

Modelowanie dysków akrecyjnych

Teoria Shakury - Sunaeva (1973)

- Cienki dysk
- Równowaga hydrostatyczna

$$p = \rho \Omega^2 h^2 \quad (1)$$

- Chłodzenie Promieniowanie ciała doskonale czarnego

$$Q_- = \frac{4\sigma_B T^4}{3\kappa\rho h} \quad (2)$$

- Grzanie - turbulentna produkcja ciepła (wzór)

$$Q_+ = \frac{3}{2}\alpha p h \quad (3)$$

- Ciśnienie gazu doskonałego dla gazu protonów

$$p = \frac{\rho k_B T}{m_H} \quad (4)$$

Równowaga termiczna dysku

- Energia wypromieniowana przez dysk

$$F_{tot} = \frac{3GM}{8\pi R^3} \frac{dM}{dt} f(R) \quad (5)$$

- Efekty OTW mają wpływ na warunki brzegowe

$$f(R) = 1 - \sqrt{\frac{3R_{Schw}}{R}} \quad (6)$$

dla $R \rightarrow \infty$ mamy $f \rightarrow \infty$

- Równowaga termiczna

$$F_{tot} = Q_+ = Q_- \quad (7)$$

Stacjonarne rozwiązanie bez promieniowania

Analityczne wzory na profile dysków:

- Temperatura

$$T(R) = C_T (f(R))^{1/5} \left(\frac{R}{R_S}\right)^{-3/4} \quad (8)$$

- Grubość dysku

$$h(R) = C_h (f(R))^{2/5} \left(\frac{R}{R_S}\right)^{3/4} \quad (9)$$

- Gęstość

$$\rho(r) = C_\rho f(R) \left(\frac{R}{R_S}\right)^{-3/4} \quad (10)$$

- Gęstość powierzchniowa

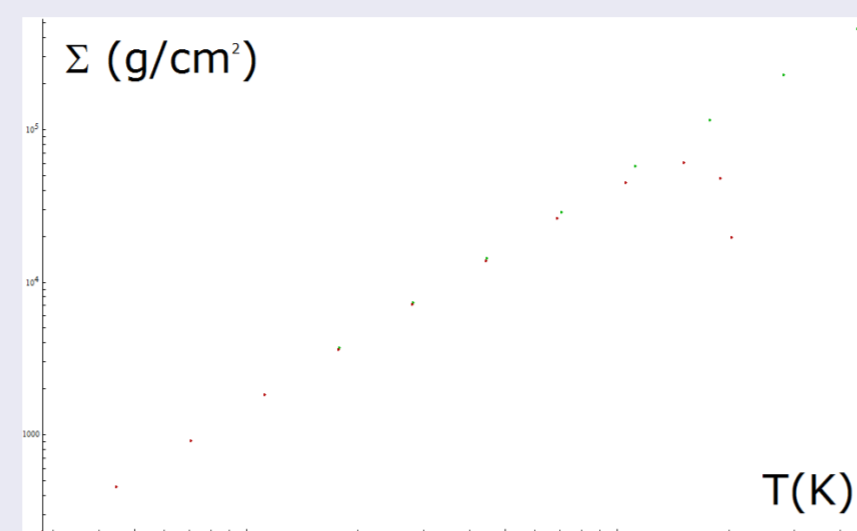
$$\Sigma(R) = C_\rho C_h (f(R))^{7/5} \quad (11)$$

- Ciśnienie

$$p = \frac{C_\rho C_T k_B}{m_H} (f(R))^{6/5} \left(\frac{R}{R_S}\right)^{-3/2} \quad (12)$$

Model z ciśnieniem promieniowania

Krzywe stabilności - zależność σ od T - niemonotoniczność oznaczająca brak równowagi w rozwiązaniu

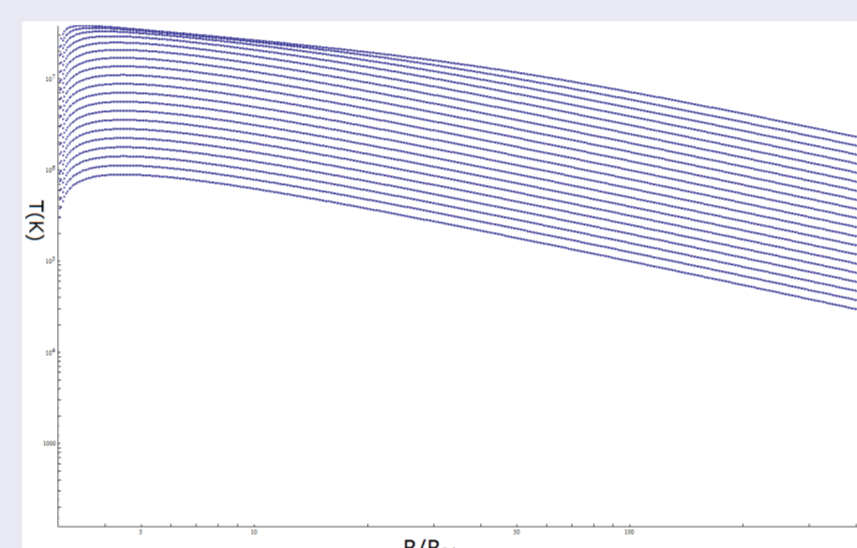


Rysunek : Zależność temperatury od gęstości. Zielone kropki - model bez ciśnienia promieniowania. Czerwone kropki przedstawiają zależność dla ciśnienia promieniowania $L = 10^5 - 1L_{Edd}$

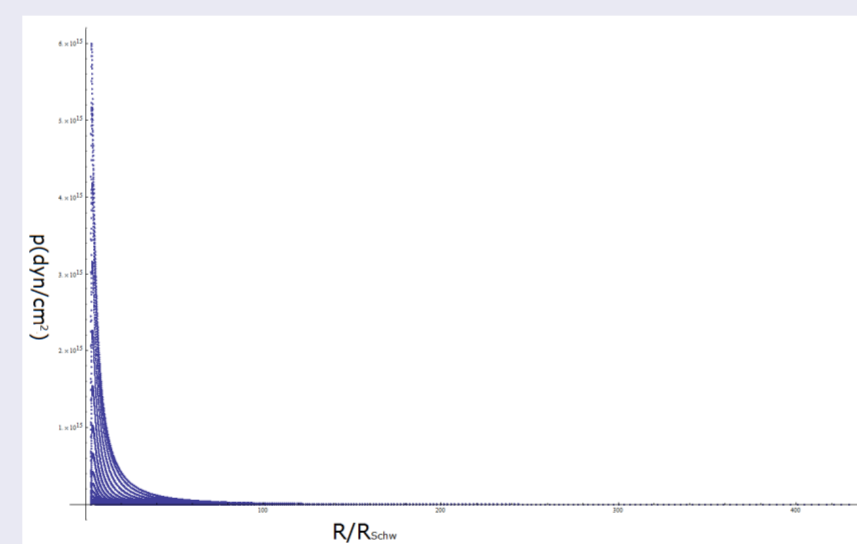
- Ciśnienie promieniowania proporcjonalne do czwartej potęgi temperatury

$$p_{rad} = \frac{4\sigma_B T^4}{3c} \quad (13)$$

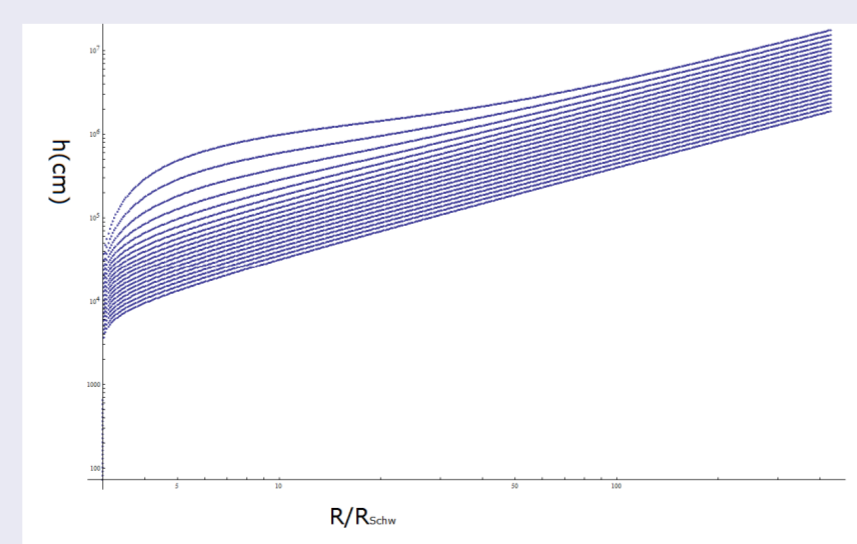
- Numeryczne wyniki dla profili T , p , ρ i σ



Rysunek : Profile temperatury dla dysków z $L = 10^{-5} - 1L_{Edd}$

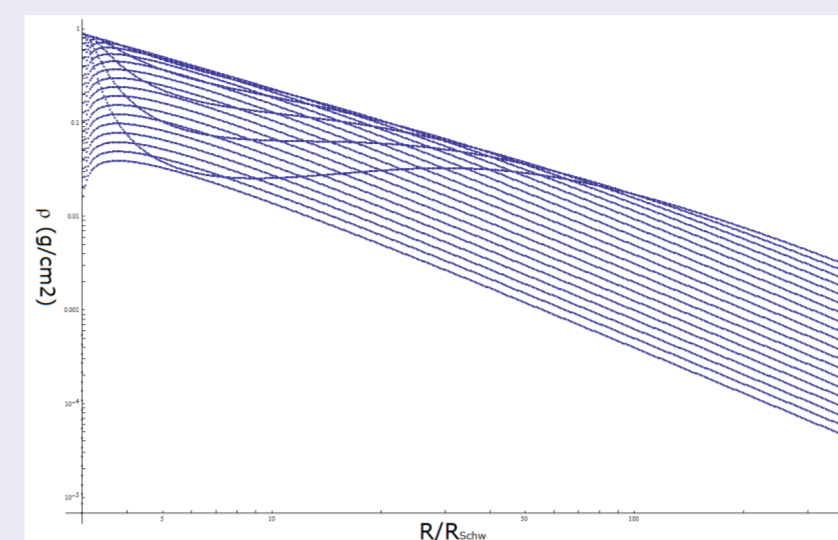


Rysunek : Profile ciśnienia dla dysków z $L = 10^{-5} - 1L_{Edd}$

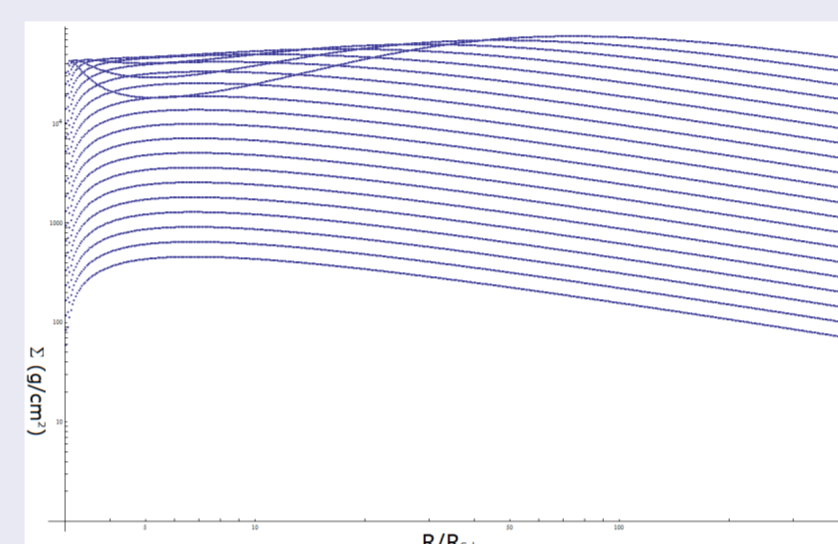


Rysunek : Profile grubości dla dysków z $L = 10^{-5} - 1L_{Edd}$

Profile gęstości



Rysunek : Profile gęstości dla dysków z $L = 10^{-5} - 1L_{Edd}$



Rysunek : Profile gęstości powierzchniowej dla dysków z $L = 10^{-5} - 1L_{Edd}$

Adwekcja

- Unoszenie energii cieplnej wraz z ruchami materii wewnątrz dysku

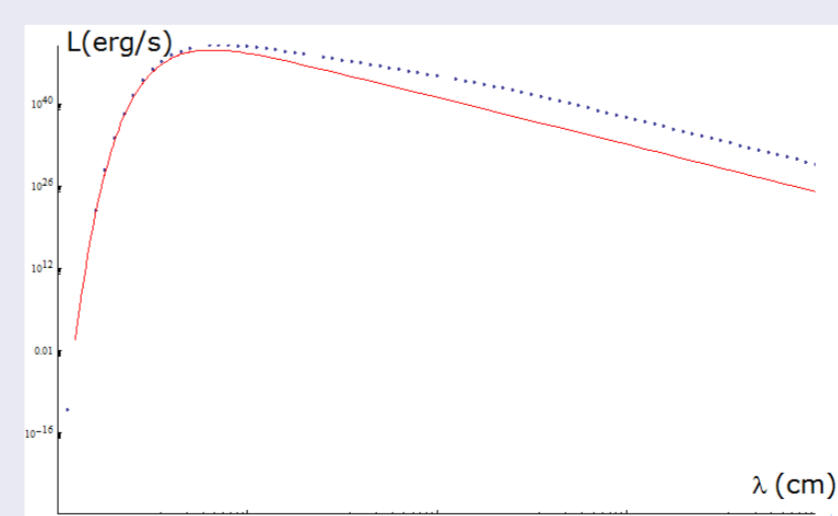
$$F_l = F_{tot}(1 - f_{adv}) \quad (14)$$

$$f_{adv} = -\frac{2rp}{3\rho GM f(R)} q_{adv} \quad (15)$$

$$q_{adv} = (12 - 10.5\beta) \frac{d \ln T}{d \ln r} - (1 - 3\beta) \frac{d \ln \rho}{d \ln r} \quad (16)$$

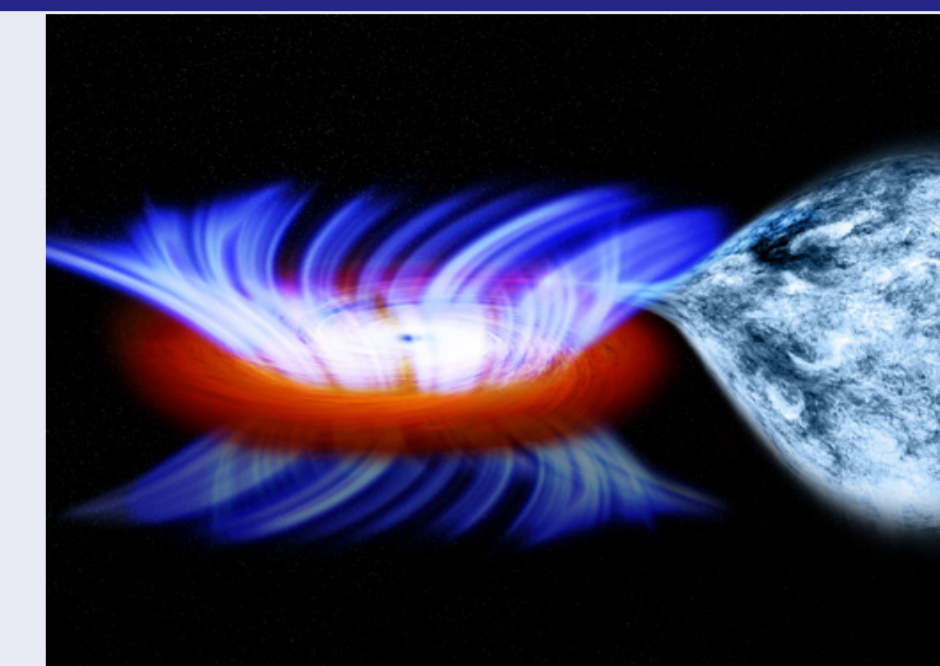
- Zależna od gradientów prędkości i temperatury (Wzory (14), (15) i (16) z pochodzą z pracy A.Janiuk, B.Czerny, A.Siemingowska *Radiation pressure instability driven variability in the accreting black holes* (2002), *The Astrophysical Journal*, 576 : 908 - 922, 2002 September

Widmo dysku akrecyjnego



Rysunek : Widmo dysku akrecyjnego o masie $10 M_s$ (kropki) na tle widma ciała doskonale czarnego o $T = 2 \cdot 10^7 K$

Mikrowazar IGR 17061 - 3624 - modelowanie

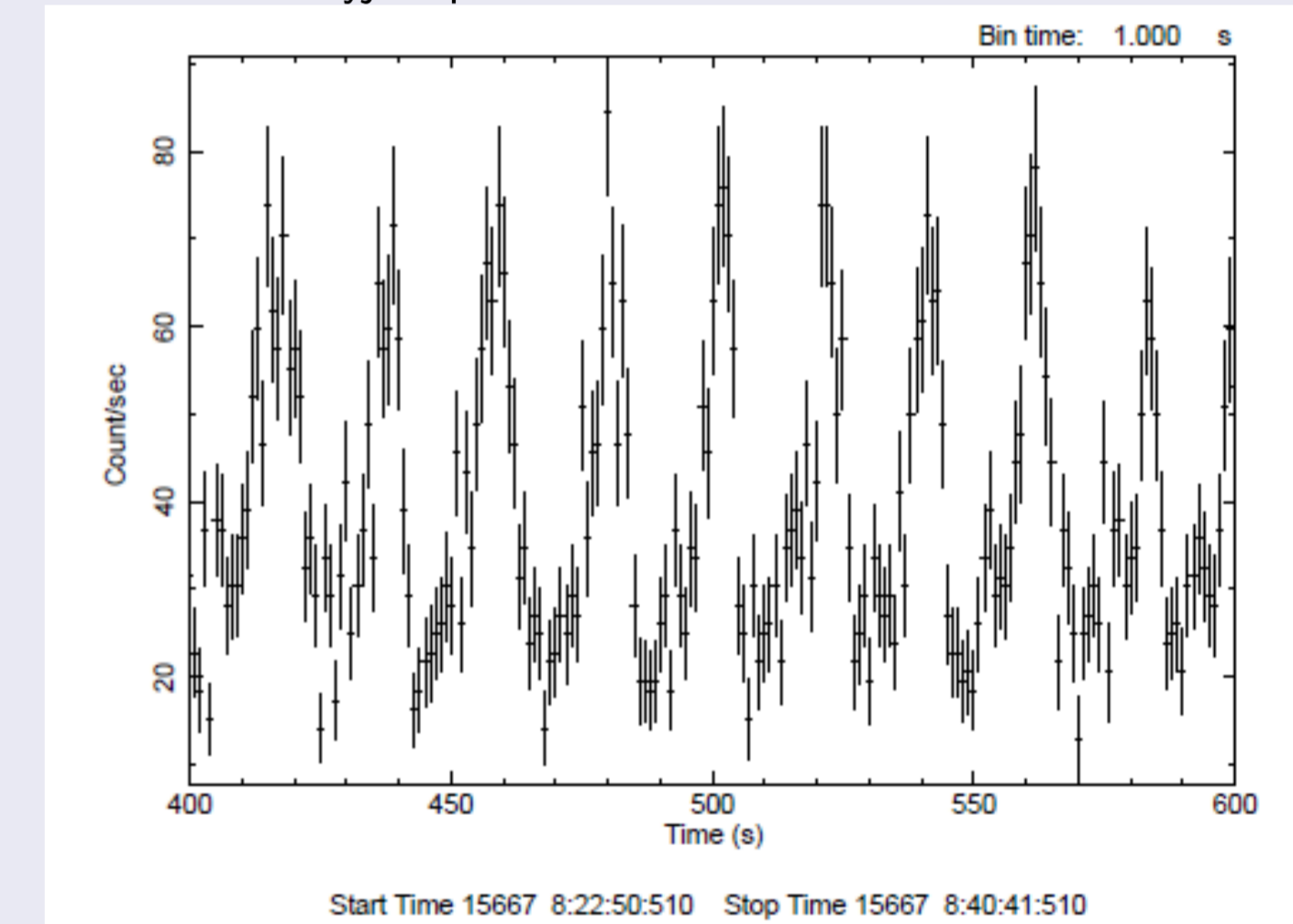


<http://chandra.harvard.edu/photo/2012/igr/>

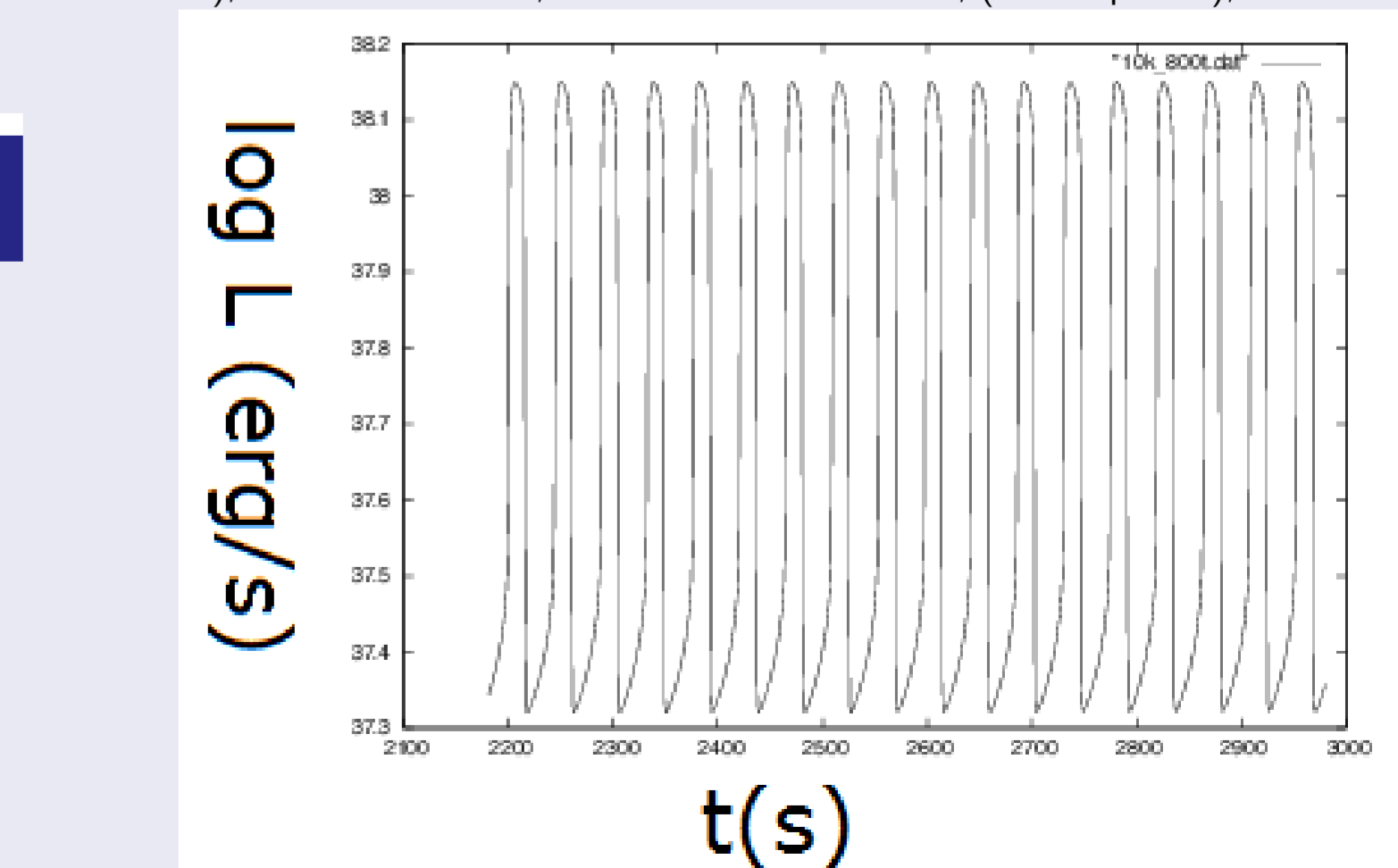
Parametry przyjęte w modelu:

- Masa obiektu $M = 6M_s$ Nieprzezroczystość na rozpraszanie elektronów (Electron scattering opacity) $\kappa = 0.34$
- Współczynnik lepkości $\alpha = 0.1$
- Tempo akrecji $\frac{dM}{dt} = 4.22 \cdot 10^{-8} M_s/s$
- Współczynnik adwekcji $q_{adv} = 0.32$

Dane obserwacyjne: promieniowanie X w zakresie $0.3 - 10 keV$



F.Capitanio, M. Del Santo, E. Bozzo, C. Ferrigno, G. De Cesare, A. Paizis *IGR J17091-3624: a GRS 1915-105 like source as seen by INTEGRAL and Swift* Proceeding of An INTEGRAL view of the high-energy sky (the first 10 years) the 9th INTEGRAL Workshop, October 15-19, 2012, Paris, France, in Proceedings of Science (INTEGRAL 2012), Eds. A. Goldwurm, F. Lebrun and C. Winkler, (this http URL), id 039



Model: