

Debreceni **S**

Z

E

M

L

E



tudomány
kultúra

2005 | 3

Az 50 éves Atomki

Kivonat

Az MTA ötvenéves Atommagkutató Intézetét mutatom be mint a múlt örökségének egy darabját, mint a világ tudományos kutatásának egy láncszemét és mint a tudományos kultúra egy szeletének hazai letéteményesét.

1. Miből és mitől lett az Atomki?

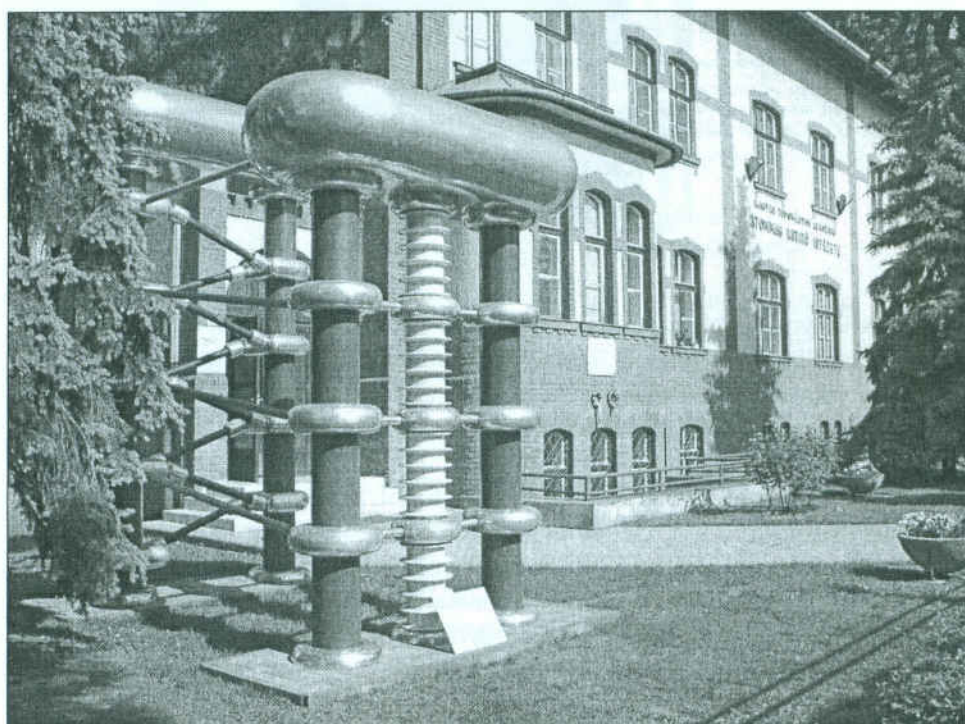
Debrecen középpontjához közel, a Bem tér, a Poroszlai út, az Andaházi utca és Egyetem sugárúti, valamint Füredi úti lakóépületek által keretezett területen van a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete, közismert nevén az Atomki. Az ötvenes–hatvanas években közkíváncsiság övezte, a 70-es, 80-as években a helyi sajtó is felkapta, a 90-es évek óta uralkodó hír- és piárdömpingben azonban nem győzi annyira illegetni magát, hogy a sajtó ingerküszöbét túl gyakran átlépje. Pedig a nemzetközi tudományos mezőnyben ekkor igencsak előre lépett, és igyekezete az ifjúság érdeklődésének felkeltésére mostanság sem lankad. A köztudat fehér foltját a szemicentenáriumi alkalmából is próbáljuk oszlatni. A Fizikai Szemlének a fizikában verzátus személyek számára összeállított Atomki-száma [1] után itt az Atomkiban végzett kutatásokról igyekszem a nem fizikus olvasó számára is emészthető áttekintést adni.

Az Atomki alapításának korában az emberiség bízott a jövőben. A döntéshozók akkor még meggyőződéssel s nem csupán kötelező frázisként hangoztatták, hogy a tudomány jólétet hoz az emberiségnek. A háború utáni évtized világszerelte a kutatóintézetek alapításának korszaka volt. Hitték, hogy egy közepesen fejlett ország legbiztosabb módon a tudomány által emelkedhet fel. És mi más lett volna a jövő tudománya, mint a prométheuszi nukleáris tudomány, amely ellopta az istenektől a tüzet, befűtött vele az emberiségnek, de felfűtötte a technikai fejlődésbe vetett hitét is. 1954 Magyarországon Nagy Imre éve volt, a kommunizmus sújtotta ország számára a reménysége.

Az Atomki a Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetéből vált ki mint önálló kutatóintézet, és ma is ez a város egyetlen tudományos kutatóintézete. Az egykori tanítói árvaház (1., 2. ábra) csücskét (a Bem tér–Poroszlai út sarkot) kapta meg, s ez azóta is kiapadhatatlan humorforrás az intézetben.



1. ábra. Tanítói árvaház. Az épületnek a sarkon lévő harmadába költözött be az Atomki



2. ábra. Az Atomki első épülete.
Előtte 2004 óta az egykori kaszkád típusú gyorsító térplasztikaként van kiállítva

Azért éppen Debrecenben és éppen az egyetem Kísérleti Fizikai Intézetében alakult, mert a magfizikai kutatásnak akkorra ott évtizedes múltja volt Szalay Sándor jóvoltából. Az Atomkit azért hozták létre, hogy keretet adjanak Szalay Sándor professzor (1909–1987) (3. ábra) kutatásainak. Az 1954-ben létrejövő Atomki az ő alkotása volt, vezető kutatói az ő szellemi gyermekei, és személyisége az „unokák” és a „dédunokák” vonásain is átüt.



3. ábra. Szalay Sándor 1909–1987.

Tudományos közelítésmódját a tapasztalati tények tisztelete, a jelenségek közeppontba állítása jellemezte. Természettudományos műveltsége olyan széles és egységes volt, ami a mi nemzedékünk számára már szinte hihetetlen, s ötletszínporkái nem ismerték a tudományágak közötti határokat. Szalay professzor másik erőssége kiváló műszerépítő-készsége volt.

Szalay Sándor 1932-ben Budapesten doktorált, és rövid időn belül három Nobel-díjas (Szent-Györgyi, Debye és Rutherford, az atommag felfedezője) mellett volt módja dolgozni. Főleg 1936-os cambridge-i fél éve tett rá mély benyomást. Hazatérte után Debrecenbe került, és technikai előkészületek után 1938-tól kezdve magreakció-kutatást folytatott. A Kolozsvárra távozó Gyulai Zoltán utódjaként 31 éves korában 1940-ben lett a debreceni (akkor még az orvoskarhoz tartozó) Fizikai Intézet professzora. Itthoni magreakció-kutatásait technikai előkészületek után 1938-ban kezdte el.

Szalay Sándor kezdeményezte az uránkutatást 1948–49-ben Magyarországon, és az ő eredményei nyomán akadtak rá később a mecseki uránlelőhelyre.

Az urándúsulás mechanizmusát 1950–51-ben meg is magyarázta, s ez volt első kirándulása a fizikán túlra. A dúsulást a humuszsavak általa felfedezett nyom-elemmegkötő természete okozza. A nyomelemmegkötés a talajban is érvényesülhet, és így a felfedezésnek nagy a jelentősége a mezőgazdaság számára is. Az uránkutatással és az urániummegkötés mechanizmusának felderítésével szerezte tekintélyét, s ezzel teremtette meg az intézetalapítás lehetőségét.

2. Az Atomki kutatásainak kibontakozása

Szalay professzor – saját szavai szerint – felosztotta a magfizikát tanítványai között, mint a cigányprimás a világot a fiai között (1. táblázat): egyiknek jutott Bécs, a másiknak Párizs, a harmadiknak Pest-Buda, magának pedig megtartotta a maradékot. Így tanítványai elmélyedhettek a magfizika egy-egy fejezetében, neki viszont „csak” az interdiszciplináris alkalmazások jutottak, ami persze megfelelt az ő tág érdeklődésének.

1. táblázat. A „cigányprimás” így osztotta fel a világot „fiai” között

Tanítvány	Szakterület	Átváltozás, elágazás
Berényi D.	β -spektroszkópia	$\Rightarrow$ atomi ütközések elektronspektroszkópia
Csikai Gy. Fényes T.	neutronfizika α -spektroszkópia	$\Rightarrow$ gyorsítós magspektroszkópia
Gyarmati B. Koltay E.	elméleti fizika magreakciók, gyorsítók	$\Rightarrow$ nukleáris asztrofizika ionnyaláb-analitika
Medveczky L.	emulziós detektorok	$\Rightarrow$ maratottnyom-detektorok környezeti radon „barlangászat”
Szalay S.	interdiszciplináris területek: geokémia, nyomelemkutatás	$\Rightarrow$ földtudomány archeológia környezeti radioaktivitás

A spektrum eredetileg színeképet jelent, tehát a fény szín (azaz fotonenergia) szerinti felbontását, a spektroszkópia és -metria pedig a spektrum alkotóinak mennyiségi vizsgálatát. Átvitt értelemben azonban minden kevert részecskenyalábnak az energia (esetleg tömeg) szerinti mennyiségi elemzésére utal.

Később persze további elágazások jöttek létre, és új áramlatok csatolódtak be. A tudományterületi elágazásokat meglehetősen fáradságos követni, és e cikknek ez nem is lehet célja. Helyette azt próbálnám megmutatni, hogy a magfizikai technika és a magfizikus-észjárás szinte mindig egy srófra jár, s ez az Atomki

kutatásainak egy játékos osztályozását teszi lehetővé. A közös szálát, amelyre e kutatásokat felfűzhetjük, az adja a kezünkbe, hogy folyton valaminek a *kibocsátását* vizsgáljuk.¹ Az, hogy minek a kibocsátását, függ a tudományterülettől és a konkrét problémától.

A kibocsátási vizsgálatoknak a célja a következő lehet:

1. A kibocsátás mechanizmusának megértése
2. A kibocsátó forrás leírása, szerkezete, tulajdonságainak megismerése
3. A kibocsátásból következtetés befogadásra
4. A kibocsátás függése a körülményektől
5. A kibocsátó korának meghatározása
6. A kibocsátás észlelése
7. Jó minőség kibocsátásának elősegítése

Az alábbiakban példákat adok e hétféle munkára. E felsorolásban – a játékos rendszerezést komolyan véve – össze nem tartozó dolgokat kell egymás mellé raknom, és meglepetésként érhet bennünket a felismerés, hogy e munkáknak mégis van valami közös a logikájukban, módszertanukban.²

3. A kutatások

3. 1. A kibocsátás mechanizmusának megértése

Példák:

1. neutrínóvisszalökődés β -bomlásban
2. α -bomlás
3. minden atomi, magfizikai és részecskefizikai ütközési mechanizmus
 - a) lándzsahegyezés (elektronok elvezetése kézenfogással)
 - b) pingpongozás elektronokkal
 - c) részecskepázmák keletkezésének mechanizmusa perturbatív kvantumkromodinamikával

Magyarázatok:

1. A neutrínóvisszalökődés β -bomlásbeli kimutatása a „klasszikus” kornak, az 50-es évek közepének legfontosabb eredménye, és Szalay és Csikai nevéhez fűződik. A radioaktív β -sugárzás elektronok kibocsátását jelenti. A 30-as évek óta

1 Nehezen volna így osztályozható néhány anyagtudományi munkánk, például anyagok mágneses tulajdonságainak vizsgálata.

2 Jubileumi előadásomban megjegyeztem, hogy az össze nem tartozó dolgok egymás mellé tétele termékeny szabad képzettársításokra ad alkalmat; Lautréamont grófja után szabadon: mint amikor egy esernyő találkozik egy varrógéppel a boncasztalon.

ismert volt, hogy a β -bomlásban látszólag energia vész el, s feltételezték, hogy ezt az energiát egy – neutrínónak elkeresztelt – ismeretlen részecske viszi el. Ha azonban a neutrínó létezik, akkor az impulzusmérlegnek is hasonlóképp sérülnie kell. A β -bomlásról ködkamrában készített fényképek mutatják, hogy valóban erről van szó. A 4. ábrán látható vékony nyom a β -elektroné, a vastag pedig a visszalökött magé. Az a tény, hogy a két nyom nem ellentétes irányba mutat, arra utal, hogy lennie kell egy harmadik kilépő részecskének is: ez a neutrínó.



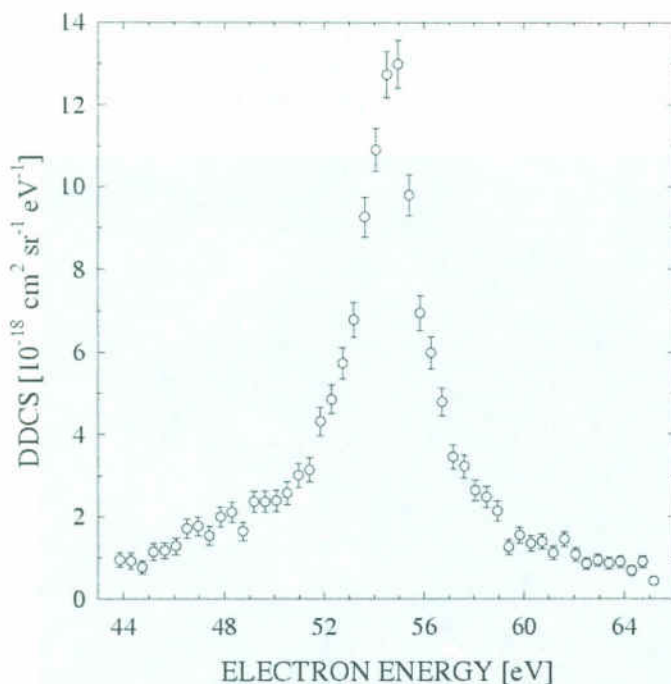
4. ábra. A lefényképezett β -bomlás

2. Az α -radioaktivitás ${}^4\text{He}$ atommagok kibocsátásából áll. Az α -bomlás sokkal egyszerűbb folyamat, mint a β -bomlás, mégis a 90-es évekig kellett várnunk, amíg a bomló mag állapotát úgy sikerült leírunk, hogy az α -részecskét kibocsátó ablakban is elég pontos legyen. Ezzel először sikerült egy α -bomló atommag élettartamát a mag tulajdonságaiból levezetnünk.

3. a) Az 5. ábrán látható lándzsahegy alakú csúcs azért különleges, mert a csúcscsücsbéli érintő mindkét oldalról függőleges. Az ilyen csúcscsücsokat ion–atom ütközésekben kirepülő elektronok energia szerinti eloszlásában találták az intézetben. Ez a felfedezés azt mutatja, hogy a távozó ion mintegy kézen fogva képes magával vinni egy céltárgyelektront, vagyis anélkül, hogy kötött állapotba befogná.

400 keV $\text{He}^0 + \text{Ar}$, coincidences with the
outgoing He^0 atoms

(Báder et al., Phys. Rev. A 55 (1996) R14)



5. ábra. Lándzsahegy alakú csúcs ütközésben kilökött elektronok energia szerinti eloszlásában

3. b) Ion–atom ütközésekben kirepülő nagy energiájú elektronok energia-eloszlása egy másik különös mechanizmusról árulkodik: a lövedékion és a cél-tárgy atommagja pingpongozik az elektronokkal. Amikor a labda a pingpong-ütővel találkozik, nagyobb sebességgel pattan vissza, mint ahogyan érkezett, mert az ütő a találkozás pillanatában a labda felé mozog. Tökéletesen rugalmas ütközés esetén ez a sebességnövekedés az ütő sebességének kétszerese. Munkatársaink megmutatták, hogy sok elektronnal ugyanez történik.

3. c) A nagyon nagy energiájú részecskék ütközéseiben rengeteg új részecske keletkezik. Ezek szabályos nyalábokba, pászmákba rendeződnek, és minden pászma egy-egy elemi pár (pl. két kvark) ütközésében keletkezik. Az elemi folyamat leírható a perturbatív kvantumkromodinamika nevű elmélet segítségével. Munkatársaink úttörő szerepet vállaltak ezekben a munkákban.

3. 2. A kibocsátó forrás leírása, szerkezete, tulajdonságainak megismerése

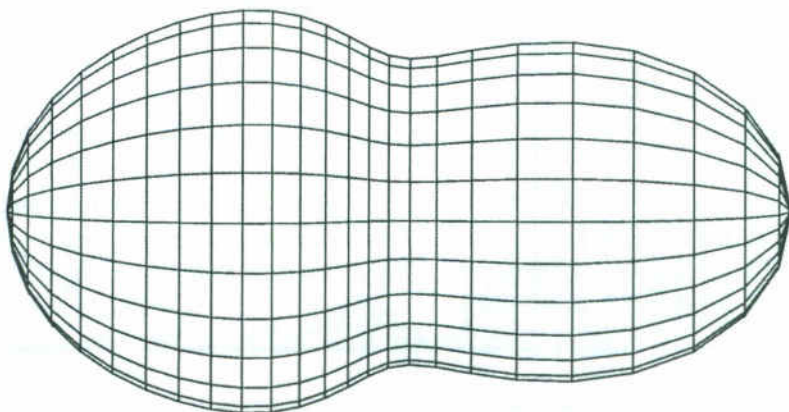
Példák:

1. bomló kvantummechanikai állapotok
2. hasadás gáton-gödrön át; hiperdeformáció
3. minden magszerkezeti célú magreakció: pl. neutronbőr-vastagság mérése
4. anyagszerkezeti vizsgálatok röntgendiffrakcióval
5. elemösszetétel-vizsgálatok ionnyaláb-analízissel
6. légköri aeroszolszennyezések forrása
7. nukleáris kísérletek nyoma a debreceni esővízben
8. atomerőmű radioaktívanyag-kibocsátásának figyelemmel kísérése
9. radioaktív hulladék-tároló hatása a környezetre
10. kopásvizsgálatok vékony felületi réteg aktivációs analízisével
11. nyomjelzés az emberi szervezetben
12. kilélegzett levegő összetételéből következtetés betegségre
13. gyártott gépalkatrészek tömítésbiztosságának ellenőrzése

Magyarázatok:

1. A kibocsátás legnyilvánvalóbb példái a bomló kvantummechanikai állapotok, amelyekről legalább száz elméleti cikk született az intézetben.

2. A legismertebb magfizikai kibocsátási jelenség a hasadás. A hasadás jelensége révén energia szabadítható ki: ez az az energia, amely nukleáris energia-termelésre ad lehetőséget. A hasadás előtti állapot felfogható úgy, mint a megnyúlt mag vibrációja a deformáltság függvényében vagy a két fragmentum rezgése egymáshoz képest a távolságuk függvényében. Debreceni specialitás a háromszorosra megnyúlt, azaz „hiperdeformált” állapotokon (6. ábra) keresztül lezajló hasadás.



6. ábra. Hiperdeformált mag hasadás előtt

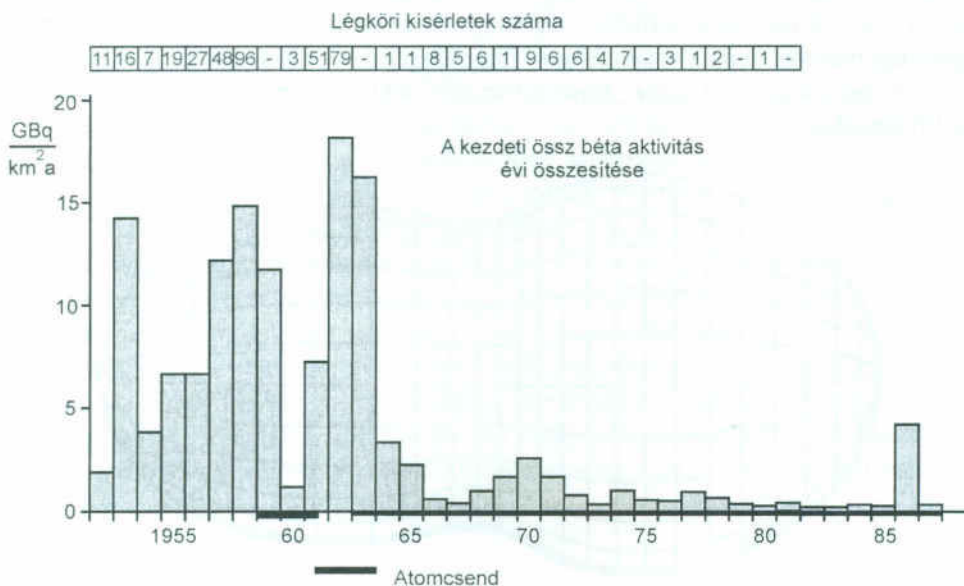
3. Részecskék kibocsátását leggyakrabban magok ütköztetésekor létrejövő magreakciókban figyeljük meg. A reakcióvizsgálatok egyik célja a magok szerkezetének felderítése. Az atomkibeli fizikusok egyik törekvése a neutronban gazdag magok felületén felhalmozódó neutronréteg vastagságának mérése.

4. Egy kristály a röntgensugarakkal szemben úgy viselkedik, mint egy optikai rács: a visszavert – kibocsátott – sugarak a kristályszerkezetre jellemző mintázatot rajzolnak ki. Szilárdtest-fizikusaink szerkezetvizsgálataikhoz használják ezt a módszert.

5. Ha egy tárgyat ionnyalábbal besugárzunk, atomjainak elektronhéjában és magjában egy csomó olyan folyamat játszódik le benne, amelyből kilépő részecskék áruklodnak arról, milyen kémiai elemekből áll a tárgy. Az ionnyalábok így elemanalitikára használhatók. Az Atomki ionnyaláb-analitikusainak specialitása, hogy tárgyak felületi összetételét mikronos léptékekkel képesek feltérképezni.

6. Például a levegőben lebegő porszemcsék elemösszetételét mérik. A debreceni levegő szennyezettségéről megállapították például, hogy a közlekedés felverte por ólomtartalma az ólmozott benzin eltűnése óta is alig csökken.

7. A Föld légkörét radioaktív anyagok is szennyezik, legveszélyesebb módon a nukleáris robbantások. A debreceni esővíz aktivitása Szalayné Csongor Éva mérései szerint híven tükrözi a légköri atombomba-kísérletek történetét. A 7. ábrán látható, hogy a csernobili katasztrófa jóval csekélyebb radioaktivitást okozott Debrecenben, mint a korábbi légköri atombomba-kísérletek. Igaz, robbantás sok volt, az ábra pedig ezek felhalmozott hatását mutatja, a csernobili baleset viszont egymagában okozta, amit okozott.



7. ábra. Az esővíz β -aktivitása Debrecenben

8. Manapság már inkább a paksi atomerőmű radioaktívanyag-kibocsátását kísérjük figyelemmel. Pakson mérőrendszerünk működik például a levegőbe kibocsátott sugárzó jód-, szén-, hidrogén- és kriptonizotópok folyamatos megfigyelésére.

9. Radioaktív hulladék-tároló is kibocsáthat szennyezést a környezetébe. A püspökszilágyi hulladéktároló környezetének állapotát az Atomki mérésekkel és a szennyezők terjedését modellező számításokkal vizsgálta. A nukleáris ipar számára végzett környezetvédelmi célú munkáink jelentősége felmérhetetlen.

10. Ha egy anyag felületét gyorsított részecskenyalábbal sugározzuk be, maga is sugárzóvá válhat. Ha a felület ezután kopik, a radioaktivitás csökkenhet. A kibocsátott sugárzás mérésével a felület kopását igen finoman követni lehet. Az Atomkiban gazdag tapasztalat gyűlt össze ilyen kopásvizsgálatokra.

11. Az emberi szervezetbe bevitt sugárzó anyag útja igen pontosan nyomon követhető, és segítségével a szervek állapota, működése feltérképezhető. Az Atomki kezdeményezte, hogy Debrecenbe pozitronemissziós tomográfot (PET-et) kellene telepíteni. Az egyetem orvoskarának PET-je kezdettől fogva – tíz éve – az Atomkiban van. A közelmúltig kizárólag az Atomki ciklotronja termelte a sugárzó anyagokat, s részben még ma is. Ezeket itt viszik be azokba a vegyületekbe, amelyeknek a terjedése befecskendezés után a legalkalmasabb rétegtérképeket rajzolja majd ki.

12. A kibocsátott anyagok minősége minden kibocsátóra jellemző; ha a kibocsátó ember, akkor az ő állapotát jellemzi. Az orvosi gyakorlat számára két évtizeddel ezelőtt az Atomki fejlesztett ki és gyártott egy tömegspektrométeres légszívizsgáló berendezést.

13. Némely műszaki terméknek egyáltalán nem szabad bármit is kibocsátania. Például egy hűtőgép legyen oly mértékben tömített, amennyire csak lehet. Az Atomkiban olyan tömítésvizsgálót terveztek, amely gyártószalagban 40 másodperc alatt állapítja meg, hogy egy hűtőberendezés jól van-e tömítve. Héliummal telítik a hűtőegységet, és tömegspektrométerrel vizsgálják a hélium szivárgását.

3. 3. Kibocsátásból következtetés befogadásra

A világegyetemben található elemek kialakulásáért felelős magreakciók földi tanulmányozásakor is a kibocsátott részecskéket detektáljuk, és abból következtetünk a befogásra, amely révén az elemek felépültek. Az ilyen vizsgálataink két csoportra oszthatók:

Példák:

1. a kémiai elemek csillagokbeli felépülésének tanulmányozása a Földön
2. a Nap energiatermelő folyamatainak tanulmányozása a Földön

Magyarázatok:

1. Egy csomó protongazdag mag kialakulásáért felelős az a p-folyamatnak nevezett reakciósorozat, amelynek legelső darabját éppen Debrecenben mérték ki.
2. A Nap energiatermelő folyamatai közül – külföldi portnereinkkel összefogva – ugyancsak nekünk sikerült először lejátsszatnunk a Földön a



folyamatot. A Nap azért világít évmilliárdokig, mert az asztrofizikai folyamatok a Nap hőmérsékletének megfelelő energián igen-igen valószínűtlenek. Az ilyen folyamatok földi megvalósításában éppen ez a nehézség.

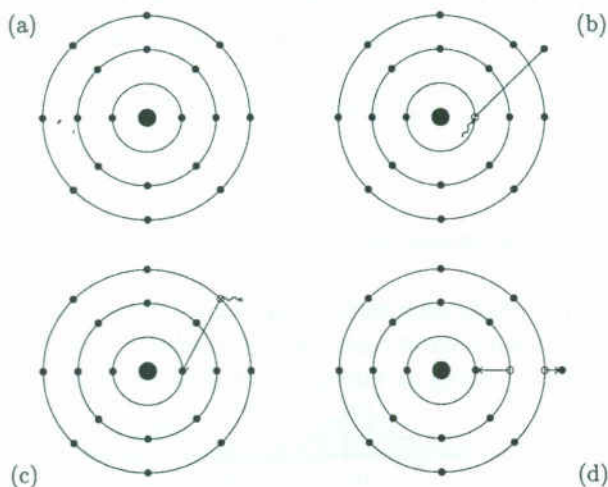
3. 4. A kibocsátás függése a körülményektől

Példák:

1. foto- és Auger-elektron-spektroszkópia
2. atomlevetkőztetés elektron-ciklotronrezonanciával
3. atomfelöltöztetés vékony csövekben
4. radonkipárolgás a talajból, kőzetekből, építőanyagokból

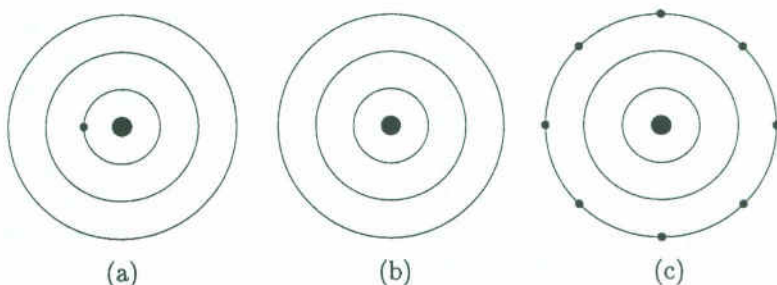
Magyarázatok:

1. Az anyagok felületi viselkedését igen hatékonyan vizsgálhatjuk, ha fénnyel (pl. röntgenfénnyel) elektronokat lökünk ki a felületi atomokból, és mérjük az ezt követően kibocsátott elektronsugárzást. Az Atomkiban kifejlesztett elektronspektrométerek olyan pontosak, hogy segítségével az atomok kémiai állapota megállapítható.



8. ábra. (a) atom; (b) fotoelektromos hatás; (c) legerjesztődés foton kibocsátásával; (d) Auger-effektus

A 8.(a) ábrán egy atom szkematikus képe látható; a középső petty az atommagot, a körök az elektronpályákat, a kis pettyek pedig a pályákat benépesítő elektronokat jelképezik. A (b) képen az atomot egy foton egy elektronjától („fotoelektron”) megfosztja, a (c)-n röntgenfoton kibocsátásával gerjesztődik le, a (d)-n pedig egy másik elektron viszi el a fölös energiát, amelyet Auger-elektronnak nevezünk. A fotoelektronok és az Auger-elektronok energiáját mérjük, mert ezek hordozzák a kívánt információt.



9. ábra. (a) H-szerű atom; (b) csupasz atom; (c) atom hiányos öltözékben

2. Készítettünk egy ún. elektron-ciklotronrezonanciás ionforrást, amelyben atomok szinte tetszőlegesen lecsupaszíthatók elektronjaiktól. A 9. ábra egy hidrogénszerű atomot (a), majd egy teljesen levetkőztetett atomot (b) mutat. Ezekkel atom-, felületfizikai, plazmafizikai és asztrofizikai kísérleteket üzünk.

3. Elméleti és kísérleti vizsgálatokat folytatunk arra is, hogy mi történik, ha ilyen meztelen atomokat mikrokapilláris csöveken eresztünk át. Kiderült, hogy elérhető, hogy az atom csak felöltőjét vegye fel a csőben, alsóneműje nélkül (9.(c) ábra). Atomokat ilyen állapotban azelőtt nem látott senki.

4. Maga a Föld is kibocsát egy radioaktív gázt: a radont, és a radonkibocsátás függ a helytől. Érdekes megérteni barlangok, szén-dioxid-források radonháztartását, és egészségügyi szempontból fontos, hogy építőanyagok, épületek radonkibocsátását ismerjük. Az ilyen kutatások hazai letéteményese az Atomki.

3. 5. A kibocsátó korának meghatározása

Példák:

1. magállapotok élettartamának mérése Doppler-hatással
2. kőzetek kora a radioaktív bomlás maradékának felhalmozódásából
3. szerves anyagú régészeti leletek kora a lebomló ^{14}C megmaradt hányadának mennyiségéből
4. vízbázisok kora (tisztasága) tríciumtartalmuk bomlásának maradékaként meglevő ^3He mennyiségéből

Magyarázatok:

1. A legelemibb kormeghatározás annak meghatározása, hogy egy magállapot milyen korú, amikor elbomlik. Ezt a kort a magállapot élettartamának nevezzük. A magállapot (várható) élettartama a szerkezetének egyik legközvetlenebb mérhető ismérve. Az intézetben főleg a Doppler-hatáson alapuló módszert műveltük, amely piko- vagy nonoszekundumos élettartam-tartományban használható. Képzeljük el, hogy magreakcióban létrejön egy gerjesztett mag, amely azután egy γ -kvantum kibocsátásával alapállapotba kerül. A reakcióban azonban a mag és gerjesztett állapota nem egyszerűen csak létrejön, hanem erősen meg is lökődik, és sebessége pontosan kiszámítható. A sebesen száguldó mag által kibocsátott elektromágneses hullám hossza – miként a mozdonyfűtő hanghullámáé is – eltolódik. Az eltolódásból kiszámítható, mekkora sebessége volt. Ez a sebesség rendszerint kisebb, mint a mag sebessége születésekor, hiszen a γ -fény egy kis késéssel lép ki, s közben a céltárgy belsejében repülő mag fékeződött. A fékeződés mértéke ismert vagy külön mérhető, és ennek segítségével a magállapot képződése és a fény kibocsátása között eltelt idő kiszámítható. Ez pedig nem más, mint a magállapot élettartama.

2. Kőzetek többszáz millió éves kora is meghatározható, ha radioaktív anyag van bennük, a radioaktív bomlás termékének felhalmozódásából. E célra legalkalmasabb a $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ átmenet, mert a milliárdéves élettartamú ^{40}K nagy mennyiségben jelen van, terméke, az ^{40}Ar pedig nemesgáz, amely folyékony anyagból kipárolog, szilárd kőzetben viszont bennreked. Így az ^{40}Ar felhalmozódása az utolsó megszilárdulás időpontjára szolgáltat adatot. A felhalmozódást az Atomkiban tömegspektrometriai módszerekkel mérjük. A Kárpát-medencének és környékének pontos földtörténeti kronológiáját főként a mi méréseinkből ismerik.

3. Szerves anyagú tárgyak kora a lebomló ^{14}C megmaradt hányadának mennyiségéből határozható meg. A szerves anyagú tárgyak lehetnek régészeti és élettörténeti leletek is. Így az emberi kultúra és az éghajlat, a flóra és a fauna történetének kutatásához adunk megbízható muníciót. A ^{14}C azért alkalmas erre, mert felezési ideje 5730 év, és az élőlényekbe csak a levegőből és csak az anyagcserével kerülhetett. A légkörben ugyanis a kozmikus sugárzás termeli folyamatosan – a XX. század előtt kizárólag. Egy tárgyban levő ^{14}C mennyisége a ^{12}C -höz képest megmondja, mikor szűnt meg a tárgy anyagának az anyagcseréje, tehát pl. egy emberi csont esetén mikor halt meg az ember, akinek a csontjait vizsgáljuk. ^{14}C -es méréseket jelenleg a ^{14}C sugárzása alapján, a jövőben azonban gyorsító tömegspektrometriával is fogunk végezni. A Kárpát-medence őstörténetének pontos kronológiája főként az Atomkiban végzett mérések alapján ismert [2].

4. A földi környezetben trícium is csak a kozmikus sugárzásból keletkezhetett. A trícium felezési ideje 12 év, és vizek tríciumtartalma a vízbázis eredetéről, koráról, tisztaságáról árulkodik. Az Atomkiban vízbázisok korát a vizekben a trícium bomlásából felhalmozódott ^3He mennyiségéből határozzák meg tömegspektrometriai úton.

3. 6. A kibocsátás észlelése

Példák:

1. félvezető- és szcintillációsdetektor-technika
2. maratottonyomdetektor-technika
3. spektrométerépítés (pl. elektronspektrométer)

Magyarázatok:

1. Félvezető- és szcintillációsdetektor-technikai és nukleáris elektronikai tapasztalataink a nagy detektorgyártó cégekével vetekszik. Az Atomkiban készített detektorrendszerek nemükben a legjobbak közé tartoznak a világon, és francia, japán, dél-afrikai gyorsítólaboratóriumokban használják őket munkatársaink.

2. A maratottonyomos detektorok technikája ősi örökségünk. E detektorok egyszerű műanyaglapocskák, amelyekbe a sugárzások becsapódó részecskéi láthatatlanul vékony járatokat fúrnak. E furatok megőrződnek, és vegyi kezeléssel olyan lyukakká öblösíthetők, amelyek mikroszkóppal jól láthatók és akár automatikusan is megszámlálhatók. E nyomdetektorokat manapság főleg a radonkutatásban használjuk.

3. Az atomkibeli kísérleti atomfizika és felületfizika azért fejlődhetett igen magas szintre, mert évtizedek óta jobbnál jobb elektronspektrométereket építünk. A 10. ábra a kémiai analízist szolgáló elektronspektrométert mutatja, amely a 8. ábra szerinti folyamatokban keletkező elektronok energiáját méri.

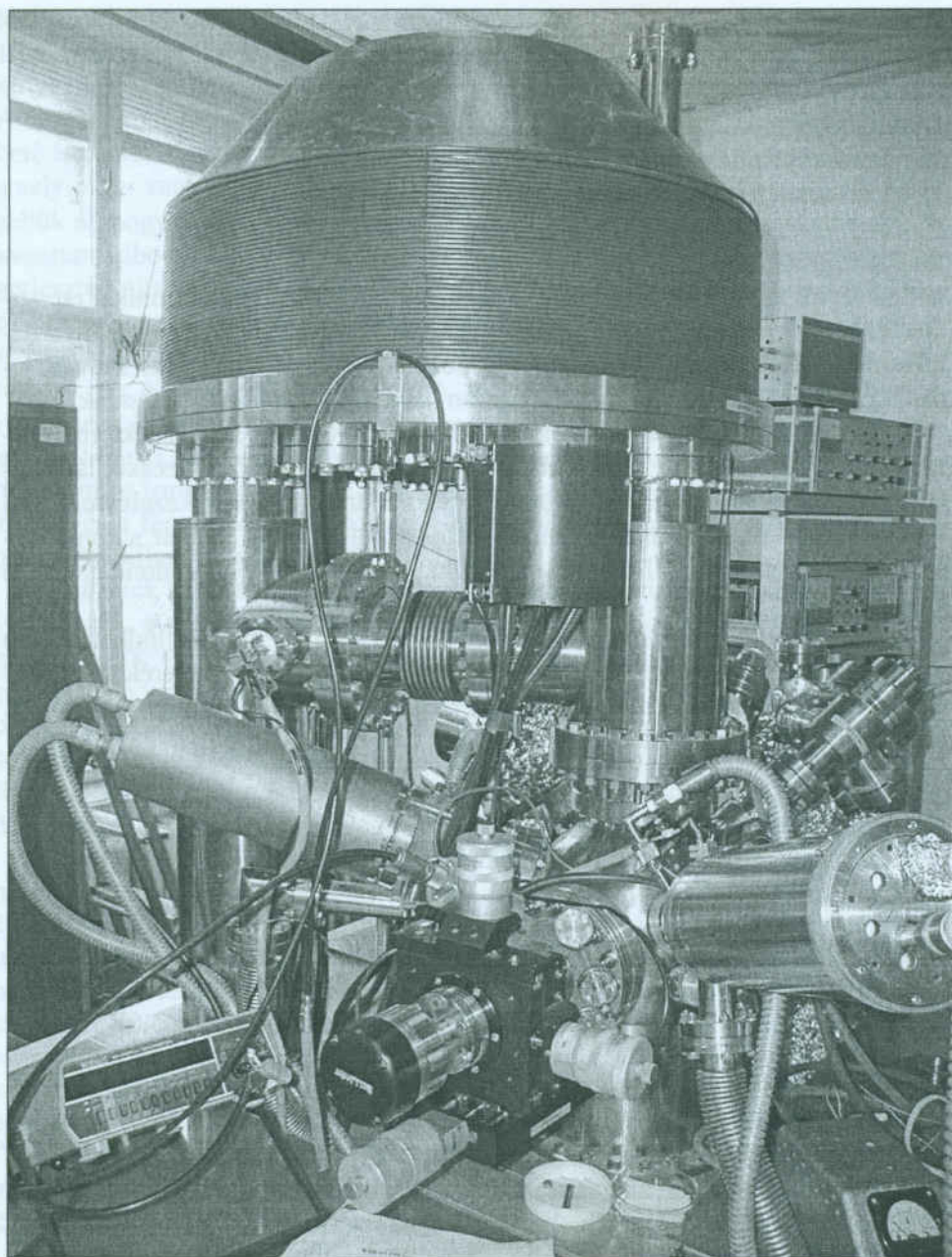
3. 7. Jó emberi minőség kibocsátásának elősegítése

Példák:

1. ismeretterjesztés a művelt ifjúság körében
 - a) fizikusnapok előadásai, látogatócsoportok fogadása
 - b) kiállítások
 - c) ismeretterjesztő könyvek
2. egyetemi oktatás
 - a) környezetfizika
 - b) a természettudatos világkép formálása

Magyarázatok:

Az Atomki igyekszik tenni annak az érdekében is, hogy az iskolák és az egyetem több tudással tudja diákjait kibocsátani. Hogy a diákok természettudományosan műveltebbek legyenek, vagy ha szakmaként tanulják a természettudományt, akkor segítsük tanulmányaikat.



10. ábra. Elektronspektrométer komplex felületvizsgálatokra. Készült az Atomkiban

Ezért szervezzük minden évben a fizikusnapokat és kiállításainkat. A legutóbbi, a *Raioaktivitás, a természet része* c. kiállítás nagyszabású volt: 2002-ben tartottuk egyetemi kollégáinkkal együtt az egyetem díszudvarában, és igen népszerű volt.

Ugyanezért fordítottunk le egy ismeretterjesztő könyvet [3], és bábáskodtunk a kiadásánál. Ezért készítettük el egy ismeretterjesztő film [4] magyar változatát. Ezért veszünk részt a fizikus- és nemfizikus-hallgatók oktatásában. Ezért tartjuk fenn intézetünkben az egyetemmel közös tanszéket, a Környezetfizikai Tanszéket. Ezért van számos közös kutatási programunk és pályázatunk az egyetemmel. A természettudományos világkép formálása szívügyünk, s ennek érdekében egyik kollégánk hallgatók tömegei számára tart egyetemi előadásokat, amelyek anyagát a széles közönség számára könyvek alakjában is közrebocsátotta [5].

Befejezésül az Atomki emblémáját mutatom be a 11. ábrán. Remélem, a nyomtatásban is látszik, hogy ez háromdimenziós kép: bemart dombormű. Szép művészi munka, és ügyes a megvilágítás. De nem ez az érdekes benne, hanem a lépték. Ez a fénykép mikroszkóppal készült a mikroszkopikus méretű eredetiről. Az eredeti képet munkatársunk hegyes protonnyalábbal véste be, majd kémiai maratással távolította el a sorját. Legyen ez a magasb technológiai alkotás az intézetünk előrehaladásának a jelképe.



11. ábra. Az Atomki emblémája mikroszkopikus méretben

HIVATKOZÁSOK

- [1] *50 éves az Atomki*, a Fizikai Szemle 2004/5. sz., szerk. Fülöp Zsolt
- [2] *Magyar régészet az ezredfordulón*, (NKÖM, Bp., 2003)
- [3] R. MACKINTOSH, J. AL-KHALILI, B. JONSON és T. PEÑA: *Az atommag – Utazás az anyag szívébe* (Akadémiai, Bp., 2003)
- [4] *Az elemek keletkezése*, ismeretterjesztő film (RIKEN Intézet, Wako, Japán, 2003; magyar változat: Atomki, Debrecen, 2004)
- [5] VÉGH LÁSZLÓ: *Fenntartható fejlődés* (EP Systema, Debrecen, 1999); *Természettudomány és vallás* (Kálvin Kiadó, Budapest, 2002)