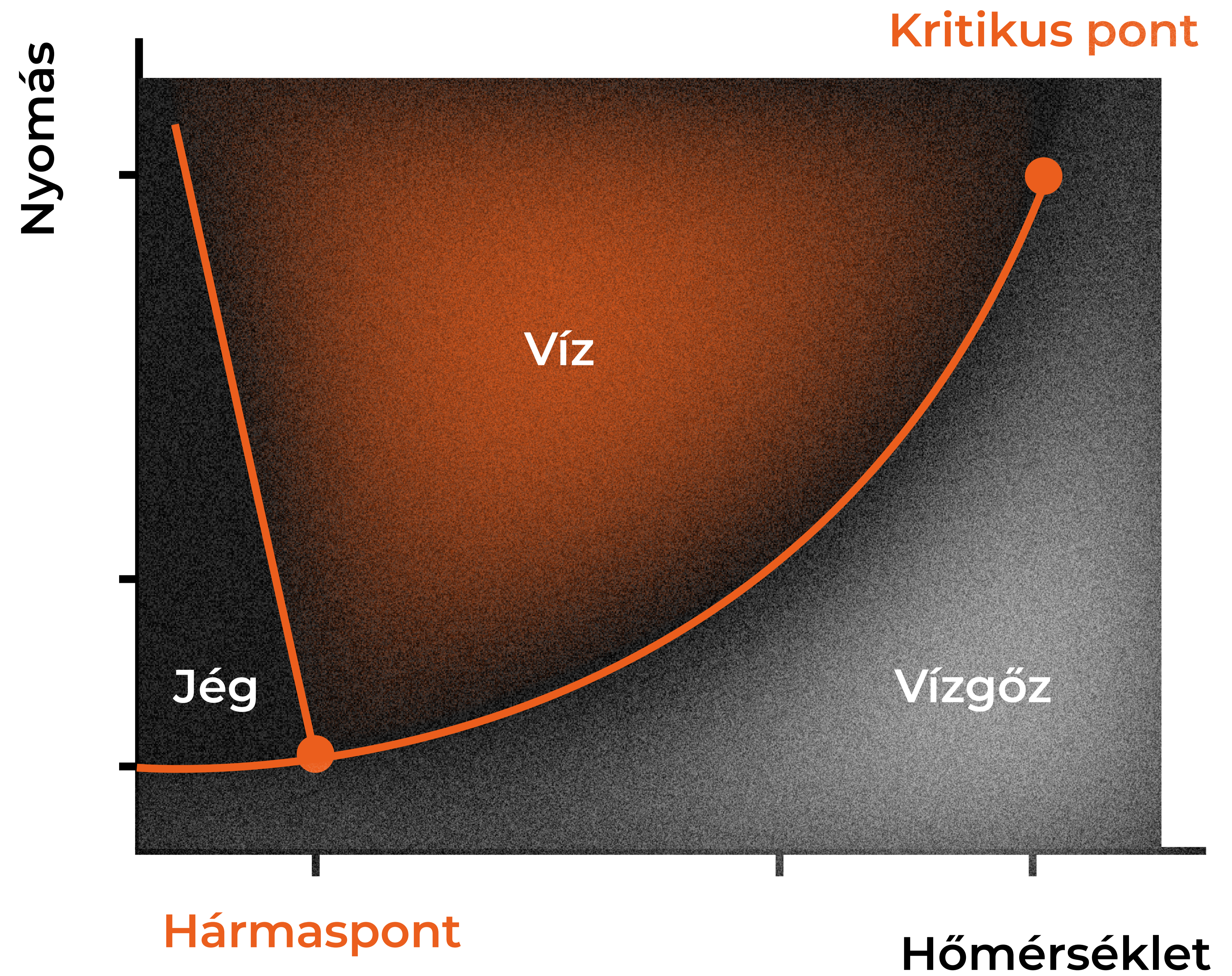
Fázisdiagram

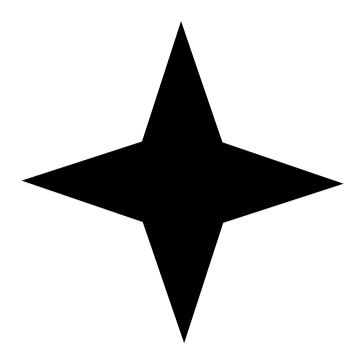
Az adott anyag “halmazállapotait” vagy “fázisait” ábrázolja különböző paraméterek függvényében

A víz fázisdiagramja

p: nyomás

T: hőmérséklet





Hadronikus fázis

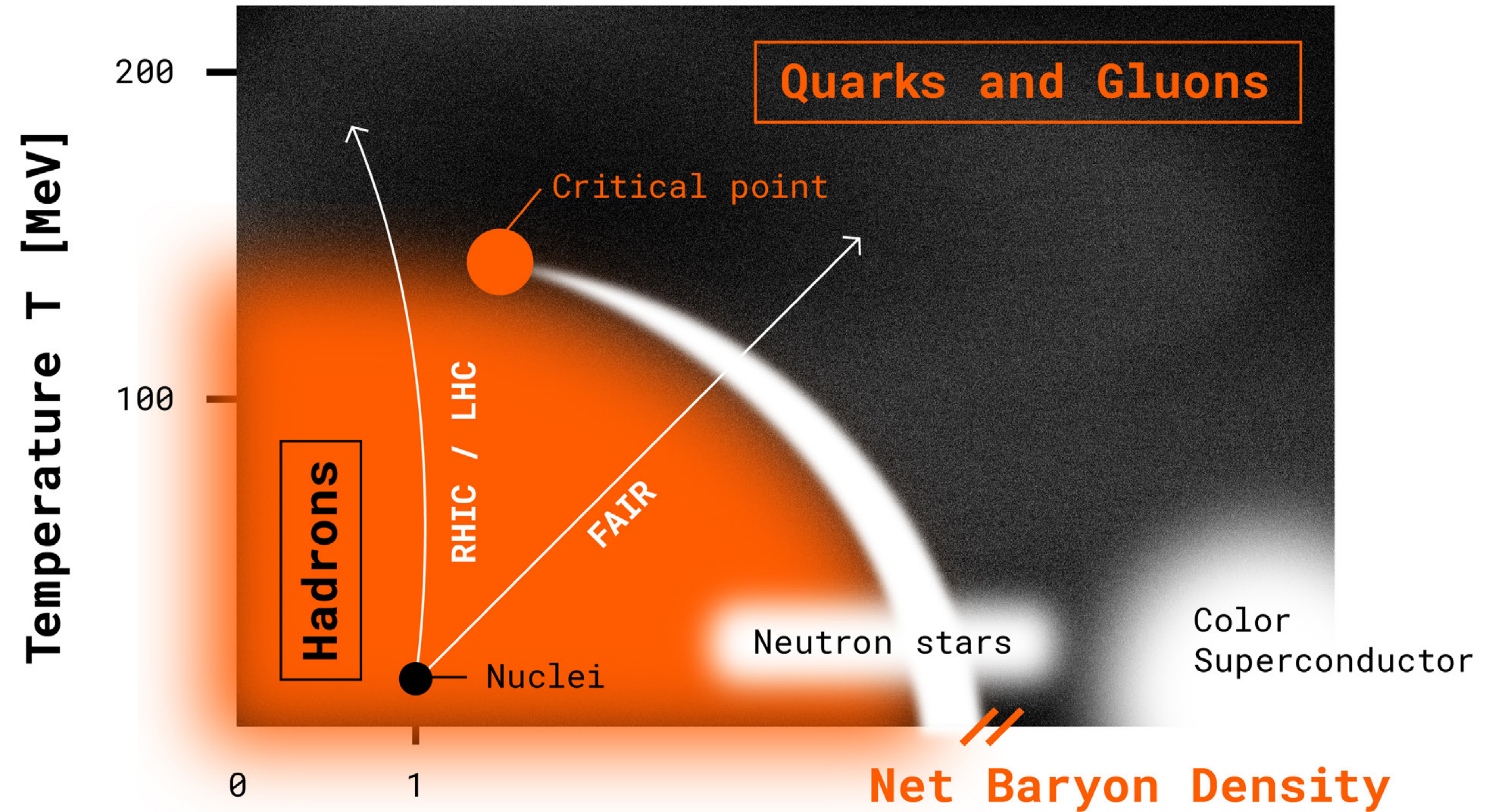
- / színbezárt
- / királisan sértett

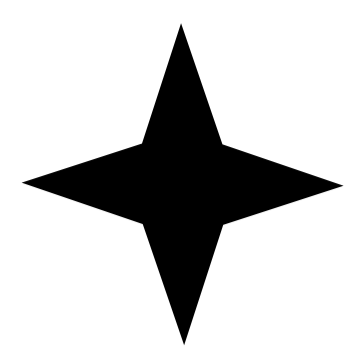
Kvark-gluon plazma

- / nem bezárt
- / királisan szimmetrikus

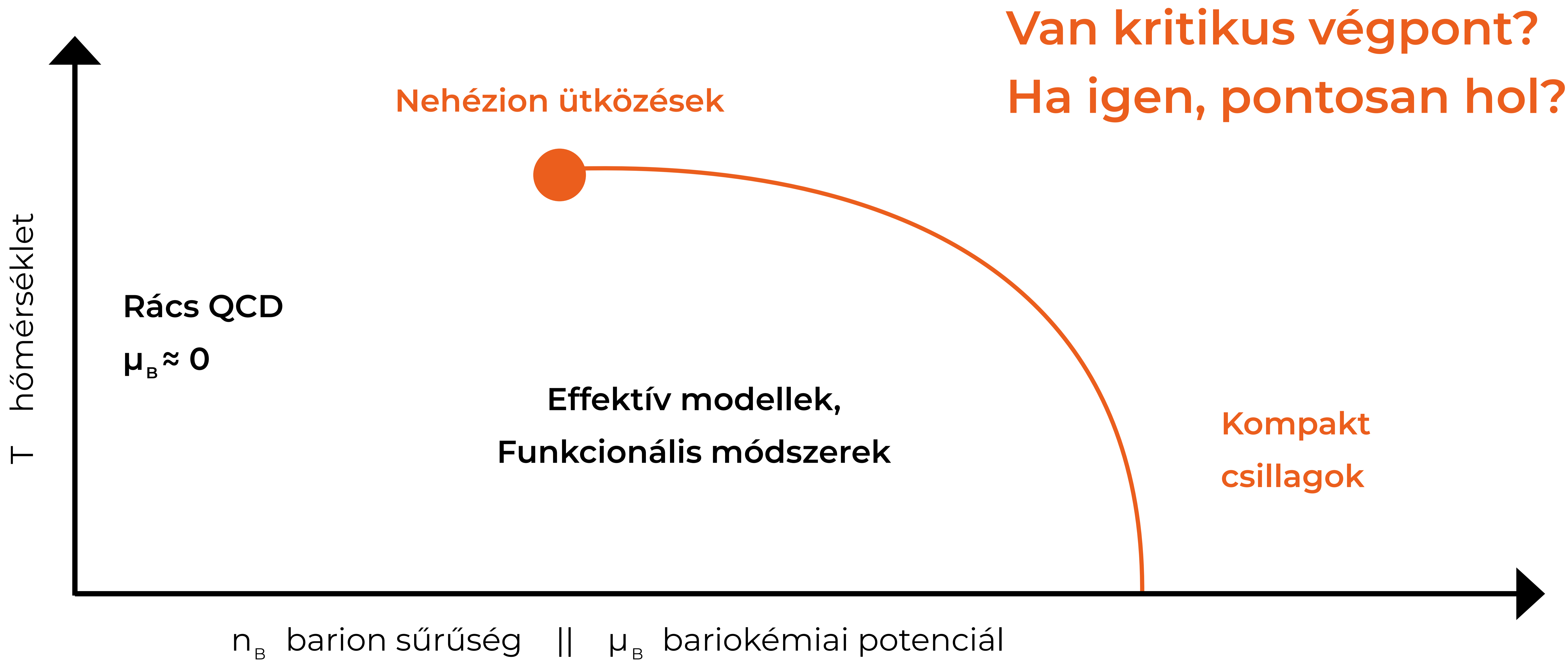
Egyéb fázisok

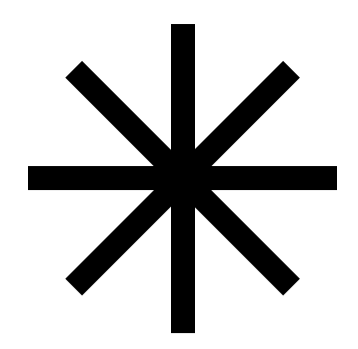
- / szín szupravezető
- / kvarkionikus
- / nemhomogén





A fázisdiagram vizsgálata elméleti és kísérleti úton





Kompakt csillag

Alacsony hőmérséklet
Nagy sűrűség

Sértett izospin szimmetria

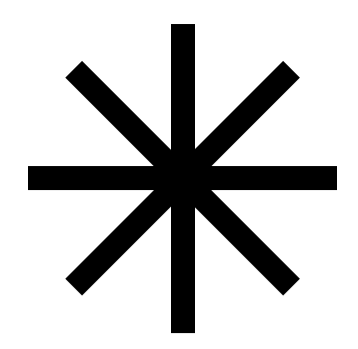
Nagy méret
Teljes csillag ~10 km
Csillag magja ~ km

Nehézion ütközés

Nagy hőmérséklet
Alacsony sűrűség

Izospin szimmetrikus

Kis kiterjedés
Néhány fermi ~ 10^{-15} m



Kompakt csillag

Alacsony hőmérséklet
Nagy sűrűség

Sértett izospin szimmetria

Nagy méret
Teljes csillag ~10 km
Csillag magja ~ km

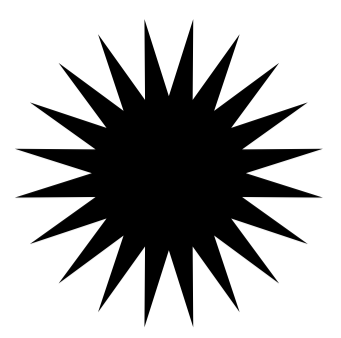
Nehézion ütközés

Nagy hőmérséklet
Alacsony sűrűség

Izospin szimmetrikus

Kis kiterjedés
Néhány fermi ~ 10^{-15} m

**Rendszer méretének hatása
a fázisdiagramra?**



QCD nemperturbatív megoldása diszkrét tér időben

Megoldást ad a QCD-re
Csak eltűnő bariokémiai potenciálon

Véges rácsállandó

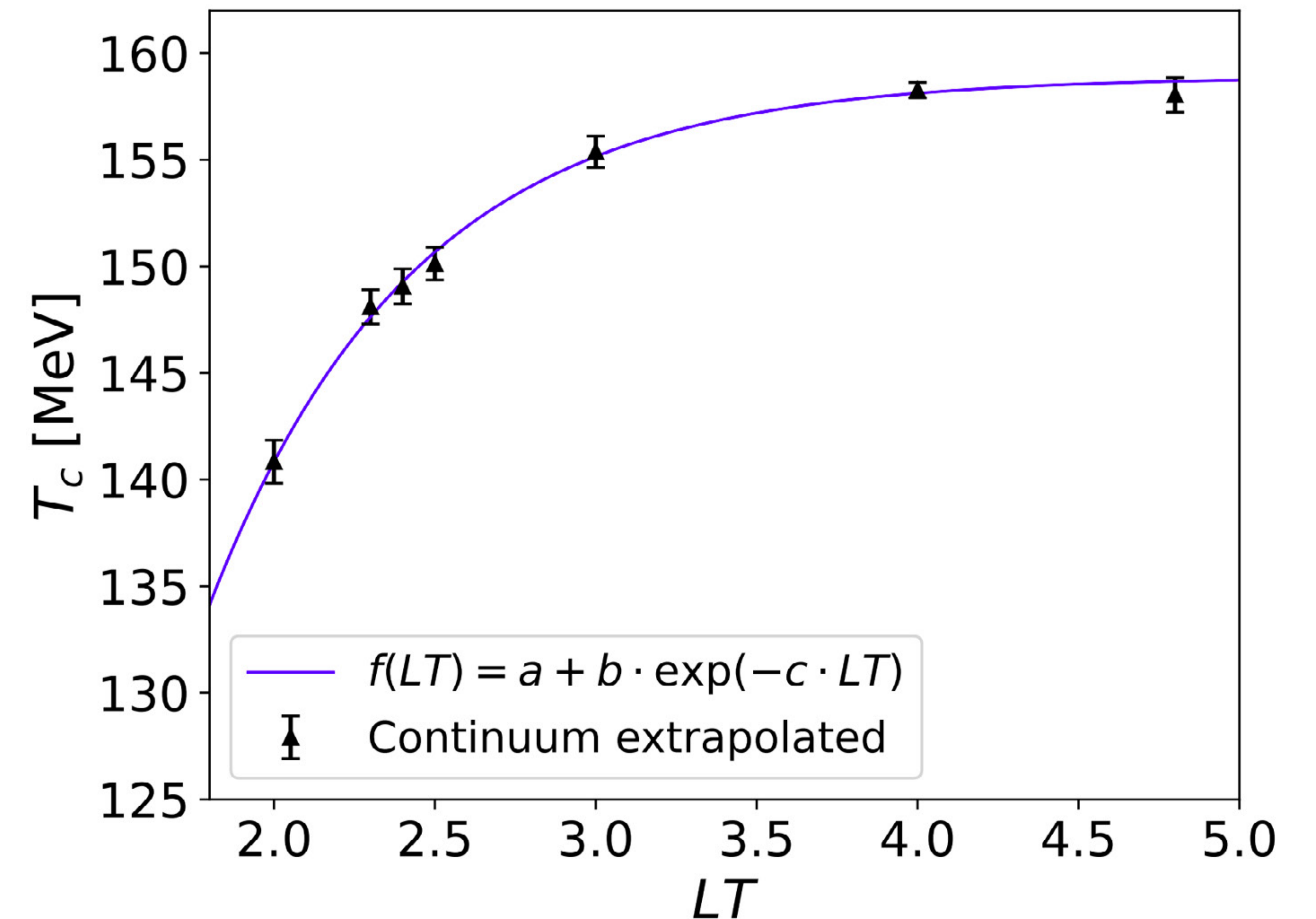
/ Kontinuum limesz

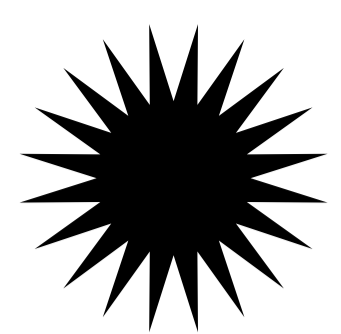
Véges térbeli kiterjedés

/ Végtelen térfogat limesz

A fázishatár függ a mérettől

Budapest-Wuppertal collaboration
Presented at Quark Matter 2023





A QCD globális szimmetriája

királis szimmetria

/ Explicit sértés a kvarkok
nemnulla tömege miatt

/ Spontán sértés → tömeg generálás

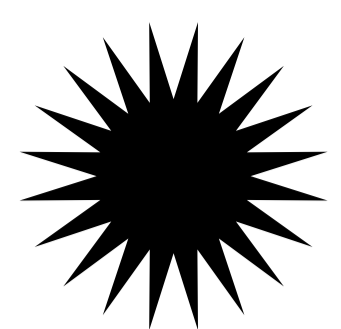
Királis szimmetrián alapuló effektív modellek

/ A QCD alacsony energiás modelljei,
de nem QCD

/ A teljes fázisdiagram vizsgálható velük

/ Paraméterezés fizikai mennyiségekkel

/ Termodinamikai határesetben
– végtelen térfogat

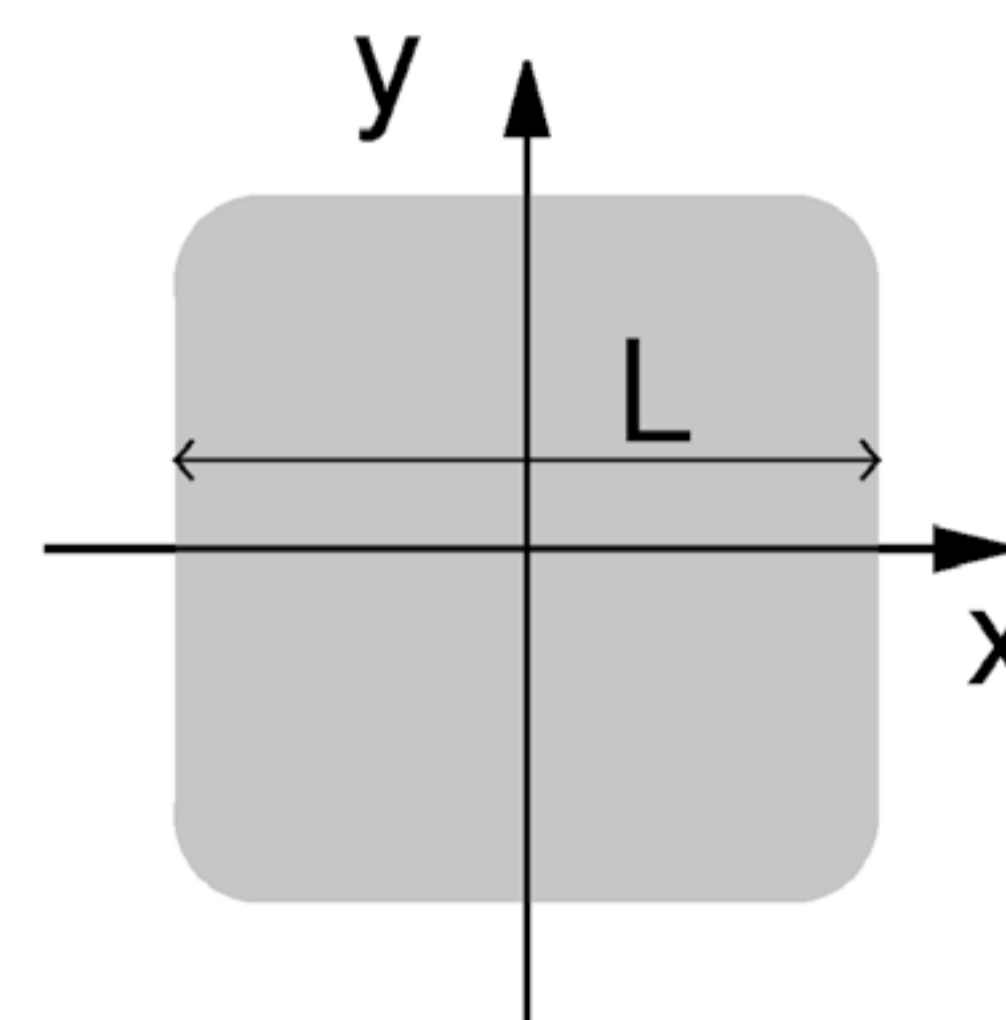


Véges méret figyelembe vétele

impulzustér-beli megszorításokkal

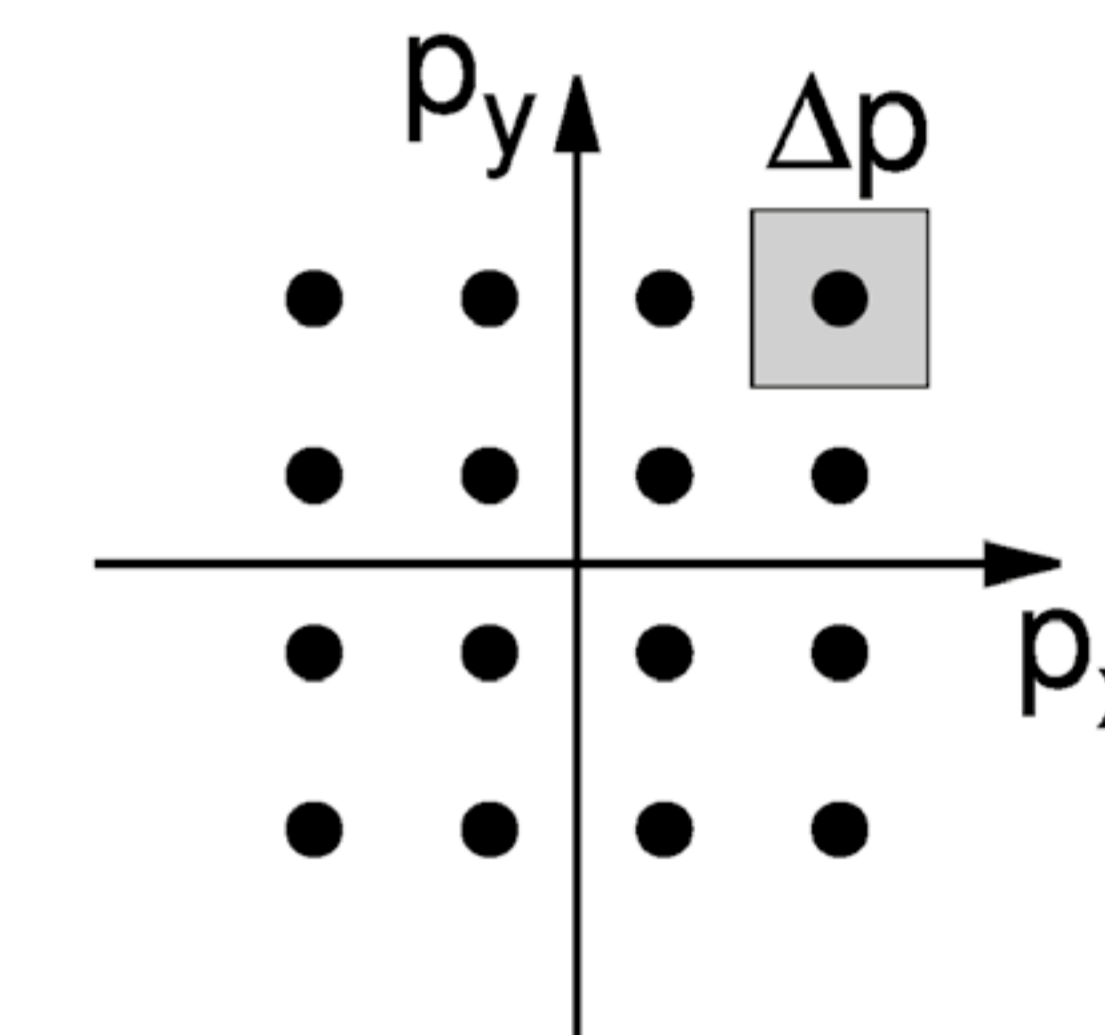
Nem veszi figyelembe a felület hatását, és továbbra is a termodinamikai határesetben történik a számolás.

Finite system with linear size L

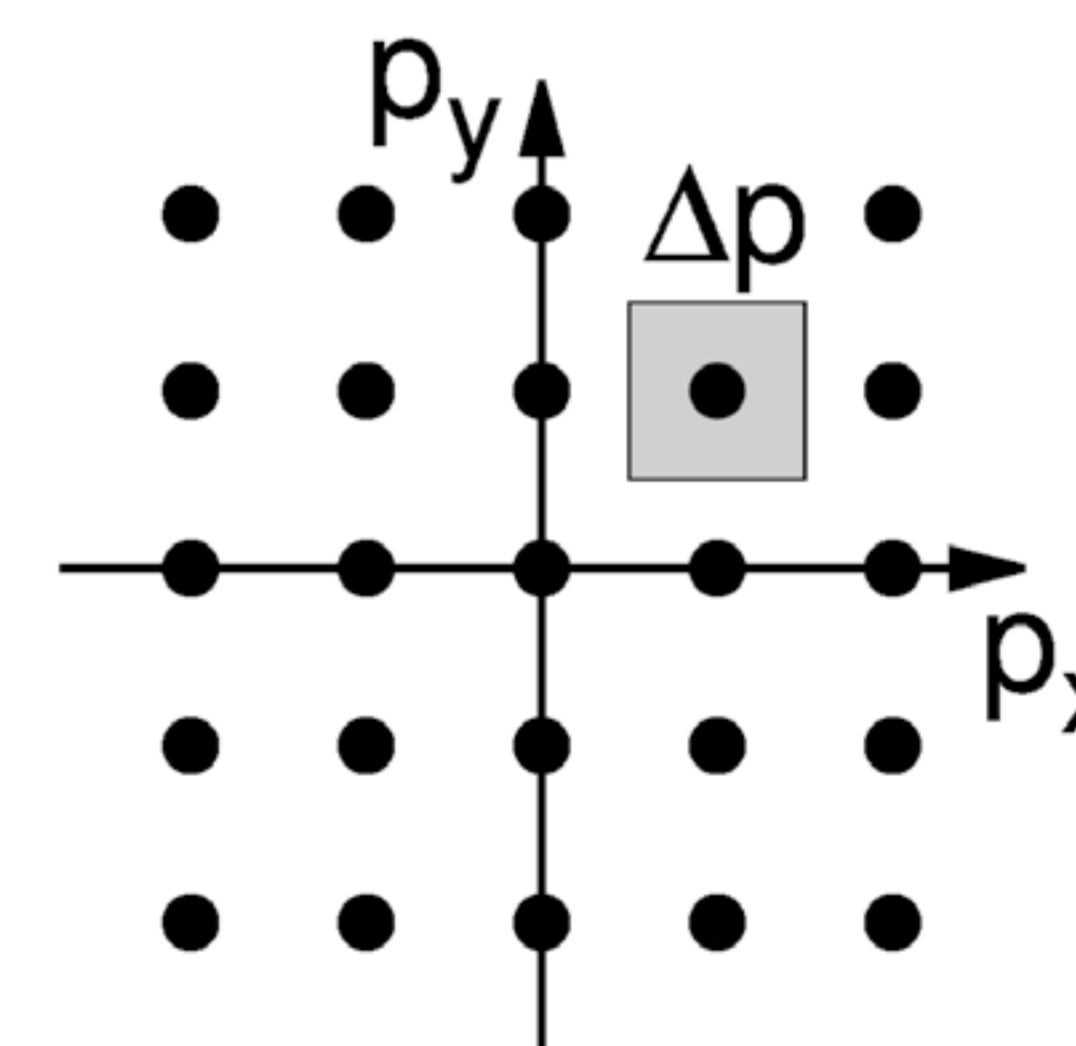


Fourier
 \Rightarrow
(and simplification)

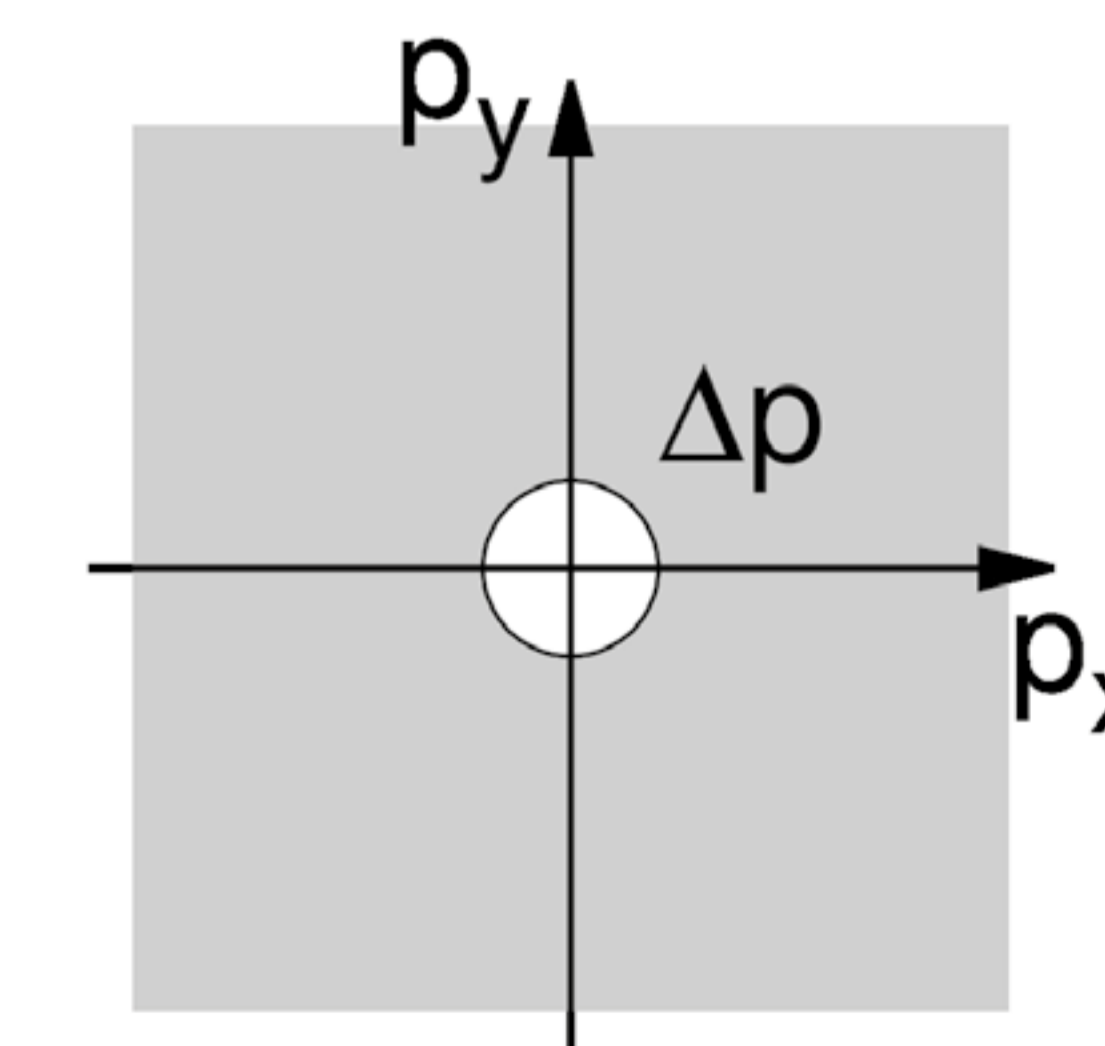
Cubic volume with APBC

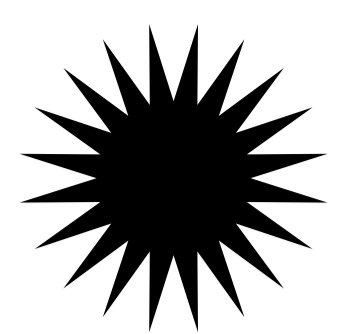


Cubic volume with PBC



Low momentum cutoff (spherical)





Kritikus végpont

/ Eltolódik?

/ Eltűnik?

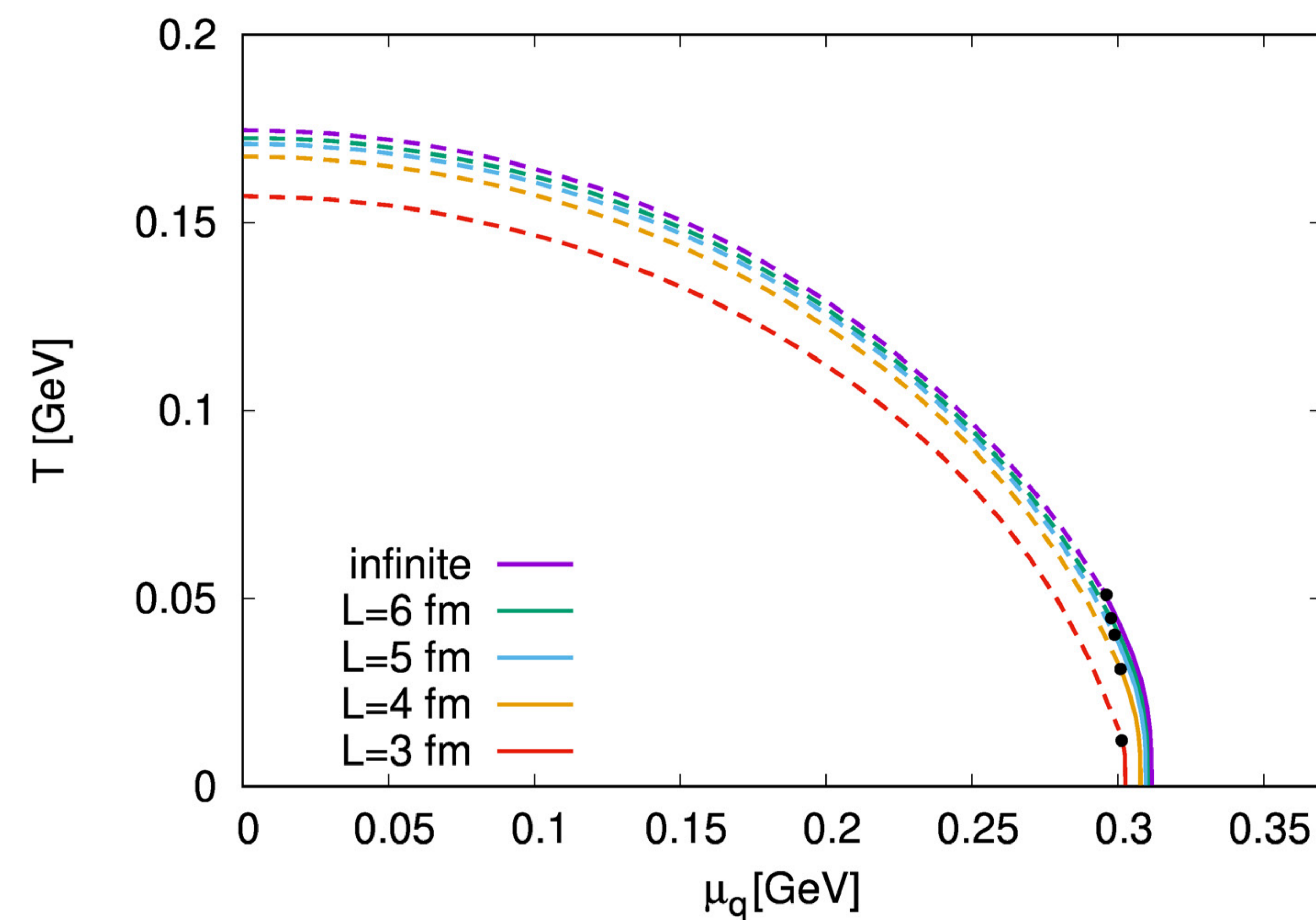
Fázishatás

/ Elmozdul

Fázisok

/ királsan sértett

és bezárt fázis eltűnhet?



**Köszönöm
a figyelmet!**

