Галактические дискретные источники гамма-излучения.
I гамма-пульсары.

Пульсары

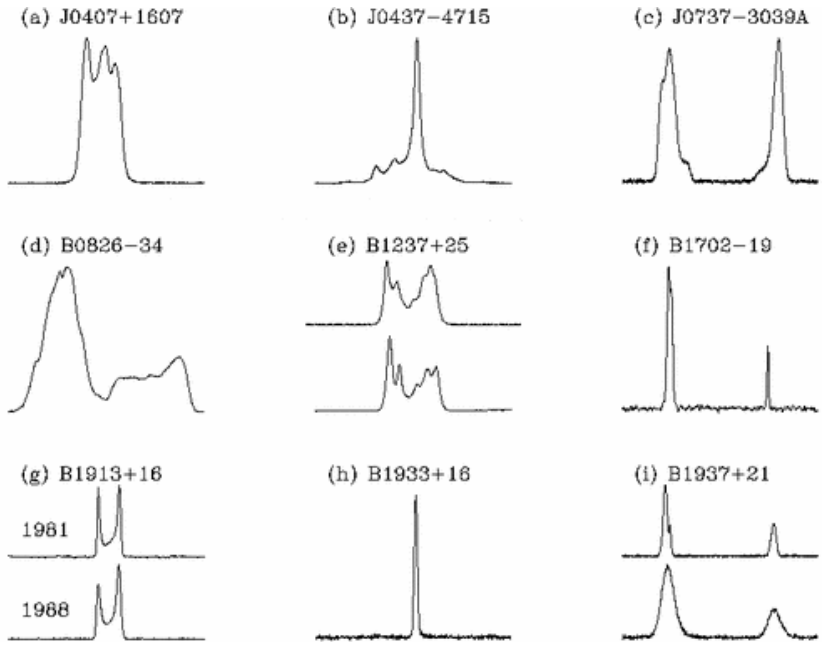
Открыты в 1967 г. в радиодиапазоне

P=1.377 с (на ν = 81.5 МГц)

1974 г. – Нобелевская премия (Хьюиш)

Пульсары – вращающиеся, сильнозамагниченные нейтронные звезды

>2000 известных радиопульсаров



Нейтронные звезды (НЗ)

$R \sim 10$ км

$M \sim 1.4\ M_{sun}$

$\rho_c \sim 10^{15}$ г/см^3

→ 1 чайная ложка вещества НЗ
имеет массу ~ 200 миллионов тонн

Периоды вращения: ~ 1 мс – ~ 10 с

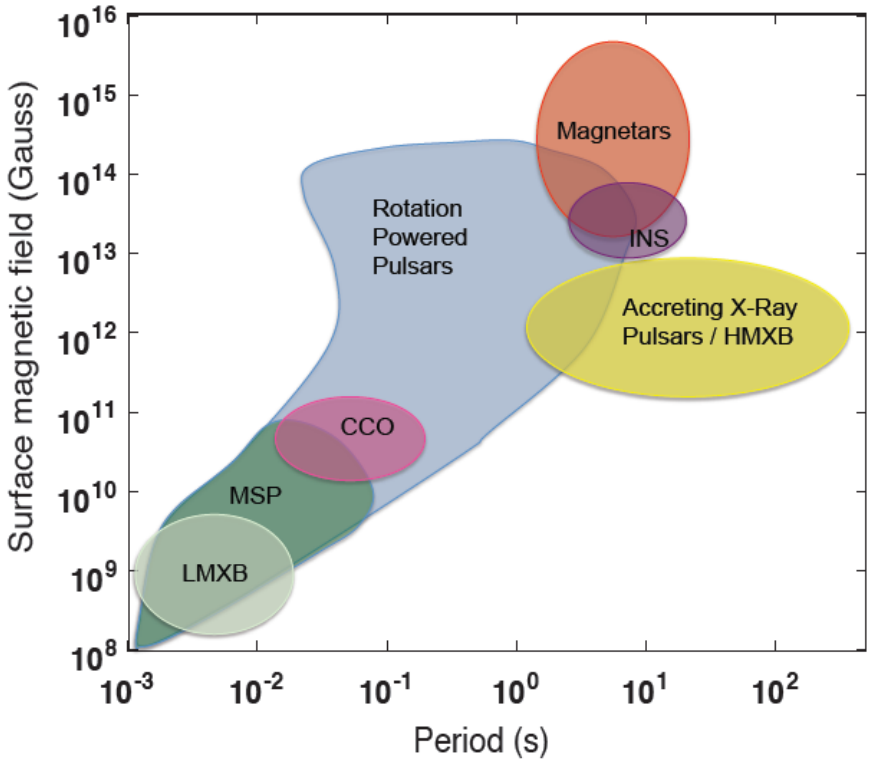
Магнитные поля: $B \sim 10^7 – 10^{15}$ Гс

~10^9 НЗ в Галактике

Типы нейтронных звезд

По основному источнику энергии:

- RPP (rotation powered pulsars)
- INS (isolated neutron stars) – тепловая энергия
- Magnetars – энергия магнитного поля
- Аккрецирующие нейтронные звезды - энергия выделяющаяся при аккреции



CCO – central compact objects
MSP – millisecond pulsars
LMXB/HMXB – low/high mass X-ray binaries

Потери энергии пульсаров

$$\dot{E}_d = \frac{4\pi^2 I \dot{P}}{P^3} = \frac{2B_0^2\Omega^4}{3R^6c^5} = 10^{31}\,\mathrm{erg\,s^{-1}}\,B_{12}^2\,P^{-4}$$

$$\Omega = 2\pi/P$$

$I\ (\simeq 10^{45}\ \mathrm{g\,cm^2})$

$R\ (\simeq 10^6\ \mathrm{cm})$

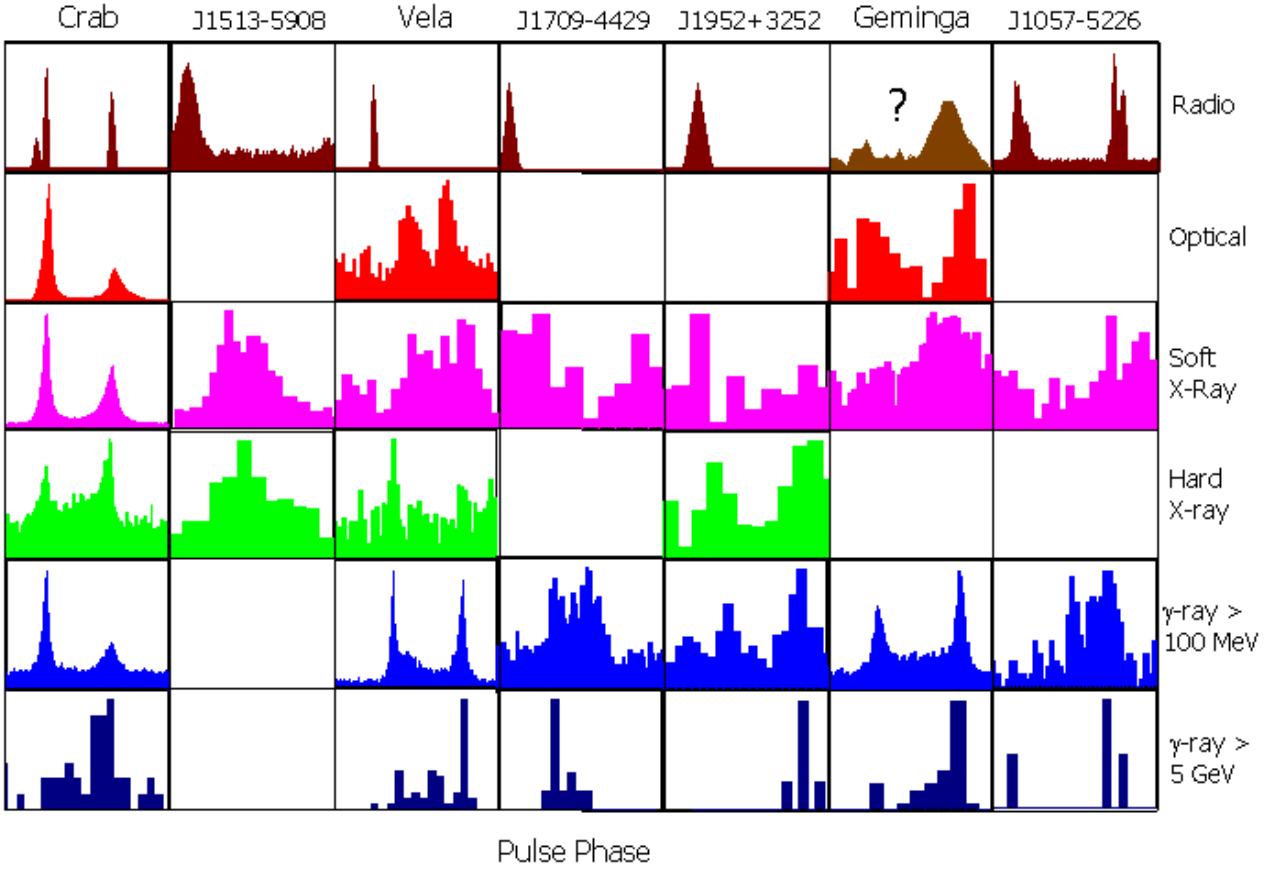
$$B_d = \left(\frac{3Ic^3P\dot{P}}{2\pi^2R^6}\right)^{1/2} \simeq 2\times10^{12}\mathrm{G}\,(P\dot{P}_{15})^{1/2}$$

$$\dot{P}_{15} \equiv \dot{P}/(10^{-15}\,\mathrm{s\,s^{-1}})$$

$$\tau = P/2\dot{P}$$

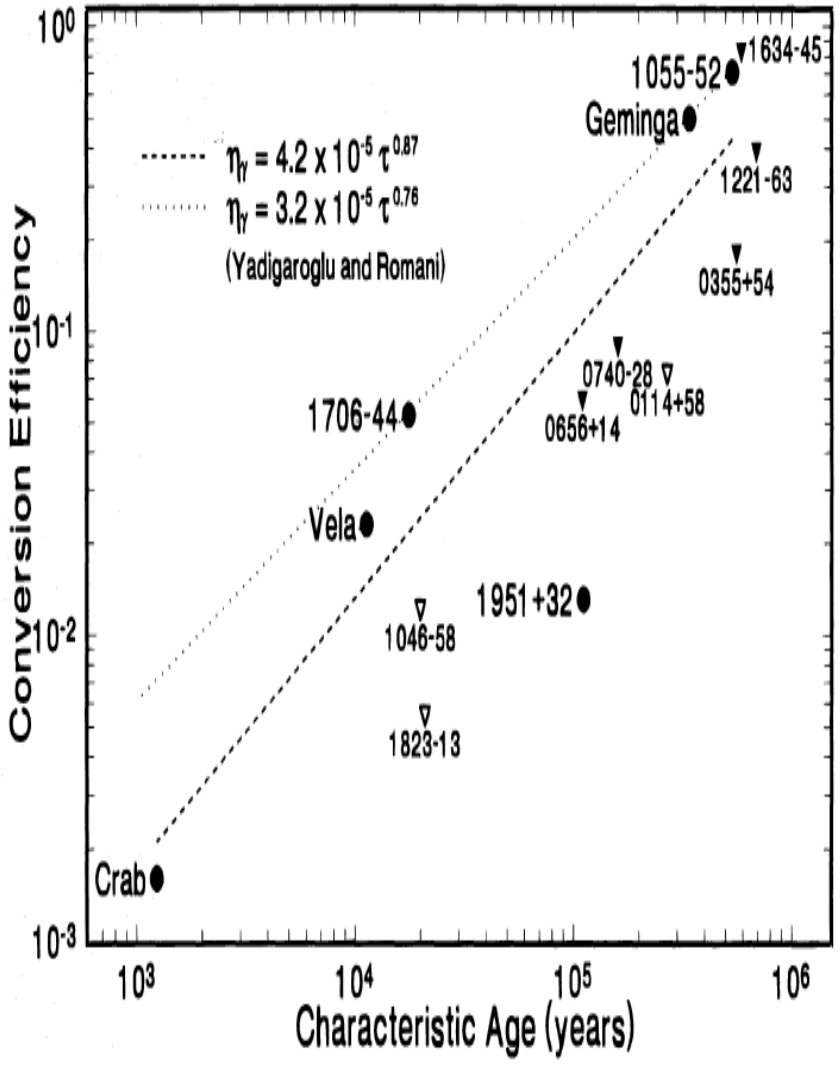
$(dE/dt)_{radio} <\sim 10^{-4}\ dE/dt$

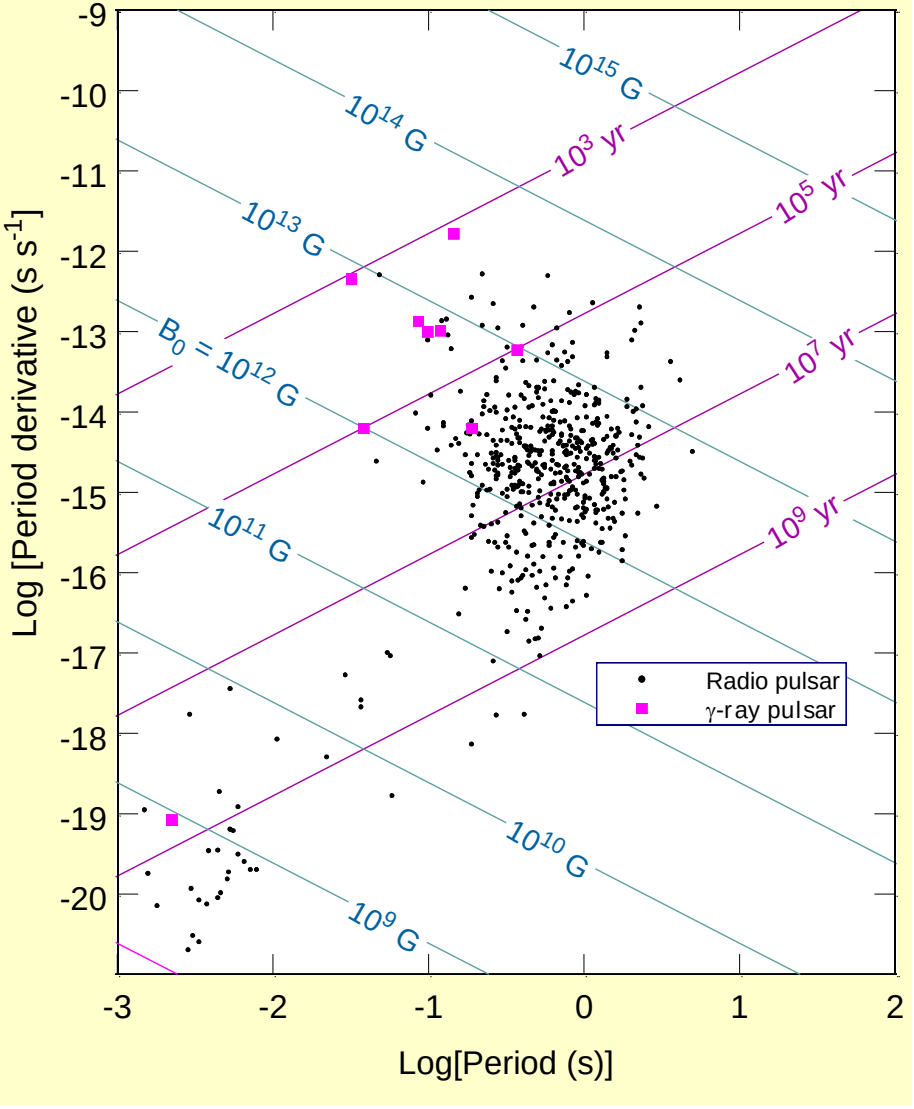
До Fermi – только 7 гамма-пульсаров (>100 МэВ) + неотождествленные источники на низких галактических широтах



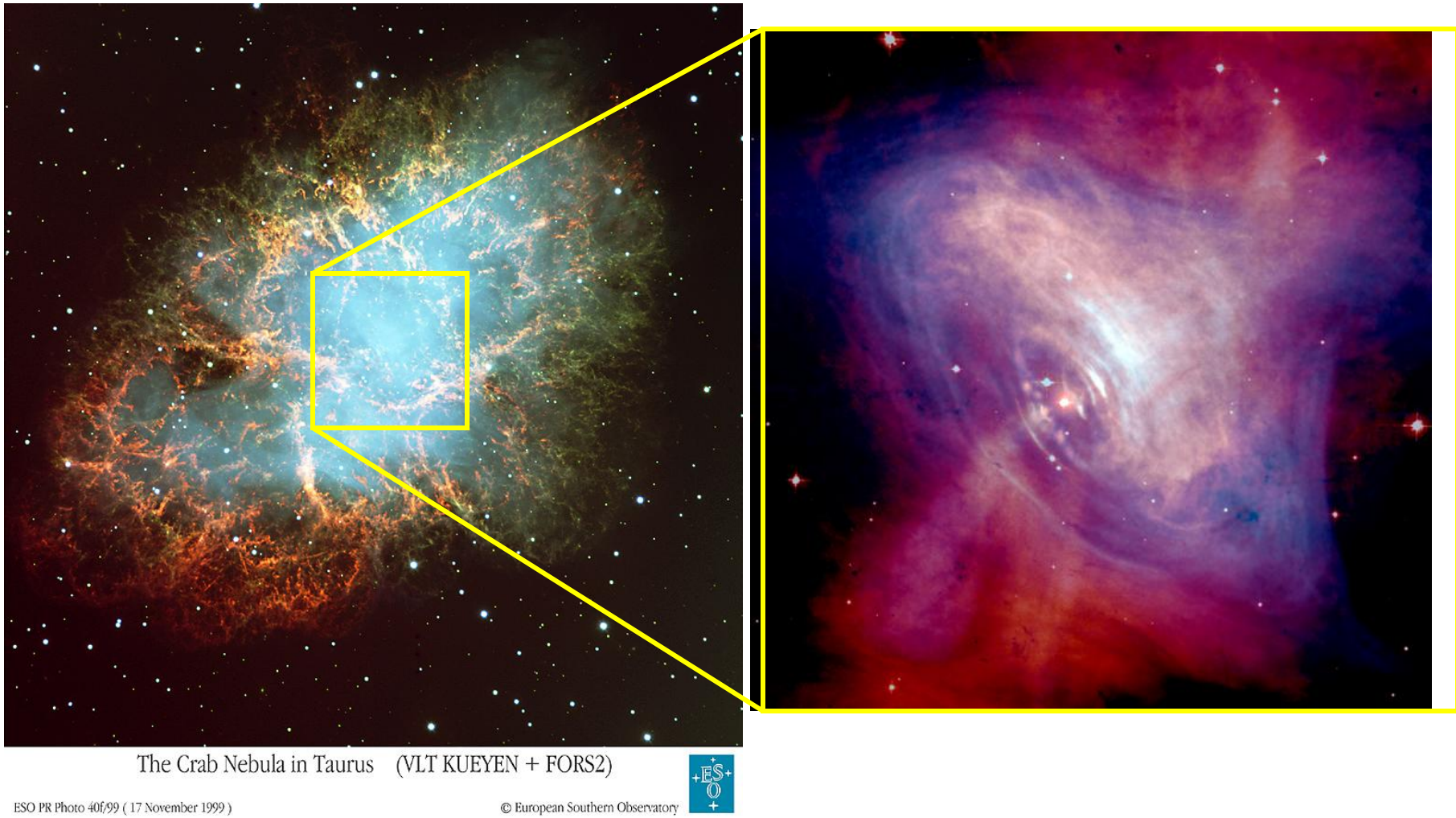
Crab, Vela, Geminga – открыты еще в 70х (SAS-2)

5 из 7 имеют самое большое $(dE/dt)/d^2$





Пульсар Краб (PSR B0531+21)



Остаток сверхновой 1054 года

P = 33 мс, $dP/dt = 4.2\times10^{-13}$ с/с B $=7.5\times10^{12}$ Гс $\tau=1.2\times10^{3}$ лет

$dE/dt = 6.4\times10^{38}$ эрг/с

Fermi-LAT: 117 гамма-пульсаров за 3 года (2008-2011 – 2-ой каталог)

Гамма-пульсары – основной класс галактических источников в области >100 МэВ

Три группы:

- Миллисекундные пульсары
- Молодые радио-громкие пульсары
- Молодые радио-тихие пульсары

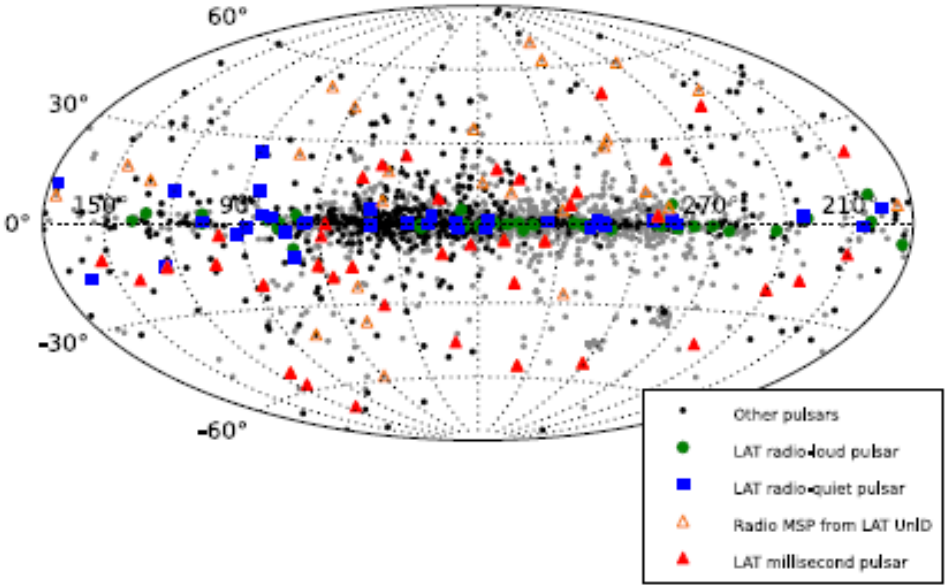
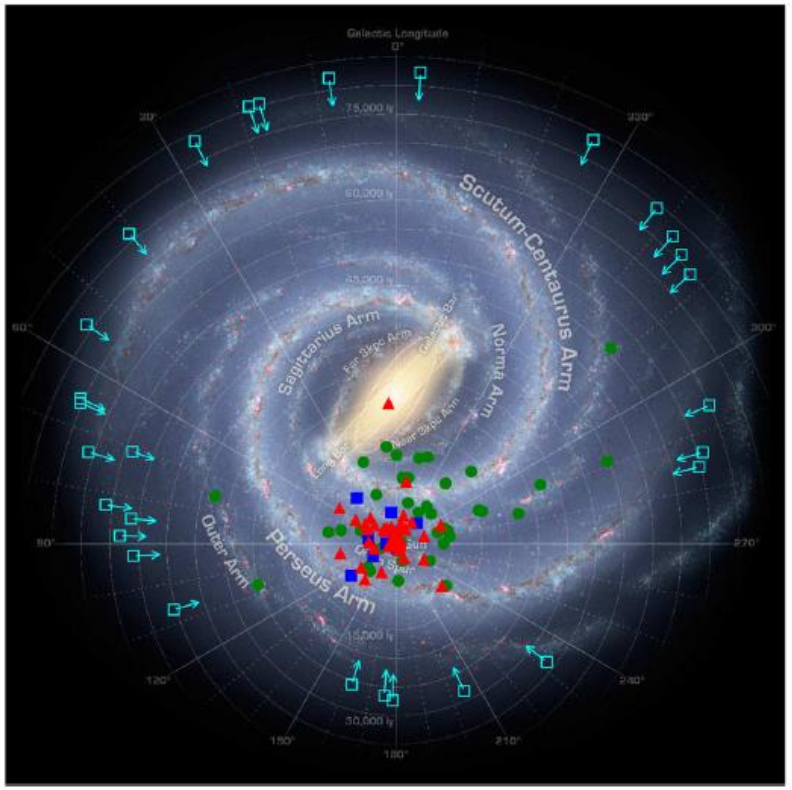
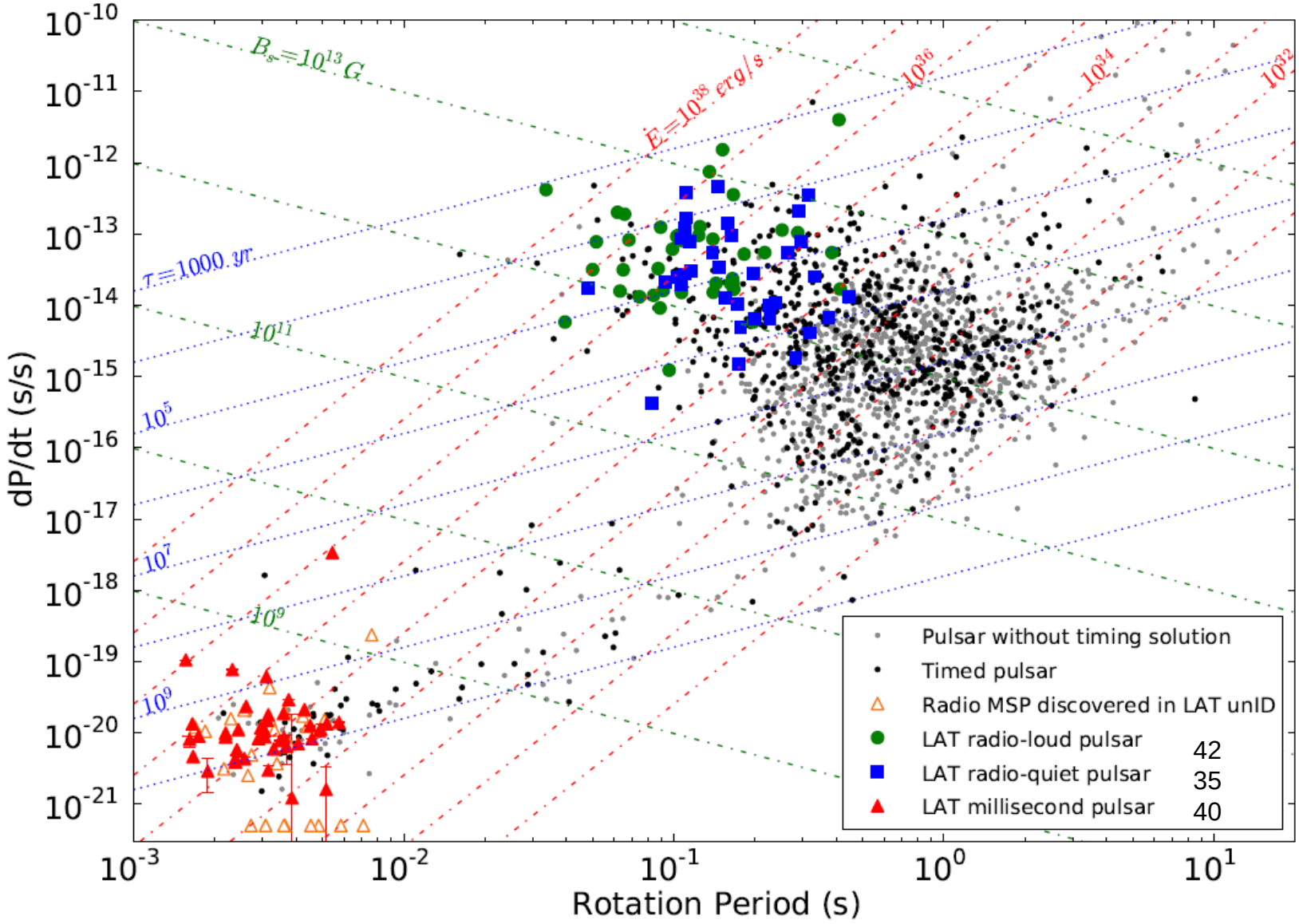


Figure 2. Pulsar sky map in Galactic coordinates. The markers are the same as in Figure 1.



Все гамма-пульсары rotation-powered pulsars (RPPs).



MSPs (40) = 10 isolated + 30 binaries

34 MSPs discovered in LAT sources

Радиоизлучения гамма-пульсаров

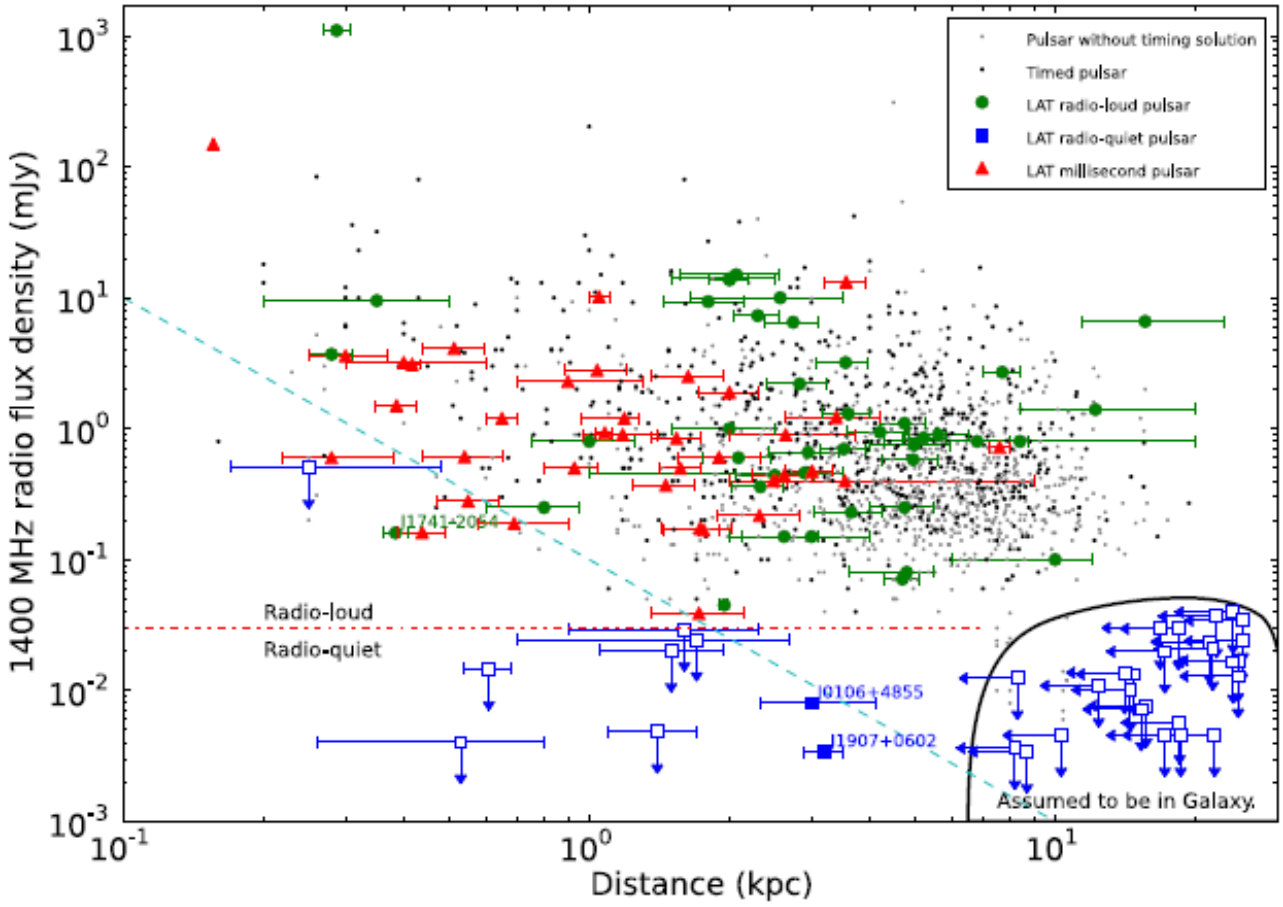
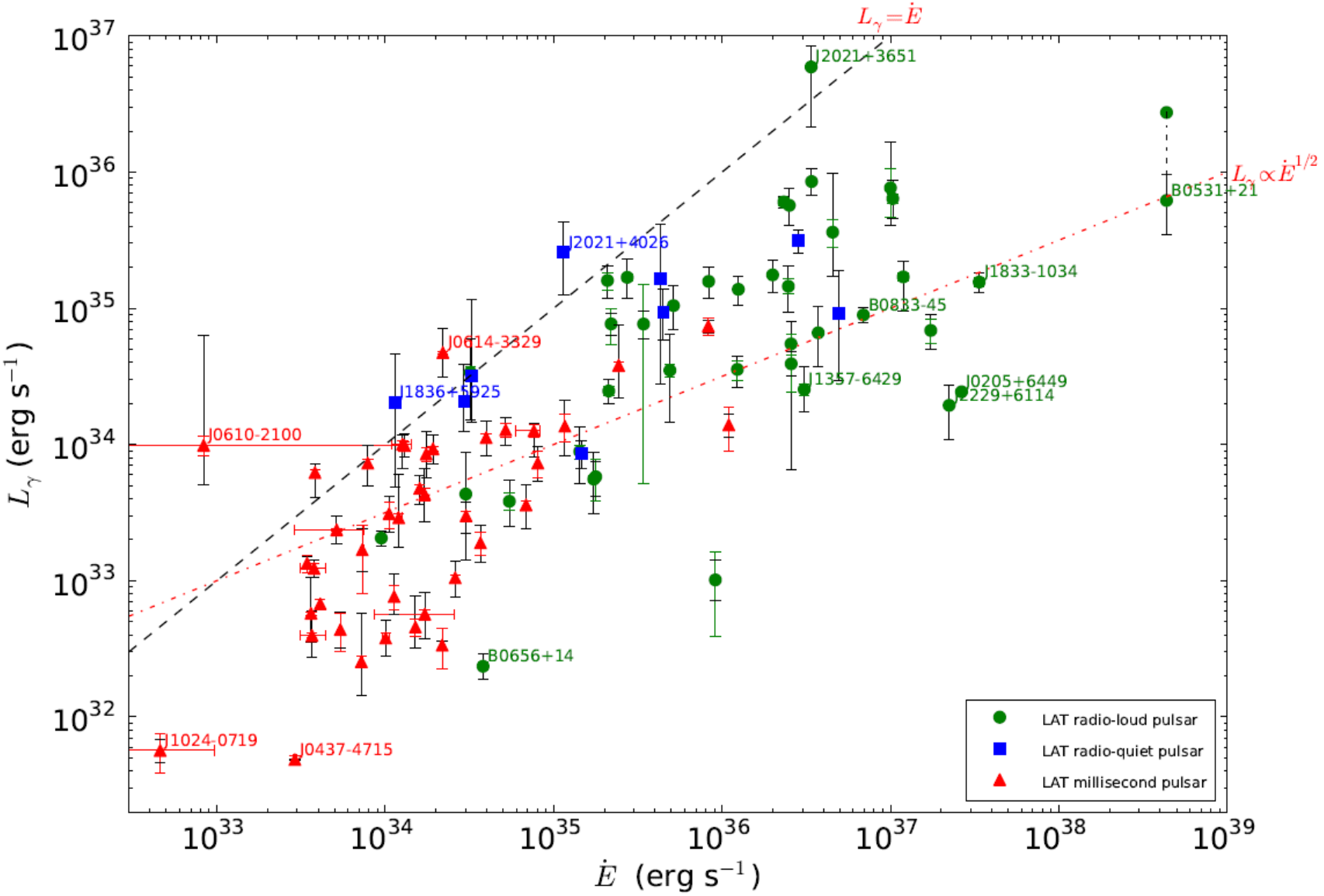


Figure 3. Radio flux density at 1400 MHz vs. pulsar distance. Markers are as in Figure 1, except that blue open squares show pulsars discovered in gamma-ray blind period searches for which no radio signal has been detected. The horizontal line at 30 μJy is our convention for distinguishing radio "loud" from radio "quiet" pulsars. The diagonal line shows a threshold in pseudo-luminosity of 100 μJy - kpc^2. Four gamma-discovered pulsars have been detected at radio frequencies: two are radio-quiet and are labeled. Of the two that are radio loud, one is labeled while PSR J2032+4127 is in the cloud of points. The pulsars at lower-right are assigned distance limits along the Milky Way's rim in Figure 4.

Светимость

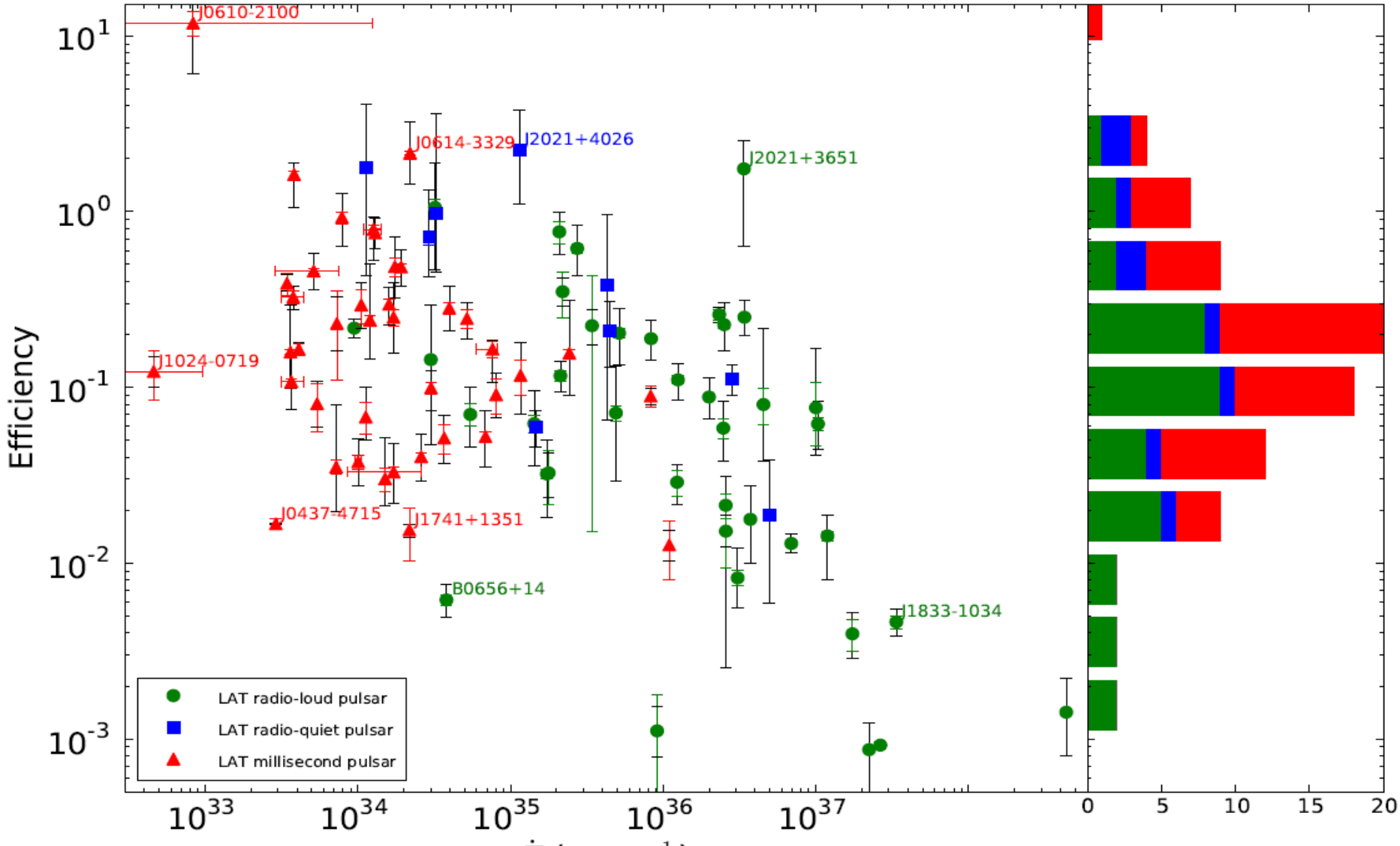
$$L_\gamma = 4\pi d^2 f_\Omega G_{100}$$

$$G_{100} = \int_{100\,\mathrm{MeV}}^{100\,\mathrm{GeV}} E \frac{dN}{dE} dE$$



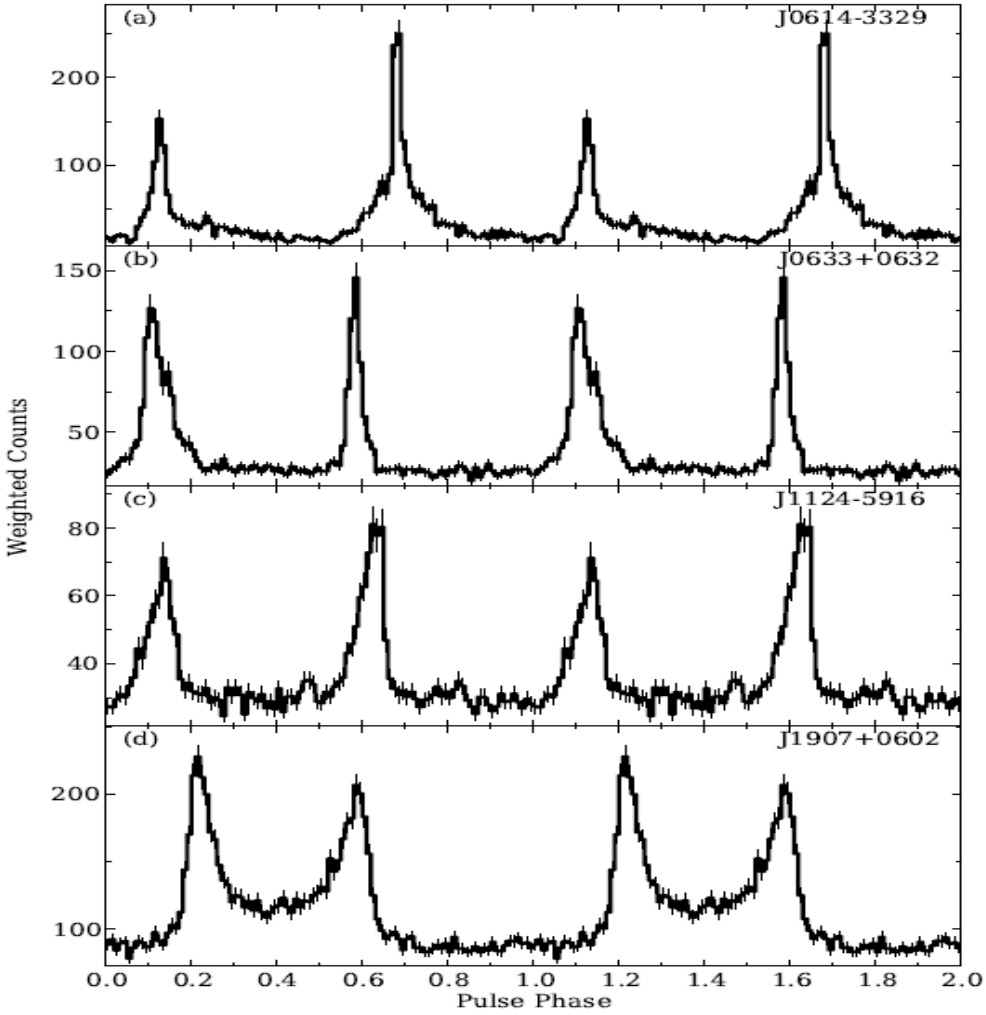
Эффективность

$$\eta = L_\gamma / \dot{E}$$



Профили импульсов

- 58 из 77 молодых пульсаров имеют два достаточно разнесенных импульса



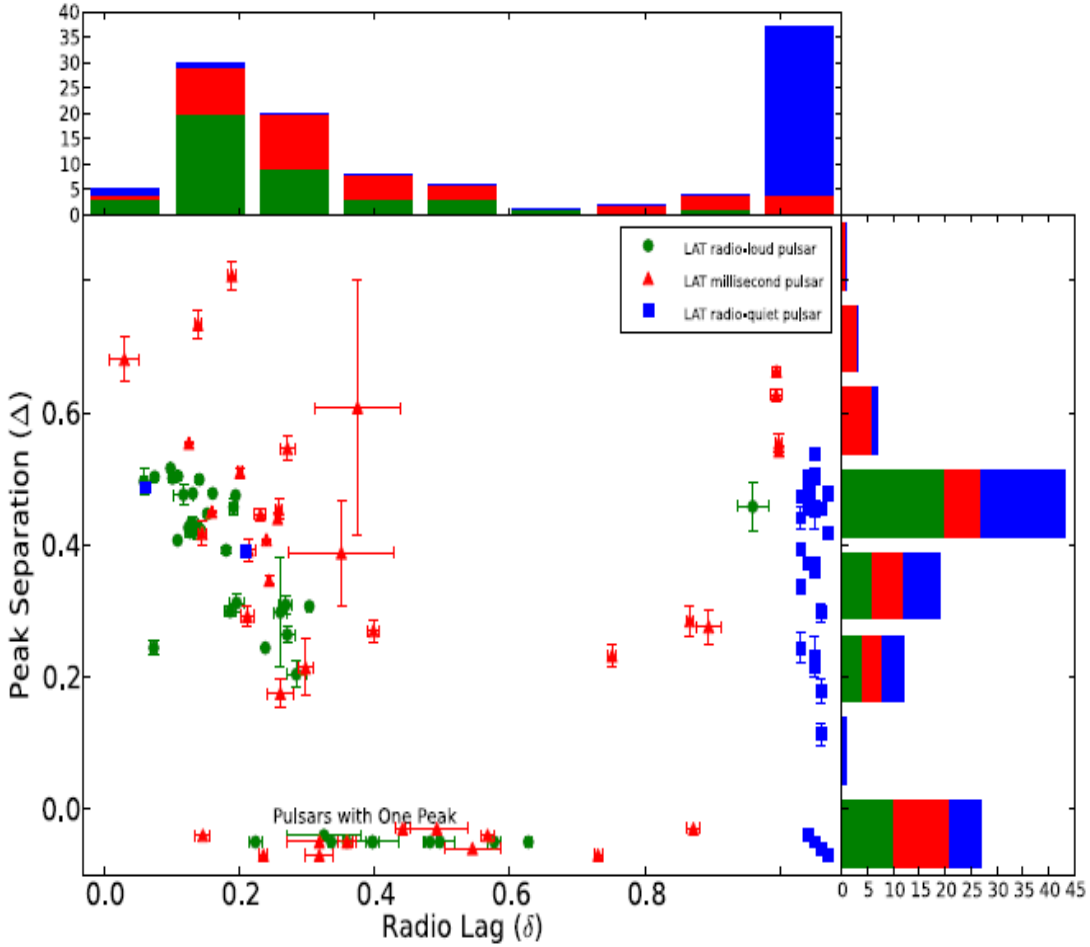
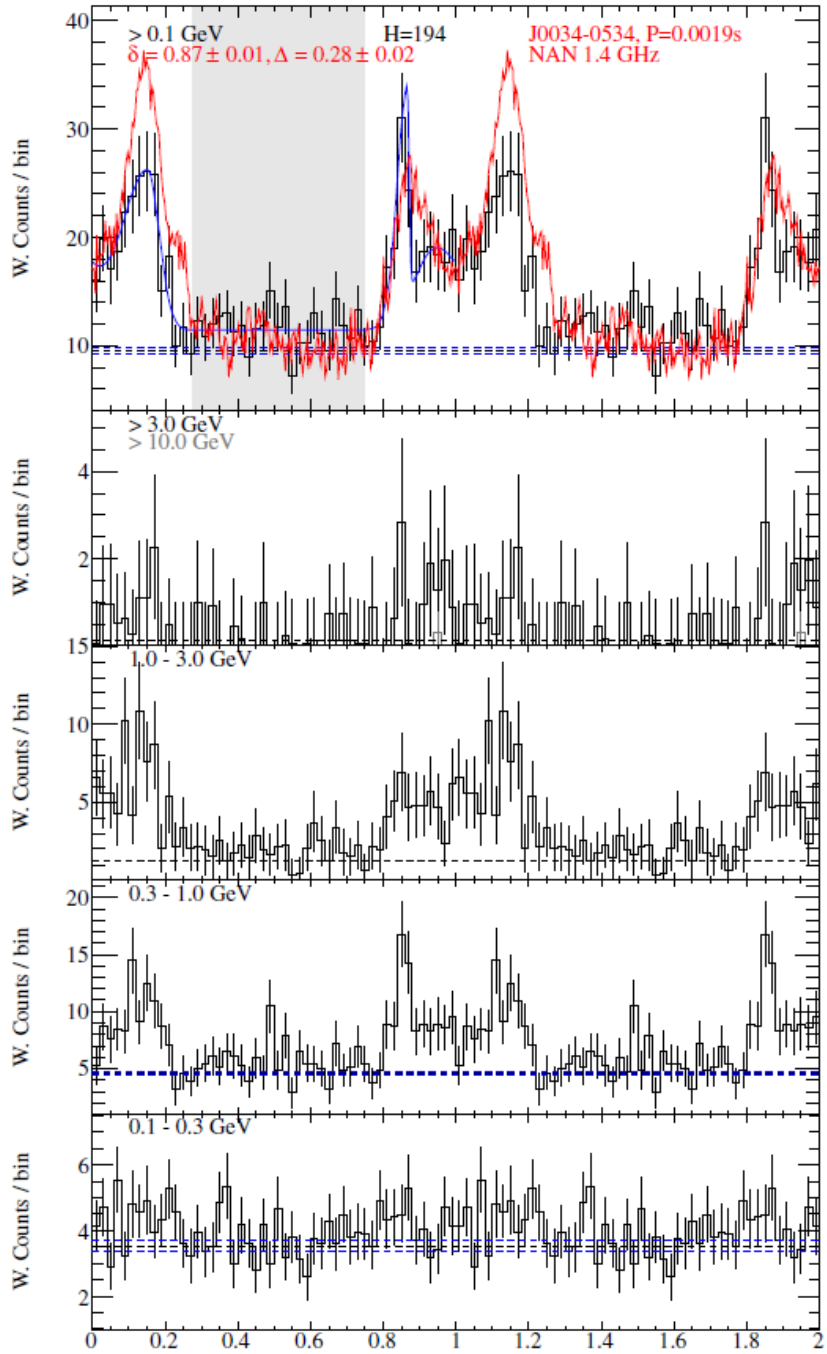
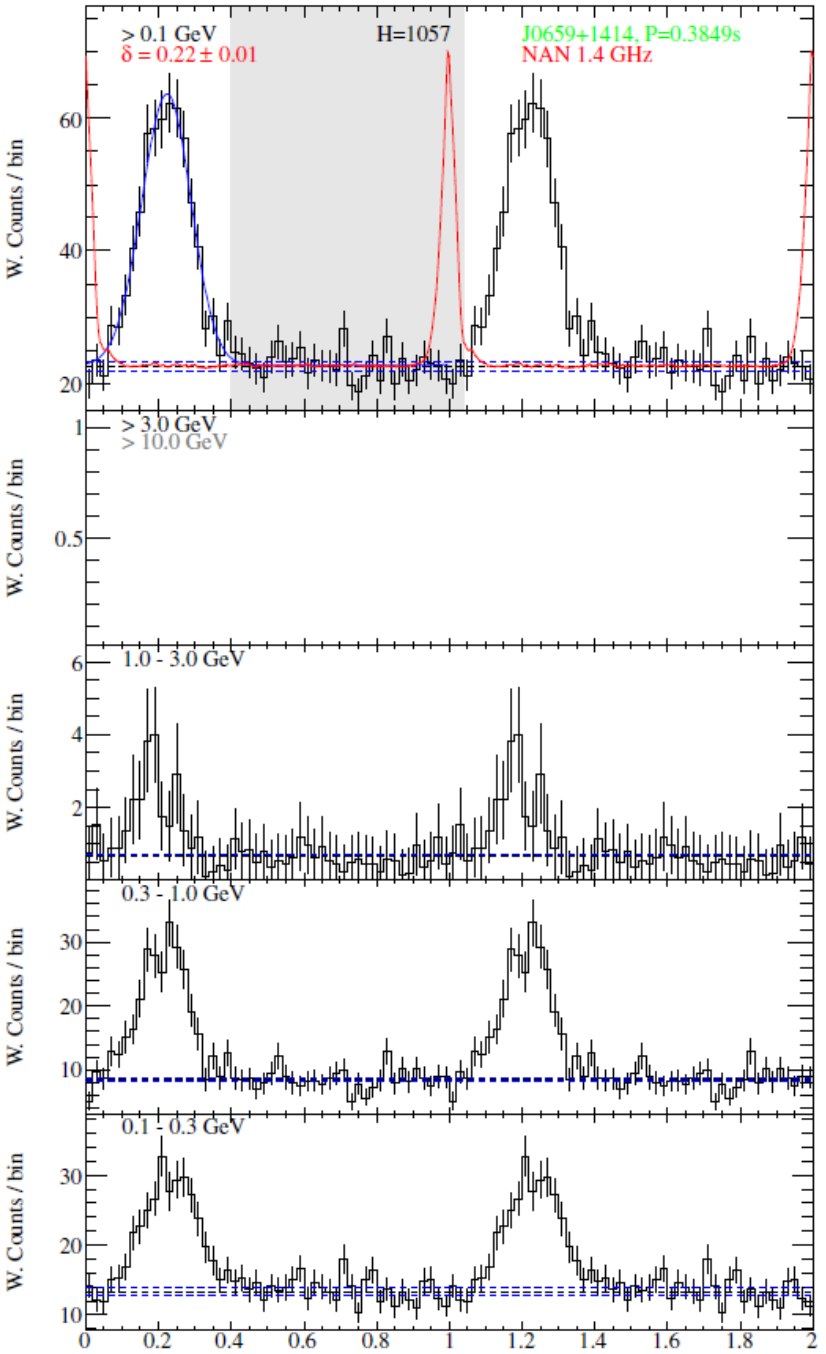


Figure 5. Phase lag δ of the gamma peak relative to the fiducial phase vs. the phase separation Δ between the gamma-ray peaks. The artificial staggering of the points along the horizontal axis (single-peaked pulsars) and the right-hand vertical axis (pulsars with no radio detection) is to enhance clarity. The markers are the same as in Figure 1, as is the color code of the histograms projected onto the axes.


> 0.1 GeV
H=194
J0034-0534, P=0.0019s
δ = 0.87 ± 0.01, Δ = 0.28 ± 0.02
NAN 1.4 GHz
> 3.0 GeV
> 10.0 GeV
1.0 - 3.0 GeV
0.3 - 1.0 GeV
0.1 - 0.3 GeV
W. Counts / bin
Pulse Phase

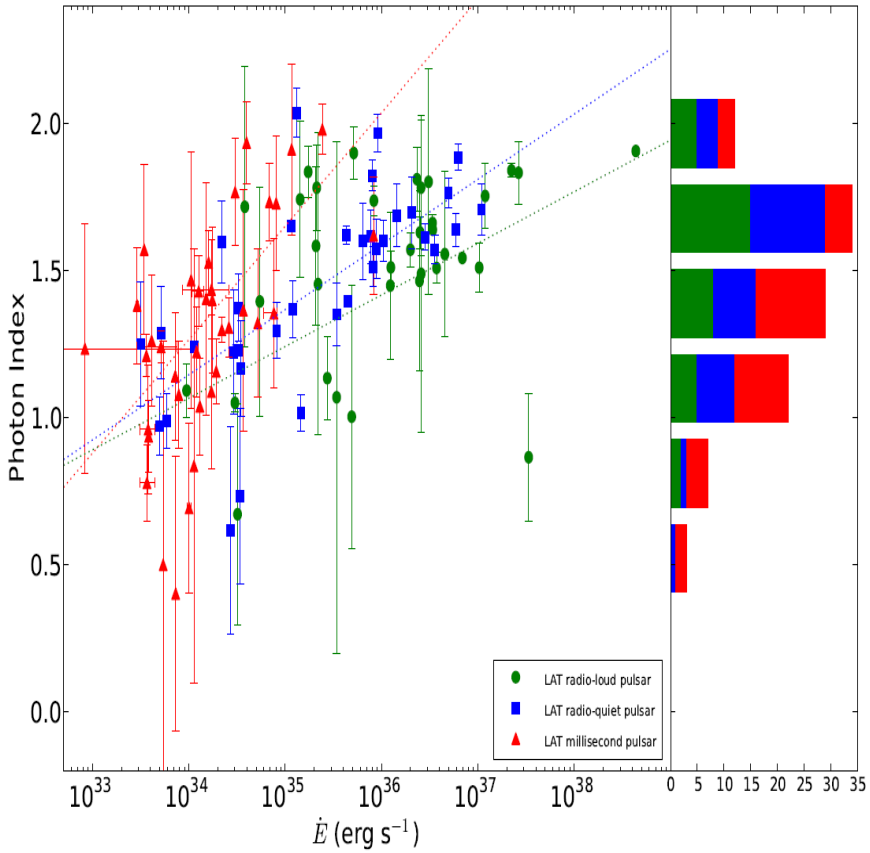
(a)

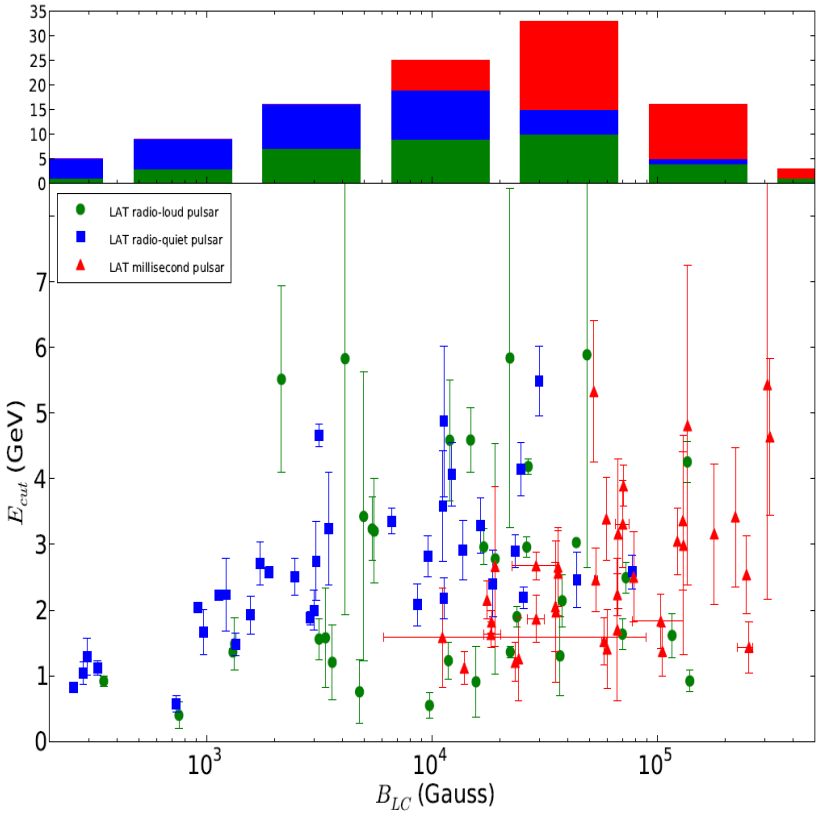

> 0.1 GeV
H=1057
J0659+1414, P=0.3849s
δ = 0.22 ± 0.01
NAN 1.4 GHz
> 3.0 GeV
> 10.0 GeV
1.0 - 3.0 GeV
0.3 - 1.0 GeV
0.1 - 0.3 GeV
W. Counts / bin
Pulse Phase

(b)

Спектры

$$\frac{dN}{dE} = K\left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\Gamma} \exp\left(-\frac{E}{E_{\rm cut}}\right)^{b}$$





Пульсар Vela

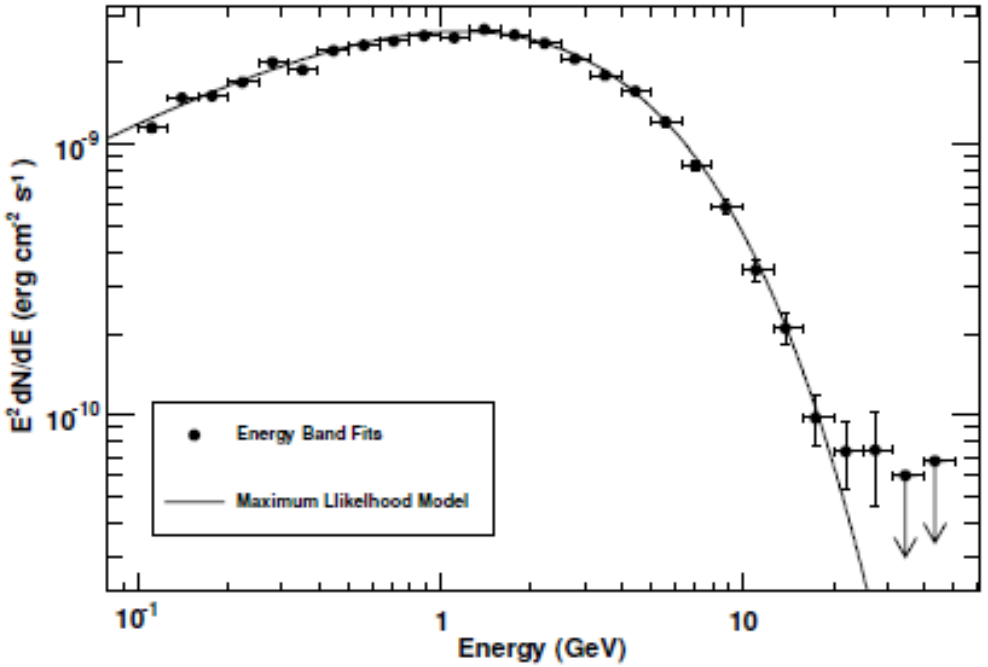


Figure 7. Phase-averaged spectrum for $E > 0.1$–100 GeV.

$$\frac{dN(E)}{dE} = AE^{-\Gamma}\exp[-(E/E_c)^b]$$

$$A = (3.63 \pm 0.25 \pm 1.01) \times 10^{-9}\ \mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}\ \mathrm{MeV}^{-1}$$

$$\Gamma = 1.38 \pm 0.02^{+0.07}_{-0.03}$$

$$E_c = 1.36 \pm 0.15^{+1.0}_{-0.5}\ \mathrm{GeV}$$

$$b = 0.69 \pm 0.02^{+0.18}_{-0.10}$$

Заключение

- Доля радио-тихих гамма-пульсаров в популяции должна быть гораздо больше измеренной
- Все MSPs радио-громкие
- Для гамма-пульсаров с $R_L < 200\ R_{NS}$ (P<70 ms) практически всегда детектируется радиоизлучение
- MSPs в пределах 2 кпк
- Для большинства гамма-пульсаров эффективность >10%, при этом для пульсаров с $dE/dt < 10^{35}$ эрг/с эффективность возрастает с уменьшением dE/dt