

A radioizotópok felhasználásáról

A radioaktív sugárzásokat kibocsájtó elemeknek ma már rendkívül széles skáláját ismerjük. Minden elemnek sikerült legalább egy, de sok esetben 10–15, sőt egyes elemeknek, pl. antimon, technécium, 20 különböző radioizotópját is előállítani. A radioizotópok bomlási félideje sok esetben olyan rövid, hogy kizárja az izotóp bármiféle felhasználását. Így pl. számos vizsgálat szempontjából rendkívül fontos elemeknek, mint pl. az oxigén, nitrogén, alumínium, magnézium, sajnos nincsenek 10 percnél hosszabb felezési idejű izotópjaik. Legtöbb elemnek azonban előállítható mind a kibocsájtásra kerülő sugárzás, mind pedig a felezési idő szempontjából kedvező sajátságokkal rendelkező izotópjuk, amelyek a tudományos kutatások és gyakorlati felhasználások terén egyaránt új lehetőségek felé nyitottak utat.

A radioizotópok alkalmazása már eddig is a biológiai, kémiai, orvosi, fizikai, metallurgiai, geofizikai, ipari, mezőgazdasági, bányászati, stb. kutatások és gyakorlati alkalmazások oly sok területén indult meg, hogy azok felsorolására természetesen gondolnunk sem lehet. A következőkben csupán a legfontosabb alkalmazási lehetőségekből kiragadott egyes példákat szeretnék ismertetni a felhasználás elvi alapjai szerint a következő csoportosításban:

A) A radioizotópokkal mint nyomjelzőkkel kapcsolatos alkalmazások.

B) Az izotópok által kibocsájtott sugárzási energiák felhasználása.

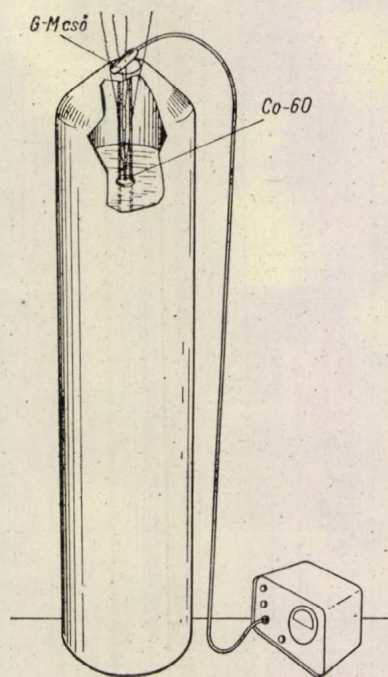
C) A sugárelnyelődésen illetve szóródáson alapuló vizsgálati módszerek.

A) Radioizotópok mint nyomjelzők

1. *Folyadékszint meghatározása zárt tartályokban.* Zárt tartályban a folyadékszint magasságát bármikor meghatározhatjuk oly módon, hogy egy kis csónakban gamma sugárzó izotópot helyezünk a folyadék felszínére és ezzel azt mintegy megjelöljük. Két függőlegesen kifeszített huzal biztosítja, hogy a csónak állandóan közepén helyezkedjék el. A tartály felett elhelyezett sugármérő készülék a csónak közeledését, illetve távolodását a gamma sugár intenzitásának a növekedésével illetve csökkenésével közvetlenül jelzi. A mérőberendezés műszerskáláját a folyadékszint magasságának megfelelően centiméterekben kalibrálhatjuk be. E célra igen alkalmas izotóp a Co-60, amelynek két, nagyáthatoló képességű gamma komponense van, 1,17 illetve 1,33 MeV-os energiával és felezési ideje is (5,3 év) elég hosszú ahhoz, hogy legfeljebb csak havonta kelljen a korrekciós faktoron változtatni. Minthogy a sugárforrás és mérőberendezés között csak a tartályfal abszorpciójával kell számolnunk, aránylag kis mennyiségű izotópot alkalmazhatunk, leg-

több esetben külön sugárvédelemre nincsen szükség (1. ábra).

2. *Kohók falvastagságának ellenőrzése.* Egy másik példa a makroszkopikus nyomjelzésre a kohók falvastagságának időszakos ellenőrzése. A nagy-kohókban, mint ismeretes, folyamatosan végzik az olvasztást és bizony nehéz megállapítani, hogy a tűzálló téglafal mennyire használdott már el. A túlságosan elvékonyodott falak, illetve fenék viszont igen komoly üzemzavaroknak lehet a forrása.

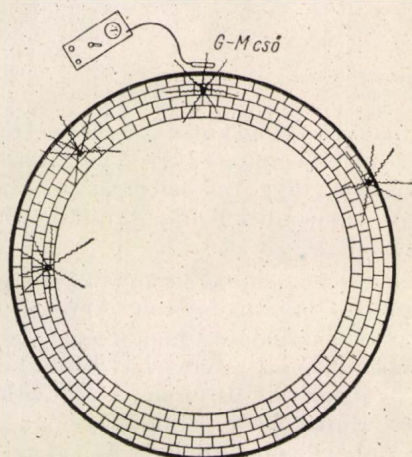


1. ábra

Ha azonban a kohók építésein annak falába különböző helyeken különböző mélységekbe gamma sugárzó izotópokat, pl. Co-60-as golyócskákat építünk be, akkor amint a kohók fala elvékonyodik, legelőször a belső felszínhez legközelebb eső golyócska fog kiszabadulni és belekerülni az olvadékba, majd egymás után az egyre mélyebben fekvők. Amennyiben tehát a golyócskák annyi Co-60 izotópot tartalmaznak, hogy gamma sugárzásuk a kohófalon kívül, hordozható sugármérő készülékkel jól kimutatható, akkor a kérdéses helyeken a gamma sugárzás eltűnéséből a kohófalnak a golyócska mélységéig való elhasználódására következtethetünk. Így állandóan nyomon tudjuk követni a kohófal elvékonyodását (2. ábra).

A nagy-kohók falai 50–100 cm vastagságot is elérnek, amennyiben tehát a belső felszín közelébe eső rétegek megjelölésétől el is tekintünk, még mindig igen jelentős abszorpciós rétegvastagsággal kell számolnunk. Így legalábbis a külső

felszíntől nagyobb távolságokba kerülő téglákba nagyobb izotóp mennyiségeket kell elhelyeznünk. Igaz viszont, hogy mivel nem mérésről, hanem csupán a sugárforrás jelenlétének illetve jelen nem létének a megállapításáról van szó, az észlelés helyén olyan egész kicsi sugárintenzitásokkal — 0,1–0,2 mr/hr — is megelégedhetünk, aminek pontos mérése hosszabb időt venne igénybe. Az alkalmazandó izotóp mennyiségek kiszámítása egyrészt a sugárintenzitás négyzetes fogyásának figyelembevételével történik, kiindulva abból, hogy 1 mC Co-60 1 cm távolságban 1 óra alatt 13,5 r gamma sugármennyiséget szolgáltat, másrészt az egyes anyagok rétegvastagságának megfelelő abszorpciós faktorokat kell figyelembe vennünk.

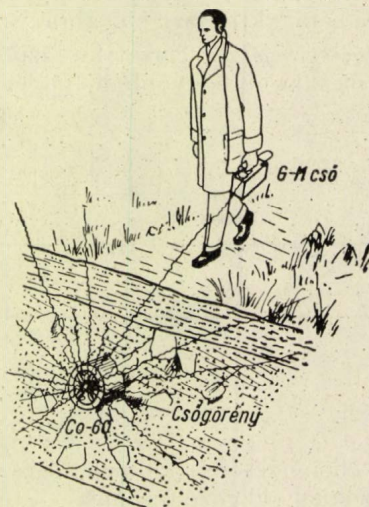


2. ábra

A már említett kis sugárintenzitások következtében magánál a kohónál a cobalt-golyócskák beépítése után sugárvédelmi kérdések már nem merülnek ugyan fel, annál inkább figyelembe kell azonban venni az olvadéknak cobalttal fertőzött voltát. A vas felhasználása a kibocsátott sugárintenzitásnak megfelelően korlátozandó.

3. *Csőgörény keresés.* Ismeretes, hogy az olaj távvezetékek belső keresztmetszete a falakra történő lerakódások következtében fokozatosan csökken. Ezért időnként a csővezetékben úgynevezett csőgörényt szokás jártni, amely rúgók által a csőfalhoz szorított acélkarmaival állandóan kaparja, tisztítja a csőfalat és így megakadályozza annak megvastagodását. Előfordul olykor, hogy ez a csőgörény valamilyen okból kifolyólag elakad és ezáltal akadályozza az olaj áramlását is. Megkeresése természetesen igen nagy munkát jelent. Ha ilyenkor egy másik, gamma sugárzó izotóppal töltött csőgörényt küldünk végig a csővezetéken, ez nyilván ugyanott szintén meg fog akadni, helyét azonban hordozható sugázmérő készülékkel a kibocsátott gamma sugárzás észlelésével könnyen megállapíthatjuk. Így csupán egy helyen szükséges a csővezeték kibontani és az elakadt csőgörényt kiszabadítani (3. ábra).

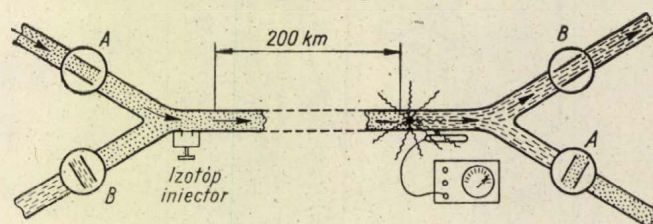
Minthogy a csővezetékek a föld felszíne alatt mintegy 100–130 cm mélyen húzódnak, igen jelentős abszorpcióval kell számolnunk és ennek megfelelően aránylag nagy izotóp mennyiséget kell a csőgörénybe helyezni. Co-60-as izotóp esetén mintegy 300–500 mC-nyi mennyiségre van szükség és még ebben az esetben is aránylag pontosan a csővezeték felett kell a sugázmérő



3. ábra

készülékkel haladnunk, nehogy a ferde irányban kilépő gamma sugarakat a még vastagabb földréteg elnyelje. Detektáló készüléknek hordozható GM csöves készüléket használhatunk a legérzékenyebb — 0,2 mr/hr — mérési határral. A csővezeték kiásását a nagyobb mennyiségű izotóp miatt attól kissé távolabb úgy kell végezni, hogy állandóan legalább 1 m-es földréteg biztosítsa a sugárvédelmet.

4. *Olajok megjelölése.* Gyakran ugyanazon az olajvezetéken egymásután különböző minőségű olajok kerülnek továbbításra. Fontos, hogy a csővezeték végéhez megérkező új olajféleség új tartályba is jusson. Ez azáltal biztosítható, hogy az új olajféleség betáplálásánál gamma sugárzó izotóp injektálásával mintegy megjelöljük a kétféle olaj határfelületét. A csővezeték túlsó végén levő elágazás előtt sugázmérő készülék jelzi (4. ábra) az izotóp megérkezését, mire az



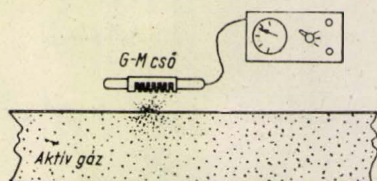
4. ábra

olajáramlás a csapok átváltásával a megfelelő tartályba átirányítható.

5. *Lyukkeresés csővezetéseken.* Radioaktív gázokat felhasználhatunk csővezetékeken keletke-

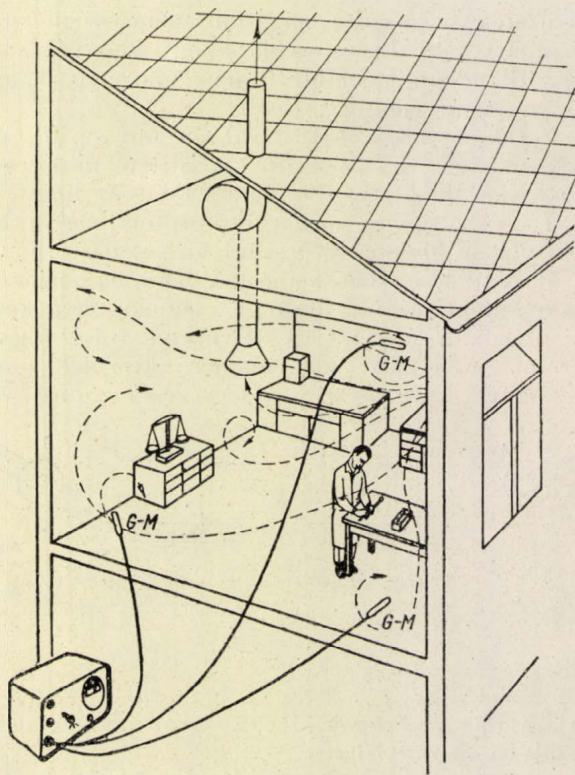
zett lyukak, repedések megkeresésére. Így pl. telefonkábeleken igen nagy károkat és zavarokat idéz elő az apró nyílásokon beszivárgó víz. Ha a csővezetékbe béta-gamma sugárzó gázt, pl. radio-brómos levegőt vezetünk, akkor a cső külsején végigvitt béta érzékeny GM-cső, minthogy a gamma sugárzásra csak 1%-ban, a béta sugárzásra viszont közel 100%-ban érzékeny, a csőmenti állandó gamma háttér felett a nyílásoknál jelezni fogja a kiáramló béta aktivitást (5. ábra).

6. Szellőzésvizsgálat. Gázalakú izotópok felhasználhatók kisebb-nagyobb helyiségek szellő-



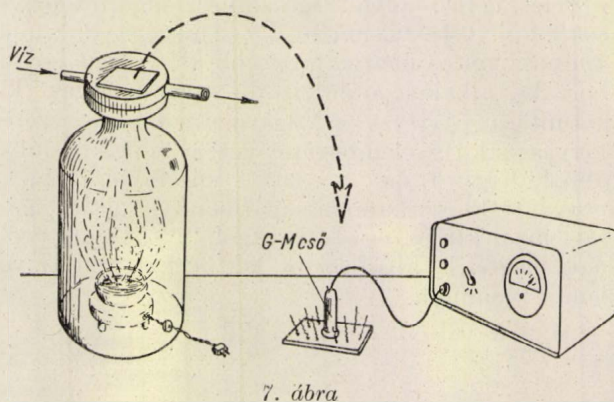
5. ábra

tetésének ellenőrzésére, aminek egészségre ártalmas gőzökkel dolgozó üzemek esetében nagy jelentősége van. A helyiség levegőjét pl. radio-brómmal jelöljük meg és elkeveredés után megállapítjuk annak fajlagos aktivitását. Ezután megindítjuk a szellőztető berendezést és a helyiség különböző pontjain mérjük az idő függvényében az aktivitás csökkenését (6. ábra).



6. ábra

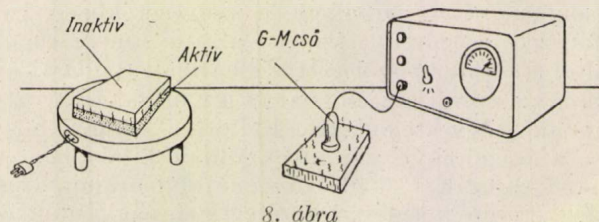
7. Fémek párolgásának vizsgálata. Egy zárt edényben elhelyezzük a vizsgálandó fémét és felette egy vízzel hűtött lemezt. Az edényben vákuumot létesítünk és a radioaktív fémot melegíteni kezdjük (7. ábra). Az elpárolgó fém-



7. ábra

atomok nagyrésze a hűtött lemeze fog lecsapódni. Aktivásmérésekkel megállapíthatjuk, hogy hogyan függ a párolgás a hőmérséklettől, összehasonlíthatjuk különböző fémek párolgását stb.

8. Diffúzió vizsgálatok. A fémekkel kapcsolatos vizsgálatoknak fontos részét képezi a fémek diffúziójának vizsgálata. Ismeretes, hogy különböző fémek atomjai egymásba diffundálnak, sőt azonos fémtömbök atomjai is átdiffundálnak egymásba. Ennek az ún. öndiffúzióknak a vizsgálására a radioizotópok felfedezése előtt gondolni sem lehetett. Most erre is megvan a lehetőségünk. Ha pl. egy máglyában felaktivált réztömböt hozzászorítunk egy inaktív réztömbhöz, a hőmérséklettől függően bizonyos idő múlva az inaktív tömb is aktivitást mutat. Vizsgálhatjuk, hogy milyen mélyre hatoltak be ezek az aktív rézatombok az inaktív réztömbbe, pl. oly módon, hogy a réztömbből egy vékony réteget leasztergályozunk, majd ismét megmérjük a felület aktivitását. Ilyen módon megállapíthatjuk a hőmérséklet, idő és diffundálási mélység közötti összefüggéseket (8. ábra).



8. ábra

De vizsgálhatjuk a gázok diffúzióját is fémeken keresztül, megállapíthatjuk a gázdifúzióból a fémek állandó jellegű deformációjának a bekövetkezését, stb.

9. Kopásvizsgálatok. Minthogy a radioaktív módszerekkel történő súlymeghatározás által-

ban hat nagyságrenddel érzékenyebb a legtekintélyesebb egyéb módszerekénél, igen gyors és megbízható vizsgálatok végezhetők radioizotópok segítségével a különféle kopásjelenségek tanulmányozása terén is. Így pl. motorok dugattyúgyűrűjének kopását vizsgálhatjuk oly módon, hogy azokat atommáglyában felaktiváljuk, majd a motorolajat GM csővön cirkuláltatjuk keresztül. A dugattyúgyűrűről lekopott anyagmennyiség az olajjal a GM csőbe jut. Így az olajok aktivitásának a mérésével folyamatosan követni tudjuk a kopás folyamatát anélkül, hogy a motort szét kellene szedni. Vizsgálhatjuk a kopás függését a hőmérséklettől, igénybevételtől, olajminőségtől, stb. (9. ábra)

Hasonlóképpen egyéb kopásjelenségeket is tanulmányozhatunk a radioizotópok segítségével az eddiginél nagyságrendekkel rövidebb idő alatt: mérhetjük az útburkolatok, gumiabroncsok, esztergakések, stb. kopását.

10. *Talajvizek mozgásának vizsgálata.* Felhasználhatjuk a radioaktív izotópokat talajvizek mozgásirányának és sebességének a meghatározására is. A kérdéses helyen lefúrva radioizotópot tartalmazó oldatot juttatunk a talajba, majd különböző irányokban egy bizonyos távolságban ugyancsak lyukakat fúrunk és ezekbe pl. GM csöveket engedünk le. Amerre a talajvíz áramlás halad, bizonyos idő múlva a GM-csövek jelezni fogják az aktivitás tovaterjedését. A távolság és idő leméréseivel sebességmérést is végezhetünk (10. ábra).

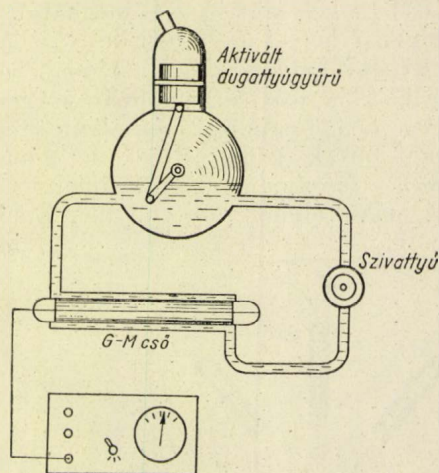
11. *Folyadékok mennyiségének meghatározása.* Nem hozzáférhető folyadékok mennyiségét radioizotópokkal a következő módon határozhatjuk meg: Az ismeretlen V térfogatú folyadékba ismert V_0 térfogatú, s_0 specifikus aktivitású oldatot öntünk, majd elkeveredés után mintát veszünk és meghatározzuk annak specifikus aktivitását: s -et. Nyilván

$$V_0 s_0 = (v_0 + v) s,$$

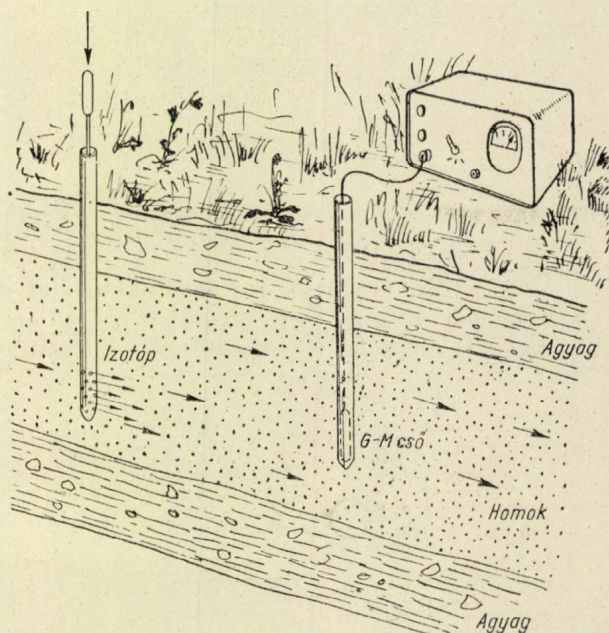
amiből az ismeretlen V kiszámítható.

12. *Viszkózitásmérés.* Nem átlátszó folyadékok esetében viszkózitást mérhetünk oly módon, hogy radioaktív golyót alkalmazunk, melynek helyzetét vastagabb ólomlemezbe fúrt lyukak mögött elhelyezett GM csövekkel határozhatjuk meg (11. ábra).

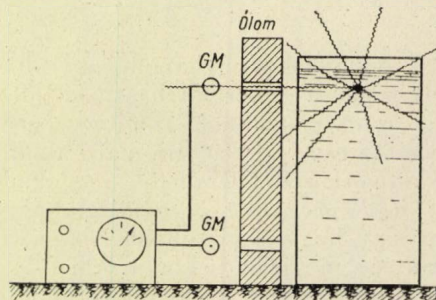
13. *Vérkeringés sebességének mérése.* Az izotóptechnika rendkívül érzékeny volta miatt olyan kis mennyiségek elegendők nyomjelzéses vizsgálatok elvégzésére, hogy sok esetben a módszer az élő emberre is ártalom nélkül kiterjeszthető. Így pl. meghatározhatjuk a vérkeringés sebességét oly módon, hogy nátrium 24-es izotópját tartalmazó fiziológiás konyhasó oldatot injektálunk pl. az egyik csuklónál a véráramba, majd a test különböző helyein elhelyezett GM csövek segítségével észleljük, hogy mennyi idő alatt jut el a nátrium a kérdéses helyre. Az így kiszámítható vérkeringési sebesség a szív diagnosztizálásához nyújt támpontot.



9. ábra



10. ábra

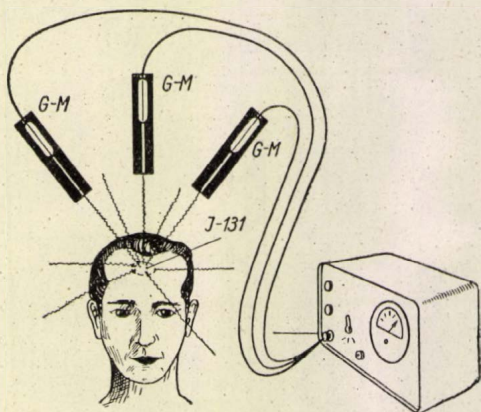


11. ábra

14. *Agydaganatok lokalizációja.* Agyműtétek elvégzését megkönnyíti a daganat helyének előzetes pontos ismerete. Radioaktív jóddal megjelölt, az agydaganatban feldúsuló vegyületek injektálása után ólomhengerek furatában elhe-

lyezett GM csövek segítségével meghatározhatjuk az agydaganat helyét és kiterjedését (12. ábra).

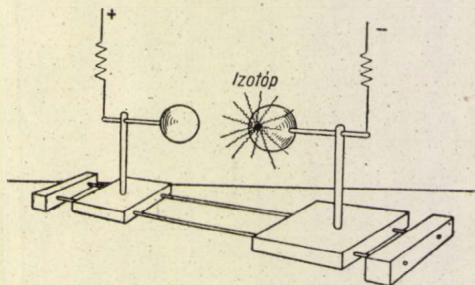
15. *Kémiai alkalmazások.* A kémiai, biokémiai alkalmazások hosszú sorát csupán megemlítjük. Számos esetben a radioizotópok olyan vizsgálatok elvégzését tették lehetővé, pl. a kicserélődési folyamatok tanulmányozását, amelyre azelőtt izotópok nélkül elvileg sem volt meg a lehetőség.



12. ábra

B) Az izotópok által kibocsátott sugárzási energiák hasznosítása

A második csoportba sorolhatjuk azokat az alkalmazásokat, ahol nem magukat a radioizotópokat használjuk fel kisebb-nagyobb atom-



13. ábra

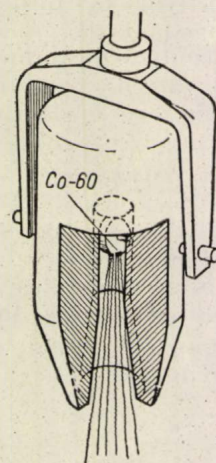
csoportok megjelölésére, hanem az általuk kibocsátott sugárzási energiát hasznosítjuk. Az izotópoknak mint elemeknek a milyensége teljesen közömbös. Az e csoportba sorolható alkalmazások közül a következőket említjük meg:

16. *Gáztöltésű csövek begyújtása.* Sok esetben igen lényeges, hogy a gáztöltésű csövek a szükséges feszültség megjelenésekor azonnal begyulladjanak. Ehhez viszont elektronok, illetve ionok állandó jelenléte szükséges, amit a kozmikus sugárzás, illetve a környezet radioaktív szennyezése nem tud kellőképpen biztosítani. Kis mennyiségű béta sugárzó izotópnak a csövekbe való behelyezése a problémát tökéletesen megoldhatjuk.

Hasonló célt szolgál a szikraközös nagyfeszültség mérésnél radioaktív izotópoknak a gömbökbe való behelyezése is (13. ábra).

17. *Sztatikus eliminátorok.* Nagyobb mennyiségű izotópoknak erősebb béta sugárzása által létesített ionizációt felhasználhatjuk sztatikus feltöltődések levezetésére, ami által egyrészt bizonyos gyártási folyamatokat tökéletesíthetünk, illetve meggyorsíthatunk, másrészt tűzveszélyes anyagok esetében megakadályozhatjuk a nagyfeszültségű sztatikus töltések között átütő szikrák által okozott tüzeket. Így pl. optikai lencsék készítésénél a sztatikusan feltöltött üveg a levegőben úszó apró porrészecskéket, szálakat magához vonzza; újságy nyomtatásnál a sebesség fokozásának határt szab a papírlapok elektrosztatikus erőktől származó tapadása, stb. A levegő ionizálásával az ilyen jelenségeket kiküszöbölhetjük.

18. *Radioaktív fényforrások.* Kis kvantumenergiájú tiszta béta sugárzó izotópok sugárzási energiáját fényenergiának a termelésére használhatjuk fel. Zseblámpaizzóhoz hasonló kis fényforrásokat készíthetünk oly módon, hogy a fluoreszcens anyaggal bevont üveggömbbe lágy béta sugárzó izotópot helyezünk. A béta sugarak a fluoreszcens anyagot, pl. stilbint állandó fénykibocsátásra készítenek anélkül, hogy az üvegbúrán kívül számottevőbb sugárdózist szolgáltatnának.



14. ábra

19. *Therápiás sugárforrások.* Bizonyos gamma sugárzó izotópokat, pl. a Co-60-at a rádiumhoz hasonlóan felhasználhatunk daganatok elpusztítására. Kisebb mennyiségeket (3–10 mC) tartalmazó tűk, illetve tubusok segítségével közeli besugárzásokat, míg nagyobb mennyiségekkel, több száz, sőt ezer Curie-s sugárforrásokkal — távoli besugárzásokat ún. telecurietherápiát végezhetünk. Különösen a mélyen fekvő daganatok besugárzására alkalmas telecurietherápiánál az atommáglyák lehetővé tették az ún. rádiumágyúknál két nagyságrenddel nagyobb intenzitású cobalt források előállítását, aminek következtében a besugárzási idők lényegesen lecsökkentek. A kibocsátott gamma sugarak energiájának a szövetekben elnyelődő részét ez esetben biológiai hatások létrehozására használjuk fel (14. ábra).

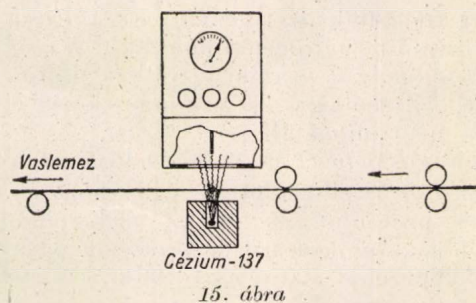
20. *Élelmiszersterilizálás.* Felhasználhatjuk a radioizotópokat különféle ételek, konzervek tartósítására, azaz a bennük levő baktériumok elpusztítására is. Mivel ezek az alacsonyabbrendű élőlények az emberi szervezetenél 2–3 nagyságrenddel sugárrezisztensebbek, igen nagy sugáradagokra — több-százezer r -re — és ennek megfelelően igen erős sugárforrásokra is van szükség, hogy az előttük elhaladó futószalagra helyezett konzervdobozok valóban sterilizálódjanak.

21. *Radioaktív áramforrások.* A tiszta béta sugárzó izotópok pl. $Sr-90$ segítségével radioaktív áramforrások is készíthetők, azaz a sugárzási energiát közvetlenül elektromos energiává is átalakíthatjuk. Az ilyen áramforrások ugyan egyelőre kis áramintenzitást szolgáltatnak, azonban mindenesetre tartósan szolgáltatják és pl. távolbalátó készülékek működtetéséhez elegendő mennyiségben.

C) Sugárelnyelődésen illetve szóródáson alapuló vizsgálati módszerek

A sugárelnyelődés és szóródás törvényszerűségei számos új vizsgálati eljárás bevezetésére nyújtottak lehetőséget. Ezek közül talán legfontosabbak a különféle vastagságmérési és anyagvizsgálati eljárások.

22. *Vastagságmérés abszorpcióméréssel.* Fóliák, lemezek vastagságát gyártás közben folyamatosan mérhetjük, ha azokat vastagságuknak megfelelő sugárforrás és sugárázmérő-készülék között vezetjük keresztül. Vékony lemezek, mint pl. alumíniumfóliák, papír, gumi esetén tiszta béta sugárzó izotópokat, míg vastagabb lemezeknél megfelelő gamma sugárzókat célszerű használni. A mérendő rétegen áthaladó sugárzás intenzitása és a réteg vastagsága közötti összefüggést tapasztalati úton határozhatjuk meg (15. ábra).

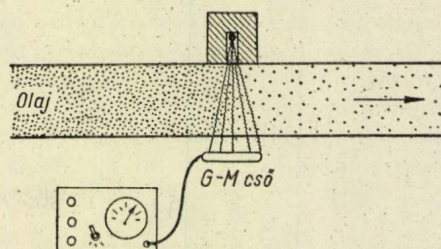


15. ábra

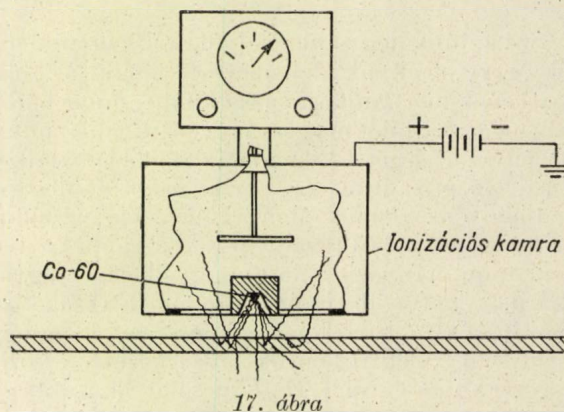
23. *Sűrűségmérés.* Minthogy azonos vastagság esetén a sugárelnyelődés a sűrűséggel arányos, felhasználhatjuk a sugárelnyelődés mérését egy bizonyos csővezetékén átáramló folyadéknak, pl. olajnak folyamatos sűrűségmérésére, vagy a textiliparban a sodrásra kerülő kártolt szalagokban levő anyag mennyiségének folyamatos meghatározására, talajsűrűségek mérésére, stb. (16. ábra.)

24. *Szóródáson alapuló vastagságmérés.* Ha a mérendő lemeznek csak egyik oldalához tudunk hozzáférni, annak vastagságát a róla visszaszóródó sugárzás intenzitásának a mérésével határoz-

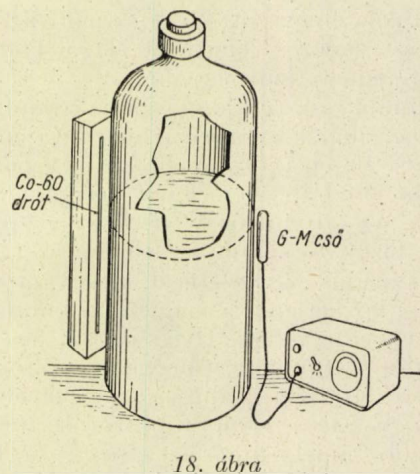
hatjuk meg. A sugárforrás és sugárázmérő be-
rendezés egymás mellett foglalnak helyet, a
visszaszóródó sugárzás intenzitása bizonyos határ-
ig a szóróközeg vastagságától függ (17. ábra).



16. ábra



17. ábra



18. ábra

25. *Szintmérés.* Zárt tartályokban a folyadék-szintet, vagy pl. a kohókban a megolvadt vas szintjét meghatározhatjuk oly módon, hogy a tartályon kívül egymással átellenben megfelelő erősségű sugárforrást és mérőberendezést helyezünk el és ezeket kényszerkapcsolatban egyszerre emeljük, illetve süllyesztjük. Amikor elértük a folyékony anyag szintjét, a megnövekedett abszorpció következtében a sugárzás intenzitása hirtelen lecsökken.

Függőlegesen elhelyezett lineáris sugárforrás alkalmazásával mozgítás nélkül folyamatos intenzitásváltozást észlelünk, amit felhasználunk folyadékszintek magasságának folyamatos regisztrálására (18. ábra).

26. *Radiográfiai vizsgálatok.* Végül megemlítjük, mint a radioizotópok egyik legfontosabb alkalmazását, a roncsolásmentes anyagvizsgálatot. Öntvényekben, hegesztésekben, betonban stb. fellépő repedéseket, légzárványokat az áthaladó gamma sugárzás intenzitásában megmutatkozó változások révén egyszerű módon észlelhetjük. A radioizotópok nagyobb kvantumenergiájú gamma sugarai egyrészt lehetővé teszik a röntgen sugárzással már régóta űzött vizsgálatoknak jóval vastagabb mintákra való kiterjesztését, más-

részt a sugárforrások kicsinyiségük következtében olyan helyekre is bevihetők, ahova röntgen csővel nem lehetett hozzáférni. A defektusok észlelése legtöbbször röntgen filmmel történik, de lehetséges gyorsabb módszereknek, mint pl. a vizsgálandó hegesztés vékony sugárnyalábbal való végigtapogatásának az igénybevétele is.

Bozók László

Magyar Tudományos Akadémia
Központi Fizikai Kutató Intézete

Az atommagok periódusos rendszeréről

Századunk legszebb tudományos eredményeinek egyike annak felismerése, hogy az elemi részecskék mechanikájával, a kvantummechanikával meg tudjuk magyarázni a kémia minden törvényszerűségét. A kémia és fizika e találkozásához vezető úton az egyik leggyümölcsözőbb eredmény az elemek Mengyelejev-féle periódusos rendszerének felállítását volt. A periódusos rendszer tanulmányozása alapján sikerült ugyanis Bohrnak fényt deríteni az elemek érzékelhető, kézzelfogható tulajdonságai és az atommagot körülvevő elektronburok szerkezete közötti szoros kapcsolatra. E kapcsolat kutatásának legszebb »mellékterméke«-ként pedig Pauli felismerte a róla elnevezett elvet,* amely azóta is az elemi részecskékre vonatkozó legmélyebb, legfontosabb ismereteink egyike.

Az atommagok tulajdonságainak tanulmányozása közben már kezdetben felmerült a gondolat: nem lehet-e vajon az atommagokat is a periódusos rendszerbe foglalt elemekhez hasonlóan rendszerezni? Az atommagok periódusos rendszere alapján bizonyára fontos ismereteket szerezhetnénk a magok szerkezetéről. Egyes szabályosságokat már közvetlenül a magfizikai kutatás indulása után megfigyeltek. Ilyen pl. az, hogy a legtöbb stabil** atommag tömege a hidrogénatom tömegének, töltése pedig az e pozitív elemi töltésnek*** párosszámú többszöröse. Azok az atommagok, amelyeknél az első — a tömeget meghatározó — szám: az ún. *tömegszám* páratlan, kevésbé stabilak; olyan stabil atommagot pedig, amelynek tömegszáma páros, de a töltését megadó *rendszáma* páratlan, csak négyet ismerünk: ez arra mutatott, hogy az ilyen atommagok nagy többsége nem stabil.

Az elemekhez hasonló periódusos rendszer körvonalai azonban csak az atommagkutatás későbbi korszakában kezdtek láthatóvá válni. A szabályosságok elméleti értelmezése meg külö-

nösen soká váratott magára. Cikkünk arról a kutatómunkáról kíván képet adni az olvasónak, amely e kérdés tisztázásához vezetett.

Az elméleti magfizika kezdete

Alighogy az 1930 körüli időben, a kvantummechanika felfedezésével és alkalmazási területének áttekintésével lényegében lezárult az atomok szerkezetére vonatkozó ismereteink tisztázódása, új feladat várta az elméleti fizikusokat: az atommagok tulajdonságainak értelmezése, a mag-szerkezet problémáinak megfejtése.

Igaz, hogy a kísérletező kutatók a magokból kibocsátott sugárzások és a magreakciók tanulmányozásából a század elejétől kezdve igen sok, az atommagokra vonatkozó adatot gyűjtöttek össze, az elméleti fizikusok mégsem érthették el lényeges eredményeket a mag-szerkezet felderítésében a század első három évtizede folyamán. Ennek egyik legfőbb oka az volt, hogy az atommagok »lakóinak« több mint a felét: a neutronokat — ekkor még nem ismerték.

Mai tudásunk szerint egy Z e töltésű és A tömegszámú (a hidrogénatomnál kb. A -szor nehezebb) atommag Z számú, e töltésű protonból és $N = A - Z$ semleges, a protonnal közel egyenlő tömegű neutronból áll.

Mielőtt Chadwick 1932-ben felfedezte a neutron, az volt az elfogadott felfogás, hogy az atommag A protonból és $A - Z$ elektronból áll: az utóbbiak semlegesítik a protonok egy részét. Ezt az elképzelést alátámasztotta az a tapasztalat, hogy az atommagokból a β -sugarakban elektronok lépnek ki; ez a felfogás azonban az elmélet számára igen nehéz problémát jelentett. A nehézségek közül csak egyet említünk:**** az atommagok mágneses nyomatéka általában kb. ezerszer kisebb, mint az elektronoké. Ha tehát az említett hipotézist, amely szerint az atommagban elektronok vannak, elfogadjuk, még meg kell magyaráznunk azt is, hogy miért csökken le az atommagba

* Az elemek periódusos rendszerét és annak elméleti értelmezését a Pauli-elv alapján Keszthelyi Lajos cikke ismerteti a Fizikai Szemle V. 2–3. 1955. számában

** Nem radioaktív.

*** $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Coul, a pozitív hidrogénion töltése.

**** E nehézségekkel részletesen foglalkozik Ivanenko és Szokolov »Klasszikus térelmélet« c. könyve (Bpest, 1954. Akadémiai Kiadó) és Marx György cikke a magerők mezonelméletéről a Fizikai Szemle I. 4. 1951. számában.