



A Magyar Tudományos Akadémia
Atommagkutató
Intézet
Debrecen



Cím: 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

Levélcím: 4001 Debrecen, Pf. 51

Telefon: (52) 417 266

Telefax: (52) 416 181

Internet: <http://www.atomki.hu>

Igazgató: **Dr. Lovas Rezső**



BEVEZETÉS

E füzetben a Magyar Tudományos Akadémia debreceni Atommagkutató Intézetét (az Atomkit) mutatjuk be. Az Atomki fizikai kutatóintézet, amely kb. 190 főt foglalkoztat, akik közül közel 100 fő a kutató. Alaptevékenysége a természet törvényeire irányuló mikrofizikai kutatás. Ezzel hozzájárul a világban folyó tudományos kutatások eredményeihez és a hazai tudományos kultúra fenntartásához. Tevékenységében az alapkutatás mellett az alkalmazásoknak is fontos szerep jut. Az eredmények közvetlenül hasznosulnak például a környezetkutatásban, a földtudományban, a régészetben és a gyógyászatban (például a pozitronemissziós tomográfiában). Az intézet az MTA felügyelete alá tartozik, de a Debreceni Egyetemhez szerződésben rögzített társult viszony köti, ami több évtizedes kutatási és oktatási együttműködésen alapul.

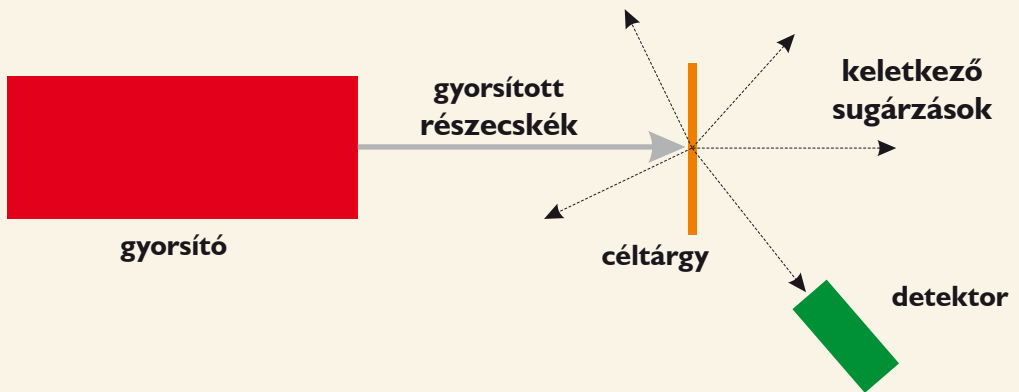
A továbbiakban rövid áttekintést adunk az intézet történetéről, kutatási területeiről, szervezeti felépítéséről és néhány általános adatáról. Ezzel párhuzamosan képeken is bemutatjuk az intézetet.

Törekedtünk arra, hogy ismertetőnk a nem szakember olvasó számára is hasznos legyen. A képekhez írt szövegeket igyekeztünk közérthetően megfogalmazni. A bevezetőnk is ilyen szövegrésszel folytatjuk. Ebben három olyan fogalom bemutatása szerepel, amelyeknek kulcszerepük van az intézetben folyó kutatómunkában: detektor, gyorsító, céltárgy.

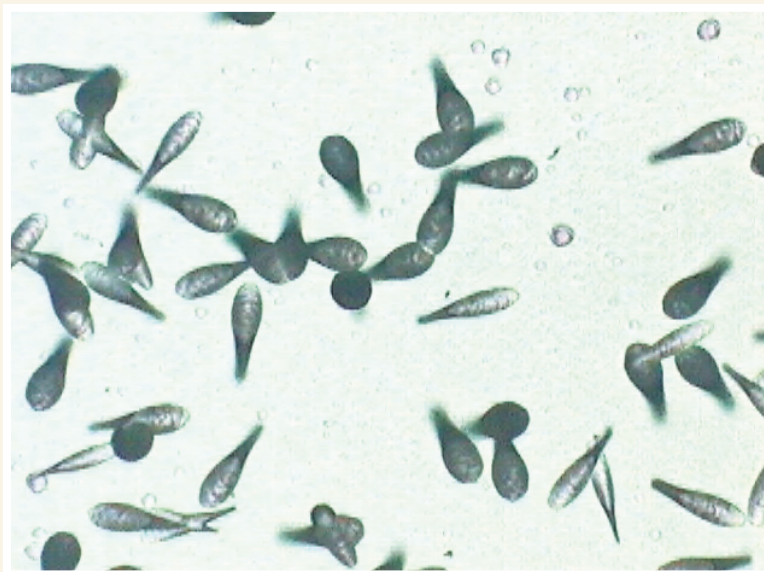
A **detektorok** alkotják a hidat a mikrovilág és a közvetlenül érzékelhető tárgyak között. A mikrovilág részecskéi hihetetlenül apró dolgok. Az atommagok például 15 nagyságrenddel kisebbek az emberi méreteknél. Képzeld el, hogy a hidrogénatom magját, a protont tenyérnyi nagyságúra növeljük. Egy ilyen nagyításban a tenyerünk maga akkorára nőne, hogy letakarná a Naprendszert. Tehát a tenyerünkön észrevenni egy protont olyan feladat, mint a Naprendszerben észrevenni a tenyerünket. Vajon hogyan lehet ilyen parányi dolgokat megfigyelni? Szerencsére vannak olyan jelenségek, amelyek ezt lehetővé teszik. Ilyen jelenség pl. a radioaktivitás, amit a XIX. század végén fedeztek fel. Az atommagok némelyike láthatatlan sugárzást bocsát ki magából. Ez a sugárzás – annak ellenére, hogy láthatatlanul kicsi repülő részecskékből áll – látható elváltozást okoz bizonyos megfogható méretű tárgyakon. Az ilyen tárgyakat használjuk detektorként. A radioaktivitás felfedezésénél és első vizsgálatánál a detektor a fényképezőlemez és az ionizációs kamra volt. A radioaktív sugárzás a fényképezőlemezt megfeketíti, az ionizációs kamrát pedig elektromosan vezetővé teszi, amit elektrométerrel lehet észlelni. E kezdeti detektortípusok óta a detektorok számtalan fajtáját fejlesztették ki. A modern detektorok a sugárzást alkotó parányi részecskéket egyenként is érzékelik.

A radioaktivitás mellett sok más jelenség, eszköz szolgálhat a mikrovilág megismerésére. Ha egy részecske nagy sebességgel nekiütközik egy útjába akadó másik részecskének, az ütközés következtében sokféle erős sugárzás keletkezhet. Ezeket is lehet detektorokkal regisztrálni. Az ilyen típusú kísérleteket leggyakrabban **gyorsító** felhasználásával végzik. A gyorsító vagy részecskegyorsító olyan berendezés, amellyel a részecskéket nagy sebességre gyorsítjuk. A gyorsítás elvi alapját az adja, hogy sok részecskének elektromos töltése van, s ezekre elektromos térben erő hat. A gyorsítók többnyire nagy és drága berendezések, és ezek határozzák meg egy kutatóintézet arculatát.

A gyorsítókkal ellentétben a **céltárgyak** többnyire apró, finom dolgok. Ők tartalmazzák az ütközés másik résztvőjét, a vizsgálandó részecskét. A fizikai folyamatok, amelyekre a kísérletben kíváncsiak vagyunk, ezen aprócska tárgy belsejében vagy közvetlen közelében zajlanak le.

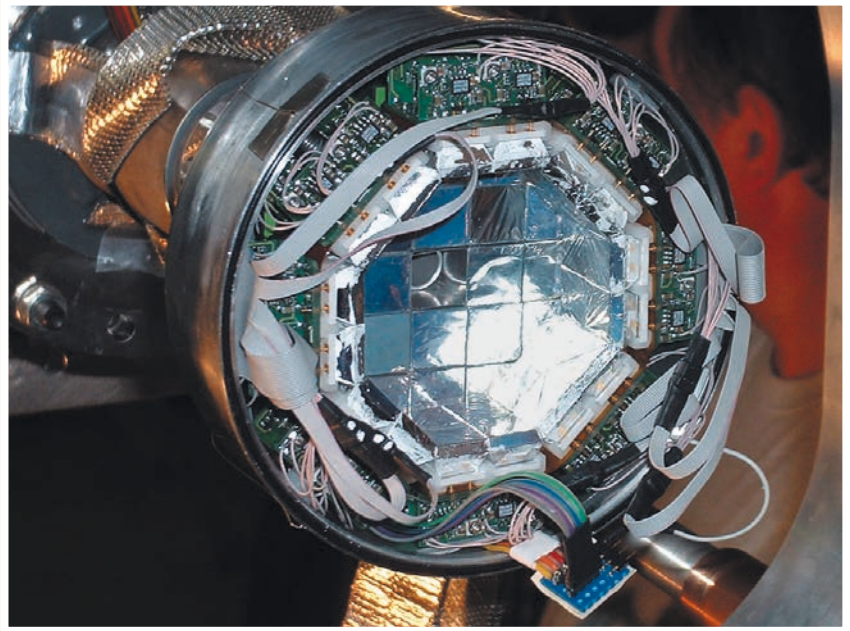


Az ábrán egy tipikus **mikrofizikai kísérlet főbb eszközeinek sémája** látható. A gyorsítóban előállított nagy sebességű részecskéket a céltárgyra irányítják, amelyben a céltáblául szolgáló atomok vagy atommagok vannak. Az ütközés hatására a meglőtt atom vagy atommag alkotórészei – a nukleonok (a protonok és a neutronok) – átrendeződnek és részben szerterepülnek. Ezeket megfelelően elhelyezett detektorokkal észlelve meghatározhatjuk az ütköző részecskék és a folyamatok jellemzőit. Az ismertetőben szereplő eszközök nagyrészt ennek a sémának az elemei.

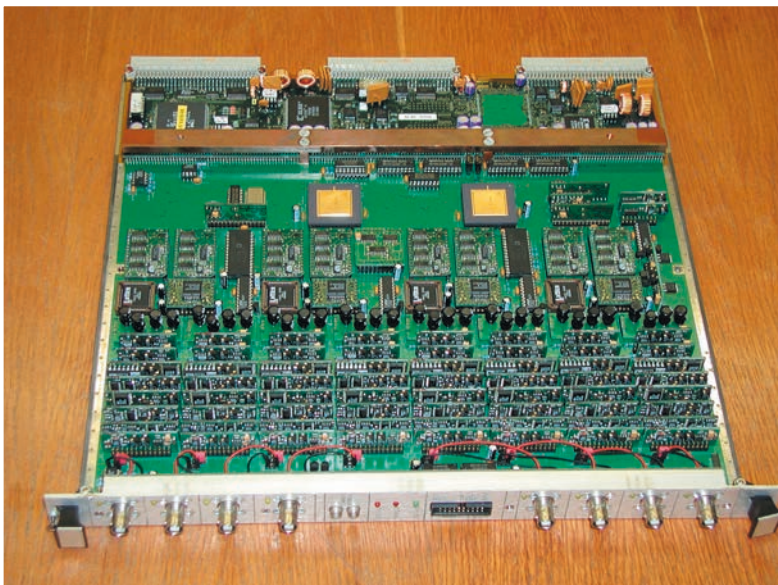


Egy modern detektor, amely működési módját tekintve emlékeztet a fényképezőlemezre, amelynek megfeketedése a radioaktivitás felfedezéséhez vezetett. Mindkettő esetében először a vizsgálandó sugárzás hatásának teszik ki a detektort, majd vegyi úton teszik láthatóvá ezt a hatást. Az itt látható optikai mikroszkópos felvétel egy olyan CR-39 típusú **maratottonyom-detektor**ról készült, amelyet a ^{252}Cf radioaktív atommag alfa-részecskéivel sugároztak be. A részecskenyomokat tömény NaOH-ban való maratással hívták elő. Az alfa-részecskék pályája mentén kb. 40 mikrométer hosszú, és 10 mikrométer átmérőjű kúpos üregek, maratott nyomok képződtek, amelyek mikroszkóppal jól megfigyelhetők. A maratottonyom-detektoros mérési technikák fejlesztésében az Atomki kiváló eredményeket ért el.

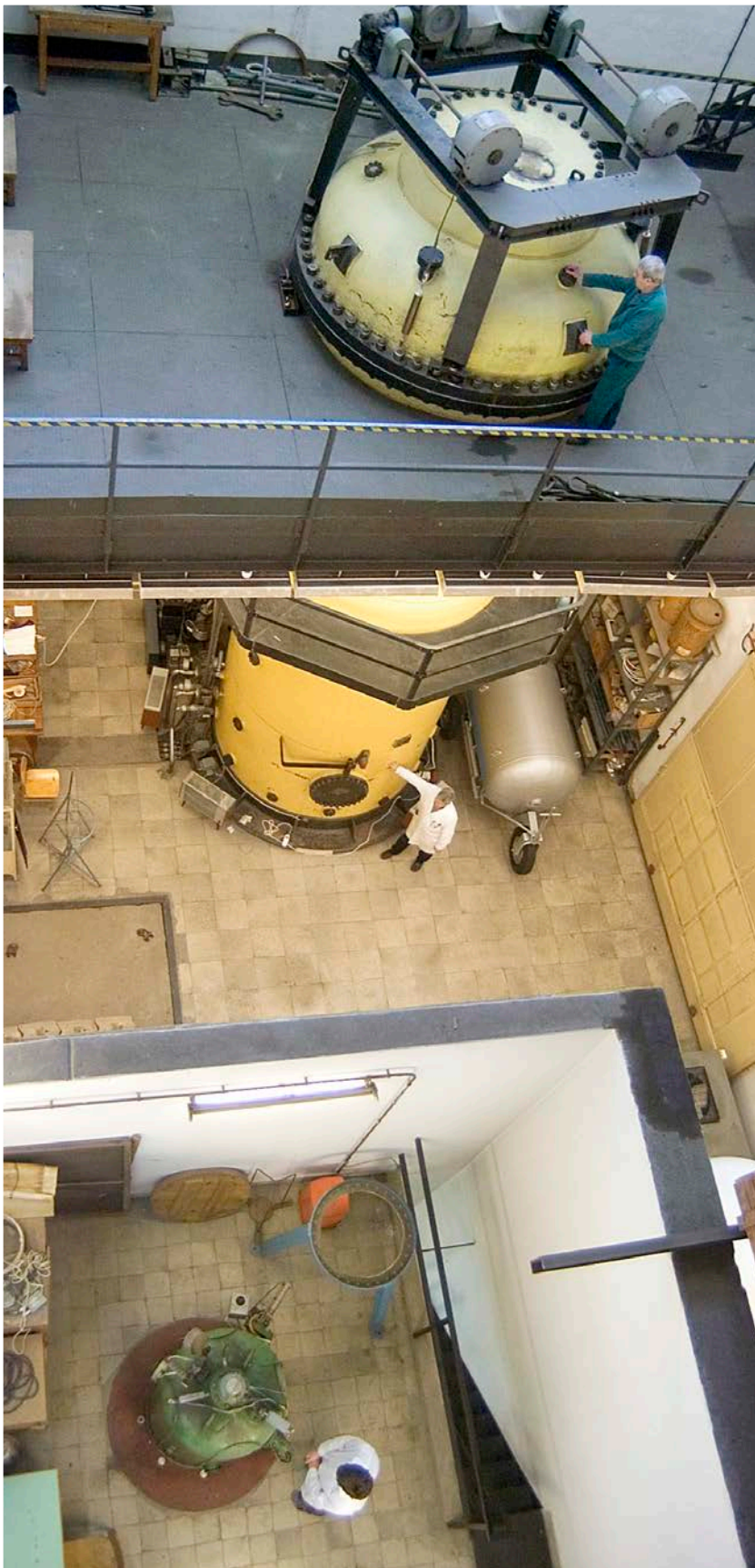
A detektorok sok fajtája az őket érő hatást elektromos jellé alakítja, ami elektronikus úton már jól kezelhető. A képen látható detektorrendszer is ilyen detektorokból áll, nevezetesen 56 darab fényzáró burkolatban elhelyezett négyzetes hasáb alakú CsI(Tl) szcintillációs (fényfelvilánást adó) detektorból. A magfizikai kísérlet során a detektorok és előerősítőik vákuumban vannak. A **DIAMANT**-nak nevezett **detektorrendszer** az Atomki és



egy bordeaux-i csoport közötti együttműködés keretében Atomki-beli detektortechnikai és nukleáris elektronikai fejlesztések alapján készült. A detektorrendszer a könnyű töltött részecskék energiájának, fajtájának és becsapódási időpontjának meghatározására szolgál. A detektorrendszerrel a strasbourg-i IReS laboratóriumban folytatott kísérletek nagyon megnyúlt atommagok keresésére irányultak.

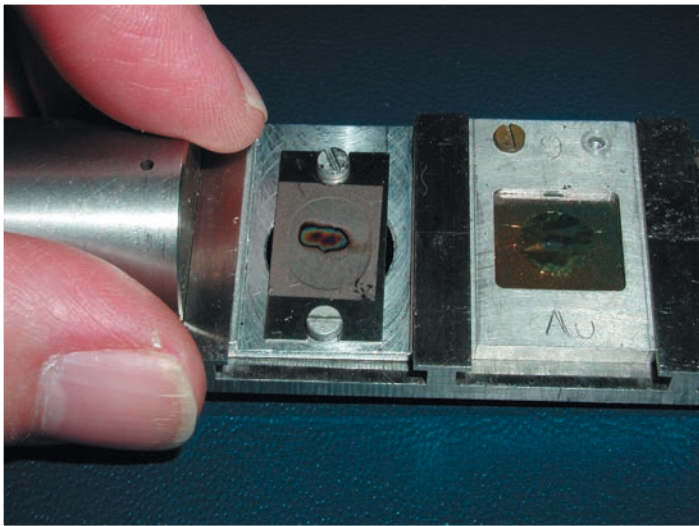
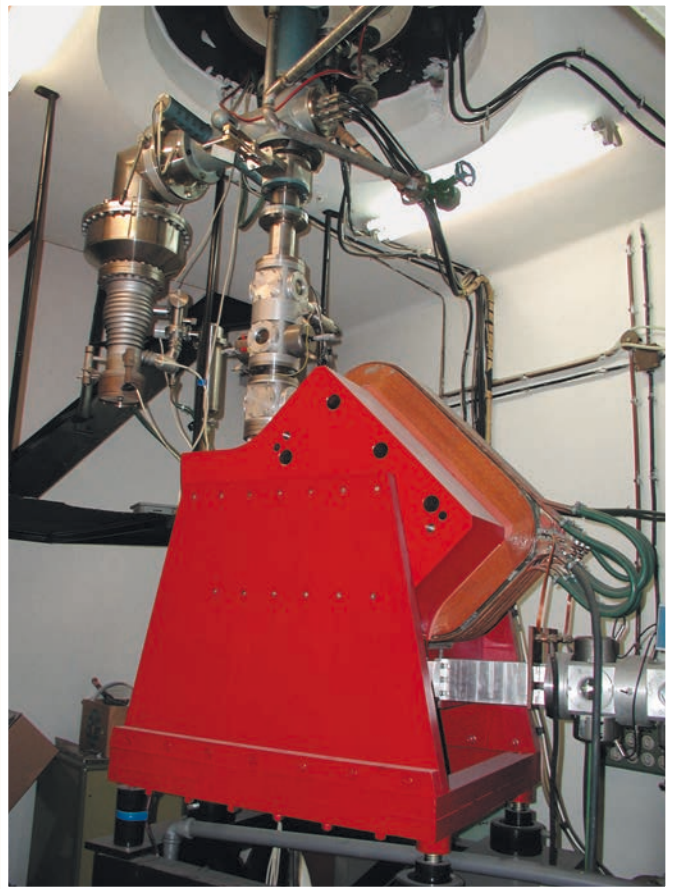


Az előző ábrán látható **DIAMANT** detektorrendszer **jelfeldolgozó elektronikai rendszerének** egyik **egysége**, amely egyidejűleg 8 CsI(Tl) detektor jelének párhuzamos feldolgozását teszi lehetővé. Az egység a beérkező jel alakját vizsgálva állítja elő a részecskére vonatkozó információt. A műszer Atomki-beli fejlesztés eredménye.



Az Atomkiban két **Van de Graaff-típusú gyorsító** van. Ezek saját fejlesztés eredményei, és 1971 óta működnek. A fényképen a gyorsítókat magukba foglaló tartályok láthatók. A sárga tartály az 5 millió voltos gyorsítót, a zöld tartály az 1 millió voltosat tartalmazza. A megadott feszültségértékek azt jelentik, hogy a gyorsító felső részére egy futószalaghoz hasonló szerkezettel annyi elektromos töltést visznek fel, hogy az elektróda feszültsége a földhöz képest 5 MV, illetve 1 MV legyen. Az emiatt előálló elektromos tér gyorsítja fel az oda bejuttatott pozitív töltésű részecskéket. Ilyen nagy feszültségeknél könnyen keletkeznek működést zavaró elektromos kisülések, de ennek kisebb az esélye, ha a gyorsítók több bar nyomású széndioxid és nitrogén keverékével vannak körbevéve. A tartályoknak az a szerepük, hogy ezt a gázkörnyezetet biztosítsák.

Az Atomki Van de Graaff-gyorsítóiban a gyorsítás egy függőlegesen elhelyezett csőben történik. A gyorsítási folyamat végén a függőlegesen repülő részecskéket vízszintes irányba térítik egy elektromágnes segítségével. A képen látható pirosra festett rész az 1 MV-os gyorsító **eltérítő mágnes**. Az eltérítési folyamat az energiapontosság szempontjából is lényeges. A részecskék útja – szokásos kifejezéssel élve: a részecskenyaláb útja – olyan csövek belsejében halad, amelyekből a levegőt kiszivattyúzták. Erre azért van szükség, hogy a gyorsított részecskék a levegő molekuláival ütközve le ne lassuljanak.



A képen két **célvány** látható. A bal oldali célvány 235-ös tömegszámú urán atommagokat tartalmaz urán-oxid formájában. Az urán-oxidot párologtatással vitték fel egy szénből készült vékony fóliára. A szénfólia egy fémlemezken van rajta, a lemezke pedig a célványtartó fémkeretébe van beszerelve. A fólián látható foltok a gyorsított részecskékkel való besugárzástól keletkeztek. A besugárzások célja a 236-os urán atommag alakjának vizsgálata volt. A jobb oldali célvány vékony aranyfólia, amelyet kiegészítő kísérletekben használtak.

A képen két **célvány** látható. A bal oldali célvány 235-ös tömegszámú urán atommagokat tartalmaz urán-oxid formájában. Az urán-oxidot párologtatással vitték fel egy szénből készült vékony fóliára. A szénfólia egy fémlemezken van rajta, a lemezke pedig a célványtartó fémkeretébe van beszerelve. A fólián látható foltok a gyorsított részecskékkel való besugárzástól keletkeztek. A besugárzások célja a 236-os urán atommag alakjának vizsgálata volt. A jobb oldali célvány vékony aranyfólia, amelyet kiegészítő kísérletekben használtak.

TÖRTÉNETI ÖSSZEFOGLALÓ

Ezen ismertető készítésének évében – 2004-ben – az Atomki félévszázados fennállását ünnepli. 1954. július 1. az Atomki alapításának hivatalos időpontja. Az intézet alapító igazgatója Szalay Sándor (1909–1987) volt, a debreceni és a magyar fizika nagy egyénisége. Az ő nevéhez fűződik a magyar magfizikai kutatások elkezdése, és az ő vezetésével vált az Atomki világszerte ismert kutatóintézeté.

Ernest Rutherford angol fizikust szokták az atommag atyjának tekinteni, mert kísérletei alapján ő jött rá a XX. század elején, hogy az anyag tömegének döntő többsége az atomok méreténél százezerszer kisebb sugarú térrészbe, az atom közepén levő atommagba van bezsúfolva. 1936-ban Szalay Sándor ösztöndíjasként fél évig Rutherford mellett dolgozott. Meghatározó élmény volt számára ez a fél év. Magyarországra visszatérve a debreceni egyetemen magfizikai kutatásokat kezdeményezett. A szerény anyagi lehetőségek ellenére – sok ötlettel és heroikus elszántsággal – jelentős eredményeket ért el munkatársaival.

Szalay Sándor akadémikus (1909–1987),
az Atomki alapító igazgatója

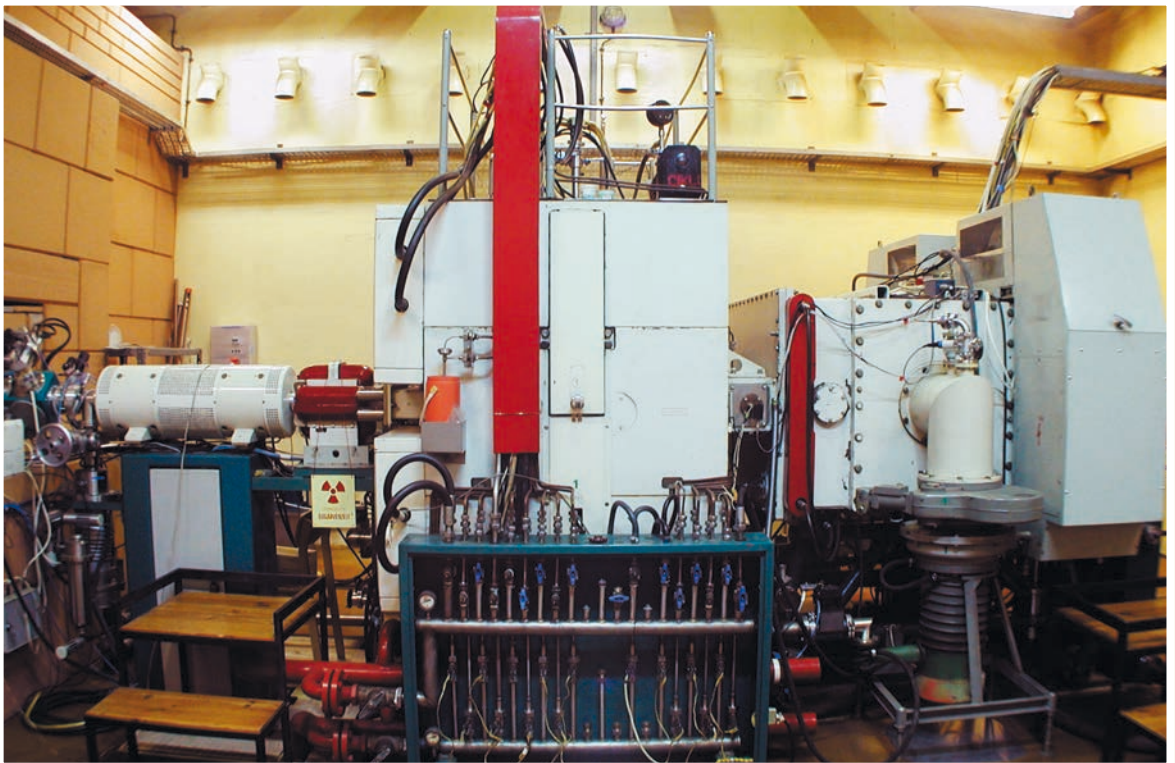


A háború után Szalay Sándor kezdeményezte az uránkutatást Magyarországon, és az ő eredményei nyomán akadtak rá a mecseki uránlelőhelyre. Az urándúsulás mechanizmusát 1950–51-ben meg is magyarázta. Ezzel szerezte tekintélyt, s ezzel teremtette meg az intézetalapítás lehetőségét.

44 fős létszámkerettel, szerény eszközökkel kezdte meg életét az intézet. Az arcukat meghatározó gyorsítók üzembehelyezésének évszámai: 1961: 800 kV-os Cockcroft–Walton-gyorsító, 300 kV-os neutrongenerátor; 1971: 1 MV-os és 5 MV-os Van de Graaff-gyorsító; 1985: ciklotron; 1996: elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) „ionforrás”.

A hidegháborús elszigeteltség korában korszerű nyugati műszerek vásárlása helyett önellátásra kellett berendezkedni. A kényszerűségnek pozitív hatása is volt. A kutatás legtöbb területéhez szorosan kapcsolódó elektronika és vákuumtechnika terén jelentős műszerfejlesztő tevékenység folyt, és ennek eredményei alapján az önellátás mellett még eladásra, exportra is készültek műszerek. Így például kvadrupólus tömegspektrométerekből jelentős volt az export. Az 1990-es évek elején a nemzetközi piac nyílttá vált, és ez a műszergyártás megszűnéséhez vezetett. Az Atomki létszáma ekkor a korábbi 300 főről 200 alá csökkent, de a kutatási kapacitás nem csökkent, és a hozzá kapcsolódó alkalmazások megmaradtak, és azóta egyre nőnek. A kutatás pénzügyi ellátásában a pályázati rendszer gyakorlattá vált, a nemzetközi kapcsolatok megerősödtek. Az Atomki kezdett hasonlítani azokhoz az intézetekhez, amelyeket korábban a „szabad világ”-ban láttunk. Magyarország tagja lett a genfi Európai Atommagkutató Központnak (ismert francia rövidített nevén: a CERN-nek), és ez az Atomki számára is adott új lehetőségeket. Jelenleg kb. 110 témában folyik erőteljes együttműködés külföldi intézményekkel.

Szalay Sándor 1954-től 1975-ig volt az Atomki igazgatója. A második igazgató Berényi Dénes volt 1976-tól 1989-ig, őt követte Pálinkás József 1990-től 1996-ig. Az intézetet jelenleg Lovas Rezső irányítja 1997 óta.



Magyarország legnagyobb gyorsítója a képen látható **ciklotron**, amely 1985 óta működik az Atomki-ban. A leningrádi (ma: Szentpétervár) Jefremov Intézetben készült. A Van de Graaff-gyorsítótól eltérően a gyorsítás itt nem egy egyenes mentén, hanem közelítőleg körpályák mentén, több ciklusban történik. Protonok esetén a maximális mozgási energia névleges értéke 20 millió elektronvolt (20 MeV), ami olyan egyenes menti gyorsításnak felel meg, amelynél a feszültségkülönbség 20 millió volt.



Az Atomki ciklotronjának **vezérlő** helyisége

A GYORSÍTÓK PARAMÉTEREI

Ciklotron

Energiastabilitás: 0,3% (analizáló mágnes után 0,1%)

Ionok	Energia	Max. ionáram
H ⁺	2–20 MeV	50 μA
D ⁺	1–10 MeV	50 μA
³ He ⁺⁺	4–26 MeV	25 μA
⁴ He ⁺⁺	2–20 MeV	25 μA

5 MV-os Van de Graaff-gyorsító

Névleges feszültség: 5 MV

Energiastabilitás: < 1 kV

Ionok	Max. ionáram
H ⁺	10 μA
³ He ⁺ , ⁴ He ⁺	20 μA
C ⁺ , N ⁺ , O ⁺ , Ne ⁺	1–2 μA

1 MV-os Van de Graaff-gyorsító

Névleges feszültség: 1 MV

Ionok	Max. ionáram
³ He ⁺ , ⁴ He ⁺	5 μA



A radioaktív bomlás és a gyorsítók működése során olyan sugárzások keletkeznek, amelyek károsak lehetnek az emberi szervezetre. Ezért a kockázatot csökkenteni kell. A gyorsítók, valamint a kísérletekre szolgáló helyiségek több méter vastag betonfallal vannak körülvéve, amely elnyeli a sugárzást. Automatikus reteszelő-rendszer biztosítja, hogy a működés ideje alatt a betonajtókat ne lehessen kinyitni, így olyankor senki sem juthat be a sugárzási térbe. Fontos eleme a sugárvédelemnek a **sugármérő detektorok** használata. A képen látható detektorokat a ciklotronlaboratóriumban használják ellenőrzésre.

A KUTATÁSI TÉMÁK ÁTTEKINTÉSE

Az atomok a tudományos közbeszédbe a XIX. században vonultak be, az atommagok a XX. század elején, az elemi részecskék pedig a XX. század derekán. Ezek a diszciplínák az Atomki életében más sorrendben váltak fontossá. Az intézet az atommagok kutatására jött létre. Két évtized múltán került előtérbe, hogy a gyorsítók segítségével nagyon sok atomfizikai (azaz az atomi elektronhéjak fizikájával kapcsolatos) problémát is tisztázni lehet, és akkor kezdődtek az atomfizikai kutatások. Újabb majdnem két évtized után az elemi részecskék fizikája is helyet kapott az Atomkiban, a CERN-i lehetőségekhez kapcsolódva. Ebben a fejezetben az Atomki kutatási témáit tekintjük át, és egy harmadik sorrendet követünk: elindulunk a legkisebbektől, a részecskéktől, azután következnek az ilyenekből felépülő atommagok, az atommagokat magukba foglaló atomok, majd az atomok alkotta szilárd anyagok. Az intézet kutatótevékenysége nem korlátozódik e négy tudományágra. Más területeken is folyik kutatás, és a módszereket és eredményeket közvetlenül is hasznosítjuk. Áttekintésünkben a témacímek pusztá felsorolására szorítkozzunk, mert különben meghaladnánk a füzet tervezett terjedelmét. Tömörségéből adódóan ez a lista elsősorban a szakember olvasó tájékoztatását szolgálja.

Részecskefizika

- Kvantum-szindinamikai sugárzási korrekciók számítása
- Nagy energiájú elemirész-ütközések leggyakoribb végállapotainak, a többszörös részecsképzés keletkezésének elméleti leírása
- Műszerfejlesztés a CERN Nagy Hadronütköztető nevű gyorsítójához tervezett „kompakt müonszolenoid”-nak nevezett detektor-rendszer számára
- Elektronikai alkatrészecskék sugárkárosodásának vizsgálata a részecskefizika és az űrkutatás számára
- A CPT-invariancia ellenőrzése (változatlanok maradnak-e a természettörvények a töltéskonjugálás, továbbá a tér- és az időtükrözés együttesével szemben) a CERN antiproton-lassítójánál az ASACUSA együttműködés keretében

Magfizika

- A PT-szimmetriát (egyidejű tér- és időtükrözési szimmetriát) mutató kvantummechanikai rendszerek vizsgálata
- Az atommagok kötésienergia-szisztematikájának értelmezése szimmetria-megfontolások alapján
- A nukleonok atommagokbeli csomókba rendeződése és a hozzá kapcsolódó egzotikus bomlásmódok értelmezése
- A nukleon-elhullató vonalakhoz közeli atommagok leírása
- Rezonanciaállapotok tulajdonságainak vizsgálata és alkalmazásuk bomló és gyengén kötött magállapotokra
- Néhánytest-rendszerek közelítő és elvben egzakt leírása
- A atommagok 3:1 tengelyarányú (hiperdeformált) állapotainak vizsgálata
- Mérések nehéz magok neutron- és protoneloszlási sugarainak különbségére és a maganyag szimmetriaenergiájára
- Az atommagok háromtengelyűségének vizsgálata erős pörgést mutató magállapotokra végzett kísérletekben
- Az héjlezárodás vizsgálata az ^{100}Sn körüli atommagokban
- Asztrofizikai problémák magfizikai aspektusainak kísérleti tanulmányozása
- A Nap-neutrínó-probléma reakcióinak vizsgálata külföldi laboratóriumokban az Atomki ciklotronján előállított radioaktív izotóp felhasználásával
- Egzotikus atommagok tanulmányozása a japáni RIKEN-ben radioaktívionnyaláb-szeparátor segítségével
- Magreakció-adatok mérése, rendszerezése és értelmezése a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség megbízásából
- Új eljárások PET-vizsgálatokhoz hasznos radioizotópok termelésére
- A vékonyréteg-aktivációs módszer alkalmazása mechanikai kopások vizsgálatára

Atomfizika

- Ion-atom ütközések közben kirepülő nagy energiájú elektronok gyorsulási mechanizmusának vizsgálata
- Vizsgálatok céltárgyatomok elektronjainak ion-, atom-, molekula- és pozitronlövédék terében kialakuló folytonos energiájú állapotokba való befogására
- Ütközésekben végbemenő elektronvesztési folyamat vizsgálata molekulalövedék és hasonló sebességű atom esetén
- Atomi ütközési folyamatok kvantummechanikai és félklasszikus leírása
- Kis energiájú fotoionizáció analízise szinkrotronok röntgennyalábjára telepített elektronspektrométerrel
- Újfajta szénplazmák és szénnyalábok előállítására elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) nehézion-forrással
- Erősen ionizált plazma tulajdonságainak vizsgálata a kilépő elektromágneses sugárzás detektálásával
- Nagy töltésű ionok és mikrokapilláris-felületek kölcsönhatásának vizsgálata

Szilárdtest- és felületfizika, anyagtudomány és statisztikus fizika

- Az atomi környezet Auger-átmenetekre gyakorolt hatásának és az elektronok szilárd anyagokban végbemenő szóródásának kutatása elektronspektroszkópiai módszerekkel
- A mágneses örvényrács dinamikai tulajdonságainak vizsgálata magas hőmérsékletű szupravezetőkben
- Nanoszerkezetek mágneses, diffúziós és optikai jellemzőinek kutatása
- Mintázat-kialakulás és statisztikai fizikai optimalizációs problémák megoldása

Detektálási és jelfeldolgozási technika

- Magsugárzás-detektorok kutatása és fejlesztése
- Félvezető detektorok foton spektrumának kiszélesedését okozó mechanizmusok vizsgálata
- Módszertani kutatások magsugárzás-detektorok jeleinek újfajta analóg és digitális módszerekkel való feldolgozására
- Az orvosi és gyógyszerkutatást, valamint az egyetemi oktatást szolgáló elektronikai fejlesztések

Ionnyaláb-analitika

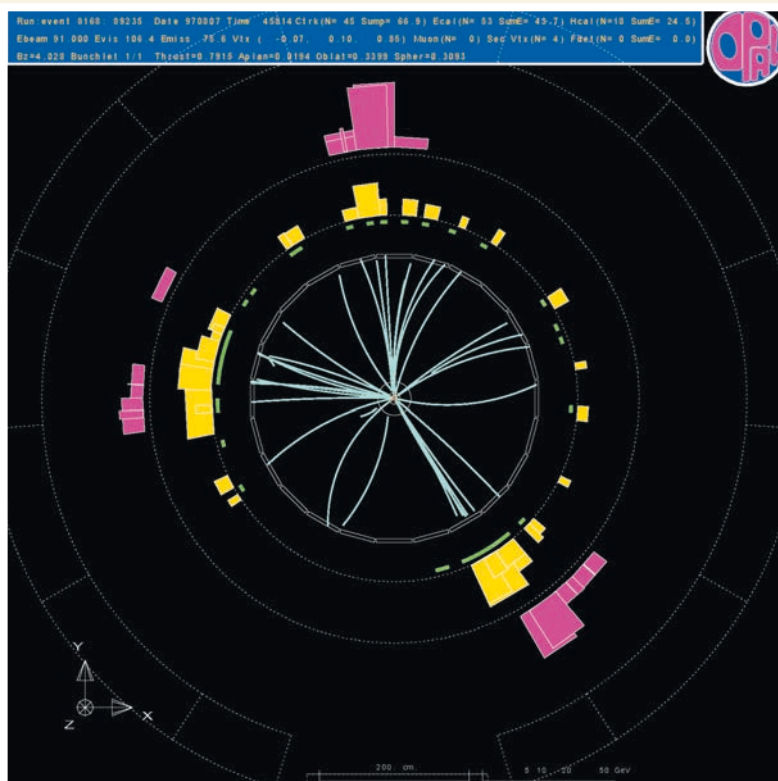
- Geológiai, környezettudományi, anyagtudományi, biológiai és régészeti vizsgálatok ionnyaláb-analitikai módszerekkel (protonnal indukált röntgenátmenetek analízisével, Rutherford-visszaszórással, magreakció-analízissel)
- Műanyagok protonsugaras mikromegmunkálása

Környezetanalitika és kormeghatározás

- Vízbázisok sérülékenységének, nukleáris létesítmények környezeti hatásainak és az éghajlat- és vegetációtörténet egyes elemeinek tanulmányozása tömegspektrométeres analitikával és radiokarbonos módszerrel
- Földtörténeti kutatások kálium–argon módszerrel
- A természetes eredetű radon természetes és épített környezetben való terjedésének tanulmányozása
- Új, nagyérzékenységű maratottnyom-detektoros mérési technikák kidolgozása és dozimetriai alkalmazása

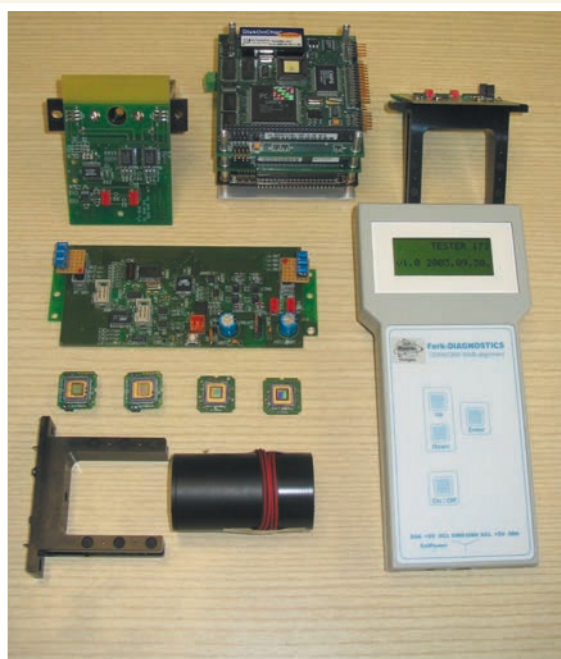
Radiokémia

- A helyben termelt sugárzó izotópokkal jelzett gyógyszerészeti hatóanyagok előállításának kutatása az egyelektronos (SPECT) és a pozitronemissziós (PET) tomográfia céljára



Az Atomki kutatói részt vettek a **CERN**-ben az **OPAL** nevű kísérletsorozatban. Nagyenergiájú elektron–pozitron ütközést követő sokrészecskés folyamatokat tanulmányoztak. Sok eseményt vizsgáltak meg ahhoz, hogy megbízható megállapításokat tehessenek. A kísérleti adatok feldolgozása évekig tartó munka. A képen egy esemény nyomdetektor rögzítette képe látható az ütköző nyálábok irányából nézve. A kék vonalak a töltött részecskék nyomait mutatják a detektor 5 m átmérőjű kamráiban: a mágneses térben nyert görbületükből meghatározható a részecskék töltése és impulzusa (lendülete). A színes idomok a detektált részecskék

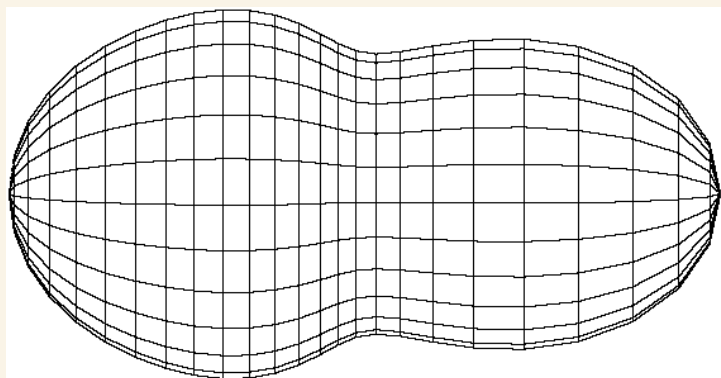
különbéféle jellemzőit szemléltetik. A kísérletek a részecskék összetételének és kölcsönhatásainak megértéséhez vezetnek. (A nukleonok összetettek – alkatrészeit kvarkoknak nevezték el –, és fény derült kölcsönhatásuk természetére, amelyet a kvantum-színdinamika nevű elmélet ír le.)



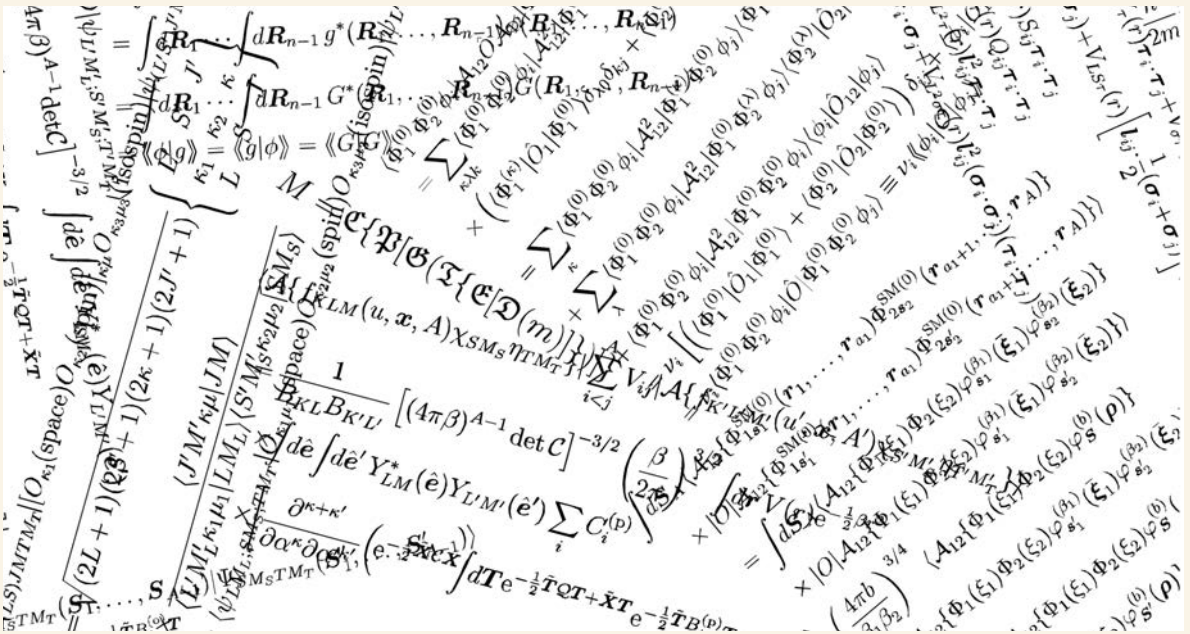
Az elemi részecskék vizsgálatának minden eddigénél hatásosabb eszköze lesz a **CERN Nagy Hadronütköztető** nevű gyorsítója, amely a tervek szerint 2007-ben kezdi meg működését. A gyorsítóval egy időben több nagy detektorrendszer is épül. A kompakt müonszolenoid (**CMS**) nevű rendszer építésében az Atomki kutatói is részt vesznek. A CMS müondetektorait nagyon pontosan kell beállítani, és tekintettel a rendszer nagy méreteire és 12500 tonnás tömegére, ezt nem könnyű megvalósítani. Az Atomkiban folyó műszerfejlesztés eredményeként a müondetektorok helyzetét 20 μm pontossággal lehet majd mérni. Ehhez 10 000 db LED fényforrás, 700 db videokamera és 50-számítógépes lokális hálózat kell, s ennek megvalósítása folyamatban van. A fényképen a Debrecenben kifejlesztett egységek (PC-104 számítógép, LED fényforrások, videoérzékelők, diagnosztikai egység) láthatók.



Mágneses térben repülő töltött részecskére erő hat, amely eltéríti eredeti irányától. Ez ad lehetőséget a gyorsítók részecskenyalábjának az irányítására. Ugyanezt a hatást fel lehet használni a részecskék energiájának mérésére is. A képen látható **mágneses spektrográfot** magfizikai kísérletekben használják. A ciklotronnal besugárzott céltárgyból töltött részecskék lépnek ki, és a kísérlet egyik célja e részecskék energiájának meghatározása. A repülő részecskéket beengedik a spektrográf belsőjébe, ahol a mágneses tér hatására körívet írnak le. A körpálya sugara függ a részecske sebességétől és így az energiájától is. A részecske végül egy detektorba csapódik be, és becsapódási helyéből meghatározható a körpálya sugara, abból pedig a részecske energiája.



Az előző képen látható spektrográffal olyan kísérletek folytak, amelyeknek célja az ^{236}U atommag alakjának a vizsgálata volt. A kísérletek tanúsága szerint az ^{236}U atommagnak vannak igen megnyúlt alakú állapotai. A képen ábrázolt mag háromszor olyan hosszú, mint amilyen vastag. Az ilyen állapotokat **hiperdeformált állapotoknak** nevezzük.



A fizikai alapkutatáshoz nélkülözhetetlen az **elméleti fizikai** tudás, ha pedig az megvan, jöhet az elméleti fizikai kutatás! Ennek alapja a mikrovilág törvényeit leíró kvantummechanika. Az Atomki elméleti fizikusai részecskék, magok, atomok, molekulák szerkezetét, ütközéseit tanulmányozzák, a rendszerek szimmetriáira, bomlékonyságára s az alkatrészek csomókba rendeződésére való tekintettel.

Az Atomkiban rendszeresen tartanak nemzetközi tudományos konferenciákat. Az Atomki kutatóinak egy csoportja a ciklotronon végzett kísérleteken kívül külföldön is folytat olyan magfizikai kísérleteket, amelyek eredményeit az asztrofizikában használják fel. Az eredmények jelentőségét az is mutatja, hogy ebben a témában sikeres konferencia zajlott le az Atomkiban 2002-ben. A fénykép a **konferencia** résztvevőiről készült.

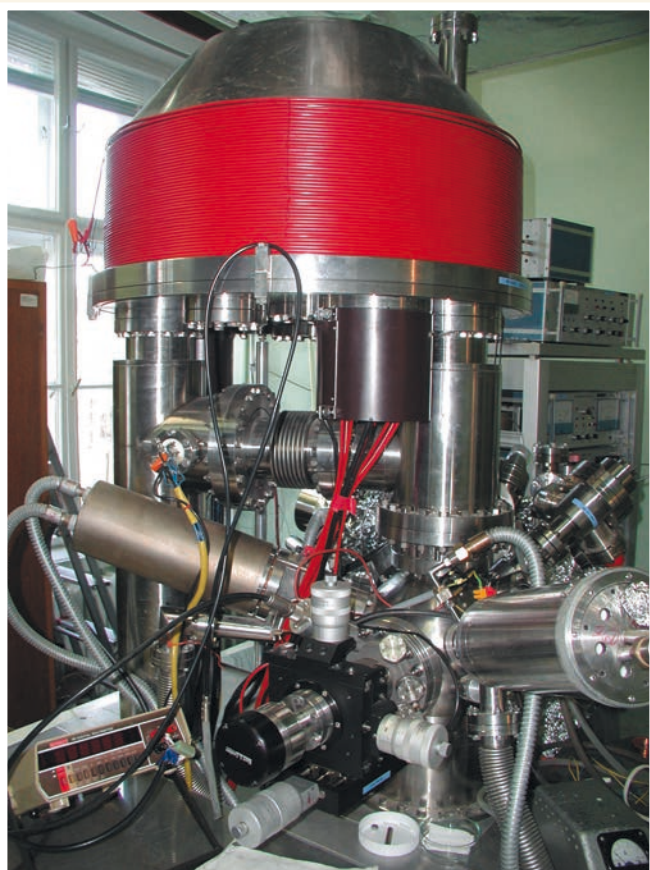




A képen látható **vákuumkamra** a ciklotron egyik nyalábcatornájára van felszerelve. Belsejében körben félvezető-detektorok vannak, amelyekkel a kamra közepére helyezett céltárgyból kirepülő részecskék adatai mérhetők. Számos kísérletben a ciklotronból jövő gyorsított részecskék olyan magfolyamatokat idéznek elő

a céltárgyban, amelynek a csillagok belsejében szokásosak, s ezek valószínűségének megméréseivel fontos adatokat kapnak az asztrofizika számára.

Ha egy szilárd anyagminta felületét ismert energiájú röntgensugárzás éri, és a sugárzás által kiütött fotoelektronok energiáját pontosan megmérjük, akkor a két energia különbségéből azonosítani tudjuk, hogy mely elem atomját találta el a foton, sőt, sok esetben azt is meg tudhatjuk, hogy az elem milyen kémiai állapotban van (pl. elemként vagy oxid formájában). Egy elem jelenlétének kimutatásához az is elég, ha csak a minta legfelső atomi rétegében és csak néhány százalékban fordul elő. Ennek az analitikai módszernek az alkalmazási területe a fizikai, kémiai, anyagtudományi kutatásoktól a csúcstechnológiákat használó iparágakig terjed. Az **ESA-31** nevű **elektron spektrométert** ábrázoló kép alsó részén látható a berendezés ultravákuumos mérőkamrája és besugárzó röntgenforrásai, a felső részen pedig az elektronok energiáját mérő egység.





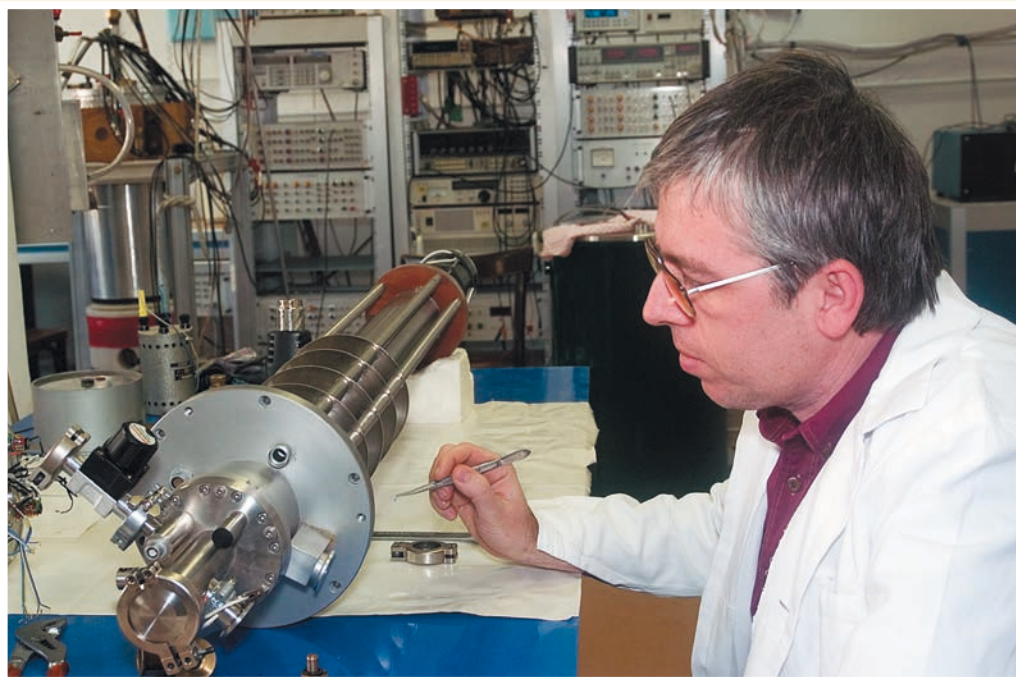
A kis energiájú elektron-spektroszkópia módszerre széles körben használatos, mert gerjesztés hatására a mintából kilépő elektronok energia- és szögeloszlásából következtetni lehet a mintát alkotó atomok, molekulák és szilárd testek szerkezetére. Az Atomkiban több berendezést építettek e célra. A képen látható **ESA-22** olyan egyedülálló **elektron-spektrométer**, amely a mintákból származó elektronok energiájának

és szögeloszlásának egyidejű analizésére képes. A spektrométert sok helyütt beborító alumíniumfólia az alatta levő fűtőszálak hatékonyságát fokozza. A fűtőszálak elősegítik a spektrométer belsejében az igen jó légritka tér (ultravákuum) kialakulását.

Földi környezetben az anyag részecskéi többnyire elektromosan semleges állapotban vannak. A gyorsítók ionforrásnak nevezett részében lefosztják a semleges atomokról az elektronokat. A képen az Atomkiban épített **elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) nehézion-forrás** látható. A berendezés neve a lefosztási folyamatra utal: erős mágneses térben mikrohullám ionizálja az atomokat. Az ionforrással majd minden elem és számos molekula ionizálható szinte tetszőleges mértékben. Ez Kelet-Közép-Európa egyetlen ilyen berendezése. Az előállított ionok tovább gyorsíthatók, de a berendezést jelenleg önállóan használják. Egyrészt az ionizált gáz tulajdonságait vizsgálják, másrészt atomfizikai kutatást folytatnak a kis energiájú, de nagy töltésű ionokkal.



Az alacsony hőmérsékletek fizikájának nagy problémája az **új típusú szupravezetők** működési mechanizmusának és viselkedésének a megértése. A képen látható berendezéssel a különféle mágneses és szupravezető szilárd testekből készített minták elektromos és mágneses jellemzőit különleges körülmények között lehet mérni. A hengerszerű mintakamrát a behelyezett anyaggal együtt lehűtik. A hőmérséklet $-268,9^{\circ}\text{C}$ -tól szobahőmérsékletig változtatható, a mágneses indukció nagysága 0-tól 8 tesláig növelhető.



A gyorsított részecskenyaláb több irányba, „mérőcsatornába” eltéríthető. Minden mérőcsatorna egyedien van felszerelve, más-más típusú kísérletek számára. A kép az 5 millió voltos **Van de Graaff-gyorsító mérőcsatornáit** mutatja. Azt, hogy a nyaláb merre menjen, egy elektromágnes (pirosra festett rész a kép előterében) segítségével lehet kiválasztani.



Több módszer van, amellyel meg lehet határozni egy anyagminta elemösszetételét, ha a mintát céltárgyként használva gyorsító részecskenyalábjával besugározzuk. Néha az anyag apró szemcséinek az összetételét akarjuk megismerni. Ehhez a szokásos néhány mm átmérő-

jű részecskenyaláb túl vastag. A képen látható **pásztázó nukleáris mikroszondának** nevezett szerkezettel a nyaláb néhány mikron átmérőjűre fókuszálható. A mikronyaláb pásztázó mozgatására is lehetőség van, így a céltárgy térképszerű elemeloszlása meghatározható. A mikroszonda az 5 MV-os Van de Graaff-gyorsító egyik csatornájára van felszerelve.



A képen az Arizona államban lévő **Barringer-kráter** látható. Az 1,2 km átmérőjű krátert kb. 50 ezer évvel ezelőtt egy hatalmas meteor becsapódása hozta létre. A meteor anyaga feltételezhetően Naprendszerünk egyik kisbolygójából származott. Régóta folyik a kráter tudományos vizsgálata, és ezekbe az Atomki is bekapcsolódott. Az ütközés során a meteor és a földi kőzet anyaga felforrósodott, szétfroccsent, és megszilárdulása során kis gömb alakú anyagszemcsék (szferulák) is keletkeztek. Ezek apró ($\sim 30 \mu\text{m}$) zárványok formájában tartalmazzák a meteor anyagát. A szferulák összetételének ismerete így kozmológiai következtetésekre vezethet. Az előző képen látható mikroszondával ilyen vizsgálatokat is végeztek.



A természetben előforduló urán és tórium radioaktív bomlása során **radon** nemesgáz is keletkezik, amely maga is radioaktív. Az embert érő természetes sugárterhelés legnagyobb része a talajból az épületekbe szivárgó radon belégzéséből származik. Az Atomki munkatársai módszert dolgoztak ki egy lakásépítésre kijelölt terület radonveszélyességének meghatározására. A képen látható eszközökkel mérik a talaj radonkibocsátását, s ebből megbecülik, hogy azon a területen szükség van-e különleges radonbiztos építési technológiák alkalmazására.



Egy tárgyban, anyagban található elemek izotóparánya a dolog eredetéről, történetéről árulkodik. Az Atomki környezetanalitikai laboratóriuma földtani, hidrológiai (a természeti vizekre vonatkozó) kérdések megválaszolásával foglalkozik. Ennek érdekében fejlesztették ki a képen látható **izotóparány-mérő tömegspektrométert**, amellyel öt elem (S, C, H, O, N) izotópjainak arányát számítógép-vezérelten lehet mérni. Vizek eredetét, keveredési arányait, vízbázisok sérülékenységét vizsgálják, a vizekbe került szulfát és nitrát eredetét határozzák meg. Szénizotóp-arány mérése lehetővé teszi a mézbe kevert izocukor leleplezését is.

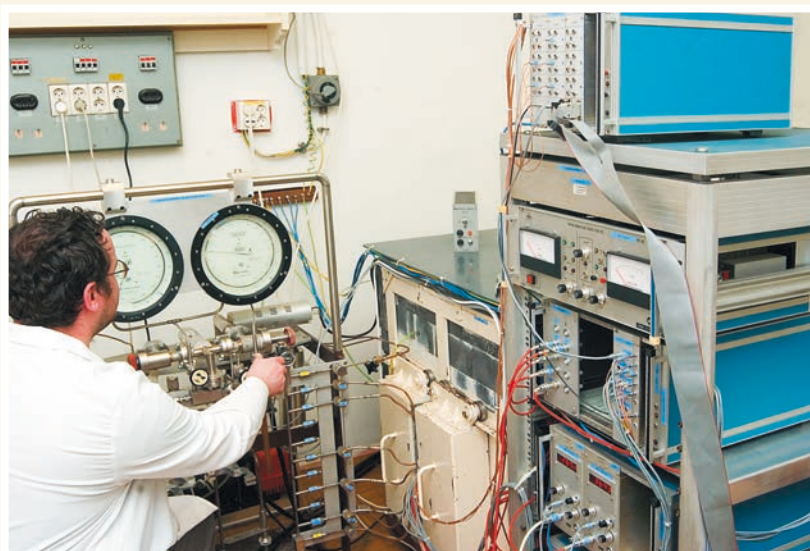


A **trícium** a hidrogénnek olyan izotópja, amelynek a magjában egy proton mellett két neutron is van (^3H). Ez az atommag radioaktív, s bomlása során héliummá (^3He -má) alakul. A vizek trícium tartalma eredetükről, szennyezettségükről árulkodik. A tríciumtartalomra a ^3He mennyiségének **tömegspektrométeres**

méréséből következtethetünk. A képen egy e célra szolgáló tömegspektrométer látható. Ezzel nukleáris biztonsági elemzéseket, radioaktív hulladék-tárolók lehetséges helyének felmérését segítő vízvizsgálatokat és földtörténeti kutatásokat végeznek.

A természetes szén túlnyomó része ^{12}C izotóp, melynek magja 12 nukleont – a 6 proton mellett 6 neutron – tartalmaz. Nagyon kis mennyiségben előfordul azonban a 8 neutronot tartalmazó ^{14}C izotóp is. Ez a légkörben a kozmikus sugárzás hatására folyamatosan keletkezik, és radioaktív, tehát bomlékony. Az élő szervezetek beépítik testükbe a ^{14}C -et is, de pusztulásuk után – az anyagcserével együtt – ez a beépülés megszakad. A ^{14}C -es izotóp felezési ideje 5730 év.

Ha megmérjük, hogy egy tárgyban, csontban mekkora hányad ^{14}C maradt, akkor meghatározható, mennyi idővel ezelőtt vált élettelené. A képen az Atomkiban kifejlesztett **^{14}C -mérőrendszer** látható. Az Atomki jelentős szerepet vállal régészeti leletek korának meghatározásában.

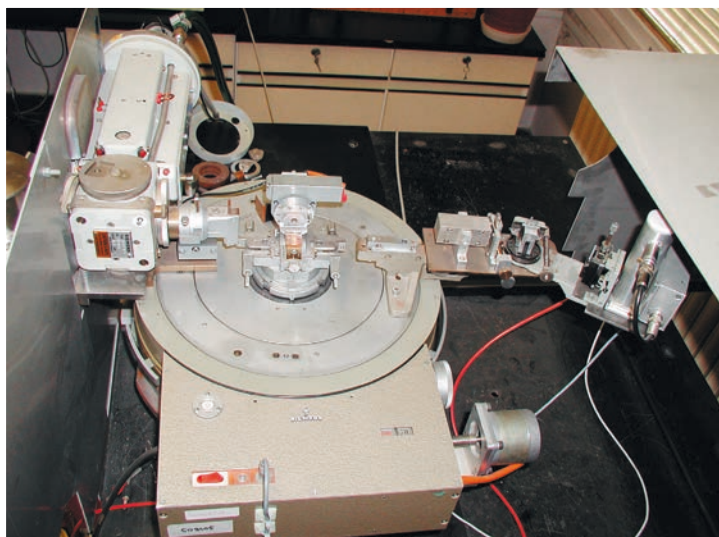


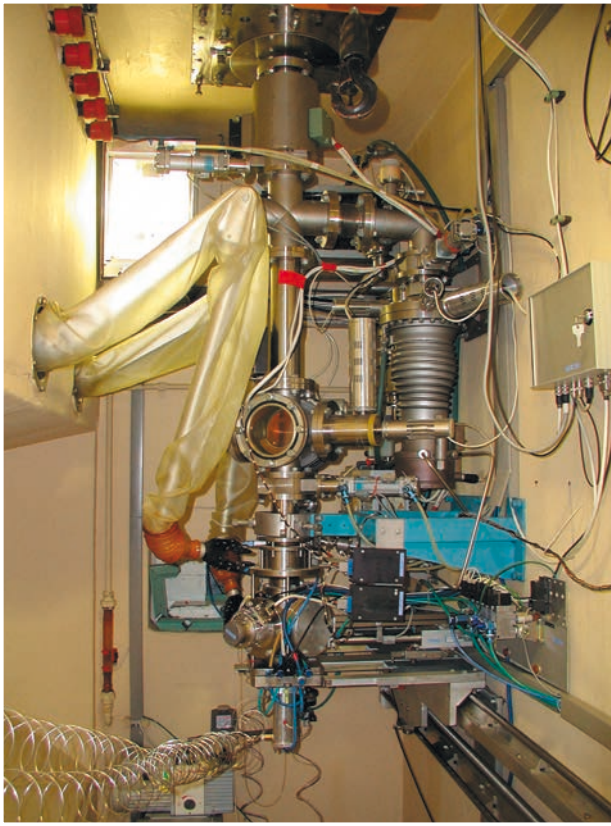


A kőzetek földtani korának meghatározására szolgáló **kálium–argon módszer** a ^{40}K izotóp radioaktív bomlásán alapul, amelynek során ^{40}Ar izotóp keletkezik. A magas hőmérsékletű kőzetekben oldott Ar-ban az Ar izotópösszetétele olyan, mint az atmoszférában. A lehűlt kőzetben a ^{40}Ar mennyisége növekedni kezd. A többlet- ^{40}Ar mérésével megállapítható a kőzet megszilárdulása óta

eltelt idő, a kőzet „kora”. Az utóbbi fél évszázadban a K/Ar módszer a földtörténeti kutatások nélkülözhetetlen eszközévé vált, segítségével pl. vulkáni működés, hegységképződés, ércesedés kora határozható meg. Az Atomki laboratóriumában elsősorban a Kárpát-medencének és környékének földtörténetét kutatják. A képen az argon izotóparányának meghatározására szolgáló tömegspektrométer és mintaelőkészítő egysége látható. Mindkét műszer az Atomkiban készült.

Fém, félvezető vagy szigetelő anyagát elporlasztva vagy más módon szétosztva igen vékony (nanométeres nagyságrendű) anyagrétegeket lehet készíteni. Az ilyen rétegszerkezetek sok technikai eszközben felhasználhatók, ezért fizikai tulajdonságaik vizsgálata nagy jelentőséggel bír. A képen látható **röntgendiffraktométer** a kristályrácsokon elhajló-visszaverődő röntgensugár révén képet rajzol a vizsgált minta kristályszerkezetéről. A mintát a berendezés közepén levő tartóba helyezik, és a bal oldalon lévő röntgenforrásból változtatható szög alatt röntgensugarakat bocsátanak rá. A mintáról jövő sugarakat a jobb oldalon lévő detektor észleli. A detektor helyzete is változtatható.





A gyorsítók nemcsak a természeti törvények feltárásában fontosak, hanem gyakorlati célokra is alkalmazhatók. Az Atomki ciklotronjával leggyakrabban orvosi vagy ipari célú nyomjelzési vizsgálatokhoz állítanak elő radioaktív anyagot. Az előállítás első lépése a megfelelően kiválasztott céltárgy besugárzása a gyorsított részecskék – rendszerint protonok – nyalábjával. A képen egy olyan **besugárzókamra** látható, amelybe az eredetileg vízszintes irányba gyorsított részecskéket egy mágnes segítségével függőlegesen vezetnek be. A besugárzás után a keletkezett anyagot kémiai eljárásokkal készítik elő a felhasználásra.

Az előállított anyag erősen sugárzik, s ez veszélyes lehetne a vele dolgozóra. A sugárveszély ellen védekezni kell. A sugárzó anyaghoz közel menni nem szabad, sugárvédelmi fal közbeiktatásával manipulátorok használatával kell mozgatni azt a kémiai eljárások előtt és alatt. A kép a védőfal biztonságos oldala felől mutatja a **manipulátor** használatát. A manipulátorkarnak a védőfalon túli része az előző képen is látható.



Az Atomki ciklotron-laboratóriumában található a Debreceni Egyetem **pozitronemissziós tomográfja** (PET).

Itt történik az előállított radioaktív izotópok legfontosabb orvosi felhasználása. A radioaktív izotópot (^{18}F -at, ^{11}C -et vagy ^{15}O -öt) megfelelő vegyület formájában a vizsgálandó személy szervezetébe injekciózzák.

A sugárzó anyag a vérárammal eljut például az

agyba is, és az agyműködésre jellemző módon oszlik el. Ha ezt az eloszlást, ennek időbeli lefolyását sikerül meghatározni, abból tumordiagnosztikai vagy más orvosi következtetést lehet levonni. Ennek a térbeli eloszlásnak a kimérése valósul meg a PET-tel oly módon, hogy az izotóp pozitronbomlását követő gamma-sugárzást mérik a vizsgálandó személy fejét körülvevő szcintillációs detektorok segítségével. (A pozitron az elektron pozitív töltésű párja. Egy elektronnal találkozva az elektron-pozitron pár két gamma-fotonná „sugárzódik szét”, amelyek egymással ellentétes irányban észlelhetők. A két gamma-foton elárulja, a testnek melyik egyenesé mentén történt a szétsugárzás.)



Az Atomki és a Debreceni Egyetem együttműködésének része egy közös tanszék, az Atomki területén működő Környezetfizikai Tanszék. A kép egy **laboratóriumi gyakorlaton** készült, amelynek során a hallgatók alfa- és béta-sugárzások tulajdonságait mérik.

Igazgató:	Lovas Rezső, a fiz. tud. doktora
Igazgatóhelyettesek:	Kiss Árpád Zoltán, a fiz. tud. doktora Mészáros Sándor, a fiz. tud. kandidátusa
Gazdasági igazgató:	Pálinkás Miklósné dr.

-
- Titkárság (tudományos főtitkár: Kovách Ádám, a fiz. tud. kandidátusa)
 - Könyvtár (könyvtárvezető: dr. Nagy Józsefné)
 - Pénzügyi és Számviteli Osztály (oszt.-vez.: Sass Imréné)
 - Üzemeltetési és Ellátási Osztály (oszt.-vez.: Katona István)
 - Mechanikai Műhely (vez.: Gál István)

Tudományos osztályok

Magfizikai Főosztály (főoszt.-vez.: Cseh József, a fiz. tud. doktora)

- Kísérleti Magfizikai Osztály (oszt.-vez.: Krasznahorkay Attila, az MTA doktora)
- Elektrosztatikus Gyorsítók Osztálya (oszt.-vez.: Fülöp Zsolt, Ph.D.)
 - Nukleáris asztrofizikai csoport
 - Ionnyaláb-analitikai csoport
- Elméleti Fizikai Osztály (oszt.-vez.: Vertse Tamás, az MTA doktora)

Atomfizikai Főosztály (főoszt.-vez.: Kövér Ákos, az MTA doktora)

- Atomi Ütközések Osztálya (oszt.-vez.: Sarkadi László, a fiz. tud. doktora)
- Elektronspektroszkópiai Osztály (oszt.-vez.: Varga Dezső, a fiz. tud. kandidátusa)

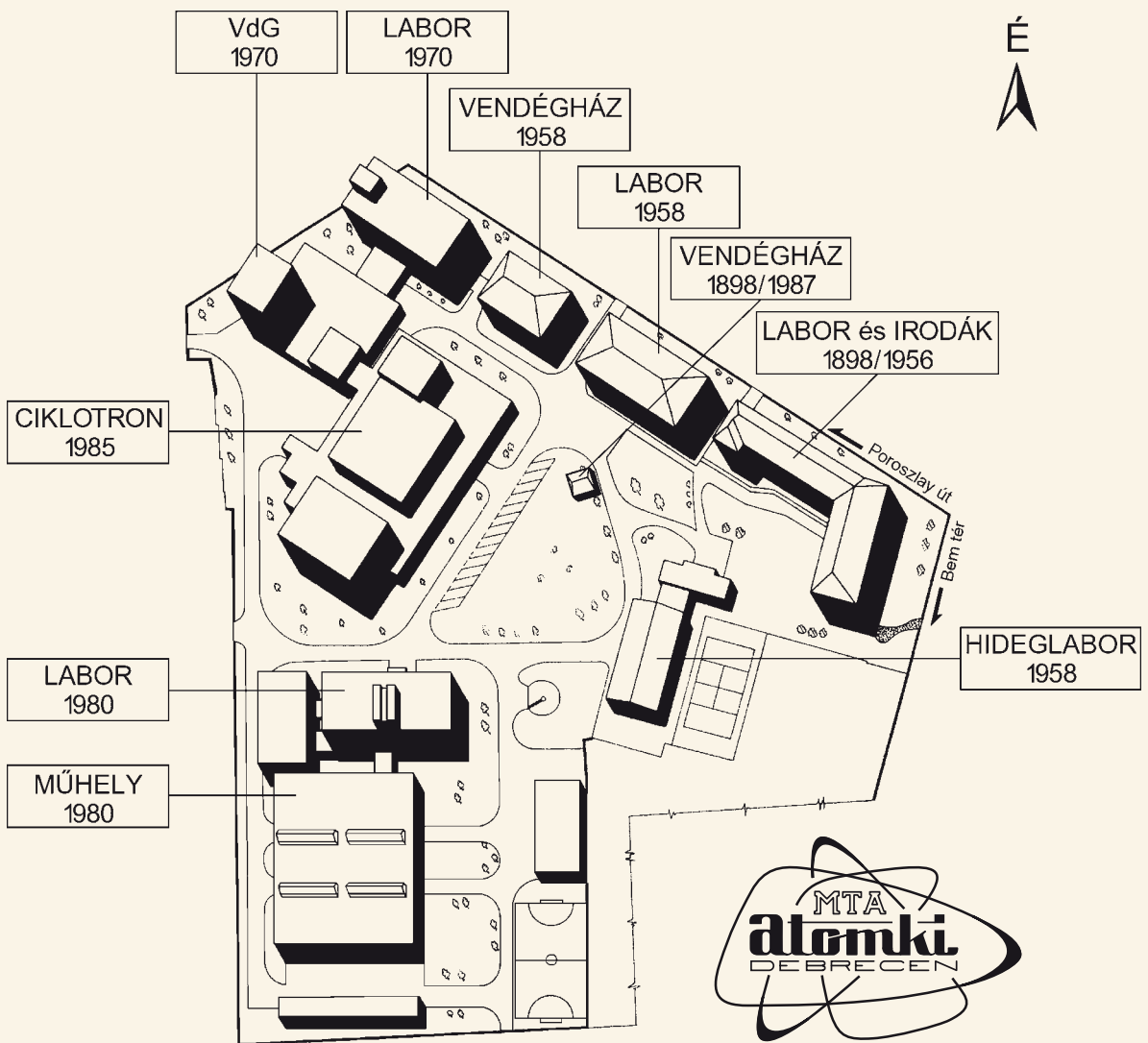
-
- Környezet- és Földtudományi Osztály (oszt.-vez.: Kiss Árpád Zoltán, a fiz. tud. doktora)
 - Környezetanalitikai laboratórium
 - Radoncsoport
 - K-Ar laboratórium
 - Sugárvédelmi és környezetvédelmi csoport
 - QMS laboratórium
 - DE TTK–Atomki Környezetfizikai Tanszék (tsz.-vez.: Kiss Árpád Zoltán, a fiz. tud. doktora)
 - Ciklotronosztály (oszt.-vez.: Tárkányi Ferenc, a fiz. tud. kandidátusa)
 - Elektronikai Osztály (oszt.-vez.: Gál János, a fiz. tud. kandidátusa)



Országos tanítói árvaház (1917)
Képeslap Borbélyné dr. Kiss Ildikó gyűjteményéből



Balról jobbra: a Debreceni Egyetem tanszékei (Kísérleti Fizikai és Orvosi Vegytani)
és az MTA Atomki főépülete a Bem tér felől (2004)



Felelős kiadó: dr. Lovas Rezső, az Atomki igazgatója

Szerkesztette: dr. Máté Zoltán, dr. Rajta István

Fotó: Nagy Gábor, dr. Rajta István

Készült a Rexpo Kft. Nyomdájában, 2004-ben

