

СРАВНЕНИЕ УГЛОВ МЕЖДУ МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ И ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ДВУХ ГРУПП РАДИОПУЛЬСАРОВ

© 2022 г. З. В. Кенько¹, Ф. Малов^{2,*}

¹ Пущинский государственный естественно-научный институт, Пущино, Россия

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
Пущинская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Витковича,
Астрокосмический центр, Пущино, Россия

*E-mail: malov@rao.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 28.05.2022 г.

Принята к публикации 21.06.2022 г.

Проведены вычисления углов β между осью вращения и магнитным моментом в двух группах радиопульсаров, отличающихся периодами ($P > 2$ с и $0.1 \text{ с} < P < 2$ с). Использованы два метода. Первый основан на наблюдаемых ширинах импульса и дает минимальные значения угла β_1 . Распределения этих углов значительно отличаются для указанных групп объектов. Во втором методе используются поляризационные данные, позволяющие вычислить более точные величины β_2 . Намечается бимодальность в распределении значений β_2 для пульсаров с $P > 2$ с. Близость средних величин β_2 (47.6° для долгопериодических пульсаров и 35.6° для источников с более короткими периодами) не позволяет объяснить обнаруженное ранее различие поведения этих двух групп на диаграмме $(dP/dt) - (P)$ уменьшением роли магнитодипольного излучения из-за уменьшения β . Проведенные нами оценки показали, что наблюдаемое различие может быть объяснено разной зависимостью мощностей пульсарного ветра и магнитодипольного торможения от периода пульсара. Торможение пульсаров с $P > 2$ с вызвано в основном пульсарным ветром.

Ключевые слова: нейтронные звезды, радиопульсары, структура магнитосферы, механизмы торможения

DOI: 10.31857/S0004629922090055

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из инструментов, используемых для анализа путей эволюции радиопульсаров, остается исследование положения этих объектов на диаграмме $(dP/dt) - (P)$, которая описывает зависимость производной периода между последовательными импульсами от самого периода. Это связано с тем обстоятельством, что указанные величины измеряются непосредственно в процессе достаточно длительных наблюдений и не связаны с различными предположениями о природе пульсаров и их моделях. В работе [1] были исследованы соответствующие диаграммы для трех групп пульсаров, отличающихся величиной периода: $P > 2$ с, $0.1 \text{ с} < P < 2$ с и $P < 0.1$ с. Было показано, что вращение пульсаров первой группы замедляется выносом углового момента релятивистскими частицами (пульсарным ветром). В этом случае

потеря энергии вращения описывается следующим выражением [2]:

$$I\Omega \frac{d\Omega}{dt} = -\frac{L_p^{1/2} BR_*^3 \Omega^2}{(6c^3)^{1/2}}. \quad (1)$$

Здесь I – момент инерции нейтронной звезды, R_* – ее радиус, $\Omega = 2\pi/P$ – угловая скорость вращения, B – магнитное поле на поверхности, L_p – мощность ветра, c – скорость света.

Во второй группе к пульсарному ветру подключается магнитодипольное излучение нейтронной звезды [3]:

$$I\Omega \frac{d\Omega}{dt} = -\frac{B^2 R_*^6 \Omega^4 \sin^2 \beta}{6c^3}. \quad (2)$$

Источники третьей группы тормозятся обоими механизмами. В [1] было высказано предположение о том, что малый вклад магнитодипольного излучения в первой популяции определяется

значением угла β между магнитным моментом нейтронной звезды и осью ее вращения. Действительно, из выражения (2) следует, что чем меньше этот угол при прочих равных параметрах, тем меньше вклад магнитодипольного механизма. Для проверки такого предположения необходимо провести вычисления угла β для пульсаров с различными периодами и проанализировать отличие этого угла в различных популяциях.

В течение всех лет исследования пульсаров предпринимались многочисленные попытки вычисления углов β с использованием различных методов [4–8]. Важно было также понять, как эволюционирует этот угол с возрастом пульсара. В работе [9] построена модель магнитосферы, в которой угол β должен увеличиваться со временем, т.е. пульсары стремятся стать ортогональными роторами. Однако дальнейшие магнитогидродинамические расчеты [10] показали, что наклон магнитного момента к оси вращения с возрастом уменьшается по степенному закону.

Мы здесь анализируем отличие угла β для двух групп пульсаров с $P > 2$ с и $0.1 \text{ с} < P < 2$ с. Что касается объектов с $P < 0.1$ с, то в них начинают играть роль релятивистские эффекты [11] и для вычисления β могут потребоваться другие методы, отличающиеся от описываемых в следующем разделе.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ УГЛА β

В дальнейшем используется модель полярной шапки, представленная на рис. 1. Сферическая тригонометрия позволяет записать уравнение, связывающее углы β, ζ и θ ,

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \cos \Phi. \quad (3)$$

Для определения всех трех углов необходимы еще два уравнения.

Самый простой метод оценки связан с предположением о прохождении луча зрения через центр конуса излучения. В этом случае

$$\beta = \zeta, \quad (4)$$

а в качестве третьего уравнения можно использовать статистическую зависимость ширины импульса по уровню 10% от периода $W_{10}(P)$, полагая, что наблюдаемая ширина профиля связана с положением конуса излучения относительно оси вращения. Реальному радиусу конуса будет соответствовать $\beta = 90^\circ$, что на диаграмме $(W_{10}) - (P)$ определяется нижней границей массива наблюдаемых значений:

$$\theta = W_{10\min}(P)/2, \quad (5)$$

что на основе уравнения (3) дает возможность оценки угла β , используя следующее выражение:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{\sin \frac{W_{10\min}}{4}}{\sin \frac{W_{10}}{4}} \right). \quad (6)$$

Поскольку мы считали, что наблюдаемое уширение импульса связано исключительно с приближением конуса излучения к оси вращения пульсара, вычисленные по формуле (6) значения угла β представляют собой нижние пределы этого угла.

В дальнейшем мы будем использовать параметры пульсаров, приведенные в каталоге ATNF (последняя версия 1.67) [12].

Считается общепризнанным, что наблюдаемое радиоизлучение пульсаров генерируется механизмом излучения кривизны (curvature radiation). В этом случае позиционный угол ψ линейной поляризации определяется проекцией магнитного поля, и его зависимость от других углов может быть представлена в виде [13]:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \beta \sin \Phi}{\sin \zeta \cos \beta - \cos \zeta \sin \beta \cos \Phi}. \quad (7)$$

Наблюдательные данные показывают, что для многих пульсаров ход позиционного угла измеряется только в пределах главного импульса на небольшом участке долгот Φ . Скорость изменения позиционного угла достигает максимальной величины $(d\psi/d\Phi)_{\max}$, когда луч зрения пересекает меридиан, где находится магнитная ось ($\Phi = 0$).

$$\left| \frac{d\psi}{d\Phi} \right|_{\max} = \frac{\sin \beta}{\sin(\zeta - \beta)}. \quad (8)$$

Величина Φ_p для наблюдаемого профиля, определяемая уравнением (3), задается углом β (видимым уширением импульса при приближении к оси вращения) и угловым расстоянием $(\zeta - \beta)$, на котором луч зрения пересекает конус излучения. Последний эффект уменьшает наблюдаемую ширину Φ_p . Вклад каждого из этих эффектов заранее не известен, поэтому в среднем их можно считать равными, т.е. компенсирующими друг друга. Тогда зависимость $\theta(P)$ можно определить прямой, вписанной в массив $W_{10}(P)$ по методу наименьших квадратов, и положить

$$\theta = \frac{\langle W_{10} \rangle}{2}. \quad (9)$$

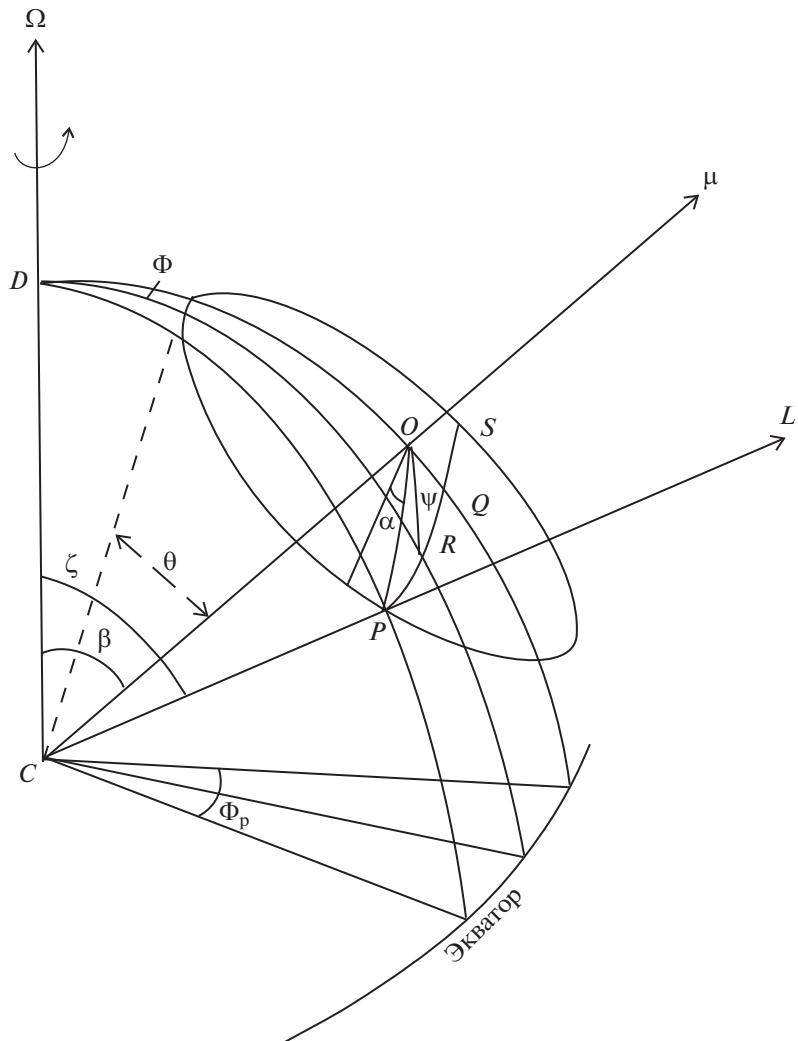


Рис. 1. Геометрия конуса излучения пульсара в модели полярной шапки: Φ_p – половина наблюдаемой ширины импульса, $\bar{\Omega}$ – ось вращения пульсара, μ – вектор дипольного магнитного момента, L – луч зрения наблюдателя, θ – угловой радиус конуса излучения, ζ – угол между лучом зрения и осью вращения, β – угол между осью вращения и вектором магнитного момента, ψ – позиционный угол плоскости поляризации излучения, Φ – долгота.

Выражения (3), (8) и (9) образуют систему трех уравнений, которая путем преобразований сводится к алгебраическому уравнению 4-й степени:

$$\begin{aligned} & C(1-D)^2 y^4 + 2C(1-D)y^3 + \\ & + [1+2C^2D(1-D)]y^2 + 2C(D-B^2)y + \\ & + C^2D^2 - B^2(1+C^2) = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где введены обозначения:

$$\begin{aligned} B &= \cos \theta, \quad C = |d\psi/d\Phi|_{\max}, \\ D &= \cos \langle W_{10} \rangle / 2, \quad y = \cos \zeta. \end{aligned} \quad (11)$$

Используя выражения (11), соотношение (8) можно переписать в виде:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{C(1-y^2)^{1/2}}{1+Cy}. \quad (12)$$

Решив уравнение (10) относительно y , из (12) находим искомый угол β .

Уравнение (10) имеет 4 решения, из которых находятся 4 значения β . Некоторые решения могут оказаться комплексными и должны быть отброшены. Знак производной $C = (d\psi/d\Phi)_{\max}$ по наблюдениям только в пределах главного импульса определить нельзя, поскольку не известен знак $d\Phi$, пульсар может вращаться как по часовой стрелке, так и против нее, в связи с чем решать систему уравнений (10) и (12) необходимо при $C > 0$ и $C < 0$. Уравнение (10) может дать отрицательное значение $y = \cos \zeta$. Это соответствует $\zeta > 90^\circ$, что вполне возможно в реальных пульсарах.

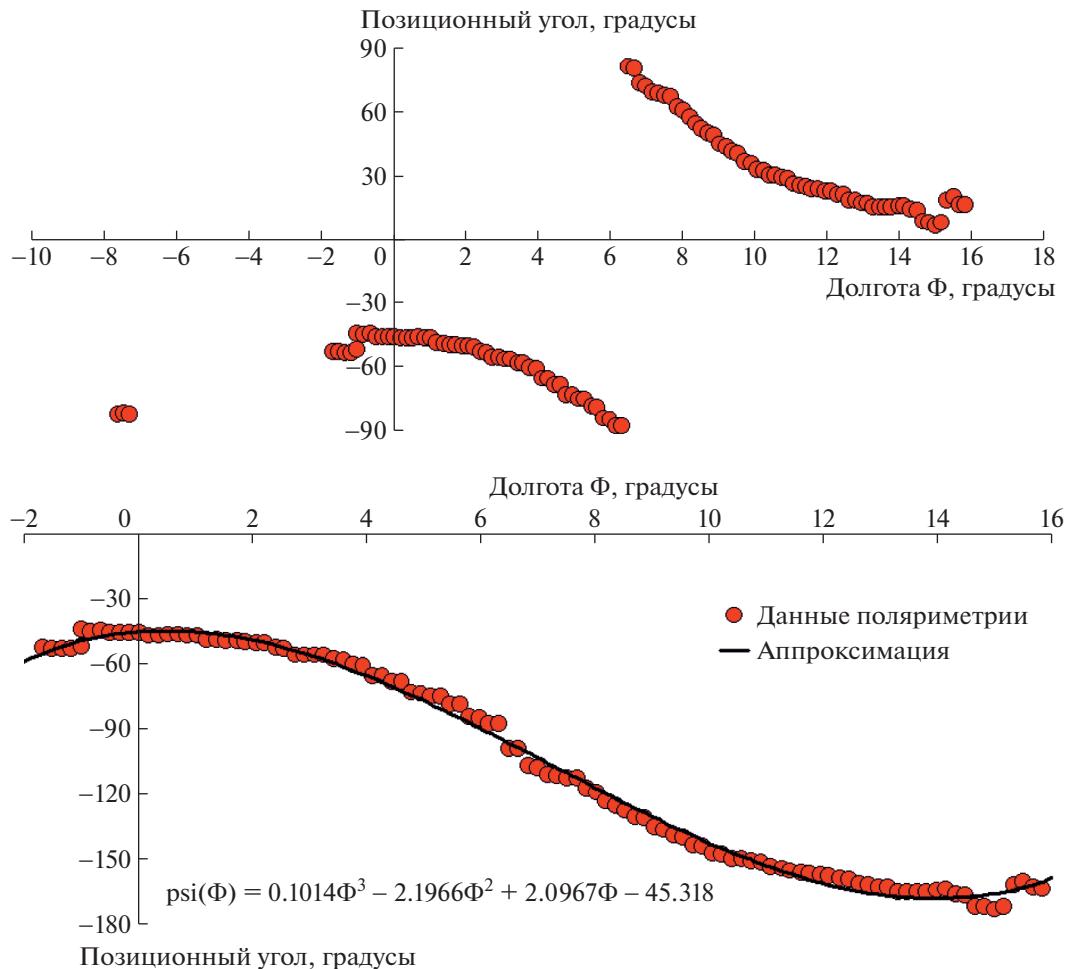


Рис. 2. Вверху: оцифрованный профиль хода позиционного угла $\psi(\Phi)$ в пределах импульса пульсара J2346–0609 по данным каталога [14]; внизу – “сшитые” ветки $\psi(\Phi)$ и аппроксимация их полиномиальной функцией: $\psi(\Phi) = 0.1014\Phi^3 - 2.1966\Phi^2 + 2.0967\Phi - 45.318$.

При расчете углов β этим методом использовался каталог поляриметрических данных для 600 пульсаров [14]. Исключались объекты в шаровых скоплениях и в двойных системах, где на их параметры влияют компаньоны. Учитывались также следующие факторы.

1) Скачок позиционного угла на 180° соответствует простому его продолжению, т.е. поляриметрические кривые необходимо “сшить” в точке разрыва. Пример такого случая представлен на рис. 2.

2) Скачки на 90° или на меньшие значения свидетельствуют о наличии другой моды (или других поляризационных мод), и такие пульсары исключались из дальнейшего рассмотрения.

3) Также были исключены источники с затянутым правым “хвостом” в их импульсах. Эти “хвосты” вызваны рассеянием в среде между

пульсаром и наблюдателем, которое может существенно искажить поляризационные свойства.

4) На S-образных зависимостях $\psi(\Phi)$ максимальная производная соответствует прямолинейной части кривой.

Следует отметить, что решение системы уравнений (10) и (12) существует не при любых значениях B , C и D , полученных из наблюдений. Это может означать, что в ряде пульсаров рассмотренная модель, описывающая поведение позиционного угла, не работает.

Можно использовать и другие методы определения угла β [11], но мы ограничимся здесь рассмотренными в данном разделе.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ УГЛА β

Как уже упоминалось, мы используем для анализа данные, приведенные в каталогах [12, 14].

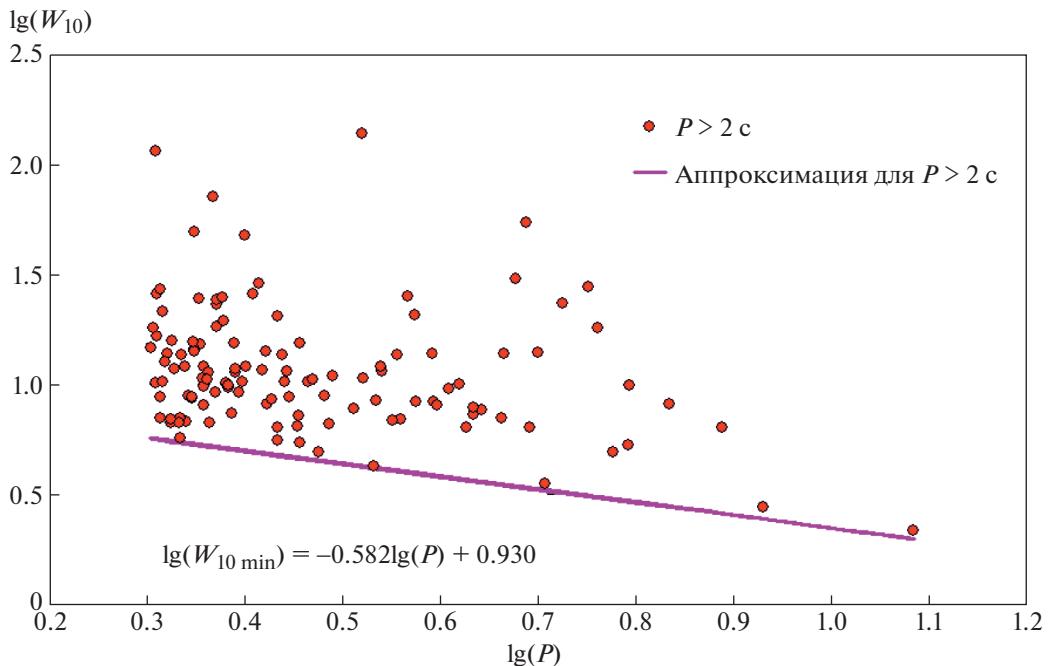


Рис. 3. Зависимость ширины импульса от периода для радиопульсаров с $P > 2$ с.

Для дальнейших вычислений нужно выразить ширину W импульса в градусах:

$$W_{10} [\text{°}] = 360^\circ \frac{W_{10} [\text{мс}]}{P [\text{мс}]} \quad (13)$$

На рис. 3 приведена диаграмма $(W_{10})-(P)$ для пульсаров с $P > 2$ с.

Для диапазона $0.1 \text{ с} < P < 2$ с полученная выборка содержала 1381 пульсар с известными значениями W_{10} , в диапазоне $P > 2$ с выборка включала 119 пульсаров (см. табл. 1–2).

Для выборки с $P > 2$ с:

$$\lg(W_{10 \min} [\text{°}]) = -0.582 \lg(P [\text{с}]) + 0.930, \quad (14)$$

или

$$W_{10 \min} [\text{°}] = 8.5^\circ P^{-0.58}. \quad (15)$$

Нужно подчеркнуть, что зависимость $W_{10}(P)$ для различных выборок пульсаров может существенно отличаться, поэтому мы отдельно построили соответствующую диаграмму, аналогичную рис. 3, для исследуемых источников с $0.1 \text{ с} < P < 2$ с (рис. 4). Нижняя граница для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2$ с описывается уравнением

$$\lg(W_{10 \min} [\text{°}]) = -0.062 \lg(P [\text{с}]) + 0.555, \quad (16)$$

откуда

$$W_{10 \min} [\text{°}] = 3.6^\circ P^{-0.06}. \quad (17)$$

Используя выражения (14) и (17) и каталожные значения W_{10} , мы вычислили углы β_1 для двух исследуемых групп пульсаров (см. табл. 1).

На рис. 5 показаны гистограммы распределения β_1 для двух выборок пульсаров, нормированные на полное число N пульсаров в выборке.

Для сопоставления статистического различия двух полученных распределений был использован критерий Колмогорова–Смирнова. Максимальная разность d_{\max} отсчетов в двух гистограммах составила 0.285 (отсчеты нормированы на число N пульсаров в выборках). Квантиль Колмогорова рассчитывался по формуле

$$\lambda = d_{\max} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}}, \quad (18)$$

где N_1, N_2 – число пульсаров в первой и второй выборках. Рассчитанное согласно (18) значение квантиля Колмогорова $\lambda = 2.98$ означает, что выборки β_1 для пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2$ с и $P > 2$ с статистически различны с вероятностью $p = 0.99999$.

Полученные распределения могут быть аппроксимированы гауссианами (рис. 6, 7)

$$\begin{aligned} \frac{n}{N(\beta_1)} &= (0.492 \pm 0.010) \times \\ &\times \exp \left\{ -\frac{(\beta_1 - (16.0 \pm 0.2))^2}{2(8.7 \pm 0.4)^2} \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

Таблица 1. Значения углов β для выборки пульсаров с периодами в интервале $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
1	J0006+1834	2.1	—	46	J0242+62	9	—	91	J0533+0402	23.6	—
2	J0014+4746	4.9	—	47	J0243+6027	10.1	—	92	J0536-7543	7.4	39.9
3	J0025-19	7.8	—	48	J0255-5304	28	—	93	J0540+3207	18.7	—
4	J0026+6320	4.1	—	49	J0301+35	7.9	—	94	J0540-7125	10.4	61.2
5	J0033+57	10.2	—	50	J0302+2252	11.6	—	95	J0555+3948	12.4	—
6	J0033+61	20.6	—	51	J0304+1932	12.8	77.5	96	J0601-0527	10	—
7	J0034-0721	4.5	—	52	J0324+5239	2.6	—	97	J0608+00	20.2	—
8	J0038-2501	10.7	—	53	J0325+6744	29.6	—	98	J0611+1436	5.1	—
9	J0040+5716	27	—	54	J0329+1654	14	—	99	J0612+3721	10.4	—
10	J0048+3412	22.4	—	55	J0332+5434	13.4	—	100	J0612+37216	10.3	—
11	J0051+0423	6.4	—	56	J0335+4555	16.6	—	101	J0613+3731	13.1	—
12	J0054+6946	15.7	—	57	J0335+6623	19	—	102	J0614+2229	16	67.6
13	J0056+4756	9.1	—	58	J0341+5711	14	—	103	J0614+83	7.3	—
14	J0058+4950	11.5	—	59	J0343+06	8.9	—	104	J0621+0336	32.1	—
15	J0058+6125	22.6	—	60	J0343+5312	13.9	—	105	J0624-0424	9.5	33.3
16	J0059+69	10.9	—	61	J0344-0901	29.5	—	106	J0627+0649	12.5	—
17	J0100+8023	12.5	—	62	J0357+5236	4.8	—	107	J0627+0706	32.3	—
18	J0102+6537	8.5	—	63	J0358+4155	8.9	—	108	J0629+2415	12.5	—
19	J0103+54	16.9	—	64	J0401-7608	12.1	—	109	J0630-0046	13.9	—
20	J0104+64	9.5	—	65	J0402+4825	3.5	—	110	J0636-23	10.6	—
21	J0107+1322	19.3	—	66	J0406+6138	10.9	—	111	J0636-4549	30.8	—
22	J0108+6608	13.3	—	67	J0408+552	5	—	112	J0645+80	7.3	—
23	J0108+6905	9.4	—	68	J0410-31	21.6	—	113	J0646+0905	12.5	—
24	J0108-1431	7.7	9.2	69	J0413+58	7.3	—	114	J0647+0913	23.1	—
25	J0110-22	11.2	—	70	J0414+31	12.7	—	115	J0652-0142	22.7	—
26	J0122+1416	18	—	71	J0415+6954	20	—	116	J0653+8051	16.6	—
27	J0125+62	15.7	—	72	J0417+35	21.9	—	117	J0656-2228	24.6	—
28	J0133-6957	15.6	—	73	J0417+61	7	—	118	J0656-5449	11.5	—
29	J0134-2937	12.6	—	74	J0418-4154	16.5	—	119	J0659-36	10.8	—
30	J0137+1654	4.1	—	75	J0421+3255	1	—	120	J0700+6418	12.5	—
31	J0137+6349	7.3	—	76	J0426+4933	19.3	—	121	J0709-5923	32.2	—
32	J0139+5621	15.7	—	77	J0448-2749	13	58.2	122	J0711+0931	16.6	—
33	J0139+5814	17.9	—	78	J0450-1248	7.4	—	123	J0719-2545	20.3	—
34	J0141+6009	6.7	—	79	J0452-1759	8.8	—	124	J0725-1635	26.5	—
35	J0147+5922	12.4	—	80	J0454+4529	16.3	—	125	J0733-2345	17.3	—
36	J0151-0635	5.5	—	81	J0454+5543	7.2	—	126	J0737-2202	7.1	—
37	J0152-1637	20.5	—	82	J0458-0505	26.8	—	127	J0738-4042	5.9	—
38	J0156+3949	6.3	—	83	J0459-0210	15.1	—	128	J0745-5353	4.5	25.5
39	J0201+7005	15.6	—	84	J0502+4654	10.3	—	129	J0747+6646	11.8	—
40	J0206-4028	19.9	—	85	J0517+2212	3.7	—	130	J0749-4247	23.7	—
41	J0210+5845	12.9	—	86	J0518+5416	10.5	—	131	J0750+57	6.4	—
42	J0211-8159	4.8	—	87	J0520-2553	11.7	—	132	J0754+3231	8.1	—
43	J0212+5222	11.5	—	88	J0525+1115	12.8	—	133	J0758-1528	39.3	80.2
44	J0215+6218	3.1	—	89	J0529-0715	15.5	—	134	J0758-30	12.5	—
45	J0231+7026	18.1	—	90	J0530-39	12.5	—	135	J0803-0942	21.9	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
136	J0807–5421	18.8	—	181	J0922–4949	21.4	—	226	J1046+0304	14.4	—
137	J0808–3937	16.9	—	182	J0924–5302	19.2	—	227	J1046–5813	16.3	—
138	J0809–4753	13.1	—	183	J0924–5814	5.3	17.7	228	J1047–3032	4.7	—
139	J0812–3905	6.2	—	184	J0930–2301	16.8	—	229	J1047–6709	11.5	—
140	J0814+7429	8.2	—	185	J0932–3217	26.8	—	230	J1048–5838	1.8	—
141	J0815+0939	2.1	—	186	J0934–4154	12.6	—	231	J1054–5943	37.3	—
142	J0815+4611	12.6	—	187	J0934–5249	19.6	—	232	J1054–5946	5	—
143	J0818–3049	5.3	—	188	J0941–5244	16.3	—	233	J1054–6452	31.3	—
144	J0820–1350	21	—	189	J0942–5552	8.5	—	234	J1055–6236	19.6	—
145	J0820–3826	6.3	—	190	J0942–5657	38.9	—	235	J1056–6258	7.1	—
146	J0820–3921	5.8	—	191	J0943+1631	4.3	—	236	J1057–7914	18.3	21.9
147	J0820–4114	1.9	—	192	J0944–1354	32.4	—	237	J1058–5957	17.6	—
148	J0821–4221	10.5	—	193	J0945–4833	18.8	—	238	J1059–5742	22.2	—
149	J0823+0159	15.3	—	194	J0947+2740	10.1	—	239	J1103–6025	28.1	—
150	J0826+2637	26.4	—	195	J0949–6902	25.9	—	240	J1104–6103	12.5	—
151	J0828–3417	1.2	—	196	J0952–3839	11.1	—	241	J1105–4353	9	—
152	J0831–4406	12.1	—	197	J0953+0755	7.5	—	242	J1107–5907	1.1	—
153	J0835–3707	30.7	—	198	J0954–5430	15.9	47.8	243	J1107–5947	10.6	—
154	J0836–4233	16.8	—	199	J0955–5304	16.8	—	244	J1107–6143	20.2	—
155	J0837+0610	21.6	—	200	J0957–5432	20.5	—	245	J1110+58	11.6	—
156	J0837–4135	25.1	—	201	J0959–4809	3.3	14.9	246	J1110–5637	11.9	—
157	J0838–2621	5.3	—	202	J1000–5149	18.6	—	247	J1112–6613	9.8	—
158	J0840–5332	13.3	—	203	J1001–5507	31.2	—	248	J1112–6926	13.7	—
159	J0842–4851	30.5	—	204	J1001–5559	17	—	249	J1114–6100	7.6	—
160	J0843–5022	12.1	10.6	205	J1002–5919	6.1	—	250	J1115+5030	27.2	—
161	J0846–3533	8.5	—	206	J1003–4747	11.2	—	251	J1115–6052	16.4	44.6
162	J0849+8028	9.6	—	207	J1006–6311	18.9	—	252	J1116–2444	14.9	—
163	J0849–6322	9.4	—	208	J1012–5857	22.1	—	253	J1116–4122	28.2	—
164	J0855–3331	25.4	—	209	J1013–5934	7.4	—	254	J1117–6154	11.7	—
165	J0855–4658	14.3	—	210	J1015–5719	1.6	—	255	J1120–24	23.5	—
166	J0856–6137	14.7	—	211	J1016–5345	29.2	—	256	J1121–5444	12.3	—
167	J0857–4424	11.2	—	212	J1017+3011	7	—	257	J1123–4844	11.8	40.6
168	J0901–4624	7.6	24.1	213	J1017–5621	23.8	38.1	258	J1123–6102	15.9	—
169	J0902–6325	14	—	214	J1018–1642	20.7	—	259	J1123–6259	12.1	60.4
170	J0904–4246	18.1	—	215	J1020–5921	21	—	260	J1123–6651	6.4	—
171	J0904–7459	10.9	33	216	J1020–6026	3.5	—	261	J1126–2737	11	—
172	J0905–4536	3	—	217	J1032–5911	16.6	—	262	J1126–38	8.9	—
173	J0905–5127	19.6	—	218	J1034–3224	2.2	—	263	J1126–6054	13.9	—
174	J0905–6019	16.2	—	219	J1035–6345	27.4	—	264	J1126–6942	13.8	—
175	J0907–5157	6.9	26.1	220	J1036–4926	18.2	—	265	J1130–5826	14.6	—
176	J0908–1739	11.1	—	221	J1036–6559	20.2	—	266	J1130–6807	2.6	—
177	J0909–7212	9.1	—	222	J1038–5831	18.8	—	267	J1132+25	23.6	—
178	J0912–3851	19.2	—	223	J1041–1942	12.6	55.6	268	J1132–4700	7.2	—
179	J0919–6040	15.8	—	224	J1042–5521	17.7	—	269	J1132–5627	18	—
180	J0921+6254	17.9	—	225	J1043–6116	15	—	270	J1133–6250	1.8	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
271	J1136–5525	8.6	—	316	J1252–6314	12	—	361	J1346–4918	10.3	—
272	J1136–6527	19.1	—	317	J1255–6131	20.8	—	362	J1347–5947	18.3	—
273	J1137–6700	2.8	—	318	J1255–62	1.9	—	363	J1349–6130	10.8	19.6
274	J1141–3107	12.4	—	319	J1257–1027	11.4	—	364	J1349–63	4.6	—
275	J1141–3322	8.2	—	320	J1259–6741	15.1	—	365	J1350–5115	25.1	—
276	J1142–6230	9	—	321	J1300–6602	6.8	—	366	J1352–6803	9.1	8.2
277	J1143–5158	22.6	—	322	J1305–6203	8.4	—	367	J1355–5153	30.5	—
278	J1143–5536	19.5	—	323	J1305–6455	6.9	—	368	J1355–5925	15.4	—
279	J1144–6217	16.1	—	324	J1306–6617	4.9	—	369	J1356–5521	9.8	—
280	J1146–6030	12.2	—	325	J1308–4650	9.8	—	370	J1357–62	6.5	—
281	J1152–6012	12.1	—	326	J1308–5844	22	—	371	J1358–2533	10.4	—
282	J1156–5707	10.5	14.7	327	J1311–1228	25.2	—	372	J1359–6038	15.5	—
283	J1156–5909	31.1	—	328	J1312–5402	10.7	—	373	J1401–6357	30	—
284	J1157–6224	6.4	—	329	J1312–5516	14.2	—	374	J1402–5021	12.6	—
285	J1159–6409	1.7	—	330	J1316–6232	1.3	—	375	J1403–6310	7.1	—
286	J1159–7910	15.8	—	331	J1317–6302	6.5	—	376	J1403–7646	10.7	—
287	J1202–5820	18.4	—	332	J1319–6056	14.8	—	377	J1405–5641	16.8	—
288	J1204–6843	16	—	333	J1319–6105	9.5	—	378	J1409–6953	10.2	—
289	J1210–5559	26.4	—	334	J1320+67	10.2	—	379	J1410–7404	65.7	—
290	J1210–6322	5.7	—	335	J1320–3512	9.2	—	380	J1412–6111	15.2	—
291	J1211–6324	11.9	—	336	J1320–5359	11.6	55.3	381	J1412–6145	6.1	—
292	J1214–5830	32.5	—	337	J1321+8323	10.4	—	382	J1413–6141	3.1	—
293	J1215–5328	7.2	—	338	J1321–5922	36.7	—	383	J1413–6222	3.3	—
294	J1220–6318	6	—	339	J1322–6241	23.9	—	384	J1413–6307	29.4	—
295	J1222–5738	39.1	—	340	J1326–5859	12.5	—	385	J1415–6621	17.2	—
296	J1223–5856	2.2	—	341	J1326–6408	10.8	—	386	J1416–5033	18.8	—
297	J1224–6208	16.7	—	342	J1326–6700	5.9	—	387	J1416–6037	9.6	—
298	J1225–5556	19.1	—	343	J1327–6222	17.8	—	388	J1418–3921	11.8	—
299	J1225–6035	53.5	—	344	J1327–6301	6.6	—	389	J1420–5416	18.2	—
300	J1225–6408	12.2	—	345	J1327–6400	1.6	—	390	J1423–6953	8.9	—
301	J1227–63	7.8	—	346	J1328–4357	17.9	—	391	J1424–5556	13.3	—
302	J1231–4609	9.6	—	347	J1328–4921	12.6	—	392	J1424–5822	10.7	44
303	J1232–4742	3	—	348	J1331–5245	8.9	—	393	J1424–6438	6.6	—
304	J1234–3630	16.3	—	349	J1332–3032	3.5	—	394	J1425–5723	18.3	—
305	J1235–54	5.4	—	350	J1333–4449	24.7	—	395	J1425–6210	19.1	—
306	J1236–5033	11.4	—	351	J1334–5839	11	—	396	J1427–4158	15.2	—
307	J1239+2453	14.8	—	352	J1335–3642	6.4	—	397	J1428–5530	15.5	—
308	J1239–6832	19.6	—	353	J1336–2522	12	—	398	J1430–5712	7.4	—
309	J1240–4124	34.1	—	354	J1338–6204	3.6	—	399	J1430–6623	19.4	—
310	J1243–5735	3.9	—	355	J1339–4712	19.2	—	400	J1434–5943	11	—
311	J1243–6423	30.9	—	356	J1339–6618	9.5	—	401	J1435–5954	8.4	43.9
312	J1244–6359	4.2	—	357	J1340–6456	11.6	—	402	J1439+7655	17.8	—
313	J1246+2253	18	—	358	J1341–6023	21	—	403	J1440–6344	13.3	—
314	J1248–6444	11.3	—	359	J1344–5855	6.6	—	404	J1443–5122	5.1	19.4
315	J1251–7407	20.7	—	360	J1345–6115	21.9	—	405	J1449–5846	10.4	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
406	J1452–6036	6.3	—	451	J1532–56	5.8	—	496	J1559–5545	23.5	—
407	J1453–6413	14.6	—	452	J1534–4428	3.9	—	497	J1600–5044	9.4	—
408	J1456–6843	6.3	—	453	J1534–5334	16.2	—	498	J1600–5751	5.4	—
409	J1457–5122	11.4	—	454	J1534–5405	9	—	499	J1600–5916	4.8	—
410	J1457–5902	17.2	—	455	J1535–4114	11.9	58.6	500	J1602–5100	19.5	—
411	J1501–0046	17.7	—	456	J1535–4415	2.2	—	501	J1603–2531	16.1	—
412	J1502+4653	24.3	—	457	J1535–5848	19.3	—	502	J1603–2712	14.3	—
413	J1502–5653	23.4	—	458	J1536–30	15.8	—	503	J1603–3539	6.1	—
414	J1502–6128	8.4	—	459	J1536–3602	7.7	—	504	J1603–5312	10.6	—
415	J1504–5621	12	—	460	J1536–5433	7.7	47.1	505	J1603–5657	45.1	—
416	J1504–5659	15.5	—	461	J1537–4912	5.8	—	506	J1604–4718	15.1	—
417	J1505–25	21.7	—	462	J1537–5153	19.3	—	507	J1604–4909	17	—
418	J1506–5158	14	—	463	J1538–5621	17.6	—	508	J1604–7203	6.4	—
419	J1507–4352	21.6	19.2	464	J1538–5732	17.7	—	509	J1605–5257	5	—
420	J1507–5800	8	—	465	J1538–5750	2.2	—	510	J1607–0032	15.1	—
421	J1507–6640	46.7	—	466	J1539–4828	16.5	—	511	J1607–6449	11.6	—
422	J1509+5531	16.6	—	467	J1539–5626	8	—	512	J1609–1930	34.3	—
423	J1510–4422	5.4	—	468	J1539–6322	11	—	513	J1609–4616	22.5	—
424	J1511–5414	18.4	—	469	J1540–5736	13.5	—	514	J1610–1322	6.5	—
425	J1511–5835	4.1	—	470	J1542–5034	34.1	—	515	J1610–5006	1.9	—
426	J1512–5759	5.6	—	471	J1542–5133	16.9	—	516	J1611–4949	6.9	—
427	J1513–5739	18.9	—	472	J1542–5303	9.7	—	517	J1611–5209	46.3	—
428	J1513–6013	17	—	473	J1543+0929	1.7	—	518	J1611–5847	39.7	—
429	J1514–4834	23.4	—	474	J1543–0620	25.1	—	519	J1612–2408	16.9	—
430	J1514–5316	11.4	—	475	J1543–5459	4.4	—	520	J1612–49	1.8	—
431	J1517–4356	17.6	—	476	J1544–5308	10.4	—	521	J1612–5022	15.4	—
432	J1517–4636	20	—	477	J1546–5302	19.4	—	522	J1612–55	8.7	—
433	J1518–0627	10.1	—	478	J1547–0944	20.8	—	523	J1612–5805	21.8	—
434	J1518–3952	5.4	—	479	J1547–5750	6.3	—	524	J1613–4714	16.8	16.1
435	J1519–5734	3.8	—	480	J1547–5839	3.6	—	525	J1614+0737	28.4	—
436	J1519–6308	18.4	—	481	J1548–4927	20.2	—	526	J1614–3846	6.3	—
437	J1522–5525	26.9	—	482	J1548–5607	5	—	527	J1614–3937	9.2	—
438	J1522–5829	8.9	—	483	J1549+2113	32.6	—	528	J1615–4958	5.4	—
439	J1523–3235	8.7	—	484	J1549–4848	15	55.3	529	J1615–5444	14.8	—
440	J1524–5706	16	—	485	J1550–5242	19.3	—	530	J1615–5537	21.3	—
441	J1525–5417	66.4	—	486	J1551–4424	5.2	—	531	J1616–5017	14.5	—
442	J1525–5523	5.3	—	487	J1551–6214	19.4	—	532	J1617–4608	20.2	—
443	J1527–5552	15.5	—	488	J1553–5456	4.8	—	533	J1618–4723	8.6	—
444	J1528–4109	23	41.7	489	J1555–0515	30.8	—	534	J1621–5039	14.8	—
445	J1529–26	15.1	—	490	J1555–2341	11.8	—	535	J1621–5243	6.5	—
446	J1530–21	10.5	—	491	J1555–3134	9.4	—	536	J1622–3751	8.9	—
447	J1530–5327	10.9	—	492	J1557–4258	12	—	537	J1622–4332	13	—
448	J1530–6343	17.7	—	493	J1557–5151	3.9	—	538	J1622–4347	18.6	—
449	J1531–4012	18.4	—	494	J1558–5756	30.3	—	539	J1622–4802	3.9	—
450	J1532+2745	18.2	—	495	J1559–4438	9.5	—	540	J1622–4845	10.2	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
541	J1623–0908	41.3	—	586	J1639–4604	9.7	—	631	J1658–4958	9.4	—
542	J1623–4256	7.7	—	587	J1640–4715	3.8	—	632	J1659–1305	5.6	—
543	J1623–4949	13.8	—	588	J1641–2347	6.9	16.8	633	J1700–3312	15.7	—
544	J1624+5850	14.3	—	589	J1643+1338	20.6	—	634	J1700–3611	14	29.8
545	J1624+8643	20.4	—	590	J1643–4505	7.8	—	635	J1700–4012	6.5	—
546	J1624–4411	2.9	—	591	J1643–4550	15.1	—	636	J1700–4422	6.1	—
547	J1624–4613	2.6	—	592	J1644–33	4.3	—	637	J1700–4939	4.4	—
548	J1625–4913	9.5	—	593	J1644–4559	21	—	638	J1701–3130	10.6	—
549	J1626–4537	9.4	—	594	J1645+1012	12.5	—	639	J1701–4533	4.7	—
550	J1626–6621	12.4	—	595	J1645–0317	31.3	—	640	J1702–4310	6.6	16.3
551	J1627+1419	7.4	—	596	J1646–5123	13.3	—	641	J1703–1846	20.7	—
552	J1627–4706	4	—	597	J1646–6831	10.1	—	642	J1703–3241	14.1	—
553	J1627–4845	2.2	—	598	J1647+6608	16.4	—	643	J1703–4442	17.5	—
554	J1627–49	3.8	—	599	J1647–3607	9	—	644	J1703–4851	14.4	—
555	J1627–51	16.5	—	600	J1648–3256	25.5	—	645	J1704–3756	8.9	—
556	J1627–5547	9	—	601	J1648–6044	12.9	—	646	J1704–5236	6	—
557	J1627–5936	1.9	—	602	J1649+2533	15.4	—	647	J1704–6016	1.6	—
558	J1628–4804	2	—	603	J1649–3805	5.1	—	648	J1705–3423	7.6	—
559	J1629+33	14.3	—	604	J1649–3935	9.9	—	649	J1705–3950	5.8	—
560	J1629+43	7.7	—	605	J1649–4349	2.7	—	650	J1705–4331	9.4	—
561	J1629–3825	23	—	606	J1650–1654	15.8	—	651	J1705–6135	5.5	—
562	J1630–4719	17.7	—	607	J1650–4126	14.8	—	652	J1706+59	14.9	—
563	J1631–4155	11.8	—	608	J1650–4502	12.3	32.8	653	J1706–4434	12.1	—
564	J1632–1013	12.4	—	609	J1651–1709	16.6	—	654	J1706–6118	46.5	—
565	J1632–4621	23.1	—	610	J1651–4246	3.3	12.6	655	J1707–4053	4.4	—
566	J1633–4453	8.8	—	611	J1651–5222	17.2	—	656	J1707–4341	18.6	—
567	J1633–5015	10.3	—	612	J1651–5255	7.9	—	657	J1707–4729	4	—
568	J1634–49	6.4	—	613	J1651–7642	9.3	45.4	658	J1708–3426	11.6	—
569	J1634–5107	7.8	—	614	J1652+2651	11	—	659	J1708–3641	4.5	—
570	J1634–5640	8.8	—	615	J1652–1400	8.2	36.7	660	J1708–4522	20.1	—
571	J1635+2418	16.2	—	616	J1652–2404	18.4	—	661	J1708–7539	15.1	—
572	J1635–1511	2.6	—	617	J1653–3838	13.5	—	662	J1709–1640	20.6	—
573	J1635–4944	4.2	—	618	J1653–4030	3.7	—	663	J1709–3626	8.2	—
574	J1635–5954	9.6	—	619	J1653–4105	6.7	—	664	J1709–4401	25.8	—
575	J1636–2614	24.1	—	620	J1653–4249	10.4	—	665	J1710–2616	5.7	9.2
576	J1637–4450	1.6	—	621	J1653–45	19.1	—	666	J1710–37	4.4	—
577	J1637–4553	13.3	—	622	J1654–2636	6	—	667	J1711–1509	25.9	—
578	J1638+4005	15.2	—	623	J1654–2713	14.5	—	668	J1711–4322	4.3	—
579	J1638–35	13	—	624	J1654–3710	17.1	—	669	J1711–5350	23.1	—
580	J1638–3815	5.9	—	625	J1655–3048	3	—	670	J1712–2715	2.5	—
581	J1638–4233	7	—	626	J1656+6203	15	—	671	J1713+7810	10.9	—
582	J1638–44	6.7	—	627	J1656–3621	11.9	—	672	J1714–1054	5	—
583	J1638–4725	3.4	—	628	J1657+3304	17.8	—	673	J1715–3859	4.2	—
584	J1638–5226	7.2	—	629	J1657–4432	11.7	—	674	J1716–3720	3.6	—
585	J1639–4359	10	—	630	J1658–47	5.2	—	675	J1716–4111	18.2	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
676	J1716–4711	21.1	—	721	J1733–2533	6.8	—	766	J1745+1252	5.8	—
677	J1717–3425	9.7	—	722	J1733–2837	22.9	—	767	J1745–0129	33.2	—
678	J1717–3737	5.9	—	723	J1733–3716	3.7	—	768	J1745–2758	6.9	—
679	J1717–3953	1.8	—	724	J1733–4005	20	—	769	J1745–3040	10.7	—
680	J1717–4054	39.6	—	725	J1733–5515	8.4	51	770	J1745–3812	17.3	—
681	J1717–5800	6.6	—	726	J1734–0212	11.7	—	771	J1746+2540	18.6	—
682	J1718–41	4.7	—	727	J1734–2415	7.4	—	772	J1748–1300	12	—
683	J1718–4539	9.7	—	728	J1734–2859	7	—	773	J1748–30	3	—
684	J1719–2330	15.3	—	729	J1734–3058	14.4	—	774	J1749+5952	10.1	—
685	J1719–3458	11.5	—	730	J1735–0243	4.3	—	775	J1749–3002	4.1	—
686	J1719–4006	8.6	36.2	731	J1735–0724	11.6	—	776	J1749–4931	35.8	—
687	J1719–4302	18	—	732	J1737–3102	14.6	—	777	J1749–5417	8.6	—
688	J1720+2150	12.9	—	733	J1737–3555	15.2	—	778	J1749–5605	11.6	—
689	J1720–0212	3.5	—	734	J1738–2330	15.9	—	779	J1750–2438	22.5	—
690	J1720–1633	19.3	—	735	J1738–2736	15.8	—	780	J1750–28	21.3	—
691	J1720–2446	9	—	736	J1738–2955	4.3	—	781	J1750–3157	6.2	—
692	J1720–2933	10.8	79.9	737	J1738–3211	18.2	—	782	J1750–3503	3.6	—
693	J1720–3659	10.3	—	738	J1739+0612	9.8	—	783	J1751–3323	9.6	—
694	J1721–3532	2.6	—	739	J1739–1313	86.2	—	784	J1751–4657	22.2	—
695	J1722+35	9.4	—	740	J1739–2903	20.2	—	785	J1752+2359	23.1	—
696	J1722–3207	14.4	—	741	J1739–3131	3.3	—	786	J1752–2806	29	—
697	J1722–3632	6.2	—	742	J1739–3951	11.1	—	787	J1752–2821	19.2	—
698	J1722–3712	15.4	—	743	J1740+1311	9.7	—	788	J1753–2501	3.4	—
699	J1722–4400	20	—	744	J1740+27	16.5	—	789	J1753–38	18.1	—
700	J1723–3659	7.6	16.9	745	J1740–3015	38.6	—	790	J1754–3443	11.7	—
701	J1723–38	12.8	—	746	J1740–3327	13.5	—	791	J1754–3510	20.2	—
702	J1724–4500	19.7	—	747	J1741+2758	19.4	—	792	J1755–0903	12.6	—
703	J1725–0732	7.5	—	748	J1741+3855	12.5	—	793	J1755–1650	16.7	—
704	J1725–2852	9	—	749	J1741–2719	7.1	—	794	J1755–2521	20.6	—
705	J1725–3546	6.1	—	750	J1741–2733	9.4	—	795	J1755–2550	7.6	—
706	J1725–4043	8.3	—	751	J1741–3016	9.4	—	796	J1755–26	10.2	—
707	J1726–3635	2.7	—	752	J1741–34	11.7	—	797	J1755–2725	5.8	—
708	J1727–2739	6.5	—	753	J1741–3927	12.3	—	798	J1756–2435	10.1	—
709	J1728–0007	7.6	—	754	J1742–0203	8.6	—	799	J1756–25	13.1	—
710	J1728–3733	20.6	—	755	J1742–3957	4.9	—	800	J1757–1500	24.6	—
711	J1728–4028	4.2	—	756	J1742–4616	6.8	29.2	801	J1757–2223	24.2	—
712	J1730–2900	19.8	—	757	J1743–0339	15	—	802	J1758+3030	13	—
713	J1731–33	4.1	—	758	J1743–1351	9.9	—	803	J1758–2846	15	—
714	J1731–3322	4.6	—	759	J1743–35	10	—	804	J1759–1736	10.6	—
715	J1732–1930	12.7	—	760	J1743–4212	12.7	—	805	J1759–2205	26	—
716	J1732–3426	6.2	—	761	J1744–1610	24.4	—	806	J1759–2307	6.4	—
717	J1732–35	5.9	—	762	J1744–2335	16	—	807	J1759–24	5.1	—
718	J1732–4128	15.6	—	763	J1744–3130	22.2	—	808	J1759–2922	17.2	—
719	J1733–01	11.7	—	764	J1744–3922	18	—	809	J1759–3107	26.5	—
720	J1733–2228	6	—	765	J1744–5337	5.2	—	810	J1800+5034	17.4	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
811	J1800–0125	9	—	856	J1812–2526	10.3	—	901	J1824–0132	6.3	—
812	J1801–0357	16.3	—	857	J1812–3039	14.6	—	902	J1824–1118	5.2	—
813	J1801–2920	10.1	—	858	J1813+1822	10.4	—	903	J1824–1350	13.6	—
814	J1801–3458	7.1	—	859	J1813+4013	19.5	—	904	J1824–1423	7.9	—
815	J1802+0128	15.1	—	860	J1813–2113	11.3	—	905	J1824–1945	39.4	—
816	J1802–0523	6.4	—	861	J1814–0521	13.6	—	906	J1824–2233	21	—
817	J1803–2712	6.4	32.6	862	J1814–0618	4	—	907	J1824–2328	16.7	—
818	J1803–3329	18	—	863	J1814–1649	9.5	—	908	J1825+0004	13.8	—
819	J1804–28	10.8	—	864	J1815+5546	14.4	—	909	J1825–1108	15.5	—
820	J1805+0306	11.5	—	865	J1815–1910	13.7	—	910	J1825–1446	6.2	—
821	J1805–0619	10.2	—	866	J1816–1729	12.4	73.5	911	J1827–0750	4.5	—
822	J1805–1504	2	11.1	867	J1816–2650	5.4	—	912	J1827–0958	2.7	—
823	J1805–2447	17.9	—	868	J1816–5643	6.1	—	913	J1828–0611	9.9	—
824	J1805–2948	11.8	—	869	J1817–0743	7.8	—	914	J1828–2119	9.1	—
825	J1806–1154	8	—	870	J1817–3618	13.9	—	915	J1829+0000	6	—
826	J1806–2125	5.3	—	871	J1817–3837	24	—	916	J1829–0734	10.3	—
827	J1807+0756	10.4	—	872	J1818–0151	13.9	—	917	J1829–1011	3.9	—
828	J1807–0847	8.8	—	873	J1818–1422	3.4	—	918	J1829–1751	10.6	—
829	J1807–2715	19.5	—	874	J1819+1305	7.4	—	919	J1830–0052	13.3	—
830	J1808+00	7.6	—	875	J1819–0925	15.1	—	920	J1830–0131	5.5	—
831	J1808–0813	13.4	—	876	J1819–1114	2.5	—	921	J1830–10	12.1	—
832	J1808–1020	13.7	—	877	J1819–1318	21.1	—	922	J1830–1059	26.7	41.5
833	J1808–1517	18.3	—	878	J1819–1510	4.8	—	923	J1830–1414	20.8	—
834	J1808–2057	6.3	—	879	J1819–37	9.6	—	924	J1831–04	22.1	—
835	J1808–3249	12.4	—	880	J1820–0427	18.9	—	925	J1831–0823	18.3	—
836	J1809–0119	19.2	—	881	J1820–0509	9.9	—	926	J1832+0029	21.7	—
837	J1809–0743	10.8	—	882	J1820–1346	3.5	—	927	J1832–0644	7.3	—
838	J1809–1429	21.1	—	883	J1820–1818	6.8	—	928	J1832–0827	16.8	—
839	J1809–2109	28.5	—	884	J1821+1715	12.1	—	929	J1832–1021	8.5	38.7
840	J1809–3547	2.7	—	885	J1821+4147	16.4	—	930	J1833–0209	5.9	—
841	J1810+0705	1.6	—	886	J1821–0256	10.1	—	931	J1833–0338	21.7	—
842	J1810–1709	2.2	—	887	J1821–1432	10.9	—	932	J1833–6023	13.1	—
843	J1810–1820	3.2	—	888	J1822+02	9.1	—	933	J1834–0010	9	—
844	J1810–5338	7.4	—	889	J1822+1120	16.9	—	934	J1834–0031	15.7	—
845	J1811–0154	15.4	—	890	J1822+2617	27.3	—	935	J1834–0426	1.8	—
846	J1811–1717	4.1	—	891	J1822–0719	16.3	—	936	J1834–0602	8.4	—
847	J1811–1736	1.3	—	892	J1822–0848	8.8	—	937	J1834–0731	2.3	—
848	J1811–2439	10.5	—	893	J1822–0902	13.6	—	938	J1834–09	2.1	—
849	J1811–4930	21	—	894	J1822–1400	8	—	939	J1834–1202	4.8	—
850	J1812+0226	23.7	—	895	J1822–2256	12.8	34.3	940	J1834–1710	10.5	—
851	J1812–15	17.2	—	896	J1822–4209	9.8	—	941	J1834–1855	11.6	—
852	J1812–1718	11.4	—	897	J1823+0550	7.3	—	942	J1835–0349	17.6	—
853	J1812–1733	1.8	—	898	J1823–0154	30.9	—	943	J1835–0643	3.2	—
854	J1812–20	2.7	—	899	J1823–1126	23.8	—	944	J1835–0847	4.6	—
855	J1812–2102	10.5	74.4	900	J1823–3106	20.1	44.6	945	J1835–09242	3.3	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
946	J1835-0928	5.7	—	991	J1842-0415	11.7	—	1036	J1851+1259	36.4	—
947	J1835-0944	5	—	992	J1842-0800	13.7	—	1037	J1851-0029	9.7	—
948	J1835-0946	33.9	—	993	J1842-0905	10.6	—	1038	J1851-0053	24.6	—
949	J1835-1020	17.2	—	994	J1842-39	4	—	1039	J1851-0114	12.5	—
950	J1835-1106	12.7	44.3	995	J1843-0000	13.5	69.8	1040	J1851-0633	19.5	—
951	J1835-1548	9.4	—	996	J1843-0459	4.9	—	1041	J1852-0118	5.7	—
952	J1836+51	11.6	—	997	J1843-0510	11	—	1042	J1852-0127	3.2	—
953	J1836-0436	12.1	—	998	J1843-0702	17.4	—	1043	J1852-0635	2.8	—
954	J1836-1008	20	—	999	J1843-1507	18.5	—	1044	J1852-2610	7.4	—
955	J1836-11	5.4	—	1000	J1844+00	6.5	—	1045	J1853+0011	11.7	25.1
956	J1836-1324	7.1	—	1001	J1844+1454	14.4	—	1046	J1853+0505	2.7	—
957	J1837+0053	2.7	—	1002	J1844-0030	12.2	—	1047	J1853+0545	3.2	—
958	J1837+1221	24.1	—	1003	J1844-0244	6.6	—	1048	J1854+36	5.2	—
959	J1837-0045	11.8	—	1004	J1844-0302	20.8	—	1049	J1854-0524	14	—
960	J1837-0653	5.8	—	1005	J1844-0433	21.5	—	1050	J1854-1421	14	—
961	J1837-0822	11.7	—	1006	J1844-0538	7	—	1051	J1855+0307	19.1	—
962	J1837-1837	19.5	—	1007	J1845+0623	32.2	—	1052	J1855-0941	4.7	—
963	J1838+1523	4.9	—	1008	J1845-0434	11.7	—	1053	J1856+0102	13.4	—
964	J1838+1650	11.4	—	1009	J1845-0545	19.2	—	1054	J1856-0526	5.7	—
965	J1838-0107	6	—	1010	J1845-0635	8.4	—	1055	J1857+0057	6.1	—
966	J1838-1046	20.7	—	1011	J1845-0743	7.4	—	1056	J1857+0143	2.2	—
967	J1839-0223	10.6	—	1012	J1845-0826	12.1	—	1057	J1857+0212	10.5	—
968	J1839-0402	19.8	—	1013	J1845-1114	23.9	—	1058	J1857+0526	7.2	—
969	J1839-0436	8.1	—	1014	J1846+0051	11	—	1059	J1859+00	3.5	—
970	J1839-0627	10.1	—	1015	J1846-0749	12.7	—	1060	J1859+1526	17	—
971	J1839-0643	3.7	—	1016	J1846-07492	13.9	—	1061	J1859+7654	15.5	—
972	J1839-1238	21.9	—	1017	J1847-0402	12.3	—	1062	J1900+0634	11.7	—
973	J1840+0214	21.5	—	1018	J1847-0427	3.4	—	1063	J1900+30	18.1	—
974	J1840+5640	16.1	—	1019	J1847-0438	27.1	—	1064	J1900-0051	16.9	—
975	J1840-0445	4.8	—	1020	J1847-0605	12.3	—	1065	J1900-0134	17.8	—
976	J1840-0559	11.1	—	1021	J1848+0647	11.3	—	1066	J1900-0933	3.2	—
977	J1840-0809	15.9	—	1022	J1848+0826	5.5	—	1067	J1900-2600	5.6	—
978	J1840-0815	18.7	—	1023	J1848-0023	13.4	—	1068	J1900-7951	8.5	—
979	J1840-1207	21.4	—	1024	J1848-0123	10.5	—	1069	J1901+0156	12.8	—
980	J1841+0912	16.8	—	1025	J1848-0601	6.4	—	1070	J1901+0331	11.1	—
981	J1841-0157	9.8	—	1026	J1848-1150	17.8	—	1071	J1901+0716	9.5	—
982	J1841-0345	6.5	26.9	1027	J1848-1414	6.2	—	1072	J1901+1306	15.5	—
983	J1841-0425	12.2	31.6	1028	J1849+0409	28.8	—	1073	J1901-0312	4.6	—
984	J1841-1404	6.2	—	1029	J1849+2423	6.4	—	1074	J1901-0315	23.9	—
985	J1841-7845	5.2	—	1030	J1849-0317	11.3	—	1075	J1901-0906	17.8	—
986	J1842+0358	18.6	—	1031	J1849-0614	18.5	—	1076	J1901-1740	9	—
987	J1842+0638	9.7	—	1032	J1849-0636	32.9	—	1077	J1902+0556	15.7	—
988	J1842+1332	2	—	1033	J1850+0026	6.3	—	1078	J1902+0615	32	—
989	J1842-0153	9.1	—	1034	J1850+1335	17.9	64.3	1079	J1902+0723	5.2	—
990	J1842-0359	3	15.6	1035	J1850-0026	2	—	1080	J1902-1036	24.8	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
1081	J1903+0135	23	—	1126	J1912+1036	8.3	—	1171	J1923+4243	13.1	—
1082	J1903+2225	14.9	—	1127	J1912+2525	23.5	—	1172	J1924+2040	5.3	—
1083	J1903-0258	5.5	—	1128	J1913+0446	15.1	—	1173	J1925+19	8.1	—
1084	J1903-0632	16.5	—	1129	J1913+0936	13.9	—	1174	J1926+0431	23.3	—
1085	J1903-0848	14.3	—	1130	J1913+1000	7.8	—	1175	J1926+1434	5	—
1086	J1904+0004	6	12.5	1131	J1913+1145	6.8	—	1176	J1926+1648	18.4	—
1087	J1904+1011	6	—	1132	J1913+1400	15.7	—	1177	J1926+1928	8.6	—
1088	J1904+33	7.7	—	1133	J1913+3732	16.6	—	1178	J1926-0652	3.6	—
1089	J1904-0150	18	—	1134	J1913-0440	27.6	—	1179	J1927+0911	25	—
1090	J1904-1224	17.8	—	1135	J1914+0219	12.6	68.4	1180	J1927+1852	10.4	—
1091	J1904-1629	29.1	—	1136	J1914+0631	15.4	—	1181	J1927+1856	4.3	—
1092	J1905+0600	7.6	—	1137	J1914+1122	15.6	—	1182	J1927+2234	9.6	—
1093	J1905+0616	28.1	—	1138	J1915+0227	7	—	1183	J1928+1923	5	—
1094	J1905+0709	6.1	—	1139	J1915+0738	48.5	—	1184	J1928+28	10.9	—
1095	J1905-0056	48.5	—	1140	J1915+0838	8.4	—	1185	J1929+00	12.3	—
1096	J1906+0641	6.2	—	1141	J1915+1009	26.7	—	1186	J1929+1844	14.2	—
1097	J1906+0649	12.2	—	1142	J1915+1410	7.7	—	1187	J1929+1955	10.1	—
1098	J1906+0746	72.4	—	1143	J1915+1647	19.4	—	1188	J1929+2121	27.4	—
1099	J1906+1854	6.3	—	1144	J1916+0748	1.5	—	1189	J1929+3817	5.6	—
1100	J1907+0249	6.7	—	1145	J1916+0844	9.2	—	1190	J1929+62	17.2	—
1101	J1907+0731	13.1	—	1146	J1916+0951	14.1	—	1191	J1929+66	12.4	—
1102	J1907+0740	16.4	—	1147	J1916+1030	9.5	—	1192	J1930+1316	21.5	—
1103	J1907+0918	36.1	—	1148	J1916+1312	18.5	—	1193	J1930-1852	13.1	—
1104	J1907+1149	29.7	—	1149	J1916+3224	14	—	1194	J1931+1536	7.2	—
1105	J1907+1247	14.7	—	1150	J1916-2939	11.6	—	1195	J1931+1952	21.9	—
1106	J1907+4002	9.7	—	1151	J1917+1353	14.8	58.7	1196	J1931+30	15.8	—
1107	J1907+57	10.3	—	1152	J1917+2224	6.8	—	1197	J1931-0144	8.7	—
1108	J1908+0457	8.3	—	1153	J1918+1444	25.6	—	1198	J1932+1059	11.9	21.3
1109	J1908+0500	35.5	—	1154	J1918+1541	8.9	—	1199	J1932+2020	4.2	—
1110	J1908+0734	7.5	—	1155	J1918-1052	23.8	—	1200	J1932-3655	16.3	—
1111	J1908+0909	11.5	—	1156	J1919+0021	20.3	—	1201	J1933+0758	18.3	—
1112	J1908+0916	5.1	—	1157	J1919+0134	11.2	—	1202	J1933+1304	17.5	—
1113	J1908+2351	16.6	—	1158	J1919+2621	21	—	1203	J1933+2421	11.6	—
1114	J1909+0007	28.8	—	1159	J1920+2650	16.4	—	1204	J1934+2352	10.1	—
1115	J1909+0254	17.4	—	1160	J1920-0950	9.9	—	1205	J1934+5219	7.5	—
1116	J1909+0749	14	—	1161	J1921+0812	41.4	—	1206	J1935+1159	3.8	—
1117	J1909+1102	16.2	—	1162	J1921+1419	9.2	—	1207	J1935+1616	24.8	—
1118	J1909+1450	6.7	—	1163	J1921+1948	3.6	—	1208	J1935+1745	26.5	—
1119	J1909+1859	11.6	—	1164	J1921+2003	9.5	—	1209	J1937+2544	6.4	—
1120	J1910+0225	6.9	—	1165	J1921+2153	17.7	—	1210	J1937+2950	7.7	—
1121	J1910+0728	10	—	1166	J1922+1733	12.4	—	1211	J1938+0650	31.9	—
1122	J1910+1231	19.6	—	1167	J1922+2018	8.3	—	1212	J1938+2213	8.9	—
1123	J1910-0112	8.6	—	1168	J1922+2110	19.1	—	1213	J1939+2449	11.2	—
1124	J1910-0309	12.1	—	1169	J1922+58	16	—	1214	J1940+0239	11.7	—
1125	J1911+1758	13.9	—	1170	J1923+1706	11.7	—	1215	J1940-2403	14.7	—

Таблица 1. Продолжение

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
1216	J1941+0121	4.1	—	1261	J2013+3845	3.6	—	1306	J2116+1414	12.1	—
1217	J1941+1026	17	—	1262	J2013-0649	14.4	—	1307	J2122+2426	7.9	—
1218	J1941+1341	10.1	—	1263	J2017+2043	15.4	—	1308	J2123+36	18.5	—
1219	J1941+4320	16.4	—	1264	J2017+5906	3.6	—	1309	J2123+5434	12.9	—
1220	J1941-2602	22.7	—	1265	J2017-2737	2.3	—	1310	J2124+1407	14.1	—
1221	J1942+1743	4.5	—	1266	J2018+2839	15.1	—	1311	J2127-6648	5.9	—
1222	J1942+3941	6.7	—	1267	J2019+72	2.5	—	1312	J2129+4119	15.1	—
1223	J1942+8106	21.9	—	1268	J2022+2854	13.4	—	1313	J2136-1606	11.2	—
1224	J1943+0609	12.9	—	1269	J2022+5154	10.8	—	1314	J2137+6428	18.2	—
1225	J1943-1237	26.2	—	1270	J2023+5037	15.4	—	1315	J2138+4911	6.9	—
1226	J1944+1755	5.8	—	1271	J2027+2146	11.6	—	1316	J2139+00	6	—
1227	J1944-1750	16.1	—	1272	J2027+4557	5.2	—	1317	J2139+2242	13	—
1228	J1945+1834	12.5	—	1273	J2027+7502	3.5	—	1318	J2145+21	17.9	—
1229	J1945-0040	8.1	—	1274	J2029+3744	15.9	—	1319	J2148-34	15	—
1230	J1946+1805	5.2	—	1275	J2030+2228	12.5	—	1320	J2149+6329	6.6	—
1231	J1946+2244	20.7	—	1276	J2030+55	9.8	—	1321	J2150+5247	8.2	—
1232	J1946-1312	15.7	—	1277	J2033-1938	15.2	—	1322	J2151+2315	5.2	—
1233	J1946-2913	24.6	—	1278	J2036+2835	21.7	—	1323	J2154-2812	38.8	—
1234	J1947+0915	14.1	—	1279	J2036+6646	9.5	—	1324	J2155+2813	21.8	—
1235	J1947-4215	11.1	—	1280	J2037+3621	7.5	—	1325	J2155-3118	19.3	—
1236	J1948+3540	8.4	—	1281	J2038+35	8.6	—	1326	J2155-5641	8.6	—
1237	J1948-27	18.8	—	1282	J2038+5319	14.9	—	1327	J2156+2618	17.8	—
1238	J1949+3426	4.5	—	1283	J2038-3816	21.3	—	1328	J2157+4017	7.5	—
1239	J1949-2524	27.1	—	1284	J2040+1657	6.3	—	1329	J2158-27	11.1	—
1240	J1951+4724	1.7	—	1285	J2040-21	11.2	—	1330	J2203+50	6	—
1241	J1953+1149	21.9	—	1286	J2043+7045	14.6	—	1331	J2205+1444	9.3	—
1242	J1953+2732	17.3	—	1287	J2044+28	15.4	—	1332	J2206+6151	4.1	—
1243	J1954+2923	14.7	—	1288	J2044+4614	3.7	—	1333	J2207-15	11.2	—
1244	J1954+3852	22.1	—	1289	J2045+0912	8.9	—	1334	J2208+5500	18.2	—
1245	J1954+4357	5.7	—	1290	J2046+1540	13	—	1335	J2209+22	24.6	—
1246	J1955+5059	24.1	—	1291	J2046+5708	11.6	—	1336	J2212+2933	9.8	—
1247	J1956+0838	7	—	1292	J2046-0421	25.9	—	1337	J2215+1538	29.7	—
1248	J1957-0002	19.9	—	1293	J2048+2255	9.8	—	1338	J2217+5733	6	—
1249	J2001+4258	21.5	—	1294	J2048-1616	12.9	—	1339	J2219+4754	25.2	—
1250	J2002+1637	10.8	—	1295	J2053-7200	5.8	26.9	1340	J2222+2923	8	—
1251	J2002+30	3.3	—	1296	J2054-39	15.3	—	1341	J2222+5602	6.2	—
1252	J2002+3217	10.1	—	1297	J2055+2209	21.1	—	1342	J2227+30	15.4	—
1253	J2002+4050	11.2	—	1298	J2055+3630	8.3	—	1343	J2228+6447	14	—
1254	J2006+4058	15.9	—	1299	J2102+38	10.3	—	1344	J2229+6205	7.6	—
1255	J2006-0807	3.6	—	1300	J2105+28	20.9	—	1345	J2234+2114	2.8	—
1256	J2007+0910	21.7	—	1301	J2108+4441	2.5	—	1346	J2241+6941	45.9	—
1257	J2008+2513	10.9	—	1302	J2108-3429	33.7	—	1347	J2242+6950	16.7	—
1258	J2010+2845	14.7	—	1303	J2113+2754	30.2	—	1348	J2243+1518	12.2	—
1259	J2012-2029	9.8	—	1304	J2113+4644	3.8	—	1349	J2244+63	12.1	—
1260	J2013+3058	25.2	—	1305	J2113+67	11.8	—	1350	J2248-0101	17	—

Таблица 1. Окончание

№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$	№	Name	$\beta_1, {}^\circ$	$\beta_2, {}^\circ$
1351	J2251+24	11.7	—	1362	J2315+58	11.3	—	1372	J2333+6145	4.6	—
1352	J2253+1516	10	—	1363	J2317+2149	24.5	—	1373	J2338+4818	9.3	—
1353	J2257+5909	7	—	1364	J2319+6411	1.8	—	1374	J2343+6221	10.2	—
1354	J2257–16	26.5	—	1365	J2325+6316	5.4	—	1375	J2346–0609	11	59.7
1355	J2302+6028	19.3	—	1366	J2325–0530	19.6	—	1376	J2347+02	19.8	—
1356	J2305+3100	26.6	—	1367	J2326+6113	6.4	—	1377	J2351+8533	17.8	—
1357	J2305+4707	10.2	—	1368	J2326+6141	10	—	1378	J2352+65	5.6	—
1358	J2307+2225	15.3	—	1369	J2327+62	6.4	—	1379	J2354+6155	14.8	—
1359	J2308+5547	8.3	—	1370	J2329+4743	25.8	—	1380	J2354–22	16	—
1360	J2312+6931	14.9	—	1371	J2330–2005	29.8	—	1381	J2355+2246	8.9	—
1361	J2313+4253	14.8	—								

для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и

$$\frac{n}{N(\beta_1)} = (0.311 \pm 0.036) \times \times \exp \left\{ -\frac{(\beta_1 - (30.2 \pm 1.4))^2}{2(11.7 \pm 3.1)^2} \right\}. \quad (20)$$

для пульсаров с $P > 2 \text{ с}$.

Для выборки с $P > 2 \text{ с}$ намечается бимодальность в распределении углов β_1 . Статистическая достоверность наличия бимодальности также была оценена по критерию Колмогорова–Смирнова. Гистограмма сравнивалась с двумя гипотеза-

ми: 1) распределение может быть аппроксимировано единой функцией Гаусса (мономодальность); 2) распределение аппроксимировалось двумя функциями Гаусса (бимодальность). Сравнение гистограммы с гипотезой о мономодальности дает квантиль Колмогорова $\lambda = 0.49$, т.е. распределения значимо не отличаются с вероятностью $p = 0.97$. При сравнении гистограммы с бимодальной гипотезой мы получили $\lambda = 0.33$, что означает очень хорошее согласие с моделью. Визуально наблюдаемую бимодальность в распределении β_1 для $P > 2 \text{ с}$ следует еще раз проверить при увеличении числа пульсаров в

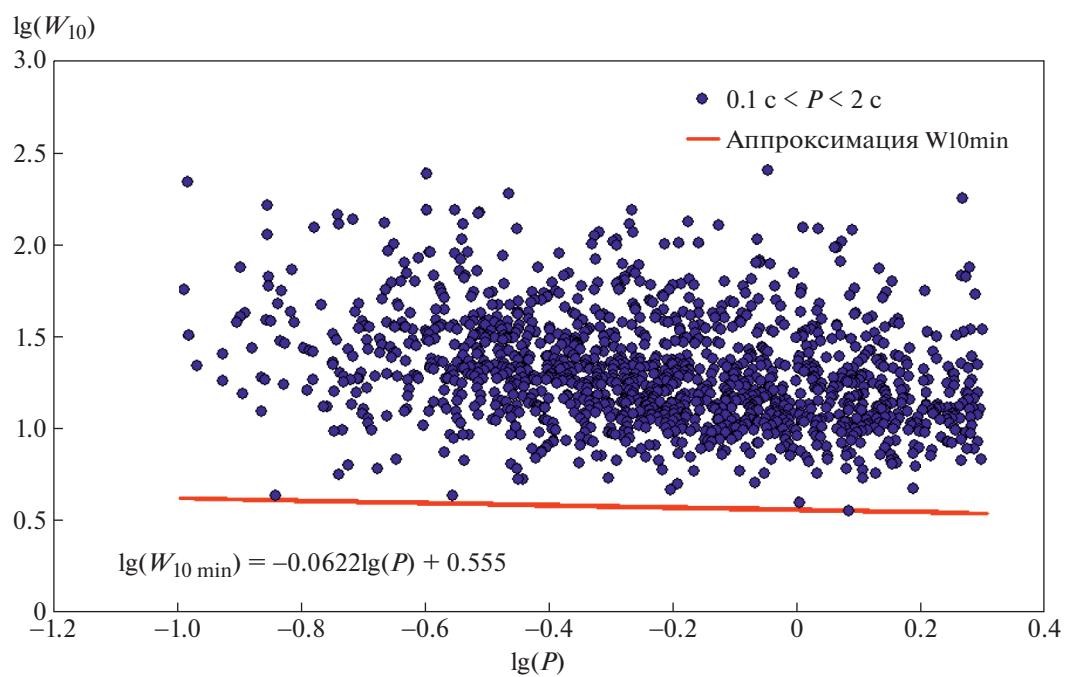


Рис. 4. Зависимость ширин импульсов пульсаров от периода для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$.

Таблица 2. Значения углов β для выборки пульсаров с периодами $P > 2$ с

№	Name	$\beta_1, ^\circ$	$\beta_2, ^\circ$	№	Name	$\beta_1, ^\circ$	$\beta_2, ^\circ$	№	Name	$\beta_1, ^\circ$	$\beta_2, ^\circ$
1	J0021–0909	51.8	—	41	J1404+1159	36.3	—	81	J1839–0332	34.1	—
2	J0055+5117	20.6	—	42	J1414–6802	14.8	—	82	J1840–0840	8	—
3	J0111+6624	30	—	43	J1432–5032	2.9	—	83	J1842+0257	23.8	—
4	J0152+0948	20.5	—	44	J1444–5941	27.2	—	84	J1843–0211	18.3	—
5	J0157+6212	16.5	—	45	J1503+2111	1.9	—	85	J1843+2024	80.5	—
6	J0323+3944	30.2	—	46	J1512–5431	12.7	—	86	J1845–1351	24.9	—
7	J0343–3000	9.8	19.9	47	J1519–6106	54.5	—	87	J1846–4249	29.8	—
8	J0421–0345	73.6	—	48	J1527–3931	31.7	—	88	J1846–7403	3.6	—
9	J0528+2200	11.1	38.7	49	J1528–5547	21.2	—	89	J1848+0604	37.7	—
10	J0546+2441	45.8	—	50	J1615–2940	33	—	90	J1848+1516	6.3	—
11	J0600–5756	20.5	—	51	J1617–4216	29.6	—	91	J1848–1952	27.8	—
12	J0633–2015	33.6	—	52	J1625–4048	13.1	—	92	J1853+0853	27.7	—
13	J0648–27	21.7	—	53	J1629–3636	65.7	—	93	J1857–1027	9.1	—
14	J0737–3039B	24.3	—	54	J1634–4229	22.7	—	94	J1901+0511	29.8	—
15	J0738+6904	20	—	55	J1701–3726	19.1	—	95	J1910+0358	4.3	—
16	J0746–4529	32.3	—	56	J1707–4417	9.9	—	96	J1910+0714	48.4	—
17	J0804–3647	53.2	—	57	J1715–4034	15.1	—	97	J1912+2104	22.4	—
18	J0818–3232	51	—	58	J1732–3729	26.7	—	98	J1915+0752	53.1	—
19	J0847–4316	37.5	—	59	J1736–2457	20.2	—	99	J1917+0834	28	—
20	J0928+06	39.8	—	60	J1741–0840	19.8	58.9	100	J1919+1745	26.1	—
21	J0932–5327	28.2	—	61	J1741–2019	16.2	—	101	J1921–05	20.1	—
22	J0944+4106	21.8	—	62	J1741–21	11.1	—	102	J1945+1211	6.6	—
23	J1001–5939	24.1	—	63	J1743–3150	31.2	—	103	J1951+1123	69	—
24	J1012–2337	24.5	—	64	J1746+2245	20.2	—	104	J2004+3137	53.1	—
25	J1032–5206	30.1	—	65	J1749–2146	13.6	—	105	J2005–0020	32.6	40.8
26	J1049–5833	37.5	—	66	J1750–2043	6.5	—	106	J2015+2524	30	—
27	J1055–6905	26.5	—	67	J1754+5201	15.3	—	107	J2033+0042	13.9	—
28	J1059+6459	35.4	—	68	J1759–1029	6.1	—	108	J2037+1942	32.9	—
29	J1106–6438	58.7	—	69	J1802–3346	26.6	—	109	J2053+4718	32.2	—
30	J1119–7936	40.9	—	70	J1803–1857	58.6	—	110	J2111+2106	28.5	—
31	J1148–5725	36.2	—	71	J1808–2701	25.5	—	111	J2112+4058	23.4	—
32	J1210–6550	35.2	—	72	J1819–17	12.5	—	112	J2131–31	23.5	—
33	J1226–3223	33.8	—	73	J1824–0127	29.2	—	113	J2144–3933	62.9	—
34	J1236–0159	17.4	—	74	J1825–31	12	—	114	J2210+57	11.9	—
35	J1237–6725	55.9	—	75	J1826–1131	23.7	—	115	J2238+6021	42.4	—
36	J1245–6238	26.1	—	76	J1829+25	40	—	116	J2251–3711	66.9	—
37	J1303–6305	27.8	—	77	J1830–1135	17.3	—	117	J2321+6024	12.5	—
38	J1312–6400	43.3	—	78	J1831–1223	17.5	32.6	118	J2323+1241	28.2	—
39	J1314–6101	25.6	—	79	J1831–1329	23.5	—	119	J2324–6054	34.3	62
40	J1355–5747	34	—	80	J1835–0600	38	—				

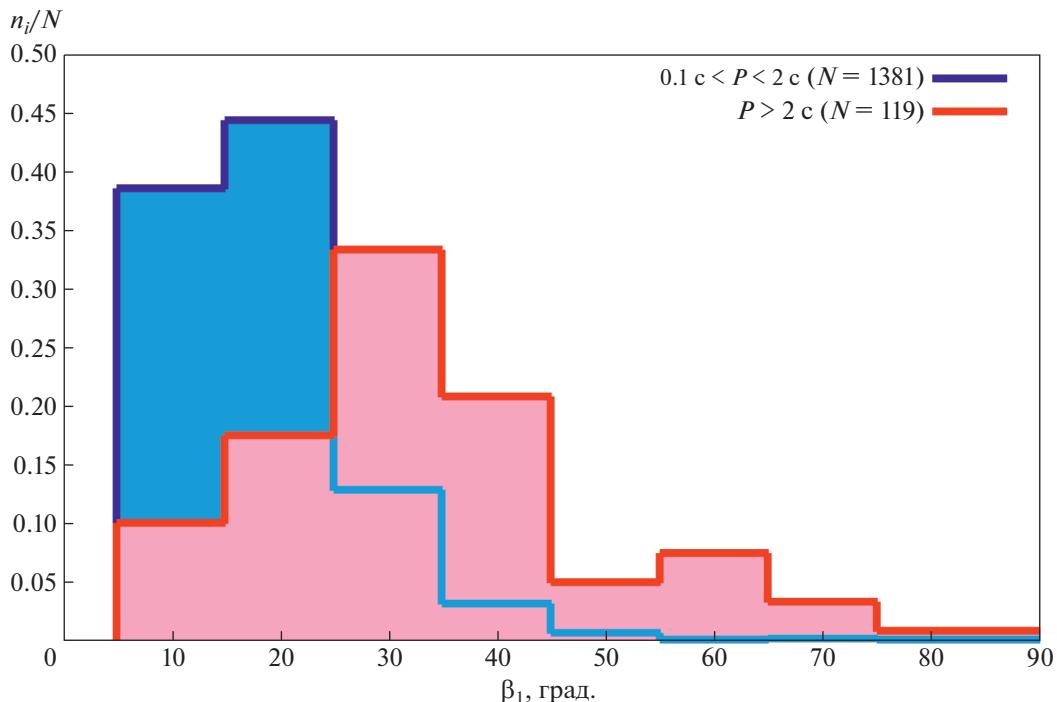


Рис. 5. Гистограммы распределения углов β_1 для выборок пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и $P > 2 \text{ с}$, нормированные на число N пульсаров в выборке.

этом интервале периодов. Следует подчеркнуть что наблюдаемые в настоящее время значения углов β_1 в двух максимумах ($30.0^\circ \pm 1.2^\circ$ и $62.9^\circ \pm 3.5^\circ$) не перекрываются с очень большой вероятностью (соответствующие дисперсии σ равны $10.8^\circ \pm 0.4^\circ$ и $6.0^\circ \pm 0.3^\circ$). Кроме того, квантиль для бимодального представления существенно меньше, чем для мономодального. Это означает, что бимодальное распределение значительно лучше соответствует полученным значениям β_1 . Для мономодального распределения с $P > 2$ с гауссиана описывается уравнением (20), а для бимодальной гипотезы можно использовать аппроксимацию:

$$\frac{n(\beta_1)}{N} = A_1 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\beta_1 - m_1}{\sigma_1}\right)^2\right) + A_2 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\beta_1 - m_2}{\sigma_2}\right)^2\right),$$

$$A_1 = 0.321 \pm 0.032, \quad m_1 = 30.0 \pm 1.2, \\ \sigma_1 = 10.8 \pm 0.4,$$
(21)

$$A_2 = 0.073 \pm 0.003, \quad m_2 = 62.9 \pm 3.5, \\ \sigma_1 = 6.0 \pm 0.3.$$

На рис. 8 и 9 показаны полученные зависимости $\langle W_{10} \rangle(P)$ для обеих выборок пульсаров

($0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и $P > 2 \text{ с}$). Для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$

$$\lg h(\langle W_{10} [\text{°}] \rangle(P)) = -0.088 \lg(P [\text{с}]) + 1.303, \quad (22)$$

что соответствует

$$\langle W_{10} \rangle = 20.1^\circ P^{-0.09}. \quad (23)$$

Для выборки с $P > 2 \text{ с}$

$$\lg(\langle W_{10} [\text{°}] \rangle(P)) = -0.998 \lg(P [\text{с}]) + 1.559, \quad (24)$$

откуда:

$$\langle W_{10} \rangle = 36.2^\circ / P. \quad (25)$$

Так как число пульсаров в базе Джонстона и Керра [14] в несколько раз меньше объема базы ATNF, то кросс-сравнение каталогов привело к значительному сокращению объема анализируемых выборок. Дальнейший отсев поляризационных кривых в соответствии с упомянутыми выше критериями еще больше уменьшил объем выборок. В конечный анализ попали 93 пульсара для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и 9 пульсаров для выборки с $P > 2 \text{ с}$. Решение уравнения 4-й степени дает вещественные корни не при любых значениях B , C и D , полученных из наблюдений, поэтому в конечный анализ вошли 70 пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и 6 пульсаров для выборки с $P > 2 \text{ с}$. Вычисленные этим способом значения углов β , полученные из решения уравнения (10), обозна-

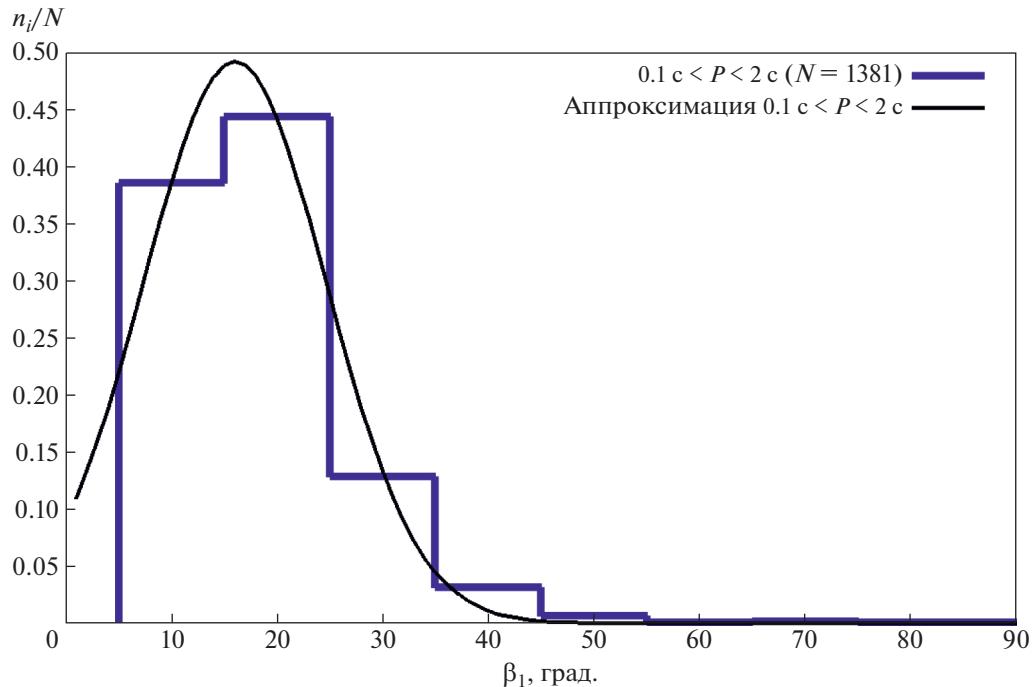


Рис. 6. Гистограмма распределения углов β_1 для выборки пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$, нормированная на число N пульсаров в выборке.

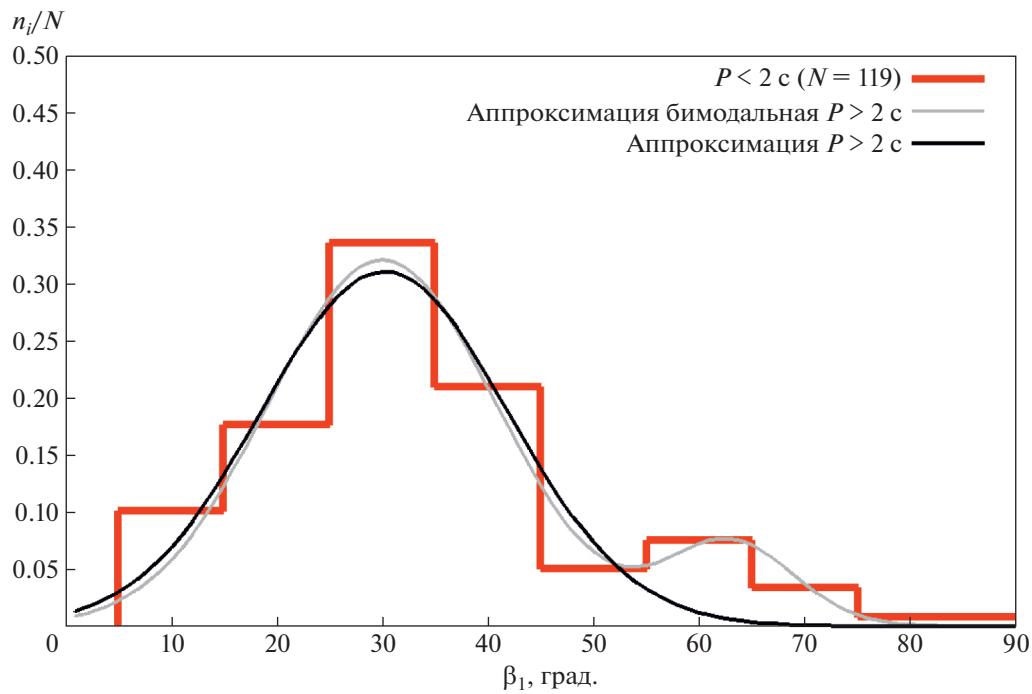


Рис. 7. Гистограмма распределения углов β_1 для выборки пульсаров с $P > 2 \text{ с}$, нормированная на число N пульсаров в выборке.

чены как β_2 . Для двух указанных выборок были построены гистограммы распределения углов β_2 , показанные на рис. 10. Для сопоставления стати-

стического различия двух полученных распределений был вновь использован критерий Колмогорова–Смирнова. Рассчитанное с помощью

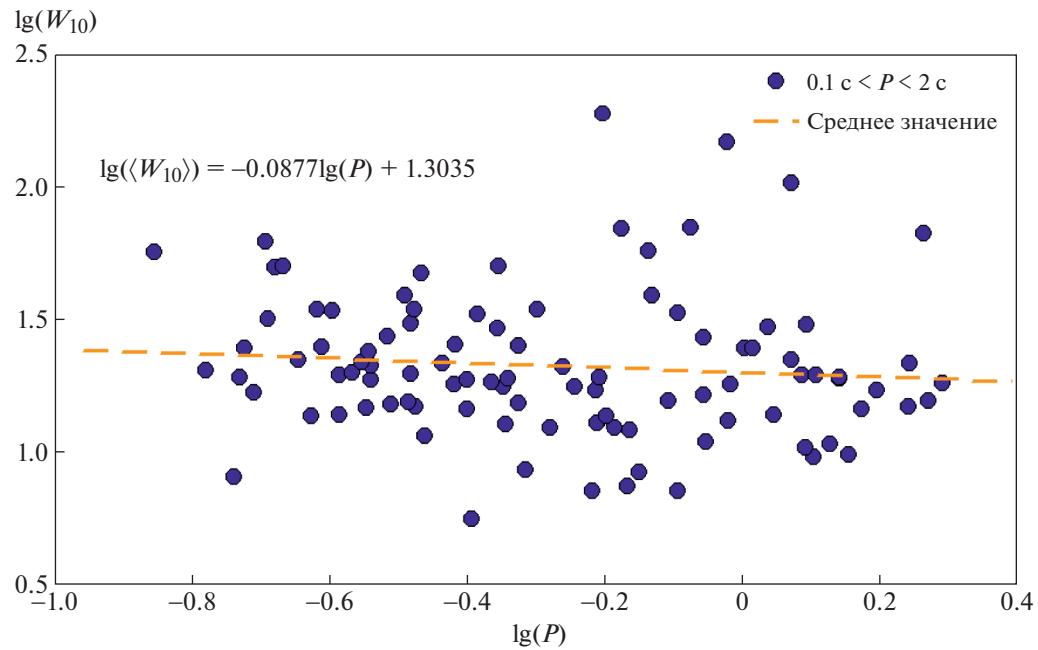


Рис. 8. Зависимость $\langle W_{10} \rangle$ от периода P для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$.

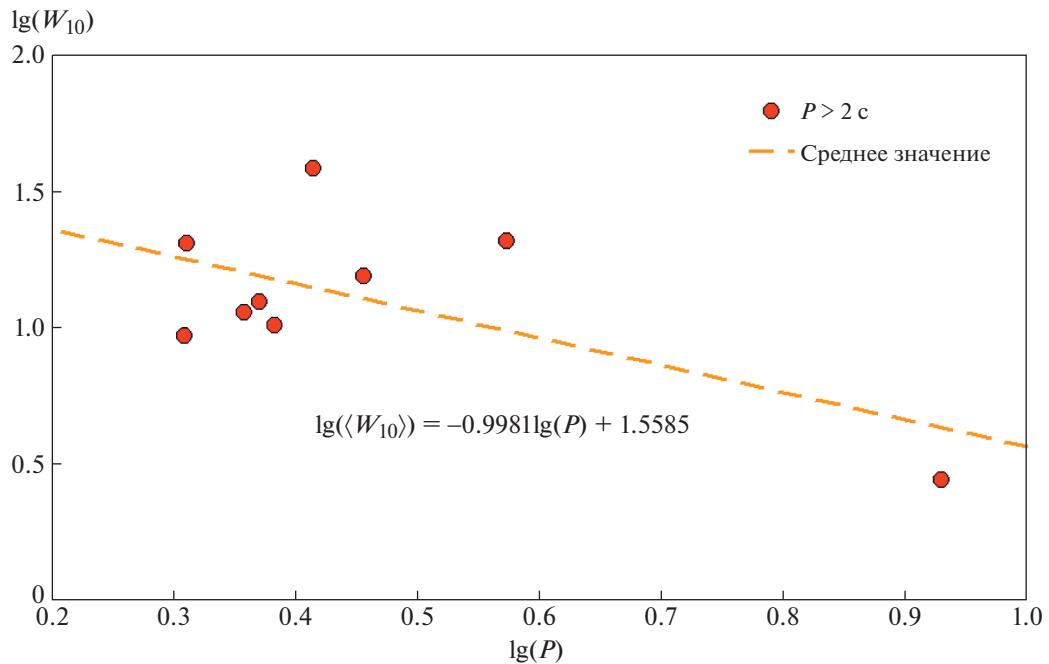


Рис. 9. Зависимость $\langle W_{10} \rangle$ от периода P для выборки с $P > 2 \text{ с}$.

формулы (18) значение квантиля Колмогорова $\lambda = 0.41$ показывает, что выборки β_2 для пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и $P > 2 \text{ с}$ статистически не различимы с вероятностью $p = 0.996$. Возможно, что это связано с очень малым объемом выборки с $P > 2 \text{ с}$.

Для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ в распределении углов β_2 визуально намечается бимодальность (см. рис. 11). Статистический анализ достоверности наличия бимодальности проводился по методике, описанной в предыдущем разделе. Для случая сравнения гистограммы с гипотезой о моно-

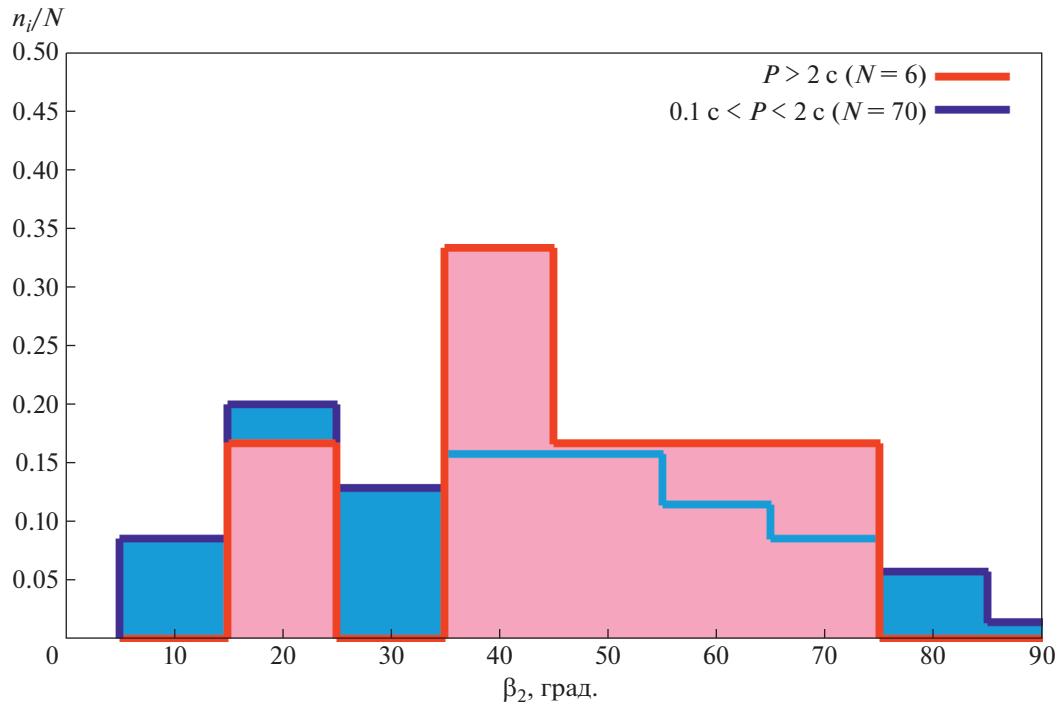


Рис. 10. Гистограммы распределения углов β_2 для выборок пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ и $P > 2 \text{ с}$, нормированные на число N пульсаров в выборках.

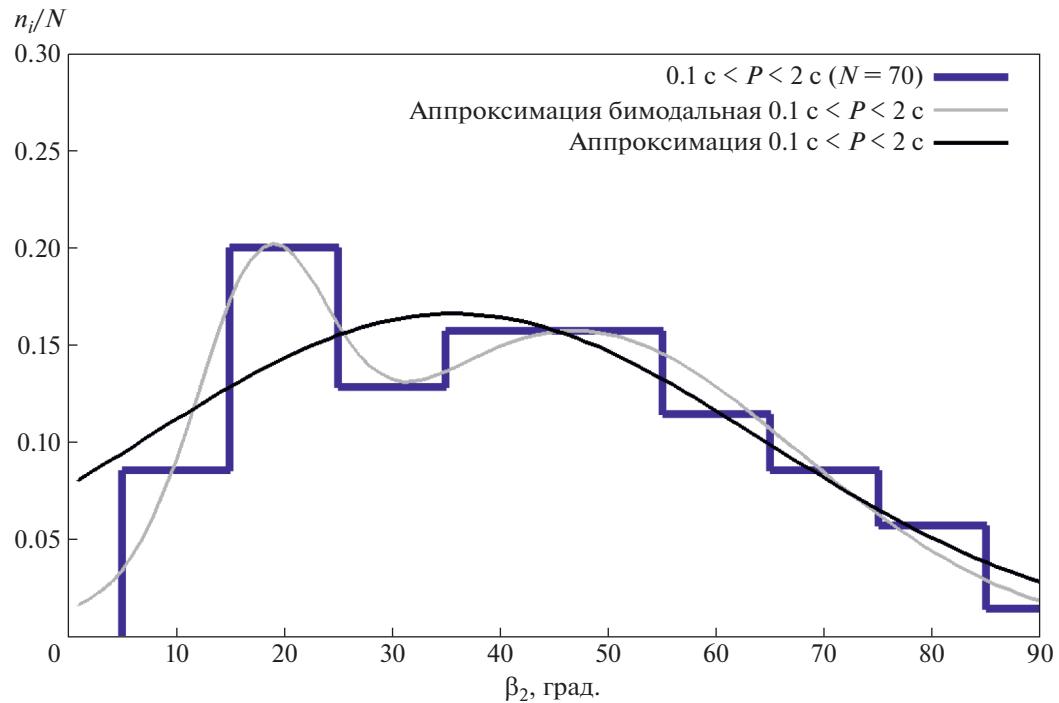


Рис. 11. Гистограмма распределения углов β_2 для выборки пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$, нормированная на число N пульсаров в выборке.

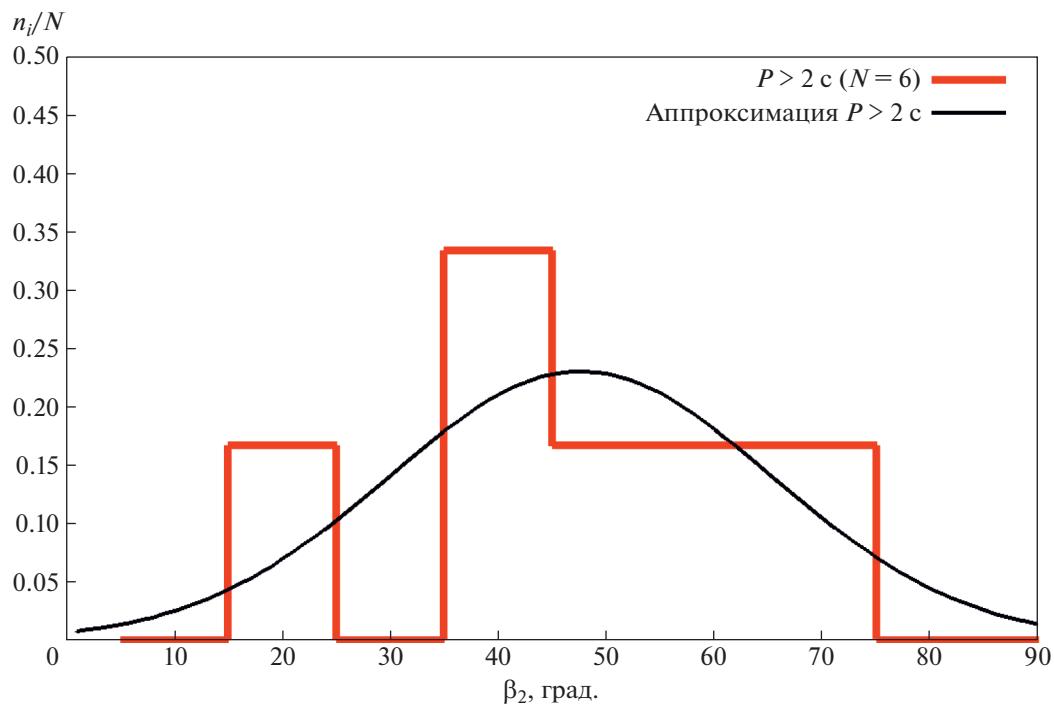


Рис. 12. Гистограмма распределения углов β_2 для выборки пульсаров с $P > 2$ с, нормированная на число N пульсаров в выборке.

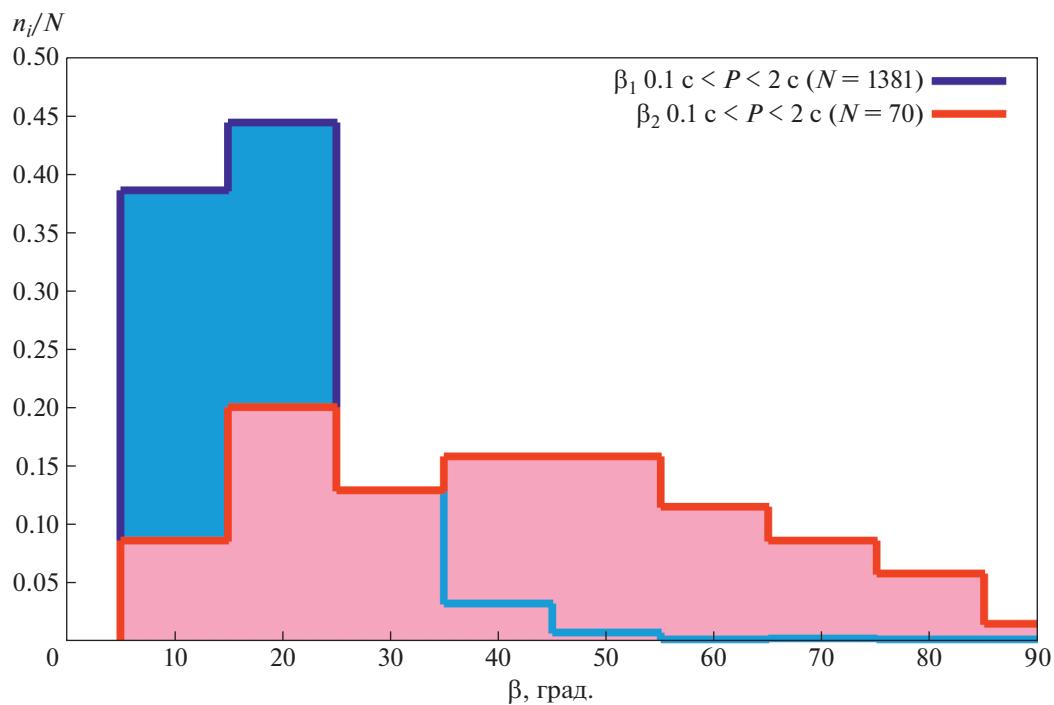


Рис. 13. Гистограммы распределения углов β_1 и β_2 для выборок пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2$ с, нормированные на число N пульсаров в выборке.

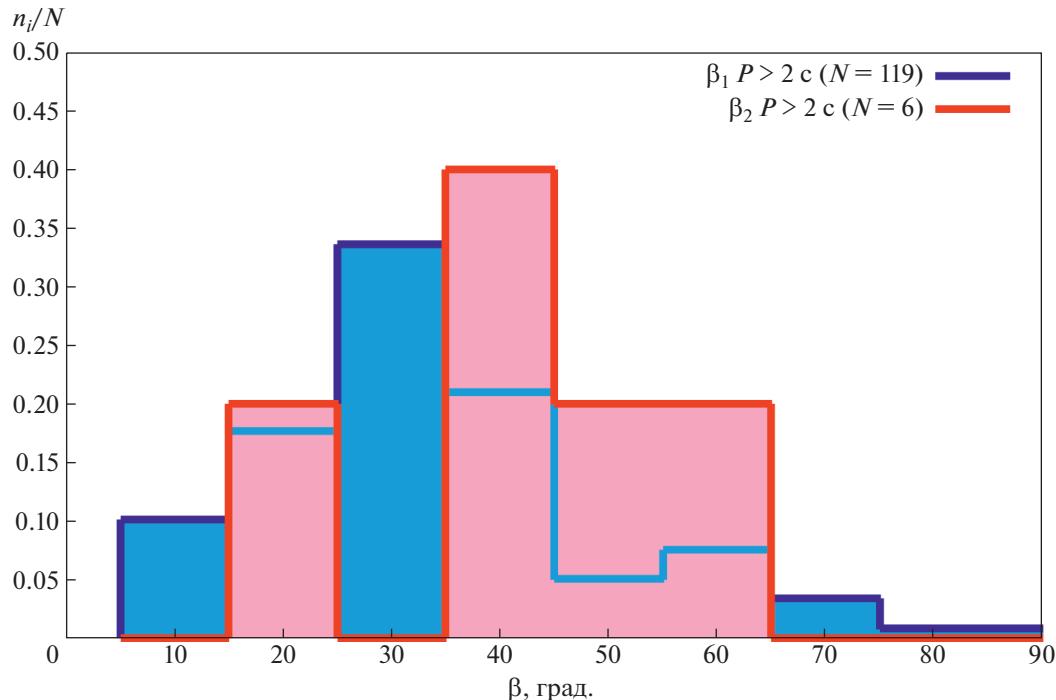


Рис. 14. Гистограммы распределения углов β_1 и β_2 для выборок пульсаров с $P > 2$ с, нормированные на число N пульсаров в выборке.

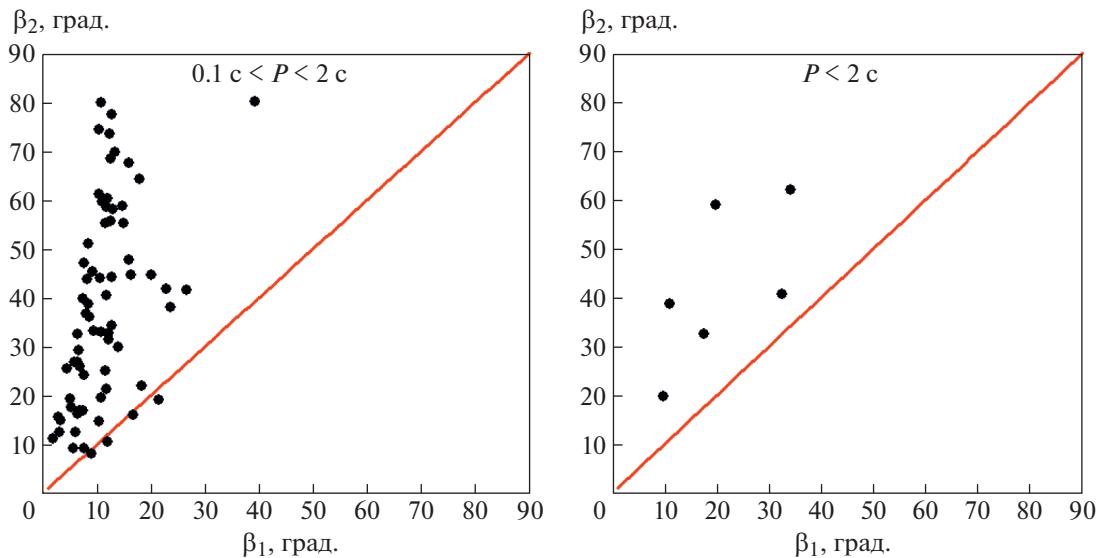


Рис. 15. Значения углов β_1 и β_2 для выборок пульсаров с 0.1 с $< P < 2$ с и $P > 2$ с.

модальности квантиль Колмогорова $\lambda = 0.34$, т.е. распределения значимо не отличаются. Таким образом, визуально наблюдаемая бимодальность в распределении β_2 для 0.1 с $< P < 2$ с не подтверждается с точки зрения статистической значимости. Для мономодального распределения этой выборки $\langle\beta_2\rangle = 35.6^\circ \pm 4.3^\circ$ ($\sigma = 28.8^\circ \pm 4.1^\circ$).

Аппроксимация функцией Гаусса распределения β_2 для выборки $P > 2$ с дает среднее значение $\langle\beta_2\rangle = 47.6^\circ \pm 5.9^\circ$ ($\sigma = 17.8^\circ \pm 8.0^\circ$), что показано на рис. 12. На рис. 13 и 14 показаны распределения β_1 и β_2 для двух групп выборок. Статистический анализ по критерию Колмогорова–Смирнова показал, что для выборок пульсаров с

$0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ распределения β_1 и β_2 значимо различаются ($\lambda = 2.45$, $p = 0.99999$), а распределения β_1 и β_2 для объектов с $P > 2 \text{ с}$ статистическое различие невелико ($\lambda = 0.80$, $p = 0.4559$), что также может быть обусловлено малым объемом выборки источников с $P > 2 \text{ с}$ для β_2 .

На рис. 15 приведены диаграммы $\beta_1 - \beta_2$ для обеих выборок. Биссектриса, показанная красной линией, определяет область на графике, где оба метода должны давать одинаковый результат. Как видно из полученных графиков, все значения β_2 больше соответствующих значений β_1 (за исключением четырех пульсаров, для которых в пределах ошибок их можно принять равными). Распределение β_1 заметно более узкое, чем β_2 (по величине σ для пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ почти в три раза).

Полученные на основе формулы (6) значения β_1 следует рассматривать как нижние пределы угла между осью вращения и вектором магнитного момента пульсара.

4. ДИСКУССИЯ. ВЫВОДЫ

Основной целью нашей работы была проверка возможности объяснить различное поведение двух групп пульсаров с периодами $P > 2 \text{ с}$ и $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ на диаграмме $(dP/dt) - (P)$ различием угла наклона их магнитного момента к оси вращения. Такая возможность предлагалась в работе [1]. Проведенный нами анализ показал, что такого различия не наблюдается. Средние значения нижних оценок угла $\langle\beta_1\rangle = 30.2^\circ$ для пульсаров с $P > 2 \text{ с}$ и 16.0° для объектов с меньшими периодами перекрываются с учетом их дисперсий ($\sigma = 11.7^\circ$ и 8.7° соответственно). То же можно сказать и о более точных оценках угла β $\langle\beta_2\rangle = 47.6^\circ$ и 35.6° , $\sigma = 9.5^\circ$ и 10.2°). В обоих методах среднее значение угла β для пульсаров с более длинными периодами оказывается больше, что в соответствии с уравнением (2) должно скорее свидетельствовать об усилении в них магнитодипольного излучения. Поэтому необходимо искать другие причины наблюдаемого различия.

Мы сравнили роль двух механизмов торможения, связанных с пульсарным ветром и магнитотормозным излучением. Соответствующие потери углового момента описываются приведенными выше уравнениями (1) и (2). Отношение эффективностей каждого из механизмов определяется следующим выражением:

$$\xi = \frac{(6L_p c^3)^{1/2} P^2}{4\pi^2 B R_*^3 \sin^2 \beta}. \quad (26)$$

Считая, что все характерные параметры пульсаров (L , B , R_* и β) в двух рассматриваемых группах одинаковы, мы приходим к отношению:

$$\frac{\xi_2}{\xi_1} = \frac{P_2^2}{P_1^2}. \quad (27)$$

Средние значения периодов для двух исследуемых групп равны приблизительно 2.5 с и 0.5 с . Это означает, что в долгопериодических пульсарах мощность потерь за счет пульсарного ветра должна быть в 25 раз выше, чем мощность магнитодипольных потерь. Как было показано в работе [1], это действительно наблюдается.

1. Проведенный анализ показывает, что распределение углов β по наблюдаемой ширине профиля импульса пульсара (β_1) подтверждает наличие статистической значимости различий в распределениях для выборок пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ (объем выборки $N = 1381$ пульсар) и $P > 2 \text{ с}$ ($N = 119$). При этом для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ среднее значение $\langle\beta_1\rangle = 16.0^\circ \pm 0.2^\circ$ ($\sigma = 8.7^\circ \pm 0.3^\circ$), а для $P > 2 \text{ с}$ $\langle\beta_1\rangle = 30.2^\circ \pm 1.4^\circ$ ($\sigma = 11.7^\circ \pm 3.1^\circ$).

Визуально наблюдаемая бимодальность в распределении β_1 для выборки с $P > 2 \text{ с}$ имеет невысокую статистическую значимость по критерию Колмогорова–Смирнова. Однако квантиль Колмогорова для бимодального представления существенно меньше, чем для мономодального. Это означает, что бимодальное распределение лучше соответствует полученным значениям β_1 .

2. Анализ с использованием величины максимальной производной позиционного угла поляризации дает распределения углов β_2 , заметно отличающиеся от соответствующих распределений для β_1 : $\langle\beta_2\rangle = 35.6^\circ \pm 4.3^\circ$ ($\sigma = 28.8^\circ \pm 4.1^\circ$) для выборки пульсаров с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ (N_p) и $\langle\beta_2\rangle = 47.6^\circ \pm 5.9^\circ$ ($\sigma = 17.8^\circ \pm 8.0^\circ$) для выборки с $P > 2 \text{ с}$ ($N = 6$). Распределения β_2 в двух выборках статистически не отличимы по критерию Колмогорова–Смирнова, что может быть связано с малым объемом выборки для $P > 2 \text{ с}$. Намечающаяся бимодальность в распределении β_2 для выборки с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ оказывается статистически незначимой по критерию Колмогорова–Смирнова.7

3. Для выборок с $0.1 \text{ с} < P < 2 \text{ с}$ распределения β_1 и β_2 значимо различаются, а распределения β_1 и β_2 для выборок с $P > 2 \text{ с}$ статистически не различимы, что также может быть обусловлено малым объемом выборки с $P > 2 \text{ с}$ для β_2 .

4. Все значения β_2 больше соответствующих значений β_1 или равны им (в пределах ошибок), подтверждая, что значения β_1 следует рассматривать

вать как нижние пределы угла β между осью вращения и вектором магнитного момента пульсара.

5. Обнаруженное ранее различное поведение радиопульсаров с периодами $P > 2$ с и $0.1 \text{ с} < P < 2$ с на диаграмме $(dP/dt) - (P)$ объясняется разной зависимостью от периода мощности потерь для пульсарного ветра и магнитодипольного торможения и значительно более быстрым уносом углового момента релятивистскими частицами в долгопериодических пульсарах.

Для подтверждения полученных в работе результатов, в частности, более определенных суждений о намечающихся бимодальностях в распределениях углов β необходимо расширение выборки пульсаров с периодами $P > 2$ с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. Ф. Малов, А. П. Морозова, Астрон. журн. **99**(1), 29 (2022).
2. A. K. Harding, L. Contopoulos, and D. Kazanas, Astrophys. J. Lett. **525**, L125 (1999).
3. J. P. Ostriker and J. E. Gunn, Astrophys. J. **157**, 1395 (1969).
4. А. Д. Кузьмин, И. М. Дагкесаманская, Письма в Астрон. журн. **9**, 149 (1983).
5. И. Ф. Малов, Астрофизика **24**(3), 507 (1986).
6. A. G. Lyne and R. N. Manchester, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **234**, 477 (1988).
7. J. M. Rankin, Astrophys. J. **352**, 247 (1990).
8. И. Ф. Малов, Е. Б. Никитина, Астрон. журн. **88**(1), 22 (2011).
9. В. С. Бескин, А. В. Гуревич, Я. Н. Истомин, ЖЭТФ **85**(2), 401 (1983).
10. A. Philippov, A. Tchekhovskoy, and J. G. Li, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **441**, 1879 (2014).
11. И. Ф. Малов, Радиопульсары (М.: Наука, 2004).
12. R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh, and M. Hobbs, Astron. J. **129**, 1993 (2005). <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>
13. Р. Манчестер, Дж. Тейлор, Пульсары (М.: Мир, 1980).
14. S. Johnston and M. Kerr, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **474**, 4629 (2018).