

# „Nem tekintem a kutatás hasznosságát szégyennek”

Beszélgetés Gombosi Tamás űr-plazmafizikussal

*Gombosi Tamás az űrkutatás hőskorában – Magyarország első főállású űrfizikusaként – a KFKI-ban és a moszkvai Űrkutatási Intézetben kezdett kozmikus plazmákkal foglalkozni. 1983 óta a Michigani Egyetemen dolgozik, ahol több professzori cím birtokosa, emellett az Űrkörnyezet Modellező Központ vezetője. Csoportjával a naprendszerbeli plazmakörnyezet és a naptevékenység földi hatásait leíró modellrendszert fejlesztett ki, amelyet szolgálatyszerűen használnak űridőjárási előrejelzések készítésére. Munkássága elismerésképpen a Magyar Tudományos Akadémia 2016-ban külső tagjává választotta. Székfoglalóját 2017. április 26-án Viharok a világuőrből címmel tartotta. Ebből az alkalomból beszélgettünk életéről, szakmai pályafutásáról és néhány eredményéről.*

– Kedves Tamás! Szokatlan pályafutás a Tiéd, abban az értelemben mindenképp, hogy Moszkván keresztül vezetett a pályád az Egyesült Államokba. Mit tettél le fiatal kutatóként az asztalra, amire a szovjet Űrkutatási Intézetben (IKI) felfigyeltek?

– Ez a sztori valamikor 1971-ben kezdődött, miután 1970-ben fizikus diplomát szereztem az ELTE-n. Magyarország az 1960-as évek végén kapcsolódott be aktívan az Interkozmosz együttműködésbe. Az egyik első közös műhold az Interkozmosz-3 volt, amelyhez a csehszlovákok több műszert is építettek. Abban az időben az adatok feldolgozása és átadása még nagyon bonyolult volt. Ezen a műholdon például a digitális méréseket elképzelhetetlenül bonyolult módon kódolták, a nyolcas számrendszerben megadott adatokat számjegyenként, amit analóg formában rögzítettek. Bonyolította a helyzetet, hogy a féltzeti elektronika is elég bizonytalanul működött. Az egyes számjegyek különböző csatornákon jöttek le. Az oroszoknak volt egy titkos, analóg csatornájuk, ahol a jelek a beütésszámmal arányosak voltak, de a cseheknek ezekből a bonyolult digitális adatokból kellett dolgozniuk. A KFKI-ban Somogyi Antal megegyezett a csehekkel, hogy bár nekünk nem volt műszerünk a műholdon, de az adatfeldolgozásért cserébe hozzáférhetünk az eredményekhez. Tóni rám bízta, hogy a rögzített értékekből kibányásszam a fizikailag értékes adatokat, ami undorító munka volt. Utólag visszanezve azt mondhatom, hogy

sikerült kitalálnom egy statisztikai elemzésen alapuló, mai szemmel is elég modernnek tekinthető módszert. Nem volt tökéletes, de meglepően jó eredményeket adott. Erre figyelt fel Pavel Eljaszberg a szovjet Űrkutatási Intézetben (IKI), mert bár én Pesten dolgoztam a cseh adatokkal, a munkát az IKI felügyelte. Eljaszbergnek nagyon tetszett a módszerem, a számai alá vett, azt terjesztette az IKI-ben, hogy „itt van egy magyar kölyök, aki nem teljesen hülye”. Akkor Eljaszberg révén kerültem kapcsolatba az IKI-beli „nagy emberekkel”, Gringauzzal, Szaggyejevvel, Galejevvel. Ezután 1975–76-ban hosszabb időt töltöttem Moszkvában, ahol Gringauz csoportjába kerültem,

konferenciájára. Akkoriban egy ilyen kérésre aligha lehetett nemet mondani, így Seattle-ben előadhattad a Venyera-eredményeidet. Mi volt a hazai visszhangja az esetnek?

– Gringauznál már a Vénusszal foglalkoztam, a Venyera-9 és -10 adataival, és ott is csináltam egy-két jópofa dolgot. Jó kapcsolatba kerültem az IKI-ben dolgozó fiatalabb generációval is. Amikor visszajöttem Pestre, sikerült a Lenin-rendes Gringauzt meghívatom a KFKI-ba egy hónapra. Ez 1976 végén, 1977 elején volt. Akkoriban Pál Lénárd volt a főigazgató. Bement hozzá és közölte vele, hogy ha a KFKI kiküld engem Seattle-be, a Nemzetközi Geomágnességi és Aeronómiai Egyesület (IAGA) kongresszusára, akkor én mondhatom el a szovjet Venyera-eredményeket bemutató nagy előadást. Pál Lénárd beleegyezett, így kerültem ki a kongresszusra, amikor még nem voltam 30 éves. Elképzelheted, hogy az idősebb magyar kollégák „repestek a gyönyörtől”. Persze direkt nem éreztették, de tudod, az ember megérzi az irigységet, a féltékenységet, mert az nem olyan, amit el lehet titkolni.

– Mit válaszoltál, amikor az egyik amerikai utazásod során az FBI Noked szegezte a kérdést, hogy „Maga kém?” Tettek fel hasonló kérdéseket Moszkvában is, vagy ők nem kérdeztek, csak figyeltek?

– A dolog még rosszabb volt, mint ahogy ez látszik, mert a nővéremék 1971-ben a KFKI-ból disszidáltak. 1973-ban még Prágába is csak azért engedtek kiutazni, mert az oroszok nyomtak. Ami



**A „titkos” űrhajóstalálkozó résztvevői (balról jobbra): Sally Ride, Szvetlana Szavickaja, a házigazda Farkas Bertalan és a találkozózt tető alá hozó Gombosi Tamás**

(Forrás: Gombosi T. honlapja)

mert ők foglalkoztak plazmafizikával, engem igazán ez érdekelt. Amit ma tudok, azt lényegében ott, az IKI-ben tanultam. Ezen nincs mit szépíteni, ez így van, ezt az amerikaiaknak is megmondtam.

– Gringauz professzor személyesen járt közben a KFKI főigazgatójánál, hogy küldjön ki Amerikába, az IAGA



**Gombosi Tamás 1982-ben a világhírű sci-fi író és tudomány népszerűsítő Isaac Asimov (középen) és a bolygókutató csillagász Carl Sagan (jobbra) társaságában (Forrás: Gombosi T. honlapja)**

kor 1979-ben Amerikában postdoc-ként kezdtem dolgozni, eljött az FBI képviselője, bemutatkozott, és feltette az említett kérdést. Ettől én se köpni, se nyelni nem tudtam, mert az én kultúrámban ezt nem volt szokás így direktben megkérdezni. Csak annyit mondtam meglepődve, hogy „Tudtommal nem.” Éveken át figyeltek, és a helyzet később még rosszabb lett. Az oroszok mindig figyeltek, néha provokáltak, de soha, senki nem próbált meg beszervezni. Az amerikaiak igen, sőt 1985-ben meg is zsaroltak azzal, hogy ha nem dolgozom nekik, és nem egyezek bele, hogy visszamenjek Moszkvába, nem kaphatok többé vízumot. Nagyon megijedtem, és az Egyetemhez fordultam, mert a hírszerző szolgálatoknak tilos volt a campus területén bárkit beszervezni. Igaz, hogy a beszélgetés nem a campus területén zajlott, de szellemében mégis ellentétes volt a tiltással. Az Egyetemnek volt akkora hatalma és befolyása, hogy akkor az FBI-on keresztül végleg le tudták állítani ezeket a próbálkozásokat.

*szovjet Roald Szaggyejev és a francia Jaques Blamont az erkélyen megegyeztek, hogy a szovjet-francia Vénusz szonda átalakul egy Vénusz-Halley-küldetésé. Vagyis a Vega gondolata a Ti lakások erkélyén született?*

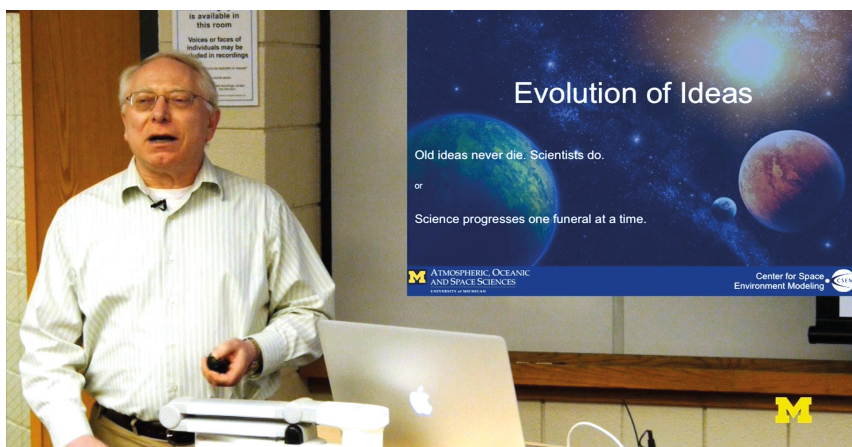
– Valóban akkor történt, de nem pontosan így. Azt nem lehet mondani, hogy az ötlet ott született. Szaggyejev már a kidolgozott ötlettel érkezett Moszkvából, csak a franciák még nem tudtak erről. A franciáknak ott mondták meg, a mi lakásunkon. Blamont beleegyezett, de a francia bürokrácia egy ideig ellenkezett, mert ők már elkezdték építeni a saját ballonjaikat és más eszközöket, de végül lett egy jelentős francia részvétel a Vegában. A ballonosok persze nem voltak boldogok, de ez már egy francia belső vita volt, amiről én nem tudok részleteket.

– *1982-ben tanácskozás volt Washingtonban a Halley-üstökös megfigyeléséről, ahol a Kozmosz sorozata okán akkor már ismert és népszerű Carl Sagan és a világhírű Isaac Asimov bevezetői után Te tartot-*

– Igen, ez így történt, 1982. november körül. Akkor volt a Mariner-2 Vénusz melletti elrepülésének 20. évfordulója. Erre szervezett Washingtonban a Planetary Society egy nagy eseményt. A Society-ben Sagan és Asimov egyaránt mozgatóerők voltak, akik mindig nagy tömegeket vonzottak. Ezt a rendezvényt egy több ezer fős teremben tartották, telt ház előtt, ahová meghívták Szaggyejevet, hogy tartson előadást a Vegáról. Addig a Vegáról még soha nem hangzott el nyilvános előadás, csak szakmai fórumo-



**Gombosi Tamás a 2017. április 26-án tartott székfoglalóján vehette át az oklevelet arról, hogy előző évben az MTA külső tagjává választotta (Forrás: MTA Wigner FK)**



**Gombosi Tamás a Michigani Egyetemen „Space Weather: Are We Having Fun Yet?” címmel tart előadást az űridőjárásról (2013) (Forrás: Michigani Egyetem, Michigan Engineering)**

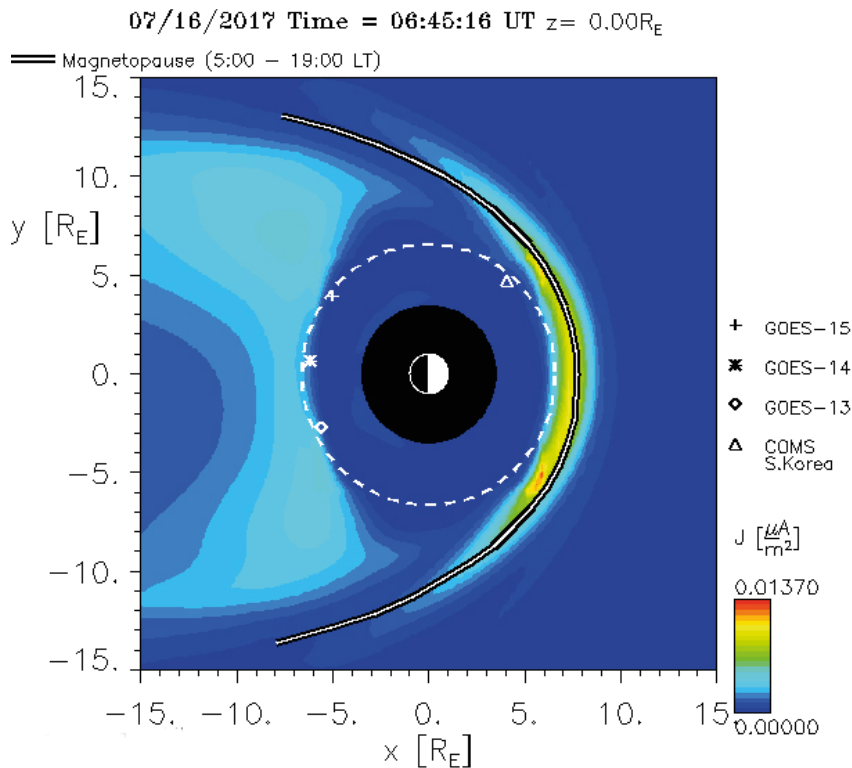
– *Az 1980-as budapesti COSPAR idején a lakásokon barátaid és közvetlen kollégáid részére tartott találkozón a*

*tad a fő előadást. Hogy fogadták ők a „fital külföldi tudóst”? Neked milyen élményt jelentett a találkozás?*

kon beszéltek róla. Szaggyejev nem tudott elmenni, de ő már többször használt közvetítőként, ezúttal is engem kért meg, hogy tartsam meg az előadást. Ez már az első amerikai utam után volt, tehát tudta, hogy az amerikaiak ismernek, az IKI-ben én voltam az első postdoc, tehát ők jól ismertek, szinte magukénak is tekintettek, mint ahogy még ma is. Akkor 35 éves voltam, gondolhatod, mennyit használt ez is az itthoni „népszerűségemnek”. Sagan és Asimov meg voltak lepve, de ők úgy tekintették az esetet, hogy Szaggyejev „egy ifjú zsenit” küld maga helyett, akít ő saját magával „egy súlycsoportba tartozónak” tekint. Ebben volt is némi igazság, ami sokat segített az amerikai hírnevem megszerzésének.

– *1983 októberében is fontos rendezvény volt Budapesten, akkor a Nemzetközi Asztronautikai Szövetség (IAF) tartotta itt éves kongresszusát. Eközben Te szervezted meg, hogy találkozhasson egymással a második szovjet és az első amerikai űrhajós, amire hivatalosan nem volt lehetőség. Hogyan történt ez a találkozó?*





**A magnetopauza pillanatnyi helyzete és geoszinkron pályán keringő GOES műholdak elhelyezkedése 2017. július 16-án, az SWMF/BATS-R-US modell 7.78 verziója alapján (Forrás: T. Gombosi et al.)**

– A kongresszusnak Almár Iván és Aboinyi Magdi voltak a főszervezői, de a szervező bizottságban én is szerepeltem, ahol azt a feladatot kaptam, hogy segítsek az ide érkező űrhajósok kéréseit teljesíteni. Ez néhány évvel Farkas Berci repülése után történt, abban az évben, amikor Szeptelána Szavickaja és Sally Ride is az űrben járt. A politikai helyzet azonban nagyon feszült volt, mert nem sokkal korábban, szeptember 1-jén az oroszok lelőttek egy koreai utasszállító repülőgépet. Ezért az amerikaiak törölték az űrhajósaik találkozóit az orosz űrhajósokkal, holott az eredeti tervek szerint a két űrhajósnőnek több közös programja is lett volna. Sally Ride azonban nem vette egykönnyen tudomásul, hogy neki politikai okokból megtiltják a találkozót Szavickajával, amit ő nagyon szeretett volna, ezért arra kért, segítsek egy magántalálkozó megszervezésében. Elmentem Szabó Ferihez, a KFKI akkori főigazgatójához és Farkas Bercihez, akiknek nagyon tetszett az ötlet. Az oroszok persze akarták volna a találkozót, hiszen a politikai ügyben ők voltak sárosak. Farkas Berci beszélt az orosz űrhajósokkal, akik akarták a találkozót, így abban maradtunk, hogy Farkas Berci lakására szervezzük a „titkos” találkozót. Az amerikai követésen tartott fogadás végén Sally Ride és a másik amerikai űrhajós, Rick Hauck lelé-

pett. Az épület előtt egy katonai Zsiguliban vártam őket, és elmentünk Berci lakására. Szavickaja és űrrepülése parancsnoka már ott voltak. Este tíztől úgy reggel ötig dumáltunk, nagyon jó hangulatban, végig én tolmácsoltam oroszról angolra és vissza.

– Egy 2000-es cikkemben írod: „A Vega program története tele van drámai fordulatokkal, belföldi és nemzetközi intrikával. ... Talán egy későbbi alkalommal visszatérek erre a témára.” Ha úgy érzed, most jött el az alkalom, kérlek, meséld erről!

– Már utaltam rá, hogy a franciáknál folyt az intrika, a vita a ballonosok és a többiek között. Az amerikaiak viszont egy saját Halley-szondát akartak felküldeni, de a randevú nagyon drága lett volna, arra nem volt pénz. Az amerikai Akadémia viszont azt mondta, hogy egy flyby tudományos haszna nem indokolja a költségeket. Ezt meghallva, a Kongresszus törölte a programot. Ez a döntés megosztotta a szakmát, mert akik akarták a Halley-szondát, azok azzal érveltek, hogy így az USA lesz az egyetlen űrhatalom, amelyik nem küld szondát az üstököshöz. A többiek viszont örültek, mert több pénz maradt az ő Vénuszhoz vagy Marshoz indítandó küldetéseikre. Az amerikaiak megpróbálták felkerülni műszerekkel a szovjet szondákra, amely az első igazán nyílt szovjet program. Ettől az egész hirtelen hírszerzé-

si ügyvé fajult, abban az időben a különböző konferenciákon mindkét oldal részéről sok gyanús ember bukkant fel, akik sem azelőtt, sem később nem jöttek, de szerencsére a részletekről nem tudok.

Az oroszoknál ez volt a Gorbacsov-éra kezdete. Talán tudod, hogy Szaggyejev és Gorbacsov még az egyetemi éveikből ismerték egymást, kollégiumi szomszédok voltak. Akkor Szaggyejev lett Gorbacsov tudományos tanácsadója, nagy politikai befolyása lett, ezért csinálhatta meg a Vegát. A Gorbacsovval szembeni politikai ellenállás bizonyos körök részéről azonban Szaggyejeven keresztül rávetült a tudományos programra. Tudományos körökben az egyik fő ellenlábasa a Geokémiai Intézet igazgatója, Barszakov volt. Bár az intézete részt vett a Vegában, mégis állandóan fürta a programot, Szaggyejevéket. Szóval gyönyörű dolgok mentek a háttérben, a felszín alatt. De a végén a program nagy siker lett. Ezzel kapcsolatban csak a Sugárhajtás Laboratóriuma (JPL) jelmondatát tudom idézni: „Amikor megérkeznek a képek, minden meg van bocsátva!” Ez itt is így volt, a program sikeres lett, megjöttek a képek, minden ellentét újra a háttérbe került.

– Hozzájárultak ezek az intrikák ahhoz, hogy 1983-ban úgy döntöttél, családostul, végleg visszamész Ann Arborba, a Michigani Egyetemre, ahol azóta is dolgozol? Milyen maradt a kapcsolatot a hazai űrkutatókkal, elsősorban volt KFKI-s kollégáiddal?

– Bonyolult történet volt. 1983-ban 36 évesen, védtem meg a nagydoktorimat. A KFKI-ban bizonyos értelemben sztár voltam, bizonyos értelemben viszont abszolút közutálatnak örvendtem. A nálam idősebbek úgy érezték, hogy előretolakszom a sorban, pedig nekik is ugyanannyi joguk lenne az elismeréshez. Kétségkívül nagyon ambiciózus voltam, ezt nem tagadtam soha, de dolgoztam is érte. Akkor az volt a stílus, hogy űlni kell, és várni, hogy a világ fölfedezze a zsenialitásodat. Az én stílusom viszont nem ez volt. Én nem vártam, hogy fölfedezzenek, megpróbáltam ezt elősegíteni. Ez persze duplán nem tetszett, ezért körülöttem kettős hangulat volt. Szabó Feri, a főigazgatónk mindenben támogatott, de ő megtehetette, mert ő már jóval az ilyen mindennapi ügyek fölött állt. Szegővel korrekten feszült viszonyom volt, mert ő a főnököm volt, de ugyanazokért az eredményekért várt elismerést, mint én. A többiek meg szívből utáltak. Úgy éreztem, előttem itthon teljesen be volt zárva az út. Igaz, Amerikában szinte mindent előlről kellett kezdeni, de ez nem zavart, hiszen még csak 36 éves voltam. Utólag én is látom, önbizalomhiányom nem volt, úgyhogy belevágtam. Azóta ugyanott dol-

gozom. A váltásnak tehát semmilyen politikai háttere nem volt. Azóta is hálás vagyok a szovjeteknek azért, amit tőlük tanultam, emiatt még ma is nagyon szeretnek ott. Mindenesetre, nélkülük ma nem tartanék itt.

– 2000-ben egy cikkedben azt írtad: „Aki az amerikai tudományban akar boldogulni, annak meg kell tanulnia a cáppal való viselkedést (vagy magának is cápvá kell válnia).” Te cápvá váltál? Miben áll ez a cápvá válás?

– Ez egy kicsit megfoghatatlan. Itthon is nehéz például megmondani, kik az intellektuális vezetők a szakmában, legalábbis néhez definiálni, érezni könnyebb. Ugyanez a helyzet a cáppal. Arra gondoltam, hogy cápa az, aki egy bizonyos szakterület intellektuális vezetője. Ez viszonylag nehezen megfogható, de én úgy érzem, hogy az űrkutatásban a fizikai alapokon nyugvó számítógépes modellezést sokkal magasabb szintre vittem, mint ahol azelőtt volt. Ezt a szakmát az Egyesült Államokban elfogadják és így látja. Amikor én kezdtem, a globális szimulációk meglehetősen primitív állapotban voltak, ma viszont ez a programok elválaszthatatlan

a földi meteorológiától, de mi is jócskán előreléptünk a fizikai egyenletek megoldásán alapuló számítógépes modellekig, ami reális eredményeket ad. Rengeteg folyamat van, amit még nem tudunk modellezni, de a globális képet már tudjuk. Engem elfogadnak e változás egyik mozgatóerejeként. Ezt tartom cápaságnak.

– Egyesek azt tartják, tízévente váltani kell. Mit gondolsz erről Te, aki egyetemi diplomád megszerzése óta ugyanazzal, űrplazmafizikával foglalkozol?

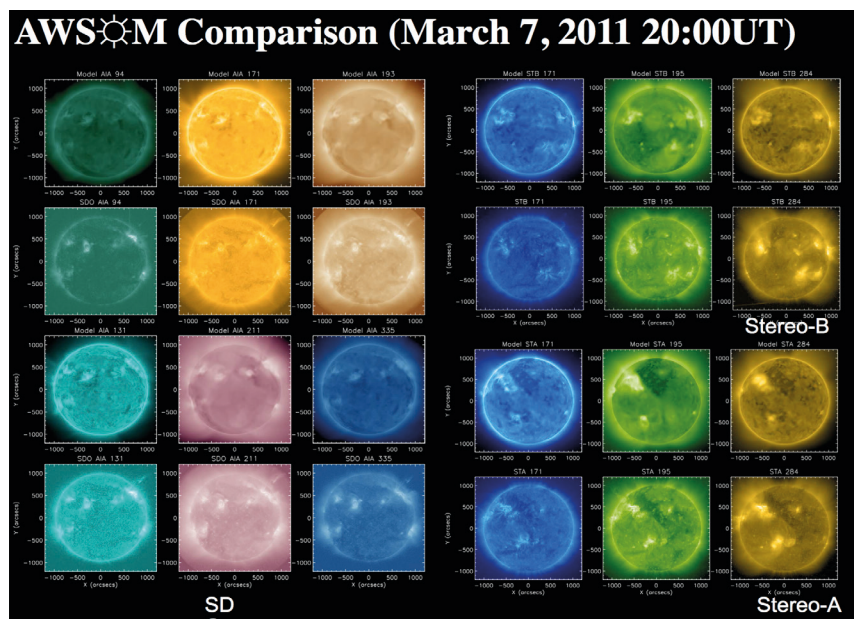
– Gyakrabban váltottam, mint tízévente. Csak nálam ezek a változások mind az űrplazmafizikán belül történtek. Én a matematikai oldalról közelítem meg a problémát, kitalálok vagy megtanulok egy új módszert, és azt megpróbálom mindenre alkalmazni, amire csak lehet. Először a  $10^{15}$  eV-os tartományban a kozmikus sugárzással foglalkoztam, utána viszont a tized elektronvoltos tartományban ionoszférikus plazmákkal. Dolgoztam naprészcsekkkel, ami néhány MeV, csináltam napszelet, bolygó-magnetoszférákat, de kétségtelenül, ez mind az űrplazmafizikán belül volt. Valószínűleg nagyon kevesen vannak, akik

– Számos űrprogramban, üstökös- és bolygókat-küldetésben vettél részt, most mégis inkább a Michigani Egyetemen az irányításoddal folyó űridőjárás kapcsolatos munkáról kérdezlek, elsősorban azért, mert az Akadémiai székfoglalódat is Viharok a világűrben címmel tartottad. Először is, miért fontos az űridőjárás kutatása?

– Én a fizikusok azon szűkebb csoportjába tartozom, akik nem tekintik a kutatás hasznosságát szegyenek. Amikor miniket fizikusnak képeztek, beléjük nevelték, hogy alapkutatást végzünk, ami viszont hasznos és mindennapi dolog, az „a Duna másik partja”, az nem mi vagyunk. Az utóbbi egy-két évtizedben kialakult a fizikusok, és különösen az űrfizikusok között egy viszonylag kis réteg, akik nem tekintik a hasznosságot szegyenek, és én ezek közé tartozom. Úgy érzem, hogy az űridőjárás kutatásának nagy befolyása van a társadalomra, mert az űridőjárás komoly problémákat okozhat. Így volt ez már a régi, magaslégköri atomkísérleteknél, de a napkitörések következményeinél is. Most még benne vagyok a Cassini és a Rosetta programban, de ezek 2018-ban befejeződnek, legalábbis Amerikában nem lesz pénz a folytatásukra. Az utolsó néhány hasznos kutatói évemet erre a társadalmi szempontból viszonylag hasznos területre, az űridőjárásra szeretném fordítani.

– Munkatársaidal elkészítettétek a BATS-R-US számítógépes modellt a naptevékenység, elsősorban a koronakitörések (CME) földi hatásainak modellezésére. Milyen adatokból és peremfeltételekből indul ki a modell, és mit ad eredményül?

– A helyzet bonyolultabb, mint önmagában a BATS-R-US. Nekünk két nagy módszerünk van, az egyik a BATS-R-US, ami egy általánosított magnetohidrodinamikai modell, amelyik kontinuumként írja le a Nap és a Föld közötti űrt. A másik nagy módszerünk a Space Weather Modeling Framework (SWMF). Ez egy szoftverelem, amelyik különböző modelleket tud összekapcsolni, hogy azokat egymással szinkronizálva nagy teljesítőképességgel, hatékonyan lehessen futtatni. Az SWMF esetében például, ha van egy napszél-modellünk és egy magnetoszféra-modellünk, akkor az SWMF valós időben szimulálja a két modell kölcsönhatását, futás közben az adatok kicserélődnek a kettő között. Ezt tetszőleges számú elemre ki tudjuk bővíteni, tehát például futtatni tudjuk az egész Nap–Föld-kapcsolatot. Van egy napkorona-modell, egy napkitörést szimuláló modellünk, a bolygóközi tér modellje, a nagyenergiájú részecskék, a földi globális magnetoszféra, a Föld körüli köráramok, a felsőlégkör, az ionoszféra és a sugárzási övek modelljei. Az SWMF mindezeket és

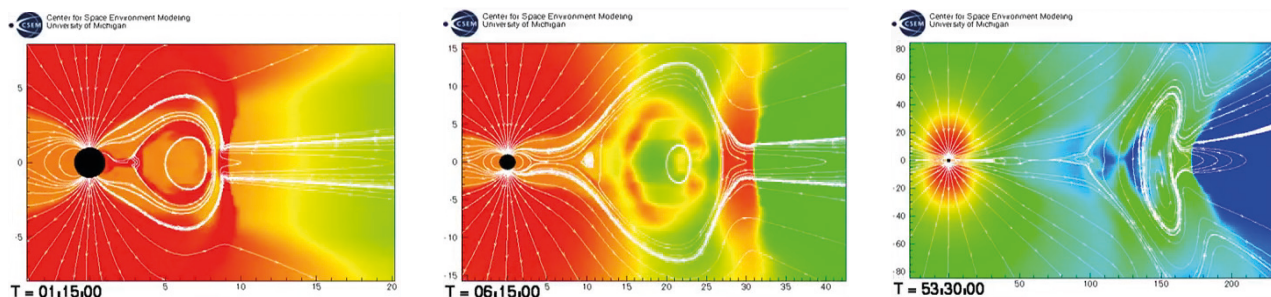


**A Nap különböző hullámhosszakon megfigyelhető, a modellek alapján előállított képének összehasonlítása a Stereo és az SDO űrszondák felvételeivel**  
(Forrás: T. Gombosi, Michigani Engineering)

része. Kell a szonda, ami mér, kell az adatok feldolgozása és intellektuális modellezése, a harmadik láb pedig a jelenség számítógépes modellezése. Hasonló ez a földi meteorológiához, ahol az elmúlt fél évszázadban a szinoptikus térképeken tologatott ceruzáktól eljutottak a számítógépes előrejelzésig. A mi szakmánk sajnos még nem tart itt, tíz-húsz évvel le vagyunk maradva

olyan sok területen dolgoztak, mint én. Ennek előnye az, hogy egy új jelenség láttán eszembe jutnak az analógiák, mondjuk más égitesteknél. Ezért jó, ha vannak olyanok, akik az egész Naprendszeren belül mindennel foglalkoztak egy kicsit. Ők nem a legnagyobb specialisták, de van áttekintésük. Mind a két szemléletre szükség van.





**Napvihar terjedése a bolygóközi térben az SWMF és a BATS-R-US modellek alapján – a folyamat három mozzanata. A bal alsó sarokban a kitörés óta eltelt idő látható (óra, perc, másodperc), a tengelyeken a távolság egysége a Nap sugara (Forrás: T. Gombosi, Michigan Engineering)**

ezek kölcsönhatásait egyszerre kezeli, és így írja le, hogyan jut el például egy napkitörés hatása a Földre. A különböző modellek többségét is mi készítettük, de beilleszthetők mások adott jelenségre vonatkozó modelljei is. Ebben az SWMF-ben az a gyönyörű, hogy bármit bele tudsz tenni, és a keret leírja a modellek közti kölcsönhatást. Bárki, bármelyik egység helyére beleteheti a saját modelljét, vagy akár a Föld helyére egy másik égitest modellje is behelyettesíthető. Nálunk például a rendszernek egyik elemét alkotó BATS-R-US fut mint a napkorona modellje, de a bolygóközi tér és a magnetoszféra modelljeként is, persze különböző felbontással és beállításokkal. Tehát különböző régiókat különböző módszerekkel modellezünk, bármi bármivel kicserélhető, az SWMF pedig megteremti a kapcsolatot a különböző egységek között. A BATS-R-US az általános és talán a világon a vezető globális modell, de csak egy régióra. Mindegy, mi az a régió, de csak egy. A Framework viszont elintézi a különböző modellek összekapcsolását, összerakja a részeket egységes képpé, a Naprendszer teljes modelljévé.

Rengeteg olyan cikkünk van, ahol az egyik egységként betettük valamelyik bolygó magnetoszféráját, holdat vagy egy üstököszt. Bármilyen kombinációban bármit tudunk a Naprendszerben modellezni. A Jupitertől és a Szaturnustól kezdve a Vénuszon, a Marson és a Merkúron át az Enceladusig, a Ganymedesig, az Európáig és az Íóig, sőt éppen a Csurjumov–Geraszimenko-üstökösig bármit, a napfelszíntől a helioszféra határáig bármit tudunk modellezni.

– *Egyik előadásodban bemutattad, milyen jól egyeznek a modell adatai a Stereo és az SDO űrszondák mérési eredményeivel. Milyen időtávra, milyen pontosságu előrejelzést adnak a modelletek?*

– Gyakorlatilag most a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) űridőjárás előrejelző szolgálata, a SWPC [szvipvipszi] (Space Weather Prediction Center) tavaly október óta három modellünket használja, az SWMF segítségével egymás-

sal összekapcsolva: a BATS-R-US-t a globális magnetoszférára, amellyel együtt egy körgyűrűáram-modell és egy ionoszféramodell fut. Átadtuk a szoftvert a NOAA-nak, akik szolgáltatásúruen használják, a honlapjukon bárki látja az előrejelzés eredményét. Ezzel regionális előrejelzést is készítenek, tehát például azt mondják, hogy holnap Alaszkában napvihar lesz, Svédországban viszont nem. Ehhez persze észlelni kell a Napon a kitörést, és ha látjuk a kitörést, akkor ki tudjuk számítani a hatását. Magát a kitörést viszont sajnos még nem tudjuk előrejelezni. Amit tenni tudunk, az a következő: nézzük a Napot, és látunk például egy napfoltcsoportot, amiről tudjuk, hogy aktív. Naponta kiszámítjuk, mi lenne, ha most lenne egy napkitörés. Amikor aztán ténylegesen bekövetkezik a kitörés, már tudjuk, mire számíthatunk, csak pontosítani kell a részleteket, hiszen minden napkitörés kicsit más. Erre bőven elég az az egy-két nap, mialatt a kitörés hatása eléri a Földet.

– *Jelenleg a naptevékenység minimuma felé haladunk, de az utóbbi ciklusokban a naptevékenység maximumai egyre „bágyadtabbakká” válnak. Egyes kutatók szerint akár hosszabb időre le is állhat a naptevékenységi ciklus. Nem tartotok attól, hogy mire a modell tökéletesen működik, már nem lesz mit előrejelezni?*

– Ezen nagy viták folynak, de szerintem nem fog elgyengülni a Nap. Ha megnézed a napfoltciklus történelmi feljegyzéseit, látod a változásokat, a Maunder-minimumot és a hasonlókat. De nem tudjuk szétválasztani a 11, illetve 22 éves ciklust a Nap hosszú távú változásaitól. Vannak tehát ilyen vélemények, de konszenzus távolról sincs.

– *Hol használják szolgáltatásúruen a modelleteket az űridőjárás események előrejelzésére? Mit lehetne tenni, ha a modell nagy biztonsággal súlyos veszélyt jelentő geomágneses vihart jelezne előre?*

– A NOAA-t már említettem. Most tárgyalunk az Brit Meteorológiai Szolgálattal (Exeter, Egyesült Királyság), mert ők is használni akarják. Megpróbáltak ugyan egy saját, európai modellt fejleszteni, de nem si-

került nekik, ezért hozzánk fordultak.

Ami a pontosságot illeti, most például azt mondhatjuk, hogy Alaszkában napvihar lesz. Ennél pontosabb előrejelzést jelenleg nem lehet készíteni. Ilyenkor a teljes alaszka távvezeték-hálózatot ideiglenesen olyan üzemmódba helyezik, ami kisebb terhelést jelent. Ez megoldható. Ezért a legnagyobb felhasználók pontosan az elektromosenergia-hálózatokat üzemeltető cégek. Használják az előrejelzéseket a légitársaságok is, mert például, ha napvihar várható, akkor a várandós légiutas-kísérőket nem engedik a sarkvidékek fölötti útvonalakra. Ugyanerre a pilóták szakszervezete is figyel, mert el akarják kerülni, hogy a pilóták nagy sugárdózist kapjanak, ezért olyankor kerülnek a sarki útvonalakat. Fontos felhasználó a katonaság, és természetesen maga a NASA is. A Nemzetközi Űrállomáson például várható napviharok idején nem engedik ki az űrhajósokat űrsétára, mert a szkfander olyankor nem nyújt elegendő védelmet. Sok helyen használják tehát, de talán ezek még nem olyan látványos területek, mint a földi időjárás előrejelzése.

– *Köszönöm az interjút! Olvasóink nevében is gratulálok az MTA külső tagjává választásodhoz, és további szakmai sikereket kívánok.*

Az interjút készítette: BOTH ELŐD

## Irodalom

- Hogyan lettem űrkutató? (Fizikai Szemle, 2000. 11.): <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0002/gombosi.html>
- Gombosi Tamás honlapja (Michigan Egyetem): <http://www-personal.umich.edu/~tamas/>
- Gombosi Tamás publikációs listája és szakmai életrajza: <http://www-personal.umich.edu/~tamas/TIGpersonal/TIG-Resume.pdf>
- MTA székfoglaló (2017. IV. 26.): <https://www.youtube.com/watch?v=xxj9y1awgOs>
- NOAA Űridőjárás Előrejelző Központ: <http://www.swpc.noaa.gov/>