

МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ УГЛА β МЕЖДУ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ И МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ

Одним из наиболее важных параметров для проверки предлагаемых моделей и теорий пульсаров является угол β между направлением вектора магнитного момента μ и осью вращения нейтронной звезды. Знание этого угла позволяет понять специфику излучения данного пульсара, а распределение углов для объектов разного возраста сделать выводы о путях их эволюции. Из оценки β для разных пульсаров можно также выяснить причину появления интеримпульсов и межимпульсного излучения у некоторых из них и, наконец, сделать вывод о том, насколько широко применимо наиболее часто используемое в астрофизике предположение о дипольности магнитного поля в магнитосфере пульсара.

В этой главе даётся описание методов определения угла β и проводится их сравнительный анализ, а также обсуждаются результаты, полученные с помощью этих методов.

1. ОЦЕНКИ УГЛА β ПО НАБЛЮДАЕМОЙ ШИРИНЕ ПРОФИЛЯ

В рамках традиционной модели полого конуса наблюдаемая ширина Φ_p профиля определяется взаимным расположением оси вращения (вектора Ω), вектора дипольного момента μ и луча зрения наблюдателя L , а также угловым радиусом θ реальной диаграммы излучения, связываемой обычно с раскрывом конуса открытых силовых линий (рис. 49). Связь между соответствующими величинами задаётся уравнением [38]

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \cos \Phi_p, \quad (1)$$

где ζ – угол между лучом зрения и осью вращения.

В работе [203] авторы предположили, что наблюдаемая ширина профиля совпадает с его эквивалентной шириной W

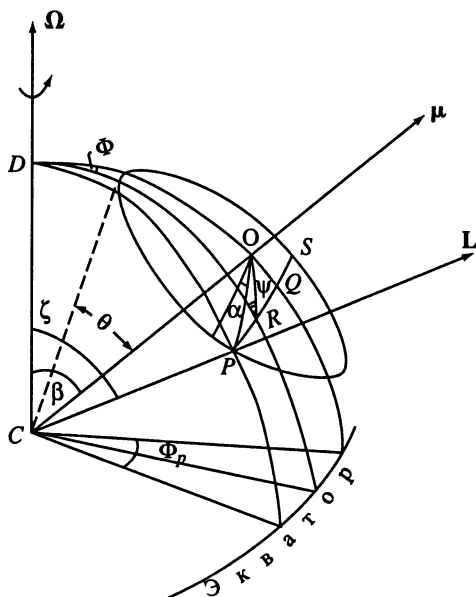


Рис. 49. Геометрия конуса излучения в модели полярной шапки

и определяется соотношением

$$W = \theta / \sin \zeta. \quad (2)$$

Считая далее, что луч зрения проходит вблизи центра конуса излучения, т.е.

$$\zeta \approx \beta, \quad (3)$$

и что ширина конуса определяется обычным для модели полярной шапки выражением

$$\theta = A / \sqrt{P} \quad (A = \text{const}), \quad (4)$$

авторы по наблюдаемому значению W определили величину β для 308 пульсаров:

$$\beta = \arcsin \frac{A}{W\sqrt{P}}. \quad (5)$$

Полученные в работе [203] значения β представляют собой нижние пределы для большей части пульсаров, поскольку «реальная» ширина (величина A) определялась по нижней границе диаграммы $W(P)$, и не учитывалась возможность прохождения луча зрения на большом расстоянии от центра конуса излучения. Для многих пульсаров такого рода оценки остаются пока единственно возможными, необходимо только сделать два уточнения [204].

1) Вместо эквивалентных ширин следует использовать ширины импульсов W_{10} по уровню 10%, поскольку они ближе к полной ширине Φ_p . Нижнюю границу массива можно описать соотношением [204]

$$(W_{10})_{\min} = 4,6^\circ P^{-0,36}. \quad (6)$$

В дальнейшем полагалось

$$\Phi_p = W_{10} / 2, \quad (7)$$

$$\theta = \frac{(W_{10})_{\min}}{2}. \quad (8)$$

2) Выражение (2) верно лишь при малых значениях W и θ . Однако у ряда пульсаров профили занимают заметную долю

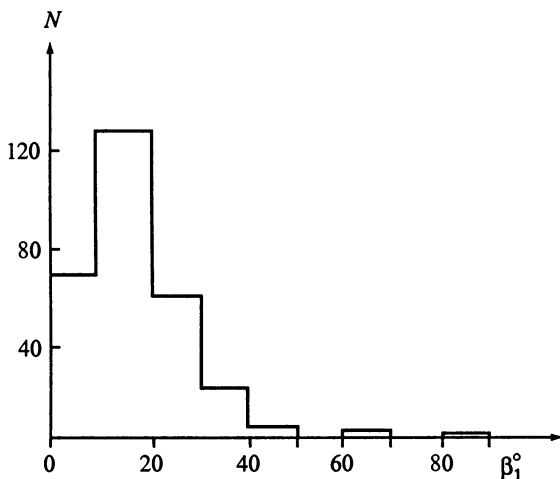


Рис. 50. Гистограмма распределения углов β_1 для 282 пульсаров

периода. Поэтому более точные оценки можно получить из уравнения (1). Положив $\beta = \zeta$ и учтя соотношения (6)–(8), из этого уравнения имеем

$$\beta = \arcsin \frac{\sin(1,15^\circ P^{-0,36})}{\sin(W_{10}/4)}. \quad (9)$$

По формуле (9) в работе [204] вычислены значения угла β (в дальнейшем мы будем обозначать их β_1) для 282 пульсаров (табл. 5). В таблице и на рисунках значения β_1 даны в градусах. Распределение β_1 показывает преобладание пульсаров с малыми углами (рис. 50). Однако, как уже отмечалось, значения β_1 следует рассматривать лишь как нижние пределы величины β , и реальное распределение $N(\beta)$ может сильно отличаться от представленного на рис. 50.

Использованная зависимость ширины профиля от периода (6) отличается от предсказываемой моделью полярной шапки ($\theta = KP^{-0,5}$). Это может объясняться как причинами, упомянутыми в гл. IV, так и уклонением магнитного поля от дипольного, зависимостью коэффициента K от β (см. гл. II), а также тем обстоятельством, что генерация излучения на частоте 400 МГц, для которой получено соотношение (6), происходит у разных пульсаров на разных уровнях в магнитосфере.

Значения β_1 в совокупности с оценками на основе других методов, как мы увидим в дальнейшем, могут дать полезную информацию об относительной ориентации осей пульсара.

Таблица 5
Значения угла β_1 в градусах

ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0031-07	7,5	0820+02	16,4	1056-78	16,7	1451-68	10,8	1706-16	26,2
0100+65	9,3	0823+26	34,6	1056-57	20,	1454-51	12,4	1707-53	23,5
0136+57	25,2	0826-34	1,2	1105-59	12,1	1503-51	19,1	1717-29	11,3
0138+59	8,8	0833-45	25,6	1110-65	10,1	1503-66	18,5	1718-02	5,8
0148-06	5,2	0834+06	27,7	1110-69	16,4	1504-43	17,8	1718-32	22,4
0149-16	28,2	0835-41	41,6	1112+50	24,9	1507-44	7,1	1719-37	14,2
0203-40	23,4	0839-53	7,0	1114-41	24,2	1510-48	19,5	1727-47	20,8
0254-53	39,7	0840-48	7,4	1118-79	18,0	1523-55	9,5	1729-41	7,8
0301+19	12,3	0844-35	9,9	1119-54	14,7	1524-39	20,2	1730-22	8,4
0320+39	20,3	0853-33	27,7	1113+16	22,1	1530+27	20,1	1732-07	17,1
0329+54	18,7	0855-61	15,0	1133-55	11,0	1530-53	16,5	1737+13	15,3
0402+61	17,7	0901-63	15,0	1143-60	12,3	1540-06	32,7	1737-39	11,4
0403-76	14,0	0903-42	15,8	1154-62	13,7	1541-52	12,4	1738-08	10,6
0447-12	14,6	0904-74	12,0	1159-58	19,5	1541+09	2,4	1740-03	20,1
0450+55	13,3	0905-51	5,2	1221-63	26,2	1550-54	6,0	1742-30	10,9
0450-18	12,6	0906-17	18,9	1222-63	10,1	1552-31	15,3	1745-12	18,6
0458+46	16,9	0909-71	9,4	1232-55	7,9	1552-23	17,7	1745-56	13,7
0523+11	19,1	0919+06	18,1	1236-68	19,6	1555-55	16,4	1747-46	21,3
0525+21	8,2	0922-52	18,2	1237+25	15,7	1556-44	22,7	1749-28	42,7
0531+21	5,7	0923-58	6,7	1237-41	24,6	1556-57	8,0	1754-24	4,0
0538-75	7,7	0932-52	17,1	1240-64	19,5	1558-50	17,8	1756-22	17,4
0540+23	16,1	0940-55	19,1	1256-67	16,3	1600-27	18,7	1804-27	13,1
0559-05	17,2	0940+16	6,1	1302-64	5,4	1600-49	15,9	1804-08	16,5
0559-57	13,1	0941-56	23,5	1309-53	11,6	1601-52	5,7	1806-53	10,4
0611+22	26,7	0942-13	48,0	1309-55	13,3	1604-00	21,5	1811+40	21,0
0621-04	8,4	0943+10	12,1	1317-53	14,3	1609-47	14,8	1813-26	5,6
0626+24	19,5	0950-38	12,0	1322-66	5,3	1612+07	32,3	1813-36	16,3
0628-28	6,5	0950+08	13,9	1323-63	6,7	1612-29	17,8	1818-04	30,8
0647+80	20,6	0953-52	19,4	1323-62	19,9	1620-09	20,9	1819-22	10,0
0655+64	23,4	0957-47	4,4	1325-43	17,7	1630-59	14,1	1820-31	25,8
0656+14	13,3	0959-54	26,6	1325-49	11,9	1641-68	8,9	1821+05	14,7
0727-18	18,6	1001-47	16,7	1336-64	15,4	1642-03	80,1	1822-09	12,5
0736-40	7,5	1010-23	7,8	1352-51	25,9	1647-528	10,5	1826-17	3,8
0740-28	27,2	1014-53	22,7	1353-62	11,2	1647-52	16,4	1828-60	13,9
0751+32	10,0	1015-56	9,9	1358-63	29,8	1648-17	20,4	1831-03	9,0
0756-15	36,0	1039-19	13,0	1417-54	17,0	1659-60	2,9	1831-04	3,3
0808-47	4,6	1039-55	15,2	1424-55	17,3	1700-32	13,0	1834-10	1,7
0809+74	9,2	1044-57	10,3	1546-66	20,8	1700-18	19,0	1839+56	20,6
0818-13	21,0	1054-62	6,5	1436-63	18,1	1701-75	18,5	1839+09	27,3
0818-41	2,5	1055-52	2,7	1449-64	30,1	1702-19	21,7	1842+14	27,3

Таблица 5 (окончание)

ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1	ПСР	β_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1844-04	8,2	1907+12	9,8	1924+16	20,3	1952+29	10,8	2151-56	10,0
1845-19	17,2	1910+20	30,6	1924+14	4,4	1953+50	36,9	2152-31	21,8
1845-01	10,3	1911+13	20,5	1925+22	7,1	2002+31	43,4	2154+40	8,8
1846-06	18,9	1911-04	60,7	1926+18	16,5	2003-08	5,2	2217+47	32,6
1851-79	10,2	1913+167	20,4	1929+10	19,5	2016+28	24,8	2224+65	6,0
1851-14	21,6	1913+10	6,3	1929+20	14,6	2020+28	22,2	2303+30	30,2
1857-26	7,6	1913+16	12,3	1930+22	17,7	2021+51	15,4	2310+42	24,1
1859+03	9,7	1914+09	19,0	1933+16	33,6	2025+21	10,3	2315+21	26,6
1900+05	11,2	1915+13	32,2	1937-26	36,3	2028+22	16,3	2319+60	8,0
1900+01	23,7	1916+14	17,2	1940-12	34,7	2043-04	26,4	2321+61	14,2
1900-06	10,8	1917+00	23,1	1941-17	16,6	2044+15	16,2	2323+63	5,2
1905+39	13,0	1918+19	5,9	1942-00	11,6	2045-16	12,2	2324+60	9,6
1907+00	67,6	1919+14	13,6	1943-29	31,2	2048-72	8,2	2327-20	28,3
1907+02	30,5	1919+21	21,5	1944+22	16,2	2053+36	9,7	2351+61	13,7
1907+10	31,0	1920+21	19,6	1944+17	9,7	2111+46	4,8		
1907+03	2,8	1922+20	10,6	1946-25	38,5	2113+14	26,4		
1907-03	24,2	1923+04	24,6	1946+35	12,5	2123-67	9,1		

С помощью формулы (9) можно сделать оценки для всех пульсаров с известными значениями W_{10} . Однако использование новых данных по ширинам профилей требует учёта многих перечисленных выше факторов и потому мы ограничимся здесь лишь ранее вычисленными значениями угла β_1 .

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ПОЗИЦИОННОГО УГЛА ПОЛЯРИЗАЦИИ

В случае излучения кривизны электрический вектор лежит в плоскости магнитной силовой линии, а само излучение поляризовано параллельно проекции оси магнитного диполя. Из рис. 49 следует, что зависимость позиционного угла ψ плоскости поляризации от долготы Φ может быть представлена в виде [38]

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \beta \sin \Phi}{\sin \zeta \cos \beta - \cos \zeta \sin \beta \cos \Phi}. \quad (10)$$