

4. félévi beszámoló

Bora Zsófia (bora.zsfia2@gmail.com)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Vinkó József

A dolgozat címe: Termonukleáris szupernóvák megfigyelési asztrofizikája

Téma ismertetése:

Az Ia típusú szupernóvák (SNIa-k) fényes tranziens objektumok, melyek a szakirodalom jelenlegi állása alapján olyan kettősrendszerbeli szén-oxigén (C/O) fehér törpék (White Dwarfs, WDs) termonukleáris robbanásainak eredményei, amelyek szoros kettős rendszerben képesek a társuktól elnyert anyaggal megközelíteni a Chandrasekhar-határtömeget. Az utóbbi évtizedek eredményei azt szemléltetik, hogy az Ia szupernóvák esetről-esetre különböző tulajdonságokat mutatnak, és mind a társcsillag és a fehér törpe természete, tömege, mind az anyagátadás módja és magának a robbanásnak a mechanizmusa is jelenleg tisztázatlan. Épp ezért fontos az Ia szupernóvák vizsgálatának során a megfigyelhető paraméterek összevetése a különböző robbanási modellek jóslataival.

Az SNIa-k egy érdekes megfigyelhető tulajdonsága a nagy sebességű vonalak (High Velocity Features, HVFs) jelenléte a korai spektrumokban. Ezek tipikusan a Ca II és a Si II vonalai, melyek a robbanás utáni korai időszakban a fotoszferikus vonalaktól (Photospheric Velocity Features, PVFs) (15 - 20000 km/s) jóval nagyobb távulási sebességet mutatnak (25 - 35000 km/s). Pontos eredetük még nem ismert, de feltehetőleg egy, a fotoszférán kívüli anyagsűrűsödésből származhatnak, amely utalhat a szülőobjektum vagy a rendszer természetére, vagy akár a robbanás mechanizmusára, így vizsgálatuk ígéretes lehet.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése:

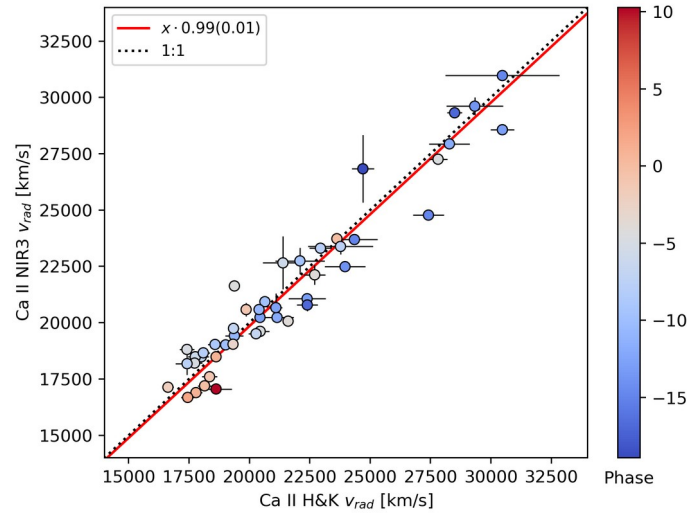
Doktori képzésem első félévében a mesterszakos tanulmányaim alatt végzett munkámat véglegesítettem, pontosítottam, és egészítettem ki további objektumokkal. Így sikerült 28 Ia típusú szupernóva robbanás során ledobott tömegét megállapítanom, és összevetni robbanási modellekkel, mely olvasható a doktori képzésem második féléve alatt megjelent Bora et al. (2024) cikkben.

Ezzel párhuzamosan a doktori projektemhez is elkezdtem a szakirodalom feldolgozását, és az adatok összegyűjtését. A kutatásom alatt felhasznált spektrumok a McDonald Observatórium Hobby-Eberly teleszkópjával készültek, egy nagy sebességű vonalakkal rendelkező Ia szupernóvákat évek óta észlelő program keretei között. Emellé még összegyűjtöttem publikusan elérhető spektrumokat is a kiválasztott objektumokra, így a végső mintám 58 szupernóva 174 spektrumából áll.

Elsődleges célom ezen nagy sebességű vonalak sebességének, és spektroszkópiai paramétereinek megállapítása, hogy azt aztán összevethessem különböző fizikai paramétereikkel, ezáltal betekintést nyerve a HVF-ek fizikai természetébe. Ehhez először is kiválasztottam azokat a spektrumokat, amelyeken egyszerre látszódott a NIR triplet, és a

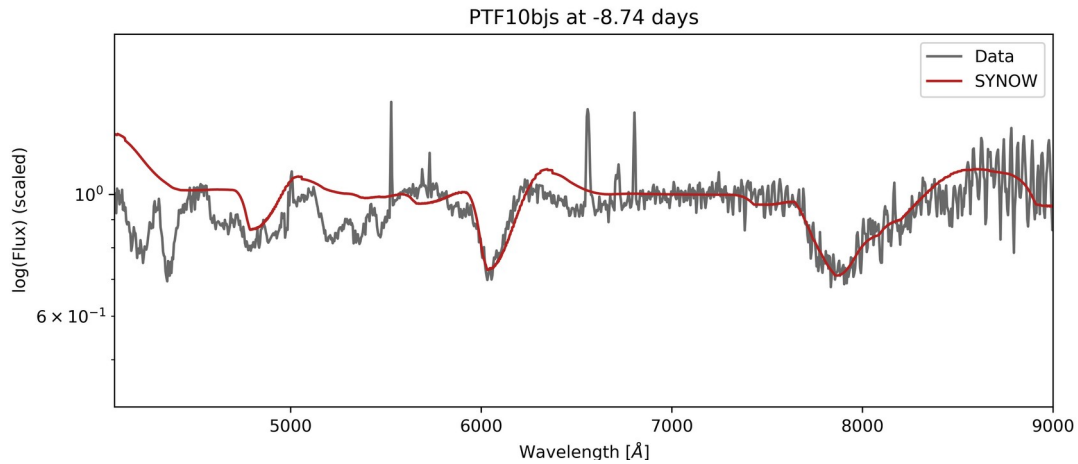
H&K vonalak tartománya is, és egy módosított Gauss-profil függvény illesztésével megbecsültem ezen vonalak minimumának elmozdulását.

Ezután a két Ca II vonal sebességét összevetettem egymással, és a várttal megegyezően azt találtam, hogy a két sebesség közel egyezik. Ez azt mutatja, hogy a nagy sebességű vonalak valóban valamilyen nagy sebességű régióban keletkeznek, és nem csupán egy közeli vonal általi szennyezés, vagy téves azonosítás eredményei.



1. Ábra: A közeli infravörös triplétt, és a H&K vonalak sebességeinek összevetése. A maximum időpontjához képesti fázist a szín kódolja.

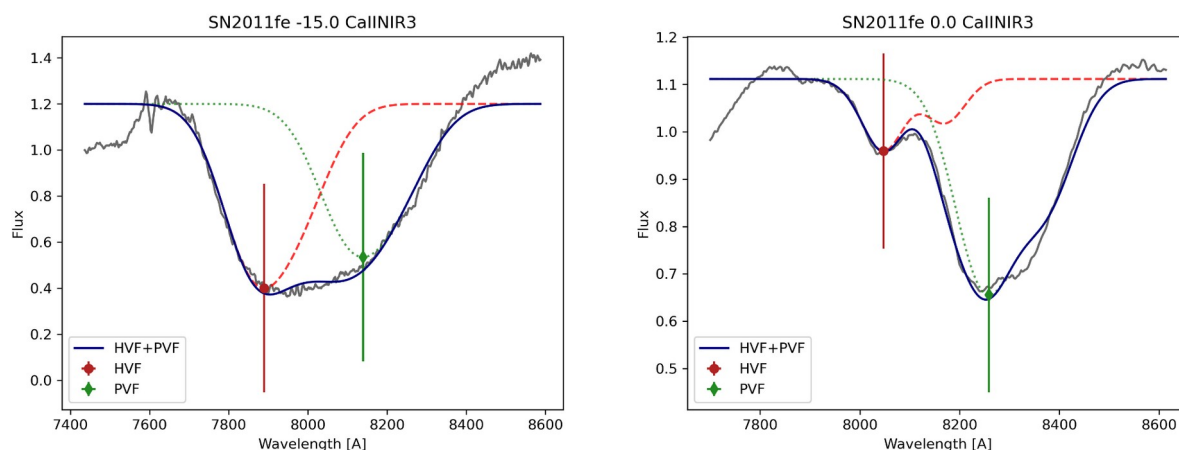
Ezután elkezdtem a spektrumok Si II, és Ca II vonalainak modellezését a SYNOW spektrumszintézis kóddal, mely a nagy sebességű vonalakat a fotoszférán kívül található, Gauss-függvénnyel leírható régióban szintetizálja. A modellezés kitöltötte a harmadik és a negyedik félét, hiszen minden modellt kézzel kellett az észlelt spektrumokhoz igazítani. Emellett elvégeztem a modellek, és az észlelt spektrumok kontinuum-normálását is, a lehető legjobb egyezés elérésének érdekében, különös figyelmet fordítva a közeli infravörös triplétre.



2. Ábra: Példa egy SYNOW modellre a PTF10bjs esetében. Látható a Si II 6355 Angströmnél található vonala, és a NIR triplétt is.

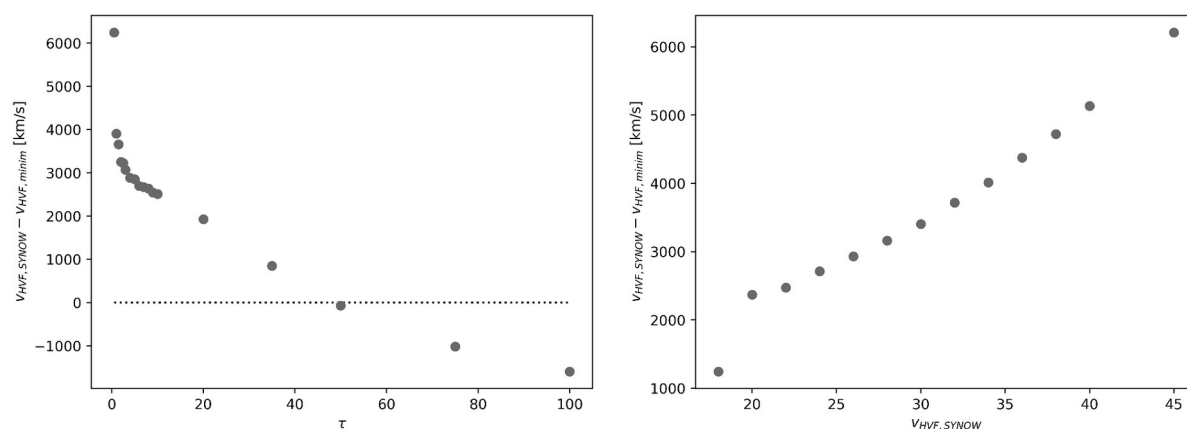
Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

A negyedik félév első felében befejeztem a spektrummodellek építését, majd azokat, és a Gauss-illesztéseket is újraellenőriztem, és fejlesztettem, így a harmadik féléves beszámolómban közölt ábrák már egy elavult verziót mutatnak. Az új illesztésekben jól végig lehet követni a nagy sebességű, és a fotoszferikus vonalak evolúcióját: korai fázisokban a HVF erős, a PVF gyengébb nála, majd ahogy egyre közeledünk a maximum fényesség felé, a HVF-ek elgyengülnek, és a fotoszferikus komponensek kezdik el dominálni a spektrumot.



3. Ábra: Egy korai, és egy maximum körüli spektrum összehasonlítása az SN2011fe esetében. Látható a nagy sebességű komponens (piros szaggatott) időbeli gyengülése a fotoszferikushoz képest (zöld pontozott).

Ezután összevetettem a modellezésből, és a Gauss-illesztésből kapott sebességeket, és a kettő között objektumfüggő eltérést találtam. A tavaszi félév végét főleg ennek az eltérésnek a vizsgálatával töltöttem. Ennek oka az, hogy az illesztés során a vonalminimumból határozom meg sebességet, azonban a legtöbb esetben a vonal optikai mélységétől, sebességétől, vagy szélességétől függően a minimum nem a vonal sebességéből számolt hullámhossznál lesz található. Így tehát a SYNOW modellnek megadott és a vonalminimumból számolt sebességek különbsége nagy sebességek, és kicsi optikai mélységek esetében akár az 5-6000 km/s-ot is elérheti. Épp ezért a Gauss-illesztésből számolt sebességek objektumtól függően alábecsülik a HVF-ek sebességét.



4. Ábra: A két módszer által megállapított modellezett sebességkülönbség a nagy sebességű vonal sebességének (jobb oldal), illetve optikai mélységének (bal oldal) függvényében.

Publikációk:

- Bora, Z., Könyves-Tóth, R., Vinkó, J., et al. 2024, PASP, Ejecta Masses in Type Ia Supernovae -- Implications for the Progenitor and the Explosion Scenario, 136, 9, 094201.
 - o [doi:10.1088/1538-3873/ad6e18](https://doi.org/10.1088/1538-3873/ad6e18)
- Barna, B., Nagy, A.P., Bora, Z., et al. 2023, A&A, Three is the magic number: Distance measurement of NGC 3147 using SN 2021hpr and its siblings, 677, A183.
 - o [doi:10.1051/0004-6361/202346395](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346395)
- Fiorellino, E., Ábrahám, P., Kóspál, Á., et al. 2024, A&A, The enigma of Gaia18cjb: A possible rare hybrid of FUor and EXor properties, 686, A160.
 - o [doi:10.1051/0004-6361/202347777](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347777)
- Nagy, Z., Kóspál, Á., Ábrahám, P., et al. 2025, The 2023 outburst of the Gaia alerted EXor Gaia23bab, arXiv:2505.02227.
 - o [doi:10.48550/arXiv.2505.02227](https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.02227)
- Zsidi, G., Kóspál, Á., Ábrahám, P., et al. 2025, Short- and long-term variations of the high mass accretion rate classical T Tauri star DR Tau, arXiv:2505.07684.
 - o [doi:10.48550/arXiv.2505.07684](https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.07684)
- Choukroun, A., Marciniak, A., Durech, J., et al. 2025, Asteroid sizes determined with thermophysical model and stellar occultations, arXiv:2505.09437.

Konferenciák a képzés alatt:

A doktori képzés alatt részt vettem a 2023-as NEON észlelőiskolán, valamint munkánkat témavezetőm poszter keretében bemutatta a 245. AAS konferencián, de személyesen még nem volt szerencsém munkámat bemutatni az elmúlt 2 évben. Ezt ősztől kezdődően tervezem bepótolni, mind hazai, mind nemzetközi eseményeken, kezdve a szeptemberben Budapesten tartandó Magyar Csillagászok Találkozóján.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:

A félévben az alábbi ELTE-s kurzust végeztem el sikeresen:

- (Exo)Bolygó légkörök szeminárium II. (FIZ/5/044) - Forgácsné dr. Dajka Emese Zelmira, Kiss Csaba Dr.

Oktatási tevékenység (összesített):

- 2024-25/ősz: Csillagászati észlelési gyakorlatok 2. (cseszlgyk2g17ga) gyakorlat megtartása heti 1.5 órában, a hozzátartozó obszervatóriumi látogatások (Svábhegyi Csillagvizsgáló, Piskésetetői Obszervatórium) megszervezése, és lebonyolítása.
- 2024-25/tavasz: Csillagászati észlelési gyakorlatok 3. (cseszlgyk3g17ga) gyakorlat megtartása heti 1.5 órában, a hozzátartozó obszervatóriumi látogatások (Piskésetetői Obszervatórium, Gyulai Napobszervatórium) megszervezése, és lebonyolítása.

Szakmai közéleti tevékenység (összesített):

- 2024. március 6.-án planetáriumi előadást tartottam a Dr. Pásztor Gabriella által szervezett Részecskefizikai Diákműhely keretein belül középiskolás diákok számára.
- 2024. március 19.-én bemutattam doktori témámat, és előzetes eredményeimet a Konkoly Extragalaktikus Workshopon a HUN-REN CSFK KTM CSI hallgatósága előtt.
- 2024. november 16.-án planetáriumi előadásokat tartottam meg a Dr. Pásztor Gabriella által szervezett CERN70 esemény keretein belül.
- 2025. március 21.-én bemutattam eredményeimet a Konkoly Extragalaktikus Workshopon a HUN-REN CSFK KTM CSI hallgatósága előtt.
- Doktori képzésem első 4 féléve alatt folyamatosan részt vettem a Pizskéstetői Observatórium észleléseiben ügyeletes csillagászként, melynek az éjszakai méréseken kívül része a látogatócsoportok körbevezetése és ismeretterjesztő előadások tartása is.