

# SZOKATLAN RADIOAKTIVITÁS MEGFIGYELÉSE A DÉBRECENBEN 1952. ÁPR. 22—DEC. 31 KÖZÖTT LEESETT CSAPADÉKOKBAN

SZALAY SÁNDOR és id. BERÉNYI DÉNES

Előadta Szalay Sándor lev. tag az 1954. november 26-án tartott felolvasó ülésen

## I.

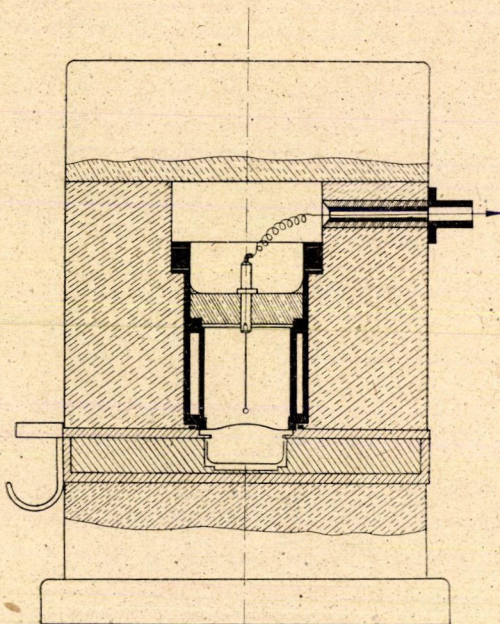
Újabbán több szerző mutatott ki sikerrel urán-hasadási termékeket az atmoszférában, valamint a csapadékban, a kísérleti atombombák robbantási helyeitől jelentős távolságban is [1], [2], [3], [4], [11], [12]. Lehetségesnek látszott kellő érzékeny mérőberendezéssel az aktivitást még nagyobb távolságban is kimutatni. Ez indította 1952 áprilisában a szerzőket arra, hogy a Debrecenben lehulló csapadékot begyűjtsék és radioaktív szempontból megvizsgálják.

A Kísérleti Fizikai Intézetben az egyik szerző (SZALAY) által régebben radioaktív izotóp nyomjelzés céljaira konstruált mérőberendezés erre a célra elég érzékenynek látszott. Ez a Geiger—Müller számlálócsöves mérőberendezés egy 0,1 mm vastag és 26 mm átmérőjű alumínium ablakkal ellátott Geiger—Müller számlálócsőből és hozzá szükséges erősítőből, stabilizált magasfeszültségű áramforrásból, számlálóműből, stb. állott. Itt csak a számlálócső és ólomvért rajzát adjuk (1. ábra). A számlálócső tengelyében 0,1 mm-es egyenes wolfram drót volt, egyik végén kis üvegyönggyel. A számlálócső ablaka alá egy kis fémfiókkal lehetett betolni a 24 mm átmérőjű és 7 mm mély, cca 2 mm falvastagságú egységesített típusú üveg mérőedénykéket. A számlálócső ablaka a közepes keménységű vagy keményebb  $\beta$ -sugarakat nagyobb abszorpció nélkül átengedte, az  $\alpha$ -sugarakat természetesen teljesen visszatartotta. A számlálócső érzékenysége a  $\gamma$ -sugarakkal szemben cca két nagyságrenddel kisebb lévén, végeredményben kizárólag a  $\beta$ -sugarakat mérte. Az ólomvért elég vastag (4 cm) volt ahhoz, hogy a környezet radioaktív  $\gamma$ -sugárzását jelentősen abszorbeálja. A berendezés nulleffektusa percenként 13—14 impulzus között volt. A nulleffektus értékének kis ingadozása és a számlálásoknál természetesen fellépő statisztikai hiba szabták meg a mérőberendezés érzékenységet. A berendezés geometriai hatásfoka 12,4% volt, ami annyit jelent, hogy az üveg mérőedénykébe bepárolt preparátumból a teljes  $4\pi$  térszögbe kiinduló  $\beta$ -részecskék közül geometriai okokból 12,4% törtrész hatolt a számlálócsőbe. A számlálócső hitelesítése ismert (számítható) erősségű  $\beta$ -sugárzó preparátummal ( $UX_2$ ) történt, így a mért csapadék radioaktivitása közvetlenül Curie-egységekben is kifejezhető volt. Itt azonban el kellett tekintenünk a 0,1 mm vastag Al-ablak abszorpciójának figyelembevételétől, mert a csapa-



dékban mért ismeretlen radioaktív anyagok  $\beta$ -sugárzásainak energiáit nem ismertük. Igen lágy  $\beta$ -sugaraktól eltekintve az abszorpció nem jelentős.

A Meteorológiai Intézet ombrométere által 159,6 mm átmérőjű 200 cm<sup>2</sup> körterületen felfogott csapadékot kevés pro anal. sósavval savanyítva vízfürdőn előbb porcelán tálakban koncentráltuk be, majd az egységesített üveg mérőedénykébe vittük át pipettával, gondosan ügyelve arra, hogy a porcelán



Jelmagyarázat:

ólom plexit  
s.réz vas

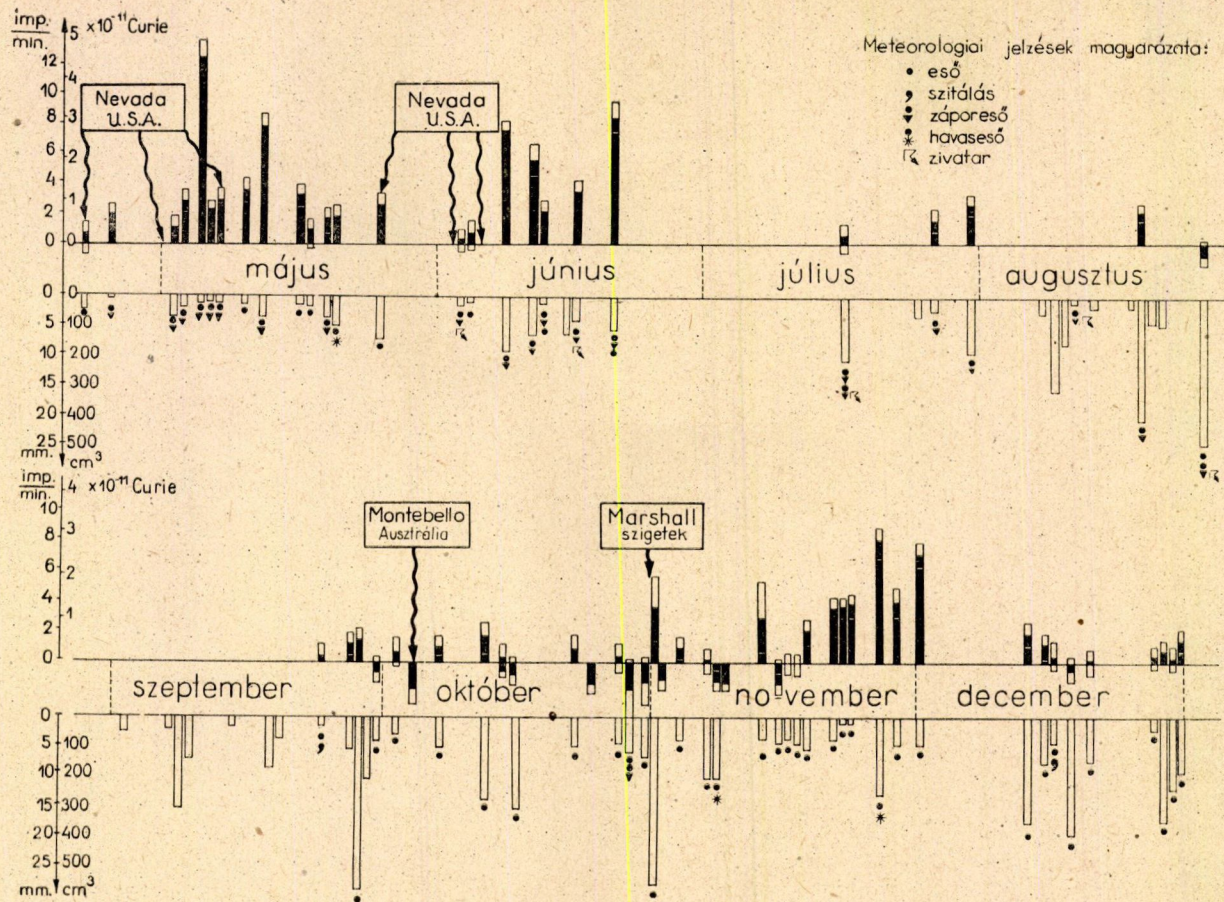
1. ábra. Végablakos Geiger—Müller számlálócső 4 cm vastag ólomvértben. Az üvegcsészében lévő preparátumot a kihúzható fiókkal a számlálócső 0,1 mm-es alumínium ablaka alá lehet betolni.

A mérés az impulzusok több órán át tartó számlálása útján történt az 1. ábrán látható geometriai elrendezésben. Mérés előtt, közben és után a készülék természetes effektusát is meghatároztuk, majd középértékét a mérési eredményből levontuk. Ahol az aktivitás jelentéktelen volt, ott csak rövid ideig mértünk, ennek következtében a statisztikai hiba nagyobb. Egyes erősebben aktív preparátumok aktivitását heteken át sorozatosan mértük, hogy a radioaktív bomlást és annak felezési idejét megállapíthassuk.

Az 1952. ápr. 22-től dec. 31-ig kapott mérési eredmények a 2. ábrán láthatók, a naptári időpont függvényében. Az ordinátán az aktivitást a ténylegesen óránként észlelt impulzus számban, valamint a számlálócső hitelesí-

tál falán esetleg adszorbeált nyomok sósavval maradék nélkül a mérő edénykébe jussanak. A felfogott csapadék mennyisége pár cm<sup>3</sup>-től pár száz cm<sup>3</sup>-ig terjedt, az eső mértéke szerint. Beszáritás után a preparátumok mérésre kerültek. A csapadék leesése és a mérés között legalább 48 óra telt el, ami elegendő volt arra, hogy a levegőből oldott természetes radioaktív anyagok, amelyek rádium emanációból, illetve thorium emanációból származhatnak, teljesen lebomoljanak és így a méréseket ne zavarják. (RaB + C + ...; ThB + C + ...). A levegő radon tartalma 10<sup>-14</sup>—10<sup>-13</sup> Curie/liter nagyságrendben mozog. Így a mérésre kerülő üvegedénykében természetes radioaktív anyag nem lehetett jelen, továbbá a gáznemű radioaktív anyagok is kiestek a mérésekből, mert a bepárolás alkalmával azok szükségképpen elilllantak.





2. ábra. A debreceni atmoszférikus csapadék radioaktivitása 1952. ápr. 22 és dec. 31-e között. Ordináta: fent jobboldalon az aktivitás  $10^{11}$  Curie egységeiben, fent baloldalon ténylegesen számlált impulzus per minutum egységeiben. Lent jobboldalon  $1/50 \text{ m}^2$  területen begyűjtött eső mennyisége  $\text{cm}^3$ -ben, baloldalon az eső mennyisége mm-ben. Abszcissa a naptári idő. Az irodalomban közzétett atom-bomba kísérletek helye és időpontja négyzetes keretbe bejelölve.

tése útján számított Curie egységekben is feltüntettük. (Ez utóbbinál már figyelembe van véve a geometriai hatások, de el van hanyagolva az Al-ablak abszorpciója.) A tömör fekete sáv hossza a mérési eredmény középértékét mutatja, felső vége felett és alatt látható jelek a statisztikai hiba valószínű határait jelzik. Feltüntettük a csapadék mennyiségét is, az ábrán lefelé külön ordinátán, fehér sávokkal. Az ordináta a csapadékot mm-ben és a 200 cm<sup>2</sup> területről begyűjtött térfogatban mutatja.

A 2. ábrán feltűnően látható a csapadék radioaktivitásának bizonyos időszakokban, egy-két héten át mutatkozó szokatlan nagy értéke, míg általában az aktivitás igen kicsiny, a statisztikai hiba határain nem igen emelkedik felül. Egyes mérések negatív aktivitást is adtak, ami természetesen fizikailag abszurd. Ennek oka a statisztikai ingadozás, illetve az ebből eredő mérési hiba. Minthogy a mérési eredményeket elvi okokból nem akartuk sem szépíteni, sem kihagyni, e negatív értékeket is feltüntettük.

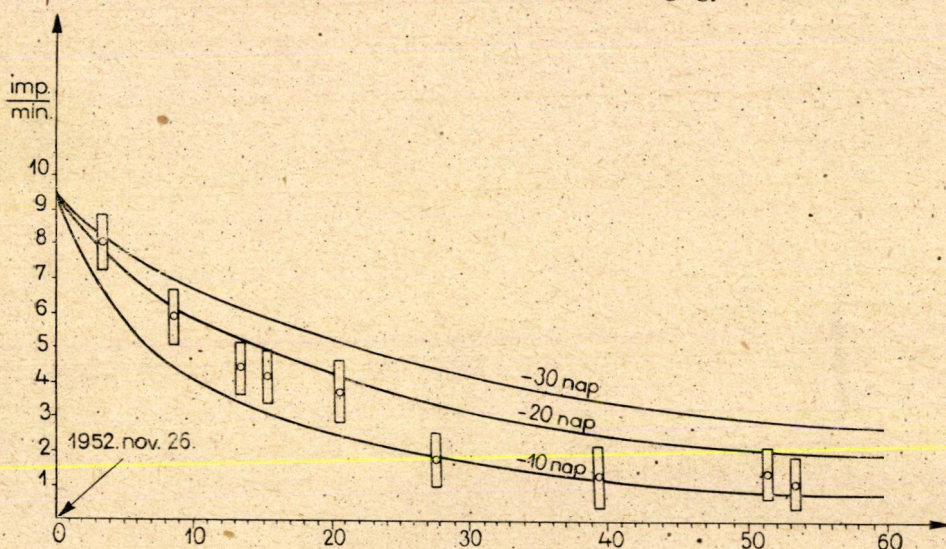
A 2. ábrából látható, hogy a lehullott csapadék mennyisége és a radioaktivitás között nincsen semmi összefüggés. Így pl. a május 5-én hullott igen kis csapadék kiugró nagy aktivitást mutat, míg az aug. 26-án esett nagy mennyiségű csapadék bepárolásával nem sikerült lényeges aktivitást kimutatni.

Az irodalomból összeállítottuk a vizsgált időszakban különböző helyeken robbantott kísérleti atombombák helyét és időpontját, amennyire ezeket közölték [5], [6] és a 2. ábrán szintén feltüntettük. Ha ezeket egybevetjük az ábrán látható szokatlan radioaktivitású időszakokkal, akkor a korreláció nem vonható kétségbe. A nevadai kísérleti bombák robbantása után jelentkezett az aktivitás. A fent említett megfigyelési időszak alatt egyetlen atombomba (a montebelloi) kivételével valamennyi közzétett bomba radioaktivitása jelentkezett és egyetlen olyan aktivitás sem jelentkezett, amelyet ne lehetett volna valamelyik kísérlethez rendelni. Az észlelések még határozottabb hozzárendelését zavarta egyrészt az, hogy 1952 tavaszán nagyszámú kísérleti bombát robbantottak Nevadában és így az aktivitások egymásba folynak, másrészt az, hogy az 1952. júl.—szept. időszak szokatlanul csapadékmentes volt, ami a megfigyeléseket ez időszakban megakadályozta. Egyes csapadékminták megvizsgálása aug.—szept.-ben technikai okokból elmaradt. Érdekes, hogy a Montebello-szigeti (Észak-Ausztrália) brit kísérleti robbantás aktivitása nem volt kimutatható. A rendelkezésre álló gyér közlésből [5] kiderül, hogy e bombát egy hajóban, tehát a tenger színén robbantották és a robbanás sok iszapot és vizet dobott fel, továbbá a robbanási felhő nem emelkedett fel a magas légrétegekbe, csupán kb. 3,6 km magasra. Valószínűnek látszik, hogy a hasadási termékek nagy része a vízben és iszapban maradt, továbbá a felhő kis magassága folytán a csapadékkal hamarosan a tengerbe jutott anélkül, hogy nagy távolságra szétszóródhatott volna. Az 1952. nov. 1-én a Marshall-szigeteken (Eniwetok közelében) robbantott bomba [6] aktivitása a debreceni csapadékban három hét múlva jól mérhető volt. E bomba, bár erre vonat-



kozólag hivatalos részletesebb hírközlés nem történt, a feltevések szerint hidrogénbomba volt [6]. A legkisebb atomsúlyú atomok szintéziséből nem kaphatunk hasadási termékeket, így a Debrecenben észlelt aktivitás a gyűjtáshoz használt hasadási láncreakció termékeiből eredhetett.

Annak ellenőrzésére, hogy valóban hasadási termékekről van szó, a legaktívabb csapadékok lebomlását hosszabb időn át megfigyeltük. A 3. ábra az



3. ábra. A november 26-án begyűjtött csapadék aktivitásának időbeli lebomlása. Abszcissza az idő napokban. Ordináta a  $\beta$ -sugár aktivitás önkényes egységeiben. A görbék az  $I(t) = I(1)t^{-1,2}$  empirikus formula által számított lebomlási görbéket ábrázolják 3 különböző paraméterben, azaz feltételezve, hogy a hasadás 10, 20, illetve 30 nappal az első észlelés előtt történt.

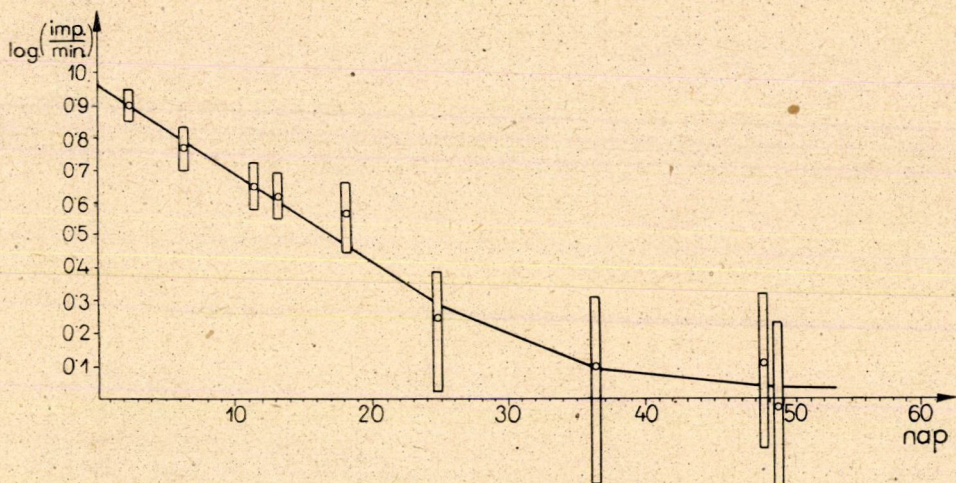
egyik ilyen lebomlási görbét, az 1952. nov. 26-án esett eső aktivitását mutatja az idő függvényében. Megfigyelhető a görbén, hogy az aktivitás eleinte gyorsabban, később lassabban csökken, kb. két hónapig megfigyelhető marad. Megállapítható az is, hogy nem egységes homogén radioaktív anyagról van szó, hanem különböző felezési idővel rendelkező anyagok keverékéről. A 4. ábrán logaritmikus ordinátán ábrázoltuk a 3. ábra mérési anyagát. Egnemű radioaktív anyagnak ilyen ábrázolásban egyenest kellene adnia. Látható, hogy inkább különböző hajlásszögű egyenesek egymásba átmenő sorozatáról van szó. Egy ilyen preparátum véges számú különböző felezési idejű, különböző kezdeti erősségű radioaktív anyag keveréke. A mérhető összes intenzitást elyben a következő formulával állíthatjuk elő:

$$(1) \quad I(t) = A_1 \cdot e^{-\lambda_1 t} + A_2 \cdot e^{-\lambda_2 t} + \dots + A_i \cdot e^{-\lambda_i t} + \dots + A_n \cdot e^{-\lambda_n t},$$

ahol  $I(t)$  mérhető különböző időpontokban. Ha a preparátum erőssége a pontos mérést lehetővé tenné, akkor  $2n$  számú méréssel az  $A_i$  és  $\lambda_i$  adatok



meghatározhatók lennének. Ilyen mérés gyakorlatilag már azért sem vihető keresztül, mert  $n$  ismeretlen, elég nagy szám, közel 200 körüli érték [9]. Különbösen sem volna sok jelentősége, mert a csapadékban már kémiai elkülönülés, frakcionálás lép fel, így pl. a bepárolásnál a gázállapotú hasadási termékek (pl. radioaktív krypton és xenon izotópok) elillannak, az igen rövid felezési idejük lebomlanak, stb., így a mérésre kerülő preparátumban a rob-



4. ábra. A november 26-án esett csapadék aktivitásának időbeli lebomlása. Abszcissza idő napokban, ordináta az aktivitás logaritmus.

banás pillanatában keletkezett sokféle terméknek csak egy része lehet jelen. További akadály a kis intenzitás, azaz a mérési hiba.

Sokkal érdekesebb lenne annak megállapítása, hogy mikor robbant az a bomba, amelyből a csapadék származott. Ezáltal a csapadék eredetét még megbízhatóbban megállapíthatnánk. Minthogy először a rövid felezési idejű termékek bomlanak le és azután sorrendben a többiek, elvben e kérdés közelítőleg eldönthető lenne, abból kiindulva, hogy milyen hosszú felezési idejük vannak még jelen a mért preparátumban. Természetes, hogy a fent már előbb felsorolt okok a pontosságot rontják. Az irodalomból ismeretes egy empirikusan megállapított ún. normálgörbe [8] és egy közelítő formula [7], amelyik a hasadási termékek teljes készletének időbeli lebomlását jó közelítésben állítja elő:

$$(2) \quad I(t) = I(1) \cdot t^{-1,2},$$

ahol  $I(t)$  a mért intenzitás a  $t$  időpontban,  $I(1)$  az intenzitás a  $t=1$  időpontban, bárhogyan legyen az idő egysége megválasztva.  $t=0$  időpont alatt a robbanás időpontja értendő. A formula  $t \geq 1$  időkre alkalmazható. A légköri csapadékból nyert preparátum lebomlási görbéjét elvben akár grafikusán, akár numerikusan illeszthetjük. E lehetőséget már N. Y. HOLTER és W. R.

GLASSCOCK [4] is felvetették, így itt az egyszerű elvi számítással nem foglalkozunk. Méréseinknél a csapadék kis aktivitásából eredő nagy statisztikai hiba a pontos illesztést lehetetlenné teszi. A 3. ábrán berajzoltuk a fenti (2) formula által megadott görbét, három különböző hasadási időpontot feltételezve, 10; 20 illetve 30 nappal az első mérés előtt. Az első mérési pontunk természetesen teljesen illeszkedik bármelyik paraméterhez, mert  $I(1)$  értékét ezen pont alapján számítottuk ki. Mint látjuk, a mérési hibák miatt a pontos időpont megállapítás alig lehetséges, de mégis a nov. 10 körüli időpont látszik legvalószínűbbnek, ami nem tér el túlságosan a nov. 1-én a Marshall-szigeteken történt robbantási kísérlettől, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy a mért preparátum már nem tartalmazza az összes hasadási terméket, míg a formula a teljes hasadási termék keverékre vonatkozik.

Amint a 2. ábrán látható, az aktivitás Debrecenben a robbanáshoz képest mindig fáziskéséssel jelentkezik, ami nyilván a nagy távolság és így a hasadási termékek szétszóródásához szükséges időtartam következménye. Érdekes ezt egybevetni az uralkodó szélsőségekkel (lásd a II. részt).

További érdekes kérdés a radioaktív anyag Debrecenben mért mennyiségét összehasonlítani a robbanáskor kapott radioaktív anyag összes mennyiségével. Ezen összehasonlítás támpontot adhat arra, hogy véletlenül ide sodródott, aránylag koncentrált atmoszférikus foszlányok radioaktivitását észleljük-e vagy pedig az egész Földgömb légkörében majdnem egyenletesen elosztott átlagos aktivitást. Itt természetesen csak a nagyságrend becslésére szorítkozunk. Az ombrométer  $1/50 \text{ m}^2$  területről gyűjti a csapadékot. Feltételezzük, hogy a csapadék egy ilyen terület felett levő légkör radioaktivitását, legalábbis nagyságrendben, lehozta (lásd a II. részt). Észleléseink szerint  $10^{-11}$  Curie nagyságrendű aktivitás gyűl össze. Egyenletes eloszlást tételezve fel a Föld egész légkörében, a Föld egész területére ( $5 \cdot 10^8 \text{ km}^2 = 5 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ ) kb.  $10^6$  Curie aktivitás esik. Minthogy egy atombomba robbanásakor az irodalmi adatok szerint [7] jóval nagyobb aktivitás szabadul fel (egy héttel a robbantás után még  $10^7$  Curie, egy hónappal utána  $2 \cdot 10^6$  Curie); úgy látszik, hogy az általunk észlelt aktivitás a légkör átlagos aktivitásának tekinthető, azaz hasonló érzékeny berendezéssel másutt is észlelhető lenne.

Az észlelhető aktivitás ( $10^{-11}$  Curie) elég csekély, aggodalomra akár biológiai hatása, akár ipari károkozás (pl. foto-ipar) vagy akár más tudományos vizsgálatok zavarása szempontjából nem ad semmi okot, mert több nagyságrenddel kisebb az e szempontokból számításba veendő aktivitásoknál.



## II.

## Az adatok meteorológiai kiértékelése

A meteorológiai kutatásnak egy mindig teljes tökéletességgel meg nem oldott problémája az általános légcirkuláció. Az atomrobbantások most lehetőséget nyújtanak arra, hogy ezt az eddigtilt eltérő eszközökkel vizsgálják meg. Az atomrobbantásoknak ilyen célú felhasználásáról találunk irodalmi utalást is H. LOSNITZER munkájában [13], aki azt javasolta, hogy a légtömegeket aktivitással lássák el és ennek nyomán kövessék azok útját. H. IZRAEL [14] pedig azt javasolta, hogy az aktivitási méréseket Geiger—Müller számláló berendezéssel végezzék.

Az általános légcirkulációnak a csapadékaktivitás útján történő meghatározása az ilyen vizsgálatoknak egy sajátos módja. Előnye a csapadék hozzáférhetősége, de ugyanebből származik a hátránya és egyben az eljárás gyöngye pontja, nevezetesen az a körülmény, hogy a csapadék nem folytonos, hanem időszakos elem. Nem figyelhető meg állandóan, mert megjelenése független az akaratunktól. Különösen korlátozott azonban ez a lehetőség akkor, ha csak egy helyről származó csapadékadatok aktivitását vizsgáljuk.

Mindenekelőtt azt kell tisztáznunk, hogy a leeső csapadék aktivitása honnan származik, és milyen természetű. A csapadék képződése tudvalevően az úgynevezett kondenzációs magok jelenlétéhez van kötve. Nyilvánvaló, hogy ezek a kondenzációs magok egyben a radioaktivitás hordozói is. Ezek vagy mint eredeti robbantási termékek kerültek arra a helyre, ahonnan kondenzáció folyamán leestek, vagy pedig a robbanás pillanatában a bomba egyéb szerkezeti anyagaiból, vagy a földről kerültek a magas rétegekbe a szerzett aktivitással. A kondenzációs magok nagysága általában 0,2—0,4 mikronig terjed. Az ilyen kis részecskék esési sebességét a Stokes-féle formula határozza meg, ami a következő:

$$r = 1,26 \cdot 10^{-6} r^2 [\text{cm sec}^{-1}],$$

ahol  $r$  a részecske sebessége,  $r$  annak átmérője, 0,4 mikronnyi átmérőt véve alapul. Az ilyen nagyságú részecske 1 nap alatt 1,73 m-t, 30 nap alatt 51,9 m-t esik lefelé. Ahhoz tehát, hogy a 10 km magasságból (az átlagos sztratoszféra magasság nálunk) a föld felületére lejusson, 200 napra van szüksége. A robbantások alkalmával a magasba került 0,4 mikronnyi, vagy annál kisebb átmérőjű részecskék tehát nagyon sokáig lebegnek az atmoszféra magas rétegeiben.

Az atmoszférába került idegen anyagokról más vonatkozásban is vannak adataink. Így pl. közismert, hogy a *Krakatoa* 1883. évi augusztusi kitérése alkalmával óriási tömegű szilárd anyag került a magas atmoszférába, amelynek tömege sok nagyságrenddel meghaladta az egy-egy atomrobbantásnál a levegőbe került anyagok mennyiségét. Ezen vulkáni kitérés után 3 év



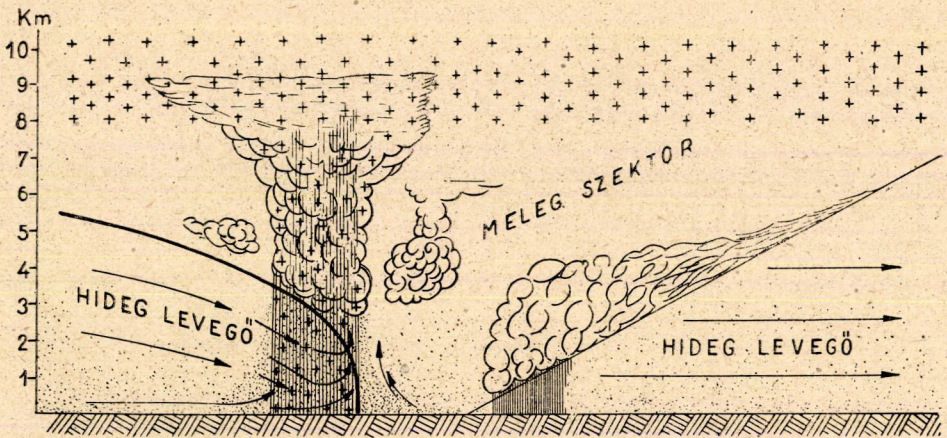
múlva is kimutatható volt a robbanási termékek jelenléte az atmoszférában. De más időjárási helyzetek alkalmával a nagy szélviharok fölkavarva a sivatagok porát, azt a tengeren és óceánon át szállítva több ezer km-re viszik. Így pl. a Szahara pora az Alpokban és még nagyobb távolságban rakódik le, s ilyen jelenségek úgyszólván évről évre megismétlődnek.

Nincs tehát semmi rendkívüli abban, hogy az atomrobbantások alkalmával a magas atmoszférába lövellt hasadási termékek eljussanak hozzánk. Mi ennek a folyamatnak az útja? A robbanás alkalmával az uránium-hasadási termékek följutnak egészen a sztratoszféráig, itt azután belekerülnek a magasléggkör 80—100 km óránkénti sebességgel mozgó nyugati légáramlásába, mely keleti irányban tovább szállítja őket, de közben a kicserélődés útján a továbbállítás irányától minden irányba a turbulencia útján szétszóródnak. A robbanás alkalmával attól függően, hogy azt a talaj közelében, vagy nagyobb magasságban robbantották, talaj- és vízrészecskék is fölkerülnek a magas légkörbe, amelyek a hasadási termékektől, vagy a neutron sugárzástól aktivitást nyertek. A dűrvább részecskék fokozatosan kiesnek a levegőből, míg a finom anyagok az előbb vázolt számításnak megfelelően igen sokáig lebegnek a magasban. A magasban lebegő aktivált részecskék a szállító légtömegekkel egyetemben részt vesznek az időjárási folyamatokban, s egy részük a frontcsapadékok nyomán lekerülhet a Földre. Az aktivitás a robbantás helyétől számított nagyobb távolságban csakis a magasabb rétegekben lehet hosszabb időn keresztül magas. Néhány nappal a robbantás után ezek a részecskék még többé-kevésbé zárt tömeget alkotnak, hosszabb idő múlva azonban szétszóródnak, úgyhogy mire az alacsonyabb rétegekbe jutnak, rendkívüli módon felhígulnak. Ebből az elgondolásból *következik, hogy csakis olyan csapadékképző folyamatnál számíthatunk jelentősebb aktivitásra, amelynél a csapadékképzésben résztvevő levegő magas légrétegekből, 6—8 km-nyi magasságból származik.* Ez az eset nyilvánvalóan a betörési frontokkal és az ezekkel kapcsolatban levő záporosókkal, zivatarokkal jár együtt.

C. H. JUNGE [15] kutatásai nyomán tudjuk, hogy az európai kontinens fölött a helyi eredetű szennyeződés csak mintegy 3 km magasságig terjed. Ez a szennyező anyag szintén lehet kondenzációs folyamatok megindítója, sőt arra is lehet számítani, hogy a betörési frontok nyomán a helyi szennyeződés följut azokba a nagy magasságokba, ahol a robbantások után bizonyos időpontban erős aktivitás van, és a csapadékkal az aktivitás egy részét lehozzák a talajra. A helyi eredetű szennyeződésnek ilyen szerepe azonban csak betörési frontokon lehet, míg a felsikló frontoknál, ahol a csapadékképzés folyamata a helyi eredetű szennyeződés magasságát alig múlja felül, ilyenre alig lehet számítani. E feltevés szerint az atmoszférában lebegő radioaktív szennyeződést záporok és betörési frontcsapadékok, amelyeknél a kondenzációs folyamatok nagy magasságba hatolnak fel, nagyobb mértékben hozzák le magukkal, mint a felsikló csapadékok.



Fel kell továbbá tételeznünk azt, hogy a nagy magasságokban lejátszódó csapadékképző folyamatokban a helyi eredetű és a robbantás helyéről származó szennyeződésen kívül bizonyos időjárási helyzetekben más eredetű szennyeződések is részt vehetnek. Erre különösen az úgynevezett  $V_0$  időjárási helyzeteknél lehet számítani.



5. ábra. A közismert Bjerknes-féle ciklon sémát ábrázolja a frontfelületeken keletkező csapadékkal egyetemben. A légkör alsó részén a szennyeződést pontokkal jelöltük, míg a 8–10 km magasságban levő aktivitást keresztekkel. A csapadék aktiválódásának folyamata a betörési fronton az ábrából leolvasható.

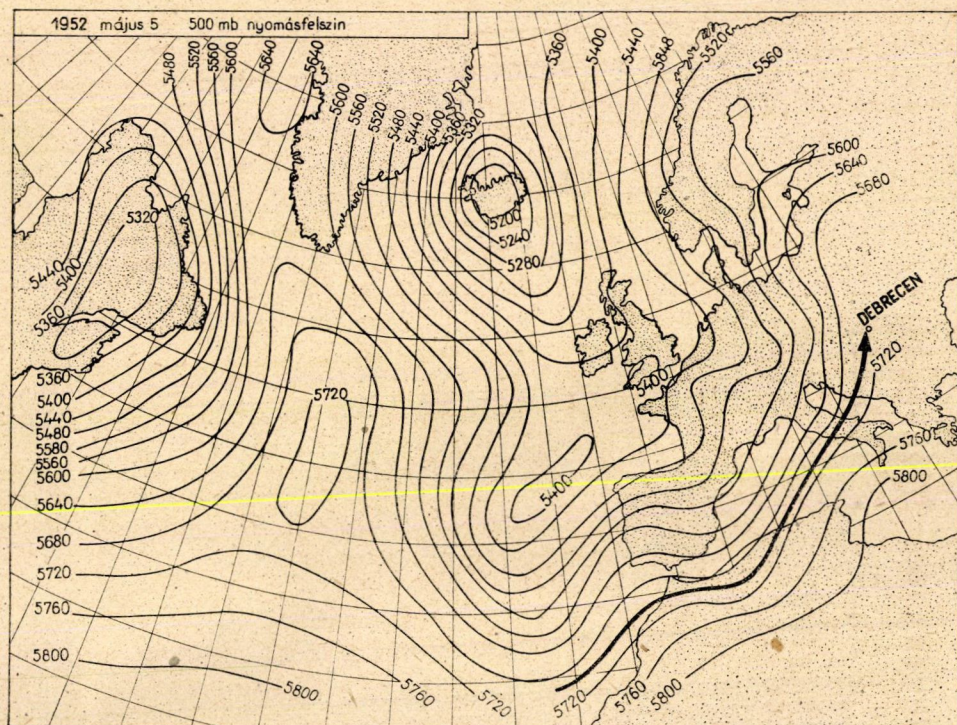
A robbanásnál a magaslégkörbe lövellt részecske útja az idézett mű [7] 438. o. által közölt képlet alapján pontosan kiszámítható. Mivel azonban a képlet alkalmazásához szükséges adatok nem állnak rendelkezésünkre, a kérdést más irányból próbáljuk megközelíteni. A nevadai sivatagban végzett robbantások helye Debrecentől kb. 10 ezer km-nyi távolságra van, 100 km-es óránkénti sebességet föltételezve, a részecskék 4,2 nap alatt jutnak el hozzánk, ha a legnagyobb kör mentén, a legrövidebb út mentén mozognak. Mivel a tényleges út ennél hosszabb, 5–6 napra tehető az az időköz, amikor a maximális aktivitás a Debrecen fölötti légtérbe ér. A május 1-i robbantás az 5-i csapadéokban jelentkezett és a részecske magassági útját Európa területén az 5-i, 5–6 km magasságot ábrázoló időjárási térképen megjelöltük (lásd a 6. ábrát); valószínűnek kell tartani, hogy nagyarányú aktivitásra a magaslégkörben csakis akkor számíthatunk, ha az aktivált részecskéket a sugáráram (jet-stream) hozza el hozzánk, ha azonban attól messze esünk, vagy a robbanási hely esett attól messze, akkor az aktivitás később fog jelentkezni és lényegesen kisebb lesz. Nem számíthatunk továbbá csapadékaktivitásra akkor sem, ha a robbanás földben, vagy vízben történt.

A második jelentősebb robbantás november elsején volt a Marshall-szigeteken. Ennek a helynek Debrecentől nyugati irányban mért távolsága



26 700 km. Minthogy az aktivitás nálunk 21 nap múlva jelentkezett, a továbbterjedés átlagsebessége 53 km/óra volt. Ez az adat egészen reálisnak vehető.

Az eddigi csapadékvizsgálati adatok nem nyújtanak még lehetőséget arra, hogy azokból a földi légcirkulációra vonatkozólag pontos következtetéseket vonjunk le. A Marshall-szigetek az egyenlítő közelében fekvő pont és



6. ábra. 1952. május 5-én a nyomás eloszlását ábrázolja, greenwichi időszámítás szerint hajnali 3 órakor, az 500 millibár felület izohipszái alapján. Azt az utat, amelyen az aktivált légtömeg Debrecen fölé érkezett, egy dupla vonallal jelölt nyíl mutatja. A görbe vonalakhoz írt számok geodinamikus méteket jelentenek.

a tény, hogy ennek a robbanásnak a termékei a debreceni csapadékokban jelentkeztek, azt bizonyítják, hogy az északi féltekéhez tartozó trópusi légtér a magas rétegekben egységes részt képvisel a magasabb szélességekkel. Ez tökéletesen egybehangzik az általános légcirkulációról alkotott újabb felfogásokkal. A régi felfogás szerint a trópusok tájáról származó aktivitásnak a szubtrópusokon kellett volna leszállania és nem juthatott volna hozzánk. A déli és az északi félteke kapcsolatára vonatkozóan azonban az eddigi adatok alapján véleményt nem alkothatunk, noha föltételezhető, hogy abban az esetben, hogyha a trópusok közötti front (a téli évszakban) a déli féltekén tartózkodik, és a robbantás helye ettől északra van, úgy a robbantási termékek eljut-



hatnak hozzánk, minthogy akkor az az északi félteke áramlási rendszerébe tartozik.

További probléma az aktivitás függőleges irányban való eloszlásának vizsgálata. Ez azonban csapadékvizsgálatokkal nem állapítható meg. Nem tudunk azonban még a különböző természetű frontális csapadékok aktivitásáról sem pozitív véleményt mondani, mivel sok esetben, nevezetesen az okkluziós frontok csapadékánál, a felsikló és a betörési csapadék a csapadékmérőből kivett esőben nem választható külön. Így az előbb közölt feltevésünk csak elmélet.

Az aktivitás vertikális eloszlása és a csapadékban jelentkező aktivitás nagysága érdekes volna, de csak repülőgéppel végzett anyaggyűjtéssel lehetne meghatározni. Valószínű azonban, hogy a csapadékon kívül is jutnak a földre radioaktív részecskék, ezek azonban a csapadékaktivitással nem határozhatók meg. Ennek részleteit lásd W. HERBST-nél [16].

A csapadékaktivitásokból is világosabb képet nyerhetünk akkor, ha a csapadékatokat nem egy helyről, hanem az ország több pontjáról gyűjtjük be, de természetesen tökéletes képünk a dologról csak akkor lehetne, ha azt nagy területre kiterjedően (legalább egy kontinensnyi nagyságban) szinoptikusan vizsgálnánk. Szükséges volna továbbá a bepárolt csapadékból visszamaradt anyag mikroszkópikus, ásványtani vizsgálata, mely azok eredetére vetne fényt. Célszerű volna a levegőben lebegő por radioaktivitását is rendszeresen vizsgálni, ami a csapadékviszonyoktól függetlenül, rendszeresen kivitelezhető lenne.

### Összefoglalás

A szerzők végablakos  $\beta$ -számlálócsöves Geiger—Müller számlálóberendezéssel vizsgálták a Debrecenben 1952. ápr. 22-től dec. 31-ig leesett esővíz radioaktivitását. Egyes időszakokban a csapadék radioaktivitást mutatott. A radioaktivitás a felezési idők alapján kétségtelenül atombombáktól eredő atomhasadási termékeknek bizonyult. Az anomális aktivitás pár napos késéssel időbeli korrelációban volt ugyanazon időszakban közzétett kísérleti atombomba robbantásokkal. Az aktivitás  $10^{-11}$  Curie nagyságrendű volt  $150\text{ m}^2$  területre esett csapadékban. Ezt a föld felületével egybevetve, az aktivitás inkább látszik az egész földlégkör, vagy az északi félteke átlagos, mint véletlenül ide sodródott légtömegek aktivitásának. A vizsgálatokból úgy látszik, hogy elég érzékeny számlálóberendezéssel egy atombomba hasadási termékei igen nagy távolságban kimutathatók. Szerzők nézete szerint nemzetközileg megszervezett ilyen megfigyelésekkel az atomrobbantásokkal, vagy más módon aktivitással ellátott légtömegekkel az általános légcirkulációt, a légtömegek mozgását, az északi és déli féltekék közötti kicserélődését, ezen az úton is tanulmányozhatnánk, s ezzel a meteorológia legaktuálisabb kérdéseinek megoldását segítenénk elő.

*Debrecen, Kísérleti Fizikai Intézet.*

*Debrecen, Meteorológiai Intézet.*



## IRODALOM

- [1] NORMAN J. HOLTER and WILFORD R. GLASSCOCK, Tracing Nuclear Explosions, *Nucleonics*, Vol 10, 10—13, 1952.
- [2] D. C. ROSE and J. KATZMAN, Radioactive Deposits Found at Ottawa. After the Atomic Explosions of January and February, 1951. *Canadian Journ. of Physics*, Vol 30, March 1952, Nr. 2, 111—116.
- [3] HUBERT GARRIGUE, *Comptes Rendus*, Tome 233, 1447, 1951.
- [4] HUBERT GARRIGUE, Sur la radioactivité anormale de l'atmosphère. *Comptes Rendus*, Tome 235, 1498—99, 1952.
- [5] *A. S. A. News*, Vol 2, January 1953, 151—153.
- [6] *A. S. A. News*, Vol 2, January 1953, 210—213.
- [7] *The Effects of Atomic Weapons*, 250—252, Mc Graw Hill Book Co, New-York, 1950.
- [8] H. F. HUNTER, N. E. BALLOU, *Nucleonics* 9, No 5, 1951.
- [9] *Rev. Mod. Physics*, Vol 8, 513, 1946.
- [10] *Bull. At. Sci.*, Vol VIII. 204, Nr 6, August 1952.
- [11] M. EISENBUD and J. H. HARLEY, Radioactive Dust from Nuclear Detonations, *Science*, Vol 117, 141, 1953.
- [12] W. W. MEINKE, Observations on Radioactive Snows at Ann-Arbor, Michigan, *Science*, Vol 113, 545, 1951.
- [13] H. LOSZNITZER, Die Bedeutung der Strahlungsmessmethoden für die Dynamik der Atmosphäre. *Ber. Dtsch. Wetterd. U. S. Zone*, Nr. 35, 76—79.
- [14] H. IZRAEL, Radioactivity of the atmosphere. *Compendium of Meteorology*, 1951, 157.
- [15] C. H. JUNGE, Austausch und grossräumige Vertikalverteilung von Luftbeimengungen. *Annalen der Meteorologie*, 1951, 7—9.
- [16] W. HERBST, Radioactive Isotope in der meteorologischen und angewandtmeteorologischen Forschung. *Annalen der Meteorologie*, 1952, 6.