

A meteorok titokzatos elektrofonikus hangjai

A rovat olvasói között bizonyára mindenki látott már meteort. Többen észlelhettek a Vénusz fényességénél, azaz mintegy -4 magnitúdónál is ragyogóbb tűzgömböket. Kevesebben lehetnek, akik megfigyeltek már hullócsillagzáport. Ők azok a szerencsések, akiknek részük volt valamelyik meteorraj kitörésében: látták a Leonidák valamelyik záporát 1998 és 2002 között, amikor az 55P/Tempel–Tuttle-üstökös áthaladt napközelpontján, vagy a Perseidák váratlan kitörését 1992-ben, amikor pedig a 109P/Swift–Tuttle haladt át perihéliumán. Tucatnyi meteormegfigyelő lehet, aki látta valamelyik kisebb meteoráramlat hirtelen megnövekedett aktivitását, mint például az Alfa Monocerotidák kitörését 1995-ben. Még kevesebben lehetnek azok, akik olyan fényes bolidát láttak, amelynek utólagos hanghatását észlelhetnék, hasonlóan a villámlást követő mennydörgéshez, amikor a hangsebességgel terjedő lökeshullámfront eléri a megfigyelőt, és a meteor felvillanását követő pár percen belül hangrobbanást hallhatunk.

Történelmi feljegyzéseket és számos beszámolót lehet felhozni annak bizonyítására, hogy a jelenség több ezer év óta ismert. Sumér, arab és kínai krónikákban is találkoztunk elektrofonikus hangok leírásával, azóta pedig számos, egymástól térben és időben távol lévő megfigyelő nagyon hasonló módon írta le a jelenséget. Ezek észleléséhez rendkívül nagy szerencse szükséges, Colin Keay professzort a téma kiemelkedő szakteknikáját idézve: „Optimista beclés szerint, ha egy személy az összes éjszakáját a szabadban töltené, akkor is csak egyszer hallana elektrofonikus meteorhangot.” Azonban ez idáig kimerítő tudományos magyarázatot nem tudunk rá adni, mivel a fény sebességével terjedő hatásról van szó, ugyanis ugyanakkor hallunk valamilyen hangot, mint amikor a roppant fényes meteort is megpillantjuk.

Sokáig kétségbe is vonták a jelenség valódiságát, azonban túl sok az egybeesés, egyezés a különböző beszámolók között. A fényes tűzgömbök meglehetősen ritkák, és a bolidáknak is csak egy része produkál elektrofonikus jelenséget. Az is igen érdekes, hogy nem minden tűzgömb, sőt még a lefutásukban, fényességmenetükben, légkörünkben befutott pályáivükben hasonló meteorok sem okoznak mindig elektrofonikus hangokat. Az egyik okoz, a másik hasonló meteor pedig nem.

Rendkívüli ritkasága miatt tudományos eljárásokkal igen nehezen tanulmányozható a hanghatás eredete, azonban az utóbbi évtizedekben több kísérlet is született, amely igazolja az elektrofonikus hangok valódiságát, valamint számos elméletet is kidolgoztak a szokatlan dolgok megmagyarázására. Ezen cikk keretein belül rövid áttekintést nyújtunk a jelenség történetéről, lehetséges magyarázatairól, és ismertetjük az első sikeres műszeres bizonyítást és ennek kísérleti körülményeit.

Sir Edmund Halley, a róla elnevezett híres üstökös pályájának meghatározója, az 1719. március 19-én feltűnt fényes tűzgömbbel egyidejűleg hallható sziszegő hangokról szóló beszámolókat a fantázia szüleményének tartotta.

A XX. században is számos példát találhatunk eseteleírásokra. Példának okáért megemlíthetjük az 1978. április 7-én Ausztráliából Új-Dél-Wales államból sokak által látott jelenséget, amely elektrofonikus hangokat okozott: az észlelők egy közeledő jármű vagy egy expresszvonat hangjához hasonlították a hallottakat.

Romig és Lamar 1963-ban kiválóan összegezte a jelenség megmagyarázására kiöltött számtalan addigi eredménytelen elméletet. Egészen 1980-ig kellett várni arra, hogy elfogadható, tudományosan megalapozott, azonban még nem teljes magyarázat szü-

lessen az elektrofonikus hangok eredetére. Colin Keay fizikailag elfogadható magyarázattal állt elő, amelyet a későbbiekben elméletileg V. A. Bronshten finomított. Eszerint a fényes tűzgömbök plazmacsővéjében a Föld mágneses erővonalai befogódnak és összegubancolódnak, amely nagyon alacsony frekvenciájú (1–10 kHz) rádióhullámokat, rövidítve ELF/VLF (Extremely Low és Very Low Frequency) hullámokat kelt. Ezek az elektromágneses hullámok a fény sebességével terjedve és az észlelő környezetébe érkezve, a környezetben lévő tárgyak hatására hallható hanghullámokká alakulnak. Az elektrofonikus hangokat két, jól megkülönböztethető csoportra oszthatjuk: az első csoportba tartozó hangok hosszan tartó recsegés, ropogás, pattogás formájában jelentkeznek és a roppant fényes és nagyon lassú tűzgömbökkel kapcsolatosak.

A második csoportba a rövid ideig tartó, pukkanó, kattanó, csattanó hangok tartoznak és a gyorsabb holidákkal hozhatóak összefüggésbe, habár ezek nem szükségszerűen annyira fényes tűzgömbök, mint a másik csoportba tartozó hangokat kiváltó meteorok. Az elmélet előfeltétele az, hogy a tűzgömb hatoljon bele a légköri turbulens áramlások tartományába (gyakorlatilag 20 kilométeres magasságba), ami azt jelenti, hogy a lassú, –12 magnitúdónál fényesebb tűzgömbök által keltett hangok megmagyarázására alkalmas. A második típusú elektrofonikus hangok magyarázatához Keay tovább finomította elméletét, amely szerint a VLF rádiókitörés a tűzgömb szétrobbanásakor keletkezik, így akár a –6 magnitúdónál halványabb tűzgömbök is képesek lehetnek elektrofonikus hangok létrehozására. Ezzel szemben Beech egy alternatív elméletet javasolt. Eszerint a teória szerint, amint a terjedő lökéshullám áthalad az ionizált plazmán, töltésszétválás történik, amely változó elektromos erőteret generál, így alacsony frekvenciájú elektromágneses sugárzást indukál. A hatvanas években több sikertelen próbálkozás is történt a meteorokkal összefüggésbe hozható mágneses mikropulzációk detektálására, de sajnos meggyőző

bizonyítékot nem találtak. Az első pozitív eredményt Watanabe és kutatótársai könyvelhették el 1988-ban, akik egy –6 magnitúdós Perseida-tűzgömbbel hoztak kapcsolatba egy kevesebb mint két tized másodpercig tartó alacsony frekvenciájú elektromágneses impulzust. És most térjünk rá a tíz évvel későbbi eseményekre!

1998 különleges év volt a meteorészlelők számára: a Leonidák viharos aktivitást produkáló komponense rendkívüli csaldóást okozott a megfigyelők számára, viszont az előrejelzettnél közel 17 órával korábban egy tűzgömbökben rendkívül gazdag háttérkomponens jelentkezett. Érdemes felidézni a látottakat a Meteor 1998. decemberi száma alapján: „[Gyarmati László]... Volt egy olyan pillanat, amikor a látóirányomban robbant egy –8 magnitúdós, azonnal utána egy másik –4-es, majd néhány másodperc múlva egy –2-es, és végül a hátam mögött szintén egy –8-as. [...] Hajnali 6-kor [...] már csak a Procyon és a Sirius látszott, de a Leonidák szünet nélkül hullottak. 20 másodperc alatt láttam 3 darab –4-esnél fényesebbet, gyakorlatilag a világos égbolton.”

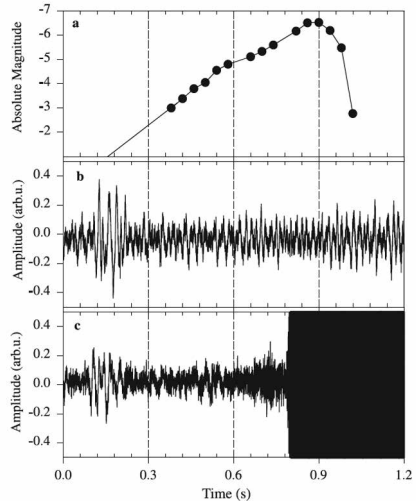
A híres novemberi meteorraj kitörésének megfigyelésére IMO-expedíció szerveződétt Mongóliába, amely többek között az elektrofonikus hangok mikrofonokkal és egyéb műszerekkel történő rögzítését is tervezte. 1998. november 17/18-a éjszakáján az elméleti számítások Kelet-Ázsiában különösen nagy Leonida meteorzáport jósoltak, így jó alkalom adódott, hogy behatóbban lehesen tanulmányozni az elektrofonikus hangokat. Mint említettük, a tűzgömbökben gazdag maximum korábban következett be. Megfigyelőhelyül a fővárostól, Ulánbátortól elég messze lévő kietlen sivatagos síkságot választotta a kutatócsoport, távol minden emberi tevékenységtől, elektromos vezeték-től és váltakozó árammal működő berendezéstől, így az ELF/VLF háttér, valamint a háttérzaj és a lehetséges interferencia minimális volt.

A –27 C-os hőmérséklet igen alacsony páratartalommal társult. Az égbolt állapota kiváló volt, a határmagnitúdót +6 magnitú-

dóra becsülték. Sem szél, sem egyéb időjárási tényező nem akadályozta az elektrofonikus hangok észlelését és rögzítését. Az észlelési elrendezésben szerepelt egy széles látószögű videokamera, két VLF vevőkészülék és két mikrofon. A két vevő egymástól 50 méterre, a vizuális észlelőhelytől pedig 30 méterre helyezkedett el. Egy akusztikusan szigetelt ún. elektret mikrofon, továbbiakban (elektrofonikus mikrofon) 20 méterre volt a megfigyelőktől, egy másik az észlelők közelében lévő közönséges elektret mikrofon, (továbbiakban nyitott csatorna) a megjegyzéseket és egyéb környezeti háttérzajokat rögzítette. Nagyon fontos volt a műszerek rendkívül pontos időbeli szinkronizálása, ezáltal vált lehetővé a meteoroktól eredő jelek elkülönítése a légköri egyéb zajoktól, zörejektől. Az észlelés alatt bármely időpontban legalább két észlelő végzett vizuális munkát, az égboltot tanulmányozva.

Habár a Leonidák nem mutattak viharos aktivitást, a meteorok többsége rendkívül fényes volt, egy éjszaka alatt annyi negatív fényrendű tűzgömb látszott, mint több év alatt a rajmentes időszakokban összesen. A kutatók három kritériumot állítottak fel a sikeres bizonyítás alapjául. Először is az elektrofonikus jeleknek szigorú időbeli egyezést kellett mutatni a vizuális és videós meteorészlelésekkel, másodszer a térben és akusztikailag elkülönített mikrofonoknak szimultán kellett detektálni a jelet, végül az elektrofonikus hangot legalább két fül-tanúnak is bizonyítania kellett. Így 1998. november 16/17-re virradóra két olyan elektrofonikus hangot is sikerült rögzíteni, amely megfelelt a fentebb említett követelményeknek. 19:33:12,1 UT-kor egy $-6,5$ magnitúdós Leonida-tűzgömb okozott a kutatóknak izgalmat. A meteor a keleti égbolton tűnt fel, a teljes pályaszakaszát rögzítette a videokamera: a pálya 54 fokos szöget zárt be a horizonttal és 55 fok magasságban húzódott. Két vizuális megfigyelő is látta a jövevényt, és egymástól függetlenül rövid ideig tartó csattanó hangról számoltak be, ami a meteorral egy időben volt hallható. A nyitott és az elektrofonikus csatornán közel azo-

nos időtartamú és spektrális eloszlású jelet detektáltak, amely $0,12 \pm 0,1$ másodpercig tartott, és $0,70 \pm 0,05$ másodperccel korábban jelentkezett, mint a meteor fényességi maximuma.

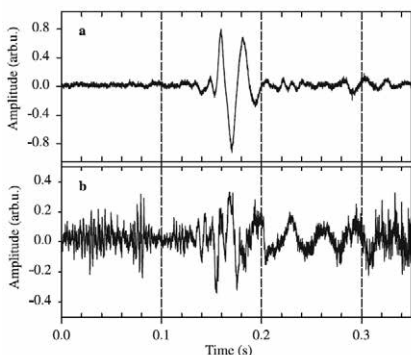


Egy $-6,5$ magnitúdós Leonida-tűzgömb műszerekkel rögzített adatai. a: a meteor videokamerával rögzített fényességgörbéje, b: az elektrofonikus csatornán, c: a nyitott csatornán rögzített jel. Ez utóbbin jól kivehető az észlelők által telítést okozó, a tűzgömb által kiváltott hangreakció.

Figyeljük meg, hogy az elektrofonikus hang a tűzgömb fényességének maximuma előtt jelentkezett. $0,0 \text{ s} = 19:33:12,0 \text{ UT } 1998. \text{ november } 16.$

ELF/VLF alacsony frekvenciájú jeleket viszont nem rögzítettek a műszerek, ami annak is betudható, hogy az 500 Hz alatti frekvenciákra érzéketlenek voltak. Az elektrofonikus jel a nyitott csatornán 75 dB, az elektrofonikus csatornán pedig 50 dB erősségű volt. Az éjszaka azonban még tartogatott meglepetést: 20 óra 28 perc 25,2 másodperc kor egy telehold fényességű Leonida-tűzgömb szelte át az északi égboltot, amelyet három meteormegfigyelő közvetlenül is észlelt, fényességét -12 magnitúdóra becsülték. Összesen hat észlelő számolt be erőteljes elektrofonikus hanghatásról, amely leginkább egy mély durranásra emlékeztetett. Mindkét csatorna szintén egymástól függet-

lenül rögzítette a jelet, amely $0,074 \pm 0,004$ másodperc időtartamú volt. Sajnos a videokamera látómezején kívülre esett a meteor roppályája, azonban az audiocsatorna felvette az észlelők reakcióit, és ebből közelítőleg kikövetkeztethető, hogy az elektrofonikus jel mintegy $0,6 \pm 0,3$ másodperccel korábban jelentkezett, mint a bolida legnagyobb fényességértéke.

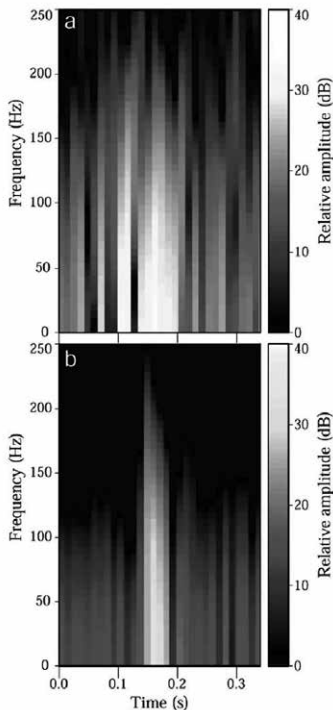


Egy -12 magnitúdós Leonida által keltett elektrofonikus hang rögzítése. **a:** az elektrofonikus csatornán, **b:** a nyitott csatornán rögzített jel. $0,0 \text{ s} = 20:28:25,0 \text{ UT } 1998. \text{ nov. } 16.$

Mivel mindkét jelenség teljesítette a kutatók által felállított követelményeket, ezért igen valószínű, hogy ezek voltak az elsőként, ilyen módon rögzített elektrofonikus hangok. Számos egyéb körülmény is megerősíti ezt: az észlelőhely Közép-Mongólia lakatlan részén helyezkedett el, mindenféle emberi és állati éjszakai aktivitástól mentesen. A kísérleti elrendezés gondos tervezése és kivitelezése biztosította, hogy kizárjon minden egyéb esetleges környezeti zajt.

A legutóbbi, tömeges elektrofonikus beszámolókat produkáló tűzgömb a híres oroszországi cseljabinszki esemény volt. 2013. február 15-én hajnalban 3 óra 20 másodperckor egy roppant fényes bolida hasította keresztül a pirkadati égboltot. Legnagyobb fényességékor $-27,3$ magnitúdót ért el, ami a Nap fényességével vetekedett, gyakorlatilag elvakította a szemtanúkat. Jól emlékezhetünk a korabeli beszámolókból a hangrobbanásra és arra, hogy a lökeshullám számos

sérüléssel okozott. Viszont kevésbé ismert, hogy számos esetben a szemtanúk egyidejű hanghatásokról is beszámoltak, amelyet a transzformátor bűgásához, a forró olaj sercegéséhez, sístergéshez, zizegéshez, szikrakisüléshez hasonlítottak.



A $-6,5$ magnitúdós (fent) és a $-12,5$ magnitúdós (lent) Leonida-tűzgömb által keltett elektrofonikus jel spektrális eloszlása. Mindkét eloszlás hasonlít egymásra: az alacsony frekvenciákon erősebb az intenzitás

Látható, hogy rendkívül érdekes jelenséggel van dolgunk, amit sajnos még tudományosan nem tudunk teljes körűen megmagyarázni, azonban egy valami biztos: egy elmélet még nem elégséges a tisztánlátáshoz. Ha észlelőink olyan fényes tűzgömböt látnak, amely elektrofonikus jelenséget is produkál, feltétlenül küldjenek beszámolót a rovat számára! Jó hallgatást!

Presits Péter