

Bírálat  
**Veres Gábor**  
**Az erős kölcsönhatás kísérleti vizsgálata elemi részecskék és nehéz atommagok  
ütközéseinek összehasonlításával**  
című, az MTA doktori cím elnyerésére benyújtott értekezéséről.

Témaválasztás

A nagyenergiájú részecskék/nehéz atommagok ütközése során kialakuló jelenségek leírására a kvantumszíndinamika (QCD) perturbációs vagy rács-térelméleti számítási módszerei a csatolási állandó erőssége miatt kevés konkrét megoldással szolgálnak. A heves nehézion ütközésekben a világegyetem kezdeti állapotának megfelelő forró és sűrű anyag vizsgálata a lehetővé teszi QCD alapjainak (kvarkbezárás, aszimptotikus szabadság) laboratóriumi körülmények közötti tanulmányozását. Korábbi kísérletekből már biztosan tudjuk, hogy az itt kialakuló állapotok nem írhatók le elemi nukleon-nukleon ütközések egyszerű szuperpozíciójaként de/és ezért a jelenségek magyarázatához szükséges az utóbbiak részletes ismerete is. A szerző két csúcselegiájú gyorsító –RHIC és LHC– mellé épült kísérleti berendezések (PHOBOS és CMS) adatainak sokoldalú elemzésével foglalkozik értekezésében, számos új és fontos eredménnyel gazdagítva az erős kölcsönhatással kapcsolatos ismereteinket.

Szerkezet, külalak

A szép megjelenésű dolgozat terjedelme 152 oldal melyhez 372 cikkre 27 oldalas hivatkozási jegyzék kapcsolódik, ezek között 88-ban maga is társszerző, több esetben első vagy egyedüli szerző. A tézisek alapjául 22 értekezését jelöli meg. A szöveges részhez 88 szép kivitelű ábrát mellékel, melyek a szükséges technikai részleteken túl az eredmények tartalmas összefoglalói. Fogalmazása pontos és szabatos, idegen szavakat csak a magyarban még nem honos szakkifejezések esetében használ.

Az értekezés tartalmi értékelése

A *Bevezetésben* olvasmányos, de szakmailag pontos és kielégítő leírást ad az erős kölcsönhatások kísérleti vizsgálatának motivációjáról, és tömören vázolja az elméleti hátteret is. Ismerteti a nehézion-fizikában használatos alapfogalmakat és meghatározásokat. Áttekintést ad az értekezés adatait szolgáltató két nagy kísérleti berendezésről (PHOBOS/RHIC és CMS/LHC). Nagyon tetszett a fejezet utolsó alpontja (*1.5. A tervezéstől a felfedezésig: a kísérleti részecskefizikai alkotás főbb állomásai*). Ez –a még kívülálló számára is érdekes összefoglaló– igazán kedvcsináló a további olvasáshoz. Bár ez a rész nem tartalmaz új kutatási eredményeket, mégis az értekezés fontos, szépen megírt részének értékelem.

*Az eseményválogatás ütközőnyalábos kísérletekben című második fejezet munkásságának kiemelkedően(!) fontos részét ismerteti. Az általa tervezett, megépített és üzemeltetett trigger rendszer mindét kísérletben jelentős szerepet játszott az adatfelvételben, kiterjesztve a kísérletek eredeti lehetőségeit és új eredmények elérését. A PHOBOS detektorhoz kifejlesztett Spektrométer trigger lehetővé tette a nagy merőleges impulzusú részecskéket tartalmazó események nagy hatásfokú kiválasztását, további kiegészítésekkel pedig a részecskék azonosítását is. A CMS detektorhoz tervezett minimum bias trigger segítségével az LHC kezdeti alacsony luminozitású*

működése során is elegendő mennyiségű adatot sikerült rögzíteniük amely alapján elsőként publikálták p+p ütközésekre vonatkozó, sok újdonságot hozó mérési eredményeiket. Ennek a triggernek fontos szerepe volt a Pb+Pb ütközések hatékony adatfelvételében is.

A *QCD fázisátalakulás kísérleti vizsgálata* című harmadik fejezet értekezésének legterjedelmesebb és igen sok új eredményt tartalmazó része (PHOBOS és CMS kísérletek). Ha értekezését ezzel lezárná, már az itt közölt eredmények is elegendőek lennének a doktori fokozat megszerzéséhez, de a további három fejezet is kitenne egy teljes értekezést. Kiemelem az Au+Au és a d+Au ütközések összehasonlításából levont fontos következtetését, melyben valószínűsíti, hogy a nagy  $p_T$ -vel keletkező részecskék *elnyomása (jet quenching)* a nehézion-ütközésekben kialakult magas hőmérsékletű és erősen kölcsönható, a fázisátalakulás során kialakult kvark-gluon anyaggal magyarázható. Értékesnek tekintem az azonosított részecskék spektrumainak részletes elemzését. A részecskék azonosításának lehetőségét nagy mértékben a szerző javaslatára módosított berendezés tette lehetővé. A szerző a PHOBOS kísérletben szerzett tapasztalatait igen eredményesen kamatoztatta az LHC/CMS kísérlet p+p és Pb+Pb ütközések vizsgálatában is. A jet quenching meglepően szép, –a szerző szerint „történelmi jelentőségű”– példája az aszimmetrikus jet-párokat bemutató 42. ábra. Megmutatta, hogy a kiegyensúlyozott transzverzális impulzusú jetek száma a centrális ütközésekben nagyon lecsökken, és az aszimmetrikus párok száma növekszik.

A *részecske- és atommag-ütközésekben található szabályosságokkal* foglalkozik a negyedik fejezet. A kisszögű Au+Au és Pb+Pb szórásokban megfigyelt  $dN/d\eta'$  eloszlások energia független viselkedése –„kiterjedt longitudinális skálázás”– az elemi részecske-ütközésekben már a hetvenes években megfigyelt skálainvariancia széles energiatartományban érvényes univerzális jellegére hívja fel a figyelmet (lásd („hypothesis of limiting fragmentation”; Benecke, et al.). Az  $\eta'$  eloszlások szélső tartományait a target és céltárgy „szemlélő” partonjainak fragmentumai dominálják, amik azonban nagyon különbözőek az elemi és az összetett nehézion ütközésekben. Honnan ered ez az univerzalitás? Ez komoly kihívás a fragmentáció megfelelő elméleti értelmezésére. Hasonlóan „kiterjedt skálázást” talált az elliptikus áramlást jellemző  $v_2(\eta)$  paraméter esetében is.

Az *excentricitás momentumainak analitikus számítása* című ötödik fejezetből kiemelem az 5.4 alfejezetet. Az eddigiekben a szerző meggyőzően bizonyította a hardware, software és a fizikai analízisben való kimagasló jártasságát, itt egy ötoldalas analitikus számítás elvégzésével jeleskedik. Ezzel helyesbít egy, az irodalomban megjelent téves eredményt, és jelentősen módosítja a momentumok helyes számításait.

*Új típusú részecskekorrelációk megfigyelése* a címe az eredményeket záró „csattanós” hatodik fejezetnek. Ezeket a meglepően új és értelmezésre váró korrelációkat először a PHOBOS Au+Au ütközéseiben mutatta ki a szerző (81. ábra), majd további megerősítésül vizsgálta a CMS Pb+Pb és p+p eseményeit is (83. és 86. ábrák). Ezekben a jet tornyokat kísérően szintén megjelennek az új korrelációkat jellemző azonos és ellenkező oldali hosszú ( $|\Delta\eta|\approx 4$ ) „hegygerincek”. A jelenség magyarázata szempontjából kihívó az a tény, hogy a korreláció szerkezete nagyon hasonló az elemi p+p és a forró tűzgyókat létrehozó nehézion ütközésekben.

### A tézisekről.

Az eredményekben gazdag értekezés összefoglalóját nyolc tézispontban fogalmazza meg, ezek mindegyikét új, önálló tudományos eredménynek tekintem. A szerző minden esetben egyértelművé teszi egyéni hozzájárulását is az adott eredményhez. Ezek hiteles bizonyítéka az is, hogy a tézisekhez kapcsolódó 22 közleményből (981 hivatkozás) nyolc esetben egyedüli vagy első szerző.

### Kérdések

Két kérdésem az eredmények „utóéletére” vonatkozik. A válaszok nem érintik az értekezésre és a tézisekre adott határozottan pozitív értékelésemet.

1. A részecske és nehézion ütközésekben megfigyelt újszerű korrelációk jelentősége szinte szükségszerűvé teszi, hogy ezeket más kísérleti eszközökkel (más szisztematikus hibalehetőségek) és adatválogatással, valamint nagyobb eseményhalmazzal is megerősítsék. Történtek-e lépések ebbe az irányba a RHIC és LHC más kollaborációi által?
2. Eredményeinek jelentős része már több éves múlttal rendelkezik. Tud-e arról, hogy az értekezésben újnak számító eredményeit felhasználták fenomenológiai modellek vagy Monte Carlo szimulációk „jobbítására”?

### Összefoglaló értékelés.

*Az értekezés minden fejezetét „jelessel” osztályozom, mind az eredményeit, mind a gondos jól érthető/szabatos megfogalmazását és kivitelezését tekintve. Ez vonatkozik a tézisekre is. Így az egész kitűnő értékelést érdemel. A doktori értekezéssel szemben támasztott minden követelménynek (önálló munkán alapuló új eredmények, kellő számú közlemény és hivatkozás) messzemenően megfelel. Javaslom a nyilvános vita kitűzését, és a jelöltnek az „MTA doktora” cím legmagasabb minősítéssel történő odaítélését.*

*Budapest, 2012.11.10.*

*Jancsó Gábor*