

Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékén Barta professzorsága idején kialakult kutatócsoport a Föld magnetoszférájában terjedő elektromágneses jelek kutatásában ért el sikereket.

Hosszú gyűjtőmunka után jelent meg Réthly Antal *Nordlichtbeobachtungen in Ungarn* című könyve rengeteg történelmi adattal és régi sarkifény-megfigyelések ábrázolásával. Az adatok segítenek a rendszeres megfigyelések előtti időszak napciklusainak kutatásában. Az ábrázolásokat pedig számos hasonló történelmi műben felhasználták még norvég és finn kutatók is.

A második világháború után több új helyen és témában is kutatások kezdődtek a földi elektromágneses térrel kapcsolatban. Jánossy Lajos, majd Somogyi Antal indította el a Központi Fizikai Kutató Intézetben a kozmikus sugárzás vizsgálatát. Ebből fejlődött ki később az űrkutatásba bekapcsolódó csoport. Debrecenben Dezső Loránd alapította meg a Napfizikai Observatóriumot. Az ionoszféra kutatására szolgáló szondázó berendezés az Országos Meteorológiai Intézet, illetve Flórián Endre munkája nyomán készült el, és 1958-ban Brüsszelben a világkiállításán nagydíjat nyert. A berendezés Budapestről Békéscsabára került, majd a Geodéziai és Geofizikai Intézet Nagycenki Observatóriumában működött, és ott folytatódtak az ionoszféra-kutatások is. A tellurikus földtani kutató módszert franciaországi tanulmányútja során ismerte meg Kántás Károly professzor, és kezdeményezte annak magyarországi alkalmazását. Az általa alapított soproni Geofizikai Kutatólaboratórium, illetve annak jogutódjai az 1957–58-as Nemzetközi Geofizikai Évre létrehozták a Nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumot, ahol számos, az adott körbe tartozó

jelenség (földi mágneses és elektromos tér, lélegelektromos tér, ionoszféra, villámok keltette elektromágneses hullámok) vizsgálata folyik. Amint a földi elektromágnességgel kapcsolatos magyarországi kutatások két évszázadot átölelő története mutatja, jelentős változások következtek be ezeknek a kutatásoknak a céljaiban. A kezdeti, szinte teljesen feltárázó jellegű vizsgálatok legfeljebb a hajózást segíthették. A huszadik század elejétől jelentek meg a távközléssel kapcsolatos célkitűzések, majd a harmincas években kezdték földtani geofizikai kutatásra is használni a földi elektromágneses teret. A második világháború után ezeknek a kutatásoknak a kapcsolódásai kiszélesedtek. Megjelent a globális éghajlatváltozás és a geomágneses kockázat is mint új célpont. Az új célok magukkal hozták azt is, hogy változott a kutatandó jelenségek eredete, időtartama. Ma már tudjuk, hogy egyre érzékenyebb technikai berendezéseinket többféle geomágneses hatás veszélyezteti, egyre jobb lehetőségek vannak a Föld belső felépítésének és a Földet körülvevő térség folyamatainak vizsgálatára, így ezek kutatása egyre indokoltabbá válik.

A következő hat tanulmány összefoglalja az utolsó évtizedek eredményeit. Ezek eredetileg az Akadémia 2012-es közgyűléséhez kapcsolódva, a X. Földtudományi Osztály rendezésében elhangzott előadások alapján készültek. Az eredeti előadások a *Magyar Geofizika* című folyóirat 2012/3. számában jelentek meg. A jelen előadássorozat szerkesztésében való közreműködésért Wesztergom Viktornak, több történelmi adatért pedig Kovács Péternek tartozom köszönettel.

Kulcsszavak: *földi elektromágnesség, geomágneses kockázat, geomágneses observatórium, naptevékenység, villámok*

A NAPTEVÉKENYSÉG VIZSGÁLATA NÖVEKVŐ FELBONTÁSBAN

Baranyi Tünde

tudományos főmunkatárs
baranyi.tunde@csfk.mta.hu

Győri Lajos

tudományos főmunkatárs
gyori.lajos@csfk.mta.hu

Ludmány András

tudományos főmunkatárs
ludmany.andras@csfk.mta.hu

Muraközy Judit

tudományos segédmunkatárs
murakozy.judit@csfk.mta.hu

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet
Napfizikai Observatórium, Debrecen

A naptevékenység egyes megnyilvánulásairól a korai történelem szereplőinek is lehetnek élményeik, de az első tudományosan is értékelhető észleléseket négyszáz éve készítette Galilei 1612 májusában. Ezek napkorongrajzok, melyeket jelenleg a Vatikánban őriznek; 1613-as rajzai pedig Firenzében vannak. Ezután több mint két évszázadon keresztül szórványos adatrögzítések és rajzsorozatok készültek, melyek hiányosak ugyan, tudományos jelentőségük mégis óriási, mert a napaktivitás hosszú távú vizsgálatához nélkülözhetetlenek. A napfoltok mágneses terét 1908-ben észlelte George Ellery Hale, és a pusztá adatrögzítés évszázadai után ez nyitotta meg a naptevékenységi jelenségek elméleti értelmezésének lehetőségét.

A naptevékenység a Nap mágneses terének változásait és eseményeit jelenti. Alapvető folyamata az a váltakozás, amely a globális mágneses tér poloidális (a pólusokat kb. meridionális irányban összekötő erővonalrend-

szerű) és toroidális (az északi és déli félgömb belsejében gyűrűszerűen körbefutó) topológiai állapotai között zajlik. A toroidális mágneses fluxusköteg egyes részei kiemelkednek a felszínre, itt hozzák létre nagy fluxussűrűségű részek a napfoltokat és foltcsoportokat, általánosabb nevükön az aktív vidékeket, kisebb fluxussűrűségű halmazaik pedig a fáklyákat. Felszín fölé emelkedő íveik a külső atmoszféraréteg, a korona fűtésének fontos szereplői, a bennük kialakuló instabil állapotok robbanásszerű feloldódásai pedig a napkitörések. Ez utóbbiak az ún. mágneses átkötődés jelensége révén zajlanak le, mely a koronabeli fluxusköteg egy részét elszakíthatja a mágneses hurokrendszerrel, és a szabadra váló mágnesezett plazmafelhő, angol nevén Coronal Mass Ejection (CME) hatalmasra fúvódva több milliárd tonnányi anyaggal dobódik ki a bolygóközi térbe.

Ezeket a jelenségeket egyre nagyobb felbontású műszerek követik. A jelenlegi legam-

bicíziusabb műszerfejlesztések, az amerikai ATST és az európai EST néhány másodperces időfelbontást és a napfelszínen 100 km alatti térbeli felbontást céloznak. Ez a nagy felbontás a napatmoszféra legfinomabb, leggyorsabban változó részleteinek vizsgálatához kell. Megvalósítása hatalmas technikai apparátust és anyagi hátteret igényel. Összehasonlítással, a hagyományos technikával a földfelszínről észlelhető legkisebb alakzatok, a fotoszferikus granulomok 1000–1200 km méretűek.

Az EAST-konzorcium (European Association for Solar Telescopes) tagjaként Magyarország részt vehet majd az EST-távcső munkájában. A hazai észlelő napfizika, a debreceni obszervatórium azonban bizonyos területeken saját lehetőségein belül is hozzá tud járulni a felbontás növeléséhez.

Mivel minden nap- és űrfizikai jelenség vizsgálatához speciális műszerezettség szükséges, ezért a nemzetközi munkamegosztásban minden intézménynek megvan a saját módszertani profilja, és a jelenségek komplex vizsgálata többnyire jelentős nemzetközi összefogással történhet. A debreceni obszervatórium eddigi (ötvennégy éves) története során fokozatosan vált a napfoltok részletes pozíció- és területadatainak legfontosabb forrásává. Eközben az észlelések végzésének és kiértékelésének olyan módszertana fejlődött ki, amelynek a legújabb űrfelvételre alkalmazott változatai is a jelenlegi legrészletesebb adatokat szolgáltatják az adott észlelésekből.

Nagy felbontás rövid távon

A nagy felbontás nyilván nem öncél, egyszerűen azt jelenti, hogy a releváns részletek azonosíthatóvá válnak. Ennek rövid és hosszú távon különbözőek a szempontjai. Rövid

időtáv alatt most a foltcsoportok élettartamát értjük. Az a cél, hogy egy-egy aktivitási esemény minden lényeges elemét dokumentáljuk. Mivel a földi észlelések az éjszakák miatt csak napos mintavételt tesznek lehetővé, a jelzett cél csak űrbéli észlelések birtokában teljesíthető. Ezt a lehetőséget nyitotta meg a SOHO-nevű (Solar Orbiting and Heliospheric Observatory) napfizikai űrlaboratórium MDI (Michelson Doppler Interferometer) műszerének közel másfél évtizedre kiterjedő észlelési anyaga.

A SOHO/MDI-műszer oszcillációs mérései mellett mintegy mellékes termékként kontinuum fényben fotoszférazsleléseket és magnetogramokat készített a teljes napkorongról. Az ezekből alkotott közel egyidejű párokból ki lehetett válogatni egy olyan sorozatot, mely 1–1,5 órás egymásutánban követi a napfelszín mágneses alakzatait. Ezen észlelések felbontása még kisebb (1024×1024), mint a földi távcsöveké, de a folyamatos észlelés és főleg a mágneses tér adatai korábban elképzelhetetlen részletességű napfolt-adatsor megalkotását tették lehetővé. A munka első fázisát a debreceni obszervatórium egy ESA-támogatással elvégzett fejlesztés révén valósította meg.

A munka teljes elvégzése nagy számítási és adattárolási kapacitások mellett jelentős élőmunka-ráfordítást is igényelt. Ehhez nyújtott támogatást az az európai FP7-es projekt, melyet a Napfizikai Obszervatórium kezdeményezett és szervezett, és tizenhat európai kutatóintézet részvételével 2008 és 2011 között zajlott SOTERIA-néven (Solar-TERrestrial Investigations and Archives). Az obszervatórium két legfontosabb vállalása egy minden korábbinál részletesebb napfoltkatalógus és a fotoszferikus fáklyák első katalógusának elkészítése volt az MDI-műszer működése – az

1996–2010-es évek időszakára. Az eredmény az SDD nevű (SOHO/MDI-Debrecen sunspot Data) adatbázis (Győri et al., 2011). Elkészítéséhez mintegy ötvenezer észleléspárt kellett összeválogatni, az erre a célra kifejlesztett kiértékelő szofvereket lefuttatni, az eredményeket ellenőrizni, és a foltcsoportokat azonosítani.

Az eredmény egy kb. 1 Tbyte terjedelmű katalógus numerikus táblázatokkal, napkorongképekkel, mintegy 350 ezer aktív vidék képével, amelyek azonosított foltokat tartalmaznak, könnyen kezelhető html-böngészővel és MySQL keresővel.

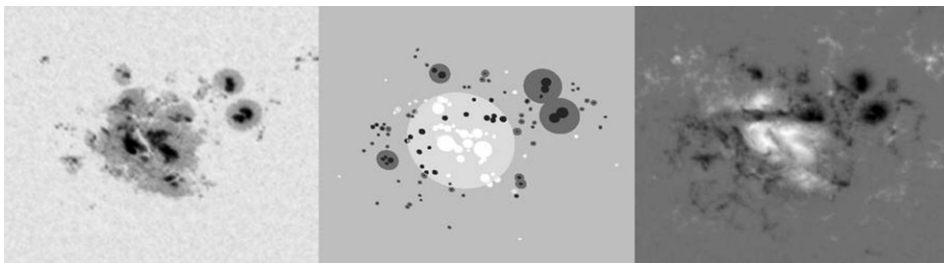
Az SDD másfél órai időközönként tartalmazza minden foltcsoport és folt umbrájának és penumrájának pozíció-, terület- és átlagos mágneses tér adatait, így jelenleg ez a legnagyobb tér- és időbeli felbontású napfoltadatbázis. Az anyag jelentősége, hogy először teszi lehetővé, hogy nagy statisztikai anyagon tanulmányozzuk az aktív vidékek fejlődésének, belső szerkezetének, átrendeződéseinek, morfológiájának, aszimmetriáinak, növekedésének és lecsengésének részleteit. E sajtásokok a mágneses fluxuskötegek felbukkanásáról és a környező sebességterekkel való kölcsönhatásukról szolgáltatnak információkat, ezek a szoláris dinamó legkisebb léptékű részletei.

A SOTERIA jelentős siker volt, a tizenhat intézet egy sor hasonlóan újfajta adatbázist készített, és több mint 130 közleményt publikált. A résztvevők egy része ezután új pályázatot készített, az EC ennek is támogatást ítélt, és 2012 márciusában eHEROES-néven (Environment for Human Exploration and RObotic Experimentation in Space) elindulhatott az új projekt, mely a következő években meghatározza kutatásainkat. Ennek célkitűzései részben különböznek a SOTERIA profiljától, elsősorban űrbéli tevékenységek vár-

ható körülményeit kell megbecsülni, előrejelezni. A SOTERIA-konzorcium tagjainak többsége ebben is részt vesz, és többnyire épp az előző projektben elért eredményekre építve. A debreceni hozzájárulás egy újfajta napkitörés-előrejelzési módszer kifejlesztésére és tesztelésére, valamint az aktív heliografikus hosszúságok kutatására irányul, mindkét új kutatás kezdeti eredményei biztatók.

A napkitörések vagy fterek okai olyan mágneses konfigurációk, amelyekben egymás mellett jelentős fluxussűrűségű és ellentétes irányú mágneses terek vannak. Ezek instabil alakzatok, stabilabb állapothoz vezető átrendeződésük erővonal-átkötődések, rekonnekciók révén valósul meg. Arra vonatkozóan korábban számos vizsgálat történt, hogy a fterek valóban ilyen helyeken lépnek fel, a mi célunk azonban a fler előtti események dinamikájának vizsgálata, mert ennek ismeretében lehet megbecsülni a fler valószínűségét. Az ellentétes polaritású foltok közötti mágneses tér horizontális irányú megváltozásának mértéke az átkötődés valószínűségének fontos jellemzője, ennek az időbeli viselkedését követjük abban a térrészben, amelyben ez az ún. gradiens érték a legerősebb a foltcsoporton belül. Az 1. ábrán a NOAA 10486 számú foltcsoport képe látható a 2003. október 28-i híres *Halloween-fler* előtt fél órával. A három panelről leolvasható az SDD adatainak részletessége és teljessége.

A bal oldali panel a foltcsoport képét mutatja, a jobb oldali a mágneses tér (magnetogramját, a fehér/fekete színek a mágneses pozitív/negatív polaritású területeket jelzik), a középső panel pedig a foltcsoport rekonstruált képe az SDD-katalógus adatai alapján. Látható, hogy a katalógus minden folt pozíció-, terület- és mágneses tér adatát tartalmazza. A többi létező napfoltkatalógus erre a



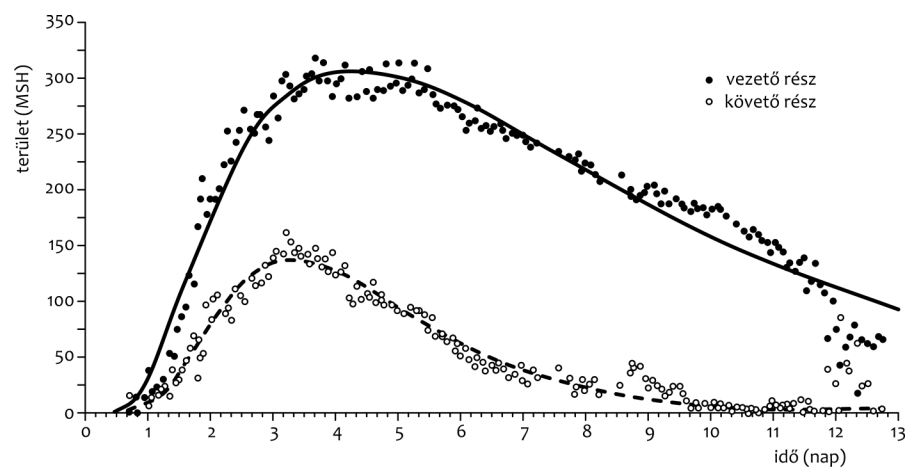
1. ábra • A NOAA 10486 számú foltcsoport képe, SDD alapján rekonstruált kinézete és magnetogramja 2003. október 28-án. Az észleléseket a SOHO/MDI műszer készítette.

foltcsoportra és ennek a napnak egyetlen időpontjára három független adatot ad meg, az SDD közel tízezret. Ez a felbontás teszi lehetővé, hogy gyors belső változások követőik legyenek.

Ez a részletesség a foltcsoportfejlődés egyéb vonatkozásainak vizsgálatai számára is új lehetőségeket nyitott. A 2. ábra a NOAA 10988 számú foltcsoport fejlődését mutatja, a vezető és követő polaritású részek területváltozásának követésével. Jól látható a két rész különböző súlya, hasonló fejlődési görbéjük, fáziseltolódásuk és különböző méretük. A

felbukkanást és az eltűnést különböző fizikai folyamatok irányítják, ezek vizsgálata most nagy statisztikai anyagon vált lehetővé.

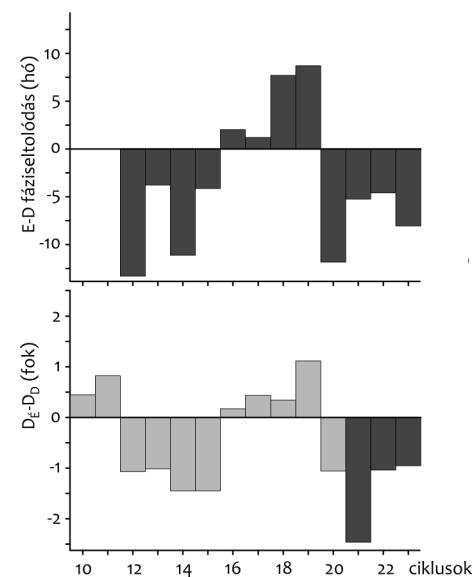
A további előrelépés a legújabb napfizikai észlelő műhold, az SDO (Solar Dynamics Observatory) észleléseivel lehetséges, melyek képmérete 4000x4000 pixel. Az észlelések időbeli egymásutánja egy percnél rövidebb. Már készül nálunk az a fejlesztés, mely az egyes foltokat egyenként képes követni. Ez még nagyobb számítógépes kapacitást igényel, de az aktív vidékek belső dinamikájának újabb sajátosságairól ígér részleteket.



2. ábra • A NOAA 10988 számú napfoltcsoport vezető és követő részének fejlődési görbéje (Muraközy – Ludmány, 2012)

Nagy felbontás hosszú távon

A foltcsoportok élettartamánál jóval hosszabb távnak, a napciklusoknak és azok egymásutánjának vizsgálata ugyancsak megkívánja a nagy felbontást, ami a hosszabb karakterisztikus idő miatt napi egyszeri mintavételt jelent, de minden foltról és foltcsoportról. Ez a kívánalom azonban egyelőre messze nem teljesül. Az egyetlen ilyen részletességű anyag a Debrecen Photoheliographic Data (DPD, 1977–2012), a Greenwich Photoheliographic Results (GPR, 1874–1976) napfoltkatalógus folytatása. Ezt a GPR sem teljesíti, mert csak a foltcsoportok adatait tartalmazza. A jelenlegi leghosszabb adatsor a Nemzetközi Napfoltszám (International Sunspot Number – ISN, az ún. Wolf-szám utóda), de ez napon-



3. ábra • Félgömbi ciklusok fáziskülönbségei két különböző módszerrel és adatsorból, pozitív értékeknél a déli félgömbi ciklus tart előre (Muraközy – Ludmány, 2011)

ta egyetlen adatot jelent az egész napkorongról 1818-tól, tehát térbeli felbontása nincs, 1749-től havonta, 1700-tól évente, még korábbról pedig csak sporadikus adatok vannak.

A részletesebb adatok igénye újabban erősödik. A 17. század első felében Galilei és követőinek észlelései viszonylag magas szintű naptevékenységet rögzítettek, ami a 17. század második felében kb. egy fél évszázadra szinte teljesen eltűnt, majd újraindult. Ez volt az ún. Maunder-minimum időszaka. A mostani gyengén és késve induló 24. napciklus felveti azt a kérdést, hogy nem lehetséges-e a közeli jövőben egy hasonló elhúzódó minimum. Ennek messzeható következményei lennének a földi környezetre is. Egy több évtizedes váltakozást nemrég sikerült azonosítanunk a greenwich-i és debreceni katalógusadatok alapján. A 3. ábrán két diagram különböző adatsorok és két különböző módszer alapján arról tanúskodik, hogy négy ciklusban az északi félgömb ciklusának fejlődése megelőzi a déliét, a következő négyben pedig a déli félgömb ciklusának fejlődése halad időben elől. Ez a szoláris dinamó működésének eddig nem tárgyalt sajátosságára utalhat, ha hosszabb távon is fennmarad, ezért jó lenne ellenőrizni még korábbi ciklusokon is, de az ebből a szempontból igen érdekes ún. Dalton-minimumról, a 19. század első feléről nincs használható adatsor.

A távolabbi feladat tehát az, hogy amilyen hosszan lehetséges, gyűjtsük össze az egyáltalán létező historikus észleléseket, és próbáljuk rekonstruálni a korábbi ciklusok részleteit is. Ez hatalmas munkának ígérkezik, de a szakmában egyre erősödő egyetértés van arról, hogy el kell végezni. A debreceni obszervatórium ebben is szeretne kulcsszerepet játszani, ezért e cikk írásának időpontjában folytatjuk egy további európai FP7-es projekt szervezé-

sét, amely azokat az intézeteket gyűjtené konzorciumba, melyek hozzánk hasonlóan érdekelték valamilyen naptevékenységi jelenség 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 adatsorra 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.