1. 신성(Nova) Del 2013 의 측광과 분광 **(60 p)**

등급 6.8^m 의 고전 신성(Classical nova) V339 Del (신성 Delphini 2013)이 2013 년 8 월 14 일 14:01 UT (MJD = 56518.584)에 코이치 이타가키(Koichi Itagaki)에 의해 발견되었다. 천문학자들은 이 신성에 대한 측광과 분광 분석을 시도했다. 발견이 공표되고 10 시간도 안 되어, 헝가리 과학원의 콘콜리 (Konkoly) 천문대의 피스케스테토(Piszkéstető)산 관측소에 밤이 찾아 왔을 때, 헝가리 천문학자들은 콘콜리 천문대의 1 m 망원경에 부착된 Loránd Eötvös 대학 Gothard 천문대의 eShel 에셸분광기(echelle spectrograph)를 사용하여 이 신성의 첫 스펙트럼 데이터를 얻었다.

문제를 풀기 위해 아래 Fig 1.1 와 Fig 1.2 를 참조하시오. 이 두 그래프의 A3 크기 확대본이 별도로 주어진다.

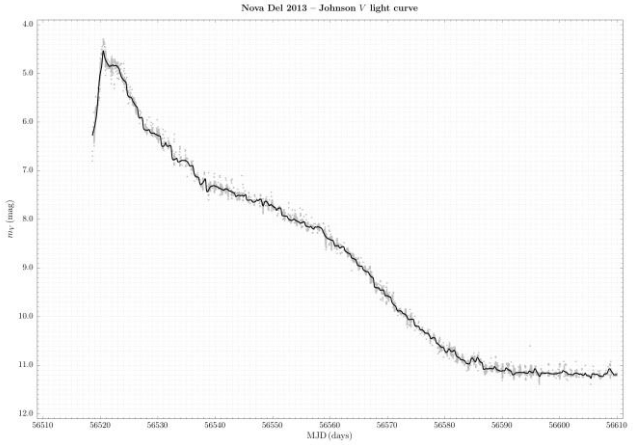


Fig. 1.1: 신성 Del 2013 – 존슨(Johnson) V 광도곡선

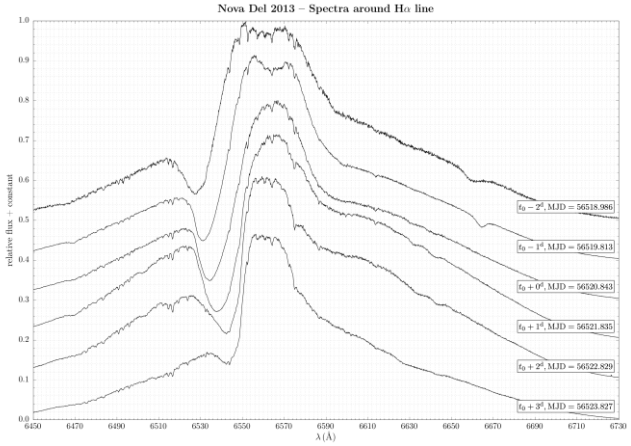


Fig. 1.2: 신성 Del 2013 – Hα 선 근방의 스펙트럼

Fig. 1.1 은 AAVSO (미국변광성관측자협회)의 웹사이트로부터 내려 받은 데이터를 사용한 신성의 안시(visual) 광도곡선이다. 가로축은 MJD, 즉 개량 율리우스일(Modified Julian Date) (MJD = JD−2 400 000.5)로 나타낸 관측 일자이고, 세로축은 존슨(Johnson) V 등급이다. (약 38,000 개의) 회색 점들은 관측 데이터 값인 반면에, 검은색 선은 가우스 필터(반치전폭: Full Width at Half Maximum: FWHM = 0.5 일)을 사용하여 매끄럽게 만든 데이터 값의 "평균" 광도곡선이다.

밝기의 감소율(rate of decline)은 t_2 와 t_3 로 표현하는데, 신성이 최대 밝기의 등급에서 각각 2 등급 및 3 등급만큼 어두워지는데 걸린 시간을 일(day)의 단위로 나타낸 것이다.

V 밴드에서 최대 밝기의 절대등급 (M_0) 와 t_2, t_3 값들의 관계에는 몇 개의 경험식이 존재한다. 예를 들어:

(a) $M_0 = -7.92 - 0.81 \arctan\frac{1.32-\log t_2}{0.23}$ (Della Valle, M. & Livio, M.: 1995, *ApJ* **452**, 704)

(b) $M_0 = -11.32 + 2.55 \log t_2$ (Downes, R.A. & Durbeck, H.W.: 2000, *AJ* **120**, 2007)

(c) $M_0 = -11.99 + 2.54 \log t_3$ (Downes, R.A. & Durbeck, H.W.: 2000, *AJ* **120**, 2007)

한편, 신성 Del 2013 의 색초과(color excess), $E(B-V)$ 는 다음과 같이 주어진다 (Chochol, D. et al.: 2014, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **43**, 330):

$$E(B-V) = 0.184 \pm 0.035$$

Fig 1.2 는 최대 밝기가 일어난 시간(t_0) 전후로 6 일 밤을 계속해서 Hα 선 근방 파장 영역에서 관측한 신성의 스펙트럼이다. 각 스펙트럼은 구분이 잘 되도록 수직 방향으로 이동되었다. 관측 일자의 개량 율리우스일 (MJD)은 각 스펙트럼의 오른쪽에 표시되어 있다.

이 Hα 선은, 매우 넓은 날개를 가진 전형적인 '백조자리 P 형 별 (P Cygni)'의 선윤곽(profile)을 보여주는데, 이런 특징은 신성에서 뿐만 아니라 거의 모든 분광형의 별에서 나타나며, 별에서 대규모로 분출된 물질의 시선 방향(radial motion) 운동을 보여주는 강력한 증거이다. P Cygni 선윤곽은 분광선의 정지 파장 λ_0에 (Hα 의 $\lambda_0 = 6562.82$ Å) 중심을 둔 강하고 넓은 방출선과 일반적으로 약하면서 청색이동 된 흡수선으로 이루어져 있다. 껍질(shell)의 팽창(시선) 속도는 변위 $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, 시선속도 v_r, 빛의 속도 c 간의 관계식으로 잘 알려진 도플러 공식을 사용하여 흡수선의 peak 에서 측정된 파장 λ 로부터 추정 될 수 있다.

P Cygni 선윤곽을 보여주는 Hα 선은 구형(spherical)으로 팽창하는 껍질(shell)의 가장 바깥 부분에서 들뜬 상태에 있으며, 첫 번째 스펙트럼을 측정하는 순간에는 무시할만한 정도라고 가정 하시오.

a) Fig. 1.1 로부터 최대 밝기의 개량 율리우스일(MJD_0) 과 최대 밝기의 등급을 추산 하시오. 이 등급의 오차는 0.05^m 으로 간주 하시오. (3 p)

b) 신성이 2^m 과 3^m 만큼 각각 밝기가 감소한 시간(일, 즉 days 의 단위)로부터 개량 율리우스일의 값들을 추산하고, t_2 와 t_3 의 값을 계산 하시오. (6 p)

c) 위 b)에서 얻은 t_2 와 t_3 값으로부터, 앞에 주어진 세 개의 경험식을 모두 사용하여 신성의 최대 밝기의 절대등급을 결정하시오. 그들의 평균 값(M_0)과 표준편차(standard deviation)를 계산하고, 후자를 M_0의 불확도 (uncertainty)로 간주 하시오.
표준편차의 공식은 : (5 p)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

d) 색초과 $E(B-V)$ 의 값을 이용하여, 성간소광 A_V 및 신성의 방향에서의 불확도(uncertainty)를 결정 하시오. 오차 없이 $R_V = 3.1$ 을 사용하시오. (4 p)

e) 신성까지의 거리와 그 불확도를 추산하시오. kpc 단위로 결과를 나타내시오. (11 p)

f) Fig. 1.2(확대본 이용)에 나타난 P Cygni 흡수선들의 중심 파장들을 측정하고, 이에 대응하는 시선속도들을 계산 하시오. 오차는 추정할 필요 없다. (14 p)

g) 개량 율리우스일로 표현된 관측 일자들에 대해 이들 시선속도들을 그래프로 그리시오. (6 p)

h) 위 g)의 그래프로부터, 맨 마지막 시간에서 외피층의 물리적 반경을 추산하시오. 결과를 천문단위 (au)로 표시하시오. (7 p)

i) 신성까지의 거리 및 발견되고 5 일이 지난 후의 구형(spherical) 외피층의 물리적 반경으로부터 , 당시 외피층의 겉보기 각직경을 추산하시오. (4 p)