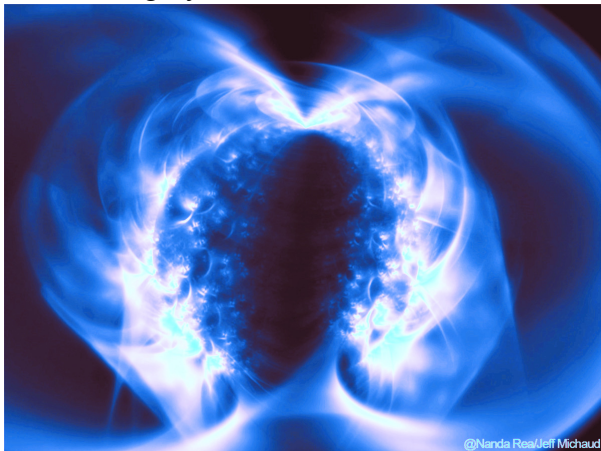


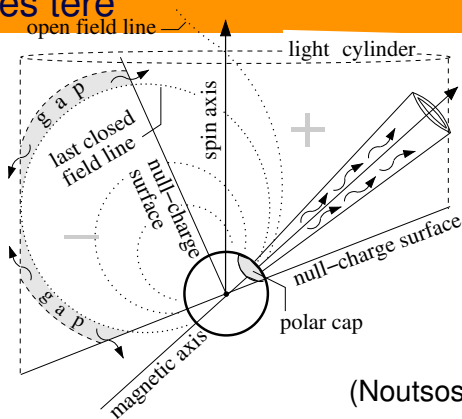
Magnetárok és pulzárok

Bagoly Zsolt, NKE HHK TTT



A matematika és a fizika időszerű kérdései, 2023. augusztus 25.

Pulzárok mágneses tere



(Noutsos et al., 2006)

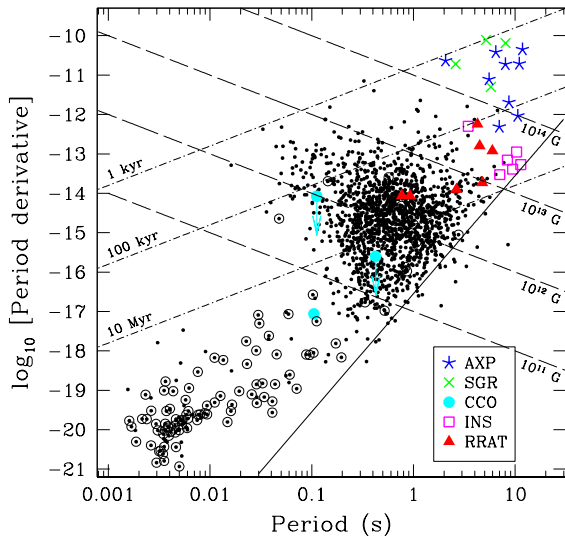
Dipól tér közelítés

$$B_d = \left(\frac{3lc^3 dP/dt}{2\pi^2 R^6} \right)^{1/2} \simeq 2 \times 10^{12} \text{G} (P dP/dt_{15})^{1/2}$$

$$dP/dt_{15} \equiv dP/dt / (10^{-15} \text{s s}^{-1})$$

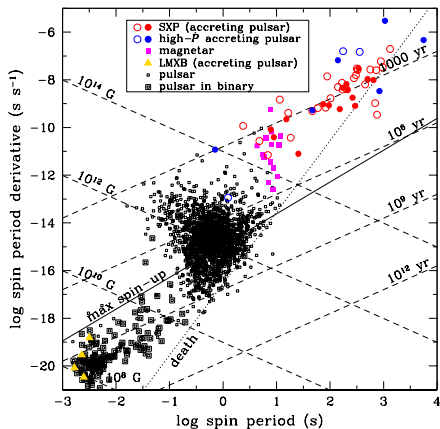
Mágneses tér QED határa: $B_{\text{QED}} = m_e^2 c^3 / e \hbar = 4.414 \times 10^{13} \text{G}$

Pulzások $dP/dt - P$ eloszlása

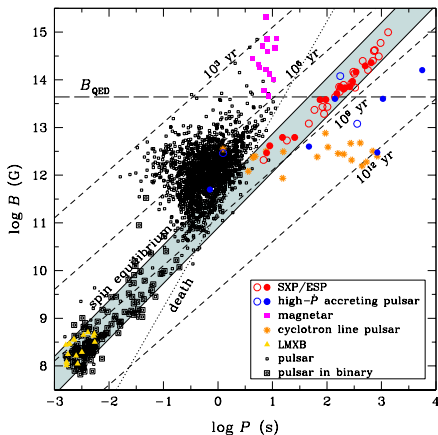


(Kaspi, 2010)

Pulzár csoportok

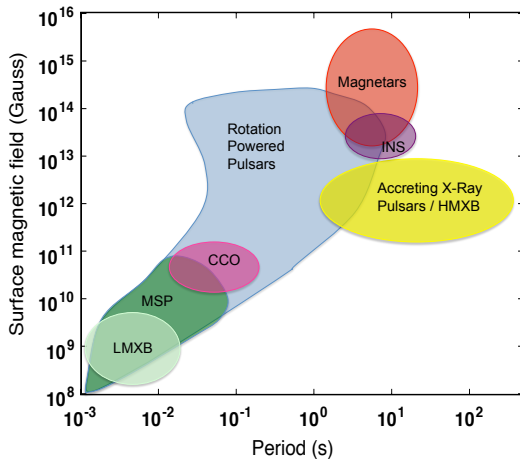


$dP/dt - P$ és $B - P$ eloszlása



(Ho et al. 2013).

Pulzások csoportosítása



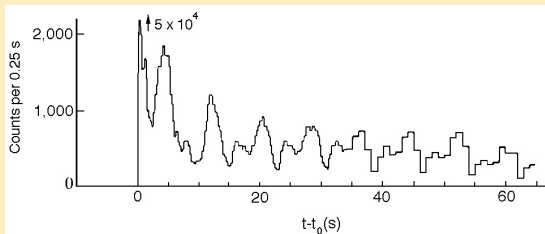
Harding et al., 2013

Lágy gamma ismétlő források (SGR)

SGR 1806-20

Első forrás (1979.01.07, Venera) (Mazets & Golenetskii, 1981) - GRB-nek hitték.

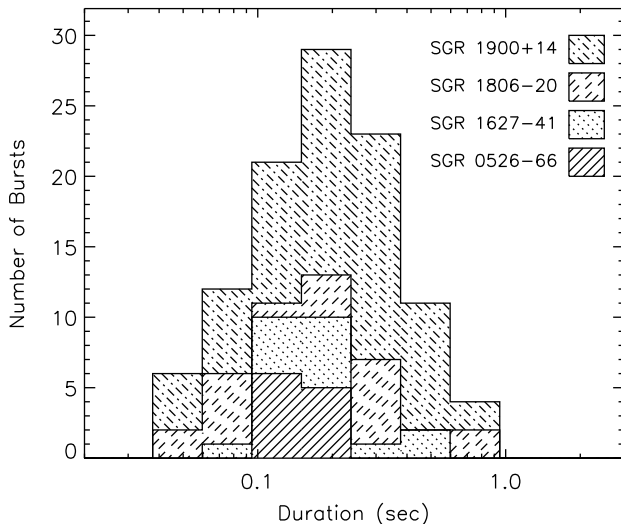
SGR 0526-66



1979.03.05. esemény (Mazets et al., 1979) a N49 szupernóva maradványból. 8 s periodicitás, 10^{45} erg s⁻¹ csúcs. Szuper-Eddington sugárzás!

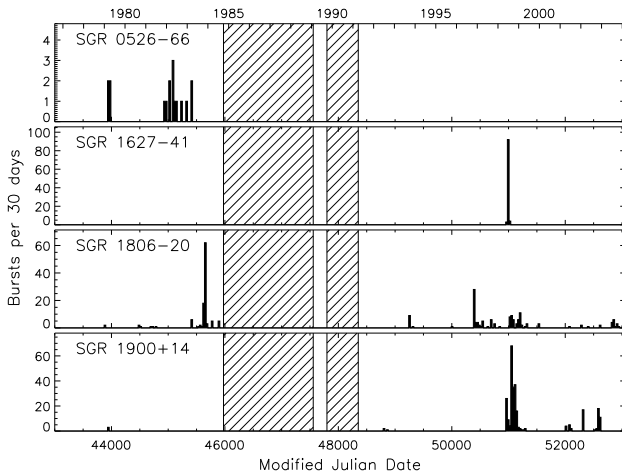
További események, csendes röntgen sugárzás detektálása.

Konus lágú gamma ismétlők hosszúságának eloszlása



Aptekar et al., (2001)

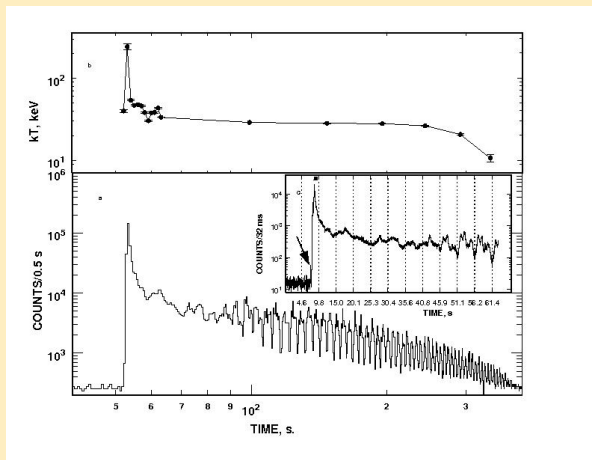
Lágy gamma ismétlő források története



Woods & Thompson, (2004)

Lágy gamma ismétlő források

SGR 1900+14 (Ulysses)

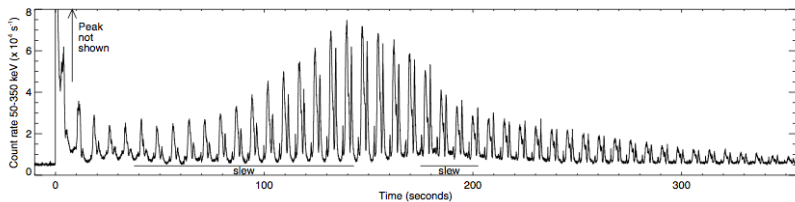


1998.08.27.

(Hurley et al., 1999)

SGR 1806-20 7.5 s pulzáció detektálása (Kouveliotou, 1998).

Swift SGR 1806-20 kitörés



(Palmer et al., 2005)

Anomális röntgen-pulzárak (AXP)

1E 2259+586

1981-ben a SNR CTB 109 közepén detektálták (Fahlman & Gregory, 1981).

Röntgen luminozitása túlságosan nagy volt!

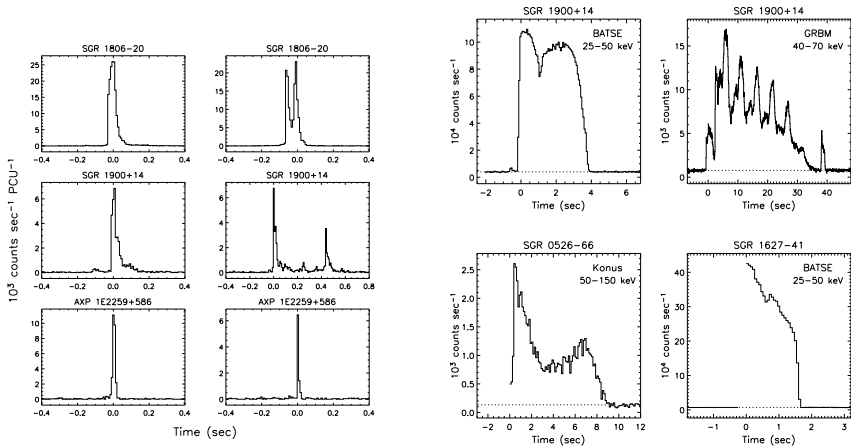
További felfedezések (1E 2259+586, 1E 1048.1–5937, 4U 0142+61, 1RXS J170849.0–400910...).

Lágy spektrum, 5–9 s periódus, fényességük $\sim 10^{35} - 10^{36}$ ergs s^{-1} .

Optikai és infravörös detektálás (Hulleman et al., 2000).

Számos (>80) röntgen kitörést detektáltak az 1E 2259+586-ból (pl. Kaspi et al., 2003).

RXTE PCA magnetár kitörések



Morfológia: ha láttál egy kitörést, akkor - láttál egy kitörést!

Ismert magnetárok (Kaspi, 2015)

Name ^b	P (s)	B^c (10^{14} G)	Age ^d (kyr)	\dot{E}^e 10^{33} erg s ⁻¹	D^f (kpc)	L_x^g 10^{33} erg s ⁻¹	Band ^h
CXOU J010043.1-721134	8.02	3.9	6.8	1.4	62.4	65	-
4U 0142+61	8.69	1.3	68	0.12	3.6	105	OIR/H
SGR 0418+5729	9.08	0.06	36,000	0.00021	~2	0.00096	-
SGR 0501+4516	5.76	1.9	15	1.2	~2	0.81	OIR/H
SGR 0526-66	8.05	5.6	3.4	2.9	53.6	189	-
1E 1048.1-5937	6.46	3.9	4.5	3.3	9.0	49	OIR
(PSR J 1119-6127)	0.41	4.1	1.6	2,300	8.4	0.2	R/H
1E 1547.0-5408	2.07	3.2	0.69	210	4.5	1.3	O?/R/H
PSR J1622-4950	4.33	2.7	4.0	8.3	-9	0.4	R
SGR 1627-41	2.59	2.2	2.2	43	11	3.6	-
CXOU J164710.2-455216	10.6	<0.66	>420	<0.013	3.9	0.45	-
1RXS J170849.0-400910	11.01	4.7	9.0	0.58	3.8	42	O?/H
CXOU J171405.7-381031	3.82	5.0	0.95	45	~13	56	-
SGR J1745-2900	3.76	2.3	4.3	10	8.3	<0.11	R/H
SGR 1806-20	7.55	20	0.24	45	8.7	163	OIR/H
XTE J1810-197	5.54	2.1	11	1.8	3.5	0.043	OIR/R
Swift J1822.3-1606	8.44	0.14	6,300	0.0014	1.6	>0.0004	-
SGR 1833-0832	7.56	1.6	34	0.32	-	-	-
Swift J1834.9-0846	2.48	1.4	4.9	21	4.2	<0.0084	-
1E 1841-045	11.79	7.0	4.6	0.99	8.5	184	-
(PSR J1846-0258)	0.327	0.49	0.73	8100	6.0	19	-
3XMM J185246.6+003317	11.56	<0.41	>1,300	<0.0036	~7	<0.006	-
SGR 1900+14	5.20	7.0	0.9	26	12.5	90	H
SGR 1935+2154	3.24	2.2	3.6	17	-	-	-
1E 2259+586	6.98	0.59	230	0.056	3.2	17	OIR/H
SGR 0755-2933	-	-	-	-	-	-	-
SGR 1801-23	-	-	-	-	-	-	-
SGR 1808-20	-	-	-	-	-	-	-
AX J 1818.8-1559	-	-	-	-	-	-	-
AX J 1845.0-0258	6.97	-	-	-	-	2.9	-
SGR 2013+34	-	-	-	-	-	-	-

Magnetár modell

Lágy gamma ismétlők és anomális röntgen-pulzárók

Nincs kísérő.

Gyengén ingadozó állandó (csendes) röntgensugárzás.

Hosszú, $\sim 2\text{--}12$ s periódus.

Nagy lassulási ráta: $dP/dt \sim 10^{-13} - 10^{-11}$ s/s, $B \sim 10^{14}\text{--}10^{15}$ G.

Kitörés típusok

Rövid: $\sim 0.1\text{--}1$ s hosszú, lágy (~ 10 keV) termális spektrum,
 $\sim 10^{39}\text{--}10^{41}$ erg/s energiával.

Közepes: $\sim 1\text{--}40$ s hosszú, általában termális spektrum,
 $\sim 10^{41}\text{--}10^{43}$ erg/s energiával.

Óriás flerek: $\sim 0.1\text{--}0.2$ s kezdeti csúcs, többszáz s-os hosszú pulzáló
emisszió, $\sim 10^{44}\text{--}10^{47}$ erg/s energiával. 3 esemény a lágy gamma
ismétlőkből.

Magnetár modell

Nagy mágneses tereket detektáltak: $\approx 10^{14} - 10^{15}$ G

Néhány ezer év alatt ≈ 10 s-ra lassulhat a neutroncsillag.

A szuper-Eddington feletti fényességet a mágneses tér erős terében a plazma mágneses bezárása és az opacitás lecsökkenése is segíti.

Nincs kísérőcsillag.

$\approx 10^{16}$ G tér kell a becsülhető ≈ 100 óriás fler energiaellátásához.

Magnetárokat detektáltak az optikai, közeli infravörös, rádió és röntgen tartományban.

Nagy tömegű ($> 20 M_{\odot}$), magas fémtartalmú csillagok fiatal ($\sim 10^4$ év) maradványai.

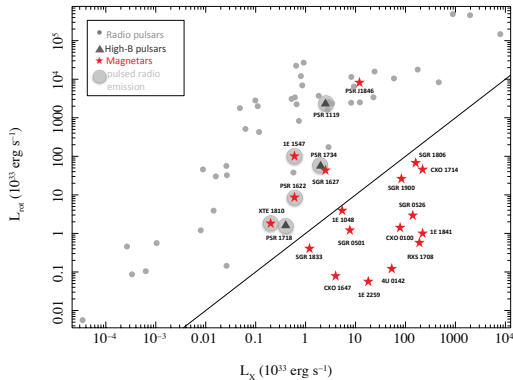
A mágneses teret vagy gyorsan forgó mag+dinamó effektus, vagy a szupernóva robbanás során a fluxusmegmaradás hozta létre.

Magnetár modell

Duncan & Thompson (1992-1995)

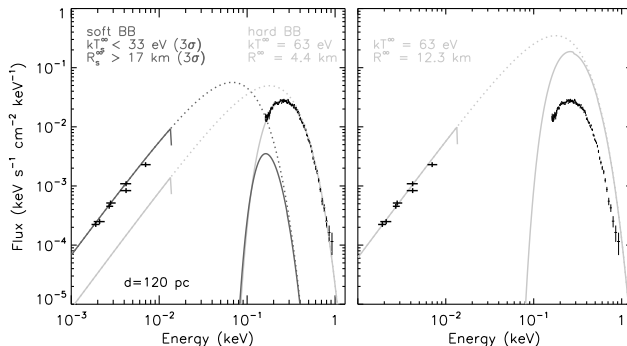
Az energiát nem a klasszikus pulzármechanizmus, hanem a $B \approx 10^{14} - 10^{15}$ mágneses tér biztosítja.

Az L_X nagyobb, mint amit a forgás biztosítani tud!



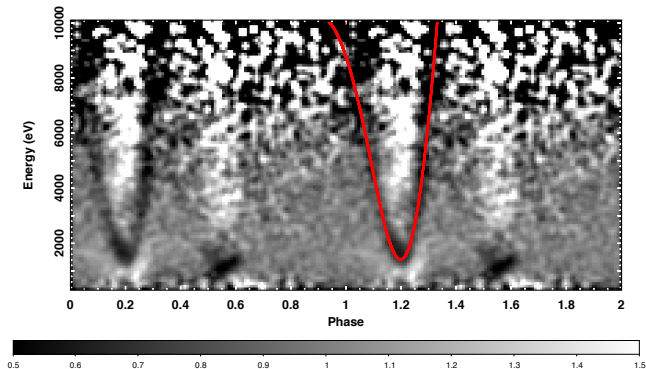
(Rea, 2012)

Magnetár spektrumok



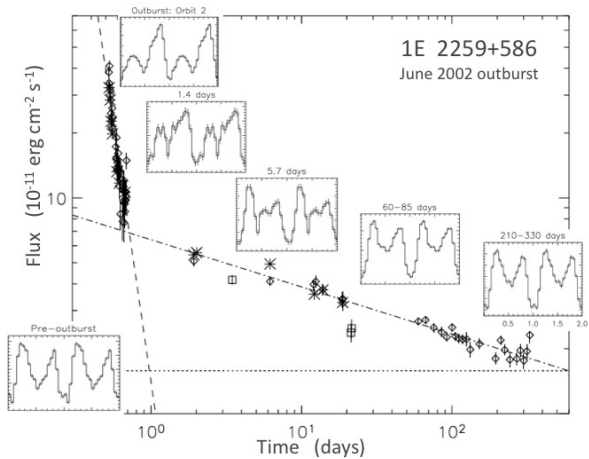
Kétkomponensű feketetest-sugárzás (Burwitz et al., 2002).
Csendes állapot és a kitörés különbözik!

SGR 0418+5729 EPIC megfigyelése



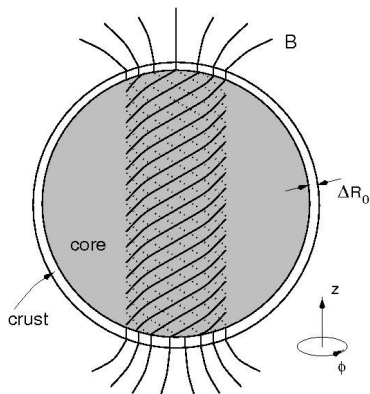
A ciklotron plazma hurok + forró folt modell jól magyarázza az emissziót (Tinego et al., 2013)

Két komponens a kitörés során



(RXTE, Woo et al., 2004)

Magnetárok mágneses tere



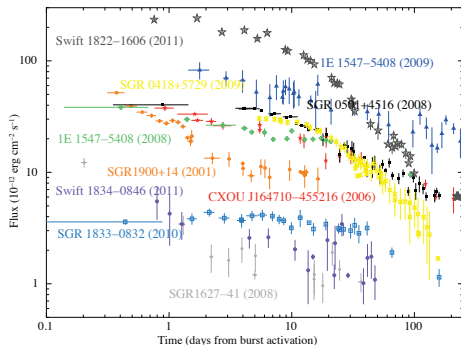
(Thomson & Duncan, 2001)

A mag a vezetőképessége sokkal nagyobb, mint a kéregé.
A „klasszikus” pulzárokkal ellentétben a magnetárok 10^{15} G mágneses tere meghaladhatja a kéreg szilárdságát (Thomson & Duncan, 1995).

Magnetár emissziós modellek

NEM dipólus, polodiális és toroidális komponens egyaránt van! (GR számolások, pl. Braithwaite, 2009; Pili et al., 2015)

A toroidális tér az energia akár 90%-át is tartalmazhatja (Ciolfi, 2014)!
A mágneses tér mozgatja (forgatja) a kéreg egy darabját, kicsatolva a mágneses tér energiáját: tipikus időskála ≈ 1 év!

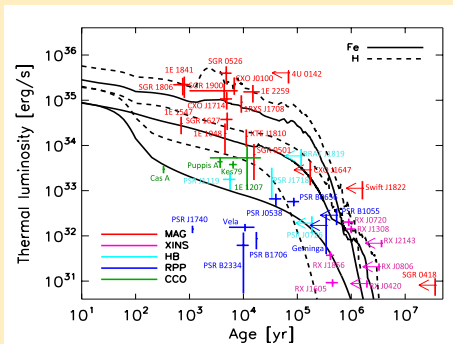


(Rea et al., 2012)

Magnetár kitörés emissziós modellek

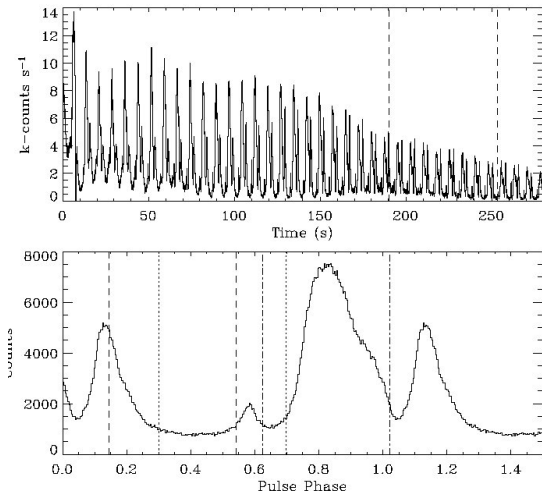
A triggermechanizmusra csak javaslatok vannak (mágneses tér rekonfigurálódás, szupravezetés elnyomása nagy lokális mágneses térnél a magban, kéreg törése, mágneses tér - mag kölcsönhatás)

Neutroncsillag hűlésének modellezése



(Vigano et al., 2013)

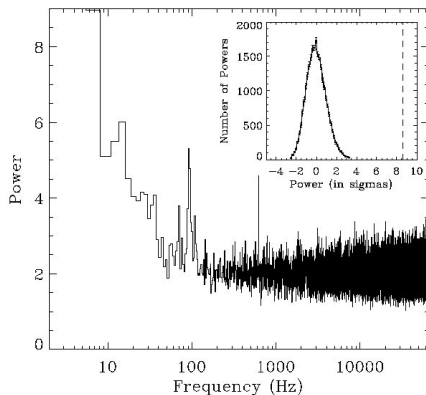
SGR 1806-20 RXTE észlelés



(Strohmayer & Watts, 2006)

SGR 1806-20 RXTE észlelés

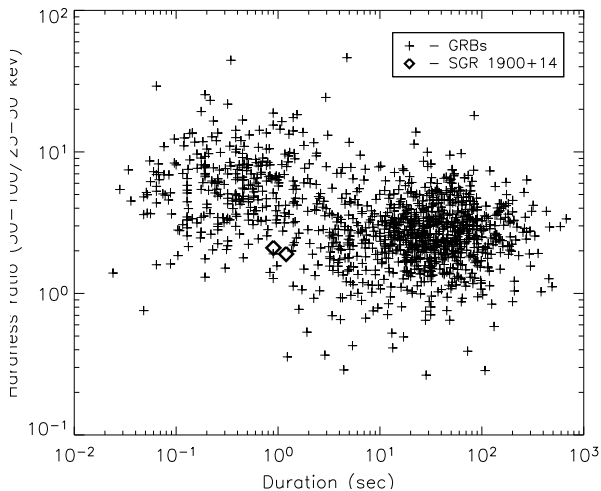
Kváziperiodikus oszcillációk: vonalak 92, 625 és 1840 Hz-en:



(Strohmayer & Watts, 2006)

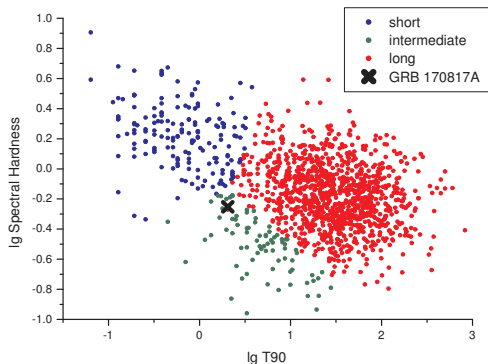
A szeizmikus rezgést jelezhetik - a frekvencia függ az állapotegyenlettől!

GRB és az SGR 1900+14 keménység-hosszúság eloszlása



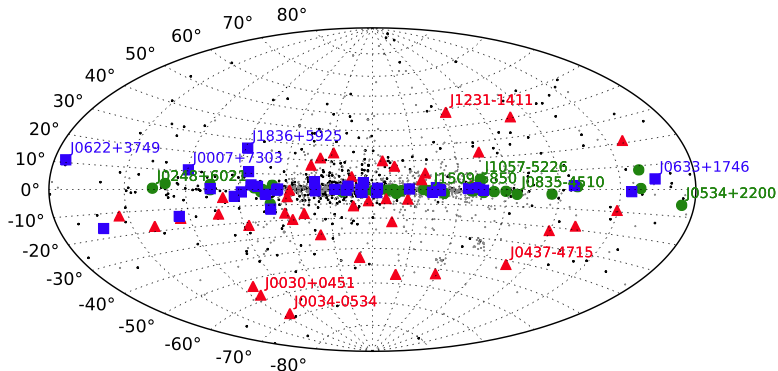
Woods & Thompson, (2004)

GRB csoportok és a GRB170817A/GW170817



3 GRB csoport detektálása több műhold (BATSE, Swift, Fermi) adataiban is (pl. Horvath et al., 2017)!
Ugyanazok az eszközök/detektorok!

A Fermi gamma-pulzárainak égi eloszlása

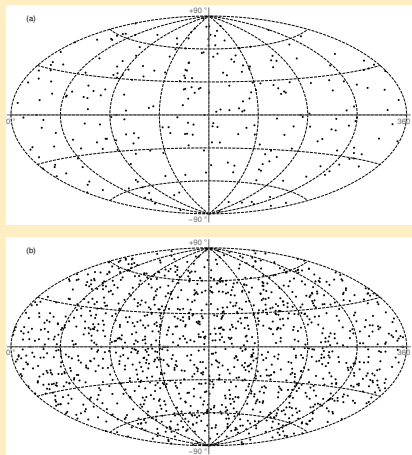


kék: rádiócsendes pulzárak

piros: ms pulzárak

zöld: rádiópulzárak.

A 278 rövid és 1387 hosszú Fermi GRB égi eloszlása.



(Tarnapolski, 2015)

A rövidek valószínűleg $< 5\%$ -a extragalaktikus SGR (csak néhány Mpc-ig észlelhetőek).

A BATSE adatok esetén csak kb. 10-20 esemény a „szennyezés”.

Multifraktál teszt

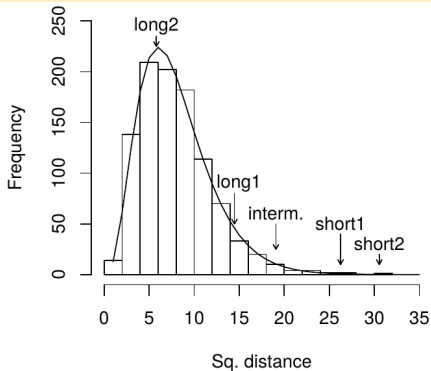


Figure 4. Distribution of the squared Euclidean distances of the simulated samples from the stochastic mean of the f_i hidden variables (factors) in the 8D parameter space. There are altogether 1000 simulated points. Full line marks a χ^2 distribution of 8 degree of freedom, normalized to the sample size. The distances of the BATSE samples are also indicated. The departures of samples "short1" and "short2" exceed all those of the simulated points. The probabilities, that these deviations are non-random, equal 99.9% and 99.98%, respectively.

(pl. Vavrek et al., 2008)