

**Debreceni Egyetem
Természettudományi Kar**

Szakedolgozat:

Szoláris eruptív jelenségek jellemzői a bolygóközi térben

Készítette:

Kerékgyártó Zita

V. évf. Matematika-fizika

Témavezető:

Dr. Baranyi Tünde

MTA CsKI Napfizikai Obszervatórium

2002 Debrecen

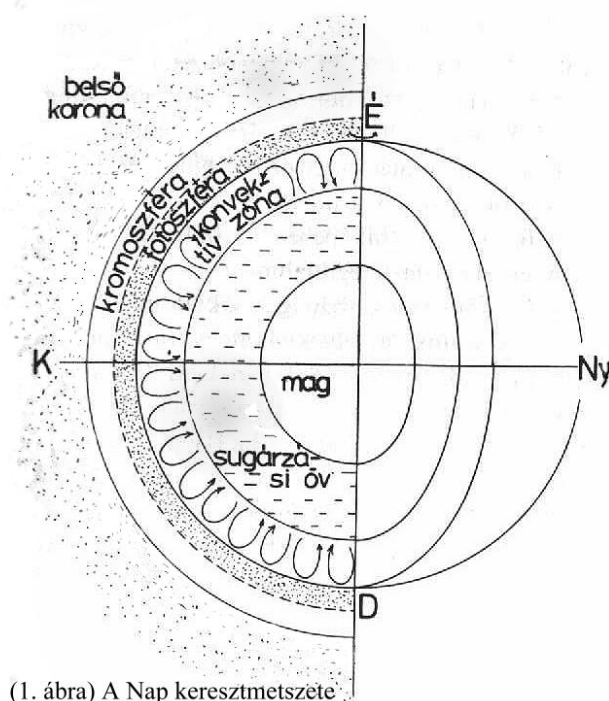
Tartalomjegyzék:

I.	Bevezetés	2
II.	A Nap mágneses tere és ciklusai	3
III.	Eruptív jelenségek	6
	3.1 Napkitörések (flerek)	6
	3.2 Proturberanciák	7
	3.3 CME-jelenség	9
IV.	A napszél	10
	4.1 A napszél szerkezete	10
	4.2 Eltérő tulajdonságú plazmák a napszélben	11
V.	Nap részecskesugárzásának földi hatásai	13
	5.1 A magnetoszféra felépítése	14
	5.2 A geomágneses indexek	15
	5.3 Koordinátarendszerek	17
	5.4 Geomágneses aktivitás időbeli viselkedése	17
	5.5 Geomágneses aktivitási jelenségek	18
VI.	Szoláris plazmaáramok geoeffektív tényezőinek vizsgálata	21
	6.1 Korábbi munkák eredményei:	
	Paralel és antiparalel évek összehasonlítása	21
	6.2 A dolgozat eredményei: az 1997-1999-es időszak vizsgálata	23
	Felhasznált irodalom	25

I. Bevezetés

Naprendszerünk középpontjában egy csillag a Nap áll. A Nap gravitációs vonzóereje ellipszis pályára kényszeríti a kilenc nagy bolygót - köztük a Földet -, és számos más égitestet is: kisbolygókat, üstökösöket, meteorokat. A Föld, mely a naprendszer harmadik bolygója, csupán 150 millió km-re van a Naptól, és Földünkre sokszor jelentős hatással vannak a Napon lejátszódó jelenségek.

A Nap szerkezetének ismerete szükséges ahhoz, hogy a felszínén lejátszódó események



érthetőek legyenek (1. ábra). Legfelül a mag helyezkedik el, ahol a termonukleáris energiatermelés folyik. Itt a hőmérséklet kb. 15 millió fok körüli. Ezt a kisugárzási öv követi, mely a konvektív zónához "szállítja" az energiát, amely hatalmas áramlások útján szállítja tovább az energiát a felszínre. Ennek a zónának a külső része 6000 fokos. A fotoszféra a Nap azon része, melyet mi is látunk, ha az égitestre nézünk, hiszen a sugárzás 99%-át ez az övezet bocsátja ki. A fotoszférában figyelhetők meg a napfoltok a fotoszférikus fáklyák, és a granulációs szerkezet is. Ezt a nagyjából 100 km széles

sáv fölött helyezkedik el a kb. 1000 km vastag kromoszféra, ahol érdekes módon a hőmérséklet kifelé haladva egyre nő, az e feletti a koronában pedig már több millió fok van. Hosszú ideig megoldatlan kérdést okozott ez, mivel sem konvekció, sem sugárzás nem magyarázta a jelenséget. Az elképzelések szerint a fotoszféra alatti konvekciós zóna mechanikus energiája tudja felmelegíteni a korona ritka anyagát. A konvekció és a vele kapcsolatos turbulencia egyrészt hanghullámokat kelt a fotoszférában. Ahogy ritkul az anyag sűrűsége a hullámok amplitúdója növekszik, míg lökéshullámokká alakulnak, és leadják energiájukat a környezetnek. Másrészt a mágneses térben a turbulens mozgások Alfvén-hullámokat (a mágneses erővonalak transzverzális hullámai) keltenek, melyek az erővonalakat követve továbbterjednek, így fűtve a kromoszférát, és még inkább a koronát.

A napkorona magas hőmérsékletének következménye az, hogy a Nap felszínét bizonyos távolságokban részecskék tudják elhagyni, a szökési sebesség elérése miatt, és a közel radiálisan kifelé párolgó részecskék létre hozzák a napszelet, mely Földünkre is hatást gyakorol.

Napjainkra sokat megtudtunk erről az égitestről. Tudjuk, hogy állandóan és dinamikusan változik. Ismert, hogy a Nap elektromágneses sugárzásának erőssége nem állandó, hanem folyamatosan változó. A Napban illetve annak felszínén végbemegy számos más folyamat is, melyek hatással vannak a földi troposzférára, ugyanis azok hatására létrejöhet olyan nagyenergiájú részecske- vagy elektromágneses sugárzás, mely az ózonrétegen is áthatol. A Nap földi hatásait még nem ismerjük kellő mértékben, ezért a naptevékenységgel kapcsolatos különböző jelenségek vizsgálata a napfizika fontos területe.

A Nap és Föld közötti kapcsolat kutatása, vizsgálata már több mint 100 éves múltra tekinthet vissza. A legelső megfigyelés az volt, mikor 1741-ben Celsius svéd csillagász felfigyelt arra, hogy mikor a sarki fény jelensége látható a mágnesű iránya ingadozik. Már ekkor feltételezték, hogy a napfolttevékenység kapcsolatban van a földi geomágneses zavarokkal, így magával a sarki fénnel is. A feltételezés bizonyítására csak 1852-ben került sor Sabine, Gautier és Wolf cikkeivel. 1801-ben W. Herschel rámutatott a napfoltszám és a klímaváltozás közötti korrelációra. 1859-ben pedig, amikor Richard Carrington egy fehér folt fejlődésének lehetett tanúja megfigyelte azt is, hogy 17 órával a napkitörés után geomágneses vihar történt. Az igazi lehetőség ezen Nap-Föld közötti fizikai kapcsolatok feltárására az űrkutatás elkezdődésével és fejlődésével lett. Hiszen a napszelet és a bolygóközi mágneses teret is műhold segítségével (1963; IMP-1) fedezték fel. Azóta mérik a napszélben a részecskeáram sebességét, sűrűségét, mágneses terét, valamint e tényezőknek a föld mágneses terére és a légkörre kifejtett hatásait.

II. A Nap mágneses tere és ciklusai

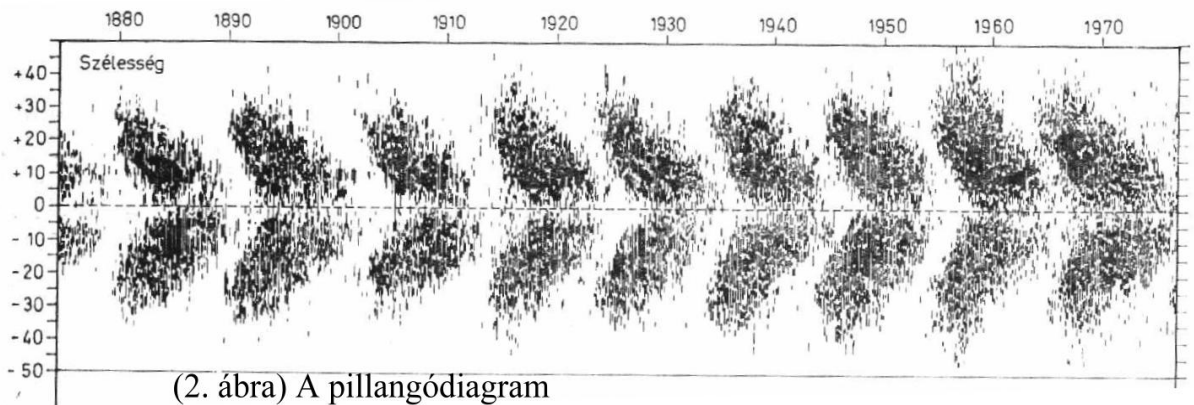
A Napon lévő mágneses terek legszembetűnőbb megnyilvánulásai a napfoltok. Nagyobb napfoltokat akár szabad szemmel is lehet látni naplementekor vagy füstfelhőn keresztül. A Napon látható sötét foltokról fennmaradt első feljegyzések Kr. e. 6. századból valók. A feljegyzéseket Arisztotelész tanítványa Teophrasztosz készítette, de rengeteg feljegyzés került elő a távol-keleti csillagászoktól is. Tanulmányozásukat azonban csak a távcsövek csillagászatban való alkalmazása után lehetett elkezdni.

A napfoltok erősen mágneses területek, melyek hőmérséklete a fotoszférához képest hidegebb, ezért látszódnak sötét foltokként. A térerősség eléri a 3000 Gauss értéket, a hőmérsékletkülönbség a fotoszférához képest általában 1000 fok körüli érték. A napfoltok nagysága különböző lehet, némelyik nagysága a Föld átmérőjének többszörösét is elérheti. Már kisebb távcsővel is látható a teljesen sötét középső rész a napfolt umbrája illetve az azt körülvevő világosabb penumbra.

Egy-egy napfolt élettartalma a pár naptól pár hónapos időszakig terjedhet, elhelyezkedésüket tekintve két - a Nap egyenlítőjével párhuzamosan, attól délre illetve északra elhelyezkedő - sávban keletkeznek. Ha egy napfolt eltűnik a nyugati peremen 13,5 nappal később megjelenhet a keletin, ha elég nagy a folt és megéli azt az időt. Tehát a Földről nézve a Nap egy tengelykörüli fordulatához 27 napra van szükség. Richard Carrington a Nap tanulmányozása közben azonban észrevette, hogy minél közelebb van egy napfolt az egyenlítőhöz, annál kevesebb idő alatt tesz meg egy fordulatot a tengely körül. Ez a megfigyelés vezetett el a differenciális rotáció fogalmának bevezetéséhez. Ez a forró gázokra jellemző jelenség - mint az napjainkra kiderült-, csak a konvekciós zóna aljáig figyelhető meg, és ez a felelős a Nap mágneses tereinek kialakulásáért mely alapjaiban határozza meg Csillagunk aktív jelenségeit.

A napfoltok csoportokba rendeződve jelennek meg. Ritka az egyedülálló napfolt. A foltcsoportoknak a rotáció irányában elől lévő részét vezető résznek, a másikat követő résznek nevezzük. Egy foltcsoport vezető illetve követő része ellentétes polaritású foltokat tartalmaz, ugyanakkor egy adott ciklusban adott félgömbön keletkező csoportok vezető részének polaritása megegyezik. Így meghatározott a követő részek polaritása is. Ugyanakkor a másik félgömbön a vezető illetve a követő tartományok polaritása fordított. A következő ciklusban a polaritás viszonyok ellentétesek. Így jön létre egy 22 éves mágneses ciklus a Hale-ciklus, mely két napfoltciklust foglal magába.

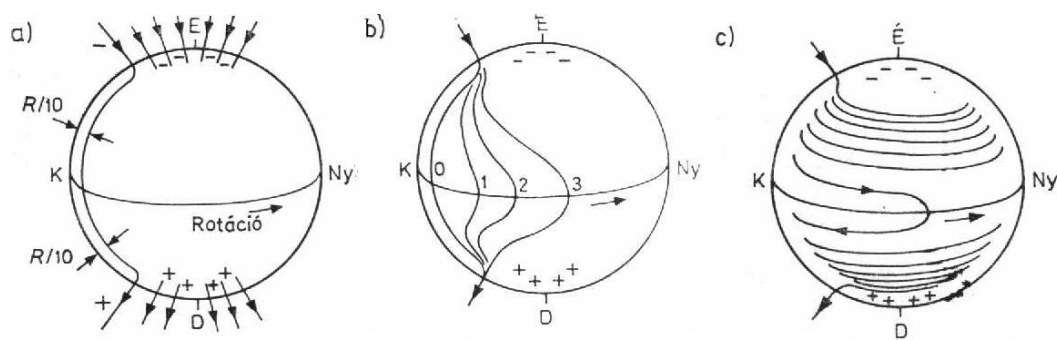
A napfoltok megjelenésének gyakorisága nem egyenletes, de szabályszerűséget mutat: körülbelül 11 évenként maximum van, ilyenkor 15-20 foltcsoport is látható a napkorongon. A napfoltciklus kezdetén a keletkezési területek a 30-40. heliografikus szélesség környékén vannak, maximumra a foltok lehúzódnak kb. a 10-20. szélességi fok tájára. Minimum idején hetek telhetnek el anélkül, hogy napfoltot lehetne látni, és ilyenkor az adott ciklus foltjai az egyenlítőhöz közeli tartományokban keletkeznek. Tehát a Spörer-törvény értelmében a foltcsoportok átlagos naprajzi szélessége a napciklus folyamán csökken.



Jól szemlélteti a Spörer-törvényt az ún. pillangódiagram (2. ábra), melyet a greenwichi napfoltmérések több mint egy évszázados anyagának feldolgozásával készítettek. A diagram a napaktivitás heliografikus szélesség szerinti változását mutatja.

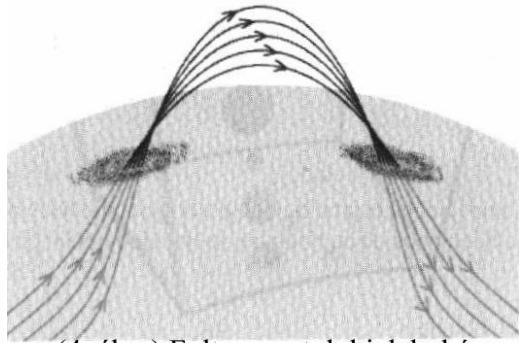
Rudolf Wolf létrehozott egy formulát, hogy a Nap foltosságát jellemezni tudja. Ez a formula, melyet napfolt-relatív számnak nevezünk, ma is használatos: $R=k(10g+f)$

A képletben a "g" a foltcsoportok számát jelöli, az "f" a foltok számát, a "k" pedig egy arányossági tényező, mely a megfigyelésekhez használt távcső paramétereitől függ. A relatív szám jól jellemzi a Nap foltosságát adott időintervallum alatt, de érdemes nagyobb időtartamokra meghatározni az értékét, hogy a pontatlanságok kiátlagolódhassanak. A relatív szám ugyanis nem fizikai mennyiség, hiszen, ha a napkorongon két kis folt látható és azok párt alkotnak, akkor $R=12$, de ha külön állnak, akkor $R=22$. Van összefüggés a foltok száma és a relatív szám között, de az nem mondható el, hogy a Nap pontosan kétszer annyira aktív, ha a relatív szám kétszerese. Hosszabb időszak vagy több obszervatórium adatainak átlagolásával az ingadozások kisimulnak, és megbízhatóbb adatsort kapunk. A Nap aktív jelenségei jól magyarázhatók annak mágneses tereivel, de hogyan alakul ki ez a tér? A Spörer-szabály és a Hale-szabály segítséget ad a válaszhoz.



(3. ábra) A Babcock-féle dinamó

A Csillagunk mágneses terének kialakulását a legelfogadhatóbban a dinamóelmélettel lehet megmagyarázni, melyet elsőként H. W. Babcock dolgozott ki (3. ábra). A Nap anyaga plazma, azaz a nagyon magas hőmérséklet hatására az atomokról leváltak az elektronok, így a részecskék ionizált állapotban vannak. Ha elektromosan töltött részecskék áramlanak, akkor az áramlás irányára merőleges mágneses tér keletkezik. A Nap forog, így egy köráram alakul ki, mely mágneses teret, mágneses dipólust hoz létre. Az ilyen teret poloidális térnek nevezték el, ezeknek az erővonalai a felszín alatt helyezkednek el (3/a).



(4. ábra) Foltcsoportok kialakukása

Azonban az ilyen poloidális tér nem maradhat fenn túl sokáig, ugyanis a befagyási tétel alapján a teret jellemző erővonalak követik a plazma mozgásait. A differenciális rotáció miatt a mágneses dipólus deformálódni kezd (3/b), majd a vonalak

feltekerednek és kialakul két mágneses gyűrű, mely a toroidális tér jellemzője (3/c). Szemléletes képet kaphatunk a foltcsoportok kialakulásáról is: Ha egy mágneses teret alkotó erővonalaköteg kitüremkedik a felszínen, két helyen is metszi azt. Az egyik metsző terület a vezető, a másik a követő napfoltokat tartalmazza (4. ábra). Így már belátható az is, hogy miért ellentétes a két rész polaritása.

A poloidális tér toroidálisá váló átalakulását ω -effektusnak nevezzük, míg a fordított mechanizmust α -effektusnak. Az α folyamat során a toroidális térből felépül az előzővel ellentétes polaritású mágneses tér. Miután felépült az új poloidális tér minden kezdődik előlről. Tehát, amikor a toroidális tér erőssége eléri a maximumát, akkor naptevékenységi maximum van, és ilyenkor történik meg a poloidális tér megfordulása.

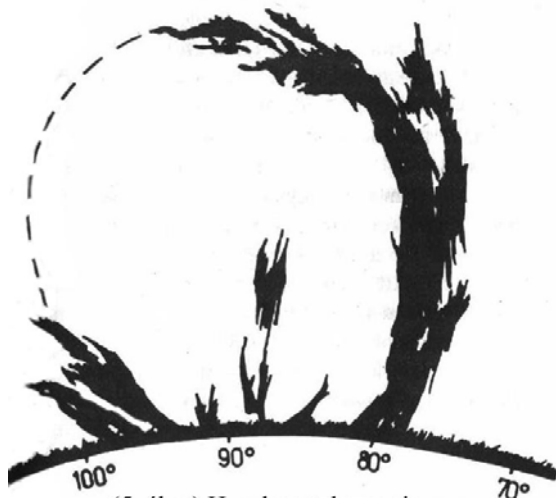
Azokban az években, amikor a Nap és a Föld pólusai párhuzamosak egymással azt, mondjuk, hogy paralel évek vannak, ha pedig ellentétesek, akkor antiparalel évekről beszélünk.

III. Eruptív jelenségek

3.1. **Napkitörések (flerek):** A fler a kromoszférában jól észlelhető jelenség. A flerek mérete hatalmas, és hatalmas az az energia is, mely felszabadul egy-egy ilyen jelenség folyamán. Mindezek ellenére csak a 19. században fedezte fel Richard Carrington, mivel a napkitörések egy ritka fajtájának, egy fehér fler fejlődésének lehetett tanúja.

Feltehető a kérdés, hogy miért csak ilyen későn figyeltek fel erre a jelenségre? A flerek a kromoszférában lejátszódó folyamatok, a kromoszféra pedig folytonos színképben nem figyelhető meg, csak egyes spektrumvonalakban. Így a megfigyelésükhöz fel kellett fedezni a spektroheliószkópot, majd az interferenciaszűrőket. A Carrington által észlelt fler egy fehér fler volt, az ilyen típusú - az átlagosnál 50% -kal erősebb intenzitású - napkitörések azonban már a fehér fényben is megfigyelhetők, ugyanis ilyenkor a felgyorsított részecskék a fotoszférát is felfűtik. Fehér flert átlagosan csak két évente lehet látni. A fenti eszközök segítségével végzett megfigyelések során kiderült, hogy a flerjelenségek gyakoribbak mintsem gondolták volna. A napkorongon, maximum idején több fler is látható a foltcsoportok területén.

A napkitörések kialakulása is a Nap mágneses terével magyarázható és megfigyelések szerint többnyire napfoltok közelében alakulnak ki. Az aktív terület feletti instabil mágneses konfiguráció rövid idő alatt (1-2 óra) stabil szerkezetűvé válik: azaz a mágneses terek átkötődnek, miközben óriási energia szabadul fel. Egy átlagos fler alatt annyi energia szabadul fel, mint amennyi egy másodperc alatt a Nap teljes felületén. Ez az energia az adott térrész részecskéinek mozgási energiáját növeli. Így a protonok, elektronok és ionok a napra jellemző szökési sebességnél nagyobbra gyorsulnak fel, és kiáramlanak a Nap légköréből, vagy a megmaradt erővonalakon lezárporoznak a kromoszférába.



(5. ábra) Hurokprotuberancia
(1895; Fényi Gyula rajza után)

A flerek a *fellángolás fázisával* kezdődnek. Ez 1-10 percig tartó folyamat, mely során a plazma kifényesedik. Az *eruptív fázisban* beindul az energia gyors felszabadulása, mely magában foglalja a korpuskuláris és az elektromágneses hullámok kisugárzását is. Ha a Nap valamely területének elektromágneses sugárzása, valamely frekvencián nagymértékben meghaladja hőmérsékleti sugárzás mértékét, akkor már erupcióról beszélünk. A *záró fázis* során a fler fényessége csökkenni kezd.

3.2. Protuberanciák: Már több évszázaddal ezelőtt, felfigyeltek erre a jelenségre, és többféleképpen értelmezték őket. Egy napfogyatkozás után a Hold légkörében úszó felhőként, majd egy későbbi fogyatkozást követően a Napon levő hegyeknek gondolták őket, sőt volt olyan, aki úgy vélte, hogy az észlelés folyamatának velejárója. Majd a spektroszkópia megszületésével a színképekből következtettek arra, hogy a protuberanciák nem mások, mint gázfelhők a koronában. A színképben fényes emissziós vonalakat találtak, melyek végül elevezettek egy új elem, a hélium

felfedezéséhez. A protuberanciák kialakulásának magyarázata szintén a mágneses tér, mely a nem nagy sebességű plazmát meg tudja tartani, és így válik láthatóvá. Az erővonalak mentén áramlik az anyag a koronából a fotoszférába. Magasságuk elérheti a 100 ezer km-t is, de vastagságuk ehhez képest csak 5000 km.

Megkülönböztetjük egymástól a nyugodt és aktív protuberanciákat. Az előbbiek képviselői általában öreg, mágnesesen már inaktív területek felett jönnek létre, például két mágnesesen különböző polaritású terület semleges határán keletkeznek és akár hónapokig is élhetnek. Ez a hosszú élettartam megköveteli, hogy valahonnan anyag utánpótláshoz jussanak. A nyugodt protuberanciák azonban lehetnek egy-egy aktív, eruptív protuberancia kiindulópontjaivá, ha például valamilyen mágneses zavar alakul ki.

Míg a nyugodt protuberanciák függöny vagy fal alakúak, addig az aktív képződmények alakjuk szerint többféle formát is ölthetnek, nevüket is formájuk alapján kapták: felhő, hurok, tornádó. A *felhő-protuberanciák* élettartalma néhány nap, méretük pedig a Földnél jóval nagyobb. Függőleges képződmények, melyekről anyagcseppek esnek le 50-100 km-es sebességgel. A *hurok-protuberanciák* (5. ábra) kiindulópontja egy napfoltcsoport vezető része, majd az onnan kiinduló mágneses erővonalak a csoport követő részében kapcsolódnak ismét a fotoszférába. A *tornádó-protuberanciák* szerkezete spirális, és ez tekeri fel magára az anyagot. Mindhárom aktív formára jellemző, hogy az erővonalak mentén lefelé anyagáramlás van és fiatal, nyugtalan területek felett jönnek létre.

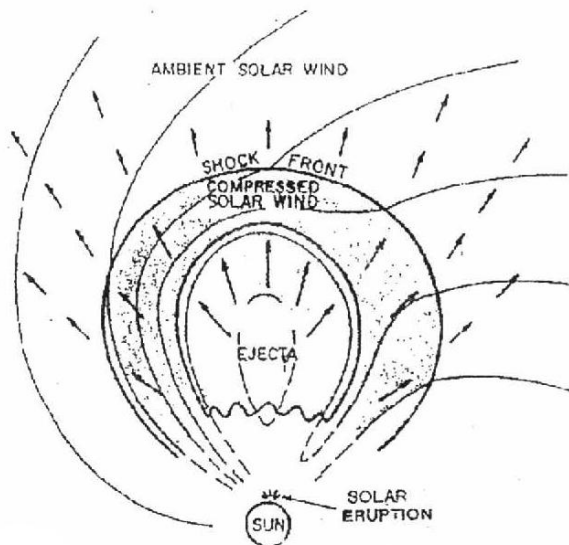
Protuberanciákat a napkorong szélén levő fényes, vörös kitüremkedésnek látjuk, hiszen a szinte átlátszó korona sötét háttére előtt fényes ívként húzódnak meg. Feltehetjük a kérdést, hogy a napkorongon miért nem látjuk őket? A kromoszférában sötét szalagokhoz hasonló alakzatokat figyeltek meg, melyeket filamenteknek neveztek el. Sokáig külön képződményeknek tekintették a protuberanciákat és a filamenteket, míg kiderült, hogy egyazon jelenségről van szó. A napkorongon azért látszanak sötétnek a filamentek, mert ilyenkor nem az űr sötét háttére előtt, hanem a fényes kromoszféra előtt látjuk őket. Gyakran megfigyelhető, hogy a napkorong keleti peremén látszó protuberancia a Nap elfordulása következtében filamentként válik láthatóvá a korongon.

Az aktív protuberanciák a napfoltokkal együtt az egyenlítő felé vándorolnak a napfoltciklus előrehaladtával, míg a nyugodt protuberanciák egyre magasabb szélességek felé haladnak, így a 70. fok környékén filamentkorona alakulhat ki több filament csoportosulásából.

A protuberanciák halálának többféle oka is lehet, ugyanis a mágneses tér bármilyen változására nagyon érzékenyen reagálnak. Gyakran intenzív mozgások lesznek megfigyelhetők bennük, majd gyorsan felszállnak a világűrbe. Előfordulhat, hogy ezután újraképződnek

ugyanolyan alakot öltve. Ha a protuberanciát fenntartó mágneses erőkötegek felszakadnak, a felszabaduló energia az azokon meghúzódo részecskék mozgási energiáját növelve eruptív protuberanciát is okozhat.

3.3. CME-jelenség (Coronal Mass Ejection = koronaanyag kidobódás): A CME-eket 1971-ben fedezték fel műholdas észelések alapján. Ezek olyan szoláris plazma és mágneses tér alkotta struktúrák, amelyek Nap koronájából hirtelen kiszabadulnak a bolygóközi térbe. Az addig zárt erővonalakból álló stabil mágneses erővonalrendszerben olyan átrendeződések és erővonal-



(6. ábra) CME nyomán fellépő sűrűség hullám-front.

átkötődések jönnek létre, amelynek hatására az instabillá válik. Az érintett térrészben lévő mágneses fluxusköteg a benne lévő részecskékkel együtt elszabadul a Nap közvetlen közeléből, és mint egy hatalmas buborék felfúvódik. Elsősorban koronaanyagot visz magával, de kromoszférikus eredetű anyag is kimutatható benne. Az anyagbuborék összetartó ereje a mágneses tér. A koronaanyag

kidobódás kapcsolatban lehet eruptív protuberanciával vagy flerrel, de sok esetben nem lehet összefüggésbe hozni más észlelt eruptív jelenséggel.

Fehér fényben készült koronaészeléseken gyakran lehet hármastagolású szerkezetet kimutatni. A buborék külső részén látható egy szalagszerű struktúra, amely az előzőleg zárt struktúrát körülvevő koronából származik. Ezt követi egy sötét térrész, amely magával az elszabadult mágneses fluxusköteggel azonosítható, majd egy fényes, sűrű anyagcsomó, ami a protuberancia kidobódott anyaga.

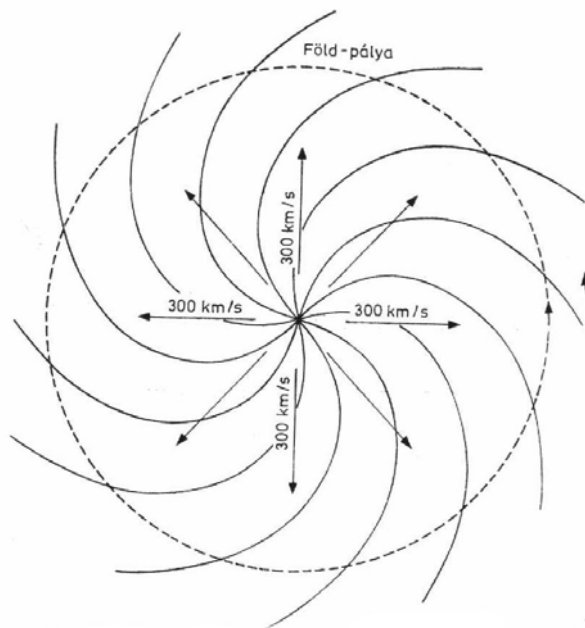
Egy CME nagyon gyorsan lejátszódhat, akár fél óra alatt is végbemehet. A CME-k sebessége és gyorsulása, az általuk szállított anyag és energia mennyisége széles (2-3 nagyságrendnyi) tartományban változhat. Az eltávozó anyag 10^{11} és 10^{13} kg között lehet. A részecskék kinetikus energiája 10^{22} és 10^{24} közötti tartományba szokott esni. Az eltávozó anyag sebessége 20 km/s – tól 1500 km/s-ig terjedhet. Az előfordulási gyakoriságuk a napfoltciklustól függ. Minimumkor hetente egy-két CME fordul elő, míg maximumkor naponta többet is észlelnek.

IV. A napszél

A napszél magába foglal minden olyan részecskét, amely a Napot elhagyja. Tehát a napszél anyaga plazma, gyakorlatilag nincsenek benne neutrális elemek. Főként protonok és elektronok kisebb mértékben pedig egyszerűen vagy kétszeresen ionizált hélium alkotja.

4.1. A napszél szerkezete

Már az 1950-es évek elején felmerült a napszél létezésének gondolata. Ugyanis Biermann ezzel magyarázta azt, hogy az üstökösök csóvjája mindig a Nappal ellentétes irányba mutat. Néhány év múlva, Parker szintén elméleti alapon tett eredményeit tette közzé. Ebben rámutatott arra, hogy a korona külső tartományaiban sok részecske tesz szert a szökési sebességet túllépő mozgási energiára, mely egy állandóan jelenlevő anyagáramláshoz vezet. Parker a napszél több tulajdonságát előre megjósolta. A napszél tényleges létezését a 1959. szeptember 12-én



(7. ábra) A napszél idealizált szerkezete 300km/s sebességű radiális tágulás esetén

felbocsátott Lunyik-2 holdrakéta mutatta ki, de tulajdonságainak megismeréséhez hozzájárult az 1961 elején indított amerikai Explorer-10 mesterséges hold, illetve a Mariner-2 (1962-63) űrszonda is.

A napból kiáramló részecskék magukkal viszik a Nap mágneses terét, így hozva létre a bolygóközi mágneses teret (Interplanetary Magnetic Field = IMF), melynek érdekes jellemzői vannak.

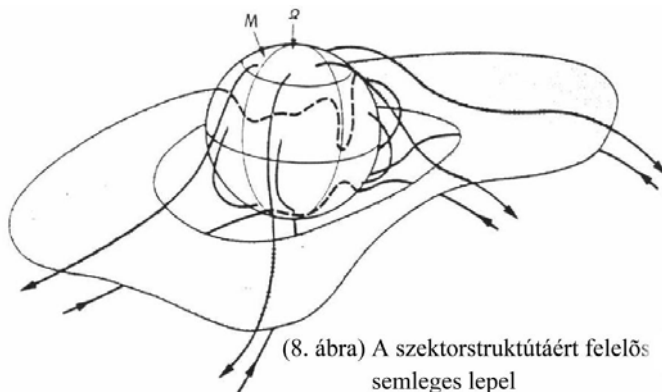
A Napot elhagyó részecskék útja különbözik a fény útjától, tehát nem egyenes úton jutnak el a Földre, hanem azzal az iránnyal mintegy 45 fokos szöget bezárva. Ennek az a magyarázata, hogy

Napot elhagyó anyag a befagyási tételnek megfelelően magával viszi a mágneses teret, ugyanakkor az a Naphoz van rögzítve. Tudjuk, hogy Csillagunk forog a tengelye körül, emiatt azonban a mágneses tér eldeformálódik. Ha mágneses erővonalakkal jellemezzük a teret, akkor egy Archimedesi spirált kapunk. (7.ábra) A Napból tehát olyan pályán érkeznek a Földre a részecskék, mint a kerti locsolóból a vízcseppek, ezért szokták locsolóeffektusnak is nevezni ezt a

jelenséget. A részecskék ilyen mozgásának az a következménye, hogy a napkorong keleti oldaláról kidobódó anyagok általában nem érik el a Földet.

Mivel az északi illetve déli pólusoknál ellentétes a mágneses polaritás, a két különböző féltékéről kiáramló részecskék is ellentétesek mágneses polaritású erővonalakat húznak ki a bolygóközi térbe. A két ellentétes polaritású mágneses területet egy keskeny semleges réteg választja el egymástól. Ez a réteg rendszerint nem tökéletesen síkszerű, hanem a térben elképzelve egy balerinaszoknya-szerű fodrozódáshoz lehet hasonlítani. A fodrozódását okozhatják a Nap felszínén jelen levő aktív vidékek. (8. ábra), de a legfőbb oka az, hogy a Nap forgástengelye nem esik egybe a mágneses tengelyével, hanem ciklussal változó szöget zár be azzal.

Ennek a térbeli fodrozódásnak fontos következménye, hogy hol a semleges réteg fölötti rész, hol az az alatti rész esik az ekliptika síkjába. Földünk, (mely az ekliptika síkjában kering a Nap



körül) hol a határréteg fölé, hol pedig az alá kerül, és ennek megfelelően hol északi, hol déli polaritású térben van. Így a Nap egy körülfordulása során hol annak északi, hol annak déli részéről jövő részecskék érik el a Földet. Az azonos polaritású területeket szektoroknak nevezük. A pozitív és

negatív polaritású szektorok váltakozása adja a bolygóközi mágneses tér szektorstruktúját. A Nap körül egyszerre általában 2-4 ilyen szektor alakul ki. Napfoltminimumkor a kétszektoros stuktúra a jellemző. A naptevékenység fokozódásával párhuzamosan kialakul a 4 szektoros struktúra, de maximumkor már 8 is lehet a szektorok száma vagy teljesen fel is borulhat a szektorstruktúra.

4.2. Eltérő tulajdonságú plazmák a napszélben

A napszél három összetevőre bontható aszerint, hogy a részecskék honnan és hogyan hagyják el Csillagunkat.

Lassú szél: A Nap külső korona részén nagy a hőmérséklet, így a részecskék nagy energiával rendelkeznek, ugyanakkor a felszíntől ekkora távolságban a szökési sebesség már nem olyan nagy. Mindezek következtében a Napot folyamatosan hagyják el részecskék. A nyugodt Napra a részecskekiáramlásnak ez a fajtája a legjellemzőbb, ilyenkor a napszél sebessége az egyenlítői síkban átlagosan 400km/s körüli érték, de az egyenlítőtől távolabbra más értékeket is felvehet. A protonszűrűség 1-10 proton köbcentiméterenként, az áramlásra merőlegesen elhelyezett 1 cm²-nyi felületen másodpercenként 10⁸-10⁹ proton halad át. A protonfluxus 3s⁻¹cm⁻².

Koronalyukak és a gyors szél: Egy-egy napfogyatkozás alkalmával megfigyelhető volt, hogy a korona egy darabja hiányzik. Sokáig nem találtak magyarázatot a jelenségre, majd a műholdas észlelések adtak választ rá, mikor már röntgentartományban is lehetett képeket készíteni a koronáról. A röntgenészleléseken az egész korongon látható a korona szerkezete, a sötét koronalyukakkal együtt. Ultraibolya fényben a koronalyukak már a kromoszféra felsőbb rétegeiben megfigyelhetők. A koronalyukak olyan a területek, ahol a mágneses erővonalak nyitottak, és az anyag kiáramlik az űrbe az erővonalak mentén. Ezeken területeken a gáznyomás és a hőmérséklet alacsonyabb, mint ahol a zárt erővonalak fogva tartják a plazmát. A röntgensugárzás mértéke is kisebb, így ezt illetve a lágyröntgen tartományt kell vizsgálni a koronalyukak megfigyeléséhez. A légkör azonban kiszűri ezeket a tartományokat, ezért csak mesterséges holdak segítségével lehet észlelni ezeken a hullámhosszakon. A koronalyukakból a nyílt erővonalak mentén kiáramló részecskék alkotják a napszél másik részét. A pólusok körül kialakuló koronalyukakat poláris koronalyukaknak nevezzük, az innen kiáramló részecskék sebessége 600-800km/s körüli. Koronalyukak a nap poloidális terének ciklusával (a dipólciklussal) mutatnak változást. A pólusoknál gyakorlatilag állandó jelleggel meglévő koronalyukak mérete a dipóltér erősségétől függően kisebb vagy nagyobb. A dipólciklus maximuma (a foltciklus leszálló ága) táján gyakran lehúzódnak egész alacsony szélességekre is, néhány esetben messze túl is lépik az egyenlítőt. Napfoltmaximum körül azonban a poláris koronalyukak kicsik, de az alacsonyabb szélességeken megjelennek rövid életű és kis kiterjedésű egyenlítő környéki koronalyukak.

Amikor a lyukak elhelyezkedése olyan, hogy a belőlük kiáramló szél eléri a Földet, akkor a Nap forgása miatt minden fordulatkor visszatérő gyors napszélnyalábokat (fast corotating streams) észlelünk, melyekben a nagy amplitudójú Alfvén-hullámok dominálnak. Ezen áramok plazmája és mágneses tere a földi magnetoszférában visszatérően geomágneses zavarokat okoz. A legnagyobb zavarokat nem is maguk a nagy sebességű áramok okozzák, hanem azok a lökésfrontok, amelyek a lassú széllel történő kölcsönhatásuk révén alakulnak ki. Ilyen kölcsönhatást mutat a 6. sematikus ábra. A lassabb sebességű áramok mágneses mezeje jobban elgörbül a az alacsony sebességnek köszönhetően, míg a gyors áramok erővonalai kisebb ívben csavarodnak a nagyobb sebesség miatt. A gyors áram beleütközik az előtte haladó lassú áramba és felgyorsítva tolja maga előtt. Az összetorlódott részben megnő a részecskesűrűség és a mágneses térerősség.

CME-k a napszélben: Ha a CME sebessége nagyobb mint a környező napszélé, akkor az előbbiekhöz hasonlóan elülső lökésfront alakul ki. Ezt követi a szoláris plazmából és mágneses teréből álló struktúra. A mágneses tér 10-25 nT (vagy nagyobb) erősségű, rendkívül alacsony a protonhőmérséklet, és a plazma bétája (a gáznyomás és a mágneses nyomás hányadosa) tipikusan

~0,1. A CME-kenél gyakran kimutatható az úgynevezett mágneses felhőstruktúra. A mágneses felhők hatalmas fluxuskötegek, amelyek tengelyük körül megcsavarodnak, és a mágneses erővonalak mentén mindkét irányban áramok folynak benne (BDE: bidirectional streaming of electrons ($\geq 50\text{eV}$); BDI: bidirectional streaming of ions ($< 20\text{keV}$)). Ha egy mágneses felhő halad át a teret mérő műholdon, akkor az azt észleli, hogy a mágneses tér lassan északról dél felé rotál (vagy fordítva), és kb. egy nap alatt körbefordul.

A Föld távolságában már nehéz a CME minden komponensét azonosítani a megfelelő szoláris struktúrával. A napkorong közelében észlelt "klasszikus" CME három részből áll. A Naptól legtávolabbi rész egy fényes külső burkok. A következő egy sötét terület, és a Naphoz legközelebb vannak a fényes csavarodott filamentek. A mágneses felhők legvalószínűbben a középső sötét résznek felelnek meg, mert alacsony fényesség magyarázható a felhők alacsony ionhőmérsékletével. A CME-k 20-40%-nál mágneses felhő megérkezése előtt lehet észlelni egy tartomány létezését, amelyben jellemző a nagy sűrűség és plazmahőmérséklet, és megnövekedett a $\text{He}^{++}/\text{H}^+$ érték. Arra következtettek, hogy ez a plazma felel meg a külső fényes burkoknak. Az utóbbi időben sikerült kimutatni, hogy a mágneses felhőt követheti egy nagy sűrűségű, nagyon hideg régió, amelyet összefüggésbe hoztak a protuberancia bolygóközi térbe kiáramló anyagával.

Végülis négy olyan jellegzetességet találtak, amelyek közül egy vagy több megléte egyértelművé teszi a CME-k kimutatását a bolygóközi térben végzet mérésekből:

Mágneses felhő: (1) A mágneses térerősség nagyobb az átlagnál; (2) a mágneses tér iránya folyamatosan forog, és egy napnyi időintervallum alatt nagy szögnyit fordul; (3) a protonhőmérséklet alacsonyabb az átlagnál.

Megnövekedett hélium arány: A plazmában a $\text{He}^{++}/\text{H}^+ > 0,08$.

BDE: 50eV-os vagy nagyobb energiájú elektronok ellentétes irányú áramai

BDI: 20keV-nél kisebb energiájú ionok ellentétes irányú áramai

V. Nap részecskesugárzásának földi hatásai

A szoláris részecskék terjedési sebessége a bolygóközi térben és a Földhöz való megérkezésükig eltelt idő sok mindentől függ. A koronalyukakból származó napszélnyalábok részecskéi 7-800 km/s körüli sebességgel, néhány eV-os energiával rendelkeznek, míg a CME-kkeé érkező részecskék sebessége és energiája széles tartományban változhat. A részecskék földi hatását azonban főleg az határozza meg, hogy milyen mágneses teret hoznak magukkal, illetve, hogy azok milyen deformációt szenvednek az útjuk során míg ide érnek.

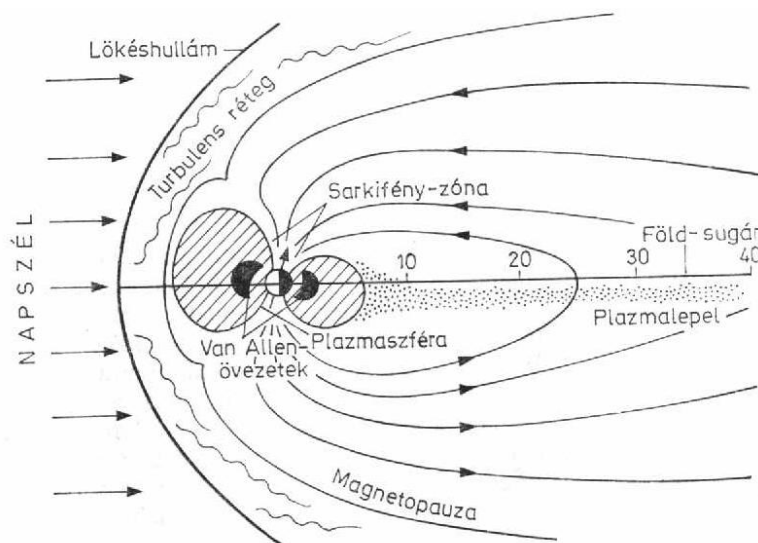
5.1. A magnetoszféra felépítése

Földünk mágneses terét első közelítésben egy $8.0 \cdot 10^{15}$ Wbm mágneses momentumú ponszerű dipólussal lehet leírni. Ugyanúgy ahogy a Nap esetében, itt sem esik egybe a forgástengely a mágneses tengellyel, hanem mintegy $11,4^\circ$ -ot zárnak be egymással. Az elnevezések szerint a dipólus déli pólusa van a Föld északi féltekén, és fordítva. A Föld mágneses terét azonban csak idealizált esetben jellemezhetjük dipól térként. Ugyanis a Nap irányából jövő szél és a vele együtt jelenlevő IMF torzítja azt, létrehozza azt a 'barlangot', melyet magnetoszférának nevezünk (9. ábra). Tehát a magnetoszféra a Föld mágneses tere és a napszél kölcsönhatásával jön létre

A Föld Nappal szembeni oldalánál - 10-12 földugárnyi távolságban a földfelszíntől - a napszél torlónyomása egy stabil lökéshullámot alakít ki, és összenyomja a mágneses teret, míg az éjszakai oldalon üstökös alakban nyúlik el, hátrasodorva az erővonalakat. A mágneses egyenlítő síkjának két oldalán, az erővonalak ellentétes irányúak, ezért ezek kölcsönhatása miatt kialakul egy semleges áramréteg, megnövekedett plazmasűrűséggel.

A magnetopauza a néhány száz kilométerrel a lökéshullámon belül van, azt hogy pontosan hol helyezkedik el, a dinamikus egyensúly határozza meg, mely a napszéláram és a magnetoszféra mágneses tere között lép fel. A lökéshullámfront és a magnetopauza közötti részt turbulens rétegnek nevezzük, ez a réteg átmenet a helioszféra és a földhöz tartozó mágneses tér között, ott a részecskék összevissza, turbulens mozgása és összezavart mágneses terek jellemzők.

A plazmaszféra nem más, mint a magnetoszféra belső része, mely tengelyszimmetrikusan



(9. ábra) A Föld magnetoszférájának vázlatos szerkezete

dipól jellegű, határa a plazmapauza, melyen kívül a részecskesűrűség sokkal kisebb, ugyanakkor nagyobb energiák jellemzik őket. A plazmaszféra határa 4-6 földugárra van. A napszél részecskéi nem tudnak áthatolni a magnetopauzán, többnyire csak hátrasodródni annak mentén. Azonban a dipól jelleg miatt a pólusoknál az erővonalak tölcészerűen nyílnak kifelé, így kialakul egy nyílás, amely meghatározza a sarkifényzóna területét. A mágneses sarkok alapján mért 67 foknál (tehát geomágneses szélesség szerint)

található az északi, illetve déli sarkifény-zóna. Ezek a magnetoszféra leggyengébb pontja, ugyanis a napszél részecskéi egyedül itt juthatnak be a magnetoszféra belsejébe, létrehozva a plazmaköpeny legkülső réteget, illetve a plazmaréteget, melynek belsejében húzódik meg a semleges lepel. A magnetoszférikus plazma másik forrása a földi ionoszféra.

A Földhöz közeli erővonalak zártak mind a nappali, mind az éjszakai oldalon. Ezek befoghatják a töltéssel rendelkező részecskéket így hozva létre a Van-Allan öveket, melyek bolygónk sugárzási övei. Két ilyen öv létezik, a belső kb. 1,6-2 földsugárnyira, a külső 3,5-4 földsugárnyira van a felszíntől a plazmaszférán belül. A belső öv főként a csillagközi sugárzásból származó nagyenergiájú protonokat és kisebb mértékben ugyancsak nagyenergiájú elektronokat köt magához, míg külső sugárzási övet a magnetoszférából illetve ionoszférából származó nagyenergiájú elektronok alkotják. Előfordulhat azonban egy-egy nagyobb napkitörést követően, hogy felépül a két öv között egy harmadik ideiglenes öv kb. 2-2,3 földsugárnyi távolságban. A Van-Allan övek veszélyesek a mesterséges holdakra nézve, hiszen a részecskék sebessége olyan nagy, hogy pólustól pólusig az utat alig egy másodperc alatt teszik meg.

Körülbelül 4 földsugárnyi távolságban a Van -Allan öveken kívül a napszél és a Föld-dipólus hatására jön létre a gyűrűáram. Ionok és elektronok árama hozza létre ezt az egyenlítői köráramot, melyben az ionok kb. 10-200 keV energiájú H^+ ; He^+ és O^+ -ból tevődnek össze. Az áramlás a mágneses fluxussűrűségnek a Föld felé való sűrűsödése és a tér görbülete miatt lép fel. Mindkettő töltésszétválasztó hatású, így a pozitív részek nyugati a negatív részek keleti irányba mozognak, létrehozva egy keletről nyugatra folyó köráramot. A gyűrűáram hatását és annak változásait az egyenlítő környékén lehet a leginkább mérni.

5.2. A geomágneses indexek

A Földhöz érkező napszél sebességének, sűrűségének és mágneses terének erősség és iránybeli változásai azt okozzák, hogy a földi magnetoszféra elmozdul a nyugalminak tekinthető helyzetéhez képest. Ez az elmozdulás a felszínen is mérhető mágneses komponensek változásával követhető nyomon. A mágneses terek változásának nyomon követését geomágneses obszervatóriumok végzik. Ahhoz, hogy mindig egységes képet tudjanak alkotni és az adatokat fel is, lehessen használni, szabványszerűen létrehozott indexekkel dolgoznak. Az indexeket tehát mindig ugyanúgy számolják, és mindig azonos időtartamra határozzák meg. Igaz, az indexek segítségével nem lehet pontosan rekonstruálni a mágneses tér szerkezetét egy adott percben (ahhoz rengeteg adatra lenne szükség), de már így is nyomon lehet követni egy-egy változás folyamatát.

K és Kp index: A K indexet háromórás intervallumokra határozzák meg, így egy nap 8 értékkel jellemezhető. Nagysága logaritmikusan változik 0-9 között, de különböző szélességeken eltérő határokkal számítják: A sarkifény-zónában a 9 érték 2500nT amplitúdójú zavart is jelenthet ugyanakkor alacsonyabb szélességeken az amplitúdó 300nT-s értékét veszik 9-es K-nak. A Föld általános helyzetének meghatározására hozták létre a Kp "planetáris" K indexet, melyet a Föld 12 közepes szélességeken (48°-63° között) levő obszervatóriumának K indexeiből határoznak meg, szintén háromórás időszakokra. A K logaritmusos értékeit közepelni nem lehet, ezért gyakran alkalmazzák a ΣKp indexet (a napi 8 érték összegét), mely szoros összefüggésben van a napszél sebességével. (Van egy másik index az Ap, mely a Kp lineáris skálázású megfelelője, a változás amplitúdójának mérésével határozzák meg.)

aa index: Az aa index értékei 1868-tól léteznek, így több mint 100 éves homogén adatsorról van szó, ami nagyon fontos a naptevékenység földi hatásainak vizsgálata szempontjából. P.N. Mayaund 1971-ben vezette be az indexet. Ez az index globális mérőszámnak tekinthető a geomágneses tevékenységre vonatkozóan, információt nyújt a napszélsebesség alakulásáról, ugyanis visszamenőleg is kiszámolható volt azon két adatsor alapján, melyeket Greenwich-ben és Melbourne-ben regisztráltak. Ma ezek egymással diametriálisan (a Föld két áttelnes pontján) elhelyezkedő utódai határozzák meg az aa index értékét. Ezek az obszervatóriumok a következők: Angliában előbb Abinger majd Hartland, illetve Ausztráliában 1920-tól a Toolangi. Azért tekinthető globális mérőszámnak, mert a mérési helyek helyzetéből adódóan kioltódnak bizonyos napi és évi menetek, különösen akkor, ha nem háromórás, hanem napi átlagokkal számolunk. Az aa index jelentősége pedig abban áll, hogy segítségével külön lehet választani a Nap elektromágneses és részecskesugárzásainak hatását.

Dst index: 1957-58-tól kezdődően használják a Dst indexet, mely az egyenlítő környéki zavarokat jellemzi. Értéke a mágneses viharok alatt fellépő egyenlítői gyűrűáram erősségétől függ. Azt mutatja meg, hogy mekkora a gyűrűáramot alkotó részecskék összenergiája. A Dst értéke nyugodt napokon -20 - $+20$ nT értékű, míg erős viharok esetén -450 nT lehet. Mivel az egyenlítői zavarok jellemzésére szolgál ez az index, értékét az egyenlítő környékén levő obszervatóriumok határozzák meg a mágneses tér horizontális komponense alapján.

PC index: Polar Cap index, azaz a pólusapka jelenségeit jellemző index.

AE index: (Auroral Elektrojet) Ahogy a Dst indexet ezt is 1957-58-tól határozzák meg. A sarkifény-zónák aktivitását, az ott fellépő ionoszféra-áramok tevékenységét jellemzi, értéke mindig pozitív 0 - 3000 nT közt változik, melyet az auróra övezet mágneses terének nyugodt naptól való eltéréseiből számítanak ki.

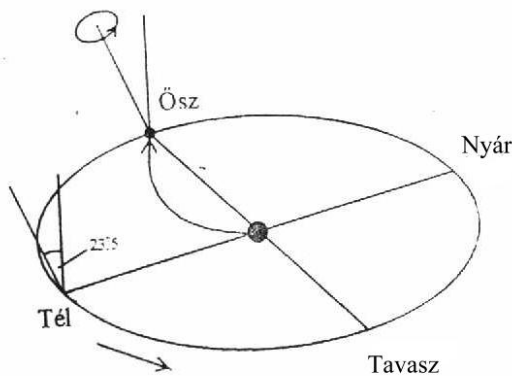
5.3. Koordinátarendszerek

Három olyan koordinátarendszer használatos, melyek segítségével a Nap földi hatásai leírhatók. Ezek mindegyikében egy tengely megegyezik az x-tengellyel, mely a Napot Földdel összekötő egyenes és a Földtől a Nap felé mutat. Mindig azt a rendszert célszerű használni, amelyik segítségével a vizsgált jelenség jobban leírható.

GSE -Geocentrikus Szoláris Ekliptikai koordinátarendszer: Tehát az x tengely a Földtől a Nap felé mutat, az y tengely az ekliptika síkjában fekszik és a földi naplemente felé mutató irányban pozitív. A z tengely merőleges az ekliptika síkjára, észak felé pozitív. Ezt a rendszert akkor használják, ha a Föld mozgását figyelembe kell venni, például a napszél sebességének meghatározásánál.

GSEQ -Geocentrikus Szoláris Equatoriális rendszer: Az y tengely a Nap egyenlítői síkjába esik, mely az ekliptikával $7,2^\circ$ -ot zár be. A z tengely az x-y síkra merőleges, tehát általában nem merőleges az ekliptikára. Ennek a koordinátarendszernek a segítségével a Nap forgásából adódó jelenségeket lehet tanulmányozni, így a napszélstruktúrák és az IMF leírására alkalmas.

GSM -Geocentrikus Szoláris Magnetoszférikus koordinátarendszer: Az y tengely a Föld dipóltengelyére merőleges és naplemente irányban lesz pozitív. A z tengely olyan, hogy az x-z sík tartalmazza a dipóltengely irányát és északi irányban pozitív. A GSM rendszert a magnetoszférának a szoláris behatásra adott válaszainak leírására alkalmazzák.



(10. ábra) Russell-McPherron effektus

5.4. Geomágneses aktivitás időbeli viselkedése

A 11 éves napszélciklusról már volt szó és arról is, hogy az IMF - Bz komponensének előjele 22 éves periódusú, hiszen a Nap 22 évenként építi fel ugyanolyan irányban a mágneses terét. Emiatt viszont a különböző ciklusokban más hatékonyságú lehet egy-egy jelenség lefolyása.

Egy éves illetve fél éves jelleg is mutatkozik, hiszen a Nap forgástengelye szöget zár be az

ekliptika normálisával, ezért a Föld egy fél évig a Nap egyenlítői síkja felett, majd a következő fél évig az alatt helyezkedik el. Szeptember 12-én az északi félgömb fölött, és március 10-én a déli félgömb fölött van a Föld a legmagasabb heliografikus szélességeknél. Magasabb szélességekről származó napszélnek viszont nagyobb a sebessége, ami erőteljesebb hatásokat okoz a Földnél. Ugyanakkor megnő annak a valószínűsége, hogy az adott félgömből kiinduló, és annak

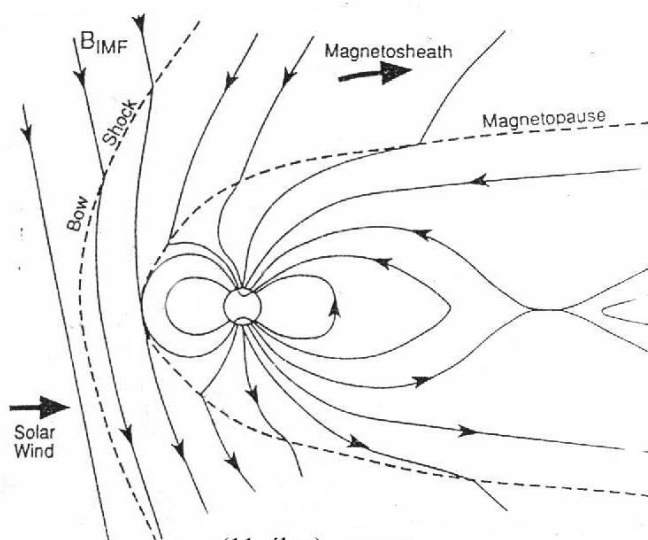
mágneses sajátságait magával hozó részecskenyalábok érik el a Földet. Ez a Rosenberg-Coleman effektus. A Russell-McPherron effektus (10. ábra) miatt szintén megmutatkozik a féléves jelleg, de egyszersmind a 22 éves Hale ciklus is. Az effektus lényege a következő: Tegyük fel, hogy ősszel olyan szektorban van Bolygónk, melyben a Naptól kifelé mutat a mágneses tér GSE-ben. Ezt átlagban kell érteni; azaz azt jelenti, hogy többet tartózkodik a Föld ilyen szektorban. Ekkor a GSM rendszerben a ennek a térnek negatív B_z vetülete lesz. A Föld szélességi vándorlása miatt tavasszal a főként a Nap felé mutat a napszél által szállított mágneses tér, most ez vetíti a GSM rendszerbe negatív B_z komponenszt. A Nap pólusváltása után ugyanezekben az időpontokban azok a szektorok lesznek mérvadók, melyek pozitív B_z -t vetítenek.

5.5. Geomágneses aktivitási jelenségek

A B_z iránya azért fontos, mert ennek meghatározó szerepe van a geomágneses jelenségek kialakulásában.

-Szubvihar: Ha a szubszoláris pontnál a beérkező plazma mágneses tere ellentétes irányú a Föld mágneses terével, akkor a napszél megnövekedett nyomásának hatására létrejöhét egy áramréteg, melynek a két szemközti felületén ellentétes irányú mágneses tér van. Ha Naptól érkező plazma nyomása elég nagy, és emiatt a két felület megfelelően közel kerül egymáshoz, akkor a mágneses erővonalak átkötődhetnek (11. ábra). Az átkötődés során létrejött mágneses teret jellemző erővonalak görbülete nagy, ez pedig nagy feszültséget jelent, így azok hátrasodródhatnak a Föld pólusai felett a csóva felé. A csóvában az áramréteg térségében ismét előáll az átkötődés feltétele. Egyrészt rekonstruálódik a zárt magnetoszférikus erővonal, mely a Föld irányába mozogva visszatér nappali oldalra (mágneses konvekció). Másrészt keletkezik egy leszakadó rész, melyet plazmoidnak nevezünk, és ami az átkötődött vonalak feszültsége

miatt farokirányban eltávozik. Ezalatt a Föld felőli, immár zárt erővonal a Föld felé mozdul el, miközben a részecskéket a pólus környéki térségbe hajtja, létrehozva a látványos auróra-jelenséget.

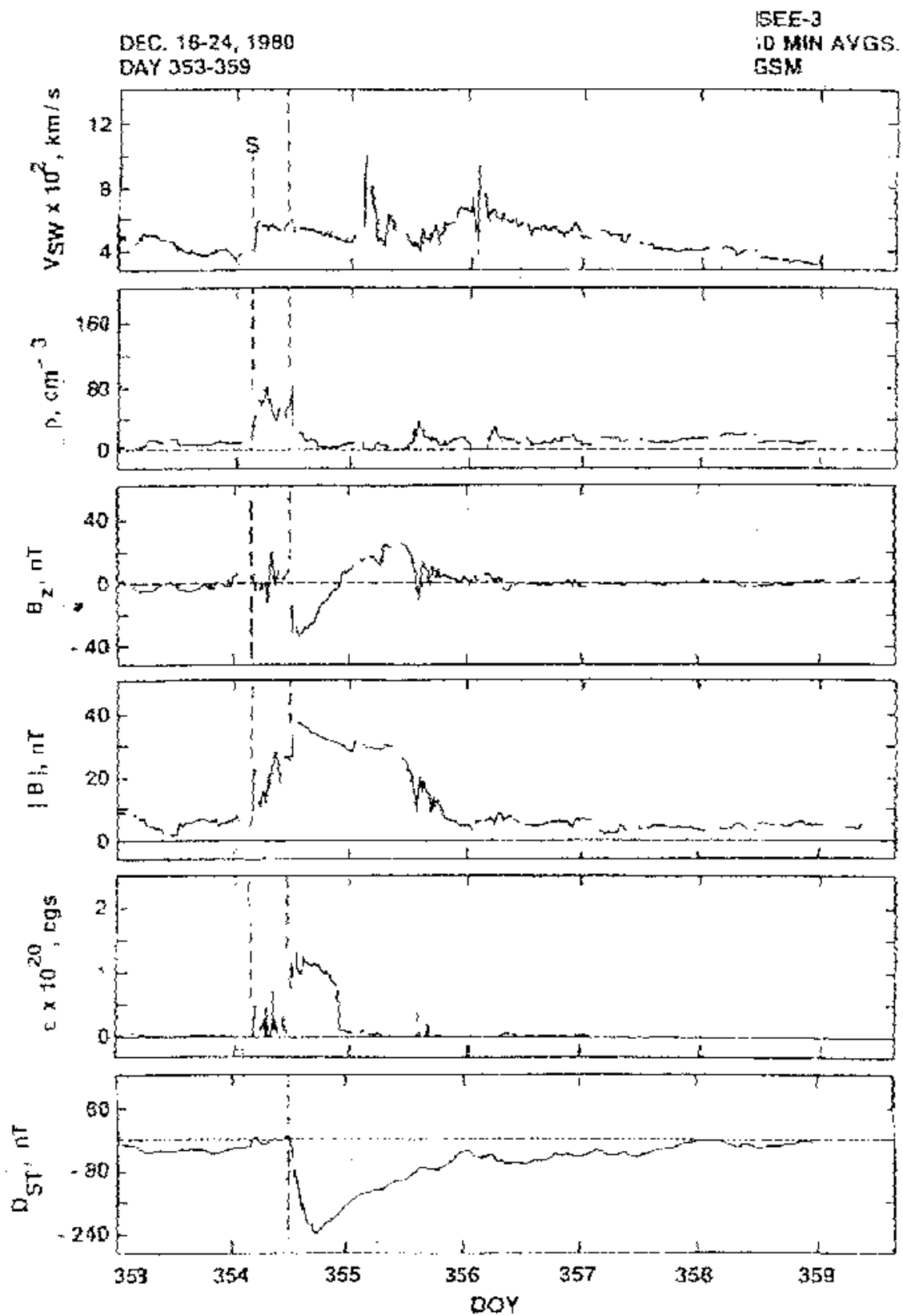


(11. ábra)
Napszél-magnetopauza kölcsönhatás

-Mágneses vihar: A Nap aktív területei felől érkező napszél dinamikus nyomása megnövekedhet például egy-egy koronalyuk vagy CME által létrehozott lökésfront miatt. Ez pedig a Földön mérhető mágneses tér megnövekedéséhez vezet. Ugyanis, az erősebb dinamikai nyomás hatására a szubszoláris ponton a magnetopauza beljebb nyomódik, ami a geomágneses tér összenyomódását eredményezi, hiszen a mágneses erővonalak közelebb kerülnek egymáshoz. Mindez rövid idő, kb. egy óra alatt lejátszódik. Ezt követi a vihar felépülési fázisa, amely lényegében olyan mintha egymást követő szubviharokból állna. Ezek során a rövidre kötődő mágneses erővonalak mentén szoláris és magnetoszférikus részecskék valamint az ionoszférából elszabaduló részecskék bekerülnek a gyűrűáramba. Ez az áram szintén dipól teret hoz létre, de a Föld terével ellentétes irányút, így összességében csökken a mágneses tér mérhető erőssége, ez az állapot egy-két napig is eltarthat. A vihar idején a gyűrűáram is közelebb kerül a földfelszínhez, és ez lehetővé teszi, hogy a plazmaszféra kisebb energiájú részecskéi is bejussanak a gyűrűáramba. A vihar után a gyűrűáram energiája disszipálódik, és a részecskék fokozatosan kiszóródnak. Több napot is igénybe vehet, míg visszaáll az eredeti állapot.

Mágneses felhők által kiváltott vihar példája

A mágneses viharok által kialakuló mágneses viharok klasszikus példája látható a 12. ábrán. Az elülső lökésfrontot az "S"-sel jelzett a függőleges szaggatott vonal jelzi az ábrán, a mágneses felhő kezdetét a második szaggatott vonal mutatja. A lökésfront előtti napszél kb. 400km/s, utána a napszél sebessége 550km/s. A mágneses mező 6nT-ről 22 nT-ra, a plazma sűrűsége pedig $5/\text{cm}^3$ -ről nagyobb mint $40/\text{cm}^3$ értékre növekszik. Mivel a sűrűség és a sebesség emelkedik, ez ρv^2 torlónyomást gyakorol a földi magnetoszférára, mely a magnetoszféra gyors összenyomódását eredményezi, valamint pozitív irányú változást az egyenlítői mágneses tér horizontális komponensében. Ez a pozitív ugrást a Dst -ben nevezik szakasz hirtelen impulzus eseménynek (SI), vagy hirtelen viharkezdetnek (SSC: storm sudden commencement) nevezik, mivel ezt többnyire vihar fő fázisa követi. A vihar fő fázisa kb. akkor kezdődik, amikor az IMF éles déli fordulatot vesz a mágneses felhő határánál. A vihar fő fázisa (csökken a Dst) gyorsan fejlődik, és a csökkenés monoton. A Dst érték csúcsa -239nT kb. két órával később jelentkezett mint a Bs értékek csúcsa, mely $\sim 30\text{nT}$. Az IMF déli fordulata gyors volt, és a Bs a maximum elérését követően a néhány óráig konstans maradt, majd a mágneses tér lassan fordul északi irányba. A vihar visszaálló fázisa az IMF fokozatos északi irányba való fordulatával kezdődik. A visszaállítás azonnal megindul, amint a déli komponens gyengülni kezd, és az egyenletes $1/e$ -s csökkenés időskálája a nap tört része.



12. ábra. Mágneses felhő által okozott mágneses vihar egy példája. V_{sw} a napszél sebessége, ρ a sűrűsége, B_z a mágneses tér z irányú komponense, $|B|$ a mágneses térerősség abszolútértéke, ϵ a napszél és a magnetoszféra közötti csatolási tényező, valamint a Dst index (Gonzalez et al.; 1999).

VI. SZOLÁRIS PLAZMAÁRAMOK GEOEFFEKTÍV TÉNYEZŐINEK VIZSGÁLATA

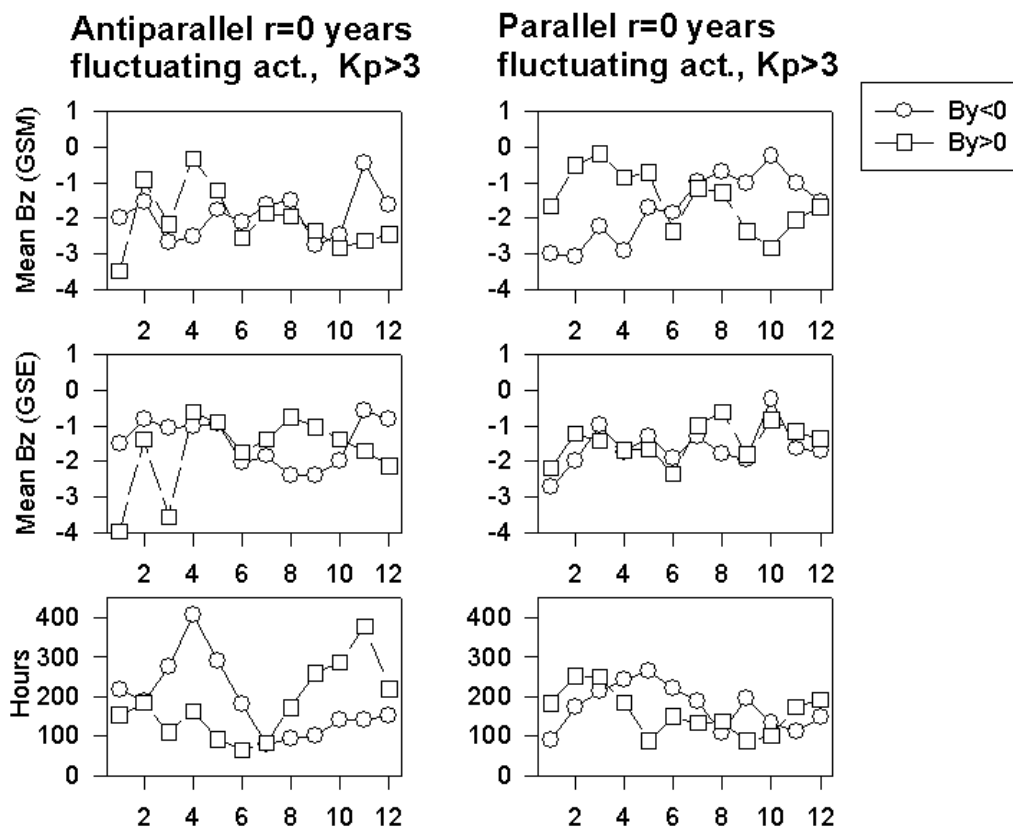
6.1. Korábbi munkák eredményei: Paralel és antiparalel évek összehasonlítása

Több tudományos írás is megjelent a debreceni Napfizikai Obszervatóriumban a szoláris részecskék földi troposzférára gyakorolt hatásainak kutatásáról (Baranyi és Ludmány, 2001, és az itt közölt referenciák). Ezek a tudományos írások felfedtek bizonyos sajátosságokat, szabályszerűségeket a troposzféra válaszreakcióit tekintve, amikor a napenergiát nem elektromágneses sugárzás, hanem elemi részecskék közvetítik.

A troposzféra reakciói féléves jelleget mutatnak, mely szerint napéjegyenlőségek idején az aa index – földfelszíni hőmérséklet közötti korrelációk sokkal magasabbak. Eszerint ilyenkor nagyobb mértékű szoláris eredetű részecskesugárzás hatása a troposzférában. A hatás főként azokban az években mutatható ki, amikor paralel évek vannak, ugyanakkor jelen lehet antiparalel években is, csak ellentétes előjellel. A troposzféra reakciója függ a szoláris forrás típusától is. Paralel években az aa – hőmérséklet korreláció pozitív az napfolt-övezetekből érkező hatásokra nézve, és negatív vagy elenyésző a pólusok területéről érkező hatások tekintetében. Ezen szabályosságok antiparalel években fordítottan érvényesek.

Ezek a felfedezések a szoláris plazmajelenségeknek egyértelmű jelei az atmoszféra alsó szintjén, és kizárnak minden elektromágneses sugárzáson alapuló elképzelést. Egyértelműen mutatják, hogy a troposzférabeli válaszreakciók érzékenyek lehetnek a szoláris mágneses tér topológiájában jelentkező eltérésekre illetve, a Nap-Föld-rendszer geometriai jellegű változásaira. Ez érzékenységet jelent egyfelől a Nap dipólterének irányára, másrészt a különböző eredetű plazmák eltérő mágneses sajátságaira.

Ahhoz, hogy értelmezni lehessen a szabályszerűségeket, meg kell találni a a bejövő plazma azon jellemvonásait, melyek függőséget mutatnak akár a szoláris dipól irányától, akár a plazmaáram eredetétől. Elsősorban a mágneses jellemzők függenek a dipólciklustól, ezért ezek vizsgálata fontos: Az IMF B_z komponense meghatározó jellegű, mivel, ha a B_z negatív, akkor lényegesen több energia áramlik a Föld közeli környezetbe, mint pozitív B_z esetén. Ugyanakkor a B_y képes módosítani ezen, ezért a B_z és B_y komponensek együtt vizsgálandók mind a GSE, mind a GSM rendszerben. Érdekes az IMF komponensek és a plazma jellemzők hónapos átlagjainak éves lefutását a korpuszkuláris események típusától, illetve a szoláris dipólciklustól függően tanulmányozni. A vizsgálathoz az IMF-re és a plazmára vonatkozó információt az OMNI adatbázisból lehet nyerni, amely óras átlagokat tartalmaz 1963-tól kezdődően a különböző műholdakkal mért adatokra.



13. ábra: A CME-k havi átlag B_z komponensei a GSM és GSE rendszerben, valamint az átlagképzésben figyelembe vett geomágnesesen aktív órák száma a vizsgált antiparalel és paralel időszakban.

A fent említett munka a CME-nek az antiparalel és paralel években kimutatható különbségeit vizsgálja az 1987-ig terjedő időszakra. Az összehasonlítás során azok az évek a mérvadóak, amikor a poláris koronalyukakból jövő rekurrens aktivitás nem volt megfigyelhető, így a geomágneses jelenségek túlnyomórészt a CME-vel kapcsolatosak. Ezek az antiparalel esetben 1972, 1977-80, illetve a paralel esetben 1966-68, 1982, 1987. A CME-knek az a csoportja került be a vizsgálatba, amely az aa-index szerint készített klasszifikációs adatbázisban "fluktuáló geomágneses aktivitás" besorolást kapott. Az összehasonlítás során csak azok az órák voltak figyelembe véve, mikor $K_p > 3$, és az ezen órákban mért értékek havi átlagai lettek kiszámítva úgy, hogy a pozitív és negatív B_y -k esete mindig el volt különítve. Az eredmény a 13. ábrán látható.

Az átlagos B_z évi menete a GSM rendszerben semmilyen szabályszerűséget nem mutat antiparalel években, de paralel esetben mutatkozik a Russell-McPherron effektus. Tavasszal a negatív B_y esetén negatívabb az átlagos B_z komponens, míg ősszel a pozitív B_y esetén.

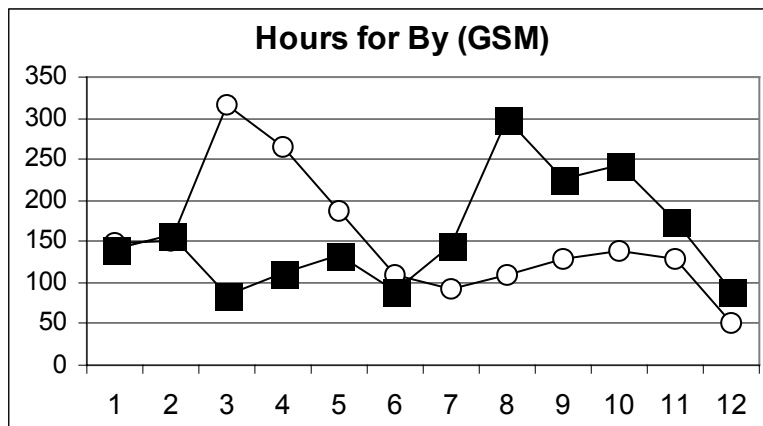
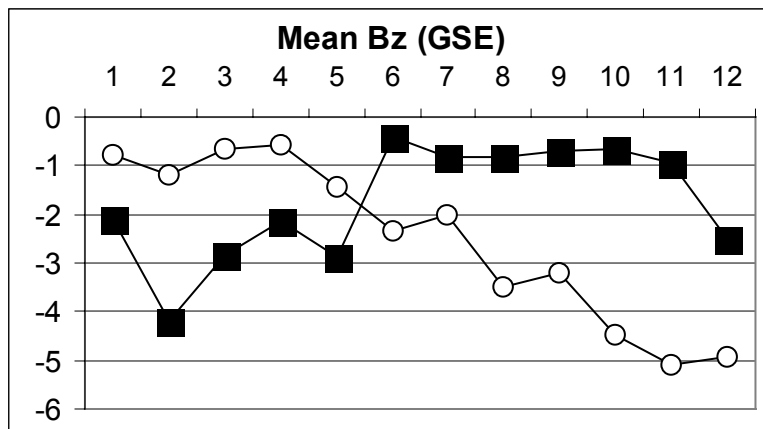
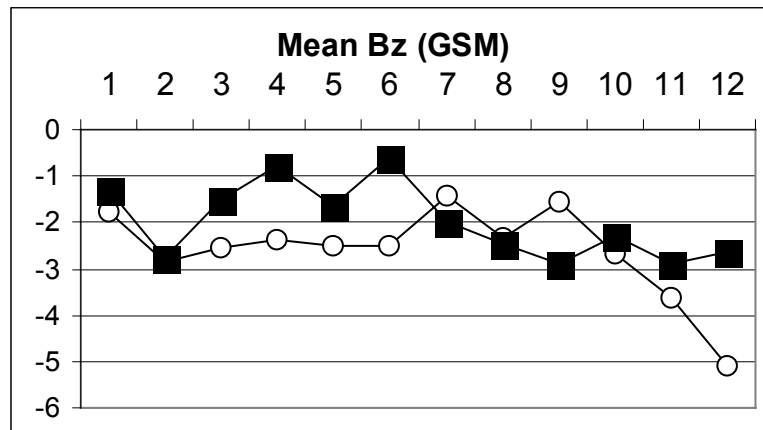
A GSE rendszerben nézve a mágneses tér B_z komponens havonkénti átlagait a fentiekől eltérő helyzet adódik. A féléves jelleg hiányzik a paralel esetben, úgy ahogy az várható, hiszen a Russell-McPherron effektus csak a GSM rendszerben megmutatkozó geometriai effektus. Az antiparalel eset (GSE) viszont tartalmaz egy érdekes, a Russell-McPherron effektus menetével ellentétes menetet, mely miatt a Russell-McPherron effektus a GSM rendszerben eltűnik. A két dipólciklusbeli viselkedés eltérésének oka valószínűleg a CME-knek a GSE rendszerben kimutatható eltérő jellegéből adódik. Ez a meglepő eredmény további vizsgálatokat igényel.

A negatív illetve pozitív B_y tartományban eltelt geoeffektív ($K_p > 3$) órák számát tekintve szintén jelentős különbséget találunk. Itt a várakozásnak megfelelően az antiparalel években mutatkozik jobban a Russell-McPherron effektus. Ilyenkor a Rosenberg-Coleman effektus megnöveli a Russell-McPherron effektus megnyilvánulásának esélyét, mivel tavasszal a negatív B_y , ősszel a pedig a pozitív B_y a domináns, mindkét esetben pontosan az, amelyik negatív B_z -t vetít a GSM rendszerbe. Ez a pedig kedvez a geomágneses zavarok kialakulásának. Ezért a geomágnesesen aktív órákban a negatív B_y dominál tavasszal, és a pozitív B_y dominál ősszel.

Paralel években nem lehet megfigyelni a B_y -tól függő éves változását. Ebben időszak a Nap a déli féltekéjén pozitív és az északin negatív, ami az előzőekkel ellentétben kedvezőtlen helyzet geomágneses zavarok kialakulásának szempontjából. Ilyenkor is előfordulhat negatív B_z , de az előfordulási gyakoriság mindkét irányú B_y esetén kb. egyforma.

6.2. A dolgozat eredményei: az 1997-1999-es időszak vizsgálata

A jelen dolgozat célja, hogy az előbb felsorolt korábbi eredményeket pontosítsa és megerősítse, vagy cáfolja. A vizsgálathoz az ad jó lehetőséget, hogy az OMNI adatbázisban hozzáférhetővé váltak az 1997-1999-es mérési adatok, és ez ugyanolyan antiparalel időszak mint 1977-80 között volt. Ez az időintervallum a jelenlegi napfoltciklus felfutó szakasza, amikor a poláris szelek nem érik el a Földet, a geomágneses aktivitás létrehozásában dominálnak a CME-k. Ez lehetővé teszi a két antiparalel időszak CME-jeinek összehasonlítását. Azt vizsgáltuk, hogy melyek azok a paraméterek, melyeknek havi átlagértékei a B_y irányától függő féléves jelleget mutatnak. A jelen vizsgálatban nem kategorizáltuk a beérkező plazmanylábat. A CME-k statisztikus túlsúlyát elfogadva, mindazon órákat figyelembe vettünk, amikor a $K_p > 3$. Az előzőekhez hasonlóan a pozitív és negatív B_y esete mindig el volt különítve mind a GSM, mind a GSM rendszerben mért értékek számításakor. A korábbival ellentétben most a műholdak által mért az összes paraméterre kiterjedt a munka. Továbbá nemcsak átlagszámítást végeztünk, hanem a mediánokat is



14. ábra. A geomágnesesen aktív ($K_p > 3$) plazmaáramok legfontosabb átlagos sajátosságai az 1997-99 időszakban. Az ábrákon ■ jelöli azt az esetet, mikor $B_y > 0$, és ○ azt, mikor $B_y < 0$. Legfelül a bolygóközi mágneses tér B_z komponensének havonkénti átlaga van a GSM rendszerben számítva, alatta pedig ugyanezen esetekre a B_z komponens a GSE rendszerben. A legalsó ábra azt mutatja, hogy mennyi volt a geomágnesesen aktív órák száma a B_y pozitív illetve negatív eseteiben.

meghatároztuk, annak eldöntésére, hogy a kiugró esetek elhúzzák-e olyan mértékben az átlagot, hogy az a féléves jelleg felismerését megakadályozza.

A vizsgálat elvégzéséhez az SPSS 8.0 statisztikai programot használtuk.

A kapott eredmények közül itt csak a leglényegesebbeket foglaljuk össze (14. ábra).

A havi átlag B_z évi menete a GSM rendszerben ugyanúgy nem mutat semmilyen szabályszerűséget mint az előző antiparalel években. Ugyanezekre az esetekre megint azt találjuk, hogy a GSE rendszerben az átlagos B_z ellentétes évi menetet mutat a pozitív és negatív irányú B_y esetén. Ez a menet ellentétes értelmű a Russel-McPherron effektusával. A kétfajta havi érték közötti különbséget a GSM rendszerbe való áttéréskor a Russel-McPherron effektus lecsökkenti, ami ezen effektus észlelhetőségének eltűnését okozza. Ez is a korábbi eredményeket támasztja alá.

Sikerült megerősíteni azt is, hogy a negatív illetve pozitív B_y tartományban eltelt geoeffektív órák számát tekintve jelentős a különbség. Itt is a várakozásnak megfelelően a geomágnesesen aktív órákban a negatív B_y dominál tavasszal, és a pozitív B_y dominál ősszel.

Ezzel tehát sikerült a dolgozatot megelőző munka során kapott eredményeket egy eddig nem vizsgált időintervallum tanulmányozásával megerősíteni. Ezen kívül azt találtuk, hogy a bolygóközi tér többi mágneses- és plamaparamétere nem mutat a B_y irányától függő határozott féléves jelleget. A GSE rendszerben talált "inverz Russell-McPherron effektus" a CME-knek egy olyan fontos, dipólciklustól függő mágneses sajátására hívja fel a figyelmet, amelyet eddig még más módszerrel nem fedeztek fel.

Felhasznált irodalom

Baranyi, T., A. Ludmány: Relevance of the topologies of solar ejected plasmas in tropospheric processes, *ESA SP-477*, 2001.

Gonzalez, W.D., B.T. Tsurutani, A.L. Clúa de Gonzalez: Interplanetary origin of geomagnetic storms, *Space Sci. Rev.*, 88, 529-562, 1999.

Hédervári Péter: Csillagunk: a Nap, Magvető Kiadó, Budapest, 1980

Kálmán Béla: A Nap légköre, *Csillagászat* (szerk.) Marik Miklós, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989

Ludmány András, Űrkutatás, *Egyetemi Jegyzet*, Debreceni Egyetem