

# ***Nötron Yıldızlarının Kütle Aktarım- Pervane Fazı GeçiŖi Kritik KoŖulları***

***Ünal Ertan***

*Sabancı Üniversitesi, İstanbul*

*20. Ulusal Astronomi Kongresi*

*5 – 9 Eylül 2016*

# Ghosh & Lamb (1978)

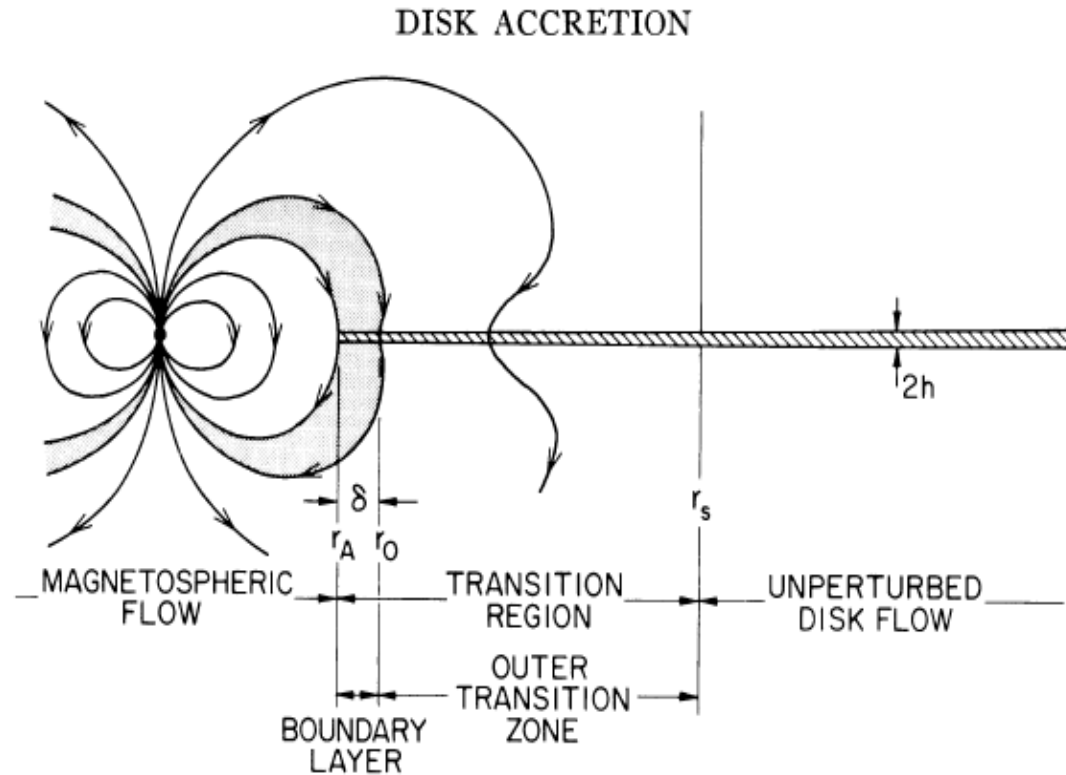


FIG. 1.—Schematic picture of the regions described in the text. Beyond the radius  $r_s$  at which the stellar magnetic field is completely screened, the disk flow, of vertical thickness  $2h$ , is unperturbed by the magnetosphere. In the transition region between  $r_s$  and  $r_A$ , the disk flow changes into magnetospheric flow. The transition region divides into two parts, an outer transition zone where viscous stresses dominate magnetic stresses, and a boundary layer of width  $\delta \ll r_A$  where the magnetic stresses dominate.

*Kepler hızı:*  $v_K = \left( \frac{G M}{r} \right)^{1/2}, \quad \Omega_K = \frac{v_K}{r}$

$G$ : Kütle çekim sabiti,

$M$ : Yıldızın kütlesi,

$r$ : Yıldızdan radyal uzaklık

$\Omega$ : Yıldızın açısal dönme hızı

*Korotasyon yarıçapında:*  $\Omega = \Omega_K$ :

$$r_{co} = \frac{(G M)^{1/3}}{\Omega^{2/3}}$$

## *İç disk yarıçapı: $r_{in}$*

- $r_{in} > r_{co} \implies$  yıldızın dönme hızı artar (*spin-up phase*)
- $r_{in} < r_{co} \implies$  yıldızın dönme hızı yavaşlar (*spin-down phase*)
- *Yavaşlama fazı literatürde pervane fazı olarak da tanımlanır. Bu fazda, iç diske gelen maddenin sistemden **pervane etkisiyle** (propeller effect) atılacağı önerilmiştir (Illarionov & Sunyaev 1975).*

- *İç disk yarıçapının genellikle viskoz ve manyetik torkların eşitlendiği yarıçapa denk geldiği varsayılır.*
- *Bu varsayımla tahmin edilen iç disk yarıçapı konvansiyonel Alfven yarıçapına çok yakın bulunur.*

$$r_{\text{in}} \simeq r_A \simeq (GM)^{-1/7} \mu^{4/7} \dot{M}^{-2/7}$$

???

- *Bu çalışmada, bu genel varsayımın doğru olmayabileceğini gösterip sonuçlarını tartışıyoruz.*

$\nu = \alpha c_s h$  : kinematik viskozite (Shakura & Sunyaev 1973)

$\alpha$  : viskozite parametresi ,

$h$  : diskin yarı kalınlığı

$c_s$  : ses hızı

$$v_r \simeq \frac{\nu}{r} = \alpha c_s \frac{h}{r} = \alpha \frac{h^2}{r^2} v_K \simeq 10^{-5} v_K$$

$v_r$  : radyal hız ,

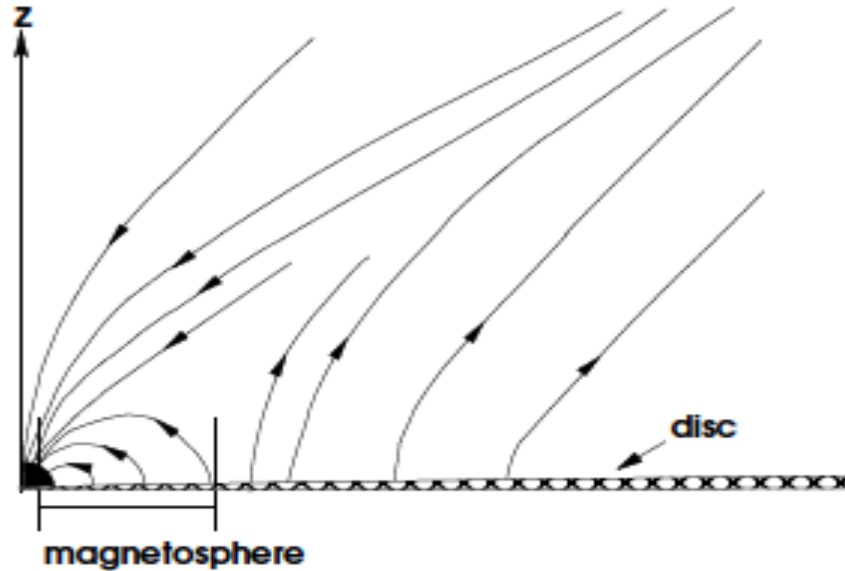
$v_K$  : Kepler hızı ,  $v_{esc} = \sqrt{2} v_K$

*Dinamik zaman ölçeği viskoz zaman ölçeğinden 5 merteye daha küçük!*

*Diskte manyetik alan çizgilerinin difüzyon zaman ölçeği de viskoz zaman ölçeğine benzer!*

**Buna sonuca göre, Ghosh & Lamb modeli tutarlı değil (Wang 1987)! Kapalı alan çizgilerinin Kepler yörüngesi yönünde difüzyonu mümkün değil; alan çizgileri disk içinde kayarak ilerleyemez!!!**

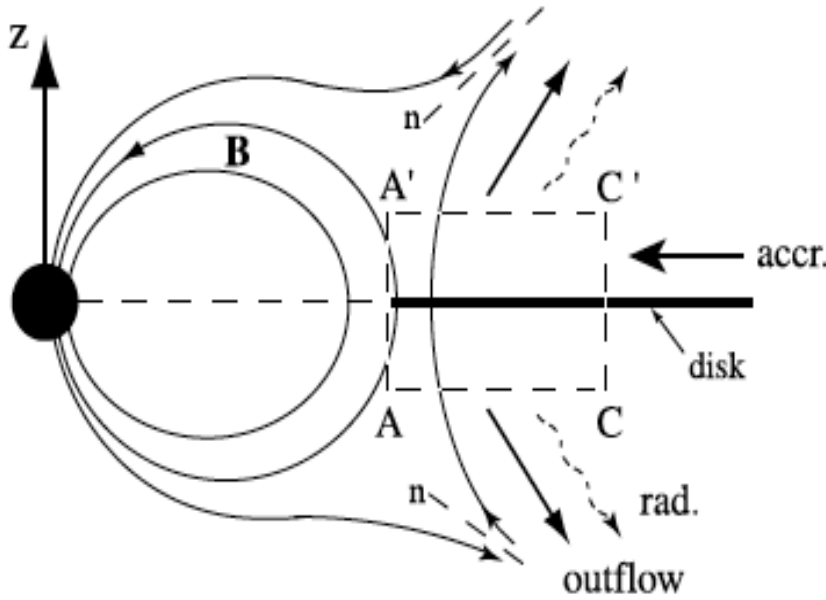
**Bu durumda, manyetik alan çizgilerine ne olur?**



Lovelace+1995

**Figure 1.** Global magnetic field configuration for a strongly magnetic star surrounded by an accretion disc. In this picture, the majority of the field exists in an open configuration, and the connected region between the field and the disc is very small. Adapted from Lovelace et al. (1995).





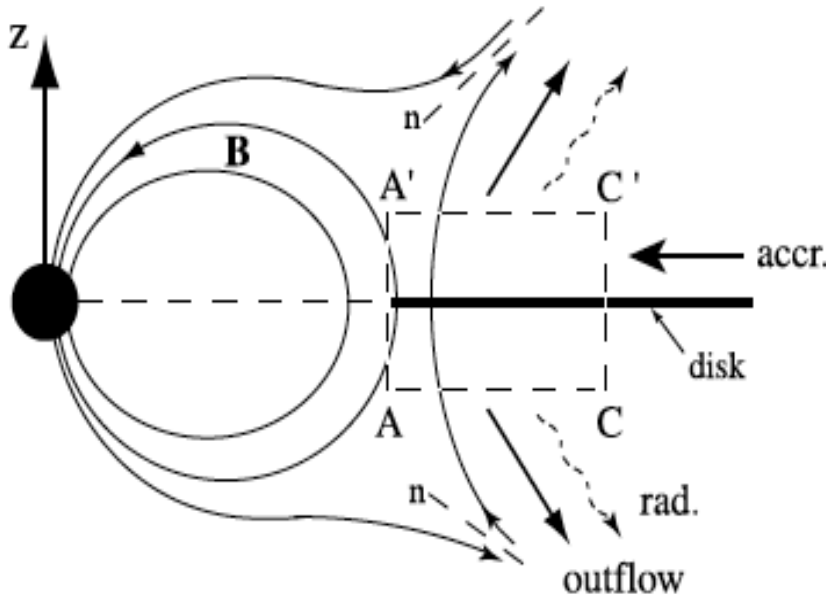
(Lovelace + 1999).

Alan çizgilerinin maddeyle etkileşim zaman ölçeği ( $t_{\text{int}}$ ) çok kısa, dinamik zaman ölçeği mertebesinde.

Madde  $t_{\text{int}}$  içinde alan çizgileri tarafından hızlandırılarak dar bir sınır katmanından atılıyor.

Etkileşim sırasında kapalı alan çizgileri açılıyor, madde açık alan çizgileri boyunca atılıyor ve çizgiler yeniden birleşiyor (reconnection).

**Simülasyonlarda, bu döngü dinamik zaman ölçeğinde tamamlanıyor.**



(Lovelace + 1999).

Durağan bir pervane fazı için gerekli koşul: Madde kaçış hızından yüksek hızlara ivmelendirilmeli.

Fazla zaman yok! Bu ivmelendirme  $t_{\text{int}}$  içinde, alan çizgileri açılmadan yapılmalı.

**Bu kritik koşul Alfven yarıçapında sağlanabilir mi?**

En etkin manyetik tork modelini kullanarak test edilebilir.

$$\dot{M} = 2\pi r \Sigma(r) v_r = 2\pi r 2h\rho v_r \quad (\text{diskte kütle akış oranı})$$

$$\Sigma(r) = 2h\rho \quad (\text{disk yüzey yoğunluğu})$$

*Manyetik alan çizgileriyle iç diskteki maddenin etkileşim zaman ölçeği:*

$$\underline{t_{\text{int}} = (\Omega - \Omega_K)^{-1} = (\omega - 1)^{-1} \Omega_K^{-1}, \quad \omega = \Omega / \Omega_K}$$

*Sürekli pervane etkisi için:  $\omega > \sqrt{2}$  olmalı. ( $v_{\text{esc}} = \sqrt{2} v_K$ )*

*Birim hacimdeki maddenin alan çizgilerinin hızına ulaşabilmesi için etkileşim zamanı içinde kazanması gereken açısal momentum:*

$$\underline{\Delta L = (\omega - 1)\rho r v_K}$$

*Bu durumda,  $t_{\text{int}}$  süresince maddeye etki etmesi gereken minimum manyetik toque*

$$\tau_B \sim \frac{\Delta L}{t_{\text{int}}} \sim (\omega - 1)^2 \rho r^2 \Omega_K^2 \quad \text{olmalı.}$$

*Manyetik ve viskoz stresler eşitlenerek bulunan yarıçapta (yaklaşık  $r_A$ ):*

$$\tau_B' \simeq \frac{1}{2(\omega - 1)^2} \frac{v_r}{v_K} (\omega - 1)^2 \rho r^2 \Omega_K^2$$

$$\tau_B \simeq \frac{v_K}{v_r} \tau_B' \simeq 10^5 \tau_B'$$

***=> pervane etkisi için gerekenden 100 bin kere daha küçük!!!***

*=> Alan çizgilerinin maddeye gerekli torku aktarabilmesi için, iç diskte binlerce Kepler periyodu süre gerekli.*

*Fakat, madde atılmadan önce alan çizgileriyle ancak bir Kepler periyodu zaman ölçeğinde etkileşebilir.*

*Madde dışarı atılır, ama sistemden kaçamaz, diske geri döner. Bu durumda, diskte biriken madde yoğunluk, sıcaklık ve viskoziteyi arttıracığından, iç disk yarıçapı içeri bölgelere doğru ilerlemeye başlar.*

***Bunun anlamı: Alfven yarıçapına yakın bir yarıçap durağan bir pervane fazında iç disk yarıçapı olamaz!***

*Birim hacime düşen manyetik torque:*  $\frac{B^2 r}{4 \pi h}$

*Pervane koşulunun sürekli olarak sağlanabileceği maksimum yarıçapı tahmin etmek için:*

$$\frac{B^2 r}{4 \pi h} \sim \frac{\Delta L}{t_{\text{int}}} \sim (\omega - 1)^2 \rho r^2 \Omega_K^2$$

$$r_{\text{in}} \simeq 3.8 \times 10^{-2} \alpha_{-1}^{2/7} (\omega - 1)^{-4/7} \left( \frac{h}{r} \right)_{-2}^{4/7} r_A$$

*Kritik kütle aktarım oranını hesaplamak için:*  $\omega = \sqrt{2}$

*Pervane – aktarım geçişi için kritik kütle aktarım oranı:*

$$\dot{M}_{crit} \simeq 4 \times 10^{12} \text{ g s}^{-1} \alpha_{-1} P_{-3}^{-7/3} \mu_{26}^2 \left( \frac{h}{r} \right)_{-2}^2$$

Gözlemlerle karşılaştır: Yakın zamanda düşük X-ışını parlaklığı döneminde X-ışını pulsarı özelliği gösteren 2 geçişken milisaniye pulsarı gözledi:

The best sources to test our results are the recently discovered and clearly observed transitional MSPs which show transitions between the accretion powered X-ray pulsar and the rotational powered radio pulsar states. Two of these sources, namely PSR J1023+0038 (Archibald et al. 2015) and XSS J12270–4859 (Pappitto et al. 2015), are observed to show X-ray pulsations in the sub-luminous X-ray states with  $L_X \approx$  a few  $10^{33} - 10^{34} \text{ erg s}^{-1}$ .

powered by mass-flow onto the neutron star. These sources are observed in the radio pulsar phases when  $L_X \sim$  a few  $10^{32}$  erg  $s^{-1}$  with no X-ray pulsations. It seems that the radio pulsar phase is switched on at a disk mass-flow rate lower than  $\sim 10^{13}$  g  $s^{-1}$ , and above this X-ray luminosity the sources are in the accretion phase. Since the accretion switches off the pulsed radio emission,



Bu iki geişken ms-pulsarın dnme periyodu

$$P = 1.69 \text{ ms,}$$

$$B = 2 \times 10^8 \text{ G alarak}$$

$r_A = 1.26 r_{co}$  koşulunu sağlayan ktle aktarım oranı  
yaklaşık  $10^{17} \text{ g/s}$ . ( $L_x = 10^{37} \text{ erg /s}$ )

Geleneksel yaklaşıma göre, bu oranın altında pervane etkisi nedeniyle kütlenin yıldızın yüzeyine akamaması, sistemden dışarı atılması gerekir.

Fakat,  $10^{13} - 10^{14} \text{ g /s}$  seviyesinde dahi yıldız yüzeyine madde aktarılıyor.

*Pervane – aktarım geçişi için kritik kütle aktarım oranı:*

$$\dot{M}_{crit} \simeq 4 \times 10^{12} \text{ g s}^{-1} \propto_{-1} P_{-3}^{-7/3} \mu_{26}^2 \left( \frac{h}{r} \right)_{-2}^2$$

P = 1.69 ms, B = (1 - 10) x 10<sup>8</sup> G için basit analitik hesaplamalara dayalı sonucumuz gözlemlerle tutarlı.

# ÖZET

**Durağan pervane fazı için,** basit analitik hesaplamalarla:

(1) iç disk yarıçapının viskoz ve manyetik streslerin eşitlenmesiyle bulunan yarıçapa eşit veya yakın olamayacağını,

(2) maksimum iç disk yarıçapının, Alfvén yarıçapından en az  $\sim 15$  kat küçük olması gerektiğini,

(3) pervane – aktarım geçişine denk gelen kritik kütle aktarım oranının, geleneksel yaklaşımla bulunan orandan  $10^3 - 10^4$  kat daha küçük olması gerektiğini gösterdik.

# TEŐEKKÜRLER