

A monochromatic illustration in shades of brown and tan. A man, presumably a geologist, stands in a rugged, mountainous landscape. He is wearing a short-sleeved button-down shirt, shorts, and a cap. He holds a rectangular instrument case in front of him with both hands, looking down at it. A long, thin tool, possibly a geological hammer or probe, rests on the ground to his left. The background shows steep, rocky slopes and a valley.

*Dr. Méhes Kálmán*

**RADIOGEOLOGIA  
ÉS  
RADIOMETRIA**

A MAGYAR ÁLLAMI FÖLDTANI INTÉZET KIADVÁNYA

BPA



Dr. MÉHES KÁLMÁN

# RADIOGEOLÓGIA ÉS RADIOMETRIA

Az uránkutatás gyakorlati módszerei

Ásványok és kőzetek urántartalmának meghatározása

A tórium és az urán geokémiája

A gyakoribb tórium- és uránásványok

Urán- és tóriumércek teleptana

Abszolút földtani kormeghatározás stb.

A szöveget ellenőrizték:

FÖLDVÁRINÉ Dr. VOGL MÁRIA  
a föld- és ásványtudományok kandidátusa

Dr. HORUSITZKY FERENC  
egyetemi tanár, a föld- és ásványtudományok doktora

A címlapot tervezte:

MÉHES LÁSZLÓ

ETO: 550.35

Felelős kiadó: dr. Méhes Kálmán  
A nyomdai kivitelező munkát a Műszaki Könyvkiadó irányította  
12181. Franklin-nyomda Budapest, VIII., Szentkirályi utca 28.  
Felelős: Vértes Ferenc

## ELŐSZÓ

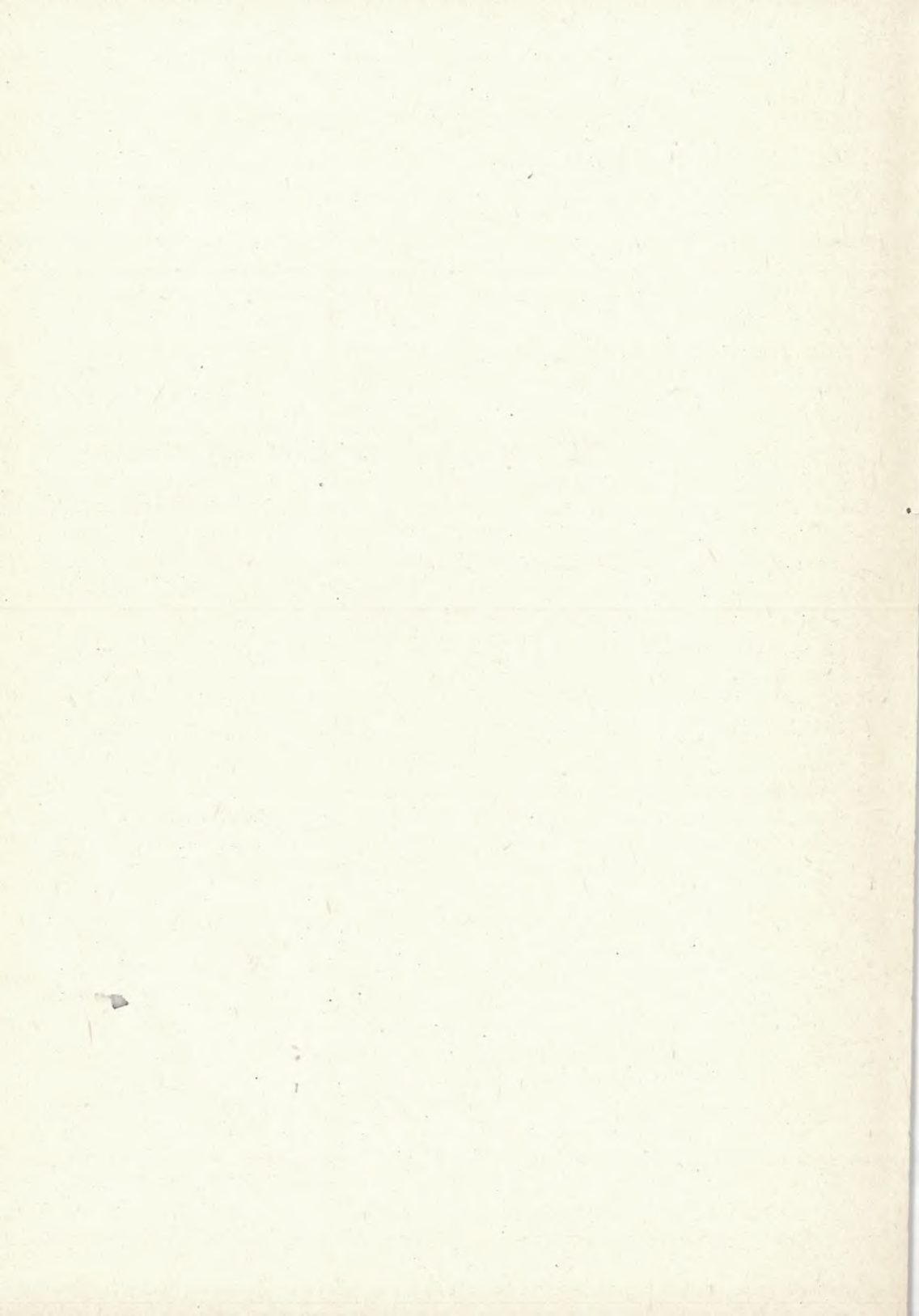
A szerző könyvének első részében rövid atomfizikai bevezetés után részletesen tárgyalja a radiogeológiában alkalmazott legfontosabb módszereket és eszközöket, és nagyon helyesen még gyakorlati példát is bemutat. Érinti továbbá a ritkábban használt, gyakorlatilag kevésbé fontos módszereket is, mert mindig adódhat a radiogeológusnak olyan megoldandó feladata a gyakorlatban, amely speciális munkamódszert igényel. Ebben az esetben legalább is a lehetőségekről e könyvből tájékozódhat.

A könyv második része a hasadó anyagok kutatásával és geológiájával, valamint az abszolút földtani időszámítással és még néhány, a radiogeológia körébe tartozó kérdéssel foglalkozik. A munka igen értékes anyagot ölel fel. Külön figyelmet érdemelnek a szerző önálló kutatási eredményei, amelyek közül különösen érdekesek a balatoni fonalas algák hamujának feltűnő radioaktivitásával és a tektonika közötti összefüggéssel kapcsolatos megállapításai.

A könyvet azzal bocsátom útjára, hogy hasznos szolgálatot fog tenni a hazai hasadó nyersanyagkutatásnak és a hasadó nyersanyagkutatással foglalkozó szakembereknek.

Budapest, 1956. augusztus 30.

BESE VILMOS  
főigazgató



## I. BEVEZETÉS

A radioaktív anyagok iránt mutatkozó érdeklődés és a kérdés nagy gyakorlati fontossága új tudományágat hívott életre a földtanban, a radiogeológiát.

A radiogeológia feladata a radioaktív ásványelőfordulások földtani feltételeinek felderítése és azoknak az összefüggéseknek és indikációknak az ismertetése, amelyek jól irányított, rendszeres és eredményes kutatómunkát tesznek lehetővé. A radiogeológia ezenkívül foglalkozik a földtani időszámítással, a Föld hőháztartásának kérdéseivel, a radioaktív ásványok radiokémiai változásaival, a radioaktív elemek és radiogén gázok migrációjával, valamint a kőolajtelepek radiokémiai jelenségeinek vizsgálatával. A mérés technikai részt a radiometria tárgyalja.

A természetes radioaktív anyagok közül nemrégén mégcsak az urán állt az érdeklődés előterében, de amióta ismeretessé vált, hogy a tóriumból az atommáglyában egy hasadóképes uránizotóp keletkezik, megelénkült a kereslet az uránnál gyakoribb tórium iránt is. A második világháború óta számtalan újabb urán- és tóriumlelőhelyet fedeztek fel, de ezeknek lefejtése, kibányászása olyan rohamos mértékben történik, hogy ma már a csekély urántartalmú lelőhelyeket (0,01—0,02% koncentrációig) is érdemes kitermelni. Ilyen kisebb koncentrációk vannak a kausztobiolitokon (kőszén, kőolaj) kívül a hidrolizált kőzetekben (agyag, bauxit), továbbá bizonyos sivatagi üledékekben. Ezekben az üledékekben a nehézfémionok, köztük az urán és a tórium, másodlagosan feldúsulnak. Még további dúsulás mutatkozik ezeknek az anyagoknak a salakjában és a kémiai feldolgozási melléktermékekben (mint pl. a bauxit ún. vörösiszapjában).

Amint azt *Goodman* és *Parks* már 1950-ben kifejtették, a Föld nagy uránérc-előfordulásainak olyan csekély összes urántartalma van, hogy rövidesen sor kerül a kisebb koncentrációjú, de nagyobb kiterjedésű üledékes kőzetek, elsősorban is a bitumenes, tehát a kőszénnel és kőolajjal rokon kőzetek feldolgozására.

Jelen munka célja, hogy a kezdő radiogeológust bevezesse a legszükségesebb alapismeretekbe és gyakorlati fogások, megfigyelések és tapasztalatok ismertetésével hasznos kézikönyvül szolgáljon.

## II. AZ ATOMMAGOK JELLEMZŐI

### 1. Az atommag szerkezete

Az atommag az atomfizika mai álláspontja szerint kétféle részecskét (nukleont) tartalmaz: *protont* és *neutront*. A protonnak egy pozitív töltése van, a neutronnak viszont nincs töltése. A proton és a neutron tömege megközelítőleg azonos. Ahány *proton* van a magban (magtöltés, rendszám), annyi *elektron* kering a mag körül meghatározott pályákon. Az elektron tömege a proton tömegénél 1836-szor kisebb.

### 2. Rendszám és tömegszám

A protonok számát a rendszám ( $Z$ ), a neutronok számát a tömegszám ( $A$ ) és a rendszám különbsége ( $A - Z = N$ ) mutatja.

Valamennyi atommag töltése az elemi töltés egész számú többszöröse. Ezt az egész számot ( $Z$ ) nevezzük az atommag *rendszámának*. Ez szabja meg az atommag körül keringő elektronok számát.

Az atommag másik fontos jellemzője a *tömegszám*, ami a protonok és neutronok számának az összege. Miután az egyes atommagok tömege egy bizonyos tömegnek, az atomi tömegegységnek közel egész számú többszöröse ( $A$ -szorosa), a tömegszám jó közelítésben megadja az atommag tömegét.

### 3. Izotópok, izobárok, izotónok

Az elemek atomsúlya legtöbbször tört szám. Ez arra vall, hogy a kémiaiilag elkülöníthető elemek több, azonos rendszámú, de különböző tömegszámú elem keverékéből állnak. Az azonos rendszámú (= protonszámú), de különböző tömegszámú atommagokat *izotópoknak* nevezzük.

Az azonos tömegszámú, de különböző proton- és neutrons számú magokat *izobároknak*, az azonos neutrons számú, de különböző proton- és tömegszámú magokat pedig *izotónoknak* nevezzük.

### 4. Stabilis és instabilis magok

Azok a magok, amelyek valamilyen oknál fogva több protont vagy neutront tartalmaznak, mint amennyi a stabilitáshoz szükséges, instabilisak. Az instabilis atommagok felesleges energiájuk leadása közben stabilis magokká alakulnak át. Így pl. az instabilis urán radioaktív részecskéek kibocsátásával hosszabb bomlási soron keresztül stabilis rádium-ólommá, az instabilis tórium pedig stabilis tórium-ólommá alakul át.

### 5. Radioaktív bomlás

Maga a bomlási folyamat a jelenlevő instabilis magok számával arányosan, meghatározott törvények szerint, külső behatásoktól függetlenül megy végbe és egy vagy több nagyenergiájú részecske kibocsátásával éri el a végső lebomlási ólomterméket.

A radioaktív bomlás statisztikus folyamat, amelynek időrendi bekövetkezését statisztikusan jellemezhetjük. Az időegység alatt elbomló magok átlagos száma mindenkor arányos a jelenlevő magok számával.

$$-\frac{dI}{dt} = \lambda I,$$

ahol  $I$  a radioaktív anyag mennyisége;  $\lambda$  a bomlási állandó, amely jellemző az illető izotópra.

A fenti összefüggés integrálva:

$$I = I_0 e^{-\lambda t},$$

ahol  $I_0$  a magok száma az időtartam kezdetén ( $t = 0$ );  $e$  a természetes logaritmus alapszáma;  $I$  a magok száma  $t$  idő elteltével.

Ha azt a pillanatot kívánjuk ismerni, amelyben  $I = \frac{I_0}{2}$ , akkor az

$I = I_0 e^{-\lambda t}$  egyenletet meg kell oldanunk  $t$ -re, amikor

$$t_{\frac{1}{2}} = T = \frac{\log_2 n}{\lambda} = \frac{0,6931}{\lambda}.$$

Az összefüggés szerint  $T$  az az időtartam, amely alatt az elbomló atommagok száma a felére csökken. Ez az egyes radioizotópokra jellemző adat, amelynek értéke az egyes izotópoknál a másodperc tört része és évmilliók között változhat.

A radioaktív elemek (és itt elsősorban a természetes radioaktív elemekre gondolunk) háromféle sugárzást bocsátanak ki magukból, amelyeket Rutherford nyomán  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$  sugaraknak nevezünk.

Mint már említettük, a radioaktív elemek hosszabb bomlási soron keresztül más elemekké alakulnak át. Az átalakulás sorrendjét a radioaktív családok táblázata szemlélteti. A gyengén radioaktív káliumtól, szamáriumtól, kassziopeiumtól, rubidiumtól és réniumtól eltekintve, négy radioaktív családot különböztetünk meg, úm. az urán-, tórium-, aktinium- és a neptuniumcsaládot (l. 1. táblázat).

A radioaktív családok átalakulásainak vizsgálata során több rendkívül érdekes összefüggést sikerült megállapítani. Ezek egyike az ún. eltolódási törvény, amelyet Fajans és Soddy definiáltak. Ha valamely radioaktív elem bomlásakor  $\alpha$ -sugarakat bocsát ki, az átalakuláskor keletkezett származék kémiai tulajdonságaira nézve olyan elem lesz, amely a Mendelejev-féle periódusos táblázatban (l. 2. táblázat) a kiindulási anyagtól két hellyel balra kerül. Így pl. a rádiumból  $\alpha$ -részecskék kibocsátása révén gázalakú termék, a rádiumemanáció (radon) keletkezik. A rádium rendszáma 88, a radoné 86.

Ha a radioaktív elem bomlása  $\beta$ -sugarak kibocsátása közben történik, akkor a képződő származék kémiai tulajdonságaira nézve olyan elem lesz, amely a Mendelejev-féle táblázatban a kiindulási anyagtól egy hellyel jobbra kerül. Így pl. az UX-1-ből UX-2 keletkezik azáltal, hogy az UX-1  $\beta$ -részecskéket bocsát ki. Az UX-1 rendszáma 90, az UX-2 rendszáma 91.

Az  $\alpha$ -sugarak hatótávolsága és a bomlási állandó közötti összefüggést a Geiger-Nuttal egyenlet fejezi ki:

$$\ln \lambda = a + b \cdot \ln R,$$

ahol  $\lambda$  a bomlási állandó,  $a$  és  $b$  az egyes radioaktív családokra jellemző állandók;  $R$  az  $\alpha$ -sugarak hatótávolsága.

**Az elemek periódusos rendszere.**

0	(0)	1	(1)
1	Nn	100	H
2	(0)	3	(1)
2	He	Li	Be
4,003	6,940	9,02	
10	(0)	11	(1)
3	Ne	Na	Mg
20,183	22,997	24,32	
0	1a	2a	3a
18	(0)	19	(1)
4	Ar	K	Ca
39,944	39,096	40,08	45,70
36	(0)	37	(1)
5	Kr	Rb	Sr
83,7	85,48	87,63	88,95
54	(0)	55	(1)
6	Xe	Cs	Ba
131,3	132,91	137,36	138,92
86	(0)	87	(2)
7	Rn	Fa	Ra
222	223	226,05	227

5	(3)	6	(4)	7	(5)	8	(6)	9	(7)
B	C	N	O	F					
10,82	12,010	14,008	16,000	18,00					
13	(3)	14	(4)	15	(5)	16	(6)	17	(7)
Al	Si	P	S	Cl					
26,97	28,06	30,98	32,06	35,457					
31	(3)	32	(4)	33	(5)	34	(6)	35	(7)
Ga	Ge	As	Se	Br					
69,72	72,60	74,97	78,96	79,916					
48	(2)	49	(3)	50	(4)	51	(5)	52	(6)
In	Sn	Sb	Te	J					
114,76	118,70	121,76	127,61	126,92					
80	(2)	81	(3)	82	(4)	83	(5)	84	(6)
Hg	Tl	Pb	Po	At					
200,59	204,39	207,21	209,0	210					
98	(6)	99	(6)	100	(6)	101			
Cf	E	Fm	Mv						
254	254	255	256						

\* **Periódusok**

58	(4)	59	(3)	60	(3)	61
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
140,13	140,92	144,27	147	150,43	152,0	156,9
62	(3)	63	(3)	64	(3)	65
Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Gd
162,5	162,5	163,5	167,2	168,9	173,04	174,99
66	(3)	67	(3)	68	(3)	69
Ho	Er	Tm	Yb	Gd		
167,2	168,9	173,04	174,99			

Minél nagyobb az  $R$ , annál nagyobb a bomlási állandó, vagyis annál gyorsabban bomlik el az illető radioaktív elem.

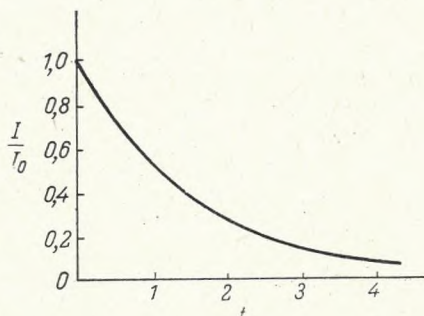
A radioaktív bomlásebesség meghatározható a radioaktív egyensúly alapján is. Az egyensúlyban levő anyagok mindegyikéből azonos számú atom bomlik el. Így pl. a Ra esetében a régebbi rádiumatomok közül ugyanannyi bomlik el, mint amennyi új keletkezik. A számítások szerint, amikor az U és a Ra egyensúlyba kerülnek, 1 g U-ra  $3,4 \cdot 10^{-7}$  g Ra esik. A  $3,4 \cdot 10^{-7}$  g Ra annyi atomból keletkezik, ahányszor ebben a tömegben a Ra atom tömege megvan, és minthogy ezekből az atomokból évente  $2,37 \cdot 10^4$  atom bomlik el, egyszerű arányossági művelettel kiszámítható az az idő, amely alatt az atomok fele átalakul. A Ra esetében ez 1590 év.

Közepes sebességgel bomló anyagoknál a felezési idő grafikusan is meghatározható oly módon, hogy azonos elrendezésben bizonyos időszakokban (pl. 10 vagy 20 naponként) megmérjük a sugárzás erősségét és az észlelt csökkenéseket koordinátarendszerre visszük fel (1. ábra).

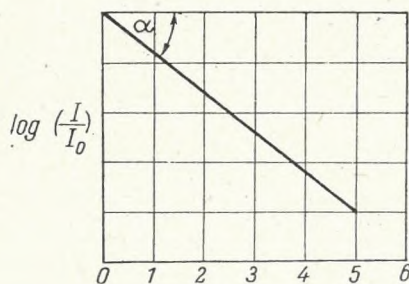
A grafikomból a felezési idő kiértékelhető.

Ha a sugárzás erősségének a logaritmusát visszük az ordinátára, mint a  $t$  idő függvényét, akkor egyenest kapunk, amely egyenes hajlási szögértékének felhasználásával a bomlási félidő kiértékelhető. A grafikonnak az egyenestől való esetleges eltérése arra mutat, hogy anyagunkat más radioaktív anyag szennyezi (2. ábra).

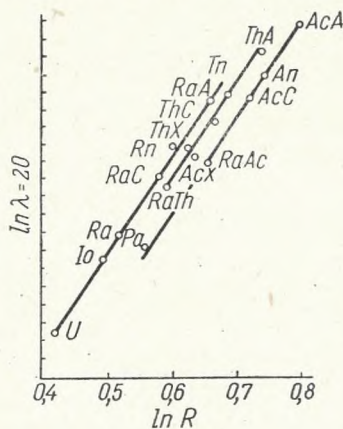
Rövid bomlási félidő meghatározása a Geiger—Nuttal-féle törvény alapján történik. Ennek az összefüggésnek az alapján az  $R$  mérése útján  $\lambda$  meghatározható (3. ábra).



1. ábra



2. ábra



3. ábra

Ily módon milliomed másodpercenyi vagy még ennél kisebb bomlási félidő is kiszámítható. A radioaktív elemek felezési ideje, amint az a táblázatból kitűnik, igen különböző (1. 1. táblázat).

## 6. $\alpha$ -sugárzás

Az  $\alpha$ -részecskék mindkét elektronjuktól megfosztott  $\text{He}^4$  atommagok (kétszeresen ionizált pozitív töltésű atomok), amelyek a különböző radioaktív elemek atomjaiból különböző sebességgel lépnek ki s így sebességük az egyes radioaktív elemekre jellemző.

Valahányszor egy radioaktív elem  $\alpha$ -sugárzással elbomlik, a bomlás-termék a periódusos rendszerben az anyaelemtől két hellyel balra kerül és így rendszáma két egységgel, tömegszáma pedig négy egységgel kisebb lesz.

Általában minél nagyobb valamely  $\alpha$ -sugárzó elem felezési ideje, azaz élettartama, annál kisebb az  $\alpha$ -sugarak hatótávolsága, azaz energiája.

Hatótávolság alatt értjük azt a távolságot, amelynek megtétele után a sugarak elvesztik kinetikus energiájukat. A hatótávolság a sugár kezdeti kinetikus energiáján kívül függ a közeg anyagi minőségétől és sűrűségétől.

Az  $\alpha$ -sugár mágneses térben töltésének megfelelően elhajlik. Kezdősebességének nagyságrendje a fénysebesség  $1/20$  része. Energiája  $2-9$  MeV. Ionizáló képessége az összes sugárfajták közül a legnagyobb.  $1$  cm útszakaszon  $40\,000$  ionpárt hoz létre. Hatótávolsága a levegőben mindössze néhány cm (l. 3. és 4. táblázatot). Sebességét azért veszti el, mert az útjába kerülő gázmolekulákat egy pozitív és egy negatív töltésű ionpárra hasítja szét. Ez a munkavégzés kinetikai energiáját felemészti. Mivel könnyen abszorbeálódik ( $0,06$  mm vastag Al-fólia már teljesen elnyeli), a radioaktív nyersanyagkutatóban használt és később ismertető G. M. számlálócsöves készülékkel jelenléte nem mutatható ki. Kimutatására ionizációs kamrát, szcintillációs számlálót vagy fotoemulziót használunk.

3. táblázat

Az  $\alpha$ -részecskék hatótávolsága és energiája

Izotóp	Hatótávolság cm-ben normál nyomású levegőben 15 °C-on	Energia MeV-ban
Urán I. ....	2,73	4,049
Rádium ....	3,389	4,744
Rádium C' ....	6,971	7,683
Rádium F (Polónium).....	3,925	5,253
Actinium .....	4,676	5,923
Tórium .....	2,90	4,231
Tórium C' .....	8,617	8,761

Az  $\alpha$ -részecskék hatótávolsága Yagoda csoportosításában

Rendszer	Radioizotópok	Hatótávolság normál-nyomású levegőben cm-ben
U sorozat .....	UI, UII, Io, Ra, Rn, RaA, RaC' és RaF	3,96
Elkülönített U .....	UI, UII, és AcU	2,93
Ra sorozat .....	Ra, Rn, RaA és RaC' Ra, Rn, RaA, RaC' és RaF	4,72 4,54
Th sorozat .....	Th, Rd, Th, ThX, Tn, ThA és ThC+ThC'	4,81
Ac sorozat .....	AcU, Pa, RdAc, AcX, An, AcA és AcC	4,71
U+0,046 AcU ....	U-ásvány radioaktív egyensúlyban	4,00
Rn sorozat .....	Rn, RaA és RaC'	5,21
Tn sorozat .....	Tn, ThA és ThC+ThC'	5,98
An sorozat .....	An, AnA és AnC	5,83

### 7. $\beta$ -sugárzás

A természetes radioaktív elemek által kibocsátott  $\beta$ -részecskék gyorsan mozgó elektronok, amelyeknek töltése a héjelektron töltésével egyezik. A különböző sebességű részecskék energiája különböző. Részben ez, részben pedig az a tapasztalati tény, hogy a  $\beta$ -részecskék az anyagon való áthaladáskor nemcsak elnyelődhetnek vagy áthaladhatnak, hanem szóródhatnak is, teszi szükségessé, hogy a mérés geometriája állandó legyen.

A  $\beta$ -sugarak maximális hatótávolsága levegőben 15 m-ig terjedhet. 2 mm vastag Pb lemez a  $\beta$ -sugarakat már teljesen elnyeli. Energiájuk 0,4–3,0 MeV, és 1 cm úthosszon 40–200 ionpárt hoznak létre. Sebességük közel jár a fény sebességéhez.

A  $\beta$ -sugárzással elbomlott bomlástermék az anyaelemnél egy egységgel nagyobb rendszámot kap, tömegszáma változatlan marad.

A  $\beta$ -sugarak mágneses térben töltésüknek megfelelően elhajolnak.

$\beta$ -sugárzás előfordulhat olyan elemeknél is, amelyeknek nincs  $\beta$ -bomlásuk. Ezeknél a  $\beta$ -részecskéket az atombomlással kapcsolatos  $\gamma$ -sugarak váltják ki az atom külső elektronhéjából. Az atom külső részéből ilyen másodlagos úton kiváltott elektronok, mint szekunder  $\beta$ -sugarak hagyják el az atomot.

A  $\beta$ -sugarak észlelésére és mérésére a következő fejezetben visszatérünk.

A természetes radioaktív elemek által kibocsátott  $\beta$ -részecskék száma az elnyelő réteg vastagságának növekedésével majdnem exponenciálisan csökken.

Célszerű a  $\beta$ -részecskék abszorpcióját a felezőrétegek függvényeként kifejezni. Felezőrétegen annak az elnyelő rétegnek a vastagságát értjük, amely a kilépő részecskék számát a felére csökkenti. Az elnyelő réteg vastagságát tovább növelve, végül elérünk egy olyan vastagságot, amely már minden részecskét lefékez. Ezt a rétegvastagságot fékezési vastagságnak nevezzük.

A maximális hatótávolság megállapítása úgy történik, hogy az abszorpciós görbe valamely egyenes részét a részecskék eredeti számának arányában extrapoláljuk.

Vannak olyan radioizotópok, amelyek nagyon gyenge  $\beta$ -sugarakat bocsátanak ki magukból. Számunkra ezek közül legfontosabb a C-14 radioizotóp, amely a legfiatalabb földtani képződmények és az archeológiai leletek korának abszolút meghatározására használható fel. Ennek maximális energiája 140 KeV. Az ilyen gyenge bétasugárzó radioizotóp mérésénél tekintettel kell lennünk néhány abszorpciós tényezőre (lásd később).

A  $\beta$ -sugárzás éppen úgy, mint az  $\alpha$ -sugárzás, az atombomlás primer jelensége.

A radioaktív átalakulások egy másik fajtája a K-befogás. K-befogásról akkor beszélünk, ha az atommag a legbelső elektrónhéjából befog egy elektront és a felesleges energiát neutrino alakjában sugározza ki (a neutrino hipotétikus részecske, amelynek nyugalmi tömege nincs, és amelyet közvetett úton, visszalökéséből észleltek), ily módon a protontöbblettel bíró nehéz instabilis magok héjelektron-befogás útján alakulnak át stabilis magokká.

## 8. $\gamma$ -sugárzás

Amíg az  $\alpha$ - és a  $\beta$ -sugarak mágneses és elektromos erőter által befolyásolhatók, a  $\gamma$ -sugárzást nem tudjuk eltéríteni útjából. Ez arra mutat, hogy a  $\gamma$ -sugárzásban nincsenek elektromosan töltött részecskék. A  $\gamma$ -sugárzás rövidhullámú, nagyenergiájú elektromágneses sugárzás, amely lényegében azonos a fényvel vagy röntgensugárzással, de rezgésszáma sokkalta nagyobb, nagyságrendben  $10^{21} \text{ sec}^{-1}$ , ami kerekén  $10^6$ -szor múlja felül a zöld fény rezgésszámát. A klasszikus fényelmélet nem alkalmas a  $\gamma$ -sugarak szabatos meghatározására. Sokkal több lehetőséggel kecsegtet a fénynek korpuszkuláris felfogása, amely szerint a hullámszerűen fénysebességgel terjedő sugárnyalábban tömegmentes energiaelemek, ún. fotonok száguldanak.

A  $\gamma$ -sugár keletkezését általában a gerjesztett atommaggal magyarázzák. A gerjesztett atommagot úgy tekinthetjük, hogy magasabb kvantált energiaállapotban van, mint az alapenergiaállapot. Amikor a magasabb energiaszintről az atommag alacsonyabb energiaszintre zuhan, sugárzást figyelhetünk meg, ami vagy protonok, vagy  $\gamma$ -fotonok alakjában jelent-

kezik. Gyakran emittálhat stabilis atom is  $\gamma$ -fotonokat neutronbefogással, de gyakran lehet kísérőjelensége az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ -sugárzásnak. Ha ugyanis egy-egy  $\alpha$ -részecske kölcsönhatás folytán különösen magas energiaszintre emelkedik s erről a magas energiaszintről hagyja el az atommagot, ami a tapasztalatok szerint  $\beta$ -sugár kibocsátása után szokott bekövetkezni, a  $\beta$ -sugárkilövellés igen nagymérvű gerjesztési állapotot hagy vissza az atommagban. Gamow szerint ilyen módon jönnek létre a szélsőséges hatótávolságú  $\alpha$ -sugarak. Legtöbbször azonban ez az egész folyamat megmarad az atommagon belül s az  $\alpha$ -részecske a szélsőségesen magas energiaszintről visszazuhanhat alapállapotába vagy egyéb, alacsonyabb energiaszintre  $\gamma$ -sugárkvantum kilövellése közben.

A  $\gamma$ -sugárzásnak ötféle kölcsönhatását különböztetjük meg, ezek közül 3 a pályaelektronnal, 2 pedig az atommaggal kapcsolatos. Miután a  $\gamma$ -kvantum számlálása szekunder elektronemisszió útján történik, számunkra legfontosabb jelenségek:

1. a Compton-hatás és a
2. fotoelektromos effektus.

A Compton-hatás akkor jelentkezik, ha a  $\gamma$ -kvantum összeütközik egy elektronnal s energiáját annak átadja. Ilyenkor az elektron nagy energiafeleslege folytán pályáját elhagyja. A  $\gamma$ -kvantum pedig, miután energiájából leadott, más szög alatt reflektálódik. Mivel a reflektált  $\gamma$ -kvantumnak az energiája alacsonyabb, hullámhossza nagyobb.

Ha a  $\gamma$ -foton az anyagon való áthaladása közben az útjába kerülő elektronnal ütközik, teljes energiáját átadhatja az elektronnak. Ez a jelenség a fotoelektromos effektus. A fotoelektromos effektus által az anyagból kiütött elektronok energiája ( $E_\beta$ ) és a  $\gamma$ -foton energiája ( $E_\gamma$ ) között a következő összefüggés áll fenn:

$$E_\beta = E_\gamma - A,$$

$$E_\gamma = h \nu_\gamma$$

$\nu_\gamma$  jelenti a  $\gamma$  sugárzás frekvenciáját,  $h$  a Plank-féle állandó és  $A$  jelenti azt a munkát, amelyet arra kell fordítanunk, hogy az elektront az anyag vonzóerőinek a hatásköréből eltávolítsuk. Az  $A$  számértéke attól függ, hogy az illető elektron az atomnak melyik energiaszintjéből származik.

A  $\gamma$ -sugarak áthatoló képessége igen nagy. 1–2 dm ólom is csak részben nyeli el. Ionizáló képessége azonban kisebb, mint a  $\beta$ -elektronoké.

#### A $\gamma$ -sugár elnyelődése levegőben (Broekamp után)

Földfelszín feletti magasság méterben	Ra és Th $\gamma$ -sugárzása %-ban	K $\gamma$ -sugárzása %-ban
0	100	100
50	55	68
100	36	52
150	23	41
200	17	33
300	8	22

Mint a  $\beta$ -, úgy a  $\gamma$ -sugarak abszorpciós görbéje is exponenciális jellegű.

Ha az abszorpciós görbét félogaritmikus papíron ábrázoljuk úgy, hogy az ordinátára az intenzitás logaritmusát visszük fel a rétegvastagság függvényében, megközelítőleg egyenest kapunk. Az abszorpciós görbe első része azonban meredekebben esik, mert az inhomogén  $\gamma$ -sugárzás lágyabb komponensei előbb kiszűrődnek. Ha nagyobb abszorbens vastagságot választunk, a görbének ki kell egyenesednie. Az ezen a szakaszon leolvasott felezési réteg a mérvadó. A felező réteg meghatározása úgy történik, hogy a grafikon kiegyenlített egyeneséről leolvassuk azt a rétegvastagságot, amely a radioaktivitás erősségének  $1/2$  vagy  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  részére történő csökkentéséhez szükséges. Ezt nevezzük felezőréteggnek. Az egyenes kiegyenlítését a legkisebb négyzetek módszerével hajtjuk végre.

### 9. A kozmikus sugárzás szerepe

Mivel a radiológiai méréseket végző szakember a kozmikus sugárzás hatásait nem hagyhatja figyelmen kívül, röviden meg kell ismerkednünk ennek a sugárzásnak a természetével.

Földünket a világűrben állandó gyenge, de igen nagy áthatoló-képességű sugárzás éri. Ez a kozmikus sugárzás. A sugárzás intenzitása egy ideig erősen növekszik a magassággal, de ott, ahol a légnyomás 100 Hg mm-re csökken, a sugárzás erőssége erősen esni kezd. A Föld mágneses hatása is erősen befolyásolja a kozmikus sugárzás erősségének eloszlását a Föld felszínén. A mágneses pólusok közelében a kozmikus sugárzás intenzitása nagyobb, mint az egyenlítő közelében. A megfigyelések szerint a kozmikus sugárzás intenzitásában jelentkező változások részben a légnyomás változásával kapcsolatosak.

A kozmikus sugárzás abszorpciós együtthatója igen kicsi. 2 dm vastag ólomréteg mindössze a felére csökkenti a kozmikus sugárzás intenzitását a Föld felszínén. A kozmikus sugárzás tehát még a  $\gamma$ -sugarak áthatoló-képességénél is nagyobb. Maga a sugárzás nem egységes. Egy részét már 10–15 cm vastag ólomréteg teljesen elnyeli. Ezeket a megkülönböztetés kedvéért a kozmikus sugárzás lágy összetevőinek nevezték el. A kemény komponensét még 1 méter vastag ólomréteg is csak 75%-kal tudja csökkenteni. A kozmikus sugárzás teljes kiszűrése tehát a gyakorlati radiológiai méréseknél nem valósítható meg.

A kozmikus sugarak eredetéről és keletkezési helyéről biztosan nem tudunk. *Alfven* svéd és *Terleckij* orosz kutatók szerint azok az égitestek, amelyeknek mágneses és földrajzi pólusai nem esnek egybe (mint pl. a Földé és a Napé), tulajdonképpen sajátos indukciós gyorsítók (kozmosz ciklotronok), amelyek több milliárd elektronvolt energiájú részecskéket lönek ki a világűrbe. Ilyen részecskék lennének a kozmikus sugárzás primer protonjai, amelyek a levegő atomjaival kölcsönhatásba lépve, bonyolult atommagátalakulási folyamaton keresztül jutnak le a Földre.

# F Ü G G E L É K

## 1. Sugárzási mértékegységek

- 1 c (curie) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  elbomló atom/sec  
 1 mc (millicurie) =  $10^{-3}$  c (= 0,001 c) =  $3,7 \cdot 10^7$  elbomló atom/sec = 37 rd (rutherford)  
 1  $\mu$ c (mikrocurie) =  $10^{-6}$ c =  $3,7 \cdot 10^4$  elbomló atom/sec  
 1 m $\mu$ c (millimikrocurie) =  $10^{-9}$ c = 37 elbomló atom/sec  
 1 eman = 0,1 m $\mu$ c =  $10^{-10}$ c  
 1 Mache-egység = 3,64 eman =  $3,64 \cdot 10^{-10}$ c Rn/liter  
 1 rd =  $10^6$  elbomló atom/sec = 1/37 mc  
 1 r (röntgen) = 1 e. sztat. c. g. s. egység (1 ml normál nyomású 0° C hőmérsékletű levegőben).  
 1 r =  $2,083 \cdot 10^9$  ionpár (1 ml n. ny. levegőben)  
 1 r =  $6,77 \cdot 10^4$  MeV (1 ml n. ny. levegőben)  
 1 g Ra = 0,994 c

### Egyéb, a radiogeológiában használt mértékegységek:

- 1 eV (elektronvolt) =  $1,07 \cdot 10^{-9}$  tömegegység =  $1,601 \cdot 10^{-12}$  erg  
 1 MeV (mega- vagy millióelektronvolt) =  $10^6$  eV =  $1,6 \cdot 10^{-6}$  erg  
 1 elemi töltés =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb  
 1 atomi tömegegység = 931,04 MeV  
 1 ionpár a levegőben = 32,5 MeV  
 1 erg = 1 dyn · 1 cm =  $2,39 \cdot 10^{-11}$  kcal  
 1 dyn = 1 g ·  $\frac{1 \text{ cm}}{\text{sec}^2}$   
 1 kcal ·  $4,186 \cdot 10^{10}$  erg  
 1 mm =  $10^{-3}$ m; 1  $\mu$  =  $10^{-6}$ m; 1  $\mu$  =  $10^{-3}$ mm; 1 m $\mu$  =  $10^{-9}$ m; 1 m $\mu$  =  $10^{-6}$ mm  
 1 Å =  $10^{-10}$ m; 1 Å =  $10^{-8}$ cm; 1 Å =  $10^{-7}$ mm; 1 Å =  $10^{-1}$  m $\mu$   
 1 X =  $10^{-13}$ m; 1 X =  $10^{-11}$ cm; 1 X =  $10^{-10}$ mm  
 1 barn =  $10^{-24}$ cm<sup>2</sup>

### Koncentráció

- 1 kg U kb. 1/3 mg Ra-ot tartalmaz.  
 1 t U kb 302,4 mg Ra-ot tartalmaz.  
 1 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> kb. 256,58 mg Ra-ot tartalmaz.  
 1,522 g jachymovi szurokérc Ra tartalma  $3,4 \cdot 10^{-7}$  g.  
 20 mg/cm<sup>2</sup> U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> sec-onként  $5,78 \cdot 10^{-12}$  amper ionáramot ad.

### Sebesség

- Az  $\alpha$ -részecske sebessége kb.  $1,922 \cdot 10^9$  cm/sec (RaC')  
 A  $\beta$ -részecske sebessége kb.  $2,9 \cdot 10^{10}$  cm/sec  
 A  $\gamma$ -sugár sebessége mintegy 0,999 fénysebesség  
 A fénysebesség =  $2,99776 \pm 0,00004 \cdot 10^{10}$  cm/sec<sup>-1</sup>

### Abszorpció

- Az  $\alpha$ -sugárzást teljesen elnyeli 0,06 mm Al.  
 A  $\beta$ -sugárzást teljesen elnyeli 2,00 mm Pb.  
 A  $\gamma$ -sugárzást félig elnyeli 14,00 mm Pb.

### Sűrűség g/cm<sup>3</sup>-ben.

Al	2,699	Pt	21,37
Mn	7,30	kőszén	1,2–1,5
Cd	8,67	beton	2,1–2,3
Ag	10,6	bauxit	2,5
Pb	11,35	üveg	3,0–4,0
Au	19,33		

## 2. Összehasonlító standardok

$\alpha$ -sugárzó standard-egységet úgy készítünk, hogy  $U_3O_8$ -ból az esetleg jelenlevő UX-1-t eltávolítjuk, majd az  $U_3O_8$  finom porát kis réztálcán  $20 \text{ mg/cm}^2$  rétegvastagságban szétterítjük. Ezáltal telített  $\alpha$ -sugárzó aktív réteget kapunk, amelynek  $\alpha$ -aktivitása a rétegvastagság további növelésétől független. A preparátum sugárzása  $\text{cm}^2$ -ként  $1,73 \cdot 10^{-3}$  elektrosztatikai egységnyi, vagyis  $5,78 \cdot 10^{-13}$  amper telítési ionáramot ad. Az UX-1 eltávolítása úgy történik, hogy az  $U_3O_8$  salétromsavas oldatába néhány centigramm ferrikloridot teszünk, majd az oldatot ammóniával, utána pedig ammóniumkarbonáttal kezeljük. A csapadék alakjában visszamaradt ferrihidroxid tartalmazza a  $\beta$ -sugárzó UX 1-et.

$\beta$ -sugárzó standardként legcélszerűbb RaD + RaE preparátumot használni. A RaE felezési ideje 22,2 év.

$\gamma$ -sugárzó standardként a legtöbb mérőlaboratóriumban a Co-60 radioizotópot használják, amelyet atomreaktorban állítanak elő és amelynek a felezési ideje 5,3 év.

Rádium egységű standard-készítményt Curie-né állított elő 1911-ben. Ez a standard 21,99 mg súlyú vízmentes  $\text{RaCl}_2$ -készítmény. Ezzel a nemzetközi standarddal történő összehasonlítás alapján a nemzetközi Rádium-Standard-Bizottság hiteles rádiumstandardokat ad ki.

Emanáció-egységű standard-készítmény az a radonmennyiség, amely 1 g Ra-mal van radioaktív egyensúlyban.

Ásványok és kőzetek radioaktív anyagtartalmának gyors kvantitatív meghatározását koncentrációfüggvény segítségével végezhetjük el. A gyakorlatilag inaktív kőzethez vagy a vizsgálandó kőzettel azonos térfogatsúlyú műtermékhez meghatározott mennyiségű, radioaktív egyensúlyban levő anyagot adagolunk növekvő mennyiségben. Így olyan sorozatot kapunk, amelynek urántartalmát ismerjük. Ha a sorozat egyes tagjainak radioaktivitását — azonos elrendezésben — Geiger—Müller számlálócsővel megmérjük, akkor az urántartalom és a percnkénti lökés szám ismeretében olyan koncentrációfüggvényt szerkeszthetünk, amelyről a vizsgált anyag radioaktív anyagtartalma az anyag percnkénti lökésaktivitásának ismeretében urán-ekvivalensben, százalékban vagy gramm/tonnában közvetlenül leolvasható. De a radioaktív anyagtartalom kifejezhető tórium-ekvivalensben is. (1 g U sugárzása megfelel 1,86 g Th sugárzásának, feltételezve, hogy mind az U, mind a Th bomlástermékeivel egyensúlyban van.)

## III. A RADIOAKTÍV ELEMELK MINŐSÉGI ÉS MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁSÁRA SZOLGÁLÓ MÉRŐESZKÖZÖK ÉS ALKALMAZÁSUK

A radiometria legfőbb feladata a sugárzó anyagok észlelése, meghatározása, mérése. A feladat természete szerint sokszor megelégedhetünk csak a sugárzás észlelésével, gyakran azonban az egyes sugárzó izotópok mennyiségének meghatározására és egymástól való elválasztására is szükség van. A felhasználható módszerek a legkülönbözőbbek. Vannak módszerek, amelyek a sugárzás hatásainak észlelésén alapulnak, vannak, amelyek az egyes radioaktív izotópok fizikai tulajdonságainak méréséből állnak, vannak kémiai módszerek, amelyek a radioaktív elemek kémiai reakcióit, esetleg színreakcióit alkalmazzák. A módszer helyes megválasztása mindig az adott feladatnak megfelelően és természetesen a műszerlehetőségek figyelembevételével történjék.

A következőkben felsoroljuk a leghasználatosabb módszereket és néhány ritkábban alkalmazott módszert is, de a főhangsúlyt természetesen a geológiai kutatásban legfontosabb mérési módszerekre helyezzük.

## A) Fizikai módszerek és eszközök

### 1. Az ionizáció mérésére szolgáló eszközök

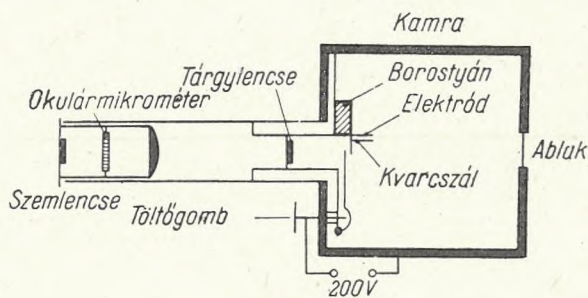
A legtöbb radioaktív mérőmódszer a gázok ionizációjának mérésén alapszik. A radioaktív sugárzás  $\alpha$ - és  $\beta$ -részecskéi valamint  $\gamma$ -kvantumjai a gázokban közvetlenül vagy közvetve ionizációt hoznak létre. Az ionizáció következtében a gázok elektromosan vezetőkké válnak és vezetőképességük a radioaktív sugárzás erősségének a mértéke. A radioaktív anyagok mennyiségi meghatározása tehát sugárzásuk erőssége alapján történik. A sugárzás erőssége viszont az időegység alatt elbomló atomok számával függ össze. A mérésnél tulajdonképpen a sugárforrás hatására ionizált levegő elektromos vezetőképességét mérjük, ami arányos a radioaktív sugárzás erősségével. A sugárzás erőssége egyenlő azzal az energiával, ami a sugár irányára merőleges egységnyi felületen egységnyi idő alatt áthalad. A sugárzás mennyisége viszont az intenzitás időintegráljával egyenlő.

*Lauritsen elektroszkóp.* Az ionizációs árammérések legősbibb eszköze az arany- vagy alumíniumfüstlemezes elektroszkóp. Ennek modern változata a Lauritsen-féle elektroszkóp, amelyben a nullahelyzetet visszaállító erő nem a nehézségi

erő, hanem egy kiskapacitású rövid, vékony aranyréteggel befuttatott kvarcszál rugalmassága. Amikor a töltőberendezés segítségével a készüléket kb. 200 V feszültségre feltöltjük, a kvarcszál elhajlik a támasztékául szolgáló elektródtól. A szál helyzetét 100 osztásrészi skálával nagyítócső segítségével olvassuk le. A kamrába belépő ionizáló részecskék a rendszer töltésének csökkenését eredményezik.

A kvarcszál a részecskék sűrűségének megfelelően lassabban vagy gyorsabban visszatér eredeti helyzetéhez, vagyis töltése levezetődik a földre. A mozgás mértékét lemérve, kapcsolatba hozhatjuk a vizsgált anyag radioaktivitásának erősségével.

A kvarcszál és a hozzátartozó elektród kapacitása  $10^{-13}$  Farad.  $10^6$  ionpár kb. egy osztásrészi skálaelmozdulást eredményez. A skála közel lineáris. A levegővel töltött ionizációs kamrákhoz hasonlóan itt is könnyen behelyezhető a vizsgálandó minta a kamra érzékeny terébe, ahol nagy effektív térszöveget kapunk. Az ionizációs kamrákkal ellentétben a Lauritsen-elektroszkóp a közbeeső fal hiánya miatt a könnyen elnyelődő sugárzásokra is érzékeny. A sugarak lágysága bizonyos határokon belül még előnyös is lehet, mivel a fajlagos ionizáció növekszik az energia csökkenésével.



Lauritsen elektroszkóp

4. ábra

(Az  $\alpha$ -sugarak fajlagos ionizációja, azaz a keletkező ionpárok száma 1 cm úthosszra számítva hozzávetőleg fordítva arányos a részecske sebességével. A sokkal nagyobb sebességű  $\beta$ -sugárzás esetén a fajlagos ionizáció sokkal kisebb és hozzávetőleg fordítva arányos a sebesség négyzetével. Itt a kisebb méretű elektron már az első ütközés után elveszti energiáját, de energiát veszíthet fékezési sugárzás révén is, ha nehéz elemek elektron-felhőjébe hatol be.)

A háttérsugárzás hatását ólomburkolással minimumra lehet csökkenteni. Háttérsugárzáson a kozmikus sugárzás és a szórt sugárzás hatására időegységben létrejött beütések számát, ill. energiáját értjük. Mivel a háttér a mérés helye és ideje szerint változik, ajánlatos minden anyagmérés előtt újra meghatározni.

A kvarcszál finomsága ellenére a készülék meglehetősen masszív és veszélyeztetés nélkül szállítható.

Az elektroszkóp töltőberendezése egy töltőegységgel van összerelve.

### Ionizációs kamrák

Az ionizációs kamráknak több típusa ismert. A legegyszerűbb ionizációs kamra egy levegővel vagy más gázzal töltött földelt fémházból és benne két sík elektródból áll, amelyek elektromosan feltölthető sűrítőt alkotnak. Az egyik elektród a fémházzal és ezzel együtt a földdel van összekötve, a másik az ún. gyűjtő elektród egy borostyán vagy azt helyettesítő szigetelőn (öntött kénen, műborostyánon) keresztül az elektroszkóphoz csatlakozik. Az elektroszkóp ezred mm vastag arany- vagy alumíniumfűstlemeze a közölt elektromos töltés mértékének megfelelően kitér.

A kitérést okulármikrométerrel ellátott kis nagyítású mikroszkóp segítségével olvassuk le.

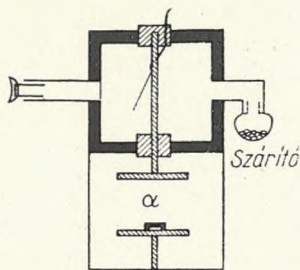
Ha a kamra földelt elektródjára radioaktív anyagot helyezünk, az elektroszkóp a radioaktív sugárzás erősségének megfelelően lassabban vagy gyorsabban kisül. A feszültség csökkenésének sebessége arányos a radioaktív sugárzás erősségével.

Ahhoz, hogy az esési sebességből az ionizációs áram erősségére következtethessünk, ismerünk kell még a kamra kapacitását, mert az áramerősség a töltésvesztés és a kisülési idő hányadosának a határértékével egyenlő. Ha a

kapacitást  $C$ -vel, az áramerősséget  $i$ -vel, a töltésvesztést  $C \cdot \Delta V$ -vel, a kisülési időt pedig  $\Delta t$ -vel jelöljük,

$$i = - C \cdot \lim \frac{\Delta V}{\Delta t} = - C \cdot \frac{dV}{dt}.$$

Ismeretlen radioaktív anyag sugárzásának intenzitását összehasonlítva ismert standard sugárforrással, az ionizáció mértékét a kisülési idő reciprokjának a viszonyával fejezhetjük ki:



$\alpha$ -ionizációs kamra

5. ábra

$$i_1 : i_2 = \frac{1}{\Delta t_1} : \frac{1}{\Delta t_2},$$

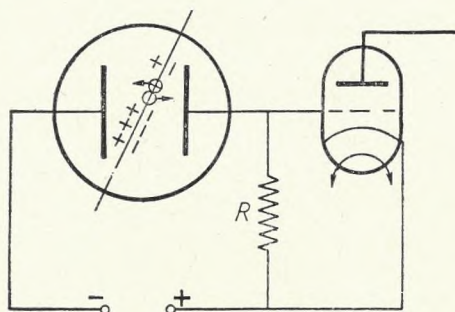
ebből levonva a háttérsugárzás ( $K$ ) okozta kisülési időt, amit minden mérés előtt meg kell határozni,

$$i_1 : i_2 = \left( \frac{1}{\Delta t_1} - \frac{1}{K} \right) : \left( \frac{1}{\Delta t_2} - \frac{1}{K} \right).$$

Felezési idő meghatározásánál a mérési időnek kisebbnek kell lennie a felezési időnél, de viszont nem lehet kisebb annál az időnél, amit a mérés pontossága megkíván.

A 6. ábra egy elektromos regisztráló berendezéssel kombinált ionizációs kamra kapcsolását mutatja.

Ha a kamrába egy megfelelő energiájú és töltésű részecske kerül, akkor a kamrában levő gázmolekulák közül néhányat ionizál. A keletkezett pozitív töltésű ionokat a negatív, a keletkezett negatív töltésű ionokat a pozitív elektród vonzza magához. Az elektródra jutó ionok az elektród töltésének egy részét semlegesítik. Ezáltal a fémház és a gyűjtőelektród



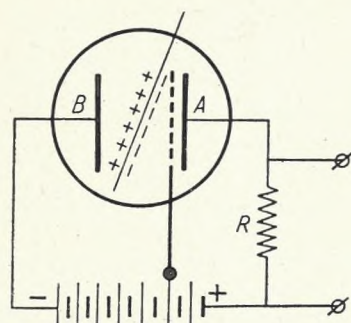
6. ábra. Boncs – Brujevics nyomán

közi potenciálkülönbség az  $R$  ellenállás miatt minden egyes részecske beérkezésekor lökesszerűen csökken. Az így jelentkező feszültséglökést, amely kb.  $10^{-4}$  V, többfokozatú elektroncsöves erősítőberendezés elektrométercsövének rácsára vezetjük. (Az elektrométercső olyan elektroncső, amelynek igen nagy a katód és a rács közötti ellenállása, és igen kicsi a rácsárama, ami a csövet igen kis töltések észlelésére teszi alkalmassá.)

Intenzívebb sugárzások vizsgálatához olyan ionizációs kamrát használnak, amelyekben a pozitív ionok elenyészően kis töltést indukálnak a gyűjtőelektródán. Az indukált töltést azáltal csökkentik, hogy a kamrába rácsot helyeznek, amely az ionizációs teret elválasztja a gyűjtőelektródtól. (7. ábra.)

Az ilyen kamrákban az áramforrás negatív sarkával összekötött  $B$  elektród felé haladó pozitív ionok a rács elektrosztatikus árnyékolóhatása folytán nem indukálnak töltést a gyűjtőelektródon. A gyűjtőelektród áramkörében csak akkor folyik áram, amikor a rácson áthalad az ionizáló részecske által az ionizációs térben keltett első elektron.

Ha az ionizációs kamrát proporcionális számlálóként használjuk, a feszültséglökés arányos marad a beérkező részecske által keltett ionok számával.

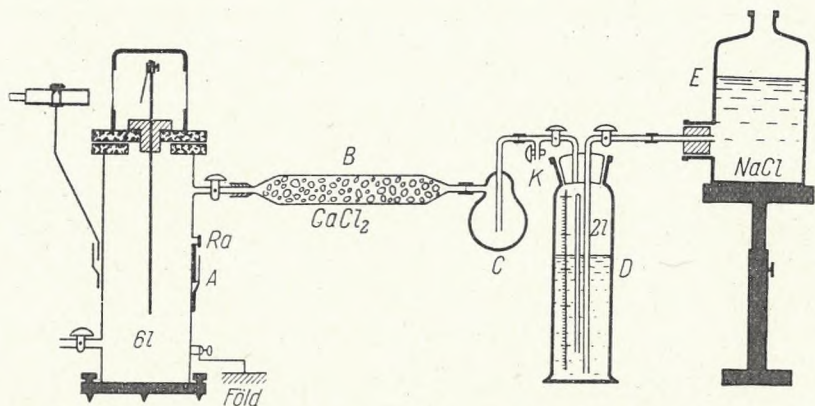


7. ábra. Boncs – Brujevics nyomán

Az ionizációs kamrát elektrométerrel vagy elektrométercsővel kapcsolva az összionizáció mérésére, elektroncsöves erősítéssel pedig individuális részecskék ( $\alpha$ -részecskék és gyors neutronok hatására létrejövő protonvissalökések) számlálására használhatjuk.

*Emanométerek.* Forrásgázok és forrásvizek emanációtartalmának meghatározására emanométert használunk.

A víz- vagy a gázmintát kétliteres üvegedénybe fogjuk fel. Az edényt hőmérővel is ellátjuk. Az edénybe gumidugón át két csappal ellátott üveg-



8. ábra. Szabó nyomán

csövet helyezünk, amelyek közül az egyik éppen hogy átszeli a dugót, míg a másik cső leér az edény aljáig. Ezután az edényből légszivattyúval kiszivattyúzzuk a levegőt (gázmintavételnél az edényt vízzel töltjük meg, a behatoló gáz ugyanis az edényből kihajtja a vizet) s az egyik csapot megfelelő hosszúságú üvegcsővel kötjük össze, amelynek nyitott végét jóval a forrásvíz szintje alá merítjük. Majd kinyitjuk a csapot és kb. másfél liter vízmintát veszünk és a nyomás kiegyenlítéséig a hosszabbik csövön keresztül levegőt bocsátunk az edénybe. Az újra lezárt edény tartalmát jól összerázzuk. A vízben oldott Rn az összerázás után a víz hőmérsékletének megfelelő eloszlási hányados arányában eloszlik az edényben levő forrásvíz és a föllette levő levegő között. Ezután összeszereljük a készüléket az ábrán C-vel jelzett biztonsági edénykével és ezen keresztül a B szűrőcsővel, amely  $\text{CaCl}_2$ -t tartalmaz és amely össze van kötve az előzetesen evakuált ionizációs edénnyel. Most megnyitjuk a csapot és az E edényből konyhasó-oldatot bocsátunk az üveghengerbe, majd a nyomás kiegyenlítésére a K csapon levegőt engedünk a készülékbe. A konyhasóoldatban a Rn nehezebben oldódik, mint a vízben. A mérést az ionizációs kamrában, ismert rádiumtartalmú standard oldat létesítette ionáram, ill. a megfelelő esési idő ( $T_2$ ) reciprokjának, a vizsgált anyag által létrehozott ionáram, ill. a megfelelő esési idő ( $T_1$ ) reciprokjával történő összehasonlítás útján végezzük.

Minden mérés előtt meg kell határozni a háttérsugárzás okozta esést is ( $K$ ), ami a kozmikus sugárzásból (természetes jelzés) és a közelben levő radioaktív anyagok sugárzásából (tényleges háttér) tevődik össze.

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{K} \text{ és } \frac{1}{T_2} - \frac{1}{K}.$$

A mérést az emanációtartalmú levegőnek a bebecsátásától számított 3 óra múlva olvassuk le, amikor már az aktív RaA, RaB és RaC lerakódások egyensúlyba kerülnek a Rn-nal és így az ionizáció gyors növekedése véget ér.

$$\frac{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{K}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{K}} = \frac{It}{q},$$

ahol  $q$  a rádium törzsoldat Rn értéke millimikrocurie-ben kifejezve.

A mintavételtől a Rn-nak a készülékbe való bebecsátásáig eltelt időt ismerve, a radioaktív bomlástörvény segítségével, az időközben elbomlott Rn-t is figyelembe kell venni.

$$It = I_0 e^{-\lambda t},$$

ahol  $I_0$  a mintavétel pillanatában jelenlevő Rn mennyiség;  $\lambda$  a Rn bomlási állandója. Ez  $2,077 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$ .

Ha a vízminta térfogatát  $V$ -vel jelöljük, az egy liter ásványvízre vonatkoztatott Rn mennyiséget a következő összefüggés fejezi ki:

$$I_0 = \frac{q \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{K} \right)}{V \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{K} \right) \cdot e^{-\lambda t}} \cdot \text{m}\mu\text{c}.$$

Ehhez az értékhez hozzá kell adni a víz hőmérsékletének megfelelő eloszlási hányados ( $\alpha$ ) által meghatározott és a vízben maradt Rn-mennyiséget ( $I_v$ ):

$$\frac{I_v}{I_0} = \frac{V}{L} \cdot \alpha.$$

ahol  $L$  az  $I_0$  Rn mennyiséget tartalmazó és az ionizációs térbe bevitt levegőmennyiség. A fenti összefüggésből:

$$I_v = I_0 \cdot \frac{V}{L} \cdot \alpha.$$

A vízminta összes Rn-tartalmát ( $I$ ), a következő képlet adja:

$$I = \frac{q \cdot T_2 (L + V \cdot \alpha) \cdot (K - T_1)}{V \cdot L \cdot T_1 e^{-\lambda t} (K - T_2)}.$$

Mint hogy a forrágázók vizsgálatánál az ionizációs térbe került Rn-tartalom összerázás után az edényben maradt víz s a felette levő gáz között oszlik meg, a fenti eljárás itt is alkalmazható.

Újabb elrendezést szilárd, folyékony és gázhalmazállapotú minta radontartalmának meghatározására *Faul* ismertet.

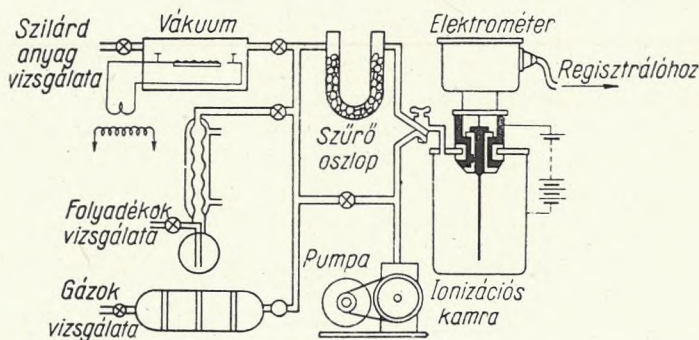
Szilárd minta vizsgálatánál a mintát 30 napig zárt edényben tartják, hogy bomlási termékeivel egyensúlyba kerüljön. Ezután a radont izzítással vákuumban felszabadítják és nitrogén segítségével az ionizációs kamrára átáramoltatják.

Forrásvizek vizsgálatánál a vízmintát tartályban forralják és a radont ugyancsak nitrogén segítségével kihajtják. A radont 99,99%-ban ki lehet űzni a vízmintából.

Forrágázókat és egyéb gáznemű anyagokat közvetlen átáramoltással lehet vizsgálni.

A műszer kalibrálását ismert mennyiségű rádiummal vagy rádium-oldattal végzik. A felszabadult radon a nitrogénnel együtt mindhárom esetben átmegy egy szűrőoszlopon, amely az oxigént, a vízgőzt és az egyéb korróziót okozó gázokat kiszűri.

Az ionizációs kamrát rozsdamentes acélból készítik, kb. 4 liter űrtartalommal. A belső sárgaréz alkatrészeket vastagon nikkelezik. A műszer többi alkatrésze üvegből készül. Az elrendezést az alábbi ábra szemlélteti.



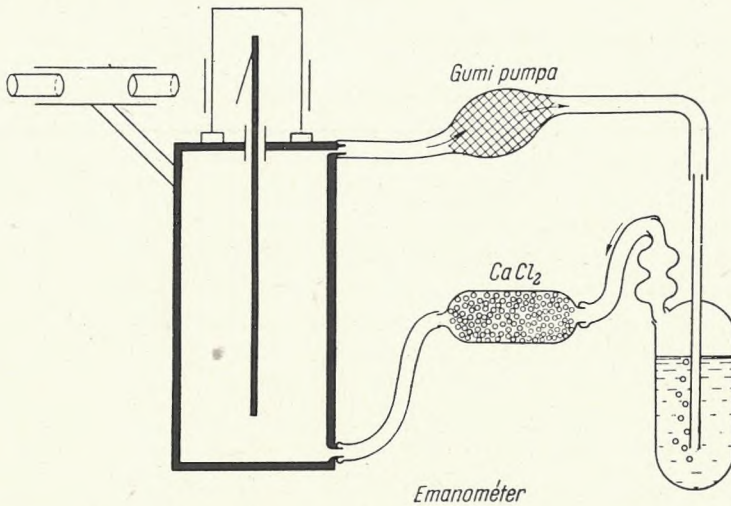
9. ábra

Az ásványokban és kőzetekben levő urán és tórium arányának meghatározására *Szalay* az alábbi elrendezést használta.

Az ionizációs edény alsó és felső részén egy-egy elzárható csap van, amelyeken keresztül hajtjuk a megszáritott levegőt emanációtartalmával együtt és megmérjük az emanáció bomlásából származó  $\alpha$ -részecekkék intenzitását.

Az U/Th arány meghatározásához az ásvány, ill. kőzet finom porát platinatégelyben alkáli-karbonáttal feltárjuk. Az olvadékot kihűlés után hígított HCl-ben feloldjuk. A tiszta sósavas szűrletet, amely a radont és thoront tartalmazza, felhígítjuk és mosópalackba töltjük, majd a mosó-

palackot leforrasztjuk. A rádiumemanáció (Rn) néhány hét alatt a bent levő rádiummal és uránnal radioaktív egyensúlyba jön. Ezután a mosópalack leforrasztott végeit a ráhúzott gumicső alatt óvatosan letörjük és a Rn-t tiszta légárammal az ionizációs kamrába pumpáljuk, ahol mennyiségileg meghatározzuk. A Rn mennyiségéből következtetni lehet az U mennyiségére.



10. ábra

A tórium meghatározása hasonló módon történik.

A Rn (radon) és a Th (thoron) igen eltérő felezési ideje lehetővé teszi szétválasztásukat. Ha a mosópalackban levő oldatot levegő átbuborékolatásával alaposan átszellőztetjük, akkor a Rn eltávozik és miután felezési ideje 3,6 nap, csak lassan képződik újra. Ha most állandó légáramot buborékolatunk át a mosópalackon és azt szárítás után folyamatosan az ionizációs kamrán át keringeltetjük, akkor a Th, miután felezési ideje csak 55 sec, rögtön újra keletkezik és áramlási egyensúlyban, az ionizációs kamrában ionizációt hoz létre.

Az emanométer hitelesítését Th-ra, tórium törzsoldaton, levegőnek hasonló sebességgel való átbuborékolatásával, Ra-ra pedig rádium törzsoldat egyensúlyi emanációmennyiségének meghatározásával végezzük.

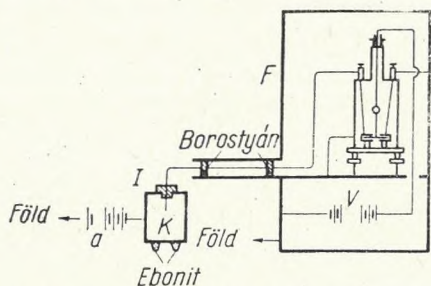
### Elektrométerek

**K v a d r á n s e l e k t r o m é t e r.** A kvadránselektrométer négy egymástól elszigetelt kvadránsból álló alacsony fémdoboz, amelynek belsejében vékony drótra felfüggesztett tű foglal helyet. A két-két szembenfekvő kvadráns egymással össze van kötve. A kvadránsok és a tű egymástól és az eszközt körülvevő földelt fémháztól borostyánnal vannak elszigetelve. Nyugalmi állapotban a kvadránsok és a tű földelve vannak. Ha közöttük feszültségkülönbséget hozunk létre, akkor a fellépő elektrosztatikus vonzó-,

ill. taszítóerők folytán a tű elfordul és a felfüggesztő szál torziós erejének és a kimozdulást létrehozó elektrosztatikus erő egyensúlyának megfelelő új helyzetbe áll be.

A kvadránselektrométerrel a következőképpen mérünk. Az elektrométer tűjére 100 V állandó feszültséget adunk. Az egyik kvadránspárt földeljük, a másikat pedig összekötjük az ionizációs kamrába borostyánon át benyúló fémrúddal. Ha az ionizációs kamra fémfalát egyik végén földelt nagyfeszültségű áramforrással kötjük össze, a radioaktív anyag által kibocsátott sugárzás ionizáló hatására az ionizációs kamra rúdja és az

ezzel összekapcsolt egyik kvadráns pár is fokozatosan feltöltődik. A feltöltődés sebessége arányos az ionáram erősségével. A kvadráns pár feszültségnövekedését rendszerint volttan adjuk meg, az ionizációs kamra és az elektrométer együttes kapacitását pedig cm-ben. A feszültségváltozás arányos a tű elfordulási szögével. Az elfordulás szögét a szárra erősített tükröcske segítségével olvassuk le a megvilágított skáláról. Elektrosztatikus zavarok elkerülése céljából az elektrométert és a hozzávezető



11. ábra. Ionizációs áram mérése kvadránselektrométerrel

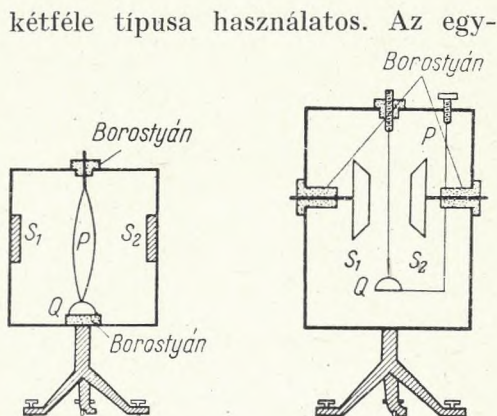
huzalokat ajánlatos földelt fémszekrénybe helyezni.

### Egy- és kétszálás elektrométer

A Wulff-féle elektrométernek kétféle típusa használatos. Az egy- és a kétszálás elektrométer.

A Laboratóriumi Felszerelések Gyára által forgalomba hozott Pohl-féle elektrométer lényegében megegyezik a Wulff-félevel. A készülék 10 mV-tól 1000 V-ig elektrosztatikus feszültségkülönbségek mérésére alkalmas. De ionizációs áram is mérhető vele. Az elektrométer vastag öntött alumíniumházban foglal helyet. A 6 mikron vastag wollaston szál felső végével a bevezetőhöz, alsó végével egy kvarchurokhoz van forrasztva. Utóbbi egy feszítőcsavarral feszíthető vagy lazítható. A bevezető és a wollaston szál borostyánnal van a háztól elszigetelve.

A kitérítő fémfóák állítócsavar segítségével közelíthetők a szárhoz vagy távolíthatók el tőle. A fémfóák két meghomos védőellenálláson keresztül



12. ábra. Wulff-féle egyszálás elektrométer

$S_1, S_2$  fémfóák;  $B$  kvarszál;  $Q$  kvarchurok

13. ábra. Wulff-féle kétszálás elektrométer

$S_1, S_2$  fémfóák;  $B$  kvarszál;  $Q$  kvarchurok;  $P$  feszítőrugó

kapcsolhatók be. A fémfók között kifeszített wollaston szál az egyik fémfóához közelebb van, mint a másikhoz. Töltésnél a közelebb levő fémfelület erősebben vonzza a szálát, mint a másik, aminek következtében a szál kitér. Radioaktív anyag mérésénél az egyik pófára + 50 V feszültséget adunk, a másik pófát leföldeljük és a radioaktív anyaggal a szálhoz közeledünk.

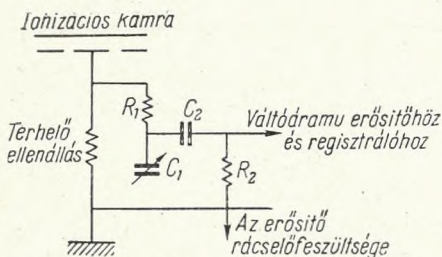
Az érzékenység függ a fémfók egymástól való távolságától, valamint a szál feszítésétől. A kitérés a feszültséggel csaknem arányos. Az elmozdulást távcsöves mérőokulár segítségével olvashatjuk le.

A kétszálás elektrométernél két wollaston szál van a kvarchurokhoz, ill. a bevezetőhöz rögzítve. Ha a wollaston szálak töltést kapnak, kölcsönösen taszítják egymást. Feltöltésnél vagy kisülésnél a kvarszálak középső részei gyakorlatilag önmagukkal párhuzamosan mozdulnak el és így módon az elmozdulások távcsöves okulár segítségével leolvashatók.

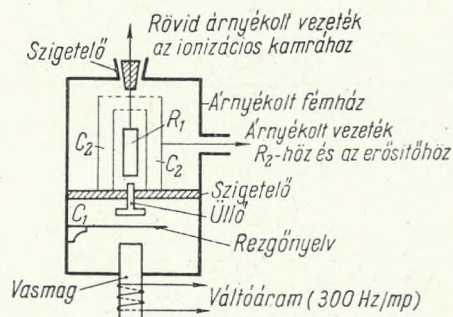
### Rezgőnyelves elektrométer

Egyenáramot igen nehéz erősíteni, váltóáramot viszont könnyű, ezért az egyenáramú feszültséget át kell alakítani váltóáramú feszültségre. Ez rezgőnyelv segítségével történik.

A rezgőnyelves elektrométert széles területen alkalmazzák, mivel rendkívül nagy érzékenysége mellett masszív és működésében megbízható műszer.



14. ábra. Rezgőnyelves elektrométer kapcsolási elve



15. ábra. Rezgőnyelves elektrométer szerkezeti felépítése

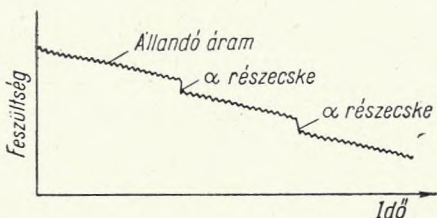
Az elektrométerben a mérendő feszültség kis légszigetelésű kondenzátor elektródján hoz létre töltést. A földelt elektródot egy fémmyelv alkotja, amelynek rezgéseit olyan elektromágnes hozza létre, amelynek vasmagja a sárgarézfoglalaton keresztül a nyelv ellenkező oldalán levő üllőhöz ( $C_1$ ) nyúlik ki. A nyelv kb. 300 Hz/sec. frekvenciával rezeg és így a  $C$  kapacitás periodikus váltakozását idézi elő. Ha a kondenzátor töltése állandó marad, a kondenzátor feszültsége ugyanolyan periódus szerint változik. A váltakozófeszültség amplitudója a kondenzátor töltésével arányos, ami viszont a mérendő eredeti feszültséggel arányos. Az erősítőt a 15. ábrán látható két koncentrikus henger közötti  $C_2$  kapacitással kapcsoljuk rá az üllőre. A belső henger magában foglalja és egyben árnyékolja az  $R_1$  ellenállást.

Az elektrométer kapcsolási elvét a 14., szerkezeti felépítését a 15. és egy jellegzetes regisztrálási görbét a 16. ábra szemlélteti.

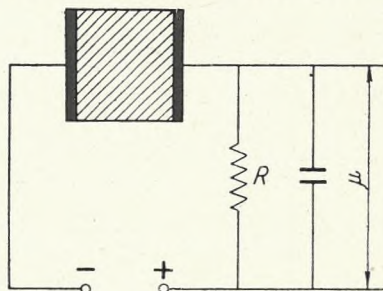
**Kristályszámláló.** A kristályszámláló elve azon alapszik, hogy bizonyos kristályok (mint pl. a gyémánt, az ezüstklorid) vezetőképessége megváltozik, ha ezeken a kristályokon részecskék haladnak át.

A kristályszámláló elrendezése a következő:

A kristályt két elektród közé helyezük és az elektródok között feszültségkülönbséget létesítünk. A kristályt úgy kell kiképezni, hogy a vezetési sávba eső elektronoknak elég nagy legyen az úthosszuk, különben a kristály nem ad megfelelő impulzust. Ha most a kristályon részecske



16. ábra. Rezgőnyelves elektrométer regisztrálási görbéje



17. ábra. Kristályszámláló

halad át, a kristályban bizonyos számú elektron a vezetési sávba megy át és így külső tér hatására el tud mozdulni. A részecske áthaladásakor a számláló áramkörében elektromos áram folyik és a körben levő  $R$  ellenálláson feszültségcsökkenés jön létre, amelyet megfelelő mérőberendezés segítségével regisztrálni lehet.

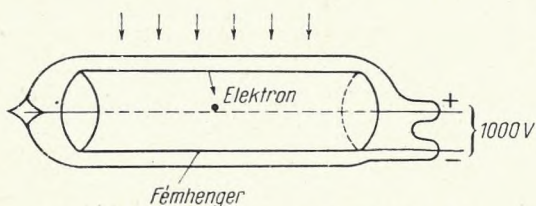
### *Geiger—Müller-számlálósövek és észlelőberendezések*

A Geiger—Müller (G. M.) számlálósövek öse a csúcshámláló. Ez kis sárgarézházból álló eszköz, amelybe pozitív elektródként egy tű nyúlik be. A tű-elektóddal szemben a ház falán kis nyílás van. Ha a fémháza és a tű-elektódra nagyfeszültséget adunk, az  $\alpha$ -részecske által létrehozott ionokat a tű-elektrodra összegyűjti és lőkésionizációt hoz létre a külső áramkörben, amit megfelelő mechanizmussal észlelni és regisztrálni lehet.

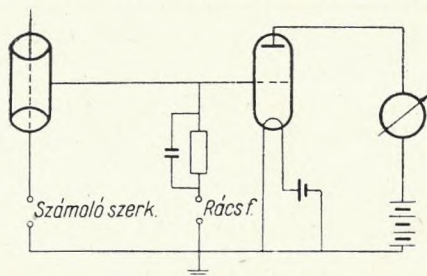
A G. M. számlálóső általában fém- vagy grafit-hengerből áll, amelynek hossz tengelyén vékony fémcsál fut keresztül. A fémhenger (katód) és a fémcsál (anód) vékonyfalú üvegcsőbe vannak forrasztva.

Ha a csőre  $R$  ellenálláson keresztül nagyfeszültséget adunk, úgyhogy a fémcsál pozitív, a fémhenger pedig negatív töltést kapjon, a cső terében levő gázmolekulákat a beérkező radióaktív részecske ionizálja. Ionpárok keletkeznek, amelyek elektronokból és pozitív töltésű ionokból állnak. Az alkalmazott elektromos tér hatására az elektronok folyton gyorsuló mozgással, a csál felé haladva ütközés révén újabb gázzrészeket ionizálnak, ezek ismét újabbakat, miáltal az elektronok száma lavinaszerűen meg-

sokszorozódik. Az ionlavina a csőben relative nagy ionáramot idéz elő és pillanatnyi gázkisüléshez vezet, amely végigfut a fémszál egész hosszán. A pozitív ionok nagyobb tömegüknél fogva kisebb sebességgel mozognak, mint az elektronok és a szál környezetében pozitív tértöltést hoznak létre, amely lecsökkenti a térerősséget a két elektron között és a kisülés megszakad. Ezután a számlálóső újabb részecske észlelésére alkalmas állapotba kerülne. A tapasztalatok szerint ez azonban csak akkor következik be, ha alkoholgőzt keverünk a cső töltőgázához, vagy igen nagy ellenállást alkalmazunk a számlálóső áramkörében, egyébként a kisülés nem alszik ki, hanem folyamatos ívkisülésbe megy át. Aszerint, hogy alkoholgőzt vagy



18. ábra. Geiger—Müller számlálóső



19. ábra. Geiger—Müller számlálóső kapcsolása

ellenállást alkalmazunk, megkülönböztetünk önkioltó és nem önkioltó csöveket. A kioltást még elektronikusan is meg lehet oldani. Az elektronikus kioltás lényege, hogy a lökés hatására az elektroncső rövidre zárja a feszültségforrást, miáltal az ionizációs áram megszakad.

Ha a G. M. csővel terepen végeznek méréseket, a szükséges nagyfeszültséget száraz telepekből veszik. A hordozható készülékeket ezért kifestőasztású elektroncsövekből kell megépíteni. Mivel a kifestőasztású elektroncsövek erősítése kisebb, az erősítést műkapcsolásokkal kell növelni. Ezt multivibrátor (billenőkör) segítségével érik el. A hengeres számlálósövek előnye, hogy a cső egész hosszában érzékeny a radioaktív sugárzásra.

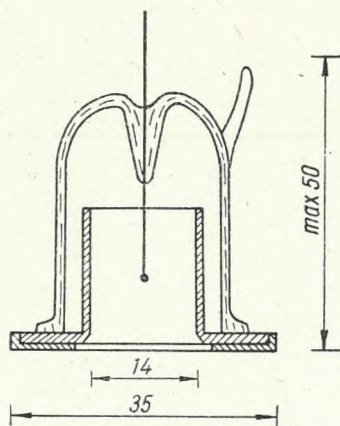
Az önkioltó számlálóső holt ideje attól függ, hogy mennyi idő alatt tűnik el a pozitív ionok által okozott és a számlálóső elektromos terét eltörzítő tértöltés.

Nagyaktivitású anyagok mérése esetén a holtidő következtében néhány ionizáló részecske észlelése kimarad. A kimaradt részecskék száma a készítmény intenzitásának mértékében nő. Közel azonos, de nem túlnagy aktivitású preparátumok külön-külön, majd együttesen való méréséből a holtidőt ki lehet számítani, ami kb.  $10^{-4}$  sec nagyságrendű. Általában mintegy 10 000 lökésaktivitás esetén 2—3% korrekcióra van szükség.

A G. M. számlálóső az ún. Geiger—Müller feszültség tartományban egyenletes nagyságú lökéseket ad, noha magát a lökést különböző ionizáló képességű részecske váltotta ki. Ha a gázerősítés kisebb és a feszültség-lökés arányos az ionizáló részecske energiájával, ill. a létrehozott ionok

számával, a G. M. számlálócsöveket, mint proporcionális számlálókát is használhatjuk. A proporcionális feszültségtartományban a feszültségek változtatásával külön-külön meg lehet számolni az egyforma energiájú és ionizáló képességű  $\alpha$ -részecskéket, míg a  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugarak teljesen kiszűrhetők.

A számlálócsövek a mérés céljának megfelelően többféle kivitelben készülnek. A G. M. csövek érzékenységét a katódfelület növelésével lehet fokozni. A nagyméretű G. M. csövek helyett készítenek kisebbméretű többkatódos számlálócsöveket. Vannak ún. harangtípusú végablakos számlálócsövek, amellyekkel a kisenergiájú  $\beta$ -részecskék, sőt az  $\alpha$ -részecskék is megszámlálhatók. Ezeken a csöveken a csillámablak tömege 1—5 mg cm<sup>2</sup>-enként. A vastagság aszerint változik, hogy milyen energiájú részecskék észlelésére használják. A csillámot alacsony hőfokon olvadó üveggel forrasztják a fémhez. A vékonyfalú üvegcsöveket folyadékba is be lehet mártani. Az üvegfal tömege 20—30 mg cm<sup>2</sup>-enként és a fémhengert vékony ezüst- vagy grafitvezetőréteg helyettesítheti.  $\gamma$ -sugarak számlálására vastagfalú fémcsövet használnak katódként, amelyet még nagy atomsúlyú anyaggal, bizmutteral vagy arannyal vonnak be. Ez a  $\gamma$ -érzékenységet



20. ábra. Végablakos számlálócső

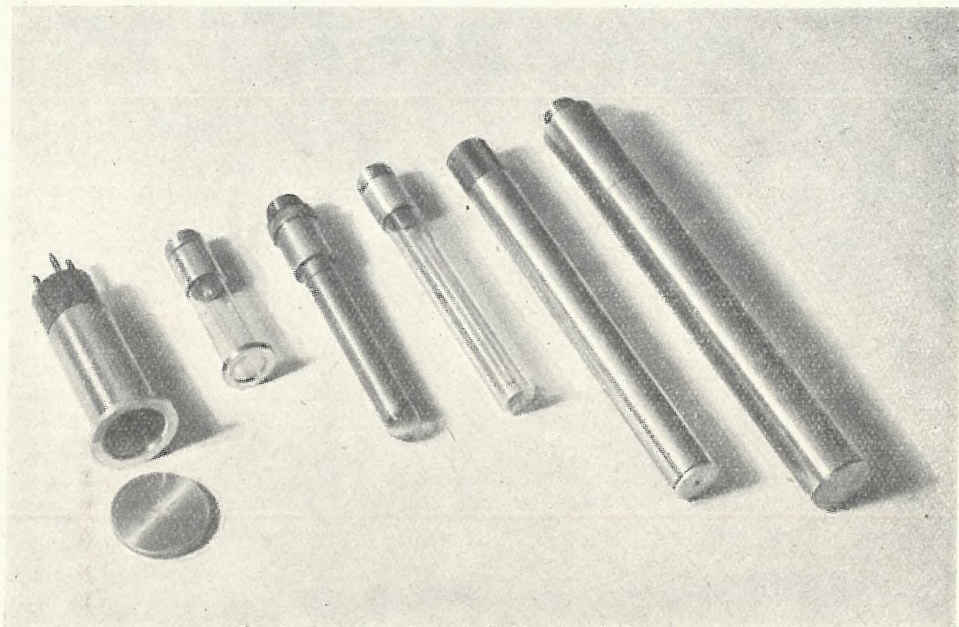
jelentős mértékben megnöveli. Ha a sugárzás rendkívül lágy, az aktív réteget a számlálócső belsejébe viszik. Ebben az esetben a katód egy rács az aktív réteg és az anód között, vagy egy igen vékony hártya ugyancsak az aktív réteg és az anód között olyképpen, hogy a hártyan kívül a belső gázeval egyenlő légnyomást tartanak fenn, vagy pedig a katódon egy nyílás van, amelyen keresztül a sugarak behatolnak a számlálócsőbe. Azután az egész csövet gázkeverékkel töltik meg. Ezeket a lágysugár-számlálócsöveket minden kísérlet után újra kell tölteni. A C-14 vizsgálatánál az aktív anyagot gáz alakjában viszik a számlálócsőbe, ill. hozzáadják a cső töltőgázához.

A hazai gyártmányú G. M.-csövek követelményei a következők:

indulási feszültség .....	max 1100 V
plató hossza .....	min 250 V
plató meredeksége .....	max 7%/100 V
nulla effektus .....	max 40/min.
holt idő .....	max 150 $\mu$ sec
szigetelési ellenállás .....	min 10 <sup>11</sup> ohm
élettartam .....	min 7 · 10 <sup>7</sup> beütés

A beütések észlelése elektronikus úton történik. Mechanikus számláló-szerkezettel percenként mindössze 500—1000 beütést lehet megszámlálni. Ha ennél nagyobb lökesszámmal dolgozunk — mondjuk percenként 10 000 beütéssel, ami erősebb radioaktív mintáknál vagy készítményeknél gya-

kori —, a mechanikai eszközök felmondják a szolgálatot, mivel tehetetlenségüknél fogva nem tudják követni az egymásután beérkező részecskéket. Ilyenkor tehetetlenség nélküli elektronikus alóosztó készülékeket használunk. Ezek a készülékek a lökések számát alóosztják kettes (biner) vagy tízes (decimális) számrendszerekben. Biner kapcsolások esetében a mechanikus számlálómű kettő megfelelő hatványainál ugrik egyet és így



21. ábra. Különböző típusú G. M. számlálócsövek  $\alpha$ -  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzás mérésére. (Készült a M. Áll. Eötvös Lóránd Geofizikai Intézetben)

a meghatározott idő elmúltával a leolvasott adatokat ennek megfelelően 2, 4, 8, 16, 32, stb.-vel kell megszorozni. Decimális kapcsolások a mechanikus számlálóművet minden 10, 100 vagy 1000 stb. lökések után viszik tovább aszerint, hogy egy, két, három vagy több dekádós leosztót (scaler) alkalmazunk.

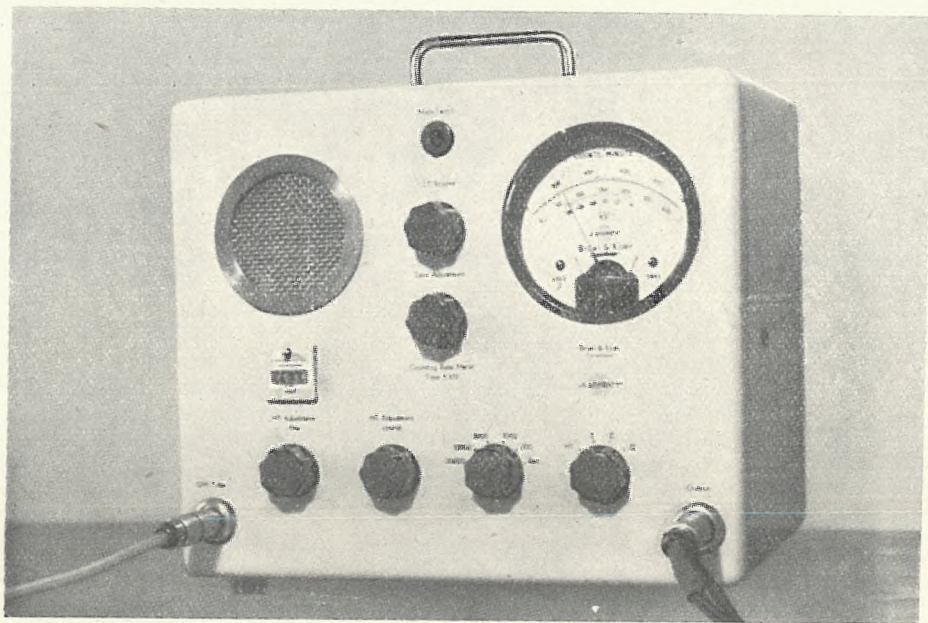
A közbenső számokat az egyes kigyulladt ködfénylámpák helyértékéből azonnal leolvashatjuk. Az aktivitást megkapjuk, ha az így nyert számot elosztjuk a mérési időtartam perceinek számával.

Kétcsatornás készülékeknél egyidőben két Geiger—Müller számlálócsövet működtethetünk, ami különösen összehasonlító méréseknél nagy jelentőségű.

Gyakran használják a közvetlen leolvasású, ún. rate-mérőket vagy szintjelző készülékeket, amelyeknek a skálája imp/min egységekre van osztva.

Az itt ábrázolt készülékben egy elektronikusan stabilizált fűtőcső van, amelynek segítségével a nagyfeszültség 600—2000 V között folyamatosan állítható. A beállítás egy durva és egy finom beállítócsavar segítségével történik.

A készülékben van egy előerősítő és egy impulzusformáló fokozat, valamint egy utóerősítő a hangszóróhoz és a mechanikus számlálóhoz.



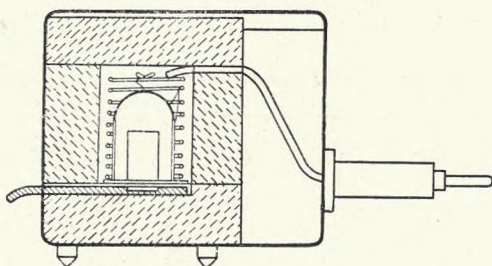
22. ábra. Rate-mérő

Az integrációs erősítő egyenirányítja az előerősítőből jövő pulzusokat. Miután ezek konstans amplitudóval és szélességgel rendelkeznek, az egyenirányított átlagos középérték közvetlenül arányos a percenkénti pulzusok számával. Ezt az egyenirányított feszültséget egy kiegyenlített egyenáramú erősítőbe táplálják be, amelyhez a mérő van kötve. Az egyenáramú erősítő csavarral szabályozható. A készüléknél a mérési területszabályozó a következő lehetőségeket biztosítja: 30 000—10 000—3000—1000 és 300 részecskeszámlálás/perc.

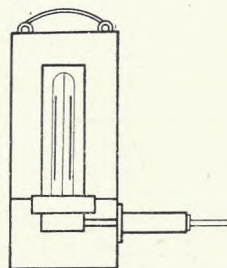
A kiegyenlítő kondenzátor az egyik állásban 2  $\mu\text{F}$ -nak, a másik állásban 10  $\mu\text{F}$ -nak választható. Ez a 0—300 időkonstansnak megfelelően 30 és 150 sec. Az időkonstansok más mérési területeken az érzékenységtől függően csökkennek. Így pl. a 0—3000-es területen 300—1500 milliszekundumnak felel meg.

A számlálóberendezés tehetetlensége következtében csak kis aktivitások regisztrálására alkalmazható. A számlálón mutatkozó számjegyet a törlogombbal töröljük.

A kozmikus, ill. háttérsugárzás kiszűrésére a méréseket ólomtoronyban szokták végezni. Az alábbi két ábra közül a baloldali (23) egy végablakos cső, a jobboldali (24) pedig egy hengeres számlálócső ólomtoronyban való elhelyezésének módját ábrázolja. A geológiai mérések céljára szolgáló hordozható teleses G. M. csöves készülékek ismertetését lásd a IX. fejezetben.



23. ábra



24. ábra

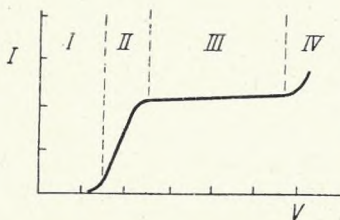
### A Geiger—Müller-számlálócső platójának meghatározása

A plató alatt a G. M. számlálócső működési feszültségének azt a tartományát értjük, ahol a feszültség ingadozásától a részecskék ingadozása kevésbé függ. Egy jó G. M. csőnél ez a tartomány 250—300 V.

A méréseket egy standard sugárforrással végezzük, amelyet a számlálócsőtől olyan távolságra helyezünk el, hogy az induló nagyfeszültségnél a beérkező részecskék száma ne legyen több a háttérsugárzás háromszorosánál. (Háttérsugárzás alatt a kozmikus sugárzás és a falak, épületek stb. természetes radioaktív anyagának sugárzását értjük.)

Az induló feszültséget küszöbfeszültségnek is szokták nevezni, de ezt a terminust célszerűbb fenntartani arra az időre, amikor a feszültség eléri az igazi G. M. számlálási feszültségtartomány kezdetét. Ekkor ugyanis a számlálócső már egyenletes nagyságú lökéseket továbbít a számláló-szerkezethez.

Az induló nagyfeszültséget néhány percig kell a számlálócsővön



25. ábra. Geiger—Müller számlálócső karakterisztikája

I. ionizációs kamratartomány; II. proporcionális tartomány; III. G. M. tartomány (plató); IV. ivkisülési tartomány

rajtahagyni, hogy a cső és szigetelőrészei elektromosan feltöltődve, állandó értéket vegyenek fel. Ez mind a  $\beta$ -, mind a  $\gamma$ -csövekre érvényes. Ha ez az induló feszültség állandósult, akkor biztos, hogy a sztatikus töltés elérte az egyensúlyi értéket. A nagyfeszültséget ezután közel egyforma mértékben, 25 volttonként emeljük és feljegyezzük a feszültségemelkedésnek megfelelően regisztrált részecskék számát. A számlálások száma a kívánt statisztikus pontosságtól függ. 1% eltérésre 10 000 részecskeszámlálást szoktak minden feszültségváltozásnál feljegyezni.

Amint a számlálócső begerjed, a nagyfeszültséget azonnal le kell venni a csőről. A legtöbb számlálócső tönkremegy, ha nagyobb feszültséget kap a plató feszültségénél. A nagyobb feszültség ugyanis hirtelen elpusztítja a kioltásra használt organikus gőzmolekulákat.

A számlálócső használhatósága a plató hosszától és meredekségétől függ.

### *Mérés és hibaszámítás*

Radioaktív anyag vizsgálatánál a mintából meghatározott térfogatú darabot veszünk. Meghatározzuk ennek az aktivitását és térfogatsúlyát. Ebből megkapjuk a fajlagos aktivitást, amelyből az összaktivitás meghatározható bármilyen méretű minta esetében.

A természetes radioaktív anyagok vizsgálatánál a  $\beta$ -sugárzásmérés viszonylag a legegyszerűbb és a legmegbízhatóbb. Ezért terjedt el legjobban a gyakorlatban. Mivel a  $\beta$ -impulzusok száma jellemző a vizsgált minta intenzitására, a minta radioaktív anyagtartalmát U, Th vagy Ra ekvivalensben megfelelő összehasonlító standard segítségével kiszámíthatjuk. A sugárzás minőségi meghatározása, amint azt a későbbi fejezetekben látni fogjuk, lényegesen nehezebb feladat.

Az olyan mintákat, amelyekben erősebben emanáló ásványzárványok vannak, előzetes kezelésnek kell alávetnünk. Mivel a radonvesztés megzavarhatja a radioaktív egyensúlyi állapotot, a kidiffundáló gáz mennyiségét a minta impermeábilis vakolásával állapítjuk meg. Ehhez a mintát négy hétre raktározni kell, hogy az egyensúlyi helyzet beálljon. A minta ún. pecsételése több módszert alkalmazhatunk. Ezek közül leginkább használatos a minta meghatározott hőfokon való hevítése, amelynek során a radon legnagyobb része a mintából eltávozik, de bizonyos idő elteltével a radioaktív egyensúly a mintában önmagától helyreáll.

Minden radioaktív jelenség statisztikus jellegű, mivel a részecskék nem egyenletesen és folyamatosan távoznak az atommagból, hanem csak a valószínűsége van meg annak, hogy egy részecske mikor hagyja el az atomot. Ha tehát pontos mérést akarunk végezni, a lehető legnagyobb számú lökést kell mérni. Minél gyengébb az anyag radioaktivitása, annál hosszabbnak kell lenni a mérési időtartamnak. Az észlelt mérések számának középhibája ugyanis egyenlő a szám négyzetgyökével. Ha pl. valamely anyag aktivitása percenként 1000 lökés és a mérés tartama 1 perc, akkor a középhiba  $\sqrt{1000} = 32$ . Ha 10 000 lökést észleltünk, akkor a hiba  $\sqrt{10\ 000} = 100$ .

Ha a háttér intenzitásának ( $I_h$ ) és az aktivitás intenzitásának ( $I_a$ ) hányadosa kisebb, a  $\sigma = \sqrt{N}$ , akkor a  $t$  időt, amely azt mutatja meg, hogy mennyi ideig kell mérnünk, hogy  $\sigma$ -nál kisebb hibát kövessünk el, a következő alakban írhatjuk:

$$t = \frac{1}{\sigma^2 I}$$

A hiba ily módon tetszés szerint előre meghatározható és ebből kiszámítható, hogy hány lökést kell mérni, hogy a kívánt pontosságot elérjük.

Igen fontos szempont, hogy a méréseket azonos geometriai elrendezésben végezzük. A vízszintes irányú eltérések komoly hibákat okozhatnak, mivel valamely preparátum aktivitásának a változása a számlálócsőhöz viszonyított távolság négyzetével fordítva arányos.

Abszolút méréseknél ismerni kell a számlálócső ablaka és a preparátum közötti távolságot és az ablak, valamint a készítmény felületét, hogy kiszámíthassuk, milyen részlege jut a sugárzásnak a számlálóba. De az anyagnak is, amelyre a mérendő preparátumot helyezzük, különösen ugyanazzal az izotóppal végzett sorozatmérésnél, mindig azonosnak kell lennie. Előírás, hogy a mérőasztalnak könnyű anyagból kell készülnie. A preparátumból minden irányban kisugárzott részecskéket ugyanis az alattuk levő anyag részben visszaveri, mégpedig annál inkább, minél vastagabb és minél nagyobb rendszámú elemet tartalmaz a preparátum alatt levő anyag.

Lágy  $\beta$ -sugárzás mérésénél tekintetbe kell venni a részecskék elnyelését a levegőben. Ha igen vékony preparátumokat mérünk, a teljes aktivitás arányos a mért értékkel. Ha a preparátum mennyiségét állandóan növeljük, az aktivitás állandóan csökkenő mértékben nő, míg csak el nem érjük a telítési aktivitást. További mennyiségi növelés az aktivitást nem fokozza. Ebben az esetben a mért aktivitás többé nem a teljes aktivitásnak, hanem az önabszorpció folytán, csupán a legfelső réteg aktivitásának mértéke. A mért aktivitás ekkor lesz arányos a preparátum fajlagos aktivitásával, vagyis a milligrammonkénti aktivitással. De számításba kell venni még a számlálócső határfokának különbözőségét az egyes sugár-fajtákra nézve.

A számlálócső  $\beta$ -sugárzásnál a hatásos felületére eső sugárzásnak úgyszólván 100%-át méri.

$\gamma$ -sugárzásnál a G. M.-cső határfoka 1%, vagy még ennél is kisebb. A  $\gamma$ -határfokot ajánlatos minden számlálócsőre kísérletileg meghatározni a további mérések céljára.

Ahhoz, hogy a radioaktív anyag vagy preparátum mérésénél a lehető legnagyobb pontosságot tudjuk elérni, elsősorban is előre meghatározott számú lökést kell észlelni. Ebből kiszámíthatjuk a percenkénti lökések számát. Ezután megállapítjuk a nyert szám statisztikus hibáját, majd levonjuk belőle a háttérsugárzás átlagértékét, amit minden anyagmérés előtt és után meg kell mérni.

Végül az abszorpciót is figyelembe véve megkapjuk a tényleges lökések számát és ez arányos a radioaktív anyag mennyiségével.

**Szorótábla 64-es és 32-es alóosztók számértékeinek leolvasásához**  
64-es alóosztás

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	00000	00064	00128	00192	00256	00320	00384	00448	00512	00576
1	00640	00704	00768	00832	00896	00960	01024	01088	01152	01216
2	01280	01344	01408	01472	01536	01600	01664	01728	01792	01856
3	01920	01984	02048	02112	02176	02240	02304	02368	02432	02496
4	02560	02624	02688	02752	02816	02880	02844	03008	03072	03136
5	03200	03264	03328	03392	03456	03520	03584	03648	03712	03776
6	03840	03904	03968	04032	04096	04160	04224	04288	04352	04416
7	04480	04544	04608	04672	04736	04800	04864	04928	04992	05056
8	05120	05184	05248	05312	05376	05440	05504	05568	05632	05696
9	05760	05724	05888	05952	06016	06080	06144	06208	06272	06336
10	06400	06464	06526	06592	06656	06720	06784	06848	06912	06976
11	07040	07104	07168	07232	07296	07360	07424	07488	07552	07616
12	07680	07744	07808	07872	07936	08000	08064	08128	08192	08256
13	08320	08384	08448	08512	08576	08640	08704	08768	08832	08896
14	08960	09024	09088	09152	09216	09280	09344	09408	09472	09536
15	09600	09664	09728	09792	09856	09920	09984	10048	10112	10176
16	10240	10304	10368	10432	10496	10560	10624	10688	10752	10816
17	10880	10944	11008	11072	11136	11200	11264	11328	11392	11456
18	11520	11584	11648	11712	11776	11840	11904	11968	12032	12096
19	12160	12224	12288	12352	12416	12480	12544	12608	12672	12736
20	12800	12864	12928	12992	13056	13120	13184	13248	13312	13376
21	13440	13504	13568	13632	13696	13760	13824	13888	13952	14016
22	14080	14144	14208	14272	14336	14400	14464	14528	14592	14656
23	14720	14784	14848	14912	14976	15040	15104	15168	15232	15296
24	15360	15424	15488	15552	15616	15680	15744	15808	15872	15936
25	16000	16064	16128	16192	16256	16320	16384	16448	16512	16576
26	16640	16704	16768	16832	16896	16960	17024	17088	17152	17216
27	17280	17344	17408	17472	17536	17600	17664	17728	17792	17856
28	17920	17984	18048	18112	18176	18240	18304	18368	18432	18496
29	18560	18624	18688	18752	18816	18880	18944	19008	19072	19136
30	19200	19264	19328	19392	19456	19520	19584	19648	19712	19776
31	19840	19904	19968	20032	20096	20160	20224	20288	20352	20416
32	20480	20544	20608	20672	20736	20800	20864	20928	20992	21056
33	20020	21184	20248	20312	21376	21440	21504	21568	21632	21696
34	21760	21824	21888	21952	22016	22080	22144	22208	22272	22336
35	22400	22464	22528	22592	22656	22720	22784	22848	22912	22976
36	23040	23104	23168	23232	23296	23360	23424	23488	23552	23616
37	23680	23744	23808	23872	23936	24000	24064	24128	24192	24256
38	24320	24384	24448	24512	24576	24640	24704	24768	24832	24896
39	24960	25024	25088	25152	25216	25280	25344	25408	25472	25536
40	25600	25664	25728	25792	25856	25920	25984	26048	26112	26176
41	26240	26304	26368	26432	26496	26560	26624	26688	26752	26816
42	26880	26944	27008	27072	27136	27200	27264	27328	27392	27456
43	27520	27584	27648	27712	27776	27840	27904	27968	28032	28096
44	28160	28224	28288	28352	28416	28480	28544	28608	28672	28736
45	28800	28864	28928	28992	29056	29120	29184	29248	29312	29376

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	29440	29504	29568	29632	29696	29760	29824	29888	29952	30016
47	30080	30144	30208	30272	30336	30400	30464	30528	30592	30656
48	30720	30784	30848	30912	30976	31040	31104	31168	31232	31296
49	31360	31424	31488	31552	31616	31680	31744	31808	31872	31936
50	32000	32064	32128	32192	32256	32320	32384	32448	32512	32576
51	32640	32704	32768	32832	32896	32960	33024	33088	33152	33216
52	33280	33344	33408	33472	33536	33600	33664	33728	33792	33856
53	33920	33984	34048	34112	34176	34240	34304	34368	34432	34496
54	34560	34624	34688	34752	34816	34880	34944	35008	35072	35136
55	35200	35264	35328	35392	35456	35520	35584	35648	35712	35776
56	35840	35904	35968	36032	36096	36160	36224	36288	36352	36416
57	36480	36544	36608	36672	36736	36800	36864	36928	36992	37056
58	37120	37184	37248	37312	37376	37440	37504	37568	37632	37696
59	37760	37824	37888	37952	38016	38080	38144	38208	38272	38336
60	38400	38464	38528	38592	38656	38720	38784	38848	38912	38976
61	39040	39104	39168	39232	39296	39360	39424	39488	39552	39616
62	39680	39744	39808	39872	39936	40000	40064	40128	40192	40256
63	40320	40384	40448	40512	40576	40640	40704	40768	40832	40896
64	40960	41024	41088	41152	41216	41280	41344	41408	41472	41536
65	41600	41664	41728	41792	41856	41920	41984	42048	42112	42176
66	42240	42304	42368	42432	42496	42560	42624	42688	42752	42816
67	42880	42944	43008	43072	43136	43200	43264	43328	43392	43456
68	43520	43584	43648	43712	43776	43840	43904	43968	44032	44096
69	44160	44224	44288	44352	44416	44480	44544	44608	44672	44736
70	44800	44864	44928	44992	45056	45120	45184	45248	45312	45376
71	45440	45504	45568	45632	45696	45760	45824	45888	45952	46016
72	46080	46144	46208	46272	46336	46400	46464	46528	46592	46656
73	46720	46784	46848	46912	46976	47040	47104	47168	47232	47296
74	47360	47424	47488	47552	47616	47680	47744	47808	47872	47936
75	48000	48064	48128	48192	48256	48320	48384	48448	48512	48576
76	48640	48704	48768	48832	48896	48960	49024	49088	49152	49216
77	49280	49344	49408	49472	49536	49600	49664	49728	49792	49856
78	49920	49984	50048	50112	50176	50240	50304	50368	50432	50496
79	50560	50624	50688	50752	50816	50880	50944	51008	51072	51136
80	51200	51264	51328	51392	51456	51520	51584	51648	51712	51776
81	51840	51904	51968	52032	52096	52160	52224	52288	52352	52416
82	52480	52544	52608	52672	52736	52800	52864	52928	52992	53056
83	53120	53184	53248	53312	53376	53440	53504	53568	53632	53696
84	53760	53824	53888	53952	54016	54080	54144	54208	54272	54336
85	54400	54464	54528	54592	54656	54720	54784	54848	54912	54976
86	55040	55104	55168	55232	55296	55360	55424	55488	55552	55616
87	55680	55744	55808	55872	55936	56000	56064	56128	56192	56256
88	56320	56384	56448	56512	56576	56640	56704	56768	56832	56896
89	56960	57024	57088	57152	57216	57280	57344	57408	57472	57536
90	57600	57664	57728	57792	57856	57920	57984	58048	58112	58176
91	58240	58304	58368	58432	58496	58560	58624	58688	58752	58816
92	58880	58944	59008	59072	59136	59200	59264	59328	59392	59456
93	59520	59584	59648	59712	59776	59840	59904	59968	60032	60096
94	60160	60224	60288	60352	60416	60480	60544	60608	60672	60736
95	60800	60864	60928	60992	61056	61120	61184	61248	61312	61376

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
96	61440	61504	61568	61632	61696	61760	61824	61888	61952	62016
97	62080	62144	62208	62272	62336	62400	62464	62528	62592	62656
98	62720	62784	62848	62912	62976	63040	63104	63168	63232	63296
99	63360	63424	63488	63552	63616	63680	63744	63808	63872	63936
100	64000	64064	64128	64192	64256	64320	64384	64448	64512	64576

32-es alosztás

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	00000	00032	00064	00096	00128	00160	00192	00224	00256	00288
1	00320	00352	00384	00416	00448	00480	00512	00544	00576	00608
2	00640	00672	00704	00736	00768	00800	00832	00864	00896	00928
3	00960	00992	01024	01056	01088	01120	01152	01184	01216	01248
4	01280	01312	01344	01376	01408	01440	01472	01504	01536	01568
5	01600	01632	01664	01696	01728	01760	01792	01824	01856	01888
6	01920	01952	01984	02016	02048	02080	02112	02144	02176	02208
7	02240	02272	02304	02336	02368	02400	02432	02464	02496	02528
8	02560	02592	02624	02656	02688	02720	02752	02784	02816	02848
9	02880	02912	02944	02976	03008	03040	03072	03104	03136	03168
10	03200	03232	03264	03296	03328	03360	03392	03424	03456	03488
11	03520	03552	03584	03616	03648	03680	03712	03744	03776	03808
12	03840	03872	03904	03936	03968	04000	04032	04064	04096	04128
13	04160	04192	04224	04256	04288	04320	04352	04384	04416	04448
14	04480	04512	04544	04576	04608	04640	04672	04704	04736	04768
15	04800	04832	04864	04896	04928	04960	04992	05024	05056	05088
16	05120	05152	05184	05216	05248	05280	05312	05344	05376	05408
17	05440	05472	05504	05536	05568	05600	05632	05664	05696	05728
18	05760	05792	05824	05856	05888	05920	05952	05984	06016	06048
19	06080	06112	06144	06176	06208	06240	06272	06304	06336	06368
20	06400	06432	06464	06496	06528	06560	06592	06624	06656	06688
21	06720	06752	06784	06816	06848	06880	06912	06944	06976	07008
22	07040	07072	07104	07136	07168	07200	07232	07264	07296	07328
23	07560	07392	07424	07456	07488	07520	07552	07584	07616	07648
24	07680	07712	07744	07776	07808	07840	07872	07904	07936	07968
25	08000	08032	08064	08096	08128	08160	08192	08224	08256	08288
26	08320	08352	08384	08416	08448	08480	08512	08544	08576	08608
27	08640	08672	08704	08736	08768	08800	08832	08864	08896	08928
28	08960	08992	09024	09056	09088	09120	09152	09184	09216	09248
29	09280	09312	09344	09376	09418	09440	09472	09504	09536	09568
30	09600	09632	09664	09696	09728	09760	09792	09824	09856	09888
31	09920	09952	09984	10016	10048	10080	10112	10144	10176	10208
32	10240	10272	10304	10336	10368	10400	10432	10464	10496	10528
33	10560	10592	10624	10656	10688	10720	10752	10784	10816	10848
34	10880	10912	10944	10976	11008	11040	11072	11104	11136	11168
35	11200	11232	11264	11296	11328	11360	11392	11424	11456	11488
36	11520	11552	11584	11616	11648	11680	11712	11744	11776	11808
37	11840	11872	11904	11936	11968	12000	12032	12064	12096	12128
38	12160	12192	12224	12256	12288	12320	12352	12384	12416	12448
39	12480	12512	12544	12576	12608	12640	12672	12704	12736	12768
40	12800	12832	12864	12896	12928	12960	12992	13024	13056	13088

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	13120	13152	13184	13216	13248	13280	13312	13344	13376	13408
42	13330	13472	13505	13536	13568	13600	13632	13664	13696	13728
43	13760	13792	13824	13856	13888	13920	13952	13984	14016	14048
44	14080	14112	14144	14176	14208	14240	14272	14304	14336	14368
45	14400	14432	14464	14496	14528	14560	14592	14624	14656	14688
46	14720	14752	14784	14816	14848	14880	14912	14944	14976	15008
47	15040	15072	15104	15136	15168	15200	15232	15264	15296	15328
48	15360	15392	15424	15456	15488	15520	15552	15584	15616	15648
49	15680	15712	15744	15776	15808	15840	15872	15904	15936	15968
50	16000	16032	16064	16096	16128	16160	16192	16224	16256	16288
51	16320	16352	16384	16416	16448	16480	16512	16544	16576	16608
52	16640	16672	16704	16736	16768	16800	16832	16864	16896	16928
53	16960	16992	17024	17056	17088	17120	17152	17184	17216	17248
54	17280	17312	17344	17376	17408	17440	17472	17504	17536	17568
55	17600	17632	17664	17696	17728	17760	17792	17824	17856	17888
56	17920	17952	17984	18016	18048	18080	18112	18144	18176	18208
57	18240	18272	18304	18336	18368	18400	18432	18464	18496	18528
58	18560	18592	18624	18656	18688	18720	18752	18784	18816	18848
59	18880	18912	18944	18976	19008	19040	19072	19104	19136	19168
60	19200	19232	19264	19296	19328	19360	19392	19424	19456	19488
61	19520	19552	19584	19616	19648	19680	19712	19744	19776	19808
62	19840	19872	19904	19936	19968	20000	20032	20064	20096	20128
63	20160	20192	20224	20256	20288	20320	20352	20384	20416	20448
64	20480	20512	20544	20576	20608	20640	20672	20704	20736	20768
65	20800	20832	20864	20896	20928	20960	20992	21024	21056	21088
66	21120	21152	21184	21216	21248	21280	21312	21344	21376	21408
67	21440	21472	21504	21536	21568	21600	21632	21664	21696	21728
68	21760	21792	21824	21856	21888	21920	21952	21984	22016	22048
69	22080	22112	22144	22176	22208	22240	22272	22304	22336	22368
70	22400	22432	22464	22496	22528	22560	22592	22624	22656	22688
71	22720	22752	22784	22816	22848	22880	22912	22944	22976	23008
72	23040	23072	23104	23136	23168	23200	23232	23264	23296	23328
73	23360	23392	23424	23456	23488	23520	23552	23584	23616	23648
74	23680	23712	23744	23776	23808	23840	23872	23904	23836	23968
75	24000	24032	24064	24096	24128	24160	24192	24224	24256	24288
76	24320	24352	24384	24416	24448	24480	24512	24544	24576	24608
77	24640	24672	24704	24736	24768	24800	24832	24864	24896	24928
78	24960	24992	25024	25056	25088	25120	25152	25184	25216	25248
79	25280	25312	25344	25376	25408	25440	25472	25504	25536	25568
80	25600	25632	25664	25696	25728	25760	25792	25824	25856	25888
81	25920	25952	25984	26016	26048	26080	26112	26144	26176	26208
82	26240	26272	26304	26336	26368	26400	26432	26464	26496	26528
83	26560	26592	26624	26656	26688	26720	26752	26784	26816	26848
84	26880	26912	26944	26976	27008	27040	27072	27104	27136	27168
85	27200	27232	27264	27296	27328	27360	27392	27424	27456	27488
86	27520	27552	27584	27616	27648	27680	27712	27744	27776	27808
87	27840	27872	27904	27936	27968	28000	28032	28064	28096	28128
88	28160	28192	28224	28256	28288	28320	28352	28384	28416	28448
89	28480	28512	28544	28576	28608	28640	28672	28704	28736	28768
90	28800	28832	28864	28896	28928	28960	28992	29024	29056	29088

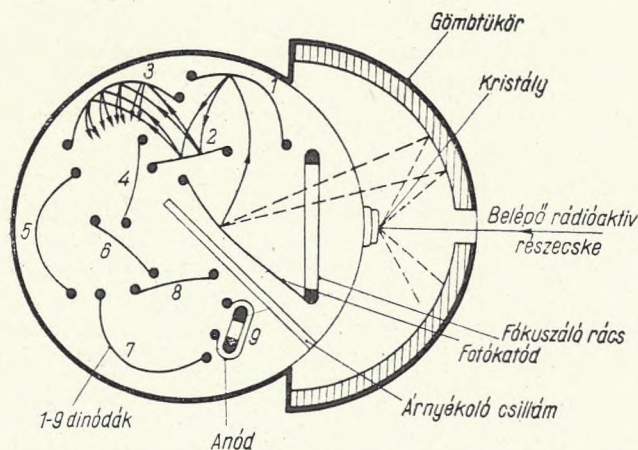
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
91	29120	29152	29184	29216	29248	29280	29312	29344	29376	29408
92	29440	29472	29504	29536	29568	29600	29632	29664	29696	29728
93	29760	29792	29824	29856	29888	29920	29952	29984	30016	30048
94	30080	30112	30144	30176	30208	30240	30272	30304	30336	30368
95	30400	30432	30464	30496	30528	30560	30592	30624	30656	30688
96	30720	30752	30784	30816	30848	30880	30912	30944	30976	31008
97	31040	31072	31104	31136	31168	31200	31232	31264	31296	31328
98	31360	31392	31424	31456	31488	31520	31552	31584	31616	31648
99	31680	31712	31744	31776	31808	31840	31872	31904	31936	31968
100	32000	32032	32064	32096	32128	32160	32192	32224	32256	32288

## 2. Szcintilloszkóp, szcintillációs számláló

Amikor  $\alpha$ -részecskék cinkszulfiddal ütköznek össze, sötétben fényfelvillanások észlelhetők. Ezeket a fényfelvillanásokat nevezik szcintillációnak. Ezen az alapon működik az ún. szcintilloszkóp, amely jobb eszköz hiányában szintén felhasználható intenzívebben sugárzó radioaktív anyagok kimutatására.

Az eszköz egy kb.  $50\times$ -es nagyító tubusból áll, amelynek alján egy cinkszulfid ernyő van. Az  $\alpha$ -részecskék hatására a cinkszulfid ernyőn felvillanások észlelhetők, amelyeknek sűrűségéből a minta radioaktivitásának erősségére következtethetünk. Ez az eszköz azonban a jelenség fény-

szegénysége miatt igen nehézkes. Ezzel szemben lumineszkáló szilárd anyag vagy folyadék elektron sokszorozóval kapcsolatban egyike a radioaktív nyersanyagkutatás legérzékenyebb eszközeinek. Különösen a  $\gamma$ -sugarak kimutatására használják fel mind nagyobb mértékben. A szcintillációs méréseknél elektronsokszorozó csöveket alkalmaznak. Amikor az elektronsokszorozó fényérzékeny katódját fényfelvillanások



26. ábra. Szcintillációs számlálóső (fotomultiplier) elrendezése

érik, a katódból kiszabaduló fotoelektronokat a sokszorozó rész  $10^3 - 10^3$ -szeresére sokszorozza. A cső anódján áramlökés jelzi az egyes felvillanásokat, amelyek erősítő útján regisztrálhatók. Mivel a szcintillációs számlálónál holtidő nincs, a számláló felbontóképessége lényegesen nagyobb, mint a Geiger—Müller csövéké.

Az utóbbi években számos szervetlen és szerves vegyületet, ún. foszforokat találtak, amelyekben radioaktív sugárzás hatására fénykvantumok keletkeznek. Néhány ilyen anyag, a talliummal aktivált NaJ és AgJ, a kalciumwolframát, a céziumfluorid, a lucit, az antracén, a sztlibén, a naftalin és a terfenil.

A szcintillációs számlálóval mindháromfajta sugárzás mérhető. Litiumfluorid aktivált kristályainak alkalmazása esetén a nem ionizáló neutronok számlálására is alkalmas. A hatásfok  $\gamma$ -sugárzásmérésnél 50–100-szorosa a Geiger–Müller csövekének.

### 3. Fluoreszcencia-vizsgálat

A radioaktív elemek közül az uránt ibolyántúli szűrővel kombinált higanygőzlámpával lehet a leggyorsabban meghatározni.

Az urán fluoreszcenz sajátságait először *Stokes* írta le. *Nichels* és *Slattery* azt tapasztalták, hogy a fluoreszcencia bórax vagy nátriumfluoriddal való összevegyítés útján felerősíthető. Ez az eljárás lehetővé tette  $10^{-10}$  g urán vizuális észlelését. *Hernegger* és *Karlik* voltak az elsők, akik ezt a fluoreszcenz sajátságot kvantitatív elemző módszerrel fejlesztették ki. A fluoreszcencia szennyezések általi csökkenését *Papish* és *Heng* írták le. Bármely szennyező ion vagy ionkeverék a fluoreszcenz gyöngyben kb. 10%-kal csökkenti a fluoreszcencia erősségét. Ezt ismert urántartalmú standard-gyönggyel való összehasonlítás útján állapították meg. A fénymérséklő anyagok, amelyek gyakran jelen vannak az érceben a Fe, Cr, Cu, Ca, Co, Ni, Mn és Si.

A fotometrikus mérések szerint a fluoreszcencia erőssége bizonyos határig lineárisan változik az urántartalommal.

Az urán karakterisztikus fluoreszcenciája 3650 Å hullámhosszú ibolyántúli sugárzásnál jelentkezik, de 2537 Å hullámhosszú ibolyántúli sugárzás is alkalmas az urán fluoreszcenciájának kiváltására. A rövidebb hullámhosszú szűrő kisnyomású higanygőzlámpával működtethető, ami csekélyebb áramfogyasztása révén lehetővé teszi a nagyfeszültségű iv száraztelepről történő előállítását és az eszköz hordozható kivitelezését a terephasználat számára. A hordozható készülék bármilyen körülmények között alkalmazható. Ásványkiválások vizsgálhatók vele a bányában, fúrómagok a felszínen. A vizsgálatot sötétben kell végezni. Ez bányában nem okoz különösebb nehézséget. Külszínen a készüléket és a vizsgált mintát ernyőzni kell.

A rövidebb hullámhossz kiszélesíti a fluoreszcencia-vizsgálat felhasználási körét, mivel bizonyos anyagok, amelyek a nagyobb hullámhosszú sugárzásokkal szemben közömbösek, igen élénken fluoreszkálnak a rövidhullámú lámpa alatt.

Nátriumfluorid gyöngypróba segítségével már  $10^{-6}$  g urán jelenléte kimutatható a közetben. Az eljárás abból áll, hogy egy hurokban végződő platinakacson nátriumfluorid vagy bórax és az ismeretlen elem kis mennyiségét bunzen-égő vagy borszeszlámpa lángjában megömlesztjük, gyönggyé

alakítjuk és lehűlés után hosszú hullámhosszú ibolyántúli fényenél megvizsgáljuk. Az urán jellegzetes sárga színben fluoreszkál.

Higanyív helyett kétwattos argon égő vagy közönséges villanólámpa is használható. Utóbbi esetben a vizsgálat érzékenysége csökken, de az iparilag hasznosítható koncentráció még így is kimutatható.

A leggyakoribb uránásványok fluoreszcenz színét az alábbi táblázat tünteti fel:

Ásvány	Fluoreszcenz szín
autunit torbernit schroekingerit uranophan gummit zippeit	ragyogó sárgás-zöld sárgás-zöld ragyogó sárgás-zöld igen gyenge sárgás-zöld ibolya ragyogó sárga

A fluoreszcenz vizsgálatoknál az alábbiakat kell szem előtt tartani:

1. az elsődleges uránásványok (uraninit, szurokérc) nem fluoreszkálnak, hacsak nem olvasztjuk össze nátriumfluoriddal gyönggyé.

2. Az uranyl-gyököt tartalmazó másodlagos uránásványok egy része nagymértékben fluoreszkál.

3. Általában a legjobban oldható uránásványok fluoreszkálnak.

4. A nagyobb fajsúlyú uránásványok közül csak kevés fluoreszkál.

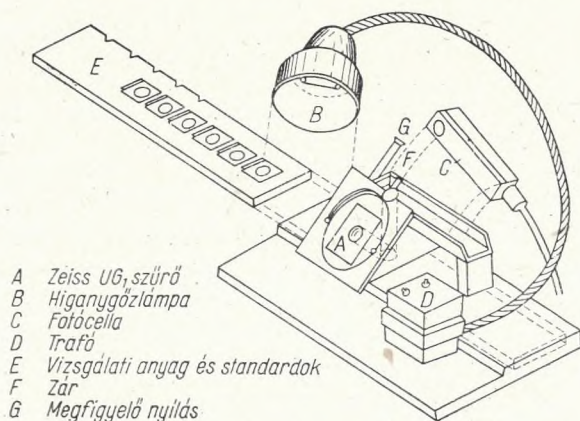
A fluoreszkáló uránásványok legnagyobb részének fajsúlya 3,5 körül van.

5. Az elsődleges uránásványok mállás útján gyakran fluoreszkáló másodlagos uránásványokká alakulnak át.

Érdekes módon az urán vizes oldatai sokkal érzékenyebbek a rövid-

hullámhosszú ibolyántúli fényhatásra, mint a hosszú-úra. Ilyen módon már 0,3 milligramm urán egy-milliósoros hígításban kimutatható, de ha kisebb térfogatú uránkivonatot vizsgálunk, a módszer finomsága nagymértékben megnövekszik.

A fluoreszcenz vizsgálatok segítségével számos uránérclelepet fedeztek fel. Más esetekben a hordozható ibolyántúli lámpa hasznos segédeszköznek bizonyult arra, hogy elsőd-



- A Zeiss UG, szűrő
- B Higanygőzlámpa
- C Focélcella
- D Tráfo
- E Vizsgálati anyag és standardok
- F Zár
- G Megfigyelő nyílás

27. ábra. Laboratóriumi fluorométer

leges ércek nyomára bukkanjanak másodlagos uránásványok fluoreszkálása útján.

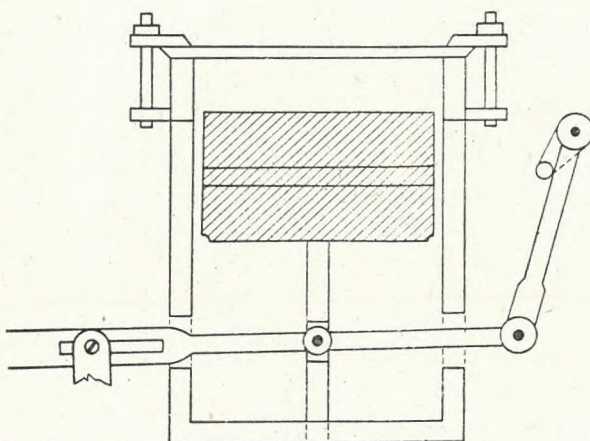
Az ibolyántúli lámpa ma az egyetlen eszköz, amellyel az uránt a kvarcban ki lehet mutatni. A kvarc uránkoncentrációja ugyanis messze alatta van a ma rendelkezésre álló legérzékenyebb fizikai vagy vegyi vizsgálatok határainak.

Az 27. ábra egy laboratóriumi fluorométert mutat be.

A vizsgálatoknál az észlelő szemét sima, szintelen, nem fluoreszkáló üveg védi.

#### 4. Wilson-kamra

A ködkamra egy hengeres zárt térből áll, amelynek alaplapja elmozdítható, miáltal a tér térfogata megváltozik. A teret vízgőzzel telítik oly módon, hogy a hengerfenék lapját feketére festett, nedves zselatinréteggel vonják be és így gondoskodnak arról, hogy a térben mindig elegendő vízgőz legyen jelen. A henger alsó lapját egy mozgódugattyú egészíti ki. Ha most a vízgőzzel telített zárt teret hirtelen eredeti térfogatának  $\frac{1}{3}$ -ával megnövelik, akkor a gáztörvények szerint az expandált térben a gáz lehűl, ami a vízgőz túltelítettségére vezet. A

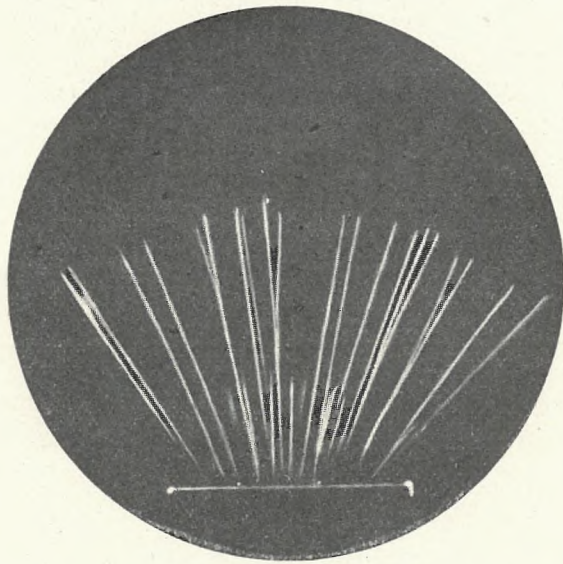


28. ábra. Wilson-kamra elve

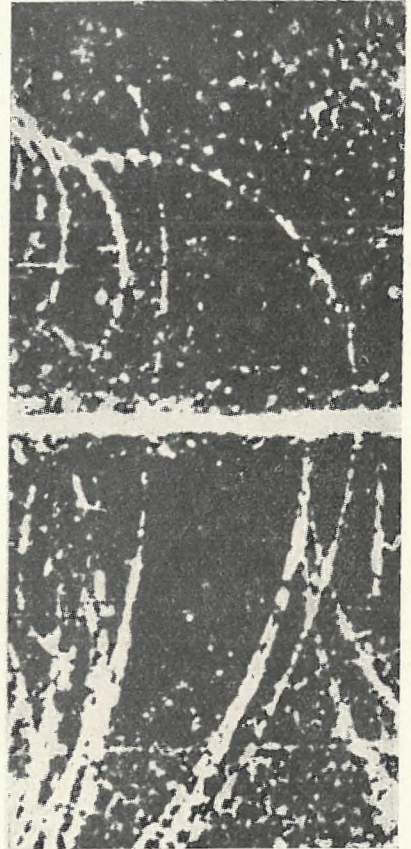
levegő expanziójának gyorsan kell végbemennie — azaz adiabatikusan —, hogy a gáz közben kívülről hőt ne vehessen fel. A ködképződés feltétele, hogy a térben lecsapódásra alkalmas kondenzációs mag legyen jelen. A jelenség hasonló ahhoz, amikor a repülőgép nagy magasságban repül és ködcsíkot húz maga után, s mivel ott már teljesen pormentes a levegő, a motor füstgázára, mint kondenzációs magra csapódik le a köd és válik láthatóvá.

Ha egy tű hegyére  $\alpha$ -sugárzóanyagot, pl. polóniumot teszünk és a zárt térbe visszük, akkor a dugattyú elmozdítása pillanatában a tű hegyéről vékony ködvonalakat látunk kiindulni. A polónium  $\alpha$ -részecskéinek hatására ugyanis a kamra légtérében ionok keletkeznek, amelyekre a porrészecskékhöz hasonlóan vízcsepp rakódik le. Hogy tiszta képet kapjunk, a régi ionokat törölnünk kell. Ezt oly módon érjük el, hogy az edény felső és alsó lapja között potenciálkülönbséget létesítünk. Az expandálás pillanatában földelve az edényt, a ködvonalak tisztán láthatókká válnak.

A pályák alakjából és vastagságából következtetni lehet a részecske természetére, hatótávolságára és ionizáló képességére. A fent leírt ködkamrával csak az expanziók pillanatában fennálló helyzetet lehet rögzíteni, ezért a ritkán előforduló jelenségeknél a ködkamrát számlálócsövekkel kapcsolják össze, amelyek működése indítja meg a ködkamra működését. A kamra automatikusan rögzíti a számlálócsövön áthaladó részecskéket. Vannak diffúziós ködkamrák is, amelyeknél a gőz



29. ábra.  $\alpha$ -részecskék



30. ábra.  $\beta$ -részecskék

túltelítettségét nem a tér expandálásával érik el, hanem gondosan szabályozott hőfokmegoszlással. Ezeknél a kamráknál a metilalkoholgőzzel töltött hűtött alsó és a fűtött felső lap közt 780 volt potenciálkülönbséggel elektromos mezőt létesítenek, miáltal a tér megtisztul a régi pályanyomoktól. A kamrában az alsó és felső lap között állandó diffúziója indul meg az alkoholgőznek és lesz egy térrész, ahol az alkoholgőz állandó túltelített állapotban lesz. Ha ebbe a térrészbe ionizáló részecske kerül, megindul a kicsapódás és megjelennek a ködvonalak. A diffúziós kamra egyik előnye, hogy gyors munkát tesz lehetővé.

A hatótávolság meghatározásának egyik megbízható módja a Wilson-kamra módszerével történő vizsgálat. Ez abból áll, hogy a pályavonalakat a kamrába helyezték, ismert hosszúságú vékony üvegmércével együtt lefényképezzük. A felvételtől a pályavonalak hosszát kiszámítjuk. A fel-

vételnek természetesen abban a pillanatban kell történnie, amikor az expanzió éppen befejeződik. Ezt egyszerű elektromágneses szerkezettel érhetjük el, amelynek áramköre az expanzió befejeződésének pillanatában zárul és ezzel egyidejűleg a kamra fölé rögzített fényképezőgépet automatikusan kioldja.

### 5. Röntgen diffrakciós eljárás

A röntgen diffrakciós eljárás szintén felhasználható urán- és tórium-ásványok meghatározására. A vonalak erőssége pedig lehetőséget nyújt a vizsgált ásvány urán, ill. tórium koncentrációarányának megállapítására.

A felvétel technikája a Bragg-féle eljárason alapszik. A Bragg-féle felfogás szerint minden síkháló monokrómás röntgensugár esetén csak a neki megfelelő kristályállás esetén ad reflexiót. Ahhoz tehát, hogy minden egyes síkhálóról kapjunk reflexiót, a kristályt finom porrá kell törnünk. A kristályporban ugyanis a kristályszemcsék minden lehetséges orientációban nagy valószínűséggel jelen vannak. Ha ezután a direkt sugár irányának síkjában a Debye—Scherrer-féle kamrában a kristálypor köré röntgenfilmet helyezünk — meghatározott idő elteltével és a film előhívása után —, a vizsgált anyag diffrakciós képét (Debye—Scherrer-féle pordiagramját) kapjuk. Ez különböző intenzitású, görbült vonalakkól áll. A reflexiók ugyanis a direkt sugár körül minden oldalon köröskörül kúp-palástokon helyezkednek el, ami a filmen interferenciagyűrűk alakjában jelentkezik. A diagram a direkt sugártól jobbra és balra szimmetrikus és minden vonal egy-egy térrácssíknak felel meg. E diagramok kristálytani kiértékeléséhez a vonalakat elsősorban a megfelelő rácssíkindexekkel kell ellátnunk. A rácscsík indexei és a síkok egymásközi  $d$  távolsága közti összefüggés a következő:

$$d = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}}$$

ahol  $h, k, l$  a három rácstengelyre vonatkoztatott Miller-féle index,  $a, b, c$  pedig az elemi test élhosszai.

Ha a Bragg-féle egyenletbe a  $d$ -nek ezt az értékét behelyettesítjük a szabályos rendszerbeli kristályokra (ahol az élhosszak egyenlők, tehát  $a = b = c$ ), az alábbi egyenletet nyerjük:

$$n\lambda = 2d \sin \vartheta,$$

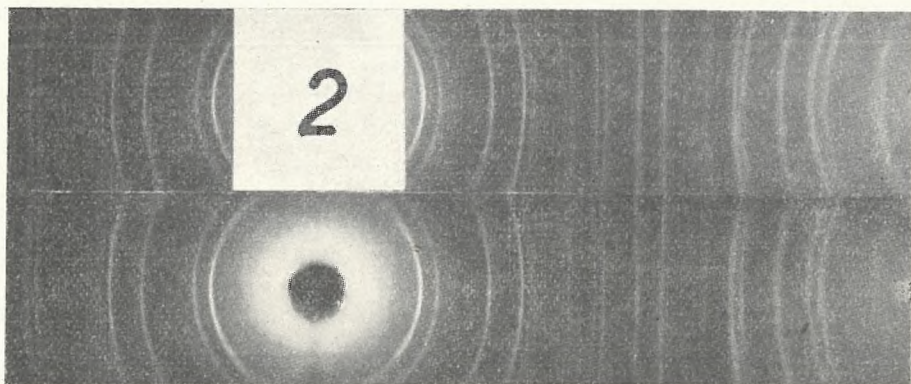
$$\text{ebből } \sin^2 \vartheta = \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2},$$

tehát behelyettesítve:  $\sin^2 \vartheta = \frac{n^2 \lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2)$ .

A fenti képletből a  $\vartheta$ , a  $\lambda$  és az  $n$  értékek ismeretesek. A  $(h^2 + k^2 + l^2)$  értékei egész számok.

A  $\frac{\lambda^2}{4a^2} = A$  érték ugyanazon kristályra azonos geometriai elrendezés, stb. esetén állandó. Minthogy pedig  $\lambda$ , vagyis a használt antikatód hullámhossza ismeretes, az  $A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$  képletből az elemi test élhossza ( $a$ ) kiszámítható.

Alábbiakban a szerző egy ceyloni lelőhelyről származó thorianit röntgen diffrakciós képét mutatja be ( $a = 5,578 \text{ \AA}$ ).



31. ábra. Ceyloni thorianit röntgendiffrakciós képe

### 6. Tömegabszorpciós mérések

A radioaktív sugarak valamely közegen áthaladva veszítenek intenzitásukból. Mivel az egyes radioaktív anyagokból származó sugarakat az alkalmazott elnyelő közeg különböző mértékben nyeli el, a sugárzás intenzitásának csökkenése — ismert radioaktív anyaggal való összehasonlítás útján — felvilágosítást ad a vizsgált radioaktív anyag minőségére nézve.

Kis anyagvastagság esetén a sugárzási intenzitásveszteség  $\left(-\frac{dI}{I}\right)$  arányos az elnyelő közeg vastagságával:

$$-\frac{dI}{I} = \mu dx,$$

ahol  $\mu$  az abszorpciós együttható.

Az egyenlet integrálva:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

ahol  $I_0$  a sugárzás intenzitását jelenti elnyelés előtt;

$I$  a sugárzás intenzitása elnyelés után;  $x$  az elnyelő közeg vastagsága.

Mivel  $\mu$  értéke a sugárzás és az elnyelő közeg minőségétől függ, de

arányos a sűrűséggel ( $s$ ), célszerű a tömegabszorpciós együtthatót a  $\frac{\mu}{s}$  alakban alkalmazni. Így a tömegabszorpciós együttható a sugárzásra jellemző állandó, amely független az elnyelő közeg minőségétől és csak a sugárzás minőségétől függ.

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{s} \cdot y}$$

$$\log I = \log I_0 e^{-\frac{\mu}{s} \cdot y}, \text{ amelyből}$$

$$\frac{\mu}{s} = \frac{\log I_0 - \log I}{0,4343 y},$$

ahol  $y$  az elnyelő közeg  $1 \text{ cm}^2$  felületű és  $1 \text{ cm}$  vastag rétegben levő anyagmennyisége. Vagyis  $y = s \cdot x$ , ahol  $s =$  az elnyelő közeg sűrűsége (Pb esetében  $11,35 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ , Al esetében  $2,699 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ );  $x$  az elnyelő közeg vastagsága cm-ben.

Pl.  $2,5 \text{ cm}$  vastag Pb-lemez esetén:

$$y = 11,35 \cdot 2,5 \left[ \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} \right].$$

Tömegabszorpciós méréseket a bauxit urán-, ill. tóriumtartalmának meghatározására Csókás és Méhes végeztek.

Az anyag abszorpciója legnagyobb az  $\alpha$ -sugárzással szemben. Ezért az  $\alpha$ -részecskék megszámlálására olyan készülékeket használnak, amelyeknél a levegőn vagy más gázon kívül nincs elnyelő közeg az  $\alpha$ -sugárzóanyag és az észlelőberendezés között.

Az urán bomlási sor  $\gamma$ -spektruma Alichanov és Dzepelov adatai szerint több komponensből áll, amelyek közül kb. 22%-ot az  $1,1 \text{ MeV}$ -os, kb. 11%-ot az  $1,4 \text{ MeV}$ -os, kb. 22%-ot az  $1,75 \text{ MeV}$ -os és kb. 20%-ot az  $1,8$ – $2,4 \text{ MeV}$ -os intenzitású komponensek tesznek ki. Az empirikusan használható átlagos abszorpciós együttható  $\mu' = 0,046 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

A tórium bomlási sor  $\gamma$ -spektruma Alichanov és Latisev vizsgálatai szerint a lágy komponensek mellett túlnyomóan  $2,6 \text{ MeV}$ -os  $\gamma$ -komponensekből áll, amelynek tömegabszorpciós együtthatója  $\mu' = 0,039 \text{ cm}^2/\text{g}$ .  $1 \text{ g}$  tórium bomlástermékeivel egyensúlyban kb.  $1,38 \cdot 10^3$ ,  $2,6 \text{ MeV}$ -os gammakvantumot bocsát ki másodpercenként.

Behounek, majd Gleditsch és Graf vizsgálatai szerint a kálium grammonként és másodpercenként  $3,6 \gamma$ -kvantumot bocsát ki  $1,55 \text{ MeV}$  energiával. A tömegabszorpciós együttható a kálium gammájára nézve az irodalomban fellelhető összefüggés alapján  $\mu' = 0,05 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

Amíg a  $\gamma$ -sugárzás lágy komponensei könnyen kiszűrhetők, addig a keményebb összetevők kiszűrése csaknem lehetetlen. Még  $30$ – $40 \text{ cm}$

vastag közetréteg is csak 90%-át nyeli el a  $\gamma$ -sugárzásnak és az elnyelődéskor fotoelektromos abszorpció és Compton-hatás lép fel.

A  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzásra jellemző, hogy abszorpciójuk nem egyenletes. Teljes elnyeletésükhöz más és más vastagságú szűrő szükséges, amelynek vastagságát az alkalmazott szűrő sűrűsége határozza meg.

Azt a feltevést, hogy az energia nagyságával a részecskék abszorpciója fordítva arányos, kísérleti tapasztalatok igazolják.

### *7. Radioaktív izotópok meghatározása tömegspektrográffal*

A radioaktív izotópoknak fizikai úton való meghatározására, esetleg szétválasztására legtökéletesebb eszköz a tömegspektrográf. Működési elve, hogy a különböző  $\frac{e}{m} \left( \frac{\text{töltés}}{\text{tömeg}} \right)$ -mel bíró ionok elektromos és mágneses tér hatására kisebb-nagyobb mértékű eltérítést szenvednek, amiből azután az atomsúly nagy pontossággal kiszámítható. A mérési pontosság messze felülmúlja az eddig legérzékenyebbnek ismert mérőeszközök pontosságát. A fényérzékeny lemezen jelentkező fekete vonalak intenzitása pedig felvilágosítást nyújt az elemekben jelenlevő izotópok százalékos mennyiségéről.

A tömegspektrográfban bármely anyagot megvizsgálhatunk 1—300 tömegegységig és az egyes tömegértékek közvetlenül leolvashatók a készülékről. A meghatározható anyagmennyiség alsó határa a mikrogramm tízezred része.

A tömegspektrográf a kőzetben levő elemek izotóparányának meghatározására is alkalmas, amiből azután következtetni lehet a megvizsgált kőzet földtani korára és előéletére.

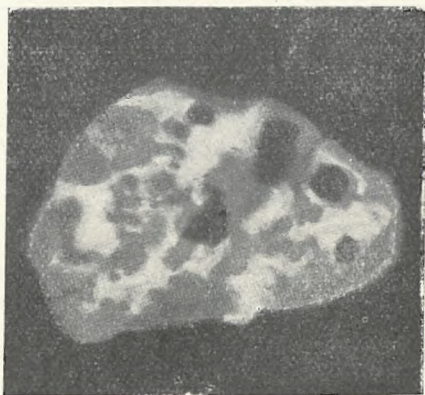
### *8. Ásványok és kőzetek aktiválható elemeinek meghatározása neutronforrás segítségével*

A neutronok a legsűrűbb anyagokba is behatolnak és gyakorlatilag ütközni tudnak az összes elemek atommagjával. Ha valamely elemnek nagy a neutron befogási keresztmetszete és még ráadásul radioaktív termékeket is eredményez, az elem koncentrációja és megoszlása a kibocsátott sugárzás alapján meghatározható.

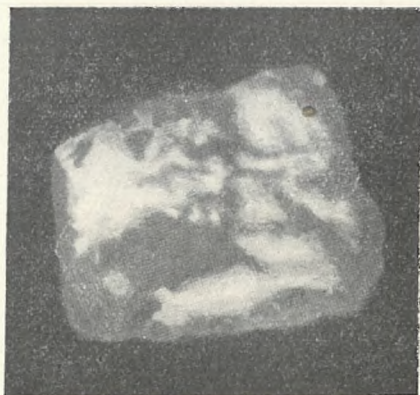
Ez a módszer különösen jól használható kis mennyiségű minta esetén, pl. ott, ahol a kőzetből szétfrakcionált egyes ásványkomponenseket vizsgálják. Az eljárás lényege a következő. A vizsgálandó ásványt vagy kőzetmintát neutronforrásból származó neutron-sugárzás hatásának teszik ki, majd a besugárzás után a mintát fényérzékeny lemezre helyezik. A  $\beta$ -aktívvá tett elem helyét az autoradiográfia felfedi. W-, Cu-, As-, Na-, K- és P-tartalmú kőzetek és ásványok különösen alkalmasak

neutron besugárzással kapcsolatos vizsgálatokra. A közönségesebb elemek, mint az O, a Si, az Al és a S aránylag kismértékben aktiválódnak, s így jól elkülöníthetők. Ahhoz, hogy megfelelő kép jöjjön létre,  $10^6-10^9$   $\beta$ -részecskének kell  $1 \text{ cm}^2$ -nyi filmfelületre esnie. Ha ezt a vizsgálatot ráadásul petrográfiai tanulmány is kiegészíti, akkor a kőzet vagy ásvány genezisére is értékes információkat lehet nyerni.

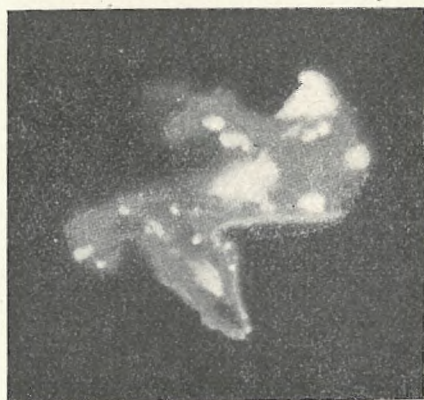
A 32. ábrán a szürke foltok réztől, a fekete foltok pirittől származnak, a 33. ábrán a világosszürke foltok kuprittól, a sötétszürkék malachittól származnak, a 34. ábrán a sötétszürke foltok cerusittól, a fehér foltok aranytól és a szürke foltok malachittól származnak.



32. ábra  
(Yagoda nyomán)



33. ábra  
(Yagoda nyomán)



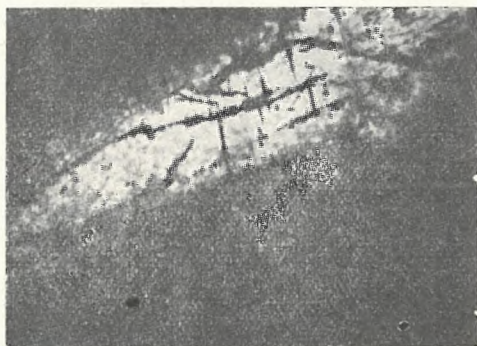
34. ábra  
(Yagoda nyomán)

A 35. és 36. ábra egy mikropertthit kristályt ábrázol albit és mikroklin benövésekkel. Az előbbi nátriumföldpát, az utóbbi káliumföldpát. A besugárzás hatására a nátriumban létrehozott radioaktivitás kb. százszorosa az azonos koncentrációban jelenlevő káliuménak. Az alkáliák relatív koncentrációja a két ásványban olyan, hogy az albitot a Na-24 aktivitása határozza meg.

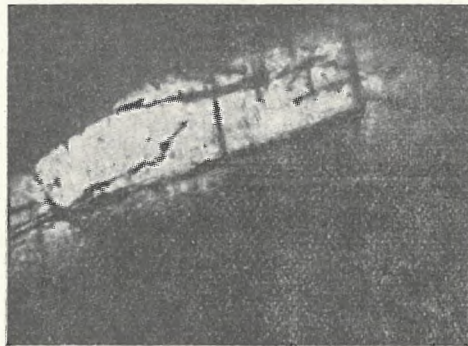
A baloldali közös fényvel készült autoradiogram fotomikrogramján a magas nátriumtartalomnak megfelelő albitot a sötét felületek ábrázolják. A jobboldali mikrofotogram polarizált fényvel készült és az albitbenövés kioltásban van. A két ábra lehetővé teszi, hogy összehasonlítsuk az autoradiográfiával és a kőzettani mikroszkóppal kapott eredményeket.

Az aktiválás útján való elemzés igen hasznosnak bizonyult bizonyos

speciális analitikai problémák megoldására. Így pl. igen kis mennyiségű hafnium meghatározására cirkóniumban. Az aktiválási analízist elterjedten alkalmazzák fémek, ötvözetek és szerves anyagok szennyezésének kimutatására.



35. ábra  
(Brooksban, Leddicotte és Mahlman nyomán)



36. ábra

Az aktiválási módszer nagy előnye más módszerekkel szemben, hogy a mesterségesen aktivált elemek egyedi bomlásidejűek és kibocsátott sugárzásuk folytán abszolút biztonsággal meghatározhatók. A sugárzás észlelése szcintillációs számlálóval történik:

#### A szokásos neutronforrások és az ezekből nyerhető neutronáramok

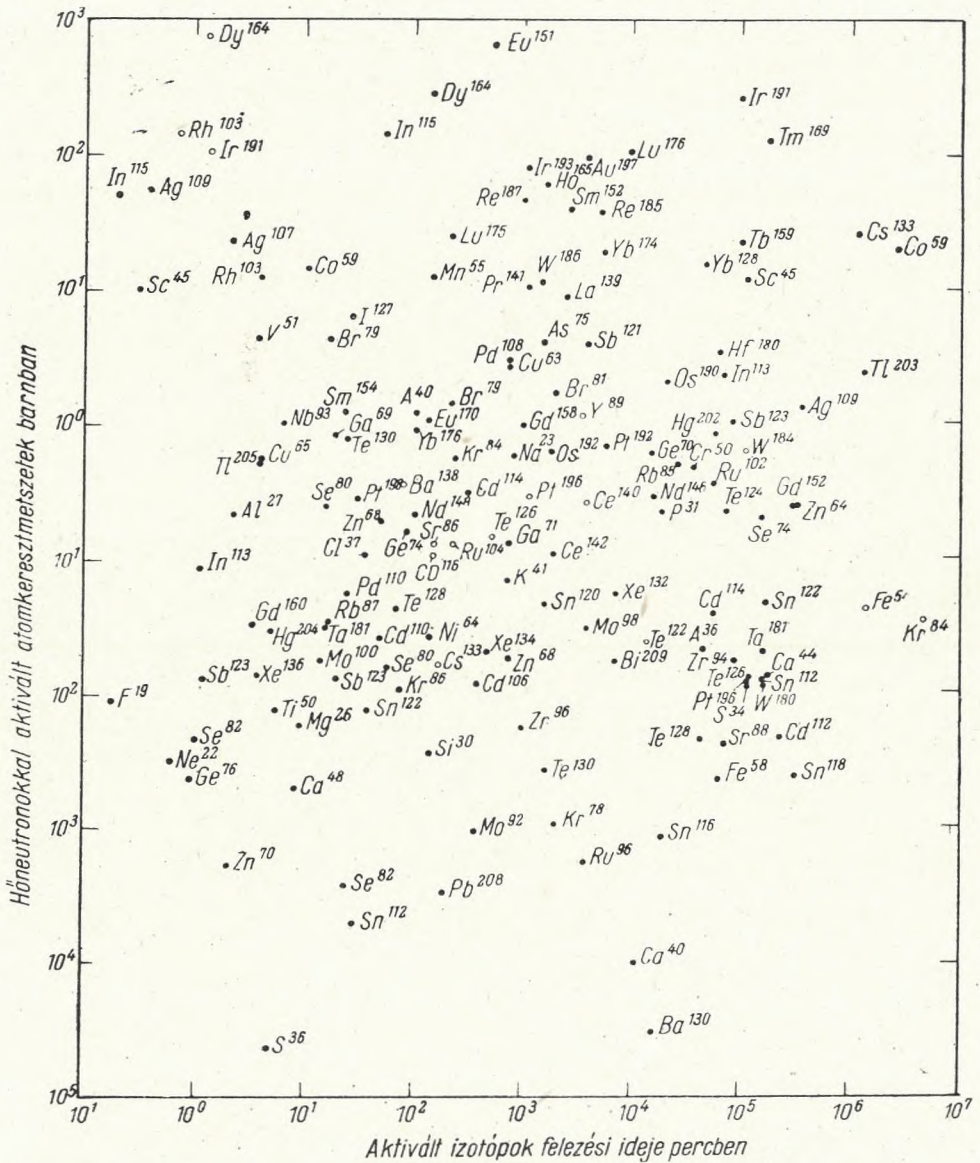
Neutronforrás	Felhasználható áram $n \text{ cm}^2/\text{sec}$
Nukleáris reaktorok .....	$10^{10} - 10^{12}$
Ciklotron .....	$10^8 - 10^9$
Kisfeszültségű neutron generátor .....	$10^5 - 10^6$
Ra + Be 1 g .....	$10^4 - 10^5$
Sb + Be 1 curie .....	$10^3 - 10^4$
Ra + Be 25 mg .....	$10^2$ (csak hő-neutronok)

A keletkező reakciótermék egyenesen arányos azzal a neutronárammal, amelyben aktiválják. Jóllehet a kisebb neutronforrások nem adnak olyan sokféle reakcióterméket, mint a nukleáris reaktorok, mégis felhasználhatók nagyhozamú reakciók tanulmányozására.

Valamely elem százalékát egy ismeretlen mintában úgy határozzuk meg, hogy az ismert súlyú mintában keltett aktivitást összehasonlítjuk az ismeretlen aktivitással. Az elem mennyisége és a minta aktivitása közti összefüggést az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$\frac{\text{elem súlya az ismeretlen mintában}}{\text{elem súlya a standardban}} = \frac{\text{aktivitás az ismeretlen mintában}}{\text{aktivitás a standardban}}$$

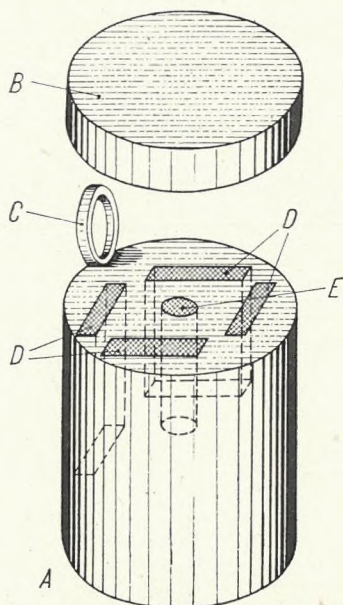
Ez az arány pontosan meghatározható, ha az ismert és ismeretlen mintát azonos körülmények közt aktiváljuk s ilyen módon kiküszöböljük a geometria, a szórás, az abszorpció stb. miatti korrekciókat.



37. ábra

A fenti ábra az izotópok neutron aktiválási keresztmetszetét tünteti fel. Bármilyen neutronforrással való aktiválás alkalmas az elemzésben előforduló szennyezések kimutatására.

A kis, 25 mg-os Ra+Be forrással való hőneutron aktiválásnak van egy nagy előnye a nagyobb forrással való aktiválással szemben. Ugyanis csak az igen nagy aktiválási keresztmetszetű és rövid felezési idejű izotópok mutathatók ki rövid besugárással. Ezzel kiküszöbölhető a neutron gerjesztett aktivitások sokasága, amellyel akkor találkozunk, ha egy elem keverékét nukleáris reaktorban sugározzuk be. Ily módon 1 g-os mintákkal végezhetünk aktiválás útján való analízist anélkül, hogy szükség lenne az azt követő kémiai elválasztásra. Ezen túlmenően olyan kicsi a besugárzás alatt képződő aktivitás és olyan gyorsan bomlik el, hogy a besugárzott minta változatlan az analízis végén. Ezen kívül a legkedvezőbb elemek vizsgálata gyorsan elvégezhető. A forrás, amelyet az alábbi ábra tüntet fel, 25 mg Ra és 25 mg Be keverékéből áll, amely egy monel fémtekba van beforrasztva.



38. ábra. Neutronforrás parafinháza

A parafinhenger; B parafinfedő; C polisztiirén mintatartó; D rés a mintatartók számára; E nyílás a Ra+Be forrás számára

### 9. Kálium mennyiségi meghatározása. Közetrétegek jellemzése radioaktív sugárzásuk alapján

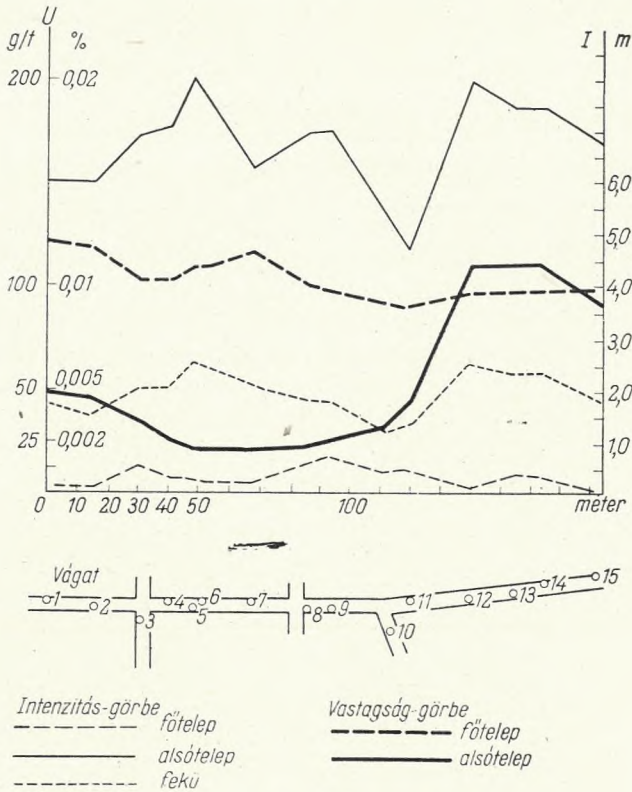
A természetes kálium három izotóp keveréke, amelyek közül a K-40 radioaktív. Mivel az egyes közetrétegek K-tartalma különböző, az egyes közetrétegek radioaktív sugárzásuk alapján megkülönböztethetők egymástól.

Az irodalomból ismeretes, hogy 10% KCl-tartalomnak 5,25% tiszta K-, ill.  $6,3 \cdot 10^{-4}$  K-40-tartalom felel meg. KCl-t használva összehasonlító standardként Geiger—Müller számlálócsöves mérésekkel megállapítható a vizsgált közetréteg K-, ill. K-40-izotóptartalma. Mivel a K-40 gyenge  $\gamma$ -sugárzása kismennyiségű minta vizsgálatánál nem regisztrálható, a K-40  $\beta$ -sugárzását mérjük.

Ádám és Csókás egyes hazai közetrétegek K-40-sugárzását vizsgálva megállapítják, hogy a dunántúli pannóniai emelet különböző közetrétegeinek K-40 bétasugárzása eléggé eltérő ahhoz, hogy ezen az alapon különbséget lehessen tenni közöttük. Kár, hogy szerzők több mélyfúrás anyagának laboratóriumi Geiger—Müller számlálócsöves vizsgálatával nem állapítják meg az egyes közetrétegek jellegzetes aktivitását, hogy rámutassanak a rétegszintek azonosítási lehetőségére.

Szerző a párhuzamosítás elősegítésére olyan komplex diagramot használ, amellyel a rétegek, ill. telepek radioaktivitásának vertikális és horizontális irányú változását, valamint a réteg-, ill. telepvastagság változá-

sát és a radioaktív anyagtartalomnak U-, Th- vagy K-ekvivalensben kifejezett változását százalékban és g/t-ban szemléltetni lehet. Lásd az alábbi diagramot.



39. ábra

## B) Kémiai módszerek

### 1. Urán polarografikus meghatározása

Az urán polarografikus meghatározásának módszerét *Legge* ismerteti. A módszer abból áll, hogy az uránt elválasztják a többi fém szennyezésétől oly módon, hogy salétromsavas-éteres oldattal mossák ki rövid cellulóze-kúp oszlopon keresztül, majd oxálsavat és kénsavat tartalmazó elektrolitben polarografikusan meghatározzák. Igen nagyszámú szennyezés kis mennyisége nem hat zavarólag.

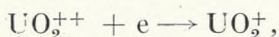
A teljes elemzés három órát vesz igénybe, de ez az idő rutinmunka esetén kb. fél órára csökkenthető.

Ezzel a módszerrel olyan minták is meghatározhatók, amelyekben az urán koncentrációja mindössze 0,00025% és mellette ennek ezerszeres koncentrációjában más oldható elemek is jelen vannak, mint pl. Fe, Mn, Ca, Mg, Al, ezenkívül kisebb mennyiségben egyéb oldható szennyezések

és igen sok kovasav. Az impulzust számláló módszerek az ilyen mintáknál nem bizonyultak kielégítőnek. A kolorimetrikus módszerek kismennyiségű szennyezések esetén nem jók és kis uránkoncentrációnál az érzékenységük csökken, mivel az oldat áteresztőképessége a csökkenő koncentrációval logaritmikusan emelkedik.

A mikrofluorimetrikus módszer igen érzékeny kis uránkoncentrációnál, de hosszadalmas tisztításra van szükség ahhoz, hogy az uránt elkülönítsék a legtöbb iontól.

A polarografikus módszereket már régóta alkalmazzák, de mindeztideig nem írták le, hogyan történik vele a kőzetek urántartalmának meghatározása. *Harris* és *Kolthoff* mutatták ki, hogy közepesen savas közeg igen alkalmas az urán pontos polarografikus meghatározására. A redukció általában egy elektromos redukció:



ami komplex képző vegyületeknél mint pl. oxálsav jelenlétében a következőképpen folytatódik:



amely már 2 elektromos redukció. Az eljárás megkövetel egy tisztítási lépcsőt a durva szennyezések elűzésére, de a normálisan előforduló elemek kis mennyiségei nem zavarnak. A tisztítás célja, hogy ezeknek az elemeknek a koncentrációját az urán koncentrációjának nagyságrendjére redukálja.

## 2. Urán elválasztása tóriumtól, aktivált cellulózával töltött oszloppal

Az ásványban, kőzetben vagy érchen jelenlevő uránvegyületeket uranyl-nitráttá alakítjuk át, majd salétromsavtartalmú éterrel cellulózával töltött üvegsőben extraháljuk. A cellulóze az összes fémeket — köztük a tóriumot is — megköti, úgyhogy az oszlopon csak az urán megy keresztül. Az így kinyert uránt azután gravimetrikusan meghatározzuk.

## 3. Az urán meghatározása kolorimetrikusan

Az urán kolorimetrikus meghatározására használt anorganikus reagensek közül a peroxid vált be a legjobban. Ha ugyanis hidrogénperoxidot adunk uranyl-oldathoz, sárga színt kapunk, amely az uranyl-iontartalommal változik.

## 4. Az urán mennyiségi meghatározása egyik bomlástermékéből

Ha az urán radioaktív egyensúlyban van, a jelenlevő urán mennyisége kiszámítható a bomlási termékek bármelyikének meghatározásával. A vizsgálathoz a mintát salétromsavban feloldjuk és cirkonnitrátot adunk hozzá hordozóként, majd az UX-1-et és a cirkont alkáli hipofoszfáttal kicsapjuk. A csapadékot Al-lemezre visszük és leszámoljuk. Ezzel a módszerrel 0,001—0,04% urántartalom meghatározható.

### 5. Az izotóphigitás módszere

Ezzel a mikroanalitikai módszerrel igen pontosan meghatározhatók az összetevők olyan keverékekben, amelyeknek egész súlya 1 mg vagy még ennél is kisebb. Ezt a módszert ásványok és kőzetek geológiai korának meghatározásához is használják.

Ha valamely keverék egyik összetevőjének ismeretlen  $x$  grammnyi mennyiségét kell meghatározni, akkor hozzáadjuk az anyag  $A_1$  fajlagos aktivitású radioaktív izotópjának ismert kis mennyiségét,  $p$  grammot. Elegyítés után elkülönítjük a keresett anyag egy részlegét és ezt gondosan megtisztítjuk. Majd meghatározzuk ennek az  $A_2$  fajlagos aktivitását. Ekkor:

$$(x + p) A_2 = p A_1,$$

ebből

$$x = p \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right).$$

A *fordított izotóphigitás* esetében olyan keverékből indulnak ki, amelyek az összetevői radioaktívak. Ezt oly módon lehet elérni, hogy minden összetevőt kvantitatíve reagáltatunk ugyanazzal a radioaktív vegyülettel. Ezután külön reakcióval meghatározható a keresett összetevők egyikének a fajlagos aktivitása. Ezután hozzáadjuk a keresett összetevő nem radioaktív komplex vegyületének igen nagy mennyiségét. Elegyítés után ismét elkülönítünk egy részleget, gondosan megtisztítjuk és mérjük a fajlagos aktivitás meghatározása céljából. A keresett mennyiség kiszámítható az

$$x = p \left( \frac{1}{\frac{A_1}{A_2} - 1} \right)$$

képlet alapján, miután  $\frac{A_1}{A_2}$  többnyire sokkal nagyobb, mint 1,

$$x = \frac{p}{\frac{A_1}{A_2}}.$$

A módszer harmadik alakja az ún. *kétszer megfordított izotóphigitás*. Ezt a szintetikus radioaktív vegyületek súlymennyiségeinek és fajlagos aktivitásának meghatározására használják olyan keverékekben, amelyekben sok melléktermék is keletkezett. Minthogy az ilyen szintéziseket gyakran kis méretekben végzik, más módon nehéz a kívánt anyagot tisztán és veszteség nélkül megkapni.

A gyakorlatban főként az utóbbi két módszert alkalmazzák.

#### C) Fotoemulziós módszer

Régóta ismeretes, hogy a radioaktív elemeket tartalmazó ásványok, ha fényérzékeny lemezzel kapcsolatba kerülnek, bizonyos idő elteltével a fényérzékeny lemezt még akkor is megfeketítik, ha az ásvány és a lemez közé fényelzáró fekete papírt helyezünk. Közbehelyezett fémtárgyak (számok) körvonalai a lemez előhívása után láthatókká válnak.

Ha egy ásvány vagy kőzet fényesre csiszolt felületét helyezük a fényérzékeny lemezre, akkor a feketedés a radioaktív zárványok közvetlen helyére szorítkozik. Mivel bizonyos idő elteltével a radioaktív zárványok önmagukat fényképezik le, ezt a jelenséget autoradiográfiának nevezzük. Alábbi ábránk egy ilyen autoradiografikus úton készült felvételt mutat be.



40. ábra. Samarskit autoradiográfiája Yagoda nyomán

Arra vonatkozóan, hogy a radioaktív nyomok speciális természetűek, először *Mügge* hívta fel a figyelmet. *Reinganum* 1911-ben közölte, hogyha  $\alpha$ -részecske hat az emulzióra, ez olyan ezüstszemcse-sorozatot hoz létre, amely az  $\alpha$ -részecske pályáját mutatja. Kb. ebben az időben sikerült *Wilson*nak is bemutatni egy  $\alpha$ -részecske útját a ködkamrában. *Reinganum* tapasztalatát több kutató igazolta. Mint kiderült, az  $\alpha$ -részecske pályájának hossza az emulzióban lineáris függvénye az emulzióra eső  $\alpha$ -részecske hatótávolságának. *Kinosihita* és *Ikeuti* az emulziót egy polóniummal bevont tű hegyével érintették meg. Az érintés helyén mikroszkóppal fekete foltot figyeltek meg, amely körül pleochroós udvarra emlékeztető fényudvar alakult ki gyűrűszerűen. Ennek sugara megfelelt az  $\alpha$ -részecske hatótávolságának.

Hasonló technikával *Sahni* a  $\beta$ -sugarak fotografikus hatását tanulmányozta. Ezeken a lemezeken a szimmetrikus gyűrű helyett szabálytalan ködös foltok mutatkoztak.  $\gamma$ -forrás alkalmazása esetén csak gyenge feketedést kaptak, amelyet az elsődleges  $\gamma$ -sugarak okozta másodlagos  $\beta$ -részecskék idéztek elő. Természetesen más elemi részecskék is nyomokat hagynak

az emulzióban, de ezek a nyomok jól megkülönböztethetők az  $\alpha$ -részecskék által előidézett feketedéstől. A proton nyomvonalának hossza nagyobb, az urán neutron okozta bomlásakor létrejött nyomvonalak pedig rövidebbek és vastagabbak, mint az  $\alpha$ -részecskéké. Ezek a nyomvonalak speciális emulziókkal ki is szelektálhatók. A módszert 1927-ben *Misszovszkij* és *Zhdánov* fejlesztették ki.

Eleinte a radioaktív anyagoknak a fotoemulzióra gyakorolt hatását közönséges fényképészeti lemezeken tanulmányozták. Ma sűrű, finomszemcsés, a fényre kevésbé érzékeny, nagy ezüstbromid tartalmú emulziókat használnak. Ezeket az emulziókat megkülönböztetésül nukleáris emulzióknak nevezik. A fényképészeti lemezek ugyanis nem szolgáltatnak eléggé feloldható pályanyomokat.

A csiszolatokat, különösen a savval maratott csiszolatokat a fotokémiai és ionos reakciók zavartkeltő hatása miatt a radiológiai emulziós vizsgálatok előtt ammoniumhidroxiddal, majd desztillált vízzel öblítik le és a leöblítés után alaposan kiszáritják. Ha polírozott szurokércet híg salétromsavval maratnak és utána emulziós vizsgálatnak vetik alá, a szurokércben gyakran előforduló ezüst sötétebben jelentkezik, mint maga a szurokérc. Savas maratás esetén ugyanis a polónium kioldódik és elektrokémiai hatás következtében az ezüstre cementálódik. Frissen csiszolt fémfelület oxidálásakor pedig hidrogénhiperoxid keletkezik, amely áthatol a papíron és a fényre érzékenyebb emulzióknál zavart kelt. Olyan anyagokat, amelyek hajlamosak hidrogénhiperoxid fejlesztésére, mint pl. a kanadabalsam, ásvány- és kőzetcsiszolatok vizsgálatánál kerülni kell. A mintákat legcélszerűbb felpolcolva helyezni az emulzióra, mert az említett fotokémiai hatásokon kívül a nehezebb minták nyomása is megfeketítheti az emulziót, az exponálás látszatát keltve.

A magemulzióban sugárzás hatására keletkező kép mechanizmusa hasonló a fény hatására keletkező kép mechanizmusához. A fény hatására keletkező képnél fotonok ütköznek bele a szemcsékbe és abszorbeálódva fotoelektronokat szabadítanak fel. Ezek a fotoelektronok az emulzióban levő szenzitivált helyekre vándorolnak, amelyek így negatív töltésűek lesznek. A negatív töltést nyert szenzitivált helyeket az ezüstbromid kristályrácsban mindenkor jelenlevő szabad pozitív töltésű ezüst ionok ezüstkiválással közömbösítik. Ez a felületi ezüstlerakódás képezi az előhívás során a teljes kiredukálás magját.

A részecskék hatására keletkezett kép mechanizmusa annyiban különbözik ettől, hogy itt az elektronok nem fotoelektronok, hanem közvetlen összeütközés révén bekövetkező ionizáció eredményei. Egyébként a magemulziók szintén ezüstbromidból készülnek, csak nem tartalmaznak ezüstjodidot. Az ezüstjodid ugyanis jelentős mértékben csökkenti az emulziók érzékenységét a részecskékkel szemben. Szemcsenagyság szempontjából a nagyobb szemcsék sorozata érzékenyebb, mint a kis szemcsehálózat. Általában a magemulzióknál a szemcsék nagysága 0,1–0,6 mikron között változik.

Tekintve, hogy az egyes részecskékhez más-más emulzió szükséges,

hatásukat nehéz összehasonlítani. Általában az  $\alpha$ -részecskék háromszázszor hatékonyabbak lokalizált ionizáció és kémiai hatás létrehozására, mint a  $\beta$ -részecskék.

Olyan emulzió, amelyen mindhárom fajta sugárzás jól érzékelhető, a bomló radioaktív anyag képe koncentrikus körökkel jellemezhető. Itt a belső kör átmérője kétszerese az  $\alpha$ -sugár hatótávolságának. A jól definiált, éles belső kör képét egy diffúz kör veszi körül, amelynek sugara a  $\beta$ -részecskék hatótávolságának felel meg. Az ásvány távolabbi pontjaiból származó  $\gamma$ -sugarak csak ködösödést idéznek elő az emulzión. Ez az autoradiográfia tehát nem ad hű képet a radioaktív anyagok eloszlásáról. Ahhoz, hogy hű képhez jussunk, speciális, az egyes sugárfajtákra érzékeny nukleáris emulziókat kell használnunk.

Nukleáris, csak  $\alpha$ -részecskékre érzékeny emulzió kb.  $10^7$   $\alpha$ -részecskének kell  $1 \text{ cm}^2$ -re esnie, hogy az alapfeketedéstől megkülönböztethető képet adjon. Ha a minta kb. 50% uránt tartalmaz, ez 24 órai expozícióval elérhető. 1%-nál kevesebb uránt tartalmazó anyagoknál az expozíciós idő 2 hónap, vagy még ennél is több.

Az emulzió  $\beta$ - vagy  $\gamma$ -sugarak által előidézett feketedést a spektrálanalízisben használatos eszközökkel, mikrofotométerrel vagy mikrodenzitométerrel mérik. Mivel az  $\alpha$ -részecskék orientált pályákat tesznek meg és a kép feketedése az  $\alpha$ -részecske beesési szögétől függ, a mérések eredménye aszerint értékelendő, hogy az  $\alpha$ -részecskék által előidézett feketedés milyen arányban van a beesési szög koszinuszával.

A fotoemulziós vizsgálatokhoz a mintát elő kell készíteni. Mivel a polírozástól igen sok függ — különösen sorozatvizsgálatoknál, ahol a minták összehasonlítása elengedhetetlen —, standard polírozási eljárást kell kidolgozni.

A vizsgálandó mintából először metszetet (csiszolatot) készítenek, majd valamilyen műanyagfoglalatba ágyazzák viasz segítségével. Ez egyrészt konstans felületi dimenziót biztosít a csiszolatnak, másrészt megakadályozza, hogy a csiszolat széleiről származó részek a lemezre jussanak. Az előkészítés folyamán gondosan ügyelni kell a tisztaságra, hogy semmiféle szennyezés ne jusson a felületre.

Ha az anyag kemény, nem porladó, nincs szükség kötőanyagra. Porózus anyagokat azonban acetonban oldott viasz segítségével meg kell kötni.

Az  $\alpha$ -sugarakra érzékeny emulziók fényérzékenysége igen kicsi. Ezért ezek sárga vagy lila szórt fényvel megvilágított szobában használhatók.  $\beta$ -sugarakra érzékeny röntgen- vagy ortokromatikus emulziókhoz vörös biztonság lámpákat használnak.

Expozíciós kamrákhoz bakelit vagy parafinnal impregnált dobozt használnak. Az alumínium és a faszekeretet kerülendő.

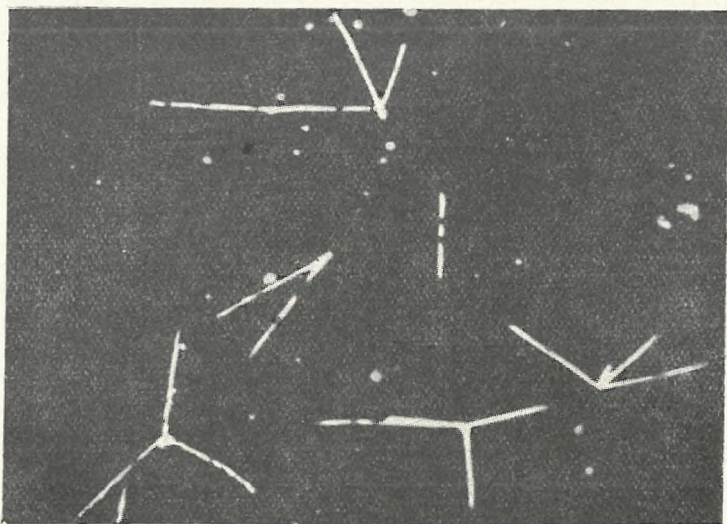
Hosszabb ideig tartó expozíciók esetén vízmentes kalciumkloridot kell a kamrában tartani, mert a levegő nedvességtartalma csökkenti az  $\alpha$ -sugarak hatótávolságát. Hosszú expozíciókhoz legalkalmasabb expozíciós kamra a lakkozott vasdoboz.

A  $\beta$ -autoradiográfiában alkalmazott lemezek előhívása a közönséges

lemezek előhívásához hasonló módon történik. A  $\gamma$ -autoradiográfiában durvaszemcsés emulziót (röntgenfilmet) használnak és a filmet túlhívják. Túlhívás esetén a nagy alapfátyolosodás elkerülhető, ha az előhívóhoz káliumjodidot adnak.

$\beta$ -sugár autoradiográfiáknál az alapfátyolosodást ferrooxalátos hívóval mérsékelik.

1%-os krómsavval való kezelés a lemezt érzéketlenné teszi a  $\beta$ - és a  $\gamma$ -sugarak sötétedést okozó hatására, az  $\alpha$ -sugarak pályái gyöngülnek, de a hasadási pályák változatlanok maradnak.



a)

41. ábra. Jellegzetes tóriumszillagok a fotoemulzióban (nagyítva)  
( $\gamma$ agoda nyomán)

Újabban olyan emulziókat is készítenek, amelyek elég érzékenyek arra, hogy az egyes elektronok pályáit is jelezzék.

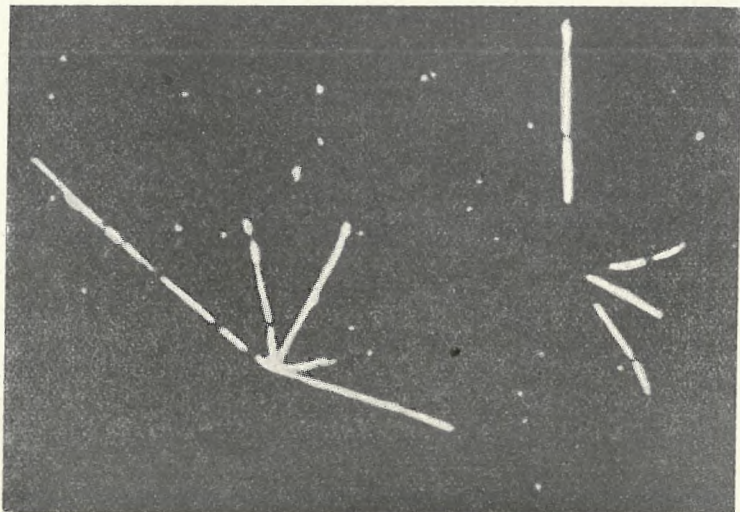
A nukleáris emulzióknál az előhívó hőmérsékletét 32 C°-ig lehet emelni. Az előhívótalat gyakran tisztítják és az előhívóoldatot használat előtt szűrik. Előhívás után a lemezt desztillált vízzel 1–2 percig öblítik, majd 30%-os nátriumtioszulfát-oldatban fixálják. Mivel a nukleáris emulziók szokatlanul nagy mennyiségű ezüstbromidot tartalmaznak, a fixálási idő 30–60 perc. A nedves lemezek még az ezüstbromid tökéletes leoldása után is opaleszkálnak. Ez a zavarosság valószínűleg a zselatinrétegtől származik, de a réteg kimosása és megszáritása után eltűnik.

A lemez mosását lassú, előzetesen szűrt vezetékvízzel végzik. A lemez mosása egy óra hosszát tart. Vastag emulziók szárítása alkohollal is történhetik oly módon, hogy a lemezeket 2–3 percig 25, 50, 75, majd 95%-os etilalkohollal öblítik.

Ha egy ásvány csiszolt felületét helyezzük az emulzió fölé, az ásványban levő radioaktív elemek (U és Th)  $\alpha$ -sugárnyomaiból megállapíthatjuk

az ásványban levő radioaktív elemek arányát. Az  $\alpha$ -sugárzás keltette urán- és tórium csillagformák csak akkor ismerhetők fel könnyen, ha a nyomsűrűség kicsiny. A számítás tehát csak uránban és tóriumban szegény ásványokra alkalmazható és csak akkor, ha a radioaktív anyag igen kis szemcsékben van lokalizálva.

Az időegységre és egységnyi koncentrációra eső pályák abszolút számából kiszámíthatók a bomlási állandók. Ha a bomlási állandó ( $\lambda$ ) ismeretes, a koncentráció kiszámítható a pályák abszolút számából.



b)  
42. ábra. Jellegzetes tóriumcsillagok a fotoemulzióban (nagyítva)  
(Yagoda nyomán)

*Yagoda* az uránt és tóriumot tartalmazó ásványokat a fényérzékeny lemezen előidézett feketedések relatív sűrűsége alapján hét alcsoportba osztotta és megállapította a radioaktív ásvány felületének  $1 \text{ cm}^2$ -én másodpercenként kibocsátott  $\alpha$ -sugarak számát. Vizsgálatai szerint a közönségesebb radioaktív ásványok  $\alpha$ -sugáraktivitási sorrendje a következő: uranit, bröggerit, cleveit, szurokérc, thorianit, gummit, clarkeit, curit, carnotit, torbernit, uranophan, uranothorit, betafit, samarskit, pyrochlor, euxenit, polycras, eschynit, priorit, monacit és orthit.

#### D) Botanikai módszer

Bizonyos növények, úm. a boróka, az atriplex (Chenopodiaceae család) uránt vesznek fel a talajból, ha a talaj urántartalmú. Az uránfelvétel a növény gyökerein keresztül történik és az urán az ágakban, valamint a levelekben halmozódik fel. Ezek a növények a felszínközeli értelepek felett 2–3 milliomodréz, vagy még több uránt is tartalmazhatnak. A növény uránfelvételének mértéke az egyes fajok és évszakok, valamint a talaj, ill. a kőzet összetétele szerint változik.

Más növények nagymennyiségű szelént, ismét mások ként vesznek fel a talajból. Minthogy a szelén és a kén a Kolorádó plató érceiben gyakran társul az uránnal és a vanádiummal, ezeket a növényeket egyúttal az urán és a vanádium indikátoráiként is fel lehet használni.

Szelénkedvelő növények:

Astragalus confertiflorus,  
Astragalus preussi var. arctus,  
Astragalus thompsonae,  
Astragalus pattersoni,  
Oryzopsis hymenoides,  
Aster venusta.

Kénkedvelő növények:

Sisymbrium altissimum,  
Toxicoscordion gramineum,  
Erigonum inflatum,  
Lepidium montanum,  
Stanleya pinnata,  
Allium acuminatum.

A botanikai módszerrel való uránkutatás abból áll, hogy feltérképezik ezeket az indikátornövényeket és ott fúrnak, ahol ezek a növények leg-sűrűbben fordulnak elő. Eredményt csak ott értek el, ahol az ércet 15 m-nél nem volt mélyebben és ahol a szelén- vagy kénkedvelő növények talajában a szelén vagy a kén az uránnal társult.

#### IV. A TÓRIUM, AZ URÁN ÉS A RÁDIUM GEOKÉMIÁJA

A Th és az U geokémiailag közeli rokonságban vannak és gyakran együtt fordulnak elő a természetben. Mindkét elem ionsugara hasonló méretű és nagyrészt elektromos töltésük is azonos. A Th<sup>4+</sup> ionsugara 1,02 Å, az U<sup>4+</sup>-é 1,05 Å. Hasonló méreteik következtében a kristályszerkezetben egymást helyettesíthetik. Mivel mindkét elem erős vegyi rokonságot mutat az oxigénnel, a föld mélyéből felhatoló kőzetek megmerevedésénél, mállásánál és az üledékes kőzetek keletkezésénél egészen hasonló módon vándorolnak, és részben együtt is rakódnak le.

Az U a magma szétkülönülése során főként a savanyú termékekbe kerül. A kovadús kőzetek, elsősorban is némely káligránit, aránylag nagy U koncentrációt mutat.

Az U vegyületek elsődlegesen rendszerint a gránitpegmatitokban és a gránitközeli hidrotermális maradékoldatokból kristályosodnak ki. A Th elsődlegesen a nefelinszienitek pegmatitjaiban, U-nal izomorf elegyként pedig a gránitpegmatitokban fordul elő. A Th-nak hidrotermális előfordulása nem ismeretes.

Az U-ban gazdag, másodlagos üledékes ciklusok valószínűleg a hidrotermális és pegmatitos övek eróziójával kapcsolatosak.

A radioaktív elemek kiválási törvényszerűségeivel és azok elméleti magyarázatával a hazai irodalomban Vendel és Szádeczky foglalkozik.

Az elsődleges elemelőfordulásokkal kapcsolatban Vendel megjegyzi, hogy a magma ritkább elemei (köztük az U) önálló utómagmás érctelepként

főként akkor jelennek meg, ha azokat előzőleg — a magma főkristályosodásakor — hasonló méretű és lehetőleg hasonló töltésű főelem nem szűrte ki nyomelemként. Utóbbi esetben az U a magmás közettömegekben csak szétszórva; elrejtve, kiszűrve található. Gyakorlatilag nyolc főelemet jelöl meg szűrőként. Ezek az alábbi fontosabb érctelepalkotó elemeket (köztük az U-t) szűrhetik ki:

Szűrőelem	Si <sup>4+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
Ionrádiusz (Å)	0,39	0,57	0,67	0,78	0,83	0,98	1,06	1,33
Kiszűrhető elemek	V <sup>5+</sup>	Ga <sup>3+</sup>	Pt <sup>4+</sup> fémek Cr <sup>3+</sup> + Ga <sup>3+</sup> + Ti <sup>3+</sup> Ti <sup>4+</sup> W <sup>4+</sup> Mo <sup>4+</sup> , Sn <sup>4+</sup> Nb <sup>5+</sup>	Sn <sup>4+</sup> Sc <sup>3+</sup> Zn <sup>2+</sup> CO <sup>2+</sup> + Ni <sup>2+</sup> Li <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup> Co <sup>2+</sup> Ni <sup>2+</sup> Mn <sup>2+</sup> Zr <sup>4+</sup>	Cu <sup>+</sup> Mn <sup>2+</sup> Cd <sup>2+</sup> Kisebb sugarú ritka- földek és Y <sup>3+</sup>	Ag <sup>+</sup> Cu <sup>+</sup> Cd <sup>2+</sup> Y <sup>3+</sup> és ritka- földek U <sup>4+</sup>	Au <sup>+</sup> , Rb <sup>+</sup> Pb <sup>2+</sup> Ba <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> Bi <sup>3+</sup> , La <sup>3+</sup>

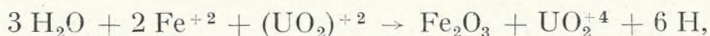
Vendel elméleti síkon mozgó munkájának gyakorlati jelentősége, hogy a magma összetételének és a szétkülönülési viszonyoknak az ismeretében előre meg tudja mondani, hogy adott esetben hol várható ércesedés.

Amíg a magmatikus kőzetekben az U mennyisége a savanyúsággal növekszik, addig *Husmann* adatai szerint a Th- és az U-tartalom a schwarzwaldi gneiszekben maximumát az ortoklász metablasztitokban éri el, az ortogneiszeknél és amfibolitoknál mennyisége csökken. Az anatektikusan átalakult paragneiszek esetében a radioaktivitás a K-tartalommal növekszik.

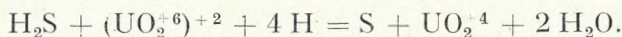
Nem találunk U-t az előkristályosodási termékekben, a bázisos és ultrabázisos magmatitokban. Ezek a kőzetek negatív indikátorokként foghatók fel. Ezzel szemben pozitív indikátorok a pegmatitos, hidrotermális szulfidos-magmatikus tartományok.

Az uránlelőhelyek legnagyobb részében az érc mezotermális, azaz 175–300° között keletkezett 1200–3000 m mélységben.

*Szurazsszkij* szerint az elsődleges uránásványoknak az oldatokból való kiválásában a főszerepet a következő típusú redoxegyenletek viszik:



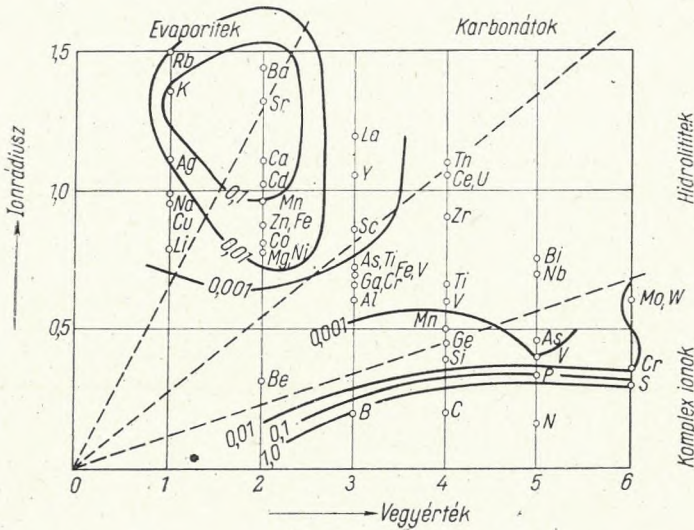
amely egyidejű szurokérc és hematit kiválásához vezet. Az is lehetséges, hogy a szurokérc az uranilszulfátvegyületekből kénhidrogén segítségével válik ki a következő egyenlet szerint:



Mivel az uránásványok kizárólag nyitott térségben rakódnak le, igen jelentősek a szerkezeti feltételek. A fő érchozó szerkezetek az ércfogó

regionális törések, amelyekkel szétnyíló hasadékrendszerek állanak kapcsolatban.

Az üledékes kőzetekben való elemfelhalmozódás törvényszerűségeinek megállapításában Szádeczky munkái irányadók. Szádeczky szerint az üledékes kőzetekben való dúsulást elsősorban az ionrádiusz és annak vegyértéke (töltésszáma) dönti el. A Szádeczky módosította Hutchinson diagramon a vízszintes tengely a vegyértéket, a függőleges tengely az ionrádiust, a kezdőpontokból sugárirányba haladó egyenesek pedig az azonos ionpotenciálokat jelentik. Az ionpotenciál egyenesek egyúttal elhatárolják a főüledékes kőzetcsoportok jellemző ionjainak területeit is.



43. ábra. A biofil elemek az ionpotenciál függvényében

Gyakorlatilag legnagyobb jelentősége a kőszén- és kőolaj geokémiájának van, mivel ezekben a szerves eredetű üledékekben számos ritka elem halmozódik fel. Az elemek dúsulását a humolitokban az ionpotenciál határozza meg és pedig a minimális és különösen a maximális ionpotenciálú ionok halmozódnak fel legjobban a kausztobiolitokban, míg a közepes ionpotenciálú ionok nem dúsulnak. Ezt a törvényszerűséget a diagram görbéi szemléltetik. A görbék a különböző ionok átlagos dúsulási értékeit mutatják a földkéregbeli koncentrációkhoz viszonyítva. Ha ez az érték (Clarke-szám) a földkéreg átlagos uránkoncentrációjának a három- vagy négyszeresére emelkedik, dúsulással számolhatunk. Az urán klarkja: 0,0004%, a tórium klarkja: 0,001%.

Az élő növényekben a legnagyobb elem dúsulás a maximális és minimális ionpotenciál területén jelentkezik és a dúsulás fokozatos csökkenése észlelhető, amint a közepes ionpotenciálok területe felé haladunk. Ez az értelmezés azonban egymagában nem kielégítő. A nyomelemek felhalmo-

zódása, amint arra *Goldschmidt* rámutatott, már a növényben kezdődik. A talajban levő kismennyiségű oldószer nem oldhatja teljes mennyiségüknek megfelelő arányban a talajban levő elemeket és ennek következtében az arány a kis mennyiségben jelenlevő elemek javára tolódik el. Az oldott elemek túlnyomórészben a levélben halmozódnak fel. Az évenként elhullatott levél mindinkább felhalmozza a talaj felső részében a ritkább elemeket, amelyek végül is jelentékenyebb mértékben dúsulnak a belőlük keletkező humolitokban.

Más a helyzet *Szádeczky* szerint az éghető kőzetek másik két csoportjában a jüttja- és a szapropélkőzetekben. Ezek nyomelemtartalmát feltételezhetően a szedimentációs közeg redoxpotenciálja\* és hidrogénion koncentrációja, ill. vegyületeinek ezzel összefüggő oldhatósági viszonyai határozzák meg. Mind a jüttja, mind a szapropél kőzetekre az üledékben keletkező kénhidrogén jelenléte, vagyis a redukáló hatás jellemző. Míg azonban a jüttja kőzetekben a kénhidrogén csak magában az üledékben halmozódik fel, addig a szapropélfélékben a kénhidrogén az üledék feletti vízben is jelen van. A jüttja üledék feletti víz tehát gyengén lúgos és csak magában az üledékben van egy vékony savanyú öv, ahol a kénhidrogén kénsavvá oxidálódik és ahol a redoxpotenciál is hirtelen erősen negatív értékűvé válik. A szapropél képződéskor viszont ez a savanyú öv magasan az üledék feletti vízrétegben jelentkezik és feltételezhetően kedvez a radioaktív elemek kiválásának.

Az U-vegyületeknek a természetben való oldhatóságát nagymértékben elősegíti vegyérték-változékonysága (az U-nak 3, 4, 5 és 6 vegyértékű alakjai ismeretesek). Ezzel szemben nehezen oldódik a változatlan vegyértékű Th. A Th ásványai igen ellenállóak, kevésbé mállnak, nagyobb felhalmozódásai torlatokból ismeretesek. A Th ásványok lassú elmállásakor Th-hidroxid keletkezik, amely az agyagos kőzetekben dúsul leginkább.

\* Az oxidálható és redukálható anyagokból álló rendszer, a redox-rendszer. A redox-rendszerekben kialakuló elektródpotenciál pedig a redoxpotenciál. Ez a redoxpotenciál a komponensek koncentrációjától függő érték. A  $\text{Fe}^{3+}$  és a  $\text{Fe}^{2+}$  ionokat tartalmazó rendszer redoxpotenciálja:

$$e = e_0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln \cdot \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

A számértékeket behelyettesítve és átszámítva tízes alapú logaritmusra és 15 C°-ra,

$$e = e_0 + 0,058 \cdot \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

ahol  $[\text{Fe}^{3+}]$  és  $[\text{Fe}^{2+}]$  a ferri, ill. ferroionok molkoncentrációját, ill. aktivitását,  $e_0$  a redoxi-rendszer (ill. redoxi-elektrod) normál potenciálját jelenti, vagyis a redoxpotenciált abban az esetben, ha a ferri- és a ferroionok egyenlő koncentrációban vannak jelen. Ebben az esetben  $\frac{[\text{oxidáns}]}{[\text{reducens}]} = 1$ , a képletbeli logaritmikus kifeje-

zés értéke 0-vá válik, tehát  $e = e_0$ .

( $R$  a gázállandó;  $T$  az abszolút hőmérséklet és  $F$  a Faraday-féle szám.)

A redoxpotenciált durván úgy lehet meghatározni, hogy ez a növekvő oxidációs-képesség mértéke.

Az U vegyületek oldhatósága jelentősen megnövekszik, ha a négy-vegyértékű U hatvegyértékűvé oxidálódik. Az U nagy ionpotenciáljánál fogva komplex ionokat alkot, amelyek komplex ionjellegük következtében könnyen oldódnak. Az oldott U vándorlása *Szalay* szerint főleg komplex karbonátos vegyületek alakjában történik.

Az U különböző körülmények között könnyen kicsapódik a természetes oldatokból, ha az oldatok hidrogénionkoncentrációja 5–8 között van.

*Szalay* kísérletileg kimutatta, hogy az uranyl-vegyületeket a friss, még nem oxidálódott humuszanyag mohón és csaknem kvantitatíve adszorbeálja. Így a mocsári korhadó növényi részek, savanyú lápföldek, a tőzeg, sőt a lignit is leköti. Az adszorpcióra legkedvezőbb, ha a hidrogénionkoncentráció 5 körül van. Nagyobb koncentráció esetén az U hidrolizál és a humusz oldódni kezd. Ha a koncentráció 3 alatt van, az uranylion adszorpciója a humuszon megszűnik.

Az oldatba ment U egy része az egyes hidrolititekben és oxiditekben szintén dúsulhat. *Stier* szerint a svájci üledékes kőzetekben az U-tartalom a következő határok között mozog:

K ö z e t	U g/t
Bitumenes kőzetek .....	2—96
Bauxit .....	1,5—22
Oolitos vasérc .....	0,5—1,5

A tengervízben sokkal több U van oldva, mint Th. A tengervíz oldott U-tartalma a tengervízben oldott Th-nak több, mint háromszorosa. A magmás kőzetekben a helyzet ennek éppen az ellenkezője.

A tengervízben nincs radioaktív egyensúly, mivel a Ra elválik anyaelemétől az U-tól és a Th-tól, és közvetlen ősével az Io-mal (Th-230) a vörös agyagban és a globigerinás iszapban dúsul. Az Io és a Ra változása a tengerfenéken levő rétegekben szabályosan követi a radioaktív bomlási görbét. Mivel ez a szabályszerűség állandó sebességű lerakódásra mutat, a bomlási görbéből kiszámítható a lerakódás sebessége. A Th és az Io a Mn-nal és a ferrivassal együtt csapódik ki. Az úrkúti psylomelán Méhes által észlelt radioaktivitása részben ezzel magyarázható. *Wimmenauer* adatai szerint a schwarzwaldi kryptomelán maximális urántartalma eléri az 1%-ot.

A sivatagi U előfordulásokban az U rendszerint hat vegyértékű és a V-mal együtt halmozódik fel.

Málláskor a Ra elkülönül az U-tól és a Th-tól.

A Ra kis mennyiségben földünkön mindenütt előfordul. Megtaláljuk a talajban és a legkülönbözőbb kőzetekben. Gázalakú terméke a rádium-emanáció (= radon) jelen van a talajvízben, a barlangok, bányák és a földfelszín levegőjében. A nagyobb hőfokú és nagyobb mélységből származó ásványos vizek, amelyek vastagabb földréteget, esetleg rádiumban dúsabb kőzeteket járnak át, aránylag nagyobb rádiumemanáció mennyiséget

tartalmaznak. Sajátságos, hogy az egymáshoz közelfekvő források vize néha igen eltérő radioaktivitást mutat.

Magyarország ásványos vizeinek rádiumemanáció tartalmáról *Horu-sitzky* és *Weszelszky* régebbi adatai tájékoztatnak.

Budapest, Rudasfürdő Rákóczi-forrás	7,32 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Rudasfürdő Török-forrás	6,21 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Rudasfürdő Kossuth-forrás	5,80 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Rudasfürdő Mátyás-forrás	5,24 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Ráczfürdő Nagy-forrás	3,12 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Ráczfürdő Kis-forrás	1,73 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Sárosfürdő-forrás	2,57 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő Török-forrás	1,05 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő István-forrás	0,92 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő Nádor-forrás	0,88 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő Mária-forrás	0,78 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő Ivó-forrás	0,58 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Császárfürdő Antal-forrás	0,55 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Királyfürdő-forrás	0,36 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Budapest, Margitsziget artézi kút	0,18 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Eger, Püspökfürdő-forrás	2,20 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter
Miskolc, Tapolcai hévforrás	0,29 · 10 <sup>-6</sup> mc/liter

A rádiumemanáció vízben aránylag rosszul oldódik. Az ásványos vízzel együtt feltörő gázban rendszerint nagyobb mennyiségű rádiumemanációt találunk, mint a vele együtt felszínre kerülő vízben. Így pl. az egri hévvízzel felszínre kerülő gáz  $8,20 \cdot 10^{-6}$  mc/liter rádiumemanációt tartalmaz.

Noha a rádium meglehetősen elterjedt, nagyobb mennyiségben — ritka kivételtől eltekintve — csak a szurokércben és más dúsabb urántartalmú ásványokban találják.

A hazai kőszenek radiológiai vizsgálata során *Földvári* és *Szalay* megállapították, hogy a Mecsek hegység kőszénösszetételének agyagos kőszeneiben a radioaktivitás, ill. az U-tartalom valamivel még nagyobb, mint a kőszenek átlagában. Feltételezik, hogy ez is annak a következménye, hogy az oldott U mennyiségét a bőséges humuszanyag csaknem kvantitativ adszorbeálja, s így a gazdagabb hozzáfolyású, ezért agyagosabb szénkőzetekben egyszersmind több U is van. Emellett lehetséges, hogy az U-t az agyagásványok is adszorbeálják.

Kisebb C-tartalomnál, amint azt Szádeczky közli az U-, ill. Th-tartalom a C-tartalommal arányosan növekszik. Minthogy azonban a humuszanyag nagymennyiségű U-t tud kvantitativ adszorbeálni, nagyobb C-tartalomnál ez az arányosság feltételezhetően megszűnik, mivel a szedimentáló közegben nincs többé elég U-oldat. Később az U egy része elszabadulhat az elbomló humuszanyagokból és ezt utólag a humuszanyagokhoz közelebb álló bituminites oxidációtermék, az aszfaltit, ill. a klorofil származású porfirin vegyületek veszik fel.

Az organikus üledékek nagyobb U-tartalma a hatvegyértékű, könnyen oldható U-nak nehezebben oldható négyvegyértékűvé redukálódásával lehet kapcsolatban.

Mivel a legnagyobb radioaktivitási értékek többnyire a törésvonalak mentén jelentkeznek, Szádeczky feltételezi, hogy a törésvonalak mentén feltörő nagyobb redoxpotenciálú oldatok az  $U^{4+}$ -t  $U^{6+}$ -vá oxidálva kioldják és az így koncentrált U-oldatok vándorolnak a törések mentén, megemelve annak aktivitását. Ezeket rendszerint a Fe-Mn oxid-hidroxid bevonatok adszorbeálják. Földvári kifejezetten utal arra, hogy a vas-oxiddal átitatott kőzetek mindenütt radioaktívabbak. A szárazföldi üledékek általában gazdagabbak radioaktív elemekben, mint az édesvízi és tengeri üledékek. Egyes szárazföldi tarka agyagban a radioaktív anyag-tartalom U ekvivalensben kifejezve eléri a 25 g/tonnát.

Legradioaktívabbak a szerves anyagot is tartalmazó üledékek. A legújabb magyarázat szerint a radioaktív elemek kolloidokban tömörülnek és ezért olyan kőzetekben dúsulnak, amelyek részben kolloid állapotból váltak ki.

A külföldi tapasztalatoktól eltérően egyes hazai bauxitfajták radioaktivitása túlnyomórészt Th-tól származik. Méhes és Csókás a gánti bauxit tömegabszorpciós vizsgálata, Kiss pedig a nézsai bauxit vizsgálata során állapította meg ezt a tényt. Kiss a nézsai bauxitban főleg a cirkont találta radioaktívnak, amely feltehetően a vele izomorf thoritot álcázza.

Egyes hazai radioaktív kőszenekkel kapcsolatban szerző felveti a gondolatot, hogy radioaktivitásuk lápi jellegükkel lehet összefüggésben. Eddigi vizsgálatai szerint ugyanis a legtöbb radioaktív anyagot a mélyebb síklápi és mélylápi kőszenek tartalmazzák. Mivel szerző kutatásai során a Balaton vizében élő recens algákat igen radioaktívoknak találta, felteszi, hogy a legtöbb radioaktív anyagot azok a kőszenek tartalmazzák, amelyekben a bituminit alga eredetű. A kérdést a folyamatban levő kőzet-mikroszkópi vizsgálatok hivatottak véglegesen tisztázni. A balatoni törésvonalmenti fonalas algák hamujának feltűnő radioaktivitása arra mutat, hogy a Balaton vize radioaktív anyag-tartalmát csak részben nyeri a lehordási terület kőzeteiből kioldott U-ból és Th-ból, míg nagyobb része a törésvonalak mentén felszivárgó radioaktív oldatokból származik.

Az a tény, hogy állóvizeink közül a Balatonban sok törpe faj él, kísérleti analógiák alapján feltehetően a víz vagy a tófenék intenzív radioaktivitásának tudható be. Ilyen értelmezésben a balatoni élővilág nánizmusai biológiai indikátorok lehetnek.

Az alábbi táblázat az egyes kőzetfajták átlagos radioaktív elemkoncentrációját tünteti fel Joly (1910), Minami (1935), Bell—Goodman—

Kőzetfajták	Koncentráció		
	U g/t	Th g/t	Ra g/t $10^{-6}$
Gránit magma .....	3,96	13,00	1,39
Átmeneti magma .....	2,61	9,97	0,92
Bázisos magma .....	0,96	3,90	0,60
Pszammitos üledék (homokkő) .....	0,65	5,40	0,71
Pellites üledékek (agyag stb.) .....	1,07	10,10	1,08
Mészkö .....	1,30	1,10	0,42

Whitehead (1940), Evans—Goodman (1941), Davis (1947), és Senftle—Keevil (1947) adatai nyomán.

A táblázatból kitűnik, hogy a magmatikus kőzetek radioaktivitása a kőzetek savanyúságával növekszik, lúgosságával csökken.

A pellites üledékek radioaktivitásában meglehetősen nagy szórás mutatkozik. A radioaktivitás általában a kőzet színével (ásványos összetételével) és szemcsenagyságával változik. (Legaktívabbak az egészen sötétszínű bitumenes, grafitos palák.)

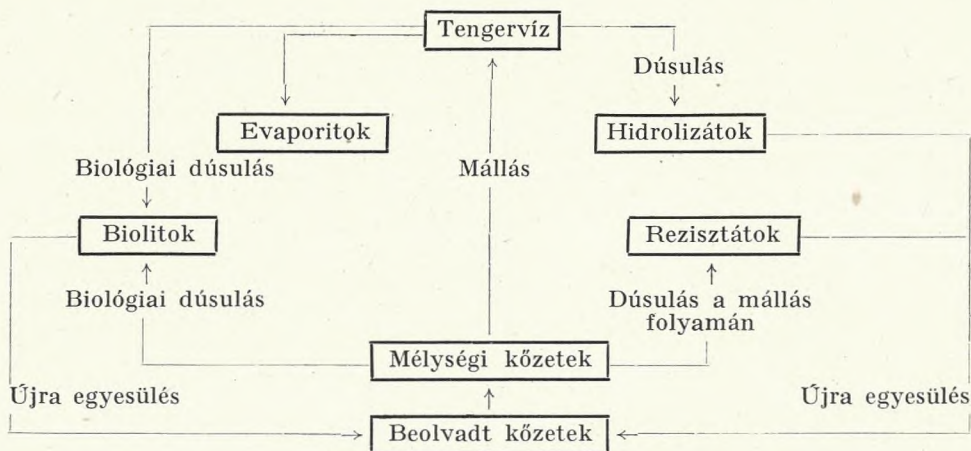
A Kárpát-medence kőzeteinek radioaktivitásáról *Finály* és *Szalay* közöltek kvantitatív adatokat.

Finály adatai szerint a Magas Tátra Felkai völgyéből származó gránitok átlagos Ra-tartalma  $2,62 \cdot 10^{-6}$ g/t. A gránitgneiszé ugyanott  $2,43 \cdot 10^{-6}$ g/t. A Nagy Fátrelbeli kisselmeci gránit  $2,12 \cdot 10^{-6}$ g/t. A limborazsdiái gránit  $2,08 \cdot 10^{-6}$ g/t. A sajóvédei biotitos gránit  $2,48 \cdot 10^{-6}$ g/t. A lapistyai gneiszes gránit  $1,78 \cdot 10^{-6}$ g/t. A börsönyi biotitos pyroxén andeziteké átlagértéket véve  $2,07 \cdot 10^{-6}$ g/t. A biotitszegény börsönyi pyroxén-andezit  $1,64 \cdot 10^{-6}$ g/t. Az erdőbényei bazalt  $1,93 \cdot 10^{-6}$ g/t.

Finály adatai is igazolják, hogy a radioaktivitás a kőzet savanyúságával növekszik és lúgosságával csökken.

Szalay adatai szerint a Velencei hegység gránitjai 8—9 g/t U-t és 40—60 g/t Th-ot tartalmaznak.

Az U körforgalmát a természetben *Rankama* és *Sahama* alábbi diagramja szemlélteti.



Az uránérctelepek genetikai típusait legújabban *Szurazsszkij* (1956) foglalta össze a túloldali táblázatban. (A táblázatban néhány lényegtelen módosítást eszközöltünk.)

**Az urán ipari lelőhelyeinek genetikai felosztása**

6. táblázat

	Alapvető genetikai ismertetőjelek			
	Az urán valószínű forrása	Az érces oldat valószínű jellege	Az urán felhalmozódásának valószínű módja	Az ércesedéssel kapcsolatos szerkezet
<p>A lelőhely osztálya és típusa</p> <p>I. Magmatogén lelőhelyek:</p> <p>1. Pegmatit és pegmatoid telérek</p> <p>a) Uraniumtartalmú gránitpegmatitok. Uránoxid-, tantal-, niobium-, titán- stb. oxidtartalommal</p> <p>b) Pegmatoid telérek vastitanát és urántitanát-tartalommal</p> <p>2. Hidrotermális telepek</p> <p>a) Tulajdonképpen U- és U-polimetalikus U-, Ni-, Co-, Bi-, Ag- és egyéb tartalmú telérek, amelyek nyitott repedésekben képződtek</p> <p>b) Tulajdonképpen urán-vasurán, rézurán stb. telepek, amelyek a melékőzet metaszomatikus átalakulása folytan jöttek létre</p>	<p>Kristályosodó magma</p> <p>A maradék magma</p> <p>Nagykoncentrációjú, bizonyult összetételű oldatok magas illóanyag-tartalommal</p> <p>Kiseb koncentrációjú, lúgos és lúgos-földfemes oldatok, amelyek egyszerű összetételűek és kis illóanyagtartalmúak</p>	<p>Közvetlen kristályosodás olvadékból</p> <p>Redoxfolyamatok kétvegyértékű vas jelenlétében</p> <p>Ua.</p>	<p>Plutonikus telérek</p> <p>Kontraktív és disztraktív hasadékok és regionális felszakadó hasadékrendszerek</p> <p>Az optimális hézagterfogató vonulatai</p>	
<p>II. Üledékes (szingenetikus) lelőhelyek</p> <p>1. Tengeri eredetű palás kőzetek</p> <p>2. Tengeri eredetű foszforitok</p>	<p>Óceánok vize</p>	<p>1. Szerves anyagok adszorpciója</p> <p>2. Együttes ülepedés Ca-foszfiáttal</p>	<p>Konkordáns vagy fészkes tömzsős telepük</p>	
<p>III. Üledékes eredetű metamorf képződmények</p> <p>1. Telepek mészkővekben</p> <p>2. Telepek szenes és kovás palákban</p>	<p>Kőzelebről meg nem határozott összetételű metamorfogén oldatok</p>	<p>Szerves anyagok jelenlétében végbement redoxfolyamatok</p>	<p>Konkordáns</p>	
<p>IV. Mállási felhalmozódásból származó előfordulások</p> <p>1. Homokkő- és konglomerátumokhoz kapcsolódó előfordulások</p> <p>2. Bitumen tartalmú szenek és lignitekben képződött telepek</p>	<p>Talajvizek, amelyek alkáli-földfemes közegben uranyl-karbonátot tartalmaznak.</p>	<p>Az uranylkarbonátos komplex vegyületeknek alacsony pH-értékekkel történő felbomlása és szerves anyagok általi történt abszorpciója</p>	<p>Az optimális hézagterfogató övezetei</p>	

## V. RADIOAKTÍV ÁSVÁNYOK

Ma már közel 300 radioaktív ásványt említ a szakirodalom. Ezeknek túlnyomó része ásványtani ritkaság gyakorlati jelentőség nélkül. Az alábbiakban felsoroljuk a közönségesebb radioaktív ásványokat, amelyek közül az iparilag hasznosítható urán- és tóriumásványokat kövér-  
betűs szedés jelzi.

A felsorolt többi ásvány nagy részének ismerete azért fontos, mert rendszerint uránércekkel együtt fordulnak elő és mintegy jelzik az iparilag hasznosítható urántelegek valószínű jelenlétét a közelben.

**Allanit** (= orthit). Ritka földet tartalmazó epidot ( $\text{HCa}_2 \text{Ce}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{13}$ ). Monoklin rendszerbeli kristályai gyantafényűek. Színe barna. Opak. **K**: 5,5–6. **Fs**: 3,5–4. Törése szilánkos. Pegmatitokban, gránitban, szienitben és gneiszben fordul elő. Lelőhelyei: Kararfvet (Svédország), Kelet-Grönland, Arendal (Norvégia), Achmatovsk (Szovjetunió), Moriah, Essex County, valamint Orange County (New York állam), Chester County (Pennsylvania), Amelia County (Virginia), Sussex County (New York állam), Llano County (Texas).

Varietásai az uralorthit (Ilmen hegység), a bodenit (Marienberg), a bucklandit és tautolit (Laachi-tó), a cerin Vastmanland (Svédország).  $\text{ThO}_2$ -tartalma: 1–3%.

**Autunit**. Kalciumuránhidrofoszfát ( $\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Rombos, táblás vagy pikkelyes kristályai gyöngyházfényűek és zöldessárga színűek. Karca sárgás. Áttetsző vagy átlátszó. Ibolyántúli fényben ragyogó sárgászöld színben fluoreszkál. **K**: 2–2,5. **Fs**: 3–3,2 változó víztartalommal. Másodlagos uránásvány, amely főleg az oxidációs övben, valamint a hidrotermális eredetű erekben és pegmatitokban fordul elő uraninit és más uránásványok származékaként. Lelőhelyei: St-Symphorien és Autun (Franciaország), Sabugal, Guarda, Vizeu (Portugália), Johanngeorgenstadt (Németország), Falkenstein (Szászország), Hagendorf és Pleystein pegmatitjaiban (Bajorország), Cornwallban (Anglia), Katangában (Belga Kongó), Mt. Painter (Dél-Ausztrália) és az Egyesült Államokban számos helyen.  $\text{U}_3\text{O}_8$ -tartalma: 60%.

**Betafit** (= Mendelejevit). Kalciumurántitánniobáttantaláthidrát [ $(\text{U}, \text{Ca}) (\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_3\text{O}_9 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ]. Oktaéder alakú kristályai viasz-, üveg- vagy félfémfényűek. Színe: zöldesbarna. Sárgaszínű változata az ólomtartalmú samiresit, feketeszínű változata a titanian. Áttetsző. Izotróp. Áteső fényben majdnem színtelen. **K**: 4–5,5. **Fs**: 3,7–5. (A legmagasabb értéket az ólomtartalmú samiresit mutatja.) Törése kagylós. Rideg. Gránitpegmatitokban ritka földet tartalmazó ásványokkal együtt fordul elő számos lelőhelyen Madagaszkáron, varietásaival: a samiresittel vagy plumbiánnal. A Szovjetunióban a mendelejevit néven nevezett betafit lelőhelye Sludianka (Szibéria). A mendelejevit a Bajkál-tó mellett pegmatitban titanittal, gránáttal, cirkonnal, magnetittel és pyroxénnel együtt található. A titanián Hogsjaaen pegmatitjában Targen mellett, továbbá

Evje, Landsnerk, Ljosland és Satersdalenben (Norvégia) fordul elő.  $U_3O_8$ -tartalma 15–27%.

**Blomstrandin** (= priorit). Niobiumot és titánt tartalmazó tórium-ásvány, ritka földekkel (Y, Er, Ca, Fe<sup>2</sup>, Th) (Ti, Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>). Változata az eschynit [(Ca, Ce, Fe<sup>2</sup>, Th) (Ti, Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]. Rombos kristályaik táblásak. Fényük változó: viaszfényű, gyémántfényű vagy matt. Színük a feketétől a sötétbarnán át a sárgáig változik. Izotrópok. Áteső fényben csak a szélükön áttetszők. Törésmutatóik:  $2,26 \pm 0,01$  (eschynit),  $2,142 \pm 0,01$  (priorit). Karcuk majdnem fekete, az eschynité olykor barna, a priorité olykor vörössesárga. **K**: 5–6. **Fs**:  $5,19 \pm 0,05$  (eschynit),  $4,95 \pm 0,10$  (priorit). Törésük kagylós. Ridegek. Az eschynit nefelin szienitben és miacsitban földpáttal, cirkonnal és samarskittal az Ilmen hegységben, Miasknál található. A priorit gránitpegmatitokban euxenittel, cirkonnal, monacittal, xenotimmal, allanittal és ritka földeket tartalmazó ásványokkal Norvégiában fordul elő. ThO<sub>2</sub>-tartalmuk: 2–17%.

**Brannerit**: Urántitanát. Rombos. Olykor szemcsés. Feketeszínű ásvány. Karca sötét szürkésbarna. **K**: 4,5. **Fs**: 4,5–5,4. Aranytorlatokban a Stanley-medencéből (Idaho) ismeretes víztől koptatott, alluviális kavicsként.  $U_3O_8$ -tartalma 43%.

*Bröggerit* lásd uraninit.

**Carnotit**. Káliumuránvanadáthidráttal ( $K_2O \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot nH_2O$ ). Rombos vagy monoklin (?) kristályai mikroszkópikus méretűek. Gyakran tömött. Fénye: gyöngyház- vagy selyemfény. Színe: világos citrom- vagy kanárisárga. **K**: 1. **Fs**:  $4 \pm$ . Pleochroós. Fő lelőhelye a Kolorádó-fennsík, Utah, Újmexikó és Arizona. Üregekben, homokkőben, mészkőben, homokokban, valamint a homokkőbe zárt fosszilis fatörzsekben és bituminitekben található másodlagos ásványként. Rendszerint együtt fordul elő a roscoelittel, amely vanádiumtartalmú muszkovit.  $U_3O_8$ -tartalma tiszta állapotban 50–55%,  $V_2O_5$ -tartalma 18–20%.

**Chalkolith** lásd torbernit.

*Cleveit* lásd uraninit.

**Euxenit**. Yttriumniobáttantalát, Ce, Er, U, Th, Ca-tartalommal [(Y, Ca, Ce, U, Th) (Nb, Ta, Ti)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]. Rombos, vaskos kristályokban gránitpegmatitokban, arany- és ónelőhelyeken fordul elő. Fénye: gyémántfény, félfémfény, zsír- vagy üvegfény. Színe: fekete, zöld vagy barna. Karca: szürkés vagy vörössesbarna. Törése: kagylós. **K**: 6,5. **Fs**: 5. Izotróp. Áteső fényben barna, sárgásbarna, vörössesbarna színű. Klasszikus lelőhelye Jölster, Söndfjord (Nyugatnorvégia).  $U_3O_8$ - és ThO<sub>2</sub>-tartalma 1–8%.

**Davidit**. Urán-vas-titanoxid + ritka föld. Fekete színű ásvány. Karca sötétbarna. Fénye üveg- vagy félfémfény. **K**: 5–6. **Fs**: 4,5. Törése egyetlen. Gyengén mágneses. Dél-Ausztráliában fordul elő erekben.  $U_3O_8$ -tartalma 7–10%.

**Fergusonit**. [(Y, Er, Ce, Fe) (Nb, Ta, Ti) O<sub>4</sub>]U- és Th-tartalommal. Tetragonális rendszerbe tartozó piramisos vagy prizmás kristályai szürke-, sárga- vagy barnaszínűek. Friss törési felülete gyémánt- vagy üvegfényű. Karca: barna vagy bársonyfekete. Izotróp. Áteső fényben színe a világos-

barnától a sötétbarnáig változik. Optikailag negatív. Egytengelyű, gyengén pleochroós. Törése kagylós. Rideg. **K**: 5,5—6,5. **Fs**: 5,6—5,8. Ritka földekben gazdag gránitpegmatitokban Grönlandon, Norvégiában samarskittal, ilmenitrutillal és ilmenittel az Ilmen hegységben (Szovjetunió), xenotimmal, cyrtolittal és biotittal Svédországban, továbbá Finnországban, Sziléziában és még számos helyen találják.  $U_3O_8$  tartalma 0—8%.

*Gummit.* Az urán oxidja ólommal és változó víztartalommal. Amorf külseje a gumira emlékeztet. Színe: sárga, narancsvörös, vörösesbarna vagy fekete. Zsír- vagy viaszfényű. Anizotróp. Áteső fényben narancsvörös vagy sárgaszínű. Ibolyántúli fényben ibolyaszínben fluoreszkál. Törése kagylós vagy egyenetlen. Rideg. **K**: 2,5—5. **Fs**: 3,9—6,4. Karca sárga, barna vagy olajzöld. Az uraninit mállási kérge.  $U_3O_8$ -tartalma: 40—80%.

*Mendelejevit* lásd betafit.

*Monacit.* Ritka földek foszfátja tóriumtartalommal [(Ce, La, Th)  $(PO_4)_3$ ]. Monoklin prizmás kristályai meglehetősen ritkák. Rendszerint vaskosan fordul elő. Fénye változó, gyakran gyanta- vagy viasz-, máskor üveg- vagy gyémántfényű. Színe a sárgás- vagy vörösesbarnától a barnáig változik. Áttetsző vagy átlátszó. Karca: fehér vagy színtelen. Mérsékelt paramágneses. Törése: egyenetlen. **K**: 5. **Fs**: 4,7—5,3. Áteső fényben sárgásbarna vagy sárga. Elsődlegesen pegmatitokban, másodlagosan üledékes folyóvízi vagy tengeri eredetű homokokban, ill. torlatokban fordul elő. Elsődlegesen: Arendal, Dillingö, Raade, Tvedestrand, Risör, Hvalö, Nöterö és Hitterö (Norvégia), Lilla Holma és Kararfvet (Svédország), Sordavala és Impilaks pegmatitjaiban (Finnország), az Ilmen hegységben Miasknál (Szovjetunió) és Madagaszkár káliumtartalmú pegmatitjaiban; másodlagosan: a Dél-Uralban a Sanarka folyó aranytartalmú homokjában, Dél-Afrika homokjában, Tasmániában, Nyugat-Ausztrália torlataiban, Új-Dél-Walesben és India torlataiban, Ceylonban, Banka és Biliton szigetén és Malayában, Minas Geraesben, Espirito Santo, Rio de Janeiro és Bahia provinciában (Brazília) és Llallaguában (Bolívia) és az Egyesült Államok számos helyén.  $ThO_2$ -tartalma 4—15%,  $U_3O_8$  tartalma: 0,1—1%.

*Nivenit* uraninitváltozat.

*Orlhit* lásd allanit.

*Polycras.* Ritka földek és urán niobátja és tantalátja [(Y, Ca, Ce, U) (Ti, Nb, Ta) $_2O_6$ ]. Rombos. Nagyon hasonlít az euxenithez. **K**: 5—6. **Fs**: 4,9—5,9. Lelőhelyei: Rasvåg, Hitterö, Kragerö, Hvaler, Fredrikstad, Alve, Helle, Mörefjaer és még számos helyen Tvedestrand és Arendal között (Norvégia). Az Egyesült Államokban Dél- és Észak-Karolinában, Texasban és Idaho államban.  $U_3O_8$ -tartalma 20%.

*Priorit* lásd Blomstrandin.

*Pyrochlor* (Na, Ca, Nb $_2$ O $_6$ ,F). Oktaéder alakú kristályai üveg vagy gyantafényűek. Színe: barna, feketés, vörösesbarna. Átlátszótól az opakig változik. Törése kagylós. Rideg. **K**: 5—5,5. **Fs**: 4,2—4,3. Izotróp. Lelőhelye: Brevik (Norvégia), Miask (Szovjetunió), Pikes Peak (Kolorádó).  $ThO_2$ -tartalma 5—7%.

**Samarskit.** Ritka földek és urán niobátja és tantalátja. [(Y, Er, Ce, U, Ca, Fe, Pb, Th) (Nb, Ta, Ti, Sn)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]. Rombos. Törési felületén üveg- vagy gyantafényű. Színe: bársonyfekete. Karca: vörösesbarna. Törése kagylós. Rideg. **K:** 5–6. **Fs:** 5,6–9. Szilánkjai áttetszőek. Izotróp. Áteső fényben világosbarnától sötétbarnáig. Gránitpegmatitokban Miask mellett (Ural), Ánneröd (Moss mellett) és még számos más helyen a norvégiai gránitpegmatitokban, továbbá gránát- és muszkovittartalmú pegmatitokban Madrasban (India), Borneóban, a madagaszkári almandin és magnetit-pegmatitban, Kivuban (Belga Kongó), Ishikava (Japán) Minas Geraes (Brazília) pegmatitjában monacittal, muszkovittal és columbittal együtt, valamint Északkarolinában, Baltimorében, Kolorádóban, Idahóban, Kaliforniában és Kanadában. U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma 9–18%, ThO<sub>2</sub>-tartalma 1–4%.

**Schroekingerit** [NaCa<sub>3</sub> (UO<sub>2</sub>)(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · (SO<sub>4</sub>) F · 10H<sub>2</sub>O]. Sárga, sárgászöld színű ásvány. Karca: halványsárga, zöldessárga. Gyöngyházfényű. **K:** 1. **Fs:** 2,5. Ibolyántúli fényben ragyogó sárgászöld színben fluoreszkál. Gipsztartalmú homokos agyagban, pelyhes kristályokban vagy apró, kerek golyókban fordul elő az Egyesült Államokban. Vízben oldódik. U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma 30%.

**Szurokérc.** Az uraninit tömeges változata, gömbös, vesés halmazokban és erekben fordul elő. Elsődleges ércerei az urán leggazdagabb forrásai. Jellegzetesen középhőmérsékletű és nyomású (mezotermális) ércásvány, amely rendszerint a vas, réz, kobalt, ólom, ezüst és bizmut kíséretében fordul elő. Fajsúlya 6–9. Leghíresebb lelőhelyei Shinkolobwe, Belga-Kongóban, Nagymedve tó Kanadában és Jachymov Csehszlovákiában, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma 50–80%.

**Thorianit.** A tórium és urán oxidjainak izomorf elegye. Szabályos hexaéderekben kristályosodik. Fénye szaru- vagy félfémfény. Színe sötét-szürkétől barnásfeketéig, ill. feketéig változik. Karca szürke vagy zöldes-szürke. Igen vékony szilánkjai áttetszőek. Törése egyenetlen. Rideg. **K:** 5–7. **Fs.** 9 +. Izotróp. Gránitpegmatitokban és gneiszekben alluviális arany- és óntartalmú torlatok lekoptatott kavicsaiban található Ceylonban és számos más lelőhelyen. U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma 12–33%, ThO<sub>2</sub>-tartalma 38–93%. Ha U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma a 15%-ot meghaladja, uranothorianitnak nevezik.

**Thorit.** Tórium-szilikát (ThSiO<sub>4</sub> + ritka földek és kb. 2–17% U). A tetragonális holoéderes osztályban kristályosodik. Vaskos előfordulásokban is ismert. Fénye a friss törési felületen üveg- vagy gyantafényű. Színe fekete, barnássárga, narancssárga, karca a narancsvöröstől a sötétbarnáig változik. Áttetsző vagy opak. Törése kagylós. Rideg. **K:** 4,5–5. **Fs:** 4–6. Szienitekben, pegmatitokban gyakori, valamint az alluviális arany- és ónlelőhelyeken. Erekben Kolorádóban, Idahóban, Kaliforniában és Új-Mexikóban; homokban és torlatokban Dél-Westlandban, Dél-Izlandon, Új-Zealandban és Közép-Kaliforniában fordul elő. ThO<sub>2</sub>-tartalma 48–70%. Ha U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-tartalma az 5%-ot meghaladja, uranothoritnak nevezik.

*Thucholit.* Szénhidrogéntartalmú ásvány ritka földekkel, uránnal, tóriummal, szilíciummal és vízzel. Fénye gyémántfény, színe szénfekete. Opak. **K:** 3,5–4. **Fs:** 1,78. Gyakran társul uraninittel és cyrtolittal Parry Sound pegmatitereiben Ontarióban.  $U_3O_8$ -tartalma 2–8%,  $ThO_2$ -tartalma 10–12%.

*Torbernit* vagy chalkolith. Réz- és urán-hidrofoszfát ( $CuO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot nH_2O$ ). Rombos kristályai zöldszínűek és gyöngyházfényűek. Áttetsző és átlátszó. Ibolyántúli fényben sárgászöld színben fluoreszkál. **K:** 2–2,5. **Fs:** 3,2–3,6. Másodlagos ásvány, amely autunittel és más szekunder uránásványokkal társul, mint az uraninit oxidációs terméke. Különösen uránpegmatitokban és szulfidos réztelésekben található. Jachymovban, Zinnwaldban, Schlaggenwaldban, Johanngeorgenstadtban és Schneebergben, továbbá Cornwallban, számos kisebb lelőhelye ismeretes Franciaországban, Spanyolországban Estramadurában, Északnyugat Portugáliában Vizeuban és Sabugalban. Ezenkívül Kasoloban, Sinkolobvénban és másutt Katangában, továbbá Dél-Ausztráliában és az Egyesült Államokban Connecticutban, New-Englandban, Dél-Dakotában, Utahban, Kolorádóban és Új-Mexikóban.  $U_3O_8$ -tartalma 60%.

*Tyuyamunit.* Bázikus kalciumuránvanadáthidrát ( $CaO \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot nH_2O$ ). Rombos gyöngyházfényű kristályai kanárisárga-zöldessárga színűek. **K:** 2–3. **Fs:** 3,67–4,35 (Kolorádó) 3,3–3,4 (Tyuya-Muyun). Átlátszótól opakig változik. Áteső fényben színtelen vagy halványsárga. Pleochroós. Fő lelőhelye Tyuya-Muyun (Turkesztán). Előfordul még Kolorádóban, Új-Mexikóban, Kelet-Utahban, valamint Arizonában.  $U_3O_8$ -tartalma tiszta állapotban 48–55%.

*Uraninit.* ( $UO_2, UO_3$ ). Primer uránásvány. A szabályos rendszerben kristályosodik oktaéderben, hexaéder és oktaéder kombinációjában vagy hexaéderben. Tömeges változata a **szurokére**. Szurokfényű ásvány. Színe barnásfekete, szürke vagy olajzöld. Opak. Áteső fényben vékonycsiszolata zöldes, sárgás vagy barnásszínű. Izotróp. Törése kagylós. Rideg. **K:** 5,5. **Fs:** 8–10,5. Karca barnásfekete, zöldes, olajzöld, kissé fénylő. Igen vékony szilánkjai áttetszők. Mind az uraninit, mind a szurokére jól oldódik salétromsavban és kénsavban. Változatai a bröggerit, a cleveit vagy nivenit. Utóbbi 10% Y-, Ce- és He-ot tartalmaz. Az uraninit előfordul gránit és szienitpegmatitokban Grafton Center (New Hampshire), Villeneuve (Quebec), Cardiff Township (Ontario), Dél-Norvégia, Morogoro (Kelet-Afrika), valamint magas- és középhőmérsékletű hidrotermális telérekben.  $U_3O_8$ -tartalma 50–85%.

*Uranophan,* vagy uranotil. ( $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 6H_2O$ ). Rombos. Tömeges előfordulása rostos szerkezetű. Citrom- vagy pasztellsárga. Gummiváltozat. Ibolyántúli fényben igen gyengén, sárgászöld színben fluoreszkál. **K:** 2–3. **Fs:** 3,8–3,9. Üvegfényű. Uraninittel társul. Leleőhelyei: Szilézia, Szászország, Norvégia, Belga-Kongó, Dél-Ausztrália, az USA-ban Észak-Karolina, Pennsylvánia és Wyoming.  $U_3O_8$ -tartalma 65%.

*Zippetit.* Bázikus uránszulfáthidrát [ $(UO_2)_2(SO_4) O \cdot nH_2O$ ]. Rombos.

Matt vagy selyemfényű, narancssárga színű. Ibolyántúli fényben ragyogó sárga színben fluoreszkál. Negatív karakterű, kéttengelyű, pleochroós ásvány. Másodlagos uránásvány. Leőhelyei: Jachimov, Přebiram és Schlaggenwald (Csehország), Cornwall (Anglia), Gilpin County (Kolorádó), Fruita, Wayne County (Utah) és a Nagy Medve-tó (Kanada).  $U_3O_8$ -tartalma 68%.

*Xenotim*. Yttriumfoszfát tóriummal és uránnal [ $Y(PO_4)$ ]. Tetragonális rendszerbeli kristályai üvegfényűek. Színe sárgásbarna, vörösesbarna, szürkésfehér, halványsárga és zöldes lehet. Karca halványbarna, sárgás vagy vöröses. Átlátszótól opakig változik. Mérsékelt paramágneses. **K:** 4–5. **Fs:** 4,4–5,1. Egyenetlen, szilánkos törésű. Áteső fényben színtelentől halvány sárgászöldig, sárga, vagy sárgásbarna.

Savanyú és alkáli kőzetek járulékos ásványa, nagyobb kristályokban pegmatitokban találják. Így Norvégia gránit-pegmatitjaiban, gadolinittel, polycrassal-euxenittel, allanittal, cirkonnal, ytrotantalittal és torittal társulva. Fontosabb leőhelyei: Hitterő, Tvedestrand és Garta, Aus-Adger, Raade, Kragerő és Telemark (Norvégia), Itterby (Svédország), Mt. Fibia, Valais, Tavetschtal, Graubünden (Svájc), Königshain gránitjában és monacittal Schreiberhauban (Szilézia), Pisek és Schuttenhofen (Csehország). Alluviális leőhelyeken Kiravoravóban (Madagaszkár). Járulékos ásványként gránitban Cape tartományban (Dél-Afrika). Ezenkívül Manbhum vidékén, Bihar és Orissa tartományban (India). Folyóvízi homokokban Észak Westlandban, Új-Zealandban. Előfordul továbbá gránitban és alluviális leőhelyeken Minas Geraesben Dattasnál Diamantina mellett és Pombánál, valamint a gyémántmosókban Bahiában. Az Egyesült Államokban Észak-Karolinában, Alabamában, New York államban és Kolorádóban.  $ThO_2$  tartalma 2–5%.  $U_3O_8$  tartalma 3–4% lehet.

## VI. URÁNÉRCEK TELEPTANA

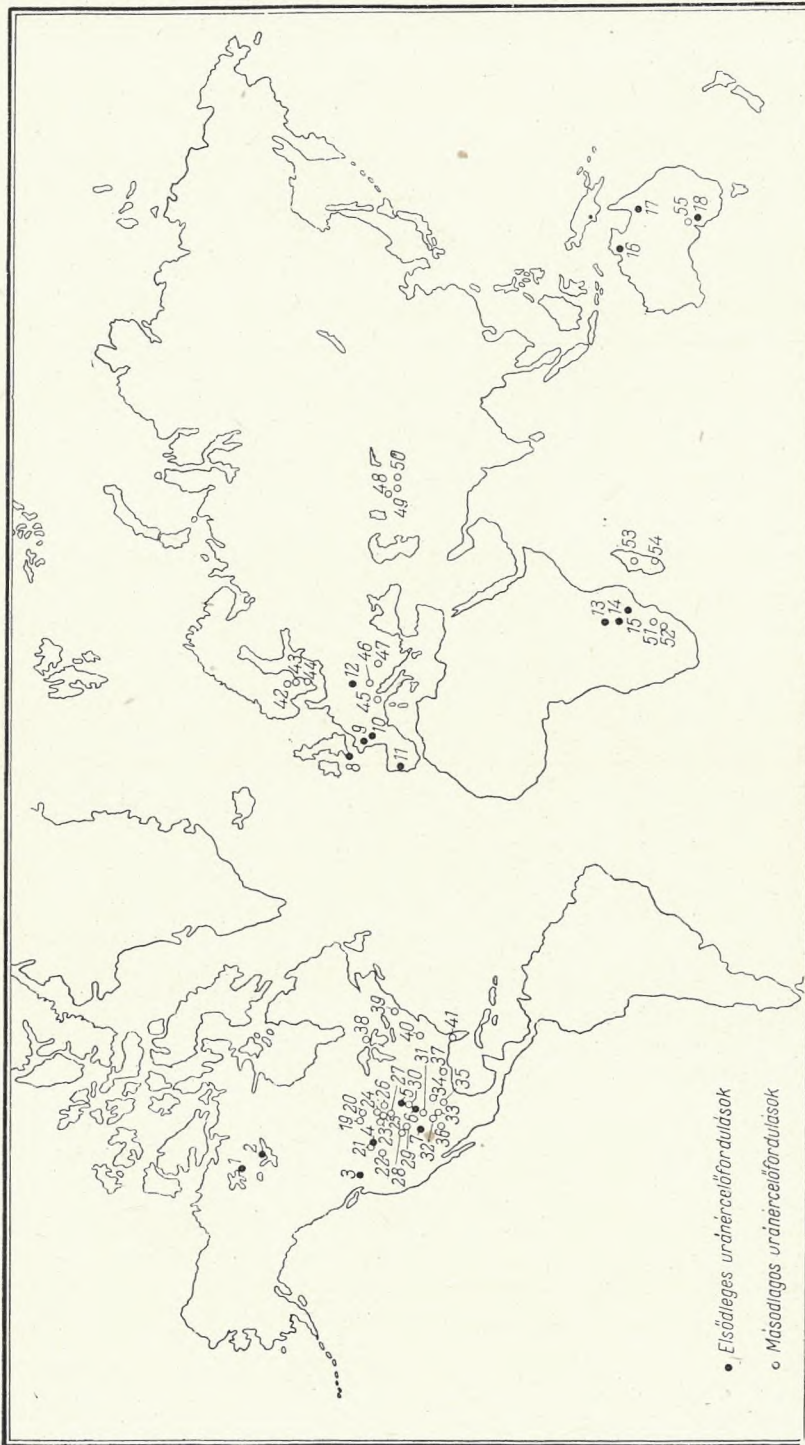
Az uránércek teleptani típusait két főcsoportba sorolhatjuk, az elsődleges (magmatikus) és másodlagos (üledékes származású) telepek csoportjába. Az elsődleges előfordulások pegmatitok vagy hidrotermális származású telérek, a másodlagosak karnotithomokkövek, foszfátos palák, urántartalmú bitumenes fekete palák és torlattelepek lehetnek. A karnotit telepek általában sivatagi képződmények. A foszfátos palák és a bitumenes fekete palák tengeri eredetűek. Utóbbiak oxigéntől elzárt tengerfenéken keletkeztek.  $U_3O_8$  tartalmuk mindössze 1–2 tized százalék. Mind a magmatikus, mind az üledékes előfordulásokhoz oxidációs előfordulások is kapcsolódhatnak.

A két főcsoporton belül kézenfekvőnek látszik az egyes érc típusokat azon kőzetfajták és ásvány, ill. érc társulások alapján osztályozni, amelyekben, ill. amelyekkel rendszerint együtt fordulnak elő.

### A) Elsődleges (magmatikus) telepek

#### 1. Urántartalmú pegmatitok

Az urántartalmú pegmatitoknak az urán kinyerése szempontjából nincs nagy gyakorlati jelentőségük, mivel az urán csak mellékelegyrész-



• Elsődleges uránércelőfordulások  
 ○ Másodlagos uránércelőfordulások

44. ábra. A Föld iparilag használható uránércelőfordulásai (Ninninger után)

1. Port Radium (Kanada); 2. Beaverlodge, Saskatchewan (Kanada); 3. Spokane (Washington); 4. Boulder (Montana); 5. Front Range, Rocky Mountains (Kolorádó); 6. Cochetope (Kolorádó); 7. Marysvale (Utah); 8. Cornwall (Anglia); 9. Vendée (Franciaország); 10. Centráli masszívum (Franciaország); 11. Urgelira (Portugália); 12. Csehszász értegyiség; 13. Shimkolohve (Belga Kongó); 14. Rhodéziai rézlelőhelyek; 15. Tete, Mozambique (Kelet-Afrika); 16. Rum-Jungle (Ausztrália); 17. Mt. Isa (Ausztrália); 18. Radium Hill (Dél-Ausztrália); 19. Cave Hills (Dél-Dakota); 20. Slim Buttes (Dél-Dakota); 21. ENY-1 foszfátok (Montana, Idaho, Ny-Wyoming és É-Utaho); 22. Bear Valley (Idaho); 23. Wind River Basin (Wyoming); 24. Black Hills (Dél-Dakota); 25. Powder River Basin (Wyoming); 26. Silver Cliff Mine (Wyoming); 27. Lost Creek (Wyoming); 28. Thomas Range (Dél-Dakota); 29. San Ratael Swell (Utah); 30. Garo (Kolorádó); 31. Kolorádó plató központi része; 32. White Canyon (Arizona); 33. Navajo Reservation (Arizona); 34. La Ventana (Új-Mexikó); 35. Grants-Laguna (Új-Mexikó); 36. Sierra Ancha (Arizona); 37. Karnes County (Texas); 38. Blind River, Ontario (Kanada); 39. Mauch Chunk (Pennsylvania); 40. Chattanooga-ágyag (Tennessee); 41. Floridai foszfátok; 42. Norke (Svédország); 43. Ostergötland (Svédország); 44. Skane (Svédország); 45. Cuneo-Lurisia (Olaszország); 46. Kővágósöllös (Magyarország); 47. Bukhova (Bulgária); 48. Kara Tau, Turkesztán (Szojvetunió); 49. Ferghanamedence (Szojvetunió); 50. Tyuya Muxun, Ferghana (Szojvetunió); 51. Witwatersrand (Dél-Afrika); 52. Orange Free State (Dél-Afrika); 53. Vinaminkarena (Madagaszkár); 54. Fort Dauphin (Madagaszkár); 55. Mt. Painter (Dél-Ausztrália)

ként, szabálytalan, fészkes eloszlásban fordul elő és mennyisége a mélység felé csökken. Az urántartalmú pegmatitoknak két típusa ismeretes.

a) A tulajdonképpeni *gránitpegmatit uraninittel*, amely a többi szurokércelőfordulással ellentétben mindig gazdag tóriumban és átlagosan 6–15%  $\text{ThO}_2$ -t tartalmaz rendszerint muszkovittáblák, kvarckristályok, földpátok, beryll és lithiumásványok társaságában, és

b) az urántartalmú *niobium-tantal pegmatit*. Ezeket a pegmatitokat legelőször a délnorvég és a délsvéd alkáligránit területeken ismerték meg és számos ritka ásványt tartalmaznak. Nagyobb kiterjedésben fordulnak elő Madagaszkáron, ahol a fő uránásvány a betafit, amely az U és Ca komplikált összetételű niobátja és tantalátja, s amelyből mázsás súlyú kristályhalmazokat találnak. Braziliában hasonló előfordulások vannak Sao Joao del Rey és Minas Geraes ólomtartalmú pegmatitjaiban, amelyeknek főérce a kassiterit, djalmit kíséretében, amely a betafithez közelálló uránniobát és urántantalát.

## 2. Szurokércet tartalmazó hidrotermális érctelések

Az urán egy része a pegmatit fázisból továbbvándorol és a hidrotermális maradékoldatokban más ércekkel társulva többnyire géltexturájú szurokércként dúsul. Tóriumdioxid tartalma általában nem haladja meg a 0,01%-ot.

Az egyes szurokérctelepeket a bennük domináló fémek szerint a következőképpen osztályozhatjuk.

a) *Szurokérc tartalmú kobalt-nikkel-, bizmut-, ezüst-, érctelések*. Ennek a telérsoportnak legjellegzetesebb ércei az arzenidek, a kobalt- és nikkel-ércek (smaltin, safflorit, chloantit-rammelsbergit, nickelin), továbbá többé vagy kevésbé dús fémes bizmut. A felső övben sok a fémes ezüst, amelyhez szurokérc társul. Legismertebb előfordulásai a Cseh-Szász-Érchegység telérei a négy bányavárossal: Annaberg, Schneeberg, Johanngeorgenstadt és a csehországi oldalon Jachymov (régii nevén Joachimsthal).

Schneebergben a szurokérc kobalt-, nikkelércekkel, valamint a bizmuttal és az ezüsttel egységes elsődleges származású ásványosodási fázist alkot. Itt a szurokércet több, mint 100 éve melléktermékként először a sárga uránfestékek előállításához dolgozták fel.

Johangeorgenstadtban a szurokérc főleg nagyobb mélységben önállóan is előfordul. Szabályos szurokércbányászat a csehországi Jachymovban már évtizedek óta folyik. A szurokérc itt a telérek mélyebb övében jelentkezik és nyilván magasabb hőfokon vált ki. Kísérőásványai a pirit, a szfalerit, a galenit és a kalkopirit. A jachymovi telérek csillámpalákban, a johangeorgenstadtiak pedig kontaktpalákban futnak. A jachymovi szurokércgazdag réteg a Schneebergi telérek legmélyebb zónájával párhuzamosítható. E felett az uránzóna felett olyan zóna van, amely kobalt-, nikkel- és bizmutérceket tartalmaz, amely felfelé mindig gazdagabb lesz ezüstben, és végül szabályos ezüstzónába megy át. Az uránzónában a szurokérc vékony erek, valamint kis fészkek és lencse alakú képződmények

formájában lép fel, dolomit és némi fluorit kíséretében. A dolomitot az érc intenzív radioaktív sugárzása erősen vörösbarnára színezi olyan karakterisztikusan, hogy ez a szín nyomjelzőként használható fel a szurokércerek felkutatásához. A fluorit viszont bűzös páttá alakul át. A kísérő mellékkőzet, a csillámpala helyenként uránvegyületekkel van impregnálva. A kitermelt nyersérc régebben, amikor még korlátlan mennyiségben használták a szép sárga uránfestékek előállítására, amelyeket a kerámiai- és üvegiparban, a fényképezésnél és a textilfestékek nyomásánál alkalmaztak, elég gazdag volt és átlagosan 1% szurokércet tartalmazott. A termelés 1898-ban érte el első csúcspontját, amikor a Curie házaspár a jachymovi szurokércben felfedezte a rádiumot. A termelés második csúcspontját 40 évvel később érte el, amikor 1938-ban Hahn felfedezte az atommaghasadást. A rádium világmonopóliuma jóideig Jachymové volt.

A Cseh-Szász-Érchegység szurokércelőfordulásai genetikailag a variszkuszi gránitmagmatizmussal kapcsolatos hidrotermális fázishoz tartoznak.

A Cseh-Szász-Érchegységhez hasonló előfordulások vannak a középső Schwarzwaldban, a Wolfach melletti Wittichenben. A szurokérc itt is a kobalt-nikkel-bizmut-ezüst-ércformáció telereiben fordul elő. Az itteni régi kobalt-ezüst bányából származó urántartalmú meddőhányó átlagosan 0,4% U-t tartalmaz.

A Cseh-Szász-Érchegység előfordulásaihoz hasonló urántelepek vannak Kanadában. Ezek ezüstércelőfordulásokkal kapcsolatosak kobalt és nikkel-ércék társaságában, és a Nagy Medve-tó egyik öble mellett vannak. Eddig két igen gazdag előfordulást találtak. Az egyik La Bine Point környékén, a másik ettől 15 km-rel délebbre van.

Az előbbi helyen metamorfizált őskori dácitokban és tufákban, valamint finomszemcsés üledékekben vannak az elkvarcosodott breccsákból álló érczónák. Az érctelepek uralkodó tömegét alkotó szurokérc géltextúrájú. A másik délebbre levő előfordulásban az őskori metamorf üledékekben granodiorit és savanyú gránitok vannak, amelyek az előbbi előfordulásban levő dácitoknál valamivel fiatalabbak.

A kinyert ércet kezdetben szokatlanul gazdagok voltak. A legutóbbi adat szerint a nyersérc  $U_3O_8$ -tartalma 1,0%. A bányászat 11 szinten dolgozik 400 m mélységig. További feltárás 600 m mélységig folyamatban van, s így a bánya jövője kedvező képet mutat. Egyetlen hátránya, hogy a sarkkör alatt fekszik, ami a szállítást nagymértékben megnehezíti.

A hidrotermális telepek sorába tartoznak a katangai Shinkolobwe szurokércetelepei Belga-Kongóban, ahonnan 1921-től 1938-ig a Föld rádiumtermelésének a zöme került ki. A telep kiválása több fázisban történt. Először apatit, monacit, turmalin és kloritásványok váltak ki. Az ezt követő főfázis terméke a szurokérc kvarccal. A következő fázis kobalt-nikkel-vas- és rézszulfidos-arzenides ásványokat tartalmaz és helyenként molibdenit is előfordul. Az utolsó fázis karbonátokat tartalmaz.

Shinkolobwe a katangai rézterületen fekszik, közel az északrhodéziai határhoz, kb. 20 km-re Panda várostól. A telepet 1915-ben fedezték fel.

A szurokérc itt nem gélyszerű, hanem kristályos, szemcsés uraninit.

Az uralkodó érc itt maga az urán. A bizmut és az ezüst itt hiányoznak, viszont kevés fémes arany van.

A shinkolobwei előfordulás pneumatolitos ásványaival a telepnek kifejezetten katatermális jelleget kölcsönöz, szemben a többi mezotermális szurokérc előfordulással.

A szurokérc oxidációs zónájában számos rikitó sárga, narancssárga és zöld színekben játszó másodlagos uránásvány van, amelyek nagyrészt uránhidroxidok, ólomuranátok, uránszilikátok és uránfoszfátok. Ezeknek az ásványoknak az ólomtartalma az urán végső bomlási terméke, a rádiumólom, amelynek százalékos mennyiségéből Shinkolobwe uránércének korát több, mint 600 millió évre becsülik.

Shinkolobwe ércei igen gazdagok voltak uránban. Ma már a bányászat a szegényebb impregnációs ércek kinyerésére szorítkozik. Mindezek ellenére Shinkolobwe még ma is a legnagyobb készletekkel rendelkezik.

1921—1939-ig 126 000 tonna uránércet termeltek ki és ebből 776 g rádiumot állítottak elő.

b) *Szurokérc tartalmú réztelések.* Jellegzetes urántartalmú rézteléseket az angliai Cornwall ónérc-réztartomány hidrotermális rézérc teléreiben találunk. Ezek a telések a gránitban, tehát a magmagóc közelében csak ónércet tartalmaznak, ettől távolabb a határos palaköpenyben viszont szulfidos rézércet. Ezekkel a rézércekkel együtt teljesen szabálytalan eloszlásban szurokérc is előfordult. A paragenezis szerint volt egy régebbi fázis kalkopirittel, arzenopirittel és wolframittal, s egy későbbi fázis a kobalt és nikkell szulfidjaival, arzenitjeivel és szurokércel. A főérc a réz. Szurokércet csak mellékesen termeltek és mennyisége a növekvő mélységgel valószínűleg erősen csökkent.

Újabbán 1949-ben Ausztráliában fedeztek fel urántartalmú rézércet, Rum Jungle mellett, kb. 100 km-re délre Port Darwin kikötőtől. Az ottani telések kalkopiritet, bornitot, bournonitot és piritet tartalmaznak szurokércel együtt. Ezek prekambriumi, gránitintruziós üledéksorozatban vannak, mellékkőzetük főleg szenes- és grafitos pala. Rézszegény telések is vannak másodlagos autunittal és uránokkal.

c) *Kvarcos-pirités szurokércetek.* Ilyen előfordulás az utahi Marysvale-körzetről ismeretes, ahol uránércet 1949 óta termelnek ki kvarcos erekből, a késői krétától a harmadkorig terjedő monzonittal és gránittal. A másodlagos uránásványok a mélység felé szurokércbe mennek át. A szurokércet pirit, kevés ólom és molibdén kíséri. Az uránt fluoritos kvarctelér tartalmazza. Az amerikai mineralógusok ezt a típust szilikátos pirit-galenit érc típusnak nevezik, bár ebben az összetételben ritkán fordul elő.

d) *Szurokérc tartalmú hematiterek.* Saskatchewan kanadai tartomány északnyugati sarkában az Athabaska-tó tájékán vannak szurokérc tartalmú hematiterek. Ezt a területet Kanadában „uranium hot spot”, azaz az „urán forró foltja” néven ismerik. Az urántartalmú terület archaikus és prekambriumi üledéksorozatból áll, amely erős metamorfózis és gránitosodás következtében paragneisszé és pegmatitos gránitokká alakult át. Az egész területet nagy vetődési hasadékok harántolják, amelyek

több kilométeren keresztül közel párhuzamosan futnak egymással. A fő vetődési hasadékok között fiatalabbkorú hasadékhálózat keletkezett. A hasadékok mentén a hidrotermális oldatok a kőzetet elhematosították. A hematit, amelynek árnyalatai a vérvörös és sötétbarna között változnak, finom eloszlásban szurokércet tartalmaz. Más szurokércetartalmú területeken nemcsak a mellékkőzetek, hanem az egyes rétegek hematitos elszíneződése is (vörös kalcit, dolomit vagy kvarc) szurokérc előfordulására utal. Az érc vastagsága 5—15 m között van. Átlagos  $U_3O_8$ -tartalma 0,2—0,75 % között váltakozik.

### 3. Uráncillámotartalmú erek

A kétféle uráncillámot főleg a gránitterületek kvarctelerei tartalmazzák. A Cseh-Szász-Érchegységben és a Fichtel-hegységben főleg a hasadékköltések tartalmaznak autunitot. Műre érdemes telepek Portugáliában vannak Guarda gránitvidékén, az ország északi részében, a spanyol határ közelében. Az urgeiricai bánya 1908—1940-ig kb. 10 000 tonna ércet termelt. Az uráncillámot pegmatitok és pegmatitos kvarcerek, valamint a szomszédos kaolinosodott gránit tartalmazza. A legmélyebben feltárt Urgeirica-bányában az uráncillámok lefelé szurokércbe mennek át. Itt tehát az uráncillámok másodlagosak.

Hasonló telepek vannak a bajor Fichtelhegységben Weissenstadtnál a cseh határhoz közel. Az itteni érc torbernit, amely a gránit hasadékaiban fordul elő. De előfordul kvarcerekben is. Itt viszont valószínűleg elsődleges előfordulásról van szó, amint ahogy az uráncillámok nem minősíthetők mindig az uránszurokérc bomlási termékének.

## B) Másodlagos (üledékes származású) telepek

### 1. Kontinentális fáciesű képződmények

A kontinentális fáciesű képződmények sorába kétféle teleptípus tartozik. Az egyik folyóvízi eredetű és homokkőkonglomerátumokhoz kötött, a másik kausztobiolitokkal kapcsolatos. Az első típusba sorolhatók a Kolorádo-plato és a Ferghana-medence karnotitlepei.

a) *Karnotitlepek.* A kolorádói karnotit kanárisárga színű, víztartalmú káliumúránvanadát. Tiszta állapotban 50—55 %  $U_3O_8$ -at és 18—20 %  $V_2O_5$ -öt tartalmaz. Rendszerint együtt fordul elő a roscoelittal, amely vanádiumtartalmú muszkovit. Az ún. Red-bedformáció bizonyos homokköveiben fordul elő kötő vagy impregnáló anyagként. A red-bed élénkpiros homokköveket, arkózákat és teresztrikus konglomerátumokat tartalmaz, amelyek a perm-től a legfelső juráig terjednek. A red-bed perm-i és triász-kori rétegei rézércet, a jurarétegek viszont urán- és vanádiumércet tartalmaznak. Genetikusan, mállás folytán keletkezett telepeknek tekintik, amelyek száraz (sivatagi) klíma esetén keletkeztek. Az urán forrása valószínűleg szurokérc volt.

Az ércetek lencsés, táblás vagy pados kifejlődésű telepeket alkotnak az ércmentes homokkövekben. Vastagságuk néhány cm-től 5 m között

váltakozik. Átlagosan azonban 1,5 m-nél kevesebb. Noha csak igen korlátozott mennyiségben nyernek ki belőlük ércet, igen jelentősek, mivel igen sok van belőlük. Az uránércnek dúsulása gyakran szerves anyagon, fosszilis fatörzseken vagy ágakon történt. A legdúsabb ércet nagyrészt fatörzsekből állnak. Az egyes érctörmzsök igen kevés, 0,1–1%  $U_3O_8$ -t tartalmaznak, de az átlag 0,1% körül van. 1913–1926 között 200 g rádiumot nyertek ki az egymástól meglehetősen nagy távolságban levő karnotittelepekből. A fejtés részben külszíni, részben tárnafejtés enyhén lejtő vágatokkal. Függőaknát csak néhány nagyobb és mélyebb telep kapott.

A Kolorádó-plató legfontosabb előfordulásai a Kolorádó folyó két partján terülnek el és két ország területére esnek. Délkelet-Utahra és az ezzel határos Délnyugat-Kolorádóra, azaz a keleten fekvő Denver és a nyugati Salt Lake City városok közé eső területre. Sztratigráfiailag a jurakori Morisson-formációhoz tartoznak. Újabban hasonló lelőhelyeket találtak Arizonában és Új-Mexikóban. Ugyanilyen telepek azonban más formációkban is előfordulnak. Így pl. karnotitot újabban Új-Mexikó jurakori mészköveiben, továbbá Dél-Dakota és Wyoming krétakori, ún. dakota-homokköveiben, továbbá a wyomingi eocénkori Wasatch-formációban is találtak. Eddig kb. 14 olyan különböző formációról tudunk a permi és az eocén kor között, amelyek uránt tartalmaznak.

A Kolorádó-plató igen fontos telepeiben az urántartalmú érctelepek kiterjedésükben az egykori medrekhez vannak kapcsolva. Megállapították, hogy a legjelentősebb ércfelhalmozódás a folyóvízi eredetű üledékekhez van kötve. Az érc általában a fenék kimosásaiban, a meder oldalaiban és az egykori patakok kanyarulataiban helyezkedik el. A völgyek alsó részei, amelyek áthalmazott agyagos anyagokat tartalmaznak, uránmentesek. A vörös homokkövek és agyagok az uránércfelhalmozódások közelében kifakulnak és szürkés színűekké válnak. Az érctartalmú és meddő kőzetek ilyen különbségét nagymértékben felhasználják az új uránlelőhelyek kutatásánál. Az ilyen kutatásoknál különleges kolorimetrikus térképeket állítanak össze.

A Szovjetunióban a Ferghana-medencében vannak jelentős karnotit- (helyi elnevezés szerint tujamunit-) telepek, amelyek közül különösen a Kara-Tau-i előfordulás jól ismert. Az urántelep kambrikori agyagpalában települ 40–50 km<sup>2</sup>-nyi területen, 8–14 m vastagságban. Minthogy a telep tengeri rétegsorban van, keletkezése nem azonos a kolorádói karnotittelepekével. De van a környéken olyan telep is, amely megegyezik a kolorádói típusal. Ugyanezen lelőhelytípus alcsoportjába lehet sorolni a witwatersrandi urán- és aranytartalmú konglomerátumokat.

b) *Urán- és aranytartalmú konglomerátumok.* A délafrikai konglomerátumok aranyon, platinafémeken és elszórt gyémánton kívül némi uránt is tartalmaznak. Az arany és az urán Dél-Afrika ősi alaphegységéből származik. Ilyen ősi, kristályos alaphegység tartozékának tekinthetők az aranytartalmú kvarcerek és a szurokérc tartalmú pegmatitok. Ezek a fémek anyateléreik pusztulásakor nagy fajsúlyuk következtében fokoza-

tosan feldúsultak, majd később vékony, de kiterjedt és összefüggő rétegekben leülepedve a mostani aranyzirtekké szilárdultak.

Hogy az urán forrását valóban a szurokércben kell keresni, bizonyítják azok a szurokérc-görgeteg-maradványok, amelyek *Ramdohr* szerint időnként előfordulnak a konglomerátumokban. A witwatersrandi-rétegek metamorfizálódásakor — ami magas hőmérsékleten történt — az uránt az aranytartalmú szirtek anyaga adszorbeálta.

Újabban kimutatták, hogy az urán nem annyira Witwatersrand híres Main-Reef (főszirt) rétegeiben, hanem az aranyban szegényebb szirtekben fordul elő. Legtöbb uránt a keleti part Bird-Reef (madárszirt) rétegei tartalmazzák. Az uránkutatók fontosságára jellemző, hogy 1949-ben az itteni aranybányákból több, mint 400 000 urántartalmú ércmintát vizsgáltak meg. A délafrikai uránbányászat, amely 1952-ben kezdett üzemelni, 23 különböző aranybányát foglal magában.

Az uránnak az aranyérből való kinyerése céljából az uránásványt az érc felapritása után az iszapokkal együtt először a szokásos aranylúgozásnak vetik alá. Az urán az iszapban marad. Az iszapot azután hígított kénsavval kezelik, amely az uránt kioldja. Közel félmillió tonna kénsavat használnak fel évente erre a célra, amelyet a konglomerátumok kötőanyagában levő piritből nyernek. Az uránt kanárisárga uránoxid ( $U_3O_8$ ) alakjában állítják elő.

## 2. Tengeri fáciesű képződmények

a) *Urántartalmú foszforitok*, b) *Bitumenes fekete palák és egyéb képződmények*. A nagyobb koncentrációjú, de fogyóban levő urántelepeken kívül létjogosultságot nyernek a csekély urántartalmú telepek is. Ezek közül elsősorban az üledékes foszfáttelepek, bizonyos bitumenes fekete palák, valamint a svédországi kambri-szilurkori timsós palák jönnek számításba. A tengeri foszforitok általában 0,005–0,003% uránt tartalmaznak. Legismertebb lelőhelyeik az Egyesült Államok nyugati részében levő permi Phosphoria-képződmények, a Florida állambeli pliocén foszforitok és az északafrikai felső krétakori foszforitok. Az uránnak foszforitban való koncentrációja ioncsere vagy más kémiai adszorpciós folyamatok útján megy végbe. Sok tengeri bitumenes fekete agyagpala 0,005–0,02% uránt tartalmaz. Példák erre a svédországi felső kambri kori timsós agyagpalák és a Tennessee állambeli Chattanooga-agyagpala. Ezekben az agyagpalákban az uránvegyületek savban oldható alakban vannak jelen. A Chattanooga-agyagpalában pirit szerves anyag komplexumokban van koncentrálna. A legnagyobb mennyiségű urán (0,5%) a timsós agyagpalában, sötét bitumenes csomók és lencsék alakjában van jelen, amelyeknek kolm a neve. Bár minden tengeri fekete agyagpala valamivel több uránt tartalmaz, mint az átlagos üledékes kőzet, csak kis részükben van több, mint 0,05%. Ezek az agyagpalák inkább szapropélek, mint humuszosak. Sok szenet és bituminitet tartalmaznak, továbbá szulfidot. Kissé foszfátosak. Lassan akkumulálódtak anaerob viszonyok között. A timsós

agyagpala legdúsabb részei Svédországban a késő kambri tenger beöblösődéseiben rakódtak le. Minden valószínűség szerint a fekete agyagpalában levő uránt a tengervízből az élő vagy holt plankton és egyes algafajok vonták ki.

Szilurkori fekete palák és bitumenes agyagpalák vannak Ferghánától délre és Leningrád közelében a Papovka folyó környékén.

### C) Oxidációs telepek

Az oxidációs telepek az eredeti kőzetben diffúz módon jelenlevő uránnak a felszíni savassá vált vizek által történt kilúgozása, majd a leszálló oldatból a hidrogénion koncentrációnak alkálikus stb. kőzetek hatására bekövetkezett csökkenése folytán válnak ki. Az ilyen telepek törésekhez kötöttek. A törések mentén ugyanis a vízcirkuláció sok esetben igen kedvező lehet. Ilyen telepeket ismerünk a Szovjetunióban Ferghana környékéről (Tyuyamuyun), az USA-ban Új-Mexikóból, Portugáliából és Bulgáriából (Bukhova).

## VII. TÓRIUMÉRCEK TELEPTANA

### A) Elsődleges telepek

A tórium elsődlegesen a nefelinszienitek pegmatitjaiban és a gránitpegmatitokban jelenik meg az uránnal izomorf elegyként. Legfontosabb ásványai a nefelinszienit-pegmatitokban előforduló, cirkonnal és xenotimmal izomorf thorit, a gránitpegmatitokban megjelenő és a szurokércsel izomorf thorianit és az uránnal izomorf bröggerit, valamint a monacit, amely főleg gránitos kőzetekben jelenik meg elsődlegesen és az orthit, amely szintén gránitokban jelenik meg primer ásványként.

### B) Másodlagos telepek

A monacit másodlagosan az üledékes folyóvízi vagy tengeri eredetű homokokban, az ún. monacit-homokban dúsul fel, amely a tórium legfontosabb forrása. A tórium másik fontos forrása az alluviális torlatok lekoptatott kavicsaiban található thorianit 38–93%-os  $\text{ThO}_2$ -tartalommal.

A legnagyobb tengeri eredetű monacittorlatok Indiában Travancorenál és Ceylon szigetén Galle közelében vannak. A monacit  $\text{ThO}_2$ -tartalma 4–18%. A világ tóriumtermelésének 75%-a Indiára esik.

Számos monacittorlat ismeretes Braziliából. Ezek részben tengeri, részben folyóvízi torlatok. A tengeri torlatok száma nagyobb. A Szovjetunióban a Pamir előhegyeiben, Batum közelében a Tchoruk folyóban, továbbá a Jeniszei folyótól keletre eső aranytorlatokban vannak gazdag monacit lelőhelyek. Aranytorlatokban az arany kíséretében uraninit is előfordulhat.

## VIII. KŐOLAJTELEPEK RADIKÉMIAI JELENSÉGEINEK VIZSGÁLATA

1 g urán másodpercenként 23 700 He-atomot termel, ami 10 millió év alatt 1 ml He-nak felel meg. A kontinensek mélyében levő kőzetekből a He állandóan lassan áramlik a levegőbe, ahonnan azután a világűrbe távozik.

A kőolajtelepekkel kapcsolatban gyakran, de nem törvényszerűen jelentkezik 0,01–2,0% hélium. Minél idősebb a kőolaj, annál gyakoribbak a He-ban gazdag gáztakarók. Mivel a He az atombomlási folyamatok általános mellékterméke, *Lind* az atombomlásnak fontos szerepet tulajdonít a kőolaj keletkezésében. Véleménye szerint a szénhidrogéngáz radioaktív hatásnak kitéve megfelelő földtani viszonyok mellett kőolajjá alakulhat. Elképzelését *Whitehead* és *Sheppard* laboratóriumi vizsgálatokkal igazolja. Az  $\alpha$ -részecskék hatásának kitett zsírsavak a kísérlet során *n*-pentadekánhoz hasonló szénhidrogénné alakultak.

A hazai földgázos kutak He-tartalmát *Csajághy* és *Szelényi* vizsgálta. Figyelemreméltó adat, hogy a radioaktív anyagokban viszonylag gazdagabb *Velencei-hegység* körzetében levő székesfehérvári gázos kút He-tartalma feltűnően magas.

A He geokémiájával tüzetesebben *Szelényi* foglalkozik. A héliumelőfordulásokkal kapcsolatban *Chlopin* kiöblítési hipotézise mellett foglal állást, amely szerint az ókori kőzetekben felgyülemlett héliumot a metán vonta ki a kőzetekből.

## IX. RÁDIOAKTÍV NYERSANYAGKUTATÁS ÉS ÉSZLELŐBERENDEZÉSEI A TEREPEN

A teleptani fejezetben megadtuk azokat a teleptani típusokat, amelyek között az urán- és tóriumtartalmú ásványok előfordulnak, a geokémiai fejezetben pedig vázoltuk azokat a genetikai viszonyokat, amelyek között az urán- és tóriumércsek keletkeznek, ill. feldúsulnak.

A terepen a radioaktív nyersanyagkutatás első feladata körvonalozni azokat a területeket, amelyeken a földtani viszonyok ismeretében az előzőekben vázolt geokémiai feltételek adva vannak és a radioaktív anyagok előfordulása esetleg teleptani szempontból is várható. Ilyen szempontból — mint láttuk — két területtípus határolható körül. Egyik, amelyet a savanyú mélységbeli kőzetek előfordulása jellemez, a másik pedig, ahol főleg idősebb földtani korok sivatagi képződményei találhatók.

A savanyú magmás kőzetek területén a kutatási prognózis tovább szűkíthető, elsősorban a pegmatitos telérek területére. Sivatagi képződmények — főleg homokkövek — területén a kutatás ilyen előzetes leszűkítése nem lehetséges, mert az ilyen sivatagi jellegű homokkövekben az urán feldúsulása rendszertelen.

A földtani előrelátás mellett kívánatos a vizsgálandó terület előzetes légi radiológiai felvétele.

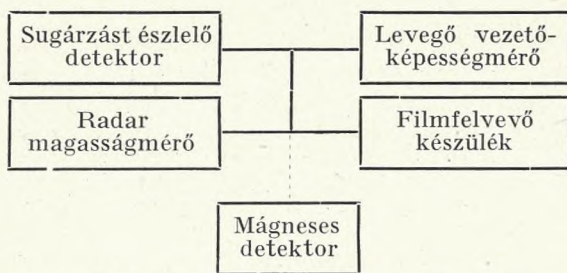
Mivel az  $\alpha$ - és  $\beta$ -részecskék hatótávolsága levegőben igen rövid, a légi kutatásnak a lényegesen nagyobb hatótávolságú  $\gamma$ -sugárzás mérésére kell irányulnia. 120 méter magasságig a föld felületéről kiinduló  $\gamma$ -sugárzás intenzitása 50%-ra, 760 méter magasságban 1%-ra csökken. Ez a magasság egyúttal a légi megfigyelés felső határa. A légi felvevő berendezések a föld felületéről származó  $\gamma$ -sugárzás közvetlen mérésére és a levegő ionizációjának a mérésére szorítkoznak, amelyet a kozmikus és a  $\gamma$ -sugárzás idéz elő.

A közvetlen mérési módszer a jól bevált Geiger—Müller-féle számlálócsővel, újabban pedig szcintillációs számlálóval történik.

A Stead által ismertetett légi felvevő berendezés 19 Geiger—Müller számlálócső hexagonális kötegéből áll, amely egy antikoincidális számlálóhoz csatlakozik. Minden egyes számlálócső 5,08 cm átmérőjű és 106,68 cm hosszú, 203,20 cm<sup>2</sup> effektív érzékenységi felülettel. A köteg átmérője 25,40 cm, átlagos hossza 111,76 cm és 3810 cm<sup>2</sup> nagyságú effektív érzékenységi felülettel rendelkezik. Antikoincidális áramkör esetében — amely kiküszöböli a köteget érő és a kemény kozmikus sugaraktól eredő sokszoros és ko incidens impulzusokat — a mérés érzékenysége igen megnövekszik. Ezáltal ugyanis nagymértékben kiküszöbölhető a kemény kozmikus sugárzástól származó, ún. fluktuáló háttéreffektus, és a földi forrásból kibocsátott gyengébb  $\gamma$ -sugárzás kisebb mértékű növekedése biztosan kimutatható. Az alkalmazott számlálócsőköteg érzékenysége olyan, hogy vele 150 méter magasságból a kőzeteknek és talajoknak 0,001%-os radioaktív sugárzó anyagtartalom-változását is ki lehet mutatni.

A másik eszköz egy belső koaxiális (közös tengelyű) elektródával rendelkező hengeres kondenzátorból álló levegő vezetőképességvizsgáló kamra, amely egy rezgőnyelves elektrométerhez csatlakozik. Ha levegő áramlik át a hengeren, a lemezek közt levő elektromos tér hatására az ionok a hengeres kondenzátor lemezein gyűlnek össze. 150 méter magasságban a levegő totális ionizációjának több, mint 50%-a emanáció alakjában van jelen, amely a radioaktív anyagok bomlástermékeként kerül a levegőbe. Az emanációnak a levegőbe való felszállásánál sok olyan tényező játszik szerepet, amely megnehezíti a levegő vezetőképessége által nyert adatok kielégítő értelmezését. Ezért ez a módszer önállóan nem is használható.

A radioaktív sugárzásmérő műszereket úgy helyezik el a repülőgépen, hogy az előzőleg már beszerelt és az aeromágneses méréseknél alkalmazott eszközök is használhatók legyenek.



A radioaktív kutatás szolgálatában álló műszerek elrendezése. Minden műszer, beleértve a légi magnetométert is, állandó, grafikus regisztrálást végez, amelyet élesen megkülönböztethető jelek szinkronizálnak. A készülékek a felszínre vonatkoztatott helyzet megállapítását is lehetővé teszik.

A méréseket 150 méter magasságból végzik. A repülés útvonalát pörgettyűs, állandóan regisztráló fényképezőgép (filmfelvevőkészülék) rögzíti. A magasságot radar magasságmérő regisztrálja.

A radioaktív anomáliák meghatározása elsősorban statisztikai adatokra támaszkodik. Mivel a Geiger—Müller számlálócsővel végzett méréseknél a statisztikus ingadozások miatti eltérés az egyes méréseknél legfeljebb 10%-a a háttéreffektusnak, valamely mérést csak akkor tekinthetünk az átlagnál nagyobb radioaktivitású

hely anomáliájaként, ha ennek értéke eléri vagy meghaladja az alapeffektus 20%-át. Az anomáliát meghatározza a megfigyelt sugárzási intenzitás értékeinek emelkedése vagy csökkenése is. Amikor a detektor időkonstansa vagy érzékenységi periódusa 1 sec és a röpssebesség 60 m/sec, a sugárzás intenzitásának az emelkedése és esése 8 sec-mal kell, hogy egyenlő legyen. Ha a sugárzási intenzitás ezen változása hosszabb időn át tartana, a változás nem a radioaktív anyag lokális koncentrációjára, hanem a kérdéses terület radioaktív anyagtartalmának szisztematikus változására utal.

A terület megfelelő behálózása általában 150 m magasságból történik. 150 m magasságban az öv szélessége, amelynek radioaktivitását mérjük, legfeljebb 426 m. Ha a gép 400 m-es közökben végzi útját, az egész vizsgálandó területet egyenletesen fedi be a radioaktív mérés. Bár statisztikai alapon a radioaktív anomália kimutatható, fennáll az a lehetőség, hogy egy keskeny, de jelentékeny sugárzású terület kimarad, mivel ez a gép útvonalai között fekszik, távol az észlelő detektoroktól. A radioaktív anomáliák helyzete nagy pontossággal megállapítható az állandó automatikus fényképezés révén és ellenőrizhető térképek és feltűnő tereptárgyak segítségével. Egészen új felvételek esetén azonban az anomáliák helyzetének hibája meghaladhatja az 1–2 km<sup>2</sup>-t is. Ezt a hibát legtöbbször a jellegzetes tereptárgyak nélküli területrészek okozzák. Az adatok feldolgozásánál feltételezzük az egyenesvonalú repülést és a térképen felismerhető pontok közötti konstans sebességet. Amennyiben az ilyen pontok között nagy a távolság, a hiba jelentősebb lehet.

A légi mérések által kimutatott radioaktív anomáliáknál ma még nem lehet végérvényesen megmondani, hogy vajon a radioaktív tartalom koncentrációja, vagy pedig a radioaktív közet kiterjedése okozza-e az anomáliát. A jelenlegi mérési módszerek még nem tudnak különbséget tenni a tórium és az urán sugárzása között. Az anomáliát tehát okozhatja teljes egészében tórium vagy urán, de okozhatja a két sugárzóelem együttesen is.

A légi méréseknél észlelt radioaktív anomáliát 150 m magasságban 3 tényező okozhatja:

1. nagyobb terület, amelynek közete és talaja csak valamivel aktívabb, mint a vizsgálandó terület átlagközete és talaja;
2. kis terület, amelynek közete és talaja jelentős mértékben radioaktívabb, mint a vizsgálandó terület átlagközete és talaja;
3. igen kis terület, amelynek közete és talaja igen radioaktív és a radioaktív elem koncentrációja jelentősen meghaladja a vizsgálandó terület átlagközeteinek és talajának aktivitását.

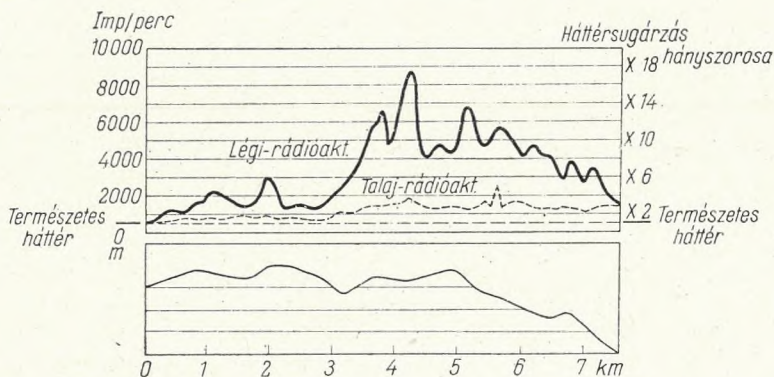
Amíg az anomáliát 300 m magasságban alig mondhatjuk nagyobbak az átlagaktivitásnál, addig pár m magasságban az aktivitás igen nagy lehet. Anomáliáról csak akkor beszélünk, ha a kérdéses hely aktivitása nagyobb, mint környezetének aktivitása.

A légi radioaktív felvételeknél a röpmagasság, amelyben a mérés végezhető, a  $\gamma$ -sugarak levegőben történő elnyelése miatt bizonyos korlátozásnak van alávetve. Elméleti és gyakorlati megfontolások alapján az optimális röpmagasság 150 m. Erős domborzat esetén, amikor is a 150

m-es magasság nem tartható, a röpmagasság nagyobb ingadozása a mérések kiértékelését lehetetlenné teszi. Helikopter használata — könnyebb alkalmazkodása miatt — legyőzheti a domborzat ezen kedvezőtlen hatását, de csak a felvétel sebességének csökkentése árán. Repülőgép használata megközelítőleg 45 km<sup>2</sup>-nyi terület felmérését teszi lehetővé óránként.

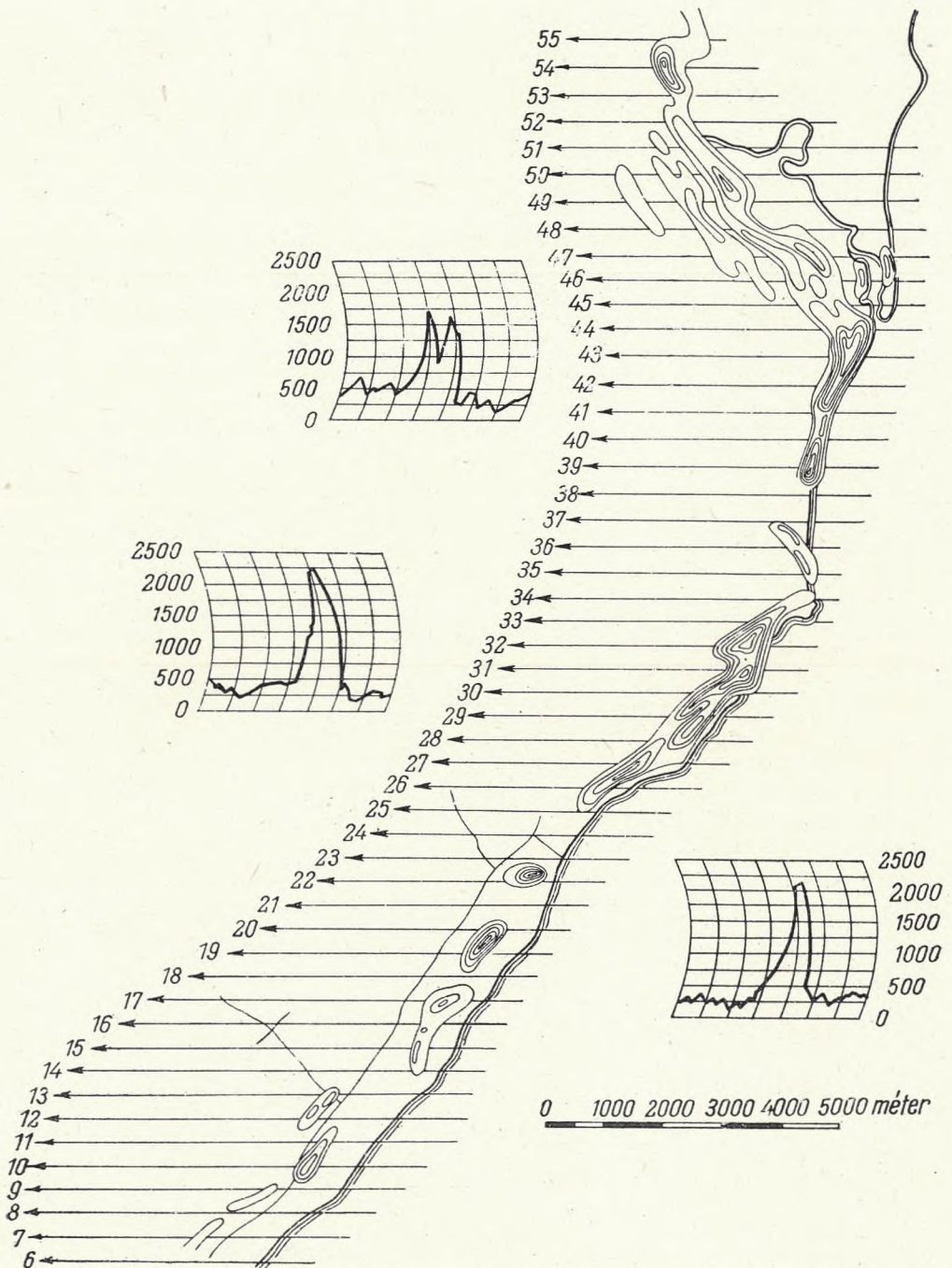
Ha a kőzet vagy talaj radioaktív tartalma valamely adott területen szisztematikus változást mutat, lehetővé válik az erősebben sugárzó övek körülhatárolása, amelyeken belül azután a geológus terepvizsgálatai korlátozzák egyes, speciális kőzetfajtákra vagy talajnemekre a radioaktív anyag előfordulását.

A légi radioaktív megfigyelés megteremtette annak lehetőségét, hogy a radioaktív nyersanyagkutatókat nagy területen, rövid idő alatt, kis költséggel lehessen elvégezni. A radioaktív anomáliákat a radioaktív anyagok koncentrációja vagy a kérdéses terület radioaktív kőzeteinek kiterjedése okozhatja. Anomália jelenléte nagy valószínűséggel arra utal, hogy a kérdéses helyen urán vagy tórium, vagy urán és tórium együttesen vannak jelen. Az alább bemutatott két ábra közül a baloldali diagram a légi és a talaj radiometriai felvétel közötti különbséget szemlélteti, a jobboldali ábra pedig egy monacitos terület légi radiometriai ábrázolását mutatja. Mindkét ábrát a genfi konferencia anyagából vettük.



45. ábra. Légi- és talajradiometriai felvétel diagramja

A légi felvételek és a földtani prognózis együttes figyelembevételével körülhatárolt területen meginduló nyersanyagkutatókat a terepen makroszkópos indikációk is elősegítik. A legtöbb uránásvány fekete vagy élénk világoszöld-, sárga- vagy narancsszínű. Színük annyira jellegzetes, hogy még a sötét változatok is jól felismerhetők kibúvásaikon. Az uránércék rendszerint szórványosan és szabálytalanul vannak szétszórva, aránylag kis területeken. Ritka eset, hogy az ércetek a felszínre bukjanak, és így kutatásuk a földtani viszonyok igen alapos tanulmányozását teszi szükségessé. Teléres előfordulások esetén az érc megtalálása lényegesen könnyebb, mint pl. a szórványosan, kisebb foltokban előforduló karnotit



46. ábra. Monacitos terület radiometrikus ábrázolása levegőből

esetében. Az ércetestek kutatása, felfedezése és elhatárolása során minden szokásos feltérési módszer (táró, akna, fúrás stb.) alkalmazható.

Általános szabály, hogy minden feltűnően nehéz fekete- vagy sötétszínű ásványt, amelyet pegmatitban találunk, meg kell vizsgálnunk urán- és tóriumtartalom szempontjából. Élénksárga vagy narancsszínű kéreg, vagy porszerű bevonat a sötétszínű ásvány körül, urán jelenlétére utal. Apró, sárgás-zöldes lemezkék vagy pikkelyek repedésekben és hasadékokban közeli elsődleges uránérc indikátorai lehetnek. De nyomra vezethet az urán- és tóriumásványok sugárzásának elszínező hatása is. A rózsaszín vagy vörös földpátból álló telérekben a földpát színe a radioaktív ásvány körül rendszerint feltűnően sötétebb, téglavörös árnyalatú. Fehér földpáttelérekben a radioaktív ásványok körül barnás-fekete elszíneződéseket lehet találni. Vörös homokkövek és agyagok uránércetestek közelében kifakulnak és szürkés színűekké válnak. Gyakran hasznos indikáció a földpátnak vagy a kvarcnak a pegmatitban levő ásványzárványok körüli radiális repedezettsége. Egyes ásványfajták, főként a cirkon változatai, különösen erős árnyalóhatást fejtenek ki az anyakőzetben és még kis-méretű kristályok is erőteljes repedéseket hoznak létre az ásványtól kifele sugározva 10–20 cm távolságra.

A szurokérc egyik megjelenési formája a gömbös-vesés előfordulás néha hasonlít a hematitéhoz. Ettől azonban könnyen megkülönböztethető karcának, ill. porának zöldesfekete színe által, szemben a hematit vörös karcával.

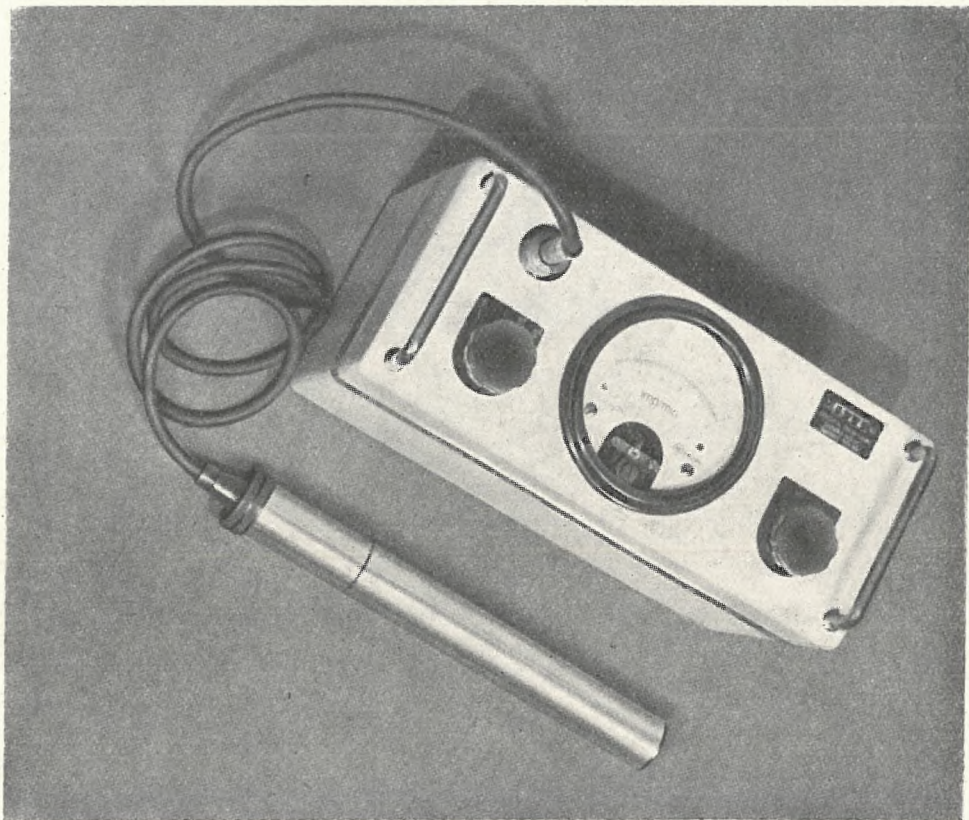
Az uránércek, megjelenési formájukat tekintve, lehetnek kristályok vagy kristályhalmazok, erek, telérek és rétegzett, áthordott lerakódások. A kristályos előfordulás jellegzetes tulajdonsága a kristályok fekete színe, fémes megjelenése, nagy fajsúlya és szabályos rendszerbeli kristályformája. Az erek, telérek általában hasonló jellegűek, mint a többi érctelér. A rétegzett, áthordott lerakódások uránásványtartalma kisebb, és másodlagos eredetű. Ilyen előfordulásokat üledékes és eruptív (gránit) kőzetekben egyaránt találhatunk. A felszíni vagy cirkuláló vizek által áthordott másodlagos uránásványokat élénk színűk és sárga-, narancs- és zöldárnyalatú fluoreszcenciájuk jellemzi. A másodlagos uránásványok megjelenési formája — a kristályalakban megjelenő autunitet és torbernitet kivéve — többnyire lágy por vagy kéreg.

Ahol elsődleges uránércelőfordulás van, másodlagos telepeknek is kell lenniök. A radioaktív anyagokat másodlagosan elsősorban a vulkáni hamu, a barnaköszén és a barnaköszéntartalmú, ún. szenes agyagpalák koncentrálnak.

Az urán meghatározásának legegyszerűbb módja a fluoreszcencia vizsgálat, a radioaktivitás legérzékenyebb észlelőeszköze pedig a Geiger—Müller számlálócső, és a szcintillációs számláló.

A terepmérések céljára hordozható Geiger—Müller számlálócsöves vagy szcintillációs sugázmérő berendezéseket használnak. Regionális bejárásnál az észlelés gépkocsiról vagy gyalogosan történik. Nálunk legelterjedtebben a hálózattól független, mechanikus számlálószervezettel

és integrátorral ellátott Geiger—Müller számlálócsöves készüléket használnak. Ennek mérete alig nagyobb egy fényképezőgépnél. A különböző típusok súlya 1,5—3,5 kg. Ezek a készülékek félkvantitatív jellegű mérések végzésére alkalmasak, mivel a számlálócső nem tud különbséget tenni, hogy a sugárzás milyen radioaktív elemről származik. A mért közeg radioaktív anyagtartalmát ezért vagy tórium, vagy urán ekvivalensben fejezzük



47. ábra. Hordozható radioaktív sugázmérőkészülék telepes és hálózati működtetésre (Készült a Magyar Állami Eötvös Lóránd Geofizikai Intézetben)

ki. Fenti ábránk egy, a Magyar Állami Eötvös Lóránd Geofizikai Intézetben készült hordozható Geiger—Müller számlálócsöves készüléket mutat be, amely integrátorral és 2000 részecske/perc felbontóképességű gyorsszámlálóval is el van látva. A készülék mind telepes, mind hálózati működtetésre egyaránt alkalmas. Skáláját  $\mu$ r/órában kalibrálják.

Geiger—Müller számlálócsöves területbejárásnál a számlálócsövet — amely többnyire egymeghosszabbított fogantyúval is el van látva — a föld felszínétől kb. 10 cm magasra tartjuk és a radioaktivásban beálló változásokat térképen és jegyzőkönyvben rögzítjük. Az intenzív-

ben sugárzó helyeket számmal ellátott facövekkel is megjelöljük. Természetes vagy mesterséges feltárásokban a kőzetfalat, ill. rétegsort vertikális, majd horizontális irányban tüzetesen megvizsgáljuk oly módon, hogy a számlálócsövet vízszintesen tartva, fentről lefelé, majd vízszintes irányban haladva a kőzetfalhoz tartjuk.

Gyakori eset, hogy a felszínközeli kőzetekből az uránt a talajvíz kioldja és a visszamaradt — sokszor igen intenzív  $\gamma$ -sugárzás — a rádiumtól és bomlástermékeiktől származik. Az ilyen előfordulás mintegy jelzi, hogy a közelben uránban gazdag telepek várhatók. Maguk az ércetek többnyire gyöngébben sugároznak, mint a rádiumot tartalmazó rétegek, ezért a kutatásnál nem szabad kizárólag  $\gamma$ -számlálócsövet használni, hanem  $\beta$ -sugárzásra is érzékeny számlálócsővel kell dolgozni.

Bányavágatokban az emanáció zavaróhatásának kiküszöbölésére a számlálócsövet ólomburkolattal kell árnyékolni. Az ólomburkolat, amely egyik oldalán résejt, ráhúzható a számlálócsőre. Észlelésnél az ólomburkolat résejt oldalát tartjuk a vizsgálandó kőzethez.

A számlálócsöves mérés lehet tájékoztató jellegű, amikor a számlálócsövet vízszintes irányban a réteghez tartjuk vagy félkvantitatív jellegű, amikor a rétegbe kb. 50 cm mély lyukat fúrunk és a számlálócsövet ebbe helyezzük bele. Utóbbi esetben a számlálócső által jelzett impulzusok száma és a kőzet radioaktív koncentrációja között —  $\gamma$ -sugárzás esetén — a következő összefüggés állapítható meg.

$$C = N \cdot \alpha, \quad \alpha = \frac{m\mu'}{N' \cdot 4\pi R^2},$$

ahol  $C$  a koncentráció a tömegegységben  $= \frac{c}{\rho}$ ;  $N$  a vizsgált kőzetben

észlelt impulzusok száma;  $m$  a hitelesítő Th vagy U g-ban;  $\mu' = \frac{\mu}{\rho} =$  tömegabszorpciós együttható (táblázatból);  $R$  a hitelesítő Th vagy U távolsága a G. M. cső középpontjától;  $N'$  a hitelesítő impulzusok száma.

A hitelesítés módja a következő. Ismert  $m$  tömegű hitelesítő anyagot a G. M. cső középpontjától  $R$  távolságra helyezünk el és adott idő alatt feljegyezzük az  $N'$  impulzusok számát. Az irodalomból  $\mu'$  értékét kiolvasva kiszámítjuk  $\alpha$  szorzó értékét, amely adott berendezésre és adott hitelesítő anyagra vonatkoztatva a mérési eljárás hitelesítését is jelenti. Ezután leolvassuk a vizsgált minta  $N$  impulzusait, s a  $C = N \cdot \alpha$  képletből megkapjuk  $C$ -t. A koncentráció kiszámítása ezután  $c = C \cdot \rho$  képlettel történik, ahol  $\rho$  a kőzet fajsúlya. A hitelesítő  $\alpha$  meghatározásánál célszerű a kozmikus sugárzás különbségéből adódó hiba lecsökkentése végett a  $N'$  számlálót többször egymásután s több  $R$  érték mellett meghatározni. A kapott  $N'$  értékek számtani közepe jobb megközelítést ad.

Mennydörgéssel járó vihar közeledtekor a számláló használatát fel kell függeszteni, mert a természetben lejátszódó elektromos kisülések a számlálócsőben is kisüléseket váltanak ki, ami a mérési eredményeket

meghamisítja. Ügyelni kell arra is, hogy a számlálókészülék mindig száraz maradjon, mert a nedvesség okozta rövidzárlat nemcsak a számlálót rongálhatja meg, de súlyos áramütést is okozhat.

Tudni kell továbbá, hogy a kozmikus háttér (nulla effektust) magas épület, sűrű erdő, meredek szikla vagy mélyedés leárnyékolhatja, lecsökkentheti, viszont egy gyöngye radioaktivitása, de aránylag nagy terület megemelheti, amennyiben olyan hatást idéz elő, amely hasonló egy nagyaktivitású ércet tartalmazó kis telérhez. Az impulzusszámok ilyen változásai nem ellenőrizhetők. Az észlelőnek azonban ezekkel a tényezőkkel is számolnia kell.

Általában, ha a jelzett impulzusszám háromszor vagy négyszer akkora, mint a háttérsugárzás alapeffektusa, feltehető, hogy iparilag hasznosítható érc van a közelben.

Az észlelésnél kerülni kell a salakozott utakat, mivel a barnakőszén-salak sokszor intenzív radioaktivitása zavarólag és torzítólag hat az észlelési eredmények kiértékelésére. Úgyszintén kerülni kell az olyan üzemeket vagy bányászati műveleteket, ahol radioaktív érceket dolgoznak fel vagy fejtenek.

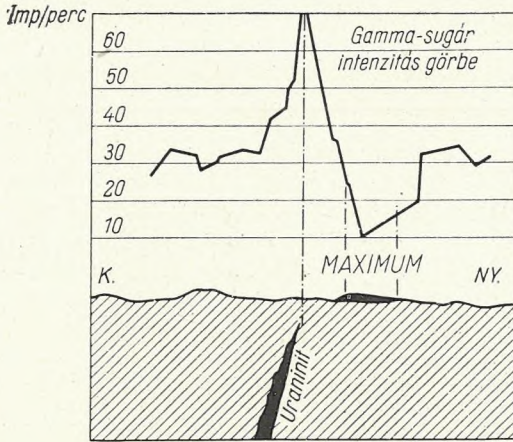
A számlálókészülék precíziós műszer, amelyet minden külső erőművi behatástól óvni és minden egyes alkatrészcsere-nél, számlálócsőcsere-nél újra kalibrálni kell.

Felszínközeli telepek kimutatására a radon-módszert használják. A radon jelenléte kedvező geológiai körülmények között 8–10 m vastag fedőréteg esetén még kimutatható. Az átdiffundált gázmennyiség mérése szívószondával ellátott emanométerrel történik. Mivel a víz jól hordozza a radioaktív anyagokat, méréseinket ajánlatos radio-hidrogeológiai mérésekkel is kiegészíteni. Több esetben sikerre vezetett a hegyekből eső után lejövő vizek radioaktív vizsgálata is. A víz radioaktivitásának mérésére szintén emanométert használunk.

A radioaktivitás-mérések terepen való rögzítése térképen történik. A használatos térképméret minden tekintetben megegyezik a geológiai felvételeknél általában használt térképek méretével. A mérési pontokhoz tartozó sugárzási intenzitások — elegendő mérés esetén — lehetővé teszik izorádok szerkesztését, vagyis az azonos intenzitású méréspontok görbék segítségével való összekötését, amelyek a radioaktív ércetek helyzetére és kiterjedésére nézve adhatnak felvilágosítást. A túlololdali két ábra közül a baloldali egy szelvényirányban felvett  $\gamma$ -sugárzás-intenzitás görbét mutat, míg a jobboldali ábra a fentemlített módon készült izorádok alapján lehetővé tette egy, a mélyben levő ércet körülhatárolását.

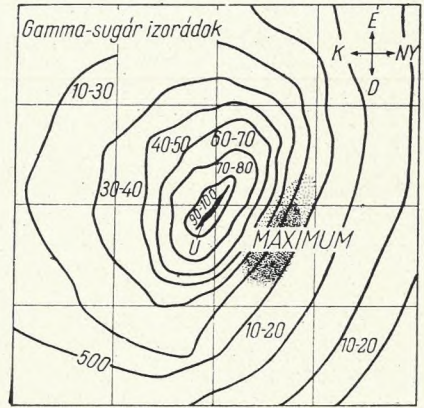
A radioaktív nyersanyagkutatás terén igen nagy sikerrel kecsegtet az egykori folyómedrek lerakódásainak vizsgálata. Az érc a tapasztalatok szerint általában a folyómedrek felső részein halmozódik fel, a fenék kimosásaiban, és az egykori patakok kanyarulataiban. Legutóbb Ontarióban találtak ily módon 13 m mélyen, 3 km szélességben és 37 km hosszúságban 100–200 g/t iparilag hasznosítható urántartalmú rétegeket.

A Geiger—Müller számlálócsöves készülékek mellett mindjobban elterjednek a hordozható szcintillációs számlálók is. Mind a Geiger—Müller számlálócsöves készülékkel, mind a szcintillációs számlálóval készült felvételeknél a legnagyobb anomáliákat mutató izorádok környékén kell kutatóaknákat, fúrásokat stb. telepíteni. A kutatás további folyamán nagy segítséget jelent a radioaktív fúrólúkszelvényezés, amelyet a kőolaj-geológiában is alkalmaznak.



48. ábra.

(A két ábrán a „maximum“ tévedésből került a fedőrétegek fölé)



49. ábra.

A radioaktív fúrólúkszelvényezésnek kétféle módszere ismeretes. Az egyik az egyes rétegek elsődleges  $\gamma$ -sugárzását méri, a másik módszer a mesterségesen előidézett radioaktivitást, tehát egy másodlagos sugárzást.

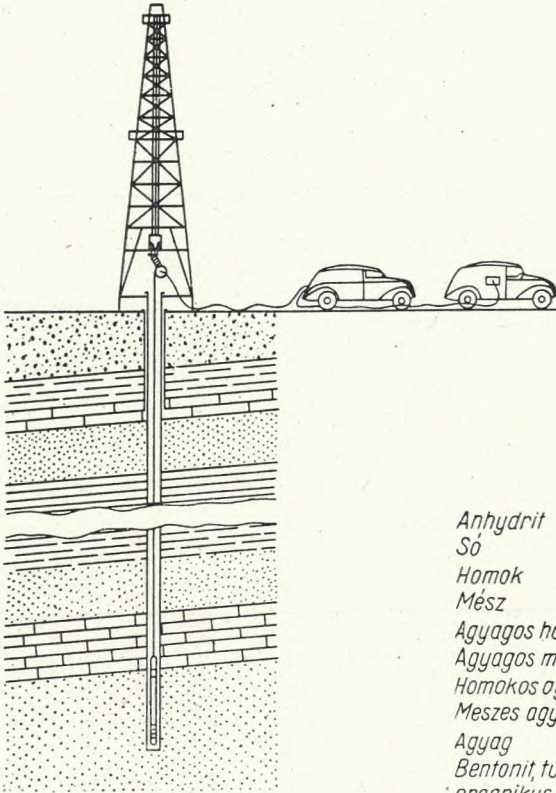
A Schlumberger-féle elektromos fúrólúkszelvényezés — amely két paraméter, az ellenállás és a természetes potenciál alapján meg tudja különböztetni a kőolajtartalmú homokot a sósvizet tartalmazó homoktól, és az üledékes kőzetek, mint pl. a mészkő vagy a homokkő általában azonosíthatók egymással — bélelt kutaknál nem alkalmazható. Bélelt kút alatt a már kész mélyfúrást értjük, amely több egymáshoz csatlakozó acélsőből áll. Ilyen bélelt kutakban a rétegek azonosítása csak radioaktív fúrólúkszelvényező berendezéssel lehetséges mesterségesen létrehozott atommagreakciók útján.

A mésztartalmú kőzetek, a homok és a dolomit csak gyöngén radioaktívak, az anhidrit és a kősó gyakorlatilag inaktívak. Ezzel szemben az agyagok és a tengeri márgák, bitumenes és szenes agyagok és palák éppen úgy, mint a vulkáni tufa és a bentonit radioaktívak. Minél finomabb az agyagszemcsék nagysága, annál nagyobb adszorpcióképessége, ill. radioaktivitása. Néhol erős radioaktív sugárzás észlelhető a kőszénrétegeket kísérő bitumenes agyagokban. Ezeknek az aktivitása 10—20-szorosa is lehet a kőszénrétegek aktivitásának. Az aktivitás mértéke az agyag színével is változhat. Általában minél sötétebb színű az agyag, annál radioaktívabb. A radioaktivitás növekedésének színskálája az agyagoknál a következő: vörös, szürke, barna, fekete. Az 51. ábra a radioaktivitás növekedését mutatja az egyes kőzetfajtáknál.

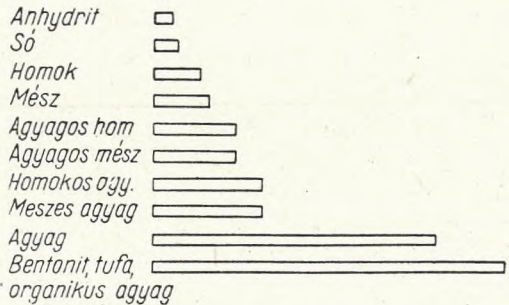
Másodlagos sugárzást neutron- vagy  $\gamma$ -forrás segítségével állítanak elő. Neutronforrást, mint már említettük, oly módon készítenek, hogy valamilyen könnyű elemet, többnyire berilliumot 5:1 arányban összekevernek rádiummal vagy más megfelelő radioizotóppal. A rádium  $\alpha$ -sugarai által bombázott berilliummagból egy szénatom keletkezik és egy neutron szabadul fel. Az így keletkezett neutronokat használják fel a kőzetek besugárzására. A neutron aktiváló hatása fordítva

arányos a kőzet hidrogéntartalmával.  $\gamma$ -forrásként többnyire Co-60 radioizotópot használnak.

Minél több hidrogén van jelen a kőzetben, annál inkább lefékeződnek a neutronok. Maga az észlelőberendezés össze van kötve egy automatikus írószerkezettel, amely az aktiválódás mértékét jelzi.



50. ábra. Radioaktív fúrólükszelvényezés



51. ábra. A radioaktivitás növekedése  
(Só helyett kősó, mész helyett mészkő értendő)

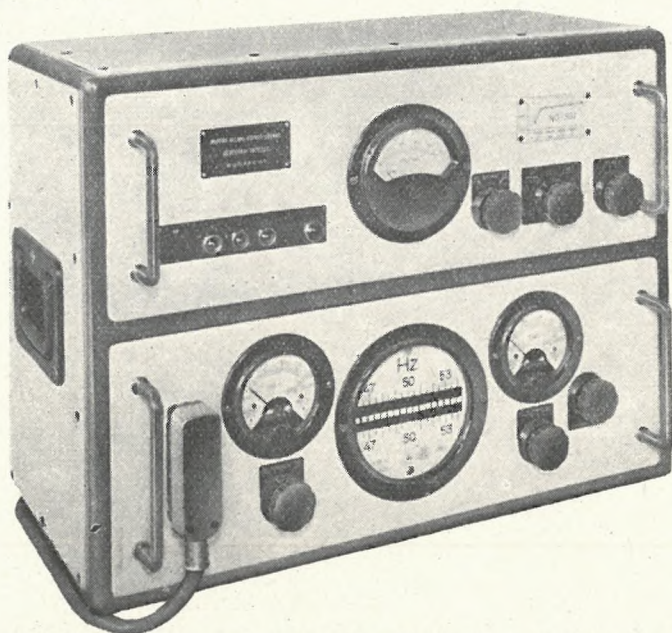
A radioaktív fúrólükszelvényező szonda egy vagy több Geiger — Müller számlálócsőből, és egy előerősítőből áll, amelyek egy fémhengerben vannak. Az áramforrás, az erősítőberendezés, az integrátor, az automatikus írókészülék a kábel leeresztéséhez szükséges csörlődob terepjáró gépkocsira van szerelve (lásd az 50. ábrát).

Ha a számlálócső hosszabb, mint a vizsgált réteg vastagsága, a réteg valódi aktivitása nem mérhető. Az aktivitási százalékot  $\frac{e}{h}$  fejezi ki, ahol  $h$  a számlálócső hossza;  $e$  értéke 0 — 20-ig változhat méterenként. Jó eredményt csak akkor lehet elérni, ha legalább olyan vastag réteget mérünk, mint amennyi a számlálócső hossza. Ebben az esetben  $\frac{e}{h} = 1$  egységgel. De befolyásolhatja a mérést a számlálócső lebecsátásának a gyorsasága is. Neutron besugárzásnál ugyanis az integrációs idő nem áll be azonnal.

A radioaktivitási diagram egy vagy két görbéből áll, aszerint, hogy csak a természetes  $\gamma$ -sugárzást mérjük, vagy neutronforrással is dolgozunk. Két görbe

esetén az abszcissa-tengely adja a mélységet, az ordináta tengely a sugárzás erősségét. A  $\gamma$ -sugárgörbe adja a természetes polarizációt, a neutrongörbe az elektromos ellenállást.

Mivel az agyagok erősebben radioaktívak, jól kimutathatók a  $\gamma$ -sugárgörbén, de jól kimutathatók a neutrongörbén is, mivel neutrongörbéjük gyöngye aktivitást jelez. Nagy kilengést adnak a  $\gamma$ -sugárgörbén a kálium-tartalmú rétegek, de nagy kilengést adnak a neutrongörbén is, mivel hidrogéntartalmuk kicsi.



52. ábra. Radioaktív  $\gamma$ -szonda felszíni vezérlő- és érzékelőberendezésével. (Készült a Magyar Állami Eötvös Lóránd Geofizikai Intézetben)

Kis kilengés a  $\gamma$ -sugárgörbén porózus anyagokra, nagy kilengés a neutron görbén tömör kőzetekre mutat, amelyek a kőolaj jelenlétét kizárják. Szimmetrikus kilengések esetén anhidrit padra lehet következtetni. A neutron módszer kizárólag a kőzetek hidrogén tartalmára épül, nem tudja szétválasztani az édesvizet a sósvíztől, a kőolajat a földgáztól és a víztől. Az alábbi diagrapár a két módszer kombinációjával készült.

A  $\gamma$ -sugár módszert egyedül akkor használják, ha radioaktív nyersanyagot vagy kálisót keresnek. De ismeretes még egy alkalmazási területe. Ha a fúrólyukba ismeretlen mélységből a béléscső átrágása útján agresszív víz tör be, a gyakorlat szerint a furatba cementet nyomnak le, amely a béléscsőben körüláramolva behatol a nyílásokba és azokat eltömi. Ha a cementhez 0,5% karnotitot vagy más radioaktív anyagot kevernek, a cement helyzete és relatív magassága a bélés mögött számlálócső segítségével, neutron forrás alkalmazása nélkül is pontosan megállapítható.

Újabban neutron-neutronszelvényezést is alkalmaznak. Ennek lényege, hogy a szondában lebocsátott neutronforrásból kilépő neutronok a környező kőzetből visszaverődnek és a szondába szerelt neutron-számlálóval közvetlenül észlelhetők.

53. ábra.  $\gamma$ -szonda



A mintavétellel kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy Geiger — Müller számlálósöves vagy szcintillációs számlálós észlelésnél az észlelő az észleléssel egyidőben mintát nem gyűjthet. Kis darab radioaktív ásvány a zsebben vagy

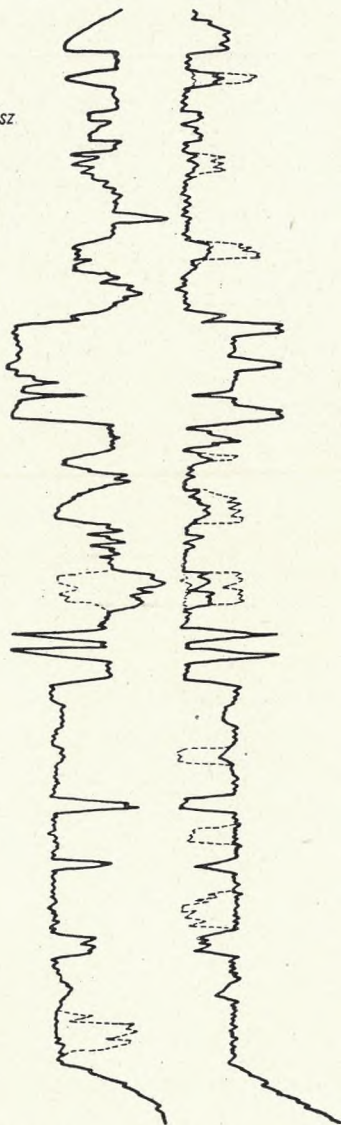
### Rádióaktivitási fűrólyukszelvény

Rádióaktivitás növekedése →

$\gamma$ -sugár

neutron

- homok v. mész
- agyag
- homok v. mész
- agyag
- agyagos hom v. agyagosmész
- agyag
- homok v. mész
- homok és agyag
- agyag
- marinagyag vulk. tufa, bent.
- agyag
- homok v. mész
- agyag vdl. rádióakt. sal
- kalcitos v. gipszes mész
- anhidrit
- só
- anhidrit
- kálisók
- agyag
- anhidrit
- agyag
- homok v. mész
- agyag
- agyagos homok
- homok v. mész
- agyag, homokos agyag és
- homok közbetelep.-sekkel
- rádióaktív agyag v. homok
- v. mész
- agyag
- anhidrit
- anhidrit
- agyag
- mész
- dolomit
- mész
- dolomit
- mész
- bentonit
- mész
- agyag
- mész
- agyag
- mész
- dolomit
- mész
- grdnit



törmeléke (pora, szilánkjá) a nadrágfelhajtásban, téves leolvasásokat eredményezhet. Még nagyobb zavart okoz, ha a készülékbe vagy a számlálóső tartójába kerül a radioaktív por vagy radioaktív ásványszilánk. Ezért a készülék tisztántartására nagy gondot kell fordítani. Iránytű vagy karóra radioaktív világítófestékének közelsége szintén kiértékelhetetlenné teszi a méréseket.

A mintavétel a közönséges geológiai mintavételtől mindössze abban különbözik, hogy a mintát jól záródó dobozban vagy műanyagzacskóban helyezik el. A begyűjtött anyag radiológiai vizsgálata a minta porítása és hevítése után 1 hónappal veszi kezdetét a radiometriai részben ismertetett okból és módon. Fűrómagok tájékoztató radioaktív vizsgálata számlálósöves készülékkel a helyszínen is elvégezhető.

Az alábbiakban egy — szerző szerkesztette — laboratóriumi jegyzőkönyvi mintát, egy, a szerző által regionális észleléseknél használt jegyzőkönyvmintát és egy, a Magyar Állami Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet által rendszeresített kőzetvizsgálati jelentést mutatunk be.

54. ábra. (Só helyett kősó, mész helyett mészkő értendő)

# Jegyzőkönyvi minták

## 1.

Jkvi sz.	A vizsgált minta leírása	$n$	$\Delta t$	$n-k$	$I$	Fesz.
	<i>Háttér</i>	562	20'	—	28,1	900 V
1.	<i>Tarka agyag, az oroszlanói 1234/4321. sz. fúrásból 37,50—38,00 m mélységközéből. Térfogatsúly: 2,2 .....</i>	2058	60'	126	6,3	900 V
	<i>Háttér</i>	559	20'	—	27,9	900 V
2.	<i>Agyagos barnakőszén a síkvölgyi 4321/1234. sz. fúrásból 103,00—104,00 m mélységközéből. Térfogatsúly: 1,98</i>	4410	20'	3849	192,4	900 V
	<i>Háttér</i>	564	20'	—	28,2	900 V
3.	<i>Összehasonlító standard, 0,1% U-tartalommal. Térfogatsúly: 1,68 .....</i>	10048	20'	9483	474,1	900 V
	<i>Háttér</i>	566	20'	—	28,3	900 V

$n$  a műszerről közvetlenül leolvasott érték;  $\Delta t$  a mérés időtartama;  $n-k$  a vizsgált anyag sugárzása ( $k$  a háttérsugárzás átlaga);  $I$  az időegységben megadott sugárzási hányados (impulzus/min); Fesz. az alkalmazott nagyfeszültség.

Az egyes minták radioaktív anyagtartalmát U-egyenértékben kiszámíthatjuk a térfogatsúly és a lökésszám ( $I = \text{imp/min}$ ) alapján az alábbi képlet segítségével:

$$x = p \cdot \frac{c}{b} \cdot \frac{A}{B},$$

ahol  $A$  az összehasonlító standard térfogatsúlya;  $b$  a standard lökésszáma;  $p$  a standard U-tartalma %-ban;  $B$  a vizsgált minta térfogatsúlya,  $c$  a vizsgált minta lökésszáma;  $x$  a vizsgált minta U-egyenértéke %-ban.

Jegyzőkönyvi szám	Képződmény és lelőhelye	K	n	n-K
114.	Neokom homokkő, Nyergesújfalu .....	6	11	5
115.	Közép-eocén agyag, Nyergesújfalu és Bajót között az országot Ny-i oldalán levő bevágásban	6	16	10
116.	Dachsteini mészkő, Bajót, Öregkőhegy .....	6	10	4
117.	Alsó jura mészkő, Bajót, Öregkőhegy .....	6	10	4
118.	Alsó-eocén tarka agyag, Bajót, Öregkőhegy ...	6	12	6

$N =$  a háttérsugárzás  $\mu\text{r}$ -ben,  $n =$  a műszerről közvetlenül leolvasott  $\mu\text{r}$ -érték,  $n-K =$  a képződmény radioaktivitása  $\mu\text{r}$ -ben.

Kőzetvizsgálati jelentés				Minta, száma, jele:					
Észlelte 195... hó ...-án	Óra, idő h. min. szünet	Idő K-V-T	Eszköz állása	Effektus		$\sqrt{E}$	$\frac{\sqrt{E}}{T}$	Hiba %	mintavétel ideje:
				E	E/T				
			—	—	B1 min.				-----
<b>B<sub>1</sub></b> K. V.									helye: -----
	sz1				N min.				mélysége: -----
<b>N</b> K. V.									módja: -----
	sz2				B2 min				minta színe: -----
<b>B<sub>2</sub></b> K. V.									fiz. állapota: -----
	sz2-sz1		Észlelte:						fajsúly: -----
				Q = gram					víztartalom: -----
<b>B<sub>N</sub> Int.</b> $\frac{B_1 \text{ min} + B_2 \text{ min}}{2}$ (ha sz2-sz1 $\approx$ 0)				Műszer típus: -----				Geológus, vegyész feljegyzései:	
<b>No</b> = $\frac{N \text{ min.}}{(1-N \text{ min. } \tau)}$				Cső száma: -----					
<b>No</b> — <b>B</b> N int.				feszültsége: -----					
<b>N</b> kőzet: $\frac{\text{No-Bnt. int.}}{Q}$				Karakterisztika felvéve: -----					
<b>N</b> kőzet: = <b>N</b> prep.1 (koncent)				Feloldási idő $\tau$ : -----					
Th aequi				Hitelesítés prep. -----					
Számította:				Megjegyzés:					
				-----					
				csoportvezető					

## X. RADIOAKTÍV ÉRCEK KITERMELÉSE, OSZTÁLYOZÁSA ÉS ELŐKÉSZÍTÉSE

A radioaktív ércek kitermelési módja általában megegyezik az ércbányászat általános szempontjaival. A különbség olyan biztonsági intézkedésekből áll, amelyeket a radioaktív anyagokban gazdag ércek sugárzás okozta ártalma ellen foganatosítanak. A védekezés elsősorban a bányák rádiumemanációt tartalmazó levegőjének a kiszűréséből áll. *Evans* és mások közlései szerint ott, ahol a szükséges óvintézkedéseket nem hajtották végre, a bányászok 50%-a tüdőrákban halt meg.

A radioaktív ércek osztályozása a legtöbb bányában automatikusan történik. Az ércecszemcsék futószalagon több G. M. számlálócső előtt haladnak

el. Mindegyik számlálócső más és más aktivitásnál kapcsol egy relét. Aszerint, hogy mennyi a radioaktív tartalom, a relék az ércet mennyiségi összetétele szerint több helyre dobják szét. A meddő kőzetet a futószalag a hányóra viszi.

Az uránásványok nagy fajsúlyuk (6–9,5) következtében könnyen szétválaszthatók. De ott, ahol az urán- és tórium adszorptív kötésben vannak, kémiai eljárási módokat kell alkalmazni. Újabban sikerrel alkalmazták a flotációs eljárást.

## XI. ABSZOLÚT FÖLDTANI KORMEGHATÁROZÁS

A radioaktív bomlástermékek és a természetben végbemenő atommagátalakulások felhasználhatók földtani időszámítás céljára. A radioaktív bomlási termékek időszámítási felhasználásának egyik módja az urán, ill. a belőle keletkező stabil rádiumólom, valamint a tórium, ill. a belőle keletkező stabil tóriumólom arányának megállapítása. Amennyit az urán vagy a tórium a radioaktív bomlás folytán veszít mennyiségéből, annyival gyarapszik az uránsor végső bomlási termékének a rádiumólomnak, vagy a tóriumsor végső bomlási termékének a tóriumólomnak a mennyisége. A vizsgált ásványban a kettőnek egymáshoz való aránya kifejezi azt az időt, amely az ásvány keletkezése és a radioaktív anyagnak az ásványba kerülése óta eltelt.

Legyen valamely U-tartalmú ásványban a szokásos analitikai vagy mikroanalitikai módszerekkel megállapított U mennyisége  $U$ , a rádiumólom mennyisége  $Pb_U$ , akkor az ásvány kora ( $T$ ) az alábbi képletből kiszámítható.

$$T = 0,74 \frac{Pb_U}{U} \cdot 10^{10} \text{ év.}$$

Tóriumtartalmú ásványoknál a képlet a következőképpen módosul:

$$T = 2,8 \frac{Pb_{Th}}{Th} \cdot 10^{10} \text{ év.}$$

A két számegyüttható (0,74, ill. 2,8) az  $U$  és a  $Pb_U$ , ill. a  $Th$  és  $Pb_{Th}$  atomsúlyi viszonyának  $\left(\frac{238}{206}$ , ill.  $\frac{232}{208}\right)$  és az  $U$ , ill.  $Th$ . ún. közepes élet tartamának a szorzata.

A közepes élettartam reciprokja, vagyis a bomlási állandó  $\lambda_U = 1,57 \cdot 10^{-10}$  évenként, ill.  $\lambda_{Th} = 4,0 \cdot 10^{-11}$  évenként. A közepes élettartam, valamint  $2 n \log$ -jának ( $= 0,69315$ ) a szorzata megadja a felezési időt, amely alatt adott mennyiségű radioaktív elem atomjainak fele elbomlik.

Egyik képlet sincs azonban tekintettel arra, hogy a radioaktív elem atomjainak száma a méréskor kisebb, mint az ásvány keletkezésekor. Ez a körülmény különösen a nagyon idős ásványoknál nem hanyagolható el. Ezért az idősebb U ásványok számára a következő képletet használják:

$$T = \frac{1}{\lambda_U} \cdot \log n \left( 1,16 \frac{Pb_U}{U} + 1 \right) \text{ év,}$$

vagy

$$T = 1,467 \cdot \log \left( 1,16 \frac{Pb_U}{U} + 1 \right) \cdot 10^{10} \text{ év.}$$

Az idősebb Th ásványok számára:

$$T = \frac{1}{\lambda_{Th}} \log n \left( 1,12 \frac{Pb_{Th}}{Th} + 1 \right) \text{ év,}$$

vagy

$$T = 5,756 \cdot \log \left( 1,12 \frac{Pb_{Th}}{Th} + 1 \right) \cdot 10^{10} \text{ év.}$$

U-t és Th-ot is tartalmazó ásványok esetében mindkét elemből származó ólom mennyiségét figyelembe kell venni az U/Th arányának megfelelően.

Ha olyan ásványt vizsgálnak, amelynek eredetileg is volt ólomtartalma, akkor az időszámítás céljára a hélium módszert alkalmazzák. Az urán- és a tóriumtartalmú ásványokban ugyanis az  $\alpha$ -bomlás következtében állandóan termelődik hélium. Ha a vizsgált ásványban megreked a hélium, akkor annak mennyiségéből az urán és a tórium módszerhez hasonló módon következtetni lehet az ásvány korára.

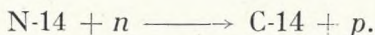
Az uránnal, ill. a rádiumólommal és a héliummal végzett számítások szerint a prekambriumtól napjainkig 1570–2130 millió esztendő telt el. Ez az idő az egyes geológiai korok között a következőképpen oszlik meg:

- A harmad és negyedkorra 60–70 millió év jut.
- A Föld középkorára 110–130 millió év jut.
- A Föld ókorára 300–330 millió év jut.
- A Föld őskorára (prekambrium) 1100–1600 millió év jut.

Amióta *Nier* több nem radiogén ólomércmintában tömegspektroszkóppal meghatározta az ólom izotópösszetételét, kiderült, hogy a nem radiogén ólomérc kora és izotópösszetétele között is bizonyos összefüggés található. Ha ugyanis valamely időpontban egy ólomérc kiválik, akkor ennek izotópösszetétele megegyezik a Föld más helyén ebben az időpontban levő ólomizotóparánnyal. A kivált ólomérc azonban ekkor már elszakad a további radioaktív szennyeződéstől és izotópösszetételében tovább nem változik, hanem megőrzi azt az izotóparányt, amely kiválási időpontjában a földkéreg minden helyén általában volt. Ezzel szemben egy fiatalabb, tehát későbbi időszakban kiváló ólomércnek tovább volt ideje radiogén izotópokban gyarapodnia, azért ebben a mintában a radiogén izotópok viszonylagos mennyisége nagyobb lesz, mint az előző mintában.

A negyedkortól a jégkorszakig közel 1 millió év telt el. A jégkorszak óta eltelt időt a pleisztocén jégkor végén elpusztult állati és növényi ősmaradványokban talált C-14-es szénizotóp vizsgálata alapján 35 000 esztendőben állapították meg. A C-14 a természetben végbemenő atomátalakulás terméke. A kozmikus sugárzásban mindenkor jelenlevő nagy energiájú protonok a föld légkörében összeütköznek egyes atomokkal, amelyek a magpárolgás következtében számos elemi részre hullanak szét.

Ennek következtében szabad neutronok is keletkeznek, amelyeket a levegő nitrogénje befog és egy proton kibocsátása mellett átalakul C-14 radioizotóppá, amely béta-emisszió útján 5590 év felezési idővel bomlik. A végbement reakció:



A C-14 szénizotópot is tartalmazó széndioxidot a növények belelegzik, az állatok pedig növényi táplálékukon keresztül építik be. A rádiókarbon felvétele mindaddig folyik, amíg a növény, ill. állat él. Mihelyt megszűnik az életműködés, a széndioxidfelvétel is megszakad, a rádiókarbon pedig bomlani kezd. Az időmérés úgy történik, hogy megméri a levegőben levő CO<sub>2</sub> aktivitását, majd megméri a vizsgált ősmaradvány aktivitását, és a két szénvegyület aktivitásának különbségéből kiszámítják az elbomlott C-14-es izotóp arányát, amelyből azután következtetni lehet az eltelt időre.

Mivel a C-14-es izotóp rövid felezési ideje miatt aránylag gyorsan lebomlik, csak a legfiatalabb képződmények korkérdéseinek eldöntésére használható. A módszer alkalmazásánál nagy körültekintéssel kell eljárni és ügyelni arra, hogy a mérésre kiválasztott szerves maradvány valóban jellemző legyen arra a rétegre, amelynek korát meg akarjuk határozni, továbbá a kiválasztott minta ne legyen idegen szerves anyagokkal szennyezett.

Sikeresen alkalmazzák időmeghatározás céljára a stroncium módszert is. Hogy a rubidiumnak stronciummá való radioaktív bomlását szintén fel lehet használni időmérés céljára, *Goldschmidt*, *Hahn* és *Walling* több, mint egy negyedszázada felvetette. A rubidium szintén a természetes radioaktív elemek sorába tartozik. Két izotópja van: a Rb-87 és a Rb-85. Előbbi 27,2%-át, utóbbi 72,8%-át teszi ki a rubidium anyagának. A két izotóp közül a Rb-87 a radioaktív, amely béta emisszió útján stabilis Sr-87 izotóppá alakul át. Felezési ideje  $5,81 \cdot 10^{10}$  év. A Rb-87 és a Sr-87 izobár elemek, azaz tömegük azonos, de a magok protonszáma különböző.

$$Z_{Rb} = 37 \qquad Z_{Sr} = 38$$

A rubidium elbomlására az alábbi táblázat jellemző.

Ha egy lepidolit 1,5% rubidiumot tartalmaz,

2000 millió év alatt	0,01% Sr keletkezik
1000 millió év alatt	0,005% Sr keletkezik
500 millió év alatt	0,0025% Sr keletkezik
250 millió év alatt	0,0013% Sr keletkezik
100 millió év alatt	0,0005% Sr keletkezik.

A rubidium nem tartozik a ritka elemek közé. *Goldschmidt* megállapítása szerint a földkéreg rubidiumtartalma 0,032%. Önálló ásványt nem alkot, hanem a kálium és a cézium ásványokba épül be. A késői pegmatitos és hidrotermális fázisban a Rb elsősorban a lepidolitban és a hidrotermális származású mikroklinban halmozódik fel. Előfordul még az Rb az amazonitban, a zinwalditban és a lithiumgazdag csillámokban. Legnagyobb

koncentrációban azonban a ritka pegmatit ásványban, a rhodizitben fordul elő. Kevesebb rubidiumot tartalmaznak: a leucit, a szanidin és a flogopit. A földkéregben kb. ugyanannyi Sr van, mint Rb és ebből a Sr-ból kb. 0,5–1% radiogén. A Sr ionrádiusza 1,27 Å, a Rb ionrádiusza 1,49 Å.

Mindkettő kedvezően helyezkedik el a szilikátrácsokban. Amíg azonban a káliumásványoknál a Sr kisebb ionrádiusza következtében a korábbi fázisban dúsul, a Rb nagyobb ionrádiusza következtében később dúsul. Ennek köszönhető, hogy a lepidolitban a nem radiogén Sr úgyszólván nem is fordul elő. *Mattauch* adatai szerint a kaliforniai lepidolit radioaktív Sr-tartalma felülmúlja a 99,7%-ot. A pegmatitok mikroklinja esetében a helyzet ugyanez. Az amazonitban kb. 75% a radiogén Sr.

Ez a koncentráció lehetővé teszi a Sr és Rb viszony spektrokémiai meghatározását.

A stroncium módszer segítségével számos kormeghatározást végeztek. *Strassmann* és *Walling* a manitóbai lepidolitot 1800 millió évesnek találta. *Ishibasi* és *Ishihara* a koreai lepidolitok korát 1020 millió évben állapította meg.

A kaliforniai kréta és késő jura batolitok a Sr módszerrel 100–150 millió évesnek, a hélium módszerrel 120–130 millió évesnek bizonyultak.

Kolorádóban, Új-Mexikóban és Dél-Dakotában a prekambriumi pegmatitok az ólom-időszámítással 800–900 millió, Sr időszámítással 800 millió évesnek bizonyultak.

*Chlopin* és *Vladimirova* ólom-meghatározása szerint az északkaréliei gránitok 1800–2100 · 10<sup>6</sup> évesnek, Sr módszerrel 2000–2350 · 10<sup>6</sup> évesnek adódtak.

A kolorádói Pikes-Peak 1% Rb-ot tartalmazó amazonitja az ólom-méréssel megegyezően 1100 millió évet mutatott.

Az utóbbi években egyre több olyan kormeghatározásra vonatkozó tanulmány jelenik meg, amelynek alapja a K-40 radioaktív izotópjának bomlása.

A természetes kálium főtömegében (93%) stabilis 39-es tömegű izotópból áll, mellette 6,7%-ban fordul elő az ugyancsak stabilis 41-es tömegszámú izotóp. A 40-es tömegszámú radioaktív izotóp a közönséges káliumban csak mindössze 0,01%-ban van jelen.

A K-40-nek kétféle radioaktív bomlása van. Az atomjainak egy része  $\beta$ -sugárzással bomlik és a bomlás stabilis Ca-40-es izotópot eredményez. Az atomok másik része K-befogással ugyancsak stabil A-40 izotóppá alakul.

A K-40-nek mindkét fajta átalakulását alkalmazták már geológiai kormeghatározásra, és különösen az utóbbi években az argonmódszer igen elterjedt. E módszerrel szemben felmerülhet agályokat itt bizonyos mértékig növeli az, hogy nemcsak a bomlások felezési idejét (bomlási állandóját) kell ismerni természetesen mindkét fajta bomlásra, hanem a radioaktív kálium kétféle bomlásának arányát is. Ahrens szerint a K-40-es izotóp bomló atomjainak 88%-a  $\beta$ -bomlással alakul át, 12%-a pedig K-befogással.

A káliumásványokban mindkét stabilis végtermék felhalmozódását megtalálták. A kormeghatározás most már vagy az A-40/K-40, vagy a Ca-40/K-40 viszony meghatározásán alapulhatott. Az argon módszernek talán az adott nagyobb jelentőséget, hogy a mérési módszere — amely emlékeztet a He-módszere — egyszerűbb.

A felsorolt kormeghatározási módszerek nagyrészt kiegészítik egymást, amennyiben a különböző nagyságrendű bomlási félidejük következtében különböző geológiai korok mérésére alkalmasak.

Természetesen rá kell mutatnunk a radioaktív időmérés gyenge pontjaira is. Az ólommodszernél zavarólag hat a bomlóssor egyes tagjainak gyors bomlása, a héliummodszernél pedig az a körülmény, hogy a hélium nemesgáz lévén, diffúzió útján eltávozhat az ásványból. A hélium mennyiségi változásáról így nincs fogalmunk, mivel nem tudjuk, hogy az ásvány milyen hőmérsékleti változásokon ment keresztül a geológiai idők folyamán. Másik hibalehetőség, hogy nem tudjuk megállapítani mikor vette kezdetét a vizsgált ásványban a radioaktív elem elbomlása, azaz mikor húzták fel azt az időmérő órát, amelyet a természet rejtett el benne. Ennek ellenére nem fordulhat elő, hogy a geológiailag idősebb ásványokban kevesebb legyen pl. a rádiumólom mennyisége, mint a fiatalabb ásványokban.

A Sr-módszer előnye a többi módszerrel szemben, hogy stabilis ionrácskötésben levő, lassan bomló elem felhasználásán alapszik, továbbá, hogy lényegesen rövidebb időt vesz igénybe az időmeghatározás az ólom és a hélium-módszernél.

Az időmeghatározásnak még egy módja ismeretes. Az  $\alpha$ -sugarak hatására az ásványokban az  $\alpha$ -sugárzást kibocsátó mikroszkópikus nagyságú radioaktív zárvány körül színes gyűrűk keletkeznek, amelyek polarizált fényben a pleochroizmus jelenségét mutatják. Ezek a pleochroos udvarok vagy halók az ásványban hosszú geológiai korok alatt képződnek s így az ásvány geológiai korára nézve is felvilágosítást adnak.

Igen szépen fejlett halókat találtak a wölsendorfi fluoritban. Ezek a halók azért is nevezeteseek, mivel az ásványban az  $\alpha$ -sugarak csak lecsökkentett sebességű állapotukban fejtenek ki színező hatást, amikor is a sok környező atommal ütközve már annyi energiát vesztek, hogy hatótávolságuk végére értek. Ennek következtében az egyes  $\alpha$ -sugárfajták hatótávolságait pontosan meg lehet állapítani.

## XII. RADIOAKTÍV FÖLDTANI HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS ÉS A FÖLD HŐHÁZTARTÁSÁNAK KÉRDÉSE

*Balkay* a Földtani Közlöny 83. évf. 7—9. számában ismerteti Urey — Lowenstam — Epstein és Mc Kinney közleményét az izotópos földtani hőmérsékletmérésről. Miután több vegyületről kiderült, hogy izotópszerűségük keletkezési hőmérsékletük függvénye, Urey és munkatársai új, mennyiségi őshőmérsékletmérési módszert dolgoztak ki. Céljaiknak legjobban a  $\text{CaCO}_3$  felelt meg, amelyben az O-18-as izotóp mennyisége függ

a keletkezési hőmérséklettől. Az izotópeloszlást tömegspektrográffal vizsgálták.

A hibaforrások (utólagos metamorfózis, diffúzió stb.) figyelembevételével szerzők egy jurakorú Belemnita-rostrumon évszakos hőmérsékletváltozást mutattak ki, ami a  $\text{CaCO}_3$  izotópösszetételének állandóságát és a módszer használhatóságát bizonyítja. További méréseik során az USA, Dánia és Anglia felsőkrétakori hőmérsékletét 15–16 °C körülinek és meg lehetőségen egyenesnek találták.

\* \* \*

Újabbban az elméleti földtan mind nagyobb szerepet tulajdonít a radioaktív bomlás által termelt hőnek a Föld energiaháztartásában. Úgy látszik ugyanis, hogy a külső földkéreg közeteinek hővezetőképessége kisebb annál, mint amekkora szükséges ahhoz, hogy a radioaktív bomlás által folyamatosan termelt hőmennyiséget a Föld felszínére vezesse. Ily módon a Föld belsejében hőakkumuláció következik be, amely a Föld belső feszültségét növeli. Joly szerint, ha ez az energiaakkumuláció bizonyos határértéket elér, megbomlik a Föld kéreggyensúlya és a felhalmozódott energiák az orogén mozgások által használódnak fel. Ezután egy újabb felhalmozódási időszak következik. Ez volna a magyarázata az epirogén és orogén időszakok ritmikus váltakozásának, és egyúttal jó példája a mennyiségi változásokból a minőségi változásokba való átcsapásnak (evolúció, revolúció). A fenti kérdések azonban már inkább az elméleti földtan területére tartoznak, és mert a radiogeológia gyakorlati problémáit nem érintik, erre bővebben nem térünk ki.

### XIII. SZAKIRODALMI JEGYZÉK

(A szakirodalmi jegyzékben a könyvcímeket magyar és idegen nyelven, a folyóiratokban megjelent közleményeket csak magyar nyelven közöljük.)

- Adams—Gude—Beroni*: Uránelfordulások a Golden Gate kanyonban és a Ralston-Creek területen, Jefferson vidékén, Kolorádóban. U. S. Geol. Survey Circ. 320. (1953.)
- Agocs*: Légi felvétel szcintillációs számlálóval. Airborne Scintillation Counter Surveys. Canadian Mining and Metallurgical Bull. 48. k. 515. sz. p. 109–111. (1955. márc.)
- Ahrens*: Ásványok korának meghatározása radioaktív Rb segítségével. Nature 157. p. 269. (1946.)
- Ahrens*: Geológiai kormeghatározás természetes radioaktív rubidium segítségével. Trans. Geol. Soc. S. Africa 50. p. 24–54. (1947.)
- Ahrens*: Földtani időmérés a stroncium-módszerrel. Bull. of the Geol. Soc. of Am. (1949.) II.
- Ahrens*: Geológiai kormeghatározás stroncium-módszerrel. Bull. Geol. Soc. Amer. 60. p. 217–266. (1949.)
- Ahrens*: Kalciumos geológiai kormeghatározás lehetősége. Geochim. et Cosmochim. Acta 1. p. 312–316. (1951.)
- Ahrens—Gorfinkle*: Délkelet Manitobai őskori pegmatitok kora. Nature 166. p. 149. (1950.)
- Ahrens—Gorfinkle*: A lepidolitban levő rubidium kvantitatív spektrokémiai analízise. Am. J. Sci. 249. p. 451–456. (1951.)

- Aldrich—Nier*: Argon-40 a káliumásványokban. *Phys. Rev.* 74. p. 876—877. (1948.)
- Allan—Farquhar—Russel*: Megjegyzés az ólomizotópos kormeghatározáshoz. *Science*. No. 3069. (1953. okt. 23.)
- Allen—Lipsicas*: A ködkamra. *Research*. No. 11. p. 416—23. (1953. nov.)
- Alpher—Herman*: Az ósólomizotóptartalom és a földkéreg kora. *Phys. Rev.* 84. p. 1111—1114. (1951.)
- Altschuler—Clarke—Young*: Urán az apatitban. *Geol. Soc. America Bull.* v. 65. p. 1225. (1954.)
- Mc Anally*: Fluoreszcenciámérések a Beckmann-féle DU spektrofotométerrel. *Anal. Chemistry*. 26. k. 9. sz. 1954. szept. p. 1526.
- Anderson*: A természetes radiokarbon képződése és eloszlása. *Ann. Rev. Nuclear Sci.* 2, p. 63—78. (1953.)
- Anderson—Arnold—Libby*: Alacsony szintű radiokarbon mérése. *Rev. Sci. Instr.* 22. p. 225—230. (1951.)
- Anderson—Hinson*: Héliumtartalmú földgázok az Egyesült Államokban. *U. S. Bur. Mines Bull.* 486. p. 141. (1951.)
- Anderson—Levi—Tauber*: Természetes radiokarbon mérése. *Science* 118. p. 6—9. (1953.)
- Antevs*: Szalagos agyag és radiokarbon időbecslés a pollen módszer mellett. *Jour. of Geology* 63. k. 5. sz. p. 495—499. (1955.)
- Antoine*: Urán az északafrikai foszfátokban. *Compt. rend.* 234. p. 868—870. (1952.)
- Arambourg—Orcel*: Előzetes jelentés a marokkói foszfáttelepek uránvanadátjáról. *Acad. des Sci. Paris. Comptes Rendus*, v. 233. p. 1635. (1951.)
- Armstrong*: Szurokércelőhelyek Quartz Hillben, Kolorádóban. (abs.) *Geol. Soc. America Bull.*, v. 63. p. 1232. (1952.)
- Arnold*: Természetes radiokarbon szcintillációs számlálása. I. Méréstechnika. *Science* 119. p. 155—157. (1954.)
- Asayama*: Radioaktív kutatás a hiei gránitrégióban. *Japán. J. Astron. Geophys.* 14, p. 19—26. (1936.)
- Aston*: Izotópok. Leipzig, 1923.
- Axelrod—Grimaldi—Milton—Murata*: Uránásványok a hillsidei bányából, Yavapai vidékéről, Arizonából. *Am. Min.* v. 36. p. 1—22. (1951.)
- Ádám—Csókás*: Hazai fűrómagok radioaktív vizsgálati módszere  $\beta$ -számláló Geiger—Müller csővel. *Bányászati Lapok* 4. sz. p. 188—191. (1954. ápr.)
- Bain*: Hasadásra alkalmas anyagok geológiája. *Econ. Geol.* 45. No. 4. p. 273—323. (1950.)
- Bain*: Uránlelőhelyek a Kolorádó-plató délnyugati részén. *U. S. Atomic Energy Comm. RMO-982. Techn. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn.* (1952.)
- Bandat*: A földgázban levő hélium eredetéről. *Intern. Z. f. Bohrtechnik usw.* 47. No 3. p. 1—17. (1929.)
- Baranov*: Légi radiometrikus kutatás urán és tóriumlelőhelyek után, és a gamma-anomáliák kiértékelése. *Genfer Bericht A/Conf. 8/P/625.* (1955.)
- Baranov—Kretschmer*: Radioaktív elemek eloszlásának tanulmányozása vastag emulzió. *Compt. rend. acad. sci. S. S. S. R.* 1. p. 546—549. (1935.)
- Barnard*: Modern tömegspektrográf. *The Inst. of Physics.* London. p. 326. (1953.)
- Barnes—Salley*: A kálium természetes radioaktivitásának vizsgálata. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 15. no. 1. p. 4—7. (1943.)
- Barthauer—Rulfs—Pearce*: A thucholit vizsgálata. *Am. Min.* v. 38. p. 802—814. (1953.)
- Bartlett*: Szerves anyagokat tartalmazó üledékek korának meghatározása C-14 segítségével. *Science* 114. p. 55—56. (1951.)
- Bastin*: A kolorádói szurokércék geológiája. *U. S. Geol. Survey. Prof. Paper* 90-A. Washington (1914.)
- Bastin*: Nikkel-kobalt-ezüstérc típus. *Econ. Geol.* v. 34. p. 1—40. (1939.)
- Bateman*: Az uránkutatás újabb fejleményei Ontarióban. *Econ. Geol.* 50. k. 4. sz. p. 361—372. (1955. jún.—júl.)
- Bates—Strahl—Short—Silverman—Camilli*: A chattanoogai agyagok ásvány- és közettana. *Geol. Soc. Amer. Bull.* v. 65. p. 1230. (1954.)
- Bauer*: Az atomfizika alapjai. *Grundlagen der Atomphysik.* Wien, (1951.)
- Bay*: Atomfizika. *M. T. I. K.* 71. Budapest (1946.)
- Beath*: A Morrison formáció sőtartalmú homokkövein élő toxikus növényzet. *J. Botany.* v. 30. p. 698—707. (1943.)
- Becquerel*: Foszforszkáló anyagok által kibocsátott láthatatlan sugarak. *Compt. rend.* 122. p. 420.; 501; 689. (1896.)

- Beers*: Néhány paleozoós agyag radioaktivitása és organikus anyagtartalma. Am. Assoc. Petroleum. Geol. Bull. v. 29. No. 1. p. 1–22. (1945.)
- Beers—Goodman—Clark*: A radioaktivitás eloszlása a régi üledékekben. Geol. Soc. America Bull. v. 55. p. 1229–1254. (1944.)
- Begemann—Bullar—Houtermans—Isaac—Picciotto*: Uránásványok korának meghatározása. Pb-210 izotóp segítségével. Geochim. et Cosmochim. Acta 4. p. 21–35. (1953.)
- Begemann—Bullar—Houtermans—Isaac—Picciotto*: Előkészület a shinkolobwei urán-szurokérc korának meghatározására a Pb-210 módszer segítségével. Bull. soc. belge géol. paléontol. et hydrol. 61. p. 223–226. (1952.)
- Behounek*: A kőzetek U- és Th-tartalmának meghatározása. Coll. Českoslov. Chem. Comm. 15. p. 699. (1950.)
- Behre—Barton*: A Bird Spring (Nevada) és a régi bányavidék uránlelőhelyeinek kiértékelése és becslése. U. S. Atomic Energy Comm. RME-3091. Tech. Inf. Service. Oak Ridge, Tenn. (1954.)
- Bell*: Üledékes kőzetek radioaktivitása. Am. Assoc. Petroleum. Geol. Bull. 24. p. 1529–1547. (1940.)
- Bell—Bales*: Uránlelőhelyek Dél-Dakotában. U. S. Geol. Survey Bull. 1009. (1955.)
- Bell—Goodman—Whitehead*: Az üledékes kőzetek radioaktivitása és a kőolaj társulása. Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol. vol. 24. No. 9. p. 1529–1547. (1940.)
- Berbezier—Chaminade—Lallemant*: Gammasugár lyukszelvényező kocsi felszerelésének leírása. Ann. géophys. 8. p. 260–263. (1952.)
- Berbezier—Lallemant*: Gammasugár-szonda az ásványkutatóban. Ann. géophys. 8. p. 314–315. (1952.)
- Berbezier—Lallemant*: Készülékek radioaktív ásványok felkutatására. L'onde électrique 35. k. 343. sz. p. 916–928. (1955. okt.)
- Berriman*: Töltött részecskék minimális ionizáló képessége a fotoemulzió. Nature 162. p. 992–993. (1948.)
- Berriman*: Nukleáris részecskék nyomainak felvételére szolgáló emulziók jellegzetes görbéje. Sci. e. Indr. Phot. 23. k. 4. sz. 321–336. (1953.)
- Bernert*: Mélytengeri üledékek rádiumtartalma. Österr. Akad. Wiss. math. naturw. Kl. Sitzber., Abt. II a. 160. p. 99–111. (1951.)
- Beroni—King*: A Mike Doyle-i karnitlelőhely El-Paso vidékén, Kolorádóban. U. S. Geol. Surv. TEM-133. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1950.)
- Beroni—Mc Keown—Stugard—Gott*: Uránlelőhelyek Kane vidékén, Utahban. U. S. Geol. Survey Circ. 239. (1953.)
- Billings—Keovil*: New Hampshire-i paleozoikus magmaszéria közettana és radioaktivitása. Bull. Geol. Soc. Amer. 57. p. 797–828. (1946.)
- Birch*: A kálium radioaktivitása és néhány ezzel kapcsolatban geofizikai kérdés. J. Geophys. Research 56. p. 107–126. (1951.)
- Birks*: Szcintillációs számlálók. Scintillation Counters. Mc Graw-Hill N. Y. (1953.)
- Black—Mitchell*: Nyomelemek a barna algákban és a tengervízben. Jour. Marine Biol. Assoc. of the United Kingdom. v. 30. p. 575–584. (1952.)
- Blackett*: Kozmikus sugárzás. La Radiation Cosmique. I–IV. Hermann et Cie. (1935.)
- Blanchard—Dewan*: Gammasugár szonda kalibrálása. Petroleum Eng. 25. B 76–B 80. (1953. aug.)
- Blau—Deevy—Gross*: Természetes radiokarbon mérések. I. Piramisvölgy, Új Zeeland. Science 118. p. 1–6. (1953.)
- Blum*: Neutrondiagramok felvétele fúrólukban stb. Erdöhl. u. Kohle 6. 133–136. (1953. márc.)
- Boato—Careri—Santangelo*: Argon izotópok a földgázban. Nuovo cimento 9. p. 44–49. (1952.)
- Boltwood*: Az urán és a rádium közötti viszony néhány ásványban. Nature, 70. p. 80. (1904.)
- Boncs—Brujevičs*: Az elektroncső fizikai alkalmazásai. Bp. (1952.)
- Borkowski*: A legfontosabb műszertípusok radioaktív mérésekhez. Anal. Chem. 21. p. 348. (1949.)
- Boyd*: Módszer radioaktiválás útján való elemzésre. Method of Activation Analysis. Anal. Chem. 21. 335–347. (1949.)

- Braddick*: Kozmikus sugárzás és a mezotron. Cosmic Rays and Mesotrons. University Press. (1939.)
- Brajnikov*: Urántartalmú ásványok geológiai kormeghatározásának lehetséges hibaforrásai. C. R. hebdomadaire des Séances Acad. Sci. 233. p. 74–75. (1951.)
- Breger—Deul—Rubinstein*: Az urántartalmú barnaköszének geokémiája és ásványtana. Econ. Geol. 50. k. 2. sz. p. 206–226. (1955. márc.—ápr.)
- Breger—Whitehead*: Radioaktivitás és a kőolaj eredete. Proc. 3rd World Petroleum Congr., Haga. Sec. I. p. 421–427. (1951.)
- Bremner*: U és Th meghatározása kőzetekben magemulziós lemezen. Proc. Phys. Soc. 64 A. p. 25–31. (1951.)
- Brewer*: A rubidium atomsúlyának és izotóparányának meghatározása tömegspektrográffal. J. Am. Chem. Soc. 60. p. 691–693. (1938.)
- Briszkina*: Autoradiográfia. Priroda 12. p. 111. (1952.)
- Broda*: A radiokémia újabb eredményei. Akad. Kiadó. Budapest, (1952.)
- Broda—Nowotny—Schönfeld—Suschny*: Urántartalmú osztrák barnaköszénhamu. Berg- und Huttenmännische Monatshefte, 101. 6. f. p. 121. (1956. jún.)
- Broda—Schönfeld*: Hosszú élettartamú radioaktív szén (C-14.) Österreich Chem. 54. k. 13–14. sz. p. 209–215. (1953. júl.)
- Broda—Sperk*: A radiokarbon és néhány alkalmazása a biokémiában. Nature. p. 676–678. (1954. ápr. 10.)
- Brooksban—Leddicotte—Mahlman*: Nyomelemzés neutronaktíválással. J. Phys. Chem. 815–819. (1953. nov.)
- Broser—Oeser*: Gammasugarak meghatározása kadmiumsulfid kristállyal. Strahlentherapie, 90. 1953. p. 399–407.
- Brown*: A Geiger—Müller számlálók elmélete és működése. Nucleonics. 2, no 6. p. 10–22. 3, no 2. p. 50–64 és 3, no 4. p. 46–61. (1948.)
- Brown*: Urán egy fekete-pala agyagjában. Science. Vol. 116. No. 3023. p. 632–633. (1952. dec. 5.)
- Brown*: A Ca-41 radioaktív bomlása. Proceedings of the Royal Soc. No. 1141. vol. 220. p. 203–219. (1953. nov. 10.)
- Brown—Keller*: Urán egy fekete radioaktív agyagban. Science, v. 16. p. 632–633. (1952.)
- Brownell*: Sugárzásmérés szcintillációs számlálóval. Econ. Geol. v. 45. p. 167–174. (1950.)
- Bruet*: Radioaktív ásványok és ritka földek. Minéraux radioactifs et terres rares. Paris, 1952.
- Briël—Kjaer*: Counting Rate Meter Type 6502. (gyári leírás) Koppenhága.
- Briël—Kjaer*: Electronic Counter Type 6501. (gyári leírás) Koppenhága.
- Burbank—Pierson*: Előzetes következtetések a kolorádói San Juan hegység északnyugati részének radiometrikus kikémlésével kapcsolatban. U. S. Geol. Survey Circ. 236. (1953.)
- Burstall*: Urán elválasztása cellulóze-oszlopokkal organikus oldószer extrakciójával kombinálva. The Analyst. 76. p. 388. (1951. júl.)
- Burton—Sullivan*: Tengeri kőzetek karbontartalma és radioaktivitása. Trans. Am. Geophys. Union. 32. p. 881–884. (1951.)
- Bush—Mardock*: A radioaktív lyukszelvényezés kvantitatív kiértékelése. J. Petroleum Technol. 3. júl. és Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. 192. p. 191–198. (1951.)
- Butler*: A geológiai szolgálat feladata és az urán-tóriumlelőhelyek geológiája. U. S. geol. Survey TEI-207. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1952.)
- Buttler—Wandt*: Radioaktív mérések a geológiában I–III. A. T. M. V. 655–1. p. 201; 225–228; 251–254. (1952.)
- Buttgenbach*: Belgium és a Belga-Kongó ásványai. Les minéraux de la Belgique et du Congo Belge. Paris, Liege, (1947.)
- Cady—McFarland*: A földgáz összetétele és a földgázban előforduló hélium. J. Am. Chem. Soc. 29. p. 1525–1526. (1907.)
- McCallum*: Neutronforrás készítése és használata. Nucleonics (1949. júl.)
- Calvin*: Szénizotóp. Izotopic Carbon. Wiley, (1949.)
- Campbell—Wood*: Alkális érc radioaktivitása. Proc. Cambridge Phil. Soc. 14. p. 15–21. (1906.)
- Cannon*: A Kolorádó plató növényzete az urán- és vanádiumlelőhelyeken. Am. Jour. Sci. v. 250. p. 735–770. (1952. okt.)

- Cannon*: Geobotanikai következtetések Grants mellett, Új-Mexikóban. U. S. Geol. Survey Circ. 264. (1953.)
- Cannon*: Az urán kutatás botanikai módszerei. Mining Engineering. v. 6. p. 217–220. (1954.)
- Capdecemme*: A Thies-i régió (Senegal) ásványainak és alumíniumfoszfátlelőhelyeinek tanulmánya. 19th Int. Geol. Cong. Comptes rendus. v. 11. p. 103–118. Algiers. (1953.)
- Carnegie Institution*. Washington. Kőzetek kora. Year Book 53. p. 78–84. (1954.)
- Catheart—Blade—Davidson—Ketner*: A floridai foszfátlelőhelyek geológiája. 19th Int. Geol. Cong. Algiers, Comptes rendus. v. 11. p. 77–91. (1953.)
- Chakraburthy és tsai*: Kolorimetrikus módszerek urán meghatározására. J. of the Ind. Chem. Soc. No 7. p. 491–496. (1953. júl.)
- Chaminade*: Kutatóeszközök a radioaktív ásványokhoz. Communication présentée à la Soc. des Radioelectriciens le 19 nov. (1949.)
- Charrin*: A francia középhegység urántelepei. Le génie civil. 75. k. 3392. sz. p. 93–94. (1955. márc. 1.)
- Charrin—Russel*: Radioaktív szelvények alkalmazása olajmezőkön. Petr. Eng. 24. k. 4. sz. (1953. ápr.)
- Chaudhury*: A rubidium radioaktivitása. Proc. Nat. Inst. Sci. India 8. p. 45–54. (1942.)
- Coffin*: Rádium-, urán- és vanádiumlelőhelyek délnyugat Kolorádóban. Colorado Geol. Survey Bull. 16. (1921.)
- Collins—Farquhar—Russel*: A radiogén ólomizotóp összetétele és a geológiai idő mérése. Bull. Geol. Soc. Amer. 65. p. 1–22. (1954.)
- Collins—Lang—Robinson—Farquhar*: Néhány uránlelő hely korának meghatározása a kanadai pajzson. Proc. Geol. Assoc. Can. 5. p. 15–41. (1952.)
- Coppens*: Fényérzékeny lemez alkalmazása gyenge radioaktivitás meghatározására és mérésére. Bull. soc. sci. Bret. 23. p. 17–23. (1948.)
- Coppens*: Néhány kőzet radioaktivitásának fotoemulziós tanulmányozása. Étude de la radioactivité de quelques roches par l'émulsion photographique. These. Paris. (1949.)
- Coppens*: Fekete agyagok radioaktivitása. Compt. rend. 236. p. 600–601. (1953.)
- Coppens—Goulben Vernois*:  $\alpha$ -sugarak abszorpciós együtthatójának kísérleti meghatározása ismeretlen anyagban, és autoradiográfiai tanulmány a radioaktív anvag urán- és tóriumtartalmának megállapítására. Compt. rend. 234. p. 1974–1976. (1953.)
- Coppers*: Ásványok radioaktivitásának meghatározása  $\alpha$ -emulziós technikával. J. Phys. Radium. 11. p. 21–32. (1950.)
- De la Corte*: Egyszerű szabályozható Wilson-kamra. Ric. Sci. 22. p. 1743–48. (1952.)
- Cowan*: Kompakt megvilágítási rendszer ködkamrákhoz. The Rev. of. Sci. Inst. p. 1104–07. (1953. dec.)
- Cowper*: Légi kutatás szcincillációs számlálóval. Nucleonics, 12. no. 3, p. 29–32. (1954.)
- Craig*: Stabil szénizotópok geológiája. Geochim. et Cosmochim. Acta 3, p. 53–92. (1953.)
- Craig—Holmes—Cadigan—Freeman—Mullens—Weir*: Előzetes jelentés a Morrison- és a Kolorádó-plató rokonformációinak sztratigráfiájáról. U. S. Geol. Survey TEI-180. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. U. S. Geol. Survey Bull. 1009—E. (1955.)
- Crane—Mc Daniel*: Automatikus számláló a C-14-gyel történő kormeghatározásnál. Science. 342. (1952. okt. 3.)
- Crowther*: Ionok, elektronok és ionizáló sugarak. Ions, Electrons, and Ionizing Radiations, London, (1949.)
- Mc. Cullogh Váll.*: Új eljárás a radioaktív lyukszelvényezésnél. Petr. Eng. 24. k. 1. sz. (1952. jan.)
- Curie I.*: Kőzetek radioaktivitásának tanulmányozása  $\alpha$ -részecskenyomok észlelésével fényérzékeny emulzió. J. Phys. radium (8), 7 p. 313–319. (1946.)
- Curie, I.*: Természetes radioelemek. Les radioelements naturels. Paris, (1946.)
- Curie, M.*: Értekezés a radioaktivitásról. Traité de radioactivité. Paris. (1910.)
- Curie, M.—Joliot*: A radioaktív samarium. Compt. rend. 198. p. 360–362. (1934.)
- Curie, M.*: Radioaktivitás. Radioactivité. Paris (1935.)
- Curran*: Geológiai kormeghatározás radioaktivitás útján. Quarterly Review. 7. k. 1. sz. p. 1–19. (1953.)

- Curran*: Lumineszcencia és a szcincillációs számláló. Butterworths Sci. Publ. (1953.)
- Curran*: Az új számlálók. Science Progress. 1954. jan. No 1. 165. vol. XLII. p. 32–45.
- Curran—Wilson*: A rubidium radioaktivitása. Phil. Mag. 43. p. 82–92. (1952.)
- Curtiss*: Radioaktív standardok és a radioaktivitás mérésére használt eszközök. Proceed. of the I. R. E. p. 918–919. (1949. aug.)
- Curtiss*: Rádoaktivitásmérés. Nat. Bur. Standards. U. S. Circ. 476. p. 84. (1949.)
- Curtiss*: A Geiger—Müller számláló. Nat. Bur. Standards. U. S. Circ. 490. p. 25. (1950.)
- Czeck*: A radioaktivitás és szerepe az újabkori földrajz-geológiai felfogásokban. Földtani Közlöny 42. 6. f. p. 428–454. (1912.)
- Damon*: Radioaktivitás és ásványosodás a riolitporfirban. Geophysics 15. p. 94–101. (1950.)
- Damon—Hyde*: Szcincillációs számláló radioaktív gázok mérésére. Rev. Sci. Instr. 23, p. 766. (1952.)
- Dana*: Ásványrendszertan. The System of Mineralogy I—II. 1946.
- Dana—Ford*: Ásványtani kézikönyv. A Textbook of Mineralogy. 4th edition. N. Y. (1932.)
- Danckworth*: Lumineszcenz analízis uviole szűrő fényében. Lumineszcenz Analyse in filtrierten ultravioletten Licht. (Akad. Verl. Geest & Portig, 1949.)
- Daniels—Boyd—Saunders*: A termolumineszcencia, mint kutatóeszköz. Science 117, p. 343–349. (1953.)
- Daniels—Farrington*: Fotografikus technika a kőzetekben levő radioaktív nyom-elemek becslésére. Photographic technique for estimating traces of radioactivity in rocks. Univ. of Wisconsin. (1950. okt.)
- Davidson*: A radioaktivitás eloszlása. Mining Mag. 85, p. 329–340. London, (1951.)
- Davidson*: A witwatersrandi arany- és uránérccek. Mining Mag. 88. p. 73–85. London, (1953.)
- Davidson*: A witwatersrandi arany- és uránérccek. Min. Mag. v. 88., p. 73–85. (1953.)
- Davidson*: A durva- és finomszemű kőzetek eloszlása a Wasatch-formációban és viszonyuk az uránlelőhelyekhez Wyomingban. U. S. Geol. Survey TEM 676. U. S. Atomic Energy Comm., Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Davidson—Atkin*: Az urán előfordulása a foszfátkőzetekben. 19th Int. Geol. Cong. Comptes rendus. v. 11. p. 13–31. (1953.)
- Davis*: A katangai dél-dakotai és utahi uránásványok összetétele és kora. Am. J. Sci. (5) 5, p. 201–217. (1926.)
- Davis*: Elektromos ellenállásmérés a Kolorádó-plató karnotitlelőhelyein. U. S. Geol. Survey TEM-232. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1951.)
- Davis—Aldrich*: A lepidolitok korának meghatározása az izotóphigitás módszerével. Bull. Geol. Soc. Amer. 64. p. 379–380. (1953.)
- Demay*: Urán és tórium eloszlása a Quintin-i gránitban stb. C. R. hebd. Séances Acad. Sci. 232. p. 338–340. (1951.)
- Demay*: Az észak-limogesí St. Szilveszter granulitokban levő cruzillai uránszurokerek abszolút geológiai korának meghatározása. Compt. rend. 237. p. 48–50. (1953.)
- Demers*: Új fotoemulzió ionizáló részecskék nyomainak jobb kimutatására. Can. J. Research, A 25, p. 223–251. (1947.)
- Dériberé*: A lumineszcencia gyakorlati alkalmazása. Les applications pratiques de la luminescence. Dunod. (1946.)
- Dewan—Allaud*: A neutron lyukszelvényezés kiértékelése. Petroleum Engr. 25. B 49- B 54. (1953. szept.)
- Dix*: Az utahi uránlelőhelyek San Juan vidékén. U. S. Atomic Energy Comm. RME-4022. Tech. Inf. Service. Oak Ridge, Tenn. (1954.)
- Doklady Akad. Nauk.*: Új módszer ásványok abszolút geológiai korának meghatározására. p. 1415–1417. (1947.)
- Duffendach—Morris*: Geiger—Müller számláló tulajdonságai és alkalmazása. J. opt. Soc. Am. 32. p. 8–24. (1942.)
- Duncan*: Uránelőfordulás a nevadai riolittufa-lelőhelyen Coaldale mellett. U. S. Geol. Survey Circ. 291. (1953.)
- Duncan*: Az uránkutató eredményei a nem tengeri eredetű szenes kőzetekben. U. S. Geol. Survey. TEM-444-A. U. S. Atomic Energy Comm., Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)

- Egyed*: A radioaktív bomlás kérdéséhez. Földtani Közlöny. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 84. 3. p. 265—267. (1954.)
- Ehrenberg*: Az ásványokban levő ólomizotópok analízise. Z. Physik. 134, p. 317—333. (1953.)
- Eichholz—Hilborn—Mc Mahon*: Urán- és tóriumásványok meghatározása. Can. J. Phys. 31, p. 613—628. (1953.)
- Ellsworth*: Thucholit, egy primer szénásvány Ontarióban, Parry Sound szomszédságában. Am. Mineralogist, v. 13. p. 419—441. (1928.)
- Ellsworth*: Ritka elemeket tartalmazó ásványok Kanadában. Geol. Survey Canada. Econ. Geol. Ser. No. 11. (1932.)
- Ember*: Hordozható G. M. csöves sugázmérő készülékek. K. F. K. I. közl. 2. évf. 5. sz. p. 683. (1954. okt.—dec.)
- Emory—Dietz*: Tengeralatti foszforitlőhelyek. Calif. Jour. Mines Geol. v. 46. p. 7—15. (1950.)
- Erickson*: Urán és más ásványok társulása kőolajjal, aszfalttal és kőolajtartalmú kőzetekkel. Bull. of the Amer. Assoc. of Petroleum Geol. 38. k. 10. sz. p. 2200—2218. (1954. okt.)
- Erickson—Myers—Horr*: Urán és más ásványok társulása nyersolajjal, aszfalttal és kőolajtartalmú kőzetekkel. Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol. és Bull. Geol. Soc. Amer. 64. p. 1505. (1953.)
- Erickson—Myers—Hoor*: Urán és más fémek társulása kőolajjal, aszfalttal és kőolajtartalmú kőzetekkel. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 38. p. 2200—2218. (1954.)
- Erlenmayer*: Az ásványokban levő urán meghatározása. Geochemical examination I. Helv. Chim. Acta 33. p. 25—30. (1950.)
- Erlenmayer—Oppliger—Stier—Blumer*: Kőzetekben levő urán meghatározása. Helv. Chim. Acta 33. p. 25—26. (1950.)
- Evans*: Készülék kismennyiségű rádium, radon és thoron meghatározására szilárd halmazállapotú anyagokban, folyadékokban és gázokban. Rev. Sci. Int. vol. 6. p. 99. (1935.)
- Evans—Goodman—Clark*: Kőzetek radioaktivitása. Geol. Soc. America Bull. v. 52. p. 459—490. (1941.)
- Evans—Kip—Moberg*: A Csendes-óceán vizének, élővilágának és üledékeinek rádium- és radontartalma. Am. J. Sci. (5) 36. p. 241—259. (1938.)
- Everhart*: Uranium. Eng. and Mining J. p. 84—86. (1954. febr.)
- Everhart*: Uránlőhelyek eredete. Mining Engineering 6. k. 9. sz. p. 904—907. N. Y. (1954. szept.)
- Everhart—Mathez*: Az uránlőhelyek sűrűségváltozásának geológiája. U. S. Atomic Energy Comm. RMO-732. Oak Ridge, Tenn. (1951.)
- Everhart—Wright*: Uránszurokércék geológiai karaktere. Econ. Geol. 48. No. 2. p. 77—96. (1953.)
- Everhart—Wright*: Tipikus szurokércék geológiai jellegzetessége. Econ. Geol. v. 48. p. 77—96. (1953.)
- Mc Fadyen—Guedes*: Radioaktív ásványok kutatása levegőből Brazíliában. Genfer Bericht A/Conf. 8/P/132. (1955.)
- Faragó—Pócza*: Elektronfizika. Akad. kiadó, (1954.)
- Fark*:  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzás kimutatása számlálócsővel. Frequenz. 6. k. 12. sz. p. 357—363. (1952.)
- Faraone*: Kismennyiségű U meghatározása oldatban, fotográfiai emulzióval. Ann. chim. 43. p. 184—189. (1953.)
- Faul*: Radioaktivitás észlelése Geiger számlálókkal. Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. 178. p. 458—478. (1948.)
- Faul*: Nukleáris geológia. Nuclear Geology. Wiley. N. Y. (1954.)
- Faul—Gott—Manger—Mytton—Sakakura*: Radon és hélium a földgázokban. Compt. rend. 19e Congr. Géol. Intern. Alger. Sec. 9. p. 339—348. (1954.)
- Faul—Tittle*: A neutron-gamma és a gammasugár lyukszelvényezés elterjedése a mélyfúrásban. Geophysics. 16. p. 261—276. (1951.)
- Faust*: A kálium specifikus aktivitása. Phys. Rev. 78. p. 624. (1950.)
- Fearon—Mardock*: Radioaktív lyukszelvények kvantitatív kiértékelése. World Petroleum Congr. Proc. 3rd. Congr., Haga. Sec. II. p. 418—435. (1951.)
- Feather*: Magfizika. Nuclear Physics. Cambridge (1936.)
- Feldman—Wright*: G. M. számláló gyémántfúró. Can. J. Research. 27. p. 23—27. (1949.)

- Fenyves*: Atomsugárzások mérése. Akad. kiadó, (1956.)
- Fermi*: Magfizika. Nuclear Physics. Chicago, (1950.)
- Fermor*: Monacit. Records Geol. Survey India. 70. p. 260—263. (1935.)
- Fersman*: Az elemek geokémiai migrációja. I.: A Tuya Muyun-i (Turkesztán) urán- és vanádiumásvány. Abhandl. prakt. Geologie Bergwirtschaft, Halle. 19. p. 1—52. (1930.)
- Findly*: Néhány magyarországi kőzet rádiumtartalma. Am. J. Sci. (5.) 24, p. 306—310. (1932.)
- Finch*: Geológiai vélemény a Kolorádó-plató Morrison-formáció előtti uránlelőhelyeinek becsléséről. U. S. Geol. Survey TEI-328 A. U. S. Atomic Energy Comm., Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Finch*: Előzetes földtani térkép a Kolorádó-plató uránlelőhelyeinek eloszlásáról és a fő ercformációkról. U. S. Geol. Survey Min. Inv. Field Studies Map. 16. (1955.)
- Finkelburg*: Bevezetés az atomfizikába. Einführung in die Atomphysik. Berlin, (1948.)
- Fischer*: Üledékes réz-, vanádium-, urán- és ezüstlelőhelyek az Egyesült Államok délnyugati részén. Econ. Geology v. 32. p. 906—951. (1937.)
- Fischer*: A Kolorádó-plató urántartalmú homokkő-lelőhelyei. Econ. Geol. v. 45. p. 1—11. (1950.)
- Fischer—Hilpert*: Az uránásvány-öv. U. S. Geol. Survey Bull. 998 A. p. 1—13. (1952.)
- Fleming—Thode*: Neutron és spontán hasadás az uránásványokban. Phys. Rev. 92. p. 378—382. (1953.)
- Flerov—Petrzhak*: Az urán spontán hasadása. J. Phys. S. S. S. R. 3. p. 275—280. (1940.)
- Fletcher*: A leinsteri gránit radioaktivitása. Phil. Mag. (6) 21. p. 102—106. (1911.)
- Florida—Davey*: Érzékeny fotométer modulált fényvel és alkalmazása urán fluoridméterben. Jour. of. Sci. Inst. no 11. p. 409—412. (1953. nov.)
- Ford*: Kőzetek radioaktivitása. Újítás a fotoemulziós technikában. Nature 167. p. 273—274. (1951.)
- Ford*: Az urán mineralógiája stb. Econ. Geol. 50. 2. sz. p. 196—206. (1955. márc.—ápr.)
- Foote*: Hogyan segít uránt találni a geofizika? Eng. And. Min. Jour. v. 155. No. 9. p. 96—97. (1954.)
- Foyn—Gleditsch—Rosenquist*: Mélységi kőzetek rádiumtartalmának meghatározása. Am. J. Sci. 239. p. 805—808. (1941.)
- Foyn—Karlik—Pettersen—Rona*: A tengervíz radioaktivitása. Göteborgs Kgl. Vetenskaps-Vitterhets-Samhäll. Handl. Ser. B. 6, no. 12. p. 44. és Nature 143. p. 275—276. (1939.)
- Földvári*: A magyarországi radioaktív anyagkutató földtani és kőzettani vonatkozásai. M. Áll. Földtani Int. Évi jelentés. B. X. p. 35—50. (1948.)
- Földvári*: Radioaktív anyagok geokémiája a Mecsek hegységben. Magy. Tud. Akad. Műsz. oszt. közl. V-3. p. 11—21. (1952.)
- Földváriné*: Az abszolút földtani kormeghatározás lehetőségei Magyarországon. Földt. Közl. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 86. köt. -2. p. 180—182. (1956. ápr.—jún.)
- Frederickson*: Az uránlerakódás mechanizmusa bizonyos üledékekben. Science 108, p. 184—185. (1948.)
- Friedman*: Geiger számlálócső. Proc. Inst. Radio Engrs. 37, p. 791—808. (1949.)
- Friedmann*: Káliumtartalom meghatározása Geiger számlálóval. Eng. Mining J. 152. no. 10. p. 90—91, 119. (1951.)
- Fritze—Strassmann*: Geológiai kormeghatározás a kálium-argon módszerrel. Naturwissenschaften. 39. p. 522—523. (1952.)
- Frondel—Fleischer*: Az urán- és tóriumtartalmú ásványok felsorolása. U. S. Geol. Survey Bull. 1009-F. (1955.)
- Gaudin*: Radioaktivitás az ásványelőkészítésnél. The Mining Journal p. 340—342. (1952. szept. 26.)
- Gaudin*: Radioaktivitás az ásványelőkészítésnél. Engineering. p. 677—678. (1952. nov. 21.)
- Gáspár*: Az ősmaradványok kormeghatározása és a radiokarbonmódszer. Természet és Technika. p. 660—663. (1953. nov.)

- Gentner—Goebel—Präg*: A káliumásványokban levő argon meghatározása. III. A kálium—argon és az urán—hélium módszer összehasonlító alkalmazása. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5. p. 124—133. (1954.)
- Gentner—Hausmann*: Számlálócsöves berendezés tórium- és uránásványok vizsgálatára. *Neues Jb. Miner.* p. 202—212. (1952.)
- Gentner—Präg—Smits*: A káliumásványokban levő argon meghatározása. II. Alsóoligocén káliumlelőhely kora. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 4. p. 11—20. (1953.)
- George—D'Arcy*: Urán- és tóriumtartalmú ásványok mineralógiája. U. S. Atomic Energy Comm. RMO-563. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1949.)
- Gerling*: Radioaktív adatok a föld korához. *Compt. rend. acad. sci. S. S. S. R.* 34. p. 259—261. (1942.)
- Gerling—Ermoline—Baranovskaia—Titov*: Az első eredmény ásványok korának meghatározására az argon módszer segítségével. *Doklady Akad. Nauk. S. S. S. R.* 86. p. 593—596. (1952.)
- Gerling—Vladimirova*: Pegmatiterek kora az Ilmen hegységben (Ural). *Compt. rend. acad. sci. S. S. S. R.* 37. p. 179—184. (1942.)
- Gill—Moore*: Karnotittartalmú homokkővek Cedar Canyonban (Dakota). U. S. Geol. Survey Bull. 1009-I. (1955.)
- Gillmer*: Uránlelőhelyek Új-Mexikóban. *Geol. Soc. America Bull.* v. 63. p. 1254. U. S. Geol. Survey Bull. 1009. (1955.)
- Gimenez—Labeurie*: Brómtöltésű Geiger számláló  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzás észlelésére. *Nuovo cimento* 9. p. 169—183. (1952.)
- Di Giovanni—Graveson—Yoli*: Szcintillációs számláló mélyfuratú lyukakhoz. *Nucleonics* 11. no. 4, p. 34—39. (1953.)
- Glasstone*: Az atomenergia kézikönyve. *Sourcebook on atomic energy*. Toronto—N. Y. — London, (1950.)
- Glebov*: Radioaktív dictyonémás palák. *Leningradski gornyi Institut, Leningrad, Zapaski*, v. 14. p. 1—12. (1941.)
- Glogoczowski*: A  $\gamma$ -sugárzás, mint geokémiai indikátor a geológiai kutatómunkában. *Nafta. Stalinogród*, p. 51—55. (1955. márc.)
- Gobaerts*: Radioaktív kalcium. *Ann. Soc. Sci. Bruxelles, Sér. I.* 65. p. 129—134. (1951.)
- Goldin*: Kismennyiségű radioaktivitás meghatározása vízben. *J. Amer. Water Wks. Ass.* 45. köt. 1. sz. p. 73—79. (1953. jan.)
- Gombás*: Bevezetés az atomelméletbe. M. T. I. K. 73. Budapest, (1947.)
- Goodman*: A magfizika geológiai alkalmazása. *J. of Pap. Phys.* 13. p. 276—289. (1942. máj.)
- Goodman*: Ércék autoradiográfiája. *Econ. Geol.* 36. p. 843. (1941.) *Am. Mineral* No. 28. p. 456—467. (1943.)
- Goodman—Clark—Evans*: Radioaktív időmérés. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 52. p. 491—544. (1941.)
- Gott—Erickson*: Urán- és rézlelőhelyek kutatása az újmexikói és wyomingi területeken. U. S. Geol. Circ. 219. (1952.)
- Gott—Hill*: Radioaktív kőolajmezők délkelet Kansasban. U. S. Geol. Survey Bull. 988-E. (1953.)
- Gott—Wyant—Beroni*: Urán a fekete szenes agyagokban és mészkövekben az Egyesült Államokban. U. S. Geol. Survey Circ. 220. (1952.)
- Granger—Bauer*: Uránlelőhelyek Új-Mexikóban. U. S. Geol. Survey Circ. 189. (1952.)
- Graton*: „Rand” aranylelőhelyeinek hidrotermális eredete. *Econ. Geol.* v. 25. No. 3. suppl. (1930.)
- Gray—Tennissen—May*: Uránkutatás Aladdin mellett, Crook vidékén, Wyomingban. U. S. Atomic Energy Comm. RME-4016. Techn. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Mc Gregor—Wiedenbeck*: A Rb-87 felezési ideje. *Phys. Rev.* 86. p. 420—421. (1952.)
- Griggs*: Uránkutatás Új-Mexikóban. U. S. Geol. Survey Circ. 354. (1953.)
- Grimaldi—May—Fletcher*: Az urán analízisének fluorimetriai módszere. U. S. Geol. Survey Circ. 199. p. 20. (1952.)
- Grimaldi—May—Irving—Fletcher—Titcomb—Jane*: Az urán- és tóriumkimutatás analitikai módszereinek ismertetése. U. S. Geol. Surv.: U. S. Geol. Survey Bull. 1006. Washington, (1954.)
- Grip—Ödman*: Thucholit és földgáz Bolidenből. *Årsbok Sveriges Geol. Undersök.* v. 38. No. 6. Stockholm. (1944.)

- Gross:** Radioaktivitás mint vezető az érc kutatásban. *Econ. Geol.* v. 47. p. 722–742. (1952.)
- Groven—Govaerts—Guében:** Radioaktív elemek okozta fotografikus hatás. *Nature* 141. p. 916–917. (1938.)
- Gruner:** Az uránlelőhelyek eredete a shinarump-formációban. *U. S. Atomic Energy Comm. RMO-837. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn.* (1951.)
- Gruner:** Az uránlelőhelyek eredete a Kolorádó-platón és a vele határos területeken. *Mines Mag.* v. 44. No. 3. p. 53–56. (1954.)
- Gruner—Fetzer—Rapaport:** Uránlelőhelyek Marysvale mellett, Piute vidékén, Utahban. *Econ. Geol.* v. 46. p. 243–251. (1951.)
- Guntz:** Jelentés az északafrikai urántartalmú foszfátokról. *Acad. des Sci. Paris, Comptes rendus*, p. 868–870. (1952.)
- Guntz—Arene:** Jelentés az afrikai urántartalmú foszfátokról. 19th nt. *Geol. Congr. Compt. rendus.* v. 11. p. 11. Algiers, (1953.)
- Handbuch der Physik:** Elektronen-Atome-Ionen. XXII-1. Berlin, (1933.)
- Hahn—Rothenbach:** A rubidium radioaktivitása. *Pyhsik Z.* 20, p. 194–202. (1919.)
- Halberstadt:** Rádióaktivitás, mérési módszerek és alkalmazásuk. *Chemisch Weekblad.* 47. p. 701–707. (1951.)
- Haxel—Houtermans—Kemmerich:** A Rb-87 felezési ideje. *Phys. Rev.* 74. p. 1886–1887. (1948.)
- Hahn—Mattauch—Ewald:** Geológiai kormeghatározás a stroncium-módszerrel. *Chem. Ztg.* 67. p. 55–56. (1943.)
- Hayase:** Relatív geológiai időszámítás gránitokban, pleochroós udvarok alapján. *Amer. Mineralogist* 39. k. 9–10. sz. p. 761–772. (1954. szept.–okt.)
- Hahn—Walling:** Rubidiumtartalmú ásványok és kőzetek abszolút kormeghatározása. *Z. anorg. u. allgem. Chem.* 236. p. 78–82. (1938.)
- Hecht:** Ásványok és kőzetek: radioaktív hozzátartozóik. Időmeghatározás. *Zahlenwerte und Funktionen*, 6th ed., 3, p. 284–312. Springer-verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg. (1952.)
- Hée:** Egy vogézi gránit radioaktivitásának vizsgálata. *An. Geophys. t.* 4. p. 1 et suiv. (notes) 1948.
- Hée—Derville—Jarovoy:** A quincy gránit radioaktivitásának meghatározása fotografikus úton. *Amer. Journ. of Sci.* 252. k. 12. sz. p. 736–744. (1954. dec.)
- Hée—Jarovoy:** A kálium bétasugarainak autoradiográfiája. *Ann. géophys.* 9. p. 153–157. (1953.)
- Hée—Jarovoy—Kleiber:** A kőzetek sugárzó anyagának tanulmányozása. *An. Geophys. t.* 6. no. 3. (1950.)
- Hée—Wack—Jarovoy:** Tanulmány a bétasugárzó kőzetekről. *Ann. géophys.* 8. p. 323–327. (1952.)
- Hemmdinger—Smythe:** A rubidium radioaktív izotópja. *Phys. Rev.* 51. p. 1052–1053. (1937.)
- Henderson—Bateson:** Pleochroós udvarok kvantitatív tanulmányozása. I. *Proc. Roy. Soc. (London) A* 145, p. 563–581. (1934.)
- Henderson—Mushkat—Crawford:** Pleochroós udvarok kvantitatív tanulmányozása, III. *Proc. Roy. Soc. (London) A* 158. p. 199–211. (1937.)
- Henderson—Sparks:** Pleochroós udvarok kvantitatív tanulmányozása IV—V. *Proc. Roy. Soc. (London) A* 173. p. 238–264. (1939.)
- Henderson—Turnbull:** Pleochroós udvarok kvantitatív tanulmányozása. II. *Proc. Roy. Soc. (London) A* 145. p. 582–591. (1934.)
- Herr:** Aktiválási analízis. *Angew. Chem.* 64. No. 24. p. 679–687. (1952.)
- Hernegger—Karlík:** Urán a tengervízben. *Göteborgs Kgl. Vetenskaps-Vitterhets-Samh ll. Handl. Ser. B.* 4. no 12. p. 15. (1935.)
- Herzog—Aldrich—Holyk—Whiting—Ahrens:** Az ásványok változó stroncium-izotóptartalma. 2. rész: Radiogén Sr-87 a biotitban, földpátban és a cölesztinben. *Trans. Am. Geophys. Union* 34. p. 461–470. (1953.)
- Hess:** Monacit. *Industrial Minerals and Rocks.* p. 523–526. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. N. Y. (1937.)
- Hess—Wells:** Új uránásvány a brannerit. *J. Franklin Inst.* 189. p. 225–237; 779–780. (1920.)
- Hevesy:** A scandium radioaktivitása. *Kgl. Danske Videnskab Selskab., Mat. Fys. Medd.* XIII. (3). p. 17. (1935.)
- Hevesy—Paneth:** A radioaktivitás tankönyve. *Lehrbuch der Radioaktivität.* Leipzig, (1931.)

- Hewett*: Karnotit Dél-Nevadában. Eng. and Min. Journ. Press. v. 115. No. 5. p. 232—235. (1923.)
- Hewett*: Karnotitfeldvezés Aguila mellett Arizonában. Eng. and Min. Jour. Press. v. 120. No. 1. p. 19. (1925.)
- Hill*: Urántartalmú aszfaltos anyag délnyugat Oklahomában. Geol. Soc. America Bull. v. 65. p. 1377. (1954.)
- Hinckley*: Kutatás izoradiációs módszerrel az utahi Temple hegységben. U. S. Atomic Energy Comm. RME-4019. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. 34. p. (1952.)
- Hoffmann*: Urántartalmú víz és üledéke. Chem. Erde 14. p. 239—252. (1942.)
- Holland—Kulp*: Az ionium és a rádium vándorlásának mechanizmusa az óceánokban. Geochim. et Cosmochim. Acta. (1954.)
- Holland—Kulp*: Az uránium, ionium és rádium szállítása és lerakódása a folyóvizekben, óceánokban és óceáni üledékekben. Geochim. et Cosmochim. Acta. (1954.)
- Holmes*: A Föld fizikája, radioaktivitása és geológiai kora. IV. Nat. Research Council (U. S.) Bull. 80. p. 124—459. (1931.)
- Holmes—Besairie*: Geológiai időszámítás Madagaszkáron. Compt. rend. 238. p. 758—760. (1954.)
- Hoogteiling—Sizoo*: A talaj radioaktivitása és ásványösszetétele. Physica 14, p. 357—366. (1948.)
- Horberg*: Radiokarbon alkalmazása egy pleisztocén időkérdésben a Mississipi völgyében. The J. of Geol. 63. k. 3. sz. p. 278—286. (1955. máj.)
- Horusitzky*: A póstyéni hévforrások radioaktivitásának eredetéről. Földtani Közönlöny 40. 9—10. f. p. 538—541. (1910.)
- Horusitzky*: A földtani múlt időszámítása. Budapest, (1954.)
- Houtermans*: A közönséges ólom izotópösszetétele és az urán kora. Naturwissenschaften. 33. p. 185—186. (1946.)
- Houtermans*: Az urán kora. Z. Naturforsch, II. a, p. 322—328. (1947.)
- Houtermans—Haxel—Heintze*: A K-40 felezési ideje. Zeitschrift f. Physik. 128. p. 657—667. (1950.)
- Hillebrand—Ransome*: Karnotit- és vanádiumtartalmú ásványok társulása Nyugat-Kolorádóban. U. S. Geol. Survey Bull. 262. (1905.)
- Hradil*: A talaj-levegő emanációtartalmának mérése geológiai szerkezeti vonalak fölött. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. 100. k. 4. sz. p. 145—147. (1955. ápr.)
- Hudgens—Benzing—Cali—Meyer—Nelson*: A rádium vagy radon meghatározása a gázokban stb. Nucleonics 9, no. 2. p. 14—21. (1951.)
- Hurley*: Szcintillációs spektrométer II. U. Th és K szimultán mérése közönséges kőzetekben. Trans. Am. Geoph. Union 36 p. 515. (1955.)
- Hurley*: A radioaktivitás eloszlása a gránitokban és a hélium-időmérés. Bull. Geol. Soc. Amer. 61. p. 1—7. (1950.)
- Hurley—Fairbairn*:  $\alpha$ -sugárzás nyoma a cirkonban. J. Appl. Phys. 23, p. 1408. (1952.)
- Hurley—Fairbairn*: Radioaktív nyomok a cirkonban, mint kormeghatározó módszer. Bull. Geol. Soc. Amer. 64. p. 659—674. (1953.)
- Hurley—Goodman*: Hélium időszámítás. Bull. Geol. Soc. Amer. 54, p. 305—324. (1943.)
- Hyams*: A szcintillációs számláló. Research. p. 283—284. (1953. júl.)
- Hybbinette*: Kis stronciumtartalom meghatározása néhány svéd pegmatitásványban. Svensk Kem. Tidskr. 55, p. 151—154. (1943.)
- Immelman*: Rádiumtartalom meghatározása néhány délafrikai gránitban. Phil. Mag. (7) 17. p. 1038—1047. (1934.)
- Imre*: Radioaktivitási mérések. Fizikai-kémiai praktikum függeléke. M. T. I. K. 29. köt. Sopron, (1943.)
- Imre*: Sugárzó atommagok. Kolozsvár, (1946.)
- Ingham—Keevil*: Bourlamaque, Elzevir és Cheddar batolitjainak radioaktivitása. (Kanada). Bull. Geol. Soc. Amer. 62. p. 131—148. (1951.)
- Isaac—Picciotto*: Ionium meghatározása mélytengeri üledékekben. Nature, 171. p. 742—743. (1953.)
- Jaffey—Kohman—Crawford*: A radioaktivitásmérés kézikönyve. Manual on the Measurement of Radioactivity. Chicago, (1946.)

- James—Láng—Murphy—Kesten*: Kanadai urán- és tóriumlelőhelyek. Trans. Am. Inst. Min. Metal. Eng. v. 187; Min. Engineering. p. 244—247. (1950.)
- Jánossy*: Kozmikus sugárzás. Művelt Nép Könyvkiadó, (1954.)
- Jánossy*: Bevezetés a kozmikus sugárzáskutatásba. Einführung in die kosmische Strahlenforschung. Berlin, (1955.)
- Jeffreys*: Kőzetek radioaktivitása. Gerlands Beitr. Geophys. 47, p. 149—170. (1936.)
- Jeffreys*: Kőzetek radioaktivitása. Monthly Notices Roy. Astron. Soc. Geophys. Suppl. 5. p. 37—40. (1942.)
- Jeffreys*: Ólomizotópok és a föld kora. Nature 162. p. 822—823. (1948.)
- Jenkins*: Tórium gyors kvantitatív meghatározása radioaktíválással. Determination of small quantities of thorium by radioactivation. Analyst. 80. k. 4. sz. p. 301—313. (1955. ápr.)
- Jimori*: Samarskitlelőhely Ryuujomen torlataiban (Korea). Sci. Papers Inst. Phys. Chem. Research (Tokyo) 34, p. 922—930. (1938.)
- Johannson*: A szcintillációs számlálók alkalmazása röntgen és energiaszegény  $\gamma$ -sugárzások energiámérésére. Ark. Fysik. 3. No 33. p. 533—545. (1952.)
- Johannson—Skanse*: Fényképeszeti eljárás radioaktív anyagok megoszlásának tanulmányozására. Acta radiol. 39. p. 317—322. Stockholm (1953.)
- Johnson*: Radiokarbon időhatározó módszer. Mem. Soc. Am. Archeology. No. 8.; és Am. Antiquity 17. p. 65. (1951.)
- Joly*: Mélytengeri szedimentek rádiumtartalma. Phil. Mag. (6) 16. p. 190—197. (1908.)
- Joly*: Radioaktivitás és geológia. Radioactivity and Geology. Archibald Constable, London, p. 287. (1909.)
- Joly*: Szediment-kőzetek tóriumtartalma II. Homokos és agyagos kőzetek. Phil. Mag. (6) 20. p. 353—357. (1910.)
- Joly*: A földfelszín anyagainak radioaktivitása. Phil. Mag. vol. 24. p. 604. (1912.)
- Joly*: A különböző földtani korok alatt keletkező pleochroós udvarok. Proc. Roy. Soc. (London) A 102. p. 682—705. (1923.)
- Joly—Poole*: Bazalt és más kőzetek radioaktivitása. Phil. Mag. (6) 48. p. 819—832. (1924.)
- Judson—Osmond*: Radioaktivitás a talaj- és felszíni vizekben. Amer. Journal of Science. 252. k. 2. sz. p. 104—116. (1955. febr.)
- Kallman—Furst—Sidran*: Szcintillációs számlálótechnika. Nucleonics 10. No 9. p. 15—17. (1952.)
- Kaiser*: Urántartalmú kvarcit Arizonában, Gila vidékén Red Bluff-ban. U. S. Geol. Survey Circ. 137. (1951.)
- Kaiser—Page*: Uránlelőhelyek eloszlása az Egyesült Államokban. U. S. Geol. Survey Circ. 220. (1952.)
- Keovil*: A kőzetek tórium-urán aránya és a bennük levő ólom eredete. Econ. Geol. 33. p. 685—696. (1938.)
- Keovil*: A kőzetek radioaktivitása és héliumtartalma. I. A Quincy-i gránitok ásványos részei. Am. J. Sci. (5) 36. p. 406—416. (1938.)
- Keovil*: Kőzetek radioaktivitása és héliumtartalma. V. Kőzetek és ásványtársulások Quebec, Ontario, Manitoba, New Jersey, New-England, New-Brunswick, Newfoundland, Tanganyika, Finnország és Oroszország. Am. J. Sci. 241. p. 277—306. (1943.)
- Keovil*: A kőzetek radioaktivitása és héliumtartalma. II. A Cape Ann-i gránitok ásványos részei. Am. J. Sci. 240., p. 13—21. (1942.)
- Keovil*: A héliummódszer alkalmazása a gránitoknál. Trans. Roy. Soc. Can. Sec. IV. 32. p. 123—150. (1938.)
- Keovil*: Kőzetek radioaktivitásának forrása. J. Geol. 51. p. 287—300. (1943.)
- Keovil*: Tórium-urán arány a kőzetekben és ásványokban. Am. J. Sci. 242. p. 309—321. (1944.)
- Keovil—Grashan*:  $\alpha$ -sugártartalmú nversanyagok kutatásának elmélete. Can. J. Research A 21. p. 21—36. (1943.)
- Keovil—Liliffe—Larsen*: A kőzetek radioaktivitása és héliumtartalma. IV. A Yellowknife (Északnyugati territórium) diabázainak és granodioritjainak héliumos kormegállapítása. Am. J. Sci. 240. p. 831—846. (1942.)
- Keovil—Larsen—Wank*: Kőzetek radioaktivitása és héliumtartalma. VI. Az Ayer és Chelmsford masszívum gránit-migmatitjai. Am. J. Sci. 242. p. 345—353. (1944.)

- Mc Kelvey—Nelson:* Tengeri urántartalmú üledékes kőzetek karakterisztikája. Econ. Geol. 45. p. 35—53. (1950.)
- Mc Kelvey—Swanson—Sheldon:* Permi foszforitlőhelyek az U. S. A. nyugati részében. 19th Int. Geol. Cong. Comptes rendus. v. 11. p. 45—64. (1953.)
- Mc Kelvin:* Uránkutató az USA-ban. Geol. Surv. Bull. 1030-A. (1955.)
- Kerr:* Radioaktív kütszelvényezés Ny-Texasban. World Oil. p. 134—137. (1955. márc.)
- Kerr—Kulp:* Prekambri uraninit, Sunshin-bánya, Idaho. Science 115. p. 86—88. (1952.)
- Kidd:* A kanadai Nagymedve-tó uránszurokérc-ezüstlőhelye. Econ. Geol. vol. 27. No. 2. p. 145. (1932.)
- Kidd:* A Nagymedve-tó terület. N. W. T. Geol. Surv. Sum. Rept. part. C. Ottawa, (1933.)
- Kidd—Haycock:* A Nagymedve-tavi ércek ásványtani leírása. Geol. Soc. America Bull., v. 46. p. 879—960. (1935.)
- Kidd—Haycock:* Nagymedve-tó, Kanada. Can. Geol. Surv. Bull. 46. p. 879-. (1935.)
- Kimble—Sinclair:* Uránlőhelyek. Nucleonics. p. 48. (1950. ápr.)
- Kimura:* Ritka elemeket tartalmazó japán ásványok kémiai vizsgálata. J. Chem. Soc. Japan. 57. p. 1195—1207. (1936.)
- King:* Uránércelőhelyek a Caribou-bányában. U. S. Geol. Survey TEM-13. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn.: Nuclear Sci. Abs. v. 6. No. 1. p. 28. (1952.)
- King—Leonard—Moore—Pierson:* Urán a kolorádói ércbánya vidékén. U. S. Geol. Survey Circ. 215. (1953.)
- King—Moore—Hinrichs:* Szurokércelőhelyek az U. S. A.-ban. U. S. Geol. Survey Circ. 220. (1952.)
- Kirby:* Rádium meghatározása alfa számlálással. Anal. Chem. 1238—41. (1953. aug.)
- Kirchheimer:* A schwarzwaldi uránlőhelyek, további tanulmányozása. Geol. Landesamt Baden—Württ., Abh. Heft. 1. p. 1—60. (1953.)
- Kiss:* A nézsai bauxit ásványos összetétele. Acta Geol. Akad. Sci. Hung. I. p. 113—122. (1952.)
- Khlopin—Abidov:* A berillium-, bór- és litiumtartalmú ásványok radioaktivitása és héliumtartalma a Szovjetunióban. Compt. rend. acad. sci. S. S. S. R. 32. p. 637—640. (1941.)
- Klemic—Baker:* Uránlőhelyek a pennsylvániai szénvidéken. U. S. Geol. Survey Circ. 350. (1954.)
- Kment—Kuhn:* Geiger—Müller számlálócsövek. Műszaki könyvkiadó. (1956.)
- Knoerr—Lutjen:* Radioaktív ásványok kutatása. Prospecting for atomic minerals. (Mc. Graw-Hill, 1955.)
- Knopf—Schuchert—Kovarik—Holmes—Brown:* A föld kora. Nat. Research Council. (U. S.) Bull. 80. p. 487. (1943.)
- Kóczy:* A szárazföldi anyagok kora és az urán-ólomviszony geokémiája. Nature 151. p. 24. (1943.)
- Kóczy:* Kambri kori svéd alumíniumanyagok tóriumtartalma. Sveriges Geol. Undersökn. Ser. C, Avhandl. och Uppsat. No 509. Årsbok 43. No 7. p. 12. (1949.)
- Kóczy:* Tórium a tengervízben és a tengeri üledékekben. Geol. Fören. i Stockholm Förh. 71. p. 238—242. (1949.)
- Kohlrausch:* Az anyag felépítése. Aufbau der Materie. Wien, (1949.)
- Konopinsky:* A béta-bomlás Fermi elmélete. Review of Modern Physics. 27. köt. 3. sz. p. 254—257. (1955. júl.)
- Korff:* Néhány megjegyzés Geiger-számlálók kislülési mechanizmusáról. The Rev. of Sci. Inst. p. 1071—72. (1953. nov.)
- Korff:* Elektron- és részecskeszámlálók. Electron and Nuclear Counters N. Y. (1946.)
- Korff:* Elektron- és nehéz-részecskeszámlálók. Electron and Nuclear Counters. Toronto, N. Y. London (1955.)
- Korsunskij:* Az atommag. Budapest, (1951.)
- Kovách:* Tanulmány a földgáz radontartalmáról. Trans. Am. Geophys. Union. 25. p. 563—571. (1944.)
- Kovách:* Napi változás a földgáz radontartalmában. Terrestrial Magnetism and Atm. Elect. 51. p. 45—56. (1946.)
- Kovách:* Meteorológiai ingadozás a földgáz radontartalmában. Trans. Am. Geophys. Union. 26 p. 241—248. (1945.)

- Krauskopf*: A tengervízben levő nyomelemkoncentrációk ellenőrző vizsgálata. Geol. Soc. America Bull. v. 63. p. 1336. (1952.)
- Krisnamurthy*: A tórium meghatározása és elválasztása az urántól. Rec. Trav. Chim. Pays Bas. 70. 421. p. 668—670. Amsterdam, (1951.)
- Kröll*: A rádium vertikális eloszlása mélytengeri üledékekben. Nature 171. p. 742—743. (1953. ápr. 25.)
- Krusch—Kohl*: Ércnyersanyagok: 1. vanádium, urán, rádium. Die metallischen Rohstoffe. 1. Vanadium, Uran, Radium. Stuttgart, (1937.)
- Kulp—Broecker—Eckelmann*: Uránásványok kormeghatározása az ólom-módszerrel. Nucleonics 11, No 8. p. 19—21. (1953.)
- Kulp—Holland—Volchok*: Alfa szcintillációs számláló ásvány- és kőzetvizsgálatokhoz. Trans. Am. Geophys. Union. 33. p. 101—113. (1952.)
- Kulp—Holland—Volchok*: Szcintillációs alfa-számláló kőzetek és ásványok számára. Trans. Am. Geophys. Union Vol. 33. No 1. (1952.)
- Kulp—Tryon*: A radiokarbon kormeghatározó módszer kiterjesztése. Rev. Sci. Instr. 23. p. 296—297. (1952.)
- Kulp—Tryon—Feely*: A természetes radiokarbonmeghatározás technikája. Trans. Am. Geophys. Union 33. p. 183—192. (1952.)
- Lallemant*: Uránásványok radioaktív vizsgálata. Onde électrique 33. p. 547—552. (1953.)
- Lang*: Kanadai urán- és tóriumlelőhelyek. Geol. Survey, Canada, Econ. Geol. Ser. No 16. p. 173. (1952.)
- Lapointe*: Uránásványok analízise Geiger módszerrel. Trans. Can. Inst. Mining Met. 8. p. 324—327. és Can. Mining Met. Bull. p. 461—463. (1950.)
- Larsen—Keevil*: A hélium és a radioaktivitás megoszlása a kőzetekben III. Néhány kaliforniai intruzivum radioaktivitása és kőzettana. Am. J. Sci. 240. p. 204—215. (1942.)
- Larsen—Keevil*: Dél-Kalifornia batolit kőzeteinek radioaktivitása. Bull. Geol. Soc. Amer. 58. p. 483—493. (1947.)
- Larsen—Keevil—Harrison*: Módszer mélységi kőzetek kormeghatározására járulékos ásványok segítségével. Geol. Soc. America Bull. v. 63. p. 1045—1052. (1952.)
- Larsson*: Urán extrakciója bitumenes palákból. Chem. Abst. No 19. 9051. (1952.)
- Laughlin*: Ásványkutatás az USA-ban. II. Nem fémek. U. S. Geol. Survey. p. 20—21. (1919.)
- Láng*: Kanadai urán- és tóriumlelőhelyek. Canada Geol. Survey, Econ. Geol. Ser. No. 16. (1952.)
- Mc Lean*: Délafrikai uránlelőhelyek. Address before the Chem., Met. and Min. Soc. of South Africa, described in Min. Mag., v. 90. p. 259. (1954.)
- Legge*: Az urán polarografikus meghatározása. Anal. Chem. 26. k. 10. sz. p. 1617—1621. (1954. okt.)
- Lenoble—Salvan—Ziegler*: Urán a marokkói foszfátszintben. Acad. des Sci. Paris, Comptes rendus, p. 976—977. (1952.)
- Lester*: Geiger—Müller számláló a geológiai kutatásban. Georgia Dept. Mines, Mining and Geol., Geol. Survey Bull. 56, p. 112—117. (1950.)
- Libby*: Az urán és tórium állandó természetes bomlása. Phys. Rev. 55. p. 1269. (1939.)
- Libby*: Radiokarbon időmérés. Radiocarbon dating. Chicago. Univ. Press. (1951.)
- Lind*: A szárazföldi hélium eredete. Proceed. Nat. Acad. of Sci. 12. (1925.)
- Linden*: Öt új elektronszorzó szcintillációs számlálóhoz. Nucleonics 11. no 9. p. 30—33. (1953.)
- Lindgren*: Ásványlelőhelyek. Mineral Deposits. Mc Graw Hill. (1913.)
- Ljubimova*: A radioaktív bomlásfolyamat befolyása a föld hőgazdaságára. Izv. Akad. Nauk. Sectia Geofiziceszkája, 1952. no. 2. p. 3—14. (1952. márc.—ápr.)
- Loevinger—Berman*: A hatékonyság feltételei a radioaktív számlálóknál. Nucleonics 9. no. 1. p. 26—39. (1951.)
- Love*: Jelentések wyomingi uránlelőhelyekről. U. S. Geol. Survey Circ. 176. (1952.); 278. (1953.); 352. (1954.); 358. (1954.)
- Lovering*: A radioaktív vasoxidkutatás eredményei. Econ. Geol. 50. k. 2. sz. p. 186—195. (1955. márc.—ápr.)
- Lundberg—Isford*: Kőolajkutatás radioaktív módszerrel. World Petroleum 24. no 7. p. 40—42. (1953.)
- Lunderg*: Kísérlet repülőgépről készült felvételek radioaktív kiértékelésére. Proc. Geol. Assoc. Can. 5. p. 117—125. (1952.)

- Lunderg—Roulston—Pringle—Brownell*: Kőolajkutatás légi szcintillációs számlálóval. Oil in Canada. (1952. jún. 16.)
- Lynch—Baumgardner*: Új fluoreszcencia-fotométer. Review of Scientific Instruments 26. k. 5. sz. p. 435—440. (1955. máj.)
- Mackay—Beer*: Albit-riebeckit gránitok Nigériában. Geol. Survey of Great Britain, Report GSM/AED. 95. publ. HMSO. (1952.)
- Mackin—Schmidt*: Torlatlelőhelyek radioaktív ásványtartalmának geológiai vizsgálata. U. S. Geol. Survey open file report Trace Elements Memo. Rept. 602. Geol. Soc. America Bull. v. 64. p. 1549. (1953.)
- Macnamara—Thode*: Xenon és kripton izotópok a szurokérben és az U-238 spontán hasadása. Phys. Rev. 80. p. 471—472. (1950.)
- Maeder*: Gammasugár szcintilláció-spektrometer logaritmikus impulzusnagyság átvitelével. Review of Sci. Instr. 26. k. 9. sz. p. 805—808. (1955. szept.)
- de Magnée*: Adatok a belga agyagos kőzetek radioaktivitásának tanulmányozásához. Bull. de la Soc. Belge de Géol. LXI. fasc. 2. (1952.)
- Marble*: Analízis az allanit kormeghatározására. Nat. Research Council U. S. Rept. Comm. Geol. Time. p. 65—77. (1937.)
- Marble*: A greenwichi allanit ólom-urán aránya és valószínű geológiai kora. (Massachusetts). The Am. Min. vol. 35. No. 9—10. p. 845—852. (1950.)
- Marx*: A béta-bomlás és a neutrino. Fizikai Szemle. III. évf. 1. sz. 1—28. (1953.)
- Masters*: A Lukachukai hegység uránlelőhelyeinek geológiája északkelet Arizonában. U. S. Atomic Energy Comm. RME-27. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Mattauch—Flammersfeld*: Izotópok. Isotopic Report. Tübingen. (1949.)
- Mawdsley*: Uraninittartalmú lelőhelyek Charlebois Lake vidékén északkelet Saskatchewanban. Canadian Min. Met. Bull. v. 482. p. 366—375. Geol. Soc. Amer. Bull. v. 64. p. 1550. (1953.)
- Mawdsley*: Radioaktív pegmatitok észak Saskatchewanban. Can. Min. Journ. 76. k. 5. sz. p. 53—56. (1955. máj.)
- Maximov—Szmorodinszky*: A kétszeres  $\beta$ -bomlás elméletéhez. Izv. Akad. Nauk. 19. k. 3. sz. p. 365—376. (1955. máj.)
- Meinke—Anderson*: Aktiválási analízis lassú neutronforrás segítségével. Anal. Chem. 25. p. 778—783. (1953.)
- Mellor*: Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry. 16. vol. London, Longman-Greens. vol. 4. rádium-család (1923.); vol. 7. tórium-család (1927.); vol. 12. urán (1932.)
- De Ment*: Radioaktív ásványok. Mineralogist No. 8. p. 255—256. (1940.) No. 8. p. 295—296. (1940.); No. 8. p. 331—332. (1940.); No. 9. p. 117—118. és 143—147. (1941.)
- De Ment—Dake*: Ritka fémek. Rarer Metals. N. Y. Chemical Pub. Co., (1945.)
- De Ment*: Az urán fluorokémiája. Jour. Chem. Education, 23. p. 213—219. (1946.)
- De Ment*: Uránvadászat Geiger-számlálóval. Mineralogist. No 15. p. 619—624. (1947.)
- De Ment*: Urán- és tóriumkutatás Geiger-számlálóval. Min. Cong. Jour. No 33. p. 30—32. és 37—38. (1947.)
- De Ment—Dake*: Uránásványok kézikönyve. Handbook of uranium minerals. Min. Publ. Comp. (1948.)
- de Ment—Dake*: Urán és atomenergia. Uranium and Power. Chemical Publishing Co. (1945.)
- Mercier*: Radioaktív lyukszelvényezés. Fotokópia. (?)
- Merkle—Need*: Ködkamra kisenergiájú részecskék tanulmányozásához. Rev. of Scient. Inst. p. 1051—54. (1953. nov.)
- Merritt*: Szurokérc — primer uránforrás. Conference on radioactive ores, Michigan College of Mining and Technology, Houghton. Michigan. p. 10—11. (1949.)
- Merritt*: Az uránkutatás mai fejlődése. Mines Mag. v. 44. No. 3. p. 83—84. (1954.)
- Mertie—John*: Monacitlelőhelyek a délkeleti atlanti államokban. U. S. Geol. Survey Circ. 237. (1953.)
- Meyer—Schweidler*: Radioaktivitás. Radioaktivität. Leipzig, (1927.)
- Méhes*: Üledékes kőzeteink radiológiai vizsgálata. I. Bauxit. Földt. Közl. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 81. köt. 1—3. sz. p. 97—100. (1951.)
- Méhes*: Fűrőmagok radioaktivitásának gyors kvantitatív meghatározása. Földtani Közlöny. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 84. köt. 4. f. p. 354—355. (1954.)

- Méhes*: Üledékes kőzeteink radioaktív vizsgálata. II. Mangán. Földt. Közl. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 85. köt. 3. f. p. 386—389. (1955.)
- Méhes—Csókás*: A bauxitban levő radioaktív elemek meghatározásáról. Magy. Tud. Akad. Műsz. oszt. közl. II-2. p. 271—274. (1951.)
- Méhes—Csókás*: A bauxit és feldolgozási termékeinek radioaktivitása. Alumínium 8. sz. (1952.)
- Méhes—Macher*: Kísérletek a vörösiszap radioaktív elemtartalmának kinyerésére. Alumínium 11. sz. (1952.)
- Méhes—Pethő*: Radioaktív kutatás a Soproni hegységben. Műszaki Egyet. Bánya-és Kohómérnöki oszt. közl. (1948.) (sak az orosznyelvű resumé jelent meg.)
- De Mille*: Hadi fontosságú ásványok. Strategic Minerals. Mc Graw Hill Book Co., N. Y., (1947.)
- Miller*: Az utahi San Juan-vidék Happy Jack lelőhelyének uránércvizsgálata. U. S. Atomic Energy Comm. RME-33. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Milligan*: Egyszerű fluorofotométer urán kimutatására. Nuclconics. 13. k. 6. sz. p. 83—86. (1955. jún.)
- Mills*: Kisnyomású ködkamra. The Rev. of Scient. Inst. 1041—46. (1953. nov.)
- Minami*: Európai és japáni agyagok ritkaföldtartalma. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-physik. Kl., Fachgruppen IV. 1. p. 155—170. (1935.)
- Mineralogist*: Uraninitelőfordulás fekete homokban. Mineralogist. 38. p. 549—550. (1953. máj.—jún.)
- Mirsky*: Előzetes jelentés egy újmexikói dakota-homokkő urán mineralizációjáról. U. S. Atomic Energy Comm. RME-47. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Montgomery*: Kozmikus sugárzás fizikája. Cosmic Ray Physics. Princeton Univ. Press. (1949.)
- Moore*: Bizonyos fémek analitikai módszerei. U. S. Bur. Mines Bull. 212. Washington (1923.)
- Moore*: Uránextrakció hidegvizes oldatokból szénél és más anyagoknál. Econ. Geol. v. 49. p. 652—658. (1954.)
- Moore—Buller*: Szurokérclelőhelyek Wood és Calhoun bányákban, Gilpin vidékén Kolorádóban. U. S. Geol. Survey Circ. 186. (1952.)
- Moore—Cavender*: Szurokérclelőhelyek a Caribou bányában Kolorádóban. Geol. Soc. America Bull., v. 63. p. 1281. (1952.)
- Moore—Levish*: Urántartalmú homokkő White River Badlandsban, Pennington vidékén 1. éldakotában. U. S. Geol. Survey Circ. 359. (1955.)
- Moore—Stephens*: Urántartalmú szenes kőzetek vizsgálata Kaliforniában és a határos részekben Oregonban és Nevadában. U. S. Geol. Survey Circ. 313. (1954.)
- Morehouse*: Thucholitlelőhelyek vizsgálata Placerville mellett, Kolorádóban. U. S. Atomic Energy Comm. RMO-910. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1951.)
- Morey*: Hidrotermális szintézis. J. of the American Ceramic Society. 36. k. 9. sz. p. 279—285. (1953. szept.)
- Moxham*: Légi radioaktív mérések foszfátra Floridában. U. S. Geol. Survey Circ. 230. (1954.)
- Muilemburg*: Uránjegyzék. Missouri Geol. Survey. Inf. Circ. No. 5. (1949.)
- Mullens—Freeman*: A Morrison-formáció sőtartalmú tagjainak közetfáciése. U. S. Geol. Survey Trace Elements Inv. Rept. 341. (1954.)
- Mügge*: Radioaktivitás és pleokroos udvarok II. Centr. Mineral. Geol. 71. p. 113. és 142. (1909.)
- Mühlhoff*: A kálium és rubidium radioaktivitásának mérése számlálóval. Ann. Physik. 1, p. 205—224. (1930.)
- Neher*: Önműködő ionizációs kamra. The Rev. of Sci. Inst. 24. No. 2. p. 99—103. (1953.)
- Nelson*: Uránkutatás terepjáró autóval. Geol. Survey Bull. 988-I. Washington, (1953.)
- Neville*: Néhány Carbon-14. készítmény és számlálási technikája. I. Gáz számláló módszerek. Atomic 3. p. 88—90. (1953.)
- Neuman W.*: Uránlerakódás a csontban. V. Ioncsere-tanulmány. J. Biol. Chemistry v. 179. p. 335—340. (1949.)
- Neuman W.—Neuman M.—Main—Mulryan*: Uránlerakódás a csontban. IV. Élő szervezetek abszorpciója. J. Biol. Chemistry. v. 179. p. 325—333. (1949.)

- Nielsen*: Tengeri szerves képződmények vizsgálata radiokarbon segítségével. J. conseil permanent intern. exploration mer 18, p. 117. (1952.)
- Nier*: Az uránizotóp összetétele és az uránizotópok felezési ideje. Phys. Rev. 55. p. 150–153. (1939.)
- Nier*: A radiogén ólom izotóp összetétele és a geológiai időszámítás. II. Phys. Rev. 55. p. 153–163. (1939.)
- Nier*: Tömegspektrométer izotóp rutinvizsgálatokhoz. Rev. Sci. Instr. 11. p. 212–216. (1940.)
- Nier–Thompson–Murphey*: Az ólomizotóp összetétele és a geológiai időszámítás. III. Phys. Rev. 60. p. 112–116. (1941.)
- Nininger*: Az atomenergia ásványai. Minerals for Atomic Energy. Van Nostrand Comp. Inc. N. Y. (1956.)
- Nockolds–Allen*: Néhány mélységi kőzetsorozat geokémiája. Geochim. et Cosmochim. Acta 4. p. 105–142. (1953.)
- Northup*: Fluoreszcensz gyöngypróba a fémekben levő urán kimutatására. Kritikai tanulmány. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 17. p. 664–670. (1945.)
- Orlov–Kurbatov*: Bitumenes agyagok radioaktivitása. Khim. Tverdogo Topliva 5. p. 525–527 (1934.); 6. p. 278–291 (1935.); 7. p. 94–98. (1936.)
- Pabst*: Brannerit Kaliforniából. Am. Mineralogist. v. 39. p. 109–117. (1954.)
- Page*: Urán a pegmatitokban. Econ. Geol. v. 45. p. 12–34. (1950.)
- Palache–Berman*: A Medve-tó szurokércének oxidációs termékei. Am. Min. vol. 18. No. 1. p. 20. (1933.)
- Papish–Hoag*: Urán észlelése fotolumineszcens próba útján. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. 13. p. 726–728. (1927.)
- Peirson*: Háttérszámlálás Geiger–Müller-számlálóval. Proc. Phys. Soc. (London) B 64. p. 427–428. (1951.)
- Peirson*: Radioaktív ércek Th/U arányának meghatározása alfa aktivitás méréssel. Proc. Phys. Soc. 64 B. 876–888 (1951.)
- Peirson*:  $\alpha$ -részecske-kísérlet és a radioaktív ércek Th/U viszonyának mérése. Proc. Phys. Soc. (London) B 64. p. 876–888. (1951.)
- Pierson–Burbank–Singewald*: Néhány uránelfordulás Kolorádó középső és délnyugati ásványos övezetében. Geol. Soc. America Bull. v. 63. p. 1368. (abs.) (1952.)
- Peirson–Pickup*: Szcintillációs számláló radioaktivitás mérésére. J. Brit. Inst. Radio Engrs. 14. p. 25–32. (1954.)
- Pierson–Singewald*: Urántartalmú ásványlelőhelyek Kolorádóban. U. S. Geol. Survey Circ. 321. (1954.)
- Pearce*: Jegyzet egy cornwalli szurokércéről. Geol. Soc. Corn. Trans. Vol. 9. p. 103. (1875.)
- Pekarszkaja*: Kőzetek geológiai korának meghatározása radioaktív ásványok segítségével. Priroda. p. 60–63. (1953. jan.)
- Pelc*: Autoradiográfia technika. Nature 160. p. 749–750. (1947.)
- Petterson*: Mélytengeri üledékek rádiumtartalma. Imp. de Monaco. p. 50. (1930.)
- Petterson*: Th/U arány a kőzetekben és a tengerben. Anz. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. p. 127–128. (1937.)
- Petterson*: Radioaktív elemek a tengerben. J. conseil permanent intern. exploration mer. Rap. Proc. Verb. 109. p. 66–67. (1939.)
- Phair*: Radioaktív porfirok a harmadkorból Central Ci y vidékén Kolorádóban stb. U. S. Geol. Survey TEI-247. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tennesse. Nuclear Sci. Abs. v. 6. p. 776. (1952.)
- Phair–Shimamoto*: Hidrotermális uranohorit a fluoritbreccsában Kolorádóban. Am. Mineralogist. v. 37. p. 659–666. (1952.)
- Phys. Rev.* A primer kozmikus sugárzás energiaspektruma. Phys. Rev. 85. p. 295–309. (1952.)
- Picciotto*: Radioaktív kőzetek fotografikus tanulmányozása. Bull. soc. belge géol. paléontol. et hydrol. 58. p. 75–90. (1949.)
- Picciotto*: Radioaktivitás eloszlása a mélységi kőzetekben. Bull. soc. belge géol. paléontol. et hydrol. 59. p. 170–198. (1950.)
- Picciotto–Wilgain*: Tórium meghatározása mélytengeri üledékekben. Nature 173. p. 632–633. (1954.)
- Piggot*: Rádium a kőzetekben I. stb. Am. J. Sci. (5) 17, p. 13–34. (1929.)
- Piggot*: Rádium a kőzetekben II. stb. Am. J. Sci. (5) 21. p. 28–36. (1931.)

- Piggot*: Az óceánfenék üledékeinek rádiumtartalma. Carnegie Inst. Wash. Publ. 556. p. 183—193. (1944.)
- Pollard—Davidson*: A magfizika alkalmazása. Applied Nuclear Physics. (1952.)
- Poole—Bremner*: A kőzetekben levő radioaktív elemek eloszlásának vizsgálata fotoemulziós módszerrel. Nature 163. p. 130—131. (1949.)
- Poole—Joly*: A bazalt és más kőzetek radioaktivitása. Phil. Mag. (6) 48. p. 819—832. (1924.)
- Poole—Matthews*: A radioaktív anyagtaralom-meghatározása nukleáris emulziókban  $\alpha$ -sugárnyomok alapján. Sci. Proc. Roy. Dublin Soc. 25. p. 305—316. (1951.)
- Pose*: Az urán és tórium spontán neutron kibocsátása. Z. Physik. 121. p. 293—297 (1943.)
- Powell*: A kozmikus sugárzásban levő részecskék. Nature. p. 477—479. (1953. szept. 12.)
- Present*: Önkioltós halogén számlálók. Phys. Rev. 72. p. 243—244. (1947.)
- Pringsheim*: Fluoreszcencia és foszforeszcencia. Interscience. New York, (1949.)
- Pringszejm*: Fluoreszcencia és foszforeszcencia. Inosztrizdat, (1951.)
- Pupke*: Számlálósöves mérések kiértékelése. ATM. p. 135—138. (1953. jún.) és p. 153—156. (1953. júl.)
- Quirke—Kremers*: Ritka elem kutatása a pegmatitokban. Econ. Geol. 38. p. 173—187. (1943.); pegmatit-krisztallizáció. Am. Mineral., 28. p. 571—580. (1943.)
- Rajewsky*: Geiger—Müller számláló a bányászat szolgálatában. Zeitschr. Phys. No. 120. p. 627. (1943.)
- Ramdohr*: A metamorfózisról és a másodlagos átalakulásokról. Geol. Rundschau. 42. k. 1. f. p. 11—19. (1953.)
- Ramsay—Soddy*: A rádiumból keletkezett hélium. Proc. Roy. Soc. (London) A 72. p. 204—207. (1903.)
- Rankama*: Geokémiai differenciáció a földkéregben. Bull. comm. géol. Finlande. no. 137. p. 1—21. (1946.)
- Rankama*: Izotópgeológia. Isotope Geology. Pergamon Press. London, (1955.)
- Rankama—Sahama*: Geokémia. Geochemistry. University of Chicago Press. (1950.)
- Rasor*: Uraninit Grey Dawn bányából San Juan vidék, Utah. Science, v. 116. p. 89—90. (1952.)
- Reinganum*: Az alfarészecskék fotografikus hatása. Physik Z. 12. p. 1076—1077. (1911.)
- Reinhardt*: Uránlelőhelyek szerkezetvizsgálata. Min. Congr. J. 40. k. 10. sz. p. 4) —52. *La Revue Petrolière*: No. 919—12<sup>mo</sup> Ser. No. 30. (1951. jan.)
- Reynolds*: Szilárd és folyékony szcintillációs számlálók. Nucleonics 10. no 7. p. 46—53. (1952.)
- Richard*: Geológiai kormeghatározás. Nucleonics. 10. No. 5. p. 30—35. (1952.)
- Richards—Lembert*: Az ólom atomsúlya és radioaktív eredete. J. Am. Chem. Soc. 36. p. 1329—1344. (1914.)
- Ridland*: Geiger—Müller számlálók használata a Nagy Medve-tó (Kanada) urán-szurokérc ereinek kutatásában. Trans. Am. Inst. Mining. Met. Engrs. 164. p. 117—124. (1945.)
- Roberts*: Hordozható Geiger-számláló mélyfuratok számára. Radio and Television News 42, no. 3. p. 16—28. (1949.)
- Roberts*: Carbon-14. időmeghatározó módszer. Smithsonian Inst. Publ. 4078. Rept. for 1951. p. 335—350. (1952.)
- Roberts—Gude*: Uránlelőhelyek nyugat Clancyban, Jefferson vidékén (Mont). U. S. Geol. Survey Bull. 988-F. (1953.)
- Rodden*: A természetben előforduló radioaktív elemek meghatározása. Nucl. and Anal. Chem Symp. Vol. 21. No 3. p. 327—335. (1949.)
- Rodden—Tregoning*: Az urán- és a tórium meghatározásának analitikai módszerei érceikben. U. S. Atomic Energy Comm. New Brunswick Laboratory. U. S. Govt. Printing Office. 55. p. (1950.)
- Rodgers*: Radioaktív ásványok abszolút kora az Appalach hegységben. Am. J. Sci. 250. p. 441—427. (1952.)
- Rogers*: Uraninit és szurokérc. Amer. Mineral. vol. 32. p. 90. (1947.)
- Rona*: A tengervíz radioaktivitása. Am. Phil. Soc. Yearbook. p. 136—138. (1943.)
- Rona—Urry*: Az óceán üledékeinek radioaktivitása VIII. Rádium- és urántartalom az óceánban és a folyóvizekben. Am. J. Sci. 250. 241—262. (1952.)

- Ross*: Tengeri agyagok autoradiografikus tanulmányozása. *Econ. Geol.* 47. p. 783—793. (1952.)
- Rossi*: U- és Th-tartalmú ásványok geográfiája. *Universo.* 31. p. 627—644. (1951.)
- Rossi—Staub*: Ionizációs kamrák és számlálók. *Ionization Chambers and Counters* N.Y.-Toronto—London, (1949.)
- Roucaÿrol*: Szcintillációs számláló gyenge béta-sugarak mérésére. *Science.* No 3069. p. 493—494. (1953. okt. 23.)
- Rozenzweig—Gruner—Gardner*: A Kolorádó-plató triász és jura üledékeiben levő szurokérc elterjedése és karaktere. *Econ. Geol.* v. 47. no. 7. p. 776—777 (abs.) v. 49. p. 351—361. (1954.)
- Le Roy*: Állandó izotópok arányváltozásainak földtani jelentősége. *Econ. Geol.* 48. k. 3. sz. p. 161—177. (1953. máj.)
- Ruark—Urey*: Atomok, molekulák és kvantumok. *Intern. Ser. in Pure and Appl. Phys.* (1930.)
- Ruiz*: Uránlelőhelyek geológiája. *Minerales* 6. p. 139—150. (1951.)
- Runnels—Schleicher—Van Nortwich*: A kansasi agyagok néhány urántartalmú foszfátgumójának összetétele. *Kansas Geol. Survey Bull.* 102. p. 93—104. (1953.)
- Russell*: Üledékes kőzetek gammasugár aktivitása, mint indikátor a Geiger számláló meghatározásoknál. *Geophysics* 9. p. 180—216. (1944.)
- Russell*: Az üledékek és organikus anyagtartalmuk radioaktivitásának viszonya. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.* v. 29. p. 1480. (1945.)
- Russell*: Neutron lyukszelvényezés interpretációja. *Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol.* 36. p. 312—341. (1952.)
- Russell—Scherbatskoy*: Érzékeny gammasugár-detektor használata a kutatásban. *Econ. Geol.* 46. p. 427—446. (1951.)
- Rutherford—Chadwick—Ellis*: Radioaktív anyagok sugárzása. *The Radiations from Radioactive Substances.* Cambridge, (1930.)
- Rutherford—Soddy*: A radioaktivitás oka és természete. *Phil. Mag.* (6). 4. p. 569—585. (1902.)
- Sanderman—Utterback*: Az arktikus óceánfenék üledékeinek rádiumtartalma stb. *J. Marine Research* 4, p. 132—141. (1941.)
- Satterly—Lennan*: Kanadai természetes gázok radioaktivitása. *Trans. Roy. Soc. Can. Sec. III.* 12. p. 153—160. (1918.)
- Saukow*: *Geokémia.* VEB. Verl. Technik (1953.)
- Scharff—Klaiber*: Az urán spontán neutron emissiója. *Phys. Rev.* 70. p. 229. (1946.)
- Scheichl*: A radioaktivitás alkalmazása a kőszénbányászatban. *Bergbautechnik* 8. sz. (1952.) és *Technische Mitteilungen* 45. köt. 3. sz. p. 90—91. (1952.)
- Schepard*: A radioaktivitás és a kőolaj genezise. *Bull. Amer. Petroleum Geol.* vol. 28. No. 7. (1944.)
- Schepard—Whitehead*: Zsírsavak átalakulása alfa-részecskék bombázásának hatására. *Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol.* 30. p. 32—51. (1946.)
- Schiff—Gendron*: Diffúziós ködkamra használata kondenzációs magok jellemzésére. *Canad. J. of. Chem.* vol. 31. p. 1108—18. (1953. nov.)
- Schlottmann—Smith*: Előzetes jelentés az urán mineralizációjáról a Troublesome-formációban, Middle Park, Grand County, Kolorádó. *U. S. Atomic Energy Comm. RME-1042.* Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1954.)
- Schoep*: Katanga ásványai. *Ann. Soc. Geol. Belg.* P. R. C. B. (1924—25.)
- Schoep*: Másodlagos uránásványok analízise és kutatása. *Comm. pres. VI<sup>e</sup> Congr. Chim. Ind.* (1926.)
- Schoep*: A katangai urántartalmú ásványlelőhelyek. *Ann. Musée Congo Belge. Geol. Minéral., sér. 1. vol. 1. fasc. II.* (1930.)
- Schopf—Gray*: Urántartalmú kőszénlelőhelyek mikroszkópi tanulmánya. *U. S. Geol. Survey Circ.* 343. (1954.)
- Schumacher*: Uránércleletek. *Glückauf Jhg.* 90. 31/32. sz. p. 845—851. (1954.)
- Schwitzer—Whitney*: Radioaktív nyomjelző technika. *Radioactive Tracer Techniques* Toronto—N. Y.—London, (1949.)
- Sciver—Hofstadter*: Gamma- és alfasugárzással előállított szcintillációk cézium-fluoridban. *The Physical Review* 87. k. 3. sz. p. 522. (1952. aug. 1.)
- Segré*: Spontán hasadás. *Phys. Rev.* 86, p. 21—28. (1952.)
- Segré*: Magfizikai kutatás. *Experimental Nuclear Physics.* John Wiley and Sons. (1949.)

- Senffle*: A kálium hatása a radioaktív érckutatásban. *Can. Mining J.* 69. no. 11. p. 55–57. (1948.)
- Senffle—Keevil*: A Th/U viszony az ólomérczek genezisének elméletében. *Trans. Am. Geophys. Union* 28. p. 732–738. (1947.)
- Seyfang—Smales*: U 235 meghatározása természetes uránizotópok keverékében radioaktíválással. *The Analyst* 78. p. 394–405. (1953. júl.)
- Sharp—Hetland*: Előzetes jelentés egy uránlelőhelyről, Nevadában. U. S. Atomic Energy Comm. RME-2010. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1954.)
- Sheila*: Th/U arány mérése radioaktív ércekben alfa részecskék segítségével. *Proc. of the Phys. Soc.* 64. p. 876–888. (1951. okt. 1.)
- Sheppard*: Radioaktivitás és kőolajgenezis. *Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol.* 28. p. 924–952. (1944.)
- Sheridan—Collier—Maxwell*: Lost Creek schrockingerit lelőhelyének geológiája Wyomingban. U. S. Geol. Survey Trace Elements Inv. Rept. 302. (1954.)
- Sill—Peterson*: Fluoreszcensz próba urán kimutatására. U. S. Bur. Mines. Inf. Circ. 7337. p. 6. (1945.)
- Slack*: A számlálási technika alkalmazása a geofizikai kutatásban I.: Kőzetek radioaktivitásának mérése. *Trans. Am. Geophys. Union.* 33. p. 897–901. (1952.)
- Smales*: Kismennyiségű urán meghatározása kőzetekben és ásványokban radioaktíválás útján. *The Analyst* 77. 778–789. (1952. nov.)
- Smeeth—Watson*: Archaik kőzetek radioaktivitása Mysori államban (Dél-India). *Phil. Mag.* (6) 35. p. 206–209. (1918.)
- Soddy*: Radioelemek kémiája. *The Chemistry of the Radio-elements.* Part II. Longmans. Green, London, (1914.)
- Sommer—Turk*: Nagyérzékenyséű új elektronsokszorozósó. *J. Sci. Instr.* 27. p. 113–117. (1950.)
- Soye*: Az urán papírkromatográfiája. *Comptes rendus.* 240. k. 19. sz. p. 1894–1896. (1955. máj. 9.)
- Spence*: Rádiumtartalmú ásványok a Nagymedve tónál. N. W. T. Can. Dept. Min. Mem. Ser., No. 48. (1931.)
- Spence*: Szurokérc- és ezüstérclelőhelyek a Nagymedve tónál. N. W. T. Can. Dept. Min. Mem. Ser. No. 51. (1931.)
- Spicer*: A kálisók és a vele társult geológiai képződmények gamma-sugár tanulmánya. U. S. Geol. Survey Bull. 950. p. 143–161. (1946.)
- Spolszkij*: Atomfizika. Moszkva—Leningrád, (1951.)
- Staatz—Bauer*: Urántartalmú fluorit Thomas Range kürtőiben és ereiben. (Utah). *Geol. Soc. Amer. Bull.* v. 63. p. 1371. (1952.)
- Staatz—Bauer*: Előzetes jelentés egy radioaktív fluoritlelőhelyről Utahban. U. S. Geol. Survey TEM-167. U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1951.)
- Staley*: Alluviális ásványok eloszlása Idahóban. Idaho Bureau of Mines and Geology. Min. Res. Rept. No. 5. (1948.)
- Steacy*: Uraninitelőfordulás egy fekete homokban. *Am. Mineralogist.* v. 38. p. 549–550. (1953.)
- Stead*: Légi radioaktivitásmérés urán gyors felkutatására. *Eng. and. Min. Jour.* v. 151. No. 9. p. 74–76. (1950.)
- Stead—Davis*: A légi radioaktív kutatás fejlődése és alkalmazása (abs.) *Econ. Geology* v. 47. p. 126. (1952.)
- Stebler*: A radioaktív sugárzások mérési eljárásai és ezek alkalmazása az iparban. *Technische Rundschau,* Bern. 45. k. 27. sz. p. 3–4. (1953. júl. 3.) II. rész. A szcintillációs eljárás.
- Stein*: Uránbányászat Cornwallban. *Mining Journal.* 371. (1952. okt. 3.)
- Stejnbeek*: Radioaktív sugárzások alkalmazásának alapjai a mérés technikában. *Uzspehi Fiziceszkih Nauk,* p. 231–282. (1954. okt.)
- Step—Becke*: A joachimsthalai uránszurokérc előfordulás. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. Abt. I.* 113. p. 585–618. (1904.)
- Stevenson*: Az urán mineralizációja Brit Kolumbiában. *Econ. Geol.* v. 46. p. 353–366. (1951.)
- Stewart*: Radiometrikus kutatóvizsgálat délkelet Pennsylvániában és nyugat New-Jerseyben. U. S. Geol. Survey TEM-255. U. S. Atomic Energy Comm. Oak Ridge, Tenn. (1951.)

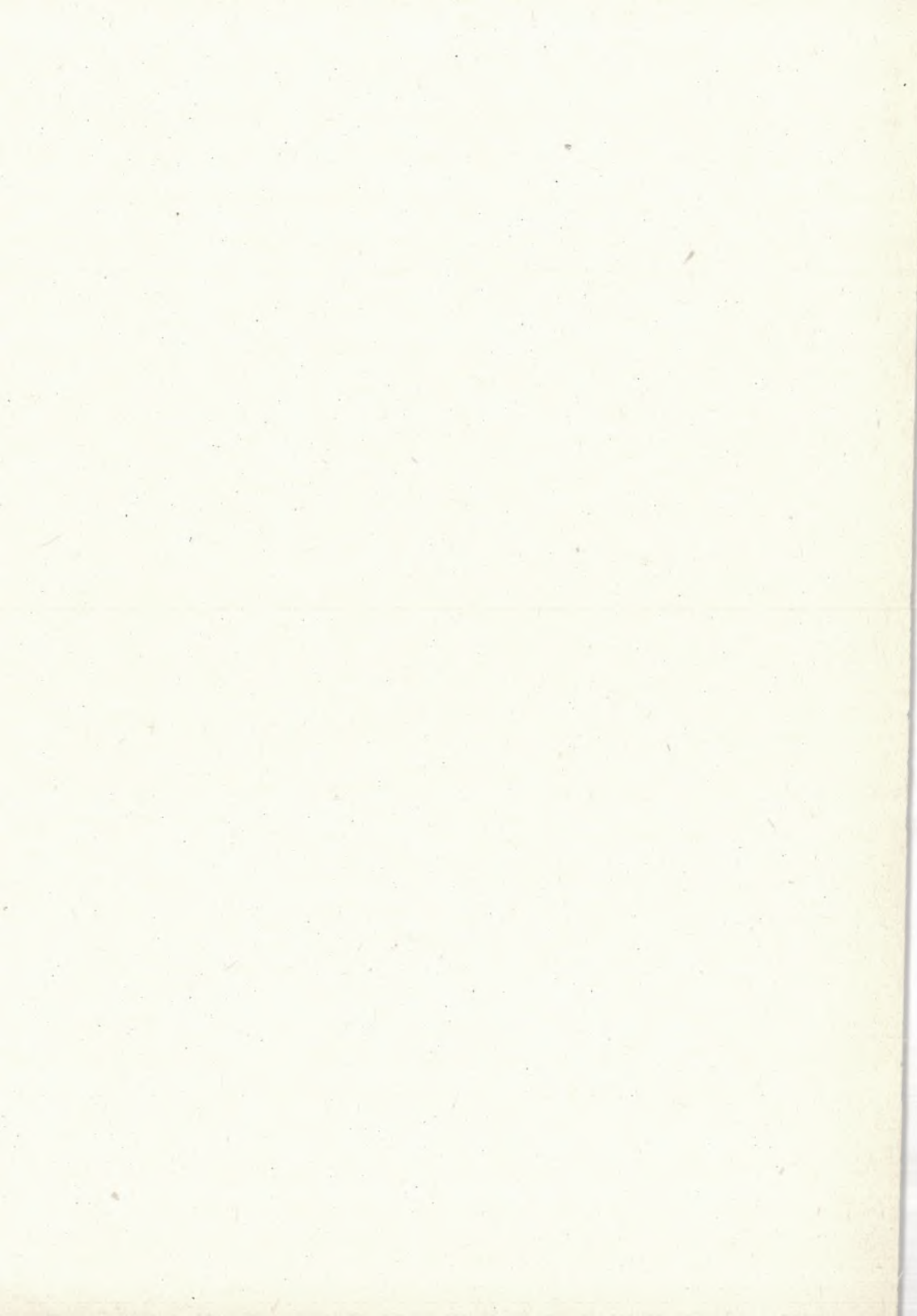
- Stieff—Stern*: Radioaktív ásványok nukleáris nyomlemezének és lehúzott filmjének tanulmányozása. *Am. Mineralogist* 37. p. 184—196. (1952.)
- Stieff—Stern—Milkey*: A Kolorádó plató néhány uránércének előzetes kormeghatározása az ólom-urán módszerrel. *U. S. Geol. Survey Circ.* 271. p. 19. (1953.)
- van Stijpendael*: Kőzetfelületek radioaktivitásának kifejezésére szolgáló képletek. *Bull. centre phys. nucl. univ. libre. Bruxelles.* No. 28. (1951.)
- Strassmann*: Geológiai kormeghatározás a kálium-argon módszerrel. *Die Naturw.* 22. p. 522—523. (1952. nov.)
- Strassmann—Walling*: Tiszta stroncium-87 elkülönítése stb. *Ber. deut. chem. Ges. Abt. B.* 71. p. 1—9. (1938.)
- Strom*: Uránkoncentráció a fekete iszapban. *Nature*, v. 162. p. 922. (1948.)
- Strong*: Kísérleti eljárások. *Physics.* N. Y. (1938.)
- Strutt*: Az argon és hélium néhány fizikai alkalmazása. *Proc. Roy. Soc. (London)* A 59. p. 198—208. (1896.)
- Strutt*: A hélium felhalmozódása a geológiai idő folyamán. I. *Proc. Roy. Soc. (London)* A 81. p. 272—277. (1908.) és II. A 83. p. 96—99. (1910.) és III. A 83. p. 298—301. (1910.) és IV. A 84. p. 194—196. (1911.)
- Stugard*: Két uránlelőhely homokkőben, Washington és Kane vidékén Utahban, (abs.) *Geol. Soc. America Bull.* v. 63. p. 1373. (1952.)
- Stugard—Wyant—Gude*: Szekunder uránlelőhelyek az USA-ban. *U. S. Geol. Survey Circ.* 220. (1952.)
- Sullivan—Matheson*: Urán-rézlelőhelyek Rum Jungléban, Ausztrália. *Econ. Geol.* v. 47. No. 7. p. 751—758. (1952.)
- Susie*: Az érceken levő urán polarografikus meghatározása ascorbinsavas elektrolit segítségével. *Anal. Chim Acta* 11. k. 6. sz. p. 586—589. (1954. dec.)
- Svanson*: Urán Chattanoogae agyagjában. (abs.) *Geol. Soc. America Bull.* v. 64. p. 1481. (1953.)
- Svanson—Kelvey—Sheldon*: Jelentés a nyugati foszfátlelőhelyek kutatásáról. *U. S. Geol. Survey Circ.* 297. (1953.)
- Swift*: Egyszerű gammasugár és neutron lyukszelvényezés. *Geophysics* 17. p. 387—394. (1952.)
- Symposium on radiation chemistry and photochemistry.* *J. Phys. and Colloid Chem.* 52. p. 437—611. (1948.)
- Szabó*: Székelyföldi ásványvizek és forrágázók radioaktív vizsgálata. *Hidrológiai Közöny.* 29. 1—2. p. 37—41. (1941.)
- Szalay*: A Velencei hegység (Magyarország) tórium- és urántartalma. *Nature* 162. p. 454—455. (1948.)
- Szalay*: Hazai kőszenei radiológiai vizsgálata. *Magyar Tud. Akad. Műsz. oszt. közl.* V—3. p. 167—186. (1952.)
- Szalay*: Kutatások urán és tórium magyarországi előfordulása után korszerű atomfizikai módszerekkel. *M. Áll. Földt. Int. Évi jel. B. X.* p. 5—21. (1948.)
- Szalay—Csongor*: Kőzetek radioaktív tartalmának meghatározása Geiger—Müller számlálókészülékkel. *Science* 109. p. 146—147. (1949.)
- Szalay—Földvári*: Kőzetek radiológiai vizsgálata. *Magy. Tud. Akad. Mat. T. T. oszt. Közl.* I. 60. (1951.)
- Szádeczky*: Geokémai irányelvek a nyersanyagkutatásban. *Földtani Közöny.* (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie). 81. köt. 10—12. füz. p. 353—364. (1951.)
- Szádeczky*: Székközzettan. Akad. kiadó (1952.)
- Szádeczky*: Újabb irányzatok az üledékes kőzetek rendszerezésében. *Földtani Közöny.* (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie) 82. köt. 7—9. füz. p. 227—236. (1952.)
- Szádeczky*: Geokémia. Akad. kiadó (1955.)
- Szelényi*: A hélium geokémiája. *Földt. Int. Évk. XXXV.-4.* p. 3. (1941.)
- Szelényi—Csajághy*: Magyar földigázok héliumtartalma. *Földt. Int. Évk. XXXV.-4.* p. 53—64. (1941.)
- Szurazsszkij*: Az ipari urántelepek genetikai típusai. *Atomnaja energia* II. Akad. Nauk. S. S. S. R. Moszkva, (1956.)
- Szüromjatnikov*: A hidrotermális oldatok létrejövetelének és fejlődésének egyes elméleti kérdései. *Izv. Akad. Nauk. S. S. S. R. Szer. geol.* 3. sz. p. 92—105. (1955. máj.—jún.)
- Tavelli*: A Kolorádó-plató légi radioaktivitás-mérés technikájának szemléje. *U. S. Atomic Energy Comm. RMO-697. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn.* (1951.)
- Taylor*: Angol radioaktivitás-mérő készülék. *Brit. Sci. News.* 3. p. 117—122. (1950.)
- Technische Rundschau*: Radioaktív elemek geológiai eredete. 6. 7—9. (1956. febr. 10.)

- Technische Rundschau*: Radiometrikus kutatás urán- és tóriumérctelepek után levegőből. No 30. p. 7. (1956. júl. 13.)
- Thomas*: Néhány korszerű gáztöltésű számlálócső. *J. Brit. I. R. E.* 13. k. 8. sz. p. 414–419. (1953.)
- Thomas*: Urán Wyomingban. *Mines Mag.*, v. 44. p. 81. (1954.)
- Thommeret*: Uránérc radioaktív sugárzásának mérése. *J. phys. radium* (8) 10. p. 249–252. (1949.)
- Thompson*: További tanulmány a Phosphoria-formáció foszfátgazdag rétegeinek urán-eloszlásáról. *U. S. Geol. Survey TEI-275.*, U. S. Atomic Energy Comm., Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1952.) és *U. S. Geol. Survey Bull.* 988-D. (1953.)
- Thoreau—Du Trieu de Terdouck*: A Shinkolobwe-kasolói uránlelőhely. *Inst. roy. colonial belge. Sect. sci. nat. et méd., Mém.* 1. p. 46. (1933.)
- Thoreau—Trien de Terdouck*: A Shinkolobwe-kasolói (Katanga) uránlelőhely. *Inst. Roy. Colonial Belge, Section des Sciences Naturelles et Médicales, Bruxelles Memoires Tome 2., Fasc. 1: Abstract. Geol. Soc. America Bull.* v. 46. p. 941–942. (1935.)
- Thurlow—Wright*: Uraninit Coeur d'Alene vidékén, Idahóban. *Econ. Geol.* v. 45. p. 395–404. (1950.)
- Tilton—Patterson—Brown—Inghram—Hayden—Hess and Larsen*: Az ólom, urán és tórium izotopikus összetétele a prekambri gránitokban. *Bull. Geol. Soc. Amer.* (1955.)
- Tiratsoo*: Radioaktivitás és a kőolaj. *Petroleum*, (London) 4. p. 58–63. (1941.)
- Tiratsoo*: Üledékek radioaktivitása. A káliumsugárzás. *Petr. XII. köt. 5. sz.* p. 117–122. (1949.)
- Tittle—Faul—Goodman*: Mélyfúrások neutronszelvényezése. Neutron-neutron módszer. *Geophysics* 16. p. 626–658. (1951.)
- Tomlinson—Das Gupta*: Az izotóphigítás alkalmazása ásványok geol. korának meghatározására. *Canadian J. of Chemistry*. No 10. p. 909–915. (1953. okt.)
- Tomor*: Szerves maradvány-vizsgálatok magyarországi kőolajokban. *Földt. Közl. (Bull. de la Soc. Géol. de la Hongrie)* 80. köt. 10–12. füz. p. 341. (1950.)
- Towle—Rapaport*: Uránlelőhelyek Grant vidékén, Új-Mexikóban. *Min. Engineering* v. 4. No. 11. p. 1037–1040. (1952.)
- Tripper*: Monacit-homok Travancornál. *Records Geol. Survey. India* 44. p. 186–196. (1914.)
- Trites—Tooker*: Urán- és tóriumlelőhelyek Kelet-Idahóban és Délnyugat-Montanában. *U. S. Geol. Surv. Bull.* 988-H. (1953.)
- Tschitschibabin—Tschirikow—Katnelsson—Korjagin—Tschelingew*: Zsírsavak a kaukázusi kőolajban. *Chem. Zentr.* 104. I. 3389. (1933.)
- Tugarinov*: Az uránásványok ólomizotóp-aránya alapján végzett abszolút kormeghatározás pontossága. *Doklady Akad. Nauk. S. S. S. R.* 99. k. 5. sz. p. 1061–1063. (1954. dec. 21.)
- Tugarinov*: Az ólomércelőfordulásokban található ólom izotópp összetételében mutatkozó eltérések geokémiai jelentősége. *Izveszt. Akad. Nauk. S. S. S. R. Szer. Geolog.* 4. sz. p. 31–49. (1955. júl.–aug.)
- Tyler*: Radium U. S. Bur. Mines Inf. Circ. 6312. (1930.)
- Urry*: Kőzetek rádiumtartalmának meghatározása. *J. Chem. Phys.* 4. p. 40–48. (1936.)
- Urry*: Időhatározás héliummódszerrel. II. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 47. p. 1217–1233. (1936.)
- Urry*: Radioelemek a tengervízben és üledékeiben. *Phys. Rev.* 59. p. 479. (1941.)
- Urry*: Az urántartalom gyors radioaktív meghatározása. *Amer. Journ. Sci.* No. 3. p. 191. (1941.)
- Urry*: Óceáni üledékek radioaktivitása VI. *Am. J. Sci.* 247. p. 257–275. (1949.)
- Urry—Piggot*: Óceáni üledékek radioaktivitása V. *Am. J. Sci.* 240. p. 93–103. (1942.)
- Urry—Piggot*: Készülék rádiummennyiség gyors meghatározására. *Amer. Jour. Sci.* No. 9. p. 633. (1941.)
- U. S. Geol. Survey*: Kutatás és a radioaktív lelőhelyek geológiája. *Semiannual Progress Report Dec. 1. (1952.) — May 31. (1953.) TEI-330; Report June 1. (1953.) — Nov. 30. (1953.) TEI-390.* U. S. Atomic Energy Comm. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- U. S. Geol. Survey*: Radioaktív lelőhelyek geológiai vizsgálata. *Semiannual Progress Report, Dec. 1. (1953.) — May 31. (1954.) TEI-440. Report. June 1. (1954.) — Nov. 30. (1954.) TEI-490.* U. S. Atomic Energy Comm., Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1954.)

- Vallantin*: Kiszűrésű Geiger—Müller számlálók. L'onde électrique. 33. k. 316. sz. 431—434. (1953.)
- Vebersik*: Uránlelőhelyek felkutatása a legmodernebb eszközökkel. Hutnicke Listy. Bd. 7. H. 6. p. 307—308. (1952.)
- Vendel*: Összefüggések a közet- és ércprovincia között I. A Bánya- és Kohómérnöki Oszt. Közl. XVII. köt. p. 194—319. (1950.)
- Vendel*: Összefüggések a magmák és érceledések között. Magy. Tud. Akad. Műsz. Oszt. közl. I. p. 138—175. (1952.)
- Vendl*: Geológia II. Budapest, (1952.)
- Veksler—Grosev—Iszajev*: Sugárzások vizsgálata ionizációs módszerekkel. Akad. kiadó. (1952.)
- Vernadskij*: A radiogeológia kérdései. Les problèmes de la Radiogéologie. Paris, (1935.)
- Victoreen*: Ionizációs kamrák. Proc. Inst. Radio Engrs. 37. p. 189—199. (1949.)
- Vine—Moore*: Urántartalmú kőszén- és karbonáttartalmú kőzetek Idahóban. U. S. Geol. Survey Circ. 212. (1952.)
- Vine—Prichard*: Urán a Poisson-medence szénvidékén Wyomingban. U. S. Geol. Survey Circ. 344. (1954.)
- Vinogradov*: Az ólomizotóp összetétele és a föld kora. Doklady Akad. Nauk. S.S.S.R. 87. p. 1107—1110. (1952.)
- De Vore*: Az adszorpció és frakcionálódás szerepe az elemek eloszlásában. The J. of Geology. 63. k. 2. sz. p. 159—190. (1955. márc.)
- Wack*: Káliumanalízis kálium természetes sóinak  $\beta$ -sugárzásánál. Ann. geophys. 8. p. 337—341. (1952.)
- Walker*: Rosamond uránkutatásai Kern vidékén Kaliforniában. Calif. Div. of Mines. Special Rept. 37. (1953.)
- Walker—Lovering*: Radioaktív lelőhelyek Kaliforniában. Calif. Div. of Mines Bull. (1954.)
- Wasserstein*: Szurokércsek korának meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel. Nature, 176. k. 4473. sz. p. 159—160. London, (1955.)
- Walther*: Uránércelőfordulások, Észak-Amerika keleti felében. Min. Engng. 7. k. 6. sz. p. 545—547. (1955. jún.)
- Ware*: Szerves reagensek az urán analízisének. U. S. Atomic Energy Commission, Tech. Inf. Divn., Oak. Ridge, Tenn. (1948.)
- Watzlawek*: A technikai magfizika tankönyve. Lehrbuch der Technischen Kernphysik. Wien, (1948.)
- Weaver*: A radioaktivitás eloszlásának elmélete a tengeri üledékes kőzetekben. A theory of the Distribution of Radioactivity in Marine Sedimentary Rocks. (1941.)
- Weeks*: Az elemek felfedezése. Discovery of the Elements. 5th. edition, Easton, Pa., Jour. Chem. Education. (1945.)
- Weeks—Thompson*: Urán- és vanádiumásványok azonosítása és lelőhelye a Kolorádó-platón. U. S. Geol. Survey Bull. 1009-B. (1954.)
- Weir*: Geológiai útmutató a Kolorádó plató karnotitlepeinek felkutatásához. U. S. Geol. Survey Bull. 988-B. p. 15—27. (1952.)
- Westergård*: Fúrások az ölandi és östergotlandi alumíniumagylelőhelyeken. Sveriges Geol. Undersökn., Ser. C. Avhandl. och. Uppsat. no. 463. Årsbok 38. p. 18. (1944.)
- Weszelszky*: A radioaktivitás. Magyar Kémiai folyóirat 1917. évi mell.
- Weszelszky*: A budapesti hévvizek radioaktivitásáról és eredetéről. Mat. és Term. tud. Ért. 30. 2. f. p. 340—381. (1912.)
- Wetherill*: Az urán és tórium spontán hasadási hozama. Phys. Rev. 92. p. 907—912. (1953.)
- Wickman*: A geológia időmérése és az emanáció. Geol. Fören. i Stockholm Förh. 64. p. 465—476. (1942.)
- Wiesner*: Az algák rádiumtartalmának meghatározása. Sitzber. Akad. Wiss. Wien. math.-naturw. Kl., Abt. II a. 147. p. 521—528. (1939.)
- Wilkinson*: Ionizációs kamrák és számlálók. Ionization Chambers and Counters. Cambridge, Univ. Press. (1950.)
- Williams*: Timföld és cellulóz elnyelőként való alkalmazása tórium meghatározásánál, és a tórium és urán egyidejű meghatározása ásványokban és ércekben. The Analyst. 77. 915. p. 297—306. (1952.)

- Williams—Barrett*: Előzetes jelentés a Cameron-területi (Arizona) kutatásról. U. S. Atomic Energy Comm. RME-4002. Tech. Inf. Service, Oak Ridge, Tenn. (1953.)
- Wilmarth*: Kanárisárga uránlelőhelyek, Dagett County-ban (Utah). U. S. Geol. Surv. Circ. 312. (1953.)
- Wilmarth—Bauer—Staatz—Wyant*: Urán a fluoritlőhelyeken. U. S. Geol. Survey Circ. 220. p. 13—18. (1952.)
- Wilmarth—Johnson*: Uranophan a luski (Wyoming) Ezüstsziirt-bányánál. U. S. Geol. Survey Bull. 1009-A. (1954.)
- Wilson*: A ködkamra-technika alapelvei. The principles of cloud-chamber technique. University Press. Cambridge, (1951.)
- Wilson*: A kozmikus sugárzás fizikája. Cosmic Ray Physics. Amsterdam, (1952.)
- Wilson—Rhoden—Vaughn—Faul*: Hordozható szcintillációs számlálók geológiai használatára. U. S. Geol. Survey Circ. 353. (1954.)
- Wimmenauer*: Az eisenbachi urántartalmú mangánérc és egy másik schwarzwaldi „psilomelan” ásványos összetétele. Jahreshefte des geologischen Landesamtes in Baden—Württemberg. Bd. 1. p. 72. Freiburg (1955. okt. 1.)
- Wimpfen*: A foszfátkőzet uránja. A paper presented at the National Fertilizer Assoc. Atlanta. Ga. Nov. 14. summarized in Chem. Eng. News. v. 29. p. 5112. (1951.)
- Wimpfen*: A hazai urántermelés jelene és jövője. Mines Mag. v. 44. No. 3. p. 79. (1954.)
- Whitehead*: A kőolaj- és szénhidrogének átalakult tengeri szerves anyagaiban levő radioaktivitás tanulmányozása. Am. Petroleum Inst. Fundamental research on occurrence and recovery of petroleum. 1950—1951. p. 192—201. (1952.)
- Whitehead—Goodman—Bregger*: Zsírsvak bomlása  $\alpha$ -részecskék hatására. Jour. Chimie Physique. v. 48. p. 184—189. (1951.)
- Whitehouse—Putman*: Radioaktív izotópok. Radioactive isotopes. Oxford, (1953.)
- Whitham*: A számlálótechnika alkalmazása a geofizikai kutatásban. II. Laboratóriumi szcintillációs számláló alkalmazása néhány geofizikai vizsgálatnál. Trans. Am. Geophys. Union 33. p. 902—911. (1952.)
- Wojtczak*: Természetes radioaktív szénizotóp. Wiadomosci chem. 7. 11. (1953.)
- Wright*: Hol van kilátás uránra? Eng. and. Min. Jour. v. 155. No. 9. (1954.)
- Wright*: Uránlelőhelyek közzétani ellenőrzése. Min. Congr. J. 41. k. 4. sz. p. 98—100. (1955. ápr.)
- Wyant—Beroni—Granger*: Néhány uránlelőhely a homokkőben. U. S. Geol. Survey Circ. 220. (1952.)
- Zeldovics*: A  $\beta$ -bomlás elméletének mai helyzete. Uszpehi fiziceszkizh nauk. 56. köt. 2. sz. p. 165—200. (1955. jún.)
- Zeller—Balz*: Urántartalmú rézlelőhelyek Coyot kerületben Mora vidékén, Új-Mexikóban. U. S. Geol. Survey Circ. 334. (1954.)
- Zeuner*: A múlt vizsgálata radioaktív karbonnál. Nature 166. p. 756—757. (1950.)
- Zlotowski*: Kálium mennyiségi meghatározása a K-40 izotóp sugárzásának mérése alapján. Przemysl. Chem. 8. k. 10. sz. p. 439—443. (1952. okt.)
- Zoonen—Prast*: Argon-bróm számlálók tulajdonságai. Appl. Sci. Research. 3. 1. sz. Section B. p. 1—18. (1952.)
- Zuckert*: A joachimstali kobalt-nikkel és uránszurokértartalmú ezüst-bizmutformáció paragenezise. Preuss. Geol. Landes, Mitteil. Abt. für Gesteins-, Erz-, Kohle- und Salzuntersuchungen. p. 69—132. (1926.)
- Zwikker*: Fluoreszcencia. Éclairage fluorescent. Dunod. (1951.)
- Yagoda*: Urán- és tóriumásványok helymeghatározása csiszolt metszetekben I. Alfa-sugár-emissziós lemez. Am. Mineralogist. 31. p. 87—124. (1946.)
- Yagoda*: Radiokolloid aggregátumok uránásványokban. Am. Mineralogist 31. p. 462—470. (1946.)
- Yagoda*: Radioaktivitásmérés magemulzióval. Radioactive Measurements with Nuclear Emulsions. N. Y.—London. (1949.)
- Yagoda—Kaplan*: A rejtett  $\alpha$ -sugárkép fadingje az emulzióban. Phys. rev. 71. p. 910—911. (1947.)
- Yuan—Pose*: Részecskék helymeghatározása szcintillációs detektorral. Review of Sci. Instr. 23. k. 10. sz. p. 553—554. (1952. okt.)

*U. S. Geol. Survey Prof. Paper 300*. Washington (1956). Az urán és a tórium eloszlása az U. S. A.-ban stb. (Az 1955. évi genfi nemzetközi atomerő konferencia anyagából.)



#### XIV. NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ

- abszcisszatengely 93  
 abszolút földtani kormeghatározás 97  
 abszorpció 12, 15, 33, 45, 49, 63, 67  
 abszorpciós együttható 14, 43, 44, 45  
 abszorpciós görbe 12, 13, 14  
 Achmatovsk 68  
 adszorpciós folyamatok 80  
 adszorptív kötés 97  
 aeromagneszes mérések 83  
 agresszív víz 93  
 agyag 5, 79, 87, 91, 93, 94, 95  
 agyagpala 81  
 agyagos homok 93, 94  
 agyagos mészkő 93, 94  
 agyagos kőszén 64, 95  
 agyagos kőzetek 62  
 agyagszemcsék nagysága 91  
 Ahrens 100  
 aktivitás 33  
 akkumuláció 80  
 Alabama 73  
 alapfátyolosodás 57  
 alapeffektus 90  
 alaphegység 79  
 albit 47, 48  
 albitbenövés 47  
 albitkioltás 48  
 alfa-bomlás 98  
 alfa-sugárzás 10, 18, 46, 56, 57, 58, 101  
 alfa-sugárzó standard 16  
 alfa-részecskék 20, 22, 26, 28, 38, 45,  
 54, 55, 56, 82, 83  
 alga 65  
 alga-faj 81  
 aktiválási analízis 48  
 Alfven 14  
 Alichanov 45  
 alkálikus 81  
 alkáli földfemes közeg 67  
 alkáli gránit 75  
 alkáli hipofoszfát 52  
 alkáli karbonátok 22  
 alkáli kőzet  
 alkoholgőz 27, 42  
 allanit 68, 69, 70, 73  
 Allium acuminatum 59  
 alluviális 69, 73  
 alluviális torlatok 71, 81  
 almandin 71  
 Alve 70  
 amazonit 99, 100  
 Amelia County 68  
 ammoniumhidroxid 55, 61  
 ammoniumkarbonát 16  
 amorfi 70  
 amplitudó 25, 30  
 anaerob 80  
 anhidrit 91, 93, 94  
 anizotrop 70  
 Annaberg 75  
 Anneröd 71  
 anód 26, 28  
 anomália 91  
 antikoincidális számláló 83  
 antikoincidális áramkőr 83  
 antracén 39  
 anyaelem 10, 63  
 anyagmérés 33  
 apatit 76  
 arany 28, 29  
 aranyérc 80  
 aranylelőhely 69  
 aranylúgozás 80  
 aranyszirt 80  
 aranytartalmú homok 70  
 aranytartalmú konglomerátum 79  
 aranytartalmú kvarcerek 79  
 aranytorlat 69, 81  
 Arendal 68, 70  
 argon-módszer 100, 101  
 Arizona 69, 72, 79  
 arkóza 78  
 Artiplex 58  
 arzenidek 75  
 arzenopirit 77  
 Aster venusta 59  
 Astragalus-félék 59  
 aszfaltit 64  
 Atabaska-tó 77  
 atombomlás 11, 12  
 atombomlási folyamat 82  
 atomfizika 6  
 atomi tömegegység 6, 15  
 atommag 7, 10, 12, 13, 46  
 atommag szerkezete 6  
 atommagátalakulás 97, 98  
 atommaghasadás 76  
 atommagok jellemzői 6  
 atommáglya 5  
 atomsúly 6

- atommagreakció 91  
 atomreaktor 16  
 Aus-Adger 73  
 automatikus fényképezés 84  
 automatikus írószerkezet 92  
 autoradiogram 47  
 autoradiográfia 46, 54, 56  
 Autun 68  
 autunit 40, 68, 72, 77, 78, 87
- Ádám 50  
 áramerősség 18  
 áramforrás 92  
 áramlási egyensúly 23  
 áramütés 90  
 árnyékolás 89  
 ásvány- és kőzetcsiszolat 55  
 ásvány kora 97, 98  
 ásványkomponensek 46  
 ásványos vizek 63  
 ásványosodási fázis 75  
 átalakult kőzetek 67  
 áthalmazott anyagok 79  
 áthordott lerakódások 87  
 átmeneti magma 65
- Bahia 70, 73  
 Bajkál-tó 68  
 Bajót 95  
 Balaton 65  
 balatoni élővilág 65  
 Balkay 101  
 Baltimore 71  
 Banka 70  
 barn 15  
 barnakőszén 87  
 barnakőszénsalak 90  
 batolit 100  
 bauxit 5, 15, 63  
 bazalt 66  
 bányavárat 89  
 bárium 46  
 bázikus 72  
 bázisos magma 65  
 bázisos magmatitok 60  
 Bear Valley 74  
 Beaverlodge 74  
 beesési szög 56  
 Behounek 45  
 Belemnita rostrum 102  
 Belega-Kongó 71, 72  
 Bell 65  
 belső feszültség 102  
 bentonit 91, 93, 94  
 beolvadt kőzetek 66  
 bervill 75  
 berillium 91  
 betafit 58, 68, 70, 75  
 beton 15  
 bélelt kút 91  
 bélésű 93  
 béta-bomlás 100  
 béta-emisszió 99
- béta-részecskék 28, 54, 56, 83  
 béta-sugárzás 11, 12, 18, 28, 33, 46,  
 50, 54, 100  
 béta-sugárzó standard 16  
 Bihar 73  
 Biliton 70  
 billenő kör 27  
 binér kapcsolás 29  
 biofil elemek 61  
 biolitok 5, 66  
 biológiai dúsulás 66  
 biológiai indikátor 65  
 biotit 70  
 biotitos gránit 66  
 Bird-Reef 80  
 bitumentartalmú szenek 67  
 bitumenes agyagpalák 81  
 bitumenes csomók és lencsék 80  
 bitumenes fekete palák 80  
 bitumenes kőzetek 63  
 bitumenes palák 66  
 bitumenes szenes agyag és pala 91  
 bituminit 69, 80  
 bituminites oxidációtermék 64  
 bizmut 28, 71, 75, 77  
 biztonsági edény 20  
 Black Hills 74  
 Blind River 74  
 Blomstrandin 69, 70  
 bodenit 68  
 bomlási állandó 7, 8, 9, 21, 58, 97, 100  
 bomlási féldió 9, 101  
 bomlástermék 11, 22, 45, 52, 83, 89  
 bomlóssor 6, 7, 45, 101  
 borax 39  
 Borneo 71  
 bornit 77  
 boróka 58  
 Boulder 74  
 bournonit 77  
 botanikai módszerrel való uránkutató  
 58, 59  
 Börzsöny 66  
 Bragg-féle egyenlet 43  
 Bragg-féle eljárás 43  
 Brazília 81  
 brannerit 69  
 breccia 76  
 Brevik 70  
 Brockamp 13  
 bröggerit 58, 69, 72, 81  
 bucklandit 68  
 Bukhova 74, 81  
 búzós pát 76
- Cape tartomány 73  
 Cardiff 72  
 carnotit 58, 69, 73, 79, 85, 93  
 Cave Hills 74  
 cellulóze kúp oszlop 51  
 Central Masszívum 74  
 cerin 68  
 Ceylon 70, 71

- cézium 99  
 céziumfluorid 39  
 chalkolith 69, 72  
 Chattanooga agyag 74, 80  
 chloantit 75  
 Chlopin 82, 100  
 Chenopodiaceae család 58  
 ciklotron 48  
 cinkszulfid ernyő 38  
 cirkon 68, 69, 73, 81, 87  
 cirkónium 48  
 cirkonnitrát 52  
 cirtolit 70, 72  
 Clarke szám 61  
 clarkeit 58  
 cleveit 58, 69, 72  
 Co-60 radioizotóp 16  
 Cochetope 74  
 columbit 71  
 Compton-hatás 13, 46  
 Connecticut 72  
 Cornwall 68, 72, 73, 74, 77  
 Cuneo Lurisia 74  
 Curie 15, 16, 76  
 curit 58
- Csajághy 82  
 Csehország érchegység 74, 75, 76, 78  
 csillámpala 75, 76  
 Csókás 45, 50, 65  
 csúcshámláló 26
- dachstein-mészakő 95  
 dazit 76  
 dakota-homokkő 79  
 Dattas 73  
 davidit 69  
 Davis 66  
 Debye—Scherrer-féle kamra 40  
 Debye-Scherrer pordíagram 43  
 decimális kapcsolás 29  
 Denver 79  
 desztillált víz 55, 61  
 detektor időkonstansa 84  
 Dél-Afrika 70  
 délafrikai uránbányászat 80  
 Dél-Ausztrália 69, 72  
 Dél-Dakota 72, 100  
 Dél-Izland 71  
 Dél-Norvégia 72  
 Dél-Ural 70  
 Dél- és Északkarolina 70, 72  
 Délkelet-Utah 79  
 Délnyugat-Kolorádó 79  
 diágrampár 93  
 Diamantina 73  
 diffúzió 101, 102  
 diffúziós ködkamra 42  
 Dillingő 70  
 direkt sugár 43  
 disztraktív hasadékok 67  
 djalmait 75  
 dolomit 76, 94
- durvaszemcsés emulzió 57  
 dúslás 5, 61, 66, 79  
 Dzepelov 45  
 dyn 15
- egy- és kétszálás elektrométer 24  
 egyedi bomlásidő 48  
 Egyesült Államok 68, 70, 71, 72, 73, 80  
 egyenesvonalú repülés 84  
 egykori medrek 79  
 egységnyi koncentráció 58  
 egytengelyű 70  
 együttes ülepedés 67  
 elektrométer 20, 23, 24, 26  
 elektrosztatikus erő 24,  
 elektromos ellenállás 93  
 elektron 6, 10, 12, 13, 18, 19, 26, 27  
 elemi töltés 6, 15  
 elektronhéj 12  
 elektromágneses sugárzás 12  
 elektronemisszió 13  
 elektronvolt 15  
 elektrosztatikai egység 16  
 elektromos vezetőképesség 17  
 elektroszkóp 17, 18  
 elektronfelhő 18  
 elektroncső 19, 27  
 elektrométercső 19, 20  
 elektroncsöves erősítés 20  
 elektromos tér 26  
 elektronikus kioltás 27  
 elektronikus alóosztó 29  
 elektronsokszorozó 38  
 elektromos mező 42  
 elemi test élhossza 43  
 elektrolit 51  
 elemfelhalmozódás 61  
 elektródpotenciál 62  
 elemkoncentráció 65  
 elektród 83  
 ellenállás 91  
 elméleti földtan 102  
 elnyelés 84  
 elnyelő közeg 44, 45  
 elnyelő réteg 12  
 eloszlási hányados 20, 21  
 előkristályosodási termék 60  
 előerősítő 30, 92  
 elsődleges ércerek 71  
 elsődleges telepek 81  
 elsődleges elemelőfordulások 59  
 elsődleges ércék 40  
 elsődleges uránérc 74, 87  
 elsődleges uránásványok 40, 60  
 eltolódási törvény 7  
 emanáció 21, 22, 83  
 emanációegységű standard 16  
 emanométer 20, 90  
 emanáció zavaró hatása 89  
 emulzió 54, 55, 56, 61  
 energiaszint 12, 13  
 energiaakkumuláció 102  
 epidot 68

epirogén időszak 102  
 Epstein 101  
 Erdőbénye 66  
 erek 72, 87  
 eschynit 58, 69  
 esési sebesség 18  
 esési idő 20  
 erg 15  
 Espirito Santo 70  
 Essex County 68  
 Erigonum inflatum 59  
 eruptív kőzetek 87  
 Estramadura 72  
 etilalkohol 57  
 euxenit 58, 69, 70, 73  
 evaporitok 65, 66  
 Evans 66, 96  
 Evje 69  
 evolúció 102  
 ezüst 55, 61, 71, 75, 77  
 ezüstbromid 55, 57, 67  
 ezüstjodid 55  
 ezüstkiválás 55  
 ezüstklorid 26  
 ezüstlerakódás 55  
 ezüstszemesorosozat 54  
 ezüstzóna 75  
 expanszió 43  
 expozíciós kamra 56  
  
 Édesvíz 93  
 édesvízi üledékek 65  
 élettartam 10, 28  
 érces oldat 67  
 ércesedés 67  
 ércfelhalmozódás 79  
 érctelep 58  
 érctelep-alkotó elemek 60  
 érctest 59, 78, 85  
 érctestek kutatása 87  
 érctömzs 79  
 érzékenységi felület 83  
 érzékenységi periódus 84  
 Észak-Karélia 100  
 Észak-Karolina 71, 73  
 Északrodéziai rézterület 76  
 Észak-Westland 73  
 Északnyugat-Portugália 72  
 észlelőberendezés 45  
 évszakos hőmérsékletváltozás 102  
  
 Fajans 7  
 fajlagos aktivitás 33, 53  
 fajlagos ionizáció 18  
 Falkenstein 68  
 Faraday f. szám 62  
 Faul 22  
 fedőréteg 90  
 fekete agyagpala 81  
 felezési idő 9, 10, 16, 19, 23, 97, 99  
 felező réteg 12, 14  
 felhalmozódás 66  
 felhalmozódási időszak 102  
  
 Felkai völgy 66  
 felszíni vagy cirkuláló vizek 87  
 felszín-közeli telepek 90  
 feltöltődés 24  
 Ferghana medence 74, 78, 79  
 fergusonit 69  
 ferri, ill. ferro ionok 72  
 ferriklorid 16  
 ferrihidroxid 16  
 ferrooxalát 57  
 feszültséglökés 19, 27  
 feszültségkülönbség 23, 24, 26  
 feszültségnövekedés 24  
 feszültségváltozás 24  
 feszültségesés 26  
 feszültségforrás 27  
 fékezési sugárzás 18  
 fékezési vastagság 12  
 fél-kvantitatív 89  
 fél kvantitatív mérés 88  
 fémes arany 77  
 fémes bizmut 75  
 fémes ezüst 75  
 fénykvantum 39  
 fénymérséklő anyagok 39  
 fényérzékeny lemez 53, 54  
 fényudvar 54  
 fényképezés 76  
 fészkek 75  
 fészkes település 67  
 Fichtel hegység 78  
 filmfelvevő készülék 83  
 Finály 68  
 Finnország 70  
 finomszemcsés üledékek 76  
 fizikai műszerek és eszközök 17  
 flogopit 100  
 Florida 80  
 floridai foszfát 74  
 flotációs eljárás 97  
 fluoreszcencia 87  
 fluoreszcencia vizsgálat 39, 87  
 fluoreszcensz szín 40  
 fluorométer 41  
 fluorit 76, 77  
 fluktuáló háttéreffektus 83  
 folyóvízi eredetű homok 70  
 folyóvízi homok 73  
 folyóvízi eredetű üledékek 79  
 folyóvízi torlatok 81  
 folyómedrek lerakódásainak vizsgálata 90  
 fordított izotóp-hígítás 53  
 forrágások 20, 22  
 források 20, 22, 64  
 Forth Dauphin 74  
 foszfor 39  
 fosszilis 69  
 foszfátos palák 74  
 foszforitok 80  
 foszfátok 74, 80  
 fosszilis fatörzs 79  
 fosszilis ágak 79  
 fotoemulzió 10



- Hernegger 39  
 héjelektron 11  
 héjelektronbefogás 12  
 hélium 82  
 héliummódszer 98, 100, 101  
 hézagterfogat 67  
 hibaforrás 102  
 hidrolititek 61, 63  
 hidrolizált kőzetek 5  
 hidrogénperoxid 52, 55  
 hidrotermális maradékoldatok 59, 75  
 hidrotermális előfordulás 59  
 hidrogénion-koncentráció 62, 63, 81  
 hidrolizátok 66  
 hidrotermális telepek 67, 76  
 hidrotermális eredetű erek 68  
 hidrofoszfátkristály 72  
 hidrotermális telérek 72, 73  
 hidrotermális fázis 76, 99  
 hidrotermális rézérctelérek 77  
 hidrotermális oldat 78  
 hidrogén 92, 93  
 higanyózlámpa 39  
 higanyvíz 40  
 hígított kénsav 80  
 hintett ércesedés 67  
 Hills 74  
 hitelesítés módja 89  
 Hitterő 70, 73  
 Hoksjaeen 68  
 holt idő 27, 28, 38  
 homok 71, 92, 94  
 homokkő 65, 67, 69, 73, 78, 82, 87,  
 91, 95  
 homokos agyag 71, 94  
 homokkő-konglomerátum 78  
 hordozó 52  
 hordozható készülék 27, 39, 88  
 hordozható ibolyántúli lámpa 40  
 hőakkumuláció 102  
 hőneutron 48, 50  
 hővezető képesség 102  
 humolitok 61, 62  
 humuszanyag 63, 64  
 humuszos 80  
 Husmann 60  
 Hutchinson-diagram 61  
 Hvaler 70  
 Hvalö 70
- Jachimov 71, 72, 73, 75  
 jachimovi rádium 66  
 járulékos ásvány 73  
 jegyzőkönyvi minta 95  
 Jeniszei 81  
 Joachimsthal 75  
 Johanngeorgenstadt 68, 72, 75  
 Joly 65, 102  
 Jölster 63  
 jurakori mészkő 79  
 jüttja-kőzetek 62
- K-befogás 12, 100  
 kalcitos mészkő 94  
 kalciumklorid 56  
 kalciumwolframát 39  
 kalciumuránhidrofoszfát 68  
 kalciumurántitánniobáttantaláthidráttal 68  
 kalkopirit 75, 77  
 Kalifornia 71  
 kambrikori agyagpala 79  
 kambri tenger beöblösődései 81  
 Kanada 71, 76  
 kanadabalsam 55  
 kaolinosodott gránit 78  
 karakterisztikus fluoreszcencia 39  
 Kararfvet 68, 70  
 Kara-Tau 74, 79  
 karbonátok 61, 76  
 Karlik 39  
 Karnes-County 74  
 karnotit 58, 69, 73, 79, 85, 93  
 karnotit-telepek 78, 79  
 Kasolo 72  
 Kassiopeium 7  
 Katanga 68, 72  
 katangai rézterület 76  
 katatermális 77  
 katód 19, 26, 28  
 katódfelület 28  
 kausztobiolitok 61, 78  
 kavics 71  
 kábelleeresztő csörlődob 92  
 káligránit 59  
 kálisó 93, 94  
 kálium 7, 45, 50, 99  
 káliumtartalmú réteg 93  
 káliumuránvanadát 78  
 káliumuránvanadáthidráttal 69, 72  
 káliumtartalmú pegmatit 70  
 káliumjodid 57  
 kálium mennyiségi meghatározása 50  
 káliumföldpát 47  
 káliumásványok 100, 101  
 Kárpátmedence 66  
 Keevil 66  
 keletkezési hőmérséklet 101, 102  
 Kelet-Grönland 68  
 Kelet-Utah 72  
 kerámiai ipar 76  
 kezdősebesség 10  
 kémiai módszerek 51  
 kémiai reakció 16  
 kén 59  
 kénsav 51, 72  
 kénhidrogén 60, 62  
 kéreggyensúly 102  
 kétsatornás készülék 29  
 kétszálás elektrométer 25  
 kétszer megfordított izotóphigitás 53  
 kéttengelyű 73  
 kétvegyértékű vas 67  
 kicsapódás 42  
 kilúgozás 81  
 Kinosihita 54

- kioltás 27, 47  
 kiöblítési hipotézis 82  
 kifesztültségű neutrongenerátor 48  
 kismennyiségű urán meghatározása köz-  
 tekben és ásványokban radioaktívá-  
 lással 46  
 kisülés 27  
 kisülési idő 18, 19  
 Kiss 65  
 Kisselmec 66  
 kiszűrhető elemek 60  
 Kiravoravo 73  
 Kivu 71  
 klorit 76  
 klorofil 64  
 kobalt 71  
 kolm 80  
 Kolorádó 71, 72, 73, 100  
 kolorádói típus 79  
 Kolorádó plató 59, 69, 74, 78, 79  
 kolorimetrikus módszer 52  
 kolorimetrikus térkép 79  
 kolloid állapot 65  
 Kolthoff 52  
 komplex ionok 61, 63  
 komplex vegyületek 67  
 komplex karbonátos vegyületek 63  
 konglomerátum 67, 80  
 konkordáns település 67  
 konstans sebesség 84  
 kontakt palák 75  
 kontinentális fáciesű képződmények 78  
 kontraktív hasadékok 67  
 kormeghatározás 100, 101  
 korrekció 49  
 kovasav 51, 52  
 kovadús kőzetek 59  
 kovás palák 67  
 kozmikus háttér 89  
 kozmikus sugárzás 14, 18, 21, 32, 83,  
 89, 98  
 kozmikus sugárzás lágy összetevői 14  
 kozmikus ciklotron 14  
 ködkamra 41, 42, 54  
 ködképződés 41  
 ködvonal 41, 42  
 kölesönhatás 13  
 Königshain 73  
 kőolaj 5, 61, 82, 93  
 kőolajkeletkezés 82  
 kőolajtelepek radiokémiai jelenségeinek  
 vizsgálata 82  
 kőolajgeológia 91  
 kőolajtartalmú homok 91  
 körforgalom 66  
 kősó 91, 93, 94  
 kőszén 5, 15, 61, 64  
 kőszénrétegek 91  
 kötő- vagy impregnáló anyag 78  
 Kővágószőlős 74  
 közepes élettartam 97  
 kőzetek 87  
 kőzetfajsúly 89  
 kőzetek besugárzása 91  
 kőzetek radioaktív koncentrációja közti  
 összefüggés 89  
 kőzettani mikroszkóp 47  
 kőzetretegek jellemzése radioaktív sugár-  
 zásuk alapján 50  
 kőzetvizsgálati jelentés 94, 96  
 középhiba 33  
 Közép-Kalifornia 71  
 Kragerö 70, 73  
 kristály 68, 71, 73, 87  
 kristályrács 55  
 kristálypor 43  
 kristályhalmaz 75, 87  
 kristályszerkezet 59  
 kristályosodás 67  
 kristályosodó magma 67  
 kristályos alaphegység 79  
 kristályszemcsék 43  
 krómsav 57  
 kryptomelán 63  
 külszíni fejtés 79  
 küszöbfejlesztés 32  
 kvadráns 23  
 kvadráns pár 24  
 kvadráns elektrométer 23, 24  
 kvantum 13  
 kvarc 41  
 kvarckristály 75  
 kvarctelér 77, 78  
 kvarcszál 17, 18  
 kvarchurok 24, 25  
 kvarcos pirites szurokércerek 77  
 La Bine Point 76  
 lapistyai gránit 66  
 Latisev 45  
 Landsnerk 69  
 Lauritsen-elektroszkóp 17  
 lágsugár-számlálócső  
 lápi jelleg 65  
 Legge 51  
 lehordási terület 65  
 lepidolit 99, 100  
 Lepidium montanum 59  
 leucit 100  
 levegő vezetőképességmérő 83  
 légi mérés 84  
 légi magnetométer 83  
 légi radiológiai felvétel 82, 84  
 légi radioaktív megfigyelés 85  
 légi- és talajradiometriai felvétel-  
 diagramja 85  
 légnymás 14  
 Lilla Holma 70  
 Limborazs dia 66  
 Lind 82  
 lithiumfluorid 39  
 lithiumcsillám 99  
 Ljosland 69  
 Llallagua 70  
 Llano-County 68  
 lokalizált ionizáció 56

- Lost Creek 74  
 Lowenstam 101  
 lökésszám 16, 28  
 lökésionizáció 26  
 lökésaktivitás 27  
 lucit 39  
 lúgosság 66  
 lúgos oldatok 67  
 lúgos földfemes oldatok 67
- Mache-egység 15  
 Madagaszkár 68, 70, 71, 75  
 Madras 71  
 Magas-Tátra 66  
 magemulzió 55  
 magmaszétkülönülés 59  
 magmatikus kőzetek 60, 66, 73  
 magmagóc 77  
 magnetit 68, 71  
 magpárolgás 98  
 magtöltés 6  
 Main-Reef 80  
 Malaya 70  
 maradék magma 67  
 Marienberg 68  
 Marysvale 74, 77  
 Mattauch 100  
 Manbhum 73  
 Mauch-Chunk 74  
 maximális hatótávolságok 12  
 mágneses detektor 83  
 mágneses pólusok 14  
 mágneses és elektromos erőter 12  
 mállás 40, 66, 67  
 mállás folytán keletkező telepek 78  
 másodlagos ásvány 69, 72, 73  
 másodlagos telepek 78, 81  
 másodlagos sugárzás 91  
 másodlagos uránásványok 40, 68, 73,  
 74, 77, 87  
 McKinney 101  
 mechanikus számlálószervezet 28, 29,  
 30, 87  
 Mecsekhegység 64  
 meddő kőzetek 79, 97  
 meddő hányó 76  
 mega- vagy millió elektronvolt 15  
 mellékkőzet 67  
 Mendelejev-féle periódus táblázat 7  
 mendelejevit 68, 70  
 mennyiségi változás 102  
 mesterséges radioaktivitás 91  
 meszes agyag 92  
 metamorf képződmények 67  
 metamorfogén oldatok 67  
 metamorf üledékek 76  
 metamorfózis 77, 102  
 metamorfizálódás 80  
 metasomatikus átalakulás 67  
 metán 82  
 metilalkoholgáz 42  
 mezotermális 60, 77  
 Méhes 45, 63, 65
- mélylápi kőzetenek 65  
 mélységi kőzetek 66  
 mérés- és hibaszámítás 33  
 mérési időtartam 33  
 mérési eljárás hitelesítése 89  
 mérések 90  
 mérőokulár 25  
 mérőasztal 33  
 mészkö 65, 69, 91, 92, 94, 95  
 miacit 69  
 Miask 69, 70, 71  
 mikrocurie 15  
 mikropertitkristály 47  
 mikroliin 47, 99, 100  
 mikrofotogram 48  
 mikrofotométer 56  
 mikrodenzitométer 56  
 mikrofluorometrius módszer 52  
 millimikrocurie 15, 21  
 millicurie 15  
 Müller-féle index 43  
 Minami 65  
 Minas Geraes 70, 71, 73, 75  
 minőségi változás 102  
 mintavétel 21, 94  
 molibdenit 76  
 monacit 58, 69, 70, 71, 76, 81  
 monacithomok 81  
 monacittorlatok 81  
 monacitos terület radiometrius ábrázó-  
 lása levegőből 86  
 monelfém 50  
 monokrómas röntgensugár 43  
 monoklin rendszer 68, 69, 70  
 monzonit 77  
 Morrison-formáció 79  
 Morogoro 72  
 mosópalack 22, 23  
 Moriah 68  
 mozgódugattyú 41  
 Mőrefjaer 70  
 Mt. Fibia 73  
 Mt. Isa 74  
 Mt. Painter 68, 74  
 multivibrátor 27  
 muszkovit 71, 75  
 muszkovittartalmú pegmatitok 71  
 Mügge 54  
 műkapcsolás 27  
 műszerkalibrálás 22
- Naftalin 39  
 nagyfeszültségű áramforrás 24  
 Nagy-Fátra 66  
 nagyhozamú reakció 48  
 Nagy Medve-tó 71, 73, 76  
 Navajo rezevation 74  
 nánizmus 65  
 nátriumfluorid 39, 40  
 nátriumfluoridgyöngy 39  
 nátriumföldpát 47  
 nátriumtiosulfát-oldat 57  
 nefelinszenitek pegmatitjai 59

nefelinszienit 69, 81  
negatív indikátorok 60  
nehézfémionok 5  
nemzetközi standard 16  
nemes gáz 101  
neutron 6, 39, 46, 55, 94, 99  
neutrino 12  
neutronbefogás 13  
neutronbefogási keresztmetszet 46  
neutronáram 48  
neutronforrás 46, 48, 49, 91, 92, 93  
neutronbesugárzás 46, 47, 92  
neutronaktiválási keresztmetszet 49  
neutrongörbe 93  
neutronszámláló 93  
neutron-neutronszelvényezés 93  
New England 72  
New Hampshire 72  
New York 73  
Nichels 39  
nickelin 75  
nickelszulfid 77  
Nier 98  
niobium 66, 69  
niobiumtantál-pegmatit 75  
nitrogén 22, 99  
nivenit 70, 72  
Norke 74  
normál pentadekán 82  
Norvégia 69, 70, 72  
Nöterő 70  
nukleáris reaktor 48, 50  
nukleon 6  
nullaeffektus 28, 90  
  
Nyergesujfalu 95  
nyersérc 76  
nyomjelző 76  
nyomelem 60, 61  
nyomsűrűség 58  
nyugalmi tömeg 12  
Nyugat-Ausztrália 70  
  
oktaéder 68  
okulármikrométer 18  
oldatok 67  
ólom 68, 70, 71, 98  
ólomérc 98  
ólomtorony 32  
ólomburkolat 89  
ólomizotóp 98  
ólomuranátok 77  
ólomtartalmú pegmatit 75  
ólomidőszámítás 100  
ólomműszer 101  
ónérc 77  
ónérc-réztartomány 77  
ónlelőhely 69  
Ontario 72, 90  
óntartalmú oldat 71  
oolitos vasérc 63  
opak 72  
optimális rőpmagasság 84  
  
Orange County 68  
Orange Freestate 74  
ordinátatengely 93  
organikus gőzmolekula 33  
organikus üledékek 64  
organikus agyag 93  
Orissa 73  
orogén mozgás 102  
orogén időszak 102  
Oroszlány 95  
orthit 58, 81  
ortogneisz 60  
ortoklász metablasztitok 60  
Oryopsis hymenoides 58  
Ostergottland 74  
oxálsav 51  
oxidációs képesség 62  
oxidáns 62  
oxidációs öv 68, 77  
oxidációs termék 72  
oxidációs telepek 80  
oxidit 63  
oxigén 22  
  
önabszorpció 33  
önkioltó és nem önkioltó csövek 27  
Öregkőhegy 95  
ösmaradvány 99  
összaktivitás 33  
összehasonlító standardok 16, 33, 95  
összionizáció 20  
palaköpeny 77  
palás kőzetek 67  
Panda 76  
pannóniai emelet 50  
Papish 39  
Papovka-folyó 81  
paragenezis 77  
paragneisz 60, 77  
paramánes 70, 73  
paraméter 91  
Parks 5  
Parry-Sound 72  
pályaelektron 13  
pályanyom 42, 55, 61  
pegmatit 67, 68, 70, 71, 72, 73, 78, 81, 87  
pegmatitfázis 75, 99  
pegmatitos ásvány 100  
pegmatitos gránitok 77  
pegmatitos kvarcerek 78  
pegmatoid telérek 67, 82  
pellites üledék 65, 66  
Pennsylvania 72  
periódusos rendszer 10  
Phosphoria-képződmények 80  
Plank-féle állandó 13  
plankton 80  
platinakacs 39  
plató 28, 32  
platófeszültség 33  
platómeredekség 28  
pleochroás 54, 70, 72, 73  
pleochroizmus 101

- pleochroós udvar 101  
 Pleystein 68  
 plumbián 68  
 plutonikus telér 67  
 Pikes Peak 70, 100  
 pirit 75, 77, 80  
 Pisek 73  
 pneumatolitos 77  
 Pohl-féle elektrométer 24  
 polimetallikus telér 67  
 polónium 54, 55  
 polycras 58, 70, 73  
 Pomba 73  
 porfirin 64  
 porózus anyagok 93  
 Port-Darwin 77  
 Port-Radium 74  
 Portugália 81  
 potenciálkülönbség 19, 41, 42  
 pozitív indikátor 60  
 Power River Basin 74  
 pörgettyűs állandóan regisztráló fény-  
 képezőgép 83  
 Příbram 73  
 primer uránásvány 72  
 priorit 58, 69, 70  
 proporcionális számláló 19, 28  
 proporcionális feszültségtartomány 28,  
 32  
 proton 6, 12, 14, 55, 61, 98, 99  
 protonszám 99  
 protonvisszalökés 20  
 pszammitos üledék 65  
 psylomelán 63  
 pyrochlor 58, 70  
 pyroxén 68  
 pyroxénandezit 66
- Quebeck 72
- Raade 70, 73  
 radar magasságmérő 83  
 radiális repedezettség 87  
 rádióaktív elemek 5, 7, 9, 10, 39, 53, 57  
 rádióaktív izotópok 7, 12, 46, 100  
 rádióaktív részecskék 6  
 rádióaktív bomlás 6, 99, 102  
 rádióaktív családok 7  
 rádióaktív egyensúly 9, 16, 23, 33, 52, 63  
 rádióaktív bomlássebesség 9  
 rádióaktív sugárzás 17, 18, 39, 44, 76  
 rádióaktív bomlástörvény 21  
 rádióaktív izotópok meghatározása  
 tömegspektrográffal 46  
 rádióaktív termékek 46  
 rádióaktív anyag 51, 58, 83, 84, 88  
 rádióaktív zárványok 54, 101  
 rádióaktív nyomok 54  
 rádióaktív elemek kiválási törvény-  
 szerűségei 59, 62, 65  
 rádióaktív bomlási görbe 63  
 rádióaktív kőszemek 65  
 rádióaktív oldatok 65
- rádióaktív ásványok 68, 90, 94  
 rádióaktív hatás 82  
 rádióaktív nyersanyag 93  
 rádióaktív nyersanyagkutatás 82, 85, 90  
 rádióaktív sugárzásmérő műszerek 83  
 rádióaktív anomáliák 83, 84  
 rádióaktív mérés 84  
 rádióaktív fúrólukszelvényezés 91, 94  
 rádióaktív fúrólukszelvényező szonda  
 92  
 rádióaktív por 94  
 rádióaktív ásványszilánk 94  
 rádióaktív világító festék 94  
 rádióaktív vizsgálat 94  
 rádióaktív ércek kitermelése 96  
 rádióaktív bomlástermék 97  
 rádióaktív elem 97  
 rádióaktív szennyeződés 98  
 rádióaktív kálium 100  
 rádióaktív időmérés 101  
 rádióaktív elem bomlása 101  
 rádióaktív földtani hőmérsékletmérés 101  
 rádióaktív elemek minőségi és mennyi-  
 ségi meghatározása 16  
 rádióaktivitás 65, 66  
 rádióaktivitás növekedése 94  
 rádióaktivitási diagram 92  
 rádióhidrogeológia 90  
 rádiógeológia 5, 102  
 rádiógeológus 5  
 rádióizotóp 92, 99  
 radiológiai vizsgálat 94  
 rádióaktíválás 46  
 rádiometria 5, 16, 94  
 rádiógén izotópok 98  
 rádiógén gázok migrációja 5  
 rádiókarbon 99  
 rács 19  
 rácsáram 19  
 rácsindex 43  
 rácsstengely 43  
 rádium 7, 22, 23, 63, 79, 91  
 rádiumatomok 8, 9, 97  
 rádiumstandard 16  
 rádiumtartalmú standard 20  
 rádiumtartalmú törzsoldat 22  
 rádiumoldat 22  
 rádiumólom 6, 77, 98, 101  
 rádium bomlástermékei 89  
 rádiumizotóp 91  
 rádiumemanáció 7, 23, 63, 64, 96  
 Rádium Hill 74  
 radon 7, 22, 23, 33  
 radonmódszer 90  
 Ramdohr 80  
 rammelsbergit 75  
 Rankama 66  
 Rasvag 70  
 ratemérő 28  
 recens algák 65  
 redox egyenletek 60  
 redox folyamatok 67  
 redoxpotenciál 62, 65

- redoxrendszer 62  
 reducens 62  
 redukáló hatás 62  
 Red-bed formáció 78  
 redukció 52  
 reflexió 43  
 Reinganum 54  
 relatív magasság 93  
 rendszám 6, 10  
 repedések 67  
 revolúció 102  
 rezgésszám 12  
 rezgőnyelvels elektrométer 25  
 rezisztátok 66  
 rhénium 7  
 részecske 19, 33  
 rétegzett lerakódások 87  
 rétegszintek azonosítása 50, 91  
 réz 71  
 rézérc 78  
 réztelérek 77  
 rézurán 67  
 rhodizit 100  
 Risör 70  
 ritka elem 61  
 ritka földek 69, 70, 71, 72  
 ritmikus változás 102  
 rombos 68, 69, 70, 71  
 rhodéziai rézlelőhelyek 74  
 roscoelit 69, 78  
 röntgen 15  
 röntgensugárzás 12  
 röntgendiffrakciós eljárás 43  
 röntgenfilm 43, 56, 57  
 rőpmagasság 84  
 rőpmagasság ingadozása 85  
 rőpsebesség 84  
 rubidium 7, 99, 100  
 Rum Jungle 74  
 Rutherford 7
- Sabugal 68, 72  
 safflorit 75  
 Sajóvéde 66  
 salak 5  
 salétromsav 52, 55, 61, 72  
 salétromsavas éter 51  
 Sahama 66  
 Salt Lake City 79  
 samarskit 58, 69, 70, 71  
 samiresit 68  
 Sanarka folyó 70  
 Sao Joao del Rey 75  
 Satersdalen 69  
 savas maratás 55  
 savanyú lápföldek 63  
 savanyú öv 62  
 savanyú mélységi kőzetek 82  
 savanyú termékek 59  
 savanyúság 66, 73  
 scaler 29  
 Schlumberger-féle elektromos fúróluk-  
 szelvényezés 91
- sebesség 15  
 Senftle 66  
 Sheppard 82  
 Shinkolobwe 71, 72, 74, 76  
 síkháló 43  
 síklápi kőszén 65  
 Sierra Ancha 74  
 Síkvölgy 95  
 Sisymbrium altissimum 59  
 Silver Cliff Mine 74  
 sivatagi képződmény 73, 83  
 Skane 74  
 Slattery 39  
 Slim Buttes 74  
 Sludianka 68  
 smaltin 75  
 Soddy 7  
 Sordavala 70  
 sósavas szürlet 22  
 sósvíz 93  
 sósvizes homok 91  
 Sönfjord 69  
 Spokane 74  
 Spanyolország 72  
 spektrálanalízis 56  
 St. Raffael Swell 74  
 St. Symphorien 68  
 stabilis atom 13  
 stabilis ionrácskötés 101  
 stabilis izotóp 99  
 stabilis magok 12  
 standard sugárforrás 32  
 Stanley medence 69  
 Stanleya pinnata 59  
 Stead 83  
 Stier 63  
 Stokes 39  
 Strassmann 100  
 stronciumizotóp 99  
 stroncium-módszer 100, 101  
 sugárzásintenzitás 44, 45, 84, 90, 92  
 sugárzási intenzitásveszteség 44  
 sugárártalom 96  
 sugárzási mértékegységek 15  
 sugárzást észlelő detektor 83  
 sugárforrás 17  
 sugárforrás erőssége 17  
 sűrítő 18  
 sűrűség 15  
 Sussex County 68  
 Svédország 80, 81  
 Schlaggenwald 72, 73  
 Schneeberg 72, 75  
 Schreiberhau 73  
 schroeckingerit 40, 71  
 Schuttenhofen 73  
 Schwarzwald 76  
 schwarzwaldi gneiszek 60
- szabályos rendszer 72  
 Szalay 22, 63, 64, 66  
 szamárium 7  
 szanidin 100

- szapropel 80  
 szapropel kőzetek 62  
 Szádeczky 59, 61, 62, 64, 65  
 számláló berendezés 30  
 számlálócső 27, 33, 42, 93  
 számlálószerkezet 32, 90  
 számlálócsőköteg 83  
 számlálócső hatásfoka 33  
 szárítócső 20  
 Szászország 72  
 szárazföldi üledékek 65  
 szcintillációs számláló 10, 38, 39, 48,  
 83, 87, 91, 93  
 szcintilláció 38  
 szcintillószkóp 38  
 szedimentáló közeg 64  
 szekundér bétasugarak 11  
 szelén 59  
 Szelényi 82  
 szelén-kedvelő növények 59  
 szemcsehálózat 55  
 szemcsenagyság 55, 66  
 szenes grafitos pala 77, 87  
 szenes palák 67, 91  
 szennyezés 49  
 szerves anyag 79  
 székesfehérvári gázoskút 82  
 szénatom 91  
 széndioxid 99  
 széndioxid-felvétel 99  
 szénhidrogén gáz 82  
 szénhidrogéntartalom 72  
 szénizotóp 98  
 szerves anyagok adszorpciója 87  
 szfalerit 75  
 szienit 71  
 szienit-pegmatit 72  
 szigetelési ellenállás 28  
 Szilézia 70, 72  
 szilícium 70  
 szilikátos pirit- galenit éretípus 77  
 szilikátrács 100  
 szilur-kori feketepala 81  
 szimmetrikus kilengések 93  
 szingenetikus 67  
 színreakció 16  
 szintjelző készülék 29  
 szívószonda 90  
 szórás 49  
 szórt sugárzás 18  
 szorzótábla 34—38  
 Szovjetunió 81  
 sztilbén 39  
 szulfid 80  
 szulfidos réztelér 72, 77  
 Szurazsszkij 60, 66  
 szurokérc 15, 40, 55, 58, 60, 61, 64, 71,  
 72, 74, 76, 81  
 szurokérc-tartalom 78  
 szurokérc-tartalmú pegmatit 79  
 szurokérc-tartalmú konglomerátum 80  
 szurokérc-tartalmú görgeteg 80  
 szurokérc-tartalmú hidrotermális érc-  
 telérek 75  
 szurokérc-tartalmú kobalt—nikkel—biz-  
 mut—ezüst érc-telérek 75  
 szűrő 46  
 szűrőelem 60  
 szűrőoszlop 22  
 talajvíz 63, 67, 89  
 talliummal aktivált vegyületek 39  
 tantalát 70  
 tantál 67  
 Targen 68  
 tarka agyag 65, 95  
 Tasmánia 70  
 tautolit 68  
 Tavetschtal 73  
 tárnafejtés 79  
 Tchoruk folyó 81  
 Telemark 73  
 telepek mészkövekben 67  
 teleptan 82  
 teleptípus 78, 82  
 telepvastagság 50  
 telérek 87  
 telércsoport 75  
 telítési aktivitás 33  
 telítési ionáram 16  
 tengervíz 63, 66, 81  
 tengeri fekete agygpala 80  
 tengeri üledékek 65  
 tengeri márgák 91  
 tengeri homok 70  
 tengeri torlatok 81  
 tengeri rétegsor 79  
 tengeri foszforitok 80  
 Tennessee 80  
 tereptárgyak 84  
 terfenil 39  
 Terleckij 14  
 természetes rádióaktív elemek 7, 11,  
 12, 99  
 természetes jelzés 21  
 természetes potenciál 91  
 természetes gamma-sugárzás 92  
 természetes neutrongörbe 92  
 természetes polarizáció 93  
 terresztrikus konglomerátum 78  
 térszög 17  
 Tete 74  
 tetragonális rendszer 69, 71, 73  
 Texas 70  
 textilfesték 76  
 tényleges háttér 21  
 térerősség 27  
 térfogatsúly 33  
 térrács-sík 43  
 tértöltés 27  
 Thomas Range 74  
 thorianit 58, 71, 81  
 thorit 65, 71, 81  
 thoron 22, 23  
 timsós palák 80

- tisztítási lépcső 52  
 titanián 68  
 titanit 68  
 titán 67, 69  
 torbernit 40, 58, 69, 72, 78, 87  
 torlat 62, 71, 73  
 Toxicoscordion gramineum 59  
 tórium 71, 72, 81, 82, 84, 87, 97, 98  
 tóriumsziklát 71  
 tóriumdioxid 75  
 tóriumatom 6, 97  
 tóriumekvivalens 16, 88  
 tóriumásványok 68  
 tóriumtartalom 70  
 tóriumtörzsoldat 23  
 tóriumérc teleptana 81  
 totális ionizáció 83  
 Township 72  
 többkatódos számlálócső 28  
 töltőberendezés 17  
 töltőegység 18  
 töltésveszteség 18  
 töltőgáz 27, 28  
 tömegabszorpció 65  
 tömegabszorpciós együttható 45, 89  
 tömegabszorpciós mérések 44  
 tömeges változat 71, 72  
 tömegegység 46, 89  
 tömegérték 46  
 tömeges előfordulás 72  
 tömegmentes energiaelemek 12  
 tömegspektrográf 46  
 tömegspektroszkóp 98, 102  
 tömör kőzetek 93  
 tömegszám 6, 10  
 tömzsős település 67  
 törések 81  
 törésmutató 69  
 törésvonal 65  
 törlőgomb 30  
 törpe faj 65  
 tőzeg 63  
 Travancore 81  
 tucholit 72  
 tufa 76, 93  
 turmalin 76  
 tüelektród 26  
 Tvedestrand 70, 73  
  
 tyuyamunit 72, 79  
 Tyuya-Muyun 72, 74, 81  
  
 újraegyesülés 66  
 Új-Dél-Wales 70  
 Új-Mexikó 69, 72, 79, 100  
 Új-Zealand 71, 73  
 ultrabázisos magmatit 60  
 uralkodó érc 77  
 uralorthit 68  
 urán 70, 71, 72, 73, 75, 76, 79, 82, 85,  
 87, 89, 97, 98  
 uránoxid 67, 81  
 urántitanát 67, 69  
 uránniobát 71, 75  
 urántantalát 71, 75  
 uránszulfáthidrát 72  
 uránhidroxid 77  
 uránszilikát 77  
 uránfoszfát 77  
 uránokker 77  
 uránérc 68, 78, 79, 82, 87  
 uránércetest 85  
 uránérctelep 40, 66, 76, 81  
 uránérccek teleptana 73  
 urántartalmú telepek 80  
 uránekvivalens 16, 88, 95  
 uránizotóp 5  
 uránfelvétel 58  
 urán valószínű forrása 67  
 urántartalom 67, 75, 79  
 uránásványok 68, 80, 85, 97  
 uránpegmatit 72, 73  
 urántartalmú fekete palák 73  
 uránfestékek 75, 76  
 uránzóna 75  
 uránvegyület 76, 80  
 urántartalmú rézérc 77  
 uráncsillámtartalmú érc 78  
 urántartalmú foszforitok 80  
 urán és tórium csillagformák 58  
 urán elválasztása tóriumtól 52  
 urán polarografikus meghatározása 51  
 urán meghatározása kolorimetrikusan 52  
 urán mennyiségi meghatározása bomlás-  
 termékéből 52  
 urán ipari lelőhelyeinek genetikai fel-  
 osztása 67  
 uranophan 40, 58, 72  
 uranothorit 58, 71  
 uranothorianit 71  
 uranotyl 72  
 uraninit 40, 58, 67, 68, 69, 71, 72, 74,  
 76, 77, 81  
 uraninit mállási kérge 70  
 „uranium hot spot” 77  
 uranylgyök 40  
 uranylkarbonát 67  
 uranylnitrát 52  
 uranyilszulfát-vegyületek 60  
 Urey 101  
 Urgeirica 74, 78  
 Utah 69, 72  
 utóerősítő 30  
 utómagmás érctelep 59  
  
 üledék 76  
 üledéksorozat 77  
 üledékes telepek 73  
 üledékes és eruptív kőzetek 87  
 üveg 15  
 üvegmérce 42  
 üvegipar 76  
  
 Valais 73  
 vanadium 59  
 vanadiumérc 78

vanadiumtartalmú muszkovit 69, 78  
varietás 68  
variszkuszi 76  
vas 71  
vasoxiddal átitatott kőzetek 65  
vastitanát 67  
Vastmanland 68  
vázat 79  
vegyérték 61  
vegyértékváltozékonyság 62  
Velencei hegység 66, 82  
Vendel 59, 60  
Vendée 74  
vetődési hasadékok 77, 78  
vezetési sáv 26  
végablakos számlálócső 28, 32  
Villeneuve 72  
Vinaninkarena 74  
vízcirkuláció 81  
Vizeu 68, 72  
vízgőz 41  
Vladimirova 100  
vörös agyag 63  
vörös homokkő 79  
vörös iszap 5  
vulkáni hamu 87  
vulkáni tufa 91, 94  
  
Walling 99, 100  
Wasatch 79  
Wayne County 73  
  
Weisenstadt 78  
Weselsky 64  
White Canyon 74  
White Watersrand 74, 79, 80  
White-head 66, 82  
Wilson 54  
Wilson-kamra 41, 42  
Wimmenauer 63  
Wittichen 76  
wolframit 77  
wollaston szál 24, 25  
wölsendorfi fluorit 101  
Wulff 24  
Wind River Basin 74  
  
zavaró hatás 89  
Zhdanov 55  
Zinnwald 72  
zinnwaldit 99  
zippeit 40, 72  
  
zselatinréteg 41  
zsírsavak 82  
  
xenotim 69, 70, 73, 81  
  
Yagoda 58  
yttriumfoszfát 73  
yttriumniobáttantalát 69  
yttrotantalit 73

## **XV. ZÁRSZÓ**

Nem mulaszthatom el, hogy a lektorok ellenőrző munkáján felül köszönetet ne mondjak dr. Bozóky László kandidátusnak, a K. F. K. I. osztályvezetőjének a kézirat magfizikai és radiometriai részének átnézése során tett értékes megjegyzéseiért.



## TARTALOMJEGYZÉK

I. Bevezetés .....	5
II. Az atommagok jellemzői .....	6
1. Az atommag szerkezete .....	6
2. Rendszám és tömegszám .....	6
3. Izotópok, izobárok, izotónok .....	6
4. Stabilis és instabilis magok .....	6
5. Radioaktív bomlás .....	6
6. $\alpha$ -sugarak .....	10
7. $\beta$ -sugarak .....	11
8. $\gamma$ -sugarak .....	12
9. A kozmikus sugárzás szerepe .....	14
Függelék:	
1. Sugárzási és egyéb, a radiogeológiában használt mértékegységek ..	15
2. Összehasonlító standardok .....	16
III. Radioaktív elemek minőségi és mennyiségi meghatározására szolgáló mérőeszközök és alkalmazásuk .....	16
A) Fizikai módszerek és eszközök .....	17
1. Az ionizáció mérésére szolgáló eszközök (Lauritsen elektroszkóp, ionizációs kamrák, emanométerek, elektrométerek, kristályszámláló, Geiger—Müller számlálócsövek és észlelőberendezések. Mérés és hiszámítás .....	17
Függelék:	
1. Szorzótábla 64-es és 32-es alóosztók számértékének leolvasásához ..	34
2. Szcintilloszkóp, szcintillációs számláló .....	38
3. Fluoreszcencia vizsgálat .....	39
4. Wilson-kamra .....	41
5. Röntgen diffrakciós eljárás .....	43
6. Tömegabszorpciós mérések .....	44
7. Radioaktív izotópok meghatározása tömegspektrográffal .....	46
8. Ásványok és kőzetek aktíválható elemeinek meghatározása neutronforrás segítségével .....	46
9. Földi mennyiségi meghatározása. Kőzettrétegek jellemzése radioaktív sugárzásuk alapján .....	50
B) Kémiai módszerek .....	51
1. Urán polarografikus meghatározása .....	51
2. Urán elválasztása tóriumtól aktivált cellulózával töltött oszloppal ..	52
3. Az urán meghatározása kolorimetrikusan .....	52
4. Az urán mennyiségi meghatározása egyik bomlástermékéből .....	52
5. Az izotóphígítás módszere .....	53
C) Fotoemulziós módszer .....	53
D) Botanikai módszer .....	58
IV. A tórium, az urán és a rádium geokémiája .....	59
V. Radioaktív ásványok .....	68
VI. Uránércetek teleptana .....	73
A) Elsődleges telepek .....	73
1. Urántartalmú pegmatitok: a) gránitpegmatit uraninittel; b) urántartalmú nióbbiumtantal-pegmatit .....	73

2. Szurokércet tartalmazó hidrotermális érctelések: a) szurokérc-tartalmú kobalt-nikkel-bizmut-ezüstérc-telések; b) szurokérc-tartalmú réz-telések; c) kvarcos-pirités szurokérc-cerek; d) szurokérc-tartalmú hematiterek .....	75
3. Uráncillám-tartalmú erek .....	78
B) Másodlagos telepek .....	78
1. Kontinentális fáciesű képződmények: a) karnotit-telepek; b) urán-és arany-tartalmú konglomerátumok .....	78
2. Tengeri fáciesű képződmények: a) urán-tartalmú foszforitok; b) bitumenes feketepalák és egyéb képződmények .....	80
C) Oxidációs telepek .....	81
VII. <i>Tóriumérc-teleptana</i> .....	81
A) Elsődleges telepek .....	81
B) Másodlagos torlattelepek .....	81
VIII. <i>Kőolajtelepek radiokémiai jelenségeinek vizsgálata</i> .....	82
IX. <i>Radioaktív nyersanyagkutatás és észlelőberendezései a terepen</i> .....	82
X. <i>Radioaktív ércek kitermelése, osztályozása és előkészítése</i> .....	96
XI. <i>Abszolút földtani kormeghatározás</i> .....	97
XII. <i>Radioaktív földtani hőmérsékletmérés és a föld hőháztartásának kérdése</i> .....	101
XIII. <i>Szakirodalmi jegyzék</i> .....	102
XIV. <i>Név- és tárgymutató</i> .....	127
XV. <i>Zárszó</i> .....	141

82

*Dr. Méhes Kálmán:*

## **Radiogeológia és radiometria**

Napjainkban az atom-energia alapanyagának, mint a jövő energiaforrásának kutatása mindinkább előtérbe kerül.

Szerző korszerű munkája részletesen ismerteti a radioaktív nyersanyagkutatás elméleti és gyakorlati vonatkozásait, módszereit és eszközeit. A szorosán vett radioaktív nyersanyagkutatáson túlmenően munkája felöleli a radioaktív módszerek alkalmazását, a földtan egyéb munkaterületein is (szénhidrogénkutatás, földtani időszámítás stb.).

A magyar szakirodalomban a radioaktív nyersanyagkutatásról és a radioaktivitás földtani alkalmazásairól első ízben nyújt összefoglaló képet, amelyet a nem specialista műszaki szakközönség is hasznosíthat.

MAGYAR ÁLLAMI  
FÖLDTANI INTÉZET  
KIADVÁNYA