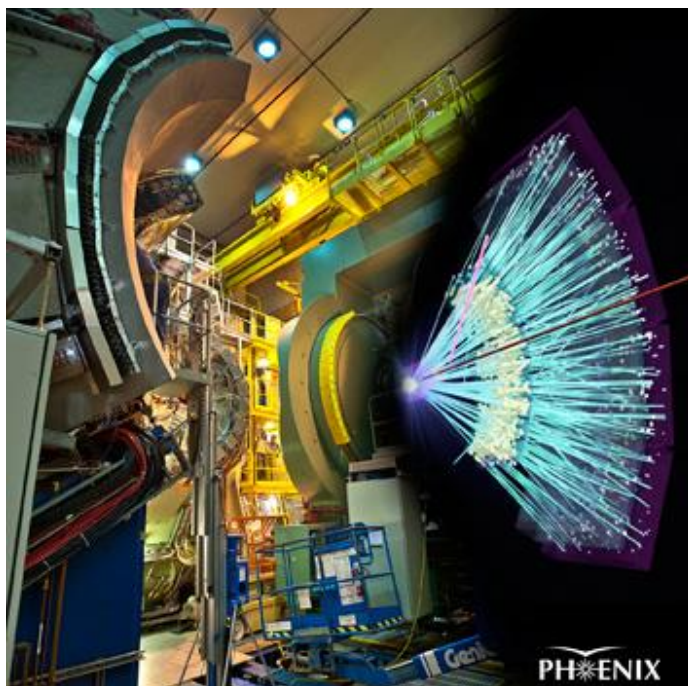


Új bizonyítékok kisméretű, rövid élettartamú Kvark-Gluon Plazma cseppek létrejöttére?

Tudósok részecskék korrelált áramlását tárták fel a legalacsonyabb energiájú, kisméretű ütközésekben is a Nagy-Bumm részecske ütköztetőnél

2017. szeptember 18.

Upton, New York állam, USA – A Relativisztikus Nehézion Ütköztetőnél ([RHIC](#), amely az Amerikai Energiaügyi Minisztérium Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumának magfizikai kutatási nagyberendezése) a kis deuteronok nehéz atommagokkal való ütközései során sokféle (ismert típusú) részecskék keletkeznek. Ezek a részecskék még a legalacsonyabb ütközési energiák esetén is olyan viselkedést mutatnak, amelyből az anyag alapvető építőköveiből (kvarkokból és gluonokból) álló „ősleves” keletkezésére következtethetünk. A RHIC [PHENIX kísérlete](#) által kapott ezen eredmények arra utalnak, hogy ezekben a kisméretű ütközésekben olyan apró rövid élettartamú kvarkanyag-cseppek keletkeznek, amelyek a korai univerzumban, közel 14 milliárd évvel ezelőtt megtalálható anyagra hasonlítanak.



A PHENIX detektorrendszerének fényképe, illetve egy ütközésben keletkezett és a detektorok által észlelt részecskék rekonstruált pályája. (Az eredeti ábra elérhető [itt.](#))

A tudósok jelentős részben azért is építették a RHIC komplexumot, hogy létrehozhassák a kvark-gluon plazmát (QGP), tanulmányozhassák annak tulajdonságait, illetve többet megtudhassanak arról, hogy a természetben megtalálható legerősebb kölcsönhatás miként tartja össze a kvarkokat és gluonokat, hogy azok protonokat, neutronokat, majd atomokat alkossanak, amelyek a látható univerzumunkat felépítik. Eredetileg azonban csak nehézionok (például arany atommagok) nagyenergiás ütközéseiben várták a QGP kísérleti jeleit. Az új eredmények közé tartozik az a megfigyelés, hogy az alacsony energiás ütközések során keletkező részecskék korrelációi konzisztensek a nagyenergiás ütközések során mért korrelációkkal. Ez a RHIC és az európai Nagy Hadronütköztető (LHC) azon megfigyeléseinek a sorába illik, amelyek a kvark-gluon plazma kisebb méretű ütközésekben való megjelenésére utalnak.

A PHENIX kísérleti együttműködés két különböző cikkben közölte az eredményeit, amelyeket beküldtek a Physical Review Letters (PRL) illetve Physical Review C (PRC) folyóiratokhoz, valamint eredményeik bemutatásra kerülnek egy Lengyelországban, Krakkóban megrendezett konferencián ezen a héten.

„Ezek az első cikkek, amik megjelennek a 2016-os deuteron-arany ütközések adatainak elemzéséből, a közölt eredmények pedig arra mutatnak, hogy valószínűleg kisméretű ütközésekben is létrejön a QGP. Nagyobb méretű ütközések esetén azonban más jelei is voltak a QGP megjelenésének, és ezeket az új adatokon is meg kell vizsgálnunk. A későbbiekben különböző módszerek segítségével fogjuk keresni a QGP létrejöttének további bizonyítékait.” – mondta Julia Velkovska, a PHENIX kísérlet helyettes-szövívője.

Kollektív áramlás

A RHIC-nél végzett arany-arany ütközésekben a QGP keletkezésének első jelei közé tartozott a részecskék [„kollektív áramlásának”](#) megfigyelése. Több részecske keletkezett a részben átfedő atommagok „egyenlítőjének” irányában, mint az ütközési irányra merőlegesen. Ezt az elliptikus áramlási mintázatot a tudósok szerint a részecskék és a közel tökéletes folyadékként viselkedő QGP kölcsönhatása okozza. Azóta kisebb részecskék nehézionokkal való ütközéseiben is hasonló, bár kisebb mértékű áramlási effektust [figyeltek meg](#), mind a RHIC-

nél, mind az LHC-nél. Arra is találtak bizonyítékot, hogy ez az áramlási effektus erős kapcsolatban áll a nagy atommaggal ütköző kisebb részecske geometriai alakjával.

„Ezeket az eredményeket látva egyre kisebb méretű ütközéseket akartunk vizsgálni, különféle ütközési energiákon. Ha lecsökkentjük az ütközési energiát, lecsökkenhet az az idő, amit a rendszer a folyadék fázisban tölt. Bizonyos ütközési energia alatt lehet, hogy létre sem jön a folyadék fázis.” – mondta Velkovska.

Más szavakkal élve, azt akarták látni, hogy „ki tudják-e kapcsolni” a QGP keletkezést.

„Sok év után megértettük, hogyan kell felismerni, ha az ütközések során QGP keletkezik, de ez még nem jelenti azt, hogy értjük is, hogyan működik. Próbáljuk megérteni, hogy a tökéletes folyadék viselkedés hogyan jelenik meg, és miként változik. Amit most csinálunk – csökkentjük az ütközési energiát és a nehézionnal ütköztetett atommag méretét – azt szolgálja, hogy megértsük, hogyan jelenik meg ez a viselkedés különböző körülmények között. A Relativisztikus Nehézion Ütköztető az egyetlen ütköztető a világon, ahol széleskörűen lehet tanulmányozni a különböző ütközési energiákat, illetve ütköztetett részecske típusokat.” – mondta Velkovska.

Az energia csökkentése

2016-ban a PHENIX együttműködés egy körülbelül 5 hetes időtartam során arany atommagok és az egy-egy protont és neutronot tartalmazó deuteronok ütközéseit vizsgálta, négy különböző ütközési energián (200, 62.4, 39, és 19.6 milliárd elektronvolt, azaz GeV).

„A RHIC sokoldalúságának és a Brookhaveni Ütköztető-Gyorsító Részleg munkatársainak köszönhetően – akik gyorsan tudták átváltani és beállítani a rendszert különböző ütközési energiákra – a PHENIX kísérlet több mint 1.5 milliárd ütközést volt képes rögzíteni ez alatt a rövid idő alatt.” – mondta Velkovska.

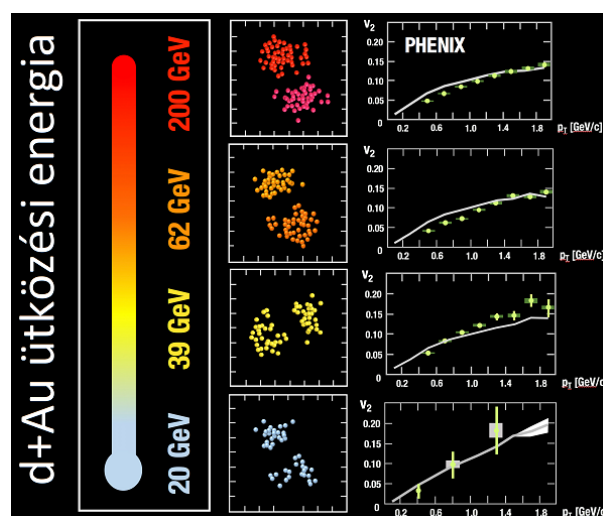
A PRC folyóirathoz beküldött cikkben részletezett analízist Darren McGlinchey vezette, aki a PHENIX együttműködés Los Alamosi Nemzeti Laboratóriumában dolgozó tagja. A mérés során a keletkező részecskék számát vizsgálták, és azt, hogy a részecskéknek az elliptikus áramlás síkjában történő keletkezése hogyan függ az impulzustól és az ütközések centralitásától (azaz hogy mennyire középen találták el egymást az ütköző atommagok).

„A deuteron-arany ütközésekben erősen elliptikus alak jön létre, és ez a kezdeti geometria a keletkezett részecskék eloszlásában is megfigyelhető, még alacsony energiákon is. Ezen geometria »öröklődésének« az ütközés során keletkező QGP-vel való kölcsönhatás lehet az oka. Az eredmény nem elegendő bizonyíték ahhoz, hogy kijelenthessük, hogy a QGP létrejön ezekben az ütközésekben, azonban a szükséges bizonyítékok egy részét jelentheti.” – mondta McGlinchey.

A PHENIX együttműködés Coloradói Egyetemen dolgozó tagja, Ron Belmont által vezetett analízis során az áramlási jelenség által okozott sokrészecske korrelációkat vizsgálták (kettő és négy részecske esetén minden ütközési energián, illetve a legmagasabb energián hat részecske esetén is). Az analízis eredményeit a PHENIX együttműködés a PRL folyóiratba küldte be.

„Nagyon hasonló eredményeket kaptunk, mind két- mind négyrészecske korreláció esetén, minden ütközési energián, illetve a legmagasabb energián hatrészecske korreláció esetén is. Az eredmények konzisztensek azzal a megfigyeléssel, hogy a áramlási jelenség még a legalacsonyabb energia esetén is jelen van, így a két cikk jól kiegészíti egymást, konzisztens képet alkothatunk általuk.” – mondta Belmont.

A kapott eredményekre más lehetséges magyarázat is van, többek között az anyag egy elméletileg jóslott más formájának, a gluonok dominálta [szín-üveg kondenzátumnak](#) megjelenése.



Az egyes paneleken a különböző ütközési energiákon megfigyelték láthatóak. A középső oszlop ábrái a szimulált d+Au ütközésekben megjelenő kvarkokat mutatják. A jobb oldali ábrákon az elliptikus áramlás PHENIX-ben mért értéke látható (az adatpontokon), elméleti előrejelzésekkel (görbék) összevetve. (Az eredeti ábra elérhető [itt](#).)

„Ahhoz, hogy megkülönböztessük a szín-üveg kondenzátum megjelenését a QGP jeleitől, részletesebb elméleti eredményekre van szükség.” – mondta Belmont.

Velkovska azt is megjegyezte, hogy az utóbbi időben sok új diák kezdett dolgozni a PHENIX kísérlet által felvett adatok elemzésén. A PHENIX kísérlet a 2016-os futási periódus után abbahagyta az adatfelvételt, hogy egy új detektornak, az sPHENIX-nek helyet adjon. A jövőben azonban sok új eredményre lehet számítani a PHENIX kísérlettől, hiszen rengeteg korábban felvett adat részletes elemzése van jelenleg is folyamatban.

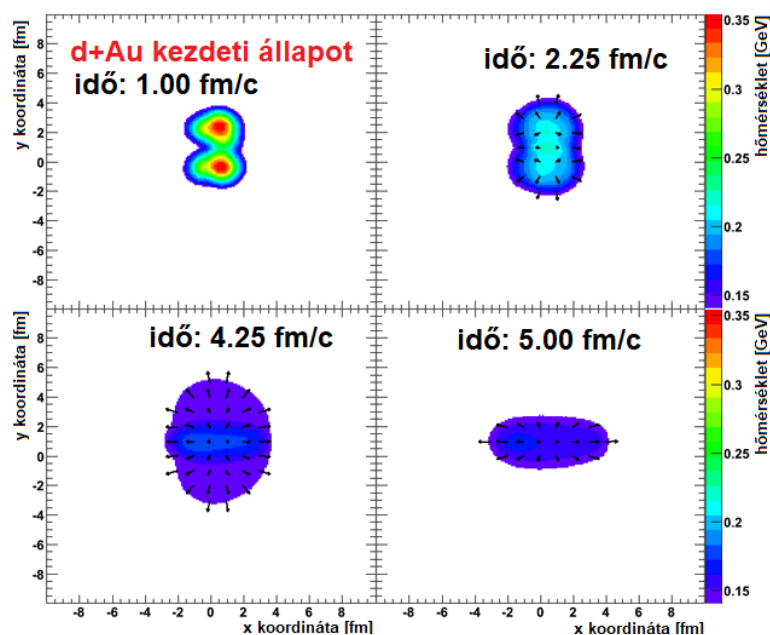
Az [eredeti cikk](#) mellett elérhetőek az angol nyelvű tudományos összefoglalók:

- ["Measurements of multiparticle correlations in d+Au collisions at 200, 62.4, 39, and 19.6 GeV and p+Au collisions at 200 GeV and implications for collective behavior"](#)
- ["Measurements of azimuthal anisotropy and charged-particle multiplicity in d+Au collisions at \$\sqrt{s_{NN}}=200, 62.4, 39, \text{ and } 19.6 \text{ GeV}\$ "](#)

A RHIC kutatásait az USA DOE Office of Science támogatja, illetve az [itt](#) felsorolt intézmények, többek között a [Magyar Tudományos Akadémia](#), a [Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal](#) (korábban OTKA), a [Magyar-Amerikai Fulbright Bizottság](#), a [Magyar-Amerikai Vállalkozási Ösztöndíj Alap](#) illetve az [Emberi Erőforrások Minisztériumának](#) „Új Nemzeti Kiválóság” programja. A fent részletezett analízisben a magyar csoport részéről [Csörgő Tamás](#) (az Európai Tudományos Akadémia tagja, a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos tanácsadója és az Eszterházy Károly Egyetem kutatóprofesszora), a PHENIX-Magyarország korábbi vezetője a munka belső bírálati bizottságának (IRC) elnökeként vett részt.

A PHENIX kísérletben résztvevő magyar intézmények közül az Eötvös Loránd Egyetem, az Eszterházy Károly Egyetem és az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont a [Csanád Máté](#) (ELTE Atomfizikai Tanszék) által vezetett PHENIX-Magyarország csoportban, egymással is együttműködve vesz részt, a PHENIX kísérletben önállóan résztvevő, negyedik magyar intézmény pedig a Debreceni Egyetem. A PHENIX Magyarország együttműködés honlapja a phenix.elte.hu címen érhető el.

A fent tárgyalt kísérleti eredmények fontos előzményei voltak a [2013-as Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskola](#) fókuszában is. Itt előadást tartott Barbara Jacak professzor asszony, a New York Állami Egyetem Stony Brook Fizikai Tanszékének kiemelt professzora. Jacak professzor asszony a abban az időszakban volt a PHENIX kísérlet tudományos vezetője volt, amikor a PHENIX igazolta, hogy 200 GeV-es arany-arany ütközéseiben keletkező kvarkleves kezdeti hőmérséklete legalább 4 terakelvin. Ez a hőmérséklet lényegesen magasabb, mint az erősen kölcsönható részecskék, a hadronok létezésének lehetséges legmagasabb hőmérséklete, a közel 2 terakelvinnek megfelelő Hagedorn hőmérséklet. Jacak professzor asszony az ELTE Fizikai Intézet Ortvy Kollokviumának és a 2013-as Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskola közös programjának keretében a PHENIX kísérlet legújabb eredményeit ismertette, mely szerint a tökéletes kvarkfolyadék kis cseppjei nem csak a nagy arany atommagok, hanem már kicsi deuteron és a nagy arany atommag 200 GeV-es ütközéseiben is megjelennek. Erről a [fontos tudományos eredményről](#) az USA Brookhaveni Nemzeti Laboratóriuma sajtótájékoztatót tartott 2013 december 6-án, a Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskola ideje alatt, fényképekkel és számítógépes animációkkal is illusztrálva a jelenség fontosságát.



Deuteron-arany ütközések hidrodinamikai szimulációja látható ezen az ábrán. Az egyes panelek különféle időpontokban mutatják az ütköző nyálábokra merőleges síkban vett hőmérsékletet ($1 \text{ fm}/c$ $3 \cdot 10^{24}$ másodpercnek, 1 GeV pedig körülbelül 10^{13} Kelvinnek felel meg).
Forrás: Paul Romatschke, Matt Luzum, Jamie Nagle, Mike McCumber.
Az eredeti ábra elérhető [itt](#).