

Általános geofizika: a Föld körüli térség fizikája¹

BENCZE PÁL, VERŐ JÓZSEF²

A tanulmány az elmúlt 50 évben magyarországi, elsősorban geofizikai intézményekben végzett, a Föld körüli térségre vonatkozó kutatások legfontosabb eredményeinek összefoglalását tartalmazza. A tudományos kutatáshoz szükséges adatszolgáltatást végző obszervatóriumok (Nagyecsk, Tihany) ebben fontos szerepet játszottak. Újabban a Föld körüli térség fizikai folyamatainak tanulmányozása már nem nélkülözheti a mesterséges holdakon végzett méréseket sem. Ezek a kutatások nagyrészt az elmúlt 50 évben indultak el és a geomágneses tér változásai eredetének, a geomágneses tér által elfoglalt térrészben a magnetoszférában, valamint a felső légkör ionizált részében, az ionoszférában lejátszódó fizikai folyamatoknak a megismerésére irányultak.

P. BENCZE, J. VERŐ: Physics of the Earth: Physics of the Earth's environment

This paper is a review of results referring to the study of the Earth's environment obtained first of all in geophysical institutions in Hungary in the past fifty years. The observatories yielding data for research work play an important role in this respect (Nagyecsk, Tihany). Recently, investigation of physical processes of the Earth's environment cannot miss measurements carried out on board of satellites. Most of these investigations started during the last fifty years and are aimed at the knowledge of the origin of geomagnetic variations, at the knowledge of physical processes in the space occupied by the geomagnetic field, that is in the magnetosphere, as well as in the ionized part of the upper atmosphere, in the ionosphere.

A Nap–Föld fizika magyarországi kezdetei

Magyarországon éppúgy, mint más országokban, a Nap–Föld kapcsolatok megismerése a sarki fényből indult el. A Réthly–Berkés könyvben [RÉTHLY, BERKES 1963] közölt régi egylapos nyomtatványok meglehetősen széles körben váltak ismertté, közelmúltbeli tanulmányok is hivatkoznak rájuk, közlik ismét őket. A XVIII. század közepén a jezsuiták HELL Miksa kezdeményezésére már egyidejű észleléseket szerveztek Nagyszombat és Bécs között. Maga HELL pedig sok sarki fényt észlelt Észak-Norvégiába vezetett expedíciója alatt, és erről írt disszertációjával a koppenhágai egyetem első külföldi doktora lett. A budai csillagda a XIX. század első felében bekapcsolódott a Göttingeni Mágneses Társaság mágneses megfigyeléseibe is.

A XIX. század közepén az érdeklődés inkább a permanens mágnesre irányult. Magyarországon még osztrák szervezésben KREIL, majd SCHENZL Guidó végzett ilyen méréseket, az utóbbi grazi bencés szerzetesként jött hazánkba, a Meteorológiai Intézet igazgatója lett, könyve jelent meg a mérés módszeréről [SCHENZL 1884, SCHENZL, KRUSPÉR 1868].

A fordulatot a KONKOLY-THEGE Miklós által alapított ógyallai magánobszervatórium jelentette, amelyet később az államnak adományozott. Itt már korszerű műszerekkel végezték a megfigyeléseket, egy-két műszer ezek közül ma is létezik. A másik, akkoriban érdekes vonalat FRÖHLICH Izidor képviselte, aki egy-egy észak–déli és kelet–nyugati (Brassó és Sopron közötti) távírvonalon mérte a földi áramokat.

Az első, nemzetközi elismerést szerzett magyar kutató a geomágnesség terén ugyancsak meteorológus volt, a szerencsétlen sorsú STEINER Lajos. Az akkoriban geomágneses öbölnek nevezett szubviharok átlagos vektor-

diagramját szerkesztette meg a nap különböző időszakában, evvel elsőként utalt arra, hogy többé-kevésbé szabályos áramrendszernek kell megjelenie ilyen eseményekkel kapcsolatban. Erre a munkájára hivatkozik a nagy Chapman–Bartels monográfia is [CHAPMAN, BARTELS 1940], mint egyetlen magyar szerzőre.

Egyébként ez a monográfia még egy szempontból magyar vonatkozású: megjelenése már a II. világháború idejére esett, amikor az Angliában megjelent könyvet nem lehetett eljuttatni Németországba BARTELSnek. BARTA György akkor Dániában tanulmányozta a geomágneses obszervatórium működését, ott megvette a könyvet, s hazafelé jövet ő mutatta meg BARTELSnek, aki, mivel a háború vége előtt elhunyt, különben nem is láthatta volna.

BARTA Dániában szerzett ismeretei alapozták azután meg a geomágneses mérések újraindítását, először az ideiglenesen ismét magyarrá lett Ógyallán, majd a II. világháború után Budakeszin, illetve Tihanyban.

A budakeszi és a tihanyi obszervatórium

A második világháború után, mikor az ógyallai obszervatórium megint Csehszlovákiához került, Magyarország ismét mágneses obszervatórium nélkül maradt. BARTA György, aki lelkesen munkálkodott a mágneses alaphálózat újramérése érdekében, a redukciókhoz szükséges időbeli változást jellemző adatok regisztrálása céljából 1949-ben Budakeszin ideiglenes obszervatóriumot létesített, még az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet keretében. 1950. szeptember 1-én azután a földmágneses obszervatóriumi szolgálat átkerült az ELGI kötelekébe. Az új állandó obszervatórium helykijelölő méréseinek befejezése után, 1953-ban elkészültek az obszervatórium tervei, majd megkezdődött az építkezés. Az épületek felépítése és felszerelése után 1953. november 15-én megnyílt a Tihanyi Obszervatórium. A kezdeti időkben az időbeli változások regisztrálására és az abszolút mérések végzésére az Ógyalláról átmentett klasszikus műszereket használták. A

¹ Beérkezett: 2003. december 15-én

² MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9400 Sopron, Csatai E. u. 6–8.

regisztrátumok fotópapírra készültek, melyeket az obszervatórium személyzete naponta cserélt és hívott elő helyben. A regisztrátumok feldolgozása is kézi munkával történt, beleértve a bázismenet számolását, a napi maximumok és minimumok amplitúdójának és előfordulási idejének, illetve az óraátlagértékeknek a meghatározását. A megfigyelés eredményei a szintén kézi munkával előállított obszervatóriumi évkönyvben jelentek meg [A Tihanyi Obszervatórium évkönyvei 1955–1987].

Az obszervatórium létszáma általában 5–10 fő között mozgott, de a 70-es években egyszer a 16 főt is elérte. Igaz, ekkor a mágneses mérések mellett ionoszféra-magnetoszféra, meteorológiai, gravimetriai, paleomágneses, geotermikai és kőzetfizikai megfigyelések is folytak, és kisebb műszerfejlesztési tevékenység is volt. Később a munkatársak száma folyamatosan csökkent a mai háromra.

A technikai fejlődés, az első számítógépek megjelenése kézenfekvő lehetőséget kínált a mérések és a feldolgozási munka automatizálására. Kezdetben ez ugyan nem csökkentette a létszámigényt, csak megváltoztatta az emberek tevékenységét, de később már lehetővé tette ugyanazon munkák végzését kevesebb emberi munka felhasználásával.

Először 1969-től az évkönyvek készültek részben számítógép felhasználásával, majd 1970-től megindultak az első kísérletek a fotoregisztrálók kiváltására és elkezdett dolgozni az obszervatóriumban a SZEMERÉDI Pál által kifejlesztett protonrecessziós magnetométer is. Az első időben az automatizálás csak elektromos kimenetű variométerek és vonalírók használatát jelentette, de 1973-ban már elkészült az első digitális regisztráló, mely az adatokat lyukszalaglyukasztó segítségével rögzítette. Ekkor még a világpiacon ilyen berendezések nem voltak, és ha lettek volna is, a forint konvertibilitásának hiánya miatt elérhetetlenek voltak.

Sajnos a lyukszalagos regisztrálás nem csökkentette a kézi munkát, sőt néha még növelte is, mivel a perforátor gyakori hibázását sziszifuszi kézi munkával kellett javítani, így 1977-től már áttértek a kazettás magnóra, majd az igazi nagy változást az jelentette, amikor 1982-től már az időközben megjelent PC-k adatrögzítőjét, a flopit használták. Az első igazán kompakt műszer a Bobrov variométereket és beépített mikroprocesszort tartalmazó DIMARS (Digital Magnetic Recording System) volt, amely nagy feltűnést keltett az 1986-ban Kanadában megrendezett első IAGA Obszervatóriumi Munkatalálkozón. Későbbi változata Tihany mellett Nagycenken, a Szovjetunióban és Indiában is dolgozott, sőt az alibagi obszervatóriumban (India) még 1997-ben is üzemben volt. Jelentős mérföldkő a tihanyi obszervatórium történetében 1991. Ekkortól lett tagja az INTERMAGNET nemzetközi együttműködésnek, mely mára 38 ország 94 obszervatóriumának közös szervezete lett. Itt a résztvevőknek meghatározott szabványokat kell teljesíteniük, tehát a tagság egyben garantált színvonalat is jelent. Mi több, a követelmények a technika fejlődésével emelkednek, így aki tag akar maradni, folyamatosan fejlesztenie kell. Az egykori lassú, variációs fotoregisztrátum által biztosított körülbelül kétperces időbeli és egy nanoteszlás mágneses felbontás mára egy másodpercre és egytized nanoteszlára változott.

Tihanyban 1998-tól van internet elérhetőség, de csak 2003-ban sikerült megvalósítani a folyamatos kapcsolatot.

Lassú variációs adatok 1991-től előbb a Meteosaton keresztül jutottak óránként a nemzetközi adatközpontba, amit később az e-mail váltott fel, mára pedig real-time formában rendelkezésre állnak az interneten keresztül.

Bár időközben a politikai és gazdasági változások miatt már nem jelentett adminisztratív nehézséget a piacon esetleg megtalálható műszerek megvásárlása, az időközben felhalmozódott fejlesztési tapasztalatok indokoltá tették ezen tevékenység folytatását is és ehhez jól lehetett hasznosítani az obszervatórium még mindig meglehetősen jó, mágneses zavaroktól mentes elhelyezkedését. Egy 1993-ban indult magyar–amerikai közös projekt keretében elindult egy régebben publikált, de bizonyos kényelmetlen tulajdonságai miatt elfelejtett mérési módszer: a delta I – delta D (dIDD) adaptálása a modern technika eszközeire. Ekkor a KÖRMENDI Alpár által e célra matematikailag modellezett tekercsrendszer fizikai megvalósítása kezdődött meg, az ennek alkalmazásával létrehozott műszer ma már a tihanyi és a US Geological Survey által üzemeltetett kilenc obszervatórium mellett további öt ország tíznél több obszervatóriumában működik. 2001-re elkészült ennek egy újabb változata, egyelőre három példányban. Az ezekkel elért nagy bázisonal-stabilitás nem zárja ki, hogy a jövőben ez a műszer váljon uralkodóvá az obszervatóriumi, sőt egyes terepi alkalmazásokban is.

Az obszervatóriumban jelenleg öt különböző típusú regisztrálóműszer mér folyamatosan, ami a nagy adatbiztonság mellett érdekes eredményeket ad a különböző műszerek jellemzőinek pontosabb megismerésére.

Meg kell még említeni, hogy 1998-tól szintén egy magyar–amerikai együttműködéssel kezdődött téma keretében újraindult a mágneses pulzációk vizsgálata. Ennek elsődleges célja a pulzációk egy fajtája eredetének megállapítása. A munka jelenleg Tihany, Nagycenk, Farkasfa, illetve a szlovákiai hurbanovoi állomás adataira épül, de további állomások adatai is felhasználásra kerültek.

A geoelektromos módszer és az MTA soproni intézete

Az olajkutatás felől induló geo(elektro)mágneses mérések kiemelkedő alakja volt KÁNTÁS Károly professzor. Eleinte a geomágneses terepi mérések módszerével, mágneses hatószámítással foglalkozott, egyebek között így került Sopronba is, ahol megismerkedett TÁRCZY-HORNOCH professzorral. Az ismeretség révén szerzett magántanári képesítést Sopronban, majd ott megalapította a Geofizikai Tanszéket. Ez a geofizikus szak indításával, a Magyar Geofizikusok Egyesületének megalapításával esett időben össze. KÁNTÁSnak még az olajipari időkből jó kapcsolatai voltak Franciaországgal, a Schlumberger céggel, ennek révén szerzett be akkoriban újdonságnak számító tellurikus műszereket. Ezekkel a műszerekkel végezték az első hazai tellurikus kutatásokat is. A kutatások otthonául hozta létre az MTA *Geofizikai Kutatólaboratóriumát*, amely később az MTA *Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet* keretében folytatta működését.

Mivel a tellurikában elsősorban a geomágneses pulzációkat használják, ezek a mérések sok szempontból tágitották a pulzációkkal kapcsolatos ismereteinket is. Egyetlen példa szemléltesse ezt: KÁNTÁS barátja, a magyar származású,

Franciaországban élő KUNETZ Géza egyidejűleg hasonló pulzációkat észlelt Franciaországban, Venezuelában és Madagaszkáron. Ez azt bizonyította, hogy a pulzációk, pontosabban azok egy része globális jelenség. Az viszont már általános érvényű megfigyelés volt, hogy mintegy 20–40 km-es távolsáig a pulzációk összehasonlíthatók, vagyis a bázisállomás ilyen távolságra lehet a mozgó állomásoktól.

Érdekes eredmények születtek a KÁNTÁS által kezdeményezett kínai geoelektromos expedíció előkészítése során is. A bemutatóra kivitt műszerekkel Pekingben ÁDÁM Antal egyidejű méréseket végzett Sopronnal, s nemcsak a jelek egyidejűségét, hanem a periódusok hasonlóságát is kimutatta. Ez ismét a pulzációk globális jellegét bizonyította.

Mindezek az eredmények jelezték egy hazai földi áram-obszervatórium létesítésének szükségességét. Ekkor Tihany már működött, így elsődleges célnak a rövidebb periódusú geoelektromágneses jelek vizsgálatát tűzték ki, ez pedig az akkori technikai lehetőségek mellett a tellurikus áramok mérésével volt könnyebben megvalósítható. Kapóra jött az 1957–58-ra meghirdetett Nemzetközi Geofizikai Év, amelynek keretében a magyar részvétel egyik lényeges eleme éppen a Nagycenken létesített geofizikai obszervatórium lett.

A nagycenki Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium

Hosszas előkészítő munka, számos lehetséges helyszín alapos vizsgálata után esett a választás a Fertőboz melletti Kiscenki Fácánosnak nevezett dűlőre. Kézenfekvő volt, hogy az obszervatóriumot ne a közelebbi Fertőboz községről nevezzék el, hanem a SZÉCHENYI nevéhez kapcsolódó Nagycenkről, annak ellenére, hogy SZÉCHENYI nevét csak a rendszerváltás után vette fel az obszervatórium. Az építkezések 1956-ban kezdődtek, 1958-ban fejeződtek be (1. ábra). KÁNTÁS távozása után TÁRCZY-HORNOCH vette át a laboratórium vezetését, s a Geofizikai Év kezdetére, 1957 augusztusára meg is indultak a mérések.

Az elején a körülmények eléggé kezdetlegesek voltak, nem volt sem villanyhálózat, sem víz, akkumulátorok szolgáltatták az energiát. Kezdetben sok gondot okozott a kábelek gyakori szakadása vagy éppen átvágása, mígnem mélyebbre ásott, páncél burkolatú kábelekkel sikerült ezt a problémát megoldani. Igaz, a kábelt cserézés bizonyos mértékig módosította a változások, elsősorban a napi változás vektordiagramját — ennek oka a mai napig ismeretlen. Az elektródok 2 m mélységben, agyagágyban elhelyezett ólomlemezek, közel 50 év után is sértetlenek, viszont a Fertő felé lejtő lankás területen áramló víz nagy esőzések vagy gyors hóolvadás idején meglehetősen nagy természetes potenciált hoz létre. Szerencsére ilyen eset csak többévenként fordul elő. Gondot okozhat a villámcsapás is, a geomágneses obszervatóriumok legnagyobb ellensége, sőt bizonyos rejtélyes sztatikus feltöltődést is észleltek.

Természetesen a legtöbb gondot a mesterséges, ember okozta zavarok okozzák. Ezek egy részét maga az obszervatórium termeli, tapasztalatok szerint úgy, hogy a földelt nullán a talajba kerülő váltakozó áram egy ezredrészt sem éri el, mégis tönkretesz a regisztrátumokat.

Az idő múlásával az obszervatórium mérései egyre szélesebb körűek lettek. Elsősorban az 1961-ben megindult mágneses relatív és abszolút mérések jelentettek komoly előrelépést. Amikor a nyolcvanas években a GYSEV Győr–Sopron közötti vonalát villamosították, az addig nagyon alacsony zajszint megnőtt, elsősorban a rövid periódusú tartományban, emiatt az 1 Hz frekvencia körüli gyöngy-pulzációk mérését le is kellett állítani. Viszont a jelképes kártérítésből vásárolt műszerekkel sikerült elindítani a digitális regisztrálást és evvel az INTERMAGNET együttműködésbe is be tudtak kapcsolódni.

A Nagycenki Geofizikai Obszervatórium létesítésének az előkészületeinél is már egy, a földi elektromágneses tér tanulmányozására szolgáló obszervatórium létesítése volt a cél. Így az Obszervatórium műszerezése során a földi áram és a geomágneses tér időbeli változásai regisztrálásának megindítását követően sor került a légköri elektromos mérések megindítására is. Annak idején a földi elektromágneses térrel kapcsolatban az volt az elképzelés, hogy a geomágneses tér három X, Y, Z komponense és a geoelektromos térnek a földi áramok által képviselt vízszintes É–D és K–Ny-i összetevői mellett a légköri elektromos tér képezi a függőleges összetevőt. A légköri elektromosság tanulmányozása saját tervezésű és készítésű műszerekkel indulhatott meg még 1961-ben, illetve 1962-ben. A légköri elektromosság tanulmányozása a csúcskísülési áramok — mint a zivataros időszakokban fellépő, nagy elektromos térerőségekkel arányos paraméter, és az ún. „szépidő” időszakokban észlelhető elektromos térerősség regisztrálásával kezdődött. Ez a mérési tevékenység ma is folyik, így már mintegy 40 évre terjedő adatsor keletkezett. Közben kísérletek voltak a légköri elektromos áramkör másik jellemzőjének, a vertikális áramnak a regisztrálására is.

Hamarosan kiderült, hogy a légköri elektromos térerősség nem felel meg a földi áramok által képviselt geoelektromos tér függőleges összetevőjének, más eredetű. Így fordult a figyelem a geomágneses és a geoelektromos tér változásaihoz valóban kapcsolódó ionoszféra megfigyelése felé. Az ionoszféra megfigyelése Magyarországon az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Évet közvetlenül megelőző években kezdődött az Országos Meteorológiai Intézet pestlőrinci Aerológiai Obszervatóriumában FLÓRIÁN Endre kezdeményezésére. Ezt egy magyar gyártmányú ionoszféra-szondázó berendezés tette lehetővé. Ez a berendezés 1960-ban Budapestről Békéscsabára került. A párhuzamos kutatások elkerülése végett olyan döntés született, hogy a Meteorológiai Intézetben a felső ionoszféra, az MTA Geofizikai Kutatólaboratóriumában az alsó ionoszféra kutatásával foglalkoznak. Így az alsó ionoszféra tanulmányozására a Nagycenki Obszervatóriumban 1966-ban megindult a rádióhullámok ionoszférikus abszorpciójának a mérése. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál történt leépítések során az 1974-ben beszerzett ausztrál gyártmányú ionoszféra-szondázó berendezés 1992-ben a Nagycenki Obszervatóriumba került. 1993-ban elkezdődött a Schumann-rezonancia frekvenciák regisztrálása is, amely az első három módus amplitúdójának és frekvenciaváltozásának a meghatározására irányul (2. ábra).



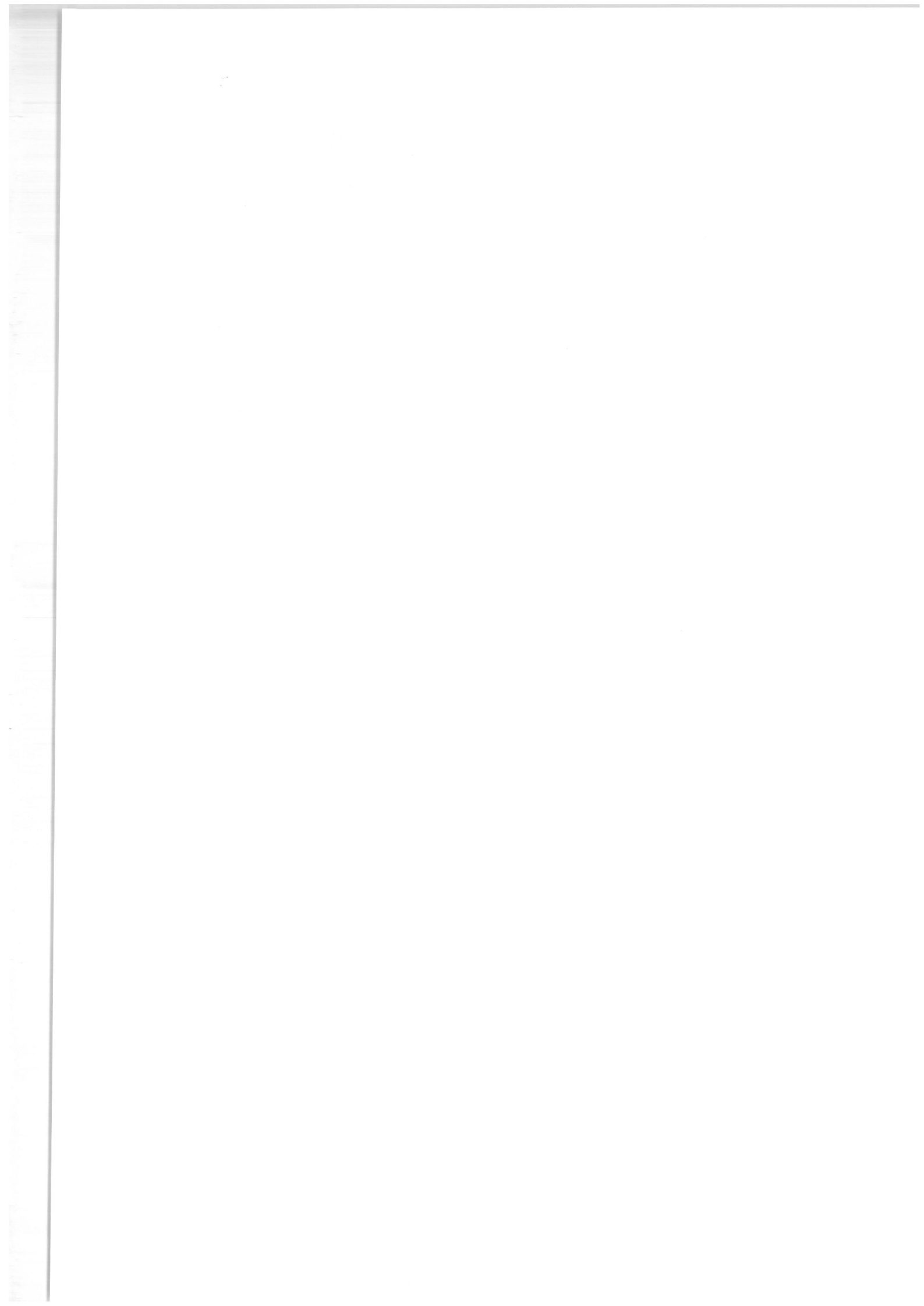
1. ábra. A nagyecenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban a geomágneses tér változásait regisztráló műszerek befogadására szolgáló épület

Fig. 1. Building for the housing of instruments recording variations of the geomagnetic field in the Széchenyi István Geophysical Observatory Nagycenk



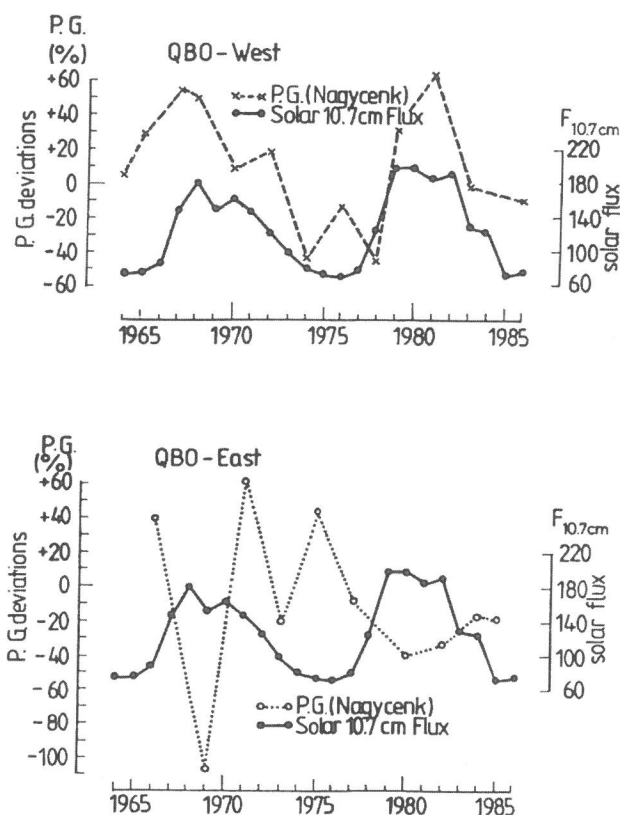
2. ábra. Gömbantenna a Schumann-rezonanciák vertikális elektromos komponensének a mérésére a Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban [SÁTORI et al. 1996]

Fig. 2. Ball antenna for the measurement of the vertical electric field component of Schumann resonances in Széchenyi István Geophysical Observatory [SÁTORI et al. 1996]



A légköri elektromosság tanulmányozása

A Nagycenki Observatóriumban az 1960-as évek elején megkezdett légköri elektromos mérések az első időszakban a légköri elektromos térerősség (potenciálgradiens) napi változásának a tanulmányozására összpontosultak. Ennek alapján megállapították, hogy az Observatórium, szárazföldi állomás volta ellenére, a potenciálgradiens viszonylag zavartalan mérését teszi lehetővé. Ez azt mutatta, hogy az ott regisztrált értékek elsősorban a téli hónapokban a globális légköri elektromos jelenségek vizsgálatára is alkalmassak. Így megfelelően kiválasztott és elegendően hosszú téli adatsor birtokában feltárták a légköri elektromos tér és a naptevékenység 11 éves ciklusa közötti kapcsolatot (3. ábra). Rövid periódusú (néhány napos) időskálán pedig kimutatták a légköri elektromos tér szignifikáns változását mind a napkitöréseket, mind a galaktikus kozmikus sugárzásban fellépő Forbush-csökkenéseket követően.



3. ábra. Felül: Téli (január és február havi) légköri elektromos potenciálgradiens eltérések (%-ban) Nagycenken (hajnali órákból vett minták alapján) az 1964–1986 időszak téli (január–február) átlagára vonatkoztatva a QBO nyugati fázisával jellemzett években (1964 és 1986 között), valamint a naptevékenység változását jelző 10,7 cm-es szoláris fluxus január és február havi átlagai ugyanezen időszakban. Alul: A fentiekkel megegyező paraméterek változása a QBO keleti fázisával jellemzett években [MÁRCZ 1990]

Fig. 3. Top: Late winter (January and February) atmospheric electric potential gradient deviations (in percents) from the long-term (1964–1986) January and February means for the years in the QBO west phase during the given interval (based on samples taken in dawn hours at the Nagycenk Observatory) as well as the averaged January–February 10.7 cm solar flux values characterizing solar activity over the same interval. Bottom: Changes of the same parameters as in the top panel but for years in the QBO east phase [MÁRCZ 1990]

A csúcskísülési áramok regisztrátumainak az elemzése útján a zivatarfelhők elektromos szerkezetének a meghatározása és ennek alapján annak statisztikai vizsgálata vált lehetővé. A csúcskísülési áramok által szállított negatív és pozitív töltések hányadosának 34 éves adatsorát elemezve a hányados folyamatos növekedését tapasztalták, ami a globális változással függhet össze.

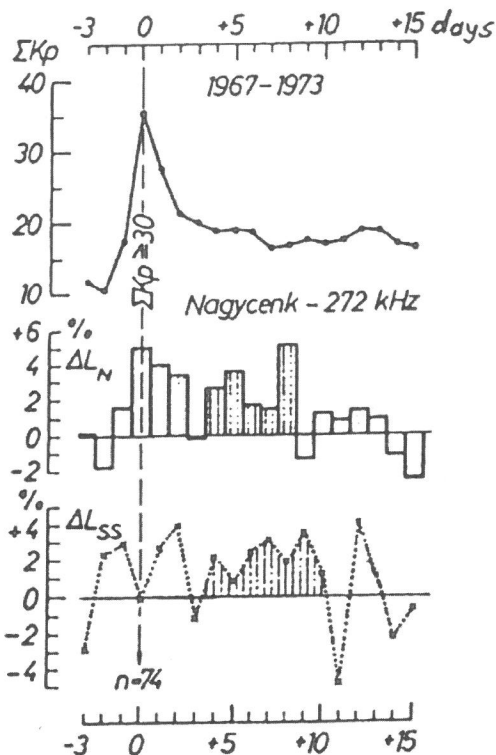
A Schumann-rezonanciák (SR) folyamatos mérésének a megindítása 1993-ban új lehetőségeket teremtett a globális zivartartévkénység, és ezáltal a globális éghajlati trendek tanulmányozására. Az SR amplitúdók érzékenyek a zivartartévkénység hőmérsékletfüggő változására, az SR frekvenciák függenek mind a zivatarforrás–észlelő távolságtól, mind a Föld-ionoszféra üregrezonátor ionoszférikus határfelületének a tulajdonságaitól. Az SR amplitúdókban kimutatták a féléves, kb. 1,5 °C-os trópusi hőmérsékletváltozás zivartartévkénységre gyakorolt hatását. SR frekvenciák változásából a globális zivartartévkénység meridionális átrendeződésére következtek a trópusi ENSO (El Nino Southern Oscillation) időskálán. Az SR frekvenciák 11 éves napciklussal összefüggő elhangolódását a szoláris röntgensugárzásnak az ezen az időskálán, az ionoszférikus határoló rétegben játszott domináns (több mint két nagyságrendű fluxusváltozás) szerepével magyarázták.

A felső légkör kutatása

Az ionoszféra a felső légkörnek az a mintegy 60 km magasságtól 1000–2000 km-ig terjedő része, ahol a szabad elektronok koncentrációja már elegendő ahhoz, hogy a rádióhullámok terjedését befolyásolja. Az ionoszféra keletkezése a Nap ionizáló elektromágneses és részecskesugárzásának a semleges felső légkörrel történő kölcsönhatására vezethető vissza. A mintegy 70 km-nél kisebb magasságokban már csak a nagy energiájú — > 100 MeV — galaktikus kozmikus sugárzás képes a légkört ionizálni.

Az alsó ionoszféra az ionoszférának a kb. 60 és 100 km közötti része. Mivel ahhoz, hogy a légkörbe ilyen „mélyre” hatolhasson be az ionizáló sugárzás, annak nagy áthatoló képességűnek, nagy energiájúnak kell lennie. Ilyen a Nap extrém ultraibolya (< 160 nm), illetve röntgensugárzása ($V < 10$ nm), valamint a primer galaktikus kozmikus sugárzás. Ezek hozzák létre az ionoszféra legalsó tartományát, a D tartományt. A kutatások során a D tartomány elektronsűrűségében fellépő anomáliákat tanulmányozták. Ezek a téli anomália és a geomágneses utóhatás. Az előbbi az ionizáló sugárzás intenzitása alapján várhatóan nagyobb elektronsűrűséggel jellemezhető, míg az utóbbi geomágneses szempontból zavart időszakban lép fel és az abszorpciónak a geomágneses háborgás lecsengési időszakában fellépő növekedésében nyilvánul meg. Megállapítást nyert, hogy a téli anomália déli határa a korábbi megállapításokkal szemben 50°-nál kisebb, 30°–35°-os szélességeig terjed. A téli anomáliának a szabálytalan, rövidebb időszakokra terjedő változásával kapcsolatban összefüggést állapítottak meg az ilyen időszakokban mért abszorpció növekedése és a könnyen ionizálható gázok (NO) függőleges transzportjának változása között. A geomágneses anomália részletes tanulmányozása azt mutatta, hogy egymás után akár három megnövekedett abszorpciójú időszak is követheti egymást a geomágneses háborgás maximuma utáni tizedik napig a sugárzási övezetekből történő, ismétlődő elektron-

precipitáció eredményeként (4. ábra). Az ún. sztratoszferikus felmelegedések idején az abszorpció növekedését tapasztalták, ami ugyancsak a könnyen ionizálható gázok függőleges transzportjának csökkenésével magyarázható.



4. ábra. Megfelelően kiválasztott, jelentős geomágneses háborgásokkal (felül) összefüggő változások a Nagycenken (272 kHz-en) mért ionoszférikus abszorpcióban az éjszakai órákban (középen) és napnyugtakor (alul), megkülönböztetéssel jelezve az abszorpció növekedésében fellépő 3 fázist [MÁRCZ 1986]

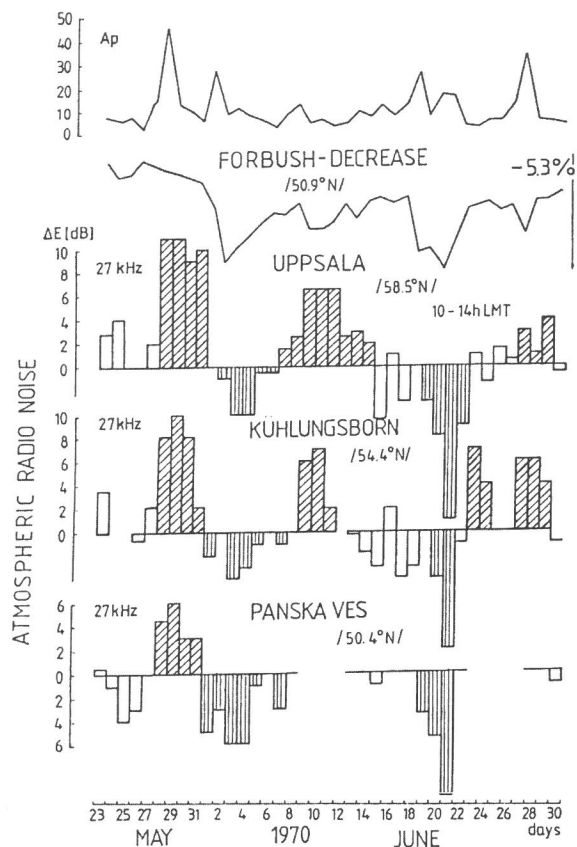
Fig. 4. Changes in ionospheric absorption (272 kHz) measured at Nagycenk both in night hours (middle panel) and at sunset (bottom panel) around appropriately selected important geomagnetic disturbances (top panel) by indicating the three phases of the absorption enhancement [MÁRCZ 1986]

A galaktikus kozmikus sugárzás geomágneses viharok idején mutatkozó intenzitáscsökkenéseinek (Forbush-csökkenés) vizsgálata azt mutatta, hogy az intenzitáscsökkenés által okozott abszorpcióscsökkenés jelentősen befolyásolhatja a geomágneses utóhatást képviselő abszorpciónövekedést, csökkentve annak nagyságát (5. ábra).

Módszert dolgoztak ki a turbulencia paramétereinek a meghatározására a 90–130 km közötti magasságtartományban az ionoszféra itt előforduló szporadikus E rétegének a jellemzői alapján. Meghatározták a turbulens diffúzió évszakos és napi változását, a levegőt alkotó gázok arányának állandósága által jellemzett és az összetevők molekulaszervi elválasztódásával jellemezhető része közötti határfelület, a turbopauza magasságának a változását, a felső légkör összetételében ezáltal előidézett változást (6. ábra).

Az 1975 és 1985 közötti időszakban részt vettek az INTERKOZMOSZ keretében végzett geofizikai rakétakísérletekben. A Vertikal 6, 7 és 10 geofizikai rakétákon elhelyezett fékező potenciálanalizátorok segítségével, melyeknek elektronikáját a KFKI Atomenergia Kutatóintézetének Űrelektronikai Csoportja készítette, meghatározták

az ionösszetételt és az ionhőmérsékletet mintegy 1500 km magasságig (7. ábra). Elsőként mutatták ki kísérletileg az esti órákban a plazmaszférából az ionoszféra felé történő plazmaáramlást.



5. ábra. Légköri rádió zaj szintváltozása 27 kHz-en különböző közepes szélességi obszervatóriumban Forbush csökkenésekkel kísért geomágnesesen háborgatott időszakban (1970. május-június) [SÁTORI 1991]

Fig. 5. The change of the atmospheric radio noise level at 27 kHz in different mid-latitude observatories during a geomagnetically disturbed period (May-June 1970) accompanied by Forbush decreases [SÁTORI 1991]

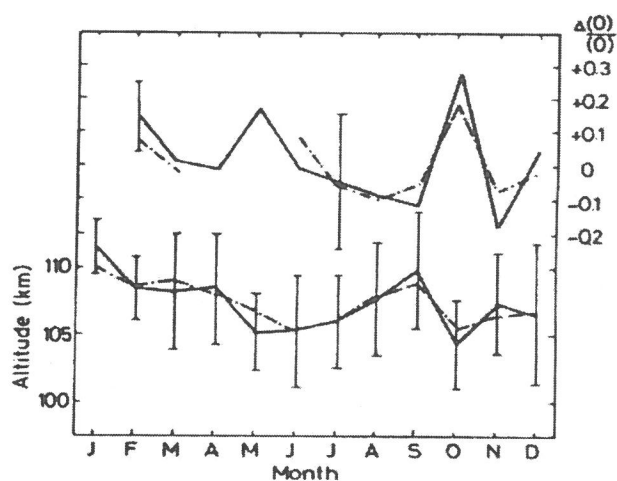
A semleges felső légkör kutatásában az MTA Csillagászati Kutatóintézet kutatóival együttműködve mesterséges holdakon (Castor, San Marco V) mért teljes sűrűség adatok geomágneses szempontból zavart időszakokban jelentkező változásait elemezve megállapították, hogy a sűrűség növekedés kis szélességeken az egyenlítői gyűrűáramból kiszóródó részecskék energialeadásával kapcsolatos fűtéssel hozható összefüggésbe. Ez a felső légkörben a sarkifényöv mellett egy második hőforrást jelentene.

Magnetoszféra-kutatás pulzációkkal

A nagycenki obszervatórium geoelektromágneses méréseinek alapján az elmúlt évtizedekben több eredmény született a geomágneses pulzációk, elsősorban a Pc3 (15–45 s periódusú) pulzációk vizsgálata nyomán.

Az obszervatórium létesítése idején még nagyon keveset tudtak ennek a jelenségnek a fizikájáról. Az ötvenes évek közepén ugyan DUNGEY kimutatta a ma erővonal menti rezonanciának nevezett folyamat létezését, de ennek az elméleti eredménynek tapasztalati alátámasztása alig-alig

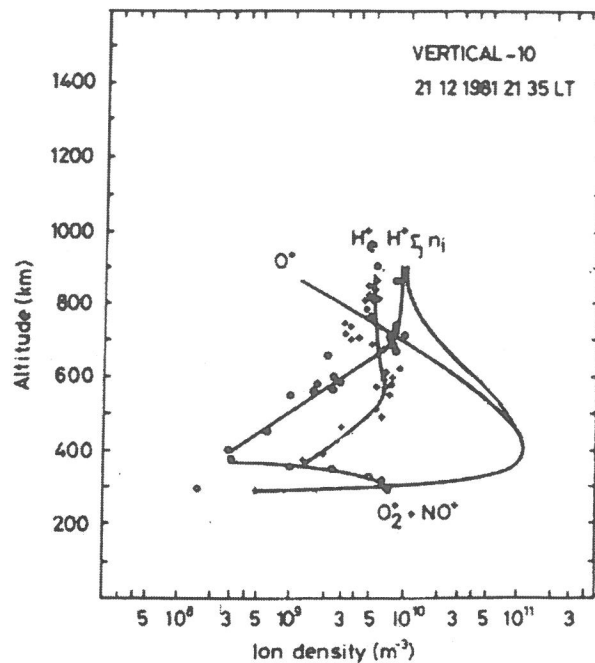
volt. Emellett az egész jelenség energiaforrása, sőt keletkezési helye is ismeretlen volt. Megfelelő adatok hiányában a pulzációk különböző típusainak szétválasztása, a morfológia tisztázása, továbbá a megjelenés változásainak (napszakos, évszakos, naptevékenységgel kapcsolatos változások) a meghatározása is nehézségekbe ütközött. Jellemző volt az a vita, amely az évszakos változást firtatta. Voltak, akik nyáron, mások napéjegyenlőség idején tapasztalták a pulzációk megjelenési gyakoriságának maximumát. A nagycentri adatokkal bizonyították, hogy a kétfajta éves változás megjelenése a naptevékenységtől függ: nagy naptevékenység idején és télen a pulzációk nagyon gyengén lépnek fel, viszont kis naptevékenység idején a maximum márciusra és szeptemberre esik. Ez a kérdés a mai napig sincs teljesen tisztázva, mivel az erővonalaknak nem az Egyenlítő síkjában való áthaladása körül megjelenő részecskesűrűség lehet az ok, tekintettel arra, hogy a két féltekén a saját tél időszakában van a legnagyobb „csillapítás”, emiatt az okot lejjebb, a plazmaszférában vagy az ionoszférában, annak F2 tartományában kell keresni.



6. ábra. Az oxigénatomok koncentrációjának évszakos változása a turbopauza magasságváltozása alapján (>110 km) [BENCZE 1987]

Fig. 6. Seasonal variation of the atomic oxygen concentration determined by the height change of the turbopause (>110 km) [BENCZE 1987]

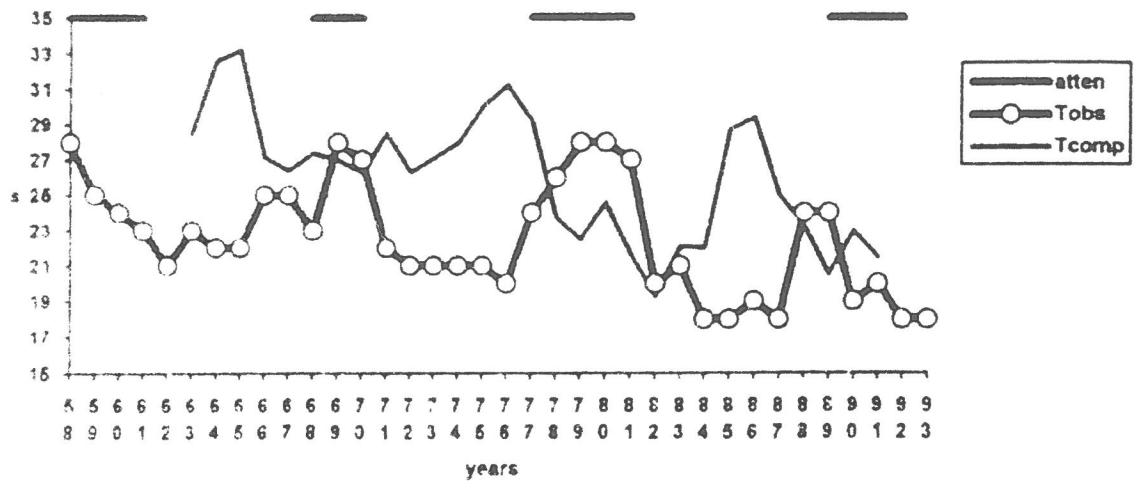
Egy másik régi keletű kérdés a Pc3 pulzációk periódusának a naptevékenységgel való változására vonatkozik. Már DUNGEY modelljében szerepel az erővonal menti részecskesűrűség, elsősorban az erővonal Egyenlítő közeli szakaszán, mivel ez szabja meg a hullám terjedési sebességét. Nagyobb részecskesűrűséghez kisebb sebesség, hosszabb periódus tartoznék. Viszont a nagy naptevékenységű években a rövid periódusú jelek gyakorisága nő meg a sokszorosára. Ezt az ellentmondást régi, az obszervatórium működésének első éveiből származó adatokkal úgy sikerült feloldani, hogy a rövid periódusú jelek egyszerűen nem ugyanahhoz a típushoz tartoznak, azok más eredetűek. Ha csak a legszabályosabb szinuszos jelket vesszük — ezek nagy valószínűséggel valóban erővonal menti rezonanciából származnak —, akkor a leghosszabb periódusokat éppen naptevékenységi maximum idején találjuk, még a rendkívül tevékeny 1957–58-as években is (8. ábra).



7. ábra. Az ionösszetétel változása a felső ionoszférában a Vertikál-10 geofizikai rakéta mérései alapján [BENCZE et al. 1985]

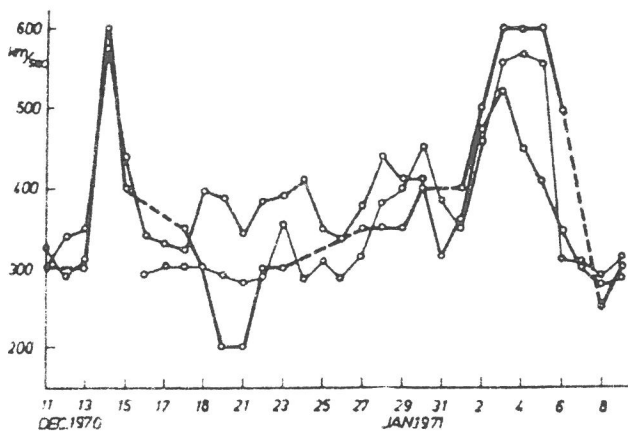
Fig. 7. Variation of the ion composition in the upper ionosphere on the basis of measurements on board of the geophysical rocket Vertical-10 [BENCZE et al. 1985]

A pulzációk eredetével kapcsolatos elképzelések akkor válhattak határozottabbakká, amikor megjelentek az első, a napszél paramétereire vonatkozó mérési eredmények a hatvanas évek elején. Az mindjárt kiderült, hogy a napszél sebességével van kapcsolat (9., 10. ábra). Az viszont már meglepőbb, hogy a periódus kapcsolatban állt a napszélbeli mágnes tér erősségével (11. ábra), a bolygóközi mágnes tér iránya pedig határozott kapcsolatban van a pulzációk amplitúdójával. Más lehetőség nem volt, a forrást a magnetoszférán kívül, a bolygóközi térben kell keresni. Ez azért volt meglepő, mert azt sem szabad elfelejteni, hogy a jelek periódusa az erővonal menti rezonancia miatt a geomágneses szélességgel, illetve az L értékkel (az erővonal dőfspontjának távolsága az Egyenlítő síkjában föld-sugárban kifejezve a Föld középpontjától) változik. Hosszú ideig tartó vita keletkezett, s ennek lezárását éppen a nagycentri adatok jelentették, amelyekkel kimutatták a bolygóközi mágnes térrel való kapcsolat valódiságát több éves, hatalmas adatmennyiség alapján. Bár még mindig vannak kételkedők, de más megoldás aligha lehetséges, minthogy két típus létezik a Pc3 pulzációkon belül: az egyik az erővonal menti rezonancia terméke, ennek periódusa változik az L értékkel, alakja pedig, éppen a rezonancia miatt, nagyon szabályos. A másik: az upstream hullámok, amelyek a bolygóközi térből a spektrum jelentős változása nélkül érkeznek a felszínre, így a jelek alakja általában kevésbé szabályos (12. ábra). További bonyodalmat jelent, hogy az erővonal menti rezonancia csak akkor léphet fel, ha a bolygóközi térből érkező jel spektruma tartalmazza az erővonal menti rezonancia periódusát is, vagyis ennek a típusnak a periódusa is függ az upstream hullámok periódusától, végső soron a bolygóközi tér paramétereitől.



8. ábra. A szabályos (FLR jellegű) pulzációk mért periódusa (Tobs), a bolygóközi mágnes tér (IMF) értéke alapján várt periódus (Tcomp) és a pulzációknak a nagy naptevékenység idején a nagy magnetoszférikus plazmasűrűség miatt megjelenő „téli csillapításának” (atten) időszakai 1957–1993 között. A periódus változását itt nem az IMF, hanem a magnetoszférikus plazmasűrűség szabja meg az FLR befolyásolása révén [VERŐ 1997]

Fig. 8. Observed periods of the regular (FLR-type) pulsations (Tobs), the expected periods on the basis of the IMF (Tcomp) and intervals of the “winter attenuation” of the pulsations during high solar activity due to high magnetospheric plasma densities (atten) in the interval 1957–1993. Period changes are here depending on plasma density (FLR is influenced) and not on IMF [VERŐ 1997]



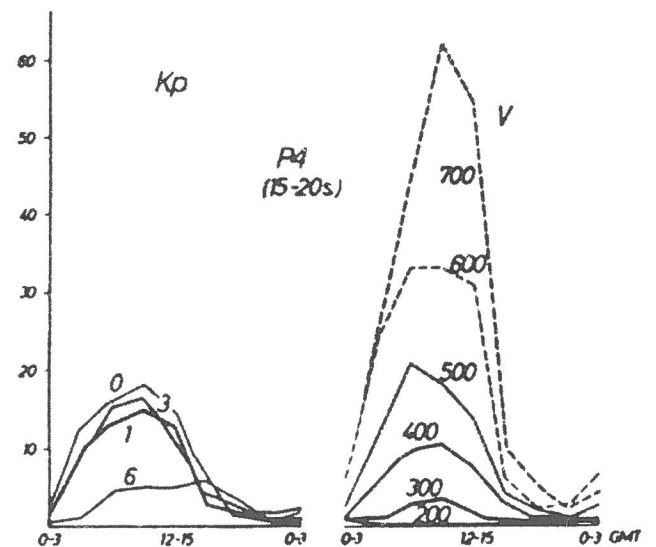
9. ábra. A napszél sebességének mért értékei (vastag vonal), a ΣKp geomágneses tevékenységi indexből meghatározott napszélsebesség (közepes vonal) és a pulzációk alapján meghatározott napszélsebesség (vékony vonal) 1970. december–1971. január hónapban. Az üres szakaszokon nem lehet az értéket meghatározni. A pontozott vonal interpolált értékeket jelent [VERŐ 1975]

Fig. 9. Measured values of solar wind velocity (heavy line), velocities computed from ΣKp (medium line), and from pulsation indices (thin line) in December 1970–January 1971. In empty sections no determination was possible. Dotted line means interpolation [VERŐ 1975]

Az erővonal menti rezonanciákat, a rezonáló erővonal-héjak vastagságát nemzetközi együttműködésben vizsgálták, és eredményül pl. a rezonáló héj vastagságára (a felszínen) a ma általánosan elfogadott mintegy 100 km-es értéket kapták.

Német kollégákkal együttműködve a magnetoszféra előtti térrészben megjelenő upstream hullámok felszínre való eljutását vizsgálták. 3–4 perccel (terjedési idő) a megjelenésük után a felszínen is megnőtt a tevékenység, ami

igazolta az ilyen hullámok bejutásának lehetőségét is (13. ábra).



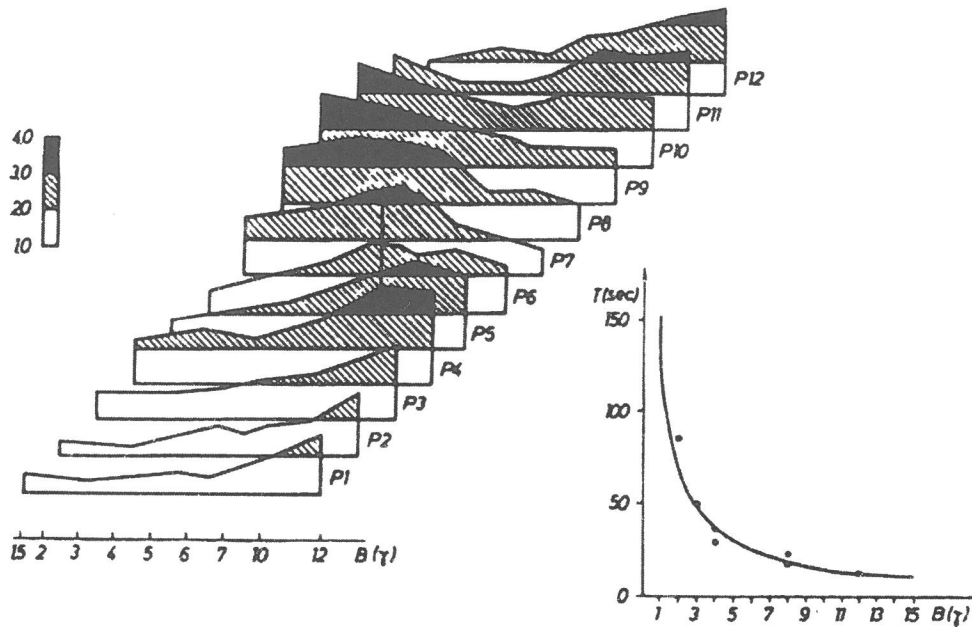
10. ábra. A P4 sáv amplitúdójának függése a geomágneses tevékenységtől (Kp), illetve a napszél sebességétől. Mindkét esetben az amplitúdók napi változását ábrázoltuk [VERŐ 1980]

Fig. 10. Dependence of the amplitude in the P4 range (15–20 s) from geomagnetic activity (Kp) and from solar wind velocity. In both cases diurnal variations are plotted [VERŐ 1980]

Végezetül ugyancsak hosszabb ideje folyó kutatások alapján arra a megállapításra jutottak, hogy többféle olyan jelenség, amelynek kialakulásában, terjedésében a geomágneses erővonalak menti szerkezeteknek van szerepük, sokszor együtt jelenik meg, illetve megjelenési gyakoriságuk között kapcsolat van. Ilyen jelenség az erővonal menti rezonancia mellett a gyöngy típusú pulzáció, vala-

pulzáció, valamint a whistlerek, amelyek ugyancsak erővonal menti csatornában terjednek. Nemcsak a megjelenési gyakoriságok között van kapcsolat, hanem a magnetoszféra azon tartományával (L-értéke), amelyben

ezek a jelek terjednek, is egybeesik. A magnetoszféra kedvező állapota azután több napig is fennmarad, így ezek a jelenségek bizonyos mértékig több napon át tartó kedvező időszakokra összpontosulnak.



11. ábra. A nagyeceni obszervatóriumban a pulzációs aktivitás jellemzésére használt periódussávok (P1 1–5 s, P2 5–10 s, P3 10–15 s, P4 15–20 s, P5 20–25 s, P6 25–30 s, P7 30–40 s, P8 40–60 s, P9 1–1,5 min, P10 1,5–2 min, P11 2–5 min, P12 5–10 min) tevékenységének függése a bolygóközi mágnes tér (IMF) térerősségétől. Jobbra lent pedig a pulzációk periódusa és az IMF térerőssége közötti, ebből levezetett összefüggés [VERŐ, HOLLÓ 1978]

Fig. 11. Connection between activities of the period ranges used at the Observatory Nagycenk for the characterization of the pulsations (P1 1–5 s, P2 5–10 s, P3 10–15 s, P4 15–20 s, P5 20–25 s, P6 25–30 s, P7 30–40 s, P8 40–60 s, P9 1–1,5 min, P10 1,5–2 min, P11 2–5 min, P12 5–10 min) and the intensity of the interplanetary magnetic field (IMF). Bottom right connection between IMF and pulsation periods as deduced from the previous [VERŐ, HOLLÓ 1978]

Űrfizikai mérések mesterséges holdakkal

Az ELTE Geofizikai Tanszék Űrkutató Csoportja 1967-ben jött létre a Műegyetem űrkutató csoportjából. Kezdetben SZEMERÉDY Pál és TARCSAI György VLF méréseket végzett Tihanyban. Induláskor az Űrkutatói Kormánybizottság, 1978-tól az MTA Interkozmosz Tanácsa, majd 1991-től a Magyar Űrkutatói Iroda támogatásával működik a csoport.

A csoport tevékenysége két területre terjed ki: egyrészt ELF-VLF jelekkel vizsgálják a felső légkört több föld-sugárnyi távolságig, másrészt űreszközökön is végeznek kísérleteket.

Eredményeik között alapvető jelentősége van a kis és közepes szélességeken terjedő whistlerek feldolgozására készült rutin módszernek, amelynek segítségével nagyszámú whistler elemzése, értelmezése válik lehetővé. Meg lehet határozni a magnetoszférikus plazma paramétereit, valamint a terjedés útvonalát. A whistlerek digitális feldolgozására készült eljárás a hiperfinom szerkezet kutatását teszi lehetővé, és lehetővé teszi a terjedési irány meghatározását is.

Az űreszközökön végzett kísérletek között az 1989–92 között repült Interkozmosz-24 vitte magával a SAS kísérlet műszerét, amely 0–22 kHz közötti sávban öt elektromágneses komponenszt mért és továbbított digitális alakban a földi állomásra. Sikeresen azonosítottak a jelek között whistlere-

ket, de előfordultak ismeretlen eredetű, „furcsá”-nak tűnő jelek is.

A tapasztalatok alapján jelenleg is több kísérlet előkészítése folyik, így a KOMPASZ-2, a VULKÁN sorozat, valamint a nemzetközi űrállomásra szánt OBSTANOVKA kísérlet. Ezek a kísérletek a hagyományos kettő-hatkomponensű elektromágneses ELF-VLF mérések mellett a földrengések előrejelzésének lehetőségét is hivatottak vizsgálni, keresve az ELF-VLF tartományban esetlegesen meglévő prekursorokat.

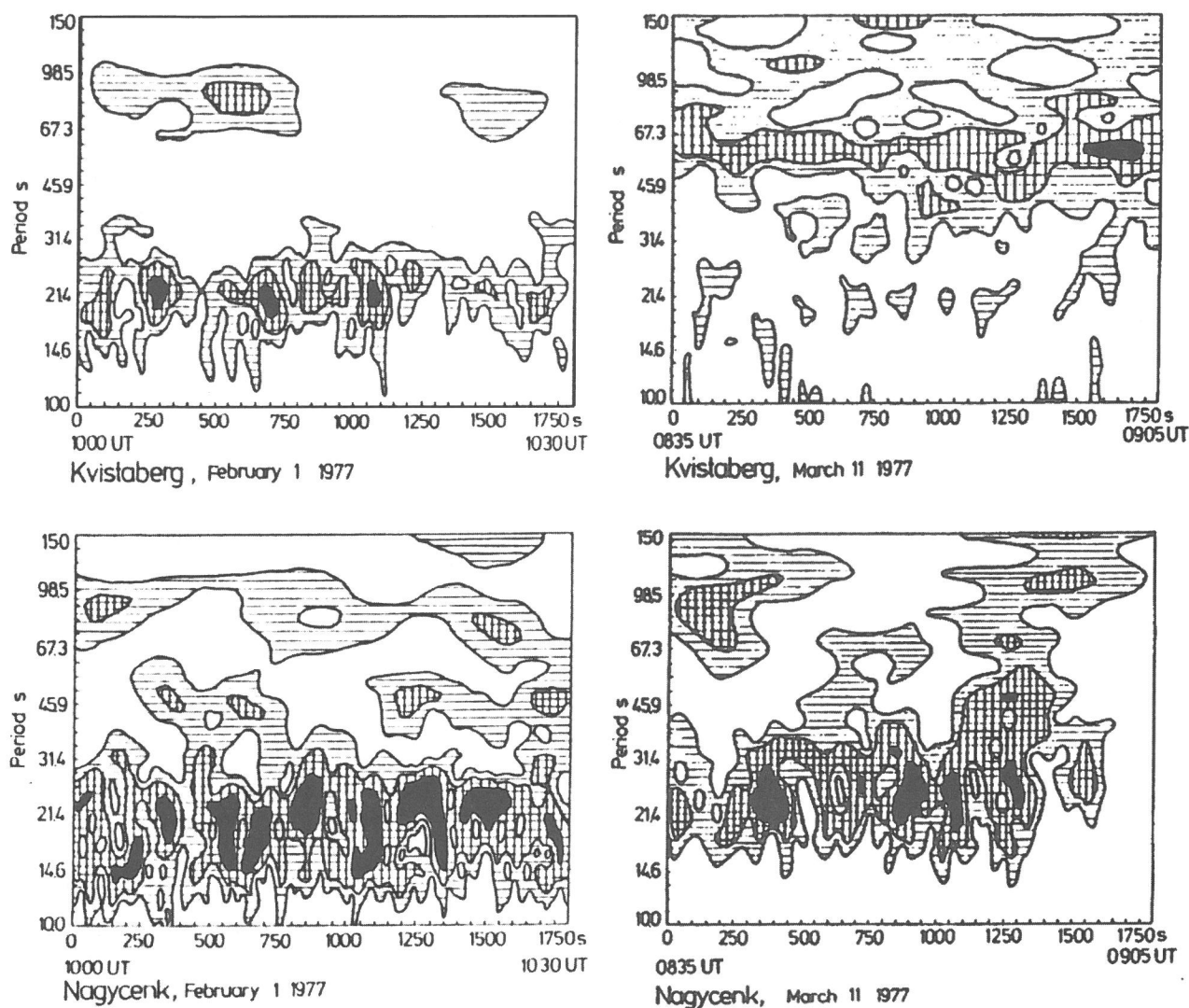
A fenti kísérleti vizsgálatokat elméleti kutatások támasztják alá, amelyek a Maxwell-egyenletek általános megoldása alapján a whistlerek terjedésének pontos leírására is alkalmasak.

Jelenleg is folyik egy automatikus whistler-felismerő rendszer építése, amely folyamatos üzemen lehetővé teszi az automatikus whistler-azonosítást.

Nemzetközi szempontból is kiemelkedő, de a geofizikához kevésbé kötődő űrkutatói tevékenység a Központi Fizikai Kutatóintézetben, majd az abból létrejött Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetben. Ennek a kutatásnak megindulása JÁNOSSY Lajos nevéhez kapcsolódik, aki Dublinból hazatérve játszott fontos szerepet már előzőleg is művelt szűkebb szakterületének, a kozmikus sugárzás vizsgálatának fejlesztésében. Ehhez a már meglévő, illetve akkor fejlesztett műszerek kellő alapot nyújtottak, évtizedeken át folyt a kozmikus sugárzás mérése. 1958-

ban indult el föld alatti laboratóriumban a mű-mezonok mérése SOMOGYI Antal vezetésével. Ez két és fél napcikluson keresztül működött, a világ egyik leghosszabb adatsorát szolgáltatva. Kiemelkedő eredménye a mágneses viharokkal kapcsolatban fellépő Forbush-csökkenés első észlelése a nagy energiájú kozmikus sugárzás-részecskék esetében. A 10 GeV-nél nagyobb energiájú

részecskék esetében a 27 napos kvázi-periódust is itt észlelték először. Bulgáriában, a Muszala-csúcson kiterjedt légitáporokat észleltek több mint 100 esetben. Itt mutatták ki a kozmikus sugárzás ezen részének 0,1%-os anizotrópiáját, a galaktikus eredet bizonyítékát. A hetvenes évek derekától fokozatosan átálltak az űrkutatásra.



12. ábra. Az 1977. február 1., 1000–1030 UT közötti upstream wave (UW) típusú esemény és az 1974. március 11., 0835–0905 közötti erővonal-rezonancia (FLR) típusú esemény dinamikus spektruma a svédországi Kvistabergben és Nagycenken, azonos geomágneses hosszúságon, de eltérő szélességen [Cz. MILETITS et al. 1988]. Az első esetben a periódusok megegyeznek, a másodikban erősen különböznek

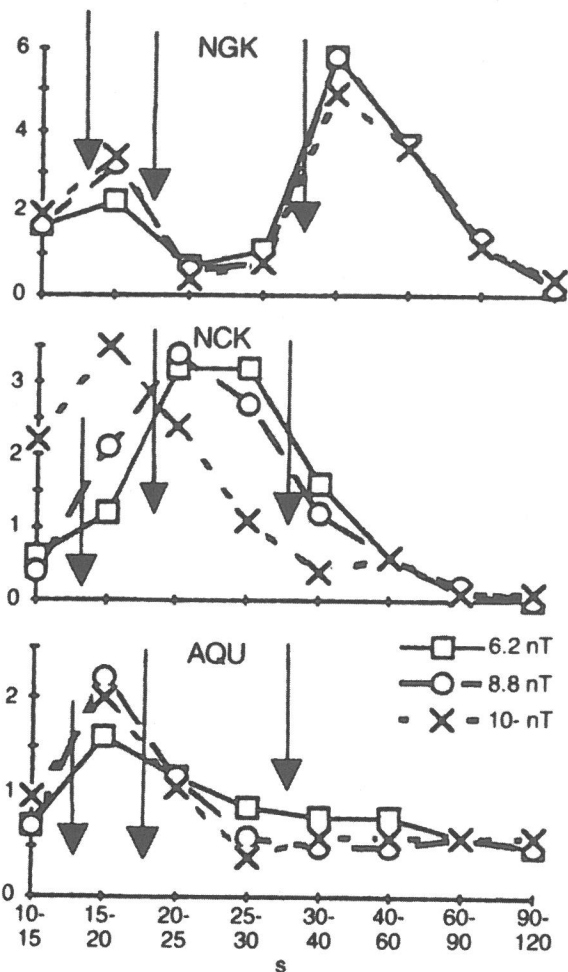
Fig. 12. Dynamic spectra of an upstream wave (UW) type event on 1 February 1977., 1000–1030 UT, and of a field line resonance (FLR) type event on 11 March 1974, 0835–0905 UT at the observatories Kvistaberg (Sweden) and at Nagycenk, at the same geomagnetic longitude, but at different latitudes [Cz. MILETITS et al. 1988]. Periods are similar in the first event, in the second they differ significantly

A témák a napszél és az égitestek közötti kölcsönhatásra, a Nap-Föld fizikára, valamint a földi magnetoszféra kutatására irányulnak. A tevékenység mind fedélzeti műszerek építését, mind a nyert adatok elméleti értelmezését magában foglalja. Első jelentős eredményük a Vénusz éjszakai magnetoszférájának magyarázata volt szovjet (INTERKOZMOSZ) szatelliták és a Pioneer-Venus-Orbiter adatai alapján. A legnagyobb és

legsikeresebb vállalkozásuk a VEGA (Venus-Halley) űreszköz műszereiből egyharmadnyi rész elkészítése volt, köztük az első olyan televíziós rendszeré, amely automatikusan az üstökös magjára irányult és közvetített valós idejű képeket.

1985-től széles nemzetközi együttműködésben dolgoztak a Mars Phobos holdjára küldött leszállóegység műszerein. Sajnos, ennek a kísérletnek csak a Mars plazma-

plazmakörnyezetére vonatkozó, de így is komoly eredményeket hozó része maradt meg a leszálláskor. Jelentős volt rész-vételük a szintén megsemmisült MARSZ-92 műszerezésében is.



13. ábra. Niemegek (NGK), Nagycenk (NCK) és L'Aquila (AQU) pulzációinak (gyakorisági) spektruma három különböző IMF esetén (az átlag 6,3, 8,8 és több mint 10 nT, a megfelelő várható pulzációs periódusokat nyilak jelzik 25, 15 és 10 s-nál). A napszél sebessége 300–500 km/s [VERŐ et al. 1995]

Fig. 13. Occurrence frequency spectra of pulsations at Niemegek (NGK), Nagycenk (NCK) and L'Aquila (AQU) at three different values of the IMF (averages 6.3, 8.8 and more than 10 nT, corresponding expected pulsation periods are indicated by arrows at 25, 15 and 10 s). Solar wind velocity is here 300–500 km/s [VERŐ et al. 1995]

1990-től vesznek részt az ESA, az európai űrkutatási szervezet Ulysses programjában, ennek során a Nap körüli térség mágnessterével kapcsolatban értek el új és váratlan, az elmélet módosítását megkövetelő eredményeket. Ugyancsak az ESA programja a CLUSTER, négy egyforma hold, amelyek adatai mind a magnetoszférikus plazma, mind a mágnes tér szerkezetére vonatkozóan szolgáltatott adatokat, így a nyitott és zárt erővonalak tartományának elhatárolása is sikerült. A NASA-ESA SOHO mesterséges bolygó a bolygóközi teret kutatta 1995-től, ebben a kis naptevékenység idején fellépő, csak kisebb energiákon észlelhető hirtelen intenzitás-növekedéseket vizsgálták, amelyek szoros kapcsolatban

vannak a geomágneses tevékenységgel is. 1997-ben magyar részvétellel indította a NASA a Cassini tudományos szondát, amelyről 2004-ben leszállást hajtanak végre a Szaturnusz Titán nevű holdjára. Eddig a mérési eredmények közül a Jupiter fejhullámának alapos vizsgálata nyújtotta a legjelentősebb eredményt. Folyik az ESA üstökös-kutató Rosetta szondájának műszerzése. A még tervezés alatt lévő sok közös űrprogram közül említendő a német-francia NetLander marskutató kísérlet, amelyben az RMKI-n kívül egy geomágneses szondázási kísérlettel a GGKI is részt kíván venni.

A kutatás mai helyzete

Az a fajta kutatás, amely Magyarországon az elmúlt 60 évben a Föld környezetének vizsgálata terén folyt, fokozatosan elvesztette — elveszti — jelentőségét. Ez megmutatkozik abban, hogy a különféle obszervatóriumok működésének fokozatosan technikai problémává válik, a meghatározó tényező nem a kutató ügyessége, „művészete”, ahogyan még a korszak kezdetén is volt. Másrészt üreszközök, illetve legalább adataik felhasználása nélkül ilyen kutatás ma lehetetlen. Ugyanakkor az elektromágneses zaj egyre fokozódó erőssége a fénytől a rádióhullámokon át a hosszú periódusú mágneses zavarokig (pl. elektromos hálózatról működő gépek, különféle, elektromágneses zajt kibocsátó létesítmények, mint villamosított vasútvonalak, csővezetékek korrózióvédelme és így tovább) a méréseket nagyon megnehezítik.

Magyarországon a kutatóknak eddig sikerült olyan területeket kiválasztaniuk, amelyekben adottságaink, pénzügyi lehetőségeink eredményes kutatást tettek lehetővé. Az egyes csoportok megtalálták a csatlakozási pontokat a nemzetközi programokhoz, az INTERMAGNET-től kezdve egészen a nemzetközi és nemzeti űrprogramokig. Emellett Magyarországon belül is kialakultak a csoportok közötti együttműködés formái, elsősorban a már 30 éve létező Ionoszféramagnetoszféra fizikai szemináriumoktól egészen az egyes csoportok közötti közvetlen együttműködésig, mint pl. az ELTE Űrkutató Csoportja által a nagycenki obszervatórium-ban létesített whistler-vevő rendszer. Evvel kapcsolatban nem szabad elfelejtenünk, hogy az ismert kutatásoknak csak egy része folyt „geofizikus” keretek között, részt vettek benne fizikusok, elektromos szakemberek, meteorológusok, csillagászok is, tehát széles szakmaközi együttműködés kialakítása ezen a területen is alapvető fontosságú. Hogy nem ok nélkül tartjuk mégis ezt a területet a geofizika részének, annak legmeggyőzőbb bizonyítéka a vezető folyóiratunk „Journal of Geophysical Research” címe.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az ELGI részéről HEGYMEGI Lászlónak, az ELTE Űrkutató Csoportjától LICHTENBERGER Jánosnak, az RMKI-től TÁTRALLYAY Mariellának, valamint GGKI-beli munkatársaiknak, MÁRCZ Ferencnek, SÁTORI Gabriellának, WESZTERGOM Vikornak, ZIEGER Bertalannak, akik a jelen összeállítás egyes részeihez szövegekkel, adatokkal járultak hozzá. Köszönetet mondanak az OTKA-nak és a magyar űrkutatás vezető szerveinek a kutatások folyamatos támogatásáért.

HIVATKOZÁSOK

- A Tihanyi Observatórium évkönyvei 1955–1987. Kiadó: Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
- BENCZE P. 1987: Turbulence and aeronomical processes in the lower thermosphere. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **22**, 1–2, 251–274
- BENCZE P., KOVÁCS K., SZEMEREY I., AFONIN V. V., BEZRUKIH V. V. 1985: Measurement of the plasma parameters in the ionosphere by night with retarding potential analyzers on board of the geophysical rocket Vertical-10, *Acta Geod. Geophys. et Montanist. Hung.* **20**, 1, 81–84
- CHAPMAN S., BARTELS J. 1940: *Geomagnetism. Vol. I. Geomagnetic and related phenomena. The International Series of Monographs on Physics.* R. H. FOWLER, P. KAPITZA, N. F. MOTT, E. C. BULLARD (Eds), Oxford, Clarendon Press
- CZ. MILETITS J., VERŐ J., STUART W. 1988: Dynamic spectra of pulsation events at L 1.9 and L 3.3. *J. Atm. Terr. Phys.* **50**, 649–656
- MÁRCZ F. 1986: Three phases of post-storm events in ionospheric absorption. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* **21**, 201–207
- MÁRCZ F. 1990: Atmospheric electricity and the 11-year solar cycle associated with QBO, *Ann. Geophysicae* **8**, 7–8, 525–530
- RÉTHLY A., BERKES Z. 1963: *Nordlichtbeobachtungen in Ungarn (1523–1960).* Akadémiai Kiadó, Budapest
- SÁTORI G. 1991: Combined ionospheric effect due to Forbush decreases and magnetospheric high energy particles at mid latitudes. *J. Atm. Terr. Phys.* **53**, 325–332
- SÁTORI G., SZENDRŐI J., VERŐ J. 1996: Monitoring Schumann resonances-I. Methodology. *J. Atm. Terr. Phys.* **58**, 1475–1481
- SCHENZL G. 1884: *Útmutatás földmágnességéi helymeghatározásokra.* Akadémiai Kiadó, Budapest
- SCHENZL G., KRUSPÉR I. 1868: *Magnetikai helymeghatározások Magyarországon 1866. és 1867. évben.* Budapest
- VERŐ J. 1975: Determination of the solar wind velocity from pulsation indices. *J. Atm. Terr. Phys.* **37**, 561–564
- VERŐ J. 1980: Geomagnetic pulsations and parameters of the interplanetary medium, *J. Atm. Terr. Phys.*, **42**, 371–380
- VERŐ J. 1997: Solved and unsolved problems of pulsation research 40 years ago and today. *Publ. Univ. Miskolc, Series A, Mining* **52**, 65–79
- VERŐ J., HOLLÓ L. 1978: Connections between interplanetary magnetic field and geomagnetic pulsations. *J. Atm. Terr. Phys.* **40**, 857–867
- VERŐ J., BEST I., VELLANTE M., LÜHR H., DE LAURETIS M., MÁRCZ F., STRETIK J. 1995: Relations of field line resonances and upstream waves and the winter attenuation of pulsations. *Ann. Geophysicae* **13**, 689–697