

A SZFÉRÁK ZENÉJE ÉS AZ ŰRIDŐJÁRÁS

Lichtenberger János Ferencz Csaba

az MTA doktora, egyetemi docens
lityi@sas.elte.hu

a műszaki tudományok doktora, egyetemi magántanár
csaba@sas.elte.hu

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék Űrkutató Csoport

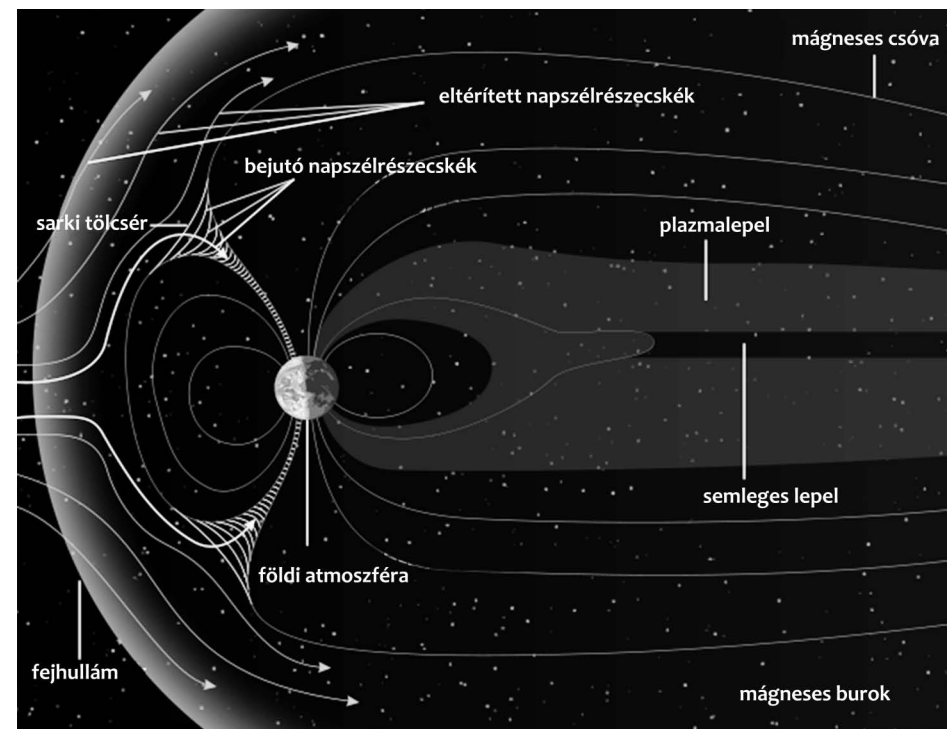
I. Bevezetés

Az ókorban és a középkorban a ptolemaioszi világszemlélet írta le, hogyan képzeltek el az univerzumot. E világszemlélet a legtökéletesebb formára, a gömbre épült. Az univerzum középpontjában a tökéletesen gömb alakú Föld állt, amit szférák, gömbhéjak vettek körül. Ezekben a szférákban mozogtak az álló Föld körül az égitestek, a Hold, a bolygók és Nap is. A legkülső szférán a csillagok, azon túl pedig a nem földi világ (mennyország) volt, ahol többek között az angyalok is éltek, és időnként földöntúli, csodálatos muzsikával és énekekkel örvendeztették meg az arra értemeseket. Ez volt a szférák zenéje.

Mai világképünk kevésbé költői, tudjuk, hogy nem a Föld a világegyetem középpontja, és csak a Hold kering körülötte, amivel együtt – a többi bolygóhoz hasonlóan – kering a Nap körül. De a szférákat nem kellett azért elfelednünk, a Föld körül valóban vannak szférák. A legelső szférát, amelyben élünk, és amely a légkör 99%-át magában foglalja, troposzférának nevezzük az itt zajló turbulens folyamatok miatt. Ez a 12–15 km magasságig nyúló tartomány, ahol az *időjárás*, azaz a légkör fizikai változásai (hőmérséklet, nyomás, szélsébség, csapadék) zajlanak.

A troposzféra fölött további szférák vannak, amelyek – bár egyre csekélyebb mértékben – de még semleges gázokat tartalmaznak (sztratoszféra, mezoszféra). Sokkal izgalmasabb azonban az e fölött lévő szférák sokasága, ezek ugyanis már nem semleges gázokból, hanem elsősorban elektromosan töltött részecskékből, *plazmából* állnak. Plazmával a földön ritkán találkozunk, bár plazma van a tűz lángjában, az energiatakarékos „izzók” fénycsövében, a régi, katódsugárcsöves tévékben, monitorokban és a részecskegyorsítóknál. A világegyetemben a plazma a leggyakoribb anyagforma, az anyag több mint 99%-a plazmaállapotban van – ezért gyakran a plazmát az anyag negyedik halmazállapotának is nevezik.

A legelső, legsűrűbb réteget *ionoszférának* nevezzük, és 80–100 km-től 1000 km-ig terjed. Az e fölötti rész a *magnetoszféra*, melynek a külső határa a Nap irányában 10 föld-sugár, ellenkező irányban akár 1000 föld-sugár is lehet (1. ábra). A nevét azért kapta, mert az itt lévő, rendkívül ritka plazma fizikai folyamataiban a földi mágneses tér játssza az egyik főszerepet. A Napnak, ami valójában egy izzó, folyamatosan párologó gázgömb, szintén van mágneses tere. A felszínéről elpárolgó, táguló anyag, ami szintén plazmaállapotú, a fizika



1. ábra • A magnetoszféra szerkezete

törvényei szerint magával ragadja a Nap mágneses terét – ez a napszél. A napszél a benne lévő mágneses térrel együtt folyamatosan beleütközik a földi magnetoszférába, és bezárja azt egy üregbe. Azt szokták mondani, aki burokban születik, az szerencsés ember. Az egész emberiség burokban született: a magnetoszféra burkában – és valóban szerencsés, amint ezt a következőkben meglátjuk.

A Nap ugyanis nemcsak jó és hasznos dolgokat (fény, meleg) küld nekünk, hanem időnként hatalmas energiájú anyagot (plazma) és káros (röntgen-, gamma-) sugárzást is kibocsát, ezeket nap- és koronakitöréseknek nevezzük. Ha a Földnek nem lenne magnetoszférája, a koronakitörések plazmabuboréka elérné a Föld felszínét, és elpusztítaná a szerves életet. Szerencsénkre a külső magneto-

szférát elérő mágnesezett plazma nem tud behatolni a földi magnetoszférába, az arra kényszeríti, hogy eltérüljön. Tehát valóban szerencse fia vagyunk, a burok megvéd bennünket és a teljes bioszférát is. A Napból érkező nagyenergiájú részecskék egy része a Nappal ellentétes oldalon be tud jutni a magnetoszférába, és létrehozza a *sugárzási öveget*. A plazmabuborék és a magnetoszféra kölcsönhatása pedig mágnesestér-változásokat, *mágneses viharokat* okoz.

Tehát mivel a magnetoszférában zajló folyamatok fő mozgatója elsősorban a Napból érkező energia, így a földi időjárás elnevezés analógiájára a felsőlégrében lejajló folyamatokat *űridőjárásnak* (*space weather*) nevezzük. Az űridőjárás hatásai nem korlátozódnak e tartományokra, hanem megje-

lennek a felszínen és a semleges felsőlégkörben is, és így közvetlenül vagy közvetve befolyásolják a bioszférában lezajló eseményeket és a társadalmi-gazdasági életet is.

Ezért az utóbbi 10–15 évben az űrfizika-űrkutatás egyik fő területévé az űridőjárás kutatások váltak, ugyanis napjainkra civilizációnk „űrtevékenység-függővé” vált. Szinte láthatatlanul, mindennapi életünk részévé váltak a műholdak és azok szolgáltatásai, melyekből jelenleg mintegy 3500(!) kering a Föld körül: telekommunikáció – TV, internet, (mobil)-telefon; navigáció (GPS, GLO-NASS, GALILEO); távérzékelés (mezőgazdaság, környezetvédelem, természeti katasztrófák monitorozása). Annyira igaz ez, hogy nem is a szolgáltatás létét, hanem esetleges hiányát, zavarát vesszük már csak észre. Az űridőjárás fő hajtómotorja a Nap és kisebb részben a galaktikus kozmikus sugárzás. Az űridőjárás változásainak hatása a Föld felsőlégkörében főleg az emberalkotta eszközöket (műholdakat) érinti, a sugárzási övekben keletkező és onnan kicsapódó nagy (sokszor relativisztikus) energiájú töltött részecskék – ionok, elektronok – képesek a műholdakat időlegesen vagy véglegesen megbénítani, és ezzel – a műhold cseréjének dollár tíz- vagy százmillió (!) költségén túlmenően, – társadalmi, gazdasági károkat okozni, esetenként emberéleteket veszélyeztetni (például mágneses viharok alatt mind a mágneses, mind a GPS-alapú navigáció megbénulhat, ami a polgári és a katonai légiközlekedésben egyaránt komoly veszélyforrást jelent).

Az űridőjárás folyamatok azonban nem csak az űrtevékenységre (műholdak) vannak hatással, hanem a bioszférára, az élőlényekre is: a napciklusok, mágneses viharok hatással vannak az élő szervezetekre, például balesetek, fertőző betegségek gyakoriságára. A felsőlég-

körből a semleges légkörbe az űridőjárás folyamatokból becsatoló energia hatással van a földi időjárásra is. A mágneses tér változásai által keltett ionoszférikus áramok pedig zavarokat okozhatnak a villamosenergia-átviteli rendszerekben, az elektrokémiai korrózió útján pedig a különböző csővezetékben is.

Ahhoz, hogy képesek legyünk ezeket az űridőjárás hatásokat *modellezni* vagy *előre jelezni*, le kell írunk a felsőlégkörben végbe menő folyamatokat.

Nemcsak a szférák maradtak meg a régi idők világképéből, hanem a szférák zenéje is – igaz, a mai idők zenéjét nem angyalok keltik, de a sugárzási övekben keletkező *kórusok* megtévesztésig hasonlítanak egy madárcsapat csicsérgésére, a belső magnetoszférában terjedő, földi villámok által keltett jelek, amelyeket *whistlereknek* nevezünk, pedig mélyülő füttyökként hallatszanak. Mindkét „zene” fontos szerepet játszik az űridőjárás kutatásokban.

2. A magnetoszféra és tartományai: ahol az űridőjárás folyamatok zajlanak

A magnetoszférában a plazmából több fajta is jelen van, és a mágneses tér jelenléte olyan részecskemozgásokat és hullámjelenségeket ír elő a plazmában, amelyek semleges anyag esetében nem léteznek. Az űridőjárás ezért e három „szereplő”, a mágneses tér, a töltött részecskék és az elektromágneses hullámok változásainak, kölcsönhatásainak összessége.

2.1 Társbérletek a magnetoszférában: I. a plazmaszféra és a whistlerek

A plazmaszféra a magnetoszféra belső, tórusz alakú tartománya, amelyet hideg, kis energiájú – 1 eV – de relatíve nagy sűrűségű – 100–10 000/cm³ – plazma tölt ki. Ez a plazma főleg egyszerűen ionizált gázokat (H, He, N, O) tartalmaz. Alsó határa az ionoszféra teteje (~1000 km),

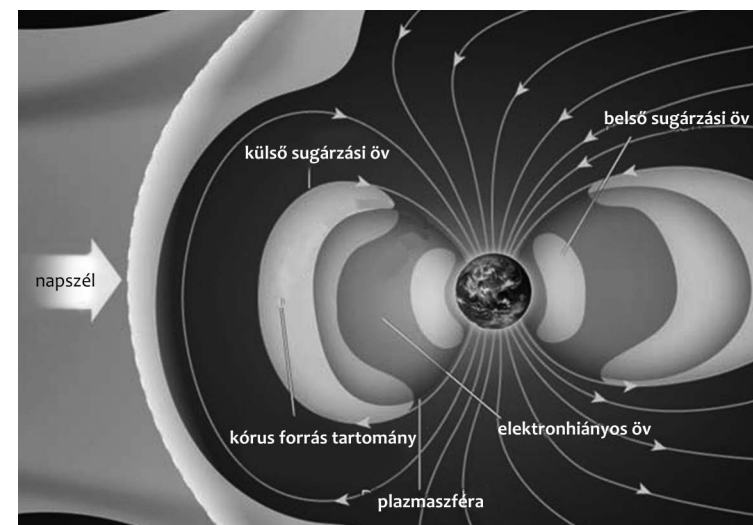
felső határa nyugodt mágneses időszakokban négy-öt földugár távolságban helyezkedik el. (2. ábra). A plazmaszféra részecskéinek fő forrása az ionoszféra. A plazmaszféra határa a *plazmapauza*, amelynek helye és alakja dinamikus változik. A plazmaszférában lévő anyag együtt forog a Földdel. E határfelület pillanatnyi helyzete különös fontossággal bír az űridőjárás folyamatokban.

Mind a plazmaszférát, mind a plazmapauzát whistlerek segítségével fedték fel (Storey, 1953; Carpenter, 1963). A közönséges, földi villámok rövid, impulzusszerű rádiójeleket keltenek, amelyek kijuthatnak a magnetoszférába, és ott az erővonalak mellett terjedve eljutnak a másik féltékére. A felszínen a villám által keltett szélessávú zajnak már csak az egészen alacsony frekvenciás (1–20 kHz) tartománya észlelhető. Mivel e tartomány rezgésszáma megegyezik a hallható hangok frekvenciatartományával, a jelet egy hangszóróra kapcsolva mélyülő füttyként halljuk – ezért kapta az angol whistler (fütty) szó alapján a nevét a jelenség.

A whistlerek elemzéséből meghatározható, hogy melyik erővonal mellett terjedt a jel, és milyen volt a plazma (az elektronok) eloszlása az erővonal mellett. Tehát a felszínen észlelt whistlerek elemzésével információt nyerhetünk azon tartomány – a plazmaszféra – állapotáról, amelyben ezek a jelek terjedtek, azaz egy egyszerű és olcsó *plazmaszféra-diagnosztikai* eszköz van a kezünkben, ugyanis a whistlerek igen gyakoriak, egy adott földrajzi helyen évi több tíz- vagy százezer is észlelhető, de van olyan hely is (Antarktiszi-félsziget), ahol ez a szám elérheti az öt-tízmilliót is (Lichtenberger et al., 2008, Collier et al., 2011).

2.2 Társbérletek a magnetoszférában: II. a sugárzási övek és a hullám-részecske kölcsönhatás

A sugárzási vagy Van Allen-öveket a magnetoszféra erővonalai által csapdába ejtett energikus részecskék alkotják (2. ábra). Két, tórusz alakú tartományból állnak, a belső öv 1,2–3 földugár távolságban helyezkedik el, az itt lévő elektronok energiája néhány 100 keV, a protonoké akár 100 MeV is lehet. A külső sugárzási öv három-tíz földugár távolságban



2. ábra • A plazmaszféra és a sugárzási övek

helyezkedik el, a legnagyobb részecskefluxus a négy-öt földugár tartományban van, azaz épp egybeesik a plazmapauzával – ezért fontos ismerni a plazmapauza helyzetét. A külső övet nagy energiájú elektronok (1–10 MeV) alkotják. Ezek a gyakran relativisztikus energiájú elektronok azok a részecskék, amelyek képesek a műholdak elektronikai berendezéseit a felvesztők állapotát időlegesen vagy véglegesen megváltoztatva megrongálni.

A sugárzási övek részecskéinek forrása elsősorban a napszél, a koronakitörések alkalmával a Napból kilökődő nagyenergiájú részecskék a földi magnetoszférával találkozáva a Nappal ellentétes oldalon, a mágneses uszályon – ha úgy tetszik, a „hátsó ajtón” – keresztül jutnak vissza a földközeli tartományokba, ahol a mágneses tér csapdába ejti ezeket. A Lorentz-erő arra kényszeríti a részecskéket, hogy a mágneses erővonalak körül spirálmozgást végezzenek, a mágneses tér pedig a sarkok felé sűrűsödő erővonalak miatt csapdában tartja azokat. Ekkor a részecskék energiája nagy, de még nem relativisztikus. Nemrégiben derült fény arra, hogyan is jutnak többletenergiához ezek a részecskék: a legújabb kutatások szerint a nagy (relativisztikus) energiájú részecskék hullám-részecske-kölcsönhatások során keletkeznek, és csapódnak ki a sugárzási övekben (például Horne et al., 2005, Bortnik et al., 2008). A műholdak szempontjából különösen fontos a kicsapódás a mágneses csapdából, ugyanis a relativisztikus energiájú részecskék így jutnak el az alsóbb tartományokba is, ahol az alacsony pályán keringő műholdak sokasága kering. A magas pályán keringő és a geoszinkron műholdak esetében pedig már a részecskék keletkezése is „életveszélyes” folyamat, hiszen ez abban a tartományban történik, ahol ezek a holdak keringenek.

2.3 *Társbérletek a magnetoszférában: III. a gyűrűáram és a mágneses viharok* • A Napból a belső magnetoszférába bejutó részecskék az erővonalak melletti spirálmozgáson kívül a mágneses tér inhomogenitása és a gravitációs tér miatt egy másik driftmozgást is végeznek, amely merőleges mind a gravitációs térre, mind az inhomogenitás gradiensére, s a mozgás iránya töltésfüggő, azaz a pozitív és negatív töltésű részecskék ellenkező irányba mozognak. Ez a mozgás kelet–nyugati irányú, és a töltésfüggőség miatt egyfajta áramként interpretálható. Mivel körülöleli a Földet, gyűrűáramnak nevezzük; iránya olyan, hogy az általa keltett mágneses tér gyengíti a földmágneses teret. A mágneses viharok fő fázisában a tér gyengüléséért a gyűrűáram megerősödése felelős, ekkor kerülnek a napszél részecskéi a belső mágneses térbe.

A gyűrűáram részecskéi közepes energiájúak, az elektronok ~10 keV, a protonok ~200 keV energiájúak, sűrűségük 10–100/cm³.

3. Űridőjárás folyamatok a magnetoszférában

Az űridőjárás események a magnetoszférában tehát a következőképpen zajlanak:

A napból érkező nagyenergiájú részecskék bejutnak a belső magnetoszférába, ahol a gyűrűáramot megerősítve a mágneses tér változásait okozzák, aminek hatására az ionoszférában és felszínen is áramok lépnek fel.

A nagyenergiájú részecskék hullám-részecske kölcsönhatás révén többletenergiát szereznek, és extrém nagy (relativisztikus) energiára tesznek szert.

A relativisztikus energiájú részecskék (szintén hullám-részecske kölcsönhatás következtében) kiszóródnak a mágneses csapdából, pályájuk során közelebb kerülnek a felszínhez, ahol elnyelődnek a sűrű atmoszférában.

A relativisztikus részecskék keletkezésük után, illetve a kiszóródás során találkozhatnak műholdakkal, amelyekben időlegesen vagy akár véglegesen is megváltoztathatják a felvesztő-átmeneteket. Ha ez normál üzem közben történik, a műhold akár véglegesen is megrongálódhat, vagy elveszhet.

Ahhoz, hogy meg tudjuk akadályozni a műholdvesztést vagy -rongálódást, az egyik megoldás a műhold alapállapotba (stand-by) kapcsolása. Nyilvánvalóan nem szeretnénk sem feleslegesen, sem a szükségesnél hosszabb ideig lekapcsolni a műholdakat, ezért célunk az, hogy *modellezzük* az űridőjárás folyamatokat, és ez alapján előre jelezzük az eseményeket. Mivel a műholdakra a fő veszélyt a relativisztikus energiájú részecskék jelentik, ezek keletkezése és kicsapódása az a folyamat, amelyet modellezni kell. A hullám-részecske kölcsönhatás több paraméterrel írható le, a hullámterjedés egyik fő paramétere a közeg töltéssűrűségének eloszlása. Ez az a pont, ahol a plazmaszféra és a whistlerek szerepet kapnak, ugyanis a hullámterjedést alapvetően a hideg, nagy sűrűségű plazma irányítja.

Az űridőjárás kutatások fontosságát világszerte felismerték, az Európai Unió 7-es Keretprogramja kiemelten támogatja a kutatásokat e területen (FP7-Space), az Európai Űrügynökség pedig – részben az FP7-Space projektekre alapozva – elindította az űrkörnyezeti figyelőprogramot (Space Situational Awareness – SSA), amelynek célja az űreszközök operatív védelme. Az SSA három pillére az űridőjárás, az űrszemét és a földközeli természetes objektumok megfigyelése. Természetesen a NASA is és az Orosz Űrügynökség is végez hasonló kutatásokat.

Az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék Űrkutató Csoportja Európai Unió projektjeiben és orosz együttműködésben

földi és műholdas mérések segítségével kutatja-vizsgálja az űridőjárás eseményeket, az alábbiakban ezen kutatásokról lesz szó.

3.1 *Űridőjárás vizsgálatok felszíni mérésekkel* • A PLASMON FP7-Space projekt (a földi plazmaszféra új, adatasszimilációs, földi méréseken alapuló modellje – kulcsfontosságú hozzájárulás a sugárzási övek űridőjárás modellezéséhez, URL1) fő célja egy új plazmaszféramodell kidolgozása, melyhez a mérési adatokat két földi hálózat szolgáltatja, az egyik a whistlerek hálózata (AWDANet), a másik az erővonal-rezonanciákat mérő EMMA-hálózat.

A plazmaszféra töltéssűrűségének monitorozása whistlerekkel – az Automatikus Whistlerdetektor és Elemző Hálózat (AWDANet)

A felszínen észlelhető whistlerek a mágneses erővonalakkal párhuzamosan terjednek. Megfelelő modellek segítségével *invertálhatjuk* a mért jelet, azaz a jelből származtathatjuk a plazma- és terjedési paramétereket.

A whistlerinverzió régóta ismert eljárás, gyakorlati felhasználását két ok akadályozta eddig: a whistlerek kiválasztása az észlelt adatokból rendkívül időigényes és fárasztó munka, ezért folytonosan lehetetlen végezni. Ezen segít az általunk kidolgozott automatikus detektáló eljárás (Lichtenberger et al., 2008), amely képes a nyers adatfolyamból kiválasztani a whistleryomokat. Mivel a whistlerek előfordulása egy adott helyen függ a forrás, illetve a megfelelő terjedési feltételek meglététől, ami azt jelenti, hogy egy adott helyen általában egy adott évszakban (amikor az ellenkező féltekén nyár van, és gyakoriak a zivatarok) és adott napszakban (többnyire az esti-éjszakai órákban) lehet whistlereket észlelni, amelyek adott mágneseserővonal-

tartományban terjednek. Mivel célunk a plazmaszféra folyamatos monitorozása, ezért mindkét féltekén, több mágneses szélességen és helyi időben kell észleléseket végezni. A plazmaszféra dinamikáját figyelembe véve ehhez mintegy huszonnegy (vagy több), a Földön egyenletesen elosztott állomásból álló hálózat szükséges, ami a gyakorlatban a szárazföldek eloszlása miatt kb. negyven állomással közelíthető. Ezen hálózat kiépítése folyamatban van, az AWDANetnek jelenleg húsz működő és húsz tervezett állomása van (3. ábra).

A gyakorlati felhasználást akadályozó másik ok az volt, hogy a kiválasztott whistlernyomok *skálázásának*, azaz a nyom koordinátáinak kiolvasása a megjelenített dinamikus spektrumon szintén fárasztó és időrabló munka. Ennek könnyítésére kidolgoztunk egy új, automatikus inverziós eljárást (Lichtenberger, 2009, Lichtenberger et al., 2010), amely új sűrűségeloszlási és hullámterjedési modellek mellett a plazmaszféra egyenlítői elektronsűrűségének egyszerűsített modelljét is használja.

3.2 *Űridőjárás vizsgálatok műholdas mérésekkel* • A műholdak közvetlenül tudják mérni azokat a jellemzőket, amelyekre az űridőjárás modellekhez szükségünk van. E nagy előnyük mellett hátrányuk, hogy jóval drágábbak, mint a földi mérések, és a műholdpályák kötöttsége miatt nem ott és nem akkor mérnek, amikor és ahol esetleg szükség lenne rá. Ezért a műholdas és földi mérések együttes felhasználása adja a legjobb eredményt.

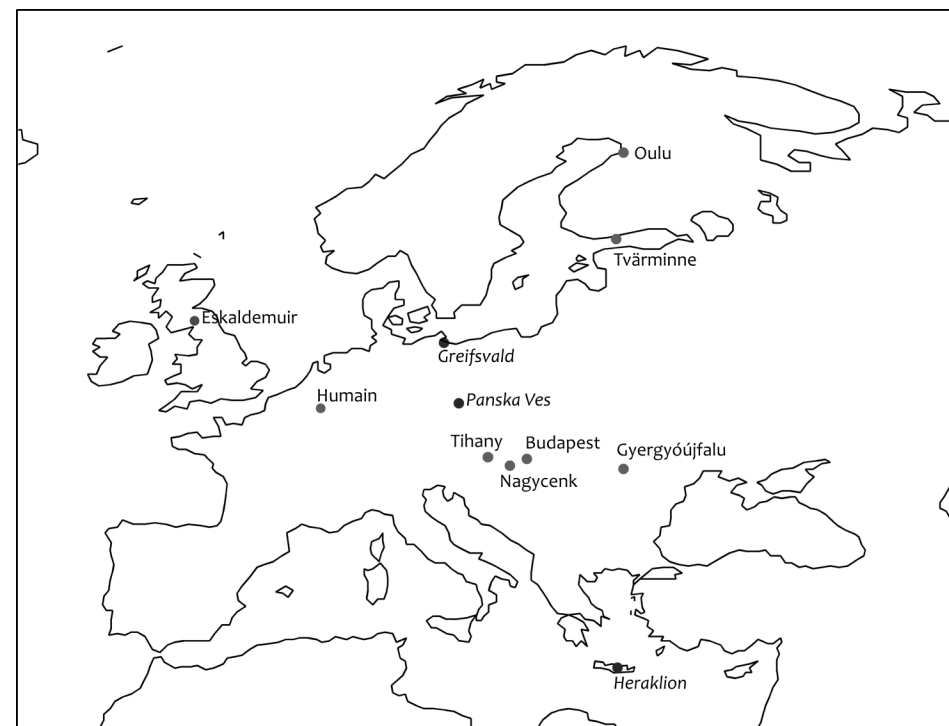
A POPDAT (Ionoszféra-kutatás adat-orientált feldolgozással, URL2) FP7-Space program a már lezárult és jelenleg is folyó ionoszféra-kutató műholdas kísérletek adatainak egységes szemléletű feldolgozásával és

egy adatbázis (Ionospheric Wave Service) létrehozásával teremti meg a későbbi felhasználás egységes adatbázisát, amelyben mi elsősorban a hullámkísérletek feldolgozási és osztályozási módszereinek kidolgozásában veszünk részt.

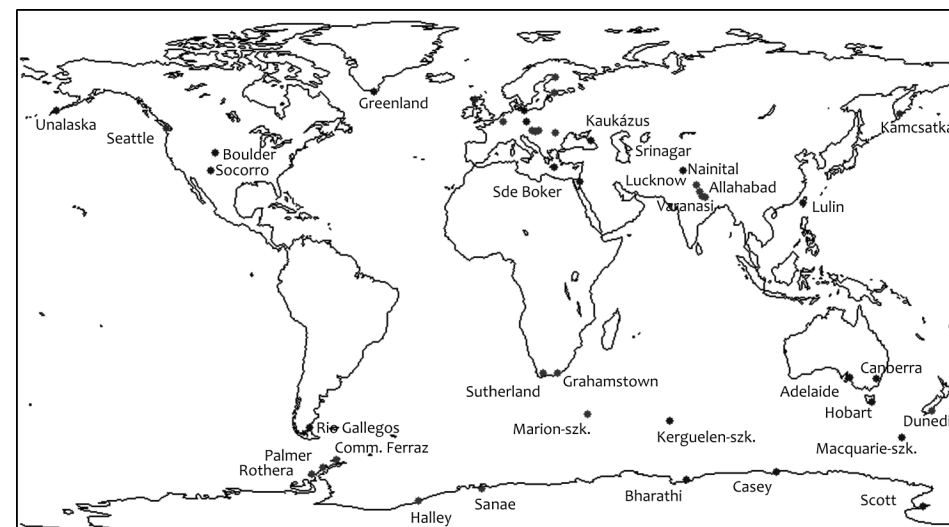
A COMPAS-2 orosz–magyar–ukrán műholdon repült a magyar SAS-2 hullámkísérlet, amely VLF-jeleket mért és dolgozott fel. 2006-os mérései alapján sikerült először igazolni vezetett terjedést műholdas méréseken (Ferencz et al., 2009).

2012. január 25-én emelte pályára a Nemzetközi Űrállomást elhagyó Progressz teherruhajó a CHIBIS-M orosz–magyar–ukrán műholdat (Novikov et al., 2009), amelynek fő célja a földi villámok és az azokhoz kapcsolódó röntgen-, gamma- és VLF-hullámok vizsgálata; a teljes üzembe állítása óta eltelt néhány hónap alatt is rendkívül érdekes jeleket sikerült mérni a SAS-3 műszerrel. E mérések, amellet, hogy további segítséget nyújtanak az űridőjárás vizsgálatokhoz, modelként szolgálnak a BepiColombo ESA (European Space Agency)–JAXA (Japanese Aerospace Exploration Agency) Merkúr űrmisszió hullámkísérletéhez (Plasma Wave Investigation – PWI) (Kasaba et al., 2010), amelyben mi az intelligens eseményfelismerő és triggerelő modult készítjük. Ez utóbbi űrmisszió indulása 2014-ben várható.

Az orosz–magyar–ukrán–lengyel–svéd–angol együttműködésben készülő OBSTANOVKA-kísérlet célja a Nemzetközi Űrállomás (ISS) plazmakörnyezetének vizsgálata. Ez év őszén indul az ISS-re. A két egységből álló berendezést az orosz szervizmodul külső falára fogják felszerelni az űrhajósok. A magyar SAS-4 hullámkísérlet első egysége is ebben lesz. A relativisztikus elektronok vizsgálata lesz a magyar részvétellel készülő



3. ábra • Az AWDANet európai (felső kép) és globális (alsó kép) állomásai. Az álló betűkkel írtak a működő, a dőlttel írtak a tervezett állomások.



RELEC orosz műhold célja, amelynek a felületén egy SAS-3 berendezés repül majd. Startja előzetesen a jövő évre várható. E kísérletekben relatíve kis ráfordítással nagy tudományos eredmények elérésére van lehetőség üridőjárás terén.

Az itt leírt eredmények eléréséhez az EU FP-7 263218. és 263240. számú szerződésai is hozzájárultak.

Kulcsszavak: *üridőjárás, magnetoszféra, plazmaszféra, sugárzási övek, whistlerek*

IRODALOM

- Bortnik, Jacob –Thorne, R. M. – Meredith, N. P. (2008): The Unexpected Origin of Plasmaspheric Hiss from Discrete Chorus Emissions, *Nature*. 452, 62–66, DOI:10.1038/nature06741
- Carpenter, Donald L. (1963): Whistler Evidence of a 'Knee' in the Magnetospheric Ionization Density Profile. *Journal of Geophysical Research*. 68, 6, 1675. DOI:10.1029/JZ068i006p01675
- Collier, Andrew B. – Lichtenberger J. – Clilverd, M. A. – Steinbach, P. – Rodger, C. J. (2011): Source Region for Whistlers Detected at Rothera, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*. 116, A03219, DOI:10.1029/2010JA016197
- Ferencz Orsolya E. – Bodnár L. – Ferencz Cs. – Hamar D. – Lichtenberger J. – Steinbach P. – Korepanov, V. – Mikhaylova, G. – Mikhaylov, Yu. – Kuznetsov, V. (2009): Ducted Whistlers Propagating in Higher Order Guided Mode and Recorded on Board of Compass-2 Satellite by the Advanced Signal Analyzer and Sampler SASz. *Journal of Geophysical Research*. 114, A03213, DOI: 10.1029/2008JA013542
- Horne, Richard B. et al. (2005): Wave Acceleration of Electrons in the Van Allen Radiation Belts. *Nature*. 437, 227–230. DOI:10.1038/nature03939
- Kasaba, Yasumasa – Bougeret, J.-L. – Blomberg, L.G. – Kojima, H. – Yagitani, M. – Moncuquet, M. – Trotignon, J.-G. – Chanteur, G. – Kumamoto, A. – Kasahara, Y. – Lichtenberger, J. – Omura, Y. – Ishisaka, K. and Matsumoto, H. (2010): The Plasma Wave Investigation (PWI) Onboard the BepiColombo/MMO: First Measurement of Electric Fields,

- Electromagnetic Waves and Radio Waves around Mercury. *Planet Space Science*. 58 (BepiColombo special issue, ISS 1–2): 238–278. DOI: 10.1016/j.pss.2008.07.017
- Lichtenberger János – Ferencz Cs. – Bodnár L. – Hamar D. – Steinbach P. (2008): Automatic Whistler Detector and Analyzer (AWDA) system. Automatic Whistler Detector. *Journal of Geophysical Research*. 113, A12201, Doi: 10.1029/2008JA013467.
- Lichtenberger János (2009): A new whistler inversion model. *Journal of Geophysical Research*. 114 A07222, Doi: 10.1029/2008JA013799
- Lichtenberger János – Ferencz C. – Hamar D. – Steinbach P. – Rodger, C. J. – Clilverd, M. A. – Collier, A. B. (2010): The Automatic Whistler Detector and Analyzer (AWDA) System: Implementation of the Analyzer Algorithm. *Journal of Geophysical Research*. 115 A12214. DOI:10.1029/2010JA015931
- Novikov, Denis I. – Klimov, S. I. – Korepanov, V. E. – Marusenkov, A. A. – Ferencz Cs. – Lichtenberger J. – Bodnár L. (2009): Magnitno-volnovoj kompleks mikrospjutnika „Tsibis-M” dla izutsenia kozmitseskoj pogodi. In: Hazirova, R. R. (ed.): Missia „Tsibis-M”. IKI-RAN, Moskow, 78–89.
- Storey, L. R. O. (1953): An Investigation of Whistling Atmospherics. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series A*. 246, 113–141, doi:10.1098/rsta.1953.0011 <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/246/908/113.full.pdf>
- URL1: <http://plasmon.elte.hu>
URL2: <http://www.popdat.org>

A FÖLDMÁGNESES ÉSZLELÉSEK SZEREPE AZ ŰRKUTATÁSBAN

Heilig Balázs

Kovács Péter

MSc, tudományos munkatárs,
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI),
Tihanyi Geofizikai Observatórium
heilig.balazs@mfgi.hu

PhD, tudományos főmunkatárs,
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI),
Földfizika Főosztály
kovacs.peter@mfgi.hu

Csontos András

MSc, observatóriumvezető,
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), Tihanyi Geofizikai Observatórium
csontos.andras@mfgi.hu

Bevezető

A földi mágneses tér a magnetoszférában és ionoszférában folyó elektromos áramok, illetve a földmagban zajló dinamikai változások hatására folyamatosan változik. A változások időskálája az évszázados változástól (földmagban zajló folyamatok), a Nap ciklusai (tizennyel éves, huszonegy napos stb.) és a Föld mozgásával (éves, napos) összefüggő változásokon át egészen a töredékmásodperces periódusú ingadozásokig (például geomágneses pulzációk) terjednek. E variációk egy része többé-kevésbé szabályosan ismétlődik (például a napszabványokkal vagy a Föld forgásával és keringésével összefüggően), másik része viszont időszakokként figyelhető meg. Utóbbiak közül a legismertebbek a naptevékenységgel összefüggő geomágneses viharok, szubviharok.

A mágneses tér változását hagyományosan a geomágneses observatóriumokban, illetve időszakosan geomágneses hálózatokon figye-

lik. Magyarországon jelenleg a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) Tihanyi Geofizikai Observatóriuma és az MTA nagyeceni Széchenyi István Geofizikai Observatóriuma végez folyamatos megfigyeléseket. Ezenkívül az MFGI egy közel háromszáz pontból álló országos és egy tizenkét pontból álló, ún. szekuláris mágneses hálózatot is fenntart. Előbbi célja a mágneses tér országos felvételezése ritkán kivitelezett (tizenöt évente) mérések során, utóbbi pedig – időben sűrűbb (kétévente végzett) mérésekkel – az ehhez képesti időbeli változások monitorozása.

Az utóbbi évtizedekben a földi tér megfigyelésére műholdakat is pályára állítottak, amelyek megfigyelései a felszíni mérésekkel kölcsönösen kiegészítik egymást. Míg a poláris pályán mozgó műholdakkal a mágneses tér teljes területi felmérése megvalósítható a felszíntől néhány száz kilométer magasságban, addig a felszínen végzett observatóriumi mérések egy-egy pontban észlelt időbeli