

Válasz Szarka László opponens kérdéseire

Köszönöm Szarka László opponensnek a disszertációm gondos olvasását és a hasznos észrevételeket, kritikákat. A dolgozat címe valóban nem szerencsés. Talán annyit védekezésképpen megjegyeznék, hogy szigorúan véve csak az Ulysses és Voyager szondák méréseinél beszélhetünk helioszféráról, minden más esetben a bolygóközi tér elnevezés használata a jogos. Egyetértek a Tézisfüzet bírálatával is. Sajnos, mindezek javítása utólag nem lehetséges.

A konkrét kérdésekre a válaszaim a következők:

1. A disszertáció 60. oldalán leírt mondat, hogy „az egész helioszférában a mágneses teret egyetlen felületen, az áramlepelben folyó áram tartja fenn” félreérthető, nem szerencsés fogalmazás. Sőt, az Opponens kérdésfelvetése olyan további meggondolást stimulált, amely álláspontom módosulását eredményezte (így az alábbiakban ismertetett gondolatmenet akár az Opponens következő kérdésére adott válasz részének is tekinthető).

A Nap belsejében és az áramlepelben folyó áramok viszonya könnyebben érthető. Képzeljük el, hogy a Napban működik a disszertáció 20. oldalán leírt dinamó és a Nap mágneses terét dipól térrel közelíthetjük, amelyet a Nap belsejében folyó áramok generálnak. Ha nem lenne napszél, abban az esetben is lenne mágneses tér a helioszférában, amelyet a fentiek szerint a Nap belsejében folyó áramok tartanának fenn. A dipól tér azonban a Naptól mért távolsággal $1/r^3$ szerint gyorsan lecseng. A napszél szerepe abban van, hogy a napszélbe befagyott mágneses teret a napszél nagyobb távolságra szállítja, kiterjeszti a helioszférába. A disszertáció 2.14 képletéből leolvasható, hogy a mágneses tér erőssége a helioszférában a dipól tértől lassabban, $1/r^2 - 1/r$ szerint csökken a távolsággal. Vagyis pontatlan volt a disszertáció fogalmazása, a helioszféra mágneses teréhez a Nap belsejében folyó áramokra is szükség van. Azonban, mivel a dipól tér gyorsabban cseng le mint a napszélbe befagyott mágneses tér, a disszertációban leírt mondat közelítőleg mégis igaznak tűnhet, a helioszférában, mondjuk a Földpályánál mérhető mágneses teret a Nap belsejében folyó áramok már nem befolyásolják közvetlenül.

Van azonban egy másik kérdés, hogy milyen a helioszférában folyó áram sűrűsége, csak felületi áram van-e, ahogy a disszertáció állítja, vagy van térfogati áram is? Ehhez a 2.14 képlettel meghatározott mágneses tér rotációját kell kiszámítanunk (sajnálatos módon a disszertáció hibás, a képletben $\square$ nem a heliografikus hosszúság, hanem a polárszög). B_0 független $\square$ -tól és Φ -tól, kivéve az áramlepelben, ahol előjelet vált. A gömbi koordinátákra vonatkozó rotációképzés szabályainak megfelelően tehát nagy áramsűrűséget fogunk kapni az áramlepelben, ezért vannak felületi áramok. A disszertáció állítása szerint térfogati áramot azért nem kapunk, mert B_0 az áramlepeltől eltérő helyeken független $\square$ -tól. Ez az Ulysses szonda egyik legmeglepőbb felfedezése, mindenki azt várta, hogy a mágneses tér erőssége a pólusok felé haladva nőni fog. A növekedés hiányának legvalószínűbb magyarázata a napszél szuperradiális expanziója, ami a dipól térhez hasonló mágneses teret szétteríti az alsó koronában, ezért válik B_0 $\square$ -tól függetlenné. Korábbi álláspontom szerint ennek a

helyfüggetlenségnek a következménye az, hogy nincsenek a helioszférában térfogati áramok. Ez az állítás azonban nem igaz, a térfogati áramnak csak az azimutális komponense nulla, radiális komponense mégis van. Ugyanis a felületi áramnak van azimutális és radiális komponense is. Tehát, a felületi áram egy része kifelé terjed (vagy befelé, a napciklus számának paritásától függően), ez az áram nagyságrendileg 3×10^9 A. A radiális felületi áramot kompenzálni kell egy befelé (vagy kifelé) folyó árammal. Nem értek egyet Israelevich et al. (A&A 376, 288-291, 2001) felvetésével, hogy a kompenzáló áram a pólusok közelében van, hasonlóan a Föld esetéhez. A j_r radiális áramsűrűség számításakor a $\partial B_\phi / \partial r$ tagban nemcsak B_0 ugrása, hanem $\sin \theta$ is ad járulékot, vagyis mégiscsak van egy térfogati radiális áram. Belátható, hogy ez a térfogati áram pontosan kompenzálja az áramlepelben folyó radiális áramot. A földi analógia viszont helyes abból a szempontból, hogy a kifelé folyó felületi és a befelé folyó térfogati áramot a Naphoz közel és a helioszféra külső részén egyaránt be kell zárni (meridionális irányú árammal). Az előbbi áram a korona alsó részén, néhány Nap-sugár távolságig terjedhet ki, ahol az ütközések révén véges az elektromos ellenállás. Ennek az áramnak a nagysága kb. két nagyságrenddel kisebb, mint a Nap belsejében a dinamó árama. A külső áram a terminál lökeshullámon kívülre tehető. Elképzelhető, hogy a külső áram akár nem is záródik be, hanem a helioszféra csóvájában a végtelenig nyúlik (kapcsolódik a csillagközi tér áramaihoz).

2. Az Ulysses olyan helyeken végezte a méréseket, ahol még korábban nem járt űrszonda. A megfigyelések közlését mindenki érdeklődéssel várta és a megállapításokat általában elfogadták. Az Ulysses mérések egyedülállóak, nagy meglepetésekre akkor számíthatnánk, ha a méréseket meg lehetne ismételni egy újabb szondával (erre a Solar Orbiter terv lehetne alkalmas). Mindez azonban nem jelenti azt, hogy nem voltak nézetkülönbségek a megfigyelések interpretálásában, ami az érintett kutatók álláspontjának megváltozását is jelenthette. Egy ilyen esetnek én is részese voltam, röviden a következő történt.

A helioszféra kétféle mágneses polaritását elválasztó áramlepel helyzetéről élénk vita alakult ki, ez a kérdés ma sem megoldott. Még a magnetométer kutatócsoportján belül is a vezető kutató és a helyettes vezető kutató között nézetkülönbség van az áramlepel helyzetének észak-déli szimmetriájára vonatkozóan. Ez a vita engemet is érintett, amely során a nézetem az idővel módosult. Az első gyors szélességi pásztázás adataiból írt cikkemben arról írtam, hogy az áramlepelnek nincs észak-déli aszimmetriája (Erdős, G., and Balogh, A.: The symmetry of the Heliospheric Current Sheet as observed by Ulysses during the fast latitude scan, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 245-248, 1998.). A harmadik gyors szélességi pásztázás után írt cikkemben 2-3°-os déli eltolódásról beszélek (Erdős, G., and Balogh, A.: North-South asymmetry of the location of the heliospheric current sheet revisited, *J. Geophys. Res.*, **115**, A01105, doi:10.1029/2009JA014620). A koncepcióváltás azonban csak látszólag volt ilyen mértékű, az első cikk a részecskeadatokban megfigyelt 10°-os déli eltolódás azon magyarázatát kritizálta, amely feltételezte az áramlepel hasonló mértékű déli eltolódását, ekkora mértékű eltolódás valóban összegyeztethetetlen az Ulysses mágneses tér megfigyelésekkel. Ugyanakkor a későbbi, gondosabb analízis szerint kismértékű aszimmetria mégis lehetséges, ma már nem tartom kizártnak az áramlepel kismértékű észak-déli aszimmetriáját.

3. Az Oppenes javaslata arra vonatkozik, hogy az Ulysses szondával elért megállapításokat érdemes lenne összevetni Lemperger et al. „Long period modulation of the impedance tensor at Nagycenk Geophysical Observatory and its statistical relation to magnetospheric processes and solar wind parameters” című előadásának eredményeivel (IAGA 11th Scientific Assembly, Sopron, 2009). Hosszú időre kiterjedő, közvetlen összehasonlítás földi megfigyelések és az Ulysses mérései között nem lehetséges, mert az Ulysses rövid

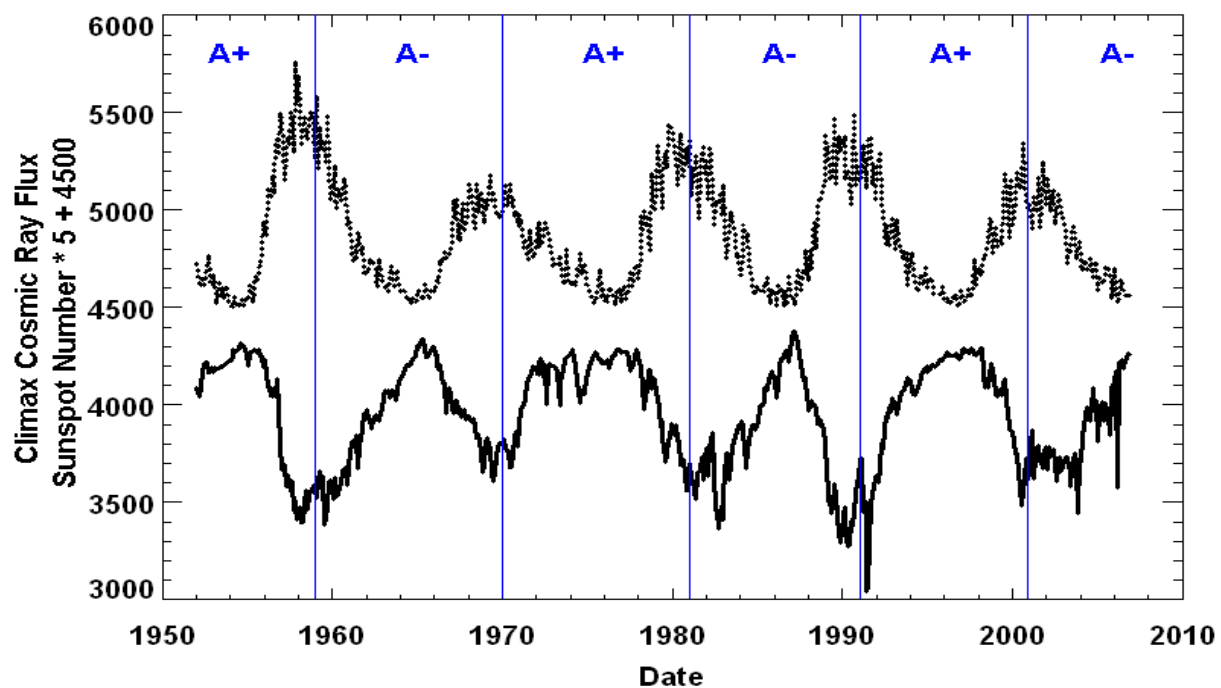
időszakoktól eltekintve más heliografikus szélességen tartózkodott, mint a Föld, és a két megfigyelő heliografikus hosszúsága is általában eltérő volt. Földi mérésekkel való összehasonlításra általában az OMNI adatbázis a legalkalmasabb, amely a Föld közelében, de éppen a fejhullámon kívül tartózkodó szondák adataiból összeállított idősor a napszél paramétereiről. Az Ulysses szonda felfedezései azonban esetleg használhatók lennének a fenti érdekes földi megfigyelés magyarázatában, a megállapítások statisztikai pontosításában. Arra gondolok, az Ulysses egyik fontos eredménye annak bizonyítása, hogy kétfajta napszél létezik amely a paraméterekben elkülönül: gyors és lassú (a disszertáció 4.12 ábrájának bal oldala). A kétféle napszél a korona hőmérsékletében is jól elkülöníthető (4.12 ábra középső panel). A 4.12 ábra jobb oldalán a szórás diagramm azt mutatja, hogy a gyors (800 km/s) napszél a hidegebb (1 millió K) koronából, a lassú (400 km/s) pedig a melegebb (1,5 millió K) koronából ered. Azonban vannak kivételek, az ábra jobb felső kvadránsában is vannak pontok, tehát léteznek gyors napszélnyalábok, amelyek meleg koronából erednek. Ez a plazma feltehetően CME-ből (korona-anyagkilökődésből) származik. Ez a tulajdonság lehetőséget nyújtana a CME-k azonosítására (kb. 80-90 %-os pontossággal). A CME-k automatikus azonosításának lehetősége azért érdekes, mert geoeffektivitás szempontjából a CME-k a leglényegesebb jelenségek közé tartoznak. A soproni megfigyeléseket esetleg érdemes lenne külön vizsgálni olyan időszakokban is, amikor CME-k jelenléte valószínűsíthető.

4. A naptevékenység és a földi klímaváltozás közötti kapcsolat erősen vitatott, de számos megfigyelés látszik alátámasztani a köztük összefüggését. Például a napfolttevékenység 1645-1715 évek közötti lecsökkenésének (Maunder minimum) egybeesése Európa időjárásának lehűlésével (kis jégkorszak) valószínűleg nem a véletlen műve, de elméletileg megtalálni a két jelenség közti kapcsolatot nehéz. Leginkább három lehetséges mechanizmus jöhet szóba:

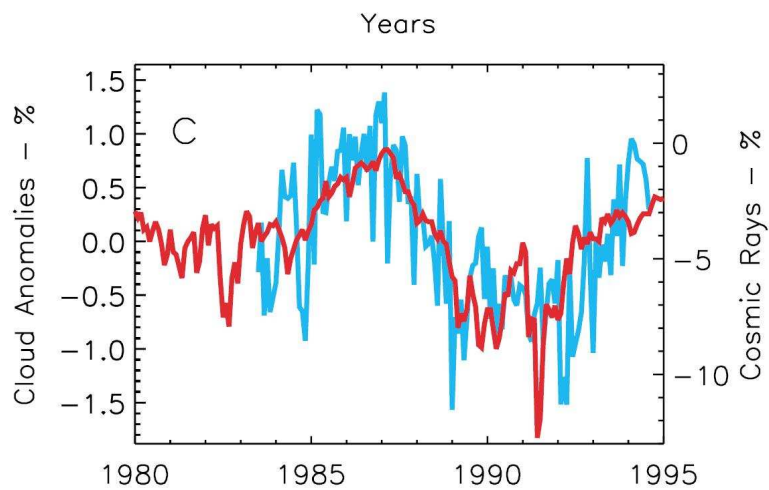
4.1. A Nap fénysugárzása (TSI = Total Solar Irradiance) korrelációt mutat a napfoltok számával. Habár napfoltmaximum idején a sugárzó felszín területe néhány %-kal csökken (a foltok miatt), de ezt túlkompenzálja a Nap felszínének kicsit magasabb hőmérséklete, amelyet a napkitörések során felszabaduló energia táplál. A TSI nagyságrendileg 0,1%-kal nő meg napfoltmaximum idején, ez a földi klímában kb. 0,1°C változást okoz. Ez a kismértékű változás azonban valószínűleg nem elegendő arra, hogy a földi klímát lényegesen befolyásolja.

4.2. A flarek során jelentős ultraibolya sugárzás (UV, EUV) keletkezik, amely a Föld felső légkörében hatással van az ott lejátszódó fotokémiai reakciókra. Emiatt bizonyos kisebbségben levő molekulák (pl. ózon) koncentrációja megváltozhat, amelyek befolyásolhatják a földi klímát. (A hatás felerősítését az üvegház jelenség biztosítaná, amely szerint bizonyos gázok kismértékű koncentrációváltozása is nagy hőmérsékletváltozásra vezethet).

4.3. Viszonylag jól ismert és modellezett jelenség, hogy a kozmikus sugárzás antikorreál a napfoltszámmal (1. ábra). A kozmikus sugárzás ionizációt okoz a légkörben, ez elősegítheti a felhőképződést, mert a levegőben ionizált molekulák magot képezhetnek a víz kicsapódásához, hasonlóan a Wilson-féle ködkamrához, illetve elősegíthetik aeroszolképződését, amelyeken a víz kicsapódhat. A mellékelt 2. ábra mutatja a felhővel való lefedettség és a napfoltszám kapcsolatát (N.D. Marsh and H. Svensmark, Low Cloud Properties Influenced by Cosmic Rays, Phys. Rev. Lett., 85, 5004-7, 2000). A hatás felerősödését az biztosítja, hogy egy túltelített gőzben a csapadék kiválását már kismértékű energiabevitel is elindíthatja. Amennyiben ez a modell helyesnek bizonyul, az Ulysses eredmények a kozmikus sugárzás modellezésének jobb megértésével járulhat hozzá a földi klímaváltozások kutatásához.



1. ábra. A kozmikus sugárzás fluxusa (alsó vonal) és a napfoltszám (felső vonal)



2. ábra. A kozmikus sugárzás fluxusa (piros vonal) és a felhővel lefedett területek változása (kék vonal).

Budapest, 2010. december 7.

Erdős Géza