

Kis aktivitású minták alfa-spektrometriája

S Z A B Ó G. L E V É N T E

Radioaktív ércek kutatásánál és bányászatánál aránylag ritkán kerül sor az alfa-spektrometria alkalmazására. Ennek okát részben a megfelelő műszer hiányában, részben pedig a szükséges vékony minta előállításának nehézségeiben kereshetjük. Mindkét probléma megoldható, és az alfa-spektrumokból nyerhető adatok megbízhatósága indokolja a kérdés részletes vizsgálatát.

Az előadás a műszerrel kapcsolatos kérdéseket tárgyalja, nevezetesen a tervezés alapjául szolgáló követelményeket, a követelmények kielégítését célzó elektronikus megoldásokat, és egy elkészített műszer bemérésének eredményeit. Az előadás tárgyát képező alfa-spektrométer alapvető egysége a detektor, egy kettős ráccsal ellátott, planparallel elektródás ionizációs kamra. Ez a detektortípus a félvezető detektorokkal szemben jelentős előnyökkel rendelkezik:

1. igen nagy felületű forrás spektrometralását teszi lehetővé,
2. egyetlen alfa-részecske az anódon, a rácson és a katódon is hoz létre jelet, ezek egyidejű feldolgozásával növelhető a kapott információk száma.

Az előadás lényeges részét képezi azoknak az elektronikus egységeknek az ismertetése, amelyek az anód-, rác- és katódimpulzusok között meglevő, jól definiált logikai kapcsolatok felhasználása útján lehetővé teszik a közismert ionizációs kamrák több hátrányos tulajdonságának a kiküszöbölését.

При разведке и разработке радиоактивных руд сравнительно редко применяется альфа-спектрометрия. Это объясняется, отчасти, отсутствием соответствующей аппаратуры, а отчасти затруднениями, связанными с получением соответствующих тонких образцов. Однако опыт показывает, что обе проблемы могут быть решены, причем данные, получаемые по альфа-спектрам, являются настолько надежными, что обосновано подробно рассмотреть этот вопрос.

В докладе анализируются вопросы об аппаратуре, а именно, требования, учитываемые при разработке аппаратуры, применяемые электронные схемы, отвечающие этим требованиям и результаты испытания составленного прибора. Основным блоком рассматриваемого спектрометра является детектор, представляющий собой ионизационную камеру с двойной решеткой и с плоскопараллельно размещенными электродами. Такой тип детектора обладает значительными преимуществами по сравнению с полупроводниковыми детекторами:

1. позволяет проводить спектрометрическую съемку источников с большой поверхностью;
2. единственная альфа-частица вызывает сигналы на аноде, на решетке и на катоде; одновременная обработка этих сигналов способствует повышению объема получаемой информации.

В докладе значительное внимание уделяется изложению электронных схем, позволяющих с использованием логических зависимостей между импульсами анода, решетки и катода, преодолеть несколько недостатков, характерных для общеизвестных ионизационных камер.

Im Bereich der Erzforschungen, sowie des Bergbaus wird die Alfa-Spektrometrie relativ selten angewendet. Grund dafür ist teils der Mangel von geeigneten Instrumenten, teils die Schwierigkeit der Herstellung von genügend dünnen Proben. Beide Probleme können jedoch gelöst werden und die Verlässlichkeit der aus den Alfa-Spektren gewinnbaren Daten begründet die eingehendere Untersuchung der Frage.

Im Auftrag werden instrumentelle Fragen behandelt, usw. die als Grundlage genommenen Anforderungen, die deren Erfüllung bezweckende Elektronik und die Ergebnisse von Testmessungen, die mit einem angefertigten Instrument gewonnen worden sind. Als Grundeinheit des Alfa-Spektrometers dient der Detektor, d. h. eine mit doppeltem Gitter sowie planparallelen Elektroden versehene Ionisationskammer. Ein solcher Detektor besitzt gegenüber den Detektoren mit Halbleitern folgende bedeutende Vorteile:

1. Es ermöglicht die Spektrometrisierung von Quellen mit grosser Fläche.
2. Ein einziger Alfa-Partikel verursacht gleichfalls an der Anode, am Gitter und an der Katode

ein Signal, durch deren gleichzeitige Bearbeitung die Zahl der gewonnenen Informationen erhöht werden kann.

Einen wichtigen Teil des Vortrages bildet die Besprechung jener elektronischen Einheiten, die mit Hilfe der gut definierten logischen Verbindungen zwischen Anode, Katode und Gitter die Eliminierung mehrerer nachteiliger Eigenschaften der üblichen Ionisationskammern ermöglichen.

Az alfa-spektrometria alkalmazásának geofizikai lehetőségeit vizsgálva, elsősorban a következő két feladatkört kell figyelembe venni:

1. radioaktív ércek kutatása,
2. radioaktív bányatermékek minőségének meghatározása.

Az ötvenes években szovjet kutatók — Baranov, Cserdüncev, Szüromjatonyikov és mások — hívták fel a figyelmet arra, hogy a radiohidrogeológiai anomáliák értékelésénél fontos szerepet kell juttatni az izotóparányok vizsgálatának. Kidolgozták az urán és a tórium migrációjának elméletét, ezzel lehetővé tették, hogy az izotóparányok alapján különválasszuk a ténylegesen ércelepet jelző anomáliákat azoktól az anomáliáktól, amelyek csak bizonyos sugárzó elem lokális feldúsulásának eredményei. Ilyen jellegű kutatásoknál nagy szerep jut pl. az U_{III}/U_I aránynak. Mivel mindkét elem alfa-sugárzó, és alfa-sugárzásuk energiája is jelentősen különbözik, koncentrációjuk arányát legegyszerűbben alfa-spektrometriával határozhatjuk meg.

Feltárt uránércelemek esetében a bányászat termelékenysége szempontjából igen nagy jelentőségű az, hogy az ércek minőségi jellemzőit: az urántartalmat, a Ra/U arányt és az emanációs koefficiensét gyorsan meghatározzuk. A Ra/U arány és az emanációs koefficiens meghatározásának leggyorsabb módszere szintén az alfa-spektrometria.

Minden előnye ellenére, az alfa-spektrometria eddig még nem foglalta el az öt megillető helyet szakmánk gyakorlatában. Ennek oka bizonyos esetekben a mintakészítés bonyolultsága, de leginkább az, hogy egyszerű, könnyen kezelhető műszert nem lehet beszerezni. Vállalatunknál több, mint két éve foglalkozunk alfa-spektrometriával, dolgozatomban azokat a munkákat ismertettem, amelyeket ezalatt a megfelelő műszer — ionizációs kamra — kialakítása terén végeztünk.

Vizsgáljuk meg, hogy az előzőekben vázolt feladatok milyen követelményeket támasztanak a mérőműszer iránt, felbontóképeség, érzékeny felület, és a háttérsugárzás intenzitása tekintetében.

A szükséges felbontóképeséget elsősorban a vizsgálni kívánt spektrumvonalak távolsága, és relatív intenzitása határozza meg. $\Delta \frac{1}{2} = 100 - 150 \text{ keV}$

félértékszélesség a gyakorlatunkban előforduló feladatok megoldására elegendő.

A műszer felbontóképeségének további javítása azonban lényegesen megkönnyíti a spektrumok kiértékelését, ezért szükségesnek tartjuk a $\Delta \frac{1}{2} = 70$

keV elérését. Ezzel még nem támasztottunk különleges követelményeket az előerősítő zajszintjére, a töltőgáz tisztaságára, az elektronikus rendszer időbeli stabilitására, a felsorolt paraméterek ugyanis kisebb félértékszélesség esetén már erősen befolyásolhatják a felbontóképeséget.

A spektrométer érzékeny felületét olyan nagyra kell választani, hogy kb. 0,05% uránkoncentrációjú minták mérése lehetséges legyen, $t \leq 5$ óra mérési idővel.

Gyakorlati tapasztalatok és hozzávetőleges számítások szerint 100 cm^2 felületű, $\sim 200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ vastagságú, 0,05% urántartalmú minta 5 óra alatt ad

annyi impulzust, hogy a spektrumvonalak arányát 5–10%-os pontossággal meghatározhatjuk.

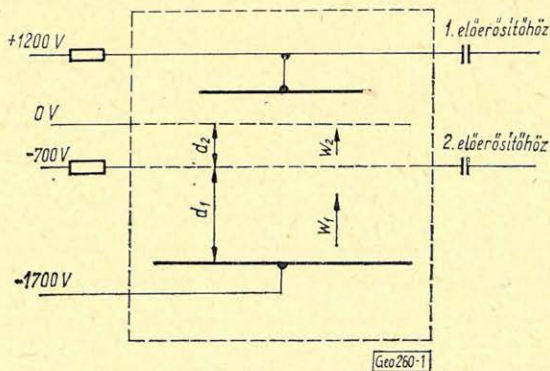
A háttérsugárzással kapcsolatban igen szigorú követelményeket kell felállítanunk. Több órás spektrumfelvételeknél általában nincs mód arra, hogy a szokásos módon kivonással korrigáljuk a háttérrel, ezért biztosítani kell, hogy az előforduló minta-intenzitások tartományában a háttér elhanyagolható legyen. Rendszerint emánáló mintákat mérünk, a radon sugárzó bomlástermékei leülepednek a kamra belső felületére, és az elektródákra. A tisztítás körülményes, időtrábló, ezért biztosítani kell, hogy még számottevő szennyeződés esetén is teljesüljön a háttér elhanyagolhatóságára tett kritérium.

A felsorolt követelményeknek legjobban megfelel a rácsos ionizációs kamra. Ennek hasonló célokra történő felhasználását számos szerző leírja, itt elsősorban kell megemlíteni *V. I. Baranov, C. R. Hill, A. A. Vorobjev, V. A. Koroljev* és *U. Fachini* nevét. Az idézett munkákban ismertetett alfa-spektrométerek kitűnnek jó felbontóképességükkel, kiváló hosszúidejű stabilitásukkal. A földtani kutatás hétköznapi feladatainak megoldásánál ezek a műszerek mégis háttérbe szorúlnak, elsősorban azért, mert a kiváló felbontást és stabilitást biztosító járulékos berendezések összeállítása és kezelése körülményes, az egyedi mérések előkészítése hosszadalmas, végeredményben az analízisek termelékenységére alacsonyabb, mint ami üzemszerű analíziseknél megengedhető. Feladatunk az volt, hogy sorozatmérésekhez jól használható ionizációs alfa-spektrométert hozunk létre. Az egyszerűség érdekében le kellett mondanunk a gáztisztító cirkulációs rendszerről, az oxigén, radon és vízgőz elnyeléséről, azonkívül a 10^{-4} torr végvákuumot biztosító szivattyúról.

Kísérleti mérésekkel kimutattuk, hogy a számunkra szükséges 70 keV-es felbontóképességet a gáz szennyezettsége nem veszélyezteti. Ha a kereskedelmi forgalomban levő *Ar* és *metán* keverékét használjuk, és a kamra, valamint a gázvezeték-rendszer kizárólag fémalkatrészeket tartalmaz,

akkor 24 óra alatt sem következik be észrevehető spektrumeltolódás, vagy a felbontóképesség romlása. Ha a rendszer hermetikusan zárt, tehát tömítési hibák nincsenek, akkor közepes minőségű rotációs légszivattyúval, kétszeri *Ar*-öblítéssel a levegő eltávolítása a követelményeknek megfelelően biztosítható. A háttérszintre vonatkozó különleges követelményt elektronikus háttérsökkentéssel elégettük ki, és elektronikus kollimációt alkalmaztunk, hogy mérsékeljük az aránylag vastag mintákban bekövetkező önabszorpció felbontásrontó hatását. Az előadás következő részében az elektronikus háttérsökkentés és az elektronikus kollimáció általunk választott megoldását ismertetem.

Spektrométerünkben detektorként kettős ráccsal ellátott, planparallelemezes ionizációs kamrát alkalmaztunk, az 1. ábra szerinti elektróda-elrendezéssel.



1. ábra Φ uz. 1. Fig. 1.

A háttérsökkentés, valamint a kollimáció elektronikus megvalósítását az teszi lehetővé, hogy az ilyen típusú kamrák nemcsak az ionizáló alfa-részecske energiájáról, hanem nyomvonalának térbeli helyzetéről is adnak információt. Az 1. ábra mutatja, hogy a kamra kollektoráról, és az első rácstről veszünk le elektromos jelet. A spektrométer működésének megvilágítása céljából részletesen tárgyalni kell ezen jelek természetét.

Kollektorimpulzusok

A kollektorimpulzusok között éles határt vonni aszerint, hogy az impulzust létrehozó elektromos töltések a G_2 árnyékolórács által kettéosztott kamratér fogat melyik felében keletkeztek. A katód felőli térrészt a G_2 rács árnyékolja. Az itt keletkezett elektronok

$$V_k = -\frac{Q}{C_k} \quad (1)$$

amplitudójú negatív feszültségimpulzust hoznak létre a kollektoron, ez az amplitudó független az ionizációs nyomvonal geometriai helyzetétől. A képletben szereplő Q – az elektronok összes töltése, C_k – a kollektort terhelő összes kapacitás.

A G_2 árnyékolórács másik oldalán, az árnyékolatlan térrészben is létrejöhet ionizáció, a háttérsugárzáshoz tartozó alfa-részecskék, valamint a kozmikus neutronok által létrehozott protonok hatására. Ezek a töltéspárok is feszültségimpulzust hoznak létre a kollektoron, de a hatásukra létrejövő feszültségimpulzus amplitudója függ a nyomvonal térbeli orientációjától is.

Rácsimpulzusok

Tekintsük először azokat a töltéspárokat, amelyeket a katód síkjából emittált alfa-részecskék hoznak létre. Ha a részecske nyomvonala a katód normálisával ϑ szöveget zár be, és a nyomvonal hossza R , akkor a rácson először

$$\sqrt{G} = -\frac{Q}{C_G} \left[1 - \frac{R}{d_1} (1 - \varepsilon) \cos \vartheta \right] \quad (2)$$

amplitudójú negatív impulzus jelenik meg, a képletben szereplő ε – dimenzió nélküli szám, értéke megközelítőleg $0,1$, C_G – az első rácstről terhelő összes kapacitás.

Ez az impulzus maximum elérése után csökkenni kezd, előjelet vált, pozitív csúcsának amplitudója

$$V_G = \frac{Q}{C_G} \frac{X}{d_1} \cos \vartheta. \quad (3)$$

Itt X – az ioneloszlás súlypontjának távolsága a nyomvonal kezdetétől.

T. Doke részletesen elemezte azokat a nyomvonalakat is, amelyek az első vagy második rácstről, a rácstartó keretektől, vagy a kollektorelektrodából indulnak ki, a tér különböző irányába. Kimutatta, hogy mindezek általában pozitív rácsimpulzust keltenek. Kivételt képez az első rács síkjából a katód felé

kisugárzott alfa-részecske, amely a katódból emittált alfa-részecskékhez hasonlóan negatív rácsimpulzussal jelentkezik, ez a negatív rácsimpulzus azonban

$$V_{CG} = -\frac{Q}{C_G} \frac{R}{d_1} \varepsilon \cos \theta \quad (4)$$

megfelelő méretezés esetén mindig kisebb, mint a katódfelületről emittált alfa-sugárzás impulzusa.

Vizsgálatainkat eddig az impulzusok amplitudójára korlátoztuk. Nem érdektelenek azonban azok az összefüggések sem, amelyek az összetartozó kollektor- és rácsimpulzusok időbeli kapcsolatát írják le, illetve felfutási meredekségüket fejezik ki. Mi spektrométerünkben felhasználtuk azt a tényt, hogy a katódból kisugárzott alfa-részecskék esetében a kollektorimpulzus a rácsimpulzushoz képest bizonyos Δt idővel késik. A rácsimpulzus ugyanis az ionizáció megtörténte után azonnal megjelenik, a kollektor azonban a G_2 -vel le van árnyékolva, ezért az anódon csak akkor kezdődik meg a jel felfutása, amikor az első elektronok átlépik a G_2 síkját. A késés tehát

$$\Delta t = \frac{d_1 - R \cos \theta}{W_1} + \frac{d_2}{W_2}. \quad (5)$$

A leírt amplitudó- és időkapcsolatok alkalmasak arra, hogy felhasználásukkal igen jó hatásfokú háttérsökkentést valósítsunk meg.

A kamrában d_1 -et úgy választjuk meg, hogy a gyakorlatban előforduló legnagyobb energiájú, kb. 9 MeV -es alfarészecskére legyen

$$R/d_1 = 0,9.$$

A (2) képlet szerint

$$\sqrt{G} = -\frac{Q_{\max}}{C_G} [1 - 0,9(1 - 0,1) \cos \theta] = -\frac{Q_{\max}}{C_G} 0,19$$

amplitudójú negatív impulzust kapunk a C^1 rácson akkor, ha egy ilyen részecske $\theta = 0^\circ$ -os szögben emittálódik a katódról. Kimutatható, hogy ez a legkisebb amplitudójú negatív rácsimpulzus, ami a katódból emittált alfa-részecske hatására létrejöhet. A háttérsugárzáshoz tartozó alfa-részecskék túlnyomó többsége vagy pozitív rácsimpulzust okoz, vagy ennél kisebb negatív rácsimpulzust. Ha tehát csak azokat a kollektorimpulzusokat engedjük az analizátorba, amelyek koincidenzában vannak egy bizonyos értéknél nagyobb negatív rácsimpulzussal, akkor a háttér nagy részét sikerül kirekeszteni a mérésből.

A háttérsökkentés tovább javítható az (5) összefüggés felhasználásával. Legkisebb Δt időkülönbség tartozik a katódról $\theta = 0^\circ$ -os szögben emittált, 9 MeV -es alfa-részecskékhez:

$$\Delta t_{\min} = \frac{d_1}{W_1} + \frac{d_2}{W_2},$$

legnagyobb pedig azokhoz, amelyek $\theta \approx 90^\circ$ -os szögben hagyják el a katódot:

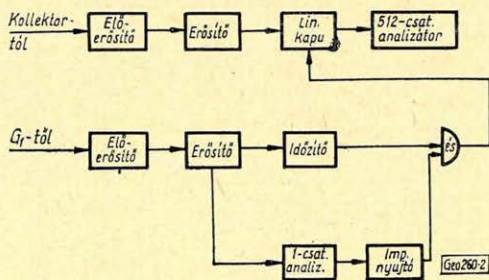
$$\Delta t_{\max} = \frac{d_1}{W_1} + \frac{d_2}{W_2}.$$

Az analizátorra csak azokat a kollektorimpulzusokat engedjük, amelyeknek késése a rácsimpulzushoz képest a

$$\Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}$$

feltételt teljesíti. Ez utóbbi kritérium főleg azoknak a háttérimpulzusoknak a kiküszöböléséhez hasznos, amelyek külső elektromágneses zavarok hatására az előerősítő nagyérzékenységű bemeneti fokozatában keletkeznek.

Fenti elveknek megfelelően spektrométerünket a 2. ábra szerint állítottuk össze.



2. ábra
 Фиг. 2.
 Fig. 2.

Az elektronikus kollimációhoz semmi más elektronikus egység nem szükséges. A kollimációt a Δt_{\max} csökkentésével, az időzítő egységben valósítjuk meg. Azonos energiájú, de különböző θ szögben emittált alfa-részecskék esetében ugyanis a kollektorimpulzus késése annál nagyobb, minél nagyobb a θ . A módszer hátránya, hogy a kollimáció szöge energiatfüggő, ezért a csúcsok eredeti aránya megváltozik. Ez a változás azonban könnyen korrekcióba vehető, és így az elektronikus kollimáció megkönnyíti a közeli spektrumvonalak szétválasztását.

EGYESÜLETI HÍREK

1970. január 22-én megtartottuk az ÉVVÉGI ZÁRÓÜLÉST, melynek napirendje:

1. Beszámoló az 1969. évi munkáról
2. Tájékoztató az 1970. évi munkaterv főbb irányvonalairól
3. Emléklapok, ajándékok átadása

A résztvevők a beszámolót és a tájékoztatót egyhangúlag jóváhagyták.

Emléklapot kaptak: *Deres János* (Bp.), *Szűrom Hugó* (Pécs) és *Wallner Ákos* (Sopron).

Egyesületünk az 1969. évi egyesületi munka alapján az alábbi tagtársakat részesítette szerény ajándékban: *Divéky Adorján*, *Horváth Ferenc*, *Horváth Róbert*, *Lakatos Sándor*, *Németh Lajos*, *Petrassovich Eleonóra*, *Rózsási Győző*, *Salamon Batur*, *Sághy György*, *Szemerédy Pálné*, *Zilahy-Sebes László*.

Az 1. és 2. napirendi pontot *Czeplédi István* főtítkárt tartotta, az emléklapokat és ajándékokat *Egyed László* társelnök nyújtotta át. Résztvevők száma: 112 fő.

Az Évvégi Záróülést követő baráti vacsorán 85 fő vett részt. A beszámoló szerint 1969. évi egyesületi munkánk egyik jelentősebb eredménye a 99%-os tagdíjbefizetés volt.

(Ujhelyi Györgyné)