

sét, amely azokat az intézeteket gyűjtené konzorciumba, melyek hozzánk hasonlóan érdekelték valamilyen naptevékenységi jelenység hosszú távú dokumentálásában. Minden hosszú idősor közös gondja, hogy inhomogén, több forrásból származik, folyamatosan változó körülmények és módszerek befolyásolják. Rendszeresen végezzük a debreceni adatok keresztkalibrálását más obszervatóriumokéval (Baranyi et al., 2001), de most arra készülünk, hogy megkezdjük a historikus észlelésektől az SDO-észlelésekig terjedő, anyagi lehetőségek szerinti homogén adatsorrá formálását, melyhez külföldi partnerek is társulnak. Ennek első lépései már meg is

történtek Debrecenben Fényi Gyula és Konkoly Thege Miklós jelentős grafikus észlelési anyagainak digitalizálásával. Ha a tervezett anyag a nem túl távoli jövőben létrejön, akkor a szoláris dinamó kutatásának nélkülözhetetlen empirikus alapja lehet.

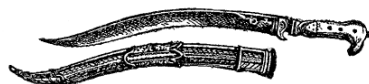
A fenti kutatásokhoz szükséges támogatást az elmúlt években az ESA PECS 98081 számú projekt, valamint a SOTERIA (218816) és eHEROES (284461) FP7-es projektek biztosították.

Kulcsszavak: *napfizika, napfoltadatbázisok, naptevékenység változása*

IRODALOM

Baranyi Tünde – Györi L. – Ludmány A. – Coffey, H. E. (2001): Comparison of Sunspot Area Data Bases. *Monthly Notices of R. A. S.* 323, 1, 223–230. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2001.04195.x
Györi Lajos – Baranyi T. – Ludmány A. (2011): Photospheric Data Programs at the Debrecen Observatory. *Proceedings of the IAU Symposium*. 273, 403–407. • <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/publ/GyoriBaranyiLudmanyIAU273.pdf>

Muraközy Judit – Ludmány András (2011): Phase-lags of Solar Hemispheric Cycles. *Monthly Notices of R. A. S.* 419, 3624–3630. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.20011.x
Muraközy Judit – Ludmány András (2012): Development and Morphology of Leading-following Parts of Sunspot Groups. *Central European Astrophysical Bulletin*. in press.



A HELIOSZFÉRA HÁROMDIMENZIÓS SZERKEZETE

Erdős Géza Balogh André

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
Részecske- és Magfizikai Intézet
erdos.geza@wigner.mta.hu

professor emeritus,
The Blackett Laboratory, Imperial College of Science,
Technology and Medicine, London, UK

Nap–Föld-kapcsolatok

Régóta ismeretes, hogy a Nap felszínét foltok borítják, amelyek száma tizenegy éves ciklusok szerint változik. Később, a XIX. században érdeklődést váltott ki az a megmagyarázhatatlan jelenség, hogy az iránytűk által jelzett földi mágneses viharok gyakorisága is tizenegy éves ciklusok szerint változik, és feltűnő korrelációt mutat a napfoltok számával. A naptevékenység és a Föld közötti kapcsolatra további bizonyítékot szolgáltatott a fehér fler felfedezése, amely során a Nap felszínén rövid idejű kifényesedés jelent meg, amit rövid késéssel földi mágneses vihar követett. Az elsőként felfedezett, híres 1859-es Carrington-fler által kibocsátott energia mintegy egy nagyságrenddel nagyobb volt, mint a napjainkban megfigyelhető flereké. Ez aggodalomra ad okot, mert hasonló méretű napkitörés komoly pusztítást végezne a napjainkban használt, főleg a világűrbe telepített technikai berendezésekben. A divatos szóhasználattal űridőjárásnak nevezett jelenségek vizsgálata, és különösen e jelenségek előrejelzésének a lehetősége tehát gyakorlati szempontból is igen fontos témája az űrkutatásnak.

A 150 millió km-es Nap–Föld-távolságból (Csillagászati Egység, CSE), valamint a napkitörés és földi mágneses vihar közötti néhány napos késésből (ami egy vagy néhány nap lehet) a hatás sebességére néhány 100 km/s-tól kb. 2000 km/s-ig adódik. Ez túl lassú ahhoz, hogy közvetlenül a fénysebességgel terjedő elektromágneses hatások okozzák a földi jelenségeket. Miután más hatás nem volt ismeretes, a Nap–Föld-kapcsolatokat sok kutató sokáig csak véletlen egybeesésnek, az összefüggést tudományosan megalapozatlannak tartotta. A hipotézis, hogy a napkitörések nagy sebességgel terjedő ionizált gázfelhőt bocsáthatnak ki, amelyek hatása a Föld környezetéig is terjedhet, az 1930-as években lett általánosan elfogadva. Ennek a hipotézisnek a helyességét csak az után lehetett bebizonyítani, hogy Eugene Parker 1958-ban megjósolta a napszél létezését, amit négy évvel később a bolygóközi térbe kijutó űrszondák (Luna-1, Mariner-2) fel is fedeztek. A napszél a Napból szuperszonikus sebességgel radiálisan kifelé áramló plazma, amely főleg protonokból és elektronokból áll. Sebessége változó, durván a 300–1000 km/s tartományba esik. A napszél sűrűsége rendkívül kicsi, a Föld pályájánál kb. tíz részecske cm³-enként.

A kis sűrűségből adódik, hogy a plazmában a részecskék egymással való ütközése elhanyagolható, aminek egyik következménye, hogy a Nap közelében levő mágneses tér a napszélbe mintegy „befagyva” utazik a bolygóközi térbe; a napszélplazma mágnesezett. A később felfedezett, a napszélben terjedő koronaanyagkilökődések (Coronal Mass Ejections – CME), amelyek gyakran kísérik a nagyobb energiájú flereket, megfelelnek a korábban előrejelzett plazmafelhőknek. A nagy sűrűségű plazma ezekben az úgynevezett mágneses felhőkben összenyomja és deformálja a Föld magnetoszféráját, aminek a következményei között a mágneses viharok és a látványos északifényjelenségek a legjelentősebbek.

A címben szereplő *helioszféra* szó nem közismert, magyarázatra szorul. A helioszféra egy buboréknak tekinthető, amelyet a napszél fúj ki a csillagközi térbe. A helioszférát kitöltő anyag és mágneses tér elsődleges forrása tehát a Nap. A helioszféra, amelynek kiterjedése mintegy 100 CsE, Földünk legtávolabbi környezetének tekinthető, amelyet még űrszondákkal el tudunk érni. Ennek a környezetnek a megismerése gyakorlati szempontból is fontos, mert a technikai berendezések működésére is hatással lévő űridőjárási jelenségeknél, a Nap–Föld-kapcsolatokban a napszél a közvetítő közeg. A helioszféra kutatása másik két szempontból is érdekes:

- a mágnesezett plazma tulajdonságainak méréséből visszakövetkeztethetünk a forrásnál uralkodó viszonyokra, következtetni tudunk az egyébként helyszíni mérések számára hozzáférhetetlen alsó napkoronában lejátszódó folyamatokra (napfizikai aspektusok);
- a helioszféra fizikai állapotának ismerete szükséges a galaktikus kozmikus sugárzás időbeli változékonyságának megértéséhez.

A helioszféra tulajdonságainak komplexitását az adja, hogy a térbeli változások mellett rövid és hosszú időskálán egyaránt változó viszonyokkal van dolgunk. Rövid időskálájú jelenségeknél elsősorban a napkitörések hatására kell gondolnunk. Hosszú idejű változások közül kiemelkedő jelentőségű a napfoltciklus tizenegy éves hullámzásának hatása.

Az Ulysses-szonda

A bolygók pályasíkja közel merőleges a Nap forgástengelyére. A Nap körül keringő űrszondák pályasíkja is közel esik a Föld pályasíkjához, az ekliptikához, mert a pályára állításkor ki kell használni a Föld Nap körüli keringésének sebességét (30 km/s, míg a rakéták „végsebessége” csak 11 km/s). Egy másik ok, amiért az űrszondák nem léptek ki az ekliptikából az, hogy az érdekes égitestek, a bolygók és holdjaik szintén abban a síkban tartózkodnak. Ezért sokáig a helioszféra kutatása csak annak egy kétdimenziós szeletére, az ekliptikához közeli bolygóközi térre korlátozódott.

Régóta felmerült azonban az űrkutatókban annak szükségessége, hogy az ekliptikából kilépve lehetőségünk legyen a helioszféra teljes háromdimenziós tartományában is méréseket végezni, legyen lehetőségünk a helioszféra sarki területeit is vizsgálni. Ennek racionalitását az adta, hogy számos jel mutatja a Nap gömbszimmetriktól való eltérését. A Nap felszínéről és az alsó koronáról távérzékeléssel szerzett információk segítségével megállapították, hogy a fizikai viszonyok jelentősen változhatnak a Nap egyenlítőjétől távolodva. Régóta ismert például a napfoltok gyakoriságának a heliografikus szélesség szerinti változása, amely ráadásul a napfoltciklus szerint is változó törvényszerűséget mutat, lásd Edward Maunder (1904) híres pillangódiagramját. Egy másik heliografikus széles-

ségtől függő jelenség az, hogy a napkorona hőmérsékletére utaló röntgenfelvételeken koronalyukak (hidegebb területek) figyelhetők meg a sarkoknál (Kahler, 2000), melyek kiterjedése napfoltminimum idején megnő.

Az ekliptikán kívüli megfigyelések tervét az Ulysses-szonda valósította meg, amely idáig az egyetlen űreszköz, amely Nap körül keringve nagy heliografikus szélességre jutott el. Az Ulysses 1990 októberében indították a Jupiter irányába. 1992 februárjában haladt el az óriásbolygó mellett, melynek gravitációs tere a szonda pályasíkját 80 fokkal elfordította, ezzel a szonda Nap körüli poláris pályára állt. A pálya periódusideje 6,2 év, a Naptól mért legkisebb, illetve legnagyobb távolság 1,34, illetve 5,4 CSE. A szonda követését 2008 júniusában fejezték be, ezalatt majdnem három teljes Nap körüli forduló során végzett méréseket. A hosszú élettartam abból a szempontból is érdekes, hogy a megfigyelések majdnem két napciklust fednek le.

Cikkünkben az Ulysses-űrszondával készült mérések néhány eredményéről számolunk be. Azokra a kérdésekre is válasz kívánunk adni, hogy

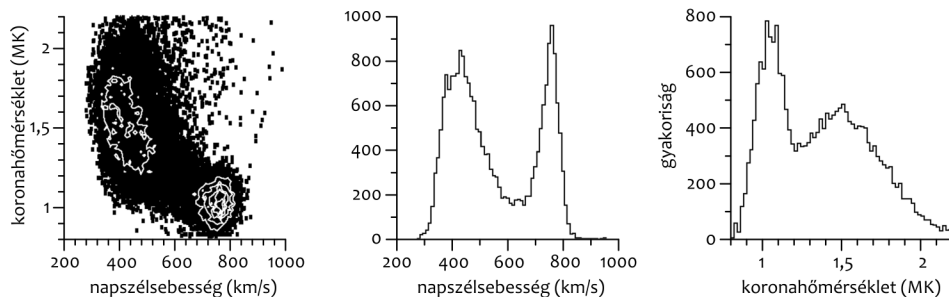
- érdemes volt-e kilépni az ekliptikából, van-e heliografikus szélességtől függő tulajdonságok?
- milyen napciklussal összefüggő időbeli változások vannak a helioszférában?

Gyors és lassú napszél

Az ekliptikához közeli interplanetáris térben végzett korábbi megfigyelések szerint a napszél sebessége változó, és azt is megállapították, hogy a nagy sebességű napszélnyalábok általában a koronalyukakból erednek. A koronalyukakból származó gyors napszélnyalábok hosszú ideig fennálló struktúrák, amelyek a Földpályánál több napforgáson keresztül is

huszonhét naponta visszatérhetnek. A Nap egyenlítői tartományában főleg koronaanyagkilökődések (CME-k) alkalmával is megjelenhetnek nagy sebességre felgyorsult plazmafelhők. Az interplanetáris térben végzett megfigyelések statisztikai vizsgálatát megnehezíti a CME-ből származó és az egyenlítőnél viszonylag ritkább koronalyukakból származó gyors napszél jelenléte. A gyors és lassú napszél kölcsönhatásba lép egymással, a plazma sebessége a terjedés során módosul, nehéz következtetni a Naphoz közeli viszonyokra. Az Ulysses-szonda azonban hosszú időt töltött a sarki koronalyukak felett, ahol folyamatosan lehetett észlelni a gyors napszét. A vizsgálatokból kiderült, hogy a kétfajta napszél, a lassú és a gyors tulajdonságai élesen elkülönülnek. A lassú napszél általában a Nap egyenlítői vidékeiről származik, míg a gyors koronalyukakból (von Steiger–Fröhlich, 2005).

Az 1. ábra középső paneljén a napszélsebesség hatórás átlagainak eloszlásfüggvénye látható az Ulysses-misszió teljes időtartamára (Erdős–Balogh, 2012). A grafikonon jól látszik a kétféle sebességű napszél-populáció éles elkülönülése. Az Ulysses-szondán helyet foglalt a SWICS nevű plazmadetektor, amely alkalmas volt a napszélben kisebbségben levő ionok töltésállapotának meghatározására. A hatszorosan és hétszeresen ionizált oxigén fluxusának arányából meghatározható a korona hőmérséklete a Naptól mért néhány nap-sugár távolságban, ahol az oxigénionok ütközése már elhanyagolhatóvá válik. Érdekes ez a kísérleti technika, mert az oxigénionok mint fossziliák több CSE-távolságra szállítják hozzánk a közvetlen mérések számára különben hozzáférhetetlen koronahőmérséklet-adatokat. Az 1. ábra jobb oldali paneljén a korona hőmérsékletének eloszlásfüggvénye látható. Megállapíthatjuk, hogy a



1. ábra • A napszél sebessége és a korona hőmérséklete

koronahőmérséklet eloszlásában is két populáció van jelen, a hidegebb populáció legvalószínűbb hőmérséklete 1 millió fok, a melegebbé 1,5 millió fok. A hidegebb a gyors napszélnyalábhoz tartozik, a melegebb a lassúhoz. Ez az ábra bal oldalán található szórásdiagramból állapítható meg, amelyen feltüntettük a hőmérséklet- és sebességre vonatkozó kétdimenziós eloszlásfüggvény kontúrvonalait is. Megfigyelhető, hogy csekély számban vannak olyan gyors napszélnyalábok is, amelyek hőmérséklete magas, ezek a szórásdiagramon elszórtan vannak jelen a jobb felső kvadránsban. Ezek az adatok feltehetően koronaanyag-kilökődésekből származnak.

Az Ulysses-szonda megfigyelései rámutattak arra, hogy a sarki koronalyukakból származó gyors napszél és az inkább az egyenlítői tartományra jellemző lassú napszél fizikai tulajdonságai élesen különböznek, így a keletkezési mechanizmusuk megértéséhez is elkülönülő modelleket kell alkotni. Ennek a feladatnak a megoldása a napfizikusok számára jelenleg is kihívást jelent.

A Nap mágneses pólusváltása

A helioszférában végzett mágnesestér-mérésekből visszakövetkeztethetünk a Naphoz közelebbi tartományok mágneses terére, akár

a Naptól néhány Nap-sugár távolságban elhelyezett képzeletbeli gömb felületére is, amelyet a napszél forrásfelületének nevezünk. A helioszférában mért mágneses tér legjellegzetesebb tulajdonsága az előjele, vagyis az, hogy az erővonal kifelé vagy befelé mutat-e a Naptól. A helioszféra háromdimenziós modelljében a kétféle polaritást elválasztó felület, amelyet áramlepelnek hívnak, hullámos alakú. Napfoltminimum idején az áramlepel a Nap egyenlítői síkjához közel helyezkedik el, de kis mértékben akörül hullámszik. A napfoltok számának növekedésével a hullámszám amplitúdója megnő, és az áramlepel inklinációja is megnő az egyenlítői síkhoz képest. Napfoltmaximumban történik a Nap mágneses terének pólusváltása. Az Ulysses-misszió előtt kétféle elképzelés létezett: a pólusváltás az áramlepel átfordulásával következik be, vagy a forrásfelületen a sarkok közelében a domináns polaritással ellentétes szigeteket képződnek, amelyek területe felnő, és kiszorítják az eredeti polaritást.

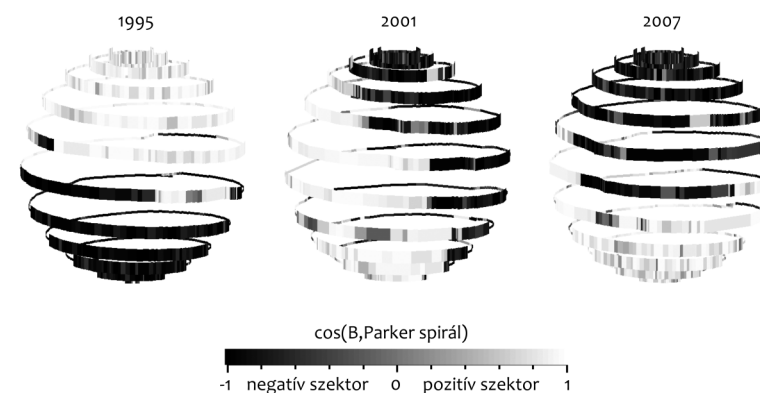
Az Ulysses-megfigyelések egyik fontos eredménye, hogy az első modell igazolódott be. A napszél forrásfelülete mágneses terének meghatározására a legalkalmasabb időszakok azok voltak, amikor az Ulysses a déli pólustól az északi pólusig tartó útját viszonylag gyorsan, mintegy egy év alatt tette meg, ezeket a

pályaszakaszokat gyors szélességi pásztázásnak hívjuk. Az Ulysses három Nap körüli kerítése során értelemeszerűen három ilyen szakasz volt, 1995-ben, 2001-ben és 2007-ben. A 2. ábra az Ulysses-mérésekből a forrásfelületre visszavetített mágneses polaritását mutatja 1995-ben, 2001-ben és 2007-ben (Erdős – Balogh, 2005, 2010). A három spirális vonal az Ulysses-szonda pályáját mutatja a déli pólustól az északiig, a Nappal együttforgó forrásfelületre vetítve (a spirális vonal a Nap 27 napos forgásának következménye). A szürke skála a mért mágneses térerősség-vektor és az elméletileg várható irány közötti szög koszinusza, a sötéttel jelölt pályaszakaszok negatív mágneses polaritást, míg a világosak pozitív polaritást jelölnek (befelé, illetve kifelé mutató mágneses erővonalak). Az 1995-ös és 2007-es megfigyelés a 22. és 23. napfoltciklus minimumában történt. Látható, hogy a várakozásoknak megfelelően az áramlepel, vagyis a sötét és világos területek határa közel esik a Nap egyenlítőjéhez. Azt is megállapíthatjuk, hogy a 22. ciklusban az északi polaritás pozitív, a déli negatív volt. A következő ciklus minimumában, 2007-ben a polaritás felcserélődött. 2001-ben, napfoltmaximum-

ban az áramlepel inklinációja viszont közel merőleges volt az egyenlítői síkra. A második gyors szélességi pásztázás alkalmával megfigyelt pólusváltás az áramlepel nagy inklinációja alkalmával történt, ugyanakkor nem tapasztaltunk a domináns polaritással ellentétes szigeteket. A 2. ábra megerősíti, hogy a Nap mágneses polaritásának váltása az áramlepel átfordulásával történt.

Mágneses fluxus

A forrástér polaritása mellett foglalkozunk a mágneses tér erősségével is! A helioszférában végzett mérések esetén a mágneses tér radiális komponense jellemzi a mágneses fluxus nagyságát. A radiális komponens a Naptól mért távolság négyzetével csökken, vagyis a mágneses fluxus sűrűsége könnyen meghatározható akár a forrásfelületen, akár a Föld pályájának megfelelő 1 CSE távolságban, ahol a legtöbb megfigyelést végzik. A mágneses tér azimutális komponense már kevésbé alkalmas a fluxus meghatározására, mert a távolság mellett a napszélsebesség változásaitól is függ. Dipóltér esetén a mágneses fluxus sűrűségének a pólusok felé haladva növekednie kell. Az Ulysses-szonda megfigyeléseinek

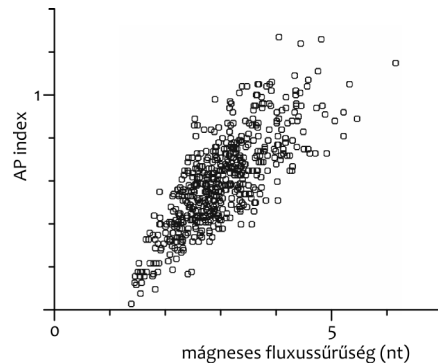


2. ábra • A mágneses tér polaritása a napszél forrásfelületén 1995-ben, 2001-ben és 2007-ben

egyik legnagyobb meglepetése az volt, hogy a fluxus sűrűsége nem nőtt meg a pólusok felé haladva, ez már az első pólusátmenetnél kiderült (Forsyth et al., 1996).

A mágneses fluxus egyenletes szétterülése a napszél szuperradiális expanziójával magyarázható a Naphoz közeli tartományban (Smith, 2008). A Naphoz közel a mágneses tér nyomása meghaladja a plazma nyomását. Ezért a pólusoknál található feltételezett erősebb mágneses tér nyomása szétteríti a plazmát, amíg a nyomásegyensúly ki nem alakul. Ne tévesszen meg bennünket az a jól ismert tény, hogy a távolabbi helioszférában a plazma nyomása a domináns, aminek következménye a radiális expanzió. A mágneses tér nyomása azonban gyorsabban csökken a távolsággal, mint a plazma nyomása, ezért a nyomásviszonyok különböznek a Naphoz közeli és távolabbi régiókban.

A mágneses nyomás egyenletes szétterülésének hasznos következménye, hogy ha a helioszféra bármely pontjában mérjük meg a mágneses fluxust, az érték jól reprezentálja a Nap mágneses fluxusát. Az 1960-as évek közepe óta már az interplanetáris mágneses tér folyamatos mérései állnak a rendelkezésünkre, a mágneses fluxus így meghatározott értékei mintegy négy napfoltciklust fednek le. A vizsgálatból kiténik, hogy a Nap mágneses fluxusa a napciklus szerint jellegzetes változékonyságot mutat. Ez érdekes következtetésekre ad lehetőséget, mind a Nap mágneses tulajdonságai hosszúidejű változékonyságának vizsgálatában, mind a napszéllel szállított mágneses fluxus földi hatásainak kutatásában. Ez utóbbira nézve tanulságos összehasonlítást végeztünk a geomágneses viharok gyakoriságát és nagyságát jellemző AP-indexszel. A 3. ábrán jól látható a mágneses fluxus és az AP-index korrelációja. Az



3. ábra • A mágneses fluxus sűrűsége a helioszférában és a geomágneses viharokra jellemző AP-index kapcsolata

összefüggés magyarázatára két érv is felmerülhet. A mágneses fluxus szállításában a CME-k fontos szerepet játszanak, a CME-k ugyanakkor geoeffektívek, mágneses viharokat keltenek. A másik érv az, hogy a földi magnetoszférában tárolt energia forrása az interplanetáris mágneses tér. Nagyobb mágneses fluxus esetén több mágneses energia halmozódik fel a magnetoszférában, amely erőteljesebb viharokat generálhat. Ez a kérdéskör további kutatásokra vár.

Összefoglalás

Az Ulysses-szonda kilépett az ekliptikából, ezzel lehetővé vált a helioszféra háromdimenziós szerkezetének feltárása. A szonda megfigyelései számos korábbi elképzelést megerősítettek. Ugyanakkor több esetben lehetőség adódott vitatott modellek közötti szelektálásra, a korábbi eredmények pontosítására, sőt több váratlan felfedezés is született. E cikkben néhány fontos, érdekes megfigyelésről számoltunk be, amelyek összefoglalása a következő:

- Kétféle napszélplazma létezik, melyek sebességben és hőmérsékletben élesen elkülönülnek.

- A Nap mágneses terének legutóbbi pólusváltása az áramlepel átfordulásával történt.
- A mágneses fluxus sűrűsége független a heliografikus szélességtől.
- A mágneses fluxus sűrűsége a napciklus szerint változik, és feltűnő korrelációt mutat a földi geomágneses viharokra jellemző AP-indexszel.

Az Ulysses-szonda eredményei hozzájárultak a Nap felszínéről és az alsó koronáról távérzékeléssel végzett megfigyelések pontosításához, akár időben visszafelé is, a korábbi

mérések újraértelmezésével. A rendkívül sikeres Ulysses-misszió megismétlésére nincsen terv, ám a Solar Orbiter űrszonda várhatóan jó ki fogja egészíteni az Ulysses-szonda méréseit. A 2017-ben induló szonda ugyan csak 30 fokos heliografikus szélességre fog eljutni, de a Naphoz közeli (0,3 CsE) távolságban végzett mérések új távlatokat fognak megnyitni a napfizika és a helioszféra fizikájában.

Kulcsszavak: *helioszféra, napciklus, napszél, mágneses tér*

IRODALOM

- Erdős Géza – Balogh André (2005): In situ Observations of Magnetic Field Fluctuations. *Advances in Space Research*. **35**, 625–635. • <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2005.02.048>,
- Erdős Géza – Balogh André (2010): North-South Asymmetry of the Location of the Heliospheric Current Sheet Revisited. *Journal of Geophysical Research*. **115**, A01105, DOI:10.1029/2009JA014620
- Erdős Géza – Balogh André (2012): Magnetic Flux Density Measured in Fast and Slow Solar Wind Streams. *The Astrophysical Journal*. **753**, 2, article id. 130 DOI: 10.1088/0004-637X/753/2/130
- Forsyth, Robert J. et al. (1996): The Heliospheric Magnetic Field at Solar Minimum: Ulysses Observations from Pole to Pole. *Astronomy & Astrophysics*. **316**, 287–295. DOI:10.1016/S0273-1177(97)00288-3

- Kahler, Stephen (2000): Skylab. In: Murdin, Paul (ed.): *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics Publishing, Bristol, 2238. DOI: 10.1888/0333750888/2238
- Maunder, Edward Walter (1904): Note on the Distribution of Sun-Spots in Heliographic Latitude, 1874–1902. *MNRAS*. **64**, 747–761.
- Parker, Eugene N. (1958): Dynamics of the Interplanetary Gas and Magnetic Fields, *Astrophysical Journal*. **128**, 664. DOI: 10.1086/146579
- Smith, Edward J. (2008): The Global Heliospheric Magnetic Field. In: Balogh André – Lanzerotti, L. J.– Suess, S. T. (eds.): *The Heliosphere through the Solar Activity Cycle*. Springer, Chichester, UK
- von Steiger, Rudolf – Fröhlich, Claus (2005): In: Geiss, Johannes – Hultqvist, Bengt (eds.): *The Solar System and Beyond: Ten Years of ISSI*. Vol. SR-003. ISSI Scientific Report Series, ESA, Noordwijk, The Netherlands, 99–112. • <http://www.issibern.ch/PDF-Files/SR-003.pdf>

