

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА СТРУКТУРУ БЛИЖАЙШЕГО ОКОЛОЗВЕЗДНОГО ОКРУЖЕНИЯ ЗВЕЗДЫ ТИПА WTTS V718 PER

© 2024 г. В. П. Гринин^{1,2, *}, Б. С. Сафонов³, Н. В. Ефимова¹, О. Ю. Барсунова¹,
И. А. Страхов³, Г. А. Борман⁴, С. Ю. Шугаров^{3,5}

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

² Астрономический институт им. В. В. Соболева,
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ Крымская астрофизическая обсерватория
Российской академии наук, Крым, п. Научный, Россия

⁵ Астрономический институт Словацкой академии наук, Татранска Ломница, Словакия

*E-mail: vgcrao@mail.ru

Поступила в редакцию 28.05.2024 г.

После доработки 18.07.2024 г.

Принята в печать 18.07.2024 г.

В статье анализируются особенности фотометрической и спектральной переменности молодой звезды V718 Per из скопления IC 348 с точки зрения ее возможной двойственности. Наиболее реалистичной выглядит модель, в которой главный компонент системы V718 Per A — звезда с эффективной температурой 5200 K — периодически экранируется двумя протяженными пылевыми структурами, состоящими из крупных частиц и движущимися вокруг звезды в резонансе с двумя планетами. Периоды их орбитального движения равны 4.7 года и 213 дням. Их отношение с высокой точностью равно 1:8, а отношение больших полуосей — 1:4. Массы планет не превышают $6 M_{Jup}$. В моменты полных затмений V718 Per A в излучении системы доминирует более холодный компонент с эффективной температурой 4150 ± 100 K, что объясняет наблюдаемое в минимумах блеска покраснение звезды, а также изменения в ее спектре при переходе от яркого состояния к слабому. Спекл-интерферометрические наблюдения, выполненные на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ, позволили оценить верхний предел на угловое расстояние между компонентами системы: $\leq 0.1''$, что эквивалентно проекционному расстоянию ≤ 30 а.е. Уникальная особенность этой системы состоит в том, что плоскости планетных орбит практически совпадают с лучом зрения. Такая ориентация системы наиболее благоприятна для измерений колебаний лучевой скорости звезды, вызванных орбитальным движением планет, а также для наблюдений транзитов планет по диску главного компонента системы.

Ключевые слова: скопление IC 348, звезда V718 Per, переменная околозвездная экстинкция, периодические затмения, резонансные структуры, планеты

DOI: 10.31857/S0004629924100032 EDN: JLWCQA

1. ВВЕДЕНИЕ

V718 Per (HMW 15, H 187) — молодая звезда солнечного типа, принадлежащая скоплению IC 348, демонстрирует чрезвычайно интересную фотометрическую активность: изменения блеска с периодом 4.7 года и амплитудой около 0.7^m в полосе I [1, 2, 3]. Более детальное фотометрическое исследование показало [4], что кроме периода 4.7 года у звезды наблюдаются также малоамплитудные колебания блеска с периодом 213 дней, причем они видны как в оптической,

так и в ближней инфракрасной (ИК) областях спектра. В отличие от колебаний блеска с периодом 4.7 года, сопровождающихся покраснением звезды при уменьшении ее блеска, колебания с периодом 213 дней происходят с одинаковой амплитудой, как в видимой, так и в ИК областях спектра [4].

Для понимания природы переменности V718 Per важное значение имели два последовательных наблюдения спектра звезды, полученных при поддержке Дж. Хербига с помощью телескопа Keck [5].

Они показали, что лучевая скорость звезды за время около одного года между этими наблюдениями оставалась постоянной с точностью до 80 м/с. Это позволило исключить из рассмотрения модель тесной двойной системы типа КН 15D, предложенную в работах [1, 2]¹. По этой же причине отпала модель двойной системы, в которой роль экрана выполняли потоки вещества, аккрецирующие на компоненты системы [3]. В случае V718 Per периодические затмения звезды вызваны двумя протяженными пылевыми структурами, движущимися вокруг нее с разными орбитальными периодами. Это предполагает, что данная система наблюдается почти точно с ребра. Образование таких структур может быть индуцировано движением планет во внутренней, свободной от вещества области околозвездного диска. Оценки, основанные на постоянстве (в пределах точности измерений) лучевой скорости звезды, показали [5], что масса планеты с орбитальным периодом 4.7 года не должна превышать $6M_{Jup}$. Масса планеты с более коротким орбитальным периодом должна быть еще меньше.

Интересные находки были сделаны при сравнении двух указанных выше спектров звезды [5]. Один из них наблюдался в фазе минимума блеска, второй – в фазе, близкой к максимуму. В первом спектре наблюдалась слабая узкая эмиссия в центре фотосферной линии ИК триплета Ca II 8663 Å. Во втором эта эмиссия была практически не видна. Фотосферная линия H α во втором спектре совпала с линией синтетического спектра, тогда как в первом она была значительно менее глубокой. В статье [5] эти тонкие различия не получили приемлемого объяснения в рамках модели одиночной звезды. Их можно было бы объяснить, если предположить, что в окрестности V718 Per есть еще одна, близкая по спектральному классу звезда, в спектре которой наблюдается эмиссия в линиях H α и ИК триплета Ca II. Если такая звезда находится на достаточно большом удалении от V718 Per, но таком, что не разрешается в телескоп, то в минимумах блеска мы можем ожидать появления спектральных деталей, характерных для этой звезды. При этом изменение радиальной скорости V718 Per, вызванное присутствием компаньона, на временном интервале 1 год может оказаться незначительным по сравнению

с указанной выше точностью измерений лучевой скорости звезды.

Для проверки этой гипотезы мы выполнили спекл-интерферометрические наблюдения V718 Per с помощью 2.5-м телескопа ГАИШ. Ниже представлены результаты этих наблюдений вместе с дополнительной порцией фотометрических наблюдений звезды.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения V718 Per в режиме спекл-интерферометрии были выполнены в 2022–2024 гг. с помощью спекл-поляриметра [9] на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ. Использовалась полоса Ic. В качестве детектора применялся низкошумящий КМОП Hamamatsu ORCA-quest C15550–20UP в режиме «ultra-quiet» (шум считывания 0.27e[–]). Характеристики наблюдений приведены в табл. 1. Условия атмосферной турбулентности во все три эпохи были исключительно хорошими.

Таблица 1. Характеристики наблюдений V718 Per методом спекл-интерферометрии

УТ	N_{fr}	t , мс	h , °	β , "
2022-12-22 19:44	7833	23	74.5	0.44
2023-08-31 00:18	8000	30	63.6	0.52
2024-02-28 17:18	3000	60	56.5	0.59

Примечание. Приведены: центральный момент серии по УТ, N_{fr} — количество кадров, t — экспозиция, h — высота над горизонтом, β — качество изображения, оцененное по среднему кадру.

Дополнительная порция фотометрических наблюдений была получена, как и раньше, с помощью телескопа AZT-8 (0.7 м), оснащенного ПЗС камерой AP7p размером 511 × 511 пикселей и с размером пиксела 24 мкм, и телескопов G1 (0.5 м) Словацкой академии наук (Tatranska Lomnica) (ПЗС камера ST10-XME размером 2184 × 1472 пикселей и с размером пиксела 6.8 мкм) и G2 (0.6 м, ПЗС камера FLIML-3041 размером 2048 × 2048 пикселей и с размером пиксела 15 мкм).

Наблюдения выполнялись в трех полосах v,r,i и приводились к фотометрической системе Johnson-Cousins V,Rc,Ic. Поскольку ниже все фотометрические параметры приводятся в этой фотометрической системе, мы опускаем для простоты символ «c». Измерения блеска звезд выполнялись методом апертурной фотометрии. Как и раньше, в качестве звезд сравнения использовались на-

¹ Согласно этой модели двойная система КН 15D наклонена относительно общего диска и состоит из двух близких по своим параметрам звезд, движущихся по вытянутым орбитам. В процессе движения каждый из компаньонов попеременно попадает в тень от диска, что и вызывает периодические затмения [6, 7, 8].

ходящиеся на этой же площадке звезды с наиболее стабильным фотометрическим поведением из работы [5]: H139, H205 и H210. Средняя точность апертурной фотометрии равна 0.03^m в фильтрах V и R и около 0.02^m в фильтре I .

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Во все три эпохи спекл-интерферометрических наблюдений двойственность объекта не была обнаружена. Методом, приведенным в работе [9], произведена оценка предела по контрасту, результат для эпохи 2022–12–22 представлен на рис. 1. На том же рисунке в правом верхнем углу дана автокорреляционная функция, вычисленная из среднего спектра мощности. Структура на расстоянии $\approx 0.1''$ от звезды на позиционных углах 35° и 215° вызвана дрожанием монтировки телескопа. Аналогичные структуры наблюдались у других объектов, снимавшихся в ту ночь.

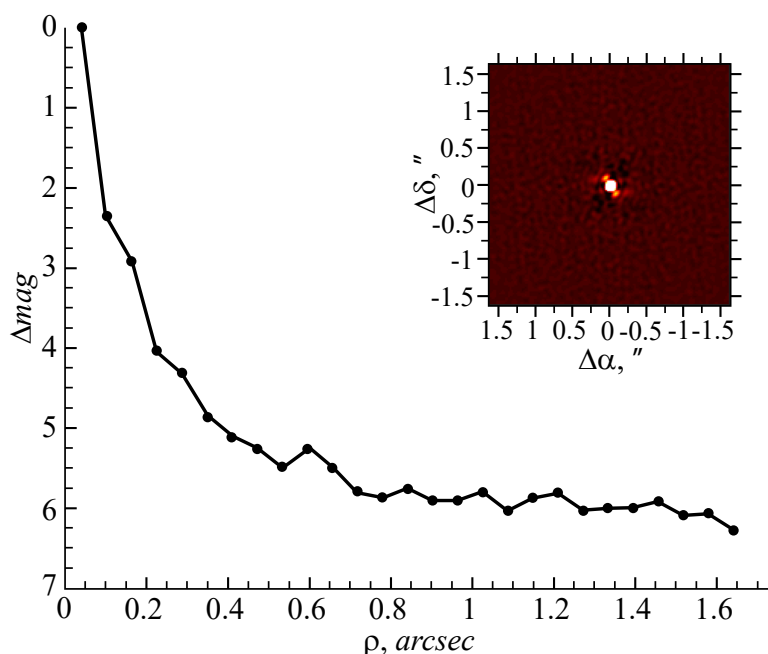


Рис. 1. Максимальная разность блеска, с которой слабый компонент был бы зафиксирован, в зависимости от расстояния до звезды. Во врезке приведена автокорреляционная функция.

На рис. 2 представлена кривая блеска V718 Per в полосе I по данным наших наблюдений. По сравнению с предыдущими наблюдениями, опубликованными в статье [5], на кривой блеска звезды добавились еще три 4.7-летних фотометрических цикла. Их форма хорошо воспроизводится от цикла к циклу, что подтверждает стабильность экранирующих звезду протяженных пылевых структур. Амплитуда

основного цикла сохраняется на всем протяжении кривой блеска на уровне $\approx 0.7^m$. Отчетливо видны также флуктуации блеска с периодом 213^d и амплитудой около 0.2^m .

Кроме оптической кривой блеска на рис. 2 показаны результаты наблюдений V718 Per в полосах $W1$ и $W2$ (3.4 и 4.6 мкм соответственно) по данным каталога NEOWISE². Видно, что колебания с периодом 4.7 года отчетливо наблюдаются также и в ближней ИК области спектра. Ранее аналогичный вывод был сделан на основе наших наблюдений V718 Per в полосах JHK [4].

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, выполненные нами спекл-интерферометрические наблюдения исключают наличие звездного компонента у V718 Per на угловом расстоянии более $\approx 0.1''$. Тем не менее, двойная система с меньшим угловым разделением вполне

возможна. Более того, в рамках гипотезы о двойственности отмеченные во Введении особенности спектральной и фотометрической переменности находят простое объяснение. По мере ослабления блеска главного компонента системы (обозначим

² <https://irsa.ipac.caltech.edu/>

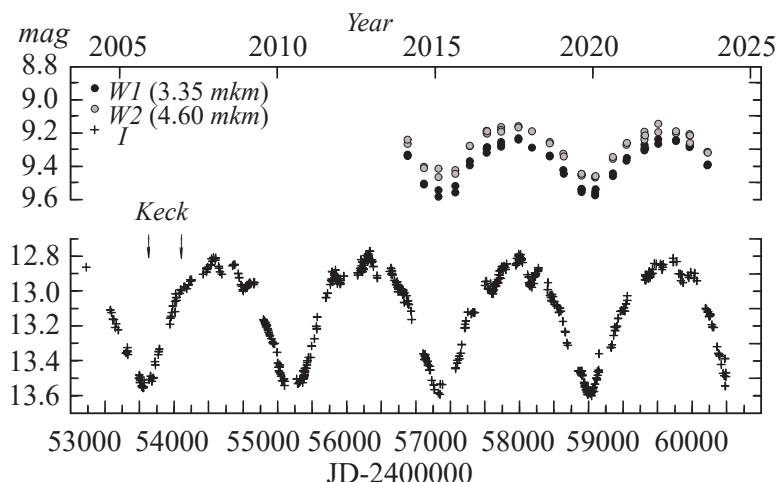


Рис. 2. Кривая блеска V718 Per в полосах I , $W1$ и $W2$. Стрелками указаны моменты спектральных наблюдений.

его V718 Per A) усиливается вклад более слабого и более холодного компонента V718 Per B. В его спектре присутствует эмиссия в линиях H_α и ИК триплета Ca II , что объясняет наблюдавшуюся спектральную переменность в этих линиях при переходе от яркого к слабому состоянию V718 Per A. Этим объясняется также и отмеченное в [5] небольшое смещение фотосферного спектра звезды при ослаблении ее блеска в сторону более позднего спектрального класса. Если второй компонент системы вращается немного быстрее главного, то это позволяет также объяснить наблюдавшееся в [5] небольшое уширение фотосферных линий во время затмений, не прибегая к гипотезе о рассеянии излучения звезды движущимися пылинками.

Как было отмечено выше, малоамплитудные колебания блеска V718 Per A происходят с одинаковой амплитудой как в оптических, так и в ИК полосах, что указывает на преобладание крупных частиц в пылевой структуре, ответственной за период 213^d . Существование более слабого и более холодного компаньона на угловом расстоянии менее $\approx 0.1''$ от главного компонента позволяет дать новое объяснение наблюдаемому покраснению звезды при ослаблениях блеска с периодом 4.7 года: оно вызвано увеличением вклада холодного компаньона во время затмения главного компонента. При этом само затмение осуществляется крупными частицами (как в коротком периоде), то есть, является нейтральным.

4.1. Диаграмма цвет-величина

Для проверки этой гипотезы мы рассчитали фотометрическую модель системы в предположении, что

в минимумах блеска главный компонент полностью экранируется пылевой структурой, состоящей из крупных частиц, и мы наблюдаем излучение более холодного компаньона. Зная эффективную температуру V718 Per A ($T_{\text{eff}} A = 5200$ К [5]) и разность показателя цвета $V - I$ в ярком состоянии и в минимуме блеска: $E(V - I) = 0.33 \pm 0.02^m$ (см. рис. 3), можно оценить эффективную температуру компаньона. Она оказалась равной 4150 ± 100 К. Заметим, что эту температуру следует рассматривать как нижний предел T_{eff} компаньона, поскольку при оценке избытка цвета $E(V - I)$ мы не учитывали околосреднее поглощение в направлении на компаньон, который, по-видимому, является звездой типа Т Тельца.

Предполагая, что компоненты V718 Per A и B излучают как абсолютно черное тело, изменение потока излучения системы в полосах V и I при экранировании главного компонента можно описать соотношением:

$$F_{V,I} = \int (aB_\lambda(T_A) + cB_\lambda(T_B)) f_{V,I}(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Здесь a — параметр, определяющий степень экранирования главного компонента и изменяющийся в пределах от 0 до 1, T_A и T_B — эффективные температуры главного и вторичного компонентов, $f_{V,I}(\lambda)$ — функции пропускания фотометрической системы в полосах V и I .

Коэффициент c в уравнении (1) можно найти из соотношения:

$$c = (F_V^{\max} / F_V^{\min} - 1)^{-1} B_V(T_A) / B_V(T_B). \quad (2)$$

Здесь $F_V^{\max} / F_V^{\min} = 10^{0.4\Delta V}$, где $\Delta V = 1.2^m$ — амплитуда колебаний блеска системы в полосе V с периодом 4.7 года (см. рис. 3).

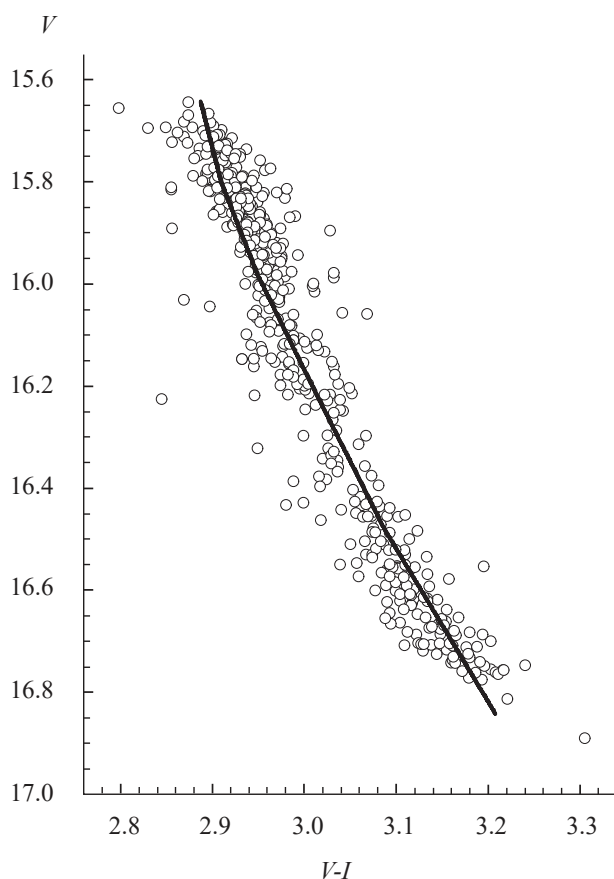


Рис. 3. Диаграмма цвет-величина $\{V, (V - I)\}$ V718 Per по данным наших наблюдений. Сплошной линией показана соответствующая теоретическая диаграмма.

Из рис. 3 видно, что рассчитанная таким путем диаграмма цвет-величина $\{V, (V - I)\}$ в целом согласуется с наблюдениями. Подчеркнем, что покраснение цвета в рассматриваемой модели вызвано увеличением вклада излучения холодного компаньона при экранировании главного компонента системы. При этом сам процесс экранирования является нейтральным, независимым от длины волны излучения.

Представленная на рис. 3 диаграмма цвет-величина V718 Per напоминает диаграммы цвет-величина звезды типа Т Тельца RW Aur, представленные в статье [10, рис. 3]. Эта звезда является двойной системой с расстоянием между компонентами около $1.44''$ [11]. Главный компонент имеет спектральный класс K1–K2, вторичный – K5 [12]. В последние годы главный компонент RW Aur A демонстрирует большую по амплитуде переменность, характерную для звезд типа UX Ori. Во время глубоких минимумов слабый и более холодный компаньон оказывает заметное влияние на суммарный блеск двойной системы. Вследствие этого показатели цвета RW Aur A+B на диаграммах цвет- ве-

личина увеличиваются в глубоких минимумах: звезда краснеет. Как и в случае V718 Per, этот эффект вызван усилением вклада более холодного компаньона.

Таким образом, предполагаемое существование более слабого и более холодного компаньона у V718 Per позволяет предложить довольно простое объяснение как наблюдавшейся спектральной переменности звезды во время затмения, так и ее покраснению при ослаблениях блеска. Для этого теперь не нужны мелкие частицы в пылевом экране, вращающемся вокруг звезды с периодом 4.7 года. Если принять массу компаньона равной средней массе звезды типа Т Тельца ($0.5 M_{\odot}$), а массу V718 Per A равной $1.6 M_{\odot}$ [5], то при расстоянии между компонентами 30 а.е. (что соответствует угловому расстоянию $\approx 0.1''$ и расстоянию до звезды 300 пк [5]) орбитальный период равен примерно 100 годам. Среднее смещение лучевой скорости главного компонента за один год при движении по круговой орбите с таким периодом будет меньше точности измерения лучевой скорости V718 Per A (80 м/с). Оценки показывают, что минимальное расстояние, на котором может находиться компаньон с принятой выше массой при условии, что изменение лучевой скорости главного компонента за 1 год не превышает 80 м/с, составляет около 13 а.е.

4.2. Распределение энергии в спектре V718 Per

На рис. 4 показано распределение энергии в спектре V718 Per, построенное по данным наблюдений в ярком состоянии звезды (см. табл. 2). Они включают наши собственные наблюдения в полосах VRI (приняты средние значения блеска звезды в этих полосах вне затмений), наблюдения в ярком состоянии в полосах B , g' , V , r' , i' из архива APASS9 [13], а также данные наших ИК наблюдений в полосах JHK в ярком состоянии из статьи [4]. Инфракрасные наблюдения дополнены данными из архивов WISE [17] и Spitzer [14, 15, 16]. Эти наблюдения (за исключением двух полос $W3$ и $W4$) также получены в ярком состоянии звезды. Из рис. 4 видно, что наблюдения в полосах $W3$ и $W4$ (12 и 22 мкм) демонстрируют значительный ИК избыток излучения. С другой стороны, данные Spitzer на длине волны 24 мкм, полученные после переобработки наблюдений [16], не показывают значимого ИК избытка. Это может означать, что либо данные $W3$ и $W4$ неточны, либо в ближайшем околозвездном окружении звезды появилось (уже после наблюдений на Spitzer) большое количество пыли на расстояниях порядка нескольких а.е. от звезды, вызвавшее усиление ИК излучения объекта. Необходимо, однако, иметь в виду, что угловое разрешение WISE в полосе $W4$ равно $12''$ [17]. Поскольку

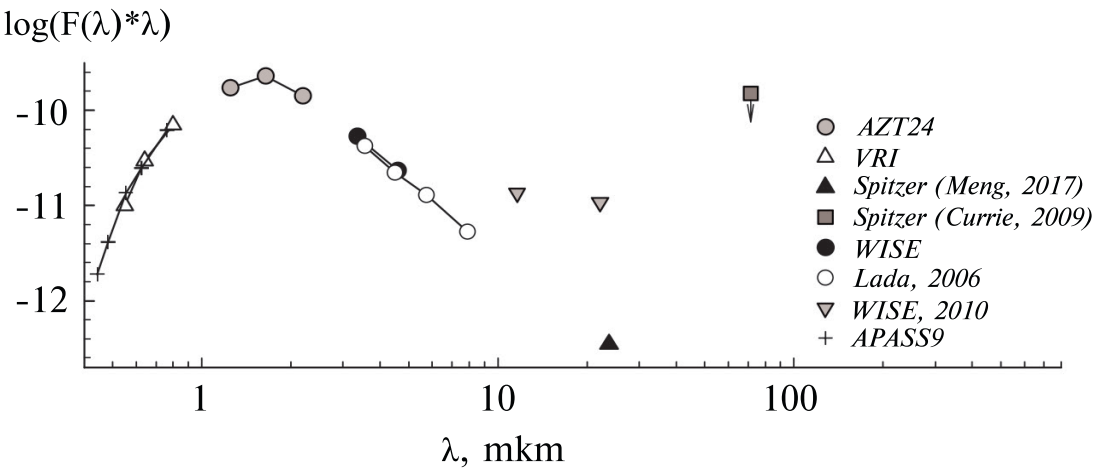


Рис. 4. Распределение энергии в спектре V718 Per в ярком состоянии по нашим наблюдениям в полосах *VRJHK* и наблюдениям из баз данных WISE и Spitzer (подробности в тексте).

Таблица 2. Распределение энергии в спектре V718 Per вне затмений

Полоса	Инструмент	Ссылки	Дата	λ , мкм	Mag
B	APASS9	1	—	0.44	17.95
g'	APASS9	1	—	0.48	16.84
V	APASS9	1	—	0.55	15.40
r'	APASS9	1	—	0.63	14.62
i'	APASS9	1	—	0.76	13.41
V	AZT-8+G1,G2	2	12/2003 – 04/2023	0.55	15.74
R	AZT-8+G1,G2	2	12/2003 – 04/2023	0.64	14.22
I	AZT-8+G1,G2	2	12/2003 – 04/2023	0.80	12.84
J	AZT-24	2	03/2005 – 11/2016	1.25	10.88
H	AZT-24	2	03/2005 – 11/2016	1.64	9.84
K	AZT-24	2	03/2005 – 11/2016	2.20	9.52
W1	WISE	3	02/2014 – 08/2023	3.35	9.27
W2	WISE	3	02/2014 – 08/2023	4.60	9.19
S3.6	Spitzer	4	02/2004	3.55	9.37
S4.5	Spitzer	4	02/2004	4.49	9.33
S5.8	Spitzer	4	02/2004	5.73	9.17
S8.0	Spitzer	4	02/2004	7.87	9.15
S70	Spitzer	5	09/2007	71.40	– 1.66*
S24	Spitzer	6	02/2004, 09/2007, 03/2008	23.68	10.92

Примечание. Использованы данные из работ 1 — Henden et al. [13]; 2 — наша статья; 3 — NEOWISE; 4 — Lada et al. [14]; 5 — Currie et al. [15]; 6 — Meng et al. [16]; * — верхний предел.

на расстоянии около $10''$ от V718 Per находится близкая по яркости звезда скопления Н 178, результаты наблюдений V718 Per в полосе $W4$ могут быть завышены по этой причине.

Из сказанного выше следует, что для получения более точной информации о распределении энергии в спектре звезды в области $\lambda \geq 10$ мкм нужны дополнительные наблюдения. На данный момент можно считать надежно установленным лишь факт наличия в окрестности звезды протяженной полости, слабо заполненной веществом, радиусом порядка нескольких а.е. Две находящиеся в этой полости протяженные пылевые структуры, экранирующие звезду с периодичностью 213^d и 4.7 года, могут быть остатками процесса образования планетной системы, состоящей из двух планет, движущихся в резонансе с этими структурами (см. ниже).

4.3. Резонансы в системе V718 Per как возможная причина периодических затмений

В статье [5] при обсуждении механизма периодических затмений V718 Per A было высказано предположение, что такие затмения могут быть обусловлены экранированием звезды протяженной пылевой структурой, движущейся в резонансе с планетой. Однако присутствие мелкой пыли в главной из этих структур, ответственной за период 4.7 года, создавало трудности для этой гипотезы, поскольку мелкая пыль эффективно взаимодействует с излучением звезды и под действием светового давления должна выметаться за пределы системы. Тот факт, что интерпретация наблюдаемого покраснения V718 Per при ослаблениях блеска звезды теперь не требует присутствия на луче зрения мелкой пыли, позволяет рассматривать гипотезу о резонансных структурах, состоящих из крупных частиц и периодически экранирующих звезду, как наиболее реалистичную.

Модели образования таких структур хорошо известны в литературе. Одна из них приведена на рис. 5, заимствованном из статьи [18]. Она соответствует простейшему резонансу 1:1. Из рис. 5 видно, что протяженность этой структуры по азимуту достаточна для того, чтобы качественно объяснить наблюдаемое соотношение между периодами 4.7 года и 213 дней и продолжительностью затмений звезды.

Как известно, резонансы, подобные изображенному на рис. 5, существуют в Солнечной системе. Самый известный из них — это семейство астероидов (Троянцы), движущихся в резонансе 1:1 с Юпитером. В случае V718 Per A, благодаря очень точной ориентации ее околозвездного диска (практически с ребра), мы имеем уникальную возможность наблю-

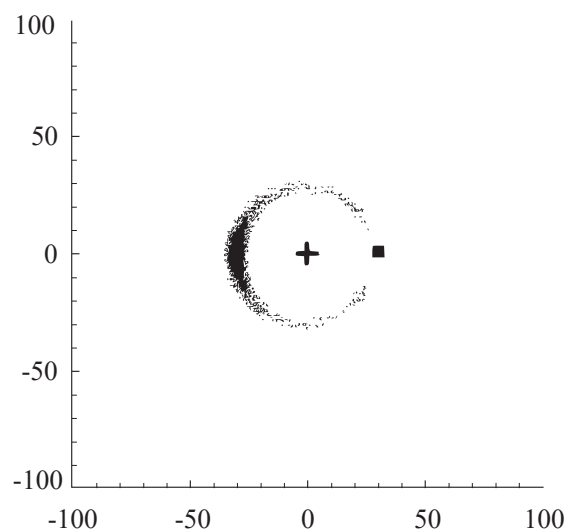


Рис. 5. Пример модельного распределения частиц, движущихся в резонансе 1:1 с планетой по данным [18].

дать затмения молодой звезды протяженными пылевыми структурами, состоящими из крупных частиц. Эти структуры сохраняли устойчивость в течение последних 20 лет наблюдений за звездой, и мы можем рассматривать их как молодые аналоги Троянцев. Образование таких структур активно обсуждается в литературе в связи с наблюдениями асимметричных изображений осколочных (debris) дисков (см., напр., [19] и цитируемую там литературу). Двойная система V718 Per A и B интересна тем, что мы имеем возможность наблюдать затмения главного компонента пылевыми структурами, каждая из которых вращается вокруг звезды в резонансе с планетой. Дальнейшие исследования этой системы, включая высокоточные измерения колебаний лучевой скорости главного компонента, вызванных движением планет, представляют большой интерес для понимания физических процессов, протекающих на ранних стадиях формирования, и эволюции планетных систем. Теоретически возможны также наблюдения транзитов планет по диску звезды, однако практическая реализация такой программы затруднена из-за сложной структуры кривой блеска звезды.

Представляет интерес также вопрос об устойчивости движения этих структур в гравитационном поле звезды. В связи с этим отметим весьма интересный наблюдательный факт: в пределах точности определения фотометрических периодов 213^d и 4.7 года их отношение близко к 8, а отношение радиусов орбит предполагаемых планет с большой точностью равно 4. Подобные резонансы в расположении планетных орбит обнаружены в последние годы у некоторых

экзопланетных систем, таких как TRAPPIST-1 [20], Kepler 90 [21] и ряд других. Одной из самых молодых систем такого типа является планетная система звезды V1298 Tau, возраст которой равен 23 ± 4 Млрд [22]. Исследуемая в нашей статье звезда V718 Per принадлежит молодому скоплению IC348, возраст которого не превышает 10 Млрд [14]. Это обстоятельство представляет большой интерес для понимания физических процессов, приводящих к образованию планетных орбит с резонансными свойствами.

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный в статье анализ фотометрических свойств звезды V718 Per показал, что наблюдаемый у нее фотометрический период 4.7 года сохраняется с хорошей точностью в течение последних 20 лет наблюдений за звездой. Хорошо воспроизводится и сама форма периодической компоненты блеска как в оптической, так и в ИК полосах. Этот важный наблюдательный факт свидетельствует о стабильности экраняющей звезду протяженной пылевой структуры, вращающейся вокруг звезды на расстоянии около 3.3 а.е. Мы привели аргументы в пользу предположения, что эта структура состоит из крупных частиц, а наблюдаемое покраснение звезды при ослаблениях блеска вызвано наличием в ее окрестности более слабого и более холодного компаньона, излучение которого доминирует в моменты затмений V718 Per A. Это позволяет объяснить спектральные изменения, наблюдавшиеся при переходе от яркого состояния звезды к слабому, не прибегая к более сложным моделям.

Обнаруженный нами ранее [4] более короткий период 213^d также хорошо виден на кривой блеска звезды. Как и основной период 4.7 года, он вызван протяженной пылевой структурой, состоящей из крупных частиц, но более прозрачной для излучения. При массе звезды 1.6 М_☉ радиус орбиты пылевой структуры равен примерно 0.8 а.е. Мы предполагаем, что у звезды есть две планеты и оба фотометрических периода вызваны пылевыми структурами, движущимися в резонансе с ними. Важная особенность этой системы состоит в том, что мы наблюдаем ее практически с ребра. Представляет большой интерес попытаться измерить колебания лучевой скорости звезды, вызванные движением гипотетических планет. Также было бы важно продолжить попытки разрешить эту систему методами интерферометрии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны И.И. Шевченко за обсуждение резонансных свойств экзопланетных систем в контексте

те обнаруженных у исследуемой звезды периодических затмений. В работе были использованы инфракрасные наблюдения V718 Per из архивов NEOWISE и Spitzer.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R.E. Cohen, W. Herbst, and E.C. Williams, *Astrophys. J.* 596(2), L243 (2003).
2. S. Nordhagen, W. Herbst, E.C. Williams, and E. Semkov, *Astrophys. J.* 646(2), L151 (2006).
3. V.P. Grinin, O.Yu. Barsunova, S.G. Sergeev, N.Ya. Sotnikova, and T.V. Demidova, *Astron. Letters* 32(12), 827 (2006).
4. V.P. Grinin, A.A. Arkharov, O.Yu. Barsunova, and S.G. Sergeev, *Astron. Letters* 35(12), 828 (2009).
5. V. Grinin, H.C. Stempels, G.F. Gahm, S. Sergeev, A. Arkharov, O. Barsunova and L. Tambovtseva, *Astron. and Astrophys.* 489(3), 1233 (2008).
6. K.E. Kearns and W. Herbst, *Astron. J.* 116(1), 261 (1998).
7. C.M. Hamilton, W. Herbst, C. Shih, and A.J. Ferro, *Astrophys. J.* 554(2), L201 (2001).
8. J.N. Winn, M.J. Holman, J.A. Johnson, K.Z. Stanek, and P.M. Garnavich, *Astrophys. J.* 603(1), L45 (2004).
9. I.A. Strakhov, B.S. Safonov, and D.V. Cheryasov, *Astrophys. Bull.* 78(2), 234 (2023).
10. A. Dodin, K. Grankin, S. Lamzin, A. Nadjip, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 482, 5524 (2019).
11. D.V. Bisikalo, A.V. Dodin, P.V. Kaigorodov, S.A. Lamzin, E.V. Malogolovets, and A.M. Fateeva, *Astron. Rep.* 56(9), 686 (2012).
12. R.J. White and A.M. Ghez, *Astrophys. J.* 556(1), 265 (2001).
13. A.A. Henden, S. Levine, D. Terrell, and D.L. Welch, *AAS Meeting Abstracts* 225, id. 336 (2015).
14. C.J. Lada, A.A. Muench, K.L. Luhman, L. Allen, et al., *Astron. J.* 131(3), 1574 (2006).
15. T. Currie and S.J. Kenyon, *Astron. J.* 138(3), 703 (2009).
16. H.Y.A. Meng, G.H. Rieke, K.Y.L. Su, and A. Gáspár, *Astrophys. J.* 836(1), id. 34 (2017).
17. E.L. Wright, P.R.M. Eisenhardt, A.K. Mainzer, M.E. Ressler, et al., *Astron. J.* 140(6), 1868 (2010).
18. L.M. Ozernoy, N.N. Gorkavyi, J.C. Mather, and T.A. Taidakova, *Astrophys. J.* 537(2), L147 (2000).
19. T.D. Pearce, H. Beust, V. Faramaz, M. Booth, A.V. Krivov, T. Löhne, and P. Poblete, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 503(4), 4767 (2021).
20. R. Luger, M. Sestovic, E. Kruse, S.L. Grimm, et al., *Nature Astron.* 1, id. 0129 (2017).
21. C.J. Shallue and A. Vanderburg, *Astron. J.* 155(2), id. 94 (2018).
22. T.J. David, E.A. Petigura, R. Luger, D. Foreman-Mackey, J.H. Livingston, E.E. Mamajek, and L.A. Hillenbrand, *Astrophys. J. Letters*, 885(1), id. L12 (2019).

NEW LOOK AT THE STRUCTURE OF THE NEAREST CIRCUMSTELLAR ENVIRONMENT OF THE WEAK-LINE T TAURI STAR V718 PER

V. P. Grinin^{1,2,*}, B. S. Safonov³, N. V. Efimova¹, O. Yu. Barsunova¹,
I. A. Strachov³, G. A. Borman⁴, S. Yu. Shugarov^{3,5}

¹Main (Pulkovo) Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 196140, Russia

²Sobolev Astronomical Institute, St. Petersburg State University, St. Petersburg, 198504, Russia

³Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234, Russia

⁴Crimean Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nauchnyi, 298409, Russia

⁵Astronomical Institute, Slovak Academy of Sciences, Tatranská Lomnica, 059 60, Slovak Republic

*E-mail: vgcrao@mail.ru

In this article we analyze the properties of the photometric and spectral variability of the young star V718 Per, a member of the cluster IC 348, in terms of its possible binarity. The most realistic is the model where the main component of the system V718 Per A — with an effective temperature of 5200 K — is periodically shielded by two extended dust periods structures consisting of large particles and moving around the star in resonance with two planets. Their orbital periods are 4.7 years and 213 days. Their ratio with high accuracy is 1:8, and the ratio of the large semi-axes is 1:4. The masses of the planets do not exceed $6 M_{Jup}$. At the moments of total eclipses of V718 Per A, the radiation of the system is dominated by a colder component with an effective temperature of 4150 ± 100 K, which explains the reddening of the star observed in the brightness minima, as well as its spectral changes during brightness weakening. Speckle interferometric observations performed on the 2.5-m telescope of the CMO of SAI MSU made it possible to estimate the upper limit of the angular distance between the components of the system: $0.1''$, which is equivalent to a projection distance of 30 a.u. The unique feature of this system is that the planes of the planetary orbits practically coincide with the line of sight. Such an orientation of the system is most favorable for measuring fluctuations in the radial velocity of a star caused by the orbital motion of planets, as well as for observing planetary transits along the disk of the main component of the system.

Keywords: cluster IC 348, V718 Per, pre-main-sequence star, variable circumstellar extinction, periodical eclipses, resonances, planets