

Válaszok Dr. Csabai István opponens kérdéseire

Doktori értekezés címe: Szubsztelláris égitestek naprendszerekben
Doktori értekezés szerzője: Szabó M. Gyula, PhD (ELTE GAO MKK, MTA CSFK CSI)
Doktori értekezés kategóriája: MTA doktori disszertáció
Doktori értekezés tudományos osztálya: MTA XI. Fizikai Tudományok Osztálya

Köszönettel vettem Dr. Csabai István opponensi véleményét, amelyre az alábbiakban szeretnék reagálni, illetve válaszolni.

Az Opponens Bevezetést érintő meglátása mindenképpen helytálló abban az értelemben, hogy a dolgozat által felölelt komplex diszciplinát nem tudtam negyven oldalban átfogóan bemutatni. Ez valószínűleg nem is lehetséges, és én magam sem törekedtem erre, a terjedelmi korlátokat is figyelembe véve. A Bevezetést elsősorban a tézispontokat érintő kérdéskörök háttérének felvázolásának szántam, amely néhány erőteljes vonással ad egy nagyjából áttekinthető, ám semmiképp sem teljes háttérrel az utána következő fejtegetésekhez; megmutatva a később tárgyalt kérdések - és csak e kérdések - környezetét a tudomány mai állása szerint, az aktuálisan nyitott kérdéseket, és elsősorban megmutassa azt a frontvonalat, amely mentén az ismeretek a mai napon haladnak előre, a még ismeretlen kérdések területére. Örömmel vettem a visszajelzést, miszerint kivüláglik a bevezetőből, hogy a leglényegesebb kérdések közül is számos van, amelyre nem tudjuk a választ - ennek bemutatása kifejezetten célom volt. Ezért is tértem ki a történeti előzményekre a dolgozat legelején; a csillagászat történet elmúlt évszázadait tanulmányozva gyakran az az érzésünk támadhat, hogy mennyire lényeges kérdésekre nem tudták a helyes választ régebbi korokban, vagy egyáltalán föl sem ismerték e kérdések létét és súlyát; és mivel korunk tudományának episztemiológiája nyilvánvalóan nem különbözik jelentősen az akárcsak pár évtizeddel ezelőtti állapottól, jogosan vetődik föl a kérdés, hogy hol vannak a mai csillagászatban azok a kérdések, amelyekre a mai legjobb válaszunk meglehetősen bizonytalan, vagy teljesen téves, vagy a kérdés súlyát sem ismerjük föl ténylegesen: például a bolygórendszerek világának megannyi alapkérdésénél vannak.

A Doppler-nyalábolást érintő kérdésre a válaszom egyértelműen igenlő, hozzátéve, hogy a formalizmusbeli eltérés oka abból származik, hogy a bolygók világában a nemrelativisztikus effektusok nagyságrendje is 10 ppm egységében mérhető, így elegendő a nemrelativisztikus határeset formalizmusának használata - ellentétben a kvazárokkal.

A kérdésekre a válaszom a következő:

1. A kisbolygók fényessége csak a visszaverő felülettől függ-e? Konzisztensek-e az eredmények a különböző színszűrők adataiban?

A klasszikus kisbolygó kutatási vizsgálatokban az égitesteket homogén albedóeloszlású, homogén színű égitestekként fogják fel. Éppen egy korábbi, PhD dolgozatomban feldolgozott munkában (Szabó és mtsai 2004, MNRAS 348) mutattam ki, hogy ez a közelítés csak részben helyes, hiszen az SDSS kisbolygókra vonatkozó, átlagosan 0.03 magnitúdó bizonytalanságú fotometriája lehetővé teszi, hogy egy további, szintén átlagosan 3% nagyságrendű, szisztematikus és kisbolygónként reprodukálható szín-változást is detektáljunk, amelyhez természetszerűleg albedóváltozás is társul (hiszen a

színváltozás az albedó spektrumfüggő változása). Ez a 3% nagyságrendű effektus azonban még jelentősen elmarad az alak elnyúltságából eredő effektustól, tehát statisztikusan nem követünk el jelentős hibát, ha az albedót a felszínen homogén formalizmussal kezeljük. (Mindenképpen kisebb hibát hoz be ez a bizonytalanság, mint például a forgástengelyek ismeretének hiánya - s ez utóbbival kapcsolatos nehézségeket a dolgozatban sem titkoltam).

2. Milyen hibával becsülhető a Jupiter trójaiak L4/L5 darabszáma, befolyásolja-e a végkövetkeztetést a kis elemszám? Miért nem szignifikáns 2.5 szigma eltérés?

A detektálási darabszámok valóban a 0-20 tartományban mozognak, az égterületre fektetett rács felosztása szerint. Ez az egyedi területelemeket tekintve nem tesz lehetővé szignifikáns következtetést, de az alkalmazott sima modell (2 dimenziós normál eloszlások az ekliptikai koordinátavonalak mentén), illetve akárcsak a két csomó objektumainak egyszerű összegzése már együttesen szignifikáns eredményt ad, hiszen itt már sok száz objektum statisztikájáról van szó. (a darabszámok egyszerű egybevetése azonban a valóság torzított becslése, az aszimmetrikus mintavételezés miatt, ezért van szükség a sima modellre is.)

Az analízis során a hibákat a redukált szórásnégyzet analízisén keresztül követtem, melynek definíciója

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

ahol O és E a megfigyelt és a modell által becsült elemszámot mutatják. Ez a statisztika a cellák n elemszámának megfelelő szabadsági fokú khi-négyzet eloszlást követ abban az esetben, ha a cellák adatai függetlenek (ami teljesül például a diszjunkt égterületek miatt) és egyesével normál eloszlásúak (ez szigorúan véve nem teljesül, Poisson-statisztikára vezető problémánk van, ám ennek határesetek normális, és a konvergencia gyors – mindenesetre a közelítésből jelentős eltérés a hiba becslésére nem származik). A modellben szereplő arányok változtatása az E értékeit változtatja, az arányra vonatkozó becslés hibáját pedig úgy becsülhetjük, hogy a statisztika mikor éri el az “1 szigma” hibának megfelelő, 68,2% kvantilist. Ez az eset a modell elemarányok 0,1 értékű változása esetén már bekövetkezik, amely becslés tehát már magában foglalja a kis elemszámok és a töredékes mintavétel hatásait is.

Ugyanígy, a kérdésben érintett 2,5 szigma értékkel kilógó egyetlen pont nem tekinthető a modelltől való devianciának, hiszen a normál eloszlás (mint a vizsgálat statisztika határesetek) 2,5 szigma eltéréshez tartozó kvantilise 1,2%: vagyis nagyjából 80 mérés esetén egy mérés legalább ennyire ki fog lógni – ha az általánosan feltételezett normalitás teljesül. Így egy eltéréstérképen szereplő, egymástól szeparált, 2-3 szigma értékkel kilógó egy-két pont meglete nem zavaró.

3. Hogyan zárható ki, hogy a kisbolygok vörösödését részben vagy egészben az észlelő és az objektumok között esetlegesen lévő közeg (pl. por) okozza?

Mivel a mérés a Naprendszeren belül történik, számottevő vörösödéssel nem kell számolnunk: a Naprendszer poranyaga ritka, és az objektumok – az intersztelláris vörösödés tipikus eseteit tekintve – rendkívül közel vannak hozzánk.

4. A CARA hálózat által gyűjtött az adatok számának ismerete fontos lenne a következőkben leírtak értelmezéséhez.

A kérdésre az elérhető legújabb adattal tudok pontosan válaszolni: 2013. október 7-éig a CARA hálózat 11645 porsűrűség-mérést végzett. Ez a szám a disszertáció beadásakor még kb. kétezerrel volt kevesebb, a 2013 év fényes üstökösei jelenleg kiemelt szinten tartják az észlelői aktivitást.

5. A 6. fejezetben vázolt (pár éve kiszámolt) kalkulációk alapján a Kepler űrtávcső képes lehet exoholdakat detektálni. Sikerült-e ez azóta?

A témában 2013-ban jelent meg három publikáció (Szabó Róbert, Szabó M. Gyula és mtsai. 2013, Mazeh és mtsai. 2013, Kipping és mtsai. 2013), amelyek a legvalószínűbb jelölteket keresték a Kepler adatbázisban. A jelöltek listája részben diszjunkt, ez a kutatók égitestek részben diszjunkt listájával is magyarázható. Ugyanakkor elmondható, hogy biztos – vagy legalábbis nagyon valószínű – jelöltet egyik cikkben sem közölnek a szerzők; tehát a holdak felfedezésére vonatkozó kérdésre egyértelműen nemleges választ kell adnunk.

A negatív eredmény oka – részben – hogy az űrtávcső által szolgáltatott adatok szisztematikus zajkomponensei jelentősen meghaladják az előzetes várakozásokat. Így a méréseket bonyolult – és egyelőre még nem teljeskörűen tesztelt – trendszűrési eljárásoknak kell alávetni, ezek azonban a holdak által okozott kis jelekben jelentős zajforrásként szerepelnek. A másik lehetséges ok, hogy a dolgozatban vizsgált “Föld-méretű holdak” valamilyen okból nem léteznek (például nem alakulhatnak ki?), és így a Naprendszer legnagyobb holdjai – pl. a Ganymedes – a bolygók körül egyáltalán megtalálható legnagyobb holdakat testesítik meg. Ilyen méretű holdak detektálására azonban csak a jövő űrtávcsövei – TESS, CHEOPS, PLATO – lesznek majd képesek, de csak akkor, ha az észlelési stratégiájuk illeszkedik majd a feladathoz.

Szombathely, 2013. 10. 09.



Szabó M. Gyula