

Válaszok
Dr. Erdős Géza 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

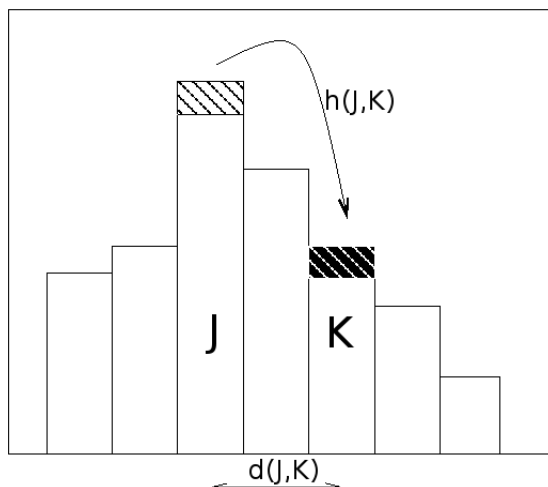
Köszönöm Dr. Erdős Gézának a dolgozat gondos átolvasását és bírálatát. A Vega űrszondákkal kapcsolatos észrevételét köszönettel vettem - az Opponensnek természetesen igaza van! Saját ismeretterjesztő tevékenységem során körültekintően szoktam arra figyelni, hogy a magyar kutatók eredményeit valós értékén kezelve mutassam be. Korai csillagászati érdeklődésem az 1986-os év több eseményéhez is meghatározó emlékekkel köt, különösen esti holdfogyatkozáshoz és a Halley üstökös visszatéréséhez, az ezzel kapcsolatos tudományos műsorokhoz - például a Vega űrszondákról. Lehet, hogy ezen élmények nélkül ma nem csillagászáttal foglalkoznék. Természetesen a jövőben még több figyelmet fogok fordítani a magyar eredmények bemutatására.

1. A mérési hibák torzításának becslése a kisbolygók alakjának elnyúltságában.

A mérési hibák hatását általában a szórásnégyzetek összegzésével szokták figyelembe venni, és így követni a terjedését. Különösen jelentős ez abban az esetben, amikor a véletlen fluktuáció szisztematikus torzítássá fejlődik, ilyenkor a torzítás irányát és mértékét - hacsak lehetséges - ki kell számolni, illetve meg kell becsülni, nehogy a fel nem ismert torzítás vezessen téves eredményre.

A jelen helyzetben a hibák négyzetes összegzése azonban nem járható út, hiszen nem az adatsorok szórását, hanem az eloszlásfüggvények pontos alakját írjuk az inverz problémát megoldó algoritmusba. Binnelt adatokról lévén szó, a mérési hibák azzal járnak, hogy egy eredetileg J intervallumba tartozó mintaelem átvándorol a K Intervallumba. Ennek várható $T(J,K)$ gyakorisága

$$T(J,K) = N(J) h(J,K) = N(J) h(d(J,K)),$$



Véletlen hibák torzítása diszkrétizált adatsoron

ahol $N(J)$ a J intervallumban lévő elemek száma, $h(J,K)$ a J -ből K -ba kiszóródás valószínűsége, amely az alkalmazott plauzibilis közelítésben csak $h(d)$ szerint, a hiba d nagysától függ, $d(J,K)$ pedig a két intervallum távolsága. Ebben az esetben a K intervallum elemszáma eggyel nő, J intervallum elemszáma eggyel csökken. Mivel a K intervallumba beszóródó elemszámot az összes J intervallumra való összegzéssel kapjuk meg, végeredményben egy diszkrét konvolúciót kapunk, amely az eredeti eloszlást szélesíti. Az adott alkalmazásban azonban csak a fényváltozás nagyságát vesszük figyelembe, irányát nem (ez a feltételezett függetlenség miatt eleve egy információtartalom nélküli irányt jelezne csupán), ezért a konvolúcióra egy abszolút értéket kell kívülről alkalmazni,

$$\hat{S}(\Delta m) = |S(\Delta m) \times h(\Delta m)|$$

ahol $\hat{S}(\Delta m)$ és $S(\Delta m)$ a keresett Δm fényváltozásértékek torzított (mért) és torzítatlan (tényleges) eloszlásai, a $\times$ jel pedig konvolúciót jelöl. Amennyiben h jóval szélesebb, mint S , $\hat{S}$ h -hoz tart (teljes adatvesztés - nem mérünk meg semmi információt), ha h elhanyagolható, információvesztést nem okoz (a dolgozatban bemutatott munka ezzel a feltételezéssel élt), köztes esetben részleges információvesztés történik. Ilyenkor $\hat{S}$ valamivel szélesebb, mint S , különösen a szárnyakon. A fotometriai hibák jelenléte tehát az elnyúlt kisbolygók számát látszólag megnöveli.

Ez pont ellentétes azzal a különbséggel, amire az Opponens rákérdezett: az SDSS szerint kevesebb elnyúlt égitest van, mint a fotometriai megoldások alapján. Itt inkább a szelekciós effektusok hatását látjuk, mintsem a mérési hibákét: a közösség jóval lelkesebben követte egy "szép nagy" változásokat mutató kisbolygó oppozícióit, mint a magyarából szférikus alakúakat, és az elnyúltakra nagyobb számban is kapott eredményt. Ezért mondhatjuk, hogy az alakeloszlások statisztikája leginkább "tudományszociológiai" okból torzított. Az SDSS-vizsgálat kizárja az "érdekesség"-faktort, így nálunk ez a torzítás nem jelent meg.

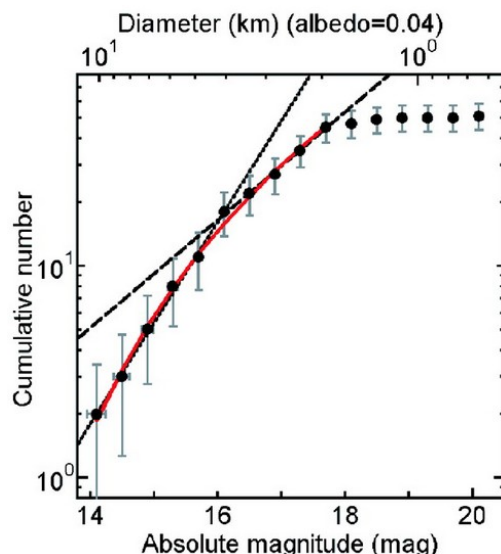
2. A trójai kisbolygók méreteloszlás hatványindexének összehasonlítása Yoshida és Nakamura (2005) eredményével.

Az Opponens éles szemmel szúrta ki, hogy Yoshida és Nakamura kisebb numerikus hibával közli a trójai kisbolygók méreteloszlását skálázó hatványkitevőt, mint a mi analízisünk, amely hússzor akkora minta alapján készült. Ez a tény végső soron felveti annak kérdését, hogy volt-e egyáltalán értelme a mi analízisünknek, ha a keresett mennyiséget már korábban nagyobb pontossággal ismertük.

Nehéz dolog azonban két megfigyelési adatból származtatott mennyiségek eltéréséről számot adni, mivel az eltérést bármelyik számolás helytelen volta okozhatja. Olykor megesik, hogy egy ilyen összevetés során a független műben sejtünk elvi hibákat, már amennyire a közölt cikk alapján a számítás egyáltalán rekonstruálható.

Yoshida és Nakamura cikkéből kikövetkeztethetőleg a kumulatív eloszlásra illesztették a hatványfüggvényt, geometriai haladvány szerint "binnelt" adatokra, darabszám négyzetgyökének megfelelő hibákkal. Azonban ez az eljárás nem lett volna követhető ebben az alkalmazásban, mert a hibák (sőt az adatok) függetlensége nem teljesül. Ráadásul a kumulatív darabszámok egyre nagyobb értékeknél monoton csökkenő "hibákat" indikálnak, akkor is, ha az adott tartományban minimális darabszámú pont található. Az így illesztett chi-négyzet statisztika "túl jó" eredményt ad, hiszen a hibákat alulbecsüljük.

Yoshida és Nakamura ezen kívül szelekcióra erősen korrigál, a korrekció már a legnagyobb, 10 km mérettartományban is meghaladja a 20 százalékot, két km felé haladva pedig eléri a tízes faktort. Nehéz ennyire nem-teljes adatsort metodikailag helyesen torzításmentesíteni, fennáll annak a veszélye, hogy a céleloszlásra alkalmazott lineáris modell megjelenik a végső adateloszlásban, és "behúzza" azt is magához. Talán ezért lehetséges, hogy Yoshida és Nakamura által közölt, binnelt, nem kumulatív adatokon elvégzett lineáris illesztés redukált szórásnégyzete mindössze 0.08, ami az értékek és hibák kölcsönös inkonzisztenciáját mutatja.



Yoshida és Nakamura (2005) 6. ábrája

3. Por és gáz kölcsönhatásának figyelembe vétele, Laval-fúvóka egyenletek. Az üstökösök gázdinamikája – a gyorsuló por környezetében – valóban bonyolult problémára vezet (pl. Probst 1968, Gombosi 1987). A gáz a nukleusz felszínét nem nulla, de szubszonikus sebességgel hagyja el, a gáz által elragadott por viszont nulla kezdősebességgel indul. Így a por ellenállást gyakorol a gázra, miközben maga is gyorsul. Az együttes dinamikai egyenlet Laval-fúvókának megfelelő dinamikára vezet, a kezdeti fékeződést a gáz gyorsulásának szakasza követi, amely szuperszonikus sebességben végződik. Ezek a hatások a jetekben jelentősek, különösen a kezdeti szakasznál, és az elméletet sikeresen alkalmazták pl. a Hale-Bopp jeteinek magyarázatánál, vagy a Borrelly-üstökös űrszondáról készített képeknek értelmezésénél.

A két szakasz közötti átmenet tartományát, ami megfelel a fúvóka nyakának, nagyjából a mag húszszoros méretének megfelelő távolságban húzódik a nukleusztól (Brandt és Chapman, 2004, Introduction to Comets, p. 185). Ez a Hale-Bopp esetében a belső 1000 km nagyságrendű tartományt jelenti, amely a távoli helyzetben készített képek pixelméreténél nagyságrendileg kisebb. Így az üstökös felbontott tartományában az alkalmazott közelítés már jogos - ahogy a földfelszíni, kis felbontású megfigyelések esetében általánosan elterjedt módszer (Fernández, Comets, 2005).

Itt szeretném megjegyezni, hogy a kóma sebességterének bizonytalanságát - a por dinamikáján túl - elsősorban az okozza, hogy a magban megtalálható jegek vegyes kémiai miatt (zárványok, vízre fagyott, atomi rétegben jelen lévő gázok stb.) a szublimációt - főleg nagy naptávolságban - nem egyetlen anyag egyensúlyi termofizikája határozza meg, hanem az ismeretlen arányban és mikroszkópiai eloszlásban jelen lévő jegek konglomerátuma összességében. A mag hőmérséklete a jelen lévő komponensek közös egyensúlyi hőmérsékletének felel meg, az ismeretlen összetétel miatt a közös hőmérsékletben fellépő bizonytalanságok elérhetik a sebesség becslésében a kettes faktort is (Schulman és mtsai. 2003, in: Cometary Science after Hale-Bopp, P. 109). Az általam alkalmazott formalizmusban a területük alapján paraméterezett aktív területek aránya (az f faktor az egyenletekben) lényegében e probléma részleges kezelését jelenti – két komponensre: szublimáló és nem szublimáló felszínt feltételezve. Amennyiben pontosabb mérések lehetővé teszik, ebbe a formalizmusba további komponensek is bevezethetők, és az együttes termodinamika pontosabban meghatározható.

Szombathely, 2013. 10. 09.

Szabó M. Gyula