

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 209 – 214

UDC 524.38

A.V. Serebryanskiy, L.I. Shestakova, I.V.Reva

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
aserebryanskiy@yahoo.com, shest1952@mail.ru, alfekka@list.ru

ANALYSIS OF LIGHT CURVES OF THE WHITE DWARF

Abstract. The results of the analysis of the time series of observations of the white dwarf WD1145 + 017, obtained on the 1 meter telescope at the Tien-Shan Observatory on the night of 26/27 March 2017 are presented. The spectral analysis was carried out by the FAMIAS and GATSPY packages. The results of the analysis show that the main periodicity is due to the passage through the disk of a white dwarf planetoid with fragments. The average frequency is 5.7912 cycles per day, which corresponds to a period of 4.1442 hours. Three modes of oscillations with frequencies from 27 to 48.7 cycles per day, which are not natural vibrations of a white dwarf, are also found. The modes of natural oscillations of a white dwarf with frequencies 169.0450, 196.4138, 385.4307 and 546.1339 cycles per day are revealed.

Key words: white dwarf, debris disk, planetoids, transit, oscillation periods.

УДК 524.38

А.В. Серебрянский, Л.И. Шестакова, И.В. Рева

Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ КРИВОЙ БЛЕСКА
БЕЛОГО КАРЛИКА WD1145 + 017

Аннотация. Представлены результаты анализа временного ряда наблюдений белого карлика WD1145 + 017, выполненные на 1-м телескопе ТШАО в ночь 26/27 марта 2017 года. Спектральный анализ проводился пакетом FAMIAS и GATSPY. Результаты анализа показывают, что основная периодичность обусловлена прохождением по диску белого карлика планетоида с осколками. Среднее значение частоты 5.7912 циклов в сутки, что соответствует периоду 4.1442 часа. Обнаружены также 3 моды колебаний с частотами от 27 до 48.7 циклов в сутки, не являющиеся собственными колебаниями белого карлика. Выявлены моды собственных колебаний белого карлика с частотами 169.045, 196.414, 385.431 и 546.134 циклов в сутки.

Ключевые слова: белый карлик, осколочный диск, планетоиды, транзит, периоды осцилляций.

Введение. Звезда WD 1145 + 017 ($\alpha = 11^{\text{h}} 48^{\text{m}} 34^{\text{s}}$, $\delta = +01^{\circ} 28' 59''$, $V = 17.24^{\text{m}}$) является белым карликом с гелиевой оболочкой, согласно наблюдениям космического телескопа Кеплер во время миссии НАСА, которую называют K2. После обработки данных K2 для WD 1145 + 017 получен транзитный сигнал с периодом 4,5 часа. С помощью Фурье анализа данных K2, в работе [1] определили пять более слабых дополнительных периодов, но статистически значимых, все периоды лежат в диапазоне от 4,5 до 5 часов. Обнаружено, что глубина и форма транзитов значительно различались в течение 80 дней наблюдений. Таким образом, около этой звезды транзитным методом в 2015 году обнаружена планета с периодом около 4,5 часов [1]. Существование теплого осколочного диска вокруг 4% белых карликов позволяют предположить, что скалистые обломки планетных систем иногда загрязняют атмосферы белых карликов. Однако до сих пор процесс срыва планетарного материала еще не наблюдался.

В работе [2] с небольшими телескопами с ноября 2015 по январь 2016 г получены обширные фотометрические наблюдения белого карлика WD1145+017, который обладает одним и, возможно, несколькими крупными астероидами с выбросами пыли. Периодограммы выявили значительную периодичность с периодом 4.5004 часов. Найдены также многочисленны провалы на других орбитальных фазах, дрейфующие относительно основного периода. Их наличие объясняется присутствием фрагментов астероидов, движущихся по меньшим орбитам.

Нами была поставлена цель: по наблюдениям в течение одной ночи с высоким временным разрешением провести частотный анализ кривой блеска белого карлика WD1145+017. В результате удалось определить не только орбитальный период фрагментов планетоида, но и предположительно частоты собственных колебаний белого карлика.

Наблюдательный материал. Наблюдения белого карлика WD1145+017 проводились 26/27 марта 2017 года с телескопом Zeiss-1000 («Восточный»), диаметр зеркала 1000 мм, фокусное расстояние системы 6650 мм. Использовалась CCD камера Apogee U9000 D9 с колесом фильтров, которые образуют фотометрическую систему близкую к стандартной системе Джонсона BVR. Обработка полученных изображений и фотометрия объектов проводилась с использованием программы MaxIm DL5. Временной ряд представляет собой значения потоков белого карлика и звезды сравнения для определенных моментов времени. Продолжительность наблюдений $7^{\text{h}}28^{\text{m}}04^{\text{s}}$. Медианное значение шага выборки по времени 70.194 секунд, что соответствует частоте Найквиста ~ 615.44 циклов/сутки.

Определение периодов (частот) осцилляций. Для поиска периодов осцилляций, присущих самому объекту - белому карлику, необходимо исключить влияние внешних факторов: изменение прозрачности, стабильность инструмента и других. Для этого значения потока объекта делятся на значения потока звезды референта. Будем обозначать эту величину в дальнейшем как Δmag . Результирующий временной ряд, представляющий собой вариации Δmag со временем, показан на Рисунке 1. Красной линией на рисунке показано прохождение скользящего среднего.

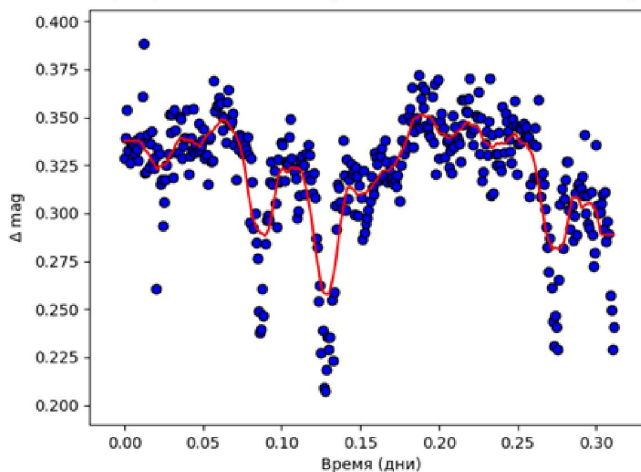


Рисунок 1 - Временной ряд относительных потоков белого карлика

Спектральный анализ (Δmag , t) проводился пакетом FAMILIAS [3] и независимо пакетом GATSPY [4]. В пакете FAMILIAS используется алгоритм построения спектра мощности методом быстрого Фурье преобразования. В пакете GATSPY используется алгоритм построения периодограммы методом быстрого преобразования Lomb-Scargle [5,6]. Вид периодограммы показан на Рисунке 2. Результаты частотного анализа приведены в Таблице.

Результаты анализа показывают, что основная периодичность обусловлена трендом, вызванным прохождением по диску карлика планетоида с осколками. Среднее значение частоты 5.7912 (циклы/сутки), что соответствует периоду 4.1442 часа. Результаты аппроксимации значений Δmag суммарным сигналом (включая все обнаруженные моды осцилляций) по результатам FAMILIAS показаны на Рисунке 3.

Таблица - Частоты, обнаруженные пакетами FAMIAS и GATSPY

Частота (циклы/сутки)	FAMIAS	GATSPY
f1	5.8168 ± 0.0272	5.7656
f2	27.0755 ± 0.0167	27.4138
f3	21.3634 ± 0.0146	21.5839
f4	48.3806 ± 0.0112	48.7150

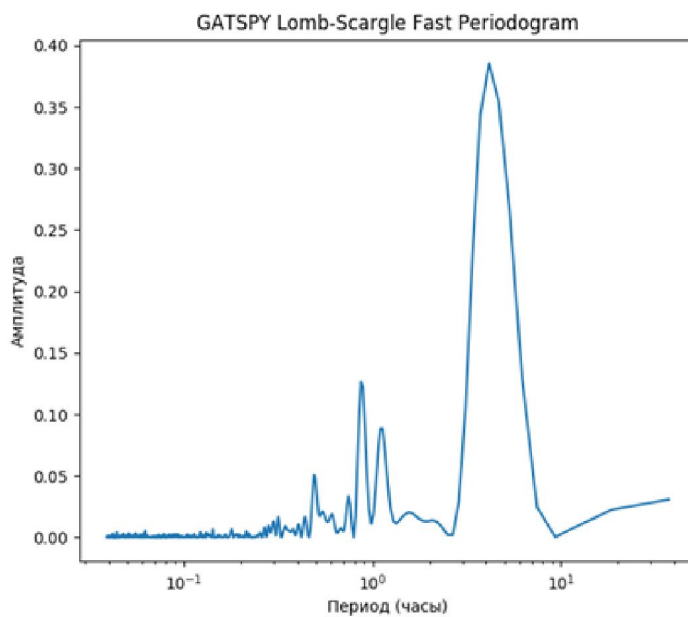


Рисунок 2 - Периодограмма временного ряда, показанного на Рисунке 1, периоды показаны в логарифмической шкале.

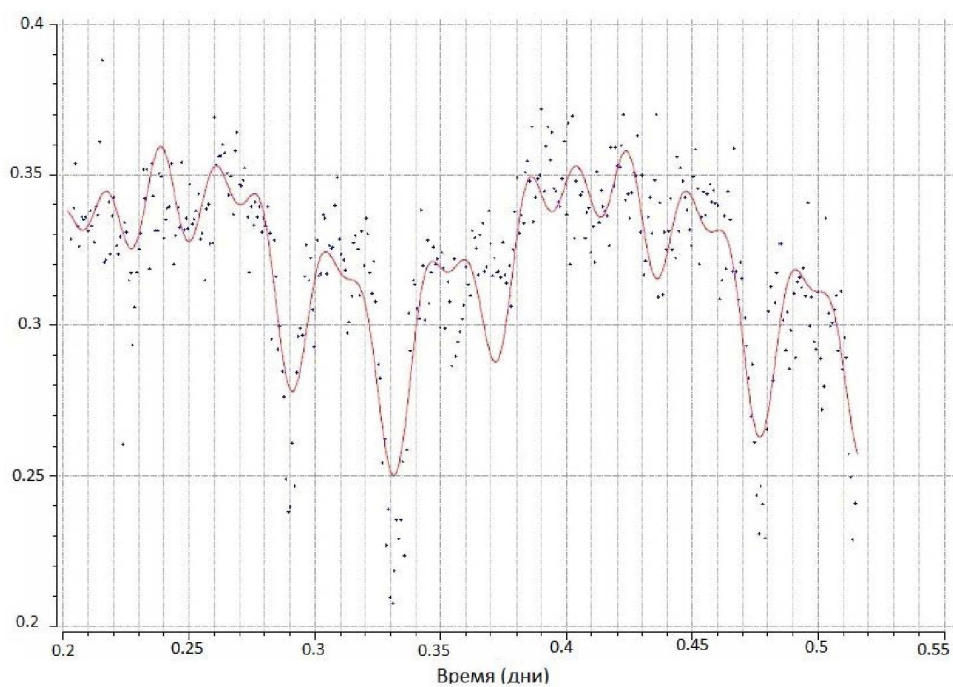


Рисунок 3 - Первоначальный временной ряд (точки) и аппроксимация сигналом, полученным по всем обнаруженным частотам

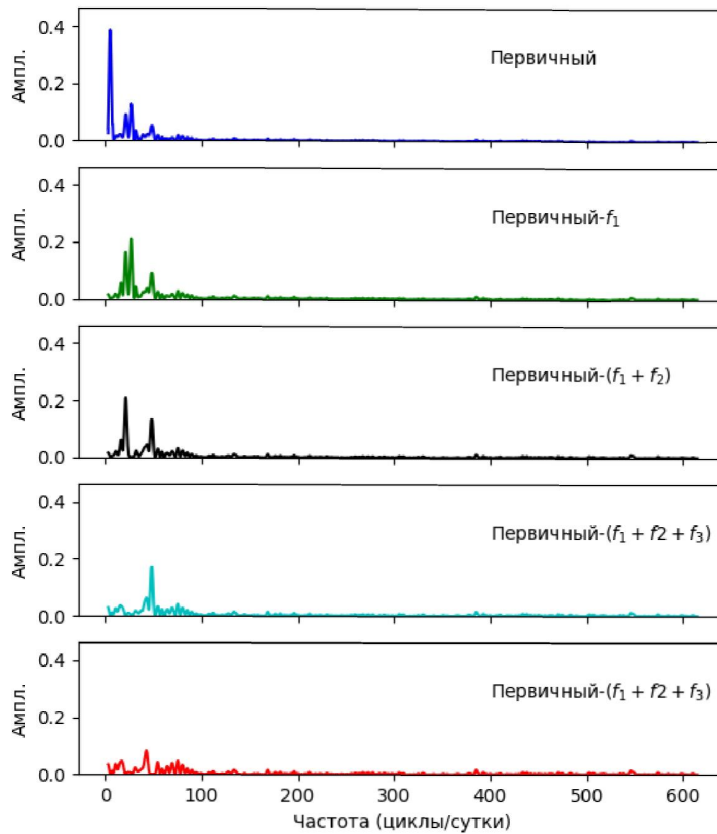


Рисунок 4 - Периодограммы с последовательным "отбеливанием" от компонент с соответствующими обнаруженными частотами

На рисунке 4 приводится результат определения периодов осцилляций с последовательным "отбеливанием" временной серии, полученный в GATSPY.

Однако визуальная проверка свертки временной серии с периодом 4.1442 часа показывает наличие смещения в локализации основного и вторичного минимума, что может указывать на неточность определения периода (из-за плохой статистики, поскольку весь временной ряд продолжительностью 7.5 часов содержит лишь один период), либо на реальное различие периодов. Сравнение фазовых кривых, полученных с периодом 4.1626 часа и нового, пробного периода, 4.62 часа показано на рисунке 5.

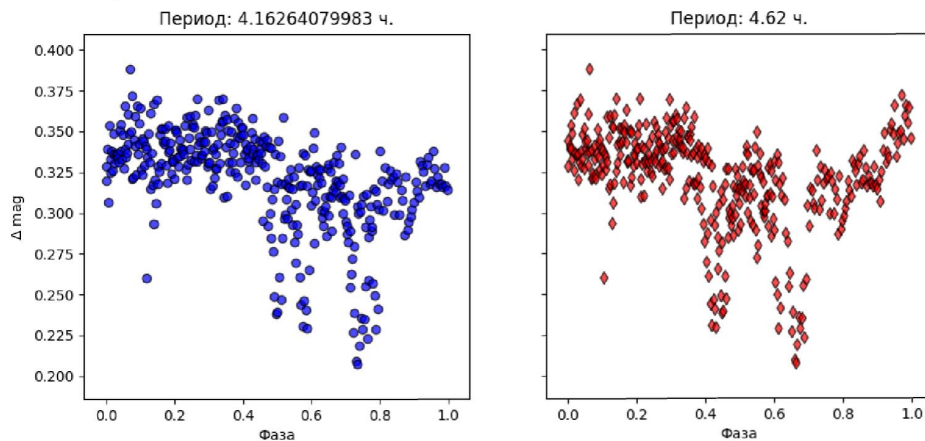


Рисунок 5 - Фазовые кривые, полученные сверткой временной серии с периодом, обозначенным на рисунке. Слева - результат свертки с вычисленным периодом. Справа - с пробным периодом

Из сравнения видно, что во втором случае минимумы прописываются более качественно. Этот факт может указывать на то, что спектральный анализ временной серии с таким сигналом может быть не совсем адекватен и вносить ложные гармоники при вычитании того или иного периодического компонента. Чтобы исключить это, необходимо правильно выделить из сигнала вариации блеска, вызванные транзитом и уже затем вновь повторить частотный анализ. Причем каждый из минимумов необходимо исследовать отдельно, поскольку их форма и моменты наступления минимумов отличаются (могут изменяться с течением времени). В качестве первого приближения можно использовать метод вычитания из начального сигнала, скользящего среднего по 18 точкам. Это означает, что в результирующем остаточном временном ряде все периоды больше 0.351 часа будут утеряны.

Обнаруженные периоды колебаний, указанные в таблице, не являются собственными колебаниями белого карлика (периоды колебаний белых карликов лежат в пределах от 100 до 1000 секунд, то есть по частоте от 86.4 до 864.0 циклов/сутки). Временная выборка нашей временной серии позволяет исследовать периодограмму до частоты приблизительно 600 циклов/сутки. Для обнаружения возможного присутствия собственных колебаний белого карлика мы исследовали остаточный временной ряд, после вычитания скользящего среднего, показанного на рисунке 1 красной линией. Остаточный временной ряд показан на рисунке 6.

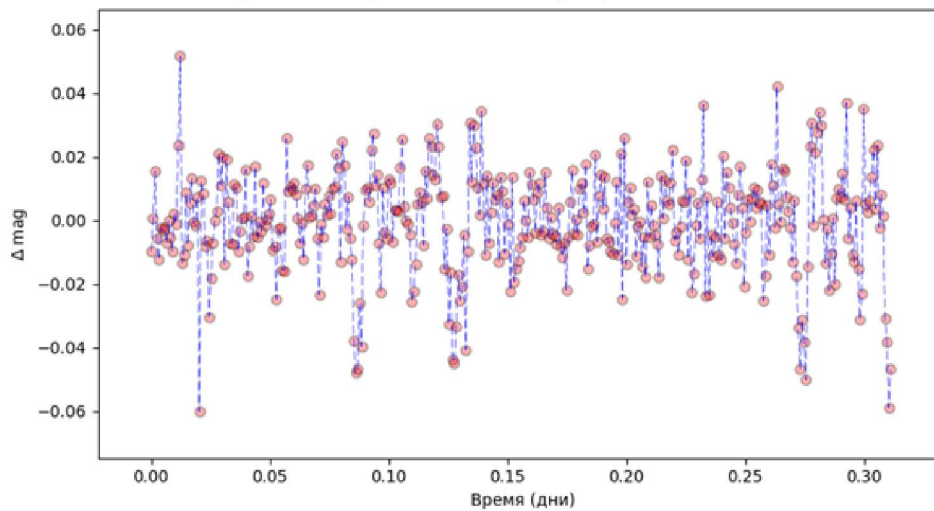


Рисунок 6 - Временной ряд, полученный в результате вычитания из первоначального ряда (рисунок 1) скользящего среднего по 18 точкам

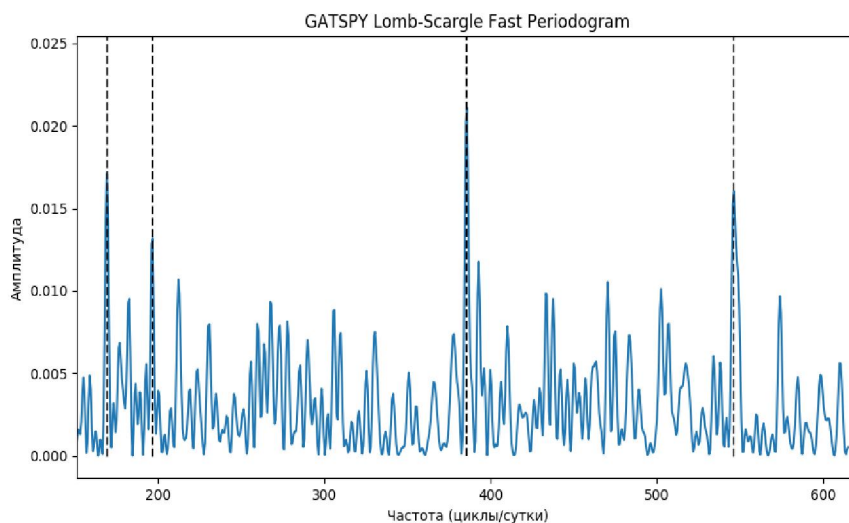


Рисунок 7 - Периодограмма остаточного ряда, показанного на рисунке 6, с индикацией обнаруженных периодов собственных колебаний белого карлика.

Частотный анализ остаточной временной серии проводился в диапазоне от 150 до 600 циклов/сутки. Периодограмма соответствующего частотного диапазона показана на рисунке 7. На рисунке также показаны возможные обнаруженные моды собственных колебаний белого карлика с частотами $g_1 = 169.0450$, $g_2 = 196.4138$, $g_3 = 385.4307$ и $g_4 = 546.1339$, что соответствует периодам $P_1 = 511.10644$ сек., $P_2 = 439.8876$ сек., $P_3 = 224.1648$ сек. и $P_4 = 158.203$ сек. соответственно. Для более достоверного определения значения периодов и подтверждения их наличия в спектре мощности белого карлика необходим анализ более длительных рядов наблюдений.

Работа выполнена при поддержке программы грантового финансирования по проекту № 0075/ГФ4 Комитета науки МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [7] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S., Bieryla A., Irwin J., et al. A Disintegrating Minor Planet Transiting a White Dwarf, *Nature*, V. 52, 2015, P.546–549.
- [8] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A., Croll B., Benni P., Foote J. Drifting asteroid fragments around WD 1145+017, *MNRAS*, V.458, N.4, 2016, P.3904 – 3917.
- [9] Zima W. User Manual for FAMIAS and DAS, *Communications in Asteroseismology*, V.155, 2008, 121p. <http://www.univie.ac.at/tops/CoAst/archive/cia155.pdf>
- [10] Vander Plas J.T., Ivezić Ž. Periodograms for Multiband Astronomical Time Series, *The Astrophysical Journal*, V. 812, 2015, P.15
- [11] Lomb N. R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data, *Ap&SS*, V. 39, 1976, P.477-462.
- [12] Scargle J. D. Studies in astronomical time series analysis, II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data, *The Astrophysical Journal*, V. 263, 1982, P. 835-853.

REFERENCES

- [7] Vanderburg A., Johnson J.A., Rappaport S., Bieryla A., Irwin J., et al. *Nature*, **2015**, V. 52, P.546–549.
- [8] Rappaport S., Gary B. L., Kaye T., Vanderburg A., Croll B., Benni P., Foote J. *MNRAS*, **2016**, V.458, N.4, P.3904 – 3917.
- [9] Zima W. *Communications in Asteroseismology*, **2008**, V.155, 121p. <http://www.univie.ac.at/tops/CoAst/archive/cia155.pdf>
- [10] Vander Plas J.T., Ivezić Ž. *The Astrophysical Journal*, **2015**, V. 812, P.15.
- [11] Lomb N. R. *Ap&SS*, **1976**, V. 39, P.477-462.
- [12] Scargle J. D. *The Astrophysical Journal*, **1982**, V. 263, P. 835-853.

ӘОЖ: 524.38

А.В. Серебрянский, Л.И. Шестакова, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

WD1145 + 017 АҚ ЕРГЕЖЕЙДІҢ ЖАРҚЫРАУ ҚИСЫҒЫНЫҢ ТАЛДАУЫ

Аннотация. 2017 жылдың 26/27 наурыздың түнінде ТШАО 1-м телескобында WD1145 + 017 ақ ергежейдің бірқатар уақыттық бақылауларының талдау нәтижелері көрсетілген. FAMIAS және GATSPY пакет-тері арқылы спектрлік анализдер жүргізілді. Талдаудың нәтижелері, негізгі периодтық ақ ергежейдің дискі бойынша планетоидтың сынықтармен өтуі кезінде байқалады. Тәулігіне орташа жиіліктің мәні 5.7912 цикл, ол 4.1442 сағат периодына сәйкес келеді. Ақ ергежейдің меншікті тербелісі болып табылмайтын, тәулігіне жиілігі 27 ден 48.7 циклді 3 тербеліс модасы табылды. Ақ ергежейдің меншікті тербелістері тәулігіне 169.045, 196.414, 385.431 және 546.134 циклдік жиілікпен анықталды.

Түйін сөздер: ақ ергежей, сынық диск, планетоид, транзит, тербеліс.

Сведения об авторах:

Серебрянский Александр Владимирович - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. сектором, т.+7 (747)9393892, р.т.2607441, факс.2607590, aserebrvanskiv@yahoo.com

Шестакова Любовь Илларионовна - канд.ф.-м. наук, астрофизик, адрес: 050020, Алматы, Обсерватория, д.23. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», зав. лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 777 16 33 154, р.т. 260 74 41, факс. 260 75 90, shest1952@mail.ru

Рева Инна Владимировна - образование высшее. Место работы: ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова», МНС лаб. физики звезд и туманностей, т. +7 707 531 38 55, р.т. 260 75 90, факс. 260 75 90, alfekka@list.ru