

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR  
FIZIKA DOKTORI ISKOLA

## **II-es típusú szupernóvák távolságának meghatározása**

Doktori értekezés tézisei

Takáts Katalin

TÉMAVEZETŐ:

Dr. Vinkó József

SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

SZEGED

2013

## Tudományos háttér

A szupernóvák (SN) kutatása az utóbbi évtizedekben a csillagászat egyik leggyorsabban fejlődő területévé vált. A dedikált felfedezőprogramoknak köszönhetően számuk évről évre nő, ismereteink egyre gyarapodnak, eközben újra és újra találnak olyan objektumot, amely nem illeszkedik egyértelműen a szokásos kategóriákba. Ugyanakkor a régóta ismert típusokkal kapcsolatban is sok a megválaszolatlan kérdés, mind szülőcsillagaik természetéről, mind a robbanás fizikájáról és az utána végbemenő folyamatokról. Dolgozatom első felében áttekintem a szupernóvák csoportosítását, az egyes típusokról rendelkezésre álló legfontosabb ismereteket, ezek legfőbb fizikai tulajdonságait.

A szupernóváknak nagy szerepe van az extragalaktikus távolságmérésben. Erre a célra mind az Ia, mind a II-es típusú SN-k alkalmasak. Az Ia SN-kal történő távolságmérésre irányuló törekvések már eddig is jelentős eredményeket szolgáltattak. Segítségükkel mutatták ki, hogy az Univerzium gyorsulva tágul, ezért a felfedezésért szupernóva-kutatók (Brian Schmidt, Adam Riess és Saul Perlmutter) kapták a 2011-es fizikai Nobel-díjat. Ugyanakkor a használt eljárások empirikus kalibráción alapulnak, és – ahogy többek között Vinkó és mtsai (2012) is megmutatták – az egyes módszerek még nem teljesen konzisztensek.

Az Ia-kon kívül a II-P típusú szupernóvákat is használhatjuk távolságmérésre. Jelenleg két módszer áll rendelkezésre: a táguló fotoszféra módszer (EPM; Kirshner & Kwan, 1974) és a standard(izált) gyertya módszer (SCM; Hamuy & Pinto, 2002). Az EPM használatához nincs szükség kalibrációra, más módszerektől független távolságot ad. Viszont alkalmazásához minél több, korai fázisban felvett, jó minőségű fotometriai és spektroszkópai adatra van szükség. Az SCM a plató közepén mért fényesség és tágulási sebesség között fennálló empirikus összefüggésen alapul, tehát kalibrálni kell ismert távolságú szupernóvák segítségével. Ugyanakkor használatához kevesebb adatra van szükség, mint az EPM esetében.

Mindkét távolságmérési eljárás használata során fontos a fotoszféra tágulási sebességének minél pontosabb ismerete. Ennek mérésére több módszert is kipróbáltak a korábbi munkákban. A leggyakrabban alkalmazott eljárás bizonyos vonalak abszorpciós minimuma Doppler-eltolódásának mérése. Általában az Fe II 5169 Å vonalát – illetve korai fázisban a H $\beta$ -t – használják erre a célra. Azonban többek között Dessart & Hillier (2005b) megmutatták, hogy az így mért sebesség nem egyezik meg a fotoszféra sebességével, attól való

eltérésének mértéke fázisfüggő, ráadásul szupernóváról szupernóvára is változik.

Többen, köztük Poznanski és mtsai (2009), a keresztkorrelációs technika alkalmazásával próbálkoztak, de ez a módszer a P Cygni vonalprofil esetében ugyancsak szisztematikus hibával terhelt. Használata esetleg rossz jel/zaj viszonyal rendelkező spektrumok esetében lehet indokolt.

A fotoszférikus sebesség mérésére a legjobb módszer a spektrum teljes, radiatív transzfert és hidrodinamikát ötvöző, nem-lokális termodinamikai egyensúlyt használó (NLTE-) modellezése. Ez azonban nagy számítási kapacitást igényel, így sok spektrum esetében alkalmazása túl időigényes, eddig csak néhány objektum esetében végeztek ilyen számolásokat. A szupernóvák spektrumának modellezésére azonban léteznek sokkal egyszerűbb, lokális termodinamikai egyensúly (LTE) közelítést használó programok is, ilyen például a SYNOW nevű kód. Munkám során ez utóbbi alkalmazhatóságát vizsgáltam, és az eredményeimet összevetettem a más módszerekből kapottakkal.

## Kutatási módszerek

A szupernóvák spektrumának modellezéséhez és fotoszférikus sebességük méréséhez a SYNOW nevű, parametrizált, kifejezetten szupernóva-spektrumok modellezére írt programot használtam (Fisher, 1999; Hatano és mtsai, 1999). A kód néhány egyszerűsítő alapfeltevésre épül: a ledobódott anyag homológ módon tágul, a fotoszféra közel feketetest-sugárzó, a spektrumvonalak pedig mind a fotoszféra felett jönnek létre és keletkezésükért teljes mértékben a rezonáns szórás felelős. A program a sugárzási transzferegyenletet az ún. Sobolev-közelítés felhasználásával oldja meg.

Összegyűjtöttem öt olyan II-P típusú szupernóva publikusan elérhető adatait, amelyek mindegyikét rendkívüli alaposággal tanulmányozták már korábban, és amelyekről nagyon jó minőségű és időbeli lefedettségű adatsor áll rendelkezésre. A spektrumok modellezésével megállapítottam a tágulási sebességet, amelyet felhasználva alkalmaztam a táguló fotoszféra módszert a szupernóvák távolságának kiszámítására. A távolság ismeretében pedig meghatározható néhány fontos fizikai paraméter azon összefüggések segítségével, amelyeket korábban modellszámítások alapján állapítottak meg.

## Új tudományos eredmények

1. A II-es típusú szupernóvák fotoszférikus sebességének mérésére egy olyan módszert fejlesztettem ki, amely automatizálható és nagy számú spektrumra a korábbiaknál gyorsabban alkalmazható. Ehhez a SYNOW modellező programot használtam. A paraméterek változtatásával nagyszámú modellt hoztam létre, amelyek közül  $\chi^2$  illesztéssel kerestem meg azt, amelyik az észlelt spektrumra a legjobban illeszkedik. Ezután a többi paramétert fixen tartva kizárólag a modellek fotoszférikus sebességét változtattam. Ekkor a legmegfelelőbb modell kiválasztásához már csak egy bizonyos spektrumvonal hullámhossz-tartományára végeztem az illesztést. Korai fázisban ez a vonal a  $H\beta$  volt, majd később, a fémvonalak megjelenése után az egyszerűen ionizált vas (Fe II) 5169 Å nyugalmi hullámhossznál lévő vonala.

A módszert alkalmaztam öt, II-P típusú szupernóva (SN 1999em, SN 2004dj, SN

2004et, SN 2005cs és SN 2006bp) nagyszámú spektrumára, és egyidejűleg más módszerekkel is megmértem ezen szupernóvák sebességét. Így össze tudtam hasonlítani a különböző eljárások alkalmazhatóságát, előnyeit és hátrányait, valamint a használatuk során kapott eredményeket. (Takáts & Vinkó, 2012)

2. Összefüggéseket állapítottam meg a SYNOW-t használó módszerrel kapott fotoszférikus sebességek és azok között a sebességek között, amelyeket a spektrum egyedi vonalainak Doppler-eltolódásából mértem meg. Meghatároztam a II-P típusú szupernóvák fotoszférikus sebességének időbeli lefutását leíró empirikus összefüggést. Ennek a relációnak a segítségével lehetséges a sebességek más időpontra történő interpolációja, ami rendkívül hasznos olyan esetekben, amikor kevés mért spektrum áll rendelkezésre, vagy például távolságmérés esetén, amikor egyidejű fotometriai- és sebességadatokra van szükség. (Takáts & Vinkó, 2012)
3. Kiszámítottam, illetve pontosítottam az öt vizsgált szupernóva távolságát a táguló fotoszféra módszer (EPM) alkalmazásával. Megállapítottam, hogy a SYNOW használatával kapott fotoszférikus sebességek szisztematikusan nagyobb távolságokhoz vezetnek, mint amikor egyes spektrumvonalak Doppler-sebességeit használjuk, ugyanakkor jó egyezést mutatnak a szülőgalaxisok más módszerekkel kapott távolságával. (Vinkó és mtsai, 2006; Takáts & Vinkó, 2012)
4. Az SN 2005cs vizsgálata során az EPM alkalmazásával kapott távolságot felhasználva pontosítottam a standard gyertya módszer kalibrációját. Erre azért volt szükség, mert a korábbi mintákban nem szerepelt alacsony energiájú, kis tágulási sebességgel rendelkező szupernóva. A távolság figyelembevételével kiszámítottam a szupernóva robbanására jellemző fizikai paramétereket. Megmutattam, hogy ezek az értékek jól egyeznek a szülőcsillag közvetlen (a robbanás bekövetkezte előtt készült archív felvételeken történő) megfigyelése során mért tulajdonságokkal. Ezek alapján a szupernóva egy meglehetősen kis tömegű ( $M_{\text{ZAMS}} \approx 9 M_{\odot}$ ), K3-K4 spektráltípusú szuperóriás csillag robbanásaként jött létre. (Takáts & Vinkó, 2006)
5. A IIb típusú, SN 2011dh nevű szupernóva spektrumainak SYNOW modelljei segítségével meghatároztam a fotoszférikus sebességet. A szupernóva mérési adatait a – szintén

az M51 jelű galaxisban felrobbant – SN 2005cs adaival kombinálva az EPM-mel pontosítottam az M51 távolságát, amely ilyen módon  $D = 8,4 \pm 0,7$  Mpc nagyságúnak adódott. Ez az eredmény jól egyezik azzal, amit az SN 2005cs esetében a SYNOW-modellezés során meghatározott sebességek felhasználásával kaptam, ugyanakkor jelentősen csökkenti a távolságmérésben gyakran előforduló szisztematikus hibákat.

*(Takáts & Vinkó, 2012; Vinkó és mtsai, 2012)*

## Publikációk

### Az értekezésben felhasznált publikációk

- **Takáts, K.**, Vinkó, J.: *Measuring expansion velocities in Type II-P supernovae*, 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 419, 2783
- Vinkó, J., **Takáts, K.**, Szalai, T. és mtsai: *Improved distance determination to M 51 from supernovae 2011dh and 2005cs*, 2012, Astronomy & Astrophysics, 540, 93
- **Takáts, K.**, Vinkó, J.: *Distance estimate and progenitor characteristics of SN 2005cs in M51*, 2006, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 369, 1780
- Vinkó, J., **Takáts, K.**, Sárneczky, K. és mtsai: *The first year of SN 2004dj in NGC 2403*, 2006, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 369, 1780

### Egyéb publikációk

- Pastorello, A., Cappellaro, E., Inserra, C., Smartt, S. J., Pignata, G., Benetti, S., Valenti, S., Fraser, M., **Takáts, K.** és mtsai: *Interacting Supernovae and Supernova Impostors. I. SN 2009ip, is this the end?*, 2012, arXiv: 1210.3568
- Vinkó, J., Sárneczky, K., **Takáts, K.** és mtsai: *Testing supernovae Ia distance measurement methods with SN 2011fe*, 2012, Astronomy & Astrophysics 546, 12
- Fraser, M., **Takáts, K.**, Pastorello, A. és mtsai: *On the Progenitor and Early Evolution of the Type II Supernova 2009kr*, 2010, Astrophysical Journal Letters 714, 280
- Vinkó, J., **Takáts, K.**: *The Expanding Photosphere Method: Progress and Problems*, 2007, Supernova 1987A: 20 Years After: Supernovae and Gamma-Ray Bursters. AIP Conference Proceedings, Volume 937, pp. 394-398