

11. СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Очень важным с точки зрения понимания процессов, протекающих в магнитосфере пульсара, представляется знание величины и структуры его магнитного поля. Действительно, от характера поля зависят фактор множественности рождения частиц вторичной плазмы и их энергия, типы плазменных волн, уровни генерации излучения, его диапазон, условия распространения и выхода из магнитосферы. Поэтому первостепенное значение имеет любая информация о магнитном поле пульсара, почерпнутая из наблюдательных данных. В настоящее время в большей части работ по пульсарам их магнитное поле считается дипольным. Рассмотрим наблюдательные возможности для проверки этого фундаментального предположения.

1) *Анализ наблюдаемых профилей.* Вследствие вращения нейтронной звезды кривизна силовых линий магнитного поля будет изменяться таким образом, что «фронтальные» силовые линии будут выпрямляться (уменьшать кривизну по сравнению с силовыми линиями дипольного поля), а «хвостовые» линии будут кривизну увеличивать (рис. 62). Поскольку полная мощность излучения кривизны для единичного заряда равна

$$q = \frac{2e^2 c \gamma^4}{3r^2}, \quad (58)$$

указанное искажение силовых линий вызовет уменьшение интенсивности первого (по времени прохождения) компонента, образующегося на выпрямленной линии, и усиления второго компонента по сравнению с дипольным случаем. Поэтому, если вращение заметно искажает магнитное поле, то в наблюдаемых двухкомпонентных профилях второй компонент должен быть сильнее первого. В табл. 15 приведены данные из работ, в каждой из которых исследуется не менее 30 профилей [11, 32, 215–217]. Как следует из этих данных, случаи преобладания первого (левого) компонента столь же часты, как и второго (правого).

В рамках той же модели описанный эффект преобладания «хвостового» компонента должен быть заметнее на более низких частотах, которые генерируются в более высоких слоях магнитосферы с более сильными искажениями магнитного поля. Как видно из таблицы, этот эффект отсутствует. К такому же выводу приводит детальное изучение профилей конкретных пульсаров. Так, по данным работы [217] у четырёх пульсаров левый компо-

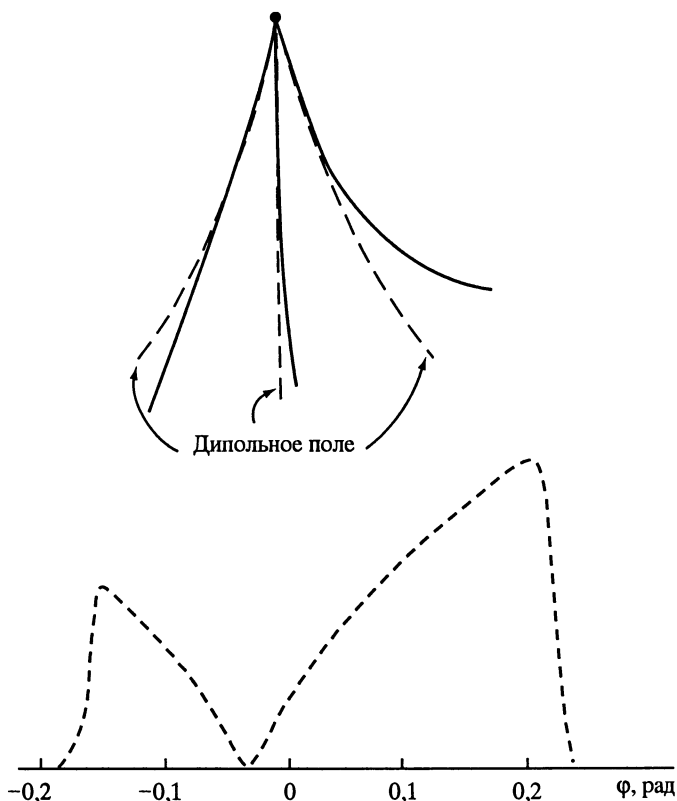


Рис. 62. Характерный вид импульса в магнитном поле, искажённом вращением. Модельный профиль вычислен при $P = 1$ с, $\gamma = 1000$, $\nu = 100$ МГц [209]

нент усиливается при переходе к более низким частотам, у четырёх ослабевает и у четырёх остается примерно одинаковым.

Для иллюстрации того, насколько сложнее реальное поведение профилей, чем простое ослабевание «фронтального» компонента, опишем двухкомпонентные профили пульсаров по данным работы [215].

У PSR B0301+19 и 0525+21 компоненты примерно равны, но при переходе от 2650 МГц к 1720 МГц у первого пульсара левый компонент ослабевает, а у второго усиливается. В PSR B0740–28 и 1133+16 при изменении частоты от 8,7 до 1,7 ГГц левый компонент ослабевает, но при этом остаётся сильнее, чем правый.

У PSR B1604–00 и 2319+60 компоненты одинаковы как на 2,65 ГГц, так и на 1,72 ГГц. У PSR B1508+55, 1541+09, 1944+17 и

Таблица 15

Соотношение компонентов профилей

№ п/п	Частота, ГГц	Число пульсаров	Число пульсаров с двухкомпонентным профилем	Число пульсаров, у которых		
				левый компонент слаб	интенсивности компонентов равны	правый компонент слаб
1	0,408	33	6	1	1	4
2	0,43	13	9	5	–	4
	2,7	33	10	5	2	3
	4,9	30	9	4	2	3
3	0,64	43	9	3	–	6
4	1,612	38	12	5	1	6
5	1,612–1,72	58	18	9	2	7
	2,65–2,7	62	15	8	3	4
	8,7	16	5	1	–	4

1952+29 при переходе от 2,65 к 1,7 ГГц левый компонент усиливается, а у PSR B1112+50 и 1822–09 ослабевает.

Наконец, у PSR B2020+28 левый компонент ослабевает при изменении частоты от 8,7 к 2,7 ГГц, а затем снова усиливается на частоте 1,72 ГГц.

Этот анализ показывает, что в рамках принятых представлений наблюдаемый вид профилей и их изменение с частотой не подтверждает предположение о заметном искажении силовых линий магнитного поля за счёт вращения пульсара в областях генерации частот от 400 до 5+8 ГГц.

2) *Анализ углов β на разных уровнях магнитосферы.* В разделе 4 этой главы описан способ оценки угла β на основе сравнения вычисленных профилей с наблюдаемыми. Само значение β зависит от выбора модели. Однако в рамках выбранной модели изменение β с частотой (или уровнем генерации излучения) будет отражать его реальную зависимость для данного пульсара. В случае дипольного магнитного поля ось конуса излучения остаётся прямой на любых расстояниях от поверхности, и угол β должен оставаться постоянным на всех частотах. Напротив, изменение β с частотой будет свидетельствовать об отклонениях магнитного поля от дипольного. Сравнение углов β , вычисленных по данным на частотах 410, 630 и 1665 МГц, было впервые выполнено в работе [218] для четырёх пульсаров (табл. 16). Определив из сравнения модельных и наблюдаемых профилей

Таблица 16
Значения угла β на разных частотах

PSR	ν , МГц	β , град.	$(\zeta-\beta)$, град.
0823+26	421	$81,2 \pm 15,8$	3,2
	1665	$81,1 \pm 12,8$	3,3
0950±08	410	$1,8 \pm 0,3$	-0,8
		$(13,2 \pm 1,0)$	$(-7,0)$
	1665	$3,0 \pm 0,3$	-2,0
		$(38,0 \pm 2,4)$	$(-31,8)$
1133+16	410	$21,2 \pm 1,5$	1,7
	638	$21,0 \pm 1,4$	1,9
	1665	$19,4 \pm 0,9$	3,5
1929+10	392	$6,7 \pm 0,5(7,5)$	-3,8(-4,6)
	1665	$8,1 \pm 0,7(7,5)$	-5,2(-4,6)

величину $(\zeta-\beta)$ и используя уравнение (10), можно вычислить соответствующие значения β . Для оценки ошибки угла β используем максимальную производную позиционного угла

$$C = \frac{\sin \beta}{\sin(\zeta - \beta)}. \quad (59)$$

Из этого выражения следует

$$\Delta\beta = \operatorname{tg} \left[57,3^\circ \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta(\zeta - \beta)^\circ}{\operatorname{tg}(\zeta - \beta)} \right]. \quad (60)$$

Величина $\Delta(\zeta-\beta)$ принималась равной $0,1^\circ$, значение ΔC полагалось равным 0,1. Из полученных данных следует, что в пульсарах PSR B0823+26 и 1133+16 наклон магнитного момента к оси вращения нейтронной звезды в пределах ошибок остаётся неизменным при переходе от уровня генерации излучения с частотой 400 МГц к уровню, соответствующему частоте 1665 МГц. У пульсаров PSR B0950+08 и 1929+10 изменение наклона несколько больше указанных ошибок. Однако, как показывает дополнительный анализ, сумма квадратов уклонений вблизи её минимума изменяется очень медленно, и наблюдаемый ход позиционного угла может быть хорошо описан одним значением β , указанным в таблице в скобках. Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что в области генерации частот от 410 до 1665 МГц магнитное поле рассмотренных пульсаров можно считать дипольным (отклонения оси конуса от прямой не превышают $1,5^\circ$).

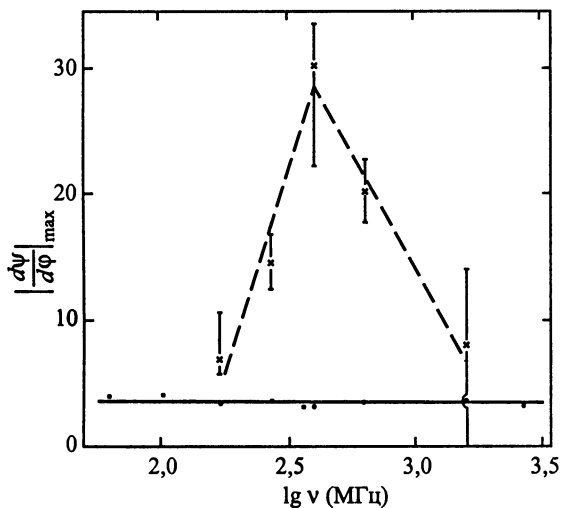


Рис. 63. Зависимость $|d\psi/d\phi|_{\max}$ от частоты для PSR B1727–46 (крестики, штриховая линия, указаны максимальные ошибки измерений) и PSR B0628–28 (точки, сплошная линия)

Блашкевич с соавторами [219] также не обнаружил изменений хода позиционного угла с частотой. Однако в работе [204] было показано, что на частоте 2,7 ГГц значение C для выборки из 17 пульсаров систематически меньше, чем на 1,6 ГГц. Затем был проведён более детальный анализ пульсаров с монотонным поведением $\psi(\Phi)$ [206]. Оказалось, что у многих объектов величина C не изменяется с изменением частоты, но у ряда пульсаров наблюдается зависимость C от частоты. Наиболее ярко такие изменения наблюдаются у PSR B1727–46 (рис. 63). Они свидетельствуют о существенном отклонении магнитного поля от дипольного у этого пульсара. Следует подчеркнуть, что измерения максимальной производной не всегда можно провести достаточно точно. Кроме того, оценки угла β проводились в рамках определённой модели. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как указание на несправедливость предположения о дипольности магнитного поля у ряда пульсаров, но окончательный вывод можно будет сделать после построения уверенной модели магнитосферы.