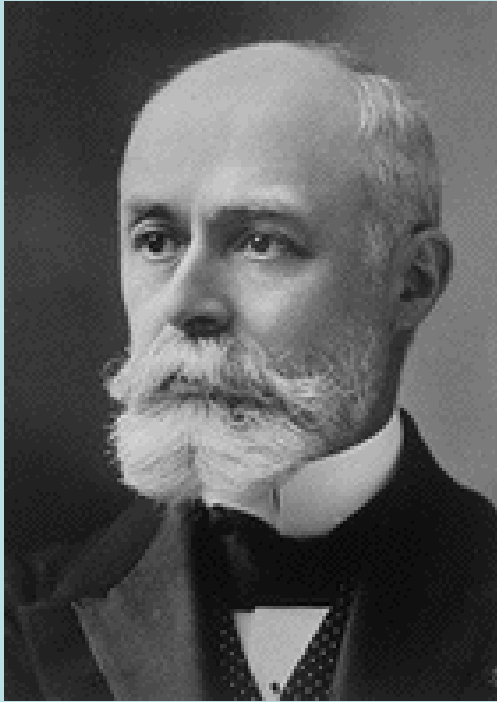


TERMÉSZETBEN ELŐFORDULÓ RADIOAKTIVITÁS és geofizikai vonatkozásai

Összeállította: dr. Pethő Gábor



1895-ben W. C. Röntgen(1845-1923) felfedezi -
katódsugár vizsgálatainak alkalmával- a később róla
elnevezett sugarakat (X-sugárzás). A
röntgensugárzás segítségével már a következő
évben egy eltört kar csontjait illesztették egybe.
Első fizikai Nobel-díjas (1901). X-ray: 10^{17} - 10^{19} Hz,
vákuumbeli hullámhossz 10^{-9} - 10^{-10} m.



1Bq=1 bomlás/sec

1896-ban A. H. Becquerel uránszurokércen végzett –fluoreszcencia jelenség vizsgálatai során- fedezte fel a természetes radioaktivitás jelenségét. 1903-ban tanítványaival (Pierre Curie, Marie Curie) kapott megosztva Nobel-díjat.

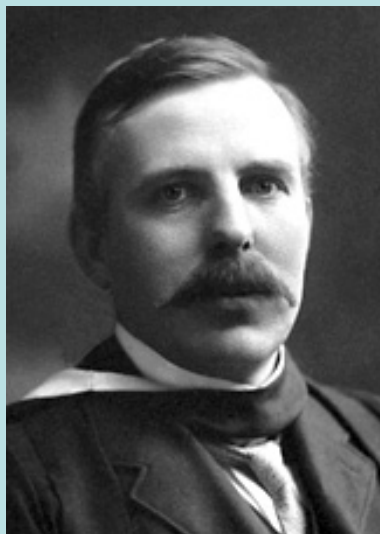


1897-ben J. J. Thomson a katódsugárzás részletes vizsgálatával felfedezi az elektront. A katódsugarak elektromos tér hatására bekövetkező elhajlását mutatta ki, majd mágneses és elektromos tér eltérítő hatásaiból meghatározta a katódsugár elektromos részecskéinek töltés tömeg arányát.

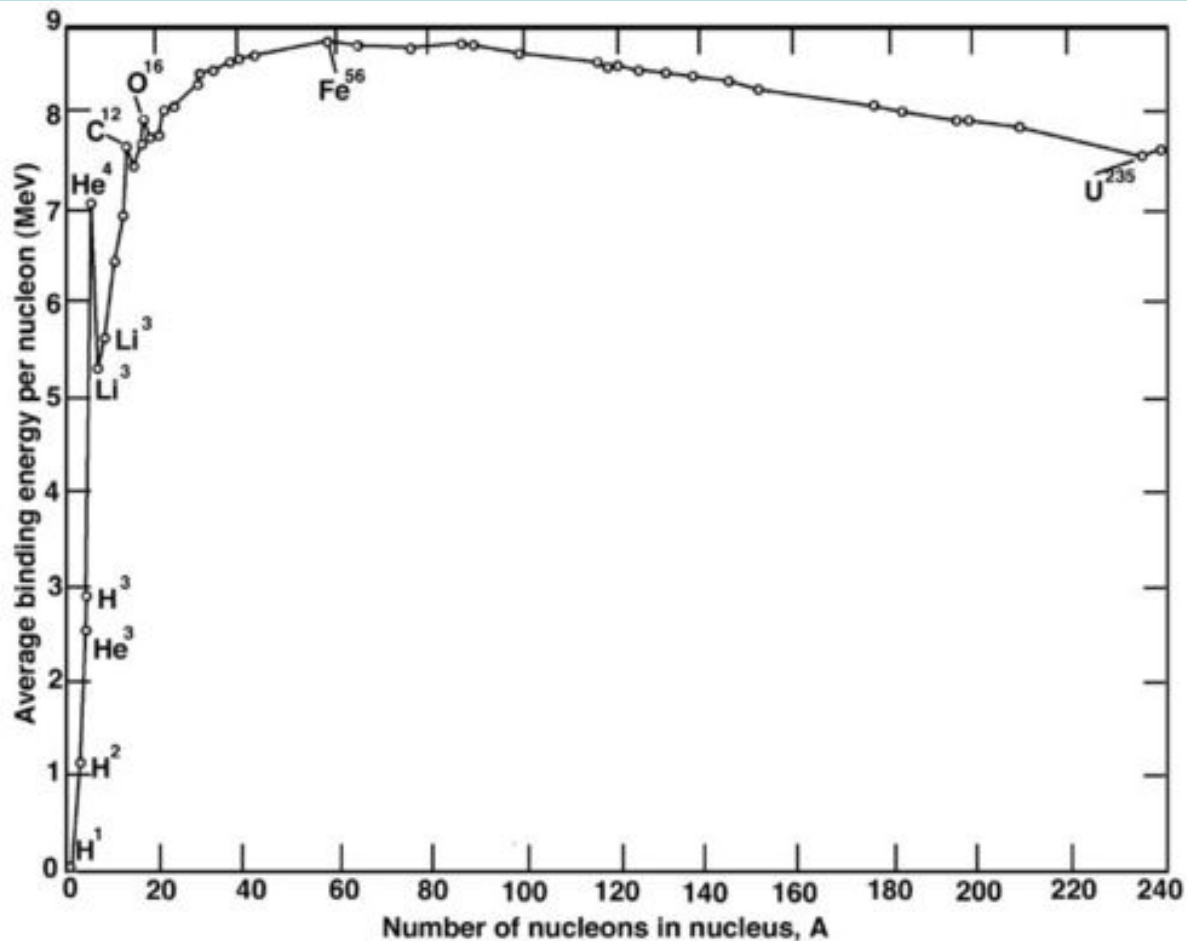


**Maria Sklodowska
(1867-1934)**

1898-ban M. Curie először a polóniumot majd férjével (P. Curie) együtt a rádiumot fedezte fel. A két radioaktív elem izolálásával rájöttek, hogy csak bizonyos elemeknek vannak radioaktív izotópjai. 1903-ban megosztott fizikai Nobel-díjat, majd 1911-ben kémiai Nobel-díjat kapott. Az utóbbit többek között a rádium és polónium felfedezésével érdemelte ki.



1899-ben E. Rutherford megkülönböztette egymástól a két kis hatótávolságú ionizáló sugárzást, és az elnevezésük is tőle származik: alfa (erősebben ionizál és kisebb a hatótávolsága, levegőben is csak néhány cm, a papírlap elnyeli) és béta (kisebb mértékben ionizál, nagyobb hatótávolsága van) sugárzás. Egy évvel később ő adja meg egy cikkében a radioaktív bomlás exponenciális törvényét. A tórium preparátumból a levegőbe kerülő gázt (toron, ^{220}Rn) emanációnak nevezte, és eredetét kémiai úton végignyomozta. Villard, gamma-sugarak felfedezése, 1900.



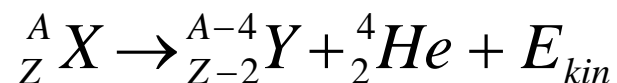
Nagy tömegszámú magoknál a protonok nagyobb száma miatt fellépő elektrosztatikus taszítás csökkenti a stabilitást, így a kötési energiát is.

A kisebb tömegszámú magoknál a mag felületén lévő nukleonok belsőkhöz viszonyított nagyobb száma és a belsőkhöz képesti kisebb kötődés eredményezi a stabilitás csökkenését.

Az atommag átalakulása az instabil magok jellemzője. A kötési energia tömegszám függő.

Nagy tömegszám mellett a legvalószínűbb a bomlás bekövetkezése.

Alfa-bomlás : az atommag 2 protonból és 2 neutronból álló részecskét emittál, amely néhány MeV kinetikus energiájú hélium-atommag. A kötési energiák különbsége határozza meg a kilépő hélium-atommag mozgási energiáját.

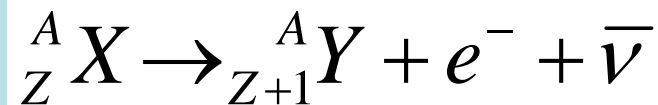


Az alfa-bomlás a periódusos rendszer nagy tömegszámú ($A > 210$) elemeinél figyelhető meg. A hélium atommag relatíve nagy kötési energiájával magyarázható, hogy a nehéz atommagból a *hélium mag emittálódik*. Az így létrejött atommagoknak (új mag és a hélium mag) együttes tömege kisebb mint az eredetié. U sorokban és a Th bomlási sorában figyelhető meg.

Béta-bomlás (*negatív béta-bomlás*)

A béta-bomlás az alfa -bomláshoz képest gyakrabban fordul elő, megkülönböztetünk negatív és pozitív béta bomlást.

Ha egy atommag tömege nagyobb, mint egy vele azonos tömegszámú de eggyel nagyobb rendszámú atommag és egy elektron együttes tömege, akkor az atommag egy elektron kibocsátásával alakul át, amit **negatív béta-bomlás**nak nevezünk. A természetben előforduló radioaktív átalakulások 46 %-a negatív béta bomlás. Ennek során új elem keletkezik, mert az *atommag egy neutronja protonná alakul át* egy elektron és egy antineutrínó kibocsátása mellett.



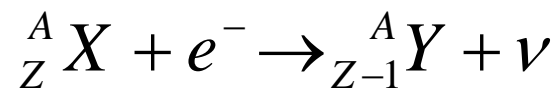
Béta-bomlás (*pozitív béta-bomlás*)

Ha egy atommag tömege nagyobb, mint egy vele azonos tömegszámú de eggyel kisebb rendszámú atommag és egy pozitron össztömege, akkor az atommag egy pozitron kibocsátásával alakul át, amit **pozitív béta-bomlás**nak nevezünk. A természetben előforduló radioaktív átalakulások 11 %-a pozitív - béta bomlás. Ekkor is új elem keletkezik, mert *az atommag egy protonja neutronná alakul át egy pozitron* (pozitív elektromos töltésű, az elektronnal azonos tömegű részecske) *és egy neutrínó kibocsátása mellett.*



Béta-bomlás –*elektronbefogás* (EC)

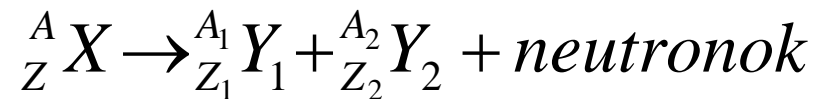
Az atommag a magot körülvevő elektronpályák egyikéről befog egy elektront, majd az atommagban lévő egyik proton neutronná alakul át, miközben neutrínót bocsát ki. Ha az elektron befogása a K elektronhéjról történik K-befogásról beszélünk. Az átalakulást gyakran sorolják a β -radioaktivitás körébe. Itt is *proton-neutron átalakulás* van azonban nem pozitron keletkezésével, hanem a *proton elektronnal történő egyesülése* révén:



K-befogásnál a K héj üresen maradt helye a külsőbb héjakról betöltődik, ennek során karakterisztikus röntgen sugárzás jön létre. Gyakran előfordul, hogy a termék-mag gerjesztett állapotban keletkezik, és ekkor a gerjesztett magra jellemző gamma –sugárzás is fellép.

Spontán maghasadás

Különösen nagy tömegszámú atommagok a protonok túlsúlya (protonok elektrosztatikus taszítása) miatt oly módon alakulhatnak át, hogy két, közel megegyező tömegszámú magra hasadnak szét. Az átalakulás során neutronok szabadulnak fel és két új elem atommagja jön létre :



A radioaktív bomlást csaknem mindig **gamma-sugárzás** is kíséri. A radioaktivitásnak egy olyan megnyilvánulási formája amikor nem keletkezik új elem. A gamma sugárzás különösen jellemző a béta bomlásra, de az ismertetett további átalakulásoknak is kísérője lehet. Kiléphet közvetlenül az alfa vagy béta részecske emissziójakor, vagy jelentős késéssel is követheti azt. Azért alakul ki, mert a bomlás következtében keletkező új elem atomja a gerjesztett energia szintről (átmeneti állapot) gamma foton kibocsátása révén kerül egy stabilabb alapszintre. A gamma sugárzás 10^{-11} m-nél kisebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás. **Frekvenciája kb. 10^{20} Hz.** A benne haladó fotonok energiája 0.1MeV és 10MeV közötti.

Mivel **nagy áthatolóképességű és elem specifikus, ezért geofizikai-geológiai alkalmazást nyer.**

A természetben nagyon ritkán előfordul:

Proton bomlás

Atommagból proton kerül ki

Kétprotonos bomlás

Atommagból egyidejűleg két proton kerül ki

Késleltetett neutron kibocsátás

Az elem nem alakul át új elemmé, tömegszáma eggyel csökken

A radioaktivitás alapegyenlete

N_0 - a kiindulási anyaelem mennyisége (instabil magok száma) a $t=0$ -ban

N - t időpontban a meglévő anyaelemek száma

λ - bomlási állandó (azt fejezi ki, hogy időegységre vonatkoztatva a radioaktív atomok hányad része bomlik el).

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\lambda N$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t=0}^t -\lambda dt$$

$$[\ln N]_{N_0}^N = -\lambda t$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

A radioaktivitás alapegyenletéből meghatározható bomlási állandó (λ) és a felezési idő ($T_{1/2}$) közötti kapcsolat, mert a felezési idő alatt a kezdeti radionuklidok száma a felére csökken:

$$N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad \ln e^{\lambda T_{1/2}} = \ln 2 \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Az alapegyenletet használhatjuk az aktuális aktivitás (A) érték meghatározására ismert kezdeti aktivitású (A_0) vagy egy időpontban ismert aktivitású izotóp esetén. Az aktivitás definíció szerint adott anyagmennyiségben időegység alatt bekövetkező bomlások száma:

$$A = -\frac{\partial N}{\partial t} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

Felhasználtuk, hogy a kezdeti aktivitás def. szerint : $A_0 = \lambda N_0$

A radioaktív kormeghatározás alapegyenlete

Minél több a stabil végtermék mennyisége a kiindulási anyaeleméhez képest, annál hosszabb ideje tart a bomlás. A radioaktív kormeghatározás is az alapegyenletből adódik, hisz egy adott módszernél (a felezési idő és a bomlási állandó ismert) mérve az anyaelem (N) és a leányelem (D) pillanatnyi mennyiségét a bomlás kezdetének idejére következtetünk, amiről feltételezzük, hogy a (legtöbb esetben magmás) kőzet képződésének idejével egyezik meg. A leányelem mennyisége a mérés t időpontjában:

$$D(t) = N_0 - N(t) + D_0$$

Itt figyelembe vettük, hogy minden elbomlott atomból stabil leányelem keletkezik és az anyaelemekhez hasonlóan nem távozik el (a kezdeti anyaelemek számából kivontuk a t időpontban még meglévő, mért kiindulási elem mennyiségét), továbbá feltételeztük, hogy *már kőzetképződéskor is volt nem radiogén stabil végtermék (D_0)*, melynek mennyisége időben szintén nem változott. Tekintettel, hogy N_0 értékét nem tudjuk, de értéke az alapegyenletből kifejezhető, írható, hogy:

$$D(t) = N(t)e^{\lambda t} - N(t) + D_0 = D_0 + N(t)(e^{\lambda t} - 1)$$

A radioaktív kormeghatározás alapegyenlete

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{D(t)}{N(t)} + 1 - \frac{D_0}{N(t)} \right)$$

Ha nincs kezdeti leányelem tartalom az abszolút kormeghatározásra vonatkozó összefüggés a következő alakú:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{D(t)}{N(t)} + 1 \right)$$

| Elem | Instabil izotópja (N) | Előford. elem % | Bomlási mech. | Stabil leányelem (D) | Bomlási áll. (λ) év ⁻¹ | Felezési idő (T _{1/2}) 10 ⁹ év |
|-----------|--------------------------|---|------------------------|--------------------------|---|---|
| <i>U</i> | ²³⁸ <i>U</i> | 99.274 | 8 α + 6 β | ²⁰⁶ <i>Pb</i> | 1.55*10 ⁻¹⁰ | 4.47 |
| | ²³⁵ <i>U</i> | 0.720 | 7 α + 4 β | ²⁰⁷ <i>Pb</i> | 9.85*10 ⁻¹⁰ | 0.703 |
| <i>Th</i> | ²³² <i>Th</i> | 100. | 6 α + 4 β | ²⁰⁸ <i>Pb</i> | 4.95*10 ⁻¹¹ | 14.0 |
| <i>Rb</i> | ⁸⁷ <i>Rb</i> | 27.85 | β | ⁸⁷ <i>Sr</i> | 1.42*10 ⁻¹¹ | 48.8 |
| <i>K</i> | ⁴⁰ <i>K</i> | 0.01167 | <i>KEC</i> (11%) | ⁴⁰ <i>Ar</i> | 5.81*10 ⁻¹¹ | } 1.25 |
| | | | β (89%) | ⁴⁰ <i>Ca</i> | 4.962*10 ⁻¹⁰ | |
| <i>C</i> | ¹⁴ <i>C</i> | 1.6*10 ⁻¹⁰ (levegő <i>CO</i> ₂) | β | ¹⁴ <i>N</i> | 1.209*10 ⁻⁴ | 5.73*10 ⁻⁶ |

Radioaktiv kormeghatározásra használt ásványok

| Név | Összetétel | Típus | A benne lévő radioaktív elem |
|------------|---|----------|------------------------------|
| Biotit | $\text{KMg}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ | Csillám | Rb, K |
| Muszkovit | $\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$ | Csillám | Rb, K |
| Uraninit | UO_2 | Oxid | U, Th |
| Cirkon | ZrSiO_4 | Szilikát | U, Th |
| Hornblende | $\text{Na}_2\text{Mg}_3(\text{Al}_1\text{Fe})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ | Csillám | K |
| Lepidolit | $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ | Csillám | Rb, K |
| Mikroclin | KAlSi_3O_8 | Földpát | Rb |
| Szanidín | KAlSi_3O_8 | Földpát | K |

A legfontosabb kormeghatározásra alkalmas ásványok Horváth F. (1988) alapján

A radioaktív bomlás egyensúlyi állapotára vonatkozó feltétel

Egy több lépésből álló bomlásnál egy köztes instabil k jelű elem atomjainak száma csökken:

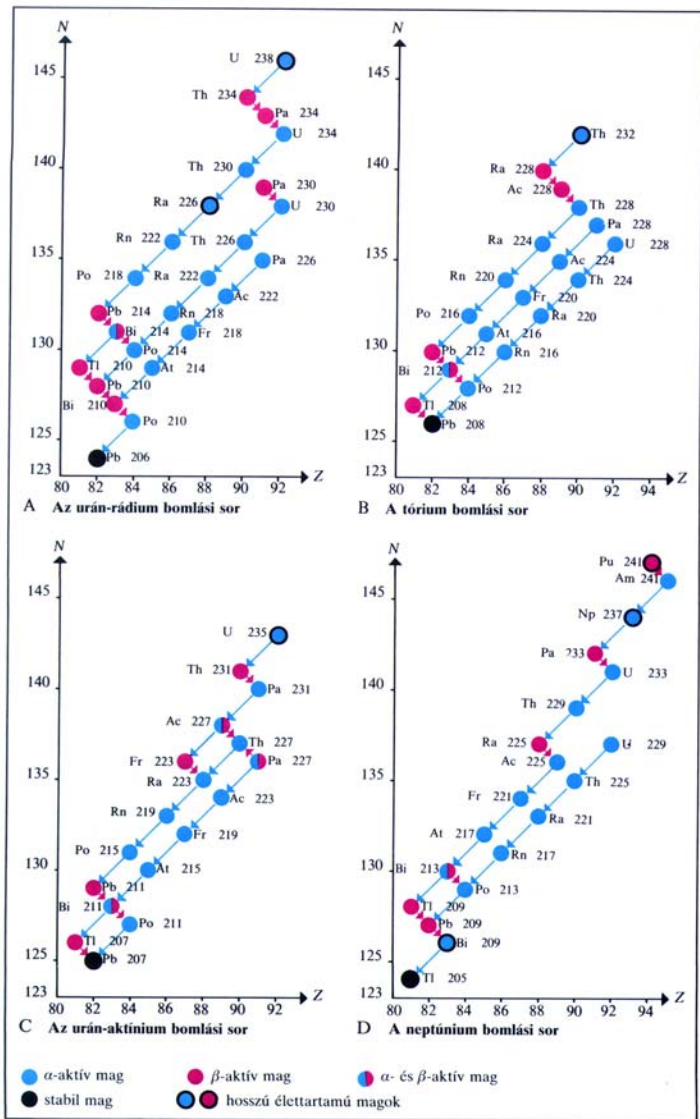
$$\frac{dN_k}{dt} = -\lambda_k N_k \quad \text{Ennyivel csökken}$$

Másrészt a mennyisége nő az ezen elemet megelőző instabil elem bomlásából adódóan:

$$\frac{dN_{k-1}}{dt} = -\lambda_{k-1} N_{k-1} \quad \text{Ennyivel nő}$$

Radioaktív egyensúlyi állapotról akkor beszélünk, ha a bomlási sorozat bármely (köztes) leányelemére nézve a keletkező és az elbomló atomok száma megegyezik, **azaz N_k -nak idő szerinti deriváltja zérus:**

$$\frac{dN_k}{dt} = -\lambda_k N_k + \lambda_{k-1} N_{k-1} = 0 \quad \text{amiből} \quad \lambda_{k-1} N_{k-1} = \lambda_k N_k$$



A négy radioaktív bomlási sor oldalágakkal

négy bomlási sor - $4n$, $4n+1$, $4n+2$, $4n+3$ - lehetséges, melyek közül az első a tórium, a második a neptúnium, a harmadik az urán, a negyedik az aktínium urán sornak felel meg. A kiindulási anyaelem jellemezhető a legnagyobb felezési idővel. **A neptúnium ($4n+1$) sor** anyaeleme ${}^{237}_{93}\text{Np}$, amelyből 7 alfa és 4 béta bomlás után jön létre a végtermék ${}^{209}_{83}\text{Bi}$

A neptúnium sornál az anyaelem felezési ideje 2.14 millió év, ezért ezzel a bomlási sorozattal gyakorlatilag nem találkozunk. Az elágazódásoktól (bomlási útvonaltól) függetlenül a stabil végtermék kialakulásáig mindig ugyanannyi számú alfa- és béta-bomlás szükséges. Mind a három esetben a végtermék stabil ólom izotóp. **A tórium sornál ($4n$ sor)** összesen 6 alfa- és 4 béta-bomlást követően, az **urán-rádium sornál ($4n+2$ sor)** 8 alfa- és 6 béta-bomlás után, míg az **aktínium urán ($4n+3$) sor** kiindulási eleméből 7 alfa- és 4-béta bomlást követően képződik a stabil ólom izotóp. A rendszám 81-92, a tömegszám 206 és 238 között változik.

Izotóp

^{232}Th

Felezési idő

1.41×10^{10} év

^{228}Ra

5.8év

^{228}Ac

6.13óra

^{228}Th

1.91év

^{224}Ra

3.66nap

^{220}Rn

55.6sec

^{216}Po

0.15 sec

^{212}Pb

10.64óra

^{212}Bi

60.6óra

^{212}Po

2.05×10^{-7} sec

^{208}Pb

stabil

Bomlás

α

β^-

β^-

α

α

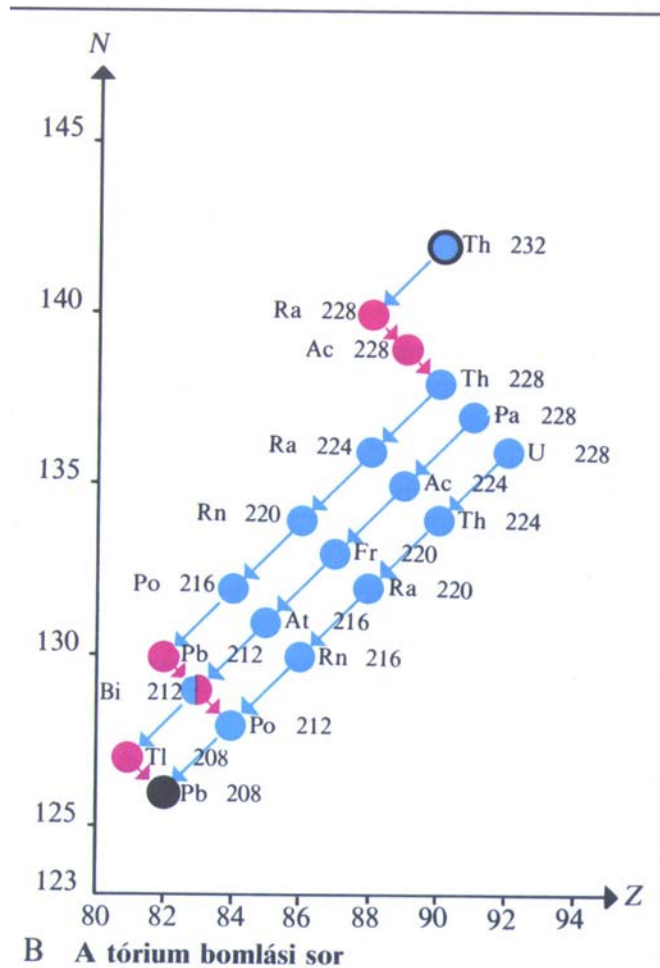
α

α

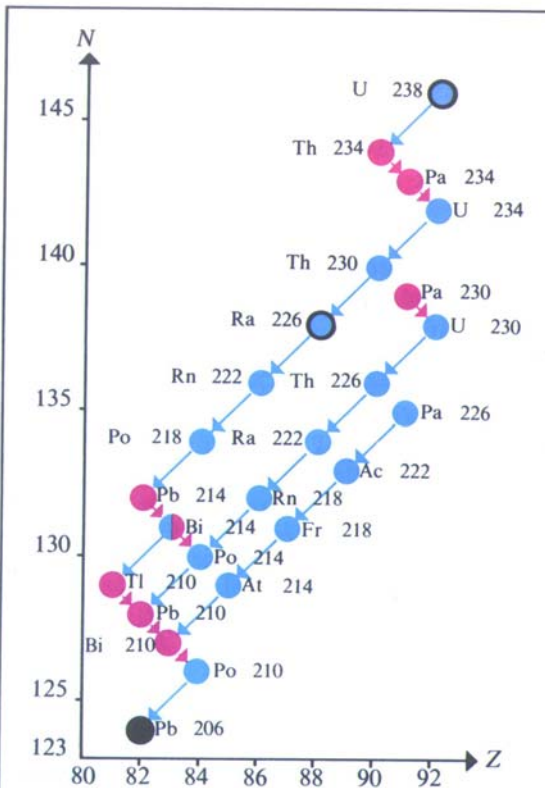
β^-

β^-

α



Th 232 bomlási sor: 6alfa és 4béta bomlás



A Az urán-rádium bomlási sor

Izotóp

- ^{238}U
- ^{234}Th
- ^{234}Pa
- ^{234}U
- ^{230}Th
- ^{230}Pa
- ^{230}U
- ^{226}Ra
- ^{222}Rn
- ^{218}Po
- ^{214}Pb
- ^{214}Bi
- ^{214}Po
- ^{210}Pb
- ^{210}Bi
- ^{210}Po
- ^{206}Pb

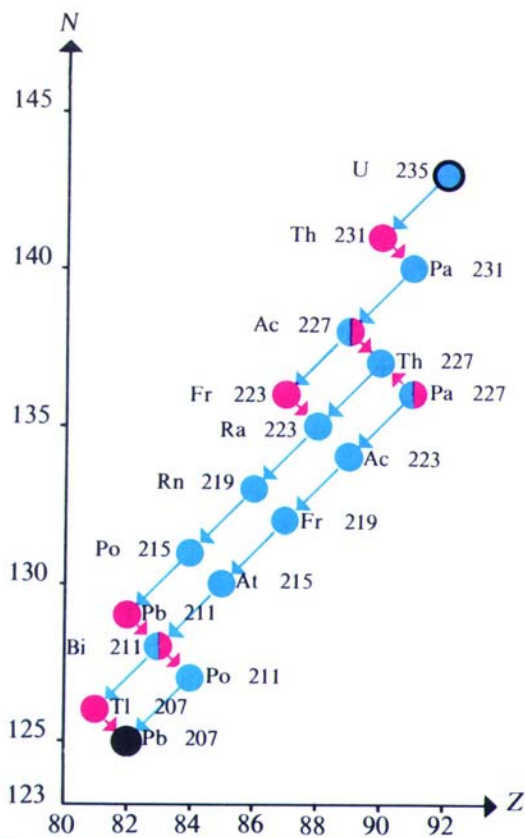
Felezési idő

- 4.49×10^9 év
- 24.1 nap
- 1.17 min
- 2.48×10^5 év
- 7.7×10^4 év
- 1600 év
- 3.82 nap
- 3.05 min
- 26.8 min
- 19.8 min
- 162 μsec
- 22.3 év
- 5.01 nap
- 138.4 nap
- stabil

Bomlás

- α
- β^-
- β^-
- α
- α
- α
- α
- α
- β^-
- β^-
- α
- β^-
- β^-
- α

U 238 bomlási sor : 8alfa és 6béta bomlás



C Az urán-aktínium bomlási sor



Izotóp

^{235}U

^{231}Th

^{231}Pa

^{227}Ac

^{227}Th

^{223}Ra

^{219}Rn

^{215}Po

^{211}Pb

^{211}Bi

^{207}Tl

^{207}Pb

Felezési idő

7.1×10^8 év

25.5 óra

3.25×10^4 év

21.8 év

18.5 nap

11.4 nap

4.0 sec

1.78 msec

36.1 min

2.13 min

4.77 min

stabil

Bomlás

α

β^-

α

β^-

α

α

α

α

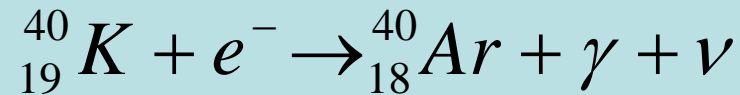
β^-

α

β^-

U 235 BOMLÁSI SORA: 7alfa és 4béta bomlás

A kőzetek a K tartalom miatt azért radioaktívak, mert a K-nak 3 izotópja közül a csupán 0.01%-os arányban jelenlevő ^{40}K instabil és ez az izotóp 89 %-ban negatív béta-bomlással és 11%-ban elektron–befogással bomlik. A káliumnak három természetes izotópja van, ezek közül stabil a ^{39}K (93.258%) és a ^{41}K (6.73%) és instabil a ^{40}K (0,01167%) . A ^{40}K 11%-ban K befogással metastabil ^{40}Ar -ná alakul át, mely 1.46MeV energián gamma kvantumot emittál, így válik stabil ^{40}Ar -ná :

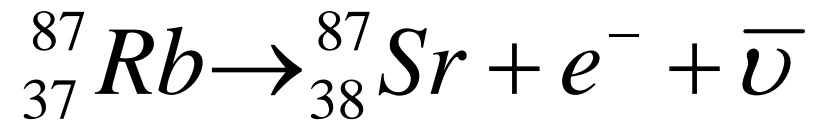


A ^{40}K 89%-ban negatív béta bomlással ^{40}Ca -é alakul át:



A ^{40}K felezési ideje 1.25 milliárd év. A ^{40}K a többi K izotóphoz képesti kis előfordulási gyakorisága ellenére is a természetes radioaktivitásban meghatározó tényező: 1g természetes K 1 sec alatt átlagosan 3.31 gamma-részecskét és 27.2 béta-részecskét emittál. Átlagos körülmények között a ^{40}K nagyobb sugárterhelést jelent, mint az U és Th sor együttesen.

Primordiális nuklidok közül a 87-es tömegszámú rubídium említhető meg, mely ugyancsak egyetlen bomlás révén alakul át stabil izotóppá. A stabil 85-ös tömegszámú rubídium előfordulási gyakorisága 72,8%, míg a radioaktív, 87-es tömegszámú Rb-é 27,2%. Ez az izotóp 48.8 milliárd felezési idővel béta bomlással ^{87}Sr -á alakul át :



FÖLDKÉREGBEN ELŐFORDULÓ RADIOAKTÍV ELEMEEK

| Elem | Radio-aktív izotóp | Term. előford.i % | Felezési idő év | Elsődleges bomlási mód |
|------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Tellur | ¹³⁰ Te | 33.97% | 2.4*10 ²¹ | beta |
| Vanádium | ⁵⁰ V | 0.25% | 3.9*10 ¹⁷ | EC |
| Cirkónium | ⁹⁶ Zr | 2.80% | 3.6*10 ¹⁷ | beta |
| Szamárium | ¹⁴⁹ Sm | 13.80% | 1.*10 ¹⁶ | alfa |
| Szamárium | ¹⁴⁸ Sm | 11.30% | 7.*10 ¹⁵ | alfa |
| Ozmium | ¹⁸⁶ Os | 1.58% | 2.*10 ¹⁵ | alfa |
| Neodímium | ¹⁴⁵ Nd | 8.30% | 1.1*10 ¹⁵ | alfa |
| Platina | ¹⁹² Pt | 0.79% | 1.*10 ¹⁵ | alfa |
| Indium | ¹¹⁵ In | 95.70% | 6.*10 ¹⁴ | beta |
| Gadolínium | ¹⁵² Gd | 0.20% | 1.1*10 ¹⁴ | alfa |
| Tellur | ¹²³ Te | 0.89% | 1.3*10 ¹³ | EC |
| Platina | ¹⁹⁰ Pt | 0.01% | 6.9*10 ¹¹ | alfa |
| Szamárium | ¹⁴⁷ Sm | 15.00% | 1.08*10 ¹¹ | alfa |
| Rubídium | ⁸⁷ Rb | 27.83% | 4.9*10 ¹⁰ | beta |
| Rénium | ¹⁸⁷ Re | 62.60% | 4.5*10 ¹⁰ | beta |
| Lutecium | ¹⁷⁶ Lu | 2.59% | 2.2*10 ¹⁰ | beta |
| Tórium | ²³² Th | 100.00% | 1.4*10 ¹⁰ | alfa |
| Urán | ²³⁸ U | 99.28% | 4.46*10 ⁹ | alfa |
| Kálium | ⁴⁰ K | 0.01% | 1.25*10 ⁹ | beta |
| Urán | ²³⁵ U | 0.72% | 7.04*10 ⁸ | alfa |

A kéregre és a köpenyre vonatkozó átlagértékeket Heier és Adams (1963) szerint

| | U (ppm) | Th (ppm) | K (%) |
|---------------------|---------|----------|-------|
| Átlagos kéreg | 2.1 | 7.8 | 2.1 |
| Kontinentális kéreg | 2.8 | 10.0 | 2.6 |
| Óceáni kéreg | 0.64 | 2.8 | 0.87 |
| Átlagos köpeny | 0.016 | 0.08 | 0.11 |

Az adatokból kitűnik, hogy a kéregnek lényegesen nagyobb a radioaktív elem tartalma, mint a köpenynek, másrészt a kontinentális kéreg U, Th, K tartalma nagyobb mint az óceáni kéregé. Az utóbbi különbség magyarázata a gránit öv hiánya az óceáni területeken.

Kőzetek legfontosabb radioaktív elemtartama

| | U (ppm) | Th (ppm) | K (%) |
|-----------------|---------|----------|-------|
| Ultrabázitok | 0.001 | 0.004 | 0.004 |
| Peridotit | 0.016 | 0.06 | 0.012 |
| Gabbro | 0.05 | 0.15 | 0.08 |
| Eklogit A | 0.048 | 0.18 | 0.036 |
| Eklogit B | 0.25 | 0.45 | 0.26 |
| Bazalt | 0.6 | 2 | 0.9 |
| Andezit | 2 | 6 | 2.5 |
| Diorit | 2 | 7.4 | 1.8 |
| Kristályos pala | 3 | 11 | 2.7 |
| Gránit | 4 | 15 | 3.5 |

A sűrűségadatok t/m³, kg/dm³, g/cm³-ben értendők.

Gránit (2.7) → diorit (2.9) → peridotit (3.2) (mélységi magmás kőzetek)

Riolit (2.5) → andezit (2.8) → bazalt (3.0) (kiömlési kőzetek)

A tűzi eredetű kőzetekre jellemző, hogy az U és Th tartalom annál nagyobb minél inkább savanyú magmából keletkezett a kőzet. Az ultrabázikus magmából keletkezettek szinte inaktívak, míg a gránit és riolit a legnagyobb természetes radioaktivitást mutatják.

A gránitok Th és K tartalma a Ca-ban szegény kőzeteknél nagyobb mint a Ca-ban dúsaké. A táblázatban nem szereplő szienitek K tartalma , a pegmatitok U tartalma meghaladhatja az 5%, ill. elérheti a 100 ppm. értéket is. A bázikus magmás kőzetek átkristályosodásával keletkező eklogitot azért tüntettük fel, mert több szerző ezen típusú kőzetek felső köpenybeli jelenlétével indokolja meg a Föld felszínén az átlagos kontinentális és óceáni hőáramsűrűség egyezését. Ennek lényege, hogy ***az óceáni kéreg-mely nem tartalmazza a gránitos övet- alatt néhány száz km vastag eklogit B összetételű felsőköpeny van, melynek radioaktivitása , ily módon a hőáramtermelése is nagyobb mint a kontinentális kéreg alatt húzódó eklogit A összetételű felsőköpenyé.***

A **K** leggyakrabban a **káliföldpátokban** (ortoklász: KAlSi_3O_8 és a **csillámcsoport** ásványaiban

(pl. **muszkovit**: $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$, **biotit**: $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{++})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2]$) fordul elő. A tűzi eredetű kőzetek ha U-t és Th-t nem tartalmaznak, vagy nem tartalmaznának, a savanyú összetételűek már a több K (ásvány) tartalom miatt is radioaktívabbak lennének mint a bázikus összetételűek, ugyanis előbbieken inkább a káliföldpát, muszkovit, biotit tartalom dominál (a kvarc mellett), ellentétben a semleges és bázikus tűzi eredetű kőzetekkel, ahol ezek mennyisége csökken, helyüket plagioklász, amfibol, piroxén, olivin veszi át. Magmás alkáli kőzetekben a **földpátpótló ásványok** közül jelentősebb K tartalma van a **nefelinnek** ($(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$) és a **leucitnek** (KAlSi_2O_6). Az agyagok változatos körülmények között, főleg a tűzi eredetű kőzetek földpátjának átalakulása révén keletkeznek, majd különböző helyeken (tengerfenék, tavakban, lagúnákban, mocsarakban, folyók árterén, talajban stb.) halmozódhatnak fel. Az agyagok ugyancsak nagy mennyiségben tartalmazhatnak K-t pl. **illit** formájában. Legnagyobb koncentrációban a K-t a **karobbit** (KF, 67.30%) és a **szilvin** (KCl, 52.45%) tartalmazza.

Pegmatitos urán-, tórium-ércelőfordulások

A magma főkristályosodási szakaszát követően a visszamaradó savanyú olvadék jelentős mennyiségű könnyen illó elegyrészt is tartalmaz, mely olvadékból néha magában az anyakőzetben, de gyakrabban a magmás kőzettestek peremén, de minden esetben nagy nyomáson és hőmérsékleten (750-570 °C) néhány (2-11) km-es mélységben durvakristályú kőzettest képződik, mely elsősorban kvarcból, földpátokból és csillámokból áll. Ezen uralkodó ásványokhoz (melyek az egyszerű pegmatit alkotó ásványai) gyakran kötődnek drágakövek, ritkaföldfémek, és radioaktív elemek ásványai is. Előbbi esetben drágakő, utóbbi esetben érces pegmatitról van szó.

Hidrotermális uránérctelepek

Azok, melyek a hidrotermális képződési fázishoz kapcsolódnak. Ezen telepek a magma megszilárdulását követően a visszamaradó utómagmás oldatokból, gőzökből válnak ki. A kata vagy hipotermális (300-600 °C között), mezotermális (200-300 °C között) és epitermális (30-200 °C között) telepek közül a **mezo** és **epitermális** fázisban jönnek létre a magmás eredetű legjelentősebb és leggyakoribb uránérc telepek. Nagyobb hőmérsékleten általában uraninit, alacsonyabb hőmérsékleten szurokérc (elsősorban mezotermális) és uránkorom képződik. A hidrotermális U telepekben kisebb mennyiségben megjelenhet a brannerit és a davidit. Ugyanakkor jelentős mennyiségű urán fémszulfidok, vasoxidok társaságában koncentrálnak.

A fő urán ércásványok a pegmatitokban és hidrotermális telepekben a következők, közelítő kémiai összetétellel:

Uraninit UO_2 (36-75%), UO_3 (22-56%) PbO (<20.6%), RF (<16%) ahol R lehet K_2 , Na_2 , Mg , Ca , Cu , Ba , Fe , Mn , Pb , Bi

Uránszurokérc U_3O_8 (45-65%), Th, Ce kisebb mennyiségben

Bröggerit $(\text{ThU})\text{O}_2$

Betafit $(\text{Ca,U})_2(\text{Ti,Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{OH})$

Szamarszkit $(\text{Y,Fe}^{+++},\text{U})(\text{Nb,Ta})_5\text{O}_4$

Euxenit $(\text{Y, Ca, Er, La, Ce, U, Th})(\text{Nb, Ta, Ti})_2\text{O}_6$

Cleveit uraninit , melyben az U Y-, Er-, Ce-vel való helyettesítése jelentős.

Nivenit uraninit, elsősorban Y helyettesíti az U-t.

Brannerit $(\text{U,Ca,Th,Y})(\text{Ti, Fe})_2\text{O}_6$; 10.3% UO_2 , 33.5% UO_3

Davidit $(\text{Ce,La})(\text{Y,U})(\text{Ti,Fe}^{+++})_{20}\text{O}_{38}$

Az oxidációs övben az **U** epigén **uránoxidok, hidroxidok, szilikátok, foszfátok, arzenátok és vanadátok** formájában található meg. Az itt megtalálható urán ércásványokat szokás másodlagos érc ásványoknak is nevezni , mert a pegmatitos vagy a hidrotermális fázisban kialakult elsődleges telepek oxidációja során jönnek létre. Általában **schröckingerit (urán-karbonát-szulfát), uranofán (urán-szilikát), autunit, torbernit** található meg a primér uránoxidok (a talajvízszint alsó határa) felett.

Legfontosabb másodlagos uránérc ásványok

Karnotit $K_2(UO_2 \cdot VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ 50-55% U_3O_8

Tujamunit $Ca(UO_2 \cdot VO_4)_2 \cdot 5-8 H_2O$ 48-55 % U_3O_8

Torbernit $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2O$; 60 % U_3O_8

Autunit $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2O$; 60 % U_3O_8

Uranofán $Ca H_2[(UO_2)SiO_4]_2 \cdot 5(H_2O)$; 65 % U_3O_8

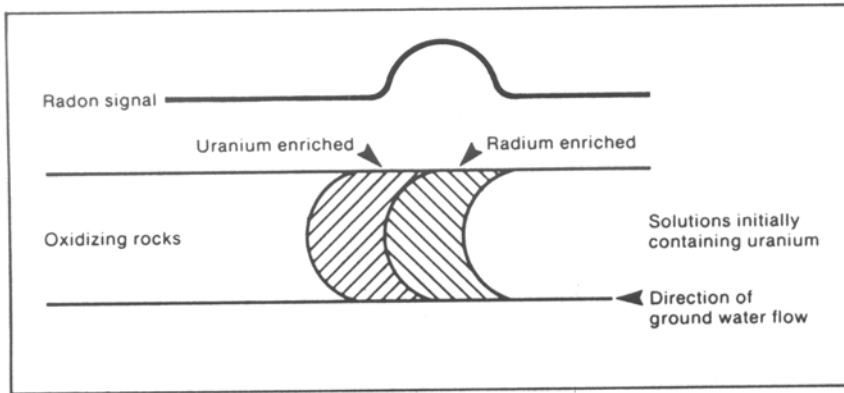
Schröckingerit $NaCa_3(UO_2)(CO_3)_3(SO_4)F \cdot 10(H_2O)$; 30 % U_3O_8

Üledékes U telepek

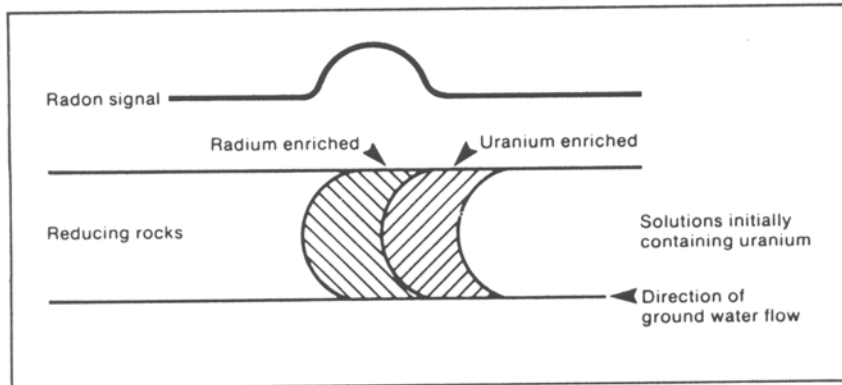
Az U-t a Th-mal ellentétben a savas vagy lúgos kémhatású vizes oldatok könnyen kioldják. **A kioldás** nemcsak az oldat kémhatásától, hanem az **U vegyértékétől** is függ: a hat vegyértékű U sokkal könnyebben jut oldatba, mint a négy vegyértékű. Az U oldódását a szállító **oldat O és CO₂ tartalma** is befolyásolja: meglétük nemcsak a kioldódást, hanem az U akár a kioldási helytől lényegesen nagyobb távolságra történő **migrációját** is elősegítik uranil-karbonátos komplexek létrejöttével. Abban az esetben **ha az U tartalmú oldat** megváltozott, **redukáló környezetbe kerül, a hat vegyértékű U négy vegyértékűvé redukálódik, majd kicsapódik.** Ezeket a kicsapódási helyeket kémiai gátaknak nevezik. Redukáló környezetet jelent , így kicsapódást eredményezhet többek között szenesedett növényi maradványok , általában szerves anyagok megjelenése, foszfátok, szulfidok, agyagásványok előfordulása.

Ha Rn-t mérünk akkor U vagy Ra helyére lehet következtetni?

A Rádium felett lesz a magasabb Radon szint.



A. Location of isotopes in an oxidizing environment



B. Location of isotopes in a reducing environment

Fig. 2. Location of isotopes in different environments.

| Izotóp | Felezési idő | Bomlás |
|-------------------|-----------------------|-----------|
| ^{238}U | 4.49×10^9 év | α |
| ^{234}Th | 24.1 nap | β^- |
| ^{234}Pa | 1.17 min | β^- |
| ^{234}U | 2.48×10^5 év | α |
| ^{230}Th | 7.7×10^4 év | α |
| ^{226}Ra | 1600 év | α |
| ^{222}Rn | 3.82 nap | α |
| ^{218}Po | 3.05 min | α |
| ^{214}Pb | 26.8 min | β^- |
| ^{214}Bi | 19.8 min | β^- |
| ^{214}Po | 162 μsec | α |
| ^{210}Pb | 22.3 év | β^- |
| ^{210}Bi | 5.01 nap | β^- |
| ^{210}Po | 138.4 nap | α |
| ^{206}Pb | stabil | |

Redukáló környezetben az U tartalmú oldatból az U előbb kicsapódik míg oxidáló környezetben a Ra-ban koncentrált tartományt követi az U feldúsulás (balról jobbra áramlik mind a két esetben az U tartalmú oldat).

Mechanikus szállítású torlatos, breccsás, telepek. A később képződött (a szállító közeg elsősorban víz) torlatos telepek a tóriumnál jelentősek. Ezek a monacit és thorianit tartalmú torlattelepek lehetnek tengeriek vagy fluviálisak.

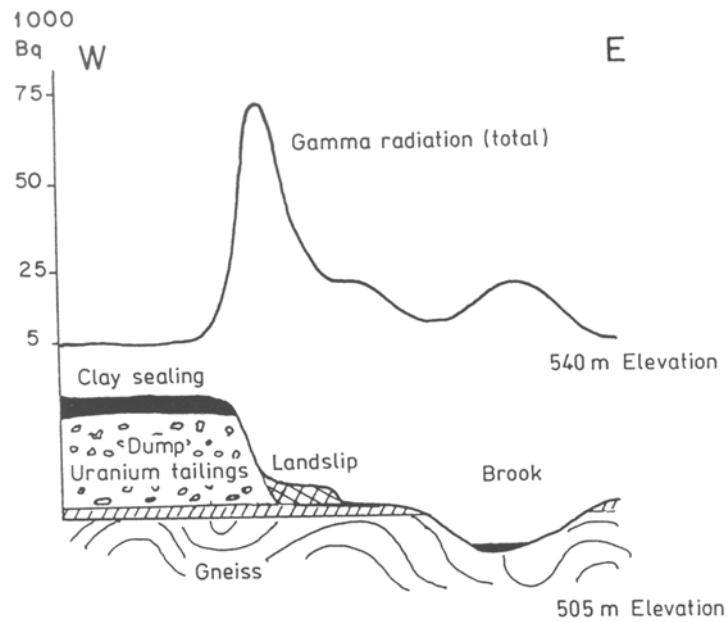
A legfontosabb Th ásványok

Thorianit ThO_2 (70-90%), továbbá $(\text{Th,U})\text{O}_2$

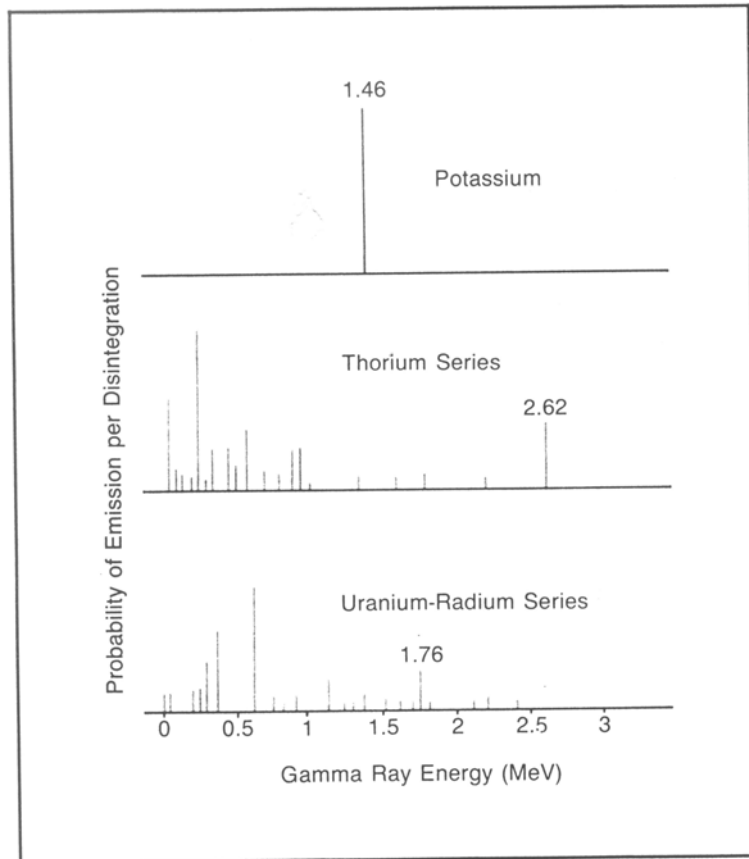
Monacit $(\text{Ce, La, Y, Th})\text{PO}_4$

Thortveitit $(\text{Sc,Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$

Xenotim főleg YPO_4 , de cerium és tórium tartalma is lehet.



Radiometric survey over a dump of uranium tailings partly covered by a 3-m thick clay sealing. (After Vogelsang, 1995.)

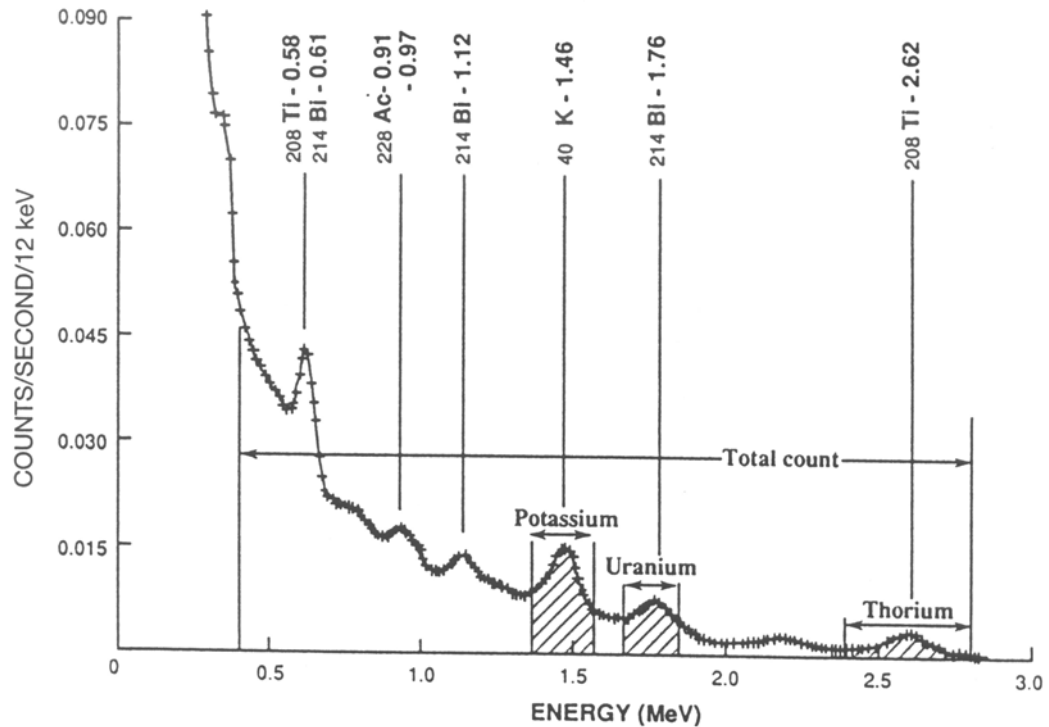


—Gamma ray emission spectra of radioactive minerals

40K KEC

**208 Tl (rendszám 81) béta sugárzás ,
3.1 perc a fel.idő, stabil 208-as Pb**

**214Bi (rendszám 83) béta és alfa
sugárzás 20 perc a fel.idő 214-es Po**

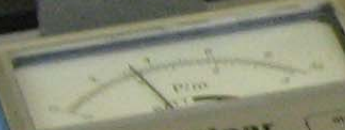


A typical airborne gamma-ray spectrum showing the customary four windows: total count, 0.4–2.81 MeV; ^{40}K , 1.37–1.57 MeV; ^{238}U , 1.66–1.86 MeV; and ^{232}Th , 2.42–2.81 MeV. (After Grasty, 1987.)

Table Natural radioactive series of thorium and uranium.

| Isotope | Half-life | Decay constant (s ⁻¹) | Radiation | γ-ray energies (MeV) | No. of γ-rays |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|------------------|
| <i>Thorium series</i> | | | | | |
| ⁹⁰ Th ²³² | 1.4 × 10 ¹⁰ yr | 1.58 × 10 ⁻¹⁸ | α, SF*, γ | 0.059 | |
| ⁸⁸ Ra ²²⁸ | 6.7 yr | 3.3 × 10 ⁻⁹ | β, γ | 0.03 | |
| ⁸⁹ Ac ²²⁸ | 6.1 hr | 3.1 × 10 ⁻⁴ | β, γ | 0.06–0.97 | > 10 |
| ⁹⁰ Th ²²⁸ | 1.91 yr | 1.15 × 10 ⁻⁸ | α, γ | 0.085–0.214 | 5 |
| ⁸⁸ Ra ²²⁴ | 3.64 day | 2.2 × 10 ⁻⁶ | α, γ | 0.24, 0.29 | |
| ⁸⁶ Rn ²²⁰ | 51 s | 1.3 × 10 ⁻² | α, γ | 0.54 | |
| ⁹⁴ Po ²¹⁶ | 0.16 s | 4.3 | α | | |
| ⁸² Pb ²¹² | 10.6 hr | 1.8 × 10 ⁻⁵ | β, γ | 0.11–0.41 | 5 |
| ⁸³ Bi ²¹² | 60.6 min | 1.9 × 10 ⁻⁴ | β, α, γ | 0.04–2.2 | > 10 |
| ⁸⁴ Po ²¹² | 0.3 × 10 ⁻⁶ s | 2.3 × 10 ⁶ | α | 2, 62 MeV | |
| ⁸¹ Tl ²⁰⁸ | 3.1 min | 3.7 × 10 ⁻³ | β, γ | 0.28–2.62 | 5 |
| ⁸² Pb ²⁰⁸ | Stable | | | | |
| <i>Actinium Series</i> | | | | | |
| ⁹² U ²³⁵ | 7.1 × 10 ⁸ yr | 3.1 × 10 ⁻¹⁷ | α, SF*, γ | 0.07–0.38 | 10 |
| ⁹⁰ Th ²³¹ | 25.6 hr | 7.4 × 10 ⁻⁶ | β, γ | 0.08–0.31 | > 10 |
| ⁹¹ Pa ²³¹ | 3.4 × 10 ⁴ yr | 6.5 × 10 ⁻¹³ | α, γ | 0.29–0.36 | > 10 |
| ⁸⁹ Ac ²²⁷ | 21.6 yr | 10 ⁻⁹ | β, α, γ | 0.09–0.19 | 9 |
| ⁹⁰ Th ²²⁷ | 18.2 day | 4.35 × 10 ⁻⁷ | α, γ | 0.05–0.33 | > 10 |
| ⁸⁷ Fr ²²³ | 22 min | 5.2 × 10 ⁻⁴ | β, α, γ | 0.05–0.31 | 4 |
| ⁸⁸ Ra ²²³ | 11.7 day | 6.76 × 10 ⁻⁷ | α, γ | 0.03–0.45 | > 10 |
| ⁸⁶ Rn ²¹⁹ | 4 s | 0.17 | α, γ | 0.27, 0.4 | |
| ⁸⁵ At ²¹⁹ | 54 s | 1.28 × 10 ⁻² | α, β | | |
| ⁸⁴ Po ²¹⁵ | 1.8 × 10 ⁻³ s | 3.8 × 10 ² | α, β | | |
| ⁸⁵ At ²¹⁵ | 10 ⁻⁴ s | 6.9 × 10 ³ | α | | |
| ⁸³ Bi ²¹⁵ | 8 min | 1.44 × 10 ⁻³ | β | | |
| ⁸³ Bi ²¹¹ | 2.15 min | 5.35 × 10 ⁻³ | α, β, γ | 0.35 | |
| ⁸⁴ Po ²¹¹ | 0.52 s | 1.32 | α, γ | 0.56, 0.88 | |
| ⁸² Pb ²¹¹ | 36 min | 3.2 × 10 ⁻⁴ | β, γ | 0.065–0.83 | 4 |
| ⁸¹ Tl ²⁰⁷ | 4.8 min | 2.4 × 10 ⁻³ | β, γ | 0.89 | |
| ⁸² Pb ²⁰⁷ | Stable | | | | |
| <i>Uranium Series</i> | | | | | |
| ⁹² U ²³⁸ | 4.51 × 10 ⁹ yr | 4.9 × 10 ⁻¹⁸ | α, SF*, γ | 0.048 | |
| ⁹⁰ Th ²³⁴ | 24.1 day | 3.3 × 10 ⁻⁷ | β, γ | 0.03–0.09 | 3 |
| ⁹¹ Pa ²³⁴ | 6.7 hr | 2.84 × 10 ⁻⁵ | β, γ | 0.044–1.85 | > 10 |
| ⁹² U ²³⁴ | 2.48 × 10 ⁵ yr | 8.9 × 10 ⁻¹⁴ | α, SF*, γ | 0.053, 0.118 | |
| ⁹⁰ Th ²³⁰ | 8 × 10 ⁴ yr | 2.75 × 10 ⁻¹⁰ | α, γ | 0.068–0.25 | 7 |
| ⁸⁸ Ra ²²⁶ | 1622 yr | 1.35 × 10 ⁻¹¹ | α, γ | 0.19–0.64 | 4 |
| ⁸⁶ Rn ²²² | 3.82 day | 2.07 × 10 ⁻⁶ | α, γ | 0.51 | |
| ⁸⁴ Po ²¹⁸ | 3.05 min | 3.8 × 10 ⁻³ | α, β | | |
| ⁸⁵ At ²¹⁸ | 1.35 s | 0.51 | α | | |
| ⁸⁶ Rn ²¹⁸ | 0.03 s | 23.1 | α | 0.61 | 1, 7, 6 MeV |
| ⁸³ Bi ²¹⁴ | 19.7 min | 5.85 × 10 ⁻⁴ | β, α, γ | 0.45–2.43 | > 10 |
| ⁸⁴ Po ²¹⁴ | 1.64 × 10 ⁻⁴ s | 4.2 × 10 ³ | α | | |
| ⁸² Pb ²¹⁴ | 26.8 min | 4.3 × 10 ⁻⁴ | β, γ | 0.05–0.35 | > 10 |
| ⁸² Pb ²¹⁰ | 21 yr | 1.05 × 10 ⁻⁹ | β, γ | 0.047 | |
| ⁸³ Bi ²¹⁰ | 5 day | 1.58 × 10 ⁻⁶ | β | | |
| ⁸⁴ Po ²¹⁰ | 138.4 day | 5.7 × 10 ⁻⁸ | α, γ | 0.79 | |
| ⁸¹ Tl ²¹⁰ | 1.3 min | 8.85 × 10 ⁻³ | β, γ | 0.3, 0.78, 1.1 | |
| ⁸¹ Tl ²⁰⁶ | 4.2 min | 2.75 × 10 ⁻³ | β | | |
| ⁸² Pb ²⁰⁶ | Stable | | | | |

SF* = spontaneous fission.



nuclear
analyzer
 scaler timer
 scaler rate meter
 NC-483
 made in
 Hungary

ON

made

OFF

100

10

1

0.1

0.01

0.001

0.0001

0.00001

0.000001

0.0000001

0.00000001

0.000000001

0.0000000001

READY

STOP

1000

100

10

1

0.1

0.01

0.001

0.0001

0.00001

0.000001

0.0000001

0.00000001

0.000000001

0.0000000001

READY

STOP

1000

100

10

1

0.1

0.01

0.001

0.0001

0.00001

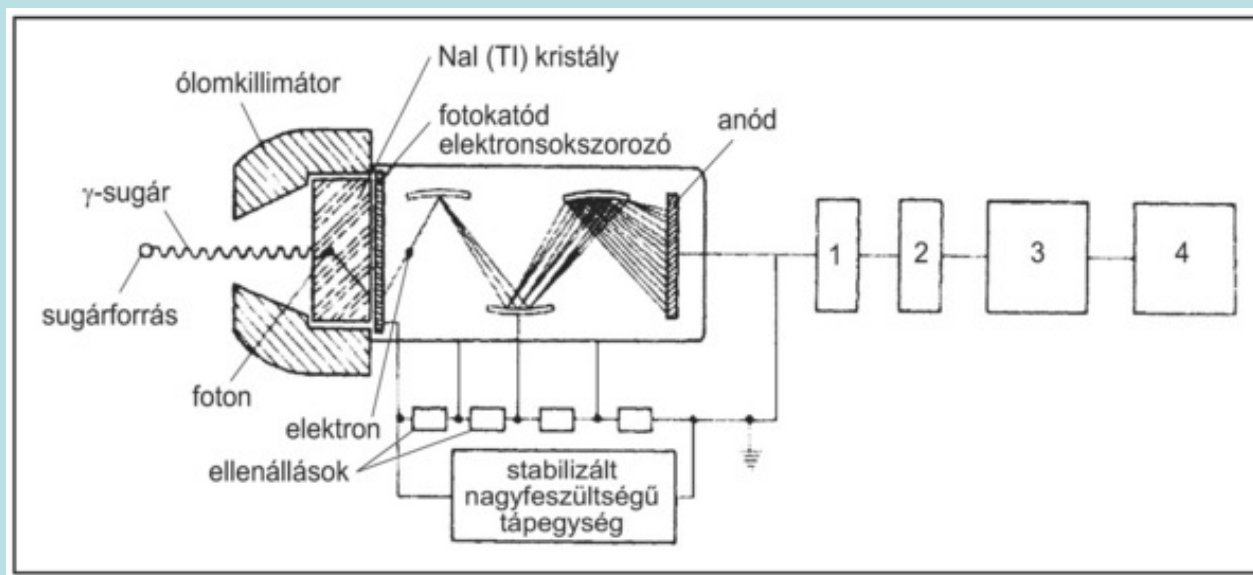
0.000001

0.0000001

0.00000001

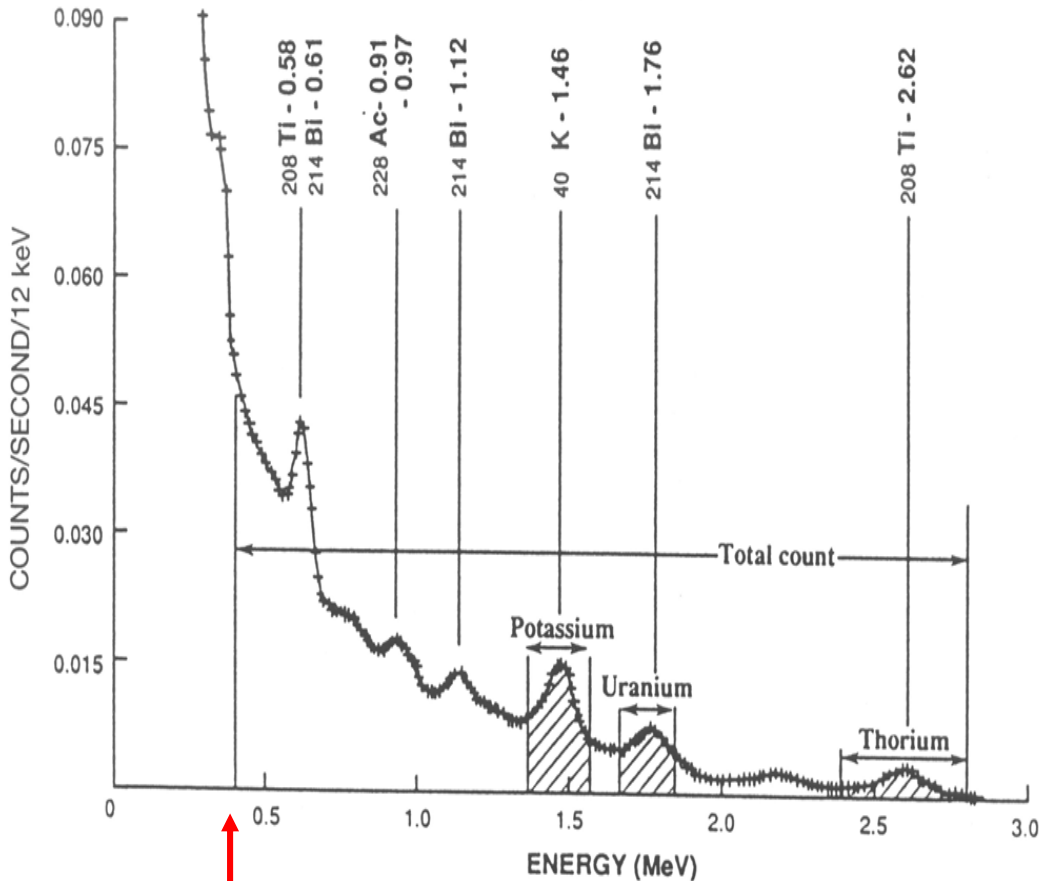
0.000000001

A szcintillációs számláló a radionuklidok elektromágneses sugárzásának (gamma-sugárzás) detektálására alkalmas mérőműszer. Bizonyos anyagokban az **elektromágneses sugárzás (gamma sugárzás)** a látható fénytartományba eső fényfelvillanást, szcintillációt hoz létre. A műszer egy szcintillációs kristályból és egy fotoelektron sokszorozóból áll. **A fényfelvillanás energiája arányos a beeső gamma foton energiájával.** Ezt követik a jelfeldolgozó egységek. Az elektronáram az anódra jutva áramimpulzust kelt, melynek amplitúdója arányos az őt kiváltó gamma-foton energiájával. **Az impulzusok amplitúdó szerinti eloszlásvizsgálata a természetes gamma spektrum vizsgálatával egyenértékű.**



A szcintillációs mérőműszer vázlata (Forrás: Csákány-Forrai 1984.)

1. előerősítő; 2. erősítő; 3. amplitúdóanalizátor; 4. kimenet (ratemeter, scaler, scanner)



A typical airborne gamma-ray spectrum showing the customary four windows: total count, 0.4–2.81 MeV; ^{40}K , 1.37–1.57 MeV; ^{238}U , 1.66–1.86 MeV; and ^{232}Th , 2.42–2.81 MeV. (After Grasty, 1987.)

Megkülönböztetünk integrális és differenciális mérést. Az integrális mérés során az összes (total) természetes gamma sugárzást detektáljuk, amely egy előre megadott amplitúdó értéknél nagyobb amplitúdójú beérkezések összege (piros nyilakkal jelölve).

A differenciális mérésnél egy előre megadott amplitúdó sávba eső impulzusokat „számoljuk” meg (pl. Kálium, U, Th ablak)

Table Natural radioactive series of thorium and uranium.

| Isotope | Half-life | Decay constant (s^{-1}) | Radiation | γ -ray energies (MeV) | No. of γ -rays |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <i>Thorium series</i> | | | | | |
| ${}_{90}\text{Th}^{232}$ | 1.4×10^{10} yr | 1.58×10^{-18} | α , SF*, γ | 0.059 | |
| ${}_{88}\text{Ra}^{228}$ | 6.7 yr | 3.3×10^{-9} | β , γ | 0.03 | |
| ${}_{89}\text{Ac}^{228}$ | 6.1 hr | 3.1×10^{-4} | β , γ | 0.06–0.97 | > 10 |
| ${}_{90}\text{Th}^{228}$ | 1.91 yr | 1.15×10^{-8} | α , γ | 0.085–0.214 | 5 |
| ${}_{88}\text{Ra}^{224}$ | 3.64 day | 2.2×10^{-6} | α , γ | 0.24, 0.29 | |
| ${}_{86}\text{Rn}^{220}$ | 51 s | 1.3×10^{-2} | α , γ | 0.54 | |
| ${}_{94}\text{Po}^{216}$ | 0.16 s | 4.3 | α | | |
| ${}_{82}\text{Pb}^{212}$ | 10.6 hr | 1.8×10^{-5} | β , γ | 0.11–0.41 | 5 |
| ${}_{83}\text{Bi}^{212}$ | 60.6 min | 1.9×10^{-4} | β , α , γ | 0.04–2.2 | > 10 |
| ${}_{84}\text{Po}^{212}$ | 0.3×10^{-6} s | 2.3×10^6 | α | | |
| ${}_{81}\text{Tl}^{208}$ | 3.1 min | 3.7×10^{-3} | β , γ | 0.28–2.62 | 5 |
| ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ | Stable | | | | |
| <i>Actinium Series</i> | | | | | |
| ${}_{92}\text{U}^{235}$ | 7.1×10^8 yr | 3.1×10^{-17} | α , SF*, γ | 0.07–0.38 | 10 |
| ${}_{90}\text{Th}^{231}$ | 25.6 hr | 7.4×10^{-6} | β , γ | 0.08–0.31 | > 10 |
| ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ | 3.4×10^4 yr | 6.5×10^{-13} | α , γ | 0.29–0.36 | > 10 |
| ${}_{89}\text{Ac}^{227}$ | 21.6 yr | 10^{-9} | β , α , γ | 0.09–0.19 | 9 |
| ${}_{90}\text{Th}^{227}$ | 18.2 day | 4.35×10^{-7} | α , γ | 0.05–0.33 | > 10 |
| ${}_{87}\text{Fr}^{223}$ | 22 min | 5.2×10^{-4} | β , α , γ | 0.05–0.31 | 4 |
| ${}_{88}\text{Ra}^{223}$ | 11.7 day | 6.76×10^{-7} | α , γ | 0.03–0.45 | > 10 |
| ${}_{86}\text{Rn}^{219}$ | 4 s | 0.17 | α , γ | 0.27, 0.4 | |
| ${}_{85}\text{At}^{219}$ | 54 s | 1.28×10^{-2} | α , β | | |
| ${}_{84}\text{Po}^{215}$ | 1.8×10^{-3} s | 3.8×10^2 | α , β | | |
| ${}_{85}\text{At}^{215}$ | 10^{-4} s | 6.9×10^3 | α | | |
| ${}_{83}\text{Bi}^{215}$ | 8 min | 1.44×10^{-3} | β | | |
| ${}_{83}\text{Bi}^{211}$ | 2.15 min | 5.35×10^{-3} | α , β , γ | 0.35 | |
| ${}_{84}\text{Po}^{211}$ | 0.52 s | 1.32 | α , γ | 0.56, 0.88 | |
| ${}_{82}\text{Pb}^{211}$ | 36 min | 3.2×10^{-4} | β , γ | 0.065–0.83 | 4 |
| ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ | 4.8 min | 2.4×10^{-3} | β , γ | 0.89 | |
| ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ | Stable | | | | |
| <i>Uranium Series</i> | | | | | |
| ${}_{92}\text{U}^{238}$ | 4.51×10^9 yr | 4.9×10^{-18} | α , SF*, γ | 0.048 | |
| ${}_{90}\text{Th}^{234}$ | 24.1 day | 3.3×10^{-7} | β , γ | 0.03–0.09 | 3 |
| ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ | 6.7 hr | 2.84×10^{-5} | β , γ | 0.044–1.85 | > 10 |
| ${}_{92}\text{U}^{234}$ | 2.48×10^5 yr | 8.9×10^{-14} | α , SF*, γ | 0.053, 0.118 | |
| ${}_{90}\text{Th}^{230}$ | 8×10^4 yr | 2.75×10^{-10} | α , γ | 0.068–0.25 | 7 |
| ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ | 1622 yr | 1.35×10^{-11} | α , γ | 0.19–0.64 | 4 |
| ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ | 3.82 day | 2.07×10^{-6} | α , γ | 0.51 | |
| ${}_{84}\text{Po}^{218}$ | 3.05 min | 3.8×10^{-3} | α , β | | |
| ${}_{85}\text{At}^{218}$ | 1.35 s | 0.51 | α | | |
| ${}_{86}\text{Rn}^{218}$ | 0.03 s | 23.1 | α | 0.61 | |
| ${}_{83}\text{Bi}^{214}$ | 19.7 min | 5.85×10^{-4} | β , α , γ | 0.45–2.43 | > 10 |
| ${}_{84}\text{Po}^{214}$ | 1.64×10^{-4} s | 4.2×10^3 | α | | |
| ${}_{82}\text{Pb}^{214}$ | 26.8 min | 4.3×10^{-4} | β , γ | 0.05–0.35 | > 10 |
| ${}_{82}\text{Pb}^{210}$ | 21 yr | 1.05×10^{-9} | β , γ | 0.047 | |
| ${}_{83}\text{Bi}^{210}$ | 5 day | 1.58×10^{-6} | β | | |
| ${}_{84}\text{Po}^{210}$ | 138.4 day | 5.7×10^{-8} | α , γ | 0.79 | |
| ${}_{81}\text{Tl}^{210}$ | 1.3 min | 8.85×10^{-3} | β , γ | 0.3, 0.78, 1.1 | |
| ${}_{81}\text{Tl}^{206}$ | 4.2 min | 2.75×10^{-3} | β | | |
| ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ | Stable | | | | |

SF* = spontaneous fission.

Az alfa és béta bomlásokat gamma sugárzás kíséri, és ez az amit a szcintillációs detektorral mérni lehet.

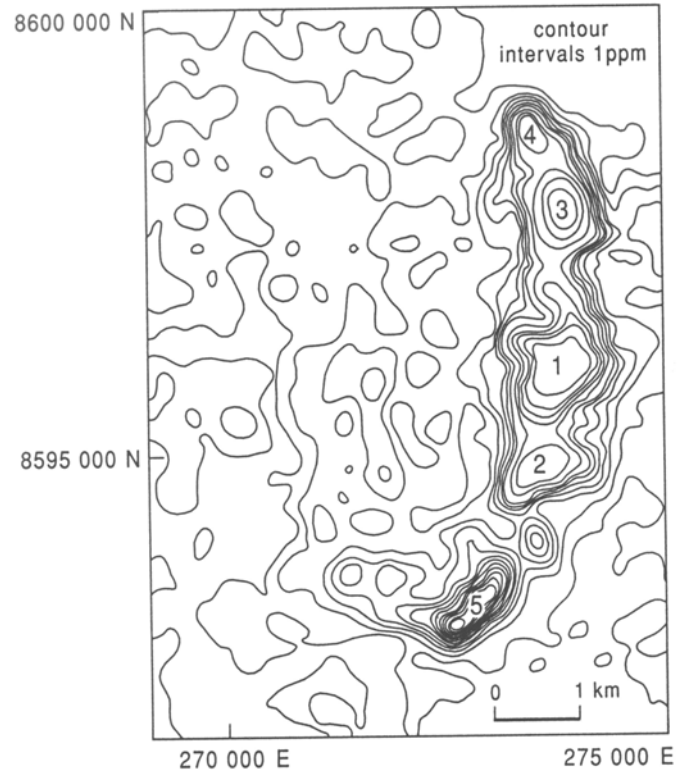
Ha U tartalmú ércmintánk van, akkor a két U sor bomlásai során keletkező gamma fotonok mérhetőek.

Valójában az U238 bomlása a domináns a karnotit esetében.

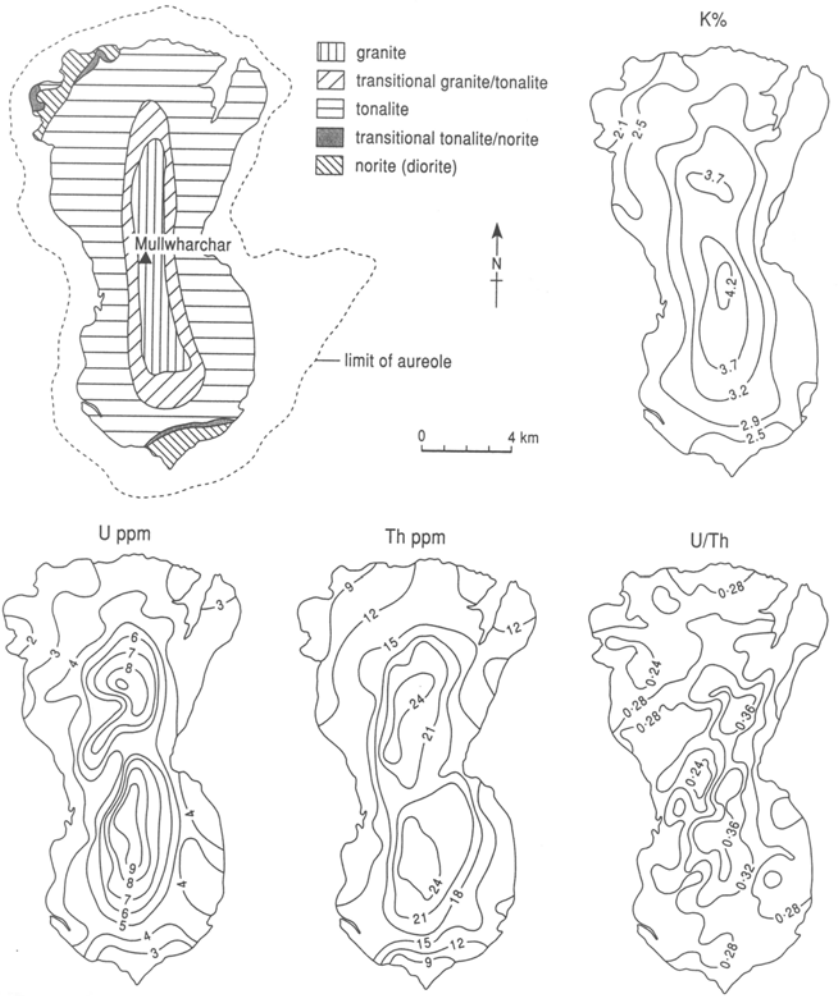


nuclear
analyzer
linear
scaler rate meter
NC-483
made in
Hungary

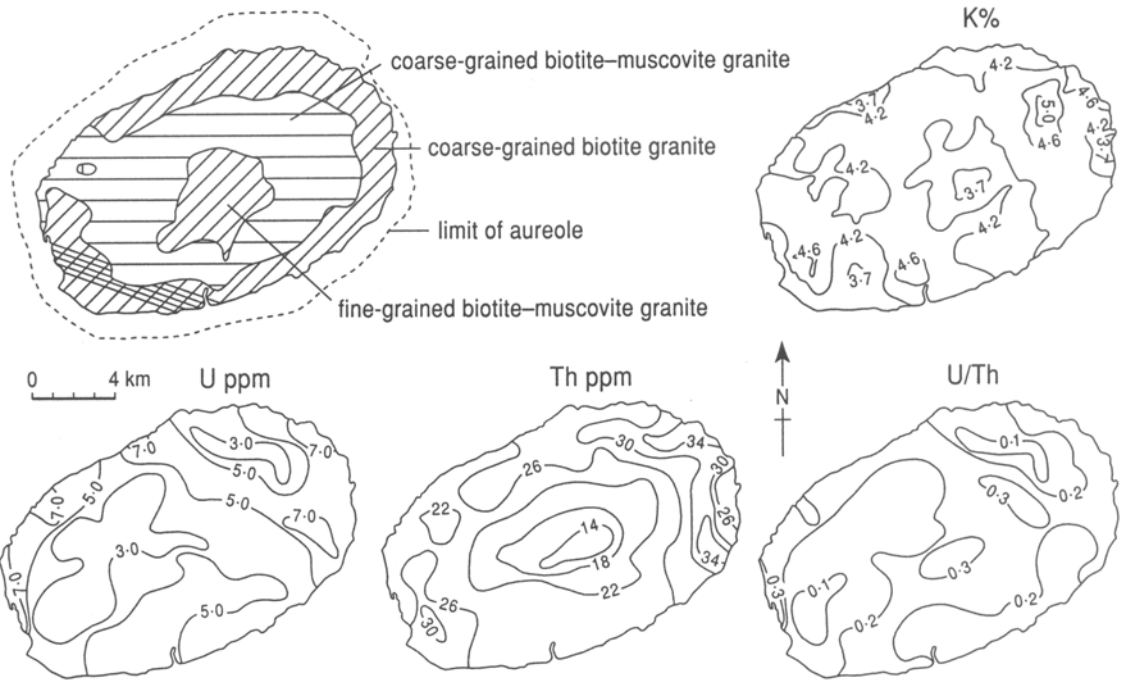
Caracit
K₂SO₄ 21 mg



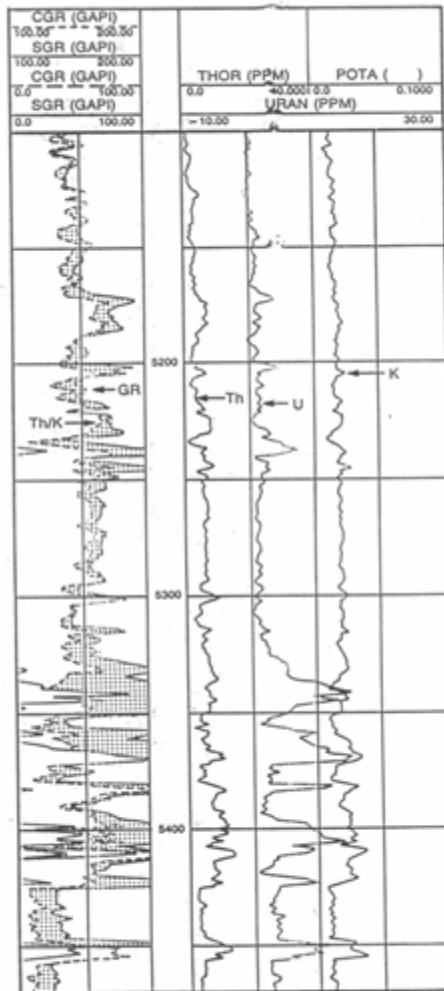
Airborne survey of uranium orebodies, Ranger, Australia.



Radiometric survey of the Loch Doon Granite, Scotland.



Radiometric survey of the Cairnmore of Fleet Granite, Scotland.



NGS* natural gamma ray spectrometry log.

A SPEKTRÁLIS TERM. GAMMA MÉRÉSNEK VAN

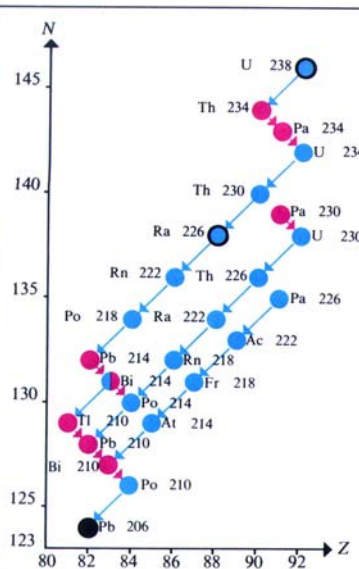
IN-SITU és **LAB.-i** VÁLTOZATA.

ELŐBBI lehet:

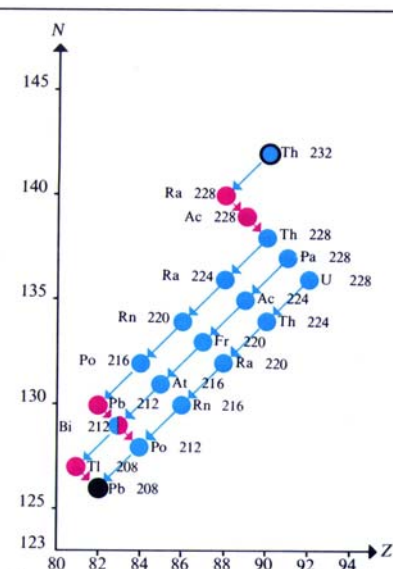
FELSzíNI

LÉGI

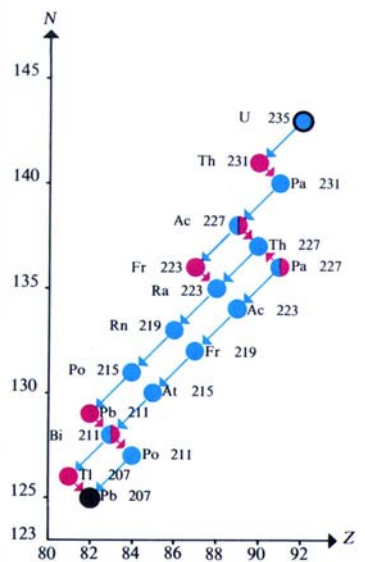
FÚRÓLYUKBELI mérés



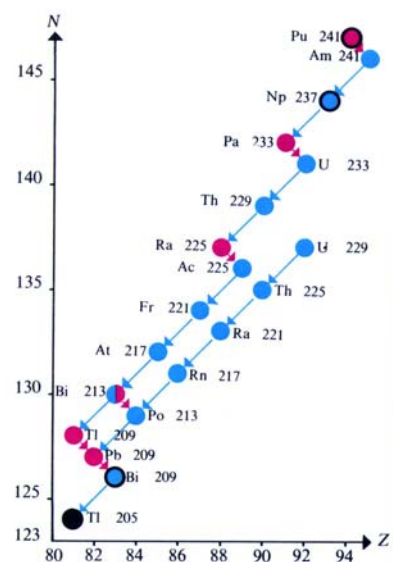
A Az urán-rádium bomlási sor



B A tórium bomlási sor



C Az urán-aktínium bomlási sor



D A neptúnium bomlási sor

- α-aktív mag
- β-aktív mag
- α- és β-aktív mag
- stabil mag
- hosszú élettartamú magok

A négy radioaktív bomlási sor oldalágakkal

One of the most important relationships between radiometry and geology

Acidic magmatic rocks are usually more radioactive than intermediate and basic magmatic rocks. Ultrabasic rocks are characterized by the least natural radioactivity. It can be stated, that the natural radioactivity of magmatic rocks increases with the SiO₂ content.

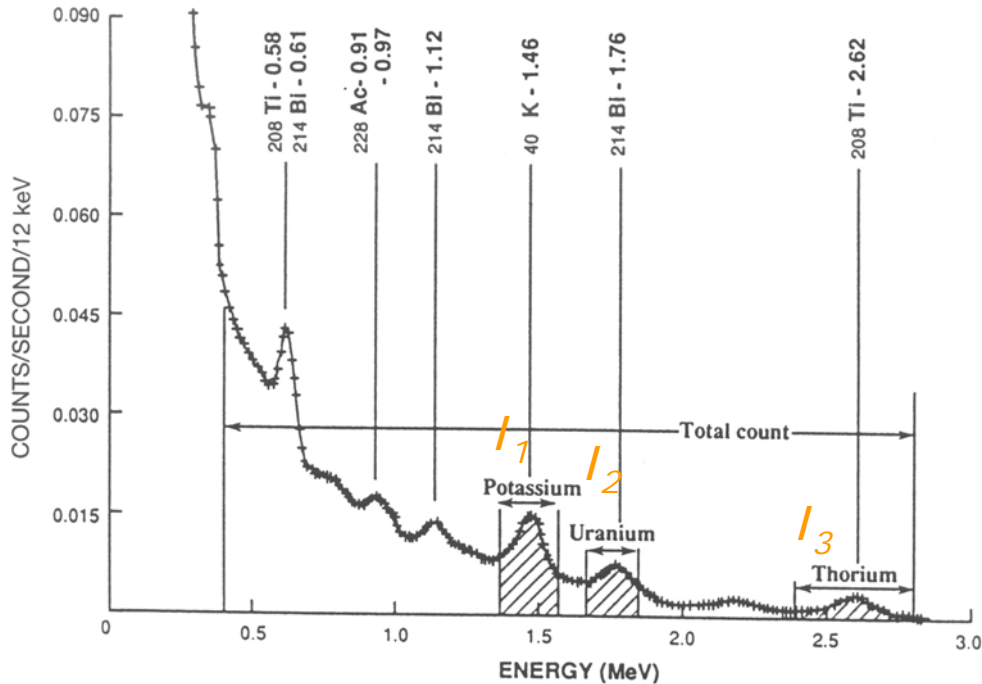
The radioactivity of sedimentary rocks mainly depends on the radioactivity of the deposited sediments and the radioactivity of metamorphic rocks can be correlated to the radioactivity of the primary rocks.

Thorium, uranium and potassium contents of some igneous rocks

| Igneous Rocks | Th (ppm) | U (ppm) | K (%) |
|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Acid intrusive | | | |
| Granite | 19–20 | 3.6–4.7 | 2.75–4.26 |
| Rhode Island ¹ | 21.5–26.6 (25.2) | 1.32–3.4 (1.99) | 3.92–4.8 (4.51) |
| Rhode Island ¹ | 6.5–80 (52) | 1.3–4.7 (4) | 5.06–7.4 (5.48) |
| New Hampshire | 50–62 | 12–16 | 3.5–5 |
| Precambrian | 14–27 | 3.2–4.6 | 2–6 |
| Average for granitic rocks | 15.2 | 4.35 | 4.11 |
| Syenite ¹ | 1338 | 2500 | 2.63 |
| Acid extrusive | | | |
| Rhyolite | 6–15 | 2.5–5 | 2–4 |
| Trachyte | 9–25 | 2–7 | 5.7 |
| Basic intrusive | | | |
| Gabbro | 27–3.85 | 0.84–0.9 | 0.46–0.58 |
| Granodiorite | 9.3–11 | 2.6 | 2–2.5 |
| Colorado ^a | 99–125 (110.6) | 0.19–2.68 (1.98) | 2.62–5.6 (5.48) |
| Diorite | 8.5 | 2.0 | 1.1 |
| Basic extrusive | | | |
| Basalt | | | |
| Alkali basalt | 4.6 | 0.99 | 0.61 |
| Plateau basalt | 1.96 | 0.53 | 0.61 |
| Alkali olivine basalt | 3.9 | 1.4 | 1.4 |
| in Oregon ¹ | 5.5–15 (6.81) | 1.2–2.2 (1.73) | 1.4–3.23 (1.68) |
| Andesite | 1.9 | 0.8 | 1.7 |
| in Oregon ¹ | 5–10 (6.96) | 1.4–2.6 (1.94) | 2.4–4.28 (2.89) |
| UltraBasic | | | |
| Dunite | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| Peridotite | 0.05 | 0.01 | 0.2 |
| in California ¹ | 0.0108 | 0.0048 | 0.019 |

¹ From U.S.G.S. Geochemical standards, in Adams & Gasparini, 1970.

The determination of K, U and Th content



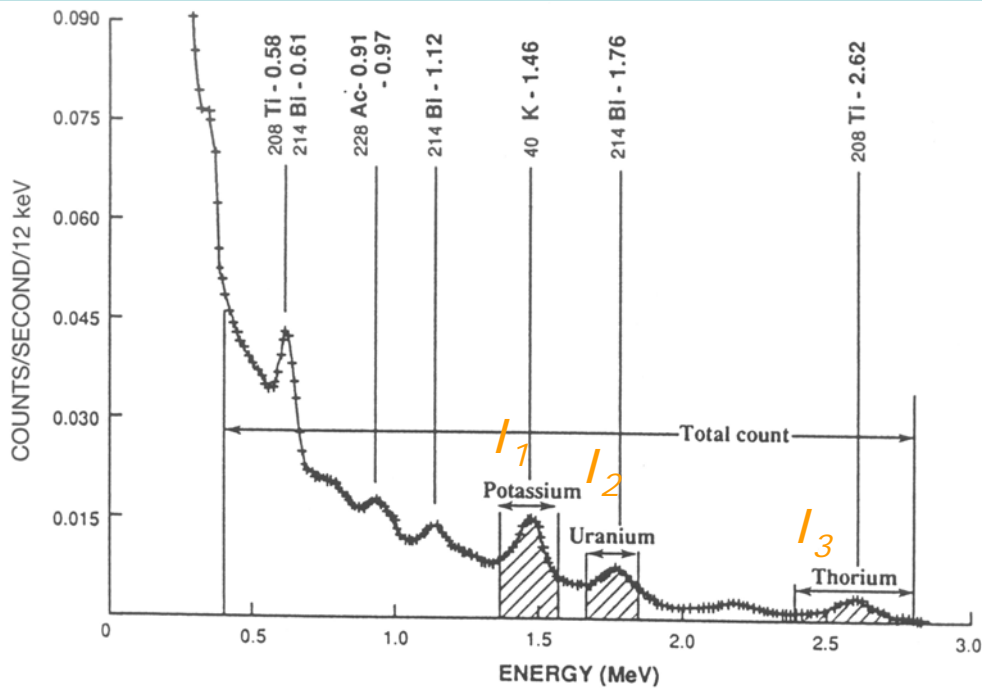
A typical airborne gamma-ray spectrum showing the customary four windows: total count, 0.4–2.81 MeV; ^{40}K , 1.37–1.57 MeV; ^{238}U , 1.66–1.86 MeV; and ^{232}Th , 2.42–2.81 MeV. (After Grasty, 1987.)

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= A_1K + B_1U + C_1Th + r_1 \\ I_2 &= A_2K + B_2U + C_2Th + r_2 \\ I_3 &= A_3K + B_3U + C_3Th + r_3 \end{aligned} \right\}$$

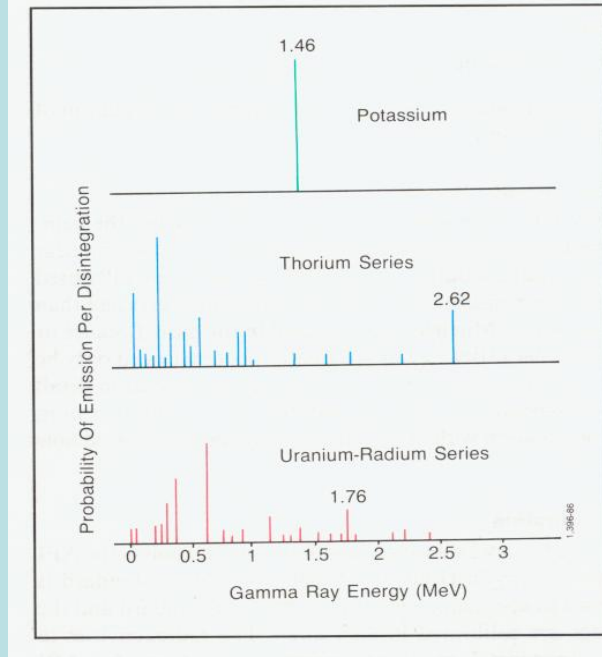
$$\sum_{i=1}^3 r_i^2 = \sum_{i=1}^3 [I_i - (A_iK + B_iU + C_iTh)]^2$$

The sum of the deviation square has to be minimized.

The determination of K, U and Th content



A typical airborne gamma-ray spectrum showing the customary four windows: total count, 0.4–2.81 MeV; ^{40}K , 1.37–1.57 MeV; ^{238}U , 1.66–1.86 MeV; and ^{232}Th , 2.42–2.81 MeV. (After Grasty, 1987.)



$$Th = k_3 I_3$$

$$U = k_2 (I_2 - S_3 I_3)$$

$$K = k_1 [I_1 - S_2 (I_2 - S_3 I_3) - S_1 I_3]$$

None of the gamma rays from U and K has sufficient energy to be recorded in the Th channel. The U channel records gamma rays from U and Th, but none from K. It is the K channel which records gamma rays from K, U, Th. The k_i are channel constants, S_3 is the stripping constant for Th gamma radiation in the U channel, S_2 and S_1 are the stripping constants for U and Th gamma radiations in the K channel.

Case history (Telkibánya, Hungary)

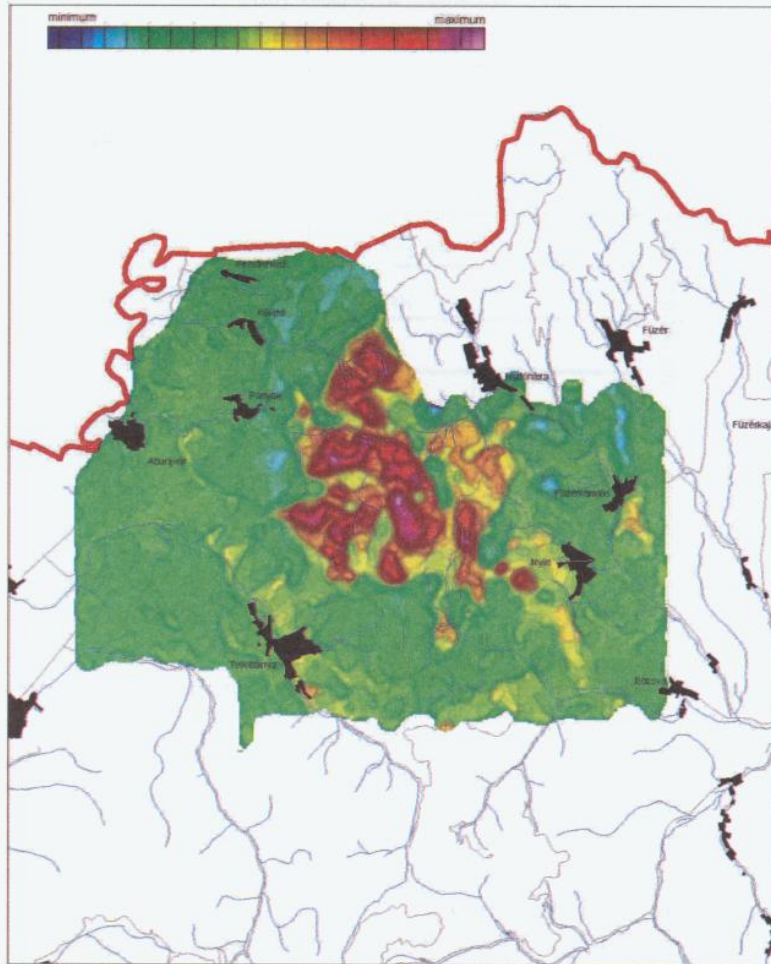


Fig. 6 Potassium map (based on airborne survey of 1997).

Geological features, geophysical measurements...

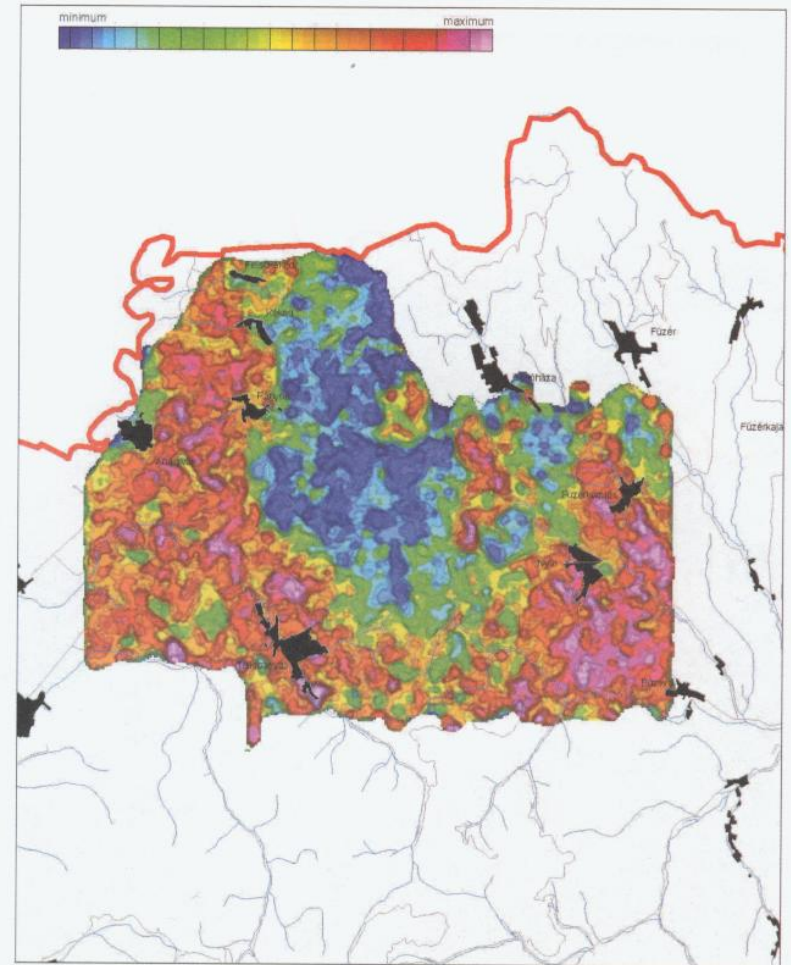
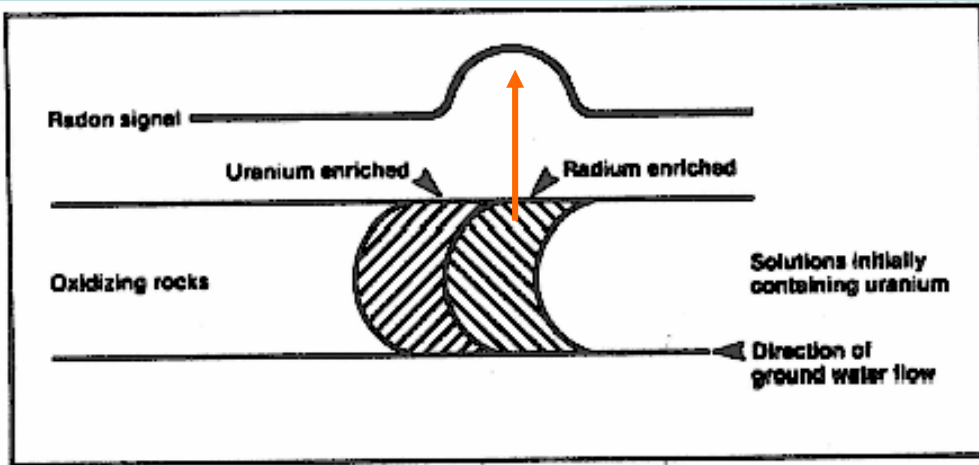


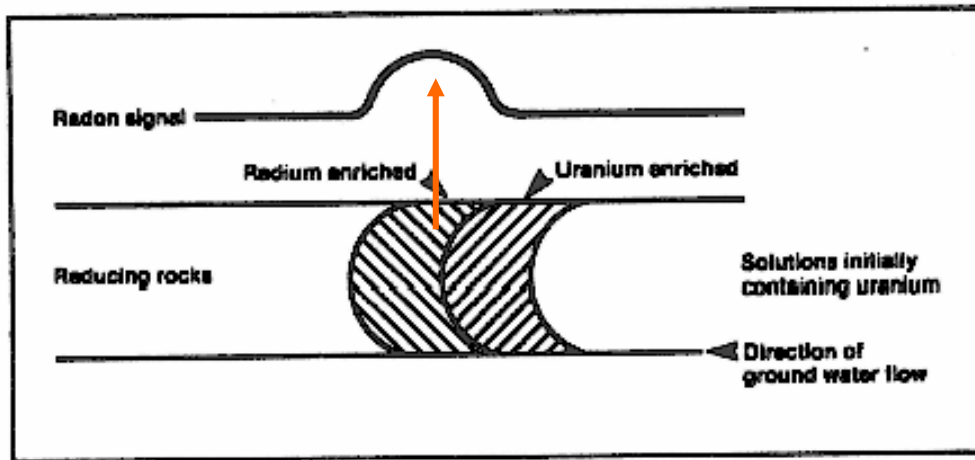
Fig. 7 Thorium map (based on airborne survey of 1997).

Tekintettel a **radon** fontosságára, azzal kiemelten foglalkozunk. A Rn a periódusos rendszerben a nemesgázok csoportjába tartozó kémiai elem, rendszáma 86. Mint láttuk a **238-as uránsorozatban keletkezik a ^{222}Rn (régen csak ezt nevezték radonnak vagy rádiumemanációnak). Általában ha radonról van szó, akkor erre az izotópra gondolunk.** A tórium sorozatban lévő radioaktív nemesgáz a toron ^{220}Rn (tóriumemanáció), és kevésbé fontos az aktíniumsorozatban keletkező aktinon ^{219}Rn (aktíniumemanáció). A teljesség kedvéért megemlítjük az ^{238}U részletes bomlási sorában a 218-as tömegszámú ^{218}Rn izotópot, mely alfa bomlással alakul át 214-es tömegszámú Po izotóppá. Ez utóbbi ^{218}Rn izotóp különösen rövid élettartamú, a felezési ideje 0.03 sec. **A ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn izotópok keletkezésében és további átalakulásában közös, hogy Ra-ból alfa bomlással jönnek létre és alfa bomlással alakulnak át Po izotóppá.** Az alábbi táblázat foglalja össze a három fontosabb Rn izotóppal kapcsolatos lényeges jellemzőket.

| bomlási s. kiindulási eleme | fajl. aktivitás Bq/kg | köztes anyaelem | keletkező Rn izotóp | felezési idő | alfa sugárzás energia MeV | Rn-ból keletkező izotóp | bomlási sor végterméke |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| ^{238}U 99.2745% | 1.23E+07 | ^{226}Ra | ^{222}Rn | 3.82 nap | 5.59 | ^{218}Po | ^{206}Pb |
| ^{232}Th | 4.08E+06 | ^{224}Ra | ^{220}Rn | 55.6 sec | 6.404 | ^{216}Po | ^{208}Pb |
| ^{235}U 0.72% | 5.76E+05 | ^{223}Ra | ^{219}Rn | 4 sec | 6.946 | ^{215}Po | ^{207}Pb |



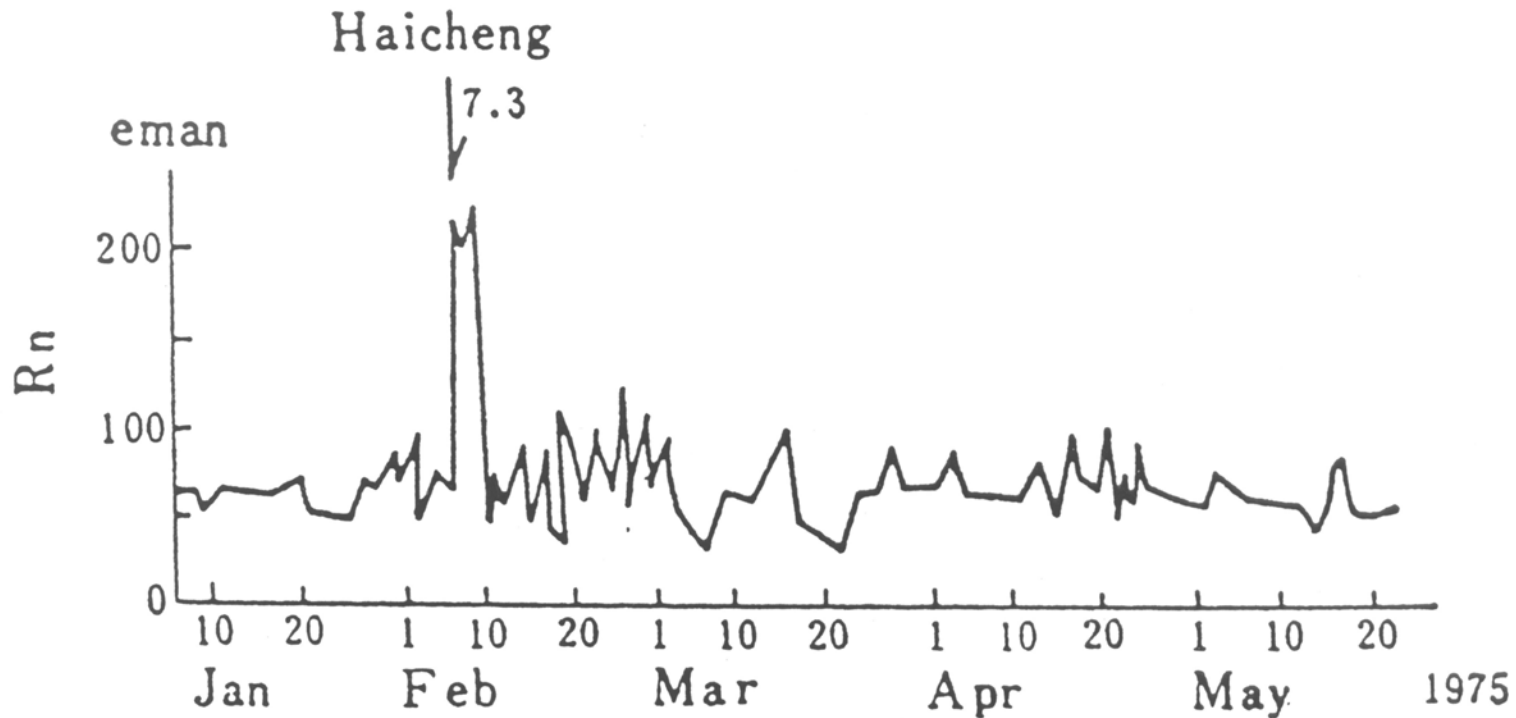
A. Location of isotopes in an oxidizing environment



B. Location of isotopes in a reducing environment

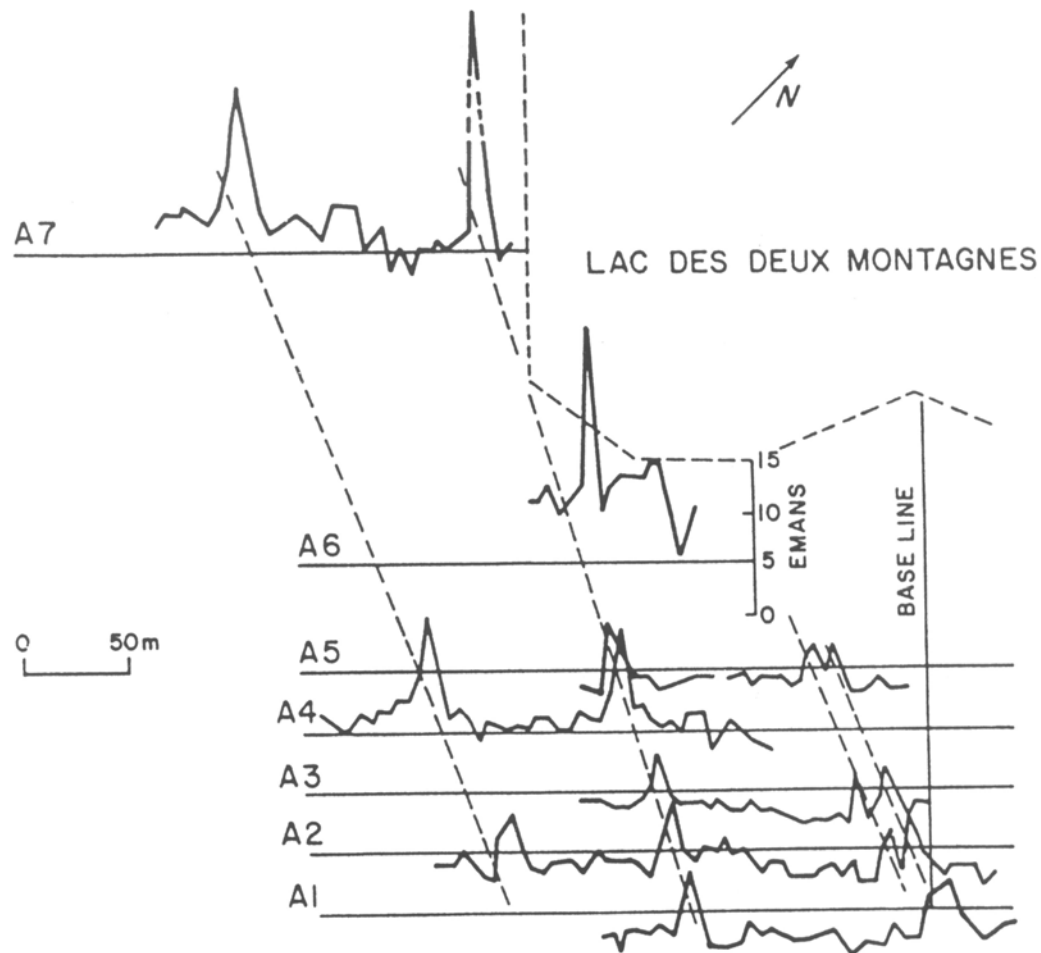
The presence of Rn refers to radium enrichment. Greater Rn signal can be experienced over radium than over uranium.

In reducing environment the precipitation of uranium by the reduction of U^{6+} to U^{4+} forming uranoorganic complexes can be observed. In the case of the same direction of fluid flow and oxidizing environment, the enrichment of uranium occurs in the opposite site of radium.



Variation of radon content in water at the Tange hot spring in Liaoning province, China, before and after the Haicheng earthquake measured at an epicentral distance, $\Delta=72$ km. 1 eman = 10^{-10} Ci/l. (After Shi and Cai, 1986.)

A kínai Tange melegvízes forrásban emelkedett Rn szintet mértek a haichengi (M=7.3) földrengés kipattanása idején



Radon profiles at Point-aux-Carrières, Montreal Island, Canada. Broken lines indicate inferred positions of fracture zones. 1 eman = 10^{-10} Ci/l. (After Abdoh and Pilkington, 1989.)

Törékes zónák korrelációja szelvényenkénti Rn mérés alapján

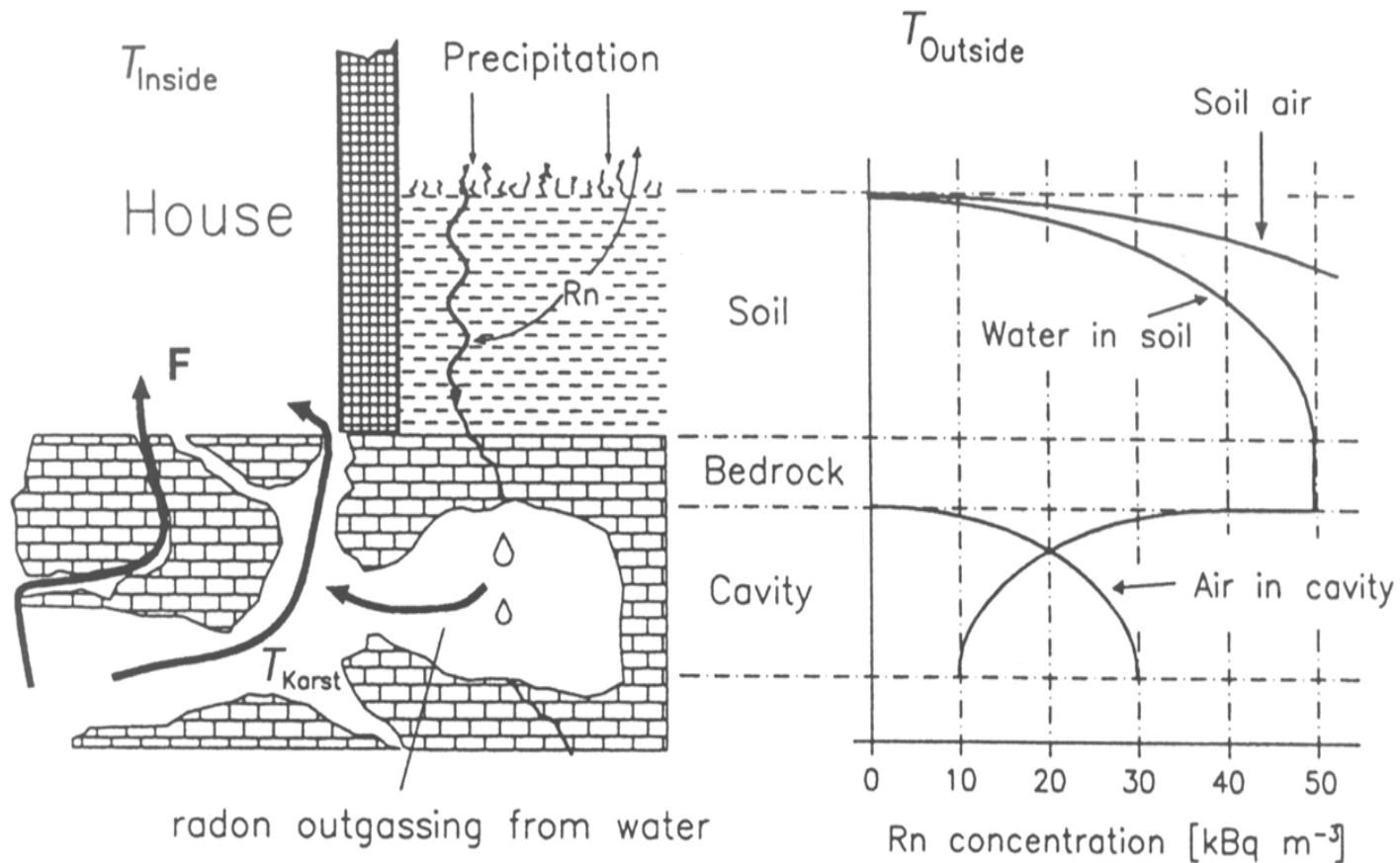


Fig. 9.5 Schematic model describing the radon cycle in karstic areas. The model can explain the elevated Rn concentration in many homes in the Jura region of Switzerland. (After Surbeck and Medici, 1990.)

Rn szint emelkedésére magyarázat Jura kanton egy házának pinceterében

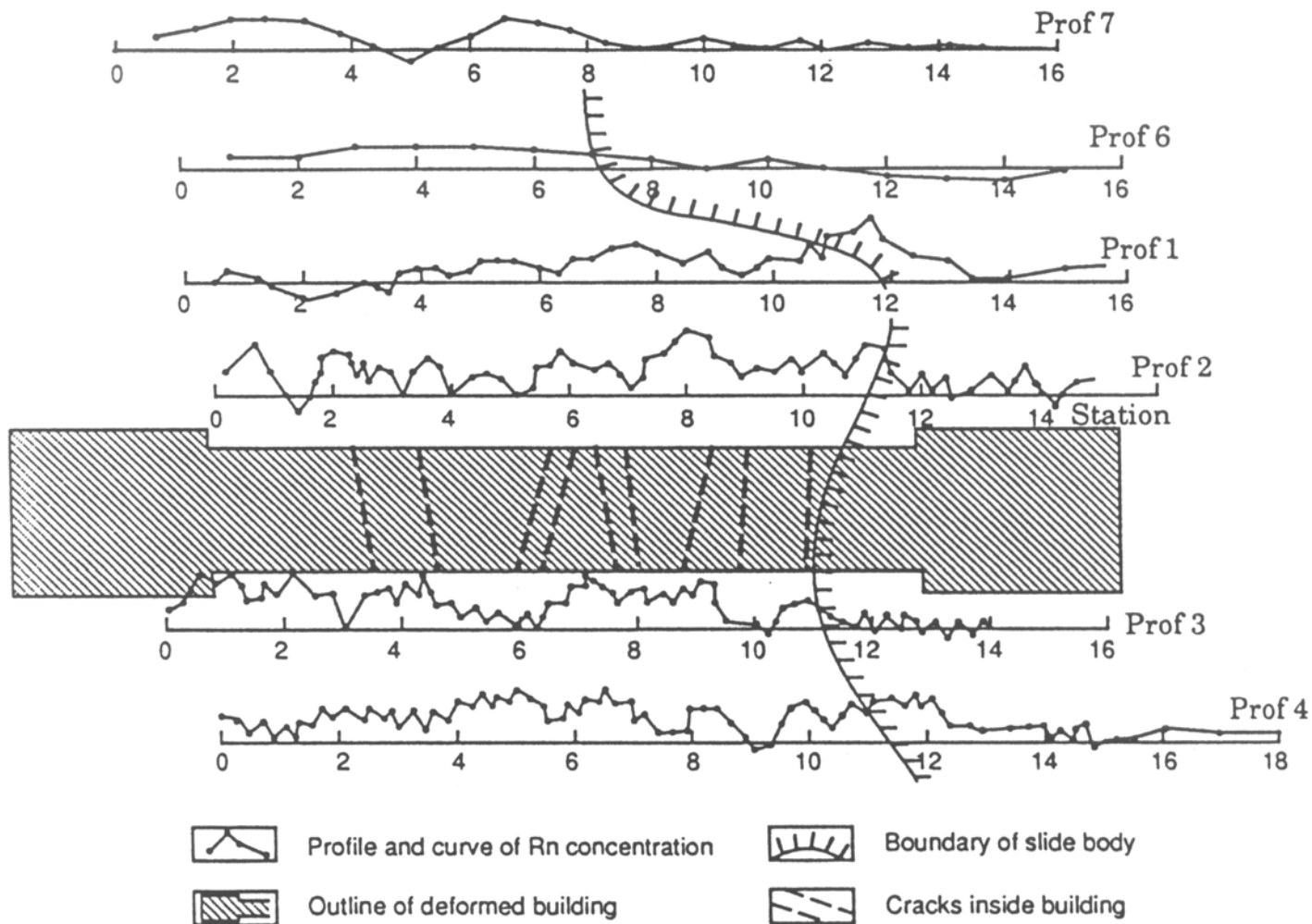


Figure 1. Radon profiles in a landslide area, Lenin Hill, Moscow. (After Bondarenko *et al.*, 1983.)

Talajcsúszás határvonalának megállapítása szelvényenkénti Rn méréssel