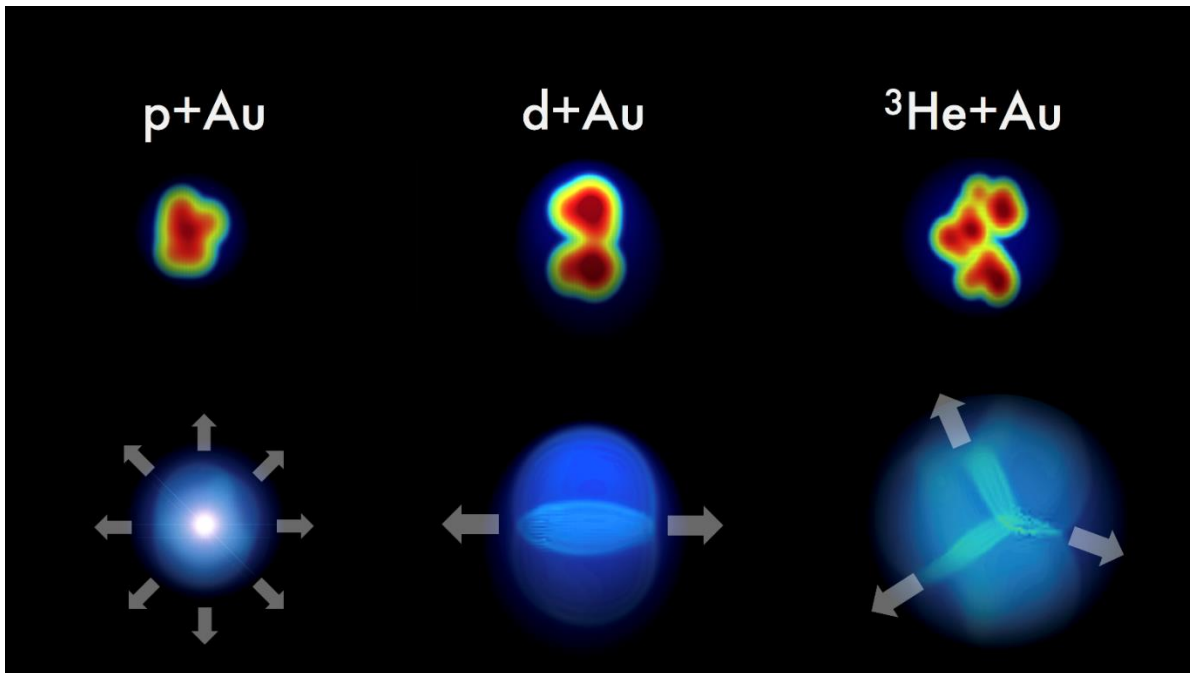


Meggyőző bizonyíték a tökéletes folyadék cseppjeinek jelenlétére

A PHENIX kísérlet közelmúltban publikált mérési eredményei alátámasztják a feltételezést, hogy egy nehéz és egy kis méretű atommag ütközése esetén kvark-gluon plazma cseppek jönnek létre.



1. ábra: Ha az apró lövedékek (proton, deuteron és hélium-3) arany atommaggal történő ütközése apró kvarkanyagcseppeket hoz létre, akkor a létrejövő részecskék áramlási mintázatai az eredeti geometriát tükrözik. A PHENIX mérései éppen ezt erősítették meg, erős korrelációt mutatva az eredeti geometria és a végső áramlási mintázatok között. A kép készítője: Javier Orjuela Koop, University of Colorado, Boulder

Upton, New York állam – A Relativisztikus Nehézion Ütköztetőnél (RHIC) található PHENIX detektorrendszer által rögzített adatokat elemző fizikusok a *Nature Physics* folyóiratban publikáltak további bizonyítékot arra, hogy kisméretű atommagok arany atommaggal való ütközése esetén apró cseppek keletkeznek abból a tökéletes folyadékból, amely a korai univerzumban is jelen volt.

A tudósok azért tanulmányozzák ezt a kvarkokból és gluonokból (a protonok és a neutronok, azaz a nukleonrészecskék építőköveiből) álló forró levest, hogy többet megtudjanak arról az alapvető kölcsönhatásról, amely a világunkat felépítő látható anyagot alkotó részecskéket összetartja.

Az ősléves (szakmai nevén kvark-gluon plazma) apró cseppjeinek létrejötte nem várt jelenség, amely betekintést nyújthat a különleges anyag alapvető tulajdonságaiba.

„Ez a munka annak a kísérletsorozatnak a kiteljesedése, amelyet a kvark-gluon-plazma cseppek különféle alakban való megjelenésének vizsgálatára terveztek.”

– mondja Jamie Nagle PHENIX tag, a Coloradói Egyetem (Boulder, USA) kutatója, aki részt vett a kísérlet megtervezésében, és abban az elméleti szimulációs munkában is, amelyet az eredmények ellenőrzésére használtak.

A PHENIX együttműködés legfrissebb cikke átfogó elemzést tartalmaz olyan atommag ütközések adatairól, amelyek során egy kis atommag (proton, két nukleonrészecskéből álló deuteron, vagy három nukleonrészecskéből álló hélium-3 mag) ütközött egy nagy, arany atommaggal. A csoport az ütközések

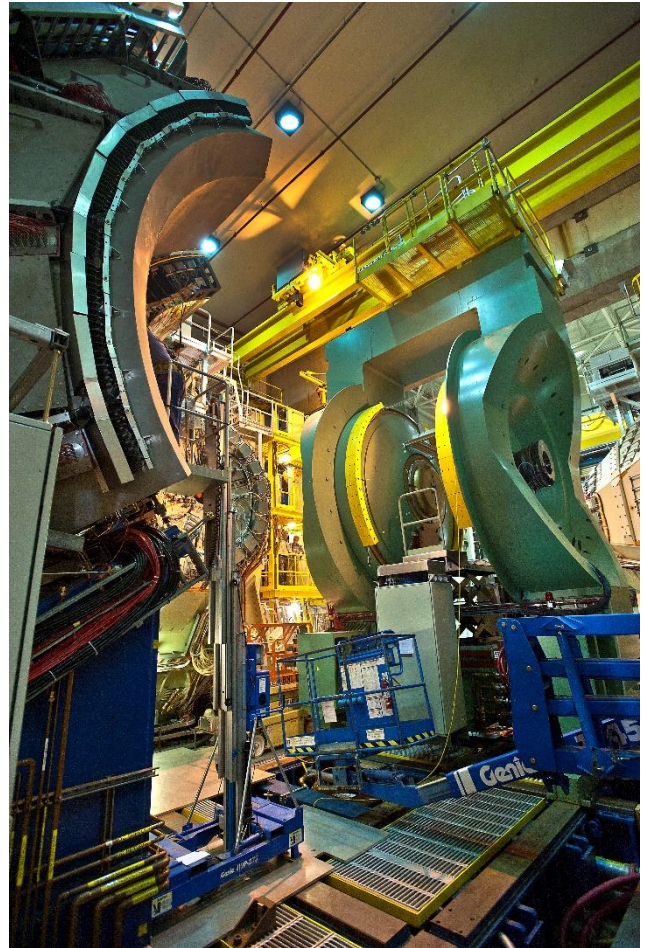
során keletkezett részecskéket követve arra keresett bizonyítékot, hogy a mozgásukban található különféle mintázatok összefüggésbe hozhatók az ütköző rendszer eredeti geometriájával (ahogy az várható, ha az ütközések során valóban létrejön a tökéletes folyadék, a kvark-gluon-plazma).

„A Relativisztikus Nehézion Ütköztető az egyetlen gyorsító a világon, ahol ilyen pontosan felépített kísérlet elvégezhető: egy-, két-, és háromkomponensű atommagok ugyanazon nagy atommaggal (arany maggal), ugyanakkora energián történő ütköztetése csak itt lehetséges.” – mondja Nagle.

A tökéletes folyadék részecskék „folyását” eredményezi

A tökéletes folyadék létrejötte arany atommagok ütközése esetén ma már egy alaposan megértett jelenség. Itt ugyanis az ütköző protonok és neutronok százainak hatalmas energiája megolvasztja a nukleonrészecskéket, és lehetővé teszi az őket alkotó kvarkok és gluonok kiszabadulását. A RHIC mérései azt mutatják, hogy ez a kvarkokból és gluonokból álló leves folyadékként viselkedik, és nagyon alacsony viszkozitása van (azaz a hidrodinamika elméleteinek megfelelően közel tökéletes folyadék). A viszkozitás hiánya lehetővé teszi az ütközés elején létrejövő nyomásbeli egyenetlenségek hatásának fennmaradását, amik így befolyásolni tudják az ütközésből keletkezett részecskék tulajdonságait.

„Ha ilyen alacsony viszkozitású körülmények és nyomásgradiensek létrejöhetnek kis atommagok arany maggal való ütközése során is, akkor a detektorok által észlelt részecskemintázatoknak tartalmaznia kell valamiféle 'emléket' a kis atommagok eredeti alakjáról. Ez proton esetén gömb alak, deuteron esetén ellipszoidális, hélium-3 mag esetén pedig háromszög alak.” – mondja a PHENIX kísérlet tudományos vezetője, Yasuyuki Akiba, aki a Japánban található RIKEN laboratórium és a Brookhaveni Nemzeti Laboratórium fizikusa.



2. ábra: A PHENIX detector. A kép forrása: Brookhaveni Nemzeti Laboratórium

A kutatók a részecskék „folyásának” két tipikus esetét vizsgálták a PHENIX kísérletnél, az elliptikus és a trianguláris folyás esetét. Mindhárom különböző ütköző rendszer esetén összehasonlították az eredményeket a kezdeti geometria alapján várt elméleti jóslattal.

„A legutóbbi eredmények – a trianguláris folyás proton-arany és deuteron-arany ütközésekben elvégzett, és ebben a cikkben bemutatott mérései – teljessé teszik a képet.” – mondja Julia Velkovska, a PHENIX kísérlet helyettes szóvivője, aki a Vanderbilt University csoportvezetőjeként szintén részt vett a munkában. „A megfigyelhető mennyiségeknek egy olyan egyedi kombinációját mutatjuk be, ami lehetővé teszi az elméleti modellek közötti döntést.”

„A mérések mind a hat esetben illeszkednek a kezdeti geometrián alapuló jóslatokhoz. Erős korrelációt látunk a kezdeti geometria és a végső folyási mintázat között, ezt pedig legjobban azzal lehet magyarázni, hogy kvark-gluon plazma keletkezett ezekben a kis ütköző rendszerekben. Mindez nagyon meggyőző bizonyítékot jelent.” – mondta Velkovska.

Összehasonlítás elméletekkel

A geometriai folyási mintázatokat a közel tökéletes folyadék létrejöttét feltételező hidrodinamikai elméletek természetes módon leírják. A kísérletsorozatban a cseppek geometriáját az ütköző magok változtatásával lehet változtatni. Mindennek az volt a célja, hogy a hidrodinamikai feltételezést tesztelhessek, és összevessék más elméleti modellekkel, ahol a részecskekorrelációk nem a kezdeti geometriából következnek. Az egyik ilyen elméletben hangsúlyosak a kvantummechanikai kölcsönhatások – különösképp a gluonok között, amelyek a gyorsított atommagok belső struktúráját meghatározzák –, ugyanis ezek nagy szerepet játszhatnak a megfigyelt „folyási” mintázatok kialakulásában.

A PHENIX kutatócsoportja összehasonlította a mérési eredményeiket hidrodinamikán alapuló elméletekkel (amelyek megfelelően leírják az arany-arany ütközésekben keletkező kvark-gluon-plazmát), illetve a kvantummechanikai gluonkölcsönhatáson alapuló elméletekkel is. A kutatók azt találták, hogy az adatokhoz leginkább a kvark-gluon-plazma leírás illeszkedik – a kvantummechanikai gluonkölcsönhatásokon alapuló elméleti jóslat viszont (hatból két mintázat esetén) nem ad megfelelő leírást az adatokra.

A cikk egy olyan, proton-arany és deuteron-arany ütközésére vonatkozó összehasonlítást is tartalmaz, ahol azonos volt az ütközésből keletkező észlelt részecskék száma. A gluonkölcsönhatásokon alapuló elméleti jóslat alapján ezekben az esetekben a részecskék folyási mintázatának azonos kellene lennie, a kezdeti geometriától függetlenül.

„Ezekben a speciálisan kiválasztott ütközésekben a kezdeti geometriát kivéve minden más megegyezik, mégis erősebb elliptikus folyást látunk deuteron-arany esetén, mint proton-arany esetén. Ez jobban megfelel a hidrodinamikai képnek, és azt mutatja, hogy a keletkező részecskék folyási mintázata valóban a kezdeti geometriától függ.” – mondta Velkovska. „Ez nem jelenti azt, hogy a gluonok kölcsönhatásai nem léteznek,” – folytatta. „Az az elmélet szintén jól megalapozott, és olyan fizikai jelenségeken alapul, amik jelen lehetnek ezekben a folyamatokban. Mérési eredményeink és az elmélet-kísérlet összevetése során alkalmazott statisztikai elemzésünk alapján a végső folyási mintázatoknak azonban nem ezek a gluonkölcsönhatások a leginkább meghatározó forrásai.”

A PHENIX kísérlet kutatói az adatok további elemzés során a kisméretű ütközések során elért hőmérsékletet fogják meghatározni. Ha az ütközések során létrejövő anyag elég forrónak bizonyul, ezek a mérések további bizonyítékai lehetnek a kvark-gluon-plazma létrejöttének.

Az elméleteken zajló munka, beleértve a versengő magyarázatok összehasonlítását, folytatódni fog. Berndt Mueller, a Brookhaveni Nemzeti Laboratórium mag- és részecskefizikai társigazgatója egy különleges műhelymunkára hívta össze a kísérleti és elméleti fizikusokat, hogy 2019 elején megvitassák a kutatás részleteit. „Ez a mérések, elméleti jóslatok és magyarázatok között zajló oda-vissza folyamat létfontosságú lépés az új felfedezések felé – ahogyan azt a RHIC programja is bemutatta 18 évnyi sikeres működése során.” – mondta Mueller.

A munkát a DOE Office of Science támogatta, illetve az összes olyan hivatal és szervezet, amely a PHENIX kutatásaihoz hozzájárul.

A Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumot az USA Energiaügyi Minisztériumának (Department of Energy) Tudományos Irodája (Office of Science) támogatja. A Tudományos Iroda az USA-ban zajló fizikai alapkutatások legjelentősebb támogatója, és mint ilyen, korunk legégetőbb kihívásaira adott válaszon dolgozik. További tájékoztatásért látogasson el a science.energy.gov weboldalra.

Kapcsolódó hivatkozások

Tudományos publikáció: "Creation of quark-gluon plasma droplets with three distinct geometries"
<https://www.nature.com/articles/s41567-018-0360-0>

A Brookhaveni Nemzeti Laboratórium honlapján megjelent eredeti hír:
<https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=113171>

Korábbi hírek a kvarkanyag apró cseppeiről:

<https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=112493>

<https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=111749>

<https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=24469>

Kiegészítés a fordított anyaghoz, a magyar kutatók részvételéről

Budapest, 2018. december 12. – A PHENIX kísérletben az Eötvös Loránd Tudományegyetem, az Eszterházy Károly Egyetem és az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont a Csanád Máté (az ELTE Atomfizikai Tanszék docense, a Young Academy of Europe tagja) által vezetett PHENIX-Magyarország csoportban, egymással 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 magyar csoport részéről Csanád Máté a munka belső ellenőrzésében vett részt.

A [Nature Physics-ben megjelent PHENIX-es cikk](#) magyar társszerzői (a dupla affiliációval rendelkezőket többször felsorolva):

Debreceni Egyetem: Imrek J., Lovász K., Majoros T., Sun Z., Tarnai G., Újvári B.

Eötvös Loránd Tudományegyetem: Bagoly A, Csanád M., Kincses D., Kurgyis B., Lökös S., Nagy M. I.

Eszterházy Károly Egyetem: Csörgő T., Lökös S., Novák T.

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont: Csörgő T., Novák T., Sziklai J.

Az USA-ban dolgozó magyar kutatók közül kiemelkedő Dávid Gábor (BNL, Upton, NY és SUNY at Stony Brook, NY, USA) hozzájárulása a PHENIX kísérlet sikeréhez.

Ugyanezen kutatók társszerzői a PHENIX kísérlet Physical Review Lettersben megjelent, az ütközési tengely mentén megnyilvánuló áramlási képet vizsgáló cikknek is:

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.121.222301>

Zárásként megemlítjük, hogy a Nature Physics szerkesztőségi cikkben is méltatta a kvark-gluon plazma cseppek mérnöki pontossággal történő előállítását:

<https://www.nature.com/articles/s41567-018-0375-6>

aláhúzva ezzel a felfedezés jelentőségét és egyediségét.