

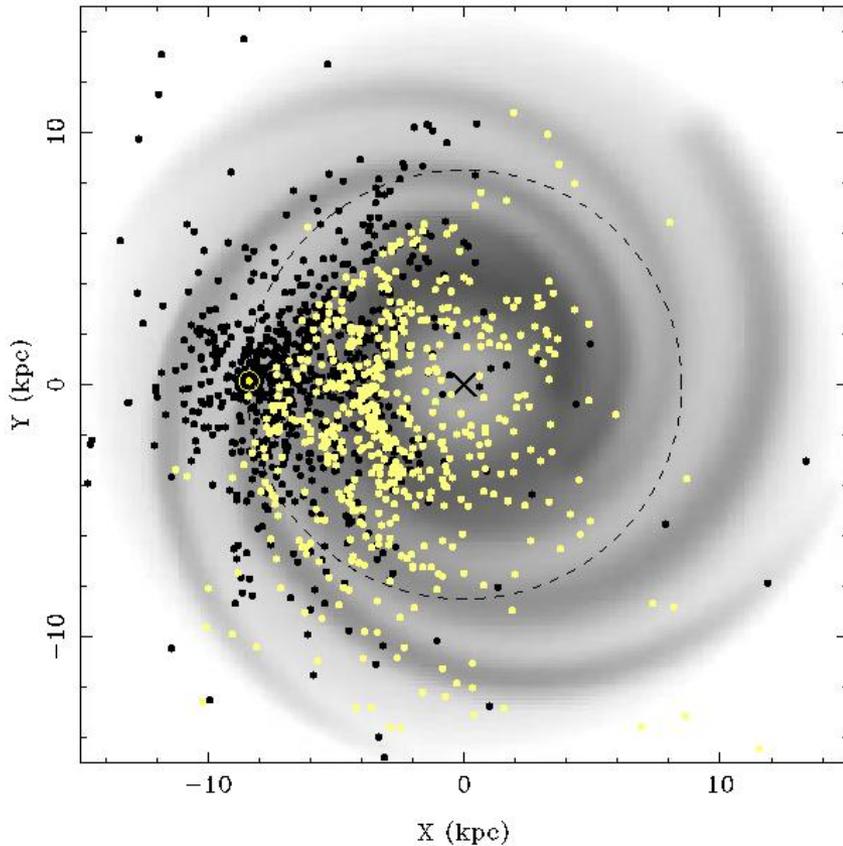
Бескин В.С. , Дерри С.Т., Арзамасский Л.И.

Статистика интеримпульсных пульсаров

Введение

- Пульсар – быстро вращающаяся нейтронная звезда
- Период вращения от 0.0139с до 8с
- Основные параметры пульсара:
- P, B, χ (физические); P, \dot{P} (наблюдаемые)
- Одна из ключевых проблем: эволюция угла наклона
- Основная точка зрения до недавнего времени – эволюция в соосный ротатор ($\chi \rightarrow 0^\circ$)
- Статья английской группы в Nature (Lyne et al., 2014) наблюдала др. эволюцию ($\chi \rightarrow 90^\circ$)
- Проблема до сих пор не решена

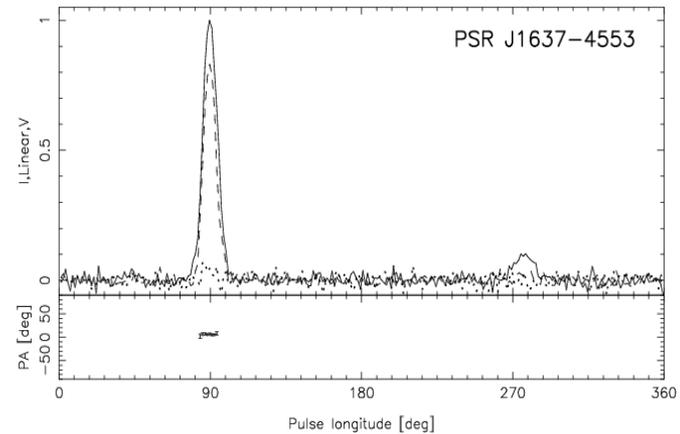
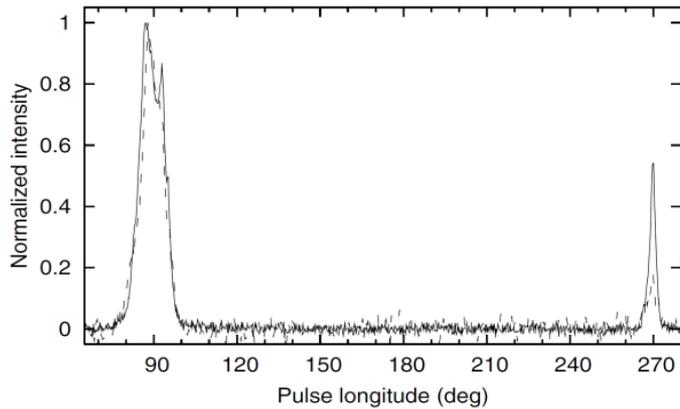
Распределение пульсаров



- Известно ~2500 пульсаров
- 170 миллисекундных
- 131 в двойных системах
- 12 аномальных рентгеновских
- ~40 интеримпульсных

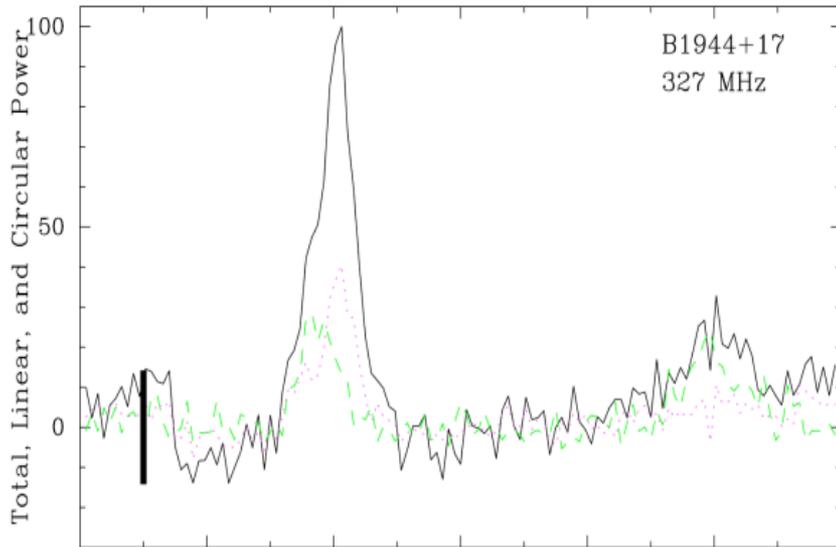
	0.1–0.4 s	0.4–0.7 s	0.7–1.0 s	>1.0 s
SP	5	-	1	1
DP	12	4	1	1

Ортогональные пульсары (IP-DP)



Вторичный импульс расположен на $\sim 180^\circ$
удалении от главного импульса
Сигнал приходит от обоих полюсов

Соосные пульсары (IP-SP)



Вторичный импульс
приходит с того же
полюса что и
главный импульс

Каталоги

Name J	P [s]	\dot{P} 10 ⁻¹⁵	IP/MP ratio	Sep. [°]	[1]/[2]	Our
0534+2200	0.033	423	0.6	145	-/-	DP
0627+0706	0.476	29.9	0.2	180	DP/DP	DP
0826+2637	0.53	1.7	0.005	180	DP/-	DP
0828-3417	1.85	1.0	0.1	180	SP/-	SP
0831-4406	0.312	1.3	0.05	234	SP/SP	??
0834-4159	0.121	4.4	0.25	171	DP/SP	DP
0842-4851	0.644	9.5	0.14	180	DP/DP	DP
0905-5127	0.346	24.9	0.059	175	DP/-	??
0908-4913	0.107	15.2	0.24	176	DP/DP	DP
0953+0755	0.253	0.2	0.012	210	SP/SP	SP?
1057-5226	0.197	5.8	0.5	205	DP/SP	DP
1107-5907	0.253	0.09	0.2	191	SP/DP	??
1126-6054	0.203	0.03	0.1	174	DP/DP	??
1244-6531	1.547	7.2	0.3	145	DP/SP	??
1302-6350	0.047	2.28	0.75	145	SP/-	??
1413-6307	0.395	7.434	0.04	170	DP/DP	DP
1424-6438	1.024	0.24	0.12	223	SP/SP	??
1549-4848	0.288	14.1	0.03	180	DP/DP	DP
1611-5209	0.182	5.2	0.1	177	DP/-	??
1613-5234	0.655	6.6	0.28	175	DP/-	??
1627-4706	0.141	1.7	0.13	171	DP/SP	??
1637-4553	0.119	3.2	0.1	173	DP/DP	??
1637-4450	0.253	0.58	0.26	256	SP/SP	SP
1705-1906	0.299	4.1	0.15	180	DP/DP	DP
1713-3844	1.600	177.4	0.25	181	DP/-	DP
1722-3712	0.236	10.9	0.15	180	DP/DP	DP
1737-3555	0.398	6.12	0.04	180	DP/SP	DP
1739-2903	0.323	7.9	0.4	180	DP/DP	DP
1806-1920	0.880	0.017	1.0	136	SP/SP	SP
1808-1726	0.241	0.012	0.5	223	SP/SP	SP
1825-0935	0.769	52.3	0.05	185	-/SP	??
1828-1101	0.072	14.8	0.3	180	DP/-	DP
1842+0358	0.233	0.81	0.23	175	DP/-	DP
1843-0702	0.192	2.1	0.44	180	DP/-	DP
1849+0409	0.761	21.6	0.5	181	DP/-	DP
1851+0418	0.285	1.1	0.2	200	SP/SP	SP
1852-0118	0.452	1.8	0.4	144	SP/SP	??
1903+0925	0.357	36.9	0.19	240	SP/SP	SP
1913+0832	0.134	4.6	0.6	180	DP/-	DP
1915+1410	0.297	0.05	0.21	186	DP/-	??
1932+1059	0.227	1.2	0.018	170	DP/SP	??
1946+1805	0.441	0.02	0.005	175	SP/SP	??
2032+4127	0.143	20.1	0.18	195	DP/SP	??
2047+5029	0.446	4.2	0.6	175	DP/-	DP

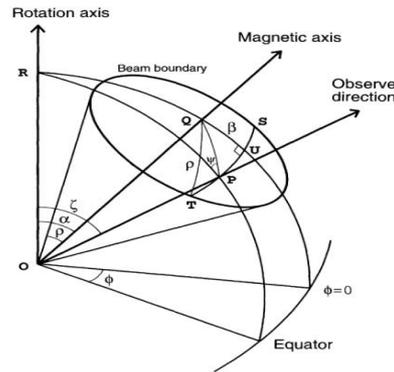
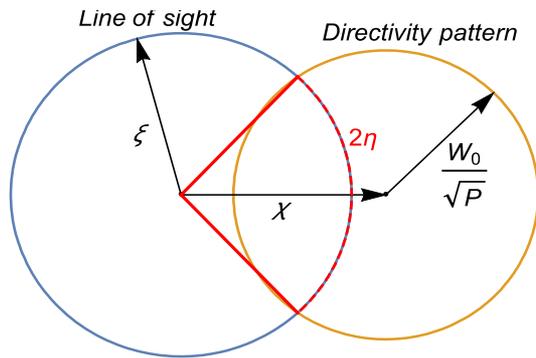
[1] Gil et al.

[2] Малов, Никитина (2013)

	0.1-0.4 s	0.4-0.7 s	0.7-1.0 s	>1.0 s
SP	5	-	1	1
DP	12	4	1	1

УСЛОВИЯ ВИДИМОСТИ

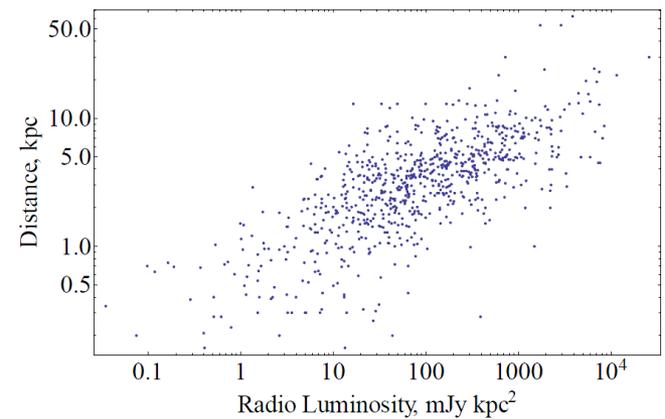
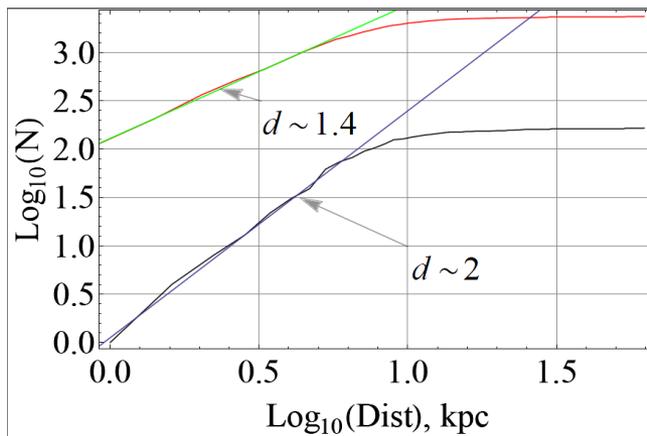
Геометрические условия



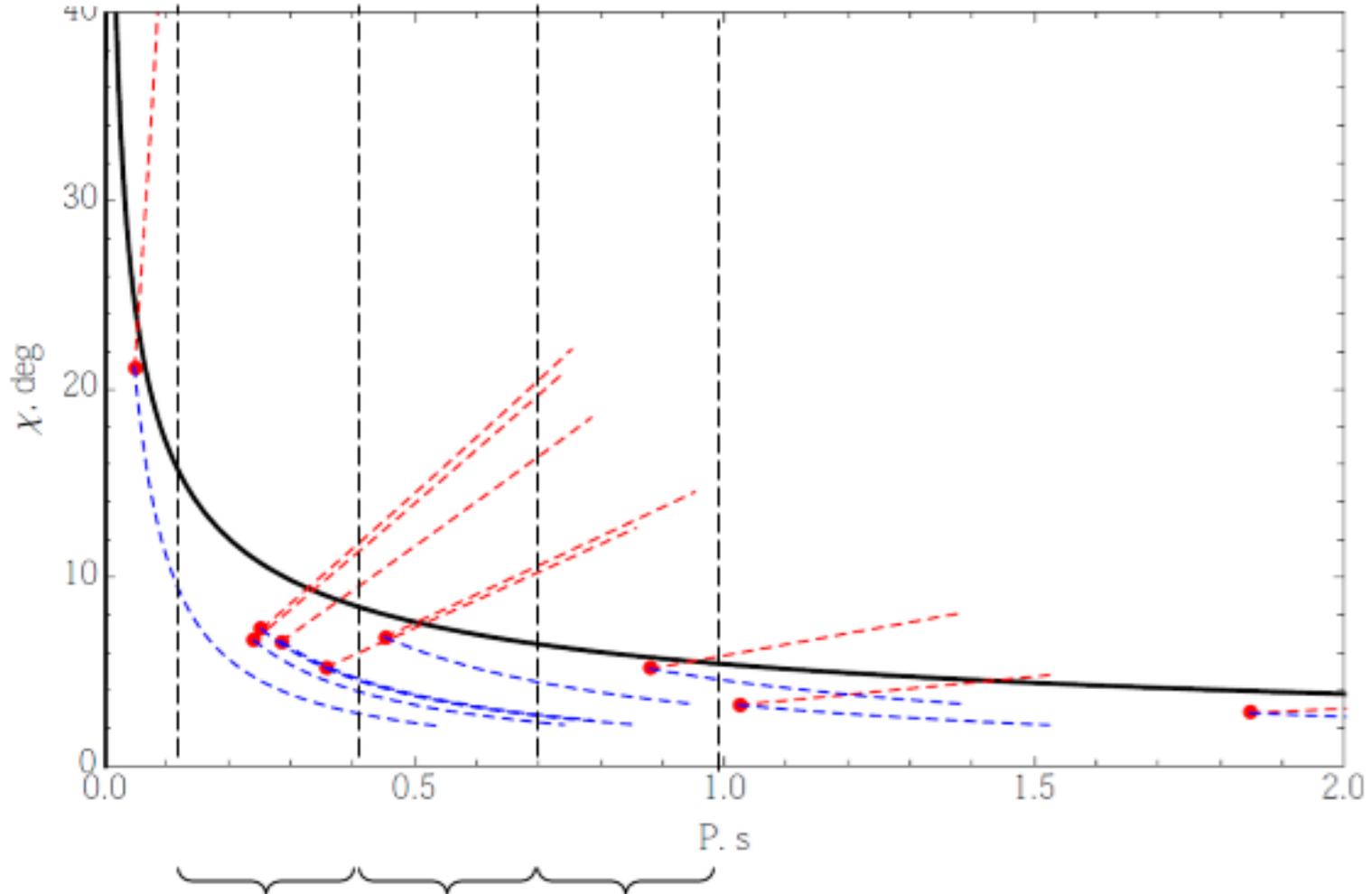
$$V_{vis} = \begin{cases} \pi \sin \alpha W_0 & \chi > W_0 \\ \pi W_0 & \chi < W_0 \end{cases}$$

Условия радиовидимости

Слабые и далекие пульсары не видны



Распределение по бинам для малых углов



Потери энергии магнитосферы и эволюция угла наклона

Магнитогидродинамическая
модель (MHD)

$$\dot{P}_{-15} = B_{12}^{10/7} \cos^{2d} \chi$$

$$\dot{\chi}_{-15} = \frac{B_{12}^{10/7}}{P} \cos^{2d-1} \chi \sin \chi$$

$$I(P, \chi) = \frac{P}{\sin \chi}$$

Модель малых
продольных токов (BGI)

$$\dot{P} \propto B_{12}^2 \dot{P}^{-1} (1 + \sin^2 \chi)$$

$$\dot{\chi} \propto B_{12}^2 P^{-2} \sin \chi \cos \chi$$

$$I(P, \chi) = P \frac{\sin \chi}{\cos^2 \chi}$$

Кинетическое уравнение

$$\frac{\partial}{\partial P} N \dot{P} + \frac{\partial}{\partial \chi} \dot{\chi} N = Q$$

МГД

$$N_{MHD} \propto \frac{Q_{B_{12}}}{B_{12}^2} Q_{\xi} \frac{P^2}{\cos^3 \alpha} \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos^2 x}{\sin x} Q_{\alpha}(x) Q_P \left(P \frac{\sin \alpha \cos^2 x}{\sin x \cos^2 \alpha} \right) dx$$

БГИ

$$N_{BGI} \propto \frac{Q_{B_{12}}}{B_{12}^{10/7}} Q_{\xi} \frac{P}{\cos \alpha \sin^2 \alpha} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin x}{\cos^{2d-2} x} Q_{\alpha}(x) Q_P \left(P \frac{\sin x}{\sin \alpha} \right) dx$$

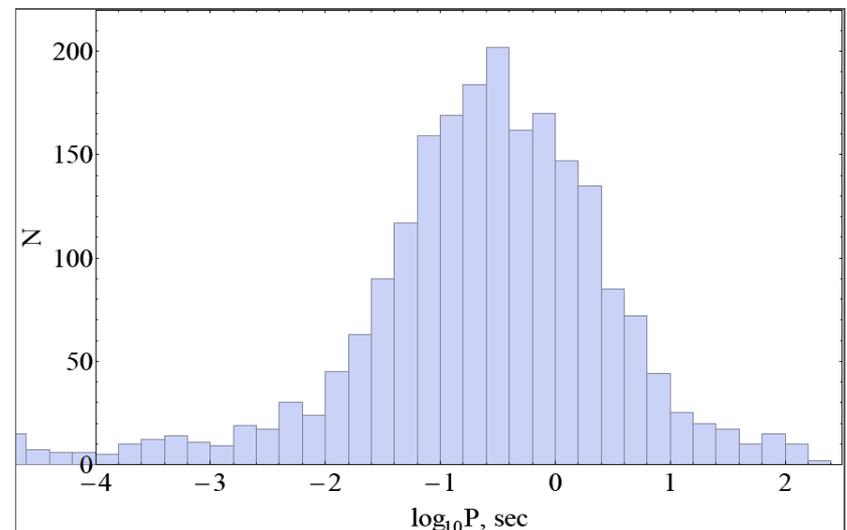
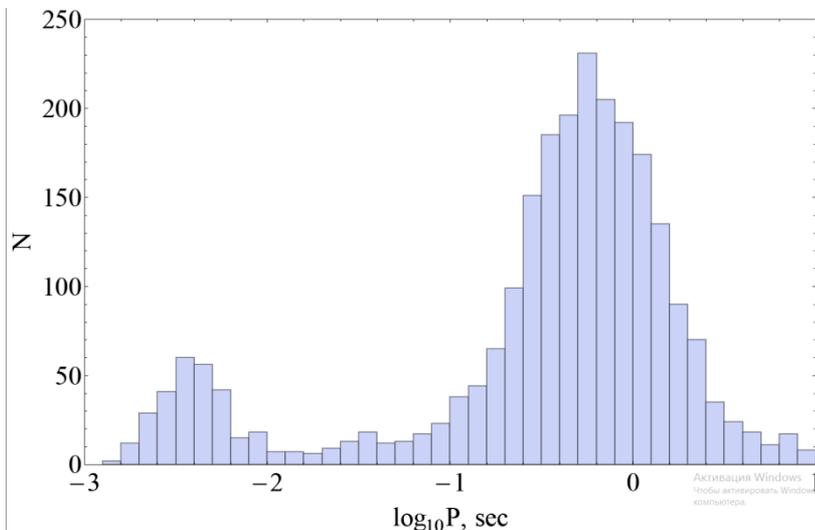
МК симуляция

Генерируется массив пульсаров

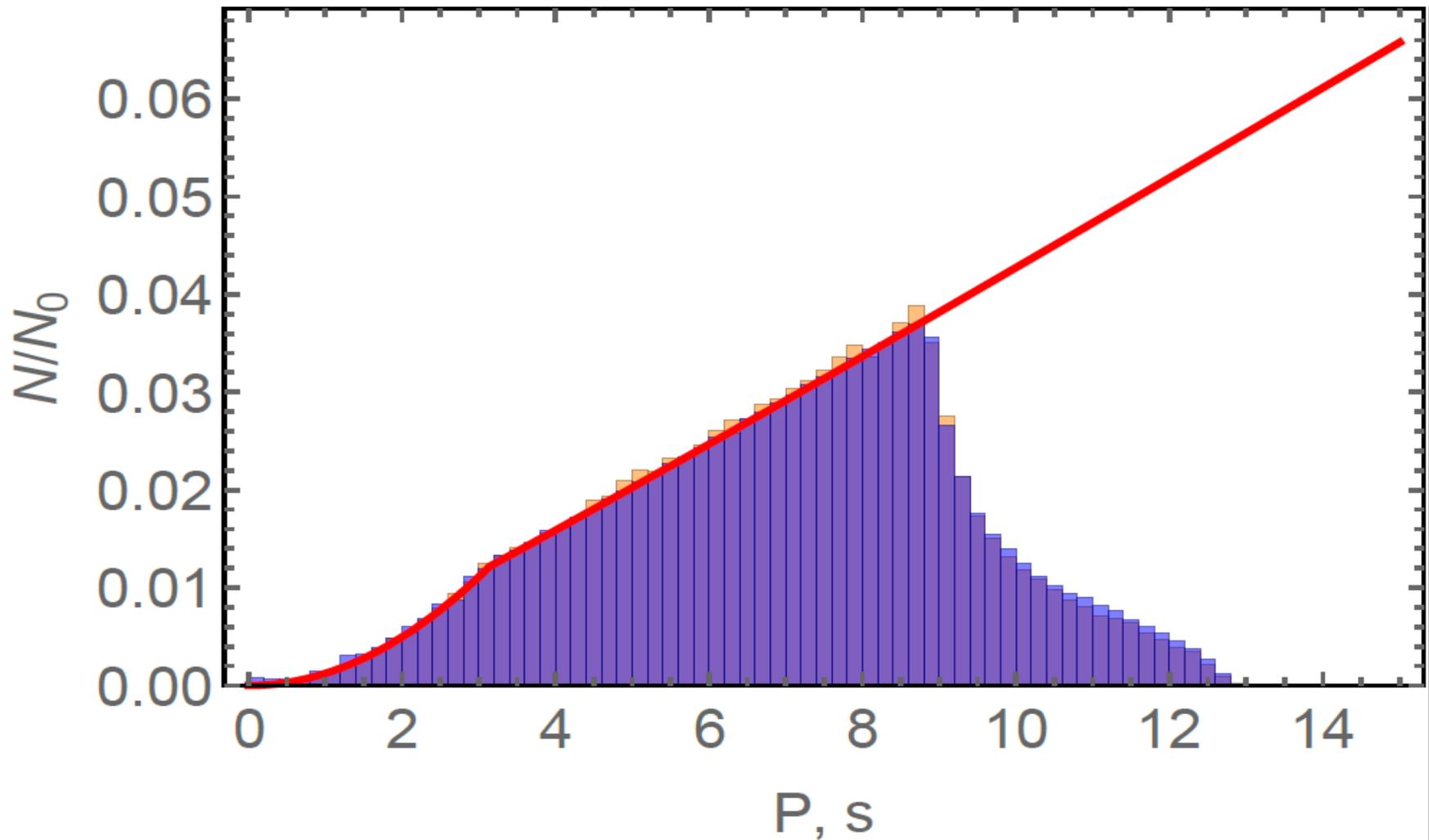
Решаются основные уравнения для эволюции для 2х моделей

Проверяются функции видимости

Подсчитывается количество видимых пульсаров



МК против аналитики



Промежуточные результаты (SP)

	0.1-0.4 сек	0.4-0.7 сек	0.7 – 1 сек
Наблюдения	6	2	1
BGI (МК)	12	2	1
BGI (только геом.)	4	3	3
BGI (все)	6	2	1
BGI (sin)	0.2	0.07	0.02
MHD (КУ)	5	5	4
MHD (МК)	4	4	3

Промежуточные результаты

	0.1 – 0.4 s	0.4 – 0.7 s	0.7 – 1.0 s
SP ⁺	6.98	5.14	4.36
SP ⁻	3.15	2.27	1.91
DP	8.74	8.74	8.74
All	580	874	1090

Результаты для MHD модели при равномерной функции распределения по периодам и углам наклона и синусоидальной функции распределения по углам на наблюдателя.

	0.1 – 0.4 s	0.4 – 0.7 s	0.7 – 1.0 s
SP ⁺	0.59	0.14	0.11
SP ⁻	0.22	0.05	0.03
DP	73.6	37.8	27
All	580	384	310

Результаты для BGI модели при равномерной функции распределения по периодам и углам наклона и синусоидальной функции распределения по углам на наблюдателя

	0.1 – 0.4 s	0.4 – 0.7 s	0.7 – 1.0 s
SP ⁺	9.58	3.86	2.46
SP ⁻	5.02	2.03	1.30
DP	57.1	29.3	20.9
All	580	383	309

Результаты для BGI модели при равномерной функции распределения по периодам и углам наклона и равномерной функции распределения по углам на наблюдателя.

Выводы

Показано, что модель торможения BGI, предсказывающая увеличение угла наклона пульсара, при определенных начальных условиях так же хорошо описывает распределение осесимметричных интеримпульсных пульсаров, как и МГД модель, хотя резкое спадание числа пульсаров в двух последних группах больше соответствует первой модели.

Что же касается ортогональных интеримпульсных пульсаров, то их число сильно зависит от (очень плохо определяемой в этом случае) диаграммы направленности. Поэтому их анализ требует дополнительного исследования.

Вопросы?