

# ***Genç Nötron Yıldızlarının Yayılma Diskleriyle Evrimi***

***Ünal Ertan, Şirin Çalışkan, Onur Benli, M.Ali Alpar***  
*Sabancı Üniversitesi*

*UAK 2015 (2 - 6 Şubat 2015, ODTÜ, Ankara)*

# ***GENÇ NÖTRON YILDIZI SİSTEMLERİ :***

- *Anormal X-ışını kaynakları (AXP)*
- *Gama ışını tekrarlayıcıları (SGR)*
- *Sönük X-ışını Kaynakları (XDIN)*
- *“Yüksek Manyetik Alanlı” Radyo Pulsarlar*
- *Dönen Geçici Radyo Kaynakları (RRAT)*
- *Merkezi Yoğun Cisimler (CCO)*

# *Anormal X-ışını kaynakları (AXP) ve Gama ışını tekrarlayıcıları (SGR)*

$$L_x = 10^{33} - 10^{36} \text{ erg } s^{-1} \text{ (dönme güçlerinin çok üstünde)}$$

$$P = 2 - 12 \text{ s}$$

$$\dot{P} = 10^{-13} - 10^{-11} \text{ s } s^{-1}$$

- *X ışını ışıma güçleri dönme güçlerinin çok üzerinde.*
- *Kısa, Eddington üstü yumuşak gama ışını parlamaları.*
- *XDIN' kaynakları da aynı periyot kümelenmesini gösteriyor.*
- *Optik ve kızılötesi ışımaları*

- *Boşlukta dönen bir nötron yıldızı manyetik dipol torkuyla yavaşlar:*

$$\dot{E} = I \Omega \dot{\Omega} \propto B^2 R^6 \Omega^4$$

$$\Gamma = I \dot{\Omega} \propto B^2 R^6 \Omega^3$$

$$B \propto (P \dot{P})^{1/2}$$

$$B > 10^{14} \text{ G}$$

- *Yıldızın etrafında bir yayılma diski varsa, dipol torku varsayımıyla bulunan dipol alanları yanlıttıcıdır!*

*Farklı genç nötron yıldızı sınıflarının özellikleri, yayılma diskleri (özellikleri, varlığı, yokluğu) manyetik alan büyüklüğü ve ilk dönme periyoduyla birlikte ilk koşullara dahil edilirse açıklanabilir (Alpar 2001).*

- *Hibrit bir model (Diskle çevrili  $B > 10^{14}$  G dipol alan ) kaynak özelliklerini açıklayamıyor!*

*Yayımla diski modelinde AXP/SGR'lerin:*

- *Optik ve kızılötesi özellikleri - AXP 4U0142+61,*
- *uzun süreli evrimleri*

*$10^{12}$  -  $10^{13}$  G dipol alanlarla açıklanabilir.*

*==> Gama ışını parlamaları için gerekli olan magnetar alanlar dipol bileşende olmak zorunda değil.*

*(Ertan et al. 2007;2009, Alpar et al. 2011).*

# *Yayılma diskiyle evrimleşen bir nötron yıldızı (Model özeti)*

- *Disk viskoz torklarla evrimleşir.*
- *X-ışını ısıtması diskin ve yıldızın evriminde önemli rol oynar.*
- *İç disk yarıçapı dipol manyetik alan büyüklüğü ve kütle aktarım oranıyla belirlenir.*
- *İç disk ışık silindiri içine sızabilirse, diskten yıldız yüzeyine kütle aktarımı mümkün.*

# *Yayılma diskiyle evrimleşen bir nötron yıldızı (Model özeti)*

- *Yıldıza kütle aktarımı (devam ettiği sürece) baskın X-ışını kaynağıdır ( $L_x = G M \dot{M} / R$ ).*
- *Kütle aktarımı mümkün olmadığında, X-ışını ışıması yıldızın iç soğumasıyla üretilir.*
- ***Dış disk yarıçapı**, diskin pasif hale geldiği kritik sıcaklıkla belirlenir ( $T_p \sim 50 - 200 \text{ K}$ )  
(Ertan, Eksi, Erkut & Alpar, 2009) .*
- *Konvensiyonel dipol alanlar için ( $\sim 10^{12} - 10^{13} \text{ G}$ ), disk torku dipol torkuna baskındır.*



# MODEL

*Disk difüzyon denklemini  $\alpha$  viskozitesi (Shakura ve Sunyaev 1973) kullanarak çözüyoruz.*

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} = \frac{3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^{1/2} \frac{\partial}{\partial r} (\nu \Sigma r^{1/2}) \right]$$

$$\nu = \alpha c_s h$$

*Sound speed*      *Disk thickness*

*Tork:*

$$N = \frac{\gamma_\phi}{3} \dot{M}_i \sqrt{GM r_i} (1 - \omega^p), \quad p \simeq 2$$

(Ertan & Erkut 2008)

*İç disk yarıçapı*

$$r_i < r_{lc}, \quad \Rightarrow \quad r_i = r_A \quad r_{lc} = c/\Omega$$

$$r_i > r_{lc} \quad \Rightarrow \quad r_i = r_{lc}$$

$$r_A = \dot{M}^{-2/7} (GM)^{-1/7} \mu^{4/7} \quad (\text{Alfven yarıçapı})$$

$$\omega = \Omega/\Omega_i = (r_i/r_{co})^{3/2} \quad (\text{hızlılık parametresi})$$

*Yıldıza etkiyen disk torku :*

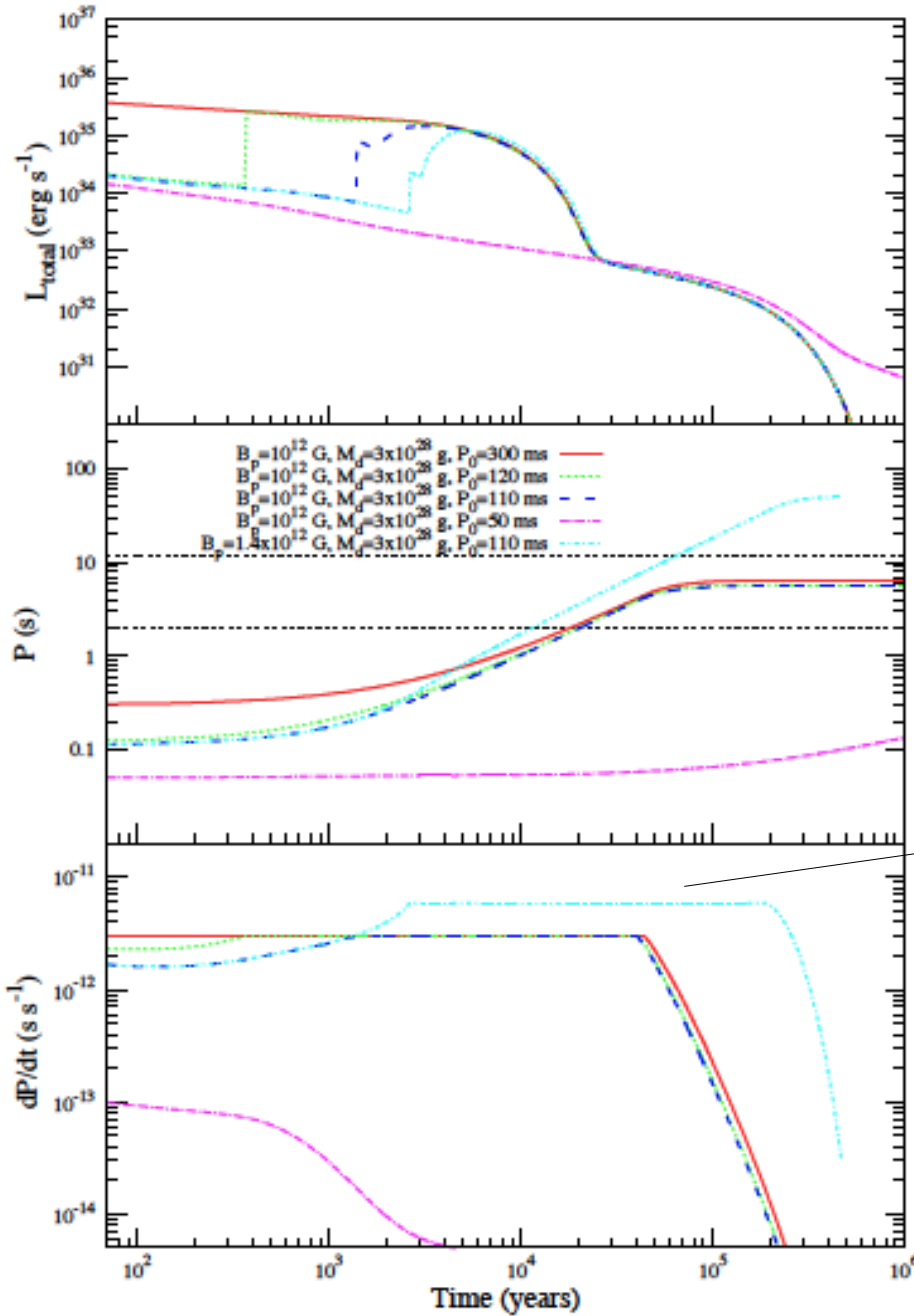
$$N \simeq 2\pi^2 (GM)^{-1/2} \dot{M}_i r_i^{7/2} P^{-2}$$

*Kütle aktarımı fazında ( $r_i < r_{lc}$ )*

$$\dot{P} \propto B^{7/2}$$

*Kütle aktarımı olmadığında ( $r_i = r_{lc}$ )*

$$\dot{P} \propto \dot{M}_i P^{7/2}, \quad \dot{M} = 0$$



*Örnek model eğrileri*

*Sabit periyot türevi dönemleri kütle aktarım fazına denk gelmektedir.*

## ***ÖNEMLİ MODEL PARAMETRELERİ:***

- $T_p$  ve  $C$  (ısıtma verimliliği) dejenere,  
fakat  $1 \times 10^{-4} < C < 7 \times 10^{-4}$  (Ertan & Çalışkan 2006)
- $M_0$ : İlk disk kütlesi.
- $P_0$ : Yıldızın başlangıç dönme periyodu.
- $B_0$ : Manyetik dipol alan büyüklüğü.

**SGR 0418+5729 : “Düşük manyetik alanlı bir magnetar!!”**

$$P = 9.1 \text{ s}$$

$$\dot{P} \simeq 4 \times 10^{-15} \text{ s s}^{-1} \quad (\text{Rea et al. 2010})$$

- *Bu kaynakta boşlukta dönüyorsa:*

$$B \simeq 6 \times 10^{12} \text{ G}$$

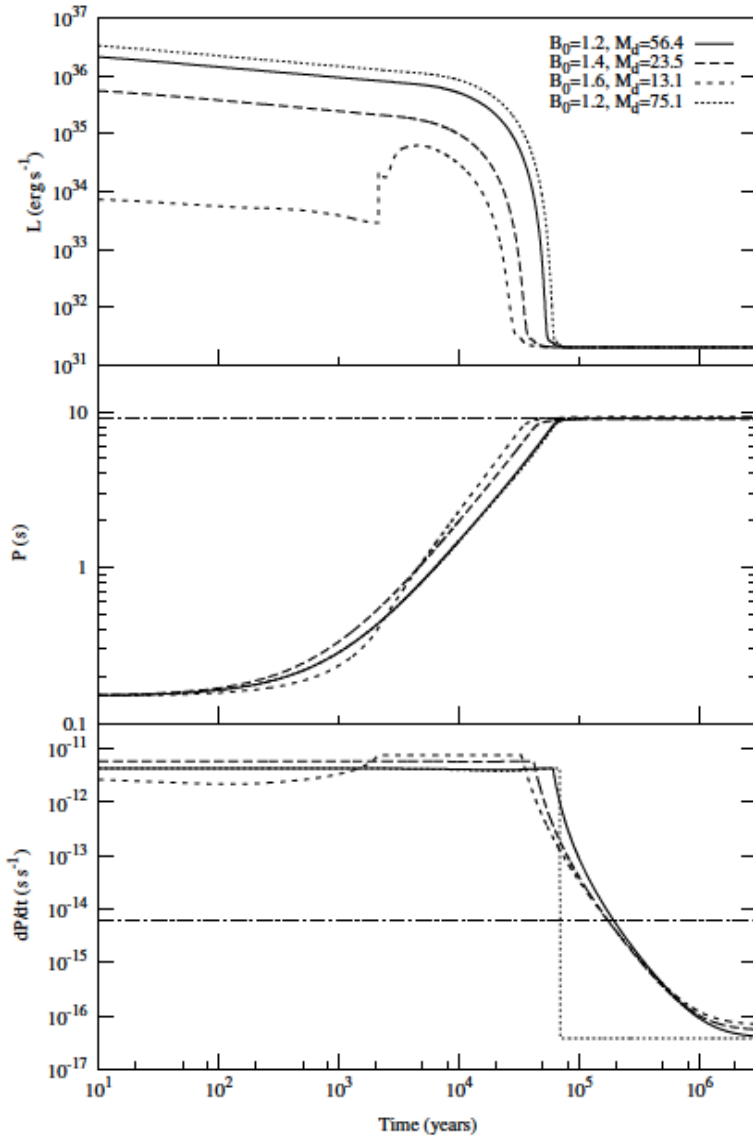
- *Karakteristik yaş:*

$$\tau \simeq 3 \times 10^7 \text{ yr}$$

- *Fakat, soğuma zaman ölçeği:  $\sim 10^6 \text{ yr}$*

## SGR 0418+572

- $B_0 : 1 - 2 \times 10^{12} \text{ G}$
- $Yaş : \sim 3 \times 10^5 \text{ yr}$
- *Radyo pulsar özelliği gösteremez !*
- $P_0 > 70 \text{ ms}$



*Dipol tork modelinde kaynağın dipol alanı hızla küçülmeli !*

# *PSR J1734-3333*

*$P - \dot{P}$  diyagramında AXP/SGR bölgesine doğru evrimleşen “yüksek manyetik alanlı” bir radyo pulsar.*

$$P \simeq 1.17 \text{ s}$$

$$\dot{P} = 2.28 \times 10^{-12} \text{ s s}^{-1}, \quad n \simeq 0.9$$

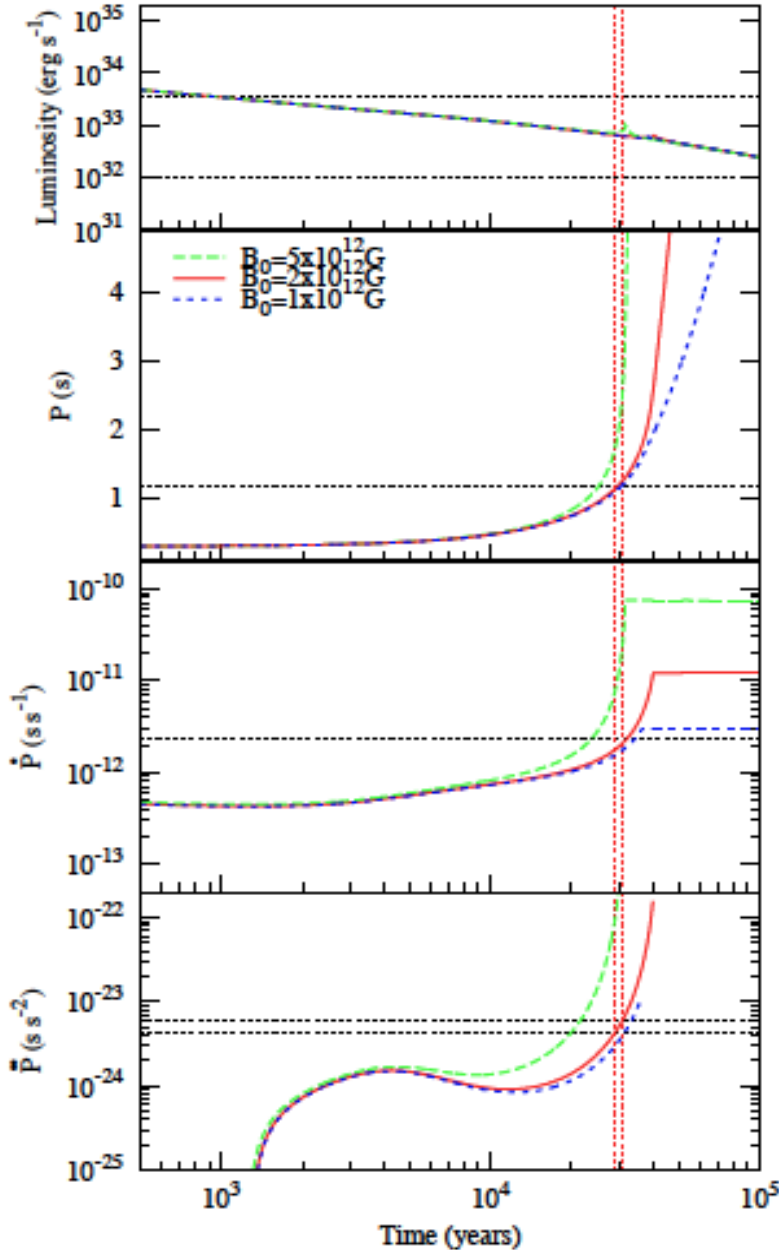
$$\ddot{P} = 5.0(8) \times 10^{-24} \text{ s s}^{-2} > 0, \quad (\text{Espinoza et al. 2011})$$

$$B \propto \sqrt{P \dot{P}}, \quad n=3 \text{ for a pure dipole field}$$

***Dipol tork modelinde kaynağın dipol alanı büyüyor olmalı !***

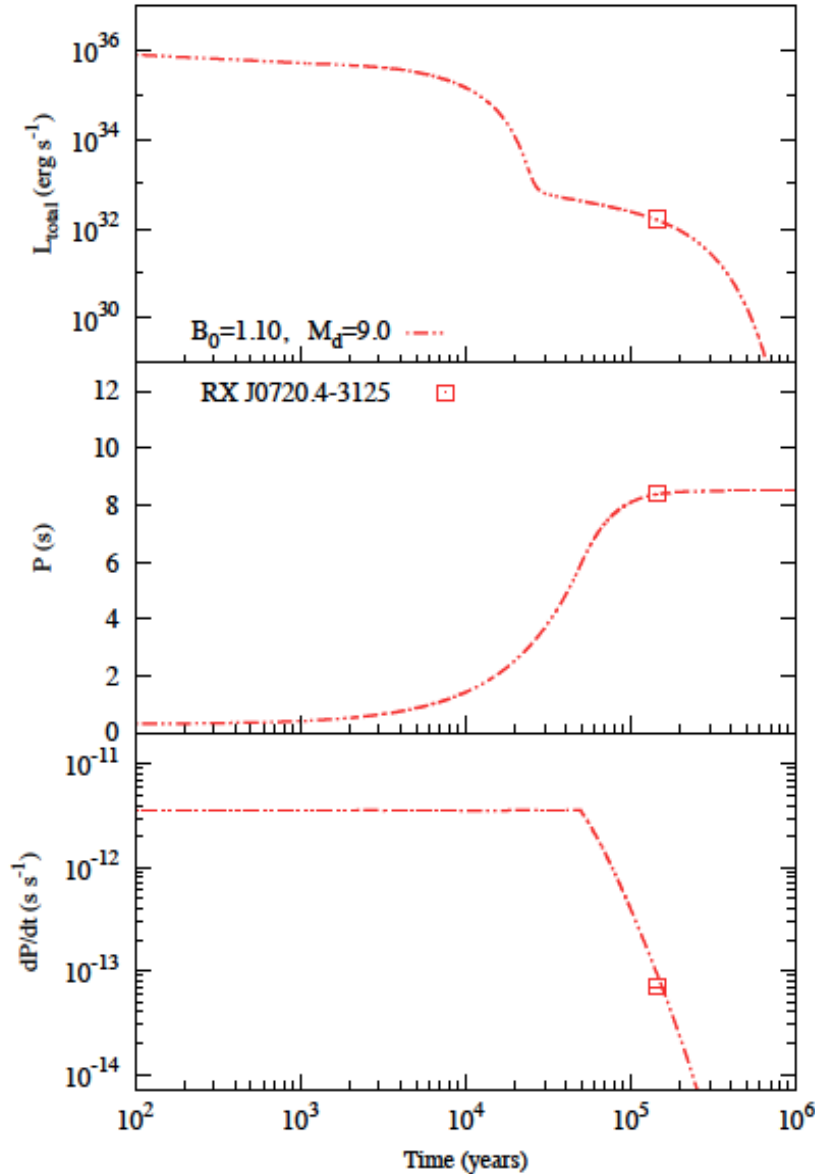


## *PSR J1734-3333*



Çalışkan et al. (2013)

- $B_0: 1 - 5 \times 10^{12} \text{ G}$
- Age:  $\sim 3 \times 10^4 \text{ y}$
- *Şu anda kütle aktarımı yapmıyor, henüz başlamamış.*
- *Bu nedenle, radio pulsar özelliği gösterebiliyor.*
- *Dipol tork modeline göre magnetar dipol alanı olmalı, ama magnetar ışınma gücü yok!*



*RX J0720.4-3125:*  
 Tipik bir sönük X-ışını  
 kaynağı (XDIN).

$$B_0: 1.1 - 1.3 \times 10^{12} \text{ G}$$

$$M_d: 0.8 - 12 \times 10^{-6} M_{\text{sun}}$$

$$T_p = 106 \text{ K}$$

$$C = 1 \times 10^{-4}$$

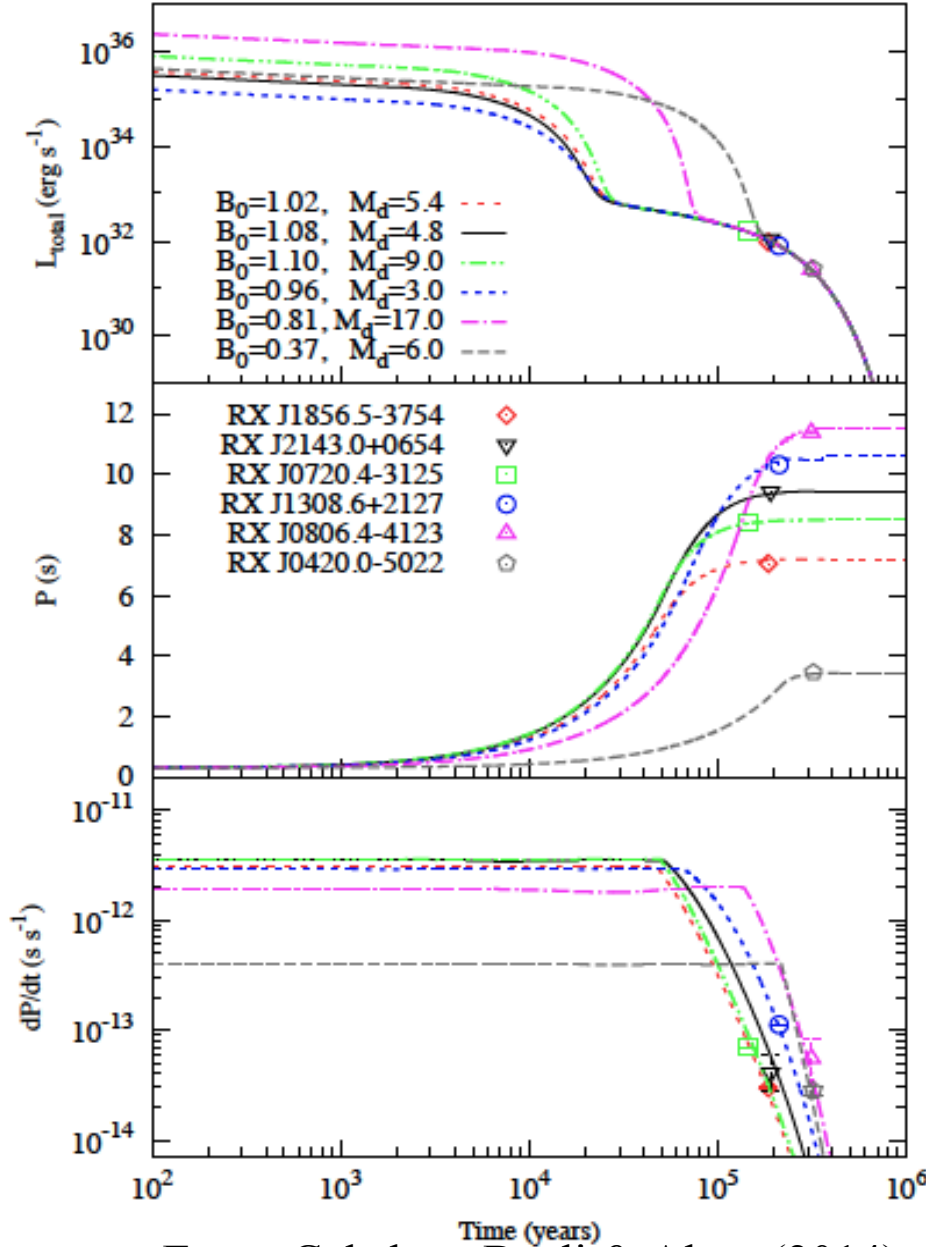
## Periyot ve periyot türevi bilinen 6 XDIN kaynağı.

Dipol tork modeli  $10^{13}$  -  $10^{14}$  G alanlar veriyor. Eğer bu kaynaklar boşlukta evrimleşiyorsa:

Neden radyo pulsar özellikleri yok?

SGR/AXP ve XDIN kaynaklarının periyotları neden 2-12 s aralığında kümeleniyor?

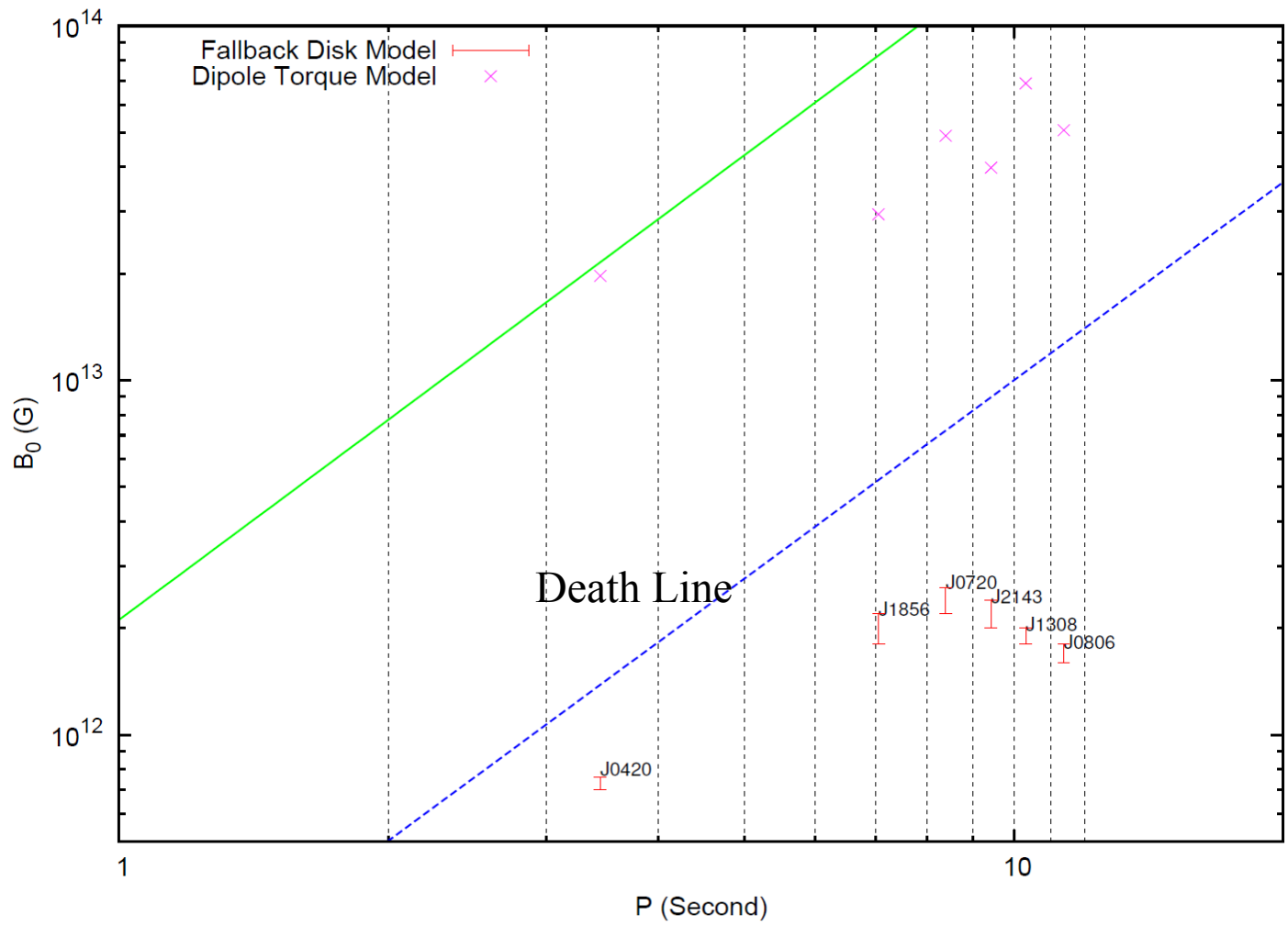
5 XDIN kaynağı için  $P > 7$  s, ve bütün XDIN'ler 400 pc içinde. Periyodu 7s'den daha büyük olan tek rado pulsar var ( $P = 7.7$  s).



*6 XDIN için uzun dönemli evrimi açıklayabilen model parametreleri*

	$B_0$ ( $10^{12}$ G)	$M_{disk}$ ( $10^{-6} M_{\odot}$ )	$T_p$ (K)	C ( $10^{-4}$ )	age ( $10^5$ y)
RX J0720.4-3125	1.1 - 1.3	0.8 - 12	106	1	1.45
RX J1856.5-3754	0.9 - 1.1	0.8 - 18	100	1	1.85
RX J2143.0+0654	1.0 - 1.2	1.0 - 12	100	1	1.9
RX J1308.6+2127	0.9 - 1.0	0.6 - 18	100	1.5	2.1
RX J0806.4-4123	0.8 - 0.9	0.5 - 18	100	2.3	3.1
RX J0420.0-5022	0.35 - 0.38	4.8 - 18	82	7	3.2

*Bulunan manyetik alan değerleriyle, 6 XDIN kaynağı pulsar ölüm çizgisi altında kalıyor!*



# SONUÇLAR

- (1) Yayılma diski modeli çerçevesinde, “düşük-B magnetarlar” ve “yüksek-B radio pulsarlar” ekstrem kaynaklar değil.
- (2) Bu kaynakların evrimleri normal AXP/SGR'ler için kullanılan temel disk parametreleri ve konvansiyonel alanlarla açıklanabilir.
- (3) XDIN'lerin ışınma gücü ve dönme özellikleri de benzer dipol alanlarla ( $B \sim 4.0 \times 10^{11} - 1.5 \times 10^{12} \text{ G}$ ) aynı temel disk parametreleriyle açıklanabilir.
- (4) Bütün bu sistemlerin gözlenen radyo özellikleri de model sonuçlarıyla tutarlı.

*Teşekkürler*