



Análisis espectroscópico de supernovas tipo IIb

P. J. Pessi¹ & G. Folatelli^{1,2,3}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

³ Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, University of Tokyo, Japan

Contacto / pjpessi@gmail.com

Resumen / Presentamos un estudio espectroscópico cuantitativo de supernovas (SN) de tipo IIb. Esta clase de objetos se distingue porque sus espectros evolucionan con la fase entre uno dominado por líneas de hidrógeno (tipo II) y uno sin hidrógeno y con fuertes líneas de helio (tipo Ib). El trabajo se encuentra enmarcado en un estudio que pretende comprender si las SN IIb son un grupo homogéneo o no, por lo tanto hemos comenzado por obtener parámetros espectroscópicos que nos permitan caracterizarlas. Este trabajo forma parte de la tesis de Licenciatura de P.J. Pessi.

Abstract / We present a quantitative spectroscopic study of type IIb supernovae (SNe). This type of SNe is distinguishable because their spectra evolve with the phase between one dominated by lines of hydrogen (type II) and one without hydrogen and with strong lines of helium (type Ib). This work is part of a larger study that aims at knowing whether type IIb SNe are a homogeneous group or not. Here we started by obtaining spectroscopic parameters that allow us to characterize SNe IIb. This work is part of the Licentiate thesis of P.J. Pessi.

Keywords / supernovae: general — techniques: spectroscopic — line: identification

1. Introducción

Se cree que gran parte de las supernovas (SN) resulta de la explosión de estrellas de alta masa ($> 8M_{\odot}$) por colapso del núcleo. Estas SN se clasifican según las líneas que dominan el espectro óptico. Entre las supernovas de colapso nuclear se encuentran las de tipo II, que tienen fuertes líneas de hidrógeno y las de tipo Ib en las que predominan las líneas de helio (Filippenko, 1997). Se ha propuesto que las primeras surgen de estrellas que retienen gran parte de su envoltura externa, mientras que las de tipo Ib provienen de objetos que han perdido el material rico en hidrógeno. Esto se relaciona con una pregunta fundamental de la teoría de evolución de estrellas de alta masa, que es entender los procesos que las llevan a perder sus capas externas.

Es interesante notar que existe un grupo minoritario de características intermedias, llamado de tipo IIb, cuyos espectros evolucionan con el tiempo entre tipo II y tipo Ib. Una posibilidad es que las SN IIb representen el límite en el que la fracción de hidrógeno presente al momento de explotar tiende a cero. Es entonces de gran interés realizar un estudio exhaustivo de los espectros de las SN IIb.

En particular en este trabajo se ha estudiado, de manera cuantitativa, la evolución espectral de un conjunto de SN IIb. Para esto se obtuvieron las velocidades por corrimiento Doppler de las líneas de $H\alpha$, He I $\lambda 5876\text{\AA}$ y Fe II $\lambda 5169\text{\AA}$ y los anchos equivalentes de las líneas de $H\alpha$ y He I $\lambda 5876\text{\AA}$. Se eligieron estas líneas para observar la evolución de elementos con características diferentes. Adicionalmente, las líneas de $H\alpha$ y He I son de interés debido a que permiten distinguir entre SN tipo Ib y ti-

po II. El objetivo específico del trabajo fue producir las mediciones de las mencionadas líneas y presentar un primer análisis comparativo entre diferentes objetos identificados como SN tipo IIb. Para esto se fijaron criterios de medición a fin de obtener una muestra consistente. Cabe destacar que este estudio se enmarca en uno más profundo en el que pretendemos estudiar similitudes y diferencias entre SN tipo II, IIb y Ib. Aquí se presenta sólo el primer paso, que es la caracterización de SN tipo IIb.

2. Muestra espectral

En total se estudiaron espectros de 18 SN. Los espectros fueron elegidos de manera que tuvieran amplia cobertura temporal y de longitud de onda, según lo que se lista más abajo. Los objetos estudiados se listan en la Tabla 1. La mayoría de los espectros fueron obtenidos de la base pública de datos WISEREP*, los demás se obtuvieron del Carnegie Supernova Project (Hamuy et al., 2006).

De todos los espectros disponibles de las SN bajo estudio, se seleccionaron aquellos que cumplieran con los siguientes criterios:

- Rango de longitud de onda que contuviera las líneas bajo estudio.
- Líneas bajo estudio identificables de modo que los ajustes necesarios para las mediciones fueran factibles.
- Época del espectro comprendida entre el máximo de la curva de luz y hasta alrededor de 45 días después, para poder identificar las líneas de interés.

*<http://wiserep.weizmann.ac.il/>

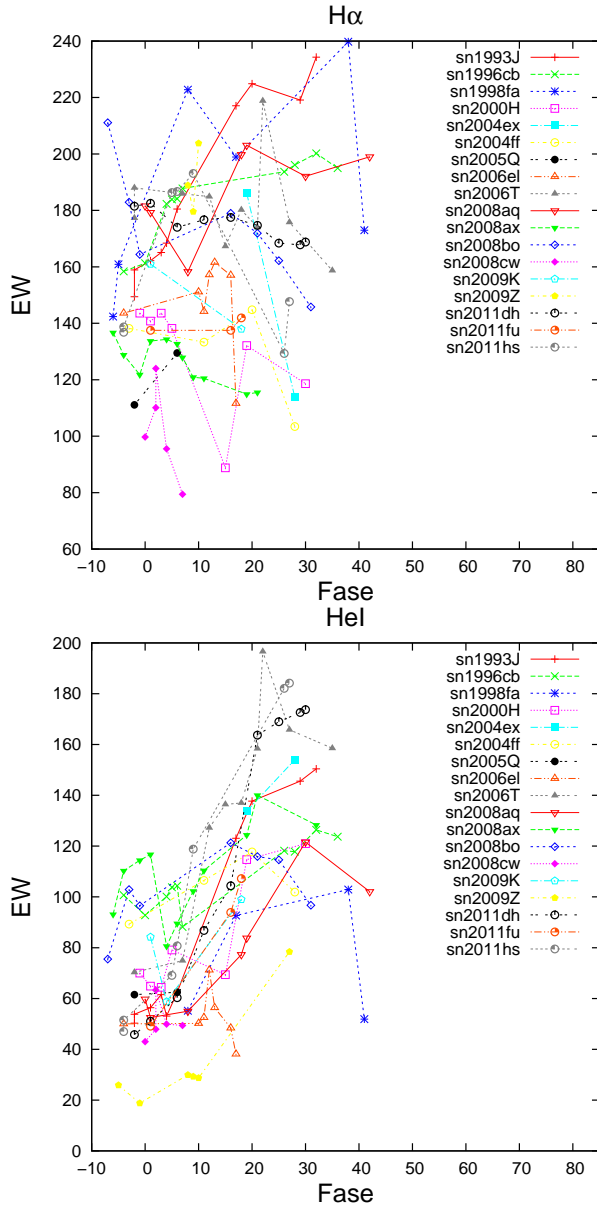


Figura 1: Panel superior: Ancho equivalente para la línea de absorción de $H\alpha$ en función de la fase. Panel inferior: Ancho equivalente para la línea de absorción de He I en función de la fase.

De los 274 espectros disponibles en las bases de datos, únicamente 121 cumplen con los criterios de selección mencionados. Para estos se midieron las fases, es decir, el tiempo transcurrido desde el máximo de la curva de luz respecto de la banda V . Para los casos en los que no se encontró este dato se utilizó la información disponible en las bandas B y R . Luego se convirtieron todas las fechas a la banda V , considerando que el máximo de la curva de luz en dicha banda se da aproximadamente dos días después que en la banda B y dos días antes que en la banda R (Bianco et al., 2014).

En la Tabla 1 se presenta para cada SN estudiada el corrimiento al rojo (z) de la galaxia anfitriona, que se utilizó para situar las longitudes de onda y la evolución temporal de todas las SN en un mismo sistema de reposo, la fecha juliana de los máximos, obtenidas de Modjaz

Tabla 1: Objetos estudiados

SN	z	JDmax	Fecha max	#spec
1993J	-0.0001	2449095.0	17/04/93	17
1996cb	0.0024	2450454.4	05/01/97	13
1998fa	0.0245	2451178.5	31/12/98	6
2000H	0.0132	2451585.5	11/02/00	7
2004ex	0.0174	2453308.2	29/10/04	3
2004ff	0.0227	2453314.0	04/11/04	4
2005Q	0.0227	2453407.9	06/02/05	2
2006el	0.0171	2453984.7	06/09/06	7
2006T	0.0081	2453782.1	15/02/06	15
2008aq	0.0080	2454527	01/03/08	10
2008ax	0.0019	2454549.5	24/03/08	24
2008bo	0.0050	2454569.7	13/04/08	8
2008cw	0.0324	2454622	04/06/08	5
2009K	0.0118	2454869.5	07/02/09	7
2009Z	0.0251	2454878.9	16/02/09	8
2011dh	0.0015	2455731.9	19/06/11	25
2011fu	0.0185	2455847.5	13/10/11	6
2011hs	0.0057	2455887.5	22/11/11	14

et al. (2014), Ergon et al. (2014), Morales-Garoffolo et al. (2015), Bufano et al. (2014) y de datos propios, y las correspondientes fechas gregorianas (todos los datos fueron llevados a la banda V como se menciona en la sección 2.), y por último la cantidad de espectros analizados para cada una (#spec).

3. Medidas

Para realizar las mediciones se utilizó la tarea SPLOT del programa IRAF**. Para obtener la velocidad de expansión se midió la longitud de onda del mínimo de la línea utilizando un ajuste Gaussiano del perfil de absorción. Debido a que el perfil de absorción completo no es generalmente bien representado por una Gaussiana, el ajuste se restringió al núcleo de la línea de modo de obtener una buena aproximación al mínimo. Para esto se variaron las regiones de ajuste a ambos lados del mínimo entre 30\AA y 80\AA dependiendo de qué tan aplanada fuera la región central que consideramos como mínimo de la línea.

Para medir el ancho equivalente (EW, por sus siglas en inglés) se definió un pseudocontinuo como la recta que une los dos máximos de emisión a cada lado de la línea. Hacia el azul se consideró que el material absorbente se podía extender hasta unos 30000 km/s. Se tomó el máximo relativo más cercano a la longitud de onda que corresponde a dicha velocidad. Hacia el rojo, se consideró que el máximo debía ubicarse dentro de 5000 km/s respecto de la longitud de onda en reposo de la línea.

4. Resultados y conclusiones

Los resultados de EW se pueden ver en la Fig. 1 y los de velocidad en la Fig. 2. De los gráficos de velocidad de expansión se puede ver que, en su mayoría, las velocidades decrecen con la fase. Esto es esperable porque, a

**iraf.net

medida que el material se expande y baja su densidad, se ven regiones más internas de la SN, que se mueven con menor velocidad. Existen, sin embargo, algunas excepciones interesantes. Un subgrupo de SN muestran velocidades crecientes o constantes de He I. Esto se ha notado en el trabajo de Folatelli et al. (2014), donde se propone la existencia de asimetrías en la distribución del material rico en helio, o la formación de una capa densa de baja velocidad. Un caso llamativo que no ha sido estudiado hasta ahora es el de SN 2008bo. Su comportamiento es similar al observado en el mencionado trabajo de Folatelli et al. (2014) tanto en H α como en He I y justifica un estudio más detallado que abordaremos en el futuro.

En los gráficos de EW para He I podemos ver un comportamiento creciente de la línea, lo que refleja el crecimiento de intensidad de la misma a medida que el material rico en helio es revelado. Por otro lado, en los gráficos de EW para H α , se ven SN en las que el EW decrece y otras en las que crece.

Podemos decir que los resultados obtenidos exhiben la distribución relativa de los elementos químicos presentes en el material eyectado y evidencian la estratificación del mismo, con material liviano (H y He) ubicado por fuera del material más pesado (Fe). No se ha notado en este trabajo que existan diferencias fundamentales en esta familia de SN.

Este trabajo se realizó estudiando un gran número de espectros pertenecientes a varias SN utilizando un método antes aplicado a SN tipo Ia (Folatelli et al., 2013). La creciente cantidad de datos disponibles justifica estudios generalizados aplicados a diferentes objetos. Durante la realización de este trabajo Liu et al. (2016) publicaron un estudio similar en base a una muestra diferente de SN.

Referencias

Bianco F. B., et al., 2014, ApJS, 213, 19
 Bufano F., et al., 2014, MNRAS, 439, 1807
 Ergon M., et al., 2014, A&A, 562, A17
 Filippenko A. V., 1997, ARA&A, 35, 309
 Folatelli G., et al., 2013, ApJ, 773, 53
 Folatelli G., et al., 2014, ApJ, 792, 7
 Hamuy M., et al., 2006, PASP, 118, 2
 Liu Y.-Q., et al., 2016, ApJ, 827, 90
 Modjaz M., et al., 2014, AJ, 147, 99
 Morales-Garoffolo A., et al., 2015, MNRAS, 454, 95

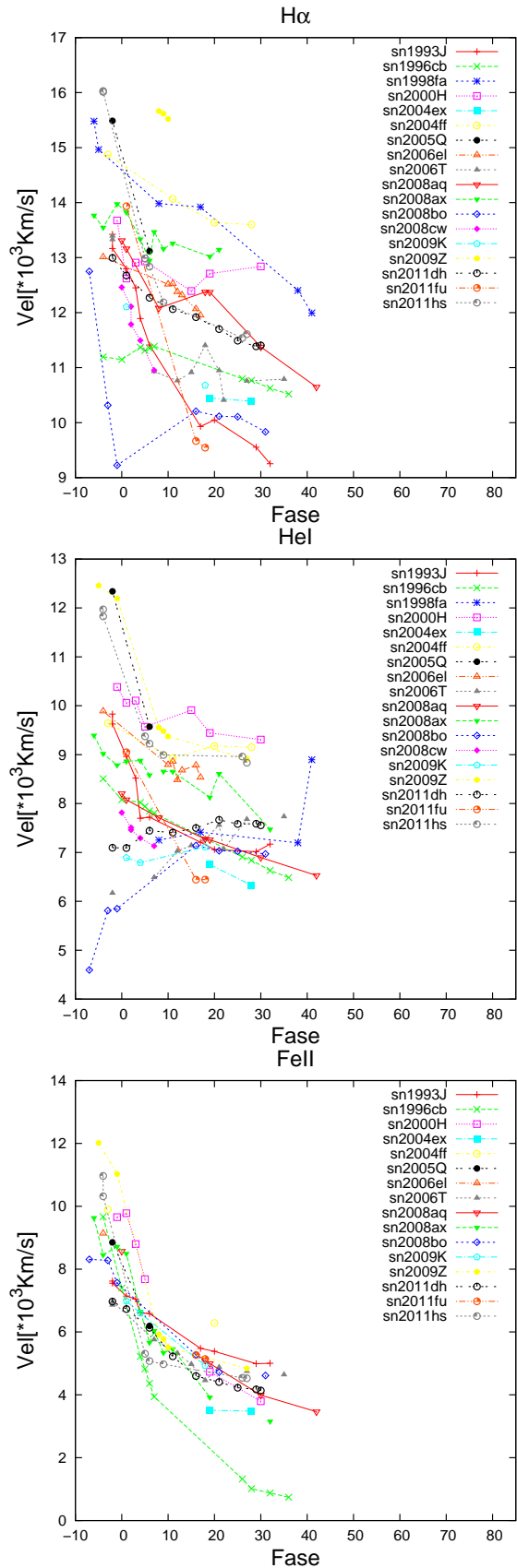


Figura 2: Panel superior: Velocidad para la línea de absorción de H α en función de la fase. Panel central: Velocidad para la línea de absorción de He I en función de la fase. Panel inferior: Velocidad para la línea de absorción de Fe II en función de la fase.