

A SZCINTILLÁCIÓS MÉRÉS GEOFIZIKAI ALKALMAZÁSAI

I. Egyszerű lyukműszer problémái*

SALAMON BATUR

A cikk a radioaktív mérések új elvének, a szcintillációs mérés bevezetésének egyszerű módszerét tárgyalja. Bemutatja a Geofizikai Intézetben készült Geo-R 1362 típusú szcintillációs szondát, a szondával készült kísérleti mérések eredményeit. Ennek során rámutat a GM csöves és szcintillációs szondák kritikai összehasonlítására a radioaktív sugárzás integrális detektálása esetén. A továbbiakban a szcintillációs szonda energiaérzékenységének vizsgálatát ismerteti, különös tekintettel a gamma-spektrum analízisre. Ennek keretében részletesen taglalja a szcintillációs detektor hőérzékenységét. Befejezőleg összefoglaló következtetéseket von le a szcintillációs mérés fejlesztésére, egy precíz lyukműszer tervezési szempontjainak ismertetésében.

Описывается простой способ введения в радиометрические работы нового принципа – сцинтилляционного измерения. Излагается сцинтилляционный зонд типа Geo – R 1362, разработанного в Геофизическом институте, а также и результаты опытных работ, проведенных указанным зондом. При этом дается критическое сопоставление сцинтилляционных зондов с зондами, использующими разрядные счетчики, при интегральном детектировании радиоактивного излучения. В дальнейшем рассматривается вопрос о чувствительности сцинтилляционного зонда к энергии, уделяя при этом особое внимание анализу гамма-спектра. Подробно изучается чувствительность сцинтилляционного детектора к температуре. В заключении делаются выводы о дальнейших направлениях развития сцинтилляционного измерения, с описанием основных путей для проектирования высокоточного скважинного прибора.

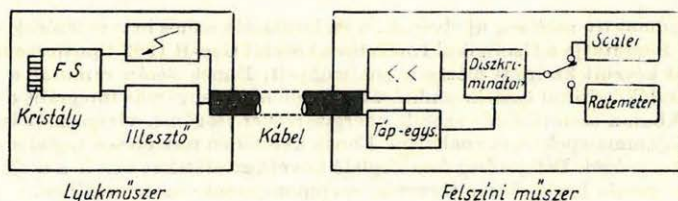
Der Artikel behandelt die einfache Methode der Einführung des neuen Prinzips der radioaktiven Messungen, und zwar die der Szintillationsmessung. Er führt die im Geophysikalischen Institut konstruierte Szintillationssonde Typ. Geo-R 1362, sowie die Ergebnisse der mit der Sonde durchgeführten Versuchsmessungen vor. In diesem Zusammenhang weist er auf den kritischen Vergleich der GM Röhren- und Szintillationssonden im Falle der integralen Detektierung der radioaktiven Strahlung hin. Im weiteren legt er mit besonderer Rücksicht auf die Gesamtspektralanalyse die Untersuchung der Energieempfindlichkeit der Szintillationssonde dar. In diesem Rahmen erfolgt die detaillierte Erörterung der Wärmeempfindlichkeit des Szintillationsdetektors. Abschließend zieht der Artikel in der Bekanntmachung der Konstruktionsgesichtspunkte eines präzisen Log-Instrumentes für die Entwicklung der Szintillationsmessung zusammenfassende Schlussfolgerungen ab.

A radioaktív sugárzásnak szcintillációs módszerrel történő mérése már több évtizede ismert probléma. Elvégzésére alkalmas műszer elvi elrendezését az 1. ábra mutatja be. Az optikai csatolásba hozott szcintillátor és fotoelektronsokszorozó egy megfelelő illesztő-fokozattal képezi a mérőfejet. A mérőfej impulzusai az erősítőre jutnak, majd a felerősített jeleket a diszkriminátorra vezetjük. A diszkriminátor kimenő jeleit numerikus számlálóval, vagy impulzussűrűség mérővel regisztráljuk. A nagyfeszültségű áramforrás a fotoelektronsokszorozó tápfeszültségét szolgáltatja.

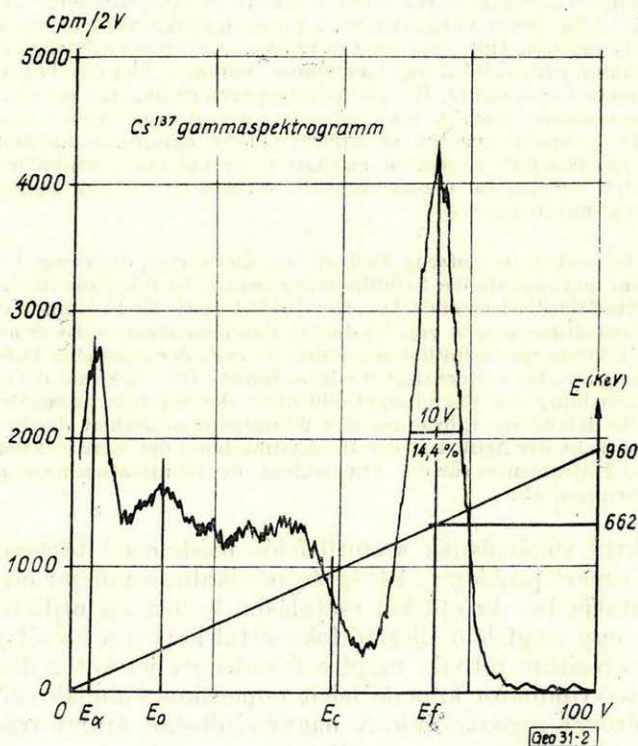
Ez a mérési elrendezés lényegileg nem tér el egy GM csöves számlálótól, amennyiben nem fordítunk nagyobb figyelmet a szigorúbb stabilitási követelményekre és a detektor, illetve a felerősített jelek amplitúdó-diszkriminálására. Ez az amplitúdó-diszkriminálás adja meg a lehetőséget a gamma sugárzás energiájának meghatározására.

* A Magyar Geofizikusok Egyesületében 1962. december 7-én elhangzott előadás.

A szcintillációs mérés-technika tanulmányozására, a kapcsolatos műszeres problémák tisztázására, valamint szcintillációs szondánk bemérésére készítettünk egy, a célnak megfelelő szcintillációs számlálót. A szcintillációs számlálónk kielégíti a közepes teljesítőképességű egycsatornás, automatikus, analóg amplitúdó-analizátorral szembeni követelményeket. A műszer megépítésének fontosságát döntően kiemelte az a tény, hogy akkoriban, de jelenleg is, ilyen műszer hazai piacon nem kapható.



1. ábra



2. ábra

A műszer az 1. ábrán bemutatottnak továbbfejlesztése. Tartalmaz egy nagy pontosságú nagyfeszültségű áramforrást, szélessávú, nagyszintű lineáris erősítőt, egycsatornás amplitúdó-analizátort, számláló és rate-meter fokozatot.

A műszerhez csatlakoztatott direktíró segítségével kiképzett automatikai körrel módunkban áll automatikus differenciál spektrogram felvétele. A

műszer helyes működését bizonyítja a 2. ábra, mely a nemzetközileg referenciának elfogadott Cs¹³⁷-es izotópról készített spektrogramot mutatja be. Az elméleti spektrumhoz viszonyítva felismerhetjük a lényegi eltéréseket. Az egyik döntő eltérés az, hogy az elméleti spektrum éles határvonalai – fotonal, Compton-él – a mérés statisztikai hibájából kifolyólag elmosódnak és egy középérték körül ingadoznak. További különbség az impulzusszám ingadozása, mely szintén statisztikus. S végül a mérési elrendezésből adódó egyéb eltérések: a Compton-effektusból eredő ún. visszaszóródási csúcs (E_0), valamint a Cs¹³⁷ izotópból származó krakterisztikus röntgensugárzás fotocúcsa (E_2).

További vizsgálataink során mindig az ismert differenciálspektrumot mérjük meg egy beállított körülmény között és a spektrum változásból következtetünk a beállított körülmény hatására.

A GEO-R 1362 típusú szonda elvi felépítése



3. ábra

Tervünk egy szcintillációs szonda kidolgozása volt. A célszerűségnek megfelelően tekintetbe vettük az adott körülményeket, s így az Intézetben kidolgozott Geo-R 7 típusú felszíni adapterhez csatlakoztunk.

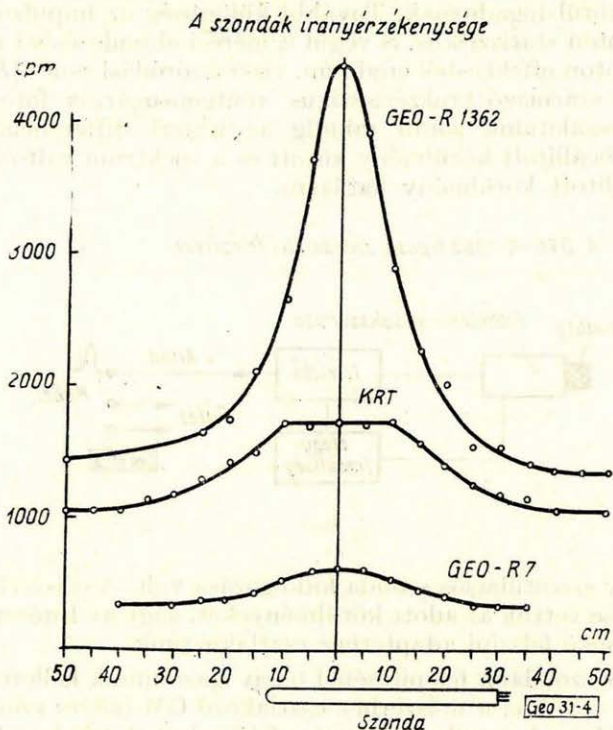
Szcintillációs szondánk felépítésénél tehát igazodnunk kellett az adott felszíni műszerhez, továbbá a műszerhez csatlakozó GM csöves szondák elektronikus megoldásaihoz. A szonda elektromos felépítésének tömbvázlatát mutatja be a 3. ábra. Tartalmaz egy nagyfeszültségű, stabilizált áramforrást a fotoelektronsokszorozó tápfeszültségének előállítására. A fotoelektronsokszorozó kimenő impulzusait egy elektroncsövet tartalmazó illesztő fokozatra vezetjük. A háromerű kábel két érén a csövek fűtőáramát, a harmadik érén az anódfeszültség pozitív pontját visszük a szondába. Az anódfeszültség-érén kerül a felszínre a jel, ugyanis az illesztő-fokozat transzformátor megoldású munka-impedanciája a felszíni adapterben van elhelyezve. Így a szokástól eltérő tervezési módon, az adott, kényszerítő feltételnek a figyelembevételével csatlakoztattuk a bemutatott szondát a felszíni készülékhez. Lényegileg nem tettünk egyebet, mint a GM csöves detektorok helyett szcintillációs detektort helyezni a szondába.

Szcintillációs szondánkkal laboratóriumi és terepi viszonyok között összehasonlító méréseket végeztünk, az eddigi GM csöves szondáinkkal.

A Geo-R 7-es műszerhez az Intézetben alkalmazzák a műszerrel eredetileg együtt készült 30 mm átmérőjű szondát, s az átalakított szovjet KRT típusú szondát.

A 4. ábrán az említett két szonda és a szcintillációs szonda irányérzékenysége van feltüntetve. A méréseket a szondák tengelysíkjaiban Co⁶⁰-as izotóppal végeztük. A mérés eredményeiről azt mondhatjuk, hogy a GM csöves szondák-

hoz viszonyítva a szcintillációs szonda irányérzékenysége feltűnően jobb, s így vékonyabb rétegek kimutatására alkalmas. A szcintillációs szonda irányérzékenységét még jobban élesíthetjük a szcintillátor előtti és mögötti ólomárnyékolással, melyet itt még nem alkalmaztunk.



4. ábra

A mérésekből megállapíthatjuk, hogy a Co^{60} energiáira a szcintillációs szonda az alábbi impulzusszám növekedést adja:

	GM csöves szondák	
	30 mm	KRT
1. effektív nyereség		
N_{sz}/N_{GM}	5,0	1,5
2. geometriai nyereség		
$\frac{N_{sz}/N_{GM}}{G_{sz}/G_{GM}}$	11,5	14,1

viszonyítva.

A szcintillációs szonda működését fűrólyukban is megvizsgáltuk. Az 5. ábrán egyrészt a reprodukálóképességet figyeltük meg. (A szelvények el vannak tolvva egymástól, hogy jobban láthatók legyenek.) A szelvényekből megállapí-

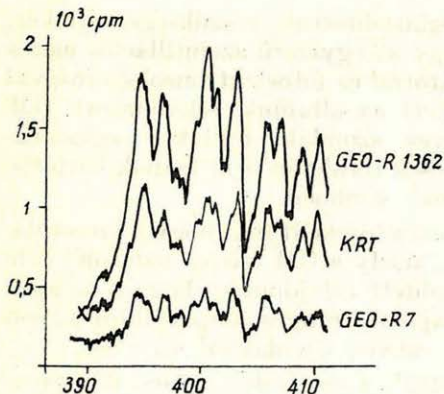
tottuk, hogy a szcintillációs szonda reprodukálóképessége egy jó GM csöves szondával azonos, s az integrálás valószínű hibáján belül van.

Az 5. ábra másik részében ugyanazon fúrólukban a 30 mm-es, a 60 mm-es KRT és a szcintillációs szondával történt természetes gamma felvételt együtt ábrázoltuk. Az impulzusszám különbségek csak közelítőleg egyeznek az előzőkben említett effektív nyereséggel. Az eltérés valószínűleg a lyukviszonyok között levő sugárzás energiája miatt következett be, melyből arra lehet következtetni, hogy a fúróluk természetes gamma sugárzása keményebb volt a Co^{60} energiájánál. A szelvény értelmezhetőségét segítő relatív differenciálás – a maximum/minimum viszony – csak kis mértékben növekedik a szcintillációs felvételnél. (KRT = 2, Geo-R 1362 = 2,5.) Ennek okát a szovjet kutatók eredményeire alapítva az elégtelen, vagy egyáltalán nem alkalmazott diszkriminálásban látjuk. Erre a célszerű diszkriminálásra a Geo-R 7 műszer nem adott lehetőséget.

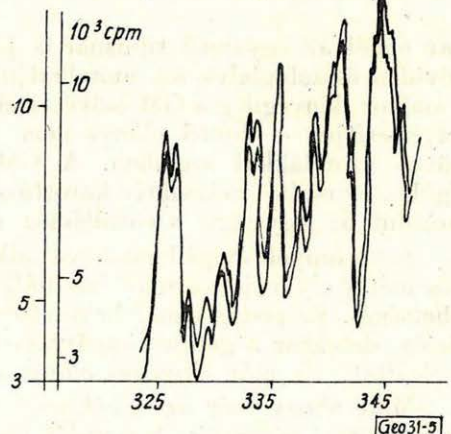
Következtetéseink: Az egyszerű szcintillációs szonda a hagyományosnak nevezhető GM csöves szondákkal szemben nem hoz jelentős előnyt. A bemutatott GM csöves szondával szemben – melyben az Intézetben kidolgozott 4 db NG 420-as GM számláló cső van – az impulzusszámnövekedés a szelvények szerint kb. 60%. Ezt a 60%-os nyereséget csak az alkalmazott szcintillátorral értük el, s vannak tapasztalataink, amikor kisméretű szcintillátorral történt méréseinknél jóval kisebb impulzusszámot kapunk. Itt azonban rögtön meg kell jegyezni, hogy a csatlakozó Geo-R 7 felszíni készülék felbontási ideje nagy számlálási veszteséget okozott. Ugyanis, amíg a GM csöves szonda felszínen megjelenő impulzusai kb. $300/\mu\text{sec}$ szélesek, a szcintillációs jelek $40 \mu\text{sec}$ -osak és a felszíni készülék felbontási ideje 3,5 msec! Ez a felbontási idő a szcintillációs mérést jobban terhelte.

Tehát a felszíni készülék nagy felbontási ideje nem megengedhető és egy a jövőben tervezendő készüléknél legalább a szcintillációs szonda jeleinek tartamára kell csökkenteni. Sajátos előnyt jelent a szcintillációs szonda élesebb irányérzékenysége, melyet a 4. ábrán mutattunk be. A kisméretű szcintillátorral elérhető jobb rétegfelbontást a gyakorlat igazolhatja.

A szondák összehasonlító mérése mélyfúrásban

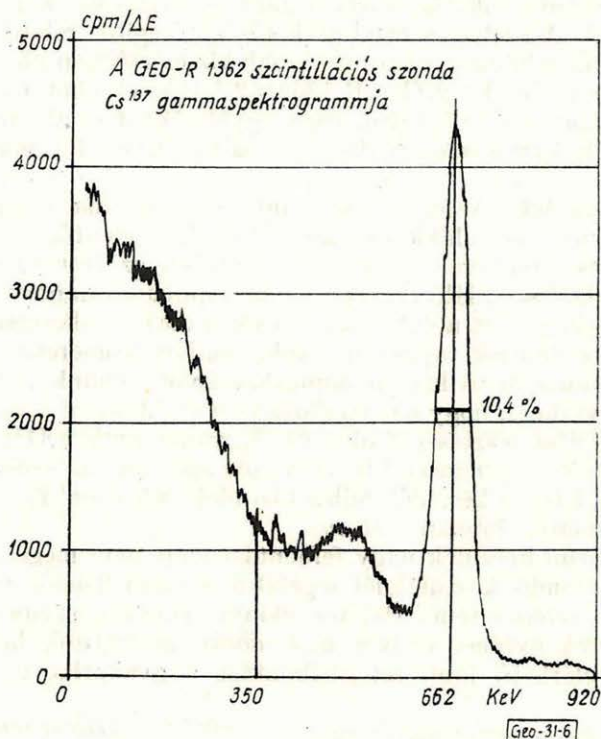


A GEO-R 1362 szonda reprodukáló-képességének vizsgálata mélyfúrásban



5. ábra

Ezekkel együtt a szcintillációs szonda szigorúbb elektronikus stabilitást követel. Amíg a GM csöves detektornál, egy jó GM cső adatait tekintve gyakorlatilag pontos méréshez a nagyfeszültség 1–2%-os stabilitása teljesen elegendő, addig a szcintillációs mérésnél kb. 0,1% pontosságot kell elérni. És általában minden, a jel amplitúdóját befolyásoló paraméterben nagyobb stabilitást kell biztosítani. Ez technikailag nehéz feladat, de megoldható.



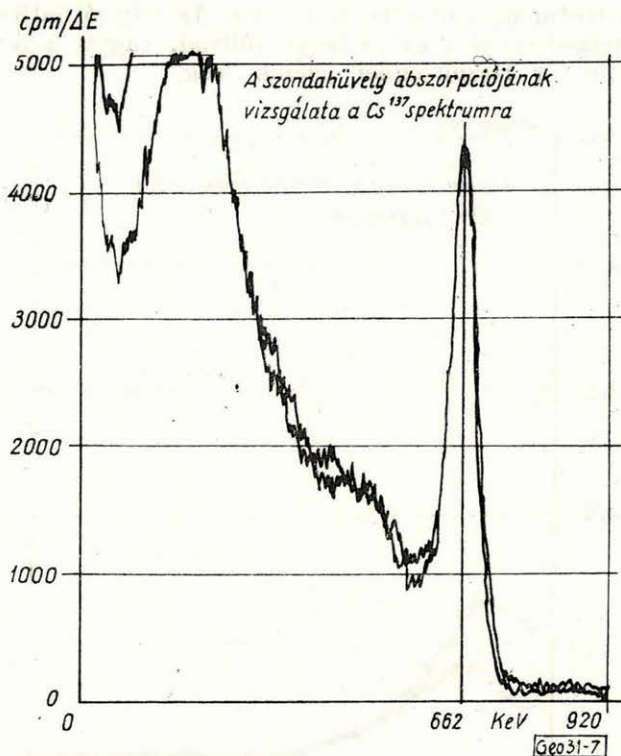
6. ábra

Már ennél az egyszerű típusnál is jól megközelítettük a szükséges értéket. Röviden összefoglalva azt mondhatjuk, hogy az egyszerű szcintillációs mérés – amikor lényegileg a GM csövet szcintillátorral és fotoelektronsokszorozóval helyettesítjük – döntő előnyt nem jelentett az általunk alkalmazott GM csöves szondákkal szemben. A GM csöves szondák, tekintve egyszerűségüket az eddigi radioaktív karottázs mérések területén nem fognak háttérbe szorulni az egyszerű szcintillációs méréssel szemben.

Ezen tények megállapításával inkább arra törekedtünk, hogy a szcintillációs mérés olyan jellemzőjét használjuk ki, amely a GM csöves mérésnél nem lehetséges. Ez pedig a már bevezetőben említett tulajdonság, hogy a szcintillációs detektor a gamma sugárzás energiájával arányos amplitúdójú jeleket szolgáltat. Ez már lényeges előny a GM csöves szondákkal szemben.

Mint ahogy már az előzőekben említettük a méréseket a Geo-R 1260-as analízátorral végeztük. A szondát illesztettük az analízátorhoz, és a szokásos Cs¹³⁷ spektrumot mértük meg. Az eredményt a 6. ábrán mutatjuk be. Ha össze-

hasonlítjuk a szabályos mérőfejjel felvett spektrogrammal, akkor elmondhatjuk, hogy a fotocsúcs karesúbb, jobb a felbontás. Ennek magyarázatát az alkalmazott felszíni illesztésben találtuk meg, mely hajlamos volt az amplitúdók stabilizálására. Bebizonyosodott, hogy egyszerű úton is kielégítő eredményt kapunk.

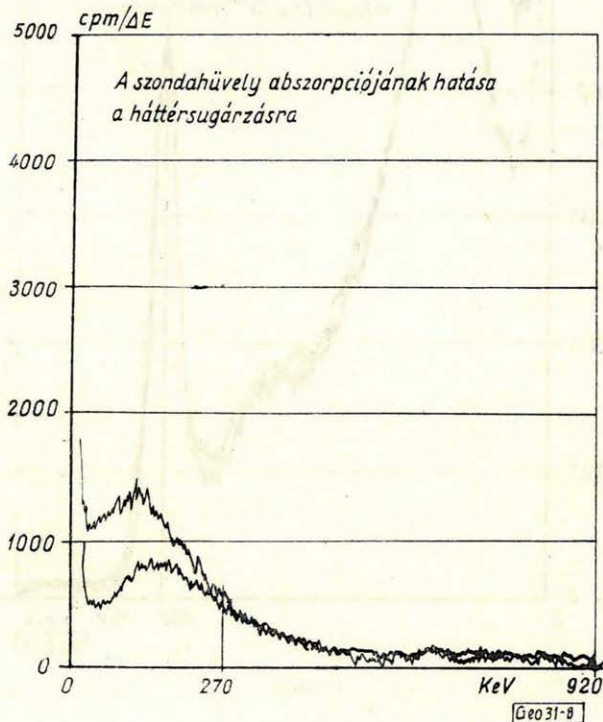


7. ábra

Az előző felvétel szonda-hüvely nélkül készült. Megvizsgáltuk a szonda-hüvely abszorpciójának hatását is. Ezt mutatjuk be a 7. ábrán. Itt az izotóp más geometriában sugározza be a kristályt, ezért nagyobb a zavaró háttér. Ez viszont inkább jellemzőbb lehet a lyukviszonyokra. A kis energiák felé nehéz az összehasonlítás. Ezért megmértük a háttérsugárzást is (8. ábra). E két felvétel összevetéséből azt állapíthatjuk meg, hogy ez a szonda kb. 0,3 MeV felett intenzitáshű. Figyelembe véve a spektrum kis energiák felé való halmozódó jellegét – a jelszállítás elégtelen volta miatt – a szonda energia-küszöbét 0,35 MeV-re állapíthatjuk meg.

Vizsgálatainkat elsősorban a hőmérséklet hatásának megállapítására irányítottuk. Az alkalmazott RCA 6199-es fotoelektronsokszorozó specifikált maximális hőmérséklete 75 C°. Az alkalmazott NaJ (Tl) kristály olvadási hőmérséklete 651 C°. Vizsgálati tartományunkat 100 C°-ig terjesztettük ki. Ugyanis a szonda egyéb elektronikus áramkörei 100 C°-ig gyakorlatilag kifogástalanul működnek.

A hőmérsékleti vizsgálatokat laboratóriumban végeztük el. A szonda végét – a kristályt és a fotoelektronsokszorozót – nyíláson át vezettük be a szárítószekrénybe. A hőmérsékletet a fotoelektronsokszorozó, illetve a kristály házán mértük. Felmelegítéskor biztonságosan kb. 1,5 óráig tartottuk 100 C°-on és önlehülés útján mértük a többi vizsgálati pontot. A mérést az említett úton, a fotocsúcs elmozdulásával regisztráltuk. Egy ilyen regisztrátumot mutat be a 9. ábra. Az ábráról láthatjuk, hogy a hőmérséklet emelkedésével a csúcs helye süllyed, vagyis a fotocsúcs mind kisebb diszkriminátor feszültségnél jelenik meg.



8. ábra

A 9. ábrán látható felvételtől megszerkeszthetjük az amplitúdóesést a hőmérséklet függvényében. Ez látható a 10. ábrán. A 10. ábra a kristály és a fotoelektronsokszorozó együttes viselkedését mutatja be. Feltehetőleg e két összetevő különbözően viselkedik a hőmérséklet hatására. Ezért szétválasztottuk oly módon, hogy megvizsgáltuk csak a fotoelektronsokszorozó erősítésének hőfüggését. Erre a célra építettünk egy ún. fényimpulzus-adót. Ez a fényimpulzus-adó helyettesítette a kristályból érkező fényvillanásokat. A fényimpulzus-adó a vizsgált hőmérsékleti tartományban semmiféle változást nem mutatott, s így a fotoelektronsokszorozó változását módunkban volt megfigyelni.

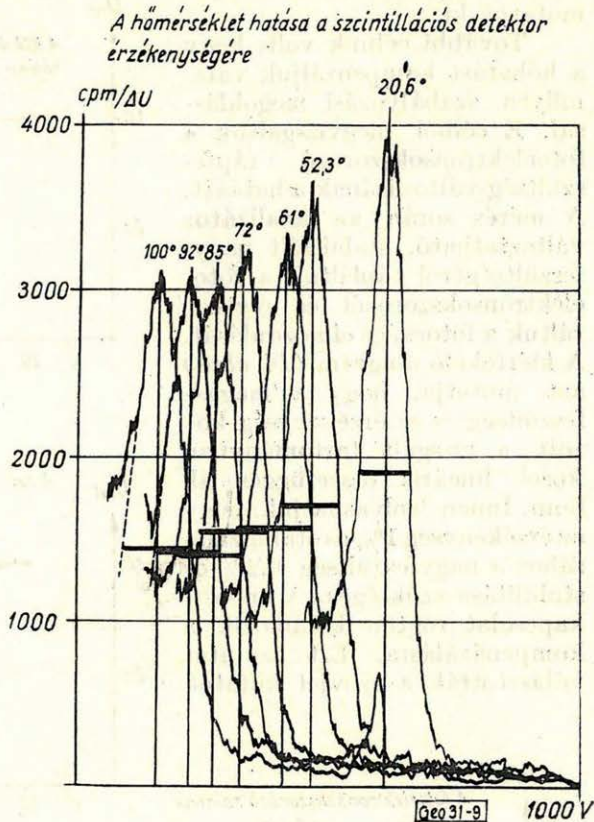
A mérésadatokból szerkesztett grafikont a 11. ábrán láthatjuk. Az eredmény azt mutatja, hogy 50 C°-ig az erősítés nem változott, a specifikált hőmérsékleti határig (75 C°) csak kis mértékben esett (5%) és 100°-nál kb. 19%-

kal csökkent az érzékenysége. Ez az eredmény eltér attól a várakozástól, hogy a fotoelektronsokszorozó érzékenysége a hőmérséklettől állandóan függ és nincs stabil tartomány.

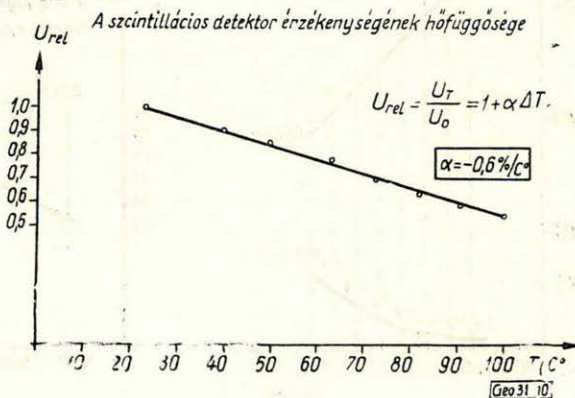
A 12. ábrán a két mérést vetettük össze, s azokból megszerkesztettük a kristályra vonatkozó érzékenység-változást. Megjegyzem, hogy méréseink átlagértékek és pontosságuk $\pm 3\%$ -ra becsülhető.

E mérésekből azt a következtetést kell levonnunk, hogy az energiamérés, és általában a szcintillációs mérés során hőkompenzálást kell alkalmazni a mérhető hőkoeficiensnek megfelelően. Hőkompenzálás nélkül a mérés teljesen hamis, s hőkompenzálás nélküli műszerek nem alkalmazhatók mélyfúrásban.

A hőmérséklet hatása közül jelentős még a fotoelektronsokszorozóban keletkező zaj. A termikus zajt úgy mértük meg, hogy a szcintillációs kristályt kiemeltük és a fotoelektronsokszorozót optikailag sötétbe zártuk. A zajspektrumot is az analizátorral vetettük fel. A mérés eredményeit kiértékelő grafikont a 13. ábra mutatja be. Az értékeket a nemzetközileg elfogadott 60 imp/min zajnívóra határoztuk meg. Az ábrán egyben feltüntettük a Cs¹³⁷ amplitúdóit is a hőmérséklet függvényében. Az összevetés azért fontos, hogy megállapíthassuk a jel/zaj viszonyt, illetve hogy a zajamplitúdók milyen energiaküszöböt jelentenek. E célból a hőmérsékleti pontokon fellépő zajhoz energiaértéket rendeltünk a Cs¹³⁷



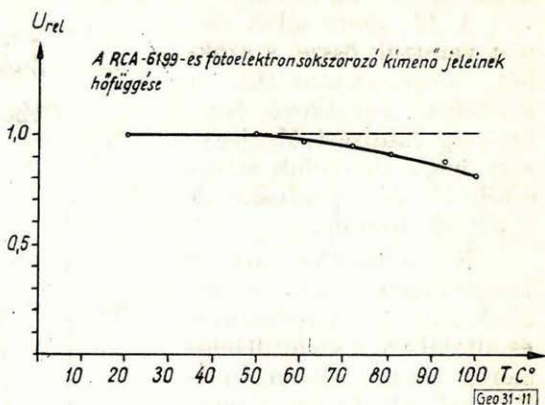
9. ábra



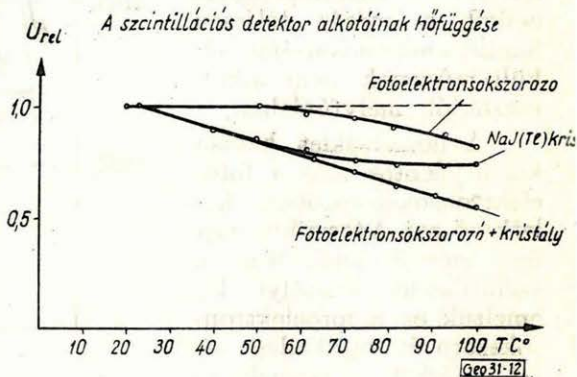
10. ábra

amplitúdóira vonatkozóan. Ez az eredmény az adott körülményeknek megfelelő, s jobb mint a szovjet publikációban talált közlemény, ami a FEU csövek nagyobb hőemisszióját mutatja ki.

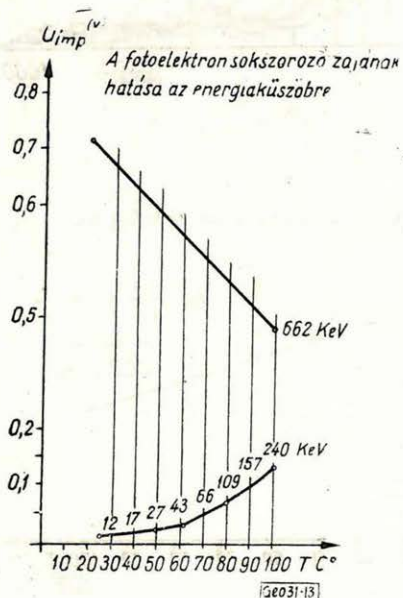
További célunk volt, hogy a hőhatást kompenzáljuk valamilyen szabályozási megoldással. E célból megvizsgáltuk a fotoelektronsokszorozó tápfeszültség-változásának a hatását. A mérés során az analizátor változtatható, stabilizált nagyfeszültségéről tápláltuk a fotoelektronsokszorozót és regisztráltuk a fotocsúcs elmozdulását. A kiértékelő diagram (14. ábra) azt mutatja, hogy a magasfeszültség és az érzékenység között a vizsgált tartományban közel lineáris összefüggés áll fenn. Innen leolvashatjuk, hogy az érzékenység 1%-os stabilizálásához a nagyfeszültség 0,2%-os stabilitása szükséges. A lineáris kapcsolat rögtön kínálkozik a kompenzálásra. Ezt az utat választották a szovjet kutatók



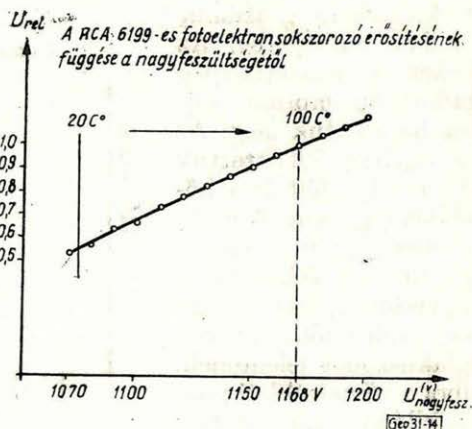
11. ábra



12. ábra



13. ábra

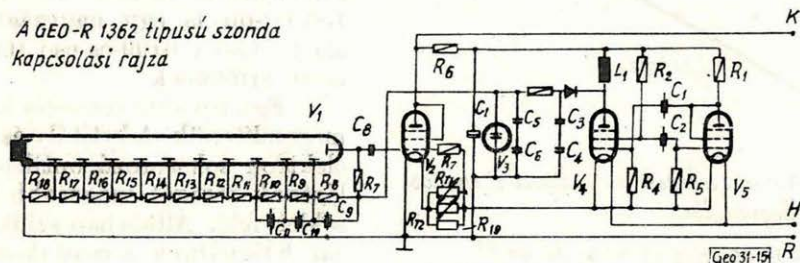


14. ábra

szabályozó rendszerük végrehajtó jeleként. Mi azonban úgy gondoltuk, hogy olyan úton a nagyfeszültség egyéb változásokkal szemben stabilizálatlan marad. Nem is szólva arról, hogy ez a megoldás komplikált és az adott körülmények között nem is lehetett megoldani.

Más utat kerestünk, és e célból megvizsgáltuk a szonda érzékenységét a fűtőáram függvényében. Ezzel nem kaptunk jó eredményt. Azonban kínálkozott a fűtőáram és az illesztő cső előfeszültségének egyértelmű szabályozása. Mint ahogy már említettem, csak a rendelkezésre álló Geo-R 7-hez csatlakoztatható szondát akartunk készíteni, s ezért az adott elektrotechnikai adatokat használhattuk ki. Csak egy egyszerű szabályozás — pl. termisztor — alkalmazása volt lehetséges.

A GEO-R 1362 típusú szonda kapcsolási rajza



15. ábra

Nézzük meg a szonda elektronikus kapcsolását a 15. ábrán. A fűtőkörben elhelyezett hőérzékeny ellenállások (R_{T1} , R_{T2}) úgy dolgoznak, hogy a hőmérséklet emelkedésekor csökkentik ellenállásukat, ezzel nő a fűtőáram és csökken a V_2 cső előfeszültsége, vagyis nő a szonda erősítése. A szabályozó ellenállások hatását megmértük. A 16. ábrán látható a fűtőáram változásának eredménye az erősítésen. Az abcisszán feltüntettük a hozzátartozó ellenállás értéket is. Az ábrán azt is bemutatjuk, hogy a fűtőáram változása következtében megváltozó nagyfeszültség is jó irányba hat az erősítésre.

A szabályozó ellenállások eredője soha nem lehet nulla, ezért már számolnunk kell azzal, hogy a teljes tartományt nem tudjuk kihasználni. E hiányosság figyelembevételével azt tettük, hogy melegen — 100°C — olyan értékre sőtöljük a termisztorokat (az R_{19} ellenállással), hogy a maximális áram folyjon, míg a lehűléskor az ellenállások eredője nő, és a detektor érzékenységének ilyenkor bekövetkező növekedését, az eredő ellenállás értékének emelkedése következtében beálló erősítés-csökkenés kompenzálja.

A felvételek kiértékelését a 17. ábra mutatja be. Erről azt olvashatjuk le, hogy ilyen primitív úton sikerült max. 60°C -ig gyakorlatilag kielégítő pontossággal működő szcintillációs szondát készíteni.

Eredményünk kompromisszumos megoldásokat tartalmaz, s ezért nem elég pontos, másrészt az ipar és a gyakorlat által támasztott igényeket nem elégíti ki. Itt elsősorban gondolok a nagymélységű és magas hőmérsékletű mérések elvégzésére.

További célunk ezért elsősorban a hőstabilitás megoldására irányul. Ennek a megoldásakor továbbra is a lehető legegyszerűbb gyakorlati használhatóságra törekszünk. Ismerve a terepmunkálatok jellegét, teljesen alkalmatlannak tartunk mindenféle termosztátban történő hűtés alkalmazását. A szovjet kutatók is lemondtak erről, és elektronikus hőkompenzálást alkalmaz-

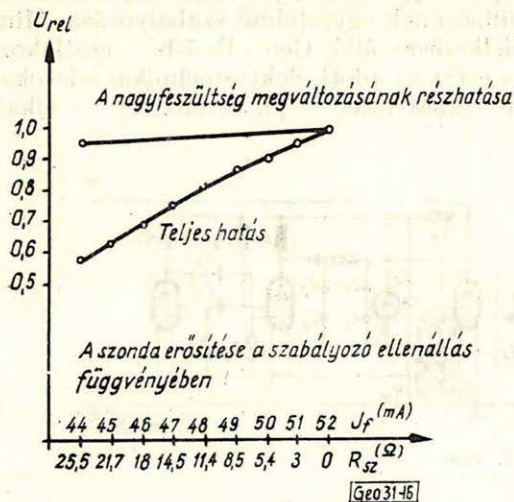
nak. Az általuk követett út, az ún. reper-forrással történő automatikus érzékenység szabályozás igen szellemes, de bonyolult megoldás.

A laboratóriumunkban kidolgozott, igen kis belső hődisszipációjú szonda-elektronikák 120 C°-ig működnek teljesen kielégítő pontossággal. Így csupán a detektor hőproblémája a döntő. Irodalmi adatok szerint egy nyugati cég olyan fotoelektronsokszorozót gyárt, mely 150 C°-on is kielégítően működik. Ennek a magashőmérsékletű csőnek különös tulajdonsága az alacsony zajárma: 100 C°-on olyan zajárma van, mint az alkalmazott 6199-es csőnek 20 C°-on és 150 C°-on is egy nagyságrenddel alatta van a 6199-es cső 100 C°-on mért értékének.

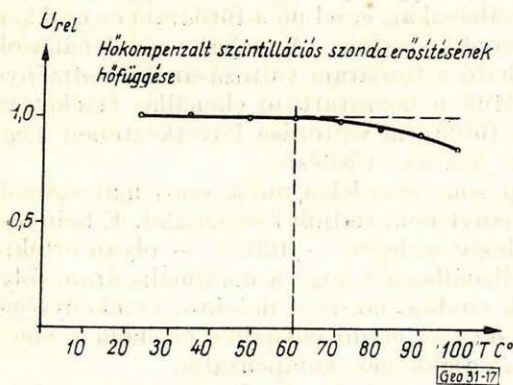
Egy további tényezőt kell még megemlítenünk. A kristály és a fotoelektron sokszorozó optikai csatlakozásának jóságát magasabb hőmérséklet felé. Általában szilikon olajat használunk a csatlakozó felületek között. A jó optikai illesztés – a törési indexek egyenlősége és stabilitása – nem szabad, hogy változzék a hőmérséklet hatására.

Hátra van még a szcintillátor problémája. Olyan szcintillátor anyagokra van szükség, mely a hőmérséklet változására az érzékenységét nem változtatja. A szovjet irodalomból ismeretes, hogy a KJ kristályú detektor, a hőmérséklet változásakor közelítőleg konstans jeleket ad. KJ-ot azért nem alkalmaznak, mert a NaJ-hoz képest kb. 4-szer kisebb a hatásfoka. Ezáltal kis jelimpulzusokat ad, és a magas hőmérséklet felé romlik a jel/zaj viszony, ami a zavarmentes detektálási energia-küszöböt rohamosan emeli. Ez a fenn-

tartás csak az általánosan alkalmazott fotoelektronsokszorozókkal szemben jogos, de az említett speciális csőnél már elvethető, mivel itt a termikus emisszió kicsi. A KJ további előnye, hogy nem nedvszívó, s így nem kell montírozni, lezárni. Ez a probléma súlyosan jelentkezik pl. a NaJ esetében. Ugyanis a NaJ kristály felületét, mely a fotoelektronsokszorozóhoz csatlakozik plexiüveggel szokták lezárni. A hőmérséklet emelésekor a plexi meglágyul és elválik a kristálytól, mely ezért egyre inkább hasznavehetetlenné válik. A KJ kristálynak van egy hátránya. A K⁴⁰-es természetes izotóp nemkívánatos háttér-zavart okoz. A K⁴⁰ 1,36 MeV béta és 1,46 MeV gamma sugárzása a



16. ábra



17. ábra

mérési tartományban fekszik és irodalmi adatok szerint 4 kvantum/sec/g intenzitású.

Kutatásainkkal a neutron detektálás felé is szeretnénk terjeszkedni. Ez is minőségi változást jelentene a karottázis mérésekben. Sajnos, a beszerezhető neutron szcintillátorok csak 35 °C-ig használhatóak. Ez a kérdés még detektálási szempontból is nagyon nyitott. A lassú neutronok detektálása LiJ = = (Tl), LiF szcintillátorokkal valószínűleg megoldható, míg a gyors neutronok moderálása már nehezebb probléma. Ezt a kérdést természetesen még laboratóriumi viszonyok között kell tisztázni.

Meg szeretném említeni az energia-küszöb kérdését. Tihanyi László kollegánknak a VIII. Szimpozionon előadott elgondolása szerint a természetes spektrumok mérése során atomsúly szerinti elkülönítéshez juthatnánk. A természetes spektrumok alacsony energiák felé (20 – 30 keV) jól elkülöníthetőek. Ennek az energiának a mérése lehetséges volna pl. alumínium szondacsőben. Azonban elektronikus nehézségek vannak a már említett zajok miatt. Minden esetre törekedni fogunk az új szondatípusnál az energiaküszöböt minél alacsonyabbra szorítani.