УДК 524.338.3

# СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД

## V. СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

*В. С. Лебедев*

Приведены наблюдаемые параметры орбит 83 спектрально-двойных звезд с химически пекулярными компонентами. Найдены функции распределения основных параметров. Сравнение с контрольной выборкой нормальных спектрально-двойных звезд показало, что распределения Ар-звезд по периодам, эксцентриситетам и амплитудам лучевых скоростей с уровнем статистической значимости 0.999 отличаются от соответствующих распределений для нормальных звезд. Оценены физические характеристики звезд, углы наклона плоскости орбит к лучу зрения, абсолютные размеры орбит, размеры полостей Роша и угловые орбитальные моменты. Найдено, что углы наклона осей вращения Ар-компонентов и их орбит не коррелируют между собой. Для четырех систем заподозрено движение линии апсид со скоростями (3—70)E-4 град/сут.

The observable parameters of orbits for 83 spectroscopic binary stars with chemically peculiar components are reported. Distribution functions of the principle parameters are found. A comparison with a control sample of normal spectroscopic binary star showed that distribution of Ap stars in periods, eccentricities and amplitudes of radial velocities differ from those of normal stars with a degree of statistical significance of 0.999. Physical characteristics of stars, inclination angles of orbital planes to the line of sight, absolute sizes of orbits, the sizes of Roche lobes and angular orbital moments are estimated. It is found that inclination angles of rotation axes of Ap components and those of their orbits do not correlate with each other. For 4 systems a motion of line of apsides with velocities of (3—70)E-4 grad/day is suspected.

Двойственность является широко распространенным явлением в мире звезд. Не менее 45—50 % звезд главной последовательности (ГП) входит в двойные системы [1]. Для других типов звезд доля двойных достигает 100 % [2]. Различные оценки дают встречаемость двойных среди химически пекулярных звезд (ХПЗ) в 25—45 % [3]. Изучение ХПЗ, входящих в двойные системы, сравнение их физических параметров и параметров орбит с двойными системами из нормальных звезд может помочь в решении проблемы происхождения феномена химической пекулярности. Например, только из того факта, что наблюдаются двойные системы, в которые входят нормальные и химически пекулярные компоненты, следует, по-видимому, отвергнуть гипотезу происхождения ХПЗ из обогащенной тяжелыми элементами межзвездной среды. Наличие таких смешанных пар с близкими значениями масс противоречит и гипотезе о внешнем происхождении химических аномалий, например при вспышке Сверхновой

ТАБЛИЦА 1

**Исследования спектрально-двойных ХПЗ**

| Ссылка | Число звезд | Ссылка | Число звезд |
|---|---|---|---|
| Шенайх, 1967 [4] | 13 | Китамура, 1980 [9—11] | 19 |
| Абт и Сноуден, 1973 [5] | 14 | Сеггевис, 1981 [12] | 34 |
| Яшек К. и Яшек М., 1975 [6] | 16 | Гинестет и др., 1982 [13] | 15 |
| Желванова, 1976 [7] | 41 | Жербалди и др., 1985 [14] | 48 |
| Желванова и др., 1976 [8] | 38 | Настоящее исследование | 83 |

звезды и последующей аккреции обогащенного тяжелыми элементами вещества на звезды.

Часть двойных ХПЗ выделена спектроскопически и у них определены элементы орбит. Этими звездами мы и займемся в настоящей работе. За последние два десятилетия предпринимались неоднократные попытки исследования таких звезд. В табл. 1 приведены ссылки на эти исследования с указанием количества изученных в каждой работе звезд.

Из Седьмого каталога Бэттена и др. [15], из списков Медонской обсерватории [16—19] и других литературных источников нами собраны данные о параметрах орбит 83 химически пекулярных звезд. Параметры орбит приведены в табл. 2: колонка 1 — номер HD, 2 — спектральный класс ($Sp$), 3 — тип пекулярности, 4 — период $P$, 5 — начальная эпоха $T_0$ (без 2 400 000), 6 — долгота периастра $w$, 7 — скорость центра масс $v_0$, 8 — эксцентриситет $e$, 9 — полуамплитуда лучевой скорости $K$, 10 — функция масс $f(m)$ в массах Солнца, 11 — проекция размера орбиты $a \sin i$ в радиусах Солнца, 12 — масса $m \sin^3 i$ в массах Солнца и 13 — ссылка. Для двухспектровых систем во вторых строках табл. 2 приведены значения для вторичного компонента. Для некоторых звезд приведено несколько различных орбит, полученных разными авторами по различным наблюдательным данным.

Интересно провести сравнение параметров орбит ХПЗ и нормальных звезд. Для этого необходимо иметь контрольную выборку звезд ГП, которая имеет такое же распределение по спектральным классам, что и исследуемая выборка ХПЗ. Из каталога Бэттена и др. [15] с помощью датчика случайных чисел такая контрольная выборка была получена. В качестве спектральных классов для ХПЗ использовались такие их значения, которые находились по зависимости температура—спектральный класс для нормальных звезд, в то время как температуры ХПЗ определялись по фотометрическим индексам и их зависимостям от температуры для ХПЗ. Таким способом мы избавились от неопределенности значений спектрального класса для ХПЗ. Контрольная выборка содержит 92 звезды ГП в диапазоне $Sp$ от B1 до F1, причем 90 % звезд имеют $Sp$ от B8 до A3.

В то время как из 83 ХПЗ только 15 являются двухспектровыми (SB2), для нормальных звезд 32 звезды имеют измеренные характеристики второго компонента. Такое различие не случайно с уровнем значимости $\alpha=0.975$. Вывод этот получен по соответствующим таблицам для биномиального распределения [36]. Малый процент SB2 среди ХПЗ, по-видимому, связан с увеличивающимися трудностями обнаружения признаков второго компонента в их спектрах из-за аномально усиленных и зачастую переменных линий Ар-компонента.

Функции распределения основных наблюдаемых параметров орбит (периоды $P$, эксцентриситеты $e$, амплитуды лучевой скорости $K$ и функции масс) приведены в табл. 3—6 для нормальных и химически пекулярных звезд: колонка 1 — интервал значений параметров, 2 — доля звезд, попавших в этот интервал для ХПЗ, 3 — доля нормальных звезд, попавших в этот интервал. Сравнение распределений методом хи-квадрат [36] показало, что распределения ХПЗ и нормальных звезд по $\lg P$, $e$, $K$ значимо (с уровнем $\alpha=0.999$) различаются друг от друга, в то время как распределения по функции масс статистически значимо не различаются. Для ХПЗ наблюдается недостаток короткопериодических (менее $\sim$2 дней), избыток сильновытянутых и малоамплитудных орбит. Средние значения эксцентриситетов и полуамплитуд лучевых скростей для ХПЗ составляют $\bar{e}=0.28\pm0.02$ и $\bar{K}=44\pm5$ км/с, в то время как для нормальных звезд эти величины соответственно составляют $0.14\pm0.02$ и $78\pm5$ км/с. Эти различия, возможно, связаны с существованием у ХПЗ магнитных полей и вследствие этого различной эволюции динамических параметров орбит. Распределение ХПЗ по эксцентриситетам ведет себя линейно, спадая от максимума при $e=0.0$ до нуля при $e=0.8$, а распределение по амплитудам лучевых скоростей — экспоненциально с характерным масштабом $\sim$60 км/с.

Среднее значение отношения масс для ХПЗ SB2 составляет 0.75 и почти во всех системах масса Ар-компонентов превышает массу вторичных компонент. Ждет своего часа задача поиска и изучения ХПЗ среди вторичных компонентов

ТАБЛИЦА 2

**Параметры орбит химически пекулярных звезд**

| HD | *Sp* | Тип | *P*, дни | *T* + 2400000 | *w* | *v*, км/с | *e* | *K*, км/с | *f* (*m*) | *a* sin *i* | *m* sin³ *i* | Ссылка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 358 | B8 | HgMn | 96.696 | 42056.32 | 77°.1 | —11.6 | 0.52 | 30.1 | 1.70E-1 | 49.1 | | 15 |
| 2019 | B9 | Hg | 3.11276 | 31731.97 | 339 | 4.8 | 0.026 | 79.6 | 2.15E-1 | 4.89 | 2.00 | 15 |
| | | | | | | | | 134.7 | | 8.28 | 1.18 | |
| 2054 | B8 | Si | 48.2905 | 45240.60 | 320 | 3.4 | 0.384 | 30.1 | 1.08E-1 | 28.7 | | 20 |
| 3322 | B8 | HgMn | 399.6 | 40462.40 | 304 | 4.0 | 0.57 | 8.1 | 1.21E-2 | 52.3 | | 21 |
| 4161 | A2 | Sr | 4.4672235 | 23962.95 | 132 | 8.1 | 0.004 | 73.0 | 1.80E-1 | 6.44 | | 15 |
| 4382 | B8 | HgMn | 33.75 | 20577.41 | 270 | —4.1 | 0.405 | 16.3 | 1.16E-2 | 9.94 | | 15 |
| 5737 | B7 | Hew | 36500 | 23433. | | | 0.0 | 6.0 | 0.82E 0 | 4327 | | 19 |
| 7374 | B8 | HgMn | 800.9 | 19264.20 | 201 | —15.2 | 0.31 | 3.5 | 3.01E-3 | 52.4 | | 21 |
| 9996 | B9 | CrEu | 272.99 | 42048.03 | 17.7 | —0.6 | 0.47 | 11.3 | 2.81E-2 | 53.8 | | 22 |
| 11291 | B9 | HgMn | 5.6270 | 40281.30 | 208 | 11.4 | 0.02 | 26.5 | 1.09E-2 | 2.95 | | 15 |
| 11529 | B8 | Sr | 69.92 | 20426.02 | 50 | —24.8 | 0.30 | 29.6 | 1.63E-1 | 39.0 | | 15 |
| 11905 | B8 | HgMn | 5.0109 | 41945.50 | 136 | —6.9 | 0.08 | 11.6 | 8.04E-4 | 1.14 | | 23 |
| 15144 | A5 | SrCrEu | 2.997814 | 39010.86 | 20 | 1.3 | 0.22 | 17.7 | 1.60E-3 | 1.02 | | 5 |
| 23642 | A0 | Si | 2.46111 | 36168.01 | 108 | 5.0 | 0.018 | 98.1 | 2.41E-1 | 4.77 | 2.05 | 15 |
| | | | | | | | | 140.6 | | 6.84 | 1.43 | |
| 23964 | B9 | SiSrCr | 16.7258 | 30293.00 | 309 | 1.7 | 0.055 | 35.0 | 7.41E-2 | 11.5 | | 15 |
| 25267 | A0 | Si | 5.95367 | 17600.95 | 151 | 24.9 | 0.10 | 37.6 | 3.24E-2 | 4.40 | | 15 |
| 25823 | B9 | Si | 7.227424 | 21944.77 | 121 | 2.3 | 0.18 | 16.6 | 3.27E-3 | 2.33 | | 5 |
| 26961 | A2 | Si | 1.52738 | 18956.64 | 271 | 19.8 | 0.047 | 43.1 | 1.27E-2 | 1.30 | | 15 |
| 26961 | A2 | Si | 1.5274 | 40001.58 | 111 | 20.0 | 0.023 | 39.4 | 9.70E-3 | 1.19 | | 15 |
| 27295 | B8 | Mn | 4.452064 | 41317.86 | 81 | 12.5 | 0.055 | 9.6 | 4.07E-4 | 0.84 | | 18 |
| 27376 | B8 | Mn | 5.0105 | 17562.27 | 124 | 17.8 | 0.014 | 63.8 | 1.35E-1 | 6.32 | 0.56 | 15 |
| | | | | | 304 | | | 64.8 | | 6.41 | 0.55 | |
| 28217 | B8 | HgMn | 20.4334 | 42641.75 | 231 | 15.2 | 0.34 | 30.9 | 5.21E-2 | 11.7 | | 23 |
| 28319 | F0 | Sr | 140.728 | 36489.79 | 49.1 | 39.6 | 0.75 | 31.0 | 1.26E-1 | 57.0 | | 15 |
| 32964 | B9 | Hg | 5.52242 | 23087.58 | 336 | 30.9 | 0.074 | 97.0 | 5.19E-1 | 10.6 | 2.73 | 15 |
| | | | | | 156 | | | 111.0 | | 12.1 | 2.39 | |
| 32964 | B9 | Hg | 5.522731 | 41384.13 | 341 | 32.6 | 0.095 | 100.7 | 5.28E-1 | 10.9 | 2.46 | 19 |
| | | | | | 161 | | | 103.8 | | 11.3 | 2.38 | |
| 33647 | B8 | HgMn | 21.2595 | 42349.87 | 55 | 28.2 | 0.365 | 80.0 | 9.12E-1 | 31.3 | 0.05 | 23 |
| | | | | | 251 | | | 93.5 | | 36.6 | 0.04 | |
| 34364 | B9 | HgMn | 4.134586 | 28102.68 | | 25.1 | 0.0 | 107.2 | 5.29E-1 | 8.76 | 2.48 | 15 |
| | | | | | | | | 116.0 | | 9.48 | 2.29 | |
| 37017 | B2 | Her | 18.65 | 35000. | 110° | 32. | 0.3 | 30. | 4.54E-2 | 10.5 | | 15 |

ТАБЛИЦА 2 (*продолжение*)

| HD | *Sp* | Тип | *P*, дни | *T* + 2400000 | *w* | *v*, км/с | *e* | *K*, км/с | *f* (*m*) | *a* sin *i* | *m* sin³ *i* | Ссылка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 37403 | O5 | Hew | 29.13507 | 29999.61 | 117 | 26.6 | 0.758 | 115.2 | 1.28E 0 | 43.3 | 15.9 | 15 |
| | | | | | 297 | | | 195.8 | | 73.5 | 9.36 | |
| 55719 | A3 | SrCrEu | 46.314 | 41674.94 | 210 | —4.4 | 0.126 | 48.5 | 5.36E-1 | 44.0 | | 19 |
| 58661 | B9 | HgMn | 1834. | 40665. | 74 | 20.7 | 0.3 | 5.0 | 2.07E-2 | 1737 | | 21 |
| 65339 | A2 | SrCrEu | 2380. | 28001. | 10 | —2.2 | 0.56 | 8. | 7.20E-2 | 312. | | 19 |
| 68351 | B9 | SiCr | 585.4154 | 21962.65 | 87 | 17.8 | 0.24 | 12.1 | 9.85E-2 | 136. | | 5 |
| 65949 | B9 | Hg | 21.284 | 43519.56 | 135 | 16.3 | 0.40 | 29. | 4.15E-2 | 11.2 | | 24 |
| 72208 | B9 | HgMn | 22.01158 | 43073.51 | 199 | 23.5 | 0.375 | 48.2 | 2.04E-1 | 19.4 | | 25 |
| 77350 | B9 | SiCr | 1401.4 | 19687. | 264 | —14.3 | 0.35 | 7.7 | 5.46E-2 | 200. | | 5 |
| 78316 | B8 | Mn | 6.393237 | 24001.95 | 157 | 24.5 | 0.13 | 67.4 | 1.98E-1 | 8.44 | | 15 |
| 89822 | B9 | HgMn | 11.57907 | 18468.18 | 171 | —2.6 | 0.26 | 38.9 | 6.37E-2 | 8.59 | 0.75 | 26 |
| | | | | | 351 | | | 64.8 | | 14.3 | 0.45 | |
| 90569 | B8 | SrCrEu | 12685.4 | 12137. | 2 | —7.8 | 0.75 | 11.0 | 5.07E-1 | 1824 | | 5 |
| 93030 | B1 | Her | 1.7788 | 42107.72 | 47 | 25.5 | 0.446 | 23.0 | 1.61E-3 | 0.72 | | 27 |
| 94334 | A0 | Si | 15.8307 | 35185.25 | 27.3 | —18.7 | 0.305 | 22.2 | 1.55E-2 | 6.61 | | 15 |
| 98088 | A8 | SrCrEu | 5.90513 | 34419.13 | 317°0 | —9.5 | 0.175 | 73.4 | 2.31E-1 | 8.43 | 1.70 | 28 |
| | | | | | | | | 98.5 | | 11.3 | 1.27 | |
| 98088 | A8 | SrCrEu | 5.90513 | 41847.74 | 314.4 | —8.6 | 0.176 | 73.1 | 2.29E-1 | 8.40 | | 18 |
| 108772 | F4 | Sr | 17.954 | 39243.5 | 286 | —42.5 | 0.42 | 11.5 | 2.12E-3 | 3.70 | | 15 |
| 116458 | B9 | Cr | 70.651 | 40925.2 | 160 | 8. | 0.4 | 3.0 | 1.53E-4 | 3.84 | | 29 |
| 116458 | B9 | Cr | 126.18 | 41421. | 68 | 2.5 | 0.15 | 14.4 | 3.80E-2 | 35.5 | | 30 |
| 116656 | A1 | SrSi | 20.5386 | 36997.21 | 104 | —5.6 | 0.537 | 68.8 | 3.96E-1 | 23.6 | 1.61 | 15 |
| | | | | | | | | 67.6 | | 23.1 | 1.64 | |
| 123299 | A0 | Si | 51.420 | 45117.37 | 23.2 | —14.0 | 0.400 | 49.7 | 5.05E-1 | 46.3 | | 31 |
| 123515 | B8 | Si | 26.005 | 37744.71 | 151 | 5.2 | 0.202 | 39.6 | 1.58E-1 | 19.9 | | 16 |
| 125248 | A0 | SrCrEu | 1618. | 31475. | 82.4 | —10.9 | 0.21 | 7.5 | 6.63E-2 | 234. | | 32 |
| 134759 | B8 | Si | 8163. | 33155. | 7.6 | —14.2 | 0.35 | 3.4 | 2.74E-2 | 514. | | 15 |
| 137909 | A8 | SrCrEu | 3833.7 | 28971.3 | 185.4 | —18.0 | 0.406 | 9.2 | 2.37E-1 | 637. | | 15 |
| 141556 | B9 | HgMn | 15.2565 | 38429.54 | 166 | —16.3 | 0.003 | 135.6 | 3.95E 0 | 40.9 | | 18 |
| 143807 | B8 | Hg | 35.474 | 41566.96 | 156 | —20.3 | 0.56 | 2.3 | 2.55E-5 | 1.34 | | 33 |
| 145389 | B9 | HgMn | 506.5 | 40525.2 | 357 | —16.8 | 0.47 | 2.4 | 5.00E-4 | 21.2 | | 15 |
| 145502 | A9 | Si | 5.9222 | 35188.28 | | 1.4 | 0.0 | 26.4 | 1.13E-2 | 3.09 | | 15 |
| 147869 | A2 | Sr | 4.951 | 21773.09 | 356 | —34.4 | 0.511 | 16.3 | 1.41E-3 | 1.37 | | 15 |
| 159082 | B9 | HgMn | 6.79753 | 22878.5 | 133° | —13.7 | 0.068 | 48.9 | 8.21E-2 | 6.55 | | 21 |
| 161321 | A3 | SiSr | 3.894977 | 40321.00 | | —31.9 | 0.0 | 98.9 | 3.98E-4 | 7.61 | 1.96 | 18 |
| | | | | | | | | 110.4 | | 8.50 | 1.75 | |

ТАБЛИЦА 2 *(продолжение)*

| HD | *Sp* | Тип | *P*, дни | *T* + 2400000 | *w* | *v*, км/с | *e* | *K*, км/с | *f* (*m*) | *a* sin *i* | *m* sin³ *i* | Ссылка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 161480 | B6 | HgMn | 10.526 | 41528.3 | 166 | —15.9 | 0.06 | 46.5 | 1.09E-1 | 9.65 | | 15 |
| 161698 | B8 | HgMn | 7.2527 | 39250.45 | 352 | —5.3 | 0.77 | 37.0 | 9.91E-3 | 3.38 | | 17 |
| 161701 | B9 | HgMn | 12.4519 | 39030.65 | 252 | —18.5 | 0.062 | 52.5 | 1.86E-1 | 12.9 | | 16 |
| 161701 | B9 | HgMn | 12.4515 | 41083.06 | 180 | —19.5 | 0.0 | 59.7 | 2.75E-1 | 14.7 | | 19 |
| 161733 | B6 | HgMn | 1.80519 | 39227.57 | 21 | —13.9 | 0.40 | 22.8 | 1.71E-3 | 7.45 | | 17 |
| 162588 | B9 | Si | 6.1411 | 39693.56 | 230 | —12.0 | 0.55 | 15.6 | 1.41E-3 | 1.58 | | 15 |
| 162656 | B9 | Si | 5.4505 | 39696.08 | 215 | —12.6 | 0.23 | 32.1 | 1.73E-2 | 3.36 | | 15 |
| 170000 | B9 | Si | 26.768 | 38853.6 | 171 | —20.8 | 0.39 | 26.6 | 4.08E-2 | 13.0 | | 5 |
| 172044 | B8 | HgMn | 1675. | 20438.5 | 120 | —26.9 | 0.16 | 3.2 | 5.48E-3 | 103. | | 5 |
| 173524 | B9 | HgMn | 9.810 | 27945.34 | 155 | —31.0 | 0.222 | 28.1 | 2.10E-2 | 5.31 | 0.13 | 15 |
| | | | | | 335 | | | 34.1 | | 6.44 | 0.10 | |
| 173524 | B9 | HgMn | 9.1807 | 40003.22 | 173 | —31.0 | 0.20 | 25.1 | 1.52E-2 | 4.77 | 0.08 | 15 |
| | | | | | 353 | | | 29.5 | | 5.60 | 0.07 | |
| 174933 | B9 | HgMn | 6.36247 | 24589.68 | 195 | —19.6 | 0.116 | 17.7 | 3.59E-3 | 2.21 | | 15 |
| 178065 | B9 | HgMn | 6.9019 | 42255.5 | 341 | —13.3 | 0.03 | 11.7 | 1.15E-3 | 1.60 | | 23 |
| 183056 | B9 | Si | 35.0225 | 38929.1 | 290° | —11.0 | 0.45 | 5.7 | 4.80E-4 | 3.52 | | 5 |
| 184552 | A3 | Sr | 8.115782 | 18110.80 | 261 | —30.8 | 0.137 | 20.9 | 7.48E-3 | 3.32 | | 34 |
| 187474 | B9 | SiCrEu | 690. | | 0 | —5.1 | 0.45 | 11.2 | 7.17E-2 | 136. | | 15 |
| 190229 | B9 | HgMn | 61.541 | 40799. | 345 | —23.3 | 0.485 | 4.2 | 3.26E-4 | 4.51 | | 21 |
| 191110 | B9 | Hg | 9.34635 | 41989.07 | 66 | —8.4 | 0.012 | 51.5 | 1.33E-1 | 9.51 | 0.65 | 35 |
| | | | | | 254 | | | 57.1 | | 10.5 | 0.59 | |
| 196133 | A0 | SiSr | 87.687 | 31669.08 | 231 | —9.0 | 0.76 | 32.5 | 8.58E-2 | 36.6 | | 15 |
| 201433 | B8 | Si | 3.313168 | 42669.51 | | —24.3 | 0.0 | 20.1 | 2.79E-3 | 1.32 | | 19 |
| 205073 | A1 | Si | 5.4730 | 41127.89 | 73 | —3.3 | 0.29 | 18.5 | 3.15E-3 | 1.91 | | 18 |
| 207857 | B9 | HgMn | 338.2 | 40473.9 | 26 | —6.0 | 0.58 | 2.3 | 2.22E-4 | 10.1 | | 21 |
| 208095 | B6 | SiSr | 17.3263 | 24415.68 | 270 | —6.5 | 0.215 | 108.3 | 2.13E 0 | 36.2 | 20.9 | 15 |
| | | | | | | | | 165.8 | | 55.4 | 13.6 | |
| 208835 | B8 | Si | 4.72015 | 33473.09 | 263 | —4.9 | 0.075 | 42.0 | 3.60E-2 | 3.91 | | 15 |
| 211838 | B8 | HgMn | 220.41 | 18548.7 | | —3.8 | 0.0 | 18.7 | 1.49E-1 | 81.3 | | 21 |
| 216494 | B9 | HgMn | 3.42981 | 41989.1 | 66 | —7.3 | 0.058 | 95.3 | 3.07E-1 | 6.45 | 1.81 | 35 |
| | | | | | 254 | | | 115 | | 7.79 | 1.50 | |
| 216533 | A2 | SrCr | 16.03 | 41246. | 37 | 9.7 | 0.04 | 4.7 | 1.72E-4 | 1.49 | | 15 |
| 217919 | B0 | Hew | 17.04 | 40486.70 | 315 | —30.8 | 0.281 | 42.2 | 1.18E-1 | 13.6 | | 17 |
| 219749 | B9 | Si | 48.304 | 43720.11 | 49.8 | 2.6 | 0.50 | 25.7 | 5.53E-2 | 21.2 | | 19 |
| 220575 | B8 | HgMn | 216.4648 | 41970.5 | 86 | —8.5 | 0.28 | 18.1 | 1.18E-1 | 74.3 | | 23 |

ТАБЛИЦА 3

**Распределение по периодам**

| lg ($P$) | φ (ХПЗ) | φ (норм) | lg ($P$) | φ (ХПЗ) | φ (норм) |
|---|---|---|---|---|---|
| <0.0 | 0.000 | 0.033 | 2.4—2.8 | 0.060 | 0.010 |
| 0.0—0.4 | 0.030 | 0.298 | 2.8—3.2 | 0.050 | 0.010 |
| 0.4—0.8 | 0.240 | 0.436 | 3.2—3.6 | 0.060 | 0.000 |
| 0.8—1.2 | 0.160 | 0.149 | 3.6—4.0 | 0.010 | 0.000 |
| 1.2—1.6 | 0.210 | 0.044 | 4.0—4.4 | 0.010 | 0.000 |
| 1.6—2.0 | 0.110 | 0.010 | 4.4—4.8 | 0.010 | 0.000 |
| 2.0—2.4 | 0.050 | 0.010 | | | |

нормальных спектрально-двойных звезд. Звезда HD 208095 имеет для своего *Sp* (B6) неприемлемо высокое значение $m \sin^3 i = 20.9\ m_\odot$ и нуждается в дополнительном исследовании.

На основе исследований [37, 38] было сделано заключение, что массы и светимости ХПЗ значимо не отличаются от значений для звезд ГП. Поэтому в ка-

ТАБЛИЦА 4

**Распределение по эксцентриситетам**

| $e$ | φ (ХПЗ) | φ (норм) |
|---|---|---|
| 0.0—0.1 | 0.295 | 0.660 |
| 0.1—0.2 | 0.100 | 0.149 |
| 0.2—0.3 | 0.160 | 0.064 |
| 0.3—0.4 | 0.160 | 0.032 |
| 0.4—0.5 | 0.122 | 0.021 |
| 0.5—0.6 | 0.100 | 0.043 |
| 0.6—0.7 | 0.000 | 0.021 |
| 0.7—0.8 | 0.063 | 0.000 |
| 0.8—0.9 | 0.000 | 0.010 |
| 0.9—1.0 | 0.000 | 0.000 |

ТАБЛИЦА 5

**Распределение по амплитудам лучевой скорости**

| $K$, км/с | φ (ХПЗ) | φ (норм) |
|---|---|---|
| 0—20 | 0.360 | 0.063 |
| 20—40 | 0.260 | 0.238 |
| 40—60 | 0.100 | 0.175 |
| 60—80 | 0.100 | 0.151 |
| 80—100 | 0.050 | 0.063 |
| 100—120 | 0.080 | 0.127 |
| 120—140 | 0.020 | 0.071 |
| 140—160 | 0.010 | 0.040 |
| 160—180 | 0.010 | 0.040 |
| 180—200 | 0.010 | 0.008 |
| >200 | 0.000 | 0.024 |

честве значений физических параметров звезд мы использовали их значения, найденные для нормальных звезд ГП [39]. Для главных компонентов определение физических параметров начиналось с оценки их эффективных температур

ТАБЛИЦА 6

**Распределение по функциям масс**

| lg $f$ | φ (ХПЗ) | φ (норм) | lg $f$ | φ (ХПЗ) | φ (норм) |
|---|---|---|---|---|---|
| —5.0—4.5 | 0.010 | 0.000 | —2.0—1.5 | 0.120 | 0.224 |
| —4.5—4.0 | 0.000 | 0.000 | —1.5—1.0 | 0.200 | 0.266 |
| —4.0—3.5 | 0.035 | 0.010 | —1.0—0.5 | 0.240 | 0.245 |
| —3.5—3.0 | 0.070 | 0.021 | —0.5—0.0 | 0.100 | 0.117 |
| —3.0—2.5 | 0.120 | 0.043 | 0.0—0.5 | 0.025 | 0.010 |
| —2.5—2.0 | 0.070 | 0.064 | 0.5—1.0 | 0.010 | 0.000 |

($T_e$). Предварительно по работам Адельмана и Пайпер [40—54] мы нашли аналитические зависимости между lg $T_e$ и фотометрическими индексами в системах *UBV*, Стремгреновской и Женевской:

$$\lg T_e = 3.957 - 0.730\,(B-V) + 2.850\,(B-V)^2 - 4.125\,(B-V)^3;$$

$$\lg T_e = 3.945 - 0.345\,(U-B);$$

$$\lg T_e = 4.234 - 0.207\,(u - b);$$
$$\lg T_e = 3.890 - 2.347\,(B_2 - V_1) + 0.750\,(B_2 - V_1)^2 + 27.248\,(B_2 - V_1)^3;$$
$$\lg T_e = 0.781 - 17.525\,(B_2 - G) - 31.254\,(B_2 - G)^2 - 18.400\,(B_2 - G)^3.$$

Используя найденные зависимости и наблюдаемые значения фотометрических индексов, мы оценили температуры звезд, а затем и остальные физические параметры (массы, светимости, радиусы, ускорения силы тяжести), пользуясь их значениями для звезд ГП [39]. Для SB-2-звезд нам известно отношение масс, что позволяет найти массу спутника, а затем и остальные параметры в предположении, что спутник — также звезда ГП. Для двухспектровых систем мы исправляли наблюдаемые цвета за вклад спутника и повторяли процедуру поиска физических параметров до сходимости. Для SB1-звезд можно только наложить верхние ограничения на значения массы спутника. Эти ограничения получаются из того факта, что в спектрах звезд не обнаруживается явных признаков второго компонента, т. е. вклад компонента в суммарный оптический спектр не превышает некоторой величины. Мы положили, что этот вклад не более 10—15 %, что дает разницу оптических светимостей около $2^m$. С этим значением мы и получали светимости вторичных компонентов: $M_{V_2} = M_{V_1} + 2.0$. Тогда остальные параметры находились по средним соотношениям для звезд ГП. В табл. 7 приведены физические характеристики звезд (для SB2 — обоих компонентов, а для SB1 — только главных компонентов): колонка 1 — номера HD, 2 — эффективные температуры ($T_e$), 2 — оптические светимости ($M_V$), 4 — болометрические поправки ($BC$), 5 — болометрические светимости ($M_{bol}$), 6 — радиусы ($R$), 7 — логарифмы ускорения силы тяжести ($\lg g$) и 8 — массы звезд ($m$). Значения радиусов и масс приведены в солнечных единицах.

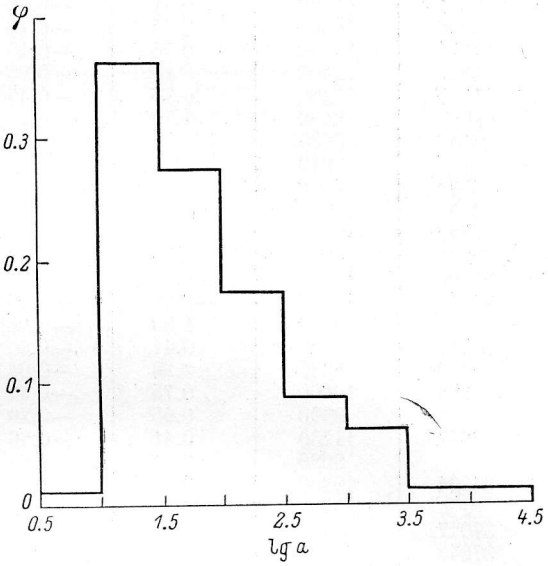


Рис. 1. Функция распределения звезд по размерам орбит.

Теперь, имея оценки масс или их верхних значений и используя определение функции масс $f(m) = m_2^3 \sin^3 i/(m_1 + m_2)^2$, можно получить оценки углов $i_{орб}$ между лучом зрения и нормалью к плоскости орбиты, а затем — оценки абсолютных размеров орбит и углового орбитального момента:

$$J = (m_1 a_1^2 + m_2 a_2^2)\, 2\pi P^{-1}.$$

Значения этих величин приведены в табл. 8: колонка 1 — номера HD, 2 — углы $i_{орб}$, 3 и 4 — значения больших полуосей орбит ($a$), 5 — $\lg J$, 6 и 7 — радиус Роша ($RL$), 8 — значком ✳ отмечены двухспектровые системы, для которых оценки $i_{орб}$ и абсолютных размеров орбит более надежны, а не имеют характера только ограничений сверху или снизу.

Как и другие размеры, $a$ и $R_L$ выражаются в радиусах Солнца, а размерность углового момента $J$ есть $m_\odot R^2_\odot$/сут. Величины радиусов Роша вычислялись по формуле Эглетона [55]:

$$r_L = 0.49 q^{2/3} / (0.6 q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3}))\,(a_1 + a_2),$$

где $q$ — отношение масс компонентов ($0 < q < \infty$).

На рис. 1 приведено распределение величины $\lg a_\Sigma$, ($a_\Sigma = a_1 + a_2$), которое практически линейно от максимума на $\lg a_\Sigma = 1.25$ до $(\lg a_\Sigma)_{max} = 3.50$. Рис. 2

ТАБЛИЦА 7

**Физические параметры звезд**

| HD | $T_e$ | $M_V$ | $BC$ | $M_{bol}$ | $R$ | $\lg g$ | $m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 358 | 13750 | —0.20 | —1.18 | —1.38 | 2.96 | 4.15 | 4.49 |
| 2019 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| | 7900 | 2.36 | —0.04 | 2.32 | 1.65 | 4.21 | 1.65 |
| 2054 | 10000 | 0.80 | —0.30 | 0.50 | 2.32 | 4.11 | 2.62 |
| 3322 | 11350 | 0.20 | —0.70 | —0.50 | 2.71 | 4.10 | 3.40 |
| 4161 | 9080 | 1.35 | —0.12 | 1.23 | 2.04 | 4.14 | 2.16 |
| 4382 | 10600 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 5737 | 15300 | —2.25 | —1.46 | —3.71 | 6.96 | 3.65 | 7.86 |
| 7374 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 9996 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 11291 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 11529 | 12500 | 0.10 | —0.75 | —0.65 | 3.60 | 4.09 | 4.13 |
| 11905 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 15144 | 8500 | 1.70 | —0.20 | 1.50 | 2.04 | 4.20 | 2.39 |
| 23642 | 8820 | 1.53 | —0.09 | 1.44 | 1.96 | 4.17 | 2.06 |
| | 7310 | 2.93 | —0.03 | 2.90 | 1.46 | 4.28 | 1.45 |
| 23964 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 25267 | 12900 | —0.15 | —0.85 | —1.00 | 2.90 | 4.09 | 3.80 |
| 25823 | 14250 | —0.15 | —1.28 | —1.43 | 2.83 | 4.15 | 4.11 |
| 26961 | 8820 | 1.53 | —0.09 | 1.44 | 1.96 | 4.17 | 2.06 |
| 27295 | 11600 | —0.15 | —0.74 | —0.89 | 3.34 | 4.00 | 4.05 |
| 27376 | 12950 | —0.20 | —0.90 | —1.10 | 2.90 | 4.09 | 3.90 |
| | 8550 | 1.80 | —0.08 | 1.72 | 1.86 | 4.18 | 1.91 |
| 28217 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 28319 | 8030 | 2.28 | —0.04 | 2.24 | 1.68 | 4.22 | 1.69 |
| 32964 | 10600 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| | 9600 | 0.95 | —0.20 | 0.75 | 2.20 | 4.13 | 2.44 |
| 33647 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| | 8030 | 2.28 | —0.04 | 2.24 | 1.68 | 4.22 | 2.69 |
| 34364 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| | 10000 | 0.82 | —0.34 | 0.48 | 2.35 | 4.12 | 2.70 |
| 37017 | 21000 | —2.28 | —2.12 | —4.40 | 4.84 | 4.04 | 9.33 |
| 37043 | 33300 | —4.22 | —3.10 | —7.32 | 7.76 | 3.99 | 21.3 |
| | 25300 | —3.10 | —2.40 | —5.50 | 5.70 | 4.01 | 12.5 |
| 58661 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 65339 | 8350 | 1.93 | —0.06 | 1.87 | 1.79 | 4.19 | 1.82 |
| 65949 | 9080 | 1.35 | —0.12 | 1.23 | 2.04 | 4.15 | 2.16 |
| 68351 | 10800 | —0.50 | —0.58 | —1.08 | 4.13 | 3.60 | 2.47 |
| 72208 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 77350 | 10400 | —0.20 | —0.50 | —0.70 | 3.78 | 3.85 | 3.67 |
| 78316 | 13150 | —0.50 | —1.06 | —1.56 | 3.49 | 3.75 | 2.48 |
| 89822 | 10300 | —0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| | 8030 | 2.28 | —0.04 | 2.24 | 1.68 | 4.22 | 1.67 |
| 90569 | 10500 | 0.40 | —0.52 | —0.12 | 2.84 | 4.00 | 2.93 |
| 93030 | 22300 | —2.40 | —2.20 | —4.60 | 4.96 | 4.03 | 9.95 |
| 94334 | 9460 | 1.11 | —0.17 | 0.94 | 2.15 | 4.14 | 2.32 |
| 98088 | 8050 | 2.28 | —0.04 | 2.24 | 1.68 | 4.22 | 1.69 |
| | 6920 | 3.41 | —0.02 | 3.39 | 1.30 | 4.32 | 1.27 |
| 108772 | 7020 | 3.28 | —0.02 | 3.26 | 1.34 | 4.31 | 1.32 |
| 116458 | 11000 | 0.50 | —0.55 | —0.05 | 2.56 | 4.10 | 3.08 |
| 116656 | 9460 | 1.11 | —0.17 | 0.94 | 2.15 | 4.14 | 2.32 |
| | 9500 | 1.07 | —0.17 | 0.90 | 2.20 | 4.14 | 2.36 |
| 123299 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 123515 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 125248 | 9350 | 1.20 | —0.13 | 1.07 | 2.10 | 4.15 | 2.28 |
| 134759 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 137909 | 8450 | 1.40 | —0.20 | 1.20 | 2.37 | 4.15 | 2.88 |
| 143807 | 10500 | 0.00 | —0.52 | —0.52 | 3.40 | 4.05 | 4.72 |
| 145389 | 11700 | 0.20 | —0.76 | —0.56 | 2.80 | 3.90 | 2.26 |
| 145502 | 8820 | 1.53 | —0.09 | 1.44 | 1.96 | 4.17 | 2.06 |
| 147869 | 9700 | 0.89 | —0.24 | 0.65 | 2.29 | 4.13 | 2.56 |
| 159082 | 9790 | 0.89 | —0.24 | 0.65 | 2.29 | 4.13 | 2.56 |
| 161321 | 8820 | 1.53 | —0.09 | 1.44 | 1.96 | 4.17 | 2.06 |
| | 8360 | 1.92 | —0.06 | 1.86 | 1.80 | 4.19 | 1.84 |
| 161480 | 15400 | —1.15 | —1.30 | —2.45 | 3.87 | 4.06 | 6.31 |

ТАБЛИЦА 7 (*продолжение*)

| HD | $T_e$ | $M_V$ | $BC$ | $M_{bol}$ | $R$ | $\lg g$ | $m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 161698 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 161701 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 161733 | 14250 | —0.70 | —1.15 | —1.85 | 3.42 | 4.08 | 5.08 |
| 162588 | 9300 | 1.11 | —0.17 | 0.94 | 2.15 | 4.14 | 2.32 |
| 162656 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 170000 | 12200 | 0.10 | —0.86 | —0.76 | 2.77 | 4.09 | 3.60 |
| 172044 | 12300 | 0.10 | —0.86 | —0.76 | 2.77 | 4.09 | 3.60 |
| 173524 | 11800 | 0.30 | —0.70 | —0.40 | 2.70 | 4.10 | 3.28 |
| | 10600 | 0.70 | —0.50 | 0.20 | 2.80 | 4.11 | 2.81 |
| 174933 | 11250 | 0.15 | —0.67 | —0.52 | 2.98 | 4.20 | 5.11 |
| 178065 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| 183056 | 12350 | —0.50 | —0.90 | —1.40 | 3.72 | 4.00 | 5.02 |
| 184552 | 9080 | 1.35 | —0.12 | 1.23 | 2.04 | 4.15 | 2.16 |
| 187474 | 10800 | 0.58 | —0.55 | 0.03 | 2.53 | 4.11 | 3.00 |
| 190229 | 12950 | —0.15 | —0.90 | —1.05 | 2.90 | 4.10 | 3.80 |
| 191110 | 9790 | 0.89 | —0.24 | 0.65 | 2.29 | 4.13 | 2.56 |
| | 9460 | 1.11 | —0.17 | 0.94 | 2.15 | 4.14 | 2.32 |
| 196133 | 9790 | 0.89 | —0.24 | 0.65 | 2.29 | 4.13 | 2.56 |
| 201433 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 205073 | 9100 | 1.35 | —0.12 | 1.23 | 2.04 | 4.15 | 2.16 |
| 207857 | 12150 | —0.50 | —0.90 | —1.40 | 3.72 | 4.00 | 5.02 |
| 208835 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 211838 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 216494 | 10300 | 0.75 | —0.45 | 0.30 | 2.43 | 4.11 | 2.79 |
| | 9460 | 1.11 | —0.17 | 0.94 | 2.15 | 4.14 | 2.32 |
| 216533 | 8950 | 1.44 | —0.10 | 1.34 | 2.00 | 4.15 | 2.11 |
| 217919 | 29800 | —3.70 | —2.86 | —6.56 | 6.86 | 4.00 | 17.1 |
| 219749 | 11000 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |
| 220575 | 11250 | 0.41 | —0.66 | —0.25 | 2.63 | 4.10 | 3.19 |

ТАБЛИЦА 8

**Ориентация и абсолютные размеры орбит**

| HD | $i_{орб}$ | $a_1$ | $a_2$ | $\lg J$ | $R_{L_1}$ | $R_{L_2}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 358 | 88.8 | 49.1 | 115. | 3.37 | 74.6 | 50.5 | |
| 2019 | 78.8 | 4.99 | 8.43 | 2.57 | 5.70 | 4.49 | * |
| 2054 | 54.7 | 35.2 | 61.4 | 1.68 | 41.3 | 32.1 | |
| 3322 | 59.1 | 60.9 | 121 | 2.00 | 79.9 | 58.4 | |
| 4161 | 83.5 | 6.48 | 10.8 | 2.53 | 7.06 | 5.03 | |
| 4382 | 23.2 | 25.2 | 46.3 | 2.86 | 30.9 | 23.4 | |
| 5737 | 79.9 | 4395 | 6520 | 4.81 | 4513 | 3770 | |
| 7374 | 14.8 | 205. | 407. | 3.50 | 269. | 197. | |
| 9996 | 32.0 | 102. | 186. | 3.27 | 125. | 94.4 | |
| 11291 | 22.7 | 7.64 | 14.0 | 2.71 | 9.36 | 7.09 | |
| 11529 | 71.5 | 41.1 | 88.9 | 3.30 | 58.1 | 40.9 | |
| 11905 | 9.3 | 7.04 | 12.9 | 2.69 | 8.62 | 6.54 | |
| 15144 | 12.9 | 4.58 | 8.82 | 2.49 | 5.85 | 4.34 | |
| 23642 | 86.7 | 4.78 | 6.79 | 2.46 | 4.74 | 4.04 | * |
| 23964 | 47.0 | 15.7 | 28.8 | 2.86 | 19.2 | 14.6 | |
| 25267 | 33.0 | 8.08 | 16.5 | 2.90 | 10.9 | 7.84 | |
| 25823 | 15.2 | 8.89 | 19.6 | 2.96 | 12.6 | 8.76 | |
| 26961 | 22.1 | 3.16 | 5.17 | 2.35 | 3.52 | 2.81 | |
| 27295 | 7.5 | 6.45 | 14.0 | 2.88 | 9.15 | 6.42 | |
| 27376 | 31.6 | 12.1 | 24.6 | 3.34 | 16.2 | 11.7 | * |
| 28217 | 41.3 | 17.7 | 35.1 | 2.96 | 23.2 | 17.0 | |
| 28319 | 61.6 | 64.8 | 96.0 | 2.90 | 66.5 | 55.5 | |
| 32964 | 73.5 | 11.4 | 13.0 | 2.95 | 9.53 | 8.69 | * |
| 33647 | 14.6 | 124. | 147. | 4.50 | 107. | 98.7 | * |
| 34364 | 74.0 | 9.11 | 9.41 | 2.85 | 7.07 | 6.97 | * |
| 37017 | 30.0 | 21.0 | 48.8 | 3.66 | 31.7 | 21.5 | |
| 37043 | 65.1 | 47.7 | 81.3 | 4.45 | 54.9 | 43.1 | * |
| 58661 | 29.0 | 356. | 706. | 5.42 | 466. | 341. | |

ТАБЛИЦА 8 (*продолжение*)

| HD | $i_{орб}$ | $a_1$ | $a_2$ | lg $J$ | $R_{L_1}$ | $R_{L_2}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 65339 | 47.2 | 425. | 656. | 3.34 | 451. | 370. | |
| 65949 | 37.5 | 18.4 | 30.5 | 2.76 | 20.7 | 16.4 | |
| 68351 | 37.9 | 222. | 266. | 3.46 | 193. | 177. | |
| 72208 | 84.8 | 19.5 | 34.4 | 2.92 | 23.1 | 17.8 | |
| 77350 | 38.7 | 320. | 615. | 3.69 | 408. | 303. | |
| 78316 | 50.9 | 10.9 | 13.1 | 2.80 | 9.48 | 8.71 | |
| 89822 | 40.2 | 13.3 | 22.2 | 2.85 | 15.1 | 11.9 | * |
| 90569 | 75.8 | 1880 | 2150 | 4.04 | 1574 | 1480 | |
| 93030 | 8.9 | 4.67 | 10.3 | 3.39 | 6.72 | 4.68 | |
| 94334 | 25.9 | 15.1 | 25.8 | 2.76 | 17.4 | 13.7 | |
| 98088 | 90. | 8.43 | 11.3 | 2.48 | 7.97 | 6.99 | * |
| 108772 | 13.9 | 15.4 | 22.3 | 2.43 | 15.5 | 13.1 | |
| 116458 | 5.3 | 41.3 | 78.9 | 3.13 | 52.4 | 39.0 | |
| 116656 | 62.3 | 26.7 | 26.2 | 3.00 | 20.0 | 20.1 | * |
| 123299 | 2.1 | 48.7 | 53.0 | 3.23 | 39.3 | 37.8 | |
| 123515 | 65.8 | 21.8 | 40.1 | 2.96 | 26.8 | 20.3 | |
| 125248 | 44.8 | 332. | 557. | 3.42 | 377. | 298. | |
| 134759 | 32.2 | 965. | 1910 | 3.83 | 1263 | 924. | |
| 137909 | 78.0 | 651. | 1065 | 3.72 | 724. | 579. | |
| 143807 | 3.3 | 23.4 | 61.6 | 3.22 | 39.5 | 25.4 | |
| 145389 | 6.7 | 183. | 240. | 3.34 | 170. | 150. | |
| 145502 | 23.4 | 7.80 | 12.7 | 2.54 | 8.65 | 6.91 | |
| 147869 | 11.0 | 7.16 | 12.3 | 2.66 | 8.30 | 6.48 | |
| 159082 | 47.8 | 8.84 | 15.2 | 2.70 | 10.3 | 8.01 | |
| 161321 | 79.6 | 7.74 | 8.66 | 2.62 | 6.38 | 6.05 | * |
| 161480 | 48.3 | 12.9 | 29.2 | 3.31 | 19.0 | 13.1 | |
| 161698 | 22.3 | 8.90 | 17.6 | 2.81 | 11.6 | 8.52 | |
| 161701 | 84.0 | 13.0 | 23.8 | 2.83 | 15.9 | 12.1 | |
| 161733 | 12.0 | 36.0 | 84.6 | 4.88 | 54.8 | 37.1 | |
| 162588 | 11.3 | 8.04 | 13.7 | 2.62 | 9.26 | 7.26 | |
| 162656 | 26.8 | 7.46 | 13.7 | 2.71 | 9.15 | 6.94 | |
| 170000 | 36.8 | 21.7 | 44.4 | 3.08 | 29.2 | 21.1 | |
| 172044 | 17.9 | 335 | 688. | 3.67 | 452. | 326. | |
| 173524 | 17.1 | 16.1 | 18.9 | 3.11 | 13.8 | 12.8 | |
| 174933 | 18.7 | 6.90 | 20.5 | 2.98 | 13.0 | 7.94 | |
| 178065 | 10.5 | 8.76 | 16.0 | 2.74 | 10.7 | 8.12 | |
| 183056 | 8.1 | 25.1 | 61.2 | 3.29 | 39.5 | 26.3 | |
| 184552 | 20.1 | 9.75 | 16.0 | 2.62 | 10.9 | 8.62 | |
| 187474 | 46.2 | 188. | 356. | 3.45 | 237. | 177. | |
| 190229 | 6.7 | 38.4 | 78.4 | 3.24 | 51.6 | 37.3 | |
| 191110 | 39.3 | 15.0 | 16.6 | 2.91 | 12.2 | 11.7 | |
| 196133 | 48.8 | 48.7 | 83.6 | 3.07 | 56.4 | 44.1 | |
| 201433 | 10.2 | 7.48 | 9.32 | 2.88 | 6.69 | 6.05 | |
| 205073 | 14.9 | 7.40 | 12.3 | 2.56 | 8.34 | 6.62 | |
| 207857 | 6.2 | 93.2 | 227. | 3.44 | 147. | 97.7 | |
| 208835 | 35.7 | 6.70 | 13.3 | 2.76 | 8.78 | 6.43 | |
| 211838 | 69.6 | 86.8 | 172. | 3.11 | 114. | 83.2 | |
| 216494 | 60.0 | 7.45 | 8.96 | 2.80 | 6.48 | 5.96 | * |
| 216533 | 5.6 | 15.2 | 25.2 | 2.71 | 17.0 | 13.6 | |
| 217919 | 33.7 | 24.5 | 56.1 | 4.09 | 36.4 | 25.0 | |
| 219749 | 42.3 | 31.5 | 62.4 | 3.09 | 41.2 | 30.2 | |
| 220575 | 60.1 | 85.7 | 170. | 3.31 | 112. | 82.2 | |

дает диаграмму масса—угловой орбитальный момент для исследуемых звезд. На этом рисунке сплошной линией показана универсальная зависимость для небесных тел (от Земли до Метагалактики) из обзора Тримбл [56].

Сравнение размеров полостей Роша с радиусами звезд показывает, что ХПЗ далеки от заполнения полостей Роша, т. е. исследуемые звезды являются по общепринятой классификации разделенными системами.

Для звезд HD 55719 и HD 141556 мы не приводим значений физических параметров, так как для них не удалось согласовать условия $m_2 < m_1$ и $\sin \leqslant 1$ при полученных значениях $m_1$ и функции масс. Для 19 Hg—Mn ХПЗ углы наклона $i_{орб}$ оценивались в работах Китамуры [9—11]. Сравнение его и наших

определений приведено на рис. 3. Видно, что согласие между ними хорошее, что оправдывает описанный выше алгоритм оценки углов $i_{орб}$. Для 25 звезд из нашего списка спектрально-двойных в работе [57] оценивались углы между лучом зрения и осью вращения Ар-компонентов $i_{вр}$. На рис. 4 приведено сравнение углов $i_{орб}$ и $i_{вр}$. Не наблюдается сколько-нибудь значимой корреляции между значениями этих углов, что указывает на то, что направления вращательного и орбитального моментов непараллельны.

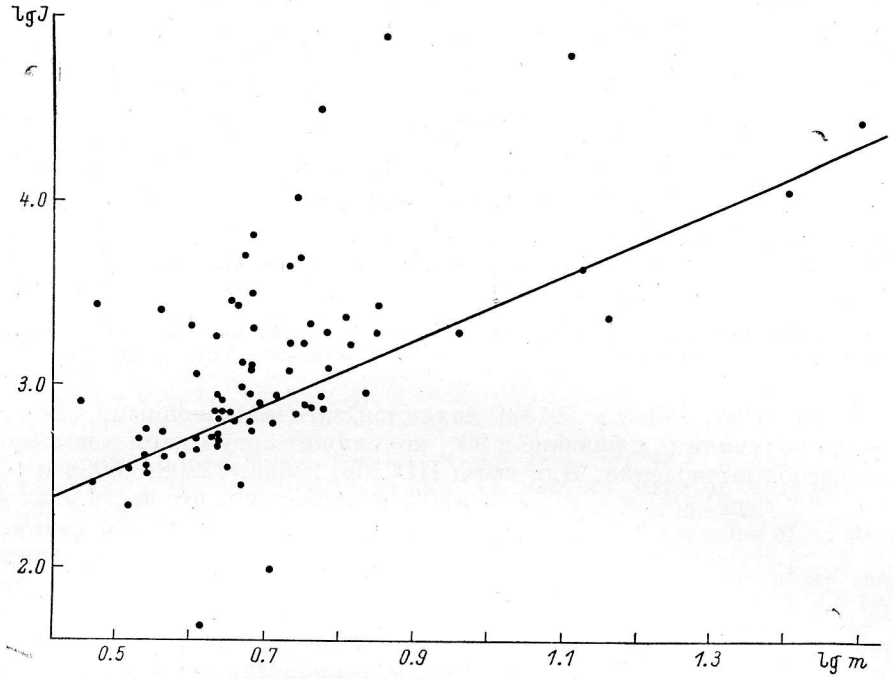


Рис. 2. Диаграмма масса—угловой момент.
Линия — универсальная зависимость Тримбл.

Распределение углов $i_{орб}$ приведено на рис. 5. При случайном распределении векторов орбитального момента в пространстве следовало бы ожидать, что это распределение будет пропорционально sin $i$. Различие между ожидаемым и на-

ТАБЛИЦА 9

| Параметры апсидного движения | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HD | $T_0$ | $\omega$ | $P_{орб}/i_{орб}$ | $K$ | $\dot{\omega}_{набл}/\dot{\omega}_{теор}$ | $\dot{\omega}_{кл}/\dot{\omega}_{рел}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 26961 | 18956.64 | 271. | 1.5274 | 39.4 | 7.13E-3 | 2.67E-2 |
| | 40001.58 | 111. | 22.1 | 64.4 | 2.73E-2 | 5.98E-4 |
| 32964 | 23087.58 | 335.9 | 5.52273 | 100.7 | 2.79E-4 | 2.18E-4 |
| | 41384.13 | 341. | 73.5 | 103.8 | 3.17E-4 | 9.88E-5 |
| 98088 | 34419.13 | 317.0 | 5.90513 | 73.4 | 3.50E-4 | 5.85E-5 |
| | 41847.74 | 314.4 | 90. | 98.5 | 1.19E-4 | 6.00E-5 |
| 173524 | 27945.34 | 155.5 | 9.18 | 25.1 | 1.45E-3 | 6.22E-5 |
| | 40003.22 | 173. | 17.1 | 29.5 | 1.07E-4 | 4.51E-5 |

блюдаемым распределениями связано, по-видимому, с ошибками определения угла $i$. Выражение для величины этой ошибки $\Delta i$ можно получить, если продифференцировать уравнение

$$i = \arcsin\left[f^{1/3}(m_1 + m_2)^{2/3} m_2^{-1}\right].$$

В производной появится множитель $\{\mathrm{Sgrt}\,[1-f^{2/3}(m_1+m_2)^{4/3}m_2^{-2}]\}^{-1}$, из-за которого производная стремится к бесконечности при $f^{1/3}\,(m_1+m_2)^{2/3}m_2^{-1}\to 1$, т. е. при $i\to 90°$.

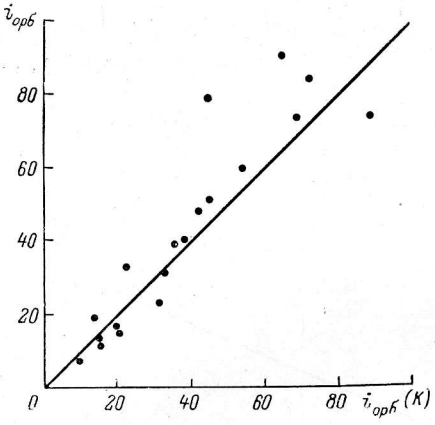


Рис. 3. Сравнение наклонов орбит Китамуры и найденных нами.

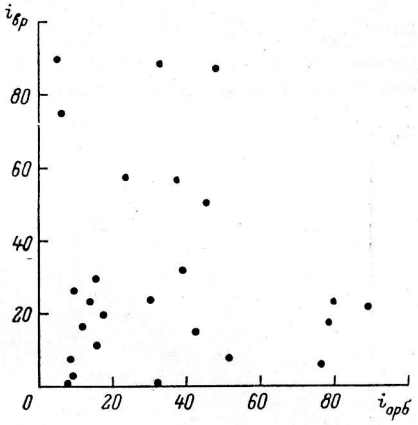


Рис. 4. Корреляция наклона орбит с наклоном оси вращения.

Звезды HD 4161, 34364 и 161321 являются затменно-двойными системами. Для них мы получили $i_{орб}$, близкие к 90°, что служит аргументом в пользу описанного способа вычисления. Для звезд HD 358, 23642, 72208, 98088 и 161701 $i_{орб}>80°$, и, возможно, что часть этих звезд также окажется затменными системами.

У четырех звезд заподозрено движение линии апсид. Параметры апсидного движения приведены в табл. 9: колонка 1 — номер HD, 2 — начальные эпохи, 3 — долготы периастра, 4 — орбитальный период и наклон плоскости системы, 5 — полуамплитуды лучевой скорости, 6 — наблюдаемое и теоретическое значения скорости движения линии апсид $\mathring{\omega}$, град/сут, 7 — классическое и релятивистское значения для теоретических оценок $\mathring{\omega}$.

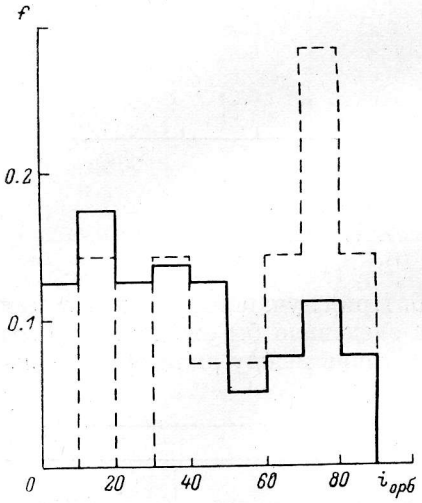


Рис. 5. Функция распределения угла наклона орбит.

Сплошная линия — для всех систем, штриховая — только для двухспектровых.

Теоретические значения $\mathring{\omega}$ вычислялись из двух слагаемых: классическое [58] и релятивистское [59]:

$$\mathring{\omega}_{кл}=\frac{360}{P_{орб}}\left\{K_{21}r_1^5\left[\frac{m_2}{m_1}\,15f_2(e)+\left(\frac{P_{орб}}{P_{вр_1}}\right)^2\left(1+\frac{m_2}{m_1}\right)\frac{1}{(1-e^2)^2}\right]+\right.$$
$$\left.+K_{22}r_2^5\left[\frac{m_1}{m_2}\,15f_2(e)+\left(\frac{P_{орб}}{P_{вр_2}}\right)^2\left(1+\frac{m_1}{m_2}\right)\cdot\frac{1}{(1-e^2)^2}\right]\right\};$$

$$\mathring{\omega}_{рел}=\frac{360}{P_{орб}}\cdot\frac{3\,(K_1+K_2)^2}{c^2\sin^2 i},$$

где

$$f_2(e)=(1-e^2)^{-5}\left(1+\frac{3}{2}e^2+\frac{1}{8}e^4\right);$$

$P_{орб}$ — период орбитального движения; $P_{вр1}$, $P_{вр2}$ — периоды вращения компонентов; $r_1$, $r_2$ — размеры компонент, выраженные в размерах орбит; $K_{21}$, $K_{22}$ —

параметры структуры звезд, значения которых вычислялись на основе данных работы [60], а значения $P_{вр}$ брались равными $P_{орб}/3$ в тех случаях, когда периоды вращения звезд были неизвестны.

Наблюдаемые и теоретические значения $\mathring{\omega}$ весьма грубо согласуются друг с другом. Скудность статистики и большие неопределенности в наблюдаемых и теоретических значениях не позволяют пока сделать вывода о различиях структур ХПЗ и нормальных звезд, что возможно в принципе провести по значениям параметра $K_{21}$. Эта задача требует специального исследования.

### Литература


1. Herczeg T. Duplicity on the main sequence // Ap. Sp. Sci. 1984. **99**, N 1—2. P. 29—39.
2. Szabados L. Binary stars among the physical variables // Commun. Konkoly Observ. Hung. Acad. Sci. 1982. N 83. P. 209—216.
3. Abt H. A. Normal and abnormal binary frequencies // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1983. Vol. 21. P. 343—372.
4. Schoneich W. Die Bahnneigung spektroskopischer Doppelsterne mit Ap-Komponenten und die axiale Rotationgeschwindigkeit der Ap-Sterne // Astron. Nachr. 1967. **290**, N 1/2. S. 6164.
5. Abt N. A., Snowden M. S. The binary frequency for Ap-stars // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1973. **25**, N 215. P. 137—162.
6. Jaschek C., Jaschek M. Rotation and binarity // IAU Coll. N 32: Phys. of Ap stars. 1975. P. 219—227.
7. Zelwanowa E. Spectroscopic binaries with Ap components // Proc. of Third European Astron. meeting / Ed. E. K. Kharadze. Tbilisi, 1976. P. 171—174.
8. Zelwanowa E., Schoneich W., Nikolova S. Spektroskopische Doppelsterne mit Ap-Komponents // Astron. Nachr. 1976. **297**, N 5. S. 229—234.
9. Kitamura M. Statistical problems of Am and Ap stars in short-period spectroscopic binaries // New Zealand J. of Sci. 1979. **22**, N 4. P. 399—403.
10. Kitamura M. On the surface distribution of chemical anomalies of Ap stars in spectroscopic binary systems // Ap. Sp. Sci. 1980. **68**. N 2. P. 283—294.
11. Kitamura M. The surface distribution of chemical anomalies of Ap components in detached close binaries // Close binari stars: observation and interpretatoin // IAU Symp. N 88 / Eds. M. J. Plavec, D. M. Popper, R. K. Ulrich, Dordrecht, 1980. P. 95—99.
12. Seggewiss W. Chemically peculiar stars among spectroscopic binaries // Upper main sequence chemically peculiar stars, Coll. Leige N 23 / Eds. N. Cramer, A. Maeder, 1981. P. 183—188.
13. Contribution a l'etude des spectres composites. II / N. Ginestet, M. Jaschek, J. M. Carquillat et al. // Astron. and Astrophys. 1982. **107**, N 2. P. 215—221.
14. Gerbaldi M., Floquet M., Hauck B. Frequency of Bp—Ap stars among spectroscopin binaries // Astron. and Astrophys. 1985. **146**, N 2. P. 341—351.
15. Batten A. H., Fletcher J. M., Mann P. J. Seventh catalogue of the orbital elements of spectroscopic binary systems // Publ. Dom. Astr. Obs. 1978. **15**, N 5. P. 121—295.
16. Pedoussaut A., Ginestet N. Binaries spectroscopiques — 11 catalogue complementaire // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1971. **4**, N 3. P. 253—264.
17. Pedoussaut A., Carquillat J. M. Binaries spectroscopiques — 12 catalogue complementaire // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1973. **10**, N 1. P. 105—124.
18. Pedoussaut A., Nodal R. Binaries spectroscopiques — 13 catalogue complementaire // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1977. **27**, N 1. P. 55—77.
19. Pedoussaut A., Ginestet N., Caequillat J. M. Binaries spectroscopiques — 14 catalogue complementaire // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1984. **58**, N 3. P. 601—655.
20. Hube D. P. Spectroscopic orbit of the stars HR 96 // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1983. **53**, N 1. P. 29—31.
21. Stickland D. J., Weatherby J. Radial velocities of northern mercury stars // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1984. **57**, N 1. P. 55—68.
22. Scholz G. Spectroscopic investigations of the magnetic Ap stars HD 9996 // Astron. Nachr. 1978. **299**, N 2. S. 81—85.
23. Лебедев В. С. Орбиты шести спектрально-двойных ртутно-марганцевых звезд // Астрон. циркуляр. 1985. № 1397. С. 7—8.
24. Giesekiug F., Karimie M. T. Radial velocity studies of spectroscopic binaries with the objective prism. I. Improved orbital elements for binaries in and near NGC 2516 // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1982. **49**, N 3. P. 497—502.
25. Stickland D. J., Lloyd C., Pike C. D. The orbit of HR 3361 (Hg) // Observatory. 1984. **104**, N 1059. P. 74—76.
26. Nariai K. Orbit of the double-line spectroscopic binary HR 4072 (Ap) // PASJ. 1970. **22**, N 1. P. 113—118.
27. Walborn N. R. A radial velocity study of the chemically peculiar B stars Theta Carinae // PASP. 1979. **91**. P. 442—445.
28. The mass and other characteristics of the magnetic stars HD 98088 / H. A. Abt, P. S. Conti, A. J. Deutsch, G. Wallerstein // Astrophys. J. 1968. **153**, N 1. P. 177—186.

29. Maitzen H. M., Wood H. J. Variability of the Ap stars HD 116458 and HD 116890 // Astron. and Astrophys. 1977. 58, N 3. P. 389—391.
30. Dworetsky M. M. Oribit of the spectroscopic binary cobalt stars HR 5049 // Observatory. 1982. **102**, N 1049. P. 138—141.
31. Elst E. W., Nelles B. A redetermination of the orbit of HD 123299 // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1983. **53**, N 2. P. 215—217.
32. Hockey M. S. Spectrophotometric observations of the magnetic variable HD 125248 // MNRAS. 1969. **142**, N 4. P. 543—556.
33. Dworetsky M. M. The binary manganese star Iota Coronae Borealis // MNRAS. 1980. **191**, N 2. P. 521—532.
34. Walker E. N., Jones D. H. P. The spectroscopic binary HD 184552 // Observatory. 1969. **80**, N 972. P. 202—205.
35. Wolff R. J. Orbit of the manganese star HR 8704 // PASP. 1974. **86**, P. 173—175.
36. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
37. Лебедев В. С. Статистическое изучение химически пекулярных звезд. III: Ускорение силы тяжести и массы звезд по контурам водородных линий // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1986. **23**. С. 59—64.
38. Лебедев В. С. Статистическое изучение химически пекулярных звезд. IV: Светимость звезд различных типов // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1986. **23**. С. 65—74.
39. Лебедев В. С., Лебедева И. А. Фундаментальные параметры звезд Главной последовательности. 1987.
40. Adelman S. J., Pyper D. M. Spectroscphotometry of peculiar B and A stars. II // Astron. J. 1979. **84**, N 10, P. 1603—1611.
41. Adelman S. J., Pyper D. M. Specrophotometry of peculiar B and A stars. III // Astron. J. 1979. **84**, N 11. P. 1726—1738.
42. White R. E., Pyper D. M., Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. IV // Astron. J. 1980. **85**, N 7. P. 836—847.
43. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. V // Astron. and Astrophys. 1980. **86**, N 1—2. P. 149—154.
44. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. VI // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1980. **42**, N 3. P. 289—298.
45. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. VII // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1980. **42**, N 3. P. 375—382.
46. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. VIII // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1981. **43**, N 1. P. 25—31.
47. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. IX // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1981. **43**, N 2. P. 183—190.
48. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. X // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1981. **44**, N 2. P. 265—272.
49. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XI // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1981. **44**, N 2. P. 309—316.
50. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XII // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1982. **49**, N 4. P. 663—672.
51. Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XIV // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1983. **51**, N 3. P. 511—531.
52. Pyper D. M., Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XIII // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1983. **51**, N 3. P. 365—384.
53. Adelman S. J., Pyper D. M. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XV // Astron. and Astrophys. 1983. **118**, N 2. P. 313—320.
54. Pyper D. M., Adelman S. J. Spectrophotometry of peculiar B and A stars. XVII // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1985. **59**, N 3. P. 369—397.
55. Eggleton P. P. Approximations to the radii of Roche lobes // Astrophys. J. 1983. **268**, N 1. P. 368—369.
56. Trimble V. The angular momentum-vs-mass relation for spectroscopic binaries // Ap. Sp. Sci. 1984. **104**, N 1. P. 133—143.
57. Лебедев В. С. Статистическое изучение химически пекулярных звезд. I. Звезды с известными периодами // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1985. **21**. С. 21—29.
58. Sterne T. E. Apsidal motion in binary stars // MNRAS. 1939. **99**, N 5. P. 451—462.
59. Finley-Freunlich E. Celestial mechanics. Pergamon Press, 1958. 458 p.
60. Jeffery C. S. Apsidal motion in Main Sequence binary stars // MNRAS. 1984. **207**, N 2. P. 323—337.

Поступила в Редакцию
31 октября 1985 г.