

## Féléves kutatási beszámoló, 1. félév

Fizika Doktori Iskola, Csillagászat és Részecskefizika Program

Név: Timár Anikó

Témavezetők: Németh Zoltán, Lichtenberger János

Téma: Napszél eredetű hatások egy üstökös körül – vizsgálatok a Rosetta űrszonda mérései alapján

### 1. Kutatási terület

A félév során a 67P/Csurjumov-Geraszimenko üstökös diamágneses üregével foglalkoztam, célom a jelenség kiterjedésének meghatározása volt. A diamágneses üreg az üstökös kómájának legbelső régiója, ahonnan az üstökösből kiáramló plazma „kifújja” az interplanetáris mágneses teret, létrehozva egy mágneses tér nélküli területet az üstökös körül.

A diamágneses üreg létezését a Giotto űrszonda fedezte fel 1986-ban, mikor az űreszköz elhaladt az 1P/Halley mellett, egyhuzamban több ezer kilométert megtéve az üstökös diamágneses üregében. A Giotto mérései alapján Cravens (1986) megmutatta, hogy a diamágneses üreg külső határán a mágneses nyomás és a mágneses erővonalak görbületi feszítő ereje egyensúlyt tart az ionoknak a semleges atomokon történő „súrlódásából” fakadó erővel:

$$\nabla \frac{B^2}{2\mu_0} - \left( \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \cdot \nabla \right) \mathbf{B} = m_i n_i v_{in} (\mathbf{u}_n - \mathbf{u}_i)$$

Az egyenlet bal oldalának első tagja a mágneses nyomási gradiens, a második tag a mágneses görbületi feszítő erő. Az egyenlet jobb oldala az ion-semleges súrlódás.  $B$  a mágneses tér,  $n_i$ ,  $m_i$  és  $u_i$  az üstökös eredetű ionok sűrűsége, tömege és sebessége,  $v_{in}$  az ion-semleges ütközési együttható,  $u_n$  a semleges részecskék sebessége. A napszél mágneses nyomása enyhe görbületek mellett dominál a feszítő erő felett, így például az 1P/Halley nagy méretű és aktív üstökös esetében a mágneses feszítőerő elhanyagolható volt.

Cravens (1986) modellje szerint a diamágneses üreg határának távolsága az üstököstől ( $r_{cs}$ ) a következő képlet alapján számolható ki:

$$r_{cs} = 1,07 \cdot 10^{-17} Q^{\frac{3}{4}} / B_0 \quad [\text{cm}]$$

ahol  $Q$  [1/s] az üstökös gáztermelési rátája,  $B_0$  [Gauss] az üreg előtt felgyülemlő napszél mágneses terének maximuma.  $B_0$  arányos a napszél dinamikus nyomásával ( $p_{sw}$ ), így

$$r_{cs} \sim Q^{\frac{3}{4}} / \sqrt{p_{sw}} \quad .$$

A Rosetta küldetés során több száz diamágneses üregáthaladást azonosítottak 2015 márciusa és 2016 februárja között, legtöbbjük mindössze 1-2 perces, a leghosszabb pedig 40 perces időtartamú volt (Nemeth et al., 2016, Goetz et al., 2016). Ez jelentősen különbözik a Halley üstökösénél mért egyetlen hosszú áthaladástól. Feltételezésünk szerint a különbséget okozhatja, hogy a 67P esetében egy globális diamágneses üreg felületi dinamikáját érzékeli a Rosetta, ahogy a határtávolság folyamatosan változik a gázkiáramlási ráta és a napszélnyomás változása miatt. A Halley üstökös esetében a Giotto esetleg túl gyorsan haladt, vagy túl mélyen haladt az üreg belsejében, hogy ezt a dinamikát érzékeln tudja, de az is lehet, hogy a 67P diamágneses ürege egyszerűen változékonyabb, mint a Halley-é (Nemeth et al., 2016).

## 2. Adatfeldolgozás és eredmények

A félév során a 2015. július 7-e és augusztus 8-a között talált üregáthaladásokkal foglalkoztam, mivel erre az időszakra volt elérhető kalibrált mágneses tér adat. A vizsgált időszakban az űreszköz 150-300 km távolságban volt az üstököstől.

Az egyik szükséges összetevő a határtávolság kiszámításához az üstökös gáztermelési rátája. Itt a lokális Rosina méréseket, valamint a lokális mérésekből származtatott globális (Hansen et al., 2016) gáztermelési rátát használtam fel.

A Cravens-modell alapján meghatározott határtávolság kiszámításához  $B_0$ -t Madanian et al. (2016) lokális maximumkereséssel becsülte meg a Rosetta mágneses tér méréseiből. A módszer hibája, hogy nem tudni pontosan, hogy az így talált csúcsok a mágneses tér adatokban valóban a  $B_0$ -t reprezentálják-e: valószínű, hogy az űreszköz valójában nem haladt át a  $B_0$  maximumon, viszont a közeledés-eltávolodás tőle csúcsként jelentkezik az adatokban, mint ahogy a napszél erősségének folyamatos változása is lokális maximumokat generálhat. Azonban a módszer statisztikusan, egy szorzófaktor erejéig jó közelítést ad, így ez volt az egyik módszer, amit használtam az  $r_{cs}$  meghatározásához. A határtávolságot megbecsültem a napszélnyomás felhasználásával is, amit űridőjárási napszélmodellekből kaptam meg.

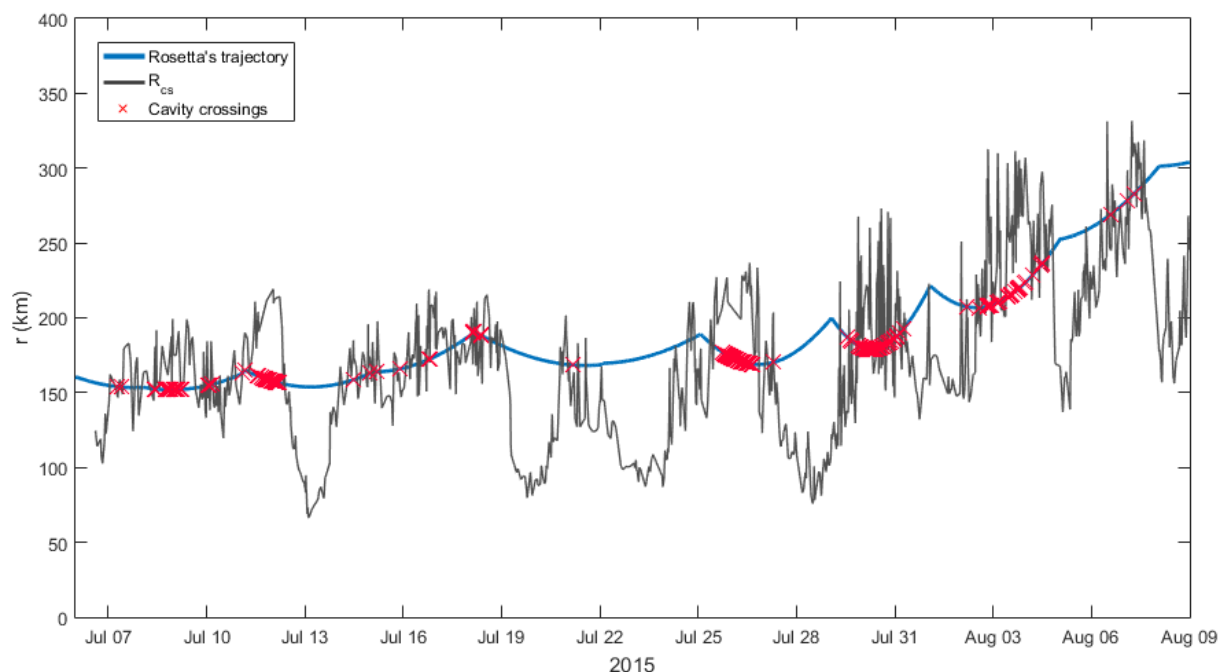
A Rosetta mágneses tér adatokból történő  $B_0$  értékek meghatározásához több, különböző maximumkeresési kritériummal próbálkoztam, a legjobb eredményeket pedig úgy értem el, ha csak azokat a csúcsokat vettem figyelembe, melyek kiemelkedése minimum 10-15 nT, és megköveteltem, hogy két csúcs között minimum 5-10 perc elteljen. A talált csúcsoknak ezen kívül nagyobbak kell lenniük, mint 25 nT, mivel az ennél kisebb csúcsok nagy valószínűséggel hamis  $B_0$  értékek abból következően, hogy a szonda nem érte el a valós  $B_0$  értékű maximumot, csak megközelítette azt. Ezekon kívül egy egyszerű simítást végeztem el az adatokon a csúcskiválasztás előtt, amivel az esetleges zajokat próbáltam kiszűrni a mágneses tér adatokból.

Azt találtam, hogy a Rosetta mágneses tér és a lokális gáztermelési ráta mérésekből származó adatokkal kiszámított határtávolság alig kerül átfedésbe a megtalált üregáthaladásokkal. Azt feltételezzük, hogy a változásokat a lokális gáztermelési rátában elnyomja a mágneses erővonalak görbületi feszítő ereje az üreghatáron, ezért az üreghatár kis lokális nyomás-fluktuációk hatására nem képes kifele mozogni.

Az üreghatár távolságának kiszámításához ezek után a globális gáztermelési rátát használtam (Hansen et al., 2016). Az ezzel kapott eredmény nagyon jó egyezést mutat a talált üregáthaladásokkal, majdnem mindenhol ott találunk felfutást az  $r_{cs}$  értékekben, ahol üregáthaladást (1. ábra), tehát megfelelő gáztermelési ráta használatával a Cravens-modell jól alkalmazható a 67P üstökös esetében is. A pontos egyezés arra mutathat, hogy a felgyülemlett napszél mágneses terének hirtelen, gyors változásai alakítják ki a szonda által észlelt rövid, szakadozó üregáthaladásokat, egy valószínűleg globális üreg határán.

A félév során megvizsgáltam azt is, hogy ahol a kiszámolt  $r_{cs}$  metszi a Rosetta útvonalát, azonban nem volt megtalált üregáthaladás, ott manuálisan átböngészve a mágneses tér adatokat mégis található áthaladás, amelyet Goetz et al. (2016) keresőprogramja nem észlelt. Tehát az  $r_{cs}$  kiszámításán alapuló módszer képes lehet akár megjósolni is, hogy a szonda mikor tartózkodott a diamágneses üregben.

Mivel a  $B_0$  maximumkeresési eljárás csak közelítő értéket ad, megpróbáltam a napszél-nyomás ( $p_{sw}$ ) segítségével is kiszámolni a határtávolságot, amihez WIND, valamint OMNI adatokat használtam. A két adatsor hasonló eredményt adott, azonban összességében pontatlanabban illeszkedik a talált üregáthaladásokra, mint a Rosetta mágneses tér adatokkal számolt  $r_{cs}$ . Ebben az esetben valószínűleg a Nap felszíni aktivitása befolyásolhatja számunkra előnytelenül az adatsorokat, mely hiba a mérőszondák és az üstökös interplanetáris térbeli helyzetkülönbségéből adódik.



1. ábra: Az üreghatár távolsága a globális gáztermelési ráta és a Rosetta mágneses tér mérések felhasználásával. A módszerek közül ez adta a legjobb illeszkedést a talált üregáthaladásokra. A kék vonal a Rosetta távolsága az üstököstől, a szürke vonal az üreghatár távolsága, a piros x-ek a talált üregáthaladások.

A következő lépésben ki lehetne terjeszteni az üreghatár távolságának kiszámítását egészen 2016 februárjáig, akadály azonban a megfelelően kalibrált Rosetta mágneses tér adatok hiánya. A Rosetta adatok helyett esetleg használható lenne a napszélmodellekből szerzett napszél-nyomás, ha a napszél tulajdonságait mérő műholdak megfelelő helyzetben tartózkodnának az üstököshöz képest. A vizsgálatokat ezekben az irányokban kívánom folytatni.

### 3. Publikációk és konferenciák

Munkáim egy része már belekerült egy 2016 végén megjelent publikációba a Monthly Notices of the Royal Astronomical Society kiadványában, amiben társszerzőként vagyok jelen (Nemeth et al., 2016).

Jelenleg a határtávolság meghatározásából és az abból következő eredményekből készítem a publikációt, amelyet 2017-ben tervezünk megjelentetni. Emellett ezekből az eredményekből a 2017-es EGU General Assembly keretében kívánok beszámolni.

#### 4. Feldolgozott Irodalom

T. E. Cravens 1986, *Physics of the cometary contact surface*, In ESA Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on the Exploration of Halley's Comet. V. 1, Plasma and Gas, p. 241-246

C. Goetz, C. Koenders, K. C. Hansen, J. Burch, C. Carr, A. Eriksson, D. Frühauff, C. Güttler, P. Henri, H. Nilsson, I. Richter, M. Rubin, H. Sierks, B. Tsurutani, M. Volwerk, and K. H. Glassmeier 2016, *Structure and Evolution of the Diamagnetic Cavity at Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, MNRAS, doi:10.1093/mnras/stw3148

K. C. Hansen et al. 2016, *Evolution of water production of 67P/Churyumov-Gerasimenko: An empirical model and a multi-instrument study*, MNRAS, doi: 10.1093/mnras/stw2413

H. Madanian and T. E. Cravens and J. Burch and R. Goldstein and M. Rubin and Z. Nemeth and C. Goetz and C. Koenders and K. Altwegg 2016, *Plasma Environment around Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko at Perihelion: Model Comparison with Rosetta Data*, The Astronomical Journal, volume 153, <http://stacks.iop.org/1538-3881/153/i=1/a=30>

Z. Nemeth, J. Burch, C. Goetz, R. Goldstein, P. Henri, C. Koenders, H. Madanian, K. Mandt, P. Mokashi, I. Richter, A. Timar, and K. Szego 2016, *Charged particle signatures of the diamagnetic cavity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, MNRAS, Vol. 462 S415-S421 doi:10.1093/mnras/stw3028