

## A nagyenergiás nehézion-fizika aranykora - 5 éves a PHENIX-Magyarország együttműködés

A nagyenergiás magfizikában a legfontosabb és legérdekesebb kérdéseket relativisztikus nehézion-ütköztetőknél lehet feltenni a Természetnek. Ezeknél fénysebességhez igen közeli sebességű nehézionokat ütköztetünk egymással. Ezekben az ütközésekben az anyag olyan állapota jön létre, amilyen egy szempillantással a Világegyetemünk keletkezése, azaz néhány mikromásodperccel a Nagy Bumm után uralkodott. Emiatt a nagyenergiás gyorsítóknak zajló nehézion-ütközéseket - a bennük uralkodó óriási energiasűrűség és hőmérséklet miatt - Kis Bummnak is nevezzük. A RHIC gyorsító és négy kísérlete, a BRAHMS, a PHENIX, a PHOBOS és a STAR az eddig soha nem tapasztalt tulajdonságokkal rendelkező ősi-új anyag létrehozásával és azonosításával valóban új, korábban nem vizsgálható világot nyitott meg a tudományos kutatás előtt.

2007. december 6-án sajtótájékoztatóval egybekötött vacsorán ünnepeltük meg azt, hogy az USA Brookhaven Nemzeti Laboratóriumának RHIC nevű nehézion-ütköztetőjénél végzett kutatásokba szervezett formában, együttműködési nyilatkozat aláírásával csatlakozott egy magyar kutatókból álló csoport 2002 végén. A magyar kutatók a Debreceni Egyetem, az ELTE és a KFKI Rézecske és Magfizikai Kutató Intézet kutatócsoportjaiból létrehozott PHENIX-Magyarország együttműködés keretében kapcsolódtak be RHIC gyorsító PHENIX kísérleténél folyó mérésekbe és az adatok értelmezését célzó kutatásokba.

A RHIC gyorsító a világon az első és egyetlen olyan ütköztető, amelyet kifejezetten a nagyenergiás nehézionfizikai kutatások céljából építettek: fő feladata az erősen kölcsönható anyag halmazállapotainak kísérleti meghatározása - a hétköznapi ész számára szinte elképzelhetetlenül forró hőmérsékleteken és óriási nyomásokon. Ma már tudjuk, hogy ezekben a kísérletekben a hőmérséklet eléri a 2 Terakelvint ( $2 \times 10^{12}$  kelvint), a nyomás pedig a mintegy  $10^{34}$  pascalt, ami a szokásos légköri nyomásnál egy csillagászati nagyságú,  $10^{29}$ -es szorzófaktorral nagyobb. A RHIC-nél történt felfedezésekről világszerte vezető helyen számolt be a tudományos sajtó és a média, rávilágítva Amerikának a tudományban betöltött jelenlegi vezető szerepére. Eredményeink a szakma vezető folyóirataiban, többségében a Physical Review Lettersben kerültek publikálásra, de számos népszerűsítő munka is született a szélesebb közvélemény tájékoztatására.

A PHENIX együttműködés 2007. december 6-ig **255 tudományos közleményt jelentetett meg szakfolyóiratokban, melyekre 6768 hivatkozás érkezett, ezen belül 5 publikációnkra egyenként is 250-nél több hivatkozás érkezett.** Nagy szerencse és nagy siker a magyar kutatók számára, hogy formális csatlakozásunkra éppen az első áttörést, első mérföldkövet jelentő kutatási eredmény publikálása évében, 2002-ben került sor - sok éves előkészítő munka eredményeként. A Scientific American 2006. májusi számának szóhasználata szerint a RHIC a nagyenergiás nehézionfizikai és részecskefizikai kutatásoknak olyan **aranykorát** nyitotta meg, melynek során felfedeztük az anyag alapvető tulajdonságait és a korai univerzum tökéletesen folyékony halmazállapotát, az ember által jelenleg előállítható legnagyobb hőmérsékleteken és sűrűségeken. Szakterületünkön tehát a nagy felfedezések korát éljük.

Kutatásaink **első mérföldköve** egy **új jelenség** felfedezése volt: Arany-arany ütközésekben a nagyenergiás részecskesugarak a várakozások szerint ellentétes irányú párokban keletkeznek. Tehát ha látunk egy ilyen részecskesugarat egy adott irányban, azt várjuk, hogy az ellenkező irányban is jön egy. A várakozásokkal ellentétben ezen párok egyik felét gyakran nem észleltük, pontosabban a nagy transzverz lendületű részecskék mért száma a várakozásoknak csupán 20 %-a volt. Ennek az egyik lehetséges magyarázata az, hogy az ütközésben keletkezett anyag elnyeli a befelé haladó részecskesugarat. Egy másik lehetséges magyarázat az volt, hogy a nagy lendületű részecskesugarak száma azért csökken, mert a fényhez igen közeli sebességgel mozgó atommagokban megváltozik az ilyen részecskesugarak keletkezési valószínűsége. A helyes magyarázat kiválasztásához tehát további vizsgálatokra volt szükség. Azonban biztosan állítható, hogy ilyen jelenséget, részecskesugarak elnyelődését arany-arany ütközésekben korábban soha nem észleltek a nagyenergiás fizikában.

Kutatásaink [második mérőföldköve](#) egy új anyagforma felfedezése volt. Deutérium-arany ütközésekben végeztünk ellenpróbát. Ha tényleg az Au+Au ütközésekben keletkező új anyag nyeli el a nagyenergiás részecskesugarakat, akkor csökkentve az ütköző nehézionok méretét, a fenti elnyomás kikapcsolható. Mivel a kis deuteron és a nagy arany nehézion ütközése során a nagy energiájú részecskesugarak elnyomását nem tapasztaltuk, ezért az ellenpróba eredményeként eldől, hogy az új jelenség helyes magyarázata a részecskesugarak elnyelődése az Au+Au ütközésekben keletkezett új anyagon.

A kísérletek folytatása során egyre több adatot mértünk meg, egyre részletesebb vizsgálatokat végezhattünk. Az derült ki, hogy az adatokat leíró modellek tökéletes (azaz viszkozitásmentes) folyadékképpel dolgoznak, azok a modellek pedig, amelyek ideális gázként tételezték a keletkező új anyagot, kudarcot vallottak. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a létrejött anyag nem gáz, hanem folyadék, mégpedig közel tökéletes folyadék. Ezt jól mutatták az úgynevezett elliptikus folyási mérések is. A 2005. áprilisában közlésre elfogadott [Nucl. Phys. A cikkünk](#), mely szerint a RHIC-nél létrehozott anyag inkább folyadékként, mint gázként viselkedik, **a harmadik mérőföldkövet jelentette**, és elméletileg váratlan, új kísérleti alapismerettel bővítette a kvantumszindinamikáról (QCD-től), az atommagokat alkotó protonok és neutronok, valamint az őket alkotó kvarkok és gluonok közötti kölcsönhatásról alkotott tudásunkat. Ez a meglepő felfedezés megerősítette a RHIC-nek és a kísérleti nagyberendezéseknek az értékét és fontosságát. A BRAHMS, a PHENIX, a PHOBOS és a STAR kísérlet egyszerre publikált eredményét arról, hogy a **jelenleg ismert legmagasabb hőmérsékleteken az anyag tökéletes folyadékként viselkedik**, az Amerikai Fizikai Intézet [2005 legfontosabb eredményének ismerte el a teljes fizika területén](#). **A PHENIX e témában született publikációja 2006 során a második legidézettebb magfizikai témájú publikáció, "ezüstérmes" cikk lett a SLAC SPIRES adatbázis elemzése szerint.**

2006-os felfedezéseinkről a [Scientific American folyóirat 2006. májusi számának címlapján](#), vezető hírként számolt be. Az elliptikus folyási kép részletes vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy ebben a tökéletes folyadékban az erősen kölcsönható elemi részecskéket felépítő kvarkok megjelennek, mint szabadsági fokok. Elérkeztünk kutatásaink [negyedik mérőföldkövéhez](#): **megállapíthattuk, hogy a tökéletes folyadék kvarkok folyadéka.**

Végül 2007 során kutatásaink [5. mérőföldköve](#) az volt, hogy meghatároztuk, mennyire is tökéletes ez tökéletes folyadék. Azt tapasztaltuk, hogy a folyás csillapodására jellemző mennyiség, a kinematikai viszkozitás mintegy egynegyede az eddig ismert legtökéletesebben folyó anyagnak, az ultra-hideg, szupercsillapodó  $^4\text{He}$ -nak. A kísérleti kutatások kezdetekor senki sem jósolta azt, hogy a RHIC gyorsító ütközéseiben előállított, több mint 2 terakelvin hőmérsékletű ősi-új anyag, a kvarkok folyadéka tökéletesebben folyik, mint a 4 kelvin alatti, ultra-hideg hőmérsékleten megjelenő szupercsillapodó  $^4\text{He}$ .

Reméljük, hogy olvasóink sort tudnak majd keríteni a PHENIX-Magyarország honlapjának, a <http://phenix.elte.hu/> lapnak a tanulmányozására is. Ez az oldal összefoglalja kísérleteink történelmi kontextusát és tudományos megalapozottságát, felsorolja az eddigi kutatások fő mérőföldköveit és rámutat azokra a rejtélyekre is, amelyek megoldásához kutatásainkat szükséges tovább folytatni, ennek az új világnak, azaz a RHIC-nél felfedezett ősi-új kvarkfolyadéknak a tulajdonságainak a részletes feltérképezésével. Ráadásul még RHIC és PHENIX [animációk](#) és [játékok](#) is letölthetőek, a [fórum oldalunkon](#) pedig üzenni is lehet a PHENIX-Magyarország kutatóinak.

A RHIC-nél dolgozó kollégáinkkal együtt minden tőlünk telhetőt megteszünk azért, hogy minél részletesebben feltérképezhessük a korai Univerzum fizikáját és az erős kölcsönhatás halmazállapotainak természetét. Ezért részt kívánunk venni e gyorsító továbbfejlesztett változatainak, a RHIC-II-nek és az EIC-nek vagy eRHIC-nek a munkájában is. Erre ésszerű és hatékony lehetőséget nyújt a PHENIX-Magyarország kutatócsoport további részvétele a PHENIX kísérletben és a RHIC nemzetközileg vezető pozícióban lévő, dinamikus tudományos programjában, [a nehézionfizika aranykorában](#).

Csörgő Tamás, a PHENIX-Magyarország témavezetője

Kelt Budapesten, 2007. XII. 11-én.