



2. ábra. Az erős kölcsönhatás egyik (a víz fajhőjéhez hasonló) fizikai mennyiségének vizsgálata. A hőmérséklet függvényében a maximumot kerestük. A három pont a három különböző térfogaton kapott eredményt, illetve azok hibáját mutatja. A folytonos vonal jelzi a végtelen térfogati extrapolációt. A pontozott, illetve szaggatott vonal jelzi a várt viselkedést elsőrendű és másodrendű fázisátmenet esetén. A számítások teljesen más, analitikus átmenetre jellemző térfogatfüggést mutatnak.

vel a másodrendű fázisátmenet esetében is divergálnak. A legfontosabb különbség az, hogy ez a minden határon túl történő növekedés nem a térfogattal, hanem annak valamilyen, általában egynél kisebb, hatványával történik. A divergencia megjelenik, de enyhébb formában. Analitikus, crossover típusú átmenet esetén a kép teljesen más. A megfelelő fizikai mennyiségek nem nőnek a térfogat növelése során. Enyhe térfogatfüggést kell tapasztalnunk, mely nagy térfogatokra fokozatosan eltűnik.

Számításaink során egy, a sűrűség deriváltjához hasonló mennyiség hőmérsékletfüggését határoztuk meg három különböző térfogaton és négy különböző térbeli felbontás, rácsállandó mellett. (A konkrét mennyiség, amelyet vizsgáltunk, a kvarkterek kondenzátuma, mely a sűrűséggel analóg, illetve ezen kondenzátum hőmérséklet szerinti deriváltja volt. Elsőrendű fázisátmenet esetén a kondenzátum értéke ugrana, a kondenzátum hőmérséklet szerinti deriváltja pedig végtelenné válna.) A tipi-

kus térbeli felbontás a meteorológiai felbontásokhoz képest meglehetősen kicsiny $0,000\,000\,000\,000\,001$ cm. A négy különböző felbontást használva mindhárom térfogaton meghatároztuk a fenti fizikai mennyiség hőmérsékletfüggéséhez tartozó maximumot. Ez a három különböző térfogaton három különböző eredmény. A kérdés, hogy ez a három eredmény a fázisátmenetekre jellemző térfogatfüggést mutatja-e vagy sem. A 2. ábra illusztrálja a végeredményt. A sűrűség hőmérséklet szerinti deriváltjához hasonló mennyiség inverzét ábrázoljuk a térfogat inverzének a függvényében. (Az egyszerűbb ábrázolás kedvéért mindkét mennyiséget dimenziótlantítottuk a hőmérséklet és a kvarktömeg segítségével.) A három térfogathoz tartozó eredményt, valamint azok hibáját az ábra pontjai mutatják. A végtelen térfogati határesetet a függőleges tengely közvetlen környezete jelzi (hiszen a térfogat inverzének függvényében ábrázoltuk az eredményt). Valódi fázisátmenet esetén a vizsgált mennyiség a térfogat növelésekor minden határon túl nőne, azaz az inverze nullához tartana. Ez azt jelenti, hogy a három pontnak az origóhoz kellene tartania. A két vonal jelzi, hogy ez hogyan valósulna meg első-, illetve másodrendű fázisátmenet esetén. Ahogy látható, az eredmények egyáltalán nem ezt a fajta viselkedést mutatják. A térfogat növelésekor a vizsgált mennyiség konstans értékhez tart. Az erős kölcsönhatás átmenetéről így beláttuk, hogy az nem egy valódi szingularitással jellemezhető fázisátmenet, hanem egy analitikus, crossover típusú átmenet.

Összegzőképpen a következőket mondhatjuk. Az erős kölcsönhatás alacsony és magas hőmérsékleti viselkedése jelentősen eltér. A két tartomány közötti átmenetet alapelvek segítségével vizsgálhatjuk. A számítások elvégzéséhez a saját fejlesztésű szuperszámítógépek költségkímélő megoldást jelentettek. Az átmenetről sikerült megmutatni, hogy az nem a víz forrásához hasonló fázisátmenet, hanem egy analitikus, úgynevezett crossover. Az átmenet típusának meghatározása a korai Univerzum (Big Bang) és a jelenleg is folyó nehézionkísérletek (Little Bang) folyamatainak megértése szempontjából volt fontos.

RÉSZECSKEFIZIKA, AMI A NATURE SZERKESZTŐIT IS FELVILLANYOZTA!

Nincs emlékem arról, hogy valaha is megjelent volna egy elméleti részecskefizikai cikk a természettudományos „kutatási divatot” meghatározó hetilapban, a *Nature*-ben. 2006. október közepén megtörtént ez a csoda, sőt, a kiemelkedő érdekességű publikációkat megillető értelmező kommentárt egy Nobel-díjas fizikus írta. A cikket ugyan *Aoki* et al. szerzőmegjelöléssel fogják idézni, ám az ABC-sorrend miatt első helyre került japán kutató kivételével minden szerzője magyar.

Az eredményt és annak hátterét a nevezetes esemény apropóján a *Fizikai Szemle* olvasóinak is bemutatónak – a

kutatást vezető két kollégánk, *Fodor Zoltán* és *Katz Sándor* által írt – cikk nem igényel további értelmezést. Az én szubjektív megjegyzéseim az elsőrangú eredmény szokatlan publikálási helyválasztásának okát keresgélnek.

„A *Nature* – politikai lap” – mondta egy-két éve a véres komolyság arckifejezésével egy kollégám. „Ha a *Nature* azt írja, hogy az emberi aktivitás tíz éven belül visszafordíthatatlanná teszi a globális felmelegedést, akkor egy hét sem kell, hogy a világ vezető politikai napilapjaiban ezt valamiképpen (esetleg szó szerinti fordításban) hírül adják. Ha egy-két hónap vagy év múlva az újság helyt ad va-

lamey ez íránt kételyeket támasztó eredménynek, akkor a szakújságírók kételkedés nélkül ezt az új aktuális igazságot szajkózzák. A tudományközeli értelmiségi publikum szemében a *Nature*-beli megjelenés beszerteli a szóbanforgó tudományos munkát és főleg annak alkotóját.”

Ennek a hatalmas – az előbb kissé szarkasztikusan kommentált – befolyásnak megvan a hatása a kutatókra is. A fizika területén a kvantummechanikai mérés paradox tulajdonságainak kimutatásától a statisztikus fizikai módszernek a biológia és a társadalom jelenségeire való alkalmazásán át a kozmológiáig terjedő skálán az áttörésnek számító eredményeiket általában legalább két változatban írják meg. Egy nagyon összefogott, a technikai eszközöket többé-kevésbé elfedő prezentációt igyekeznek elsőként átjuttatni a *Nature* szerkesztőinek szuperselektív szűrőjén. Ha igazán fontosnak ítéltetik a munka, akkor a szerkesztő a heti lapszám élén álló jegyzetében külön kiemeli, és egy neves kutatót is felkér, hogy kísérelje meg értelmezését az általános természettudományos műveltségű olvasók (elsősorban a tudományos újságírók) számára. Ez a sokrétegű bemutatás biztosítja a széles publicitást a laikusok felé is. Mindezt a Fodor Zoltán vezette kutatócsoport eredménye terven felüli kivitelben, *Frank Wilczek*nek, az erős kölcsönhatás Nobel-díjas kutatójának közreműködésével megkapta.

A hozzáértő szakmabeliek számára készített változatot, amelyet szigorúan szakosodott folyóiratban publikálnak, csak a *Nature* szerkesztői döntését követően nyújtják be. Mint kollégáim mesélték, a cikk elfogadása után, a nyomdai megjelenést megelőzően, a szerzőket a *Nature* közlési moratóriumra kötelezi! Azt azonban senki nem vállalhatja, hogy pusztán a *Nature*-ben tegye közzé munkáját, mert annak alapján aligha lehet a módszert és az eredményt összevetni a versenytársak munkáival. Az eredmény korrektségét pedig a *Nature* sem garantálja. Fodor Zoltán és munkatársai is még kemény „csörtevéltásokra” számíthatnak a konkurens csoportokkal, akiknek tagjai közül a szakirányú folyóirat szerkesztői kiválasztják az időközben beküldött részletes cikkük bírálót.

A *Nature* tematikailag igen válogatós. Csak a szerkesztők által progresszívnek tartott kutatási területekről beérkező kéziratok számíthatnak érdeklődésre. A fent felsoroltak mellett a környezeti fizika, a mezoszkopikus (klasszikus és kvantum határán mozgó) jelenségek és az úrfizika területéről tudnék csak publikációt felidézni a közelmúltból. A részecskefizika (sem elméleti, sem annak szuperköltséges, gyorsító változata), úgy tűnik, nem tartozik a szerkesztők kedvencei közé.

Fodor Zoltánnak és munkatársainak betörése szerintem két okból bizonyult sikeresnek. Egyrészt igen meggyőzően kapcsolták össze a vizsgált részecskefizikai kérdést a legkorábbi kozmológiával. A másik sikeres „fogás” annak hangsúlyozása volt, hogy cikkük *végleges* választ ad egy több mint negyedszázada folyamatosan kutatót kérdésre: folytonos (az ionizált plazma kialakulásához hasonlatos) vagy szakadásos (a fázisátalakulások valamely osztályába sorolható) volt-e az a kozmikus esemény, amelyben a kvarkok a Világegyetem hűlése során összeálltak mezonokká és barionokká? Érdemes megjegyezni, hogy éppen 25 évvel ezelőtt alkalmazta elsőként *Kuti Gyula, Polónyi*

János és Szlachányi Kornél azt a számítógépes módszert e feladat leegyszerűsített változatára, amelynek folyamatos fejlesztése végén újra magyarok és újra jelentős részben Budapesten végzett kutatómunkával tettek pontot a kutatás egy fontos kérdése mögé.

Fodor Zoltán szereti jól definiálni és egyértelmű vég-eredményt ígérő feladatkitűzéssel formálni projektjeit. Amikor a kilencvenes évek közepén egy másik kozmológiai érdekességű fázisátalakulás tárgyalásán dolgozott, értekes, sokat hivatkozott publikációkban vizsgálta meg a feladat tárgyalására szóba jövő módszereket. Miután felismerte, hogy a számítógépes szimuláció a végleges válasz megadására képes egyetlen elegendően pontos eljárás, néhány hónap alatt *Csikor Ferenc*cel (Budapest) és *Montvay István*nal (Hamburg) kialakította azt az önálló megközelítést, amellyel versenyképes lett a már korábban e területen működő csoportokkal. A vizsgálat arra a következtetésre vezetett, hogy az Univerzum anyag–antianyag aszimmetriájának eredete csak egy szuperszimmetrikusan kibővített modell keretei között érthető meg. Ennek az elméletnek a számítógépes vizsgálatához szükséges szuperszámítógépekhez csak körülményesen lehetett hozzáférni Japánban vagy Németországban. Ezért összefogott budapesti kollégáival és egy személyi számítógépekre épülő speciális kommunikációjú úgynevezett PC-klasztert (fürtöt) konstruáltak. A „szegény ember szuperszámítógépének” becézett gépet az akkor diplomamunkáján dolgozó Katz Sándor közreműködésével „tanították meg” az elméleti fizikai feladat megoldására.

Ez az alkotás talán először hozott a fizikán túlnyúló sikert számukra: Fodor Zoltán kollégáival nemzetközi számítástechnikai elismerésben részesült. Katz Sándor pedig ennek a műszaki alkotásnak is minősülő fejlesztésnek sokban köszönhette, hogy két éve elnyerte az MTA *Tálatum díját*. Fodor Zoltán ügyesen használta a gyakorlatias hasznosulás ígérését is hordozó számítástechnikai elismerést: az öt professzorai közé meghívó wuppertali egyetemet rávette egy jóval nagyobb PC-fürt telepítésére. A jülichi szuperszámítógépes központnak is vezető projektje lett az általa javasolt irányzat. Az Univerzum legkorábbi történetének számítógépes szimulációja a központ vezetői szemében a munkájukat a széles publikum előtt megjeleníteni képes legvonzóbb témának bizonyult, ezért őt kérték fel, hogy most ősszel a müncheni *Science Fairen* a kutatóintézet standján legyen a Jülichben folyó kutatások „arca”. Fodor professzor irodalmi német nyelven, akcentus nélkül (ez is hozzátartozik a mindenben a tökélethez, a véglegest kereső magatartásához) válaszolt a látogatók és az újságírók kérdésözönére.

Tehát már a *Nature*-publikáció előtt többszörösen megtapasztalta, hogy a jól megoldott médiaszerep költséges projektjei támogatásának megszerzésében megtérül. Úgy vélem, tudatosan jutott a *Nature*-beli publikálás gondolatára, amikor a széles tudományos közéletben, a projektek potenciális bírálói között kívánt még pozitívabb visszhangot kiváltani. Meggyőződésem, hogy ez a siker a részecskefizika egészének, azon belül a magyar elméleti részecskefizikusoknak is kedvezőbb megítélést hoz.

Patkós András
ELTE, Fizikai Intézet