

A CR39 NYOMDETEKTOROK RITKÁN ELŐFORDULÓ ANOMÁLIS VISELKEDÉSE

Hámori Krisztián, Tóth Eszter
RAD Labor, Boronkay, Vác

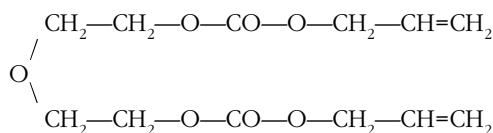
A lakótéri radonmérések nagy részét CR39 nyomdetektorokkal végzik világszerte [1]. A detektorlemezeket általában dobozba zárják annak érdekében, hogy kirekesszék a radon szintén α -bomló utódelemeit (^{218}Po , ^{214}Po) hordozó por- és páraszemcséket. Így a lemez felületén csak a dobozba bejutó radon, illetve a dobozban keletkező radonutódok α -részecskéi okoznak sérülést. A sérüléseket kémiai maratással nagyítják mikroszkóppal látható méretűvé. A RAD Labor szintén ezt az eljárást alkalmazza immár több mint 13 éve.

Szinte minden CR39 nyomdetektort használó kutatócsoport szembesült már azzal a problémával, hogy a kapott radon aktivitáskoncentráció sokkal (néha egy nagyságrenddel is) nagyobb, mint a valódi értéknél [2]. A továbbiakban az ilyen, a valódinál nagyobb aktivitáskoncentrációt mutató detektort „hibás” detektornak nevezzük. A hiba létrejöttének egy lehetséges magyarázatát mutatjuk be.

A roncsolás és a nyomképződés folyamata

Az α -részecske általában néhány MeV energiával érkezik meg a detektorlemez felületére. A lemez anyagában haladva ionizálja az útjába kerülő polimerláncokat, ezáltal lassul, energiája csökken. Pályája elején a még gyors α -részecske alig roncsol, mert a polimerláncokon túlságosan rövid idő alatt átszalad, ezért kis valószínűséggel okoz maradó károsodást. Lelassulva, a pálya utolsó néhány mikrométernyi szakaszán adja le energiája nagy részét [3]. Az energialeadás – behatolási mélység függvénynek ezt a maximumát *Bragg-csúcs*nak nevezzük (1. ábra). Az α -részecske ekkor üt ki legsűrűbben C-, O- és H-atommagokat a helyükről, maradó sérüléseket okozva.

Az α -részecske behatolási mélysége (b) a TRIM szimulációs program segítségével meghatározható, ha ismerjük a részecske energiáját, a CR39 sűrűségét ($1,27 \text{ g/cm}^3$), valamint a CR39-et alkotó polimer szerkezeti képletét [4]:



A szimulációval számított behatolási mélységeket az 1. táblázatban foglaljuk össze.

A RAD Laborban alkalmazott maratási eljárás során¹ a detektorlemez felületéről óránként körülbelül $9 \mu\text{m}$ vas-

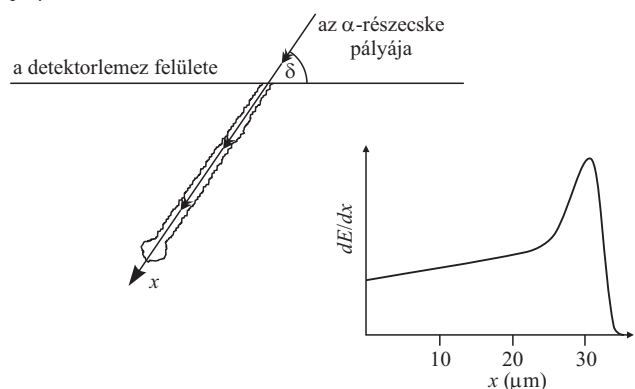
A kísérletek megtervezése, kivitelezése és értékelése Csikai Gyula professzor célratörő és derűs irányítása mellett történik, akit sok szeretettel köszöntünk!

¹ A maratás $92 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű, 20 tömegszázalékos NaOH-oldatban, 4 órán keresztül történik.

tag réteg maradék le. Az α -részecske pályája mentén a maradás sebessége ennek közel háromszorosa. A pálya menti és a felületre merőleges maradási sebességek eltérése miatt a maratás során a 2. ábrán bemutatott bemélyedések alakulnak ki [5, 6]. E bemélyedések felülnézeti képét szokás nyomnak nevezni.

Ha a maratás legfeljebb addig tart, amíg az α -részecske pályájának utolsó pontját elérjük, akkor dinnyemagra emlékeztető nyomokat kapunk. Ezeket *kimart nyomok*nak nevezi a szakirodalom [5, 6]. Ha a maratást tovább folytatjuk, akkor kerek, úgynevezett *tűlmarart nyomok*hoz jutunk [6]. Ha a maratással nem érjük el a Bragg-csúcsot, akkor keskeny, *alulmarart*, általunk „huss”-nak elnevezett nyomokat kapunk. A 4. ábrán egyséssel jelölt nyom valószínűleg radon α -részecskétől származó *tűlmarart* nyom. A kettessel jelölt lehet egy, a levegőben lelassult, polónium α -részecske kimart, „dinnyemag” alakú nyoma. A hármas számú nyom pedig egy polóniumbomlás nagy energiával érkező α -részecskéjétől származhat, *alulmarart* nyom.

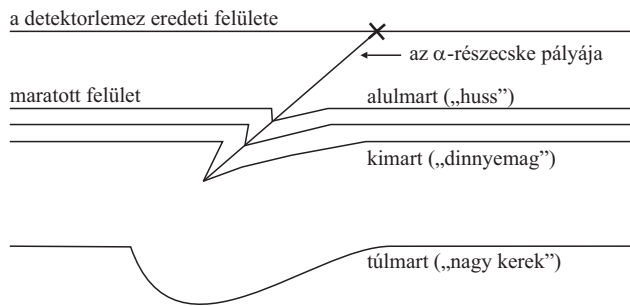
1. ábra. Az α -részecske pályája és energialeadása CR39 lemezben a pálya mentén



1. táblázat

Az α -részecskék behatolási mélysége CR39 esetén

α -részecske típusa	E_α (MeV)	b (μm)
–	1	4
–	2	9
–	3	14
–	4	21
^{226}Ra	4,60	27
^{222}Rn	5,49	34
^{218}Po	6	39
^{214}Po	7,69	58
^{220}Rn	6,29	42
^{216}Po	6,78	47
^{212}Po	8,78	72



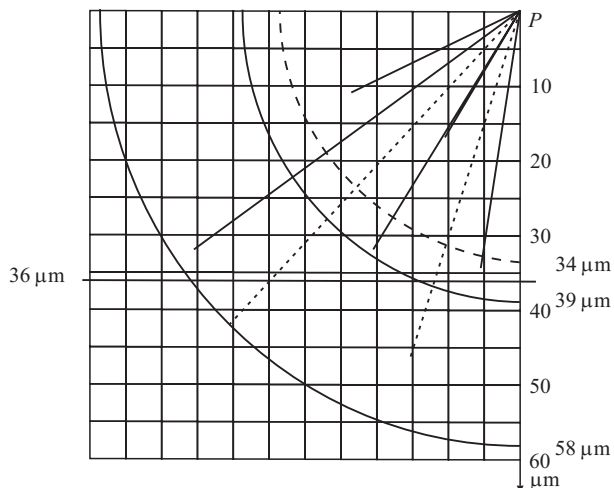
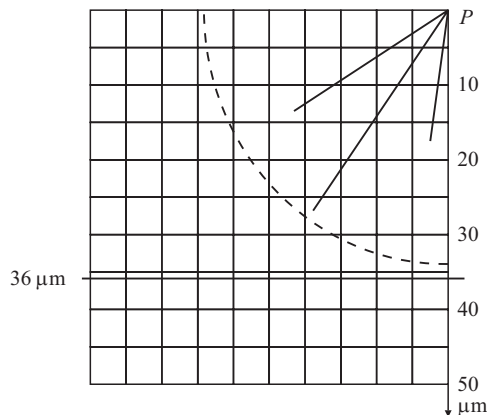
2. ábra. Maratási fázisok a pályára illeszkedő és a detektorlemez felületére merőleges síkban

A radonmérés kiértékelése során keletkező nyomok

Ha a detektordobozba csak a ^{222}Rn jut be (^{220}Rn , azaz toron nem, vagy alig), akkor a detektorlemezen három, különböző energiájú α -részecske okozhat sérülést (^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po). Maratási eljárásunkkal a négy óra alatt összesen $36\ \mu\text{m}$ -t marunk le a detektorlemez felületéből. Ez csak a radon α -részecskéjének behatolási mélységét haladja meg ($34\ \mu\text{m} < 36\ \mu\text{m}$, 1. táblázat). A radon α -részecskéjének nyomai tehát mind túlmart, „kerek” nyomok. Azok a polónium α -részek, amelyek a levegőben lassulva kisebb energiával érik el a detektorlemezt, tehát behatolási mélységük $< 36\ \mu\text{m}$, szintén túlmart nyomokat eredményeznek. A két polónium α -nyomainak egy része azonban vagy kimart, „dinnyemag” alakú vagy alulmart „huss” lesz (3. ábra).

A hibás detektorok jellemzői

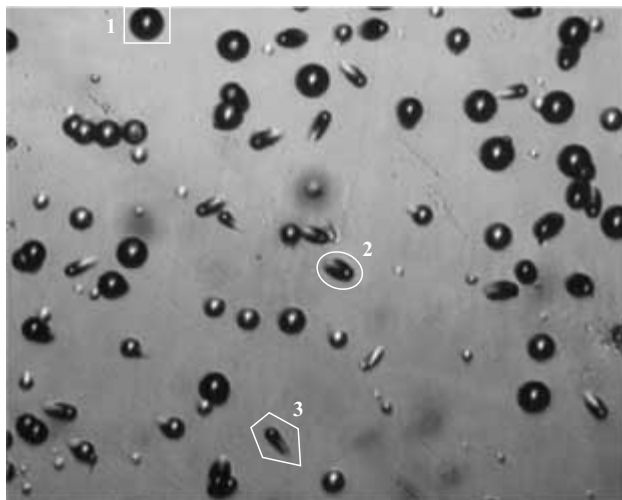
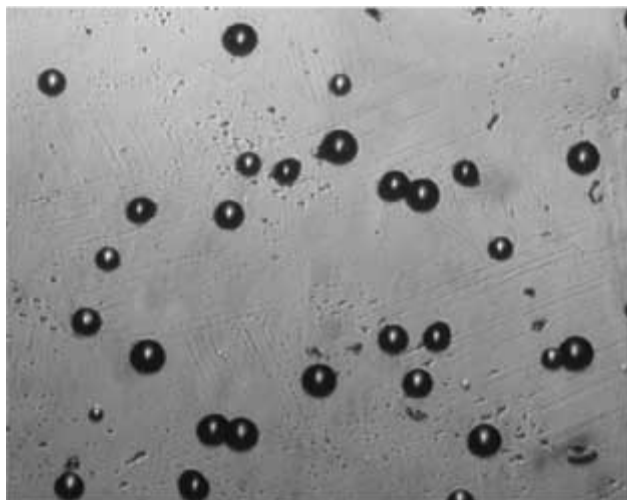
A RAD Laborban, néhány ezer detektorlemez nyomainak számlálásakor, a kivetített képen szemmel figyeltünk a nyomok alakjára, sűrűségére is. Feltűnt, hogy a hibás detektorok egy-egy kis területén a *túlmart* nyomok sűrűsége szignifikánsan nagyobb, mint a detektorlemez más részén. A nagyobb nyomsűrűség szabad szemmel is jól látható *foltot* eredményez ezen a területen. Ha a detektorlemez-

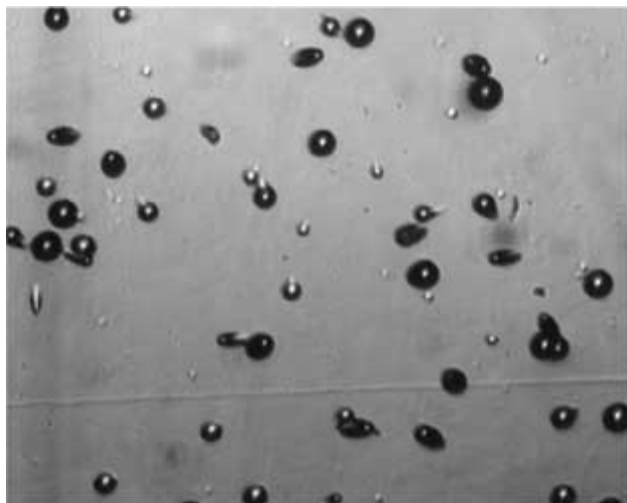


3. ábra. Gondolatban gyűjtjük össze a detektorlemezbe érkező α -részecskéket egy pontba (P)! Fölül a radon, alul a polóniumizotópok α -részecskéinek lehetséges pályái láthatóak. A vastag vízszintes vonal $36\ \mu\text{m}$ -nél azt mutatja, hogy meddig marjuk le a detektorlemez felületét. A szaggatott negyed kör a radontól származó α -részecskék, a folytonos negyed körök pedig a két polónium α -részecskéinek maximális behatolási mélységét jelzi.

nek csak azt a részét vesszük figyelembe a kiértékelésnél, ahol nem foltos, akkor az eredmény megegyezik a valósnak vélt eredménnyel. (A kiugró – *outlyer* – eredmények

4. ábra. Ugyanazon detektorlemez két felvétele. A jobb oldali kép a foltos területről származik, míg a bal oldali a folttól távol készült. 1. *túlmart* nyom, 2. *kimart* nyom, 3. *alulmart* nyom.





5. ábra. Ez a detektor két hónapot töltött egy közepesen nagy radon aktivitáskoncentrációjú lakásban (200 Bq/m^3 átlag), de a doboz nyitva volt. Apró porszemcsék, pára hullott rá. Mindhárom nyomtípussal találkoztunk. (A „kerek” nyomok alapján – gyanútlanul – 600 Bq/m^3 radon aktivitáskoncentrációt kaptunk volna.)

felfedezése után minden mért szobába két detektort helyeztünk el egymás mellé. Amikor az egyik foltos volt, akkor a folton kívül ugyanazt a nyomsűrűséget tapasztaltuk, mint a másik, nem hibás detektoron.) A hibás detektorok tehát általában *nem teljes felületükön*, hanem annak csak egy részén mutatnak nagy nyomsűrűség-értékeket.

Megfigyeltük, hogy a detektorlemez foltos területén szignifikánsan *nagyobb az alulmart és a kimart nyomok aránya is* a túlmartról képest (4. ábra). Maratási eljárásunkkal a radon α -részecskéinek nyomait mind túlmarjuk, a radonutódok α -részecskéjének nyomait azonban nem mind, így ezek az *alulmart, kimart* nyomok csak a *polóniumizotópok α -részecskéitől* származhattak.

Hipotézis

Minden α -bomláskor a kirepülő részecske az elektronburokból 4–6 elektront sodor ki magával, így a visszamaradó leányelem többszörösen pozitív ion. A radon utódelemei α -bomlás után többszörösen, β -bomlás után egyszerezesen *pozitív ionok*.

A műanyag CR39 detektorlemez elektrosztatikusan általában *negatívra* töltődhet fel gyártás, szállítás vagy besugárzás alatt. Mivel a műanyag szigetelő, ezért a detektorlemezen kialakulhatnak *erősen töltött területrészek*, míg a mellettük lévő terület töltetlen marad. Ha a detektorlemez bárhol töltötté válik, a dobozban létrejött pozitív ionokat maga felé vonzza, azok egy része „kiül” a detektorlemezek erre a felületére.

A folt helyén lerakódott elemek közül a ^{218}Po és a ^{214}Po α -bomlók. A bomlásuk során keletkező α -részecskék vagy *teljes energiájukkal* közvetlenül a detektorlemezbe érnek, vagy a doboz belső terébe távoznak. A detektorlemezbe érkező α -részecskék $39 \mu\text{m}$, illetve $58 \mu\text{m}$ mélységig hatolnak a lemez belsejébe, (hiszen nincs módjuk a levegőben történő lassulásra). A sérülések közül azokból, amelyek a lemez felületéhez képest kis

szögben keletkeztek túlmartról, kerek nyom lesz, míg a nagyobb szögben keletkezőkből alulmartról, kimart, nyomok (3. ábra). A lerakódott, α -bomló izotópok kiülésük helyénél tehát mind a „kerek”, a „dinyemag” és a „huss” nyomok sűrűségét megnövelik.

Megfontolások

A nyomsűrűség foltban történt megnövekedését okozhatja a detektorlemez lokális feltöltődése. Véleményünk szerint a foltosodás jelenségét más kutatóintézetek azért nem tapasztalták, mert ők a dobozba zárás előtt antisztatikus mosószerrel lemossák a detektorlemezeket [2]. A RAD Labor ezt nem teszi. A mosószer vékony, elektromos vezető réteget képez a detektorlemezen. Így ha a detektorlemezen bárhol is történik feltöltődés, a töltés eloszlik a teljes rétegbe. A radon utódelemei tehát a felületen *egyenletesen* ülnék ki, mindenhol közel ugyanannyi többletnyomot okozva. Ezért nehezebb felismerni, hogy a detektor hibás, hiszen homogenitásvizsgálat (χ^2 -teszt) sem mutatja ki azt.

Arra a hipotézisre, hogy a kiülő leányelemek okozzák a „dinyemag” és „huss” alakú többletnyomokat, egy, az országos radonmérésben résztvevő település közvetett bizonyítékkal szolgált. Ők rosszul értelmezték a detektorok kihelyezésének módját, a dobozt *nyitva* tették a mérendő helyekre. A kéthónapos mérés alatt a lemezeket belepte a por, így sok Po-izotóp került a detektorlemez felületére. Ezekon a lemezekon, kivétel nélkül, nagy volt a „dinyemag” és a „huss” alakú nyomok számának az aránya (5. ábra).

Természetesen lehetséges, hogy a foltosságot valami teljesen más hatás okozza. Eddigi kísérleteink során nem bukkantunk olyan tényre, amely cáfolná, de olyanra sem, amely egyértelműen bizonyítaná hipotézisünket. Pedig elég sokféle módon megkíséreltük a detektorlemez „pontoszerű”, csillag, négyzet, kör alakú feltöltését, a doboz, a doboztető feltöltését: a detektor alkatrészeinek dörzsölését. Azt is tisztáznunk kell, hogy a feltöltődés a gyártás, a szállítás vagy a besugárzás ideje alatt következik-e be, esetleg ezek együttes hatása okoz anomáliát. A hipotézis igazolására, a foltosodás kísérleti reprodukálására, a felmerülő kérdések tisztázására jelenleg is folynak kísérletek a RAD Laborban, illetve a Debreceni Egyetemen. Ennek során nyomdetektorokat helyezünk sokféle elrendezésben (zártan, nyitottan, fémdobozban, mosottan, piszkosan) különböző erősségű elektrosztatikus térbe és többféle sugárforrást (uránérc, ^{232}Th , Th(B+C) preparátum) használva sugározzuk be őket.

Irodalom

1. C.B. HOWARD, J.C.H. MILES: *Results of the 2001 NRPB Intercomparison of Passive Radon Detectors* – 2001.
2. J. MILES – szóbeli közlés
3. FEHÉR I. (szerk.): *Alapfokú sugárvédelmi ismeretek* – Budapest, 1992.
4. www.phy.bris.ac.uk/research/tasl/page2.html
5. D.L. HENSHAW: *TASTRAK A Plastic Track Detector for Teaching Radioactivity in Schools. Secondary Teachers Notes* – 1992.
6. D.L. HENSHAW, G. CAMBLIN: <http://home.clara.net/camplin/Tnotes/Conts.html>
Appendix 2