

A NEMZETKÖZI HELIÓFIZIKAI ÉV

Kecskeméty Károly

a fizikai tudomány kandidátusa

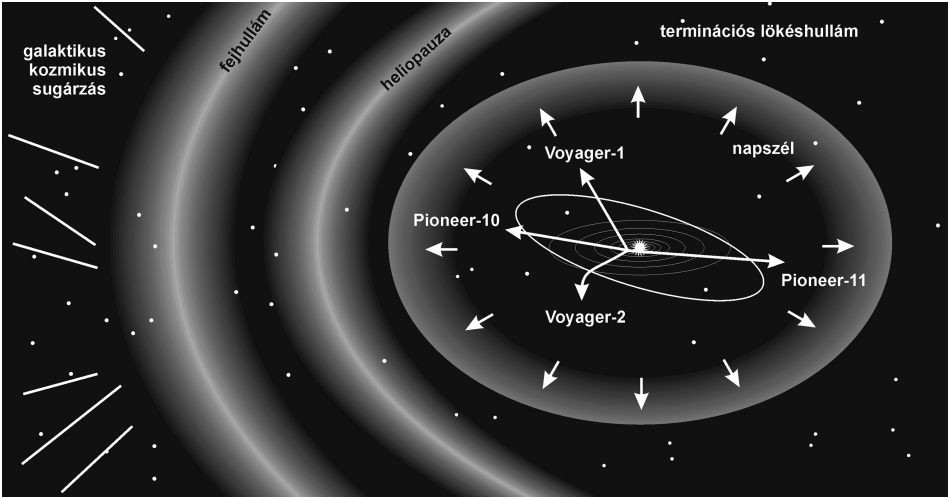
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutató Intézete, Budapest

kecske@rmki.kfki.hu

Az ENSZ a 2007 márciusa és 2009 februárja közötti időszakot Nemzetközi Heliófizikai Évvé (International Heliophysical Year – IHY) nyilvánította. A száraz hír mögött az egész világra kiterjedő összefogás rejlik: egy új, interdiszciplináris tudomány, a heliófizika kibontakozását és annak széles körű megismertetését jelenti. Célja a Napon, Földön és a helioszférában uralkodó univerzális heliófizikai folyamatokra vonatkozó tudásunk fejlesztése, a Nemzetközi Geofizikai Év (IGY) 50. évfordulóján az IGY hagyományainak folytatása, emellett az űr- és földtudományok szépségének és fontosságának minél szélesebb körű megismertetése és népszerűsítése (internetoldal: <http://ihy2007.org>). A heliófizika nem korlátozódik a Nap fizikájára, hanem az egész helioszférával foglalkozó tudomány, amelyet a geofizika – a Föld és a bolygónk körüli térrész fizikája – analógiájára alkottak meg (részletesebb magyar nyelvű ismertetés: Kálmán, 2006). A helioszféra a Naprendszernek azt a részét jelöli, amelyet a Napból kiáramló forró plazma, a napszél kitölt. Csak nemrég, 2004 decemberében haladt át a Voyager–1 űrszonda a napszél megállását jelző terminációs lökéshullámon, azóta tudjuk, hogy e tartomány mérete kb. 200 csillagászati egység (1 Cs. E. = 150 millió km, az átlagos Nap–Föld távolság) (1. ábra).

Az IHY előzményei

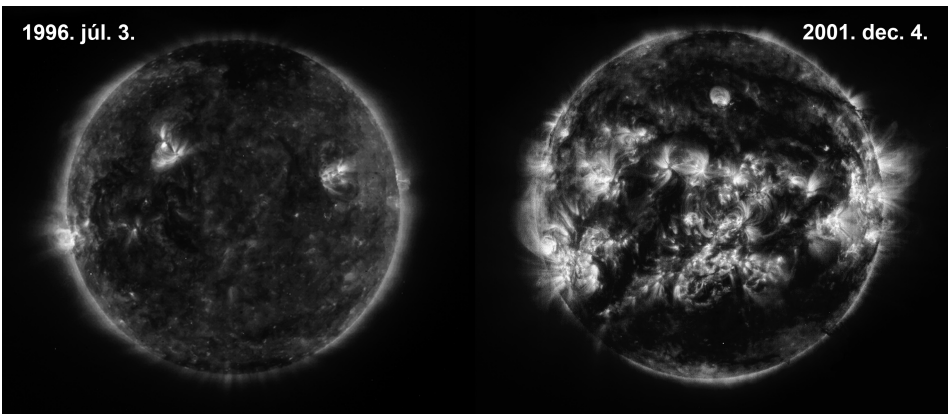
Az előzmények között magyar vonatkozást is találunk. 1875 januárjában a bécsi Tudományos Akadémián az akkorra már komoly hírnévre szert tett sarkutazó, a monarchia flottájának sorhajóhadnagya, Carl Weyrecht (1838–1881) javaslatot tett az Északi-sark összehangolt vizsgálatára. Elképzelése az volt, hogy a meteorológia és geofizika alapproblémáinak megoldását a sarkoknál kell keresni. Bár ő ezt már nem érthette meg, 1882–83-ban nagy sikerrel tartották meg a Nemzetközi Poláris Évet (International Polar Year – IPY), amelyben tizenkét ország összefogásával tizenöt expedíciót indítottak, meteorológiai és mágneses megfigyeléseket végezve. Egyik legfontosabb eredményként fény derült a sarki fény ovális szerkezetére és dinamikájára. Az ötven évvel későbbi második IPY során negyven ország részvételével már az Antarktiszra is kiterjedt meteorológiai, mágneses, atmoszféra- és ionoszféramegfigyeléseket végeztek nemzetközi sarki megfigyelő hálózat létrehozásával. Huszonöt évvel később a Nemzetközi Geofizikai Év (IGY) hatvan-négy országból több mint hatvanezer kutató közreműködésével haditechnológiák – rakéta és radar, az első műholdak – alkalmazása révén átütő sikert hozott. Sokan emlékeznek



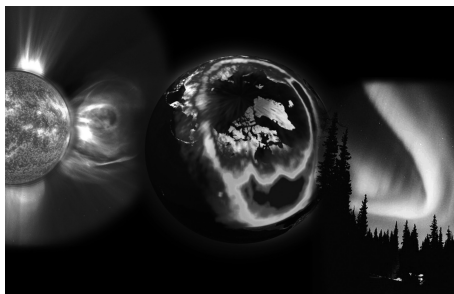
1. ábra • A heliosféra és a legtávolabbi űrszondák (<http://solarsystem.nasa.gov>)

még a rádió híradásaira, a szabályos és különleges világnapokra, utóbbiak az erős flareket (napkitöréseket) jelezték, amelyeket obszervatóriumok átfogó hálózatával figyeltek meg. Az első műholdak fedezték fel a James Van Allenről elnevezett, Föld körüli sugárzási öveket, ekkor hozták létre műszerek átfogó hálózatait mágneses, kozmikus sugárzási, csillagászati vizsgálatokra, amelyekkel globális háromdimenziós szinoptikus adatokhoz jutottak. Új koncepciók születtek, mint a

magnetoszféra, a szubviharok. Az IGY napfoltmaximum idejére esett, ezért a következő minimum idején, 1964–1965-ben megrendezték a Nyugodt Nap Nemzetközi Évét, ezt követte 1979–1981-ben a Nap Maximum Év. Az űreszközök további fejlődése hatalmas lépésekkel vitte előre a heliosféra megismerését, a Napra és a Nap–Föld kapcsolatra vonatkozó tudásunkat az 1995-ben felbocsátott SOHO napmegfigyelő obszervatórium eredményei szinte forradalmasították (2. ábra).



2. ábra • Napaktivitási minimum és maximum a SOHO ultraibolya felvételein (<http://sohowww.estec.esa.nl/>)



3. ábra • Úridőjárás: koronakitörés és sarki fény (Steele Hill/NASA)

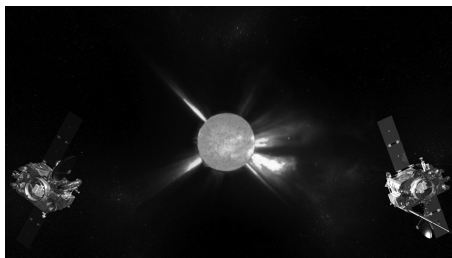
Napaktivitás és a napszél

A heliofizika alapját a naptevékenység folyamatai jelentik. Az aktivitás legrégebben ismert, szabad szemmel is látható jelei, a napfoltok és ezek számának átlagosan tizenegy éves, nagyjából periodikus változása évszázadok óta ismert, de a földi hatások nem ezekre, hanem az 1859-ben felfedezett flerekre és a csak 1971 óta ismert koronakitörésekre vezethetők vissza. A napfoltok nemcsak a környezetüknél hidegebb és ennek folytán sötétebb területek, hanem intenzív mágneses aktivitás színterei, melyekben erős mágneses terek akadályozzák az energia feláramlását a forró, mélyebb tartományokból a felszínre. A Nap légkörében a fotoszférától felfelé haladva a hőmérséklet rohamosan emelkedik, a koronában mintegy 2 millió fokot ér el. E rendkívül magas hőmérséklet eredetére még csak hipotézisek léteznek, talán az egész Nap felszínét behálózó mágneses terekben létrejövő erővonal-átkötődésekkel magyarázható. A forró korona nem is stabil, külső részeiből a plazma kifelé áramlik, és rövidesen szuperszonikus sebességet ér el, ez a *napszél*. Az első űrszondák mérései derítették fényt a napszél létezésére, és arra, hogy ez a közeg közvetíti a Föld felé a napaktivitást. A Nap egyenlítője körüli övből lassú (300–500 km/s), a sarki terüle-

tekről gyors (~800 km/s) napszél áramlik kifelé. A napszél közvetlen forrásaira sincs még végleges magyarázat, a kétféle sebességű napszélet feltehetően más-más mechanizmus gyorsítja fel. A gyors napszél esetében leginkább elfogadhatónak a SOHO által megfigyelt, a *koronalyukak* (a napkorona sötétebb és hidegebb, nagy kiterjedésű tartományai) nyitott mágneses erővonalai által alkotott tölcéserek tűnnek, amelyekbe a körülöttük lévő mágneses hurkok plazmája áramlik befelé. Ezek azonban még csak 10 km/s körüli sebességre képesek gyorsítani a plazmát. Eugene Parker vette észre 1958-ban, hogy a gravitáció olyan hatást gyakorol a plazmaáramlásra, mint a hidrodinamikában ismert Laval-fűvóka, ennek köszönhető a további gyorsítás 300 és 800 km/s közötti sebességre. A napszél-plazma igen jó vezetőképesége miatt magával viszi a mágneses teret, amely így arkhimédeszi spirális alakot vesz fel.

A *flerek* a Nap kromoszférájában és koronájában napfoltcsoportok környezetében végbemenő hatalmas kitörések, melyek során a plazma több tízmillió fokra forrósodik. A jelenség oka instabil mágneses elrendeződés kialakulása, melyben az ellenkező irányú erős mágneses mezők átkötődésével kialakuló elektromos tér néhány perc alatt közel fénysebességre képes gyorsítani az elektronokat és ionokat, emellett intenzív elektromágneses sugárzást bocsát ki a rádióhullámoktól kezdve egészen gammasugárzásig. Energia- és gyakorisági spektrumuk igen széles, a legnagyobbak néhányszor fordulnak elő egy napciklusban, az észlelhető legkisebb nano- és pikoflerek gyakorlatilag folyamatosan jelennek meg. A felgyorsított töltött részecskék néhány órától néhány napig terjedő időtartamú szoláris nagyenergiájú részecskeeseményeket (SEP) keltenek, amikor a néhány

megaelektronvolt energiájú protonok fluxusa négy-öt nagyságrenddel is megemelkedhet. A *koronakitörések* (coronal mass ejection, CME) a Naprendszer legnagyobb összefüggő alakzatai, ugyancsak aktív területekről kiinduló, több milliárd tonnányi anyagot tartalmazó plazmabuborékok. Bennük az aktív területek fölötti mágneses fluxuscsovek felemelkednek, a belső mágneses nyomás hatására hatalmasra felfúvódnak, és radiális irányban kirepülnek. Napfoltminimum idején kb. hetente egy, maximumban viszont naponta 2-3 is elhagyja a Napot változatos, 100–2500 km/s közötti sebességgel. Gyakran kapcsolódnak ferekhez, de a közöttük levő összefüggés még nem tisztázott. A bolygóközi térben terjedve tovább gyorsítják a töltött részecskéket, a legnagyobb SEP-eket a koronakitörések okozzák. A Föld szempontjából a felénk irányuló, ún. haló-CME-k a legfontosabbak, általában a kitöréstől számított 1-3 napon belül érik el a Földet. A SOHO felvételein ezek a Napot körülvevő halvány halóként rajzolódnak ki, felénk irányuló sebességüket azonban nem tudjuk mérni (3. ábra). A 2006. október 25-én felbocsátott STEREO űrszondapár alapvető célja éppen az, hogy a Föld felé irányuló koronakitöréseket két oldalról, sztereoszkopikusan lehessen megfigyelni, a Nap–Föld irányú sebességkomponens mérésével pedig a Földhöz való megérkezés időpontját sokkal pontosabban megjósolni. A STEREO-A 2006. december 4-én, B jelzésű párja pedig 2007. január 22-én állt Nap körüli pályára, és eddig minden műszer jól működik rajtuk. Évente mintegy 22 fokkal mozognak előre, illetve hátra a Földhöz rögzített koordináta-rendszerben, így nagyjából fél év elteltével már reálissá válik a koronakitörések terjedésének rekonstruálása (4. ábra).



4. ábra • A STEREO űrszondapáros (NASA)

Űridőjárás, földi hatások

Az elmúlt években egyre pontosabb ismereteket szereztünk a naptevékenységnek a Föld magnetoszférájára, azon keresztül az ionoszférára és a légkörre, ennek révén pedig bolygónk felszínére gyakorolt hatásáról. Maga a napfoltok számával jellemzett naptevékenység a hosszabb időre visszanyúló megfigyelések szerint befolyásolja a Föld éghajlatát is: az átlagnál hosszabb napciklusok során az átlaghőmérséklet magasabb az extrém alacsony napaktivitási periódusokban – mint a XVII. századi ún. Maunder-minimum idején Európában szokatlanul kemény telek voltak. Az űrkorszak beköszöntével egyértelműek lettek a naptevékenység rövid távú hatásai is: az űrtevékenységet, a légköri repülést, a műholdas kommunikációt és helyzetmeghatározást, a távközlést, valamint az energiaszolgáltató hálózatok működését is mind komolyan befolyásolja. A napszél aktuális állapotát jellemző űrbeli körülményekre, amelyek hatással vannak a Földre, a technológiai rendszerekre, megalkották az *űridőjárás* fogalmát. Az űridőjárást a napszél sebességében és sűrűségében, valamint a plazma mágneses terében bekövetkezett változások alakítják, melyek alapvetően a Napon végbemenő jelenségek következményei. Ez utóbbiak a ferek, a koronakitörések és az

általuk keltett lökéshullámok, amelyek a flerekkel együtt hatalmas energiákra gyorsítják a töltött részecskéket. A földi hatások körébe tartoznak a geomágneses viharok és szubviharok, a sarki fény, a geomágnesesen indukált földfelszíni áramok. A nagyenergiájú töltött részecskék viharai veszélyeztetik a Föld mágneses és atmoszferikus védőpajzsán kívülre merészkedő űrhajósokat, de magukat az űrszondák érzékeny elektronikus berendezéseit is. Kisebb mértékben, de a nagy magasságban haladó repülőgépek utasai is sugárterhelésnek vannak kitéve, illetve például a földi globális helymeghatározásra szolgáló műszerek pontatlan adatokat szolgáltathatnak. A földmágneses tér hirtelen változásai hatalmas áramokat indukálnak nemcsak a földben, de az elektromos vezetékhalózatokban is, olykor túlterhelést és kiesést okozva.

Tudományos célok

Az IHY tudományos célja a helioszférában uralkodó univerzális folyamatok minél több szempontból való megfigyelése, analízise és modellezése. Az ehhez kapcsolódó tudományágak magukban foglalják a Nap, a bolygó-magnetoszférák, a helioszféra és kozmikus sugárzás fizikáját, a bolygók ionoszféráját, termoszféráját és mezoszféráját, a bolygók éghajlatát, és ide tartozik a heliobiológia is. A sokféle tudományos tevékenységet koordinált kutatási programokba szervezik, eddig hatvanöt programjavaslatot nyújtottak be, de ez a kör folyamatosan bővül. Az univerzális folyamatokat az alábbi öt fő témába sorolták.

1.) A mágneses struktúrák és tranziensek keletkezése és fejlődése. Ilyen struktúrák a mágneses fluxuscsővek, áramrétegek, sejszerkezetek, turbulencia, flerek, CME-k, a magnetoszférák szubviharai. Ez a

téma magában foglalja a bolygó-magnetoszférák összehasonlító vizsgálatait.

- 2.) Energiátadási és csatolási folyamatok: hirtelen energiafelszabadulás, mágneses erővonalak átkötődése, hullám–részecske kölcsönhatás, gyorsítási mechanizmusok, töltésátadás, ionizáció és rekombináció, magneto-hidrodinamikai instabilitások. Az összehasonlító vizsgálatok segítenek a bolygók körüli plazmafolyamatok, például a sarki fény megértésében.
- 3.) Áramlások és cirkulációk: nyírások, örvények, kiáramlások, dinamók, konvekció, turbulens áramlások, nem adiabatikus expanzió.
- 4.) Határfelületek: mágneses burkok, lökéshullámok, réteges interfészek.
- 5.) A csatolt Nap–bolygó–helioszféra rendszer szinoptikus vizsgálata három dimenzióban: a helioszféra háromdimenziós szerkezete, lassan változó mágneses, ionoszférikus struktúrák a Föld és a bolygók körül, illetve a Napon.

A célok eléréséhez űrbeli és földfelszíni megfigyelések egyaránt szükségesek. A Napot a még legalább két évig működő SOHO, a flereket figyelő TRACE, a gammasugárzást észlelő RHESSI és az említett STEREO mellett a 2006 szeptemberében elindult japán Hinode figyelő látható fényben, ultraibolya és röntgentartományban. Speciálisan a földi mágneses szubviharokat figyelő ez év februárjától az öt részből álló Themis műholdrendszer, kiegészítve a 2000 óta keringő négy Cluster, illetve a Polar műholdakat. Az IHY erőteljesen támogatja a kisméretű, olcsó földfelszíni műszerek, például magnetométerek, rádióantennák, GPS vevők, az egész égboltot vizsgáló kamerák elterjesztését elsősorban a fejlődő országokban, hogy a mérőhálózatok minél jobban lefedjék az egész Földet.

Magyarország és az IHY

Hazánk a heliofizikai kutatások különböző területein régóta részt vesz, és aktívan közreműködik az IHY-ban tervezett együttműködésekben. Az ötven évvel ezelőtti IGY során létesítették Nagycenken a geomágneses obszervatóriumot, és kezdte meg működését Budapesten a KFKI-ban egy föld alatti műoneteleszkóp. Az előttünk álló eseménysorozatban 8 magyar intézmény vesz részt. Az eddig bejelentett 66 koordinált megfigyelési program közül kettő indult magyar kezdeményezésre: nagyon alacsony frekvenciájú (ULF) hullámok a magnetoszférában (Tihany), ill. szupertermális és nagyenergiájú szoláris és helioszferikus részecskék forrásai napaktívítási minimum idején (KFKI RMKI).

A debreceni Napfizikai Obszervatórium tovább folytatja a napfoltadatbázisok fejlesztését saját megfigyeléseik és a SOHO mérései alapján, végeznek flermegfigyeléseket, vizsgálják a napfoltcsoportok fejlődését, a szoláris mágneses és sebességterek kölcsönhatását. Az ELTE Csillagászati Tanszéke bekapcsolódik az Európai Unió SOLAIRE hálózatába, amely a napatmoszféra mágneses csatolóadásának, illetve ennek a bolygóközi térre való hatásának komplex vizsgálatát tervezi. Emellett elméleti úton tanulmányozzák a mágneses erővonalak átkötődésének turbulens hatásait, a nap felszín alatti mágneses fluxuscsőveinek dinamikáját. A KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézete (RMKI) részt vesz a STEREO programban részecskeesemények numerikus szimulációjával és az IMPACT

detektor töltött részecske-méréseinek kiértékelésével. A KFKI Atomenergia Kutató Intézetével együtt részt vesznek az ESA Rosetta üstökösprogramjában. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) tihanyi obszervatóriumában a plazmaszféra dinamikáját vizsgálják az említett ULF hullámok mellett. Az ELTE Űrkutató Csoportja földi és űrszondás (DEMETER és Compass-2) mérések alapján a felsőléggör ULF-VLF hullámait alapján analizálja a plazmaszféra és a mezoszféra jellemzőinek változását. A soproni Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben az ionoszféra függőleges szondázása és a Schumann-rezonancia mérése mellett a geomágneses tér monitorozása folyik az INTERMAGNET hálózat keretében. Az MTA Csillagászati Kutatóintézetében a semleges felsőléggör vizsgálata mellett üstökös megfigyeléseket végeznek.

A Nemzetközi Heliofizikai Év alatt zajló tevékenységet hazánkban a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézete koordinálja. Ennek fontos eleme az ismeretterjesztés, melynek keretében nyílt nap lesz 2007. június 10-én, ekkor több tudományos intézetben fogadják az érdeklődőket. Emellett az ország több pontján szabadtéri távcsöves bemutatók lesznek, ahol központi csillagunkat lehet megfigyelni. Ez év szeptember 21-én *Earth Electromagnetism* címmel konferenciát rendeznek a nagycenki obszervatórium megnyitásának 50. évfordulójára.

Kulcsszavak: *magnetoszféra, napfizika, Nap-Föld fizikai kapcsolatok, napszél, úridőjárás*

IRODALOM

Kálmán Béla (2006): *Meteor csillagászati évkönyv 2007*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest

<http://fenyi.solarobs.unideb.hu/bevezeto.html>
Az IHY magyar weboldala: <http://www.rmki.kfki.hu/kffo/IHY>