

УДК: 524.354.4

О СВЯЗИ ПУЛЬСАРОВ С ОСТАТКАМИ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД

В.Г.МАЛУМЯН, А.Н.АРУТЮНЯН

Поступила 12 июля 2005

Принята к печати 14 ноября 2005

На основе статистического материала большого объема показано, что пространственные распределения в Галактике радиопульсаров с характеристическими возрастными $T \leq 10^6$ лет и $T > 10^6$ лет существенно отличаются. Подавляющее большинство объектов с $T \leq 10^6$ лет расположено в узкой полосе шириной 400 пк вокруг плоскости Галактики. Большая часть пульсаров с $T > 10^6$ лет сосредоточена вне этой зоны. Чем меньше характеристические возрасты пульсаров, тем большая их доля расположена в пределах вышеуказанной полосы. Показано также, что пульсары с $T \leq 10^6$ лет и остатки вспышек сверхновых звезд имеют практически одинаковое пространственное распределение. Эти факты свидетельствуют как в пользу связи пульсаров с остатками сверхновых звезд, так и в пользу приобретения ими во время рождения больших пространственных скоростей.

1. *Введение.* Пространственное распределение радиопульсаров в Галактике, их возрасты, кинематические свойства и некоторые другие факты указывают на связь пульсаров с остатками вспышек сверхновых звезд [1-4]. Несмотря на это, в первые годы после открытия пульсаров только для двух объектов (PSR 0531+21 и PSR 0833-45) была надежно установлена их связь с остатками вспышек сверхновых звезд. Из известных в настоящее время более 1500 радиопульсаров только у двух десятков объектов обнаружены туманности - остатки сверхновых. Вблизи остальных пульсаров они не обнаружены [5,6].

Согласно общепринятой концепции, отсутствие остатков сверхновых у громадного большинства пульсаров обусловлено, главным образом, тем, что во время рождения, в силу разных причин, они приобретают большие, достигающие до 500 и более километров в секунду, пространственные скорости. В результате этого пульсары могут покинуть места своего рождения и существовать отдельно от туманностей, отождествляемых с остатками взрыва сверхновых звезд - прародителей радиопульсаров [7-12]. Отсутствие туманностей около пульсаров должно быть особенно заметно для старых объектов. Пространственное распределение молодых пульсаров должно быть ближе к таковой для остатков вспышек сверхновых, если, конечно, пульсары на самом деле генетически связаны с сверхновыми.

Причиной отсутствия остатков сверхновых около старых пульсаров

(объектов с характеристическими возрастaми свыше нескольких сот тысяч лет) является также разница в эволюции пульсаров и остатков сверхновых. Продолжительность жизни последних во много раз короче жизни пульсаров [1,2].

В работе авторов [13] показано, что пульсары с характеристическими возрастaми $T \leq 10^6$ лет и остатки сверхновых практически имеют одинаковое распределение по z -координате (высоте над плоскостью Галактики). Там же показано, что распределения по z -координате пульсаров с $T \leq 10^6$ лет и $T > 10^6$ лет существенно отличаются. Приведенные в [13] факты свидетельствуют в пользу связи пульсаров с остатками сверхновых. В [13] сравнивались пространственные распределения пульсаров из каталога [14] и остатков сверхновых из списка [15], содержащего 113 галактических объектов. Из использованных для сравнения 525 пульсаров 424 объекта имеют характеристические возрастa $T > 10^6$ лет, а 101 - $T \leq 10^6$ лет.

Для более детального сравнения пространственного распределения радиопульсаров разных возрастa и остатков сверхновых звезд в Галактике, а также для более достоверных и обоснованных выводов необходимо использовать как для пульсаров, так и для остатков сверхновых выборки большего объема. С этой целью мы воспользовались последней версией каталога пульсаров [16] и списком Грина галактических остатков вспышек сверхновых звезд [17]. Каталог [16] содержит 1510 пульсаров. После исключения двойных и кратных пульсаров, аномальных рентгеновских пульсаров (АХР) и вспышечных источников мягкого гамма-излучения (SGR) [18], радиопульсаров в шаровых звездных скоплениях, природа которых отличается от обычных радиопульсаров, а также объектов в Магеллановых Облаках в [16] остались 1375 радиопульсаров; 326 объектов с $T \leq 10^6$ лет и 1049 объектов с $T > 10^6$ лет. Таким образом, количества радиопульсаров и остатков сверхновых из каталогов [16] и [17], использованных нами для сравнения их пространственного распределения, существенно больше, чем в использованных ранее списках [14] и [15].

2. Распределение галактических остатков сверхновых по z -координатам. Чтобы определить высоты остатков сверхновых над плоскостью Галактики (z -координаты), необходимо знать их расстояния: $z = r \sin b$, где r - расстояние, b - галактическая широта объекта. Так как для подавляющего большинства остатков сверхновых расстояния прямыми методами не измерены, для определения расстояний до них мы использовали эмпирическую зависимость поверхностной радиояркости остатков Σ от их линейного диаметра D [19,20].

В [19] зависимость $\Sigma \sim D$ построена на основании новейших исправленных данных о расстояниях до 36 галактических остатков

оболочечного типа. К этим объектам мы добавили данные о 13 остатках комбинированного типа и типа плерионов, уточненные расстояния до которых также приведены в [19]. Расстояния, используемые в [19], измерены на основании совпадений положений остатков галактических сверхновых с облаками нейтрального и ионизованного водорода, с молекулярными облаками и ОВ-ассоциациями, или с помощью известных собственных движений. Использовались новые современные данные о кривых вращения Галактики с расстоянием Солнца до центра Галактики $R_{\odot} = 8.5$ кпк и скоростью вращения Солнца вокруг центра Галактики $V_{\odot} = 250$ км с⁻¹ [21-24].

Необходимо отметить, что в [19] все те остатки сверхновых, расстояния до которых измерены с помощью меры дисперсии пульсаров, обнаруженных в них, считаются остатками комбинированного типа, независимо от того, наблюдались или не наблюдались в них туманности типа плерионов. Список всех 49 объектов, использованных нами для построения зависимости $\Sigma \sim D$, приведен в табл.1. Остаток сверхновой Кассиопея-А (G111.7-2.1) исключен из списка, так как по поверхностной

Таблица 1

СПИСОК КАЛИБРОВОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ
 $\Sigma \sim D$ ДЛЯ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ

N	Объект	Σ Вт м ⁻² Гц ⁻¹ стер ⁻¹	θ угл. мин.	S (1ГГц) Ян	r кпк	D пк
1	2	3	4	5	6	7
1	G4.5+6.8	2.5×10^{-19}	3	19	4.5	4
2	G5.4-1.2	3.4×10^{-21}	35	35	4.6	47
3	G6.4-0.1	1.6×10^{-20}	48	310	3.3	46
4	G8.7-0.1	4.7×10^{-21}	45	80	3.9	51
5	G18.8+0.3	2.1×10^{-20}	17 x 11	33	8.1	32
6	G21.5-0.9	4.4×10^{-20}	4	6	6.3	7
7	G31.9+0.0	7.8×10^{-20}	7 x 5	24	7.2	12
8	G33.6+0.1	2.6×10^{-20}	10	22	7.1	21
9	G34.7-0.4	2.9×10^{-20}	35 x 27	230	3.3	30
10	G43.3-0.2	3.7×10^{-19}	4 x 3	38	7.5	8
11	G46.8-0.3	7.4×10^{-21}	17 x 13	14	6.4	28
12	G49.2-0.7	2.1×10^{-20}	30	160	6	52
13	G53.6-2.2	1.0×10^{-21}	33 x 28	8	5	44
14	G54.5-0.3	2.0×10^{-21}	40	28	3.3	38
15	G69.0+2.7	2.2×10^{-21}	80	120	2.5	58
16	G74.0-8.5	6.7×10^{-22}	230 x 160	210	0.8	45
17	G78.2+2.1	1.1×10^{-20}	60	340	1.2	21
18	G84.2-0.8	4.1×10^{-21}	20 x 16	11	4.5	24
19	G89.0+4.7	2.4×10^{-21}	120 x 90	220	0.8	24
20	G114.3+0.3	1.4×10^{-22}	90 x 55	6	2.5	53
21	G116.5+1.1	2.7×10^{-22}	80 x 60	11	5	101

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
22	G116.9+0.2	9.4×10^{-22}	34	9	3.1	31
23	G119.5+10.2	5.2×10^{-22}	90	36	1.4	37
24	G120.1+1.4	1.0×10^{-19}	8	56	4.5	11
25	G130.7+3.1	8.7×10^{-20}	9 x 5	33	3.3	22
26	G132.7+1.3	8.6×10^{-22}	80	45	2.2	51
27	G156.2+5.7	4.8×10^{-23}	110	5	3	96
28	G160.9+2.6	7.7×10^{-22}	140 x 120	110	2.2	83
29	G166.0+4.3	4.3×10^{-22}	55 x 35	7	4.5	57
30	G166.2+2.5	2.0×10^{-22}	90 x 70	11	4.5	104
31	G180.0-1.7	2.4×10^{-22}	180	65	1.5	79
32	G189.1+3.0	9.4×10^{-21}	45	160	1.5	20
33	G205.6+0.5	3.9×10^{-22}	220	160	1.6	102
34	G260.4-3.4	5.1×10^{-21}	60 x 50	130	3.5	35
35	G296.5+10.0	9.4×10^{-22}	90 x 65	48	1.6	36
36	G304.6+0.1	2.6×10^{-20}	8	14	7.9	18
37	G308.8-0.1	3.0×10^{-21}	30 x 20	15	8.7	63
38	G309.8+0.0	4.2×10^{-21}	25 x 19	17	3.6	23
39	G315.4-2.3	3.3×10^{-21}	42	49	2.8	34
40	G320.4-1.2	5.8×10^{-21}	35	60	4.4	45
41	G327.6+14.6	2.5×10^{-21}	30	19	2.1	18
42	G330.0+15.0	1.2×10^{-21}	180	350	1.2	63
43	G332.4-0.4	3.3×10^{-20}	10	28	3.4	10
44	G341.2+0.9	5.0×10^{-22}	16 x 22	1.5	6.9	38
45	G343.1-2.3	9.0×10^{-22}	32	8	1.8	17
46	G348.5+0.1	3.7×10^{-20}	15	72	9	39
47	G348.5+0.3	1.1×10^{-20}	17	26	9	45
48	G349.7+0.2	4.7×10^{-19}	2.5 x 2	20	13.8	9
49	G359.1-0.5	2.9×10^{-21}	24	14	9.2	64

радиояркости он примерно в 25 раз превышает второй по поверхностной радиояркости объект в таблице и имеет ряд особенностей по сравнению

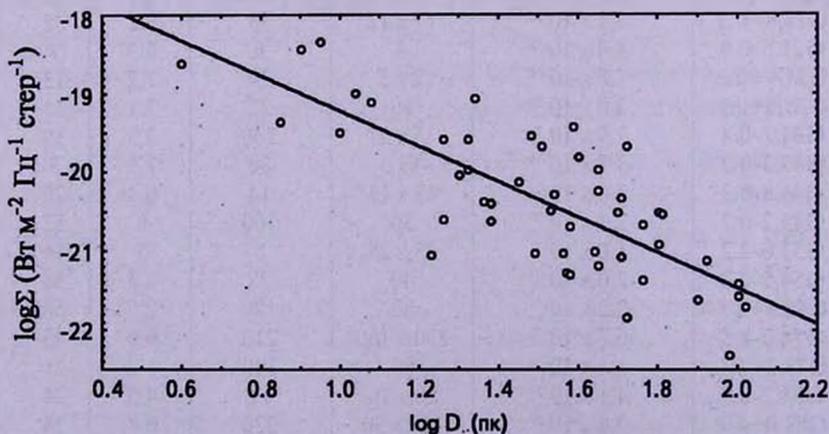


Рис.1. Эмпирическая зависимость $\log \Sigma \sim \log D$ для галактических остатков сверхновых. Прямая представляет линию линейной регрессии.

с другими остатками [19,20]. Указанные в табл.1 угловые диаметры и плотности потоков на частоте 1 ГГц взяты из [17], расстояния и линейные диаметры из [19].

Поверхностные яркости на частоте 1 ГГц вычислялись как

$$\Sigma = 1.118 \times 10^{-19} S/\vartheta^2 \text{ Вт м}^{-2} \text{ Гц}^{-1} \text{ стер}^{-1},$$

где S -плотность потока на 1 ГГц в янских, ϑ - угловой диаметр в минутах дуги. (В [19] вместо коэффициента 1.118 ошибочно указан 1.505).

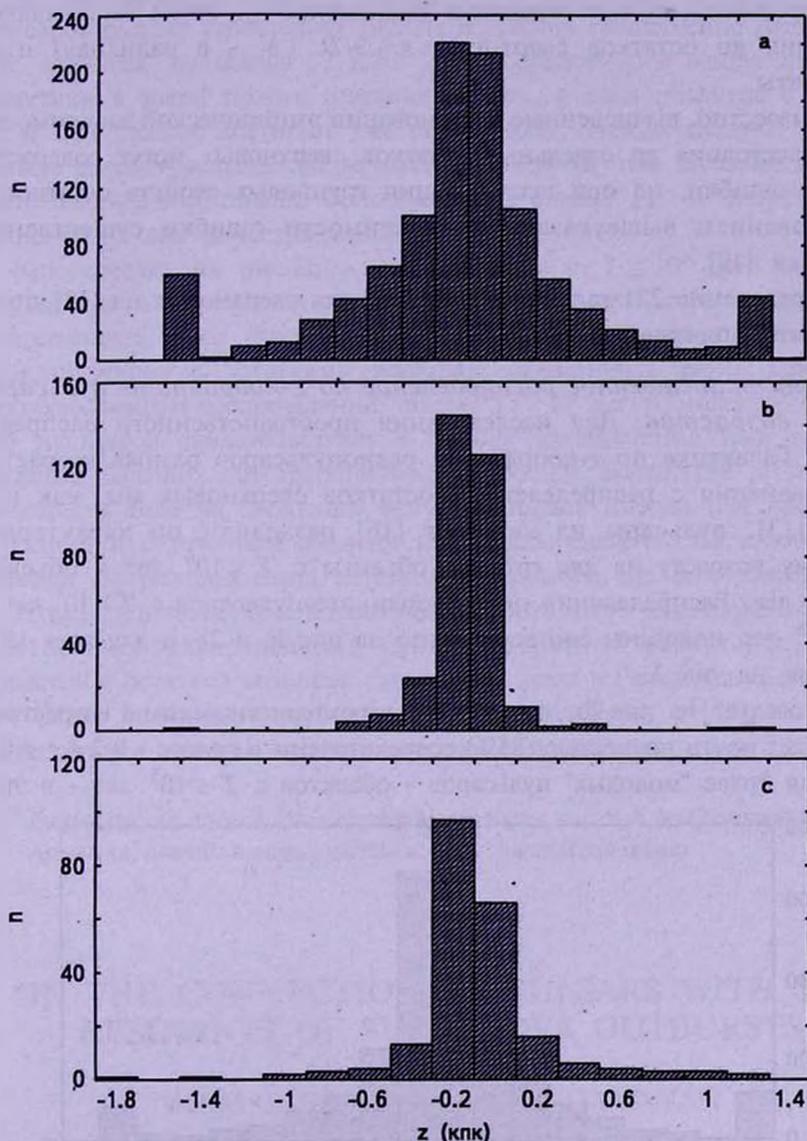


Рис.2. Распределение по z -координате пульсаров разных характеристических возрастов и остатков сверхновых. а) Пульсары с $T > 10^6$ лет. б) Пульсары с $T \leq 10^6$ лет. в) Остатки сверхновых.

Зависимость $\log \Sigma \sim \log D$ показана на рис.1. Уравнение линейной регрессии зависимости имеет вид

$$\log \Sigma = -(2.25 \pm 0.26) \log D - (16.97 \pm 0.40). \quad (1)$$

Линейные диаметры остальных 172 остатков сверхновых из каталога [17] определялись с помощью зависимости (1). (Для 10 объектов из 231 остатка сверхновых в [17] нет данных о плотностях потоков на частоте 1 Гц или на какой-нибудь другой радиочастоте. Поэтому невозможно было определить их поверхностные радиояркости). Затем вычислялись расстояния до остатков сверхновых $r = \vartheta/D$ (ϑ - в радианах) и z -координаты.

Как известно, вычисленные на основании эмпирической зависимости $\Sigma \sim D$ расстояния до отдельных остатков сверхновых могут содержать большие ошибки, но при исследовании групповых свойств остатков с использованием вышеуказанной зависимости ошибки существенно снижаются [19].

Распределение 221 галактического остатка сверхновых из [17] по z -координате показано на рис.2с.

3. Пространственное распределение по z -координате пульсаров разных возрастов. Для исследования пространственного распределения в Галактике по z -координате радиопульсаров разных возрастов и их сравнения с распределением остатков сверхновых мы, как и в работе [13], пульсары из каталога [16] разделили по характеристическому возрасту на две группы: объекты с $T \leq 10^6$ лет и объекты с $T > 10^6$ лет. Распределения по z -координате пульсаров с $T > 10^6$ лет и с $T \leq 10^6$ лет показаны соответственно на рис.2а и 2б, а для всех 1375 пульсаров на рис.3.

Как следует из рис.2б, пульсары с характеристическими возрастными $T \leq 10^6$ лет почти полностью (85%) сосредоточены в полосе $-0.2 \leq z \leq 0.2$ кпк. Доля более "молодых" пульсаров - объектов с $T \leq 10^5$ лет - в этой

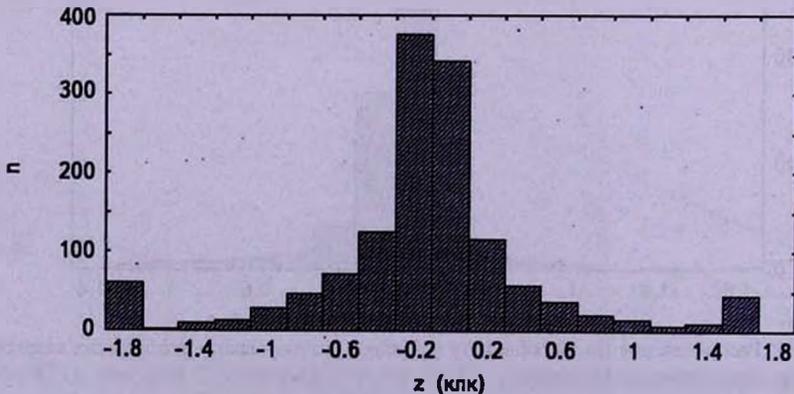


Рис.3. Распределение по z -координате всех пульсаров.

полосе еще больше - более 92%. Между тем, в зоне $-0.2 \leq z \leq 0.2$ кпк расположен всего 41% объектов с $T > 10^6$ лет. Как видим, распределения пульсаров характеристических возрастов $T \leq 10^6$ лет и $T > 10^6$ лет по z -координате существенно разные. Согласно критерию Колмогорова-Смирнова, эти распределения отличаются на уровне значимости меньше 0.001. Из рис.3 следует, что в зоне $-0.2 \leq z \leq 0.2$ кпк концентрируется примерно половина пульсаров всех возрастов вместе взятых.

4. *Заключение.* Таким образом, распределения по z -координате пульсаров разных характеристических возрастов существенно отличаются. 85% "молодых" пульсаров ($T \leq 10^6$ лет) сосредоточены вокруг плоскости Галактики в узкой полосе шириной 400 пк, а доля объектов с $T \leq 10^5$ лет в этой полосе достигает уже свыше 92%. Отсюда следует, что, чем меньше характеристические возрасты пульсаров, тем большая их часть расположена в этой полосе. Основная часть "старых" ($T > 10^6$ лет) пульсаров расположена вне вышеуказанной полосы.

Как следует из рис.2b и 2с, пульсары с $T \leq 10^6$ лет и остатки сверхновых в Галактике по z -координате имеют почти одинаковое распределение. Этот факт свидетельствует в пользу генетической связи радиопульсаров с остатками вспышек сверхновых звезд. Сравнение пространственных распределений "старых" ($T > 10^6$ лет) и "молодых" ($T \leq 10^6$ лет) пульсаров свидетельствует в пользу приобретения ими во время рождения больших пространственных скоростей. Вследствие этого старые пульсары в ходе их эволюции могут подняться высоко над плоскостью Галактики и с течением времени иметь распределение по z -координате, отличное от распределения остатков сверхновых, где они родились.

Итак, представленные в настоящей работе итоги исследований пространственного распределения пульсаров разных характеристических возрастов и остатков вспышек сверхновых звезд в Галактике, основанных на гораздо большем статистическом материале, чем в [13], полностью подтверждают выводы, сделанные ранее в [13].

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: malumian@bao.sci.am, harart@bao.sci.am

ON THE CONNECTION OF PULSARS WITH THE REMNANTS OF SUPERNOVA OUTBURSTS

V.H.MALUMYAN, A.N.HARUTYUNYAN

On the base of large statistical material it is shown that the spatial distribution of pulsars with the characteristic ages $T \leq 10^6$ years and $T > 10^6$

years in the Galaxy are quite different. The overwhelming majority of the pulsars with $T \leq 10^6$ years are situated in the narrow band of 400 pc around the galactic plane. The great part of pulsars with $T > 10^6$ years are concentrated outside of that band. The younger pulsars the greater part of them are concentrated in the aforementioned band. It is also shown that pulsars with ages $T \leq 10^6$ years and remnants of supernova practically have the same spatial distribution. These facts witness in favor of both: as genetic relationship of pulsars and supernova remnants, as well as in favor of acquiring by pulsars large spatial velocities during the birth.

Key words: pulsar: ages: remnants: spatial distribution

ЛИТЕРАТУРА

1. И.С.Шкловский, Сверхновые звезды, Наука, М., 1976.
2. Р.Манчестер, Дж.Тейлор, Пульсары, Мир, М., 1980.
3. R.Narayan, K.J.Schmidt, *Astrophys. J.*, **325**, L43, 1988.
4. B.M.Gaensler, S.Jonston, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **277**, 1243, 1995.
5. D.A.Frail, W.M.Goss, I.B.Z.Whiteoak, *Astrophys. J.*, **437**, 781, 1994.
6. S.B.Anderson, D.A.Frail, D.R.Lorimer, *Astrophys. J.*, **468**, L55, 1996.
7. A.G.Lyne, D.R.Lorimer, *Nature*, **369**, 127, 1994.
8. M.Herant, W.Benz, S.A.Colgate, *Astrophys. J.*, **395**, 642, 1992.
9. E.R.Harrison, E.Tademaru, *Astrophys. J.*, **201**, 447, 1975.
10. A.G.Lyne, B.Anderson, M.J.Salter, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **201**, 503, 1982.
11. J.M.Cordes, *Astrophys. J.*, **311**, 183, 1986.
12. P.A.Harrison, A.G.Lyne, B.Anderson, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **261**, 113, 1993.
13. В.Г.Малумян, А.Н.Арутюнян, *Астрофизика*, **47**, 671, 2004.
14. H.Taylor, R.N.Manchester, A.G.Lyne, *Catalog of 706 pulsars*, 1995.
15. D.Downes, *Astron. J.*, **76**, 305, 1971.
16. <http://www.csiro.atnf.au/research/pulsar/catalogue/>, 2005.
17. D.A.Green, *Catalogue of galactic supernova remnants*. Mullard radio astronomy observatory. Cambridge, 2004.
18. B.M.Gaensler, P.O.Slane, E.V.Gothelf, G.Vasisht, *Astrophys. J.*, **559**, 963, 2001.
19. G.L.Case, D.Bhattacharya, *Astrophys. J.*, **504**, 761, 1998.
20. B.Arbutina, D.Urošević, M.Stanković, L.Težić, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **350**, 346, 2004.
21. W.B.Burton, M.A.Gordon, *Astron. Astrophys.*, **63**, 7, 1978.
22. M.Fich, L.Blitz, A.A.Stark, *Astrophys. J.*, **342**, 272, 1989.
23. J.M.Saken, R.A.Fesen, J.M.Shull, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **81**, 715, 1992.
24. D.P.Clements, *Astrophys. J.*, **295**, 422, 1985.