

## Kutatási beszámoló

A pályázatot nemzetközi együttműködésben végzett kutatás kiegészítő támogatásáért folyamodva adtuk be és nyertük el. Célunk egy olyan többoldalú együttműködés kialakítása volt, melynek keretében az Old Dominion University (Norfolk, Virginia, USA) és az ATOMKI közösen kapcsolódik be a Darmstadtban most létesülő FAIR (Facility for Antiprotonic and Ionic Research) gyorsító-komplexumnál a SPARC (Stored Particle Atomic Physics Research Collaboration) atomfizikai felhasználói együttműködésbe, és járul hozzá annak terveihez, illetve annak jövőbeni felhasználójaként vesz részt a fizikai programtervek kialakításában. A darmstadti SPARC programba való bekapcsolódást mind a két résztvevő fél létérdekének tekintette és tekinti. Az együttműködést az a felismerés motiválta, hogy a tárológyűrűkön vizsgálható igen kis hatáskeresztmetszetű folyamatok vizsgálata mind az elméleti számítások, mind a méréstechnika szempontjából igen nehéznek ígérkezik, ezért a két terület összehangolt munkájára már jóval a mérések megkezdése előtt, a tervezés szakaszában szükség van.

A munkát Colm Whelan-nek, a Norfolk-i Egyetem professzorának debreceni látogatása során kezdtük el 2006 júniusában. Áttekintettük a SPARC kollaboráció atomfizikai kísérleti terveit, és azokat a szóhajóható irányokat, melyekre addigi tapasztalataink alapján programot tudunk kidolgozni. Úgy döntöttünk, hogy közös munkánk során elsősorban a SPARC-hoz kapcsolódó kutatásokra koncentrálunk, a témakörök megválasztásában ennek a szempontnak adunk elsőbbséget. A listán ekkor még sok tétel szerepelt, ezek köre a további munka során természetesen leszűkült. Kiderült, hogy eredeti elképzeléseink, a hélium kétszeres ionizációjának vizsgálatára, illetve a molekulák ionizációjának interferencia effektusai nem kapcsolhatók szorosan a jövőbeni tárológyűrűs mérésekhez, ám több olyan területet találtunk, ahol közös tapasztalataink ígéretes kezdetet jelenthetnek ebben az irányban az atomi ionizáció vizsgálata területén.

Colm Whelan professzor és munkatársai elsősorban az un.  $e$ - $2e$  folyamatok elméleti leírása területén értek el jelentős (a relativisztikus  $e$ - $2e$  folyamatok leírásában egyedülálló) eredményeket. Ezekben a vizsgálatokban elektronbombázással ionizálnak atomokat, és mindkét kilépő elektron impulzusát mérik. Ezzel a folyamat kinematikailag teljes feltérképezése is lehetővé válik. Spin-polarizált elektronnyalábok használatával, illetve a kilépő elektronok spinjének mérésével pedig elvileg a legteljesebb információ nyerhető magáról az ionizációs folyamatról.

Ezeket a kísérleteket csak atomos (esetleg molekuláris) gáz céltárgyakon lehet elvégezni. Mind a megértés, mind az asztro- és plazmafizika szempontjából alapvető lenne az elektron-ion ütközések ilyen teljes értékű vizsgálata. Töltött részecskék keresztezett nyalábjain azonban a mérés gyakorlatilag lehetetlen, mert a maradékgázok atomjaival való ütközési folyamatokból kilépő részecskék még ultravákuum esetén is többnyire elfedik magát a vizsgált folyamatot. A nagyáramú tárológyűrűk mellett viszont ilyen mérésekre jó lehetőség nyílik, az ún. inverz kinematikájú folyamatok vizsgálatával. Itt a nagy sebességgel keringő ion a tulajdonképpeni céltárgy, és egy kis sűrűségű gáznyaláb (rendszerint He vagy  $H_2$ ) atomjainak „lazán” kötött elektronjai játsszák a lövedék szerepét. Ezeket az ütközés szempontjából kvázi-szabad elektronoknak tekintjük. Itt is két elektront kell koincidenciában mérni, de a kinematikai teljességhez a meglökött ion impulzusát is mérni kell. A kísérletek várhatóan igen nehezek lesznek, a hatáskeresztmetszetek megfelelő becslése itt nagyon fontos.

A mi csoportunk jelentős tapasztalatokkal rendelkezik az ilyen inverz kinematikájú rendszerek vizsgálatában mind a kísérletek, mind az adatok értelmezése terén, kisebb ionsebességek-nél, főként az ionokon fellépő gerjesztési, illetve az ionokra történő elektronbefogási folyamatok vonatkozásában.

A közös munka során elsősorban ezt a kísérleti szituációt elemeztük, illetve az előkészületi periódusban (a következő 4-5 évben) elvégzendő előkészítő kísérleteket illetve elméleti feladatokat vitattuk meg. A fentebb említett debreceni találkozó után, 2006 augusztusában Norfolkban folytattuk a megbeszéléseket, ahol felvetődött a spin-polarizált céltárgyak alkalmazásának lehetősége is, ezt azonban a további elemzések nem mutatták reális lehetőségnek. 2006 augusztusában, a Texas-i Fort Worth-ban rendezett CAARI (Conference on Application of Accelerators in Research and Industry) konferencián Colm Whelan és én (Sulik B.) egy-egy szekciót szerveztünk a SPARC kollaboráció atomfizikai terveiről, és magunk is tartottunk előadásokat ezekben a szekciókban az atomfizikai programhoz kidolgozott javaslatainkról. Ez a jelen projekt és az American Physical Society támogatásával történt.

A munkát levelezés útján folytattuk, majd a jelen projekt támogatásával vettem részt egy SPARC munkatalálkozóján 2007 márciusában, ahol bemutattam az e-2e folyamatok inverz kinematika melletti mérésére kidolgozott közös elképzeléseinket, és részletesen megvitattam őket a kollaboráció más résztvevőivel. A közös munkát ezután Belfast-ban folytattuk néhány napon át 2007 júniusában, ahol vendéglátónkkal és közös SPARC együttműködőnkkel, James Walters professzorral (Queen's University Belfast)) a nagy fényerejű antiproton nyalábok által nyújtott kísérletek lehetőségeit tekintettük át, valamint felvázoltuk egy előzetes kísérlet és elméleti számítás terveit a kvázi-szabad és szabad elektronok alkalmazása közötti különbségek feltérképezésére még a Darmstadt-i mérések megkezdése előtt. Ezeket a méréseket Debrecenben szeretnénk elvégezni, de erre valószínűleg csak jövőre kerülhet sor.

Terveinkről beszámoltunk a 20th International Symposium on Ion-Atom Collisions (ISIAC) nemzetközi szemináriumon, majd az ezután rendezett SPARC találkozón, 2007 augusztusában. A találkozót követően a SPARC görög résztvevőjével, Theo Zouros professzorral (University of Heraklion) elemeztük az inverz kinematikájú mérések lehetőségeit a SPARC leendő tárológyűrűi mellett. Elsősorban az ionizációval nem járó, gerjesztéses folyamatokat tekintettük át.

A rendelkezésre álló pénzből minél több diszkusszióra igyekeztünk lehetőséget teremteni, és ha lehetséges volt Európában találkoztunk, többnyire más forrásból fizetett konferenciákhoz kapcsolódva.

A SPARC tárológyűrűinél tervezett mérésekről egy közös folyóirat-közleményünk jelent meg, és több közösen kidolgozott előadást tartottunk és poszttereket is bemutattunk. Több fórumon vettünk részt az ezekkel kapcsolatos vitákban. Tudományos eredményekről értelemszerűen csak a fő témát előkészítő munkák kapcsán számolhatunk be, de ezek tervei is csak a viták során alakultak ki, így megjelent publikációig nem jutottak el. Az alábbi munkákról van szó:

A projekt során elvégeztünk egy közösen megtervezett (de nem közösen végzett) mérésorozatot Debrecenben, a többszörös szórású folyamatok vizsgálatára, mely a SPARC tervek szempontjából is releváns adatokat szolgáltatott, és amely a T046905 sz. OTKA projektnek is része volt. Ennek előzetes eredményeit konferencián bemutattuk, de a közlés előtt még be kell fejeznünk a kapcsolódó számolásokat.

Debrecenben kiterjedt elméleti számolásokat is végeztünk a protonokkal és antiprotonokkal kiváltott ionizáció közötti különbségek elemzésére, ez a cikk beküldés előtt áll: *Electron emission cross sections in collisions between protons and antiprotons with helium atoms* címmel (a Phys Rev A-be tervezzük).

Végül elvégeztünk egy inverz kinematikájú ütközési rendszer elemzését, ezt a cikket a Phys Rev A-hoz küldtük be *Selective enhancement of  $1s2s2p\ ^4P_J$  metastable states by cascade feeding in single electron transfer collisions of  $F^{7+}$  ions with He and H<sub>2</sub> targets* címmel (T.J.M. Zouros, B. Sulik, L. Gulyás, K. Tökési).

Összefoglalva, a projekt keretében több személyes találkozó során alakítottunk ki a SPARC (Stored Particle Atomic Physics Research Collaboration) kollaborációhoz kapcsolódó mérések és elméleti számolások terveit az  $e-2e$  folyamatok inverz kinematika mellett történő tanulmányozására kvázi elektronok és ionok ütközéseiben, tárológyűrűknél. Nemzetközi konferencia-szekciókat szerveztünk a SPARC körüli tervek széleskörű bemutatására. Rendszeresen részt vettünk más SPARC találkozók is, ahol terveinket másokkal is megvitattuk. Együtműködésünk nem bilaterális, másokkal közös tervek kialakítására is sor került. A projekt keretében elvégzett kísérleti és elméleti munkák is a leendő SPARC együttműködéshez kapcsolódnak, ezek tervei is a közös vitákban születtek meg, részben most végezzük őket, részben közlés előtt vagy alatt állnak. Terveink, megfontolásaink egy részét publikáltuk, illetve több előadásban, vitában ismertettük.