

Bírálat

Kiss Csaba:

*Infravörös űrcsillagászati észlelési technikák és alkalmazásuk
naprendszerbeli kis égitestek megfigyelésére*

című akadémiai doktori értekezéséről

Témaválasztás

Az értekezésben ismertetett kutatások az infravörös hullámhossz-tartományban méréseket végző űreszközök, elsősorban az ISO- (Infrared Space Observatory) és a Herschel-űrtávcsövek adatainak feldolgozásán alapulnak. Az infravörös megfigyelések korábban más módon nem elérhető csillagászati jelenségek vizsgálatát tették lehetővé. Az űrtávcsövek és műszereik technológia és tudományos szempontból is az elérhető legmagasabb szintet jelentették a kutatások idején, az utóbbi másfél-két évtizedben. A távoli-infravörös tartományban az űreszközökkel végzett méréseket jelentősen befolyásolja az égi háttér konfúziós zaja, így a mérések tervezésében és helyes értelmezésében fontos szerepet játszott a szerzőnek a konfúziós zaj meghatározására és jellemzésére irányuló munkája. A Herschel-űrtávcső PACS kamerájára általa kidolgozott mérési és adatfeldolgozási módszerek szolgáltak alapul a Naprendszer kis égitestjei, így Neptunuszon túli objektumok (TNO-k), üstökösök, földközeli aszteroidák infravörös méréseken alapuló termofizikai modelljeinek kidolgozására, mely közelebb visz a Naprendszer kialakulásának és fejlődésének mélyebb megértéséhez. A szerző kutatásai tehát alapvető csillagászati kérdések vizsgálatára irányultak, a legmagasabb szintű megfigyelési technológia felhasználásával.

Az értekezés tartalmi ismertetése

Az értekezés három részből, ezen belül 16 fejezetből áll. Az első rész (mely öt fejezetet tartalmaz) az infravörös űreszközöknél fontos konfúziós zaj becslésével és a felületi fényesség kalibrációjával foglalkozik. A 2. fejezet megadja a konfúziós zaj matematikai definícióit, ismerteti a távoli-infravörös égi háttér összetevőit, bemutatja az ISO mérésein alapuló, a galaktikus cirrusz szerkezetére vonatkozó eredményeket. A 3. fejezet összehasonlítja a COBE/DIRBE és az ISOPHOT felületi-fényesség értékeit, elemzi a két rendszer közötti közel lineáris kapcsolatot, és fő eredményként megadja a kozmikus infravörös

hátter abszolút értékét az ISOPHOT-hullámhosszakon. A 4. fejezet részletesen vizsgálja a konfúziós zajt az ISOPHOT különböző mérési módjaiban és fotometriai sávjaiban, alkalmazásként pedig becslést ad a kutatás idején még fejlesztés alatt álló űrtávcsövek (Spitzer, Akari, Herschel) várható konfúziós zajára a távoli-infravörös hullámhosszakon. Az 5. fejezet a fő kisbolygóövnek a konfúziós zajhoz való hozzájárulására ad becslést, különböző űreszközökre, a SAM modell mintegy kétmillió kis égitestet tartalmazó adatbázisa alapján.

A két fejezetből álló második rész a magyar kutatóknak, közte a szerzőnek az ESA Herschel-űrtávcső programjához való hozzájárulását mutatja be. Ezen belül a 6. fejezet részletezi a PACS kamera és spektrométer fejlesztésével, tesztelésével, kalibrációjával, az aktív fázisban pedig annak üzemeltetésével kapcsolatos feladatokat, valamint a Herschel-misszió aktív fázisa utáni adatfeldolgozó szoftverfejlesztési munkákat. A 7. fejezet a Herschel-űrtávcső konfúziós zajt becslő, a szerző által kifejlesztett és többször frissített alkalmazását ismerteti részletesen, melyet az űrtávcső méréstervező programja használt.

A harmadik rész (nyolc fejezet) a Naprendszer kis égitestjeinek a távoli-infravörös mérésekből meghatározott tulajdonságait tárgyalja. Ezen belül a 8. fejezet általános leírást ad a Naprendszer törmelékörongjáról, az itt található kis égitestek termikus infravörös sugárzásáról, és a Herschel-űrtávcsőnek a TNO-kkal kapcsolatos kulcsprogramjáról, melynek a szerző tevékeny részese volt. A 9. fejezet azt a szerző irányításával létrehozott adatfeldolgozási rendszert mutatja be részletesen, a méréstervezéstől a mérési módokon és kiértékelésen át, melyet a Herschel-űrtávcső PACS kamerájával végzett mérések esetében alkalmaztak 132 TNO, valamint üstökösök és földközeli kisbolygók megfigyelései során. A 10. fejezet a klasszikus Kuiper-öv égitestjeinek az infravörös-mérésekből levezetett fizikai tulajdonságait ismerteti a hideg és forró populáció, valamint kettős rendszerek esetében. Ezen eredmények jelentőségét az adja, hogy a kapott tulajdonságok tükrözik a korai Naprendszer fizikai viszonyait. A 11. fejezet a Herschel-mintában szereplő TNO-k szín és albedó szerinti eloszlásbeli tulajdonságait elemzi, melynek alapján a szerző a külső Naprendszerben két felszínípust azonosít. A 12. fejezet két különleges kentaur, a 2012 DR₃₀ és a 2013 AZ₆₀ vizsgálatával foglalkozik, melyeknek földfelszíni látható tartománybeli és űrtávcsöves infravörös-adatok alapján, a termális emisszió modellezésével a szerző meghatározta az alapvető fizikai tulajdonságait, szimulációkkal elemezte a dinamikáját, és vázolta az eredetét. A 13. fejezet a Marsot megközelítő, C/2013 A1 jelű üstökös termális emissziójának a Herschel-űrtávcsővel történt megfigyeléseivel, a mérések alapján pedig

a kóma szerkezetével és pormodelljének kidolgozásával foglalkozik. A modell alkalmas lehet más üstökösök esetében is infravörös mérések alapján a kómában lévő por tulajdonságainak (térbeli és szemcseméretbeli eloszlás, a por összetétele, a kibocsátás üteme) tanulmányozására. A 14. fejezet két, a Földre potenciálisan veszélyes aszteroida, a 2005 YU₅₅ és az Apophis termofizikai modelljének megalkotásával foglalkozik, ezek földközelsége idején végzett Herschel-mérések, illetve az első esetében további földfelszíni megfigyelések alapján. A fejezet jól érzékelteti a modellalkotás nehézségeit, ugyanakkor a fizikai paraméterek (alak, méret, felszíni tulajdonságok) pontos ismerete alapvető a pályák hosszú távú fejlődésének meghatározásához. A 15. fejezet a Neptunusz egy szabálytalan alakú holdjának, a Nereidának a különböző időskálákon történő fényváltozásaira keres magyarázatot a kiterjesztett Kepler-misszióban végzett mérések, illetve archív Spitzer- és Herschel-adatok alapján. Az értekezést az eredmények tézisszerű összefoglalása és irodalomjegyzék zárja.

Technikai megjegyzések

Az értekezés szerkezeti felépítése átgondolt, szövegezése szakszerű, az első részben helyenként nehézkes. Az ábrák kifejezőek, a táblázatokkal együtt jól segítik az eredmények bemutatását. Gyakoriak a gépelési hibák, hibásan írt mondatok is előfordulnak. Tárgyi tévedés a 48. oldalon az, hogy a Föld-Hold rendszer L2 Lagrange-pontja gravitációsan stabil. (A kollineáris Lagrange-pontok instabilak.)

Kérdéseim az értekezéssel kapcsolatban

1. Az 5. oldalon szereplő egyenletekben több változó jelentése nincs megadva. Mit jelent σ_{fs} az (1.4) egyenletben, r és τ az (1.6)-ban, (1.7)-ben mi az s ? Az (1.10)-be történő behelyettesítés után (1.11)-ben miért nem szerepel Ω ? Hasonlóan, a 8.1 egyenletben mit jelent P_V , a 8.3-ban pedig A ?

2. A diffúz égi struktúrákat általában a Fourier-teljesítményspektrumukkal szokták jellemezni. Sok esetben a teljesítményspektrum hatványfüggvénnyel adható meg. Ennek spektrálindexén alapulnak a konfúziós zajra vonatkozó vizsgálatok. (5. oldal) Hogyan becsülhető a konfúziós zaj, ha a teljesítményspektrum nem írható le hatványfüggvénnyel?

3. Az állatövi fény kis skálás szerkezetére az ISO űrtávcső 25 μm -es méréseiből lehet következtetni, eszerint "a felületifényesség-fluktuációk a $\sim 3'$ térbeli skálákon nem haladják meg a $\sim 0,2\%$ -ot ami $\pm 0,04 \text{ MJyr}^{-1}$ -nek felel meg magas ekliptikai szélességeken". (7. oldal) Mit jelent a "magas", és

miért ezt emeli ki a szerző? Lehet-e tudni szélességtől függően a szerkezetet? Ugyanez a kérdés vonatkozik a "magas galaktikus szélességeken" kifejezésre, néhány sorral alább (1.12 egyenlet fölött).

4. 18. oldal: "Az itt kapott eredményekből megbecsülhetjük, hogy mennyi lehet a cirrusz spektrálindeks az ég leghalványabb háttérfényességű területein a C200-as detektor hullámhossztartományában. Ehhez a $\log_{10}\langle B_{C2} \rangle - \alpha_{C2}$ összefüggést extrapoláltuk a leghalványabb mezőkre ...". Mi az említett összefüggés, és mennyire jogos az extrapoláció, tekintve hogy 13 égterületen 20 ISOPHOT térképet vizsgáltak, melyek mérete $\sim 0,5^\circ \times 0,5^\circ$, és a 2.1 táblázat szerint ezek mintegy fele hasonló galaktikus koordinátákkal rendelkeznek?

5. 23. oldal: "Abban az esetben, ha az adott elongációra és ekliptikai szélesség értékre nem volt DIRBE-mérés (a műszer véges élettartama miatt), az elongációt 'tükröztük' a Nap másik oldalára és az ottani elongáció abszolút értékéhez tartozó pozícióra számítottuk ki az állatövi fény komponenszt. Ezt a tükrözött pozíciót majdnem minden esetben észlelték." Kérdés: szimmetrikus-e az állatövi fény a Napra elongáció szerint?

6. A 3.2 ábra és a 3.1 táblázat szerint a (3.3) összefüggésben szereplő S paraméter a λ növekedésével csökken, 100 μm -nél azonban ettől a tendenciától eltérő, nagyobb érték található. Mi lehet ennek az oka?

7. 38. oldal: "Az integrálásnál figyelembe vettük a külső és belső bolygók kalibráló hatását is." Mit jelent a bolygók "kalibráló" hatása? Milyen integrációs modellt, és milyen integrátort használtak?

8. 39. oldal: "Az adott számolás keretein belül feltételeztük, hogy az aszteroidák lokális térbeli eloszlása Poisson-eloszlás." Hogyan egyeztethető ez össze a numerikus integrálásból kapott eloszlással?

9. Az SAM kisbolygók fluktuációs teljesítményének és teljes számának eloszlása maximumot mutat az ekliptikai szélességben az antiszoláris pontnál (5.1 ábra). Mi ennek a magyarázata, és mennyire egyezik a megfigyelésekkel?

10. Mit takar a dinamikailag "hideg" és "forró" elnevezés (91. oldal), azon kívül, hogy az inklináció kicsi az első, és nagy a második esetben? Ha az elnevezés dinamikai fejlődéssel kapcsolatos, van-e magyarázat arra, hogy a "hideg" objektumok kisebb méretűek, mint a "forrók", a 10.1 ábra szerint.

11. A 2012 DR₃₀ és a 2013 AZ₆₀ kentaurok dinamikai szimulációja során a kezdeti pályaadatok közül az excentricitást, az inklinációt, és a perihélium-távolságot változtatták. A másik három pályaelemet miért nem? A 12.3 táblázatban mennyi az M középanómália értéke (csak a hiba van megadva)? A kezdeti pályamenti helyzettől erősen függ a stabilitás.

Összefoglaló értékelés

Eredményeit a szerző 13 tézispontban foglalta össze. Ezek közül 4 kapcsolódik az infravörös konfúziós zaj becslésére és a felületi fényesség kalibrációjára, 2 a Herschel-űrtávcső programjához való magyar hozzájárulásra, és 7 a Naprendszer kis égitestjeinek a távoli-infravörös mérések alapján meghatározott tulajdonságaira. Az ötödik kivételével valamennyi tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el. Az ötödik pont a szerző vezető szerepét emeli ki a magyar Herschel-csoport irányításában, mely részt vett a PACS kamera kifejlesztésében és üzemeltetésében. Elismerve ennek fontosságát, a tézispont megfogalmazásánál szerencsésebb lett volna azt bemutatni, hogy a szerző és csoportja a nemzetközi együttműködésben végzett fejlesztés mely részét végezte.

A tézisekben megfogalmazott eredmények közül kiemelem a hatodik pontot, mely a a Herschel-űrtávcsőnek a szerző által kifejlesztett konfúziós zaj modelljére vonatkozik, és amely a misszió teljes időtartama alatt segítette a méréstervezést. Szintén kiemelendő a hetedik pont, mely a "TNOs are Cool!" kulcsprogramban a Herschel-űrtávcső PACS kamerájára vonatkozó, a szerző által kidolgozott mérési stratégiákat és kiértékelési módszereket összegzi, melyek alapul szolgáltak az egyedi objektumok (TNO-k, üstökösök, aszteroidák) fizikai tulajdonságainak meghatározására.

A tézisekben összegzett eredményeket a szerző 20 publikációban ismertette. Ezek rangos folyóiratokban jelentek meg, illetve a publikációk között szerepel 3 Herschel-dokumentáció is. A konfúziós zaj modellezésével, illetve mérési és kiértékelési módszerek fejlesztésével a szerző jelentősen hozzájárult az infravörös-űreszközök nyújtotta lehetőségek kihasználásához a Naprendszer kis égitestjei fizikai tulajdonságainak megismerésében.

Új tudományos eredményei alapján az értekezést alkalmasnak tartom a nyilvános vitára.

Érdi Bálint
az MTA doktora

2017. november 10.