

Hivatalos bírálói vélemény

Kecskeméty Károly

„Nagyenergiájú ionpopulációk a Helioszférában”

c. akadémiai doktori értekezéséről

Kálmán Béla,

MTA CsFKI KTM CsKI

2013

Bár az üstököscsóvák megfigyeléséből korábban is gyanították, csak az űrkutatás elindulása, a műszereknek a bolygóközi térbe juttatása után sikerült ténylegesen bizonyítékokat szerezni arra, hogy a bolygóközi teret nemcsak a Nap elektromágneses sugárzása tölti be. A Napból kiindulva létezik egy állandóan kifelé irányuló részecskeáramlás, a napszél, amelynek tulajdonságai uralják a belső Naprendszert jóval a bolygókon túl, egészen kb. 100 Csillagászati Egység (Cs.E.) távolságig. Bizonyos értelemben ez a térrész, a Helioszféra, a Nap befolyási övezete. A napszél felfedezése oldotta meg a lord Kelvin által felvetett problémát, amely szerint a naptevékenység viszonylagosan kis fényességváltozással járó jelenségei nem okozhatnának zavarokat a Föld környezetében. A napszél, a részecskesugárzás az a közeg, amely ezeket a hatásokat közvetíti hozzánk, amelyben az aktív jelenségekből származó részecskefelhők kifelé, a bolygók felé tovaterjednek. Tanulmányozása csak a helyszínen, a Naptól különböző távolságokban keringő űrszondák műszereinek mérései alapján lehetséges.

A Helioszférában a napszálon kívül még megtalálhatók a galaktikus kozmikus sugárzás nagyenergiájú részecskéi, mind ionok, mind semleges atomok, sőt az ezekből keletkezett anomális ionok formájában. Ezeket a részecskepopulációkat energiájuk és terjedési irányuk szerint lehetséges szétválogatni.

Kecskeméti Károly régóta foglalkozik a bolygóközi térben mérhető részecskék tulajdonságaival. Akadémiai doktori értekezésében egy nagyon aktuális, tulajdonképpen teljesen alapvető, de eddig nehézsége miatt kevésbé tanulmányozott kérdést jár körül: a Helioszféra nyugalmi állapotának tulajdonságait. A kérdés azért fontos, mert az űrkutatás eddigi évtizedeiben éppen a zavarok, háborgások tanulmányozása, a földi hatások szempontjából lényeges események fölmérése volt a döntő. Kevesebb figyelmet kapott az az alap, amelyre ezek a zavarok ráakadnak. Az csak árnyalja a kérdést, hogy -mint az alacsonyabb energiájú részecskefizikai méréseknél általában- nagyon gondosan kell eljárni mind a méréseknél, mind a feldolgozásnál, hogy a zavaró háttér ne torzítsa el a mérési eredményeket. A fő problémát az okozza, hogy energikus szoláris részecskeesemények során egyes energiáknál a részecskefluxus akár 8 nagyságrendet is nőhet, ezért a műszereknek igen széles tartományban kell működniük, másrészt az űreszközök tömegkorlátozásai miatt a mérőrendszerek érzékeny térfogata viszonylag kicsi, így a kis részecskefluxusok esetén kevésbé érzékenyek.

Az értekezés alapjául szolgáló mérések helyszínei imponáló teljességgel ölelik fel a Helioszférának a teljes, eddig űrszondák által bejárt részét, a Merkúr pályáján belülről (a két Helios szonda) egészen a Neptunuszon túl (Voyager-1 és -2), valamint a bolygórendszer síkján kívüli, nagy heliografikus szélességeket bejáró Ulysses eredményei is megtalálhatók benne. Ki kell emelni a Jelölt aktivitását, amellyel a már-már elfeledett, különféle intézményeknél tárolt régi mérési anyagokat összegyűjtötte saját szempontjai szerint szerte a világból, és az új követelményeknek megfelelően, új, általa kidolgozott módszerekkel dolgozta fel. Eközben nem egy esetben sikerült az eddiginél pontosabban meghatározni a mérések háttér-adatait, ezáltal növelve az eredmények pontosságát. A feldolgozás során szembetalálta magát a nyugodt Nap kérdésével, azaz mikor a legkisebb a Nap aktivitása, erre is új meghatározást alkotott. Érdekes az értekezés utolsó fejezetében leírt vizsgálat is, amelyben a szoláris energikus részecskeeseményeket eszközül használja fel a nyugodt napszél szerkezetének felderítésére.

A 155 oldal terjedelmű értekezés a Bevezetés (1.) és Összefoglalás (9.) fejezeteken kívül 7 érdemi fejezetre oszlik, ezekből a 2. a Nap, a naptevékenység és a Helioszféra legfontosabb tulajdonságait foglalja össze, a 3. pedig az energikus részecskékre vonatkozó eddigi eredményeket ismerteti. A 4. fejezettől kezdődnek a Jelölt saját eredményei, a műszerek és módszerek ismertetése után a nyugalmi, alacsony fluxusok meghatározása a Naprendszerben, majd az 5. fejezetben az 1-30

MeV közti energiaspektrum alakulása és a Nappal együttforgó minimumok kimutatása, a 6. fejezetben a galaktikus kozmikus sugárzás változásai. A 7. fejezet a nehezebb ionokkal foglalkozik, míg a 8. az energikus események időbeli lecsengését használja fel a napszél szerkezetének megállapítására. Az értekezést végül egy több, mint 11 oldalas kimerítő irodalomjegyzék zárja, amely tartalmazza a Jelölt közleményeit is.

Az értekezés nyelvezete jó, érthető, zavaró sajtóhibákat nem tartalmaz. Technikai kivitelezése mintaszerű, sok színes, jól áttekinthető ábrát tartalmaz az eredmények szemléltetésére. Egyedül a 6.1 ábrával nem vagyok kibékülve, a szürkéssárga alapon sárga energiaspektrumok gyakorlatilag láthatatlanok, ezeket valamilyen képfeldolgozó programmal át lehetett volna színezni.

Az értekezésben összefoglalt munkához sokirányú ismeretek szükségesek, részben a mérések technikai kivitelezése, részben a hélioszférikus részecsketerjedés fizikai folyamatainak megértése, a napciklus különböző jelenségeinek tulajdonságai területén. Mivel a könnyen megszerezhető, a Nap aktív jelenségeivel kapcsolatos részecskeeseményekről már tudományos közlemények ezrei jelentek meg, a Jelölt a nehezebb utat választotta a nyugodt háttér tanulmányozásával, amihez nemcsak új módszereket és definíciókat kellett kigondolnia, hanem maguknak az adatoknak a megszerzése is külön kutatómunkát igényelt. Ismételten bebizonyosodott, hogy a jó mérések mindig aktuálisak maradnak, és ami az egyik kutató számára zaj, az a másik kutató számára értékes jel lehet. Ezáltal az ismertett eredmények valóban újak számítanak a szakterületen. A mérések végső értelmezésénél, a lehetséges hibák és zavaró háttér értelmezéséhez szükséges a műszerek és módszerek ismerete, az értekezés tartalmazza számos űrszonda megfelelő mérőműszerének leírását és lényeges tulajdonságait, így ezek áttekintésére is használható.

A jelölt, saját eredményeinek bemutatása során először sorra veszi a tervbe vett kutatáshoz szükséges eszközöket és módszereket, az elvi módszer bemutatása után leírja az egyes – számára fontos – űrszondák műszereit, ezek sajátosságait, sorra veszi a lehetséges hibaforrásokat a zavaró háttér kiszűréséhez. A kis energiájú részecskék fluxusának pontosabb meghatározásához új módszert is dolgoz ki a nagy energiájú részecskék által okozott zavaró háttér kiküszöbölésére. A teljes Hélioszféra átfogásához 7 űrszonda 10 műszerének méréseit használja fel. Ezekután új definíciót alkot a nyugodt időszakok kiválasztásához, ami, különösen aktívabb időszakokban, nem is olyan egyszerű feladat. Fontos eredmény a 4.35 ábrán bemutatott összefoglalás, amely két energiatartományban (3,5 – 5 MeV és 6 – 8 MeV) bemutatja a nyugodt időszaki protonfluxus alakulását a Naptól mért távolság függvényében, 0,3 és 85 Csillagászati Egység közt, 6 űrszonda összekalibrált méréseiből, és ennek alapján három részecskepopuláció jelenlétét valószínűsíti a Hélioszférában.

A továbbiakban a jelölt az 1-30 MeV közti energiájú részecskék fluxusából az energiaspektrum változásait vizsgálja, ennek segítségével szétválasztva a galaktikus és szoláris eredetű részecskéket, megállapítva, hogy a szoláris részecskék esetében a spektrum meredeksége az aktivitás csökkenésével nő, és a meredekség eloszlásában két csúcs figyelhető meg, a nyugodt és az aktív időszakra jellemző értékek. A napszélben a gyorsabb és lassabb tartományok találkozásánál régóta ismeretesek voltak a Nappal együttforgó nagyobb fluxusú nyalábok, az értekezésben bemutatott eredmények alapján azonban ezek negatívja is előfordul, hosszabb életű együttfogó „árkok”, fluxusminimumok formájában. A kb. 10 MeV-nél nagyobb, döntően galaktikus eredetű fluxus is változik a naptevékenységgel, a napszél mágneses tere által okozott moduláció miatt, erre vonatkozó ábrákat is találunk a későbbiekben, a galaktikus kozmikus sugárzás terjedésének és spektrumának vizsgálatával együtt. A kétféle részecskepopuláció átfedése miatt a galaktikus részecskék spektrumának kisenergiájú végét nem sikerült egyértelműen megvizsgálni.

Érdekes eredményt hozott a szupratermális alacsonyabb energiájú nehezebb ionok fluxusának tanulmányozása szén, oxigén és vas ionokra. A fluxusarányokból megállapítható volt a hélioszférikus részecskék eredete, a naptvékenység szintjétől függően alacsony szint esetén a napszélben, magasabb aktivitás esetén a napkoronában és a flerekben (a Nap felső légkörében) gyorsulnak fel.

A legutolsó részben a Nap aktív eseményeiben felgyorsított részecskeesemények lebomlásának tanulmányozásából következtet a Jelölt a napszél általános szerkezetére, paramétereinek változására időben és térben, megállapítva, hogy a részecskeesemények után a napszél visszaáll nyugalmi fázisba.

Az értekezésben foglaltakkal kapcsolatban kérem a Jelöltet, hogy adjon választ a következő két kérdésre:

A kozmikus sugárzás tanulmányozásában közismert, hogy a Nap dipólterének átfordulása miatt a naptevékenység mágneses ciklusának hossza kb. 22 év, így a páros és páratlan 11 éves naptevékenységi minimumok kissé eltérő tulajdonságúak. Az értekezésben is említés történik „pozitív” és „negatív” polaritású napciklusokról. Kérdezem a jelöltet, hogy a szakirodalomban mi az elterjedt definíció erre nézve, mert a 60. oldalon a pozitivitásra megadott $q_A > 0$, ahol q a töltés, A pedig pozitív, ha a mágneses erővonalak a Nap felszínéről kifelé mutatnak, nem teljesen egyértelmű a dipólter miatt.

Másik kérdésem a mostani, az előző négy naptevékenységi ciklus befejezésétől lényegesen eltérő, nagyon alacsony és elhúzódó minimumra vonatkozik 2006 és 2010 közt. Bár a feldolgozott mérések nagy többsége ennél korábbi, de tud-e mondani valamit arról, hogy ez a minimum a szoláris részecskék tekintetében hasonló volt-e a korábbiakhoz, csak hosszabb ideig tartott, vagy volt valami különleges tulajdonsága is?

Az értekezés alapján megállapítható, hogy a jelölt a kandidátusi fokozat megszerzése óta jelentős eredeti tudományos eredményekkel járult hozzá tudományága fejlődéséhez, így elfogadását és a nyilvános vita kitűzését javaslom. Új eredményként fogadom el a következőket:

1. Eleve újszerű volt a téma kiválasztása és a kutatáshoz szükséges adatok összegyűjtése.
2. Új, iterációs módszert dolgozott ki az alacsony valódi fluxusok meghatározására, amely jelentősen csökkenti a zavaró háttér befolyását.
3. Az előző módszer alapján nagyobb pontossággal, alacsonyabb értékeket kapott a naptevékenység minimumai környékén a Föld környezetében mérhető protonfluxusra.
4. A Helios űrszondák méréseiből a belső Naprendszerben meghatározta a nyugodt időszakokban uralkodó protonfluxusokat különböző energiákon, és ezek radiális változását, kimutatva, hogy a Nap nyugodt időszakokban is bocsát ki protonszugárzást, viszont van egy interplanetári eredetű populáció is.
5. Az Ulysses űrszonda méréseiből meghatározta az alacsony aktivitású időszakokban a földpályán kívüli részeken a protonok fluxusának és spektrumának nemcsak radiális, hanem szélesség szerinti függését is.
6. Több űrszonda méréseinek feldolgozásával meghatározta a nyugodt Nap esetében a Hélioszférában megfigyelhető alacsony részecskefluxusokat, és ezek naptávolság, ill héliografikus szélesség szerinti változásának alakulását 0,3 és 85 Cs.E. közti tartományban, azaz gyakorlatilag az emberalkotta eszközök által eddig bejárt egész tartományban. Ezekhez a vizsgálathoz a „nyugodt Nap” új definíciójának kidolgozására is szüksége volt.
7. Az IMP-8 mérései alapján a protonok energiaspektrumából meghatározható egy szoláris-hélioszférikus és egy másik, galaktikus komponens. A szoláris rész 3 paraméterrel illeszthető, meghatározta e paraméterek változásait a naptevékenységi ciklus menetével. A galaktikus rész illesztéséhez 4 paraméter szükséges, ennek vizsgálatánál kiderült, hogy az energiafüggés

szignifikánsan nem lineáris, mint eddig feltételezték, hanem 1,3 körüli kitevőjű hatványfüggvénnyel írható le.

8. A szupratermális C, O és Fe ionok fluxusának összehasonlításával sikerült a Föld környezetében 3 különböző eredetű (fler, napkorona, napszél) részecskepopulációt azonosítani, és kimutatni ezek gyakoriságának változását a napciklussal.

9. A szoláris energikus részecskeeseményekből származó protonokat próbarészecskének tekintve, a fluxusok időbeli változásaiból a napszél szerkezetére lehet következtetni. Az eredmények szerint a lebomlást az adiabatikus lassulás és a konvekció okozza alapvetően, bár a diffúziót is figyelembe kell venni. A napszél lebomlást befolyásoló paraméterei sokszor hosszú ideig stacionáriusak.

Budapest, 2013. április 29.

Kálmán Béla,
az MTA doktora