

зательно, что в этом распределении преобладают углы от 10° до 30° . Среднее значение равно $\langle \beta \rangle = 23^\circ$. Если учесть, что средний характеристический возраст выбранных объектов равен 10 млн лет ($\langle \lg \tau \rangle = 6,99$), то это может служить указанием на приближенные магнитной оси к оси вращения в течение эволюции пульсара.

10. ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ УГЛОВЫЕ РАССТОЯНИЯ ЛУЧА ЗРЕНИЯ ОТ ЦЕНТРА КОНУСА ИЗЛУЧЕНИЯ

В разделе 5 данной главы описан способ достаточно точного определения величины

$$n = \frac{\theta}{\zeta - \beta}, \quad (45)$$

характеризующей отношение радиуса конуса излучения к наименьшему расстоянию луча зрения от центра конуса. Вычисление величины n на разных частотах позволяет оценить уровни генерации излучения на этих частотах и сделать заключения о структуре магнитного поля в магнитосфере пульсара. Используем для расчётов следующую систему уравнений [131]:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{C \sin \zeta}{1 + C \cos \zeta},$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \cos(W_{10} / 2), \quad (46)$$

$$\theta = n(\zeta - \beta).$$

Измерения C и W_{10} проводились по профилям, опубликованным в работах [11, 206, 215, 216]. Результаты вычислений приведены в табл. 13. Вычисления выполнены при $C > 0$, так как значения n , полученные при $C < 0$, близки к приведённым в таблице. Кроме того, как уже отмечалось, при всех β и ζ величины n отличаются только на проценты, поэтому в таблице указаны средние значения \bar{n} . Из таблицы следует, что в соответствии с ожидаемым уменьшением n при увеличении частоты, т.е. при уменьшении высоты области генерации в магнитосфере, значение \bar{n} действительно больше на низких частотах для большей части пульсаров. У 27 пульсаров существуют оценки n на частотах 400 и 1600 МГц. Рис. 59 демонстрирует совокупность этих оценок, которая может быть описана следующей зависимостью:

$$\bar{n}_{400} = -0,52 \pm 0,23 + (1,58 \pm 0,14)n_{1600} \quad (47)$$

Таблица 13
Значения n на разных частотах

PSR	P, c	n					
		100 МГц	170 МГц	400 МГц	640 МГц	1,6 ГГц	2,7 ГГц
0031-07	0,94	1,10	1,09	1,08		1,16	
0301+19	1,39			2,96		1,87	1,83
0355+54	0,16			1,12		1,10	
0525+21	3,75			5,98		4,44	3,22
0540+23	0,25			1,06		1,13	1,08
0611+22	0,33			1,09		1,07	1,14
0628-28	1,24	1,71	1,58	1,50	1,57	1,43	1,37
0823+26	0,53			2,18			1,79
0834+06	1,27			2,38		2,11	
0833-45	0,09			1,77		1,40	
0835-41	0,75			1,96		1,81	
0943+10	1,10	1,83		1,26			
0950+08	0,25		1,25	1,15		1,09	1,15
1133+16	1,19		1,57	1,45	1,36	1,22	1,13
1149-64	0,18			1,18	1,11	1,17	
1451-68	0,26			2,21	2,04	2,08	
1508+55	0,74			2,12		1,87	1,49
1642-03	0,39			1,14	1,06	1,11	
1706-17	0,65			1,19		1,17	
1747-46	0,74		1,87	3,25	2,74	1,32	
1818-04	0,60			1,44	1,70	1,12	
1749-28	0,56			1,13	1,03	1,24	
1900+01	0,73			1,07		1,10	
1919+14	0,62			1,23		1,12	
1929+10	0,23		1,09	1,09		1,04	1,04
1933+16	0,36			1,14		1,04	
1946+35	0,72					1,68	1,91
2021+51	0,53			1,30		1,11	1,16
2045-16	1,96		7,07	5,76	3,58	3,08	2,44
2303+30	1,58			1,22		1,28	

при коэффициенте корреляции между \bar{n}_{400} и \bar{n}_{1600} $K = 0,91 \pm 0,08$. У ряда пульсаров можно получить оценки \bar{n} в широком диапазоне волн. При этом обнаруживается различие зависимости $\bar{n}(\nu)$ (рис. 60) в пульсарах с большими и малыми периодами. Оказалось, что у четырёх пульсаров со средним периодом $P = 1,96$ с наблюдается очень крутой наклон кривой $\bar{n}(\lg \nu)$, в то время как у девяти пульсаров с $\bar{P} = 0,83$ с наклон этой кривой очень сла-

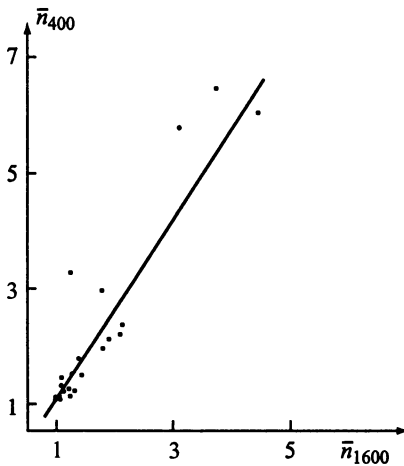


Рис. 59. Диаграмма сравнения величин \bar{n} на двух частотах

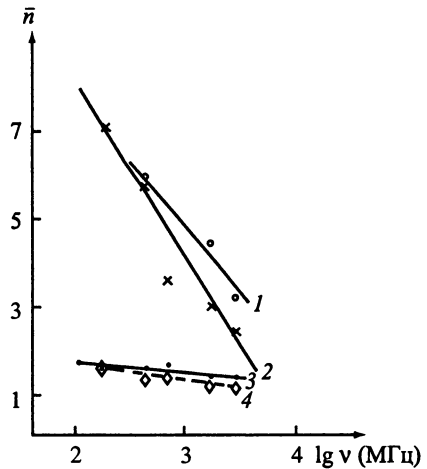


Рис. 60. Зависимость \bar{n} от частоты для четырёх пульсаров: PSR B0525+21 (1), PSR B2045-16 (2), PSR B0628-28 (3) и PSR B1133+16 (4)

бый. Наконец, для 12 пульсаров с $\bar{P} = 0,42$ с значение \bar{n} близко к единице и не зависит от частоты. Такое поведение n в рамках традиционной модели означает, что луч зрения проходит по самому краю конуса излучения, и кроме того, что излучение на всех частотах генерируется в узком слое магнитосферы. При случайной ориентации конусов излучения в пространстве нельзя ожидать такого преобладания объектов с крайним расположением луча зрения. Как уже подчеркивалось в предыдущей главе, в пульсарах с короткими периодами всё излучение генерируется вблизи светового цилиндра, и для них действительно на всех частотах должна быть одинаковая геометрия. Далее мы будем делать оценки лишь для пульсаров, к которым применима модель полого конуса.

Из третьего уравнения системы (46) следует

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (48)$$

и так как в дипольном поле последней открытой силовой линии соответствует угол раскрыва

$$\theta = \sqrt{(r/r_{LC})} = \sqrt{(2\pi r/cP)}, \quad (49)$$

Таблица 14
Зависимость частоты от уровня её генерации

PSR	r/R						$\alpha = -\frac{d \lg v}{d \lg r}$	β , град
	100 МГц	170 МГц	400 МГц	640 МГц	1600 МГц	2700 МГц		
0301+19	–	–	138	–	55	53	1,77±0,42	39
0525+21	–	–	182	–	100	53	1,54±0,43	28
1747–46	–	–	116	82	19	–	0,73±0,12	50
2045–16	–	229	152	59	43	27	1,20±0,17	35
0628–28	174	149	134	147	122	112	7,54±1,46	17,5
1133+16	–	155	132	116		80	4,13±0,17	35

то для данного пульсара

$$r_1 / r_2 = (n_1 / n_2)^2. \quad (50)$$

Если уровень генерации излучения на какой-либо частоте определен, то уровни, соответствующие другим частотам, легко находятся из соотношения (50) по вычисленным значениям n .

Для оценки опорного уровня можно использовать статистическую зависимость ширины среднего профиля от периода на частоте 400 МГц [204]:

$$\theta^\circ = 9,3^\circ P^{-0,36}. \quad (51)$$

Из соотношений (49) и (51) можно получить

$$r_{400}(\text{см}) = 1,26 \cdot 10^8 P^{0,28}. \quad (52)$$

Вычисленные на основе выражений (50) и (52) относительные расстояния r/R , на которых генерируются соответствующие частоты, приведены в табл. 14. Из этой таблицы видно, что зависимость частоты излучения от расстояния, на котором она генерируется, различна для разных пульсаров. Приведённые значения тангенса угла наклона α прямой $\lg v$ ($\lg r$) можно разделить на три группы. В первой α близко к единице (PSR B1747–46 и 2045–16), во второй $\alpha \approx 1,5$ (PSR B0301+19 и 0525+21) и в третьей $\alpha \geq 4$ (PSR B0628–28 и 1133+16). Такое поведение зависимости $v(r)$ может быть объяснено следующим образом.

В ряде моделей генерация излучения происходит на локальной плазменной частоте

$$v_p = \sqrt{(n_p e^2 / \pi m \gamma_p)} \quad (53)$$

или на первой циклотронной гармонике

$$v_c = eB / mc. \quad (54)$$

Поскольку в областях, удалённых от поверхности нейтронной звезды на умеренные расстояния ($r \ll r_{LC}$), все частицы привязаны к силовым линиям магнитного поля, плотность плазмы n_p зависит от r так же, как и величина B . Следовательно, зависимость частоты генерируемого излучения от r , как следует из соотношений (53) и (54), будет целиком определяться структурой магнитного поля. В дипольном поле

$$\begin{aligned} B &\propto r^{-3}, \\ v_p &\propto r^{-3/2}. \end{aligned} \quad (55)$$

Пульсары PSR B0301+19 и 0525+21 имеют $\alpha \approx 1,5$ и могут быть описаны моделями генерации излучения на плазменной частоте. Что касается пульсаров PSR B1747-46 и 2045-16, то для объяснения наблюдаемой зависимости $v(r)$ в этих объектах нужно предположить более слабую зависимость магнитного поля от расстояния,

$$B \propto r^{-2}, \quad (56)$$

что обеспечивает выполнение зависимости $v_p \propto r^{-1}$. Соотношение (56) может быть обусловлено, в частности, большой ролью центробежных сил, которые оказываются существенными на больших расстояниях от поверхности и при больших углах наклона β . Для PSR B1747-46 $\beta = 50^\circ$, а у пульсара PSR B2045-16 существует одно определение величины $\beta = 58^\circ$. Если приведённые рассуждения справедливы, нужно ожидать аналогичной зависимости $v(r)$ у всех пульсаров с достаточно большим периодом и с большим углом β .

И, наконец, у пульсаров PSR B0628-28 и 1133+16 зависимость магнитного поля от r должна быть более сильной, чем в дипольном случае. Так, в квадрупольном поле

$$v_c \propto B \propto r^{-4}, \quad (57)$$

а у высших мультипольных составляющих зависимость более сильная.

Интересно отметить, что наблюдается тенденция уменьшения величины $|\alpha|$ с увеличением угла β (рис. 61), подразумеваю-

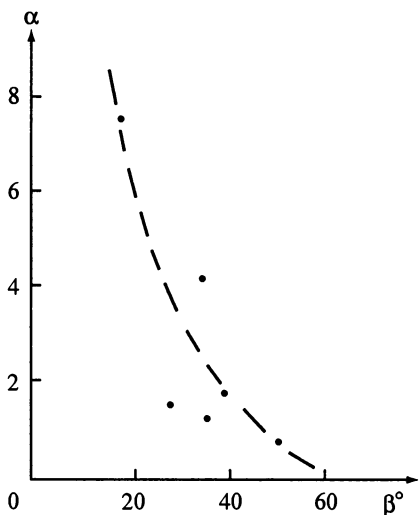


Рис. 61. Зависимость тангенса угла наклона прямых $\lg v(\lg r)$ от угла β

Следует подчеркнуть, что полученные оценки расстояний (табл. 14) верны только для дипольного поля. В случае заметных его искажений может не выполняться предположение о постоянстве величины $(\zeta - \beta)$ с удалением от поверхности пульсара. Кроме того, отличный от соотношения (49) вид будет иметь зависимость размера конуса от расстояния. Тем не менее из проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. Раскрыв конуса излучения уменьшается с ростом частоты, что ещё раз подтверждает общепринятую точку зрения о том, что излучение на более низких частотах генерируется дальше от поверхности нейтронной звезды.

2. Зависимость $n(r)$ ярче выражена у долгопериодических пульсаров. У пульсаров с короткими периодами $n \approx 1$ и не зависит от частоты, т.е. в этих объектах генерация излучения происходит в узком слое ($\Delta r \ll r$).

3. В диапазоне 100÷1000 МГц излучение генерируется на умеренных расстояниях ($r/R_* = 20 \div 300$).

4. В некоторых пульсарах в области генерации излучения магнитное поле может заметно отличаться от дипольного.

шая генерацию излучения ближе к поверхности у пульсаров, близких к соосным. Здесь могут быть существенными мультипольные составляющие магнитного поля. Напротив, в пульсарах с большими значениями β область генерации расположена дальше от поверхности, где могут быть важны центробежные эффекты. У пульсаров с промежуточными наклонами магнитного момента к оси вращения генерация излучения происходит на умеренных расстояниях от поверхности, где отклонения магнитного поля от дипольного малы.