

KISVÁLLALKOZÁS NAGY VÁLLALKOZÁSOKBAN: MAGFÚZIÓS ÉS NEUTRONOS KÉPALKOTÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK A KFKI-TELEPHELYEN

G. Szabó István^{1,*}, Dunai Dániel², Kis Zoltán², Nagy Domonkos², Szepesi Tamás²

¹OPTIKA Mérnökiroda Kft., Budapest

²HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

*E-mail: g.szabo.istvan@omi-optika.hu

Bevezetés

Bár a napjainkra már fogalommá vált KFKI betűszó a Csillebércen működő kutatóintézetekhez (HUN-REN Wigner FK, HUN-REN EK) közvetve kapcsolódóan jelenik már csak meg¹, magát a KFKI-szellemiség létezését e cikk első szerzőjeként messzemenően igazolni tudom: az idén épp 20 éves OPTIKA Mérnökiroda Kft. [1] (a továbbiakban OMI) ügyvezetőjeként 2004-ben optikai nyalábosztók ügyében jártam Ferencz Kárpátnál, a KFKI-telephelyen vákuumpárolgató labort működtető Optilab Kft. ügyvezetőjénél, és tudomást szerezve a lehetőségről, az OMI azóta folyamatos bérlőként lett otthonra „a telephelyen”.

Annak ellenére, hogy az OMI fő tevékenysége az ipari képfeldolgozási (machine vision) alkalmazásokhoz szükséges optikai eszközök – elsősorban professzionális LED-es megvilágítók – fejlesztése, gyártása és telepítése, a folyamatos telephelyi jelenlét megtermékenyítőleg hatott cégünknel a kutatási célú eszközök és berendezések fejlesztésére és gyártására. A fokozatosan elmélyülő (nem kis részben a helyi fórum szerepét betöltő napi közös ebédek által inspirált) személyes és szakmai kapcsolatok szerves folytatása lett az OMI megítéssel tagsága az ELFT Ipari Fizikai Szakcsoportban, illetve a Magyar Magfúziós Technológia Platformban. Ezek a kapcsolatok egyre több szakmai együttműködést is eredményeztek, melyek során az OMI mint kisvállalkozás folyamatosan fejlődő eszköztárával számos kutatási projekt aktív részesevé válhatott, remélve, hogy szerény közreműködésünk hasznos egyedi optomechanikai eszközökkel tudta és tudja támogatni a KFKI-telephelyen működő intézetek

részvételét az igazán nagy tudományos vállalkozásokban (például a magfúziós kutatásokban, mint a TEXTOR, JET, EAST, Wendelstein 7-X, JT-60SA, ITER stb., valamint neutronos képalkotási témákban, mint például a BNC-beli RAD és NORMA projektekben). Fontos megjegyezni, hogy az elért eredmények elengedhetetlen feltétele (volt és remélhetőleg lesz is) a HUN-REN Magyar Kutatási Hálózathoz (korábban MTA-hoz) tartozó intézetek mellett a telephely más, jellemzően spin-off kisvállalkozásaival való szoros együttműködés is (pl. Adimtech Kft., Fusion Instruments Kft., Optilab Kft., Plósz Mérnökiroda Kft.).

Ebben az írásban a teljesség igénye nélkül kísérletet teszünk az elmúlt másfél évtized jelentősebb együttműködéseinek áttekintésére. Az időszak bájos történetisége a többszöri kutatóhálózati átszervezések okozta névváltozások követése az OMI nyilvántartási rendszerében (AEKI, RMKI, SZFKI, WIGNER FK, EK; MTA/ELKH/HUN-REN...). Lakonikus egyszerűséggel így számítógépes rendszerünkben a telephelyi intézetek és vállalkozások mappaelnevezései rendre KFKI-... kezdtűek, de az alábbiakban az egyes projektek intézeti résztvevőit a jelenlegi (lényegében jogutód) intézet nevéhez kötjük.

Magfúziós kísérletek támogatása

Optikai diagnosztikák a fúzióban

A magfúziós kutatások témája az egyik legnagyobb fizikai kutatási terület a világon. Európában és világszerte számos nagyberendezésben vizsgálják, hogyan lehet a 100 millió Celsius-foknál is forróbb plazmát hatékonyan összetartani és elszigetelni a környezetétől. A kísérletek

¹ KFKI Üzemeltető Kft., KFKI Sporttelep, „KFKI telephely”, „Csillebérc KFKI” buszmegállók stb.



G. Szabó István, Dr. Univ., okleveles villamosmérnök (BME), c. egyetemi docens, az OPTIKA Mérnökiroda Kft. (OMI) alapítója és ügyvezetője. A BME Atomfizika Tanszéken megalapozott alkalmazott optikai szakismereteit 1992-től egy MOM-utódcégnél távcsőfejlesztési területen hasznosította. 2004 óta az OMI keretein belül hazai és nemzetközi piacra szánt ipari és műszaki-tudományos felhasználású optomechanikai eszközök és berendezések fejlesztését és gyártását vezeti, a munkába rendszeresen bevonva BME-diákokat is.



Dunai Dániel, PhD, fizikus, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont főmunkatársa, az ITER optikai pelletdiagnosztikai prototípusfejlesztés projektvezetője. Szakterülete a plazmadiagnosztikák fejlesztése mágneses összetartású kísérleti berendezésekhez. Részt vesz több nemzetközi kutatócsoport munkájában, vezeti a DEMO fúziós erőmű tervezés optikai diagnosztika fejlesztését és az angliai MAST-U szférikus tokamak nyalábemissziós spektroszkópiai diagnosztikájának üzemeltetését.

célja a bonyolult plazmafizikai folyamatok megértése és a jövő fúziós reaktoraihoz is használható technológia kifejlesztése. A Nap magjánál akár tízszer forróbb plazmát azonban nem egyszerű bezárni és kontrollálni. A plazma magjában és a szélén egyaránt különböző instabilitások fejlődnek, amik hő- és részecskevesztést is jelentenek. Ahhoz, hogy a plazmában lejátszódó folyamatokat megérthessük, a lehető legrészletesebb módon, azaz a lehető legnagyobb térbeli és időbeli felbontással kell mérni a plazma paramétereit (sűrűség, hőmérséklet, áram, szennyezőkoncentráció stb.). A mai kísérleteket ezért teljesen körbeépítik diagnosztikákkal úgy, hogy végül maga a berendezés alig látszik tőlük. A berendezések építési költségének és az üzemeltető személyzetnek a jelentős részét a diagnosztikák viszik el. A fúziós plazmafizika egyik legsokrétűbb ága a diagnosztikák területe, hiszen itt a fizika szinte minden területe megjelenik. Vannak lézeres diagnosztikák, a mikrohullámú sugárzás visszaverődését mérő diagnosztikák, mágneses tekercsek, plazmába beérő egyszerű fémtű (Langmuir-szonda), röntgen- és neutron-sugárzást mérő diagnosztikák, atomnyaláb-diagnosztikák, és a felsorolást folytathatnák még. Egy kisebb fúziós berendezésen is több tucatnyi diagnosztika van, de a 2023-ban leállított, Oxford mellett található JET tokamakokon közel száz diagnosztika volt.

A diagnosztikák egy nagyon fontos része az, ami a fúziós berendezésből származó látható fényt méri. Ez a fény származhat a plazma külső és „hideg” tartományából, ahol a hőmérséklet elég alacsony ahhoz, hogy a rekombináció jelentős fényhozamot adjon. A plazma belső tartományai viszont annyira forrók, hogy onnan lágy-röntgen-tartományú sugárzást mérhetünk, míg ezek a területek a látható tartományban átlátszóak. A később bemutatott fejlesztések közül több is olyan kamerarendszerek optikai megoldásait tartalmazza, ahol viszonylag nagy látószöggel egy teljes plazma-keresztmetszetet

mérjük a plazma szélének fényét, amire egy példát majd a cikk 6. ábráján is láthatunk. A hírekben és közösségi médiában található videók és fényképek, melyek a fúziós plazmakísérletekről szólnak, zömmel az ilyen kamerarendszerekből származnak. Az általános áttekintés mellett azonban nagyon fontos a szerepük a plazmakamra falának túlhevülése ellen kialakított védelmi rendszerekben is. Egy kis érdekesség, hogy a JET tokamak működése alatt a látható kamerát üzemeltető és annak valós idejű képét a kisülés alatt a monitoron néző fizikus kezében egy kis piros gomb volt, amivel az egész kisülést leállíthatta.

Az optikai diagnosztikák egy másik ágában a plazma fényét spektrométerekbe vezetik, ahol valamilyen emissziós vonal intenzitását vagy az emissziós vonal kiszélesedését mérik. Az ilyen típusú mérésekből a plazmahőmérséklet, a szennyezőkoncentráció vagy a hidrogénizotópok aránya mérhető. Ha a plazmába bocsátott gyorsított atomnyaláb fényét mérjük, akkor a spektrumból a hőmérséklet mellett a plazma áramlási sebessége és a mágneses térre vonatkozó információ is kinyerhető. Egy ilyen spektrométerhez tervezett száloptika-rendszert is bemutatunk majd a következőkben, ami a Wendelstein 7-X sztellarátorhoz készült. A KFKI-telephelyen kutató fúziós közösség egyik fő fejlesztési iránya a plazmadiagnosztikák fejlesztése. Európa minden főbb fúziós berendezéséhez szállítottak mérőeszközöket, és többnyire az üzemeltetésben és a fizikai eredmények kiértékelésében is részt vesznek. A cikkünkben a nagy japán berendezéshez, a JT-60SA tokamakhoz tervezett objektív terveit is bemutatjuk. A diagnosztikák eredményei nemcsak a fizikai megértést szolgálják, hanem elengedhetetlen információkat szolgáltatnak a fúziós berendezések vezérlő-rendszereinek. Hasonlóan a repülőgépek pilótáit segítő rendszerekhez, az emberi beavatkozási sebességnél jóval gyorsabban beérkező mérési eredményeik sokaságát dolgozzák fel, és biztosítják a stabil plazmaműködést. A plazmainstabilitások sokfélék lehetnek, és néhányuk a berendezésre nézve végzetes is lehet a jövő erőműveinek mérettartományában. Az egyik leginkább kutatott terület a plazma szélén kialakuló instabilitás, amit a napkitörésekhez szoktak hasonlítani, és ami a másodperc ezredrésze alatt ki tud fejlődni – akár a teljes plazmaenergia 10%-ának az elvesztését eredményezve.

Azonban a tokamak típusú nagy fúziós berendezésekre a legnagyobb veszélyt az jelenti, ha a plazmaösszetartás egy másik, belső plazmainstabilitás következtében



Kis Zoltán, PhD, fizikus, 2006 óta tudományos főmunkatárs a HUN-REN EK-ban. Szakterülete: képkalkotás és Monte Carlo-szimulációk. A Budapesti Neutron Centrum hideg- és termikus neutronos képkalkotó berendezéseinek tudományos felelőse. Kidolgozta a prompt gamma aktivációs képkalkotás (PGAI) és a neutronradiográfia/tomográfia kombinációját. Több mint 150 tudományos publikáció társszerzője.



Nagy Domonkos okleveles gépészmérnök, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont fejlesztőmérnöke. Az elmúlt 10 évben számos magfúziós kísérleti fejlesztésben vett részt gépészeti tervezőmérnökként. Többek között a nyalábemissziós spektroszkópiai rendszerek és a diszrupciócsillapító rendszerek mechanikai és optomechanikai tervezése, építése és tesztelése fűződik a nevéhez.



Szepesi Tamás Zoltán, kísérleti fizikus, szakterülete a magas hőmérsékletű plazmafizika, a pellet-plazma kölcsönhatás és a videodiagnosztika. Számontevő tapasztalattal rendelkezik pelletbelövése kísérletek és megfigyelő rendszerek tervezése, illetve videodiagnosztikai adatok feldolgozása terén. A JT-60SA tokamak videodiagnosztika-fejlesztésének projektvezetője. Jelentős háttérrel bír innovatív tudományos eszközök (kompakt pelletbelövő, szakaszos- és folyamatos üzemű, tríciumkompatibilis hidrogénjég-forrás) fejlesztésében is.