

AZ Cas의 불투명도 계수에 따른 선윤곽¹

김경미 · 최규홍
연세대학교 천문대기과학과

LINE PROFILES DEPENDENT ON THE OPACITY PARAMETER IN AZ CAS¹

Kyung-Mee Kim and Kyu-Hong Choi
Department of Astronomy and Atmospheric Science,
Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received November 7, 1993; Accepted December 15, 1993)

요 약

AZ Cas는 B형의 주계열 별과 확장 대기를 가진 만기형으로 이루어진 쌍성계이다. 근성점 근처에서 Roche lobe를 채운 초거성으로부터 일어나는 질량 흐름이 미치는 효과를 구하기 위해 궤도위상 0.05와 0.09에서 불투명도 계수에 따른 AZ Cas의 선윤곽을 계산하였다. 원천 함수는 Hempe (1982)의 방법을 따라 Sobolev 근사방법을 이용하였으며 불투명도 계수가 클 수록 넓은 흡수 부분을 가진 강한 선윤곽을 보였다. 궤도 위상 0.05의 부분식에서 나타난 bump는 흡수선 위에 포피의 산란에 의해 생긴 방출선이 중첩되어 나타난 재방출 효과인것으로 설명된다.

ABSTRACT

The binary system AZ Cas consists of a main sequence star of B type and a late type supergiant with extended atmosphere. In order to present the effect of mass flow from the supergiant which fills its Roche lobe, line profiles were calculated at phases 0.05 and 0.09 under different assumptions regarding the opacity parameter. Hempe's sobolev method (1982) for the source function was used in this paper. For the higher opacity parameter, the line profiles are shown to be stronger due to the higher number densities of absorbers. At phase 0.05, the line profiles have bumps at red end of ab-

¹이 연구는 교육부의 1993년도 기초과학연구소 학술연구 조성비로 수행된 것임

sorption part, which can be explained by the reemission superimposed on the line profile of absorption part.

1. 서 론

별의 진화의 마지막 단계를 이해하는데 있어서 만기형 별의 질량 손실률은 매우 중요한 정보를 제공한다. 항성의 경우에는 채층선의 분석으로부터 질량 손실률을 결정할 수 있으나 채층의 경계를 정하기가 어렵기 때문에 결정된 질량 손실률 사이에 오차가 크다. 반면에 IUE 관측과 ζ Aur 형의 쌍성계를 이용하면 이러한 난점을 쉽게 해결할 수 있는데, UV 영역에서 B 별의 빛은 연속선으로 관측되고 B 별로부터 나온 광자는 만기형 별의 대기를 지나면서 산란, 흡수되어 대기 구조에 대한 정보를 제공하기 때문이다.

그러나 쌍성계의 선운곽을 계산하기 위해서는 비구형대칭적이고 다차원적인 복사전달 방정식을 풀어야 하는데 이러한 문제점은 Hempe (1982)와 Baade (1986, 1989)에 의해 해결되었다. Hempe (1982)는 2-준위 원자를 가정하고 Sobolev 근사를 이용하여 선원천 함수를 구하였으며 Baade (1986)는 다 준위 모델을 계산하여 Hempe의 2-준위 가정을 정당화 시켰다. 최근에 Baade (1989)는 원천 함수를 구하기 위해 적분연산자 방법 (integral operator method)을 적용하였다.

AZ Cas는 B형의 주계열 별과 확장 대기를 가진 만기형의 초거성으로 이루어진 쌍성계이다. 그러나 다른 ζ Aur 형의 별들과는 달리 B형 별 주위에 Be껍질이 존재하고 또한 이심률이 커서 근성점 근처에서 Roche lobe를 다 채운 M 별로부터의 질량 흐름이 일어날 수 있다 (Cowley et al. 1977). 이 논문의 목적은 AZ Cas가 근성점 근처에서 질량 손실률이 증가했을때 UV 영역의 공명선의 선운곽이 어떻게 변화하는지를 보이고자 한다. 원천 함수는 Hempe (1982)의 방법을 따라 Sobolev 방법을 이용하였으며 간단한 계산을 위해 Be껍질을 무시하였다. 질량 손실률은 볼투명도 계수의 값을 달리 주어 변화시켰으며 이를 각각 다른 궤도 위상 0.05와 0.09의 두 경우에 대해 계산하였다.

2. 복사전달 방정식

구형대칭적으로 팽창하는 포퍼의 속도 분포는

$$v(r) = v_{\infty} \left(1 - \frac{R_{sg}}{r} \right)^{2.5} \tag{1}$$

r 은 초거성으로부터의 거리, R_{sg} 는 초거성의 반경, v_{∞} 는 항성풍의 종속도이다.
흡수 계수는

$$\kappa(r) = \kappa_0 u_{\infty} \left(\frac{R_B}{r} \right)^2 \left(\frac{r}{r - R_{sg}} \right)^{2.5} \tag{2}$$

인데, 볼투명도 계수는 아래와 같이 표시된다.

$$\kappa_0 = \frac{\pi e^2}{m_e c} \lambda_0 f \frac{\dot{M}}{4\pi \mu m_H v_{\infty}^2 R_B^2} \alpha \frac{g_i}{\sum g_i} \tag{3}$$

$u_\infty = v_\infty/v_{sto}$ 로서 v_{sto} 는 난류와 비대칭적인 변이를 포함하는 속도이다. R_B 는 B형 별의 반경, f 는 진동자 세기, λ_0 는 정지 파장, α 는 수소에 상대적인 금속함량, $g_i/\sum g_i$ 는 해당되는 준위의 분포이다.

선윤곽폭 $\Delta\nu_D = \nu_0 v_{sto}/c$ 을 갖는 Doppler 선폭 증가를 가정하면, 선윤곽 함수는 차원 없는 주파수 변수 $x = (\nu - \nu_0)/\Delta\nu_D$ 에 의해 아래와 같이 표시된다.

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2} \tag{4}$$

2-준위 원자와 완전 재분배를 가정하면 선원천 함수는

$$S = \frac{(1 - \epsilon)\beta_c I_c + \epsilon B}{(1 - \epsilon)\beta + \epsilon}, \tag{5}$$

이고, 탈출 확률은

$$\beta(r) = \frac{1}{4\pi} \oint d\Omega (1 - e^{-\tau_s})/\tau_s, \tag{6}$$

$$\beta_c(r) = \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega_c} d\Omega (1 - e^{-\tau_s})/\tau_s, \tag{7}$$

τ_s 는 Sobolev의 광학적 깊이 (Castor 1970, Hempe 1982)이다. I_c 는 B형 별의 빛의 세기이고, Ω_c 는 B형 별이 차지하는 입체각이다. ϵ 은 충돌 되가라앉음에 의해 붕괴되는 광자의 비율, 그리고 B 는 Plank 함수이다.

B 별이 원점인 (P, φ, z) 좌표계에서 주파수 x 에 대한 빛의 세기는

$$I(x, P, \varphi, z) = I_0 e^{-\tau_m(x, P, \varphi)} + \int_0^{\tau_m} S(P, \varphi, z) e^{-\tau(x, P, \varphi, z)} d\tau, \tag{8}$$

$$I_0 = \begin{cases} I_c & \text{if } P \leq R_B \\ 0 & \text{if } P > R_B \end{cases}$$

z 축은 관측자 쪽을 가리키고 P 는 충돌 계수, φ 는 천구면 상의 방위각이며, $\tau_m = \tau(x, P, \varphi, Z_{min})$ 로서 최대 광학적 깊이이다. 총 복사속은

$$\frac{F_x}{F_c} = \frac{\int_0^\pi \int_0^R I(x, r, \varphi) r dr d\varphi}{\int_0^\pi \int_0^{R_B} I_c(x, r, \varphi) r dr d\varphi} \tag{9}$$

적분 거리 R 은 선윤곽이 만들어지지 않을 만큼 충분히 먼 거리를 택한다.

3. 모델의 계산과 결과

B형의 주계열 별과 확장 대기물 가진 초거성으로 이루어진 쌍성계 AZ Cas에서 Roche lobe 를 다 채운 만기형 별이 근성점 근처에서 질량 흐름을 일으키어 질량 손실률에 변화가 생긴다고 가정하였고 간단한 계산을 위해 B 별 주위의 Be껍질은 무시하였다. 불투명도 계수 κ_0 는 \dot{M}/v_∞^2 에 비례하므로 주어진 항성풍 속도에 대해 질량 손실률의 변화는 곧 불투명도 계수의 변화로서 표현될 수 있다. 선유평의 불투명도 계수에 대한 의존성을 보기 위하여 $\kappa_0 = 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ 에 대해 계산하였다.

AZ Cas의 물리적 변수로서 초거성과 B 별의 반경은 각각 $480R_\odot, 50R_\odot$, 이심률은 0.55, 두 별 사이의 거리는 $1600R_\odot$ 을 사용하였으며 (Cowley et al. 1977) 공전 궤도면의 기울기는 90° 로 놓았다. AZ Cas의 질량 손실률과 항성풍 속도에 대해서는 비슷한 M형 초거성을 가진 αSco (Hagen et al. 1987)의 값을 이용하여 $\dot{M} = 1 \times 10^6 M_\odot/yr, v_{sto} = 8km/s, v_\infty = 17km/s$ 를 사용하였다.

그림 1에서 근성점 근처의 두 궤도 위상 0.05와 0.09에서 불투명 계수에 따른 선유평의 변화를 볼 수 있다. $\phi = 0.09$ 는 근성점 ($\phi = 0.08$)을 막 지난 후의 위상으로서 B 별과 초거성 사이의 거리가 매우 가까우며 B 별이 식을 벗어난 상태이다. B 별로부터 나온 광자는 초거성 주위의 속도분산이 큰 대기층에 의해 산란되어 세기가 강한 방출 요소를 만든다. 이 방출선은 B 별과 관측자 사이의 대기층에 의해 생기는 흡수요소와 함께 B형 별의 연속선 위에 중첩되어 전형적인 P Cyg형의 선유평을 보인다. κ_0 가 클 수록 강한 선유평을 보여주며 흡수 부분의 폭이 넓어지고 방출 부분은 좀 더 세기가 강해지는데 이는 질량 손실률의 증가에 따라 입자들의 갯수 밀도가 증가하기 때문이다.

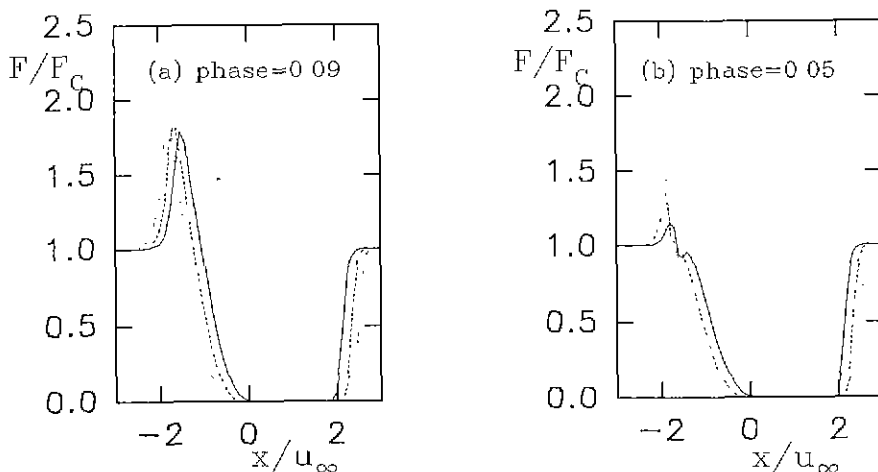


그림 1. 궤도위상 0.09와 0.05에서의 불투명도 계수에 따른 선유평. 실선은 $\kappa_0 = 5 \times 10^4$, 굵은 점선은 $\kappa_0 = 5 \times 10^5$, 점선은 $\kappa_0 = 5 \times 10^6$ 의 선유평이다

$\phi = 0.05$ 는 근성점 직전으로서 부분식이 일어나고 있는 상태이므로 방출 부분과 흡수 부분의 중첩으로 인하여 흡수의 긴 파장 끝에서 bump를 볼 수 있다. 이 bump가 방출부분의 선운곽이 흡수선에 의해 감소되어 생긴 것인지 또는 흡수선 위에 또 다른 방출요소가 중첩되어 나타난 것인지를 구명하기 위해 그림 2에서 순수 흡수선과 비교하였다. 그림 2에서 보이듯이 총 복사속의 선운곽은 순수한 흡수선의 선운곽 위에 긴 파장 쪽에서 포피의 산란으로 인한 재방출선이 중첩되어 bump가 생겼음을 알 수 있다. 그러므로 그림 2-(a)에서의 $\kappa_0 = 5 \times 10^4$ 의 선운곽은 입자의 갯수 밀도가 작으므로 재방출 효과인 bump가 작다. 반면에 그림 2-(b)는 $\kappa_0 = 5 \times 10^5$ 의 결과로서 좀 더 많은 갯수 밀도의 입자에 의해 방출 부분의 세기가 커져 bump 효과가 크고 넓게 나타나 있다. $\kappa_0 = 5 \times 10^6$ 의 경우 (그림 1)는 더욱 방출 부분이 커져 거의 bump가 나타나지 않는 매끄러운 선운곽을 보인다.

4. 결 론

근성점 근처에서 질량 흐름이 예상되는 AZ Cas에 대해 불투명도 계수 $\kappa_0 = 5 \times 10^4, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6$ 에 따른 선운곽을 계산하였으며 이 결과들을 서로 다른 궤도 위상 0.05와 0.09에 대해 비교하였다. 불투명도 계수가 증가할수록 선운곽은 강해지는데 이는 질량 손실률의 증가에 따라 입자의 갯수 밀도가 증가하기 때문이다. 특히 $\phi = 0.05$ 의 선운곽은 흡수 부분의 긴 파장 쪽에서 bump가 나타났는데 이는 포피의 산란에 의해 생긴 재방출 부분이 흡수선에 중첩되어 나타난 결과이다.

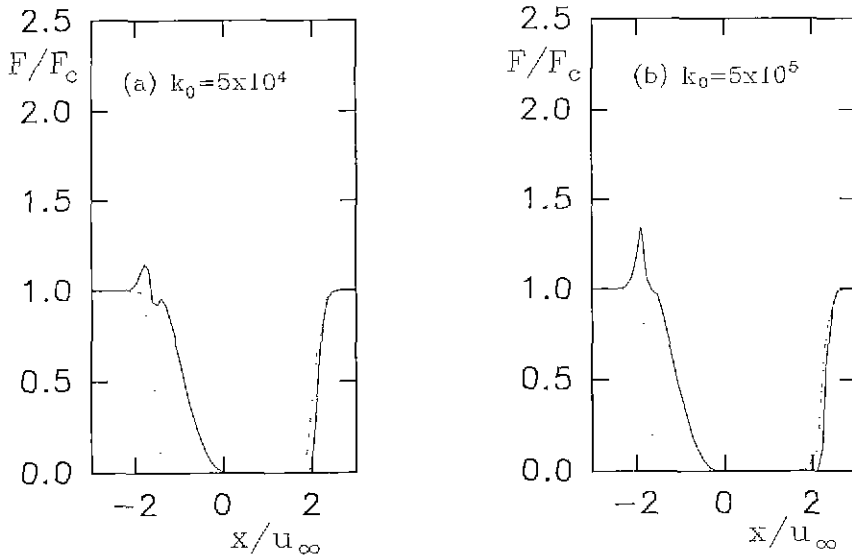


그림 2. 궤도위상 0.05에서의 선운곽과 순수 흡수선. 점선은 순수 흡수선을 가리키며 그림속의 숫자는 각각 고려된 불투명도 계수를 가리킨다

참 고 문 헌

- Baade, R. 1986, *A&Ap*, 154, 145
Baade, R. 1989, in G. Klare (ed.), *Reviews in Modern Astronomy*, 2, Springer Verlag,
Berlin, Heidelberg, New York, 324
Castor, J. I. 1970, *MNRAS*, 149, 111
Cowley, A. P., Hutchings, J. B. & Popper, D. M. 1977, *PASP*, 89, 882
Hagen, H.-J., Hempe, K. & Reimers, D. 1987, *A&Ap*, 184, 256
Hempe, K. 1982, *A&Ap*, 115, 133