

KATAKLİSMİK DEĞİŞEN YILDIZLARDA SOĞUK KÜTLE AKTARIM DİSKLERİ

Uğur URAL¹, Ulf TORKESSON²

Özet

Cüce nova sistemleri kırmızı cücenin madde aktarım hızının beyaz cüce etrafındaki yığılım diskini kararsız kılacak değerlerde olduğu kataklismik değişenlerdir. Bu ara değerlerde disk yüksek ve alçak madde aktarım hızları arasında salınır. Cüce novaların parlama evresine denk gelen yüksek madde aktarım hızlarında madde aktarımı yapan kataklismik değişenlerin varlığı bilinmektedir. Bu çalışmada ise madde aktarımının yavaş olması nedeniyle beyaz cüce üzerine düşen madde miktarının sürekli olarak düşük olduğu sistemlerin yapısını inceliyoruz. Bu durumda Kramer opasitesi geçersiz olduğundan, klasik Shakura - Sunyaev α disk çözümünde soğuk sistemler için geçerli opasite kanunları kullanılarak yarıçap doğrultusunda üç bölgeye ayrılmış bir disk modeli sunuyoruz. Bu çalışmayla ilgili daha ayrıntılı bir makale Torkelsson ve Ural tarafından hazırlanmaktadır.

Abstract

Dwarf nova systems are cataclysmic variables in which the mass transfer rate from the secondary red dwarf is at an intermediate rate at which there is not any stable state for the accretion disc that surrounds the white dwarf. The accretion disc is therefore oscillating semi-regularly between one state with a low accretion rate and another with a high accretion rate. Other known cataclysmic variables, such as the novalike variables, have discs that are constantly accreting at a high rate corresponding to the outburst state of a dwarf nova. In this paper we report on calculations of the structure of an accretion disc that is permanently caught in the low accretion rate state because of the low rate at which mass is transferred from the secondary. As the Kramer's opacity is not valid for the temperature and density ranges in these systems, a radially divided accretion disc modelled with Shakura – Sunyaev α disc solutions for three different opacity laws is presented here. A more extensive paper on the subject is also in preparation by Torkelsson and Ural.

1. Giriş

Bir kataklismik değişende kırmızı cüce Roche lobunu doldurarak beyaz cüceye madde aktardığında, madde açısal momentumu nedeniyle yıldızın çevresinde bir yığılım diski oluşturur. Beyaz cüce üzerine maddenin düşme miktarı olan \dot{M} , S – M düzleminde bir S- eğrisi çizer. Disk, eğrinin eğiminin negatif olduğu orta kolda kararsız, pozitif olduğu kollarda ise dengededir. \dot{M} değeri negatif eğimli orta kola denk geldiğinde sistem karalı durumlar arasında gidip gelerek ani parlamalar gösterir. Yalnız üst kolda bulunan sistemlerin varlığı

¹ Chalmers Technical University, Radyo ve Uzay Bilimleri Bölümü, Göteborg İsveç

² University of Leicester, Fizik ve Astronomi Bölümü, Leicester, İngiltere, uu2@astro.le.ac.uk
Department of Physics, Göteborg University, 412 96 Gothenburg, Sweden

bilinmesine rağmen alt kolda şimdiye kadar yalnız GD 552 bulunmuştur. Bu sistemlerin daha soğuk ve sönük olmaları nedeniyle gözden kaçmış olmalarıysa doğaldır.

Bu model oluşturulurken karşımıza çıkan zorluklardan biri sıcaklığın her yerde 6500K'in altında olması, dolayısıyla da standart Kramer opasitesinin kullanılmayacak olması; diğeri ise bu düşük kütle aktarım hızlarında optik derinliğin azalması ve diskin yer yer optik olarak ince olma olasılığının var olmasıydı. Burada yalnız optik olarak kalın bir disk modelini geçerli parametrelerle birlikte sunuyoruz.

2.Disk Denklemleri

Disk denklemlerini Frank, King, Raine [1]'deki geometrik olarak ince, optik olarak kalın Shakura-Sunyaev[2] α disk çözümlerinden alındı. Çözümlerde kullanılan sabitler; kütle çekim sabiti G, Boltzmann sabiti k, hidrojen atomunun kütlesi m_H ve moleküler ağırlıktır (μ).

Dikey olarak hidrostatik dengede bulunan sistem için disk kalınlığı:

$$H = c_s \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{1/2} \quad (1)$$

olup,

$$c_s = \left(\frac{P}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2)$$

izotermal ses hızı, P ise

$$P = \frac{\rho k T_c}{\mu m_H} \quad (3)$$

olan gaz basıncıdır. Diskin kütlesi ,yüzey yoğunluğu

$$\Sigma = \rho H \quad (4)$$

kullanılarak,

$$M = 2\pi R \Sigma v_R \quad (5)$$

olarak hesaplanabilir.

İç yörüngelere doğru hareket eden maddenin viskozite yardımıyla açısız momentumunu dış katmanlara aktardığı diskte viskozite, yüzey yoğunluğu ve kütle aktarım miktarı birbirlerine aşağıdaki şekilde bağlıdır:

$$\nu \Sigma = 3\pi \dot{M} \left(1 - \frac{R_s}{R} \right)^{1/2} . \quad (6)$$

Burada ν , türbülant viskozite olup ses hızı ve disk kalınlığına bağlı olarak boyutsuz α parametresi kullanılarak

$$\nu = \alpha c_s H \quad (7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Maddenin merkeze yaklaşırken kaybettiği potansiyel enerji

$$D(R) = \frac{3GM\dot{M}}{8\pi R^3} \left(1 - \frac{R_s}{R} \right)^{1/2} \quad (8)$$

diskin yayımladığı kara cisim ışımasına

$$D = \frac{4\sigma T^4}{3\tau} \quad (9)$$

eşittir. Ve son olarak optik derinlik

$$\tau = \Sigma \kappa_R \quad (10)$$

olarak yazılır. Burada κ_R , yoğunluk ve sıcaklığa bağlı opasite kanunu olup bu çalışma için standart çözümlerden farklı olarak kullandığımız üç opasite kanunu [3] aşağıda verilmiştir:

Hidrojenden saçılma için:

$$\kappa_R = 2 \times 10^{80} \rho T_c^{24}; \quad (11)$$

Moleküller için:

$$\kappa_R = 10^{-9} \rho^{2/3} T_c^3; \quad (12)$$

Metal taneciklerinin buharlaşması için:

$$\kappa_R = 10^{-37} \rho^{1/3} T_c^{10}. \quad (13)$$

Bir sonraki bölümde uygun yarıçaplarda bölünen diskin her üç bölgesi için bulduğumuz sonuçları veriyoruz.

3.Çözümler

Disk çözümlerini verirken sonuçları yorumlamayı kolaylaştırmak açısından bazı sadeleştirmeler yapıyoruz. Aşağıdaki denklemlerde $R_8 = R/10^8$, $m = M / M_{güneş}$, $\dot{M}_{13} = \dot{M} / 10^{13}$ olup değerleri yaklaşık olarak bire eşittir ve $f = \left(1 - \left(\frac{R_s}{R}\right)^{1/2}\right)^{1/4}$ dönüşümleri yapılmıştır.

3.1 Hidrojenden Saçılma

Diskin sıcak olduğu yıldızın yakınında hidrojenden saçılma en önemli opasite kaynağıdır. Aşağıdaki sonuçlar denklem (11) kullanılarak bulunmuştur. $R_8 \approx m \approx \dot{M}_{13} \approx 1$ olduğundan denklemlerin α parametresine bağlı değişimi doğrudan görülebilir.

$$\Sigma = 470 \mu^{4/3} \alpha^{-35/27} R_8^{-49/18} m^{49/54} \dot{M}_{13}^{41/27} f^{-164/27} \quad \text{kg m}^{-2} \quad (14)$$

$$T_c = 3.2 \times 10^3 \mu^{-1/3} \alpha^{8/27} R_8^{11/9} m^{11/27} \dot{M}_{13}^{-14/27} f^{-56/27} \quad \text{K} \quad (15)$$

$$H = 4.4 \times 10^5 \mu^{-2/3} \alpha^{4/27} R_8^{19/9} m^{-19/27} \dot{M}_{13}^{-7/27} f^{-28/27} \quad \text{m} \quad (16)$$

$$\rho = 10^{-3} \mu^2 \alpha^{-13/9} R_8^{-29/6} m^{-29/18} \dot{M}_{13}^{16/9} f^{64/9} \quad \text{kg m}^{-3} \quad (17)$$

$$\tau = 0.05 \mu^{-4/3} \alpha^{32/27} R_8^{71/9} m^{-71/27} \dot{M}_{13}^{-83/27} f^{-332/27} \quad (18)$$

$$\nu = 2.3 \times 10^{12} \mu^{-4/3} \alpha^{35/27} R_8^{49/18} m^{-49/54} \dot{M}_{13}^{-14/27} f^{-56/27} \quad \text{N s m}^{-2} \quad (19)$$

$$\nu_R = 34 \mu^{-4/3} \alpha^{35/27} R_8^{31/18} m^{-49/54} \dot{M}_{13}^{-14/27} f^{-164/27} \quad \text{m s}^{-1} \quad (20)$$

3.2 Moleküller

Diskin orta kısmında sıcaklık ve yoğunluk moleküllerin etkili olduğu aralıkta olduğundan denklem (12) kullanılmıştır.

$$\Sigma = 150 \mu^{1/3} \alpha^{-4/9} R_8^{2/3} m^{-2/9} \dot{M}_{13}^{1/9} f^{4/9} \quad \text{kg m}^{-2} \quad (21)$$

$$T_c = 10^4 \mu^{2/3} \alpha^{-5/9} R_8^{-13/6} m^{13/18} \dot{M}_{13}^{8/9} f^{-32/9} \quad \text{K} \quad (22)$$

$$H = 7.9 \times 10^5 \mu^{-1/6} \alpha^{-5/18} R_8^{5/12} m^{-5/36} \dot{M}_{13}^{4/9} f^{16/9} \quad \text{m} \quad (23)$$

$$\rho = 1.9 \times 10^{-4} \mu^{1/2} \alpha^{-1/6} R_8^{-1/4} m^{-1/12} \dot{M}_{13}^{-1/3} f^{-4/3} \text{ kg m}^{-3} \quad (24)$$

$$\tau = 4.9 \mu^{8/3} \alpha^{-20/9} R_8^{-17/3} m^{17/9} \dot{M}_{13}^{23/9} f^{92/9} \quad (25)$$

$$\nu = 7.2 \times 10^{12} \mu^{-1/3} \alpha^{4/9} R_8^{-2/3} m^{2/9} \dot{M}_{13}^{8/9} f^{32/9} \text{ N s m}^{-2} \quad (26)$$

$$\nu_R = 1.1 \times 10^2 \mu^{-1/3} \alpha^{4/9} R_8^{-5/3} m^{2/9} \dot{M}_{13}^{8/9} f^{-4/9} \text{ m s}^{-1} \quad (27)$$

3.3 Metal Taneciklerinin Buharlaşması

Son olarak dış kısımda metal parçacıklarının buharlaşması başlıca opasite sebebi olarak ortaya çıkıyor. Önceki bölümlerde olduğu gibi uygun opasite denklemini (denklem (13)) kullanıldığında bu bölümün çözümü aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\Sigma = 720 \mu^{56/61} \alpha^{-57/61} R_8^{-153/122} m^{51/122} \dot{M}_{13}^{55/61} f^{229/61} \text{ kg m}^{-2} \quad (28)$$

$$T_c = 2.1 \times 10^3 \mu^{5/61} \alpha^{-4/61} R_8^{-15/61} m^{5/61} \dot{M}_{13}^{6/61} f^{24/61} \text{ K} \quad (29)$$

$$H = 3.6 \times 10^5 \mu^{-28/61} \alpha^{-2/61} R_8^{84/61} m^{-28/61} \dot{M}_{13}^{3/61} f^{12/61} \text{ m} \quad (30)$$

$$\rho = 2 \times 10^{-3} \mu^{84/61} \alpha^{-55/61} R_8^{-321/122} m^{107/122} \dot{M}_{13}^{-52/61} f^{208/61} \text{ kg m}^{-3} \quad (31)$$

$$\tau = 8.6 \times 10^{-3} \mu^{20/61} \alpha^{-16/61} R_8^{123/61} m^{-41/61} \dot{M}_{13}^{-37/61} f^{148/61} \quad (32)$$

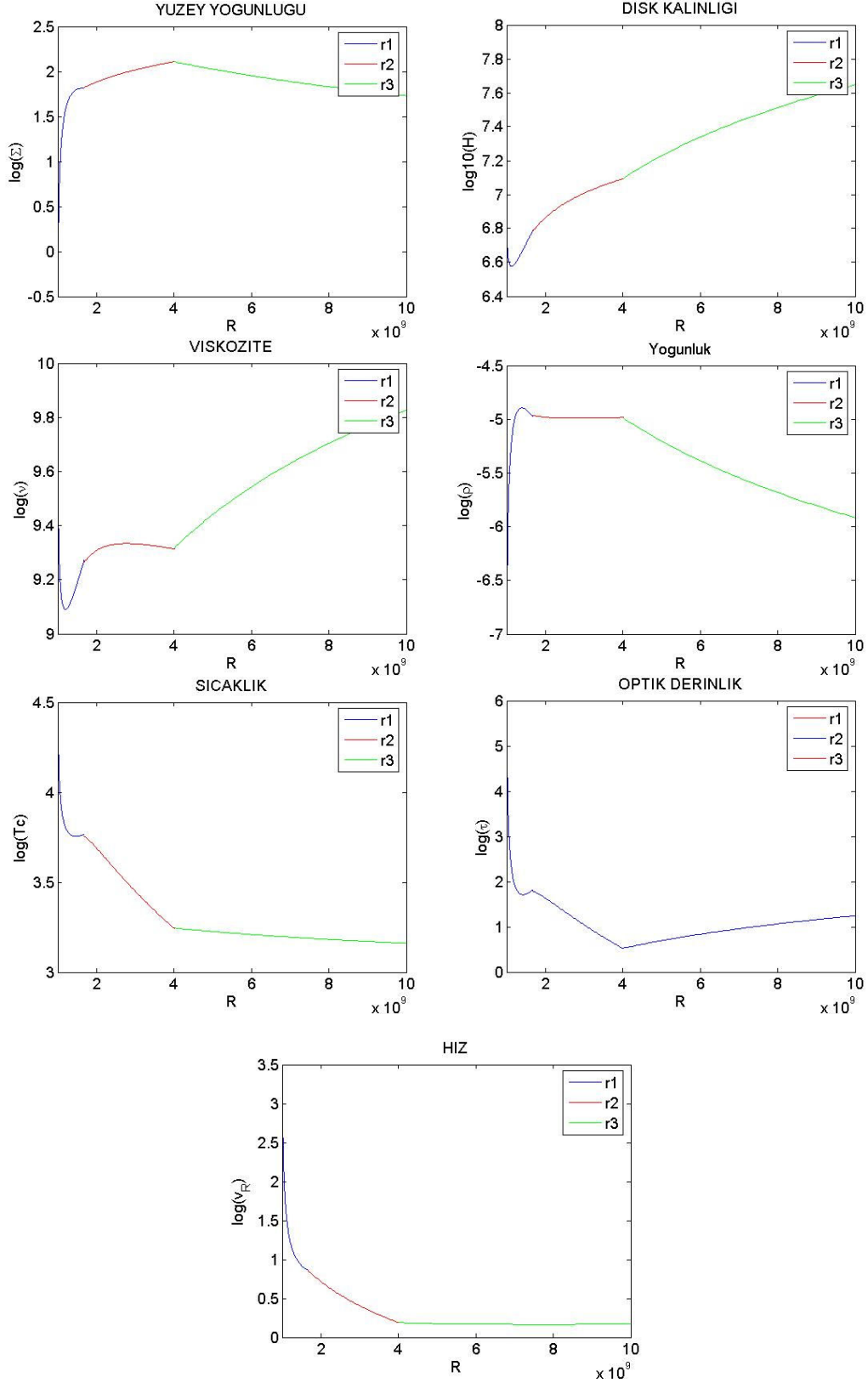
$$\nu = 1.5 \times 10^{12} \mu^{-56/61} \alpha^{57/61} R_8^{153/122} m^{-51/122} \dot{M}_{13}^{6/61} f^{24/61} \text{ N s m}^{-2} \quad (33)$$

$$\nu_R = 22 \mu^{-56/61} \alpha^{57/61} R_8^{31/122} m^{-51/122} \dot{M}_{13}^{6/61} f^{-220/61} \text{ ms}^{-1} \quad (34)$$

4. Model

Bir önceki bölümdeki sonuçlar kullanılarak her üç opasitenin birlikte var olabileceği bir model yapmak için öncelikle metal taneciklerinin opasitenin başlıca sebebi olduğu soğuk bir disk göz önüne alalım. Denklem (29) ve denklem (31), denklem (12) ve denklem (13)'te kullanarak bu iki opasitenin diskte birbirine eşit olduğu yarıçapı bulabiliriz. Bu noktada diskin yoğunluk ve sıcaklığı moleküler opasitenin baskın olması için yeterli olduğundan bu noktadan itibaren bölüm (3.2)'deki çözüm kullanılabilir. İç kısımdaki geçiş yarıçapı da aynı şekilde hesaplandırırsa yarıçap doğrultusunda bölünmüş bir yığılım diski modeli ortaya çıkar.

Geçiş yarıçapları ve diskin özellikleri başlangıçta aldığımız parametrelere bağlı olduğundan aşağıda gösterilen çözüm olası çözümlerden yalnız biridir. Yıldızın kütlesi $M = 0.35 M_{\odot}$, yarıçapı $10^7 m$, disk yarıçapı $10^8 m$, $\alpha = 5 \times 10^{-4}$ ve $\mu = 1.307$ olarak alınmıştır.



Şekil. Disk çözümü. Disk kalınlığı ve viskozite yarıçap büyüdükçe artarken sıcaklık ve yoğunluk beklendiği gibi azalıyor. Optik derinlik başlangıç şartına uygun olarak büyük.

5. Sonuç

Bir önceki bölümde verilen disk çözümü farklı başlangıç parametreleri için sınanarak birden farklı çözüm elde edilmektedir. En önemlisi birçok durumda optik derinliğin küçülmesi ve siyah cisim ışıması varsayımının geçerliliğini kaybetmesidir. Bunun dışında hidrojenin saçılmanın başlıca opasite kaynağı olduğu iç bölgedeki sıcaklığın yarıçapla birlikte artması ya da yıldız yüzeyine yaklaştıkça çok yükselmesi gibi sorunlar vardır.

Bu durumda gerçekten tutarlı bir model ancak optik derinlik için sınır belirlemeden radyatif transfer denkleminin çözülmesi, daha sonra elde edilen sonuçların bu tür sistemler için şimdilik bilinen tek olası cisim olan GD 552'nin özellikleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Juhan Frank, Andrew King, Derek Raine; Accretion Power in Astrophysics, Cambridge University Press, 3rd Edition, 2002.
- [2] N. I. Shakura, R. A. Sunyaev; Black Holes in Binary Systems. Observational Appearance, 1973A&A,24,337.
- [3] K.R.Bell, D.N.C.Lin, Using FU ORIONIS outbursts to constrain self-regulated protostellar disk models, 1994AppJ,427,987