

leképezésnek, PGAI-NT módszernek [6]. Ez a világon egyedülálló berendezés jelenleg kizárólag a BNC-ben üzemel, egy alkalmazását mutatja a 9. ábra.

## Összefoglalás

A neutronos és röntgenképkalkotással mélységi, akár időfelbontott szerkezeti információt kaphatunk két és három dimenzióban megjelenítve, roncsolásmentesen. A Budapesti Neutron Centrumban a közelmúltban végzett technikai fejlesztéseknek köszönhetően nemzetközileg is jegyzett mérőhelyek állnak rendelkezésünkre, amely a felhasználói programok, illetve kétoldali megállapodások révén hozzáférhető a magyar és a nemzetközi kutatói közösség (CERIC-ERIC, IPERION CH), valamint az ipar számára (SINE 2020).

## Irodalom

1. I. S. Anderson, R. L. McGreevy, H. Z. Bilheux (szerk.): *Neutron imaging and applications*. Springer, New York, 2009.
2. Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya, M. Balaskó, L. Z. Horváth, B. Maróti: Neutron based imaging and element-mapping at the Budapest Neutron Centre. *Physics Procedia* 69 (2015) 40–47. doi: 10.1016/j.phpro. 2015.07.005
3. Z. Kis, L. Szentmiklósi, T. Belgya: NIPS-NORMA station – a combined facility for nondestructive element analysis and neutron imaging at the Budapest Neutron Centre. *Nucl. Instr. Meth. A* 779 (2015) 116–123. DOI: 10.1016/j.nima. 2015.01.047
4. J. Banhard et al: X-ray and neutron imaging – Complementary techniques for materials science and engineering. *International Journal of Materials Research* 101/9 (2010) 1069–1079.
5. Papp M.: M.Sc. disszertáció, ELTE TTK Kémia Intézet, 2016.
6. Kis Z., Belgya T., Szentmiklósi L., Kasztovszky Zs. és az Ancient Charm Együttműködés: Műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata neutronokkal – az EU ANCIENT CHARM projekt. *Fizikai Szemle* 61/7–8 (2011) 235–239.

# AZ MTA ATOMKI TANDETRON LABORATÓRIUMA – egy részecskegyorsítóra alapozott új kutatási infrastruktúra

Rajta István, Vajda István, Biri Sándor, Sulik Béla,  
Gyürky György, Soltész Géza, Szűcs Zsolt, Fülöp Zsolt  
MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

A Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézet (MTA Atomki [1]) 1954-ben jött létre. Az első, saját fejlesztésű, 800 kV terminálfeszültségű, Cockroft–Walton típusú gyorsítóját 1961-ben helyezték üzembe. Az intézet alapító igazgatója, *Szalay Sándor* három Nobel-díjas kutató mellett töltötte posztdoktori éveit külföldön, mielőtt meghonosította Magyarországon a kísérleti magfizikai kutatást. Az Atomki jelenlegi, igen szerteágazó tematikái közül ma is az egyik legfontosabb az atom- és atommagok ütközéseinek vizsgálata a keV–MeV energiatartományban. Ezek az energiák a magfizika területén kicsinek tűnnek, ám például a nukleáris asztrofizika, vagy a molekuláris ütközések szempontjából éppen ez a lényeges energiatartomány. Ez a kis-energiás gyorsítók világa.

Az Atomki infrastrukturális szerkezetét meghatározza, hogy jelenleg itt található Magyarország kutatási célt szolgáló gyorsítóinak túlnyomó része [2–4]. Az Atomkin kívül hazánkban két kutatási célokra használt gyorsító üzemel még a Wigner Fizikai Kutatóközpontban [5].

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 26-án elhangzott előadás alapján készült.

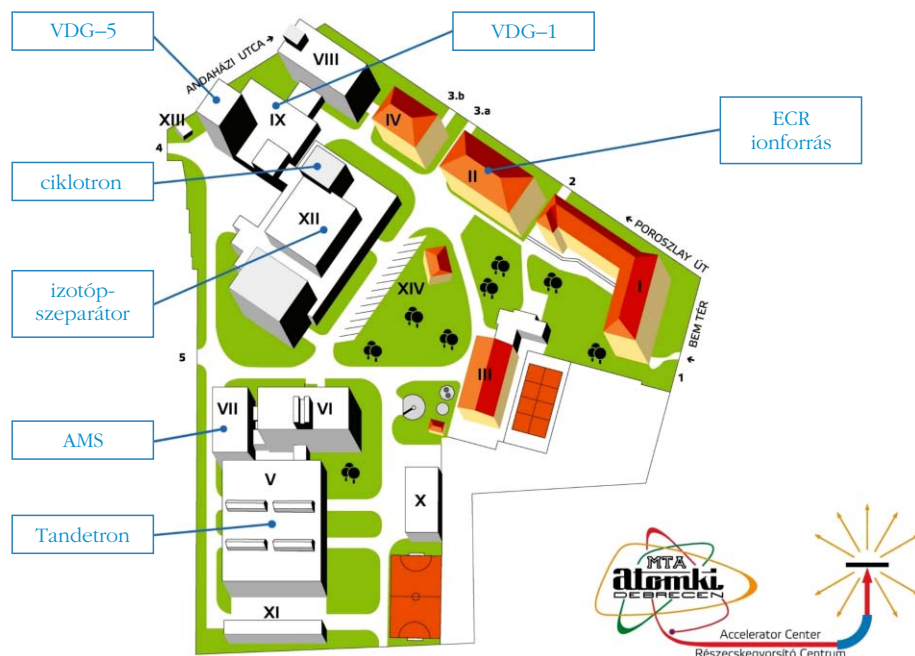
Köszönjük az MTA Infrastruktúra pályázatok és az MVM Paksi Atomerőmű támogatását, valamint a Magyar Állam és az Európai Unió által nyújtott támogatást (GINOP-2.3.3-15-2016-00005).

Az MTA Atomki munkatársai közül – Rajta István irányítása mellett – a szerzőkön kívül is számos kolléga vett részt a Tandetron Laboratórium létrehozásában. A jelen szerzőlista tagjainak (kutatók, mérnökök, technikusok) – az ötlet kipattanásától a megvalósításig – fontos szerepe volt a projekt megvalósításában. Itt szeretnénk megköszönni a szerzőlistában nem szereplő számos kollégánk áldozatos munkáját is.

Magyarországon az első részecskegyorsítót *Simonyi Károly* és munkatársai építették Sopronban 1949–51 között. A gyorsító később a KFKI-ba került, 2004 óta az ELTE Természettudományi Karának légymányosi épületében kiállítva látható [6]. A budapesti és a régebbi debreceni gyorsítók többsége saját építésű, és szinte mindegyikükről elmondható, hogy fejlesztői közvetlenül, vagy közvetve a Simonyi-féle gyorsítóiskolához tartoznak [7].

Az Atomki Gyorsítóközpont [4] nagyberendezései: a ciklotron [8], az 1 és 5 MV feszültségű Van de Graaff-gyorsítók [3], amelyek évtizedekkel ezelőtt épültek, továbbá az ECR ionforrás [9], egy izotópszeparátor, neutronforrások és a jelen cikkben részletesen bemutatott 2 MV-os új Tandetron gyorsító. A Részecskegyorsító Központ gyorsítóit az atom- és magfizikai kutatások területén főként olyan kutatócsoportok használják, amelyek erős nemzetközi beágyazódottsággal rendelkeznek. Nagyobb lélegzetű kutatási projektjeikben az Atomki gyorsítói a maguk specifikus, alacsonyabb energiatartományokban kapnak jelentős szerepet, elsősorban felszereltségük, valamint az üzemeltetők szakértelmének és az Atomki kutatói kooperációs nyitottságának köszönhetően. Az intézet Részecskegyorsító Központja a KFI (korábban: NEKIFUT) regiszterben [10] Stratégiai Kutatási Infrastruktúra címmel rendelkezik, gyakorlatilag nemzeti gyorsítóközpont. 2013-ban bekerült az EU MERIL (Mapping of the European Research Infrastructure Landscape) adatbázisába [11].

Az alapkutatásokon túl a gyorsítók számos hazai és nemzetközi alkalmazott kutatási projektet szolgálnak



1. ábra. MTA Atomki – vázlatos alaprajz.

technikáját vonultatták fel, sok esetben az akkori ipari technológiákat fejlesztve készültek hazai alkatrészek és szaktudás felhasználásával. A gyorsítókba beépített tudás bizonyítéka, hogy még ma is jól működnek, magas szinten szolgálva az új tudósnemzedékeket is.

Az orosz gyártmányú MGC-20-as ciklotron – a tudomány szolgálatán túl – lehetővé tette az első debreceni PET készülék elindítását, épületében helyet adva az orvosi ellátásnak is. A különböző célokat szolgáló izotópok termelésében, a magfizikai alap- és alkalmazott kutatásokban a ciklotron ma is kulcsszerepet játszik.

Összességében elmondhatjuk, hogy az Atomki majdnem

mindegyik épületében található egy gyorsító, ahogy ez az 1. ábrán látható.

az egészségtudományok (például gyógyszerkutatás, biológiai minták vizsgálata), anyagtudományok (például mikromegmunkálás, ionnyaláb-analitika, sugártűrés-vizsgálatok), a környezetkutatás (környezeti minták, aeroszolok analízise), vagy például a kulturális örökség megőrzése (régészeti tárgyak analízise) területén, nem beszélve az olyan alkalmazásokról, mint a széles spektrumú izotópterelés. Több területen végzünk szakképzést is, például a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség felkérésére. Tagjai vagyunk magyar és nemzetközi platformoknak, konzorciális projekteknek – például a Magyar Ionnyaláb-fizikai Platform (HIPPI), CHARISMA (FP7), IPERION-CH (H2020), ENSAR2 (H2020). A gyorsítóinkon folyó kutatások eredményeire joggal vagyunk büszkéek, de tudjuk, hogy a jövőt csak csúcstechnológiát képviselő, a kutatások jövőképe szerint megvalósított, legkorszerűbb berendezésekkel alapozhatjuk meg.

A jelenleg működő gyorsítóink által lefedett energiatartomány: 50 eV – 27 MeV, ezt az 1. táblázatban részletesen, a nyalábválasztékkal egyetemben összefoglaltuk. A nagy nemzetközi gyorsítóközpontokhoz hasonlóan a nyalábidő-igénylés formalizált, és a Gyorsítók Programtanácsának szakmai bírálata alapján az intézet igazgatója dönt a gyorsítóidő odaítéléséről.

Az alábbiakban egy rövid áttekintést adunk az Atomki gyorsítóparkjának történetéről. A listában végdátummal nem rendelkező berendezéseink ma is kiválóan működnek. Berendezéseink többsége saját építésű, a vásárolt berendezéseknél feltüntetjük a gyártót.

A gyorsító berendezéseket – az AMS kivételével – a Részecskegyorsító Központ üzemelteti. A Részecskegyorsító Központ 2009-ben új szervezeti egységként alakult meg intézetünkben. Korábban a gyorsítók és a hozzájuk tartozó személyzet az intézet különböző osztályaihoz tartoztak. Világossá vált azonban, hogy a részecskegyorsítók egyetlen központi egységbe való áthelyezése számos területen előnyös lesz. A nyaláb-

- 100–300 kV neutrongenerátorok, 1958–1960.
- 800 kV Cockroft–Walton-kaszkádnak, 1961–1992.
- 1 MV Van de Graaff elektrosztatikus gyorsító, 1970–
- 5 MV Van de Graaff elektrosztatikus gyorsító, 1971–
- MGC-20 Ciklotron, NIIFA, 1985–
- ECR ionforrás, 1996–
- Izotópszeparátor, 2009–
- AMS, ETH–Zürich, 2011–
- Tandetron, HVEE, 2014–

Az 1992-ben leállított kaszkádgenerátor szabadtéri kiállításra került intézetünk főbejárata mellett. A Van de Graaff generátorok koruk és a keleti blokk csúc-

*1. táblázat*

<b>MTA Atomki gyorsítóinak ion- és energiaválasztéka</b>		
gyorsító	részecske	energiatartomány
ciklotron	H, D, He	1–27 MeV
VdG-1	H, D, He	50 keV – 1,5 MeV
VdG-5	H, D, He, C, N, O, Ne	800 keV – 5 MeV
ECR ionforrás	H-Xe és molekulák	50 eV – 30xQ keV
izotópszeparátor	He, Ne, Ar, N, S, Se	50 eV – 50 keV
AMS	C-14	400 keV
Tandetron	H	200 keV – 4 MeV

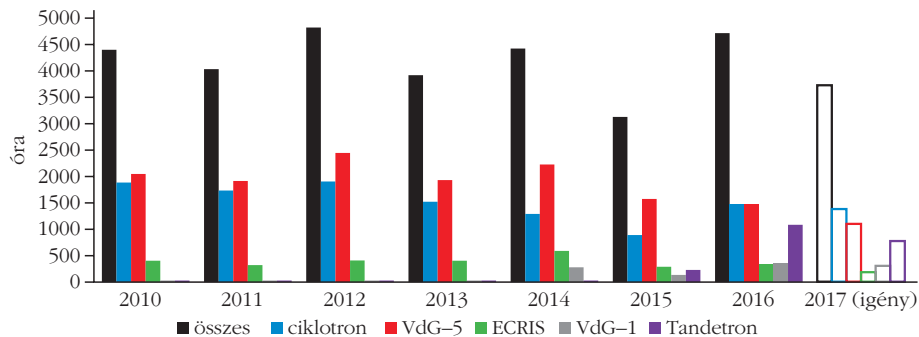
Az ECR-nél a Q a lefosztást jelenti. A Tandetron által biztosított energiatartomány jó közelítéssel lefedi a két Van de Graaff-gyorsító energiatartományát.

idők szervezése és szétosztása egyenletesebb és jobban optimalizálható. Az üzemeltető személyzet (körülbelül 20 fő) több gyorsítónál is bevethető, a csoportok bármikor kisegíthetik egymást. A 2. ábrán bemutatjuk az utóbbi néhány évben felhasznált gyorsítónyaláb-időket és a 2017. első félévi igényeket. Idén először féléves időszakra gyűjtöttük be az igényeket, máris látzik, hogy az első félévre beérkezett igények megközelítik a korábbi éves szintet. Látható, hogy a 2015-ös indulás óta, 2016-ban nőtt a Tandetron felhasználása, és a 2017 év végére várhatóan meg fogja haladni az első éves felhasználásokat.

A felsorolt nagyberendezések közül a továbbiakban a Tandetron típusú elektrosztatikus gyorsítóval és a berendezésre épülő Tandetron Laboratóriummal foglalkozunk.

Az Atomki gyorsítóin dolgozó kutatócsoportok összefogásával 2012-ben az MTA Infrastruktúra pályázatára kidolgoztunk egy hosszú távú fejlesztési koncepciót *Asztrofizikától a nanotechnológiáig: az Atomki gyorsítókra épülő kompetenciaközpontja* címmel. Ez néhány éves távon egy korszerű, nagy áramú gyorsítóra épülő laboratórium kiépítését célozta meg. Első lépésként megpályáztunk és elnyertünk egy új, 2 MV-os Tandetron gyorsítót. A Tandetron Laboratóriumot a jövő évtizedek fő teherviselőjének szánjuk, amely minőségi változást jelent a folyó kutatásokban, és a többségükben már 2012-ben megfogalmazott, új kutatási területeket is megnyitja a magyar és nemzetközi kutatóközösség számára. A Tandetron Laboratórium projektet az MVM Paksi Atomerőmű is támogatta.

A koncepció alapján benyújtottunk és elnyertünk három további pályázatot is. Az első pályázat egy úgynevezett kihozott nyaláb megvalósítását célozta meg, a második egy nyalábelosztó kapcsolómágnes beszerzését szolgálta. A harmadik pályázat célja pedig egy pásztázó ionnanoszonda beszerzésére törekedett. Az első kettő ideiglenes helyén már működik, a csúcstechnológiájú nanoszondát pedig jelenleg helyezük próbaüzembe. Mindezzel azonban a tervezett laboratórium teljes kiépítésének még mindig csak körülbelül 30 százalékát értük el. A teljes laboratórium kiépítését egy negyedik pályázat, a jelenleg folya-



2. ábra. MTA Atomki gyorsítóinak kihasználtsága.

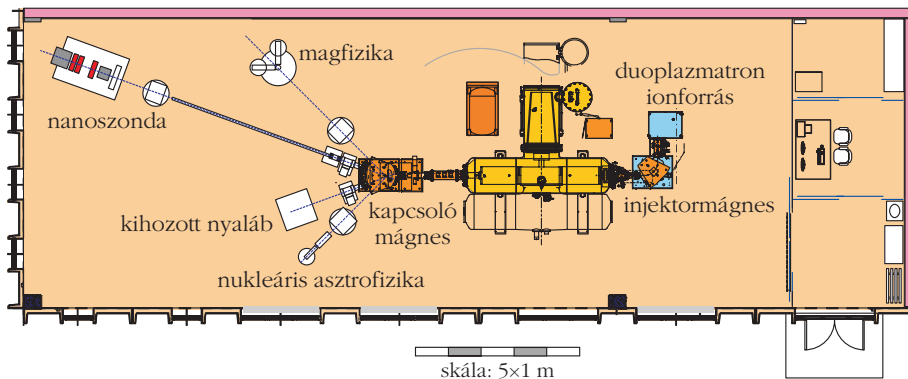
matban lévő a GINOP-2.3.3-15-2016-00005 projekt keretében kívánjuk megvalósítani.

A High Voltage Engineering Europa B.V. [12] holland cég által gyártott Tandetron típusú részecskegyorsítót 2014 májusában helyeztük üzembe (3. ábra). 2015. januárban beüzemeltük a negatív hidrogénionokat előállító duoplazmatron ionforrást az injektormágnessel és egy ideiglenes kapcsolómágnessel. Ez az egyszerű első elrendezés azonnal lehetővé tette két kutatási nyalábvég megvalósítását: az ionnyaláb kihozatalát a vákuumból a levegőbe és egy nukleáris asztrofizikai nyalábvég összeállítását. A gyorsító hivatalos ünnepélyes átadására egy nemzetközi tudománypolitikai konferencia keretében került sor (INARIE – Integrating Access to Pan-European Research Infrastructures in Central and Eastern Europe, 2015. november 30. – december 2.).

A 4. ábrán látható a Tandetron Laboratórium alaprajza, középen a gyorsító. A duoplazmatron ionforrás és az injektormágnes a jobb oldalon, a már működő és a beüzemelés alatt álló nyalábvégek a bal oldalon helyezkednek el. Időközben, szintén MTA Infrastruktúra támogatásból a Wigner Fizikai Kutatóközponttal közösen pályázva, beszereztünk egy – kilenc nyalábvég csatlakoztatását lehetővé tévő – professzionális kapcsolómágnessel is.

3. ábra. A Tandetron részecskegyorsító.





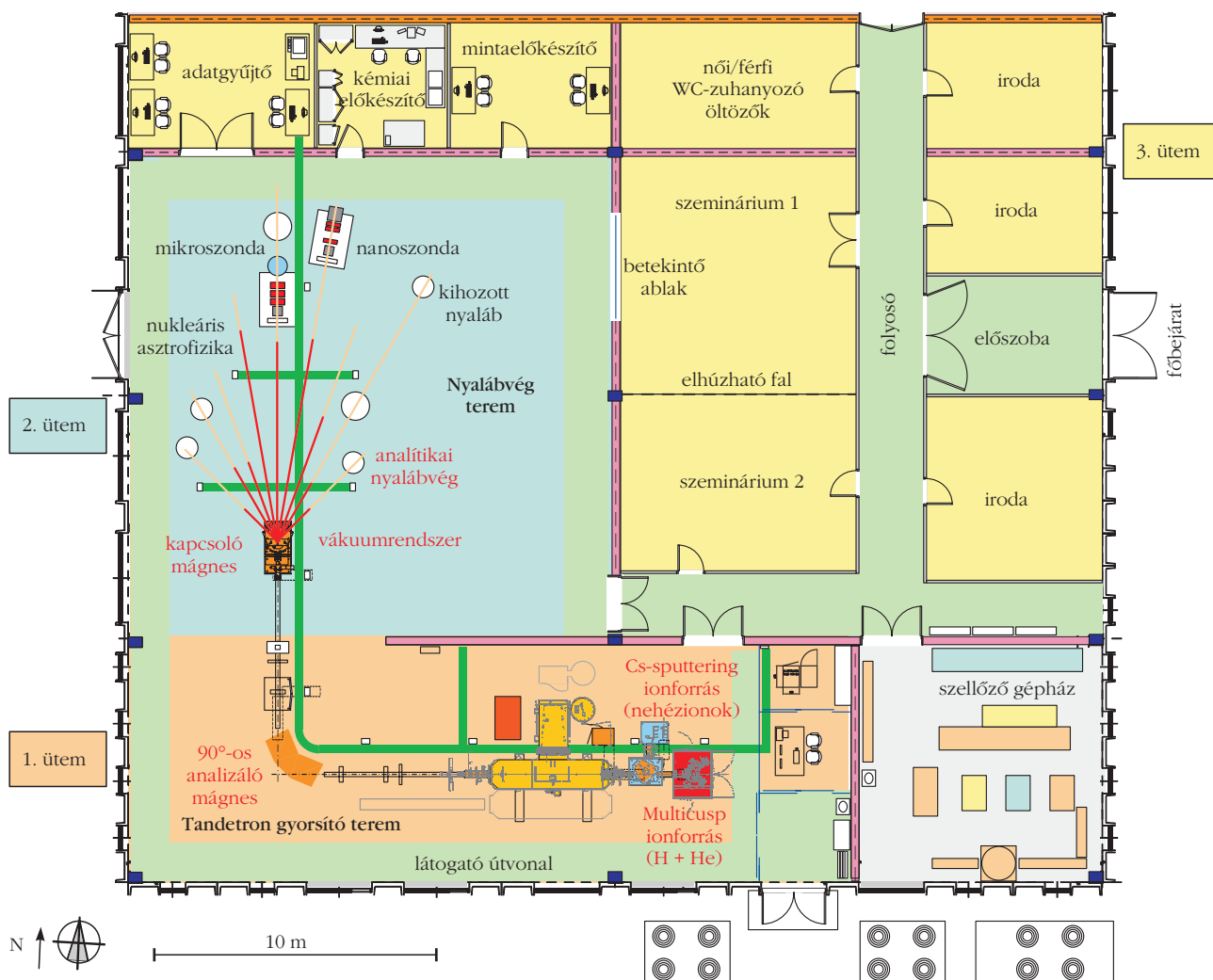
4. ábra. A jelenlegi elrendezés alaprajza.

héliumion-forrás kiválasztását. A duoplazmatron ionforrást át fogjuk alakítani cézium sputtering ionforrássá, ami lehetővé teszi nagy tömegszámú, negatív ionok előállítását. A Tandetron nagyenergiás oldalára kerül majd a 90°-os analizáló mágnes. A meglévő kapcsolómágneket a jelenlegi (ideiglenes) helyéről át fogjuk telepíteni az analizáló mágnes kimenetére. A nanoszondát is új helyére, a kapcsolómágnes jobb oldali 10°-os kimenetére költöztetjük.

Az Atomki a fent említett GINOP pályázattal támogatást nyert a projekt folytatására. A tervezett elrendezést az 5. ábra mutatja. Egy multicusp ionforrás és egy 90 fokos analizáló mágnes beszerzésével a gyorsító elrendezése jelentősen átalakul és eléri az eredetileg tervezett, végső formáját. A multicusp ionforrásrendszer (piros téglalappal jelölve) tartalmazni fog egy  $\pm 30$  fokos eltérítő mágneket, ami lehetővé teszi a hidrogén- vagy a

mikroszonda is ide fog költözni a régi Van de Graaff-gyorsítótól, ezáltal sokkal jobb minőségű ionnyalábot kap majd (stabilitás, nyalábméret stb.). Az új analitikai nyalábvég a kapcsolómágnes egy másik kimenetére kerül. További nyalábvégek kifejlesztése is lehetővé válik a jelenlegi és a jövőbeli belső és külső felhasználók számára. Az ehhez szükséges vákuumrendszer helyét piros vonalakkal mutatja az ábra.

5. ábra. A tervezett, végleges elrendezés alaprajza.



2017 tavaszára elkészült a GINOP projektben tervezett fejlesztéseket befogadó nyálábterem. A 6. ábrán található fotó mutatja az aktuális állapotot.

A továbbiakban, a teljesség igénye nélkül, igyekszünk részletesebben bemutatni a Tandetron gyorsító működési elvét és a kapcsolódó kutatásokat.

A tandem típusú gyorsítók az elektrosztatikus gyorsítók családjába tartoznak, amelyeknél kétszer használjuk ki az ionokat gyorsító nagyfeszültséget. A gyorsítandó részecskékből negatív ionokat állítunk elő az ionforrás segítségével, ezeket eljuttatjuk a gyorsító szakasz elejére. A pozitív töltésű, nagyfeszültségű terminálíg fognak gyorsulni a negatív ionok. A terminálelektroda belsejében, esetünkben argongázon áthaladva a negatív töltésű ionok elveszítik egy vagy több fölös elektronjukat (ezt a folyamatot lefosztásnak nevezzük), ezáltal semlegesek vagy pozitív töltésűek lesznek. A pozitív töltésű ionok azután a pozitív nagyfeszültség hatására tovább gyorsulnak a földpotenciálon lévő gyorsítókimenet felé, ahogy ez a 7. ábrán látható.

A 8. ábra mutatja a gyorsító kis- és a nagyenergiás oldalának áttekintő nézetét a felhasznált ionoptikai eszközökkel. Amikor nyálábot viszünk át a gyorsítón, a főbb optikai komponensek a következők: apertúra, mágneses eltérítő tekerecs, elektrosztatikus fókuszáló lencse (Q-snout), lefosztó csatorna, elektrosztatikus kvadrupól triplétt (Q-pole). A Q-snout lencse célja, hogy a gyorsítandó ionnyalábot a lefosztó csatorna közepére fókuszálja. A lefosztó csatornában, a kívánt töltésállapotú ionok létrehozása érdekében a gáz nyomása változtatható, tipikusan  $10^{-2}$  mbar tartományban megfelelő. A lefosztás után a már pozitív töltésű ionnyaláb tovább gyorsul a nagyenergiás gyorsítócsőben. A gyorsítócső után következik az elektrosztatikus kvadrupól lencse, amely az ionnyalábot a céltárgyra fókuszálja. Egy leválasztó zsilip található a gyorsító nagyenergiás végén.

A gyorsító a gyártói specifikációkat bőven meghaladó módon teljesít. Elektrosztatikus gyorsító esetén a nagyfeszültséget jellemző paraméterek a hosszú távú stabilitás és a fodrozódás (ripple). A nagyfeszültséget esetünkben egy

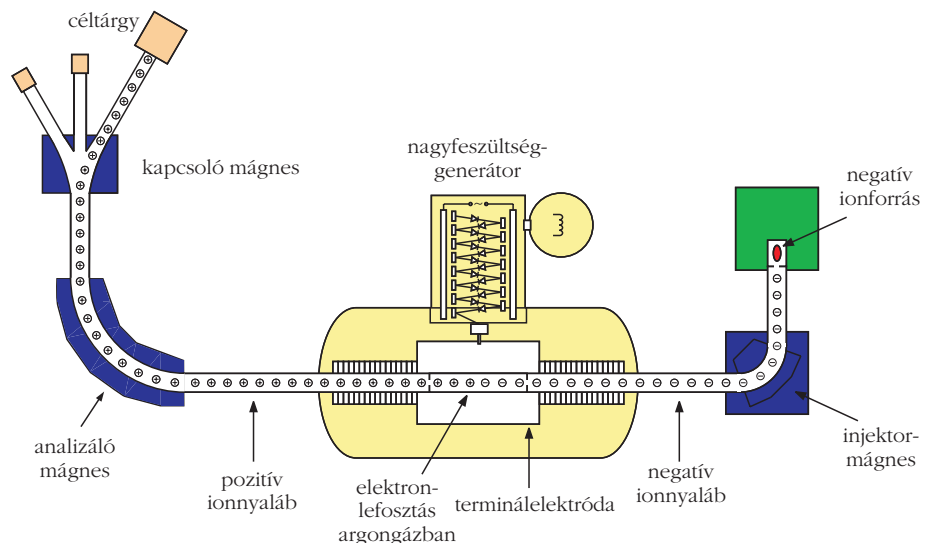


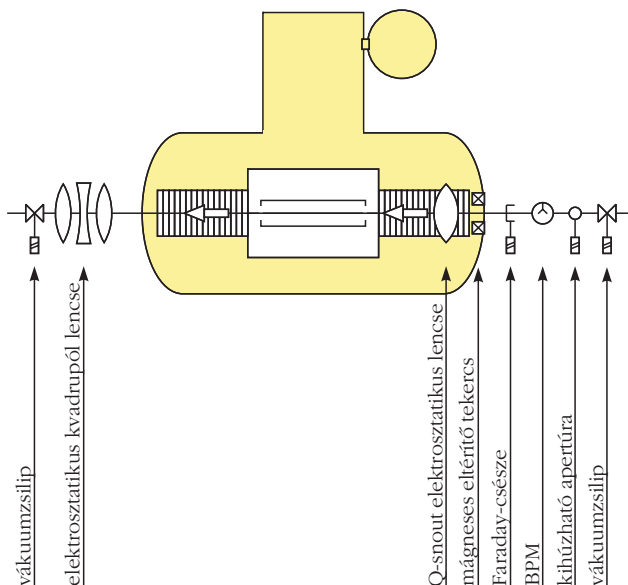
6. ábra. Tandetron Laboratórium 2017 tavaszán.

hangolt rezgőkörön (RLC) keresztül párhuzamosan táplált, nyomástartályba helyezett, kén hexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) szigetelésű kaszkádgenerátor szolgáltatja. 1,5 millió voltos feszültségnél a nagyfeszültség stabilitását jellemző feszültségingadozás a gyártói 200 V-os tartománnyal szemben jobb, mint 50 voltnak adódott a másfél órás mérés alatt. A fodrozódást pedig 25 V helyett 20 V alattinak mértük. A gyorsító által szolgáltatott ionnyaláb így stabil és kis energiaszórású lesz, ami alapvető fontosságú a legtöbb tudományos kísérlet elvégzéséhez.

A gyorsító – a gyártó által meghatározott követelményrendszer alapján – magyar cégek által megtervezett és felújított épületbe került, amelyben automata vezérlésbe integrált épületgépészet működik. Mérve, szabályozva és naplózva van többek között a belső hőmérséklet, a páratartalom, a technológiai hűtővíz hőmérséklete és vezetőképessége.

7. ábra. Tandem elvű gyorsító vázlatos képe.





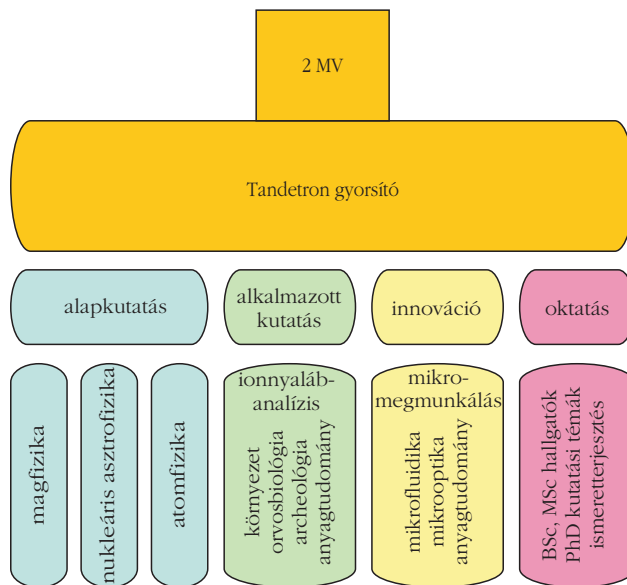
8. ábra. Releváns ionoptikai eszközök sematikus rajza.

A kialakítás során – a berendezést kiszolgáló igényes környezet megépítésén túl – fontos szempont volt a felhasználói igények biztosítása is. A később telepítésre kerülő proton nanoszonda számára nagyon fontos a rezgésmentesség biztosítása. A nanoszonda, a korábban bemutatott pásztázó proton mikroszondához képest [13] a nanométeres tartományba eső nyalábátmérő elérését tűzte ki célul. A cél érdekében az épületgépészeti berendezések rezgéscsökkentő, speciális tervezésű gépalapokra kerültek. A padozat stabilitását pedig egy acélhajas erősítésű, az aljzatrétegtől és az oldalfalaktól rugalmas réteggel elválasztott, egyben húzott, úgynevezett úsztatott beton biztosítja.

A laboratórium teljes területén beléptető rendszer működik, ahol helyiségenként lehet a jogosultságokat kiosztani. Így a gyorsítóterembe csak az arra jogosult személy léphet be. A gyorsító által esetlegesen keltett sugárzás méréséről egy környezeti monitorizáló rendszer gondoskodik. E rendszer három detektora foton-sugárzásra érzékeny, spektrális felbontásra is alkalmas. A negyedik detektor a foton-sugárzás érzékelésén túl alkalmas neutron-sugárzás érzékelésére is. A telepített detektorok hatósági hitelesítése nem lehetséges, ezért a pontos dózis és dózisteljesítmény mérésére hordozható, hitelesíthető műszert alkalmazunk.

Amennyiben a céltárgynál hatóság által meghatározott dózisteljesítményt meghaladó sugárzás keletkezik, a rendszer, a kisenergiás nyalábmegszakítót azonnal betolva, megszünteti az ionáramot, ezzel a sugárzást.

A gyorsítóra alapozott Tandetron Laboratórium lehetőségeit a 9. ábrán összesítettük. Az alap- és alkalmazott kutatásokon túl lehetőség nyílik eddig fel nem tárt területek megnyitására, innovációra is. A nemzeti gyorsítóközpont részeként kiemelt fontosságú az oktatásban való minél integráltabb részvétel. A Tandetron Laboratórium kiváló lehetőséget biztosít a gyorsítókra alapozott kutatások és technikák megismertetésére és oktatására. A magfizika magas színvonalú oktatása nagy fontossághoz jut a Paks-2 projektben is.



9. ábra. A Tandetron Laboratórium felhasználási területei.

Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül felsoroljuk azokat a súlyponti, új kutatási témákat, amelyek kibontakoztatását a Tandetron Laboratórium keretei között tervezzük megvalósítani.

*Világszínvonalú ionnyaláb analitika, ion-megmunkálás, például:*

- Ionnyalábos megmunkálással mikrofluidikai eszközök fejlesztése; biológiai szűrők, a cirkuláló ráksejtek kiszűrése vérből (együttműködő partner: Pannon Egyetem).

- Mikro- és nanonyalábokkal a távközlésben használható integrált optikai elemek, hullámvezetők és optikai rácsok készítése; különleges „nano-on-micro” optikai elemek fejlesztése a távközlés és biokémiai szenzorok számára (mikrolézerek, optikai mikrorezonátorok) (partner: Wigner FK).

- A nanoionnyalábbal a rezonáns abszorpción alapuló lézeres iongyorsítás megvalósításához polimer céltárgyak, valamint fotonikus kristályok és optikai eszközök készítése (partner: Wigner FK).

- A nanoionnyalábbal különleges, úgynevezett metaanyagok készítése, például negatív törésmutatóval, valamint kémiai mikroreaktorok készítése (partner: Wigner FK).

*Nukleáris asztrofizika:* a csillagokban lejátszódó folyamatok megértése szempontjából fontos magreakciók tanulmányozása a mérhetőséget biztosító nagy nyalábbintenzitásokkal, különös tekintettel a hidrogénfúzió bizonyos reakcióinak – az Atomki korábbi gyorsítóival nem megvalósítható – vizsgálatára. A gyorsító kiváló kiegészítője lesz a LUNA nemzetközi együttműködés kisenergiás föld alatti gyorsítójának (partner: LNGS, INFN, Olaszország). Ebben a témakörben már megjelent az első tudományos folyóiratcikk, ami teljes egészében az új gyorsítón készült [14].

*Magfizika:* a fűrtös szerkezetű és a vastag neutronhéjjal rendelkező, könnyű magok, valamint ezekben lejátszódó nagyenergiás gamma-bomlások vizsgálata. Az Atomkiban nemrég egy olyan anomáliát sikerült

megfigyelni gamma-bomlásban, ami összhangban van egy hipotetikus új részecske létével, ez pedig kapcsolatot teremthet a látható világunk és a sötét anyag között. A Tandetron, egy modern (ENSAR, FP7 által is támogatott)  $e^+e^-$  párspektrométerrel ideális lehetőségeket teremt a kísérletek folytatására (partner: IFJ, Krakó, Lengyelország).

Magfizikai alap kutatásokban az együttműködések egyik legvalószínűbb területe az ELI-NP munkájához való kapcsolódás. Romániában hamarosan működésbe lép az ELI (Extreme Light Infrastructure) berendezés egyik pillére, amelynek célja lézerekre alapozott magfizikai kutatások végzése. Az Atomki kutatói részt vesznek az ELI-NP kutatási tervének kidolgozásában és a Tandetron gyorsítón kialakítandó kutatói környezet lehetőségét biztosíthat arra, hogy az együttműködés mindkét oldal számára kölcsönösen hasznos legyen.

**Atomfizika és alkalmazásai:** az ionbombázással kiváltott sugárkárosodási folyamatok első lépcsőjének (molekulák ionizációja és fragmentációja) vizsgálata a daganatterápiában alkalmazható ionokkal való ütközések hatására. Az elkészült laboratóriumban elérhető ionok energia- és töltésállapot-tartománya éppen a daganat roncsolása szempontjából legérdekesebb, úgynevezett Bragg-tartomány feltérképezésére alkalmas (partnerek: Lisszaboni Egyetem, Portugália, Madridi Egyetem, Spanyolország, Caeni Egyetem, Franciaország).

**Biológiai alkalmazások:** élő sejtek besugárzása ionokkal. Itt nem a primer folyamatot, hanem a sejtre gyakorolt hatásokat vizsgáljuk. A levegőre kihozott nyaláb sejtenyészetek vizsgálatára alkalmas, a kihozott mikronyaláb és pásztázó ionszonda igen kis méretű nyalábjá pedig már a sejt egyes szerkezeti elemeinek szelektív besugárzását is lehetővé teszi majd (partner: Debreceni Egyetem).

**Atom- és felületfizika:** az ionterelési és a felületi ioncsatornázódási mechanizmusok (surface channeling) vizsgálata. Ezen önszerveződő folyamatok megértése és alkalmazása erősen kutatott téma. A tandet-

ron energiatartományában tervezett szisztematikus vizsgálatokkal a témában intenzív nemzetközi együttműködésekkel az élvonalban maradunk (partner: TU Wien, Ausztria).

**Környezetanalitika:** aeroszolvizsgálatok. A városi levegő legjelentősebb szennyezője – negatív egészségügyi és környezeti hatásaival, például szmog – a légköri aeroszol. Fontos a források azonosítása és járulékaik meghatározása. Az aeroszol komplexitása és változékonysága miatt ez különleges mérési technikát igényel, ilyen például a gyorsítóra alapozott ionnyaláb-analitika (partner: Wigner FK).

*A Laboratórium a felsoroltak mellett természetesen további, előre nem látható kutatási témák számára is jó alapot jelent. Készen állunk, hogy azok művelésére lehetőséget biztosítsunk. Számítunk rá, hogy mind a hazai, mind a nemzetközi kutatói közösség további projektekkkel jelentkezik a Tandetron Laboratóriumban.*

#### Irodalom

1. <http://www.atomki.mta.hu>
2. Koltay E.: Részecskegyorsítók az ATOMKI-ban. *Fizikai Szemle* 14 (1964) 373.
3. Kiss Á. Z.: Gyorsított ionnyalábokkal végzett kutatások az ATOMKI-ban. *Fizikai Szemle* 59 (2009) 417.
4. <https://www.atomki.hu/osztalyok/1/bemutakozas>
5. <http://www.rmki.kfki.hu/nuclphys1/EG2R.html>
6. Kostka P.: A hazai fizikatörténet jeles emléke. *Természet Világa* 135 (2004) 11.
7. Klopfer E.: Tisztelgés a Simonyi-féle gyorsítóépítő iskolának. *Fizikai Szemle* 55 (2005) 317.
8. Berényi D.: A magyar ciklotron. *Fizikai Szemle* 46 (1996) 333.
9. Biri S., Pálkás J., Berényi D.: Elektron ciklotron rezonancia ionforrás – új lehetőség a magyarországi nehézion-fizikában. *Fizikai Szemle* 44/3–4–5 (1994) 89. 163. 198.
10. <http://kfiadattar.nkfi.gov.hu/web/guest?urlap?entityType=0&entityId=20384>
11. <http://portal.meril.eu/meril/view/facility/15132>
12. <http://highvolteng.com>
13. Rajta I.: Protonnyalábos mikromegmunkálás: Egy új, direkt írásos, 3-dimenziós litográfias eljárás. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 187.
14. Gyürky Gy., et al.: Cross section measurement of the astrophysically important  $^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$  reaction in a wide energy range. *Phys. Rev. C* 95 (2017) 5805.

## Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

**Most Társulatunknak lenne szüksége  
egyletmentő ötletekre!**



**Ezek az ötletek nem vesznek el,**

**ha a <http://forum.elft.hu>**

**linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.**

