

УДК 521.21—523.85

Поиск затменных переменных и ориентация плоскостей орбит спектрально-двойных звезд в рассеянном скоплении IC 4665

М. М. Закиров

В результате плотного ряда фотоэлектрических наблюдений 19 ярких членов рассеянного скопления IC 4665, богатого спектрально-двойными системами, не удалось обнаружить ни одной затменной переменной. На основе статистического анализа функции масс двойных систем в скоплении сделан вывод о существовании преимущественной ориентации плоскостей орбит спектрально-двойных звезд в скоплении IC 4665, причем угол наклона находится в пределах 35° — 45° . Приведены другие наблюдательные факты, подтверждающие существование предпочтительной ориентации орбитальных плоскостей двойных систем в других звездных группировках.

A SEARCH FOR ECLIPSING VARIABLES AND THE ORIENTATION OF SPECTROSCOPIC BINARIES ORBITS IN THE OPEN CLUSTER IC 4665, by Zakirov M. M.—Photoelectric observations of spectroscopic binaries in the open cluster IC 4665 do not show any eclipsing variable. The conclusion is made that the inclinations of the orbital planes are within 35° — 45° . Additional observational data are discussed indicating the preferable orientation of the binaries orbital planes in other stellar clusters.

Введение. В настоящее время хорошо известно, что межзвездные облака имеют значительные угловые моменты, и непосредственная их конденсация в одиночные звезды без потери избытка вращательного момента невозможна. Такие облака фрагментируют, и в итоге их угловые моменты вращения переходят в моменты орбитальных движений компонентов в кратных системах [10, 11]. В таком случае можно предполагать существование определенной ориентации плоскостей орбит двойных звезд в звездных группировках, имеющих общее происхождение. В частности, такая ориентация, возможно, существует у двойных систем в рассеянных звездных скоплениях. Действительно, среди некоторых рассеянных скоплений наблюдается довольно много спектрально-двойных звезд [3, 15, 16, 18, 20]. Однако из спектральных наблюдений тесных двойных звезд нельзя получить угол наклона орбитальных плоскостей [3]. Этот параметр можно определить однозначно только из фотометрических наблюдений затменных переменных (за исключением звезд, переменность которых связана с эллипсоидальностью компонентов). Поэтому фотометрический поиск затменных переменных среди спектрально-двойных систем в рассеянных скоплениях представляет значительный интерес. Наиболее богатым спектрально-двойными звездами является скопление IC 4665 [15]. Рассеянное скопление IC 4665 ($\alpha_{1950}=17^h43.8^m$, $\delta_{1950}=+5^\circ44'$) расположено достаточно близко ($r=364$ пк [22]) и хорошо изучено [2, 4, 26, 29, 30]. Спектральные наблюдения 19 ярких членов скопления позволили обнаружить 18 двойных звезд. Для 13 из них удалось определить спектроскопические элементы [15, 23].

Для поиска затменных переменных в скоплении IC 4665 проведены фотоэлектрические наблюдения.

Наблюдения и обработка. В программу наблюдений включены 19 ярких членов скопления IC 4665, изученных спектроскопически [15, 23]. В течение 39 ночей июля—августа 1984 г. на телескопе АЗТ-14 ($D=48$ см), установленном на горе Майданак, получен плотный ряд фотоэлектрических (BV) наблюдений программных звезд. Как правило, за ночь проводилось по одному измерению блеска звезды. Опорной звездой служила звезда № 68 по списку Копфа [25]. Все измерения

блеска звезд переведены в международную фотометрическую систему UBV с помощью редуционных формул по наблюдениям стандарта SA 114 [27].

Наибольшая фаза затмения в двойных системах наблюдается при соединении, когда оба компонента находятся на луче зрения. В спектроскопических элементах двойных систем этот момент не приводится, однако его можно вычислить из этих же данных. Запишем уравнение изменения лучевой скорости любого компонента системы

$$V_r = \gamma + K [e \cos \omega + \cos(\omega + v)], \quad (1)$$

где γ — лучевая скорость центра масс системы; K — полуамплитуда изменения скорости; ω — долгота периастра; e — эксцентриситет орбиты; v — истинная аномалия. В момент соединения ($V_r = \gamma$) выражение в квадратной скобке обращается в нуль, т. е.

$$e \cos \omega + \cos(\omega + v) = 0. \quad (2)$$

Отсюда значение истинной аномалии, при котором может произойти затмение, составляет

$$v_0 = \arccos(-e \cos \omega) - \omega. \quad (3)$$

Компоненты опишут угол v_0 за время

$$t_0 = \frac{P(1 - e^2)^{3/2}}{2\pi} \int_0^{v_0} \frac{dv}{(1 + e \cos v)^2}, \quad (4)$$

где P — период.

Интегрирование формулы (4) приводит к выражению

$$t_0 = \frac{P(1 - e^2)^{1/2}}{2\pi} \left\{ \frac{2 \arctg [(1 - e)^{1/2} (1 + e)^{-1/2} \operatorname{tg}(v_0/2)]}{(1 - e^2)^{1/2}} - \frac{e \sin v_0}{1 + e \cos v_0} \right\}. \quad (5)$$

Так как угол v_0 отсчитывается от периастра, то соединение компонентов будет происходить при $T_0 + t_0$ (T_0 — момент прохождения периастра). Световые элементы ожидаемой затменной переменной можно записать так:

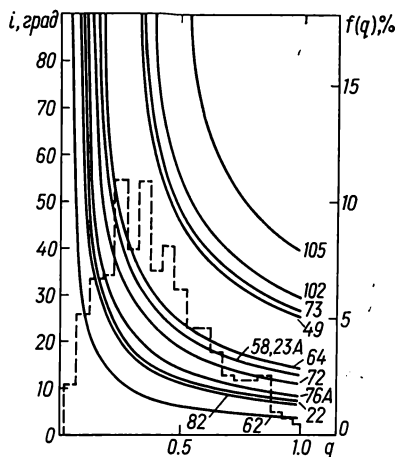
$$M_{\min} = T_0 + t_0 + PE, \quad (6)$$

где E — целое число периодов.

Нам удалось вычислить t_0 для 12 спектрально-двойных звезд, имеющих необходимые параметры (T_0 , P , e , ω) [15, 23]. По вычисленным световым элементам возможных затменных переменных обработаны фотоэлектрические наблюдения всех 12 звезд. В результате анализа полученного материала определено, что ни в одной из 12 спектрально-двойных систем не наблюдаются ослабления блеска в моменты ожидаемых минимумов и в их окрестностях, превышающие точность фотоэлектрических наблюдений. Тщательный анализ фотометрических наблюдений оставшихся 7 звезд также не позволил установить заметные ослабления блеска. В таблице приведены номера наблюдаемых звезд по списку Копфа [25], значения V , $B - V$, число измерений n и ошибки одного определения σ_V и σ_{B-V} .

Обсуждение результатов. Отсутствие затменных переменных среди ярких членов скопления IC 4665, богатого спектрально-двойными звездами, свидетельствует о существовании предпочтительной ориентации плоскостей орбит. Если плоскости орбит спектрально-двойных систем в этом скоплении ориентированы хаотично, то среди 13 звезд должны были наблюдаться по крайней мере две затменные переменные. Из геометрических соображений можно оценить верхние пределы угла накло-

на плоскостей орбит i , при которых уже не происходят затмения. Предположим, что компоненты спектрально-двойных систем в скоплении IC 4665 относятся к звездам главной последовательности. Если это предположение справедливо для яркого компонента [17], то оно в некоторой степени неопределенно для спутников. По-видимому, последнее допущение не так далеко от истины, если учесть возраст скопления ($\tau=3.2 \cdot 10^7$ лет [22]). В спектрах 13 двойных звезд не обнаружено ни одной двойной линии (слабые двойные линии Ca II K в спектре звезды № 105, отмеченные в [15], не обнаружены при дальнейших наблюдениях [23]). В литературе нет конкретных сведений, при каких разностях блеска компонентов линии спутника станут невидимыми. Поэтому принято, что спутники спектрально-двойных звезд в скоплении IC 4665 могут иметь разность блеска Δm , равную 1^m или 2.5^m . При этих двух предположениях вычислены нижние пределы значения угла наклона из функции масс [15, 23]. Усредненное значение угла наклона i в указанных пределах приводит к значению



Зависимость отношения масс от угла наклона

$\langle i \rangle = 47^\circ$. Статистический анализ распределения угла наклона плоскостей орбит спектрально-двойных звезд в IC 4665, выполненный в работе [21], дал величину $\langle i \rangle = 45^\circ$, близкую к полученной нами.

Попытаемся оценить наиболее вероятные значения угла наклона орбит двойных систем в скоплении IC 4665 другими методами, используя результаты статистических исследований спектрально-двойных звезд с одиночными линиями. Построим зависимость отношения масс компонентов q ($q = \mathfrak{M}_2/\mathfrak{M}_1$) от самого значения угла i , задавая табличными значениями масс \mathfrak{M}_1 по спектру звезд [1, 17] и используя функцию масс [15, 23]. На рисунке представлены зависимости $q(i)$, на которых хорошо выделяются две группы звезд. В первую группу входят звезды № 22, 23A, 58, 62, 64, 72, 76A и 82, во вторую — № 49, 73, 102. Звезда № 105 не входит ни в одну из групп. Эта звезда классифицирована как вероятная двойная [23], хотя по данным [15] она

Результаты BV-фотометрии звезд в рассеянном скоплении IC 4665

Номер [25]	V	$B-V$	n	σ_V	σ_{B-V}	Номер [25]	V	$B-V$	n	σ_V	σ_{B-V}
22	8.723	+0.090	41	0.014	0.018	67	8.806	.214	37	.015	.021
23 AB	8.046	.070	38	.011	.017	68	7.944*	.444*	6	.010	.011
32	8.290	.057	37	.010	.015	72	7.759	.012	39	.012	.018
39	9.376	.292	49	.023	.032	73	7.151	.044	37	.013	.022
43	9.084	.162	37	.015	.021	76	8.214	.120	38	.012	.018
49	7.727	.045	40	.014	.020	81	8.865	.118	37	.014	.027
50	9.082	.249	51	.014	.029	82	8.005	.069	36	.014	.020
58	7.603	.022	38	.012	.019	102	9.267	.151	37	.016	.032
62	6.884	.049	55	.012	.019	105	7.517	.027	38	.013	.019
64	7.366	.040	41	.011	.018						

Примечание. Звездочкой обозначены величины, определенные относительно стандарта SA 114 [27]. Для остальных звезд фотометрические значения вычислены относительно звезды № 68

имеет самую большую полуамплитуду лучевой скорости. Нанесем на этот же рисунок распределение отношений масс $f(q)$ спектрально-двойных систем с одиночными линиями [9]. Будем варьировать угол i так, чтобы распределение q для звезд первой группы было как можно ближе к функции $f(q)$. Мы получили, что наилучшее приближение к функции $f(q)$ отмечается при $35^\circ \leq i \leq 45^\circ$. Такая оценка вероятного значения угла наклона i позволяет сделать вывод о преимущественной ориентации плоскостей орбит двойных систем первой группы звезд в скоплении IC 4665. Не исключено, что такую же ориентацию орбит имеет малочисленная вторая группа и звезда № 105 (функция $f(q)$ не противоречит такому предположению).

Заключение. Таким образом, в рассеянном скоплении IC 4665 спектрально-двойные системы имеют определенную ориентацию плоскостей орбит, и этот угол находится в пределах 35° — 45° . Возможность существования предпочтительной ориентации двойных звезд в некоторых рассеянных скоплениях отмечалась в работе [3] на основании спектральных наблюдений [15, 16, 18]. Известно, что плоскости орбит двойных систем общего поля Галактики ориентированы в пространстве случайно [12, 19, 24]. На основе этого наблюдательного факта предполагалось, что орбитальные моменты двойных звезд происходят за счет турбулентных движений в протозвездном облаке [11]. Однако существование преимущественной ориентации плоскостей орбит в скоплении IC 4665 свидетельствует о возможности перехода первоначального вращательного момента гравитирующего облака в орбитальные движения компонентов двойных систем. Компланарность орбит двойных звезд наблюдается и в других звездных группировках. Так, из четырех ярких членов экстремально молодого образования Трапеции Ориона две звезды оказались затменными системами (BM Ori, V1016 Ori). В ассоциации Большой туманности Ориона известны еще две затменные переменные (T Ori [14] и EY Ori [6]). Из решенных кривых блеска трех звезд в этих группировках получены близкие значения угла наклона плоскостей орбит (BM Ori : $i = 88^\circ \pm 2^\circ$ [8], EY Ori : $i = 88.7^\circ \pm 0.1^\circ$ [6] и V1016 Ori : $i = 88.9^\circ \pm 0.3^\circ$ [5]).

При обсуждении данной работы В. С. Шевченко отметил, что относительно высокие скорости осевых вращений всех O — B звезд в Орионе [13] можно объяснить, предположив наличие преимущественной ориентации осей вращения перпендикулярно к лучу зрения. В рассеянном скоплении NGC 6871 расположены пять затменных систем [7]. Представляют интерес и другие скопления, в которых наряду со спектральнодвойными звездами наблюдаются и затменные системы [28].

Результаты поиска затменных переменных в скоплении IC 4665 и приведенные факты позволяют сделать предварительное заключение о существовании преимущественной ориентации плоскостей орбит двойных систем в звездных группировках. (Элементарная оценка вероятности неслучайной ориентации плоскостей орбит двойных систем в IC 4665 дает 85 %). Такое заключение, если его удастся подтвердить дальнейшими наблюдениями, может существенно повлиять на теорию образования двойных звезд и планетных систем, в частности конкретизировать механизм образования двойных звезд, прояснить роль магнитного поля и пересмотреть наши представления о происхождении орбитальных моментов в двойных системах.

Автор выражает глубокую благодарность В. С. Шевченко за полезную дискуссию и советы.

1. Аллен К. У. Астрофизические величины.— М. : Мир, 1977.— С. 294—295.
2. Бронникова Н. М. Статистические исследования движений рассеянных звездных скоплений // Изв. Глав. астрон. обсерв. в Пулковке.— 1964.— 23, № 4.— С. 139—143.
3. Бэттен А. Двойные и кратные звезды.— М. : Мир, 1976.— 323 с.

4. *Гурклите А., Страйжис В.* Фотоэлектрическая фотометрия рассеянных скоплений IC 4665, NGC 6633 и NGC 7092 (M 39) в Вильнюсской фотометрической системе // Бюл. Вильн. астрон. обсерв.—1981.— № 57.— С. 3—8.
5. *Закиров М. М.* Затменная переменная Θ' Ориона в Трапедии // Перемен. звезды.—1979.—21, № 2.— С. 223—226.
6. *Закиров М. М.* Фотоэлектрические наблюдения затменной переменной EY Ориона // Там же.— С. 227—236.
7. *Закиров М. М., Шайдуллин Р. Т.* Затменные переменные в рассеянных звездных скоплениях. I. Предварительное исследование // Бюл. Абастуман. астрофиз. обсерв.—1985.— № 58.— С. 313—322.
8. *Закиров М. М., Шевченко В. С.* Уникальная затменная в Трапедии VM Ориона: Природа компонентов и протяженного образования вокруг холодной звезды. II. Результаты спектральных и поляриметрических наблюдений: Обсуждение результатов // Перемен. звезды.—1982.—21, № 5.— С. 638—653.
9. *Крайчева З. Т., Попова Е. И., Тутуков А. В., Юнгельсон Л. Р.* Некоторые характеристики спектрально-двойных звезд // Астрон. журн.—1978.—55, № 6.— С. 1176—1189.
10. *Муховиас Т. Ч.* Образование звездных и планетных систем в магнитных межзвездных полях // Протозвезды и планеты.— М.: Мир, 1982.— С. 236—273.
11. *Тассуль Ж.-Л.* Теория вращающихся звезд.— М.: Мир, 1982.—472 с.
12. *Тельнюк-Адамчук В. В.* Ориентация плоскостей орбит двойных и тройных звезд // Вестн. Киев. ун-та. Астрономия.—1967.— № 8.— С. 128—132.
13. *Шевченко В. С.* Эруптивные В-звезды в ассоциациях // Нестационарные звезды в Т-ассоциациях.— Ташкент: Фан, 1967.— С. 3—23.
14. *Шевченко В. С.* Звезды Ве—Ае Хербига: Комплексная программа спектральных и фотометрических наблюдений // Циркуляр. Астрон. ин-та АН УзССР.—1983.— № 108.— С. 23—33.
15. *Abt H. A., Bolton C. T., Levy S. G.* IC 4665, a cluster of binaries // *Astrophys. J.*—1972.—171, N 2.— P. 259—266.
16. *Abt H. A., Chaffee F. H.* Rotational velocities in the galactic cluster IC 4665 // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1966.—78, N 464.— P. 438.
17. *Abt H. A., Levato H.* Spectral types in the open cluster IC 4665 // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1975.—87, N 520.— P. 849—851.
18. *Abt H. A., Levy S. G.* Spectroscopic binaries in the open cluster NGC 2516 // *Astrophys. J.*—1972.—172, N 2.— P. 355—360.
19. *Cester B.* Masse ed inclinazioni empiriche di un gruppo di doppie spettroscopiche // *Osserv. astron. Trieste [Pubbl.]*—1967.—N 348.— P. 3—21.
20. *Chaffee F. H., Abt H. A.* Rotational velocities of stars in IC 4665 // *Astrophys. J.*—1967.—148, N 2.— P. 459—463.
21. *Ferrer O., Jaschek C.* Complanarity in open clusters // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1973.—85, N 504.— P. 207—212.
22. *Gotz W.* Zum Verhalten der helleren Doppelsterne und der gelben Riesensterne in offenen Sternhaufen // *Veröff. Sternwarte Sonneberg.*—1981.—9, N 5.— P. 325—359.
23. *Grampton D., Hill G., Fisher W. A.* The binary frequency of IC 4665 // *Astrophys. J.*—1976.—204, N 2.— P. 502—511.
24. *Huang S.-S., Wade C. Jr.* Galactic distribution of eclipsing binaries and its significance // *Ibid.*—143, N 1.— P. 146—149.
25. *Kopff E.* Untersuchung der offenen Sternhaufen IC 4665, NGC 6633. IC 4756 // *Astron. Nachr.*—1943.—274.— S. 69—82.
26. *McCarthy M. F., O'Sullivan S.* A photometric study of the open cluster IC 4665 // *Ric. astron.*—1969.—7, N 17.— P. 483—498.
27. *Moffett T. J., Barness (III) T. G.* Equatorial UBVRI photoelectric sequences // *Astron. J.*—1979.—84, N 5.— P. 625—632.
28. *Попова М., Крайчева З.* Catalogue of eclipsing and spectroscopic binary stars in the regions of the open clusters // *Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.*—1984.—18.— P. 64—88.
29. *Sanders W. L., van Altena W. F.* Membership of the open cluster IC 4665 // *Astron. and Astrophys.*—1972.—17, N 2.— P. 193—200.
30. *Vasilevskis S.* On proper motions of open clusters // *Astron. J.*—1962.—67, N 10.— P. 699—706.