

Estadística de Supernovas Tipo Ia en Galaxias Cercanas

Universidad de Sonora

Fidel Alejandro Navarro Salazar

Resumen

Una de las características principales de las supernovas tipo Ia es su aparente naturaleza homogénea, ya que el mecanismo de formación de estas es el mismo, enanas blancas orbitando alrededor de otra estrella. Sin embargo, debido a la naturaleza de las distintas estrellas las magnitudes máximas cambian ligeramente. Por lo tanto, para precisar este valor se ha comparado la magnitud máxima con la velocidad con la que decae. En 1993 M. M. Phillips, demostró que existe una relación intrínseca en las magnitudes de las supernovas tipo Ia; obteniendo una relación lineal entre la máxima luminosidad y la declinación de la curva 15 días después del máximo, parámetro definido como m_{15} . Phillips mediante una muestra de 9 supernovas tipo Ia encontró que a magnitudes absolutas menores m_{15} también es menor[1]. Por ello, el decaimiento del brillo de las supernovas depende inversamente de su luminosidad.

Este trabajo recrea los resultados obtenidos por Phillips en los filtros B, V, i mediante el uso de más de veinte supernovas tipo Ia obtenidas del Carnegie Supernova Project (CSP).

1. Introducción

Las supernovas son fenómenos astronómicos que marcan el final de una estrella de manera violenta, liberando grandes cantidades de energía. Un ejemplo de ellas, son las supernovas tipo Ia, que se han vuelto de gran interés, ya que son consideradas candelas estándar, que nos ayudan a calcular distancias y estudiar las propiedades físicas de los sistemas que estas habitan. Esto es posible, gracias a su luminosidad y por el uso de su magnitud absoluta.

Las supernovas tipo Ia son de gran utilidad debido a su capacidad de calcular distancias entre objetos astronómicos. Lo anterior se debe a su mecanismo de formación; todas las supernovas de esta categoría nacen y mueren bajo las mismas condiciones, dando como resultado una magnitud absoluta máxima aproximadamente igual en todos los casos.

Phillips en 1993 encontró una relación inversa entre el brillo máximo de la supernova y su tasa de declinación (Δm_{15}), obteniendo así una relación lineal por medio de nueve supernovas[1].

Cuadro 1: Resultados de la regresión lineal de Phillips(1993)

Filtro:	a	B
B	-21.726(0.498)	2.698(0.359)
V	-20.883(0.417)	1.949(0.292)
i	-19.519(0.415)	1.076(0.273)

$$M = a + b\Delta m_{15}$$

2. Metodología

Las supernovas utilizadas fueron obtenidas del Carnegie Supernova Project (CSP). Los datos obtenidos mostraban una lista de más de 100 supernovas tipo Ia; sin embargo, no fue posible hacer uso de todos los datos ya que se tomaron diversas consideraciones para obtener resultados confiables:

- Las supernovas debían tener curvas de luz bien muestreadas, con observaciones antes del máximo y observaciones multiples posteriores al máximo.
- Supernovas con el enrojecimiento de la galaxia reportado, con la finalidad de poder reducir la variabilidad de las magnitudes.

Para el procesamiento de datos se utilizó *RStudio* y las bibliotecas de *Pandas* y *Scipy* de *Python*.

3. Resultados

Podemos observar de las figuras 1, 2, y 3 que la magnitud absoluta en cada uno de los filtros aumenta con respecto a Δm_{15} , lo cual es consistente con los resultados reportados por Phillips[1].

Posteriormente, los datos fueron sometidos a una regresión lineal simple con la finalidad de observar la relación de las magnitudes absolutas en los diferentes filtros (B, V, i) y el parámetro Δm_{15} .

Podemos observar del Cuadro 2 que la R de Pearson tiene magnitudes muy pequeñas, indicando que la variable dependiente (magnitud absoluta) no puede ser modelada adecuadamente por la variable independiente (Δm_{15}).

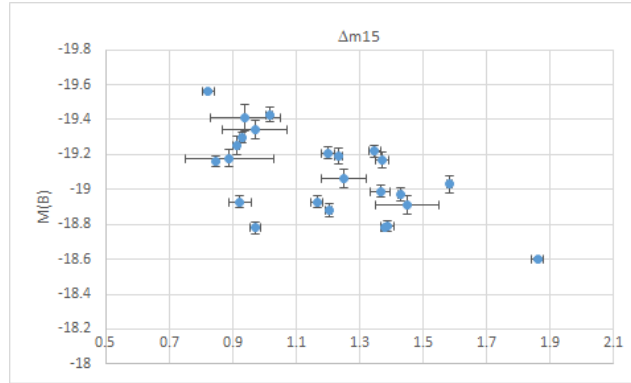


Figura 1: Gráfica de dispersión de $\Delta m15$ y $M(B)$

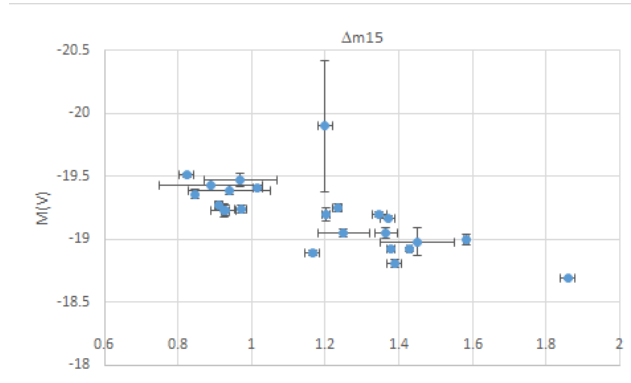


Figura 2: Gráfica de dispersión de $\Delta m15$ y $M(V)$

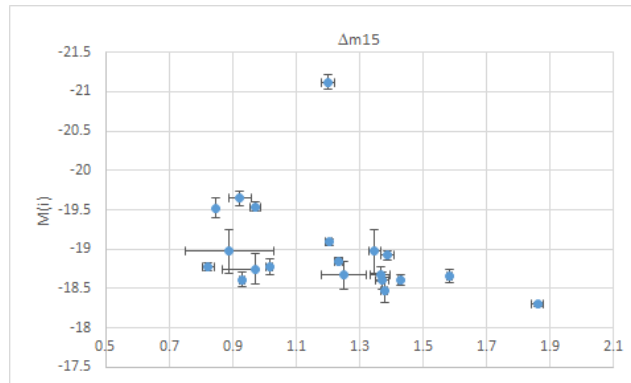


Figura 3: Gráfica de dispersión de $\Delta m15$ y $M(i)$

Cuadro 2: Regresión lineal obtenida.

Filtro:	a	B	R de Pearson
B	-19.756(.1788)	0.565(0.147)	0.401
V	-20.001(0.1868)	0.684(0.154)	0.473
i	-19.920(0.608)	0.786(0.495)	0.123

Para poder realizar una regresión lineal adecuada para estos datos, es necesario considerar el error introducido por la medición del instrumento. Para ello, se implementará el método de York[2]. Este método permite obtener una corrección de la regresión lineal simple incorporando los errores de medición.

Cuadro 3: Resultados de la regresión lineal corregida

Filtro:	a	B	R de Pearson
B	-20.145(0.403)	0.893(0.370)	0.99
V	-19.829(0.608)	0.804(0.556)	0.99
i	-20.411(0.645)	1.289(0.589)	0.99

4. Discusión

Al comparar los cuadro 2 y 3 podemos observar que la pendiente e intersección de la recta han cambiado notoriamente, debido a la incorporación de los errores.

Es importante discutir los valores encontrados para las R de Pearson, debido a que estos tienen magnitudes muy grandes, lo que pudiera indicar que el método de York no funcionó andecudamente para esta serie de datos. Sin embargo, comparando la regresión lineal corregida con aquella obtenida por Pacheco Diana[3] se puede observar que las regresiones lineales son muy parecidas.

Cuadro 4: Resultados obtenidos por Pacheco Diana[3]

Filtro:	a	B	R de Pearson
B	-20.156(0.101)	0.837(0.074)	0.923
V	-20.044(0.082)	0.712(0.054)	0.943
i	-19.961(0.207)	0.883(0.138)	0.834

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos por el método de York, se calculará la regresión lineal para las 9 históricas supernovas utilizadas por Phillips[1].

Tabla 1: Datos de las 9 supernovas de Phillips[1].

SN	m15B	Em15B	B	EB	V	Ev	i	Ei	E(B-V)	Er-E
1971I	1.64	0.15	-17.2	0.35	-17.52	0.34			0	0.02
1980N	1.28	0.05	-18.53	0.15	-18.58	0.14	-18.32	0.14	0	0.02
1981B	1.1	0.07	-18.47	0.31	-18.54	0.31			0	0.1
1986G	1.73	0.07	-17.72	0.42	-18.12	0.32	-18.21	0.23	0.6	0.03
1989B	1.31	0.07	-18.5	0.33	-18.5	0.32	-18.3	0.31	0.35	0.02
1990N	1.01	0.1	-18.74	0.31	-18.82	0.31			0.01	0.02
1991T	0.94	0.07	-18.96	0.31	-19.1	0.31	-19.04	0.3	0	0.02
1991bg	1.88	0.1	-16.38	0.15	-17.13	0.1	-17.57	0.1	0	0.02
1992A	1.33	0.04	-18.05	0.14	-18.1	0.13	-17.85	0.12	0	0.02

Cuadro 5: Resultados obtenidos de las 9 supernovas de Phillips[1]

Filtro:	a	B
B	-21.501(0.864)	2.533(0.741)
V	-20.854(0.911)	1.905(0.781)
i	-20.290(1.598)	1.470(1.345)

Comparando los cuadros 1 y 5 podemos observar que para los filtros B, V los ajustes lineales son muy parecidos, dando evidencia que el Método de York funciona adecuadamente para calcular la corrección por medio del error instrumental. Por el otro lado, para el filtro i se puede observar que existe una diferencia apreciable en ambos parámetros.

Finalmente se realizaron pruebas de hipótesis para el modelo de regresión lineal, con la finalidad de probar que los datos se ajustan a un modelo lineal.

Para la prueba de hipótesis de los coeficientes de la recta de regresión se utilizó $\alpha = 0,05$ y se plantearon las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

En los tres casos se rechazó H_0 con $\alpha = 0,05$; por lo tanto, la muestra sugiere que las pendientes de las rectas son diferentes de cero.

También se realizó un análisis de varianza para el modelo de regresión lineal con $\alpha = 0,05$. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

H_0 : La variación en la magnitud absoluta no es explicada por el modelo lineal.

H_1 : Una porción significativa de la variación de la magnitud absoluta es explicada por el modelo lineal.

En las tres regresiones se rechazó la hipótesis nula de no asociación lineal con $\alpha = 0,05$; por lo tanto, la muestra da evidencia de que una porción significativa de la variabilidad de la magnitud absoluta es explicada por el modelo de regresión lineal.

5. Conclusión

Las regresiones obtenidas se encuentran dentro de los valores esperados, y las pruebas de hipótesis sugieren que el modelo de regresión lineal explica el comportamiento de las diferentes magnitudes; sin embargo, al no contar con una R de Pearson no es posible afirmar si verdaderamente existe una relación lineal entre las variables. Es por ello, que es necesario realizar una revisión detallada del método de York, y realizar una corrección a la regresión lineal mediante otros métodos, con el fin de comparar diversos métodos de aproximación.

También se recomienda utilizar el método de mínimos cuadrados ponderados en futuros proyectos, debido a que parte de la discrepancia en los resultados obtenidos para el filtro i, se debe a que Phillips[1] y Pacheco Diana[3] descartan los datos de varias supernovas debido a que se consideraron como datos atípicos.

SN	m15B	Em15B	B	EB	V	Ev	i	Ei	Rv	E(B-V)
2004ef	1.379	0.01	-18.78	0.02	-18.92	0.02	-18.48	0.161	0.1242	0.046
2004eo	1.365	0.03	-18.99	0.035	-19.05	0.041	-18.68	0.094	0.1152	0.128
2004ey	0.93	0.01	-19.3	0.031	-19.23	0.039	-18.61	0.092	0.0589	0.019
2004gu	0.89	0.14	-19.18	0.051	-19.43	0.046	-18.97	0.274	0.2016	0.096
2005al	1.166	0.02	-18.93	0.033	-18.89	0.021			0.0792	0.022
2005el	1.348	0.02	-19.22	0.033	-19.2	0.019	-18.97	0.274	0.0525	0.015
2005hc	0.912	0.01	-19.25	0.052	-19.27	0.033			0.1862	0.049
2005iq	1.25	0.07	-19.06	0.054	-19.05	0.031	-18.67	0.175	0.144	0.04
2005kc	1.2	0.02	-19.21	0.037	-19.9	0.52	-21.12	0.093	1.364	0.31
2005ki	1.371	0.02	-19.17	0.044	-19.17	0.018	-18.6	0.111	0.0544	0.016
2005na	0.94	0.11	-19.41	0.077	-19.39	0.04			0.1525	0.061
2006D	1.388	0.02	-18.79	0.031	-18.81	0.031	-18.92	0.062	0.335	0.134
2006ax	1.016	0.012	-19.43	0.043	-19.41	0.0186	-18.78	0.098	0.0464	0.016
2006bh	1.428	0.007	-18.97	0.038	-18.92	0.0184	-18.61	0.064	0.1406	0.037
2006et	0.847		-19.16	0.0327	-19.36	0.0321	-19.52	0.123	0.4826	0.254
2006kf	1.583	0.008	-19.03	0.0517	-19	0.044	-18.66	0.089	0.1312	0.032
2006ob	1.45	0.1	-18.91	0.052	-18.98	0.109			0.189	0.045
2007A	0.924	0.034	-18.93	0.036	-19.23	0.055	-19.65	0.093	0.6475	0.259
2007af	1.203	0.01	-18.88	0.038	-19.2	0.051	-19.09	0.047	0.3738	0.178
2007bd	1.234	0.012	-19.19	0.044	-19.25	0.032	-18.85	0.044	0.1218	0.058
2007le	0.971	0.016	-18.78	0.0319	-19.24	0.03	-19.54	0.057	0.6596	0.388
2007on	1.86	0.02	-18.6	0.0077	-18.69	0.0066	-18.3	0.021	0.0245	0.007
2008bc	0.823	0.019	-19.56	0.0073	-19.51	0.013	-18.78	0.054	0.0589	0.019
2008gp	0.97	0.1	-19.34	0.053	-19.47	0.052	-18.75	0.192	0.0686	0.098

Tabla 2: Datos de las supernovas utilizadas.

Referencias

- [1] Phillips M. M. (1993). The absolute magnitudes of Type IA supernovae. *Astrophysical Journal*, Part 2 - Letters (ISSN 0004-637X), vol. 413, no. 2, p. L105-L108. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1993ApJ...413L.105P>
- [2] York, D. y Evensen N. M. (2004). Unified Equations for the Slope, Intercept and Standard error of the best straight line". *American Journal of Physics* 72, 367. Disponible en: http://physics.princeton.edu/mcdonald/examples/statistics/york.ajp_72_367_04.pdf
- [3] Pacheco Diana. (2016). Análisis Fotométrico y Estadístico de Supernovas tipo Ia en Galaxias cercanas. Sonora, México: Universidad de Sonora.

- [4] Hamuy M., et al. (2005). The Carnegie Supernova Project: The Low-Redshift Survey. de Cornell University. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0512039>
- [5] Wood-Vasey, et al. (2011). Selection Parameters and References Used for SN Ia Sample Analyzed in Section 3. Iopscience. Disponible en: https://iopscience.iop.org/1538-3873/130/993/114504/suppdata/paspaadb7at4_ascii.txt