

*Kiss Árpád Zoltán*

## MAGFIZIKAI GYORSÍTÓBERENDEZÉS A LOUVRE-BAN

Magfizikai gyorsítóberendezés működik a párizsi Louvre-ban, a világ egyik legnagyobb múzeumában? Igen. A Párizs szívében elterülő monumentális palotának a Szajnára néző szárnyához kapcsolódóan, 12 méterrel a Carrousel diadalívét körülölelő park gyepszőnyege alatt néhány évvel ezelőtt egy olyan berendezést helyeztek üzembe, amely a hidrogén és a hélium ionjait nagy energiára képes felgyorsítani. Az így előállított ionnyalábbal különféle anyagokat bombázva, azok röntgen-, vagy gamma-sugarak, vagy atomi részecskék kibocsátására készíthetők. Hasonló berendezéseket — mindennapi szóhasználatban: gyorsítókat — legkorábban csak az atommagkutató intézetekben, később már az anyagtudományokkal foglalkozó laboratóriumokban is lehetett találni.

A magyarázathoz hozzátartozik, hogy az az épülettömb, amit Louvre-nak nevezünk, tulajdonképpen két, egymáshoz szorosan kapcsolódó intézményt, a múzeumot és az 1931-ben alapított kutató-laboratóriumot foglalja magában.

### FRANCIAORSZÁG MÚZEUMAINAK KUTATÓLABORATÓRIUMA

A laboratórium küldetése, ahogyan azt Maurice Bernard a múzeum jelenlegi igazgatója egy nyilatkozatában mondta, világosan megfogalmazódik egyrészt magában a nevében: „Franciaország Múzeumainak Kutató Laboratóriuma”, másrészt jelmondatában: „A tudomány a művészet szolgálatában”. A laboratórium történetében egyre bonyolultabb és szerteágazóbb feladatok követték egymást.

1960-ig a fő feladat a festmények konzerválása és hitelességének megállapítása volt [1]. Az infravörös és a röntgen radiográfia módszereivel a festmények különböző rétegei tanulmányozhatók az első vázlatvonalaktól a festés folyamatának minden egyes állomásán át. Ezek a mindennapi látogató szeme számára rejtve maradó részletek segítenek a művész festési technikájának megismerésében. Gyakran a festmények hitelességének megállapításához az itt felsorolt módszerek szolgáltatják a kulcsot mint legmegfelelőbb kritériumot.

Később egyre inkább megnyilvánult a legkülönbözőbb művészeti tárgyak analitikai (azaz összetevő anyagaikat feltáró) vizsgálatának a szükségessége: a nagyméretű egyiptomi síroktól és a görög márványszobroktól az üvegeken, porcelán eszközökön, közönséges kerámiákon keresztül a kicsiny pénzérméig, ötvösmunkáig, stb. Speciális esetekben a vizsgálatok kiterjedtek a műhelyekben fellelhető szerszámokra, tárgyra, anyagokra, mint pl. az olvasztókemencékben visszamaradó fémszalakokra, üveg olvadékokra, amelyek gyakran nem érdemesek arra, hogy kiállítsák őket a múzeumokban.

Az elemanalízisnek értelmes válaszokat kell adnia a művészeti tárgyak eredetével és datálásával kapcsolatos kérdésekre, de a patinaképződéssel, korrózióval kapcsolatban is. Így a kutatások hozzájárulhatnak a mind tökéletesebb konzerválási módszerek kifejlesztéséhez. Az anyagtudomány és az analitikai módszerek segítségével ugyanakkor nagyon sokat lehet megtudni a készítési technikáról, a stílusról, ezek fejlődéséről, az ízlésről, azoknak a társadalmaknak a vélekedéséről, amelyek a mai kor emberére hagyták műveiket. Itt a feladat nemcsak az, hogy jó méréseket, pontos analíziseket végezzenek, de fontos a művek és azok egyéb összefüggéseinek a megértése is. Analizálni kell egy művész, egy műhely műveinek teljességet, megtalálni az állandót, kimutatni az időbeni fejlődést, felfedezni a máshonnan jövő behatásokat, stb. Az analitikusoknak (kémikusoknak, fizikusoknak), számítástechnikusoknak és sok esetben a természettudományok egyéb művelőinek, technikai szakértőknek tehát együtt kell működniük a régészekkel, a történészekkel, és közösen olyan kutatásokat végezni, amelyek végeredményében a művészet- és a kultúrtörténet fejlődését segítik elő.

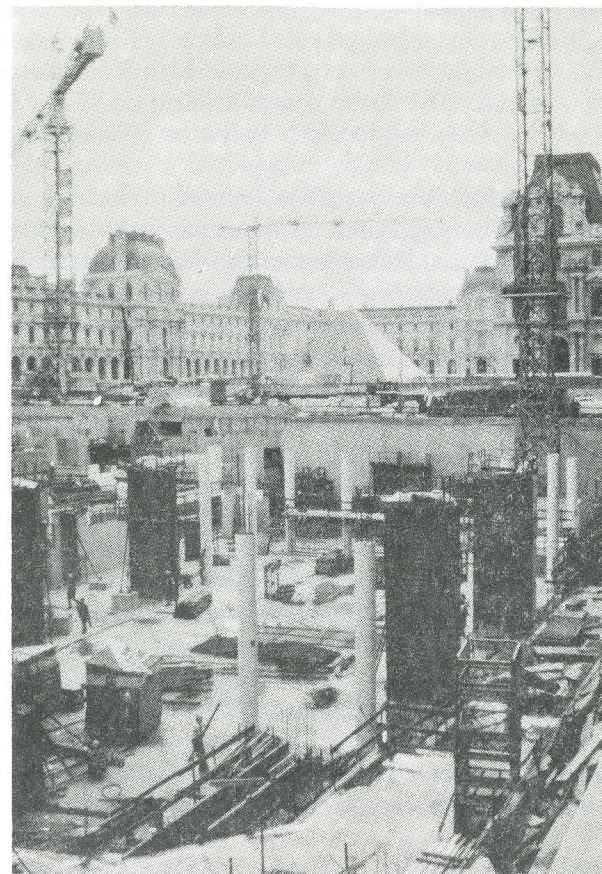
A fentebb megfogalmazott célok elérése érdekében azonban a Laboratóriumnak állandóan a legmodernebb és leghatásosabb mérési és analízáló módszerekkel kell rendelkeznie.

Mintegy tíz év óta a Louvre igen nagy megújuláson megy keresztül. Ennek leglátványosabb jele a hatalmas üvegpíramis alkotta új főbejárat, de az arra járó turisták az utóbbi egy-két évben meglepetéssel tapasztalhatják azt is, hogy a Carrousel tér diadalívét toronydaruk veszik körül, és a teret három emelet mélységben beépítik (1. kép). Készülnek a látogatókat kiszolgáló parkolók, üzletek, éttermek, sőt előadóterem, laboratóriumok is a múzeum számára. Nem látszik viszont a föld alatti harmadik szinten már működő, a világ első és mindeztideig egyetlen gyorsítóberendezése, az AGLAE, amelyet egy múzeum területén hoztak létre, kizárólag abból a célból, hogy általa a múzeumi szakemberek rendelkezésére álljanak a jelenlegi legmodernebb analitikai módszerek.

### ELEMANALÍZIS MAGFIZIKAI GYORSÍTÓKKAL

Tegyük most itt egy kis kitérőt, és tekintsük át röviden, melyek is a gyorsítókra alapozott modern analitikai módszerek, majd lássunk alkalmazásukra néhány példát. Általános elvük a következő:

A megfelelő energiára felgyorsított és összefókuszált ionnyalábot a vizsgálandó mintára (műtárgyra vagy régészeti leletre) lövik. Az ionok egy része a minta felületén elhelyezkedő atomokról visszapattan, azokon rugalmasan szóródik, (a nehezebbek nagyobb, a könnyebbek kisebb energiával) és a vákuumban akadálytalanul repülve eljut egy az ionok (más néven töltött részecskék) észlelésére alkotott szerkezetbe, a részecske-detektorba. A detektor energiájuk szerint megkülönbözteti az ionokat. Más részük behatol a minta mélyebben fekvő rétegeibe, ahonnan vagy ismét visszaverődik és csökkent energiával, de kijut a felszínre, onnan a detektorba, vagy reakcióba lép a mintában jelenlévő különféle atommagok valamelyikével. A magreakció eredményeként vagy újabb töltött részecs-



1.ábra. A Louvre épülő laboratóriuma.

kék keletkeznek, amelyek ha kellően nagy energiájúak, ismét eljutnak a részecske-detektorig, vagy a mag gamma-sugárzást bocsát ki, s ez megfelelő detektorral ismét észlelhető, energiája és intenzitása mérhető. Nagyon gyakran mindkét jelenség egyszerre játszódik le. A legnagyobb valószínűséggel az az eset fordul elő, amikor az ionok csak megközelítik a minta atomjait. Ekkor magreakció nem jön létre, csupán az atomot körülvevő elektronhéj gerjesztődik, és a folyamat végeredményéül az illető atomra, azaz a mintában jelen lévő elemre jellemző energiájú röntgensugárzás keletkezik. Az egyes analitikai módszerek — gyakorlatilag — főleg abban különböznek egymástól, hogy az ionbombázás következtében megjelenő sugárzások közül vagy a töltött részecskéket, vagy a gamma-vagy a röntgensugárzást detektálják. A detektált energia általában a mintában lévő elemre jellemző, míg az intenzitás az illető elemnek a mintában meglévő koncentrációjára. E módszerek fontos jellemzője, hogy nincs szükség mintavételezésre, a minta előkészítésére, preparálására. Roncsolásmentesek, tehát semmiféle káro-

sodást nem idéznek elő a nagy értékű dokumentumokban, vizsgálati anyagokban. (Atomreaktorokból származó neutronokkal — semleges részecskékkel — is sugárzóvá lehet tenni a mintát. A keletkezett gamma-sugárzás energiájának és az intenzitás időbeni változásának mérése nem a besugárással egy időben, hanem azt követően, sokszor hosszú ideig történik. Ennek az eljárásnak a neve neutron-aktiváció.)

A fentiek közül legrégebben használják a vizsgált mintán rugalmasan visszaszóródó töltött részecskék energiájának és intenzitásának mérésén alapuló RBS módszert. A szokásos RBS rövidítés a Rutherford-féle visszaszórás angol elnevezéséből — Rutherford *backscattering* — származik. Ez az eljárás igen érzékeny a könnyű elemekre, de bizonyos esetekben a nyomokban jelenlévő nehéz elemek kimutatására is alkalmazható. Hátránya, hogy a vizsgálandó anyagmintát a gyorsító vákuumterébe kell helyezni, ami határt szab a vizsgálható műkincs vagy régészeti lelet méretének, és nem analizálhatók vele a vákuumra érzékeny anyagú minták sem.

A PIGE vagy PIGME (*proton induced gamma emission*) módszernél azt használják ki, hogy a nagyenergiájú protonok a minta anyagának atommagjaival (elsősorban a jelenlévő könnyű elemekével) magreakcióba lépve nagy áthatoló-képességű gamma-sugárzás keletkezik. A módszer kiválóan alkalmas lítium, bór, fluor, nátrium, alumínium kimutatására, kevésbé érzékeny a szénre, nitrogénre és oxigénre.

A legelterjedtebb a protonok által a vizsgálandó minta alkotóelemeiből kiváltott karakterisztikus röntgensugárzás észlelésén alapuló ún. PIXE (*proton induced X-ray emission*) módszer. A PIXE módszer sokelemes, azaz általa az alumíniumnál nehezebb valamennyi elem egyszeri besugárással kimutatható és koncentrációja meghatározható. Érzékeny a nyomelemekre, gyors és viszonylag nem túl drága.

Megjegyzendő, hogy a PIXE-nek sok esetben versenytársa, „testvére” a röntgen-fluoreszcencia (XRF) módszer, ahol a karakterisztikus röntgensugárzás gerjesztése nem gyorsítóból nyert ionokkal, hanem radioaktív forrás vagy röntgenszó által kibocsátott sugarakkal történik. Az XRF módszert már széleskörűen alkalmazzák sok múzeumi laboratóriumban, és sokkal kevésbé komplikált kísérleti berendezésekre van szükség használatához, mint a PIXE-hez, azonkívül az általa elérhető átlagos analízis mélység általában nagyobb mint a PIXE-nél. A neutronaktivációs módszer is eléggé elterjedt. A PIXE utolérhetetlen előnye azonban az XRF módszerrel és a neutronaktivációval szemben az a képessége, hogy kombinálható a fentebb említett PIGE és RBS módszerekkel, amely lehetővé teszi a könnyebb elemek analízisét is elég nagy mélységben. A PIXE másik nagy előnye az, hogy rendkívül kis anyagmennyiséget lehet vele analizálni. További előny, hogy az ionnyaláb egészen kicsire, mikrométer nagyságrendűre fókuszálható. Azokat a gyorsítókra telepített berendezéseket, amelyek képesek a vizsgált minta felületét mikrométeres felbontással letapogatva megadni az elemösszetevők felületi eloszlását, proton mikroszondáknak nevezik. (Elektronnyalábokkal is lehet mikroszondákat működtetni. Ezek térbeli felbontása össze-

vethető a proton mikroszondákéval, de érzékenységük a mikroelemekre azokénál sokkal kisebb.)

A fenti módszerekkel elért eredmények sokaságából emeljünk ki néhány jellemző példát. Mielőtt azonban ezekre rátérnénk, megemlíjük, hogy a nagyenergiájú ionokat használó analitikai módszerek csak viszonylag nemrégiben nyertek alkalmazást a művészeti és régészeti tárgyak vizsgálatában, és ezeket rendszerint magfizikai laboratóriumokban dolgozó fizikusok végezték szabadidejükben (ld. pl. [2]). Innen van az, hogy az eredmények bemutatása is jórészt magfizikai folyóiratokban (pl. *Nuclear Instruments and Methods*) történt [3].

A kódexek írásához szükséges tintát, illetve a nyomtatáshoz használt festéket korábban nagyon sok módszerrel és recept alapján maguk a krónikások, majd a nyomdászok állították elő. Ezek kémiai analízise rendszerint nem végezhető el annak következtében, hogy mintát venni egy értékes és ritka írásműből nem engedhető meg. A PIXE módszerrel végzett vizsgálatok kiderítették [4] pl., hogy a Gutenberg által a nyomtatáshoz használt első festék kivételesen sok réz (Cu) és ólomot (Pb) tartalmazott. Gutenbergnek gyakran kellett új festéket készítenie a Biblia nyomtatásának hosszú folyamatában. Minden egyes festékadagban a réznek és az ólomnak az aránya valamelyest különböző volt, amelyet proton mikroszonda segítségével detektálni lehetett. A Cu/Pb arány mérésével a szöveg mentén, oldalról-oldalra nyomom tudták követni a nyomtatás folyamatát, azt, hogy az milyen időrendi sorrendben, milyen szervezésben történt. Ilyen módon nagyon sok ismeretre tettek szert ennek a történelmi jelentőségű újításnak, a nyomtatásnak a kezdetéről, technikai fejlődéséről.

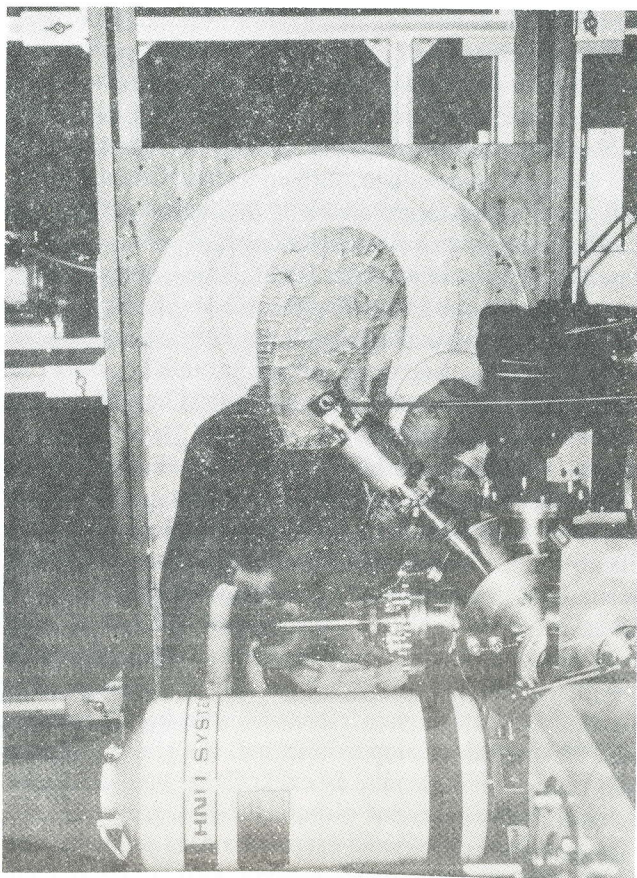
Az ásványokban, drágakövekben, kerámiákban, üvegekben, vagy a természetes módon vulkáni tevékenység következtében előállott üvegféleségben, az obszidiánban található szennyezések analízise teljessé teheti azok jellemzését. Segítheti annak tanulmányozását, hogy miként jutottak el ezek az anyagok, vagy a belőlük készült tárgyak a lelőhelytől, vagy a készítési helytől a kereskedelem útján a messze távolban élő felhasználókhoz.

A festmények analízisének köréből vett a következő példa [5]: A neves finn impresszionista Victor Westerholm (1860–1919) kilenc művéről sok szakértő úgy vélekedett, hogy azok nem eredetiek. Azonban a probléma az volt, hogy a képeket eladni szándékozók rendelkeztek egy elismert művészeti szakértő által írt hitelességi bizonylattal. A festményeket — néhány eredetit is — PIXE és PIGE vizsgálatoknak alávetve, az analízist a festmények különböző részein elvégezve, kiderült, hogy a kérdéses kilenc festményben az alkotórészek közel azonosak voltak, különösen a Zn/Ba/Ti arány volt pontosan ugyanaz. Az analízisből az derült ki, hogy szerves festékanyag felhasználására kerülhetett sor, valószínűleg ZnO, BaSO<sub>4</sub> és TiO<sub>2</sub> tartalmú alapozóréteggel. Az eredeti képeken Westerholm szerves festékanyagokat használt, és ezeknél az analízis ólomot is kimutatott, amely minden valószínűség szerint ólomfehérből származott. A hamisítványok eladói végül is elítélték, és a bíróság számára a titán jelenléte volt talán a döntő bizonyíték. U.i. a TiO<sub>2</sub>-t mint festékanyagot csak a festő életének legutolsó éveiben, 1916–1919 között dolgozták ki.

## AGLAE, AZ ÜNNEPI RAGYOGÁSÚ

Az előzőekből világos, hogy miért hozták létre az AGLAE-t (Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire), ezt a 2 millió Voltos ún. tandem elektrosztatikus gyorsítón alapuló gyorsító laboratóriumot éppen a Louvre-ban. (A helyhez illő a név is. Aglaiia a szépség és a báj három istennőjének a Khariszoknak egyike a görög mitológiában. A rómaiak gráciáknak nevezték őket. Mindenekelőtt Aphrodité, de Artemisz, Apolló, Athéné — a tudomány istennője — társaságában is képzeltek őket. Sugalmazásukra szorul a művészet és költészet is, mert nélkülük minden mű merev, hidegen hagyó mérsékelt alkotás.)

Az AGLAE eddig három nyalábsatornával rendelkezik [6], mindegyikre egy-egy speciális berendezést telepítve, amelyek más-más típusú anyagvizsgálat elvégzésére alkalmasak. A gyorsító és az analitikai berendezések egy 15x30 m<sup>2</sup> alapterületű csarnokban találhatóak. A csarnokot a neutronok árnyékolására 0,8–



2. ábra. A nyalábvégén vizsgált festmény.

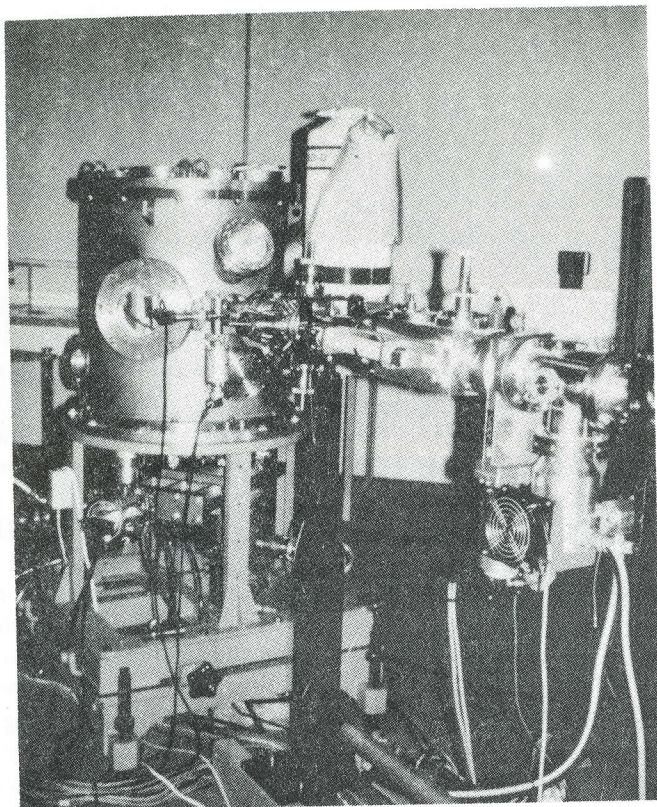
1 m vastagságú betonfalak veszik körül. Hasonló vastagságú betonréteg fedi a mennyezetet és az épület alját. Az ilyen vastag árnyékolás eleget tesz a legkómblyabb sugárzás elleni védekezés követelményeinek, amelyek elsőrendű fontosságú múzeumi környezetben. A csarnokot úgy alakították ki, hogy még az egészen nagyméretű műtárgyakat is akadálytalanul odaszállíthassák a raktárakból, kiállítási termekből, ugyanakkor a szállítás mindvégig a múzeum különleges biztonsági, vagyonvédelmi ellenőrző rendszerén belül történjen.

A „kihozott” nyalábvégződés: itt a gyorsító vákuumrendszeréből egy vékony fólián keresztül a levegőbe hozzák ki az ionokat, lehetővé téve ezzel nagyméretű, vagy olyan objektumok vizsgálatát, amelyek nem bírják a nagyvákuumot (pl. bizonyos kerámiák, szerves anyagok). A kilépő ablak egy 13 mikron vastagságú műanyag fólia (kapton), amelyet egy kisméretű vákuumkamra orrszerű nyúlványára ragasztottak. A tartóállványra 2mx2m nagyságú műtárgyak, pl. festmények (ld. 2.kép) helyezhetők fel, amelyeket távirányítható motorokkal finom lépésekben három irányban tudnak mozgatni, és így az analizálandó részleteket kiválasztani.

A nagyméretű vákuumkamra (3.kép) egyidejű PIXE, PIGE, RBS mérések elvégzésére szolgál. Különleges méretei (átmérő 60 cm, magasság 1 m) lehetővé teszik ennek megfelelő nagyságú műtárgyak pl. szobrok vákuumbeli analizését is, és egyben helyet biztosítanak a minta közelében egyszerre több detektornak. A minta mozgatása itt is távirányítással, három dimenzióban, elforgathatóan történik. A képen látható nagyméretű nézőablakok lehetővé teszik az analizálandó tárgy és a nyaláb szabad szemmel, illetve TV-kamera segítségével végzett megfigyelését.

Legújabb keletű a proton mikroszkop, amelyet 1992 végén helyeztek üzembe. Erős mágneses lencsékkel (a 4. kép közepén látható három henger alakú vas-köpenyes tekercs) a protonnyalábot a szomszédos vákuumkamrában 1x1 mikron nagyságú foltba fókuszálják össze. Ugyanakkor ezt az igen vékony nyalábot megfelelő eltérítő feszültségek alkalmazásával kb. 1x1 mm<sup>2</sup> felületen sepretik (hasonlóan ahhoz, ahogyan az elektronnyalábbal letapogatják a televízió képernyőjének belsejét). A mikroszkop fontos eleme a mintamozgató berendezés, amellyel a kisméretű, legfeljebb néhány cm<sup>2</sup> felületű vizsgálandó tárgy két dimenzióban, 1 mikrométer pontossággal továbbítható. A berendezést felszerelték optikai mikroszkóppal, PIXE és RBS mérésre alkalmas detektorokkal. A bonyolult vezérlő és kiértékelő számítógép-programoknak köszönhetően a vizsgált felületről kapott elemi koncentráció-eloszlás egy színes TV képernyőjén mint egy három-dimenziós hegy-völgy alakzat jelenik meg.

Az első eredmények a különféle festékanyagokon végzett PIXE vizsgálatokból származtak [7]. A gyorsítónak és a hozzá tartozó berendezéseknek festmények vizsgálatára való alkalmazhatóságát az ún. „Hamis itáliai primitív” c. képen elvégzett kísérletekkel demonstrálták. A további eredményekhez sorolandó a Közép-Európában talált kelta eredetű vörös színű üvegrománcok komplex vizsgálata (optikai- és elektronmikroszkóppal, valamint a PIXE módszerrel) [8]. De vizsgáltak már különféle kerámiákat, üvegeket, míg legújabbban a Limoge francia városból származó XI. századi üvegrománcok kísérleti vizsgálata vette kezdetét.

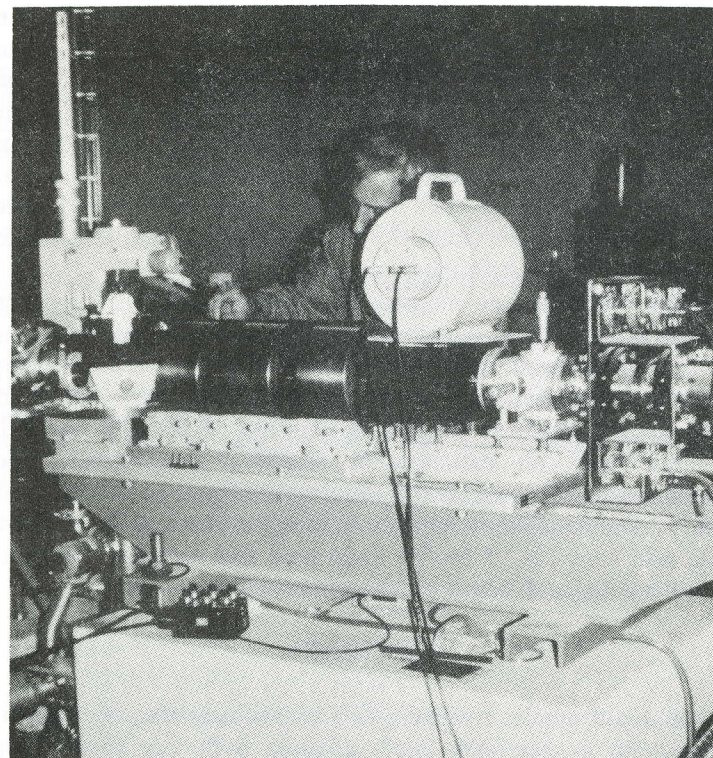


3. ábra. A vákuumkamrában történő vizsgálat.

### DEUTERONOK AZ ANALITIKA SZOLGÁLATÁBAN

Amint kezdetben már utaltunk rá, az analitikai módszerek állandó és folyamatos fejlesztése elsőrendű követelmény. Ennek figyelembevételével kezdődtek el azok a metodikai vizsgálatok, amelyek célja a PIXE és PIGE módszerek bizonyos fogyatékoságainak kiküszöbölése. Mint láttuk, a PIXE és a PIGE módszer együttes alkalmazásával az analízist majdnem minden elemre el lehet végezni. Kivételt a gyakorlatban csak a szén, a nitrogén és az oxigén képez. Ez több esetben megkönnyíti a munkát, pl. amikor szerves anyagokban (amelyek tudvalevően főleg ebből a három elemből épülnek fel) kell meghatározni a csak nyomokban jelenlévő más elemeket. Ugyanakkor vannak olyan feladatok is, amikor a teljes analízis érdekében minden elem koncentrációjának ismerete szükséges.

Régóta tudott, hogy a hidrogén egyik izotópja, az egy protont és egy neutronot tartalmazó deuteron igen könnyen lép reakcióba a legkülönbözőbb elemek atommagjaival. Az így keletkezett töltött részecskéket fel is használták már — az



4. ábra. A proton mikroszondával történő vizsgálat előkészítése.

RBS módszernél említett detektorokkal észlelve — elemanalízisre, főleg oxigén meghatározására. A magreakció során kibocsátott gamma-sugárzás is nagyon intenzív mindenképp a kérdéses szén, nitrogén és oxigén esetében, továbbá több más elemnél is. Úgy tűnik tehát, hogy a deuteronok által keltett gamma-sugárzás detektálása (a rövidítés DIGME, a PIGME analógiájára) jó módszer lehet a kérdéses elemek kimutatására. Ennek ellenére mindezt nagyon kevés eredményt közöltek ennek a módszernek az analitikai alkalmazásáról. Az ok talán az, hogy a deuteronok keltette neutronok sugárzási veszélyessége mind az emberre, mind a detektorra sok potenciális felhasználót visszariasztott a tényleges analízistől. A besugárzás során keletkezett nagyszámú, különböző gamma-energiák között sem könnyű eligazodni.

A művészeti tárgyak fő elemösszetevőinek meghatározása érdekében szükségessé vált mégis annak vizsgálata, hogy miként lehetne a DIGME módszert a gyakorlatban is használhatóvá tenni. A feladat megvalósíthatóságát segítette az, hogy az utóbbi időben olyan gamma-detektorokat fejlesztettek ki, amelyek nagymértékben ellenállnak a deuteronokkal létrehozott magreakciók során nagy számban keletkező neutronok roncsoló hatásának (ún. *n*-típusú különlegesen nagy

tisztaságú germánium detektorok). Az AGLAE labor neutronok elleni kitűnő arnyékolása és automatizáltsága pedig a kutatók biológiai védelmét garantálta.

Szisztematikus vizsgálatok kezdődtek tehát az AGLAE gyorsítónál, amely során a lítium és kálium között a periódusos rendszerben helyet foglaló elemek egész sorát bombázták meg 0,7–3,4 MeV energiájú deuteronokkal. Meghatározták a keletkezett gamma-sugarak energiáját, mérték intenzitásuk változását a deuteron energiájának függvényében, figyelték a kísérletek során keletkezett neutronokat és azoknak a detektorra gyakorolt hatását. Végül, azonos kísérleti feltételeket teremtve, összehasonlító PIGE vizsgálatokat végeztek.

Az eredmények világosan megmutatták, hogy a DIGME módszerrel megoldható a szén, a nitrogén és az oxigén nagy érzékenységgel detektálása az AGLAE-hez hasonló kis gyorsítók használatával is. Kiderült, hogy a módszer eléggé érzékeny a nátrium és a szilícium kimutatására, és az AGLAE-vel elérhető energiákon a kén, klór és kálium esetén is érzékenyebb mint a PIGE. A közölt [9] gamma-energiák és intenzitások (ún. hozamgörbék) segítik az analitikust a valódi minták analízisekor az esetleges bizonytalanságok tisztázásában. A DIGME módszerhez nagyon kicsiny (csupán néhány nA) ionáramra van szükség, és rendszerint a gyorsító energiája sem nagy (2–2,5 MeV). Ezért nem kell tartani a neutronok okozta sugárveszélytől a neutronok elleni védelem hiánya esetén sem.

## UTÓIRAT

A cikkben bemutatott munka elvégzése és a kézirat megírása óta hosszú hónapok teltek el. Legutóbb a szerzőnek ismét alkalma nyílt egy rövid látogatásra a Louvre-ban. Tapasztalhatta, hogy a toronydaruk eltűntek az évszázados épületek körül, a három emelet mélységű üreget befedték, visszakerültek a Carrousel diadalívének két oldalára a szobrok, és parkosítanak, járdákat építenek. A mélyben a látogatók birtokba vették a hatalmas parkolókat, üzleteket, éttermeket. Megcsodálhatják az új érdekességet: a fordított üvegpiramist, a rajta megtörő napsugár szivárványszíneit.

Az AGLAE pedig változatlan serénységgel szolgálja a tudományt. Most éppen egy perzsa eredetű kézirat betűit kirajzoló színes festék anyagának elem-összetételére segít fényt deríteni. A nagy értékű műkincset ott vigyázza az elmaradhatatlan múzeumőr, de — mint mondja — az AGLAE nyalábjának finom simogatásától sokkal kevésbé kell azt féltetnie, mint a hagyományos értelemben vett kutatástól, a kézirat nézegetésétől, forgatásától, az ezzel járó gyűrődésektől, kopásoktól.

## IRODALOM

1. Michel Menu, IBA in the Museum: why AGLAE, Nucl. Instr. and Meth. **B45** (1990) 597
2. J.R. Bird, P. Duerden and D.J. Wilson, Ion Beam Techniques in Archaeology and the Arts, Nuclear Science Applications Vol. 1. No. 5. (1983) 357
3. Proc. Int. Workshop on Ion Beam Analysis in the Arts and Archaeology, Pont-à-Mousson, France, 1985. (Eds.: Ch. Lahanier, G. Amsel, Ch. Heitz, M. Menu and H.H. Andersen) Nucl. Instr. and Meth. **B14** (1986)
4. B.H. Kusko and R.N. Schwab, Historical analyses by PIXE, Nucl. Instr. and Meth. **B22** (1987) 401
5. T. Tuurnala, A. Hautojärvi and K. Harva, Examination of oil paintings by using a PIXE/PIGME combination, Nucl. Instr. and Meth. **B14** (1986) 70
6. M. Menu, T. Calligaro, J. Salomon, G. Amsel and J. Moulin, The dedicated accelerator-based IBA facility AGLAE at the Louvre, Nucl. Instr. and Meth. **B45** (1990) 610
7. B.H. Kusko, M. Menu, T. Calligaro and J. Salomon, PIXE at the Louvre Museum, Nucl. Instr. and Meth. **B49** (1990) 288
8. N. Brun and M. Pernot, The opaque red glass of Celtic enamels from Continental Europe, Archaeometry, 34, 2 (1992) 235
9. Á.Z. Kiss, I. Biron, T. Calligaro and J. Salomon, Thick target yields of deuteron induced gamma-ray emission from light elements, Nucl. Instr. and Meth. B, *közlés alatt*.