

УДК 524.387-6

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛОДЫХ ПРЕДКАТАКЛИЗМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ HS 1857+5144 И ABELL 65

© 2009 В. В. Шиманский¹, С. А. Позднякова¹, Н. В. Борисов², И. Ф. Бикмаев¹,
В. В. Власюк², О. И. Спиридонова², А. И. Галеев¹, С. С. Мельников¹

¹Казанский государственный университет, Казань, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 20 мая 2009 г.; принята в печать 29 июня 2009 г.

В работе выполнено исследование физического состояния и характеристик тесных двойных систем HS 1857+5144 и Abell 65. Спектры обеих звезд для широкого набора фаз орбитальных периодов получены на БТА САО РАН, а мультиполосные кривые блеска — на РТТ150 и Цейсс-1000 САО РАН. Показано, что Abell 65 и HS 1857+5144 являются молодыми предкатаклизмическими переменными (ПП) с орбитальными периодами $P_{orb} = 1.^d003729$ и $P_{orb} = 0.^d26633331$ соответственно. Наблюдаемые изменения блеска и спектра в течение орбитального периода обусловлены облучением холодной компоненты, поглощающей коротковолновое излучение горячей компоненты и переизлучающей его в видимой области спектра. Совместное исследование кривых блеска и лучевых скоростей систем позволило получить возможные и оптимальные наборы их фундаментальных параметров. Обнаружено, что вторичные компоненты HS 1857+5144 и Abell 65 обладают характерными для подобных объектов избытками светимости относительно звезд Главной Последовательности. Анализ избытков светимости вторичных компонент всех молодых ПП указывает на более быструю скорость их релаксации к спокойному состоянию по сравнению с найденной в предшествующих исследованиях.

Ключевые слова: *звезды — свойства, классификация*

1. ВВЕДЕНИЕ

Предкатаклизмические переменные (ПП) принадлежат к разделенным двойным системам (ТДС), однократно прошедшим стадию общей оболочки и выделенных в отдельный класс Риттером [1]. Они содержат горячий субкарлик, находящийся на постгоризонтальной или постасимптотической ветви гигантов, или остывающий белый карлик (главная компонента) в паре со звездой позднего спектрального класса (вторичная компонента). По своему эволюционному статусу ПП являются промежуточной стадией между системами с общими оболочками и катаклизмическими переменными. Поэтому исследование данных объектов позволяет с одной стороны лучше понять механизмы формирования ТДС из широких звездных пар, а с другой — определять фундаментальные параметры систем, в дальнейшем эволюционирующих в катаклизмические переменные. Заметим, что при наблюдениях ПП, как правило, имеется возможность регистрировать излучение обеих компонент без существенного влияния многих искажающих факторов (аккреционные диски, массивные оболочки и т.д.). Это создает оптимальные условия для

определения наборов их фундаментальных характеристик, необходимых для уточнения физического состояния и эволюции компактных объектов и звезд Главной Последовательности (ГП).

Среди ПП выделяют группы старых и молодых объектов, различающихся типом главных компонент (холодные белые карлики или *sdB*- и *sdO*-субкарлики), а также характеристиками наблюдаемого излучения [2]. Молодые ПП, содержащие *sdO*-субкарлики, составляют малочисленную группу. Согласно данным каталога Риттера и Колба [3], обзора [4] и ряда последних работ [5–7], надежно классифицировано около 20 объектов этого типа и не менее 10 считаются вероятными кандидатами. Большинство данных систем малоизучено, несмотря на наличие у них уникальных характеристик излучения и наибольшей эволюционной близости к предшествующей фазе общей оболочки. Для них характерно проявление мощных эффектов облучения, связанных с переработкой коротковолнового излучения горячих компонент в оптическое в атмосфере холодных спутников. Такие эффекты проявляются в кривых блеска, которые близки к синусоидальным (без учета затме-

ний) и имеют амплитуды более $0.^m5$. Кроме того, эффекты облучения оказывают сильное влияние на вид спектра системы, в котором наблюдаются мощные эмиссионные линии водорода, гелия и тяжелых элементов в высоких стадиях ионизации, нехарактерные для холодных звезд.

В выполненных к настоящему времени исследованиях молодых ПП найдено (см. [8]) хорошее соответствие параметров их главных компонент эволюционным трекам одиночных ядер планетарных туманностей. Одновременно в них обнаружено существенное увеличение радиусов и температур вторичных компонент по сравнению со звездами ГП, т.е. наличие у них избытков светимости. Эти избытки составляют до (5–80) L_{bol} звезд ГП соответствующей массы и не коррелируют с амплитудами эффектов облучения. Предполагается [8], что наблюдаемая высокая светимость холодных звезд определяется их остаточным возбуждением после сброса общей оболочки системы. Таким образом, изучая современные характеристики вторичных компонент молодых ПП, можно сделать выводы о физике их существования в фазе общей оболочки, а также о механизмах и темпах релаксации к нормальному состоянию.

В настоящее время корректное определение параметров выполнено практически для всех известных молодых ПП, наблюдаемых в северном полушарии. Поэтому становится актуальной задача поиска и классификации новых систем данного типа и комплексного их изучения. Наилучшими кандидатами для проведения подобных исследований являются ядра планетарных туманностей с вариациями блеска из работ [7, 9] и голубые звезды с эмиссионными спектрами из каталогов SDSS [10] и HQS [11]. Поэтому объектами настоящего исследования были выбраны двойная система с горячим белым карликом HS 1857+5144 и ядро планетарной туманности с сильными изменениями блеска Abell 65.

HS 1857+5144 открыта Юнгеровитом и др. [12] при анализе слабых голубых звезд с композиционными спектрами из обзора HQS [11]. По результатам двухполосных фотометрических наблюдений авторы показали, что изменения блеска объекта имеют синусоидальный характер с периодом $P_{orb} = 0.^d26633357$ и амплитудами $0.^m65$ и $1.^m02$ в полосах B и R соответственно. В спектрах системы на фоне плоского голубого континуума наблюдаются эмиссионные линии HI , HeI и легких элементов в высоких стадиях ионизации, изменения интенсивности которых строго коррелируют с вариациями блеска. Такие изменения оптического излучения характерны для действия эффектов облучения в молодых ПП с экстремально горячими $T_{eff} > 60000K$ главными компонентами. Наличие подобной компоненты в

HS 1857+5144 подтверждается наблюдениями широких, абсорбционных линий HI в спектрах фаз минимума блеска. Анализ профилей этих линий методом моделирования спектров с учетом отклонений от ЛТР дает возможность оценить параметры атмосферы горячей звезды в диапазонах $70000K < T_{eff}(1) < 100000K$ и $8.0 < \lg g < 8.5$. Ее функция масс $f(M_1) = 0.175M_{\odot}$, найденная по доплеровским смещениям эмиссионных линий, определяет нижний предел массы на уровне $M_1 > 0.175M_{\odot}$. Итоговый анализ всех полученных данных позволил авторам [12] классифицировать HS 1857+5144 как новую молодую предкатаклизмическую переменную типа ВЕ UMa, содержащую горячий белый карлик и звезду ГП спектрального класса $M4-M6$.

Впервые фотометрическая переменность ядра планетарной туманности Abell 65 отмечена в обзоре Бонда и Ливио [9]. Авторы указали, что объект в течение четырех последовательных ночей наблюдений имел повторяющиеся, правильные изменения блеска с амплитудой $\Delta m_V \approx 0.^m5$ без заметного фликкеринга. В результате система была включена в список кандидатов в предкатаклизмические переменные с вероятным орбитальным периодом около суток. Позднее Велш и Вельтон [13] в полученном спектре ядра Abell 65 обнаружили мощные эмиссионные линии HI , $HeI - II$, $CII - III$, $NII - III$, OII на фоне сильного ультрафиолетового континуума. Интенсивность водородных и запрещенных линий в спектре туманности Abell 65 позволила оценить температуру центральной звезды на уровне $T_{eff}(1) \approx 85000K$. В целом характеристики излучения данной туманности и ее ядра были схожи с характеристиками молодых ПП с sdO -субкарликами KV Vel [14], VW Pux [15] и V664 Cas [16].

Таким образом, в рамках настоящей работы решалась задача определения фундаментальных параметров HS 1857+5144 и Abell 65 и сравнения особенностей физического состояния их компонент с найденными ранее для других молодых ПП.

В разделе 2 описаны проведенные спектроскопические и фотометрические наблюдения обеих звезд и процесс их обработки. В разделе 3 представлены исправленная эфемерида HS 1857+5144 и найденная эфемерида Abell 65. Раздел 4 содержит результаты анализа спектров и кривых лучевых скоростей обеих систем. Моделирование и исследование кривых блеска HS 1857+5144 и Abell 65 с определением наборов их фундаментальных параметров представлено в разделах 5 и 6 соответственно. В разделе 7 характеристики главных и вторичных компонент молодых ПП обсуждаются с точки зрения современных взглядов на процесс их эволюции после выхода из стадии общей оболочки.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

2.1. Спектроскопия

Спектры умеренного разрешения HS 1857+5144 и Abell 65 получены на 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории Российской Академии Наук (САО РАН) в 2003–2008 гг. Для последующего проведения калибровок длин волн и вычисления потоков излучения от обеих систем одновременно с ними регистрировались спектры *Ar-Ne-He*-лампы и стандартов HZ 44 и BD 28° 4211 из обзора [17].

Все спектроскопические наблюдения Abell 65 выполнены только в хороших и отличных погодных условиях, однако низкое положение объекта над горизонтом обуславливало большой (более 2'') размер звездных изображений. Сет предварительных наблюдений проведен 3 августа 2003 г. на спектрографе с длинной щелью *UAGS* [18] с применением ПЗС-матрицы фирмы *Photometrics* (1024 × 1024 пиксела размером 24 × 24 мкм) и дифракционной решетки 1302 штрихов/мм. Дисперсия в спектрах составила 1.2 Å/пиксел, а спектральное разрешение $\Delta\lambda = 2.9 \text{ \AA}$ в исследуемом диапазоне длин волн 3930–5100 Å. Всего получено 3 спектрограммы с одинаковой продолжительностью экспозиций 300 секунд и отношением $S/N = 35$. Их обработка выполнена по стандартной схеме средствами системы обработки астрономических данных *MIDAS* [19].

Все последующие спектральные наблюдения обеих систем осуществлены в первичном фокусе с применением редуктора светосилы *SCORPIO* [20] в режиме спектроскопии с длинной щелью и *EEV 42 – 40 CCD*-приемником (2048 × 2048 пиксела размером 13.5 × 13.5 мкм). Для получения спектров применялась гризма *VPHG1200g* (1200 штрихов/мм), обеспечивающая спектральное разрешение $\Delta\lambda = 5.5 \text{ \AA}$ в интервале длин волн 3950–5700 Å. Наблюдения Abell 65 выполнены 26, 29 и 30 августа 2006 г., 11 и 22 мая, 18 и 20 июля 2007 г. и 9 августа 2008 г. В общей сложности получена 31 спектрограмма с продолжительностью экспозиций 300 секунд и отношением $S/N = 40–80$. Аналогичные наблюдения HS 1857+5144 проведены 7, 11 и 27 мая, 18 и 20 июля 2007 г. в хороших и удовлетворительных погодных условиях. В результате нами получены 28 спектрограмм со средним отношением $S/N = 45$.

При первичной обработке результатов спектральных наблюдений HS 1857+5144 и Abell 65 в 2006–2008 гг. использовались пакеты редукции астрономических данных системы *IDL*, разработанные и предоставленные нам В. Л. Афанасьевым. Для последующего анализа спектры систем были

нормированы на континуум с применением графического пакета *Origin 4.0*. В процессе нормировки уровень континуума определялся по участкам спектра шириной не менее $\Delta\lambda = 10 \text{ \AA}$, свободным от эмиссионных или абсорбционных линий с эквивалентной шириной более $W_\lambda = 0.03 \text{ \AA}$. Выбор участков производился путем сравнения спектров исследуемых звезд с аналогичными спектрами звездой ПП ВЕ UMa из работы [21].

Журналы спектральных наблюдений HS 1857+5144 представлены в Табл. 1, а Abell 65 — в Табл. 2 и содержат сведения о гелиоцентрических юлианских датах *HJD* в момент наблюдений, фазах φ найденных орбитальных периодов (см. ниже) и гелиоцентрических лучевых скоростях V_r .

2.2. Фотометрия

Большие зенитные расстояния Abell 65 при наблюдениях в северном полушарии и особенность ее орбитального периода (см. ниже) делают затруднительным получение полных кривых блеска в нескольких фотометрических полосах. Поэтому мы выполнили долговременные фотометрические наблюдения этой системы только в полосе *V*, где влияние атмосферной экстинкции относительно мало, а действие эффектов облучения максимально. Наблюдения проводились на Российско-Турецком 1.5-м телескопе (РТТ–150) в Национальной обсерватории ТЮБИТАК (Турция) при хороших погодных условиях в течение 9 ночей в 2005–2007 гг. В качестве детектора в 2005–2006 гг. использовалась ПЗС-матрица *ANDOR* (2048 × 2048 пикселей размером 13.5 × 13.5 мкм) с глубоким термоэлектрическим охлаждением (–60° С), размещенная в касегреновском фокусе телескопа, а в 2007 г. — прибор *TFOSC*, оснащенный ПЗС-матрицей, охлаждаемой азотом. Техническое описание прибора *TFOSC* дано по адресу: <http://astroa.physics.metu.edu.tr/tug/tfosc.html>. Всего получено 896 изображений в полосе *V* и по 9 — в полосах *B* и *R* с продолжительностью одной экспозиции 60 секунд, а полного наблюдательного ряда более 22 часов.

Фотометрические наблюдения HS 1857+5144 выполнены 10 сентября 2007 г. на мультиполосном фотометре 1-м телескопа Цейсс-1000 САО РАН одновременно в полосах *B*, *V* и *Rc* (далее по тексту *R*). В ходе работы мы использовали матрицу *EEV CCD 42 – 40* размером 2048 × 2048 пикселей, охлаждаемую азотом, и широкополосные фильтры, реализующие фотометрическую систему Коузинса. В результате наблюдений, проведенных в удовлетворительных погодных условиях с размером звездных изображений около $d = 2.2''$, получено

Таблица 1. Журнал спектроскопических наблюдений HS 1857+5144. *HJD* — гелиоцентрическая юлианская дата, φ — фазы орбитального периода согласно уточненной эфемериде, $V_r^{(1)}$ и $V_r^{(2)}$ — гелиоцентрические лучевые скорости главной и вторичной компонент

<i>HJD</i>	φ	$V_r^{(1)}$	$V_r^{(2)}$	<i>HJD</i>	φ	$V_r^{(1)}$	$V_r^{(2)}$
2454000+		км/сек	км/сек	2454000+		км/сек	км/сек
228.375	0.669			247.404	0.118	28	336
228.379	0.684	272		247.408	0.134		
228.383	0.699			247.412	0.149		
228.480	0.061			247.416	0.164	7	382
228.484	0.077	55		247.421	0.179		
228.488	0.092			300.411	0.144	-10	338
232.377	0.697			300.417	0.164		
232.381	0.712	274	-7	300.421	0.179	-16	372
232.386	0.728			300.425	0.194		
232.497	0.147	-4	352	302.346	0.408		326
232.501	0.162			302.350	0.423		
247.321	0.806			302.432	0.732		
247.325	0.821		19	302.437	0.749	261	5
247.331	0.841			302.441	0.764		

по 64 пригодных для анализа ПЗС-изображения HS 1857+5144 в каждой полосе с длительностью экспозиций 60 (полосы *R* и *V*) и 120 (полоса *B*) секунд.

Все фотометрические данные обработаны с применением пакета *MAXIM DL*. В качестве объектов сравнения выбирались звезды близкой яркости, попадающие в поле ПЗС-матрицы. Сравнение блеска звезд показало, что ошибки дифференциальной фотометрии HS 1857+5144 составили $\Delta m_V = 0.^m02$, а Abell 65 — до $\Delta m_V = 0.^m05$.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФЕМЕРИД И ОРБИТАЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ

Эфемериды HS 1857+5144

$$HJD = 2452831.5475(\pm 0.0017) + 0.26633357(\pm 0.00000008) \times E$$

получена Юнгеровитом и др. [12] по фотометрическим наблюдениям в 2003–2006 гг. Построенные

с ее применением кривые блеска системы показывают синхронное смещение моментов минимума на $\Delta\varphi = 0.0055$ относительно фазы $\varphi = 0.0$. Поэтому, используя моменты минимумов блеска HS 1857+5144 из указанной работы и наших наблюдений, мы переопределили эфемериду как:

$$HJD = 2452831.5475(\pm 0.0017) + 0.26633331(\pm 0.0000001) \times E.$$

Полученные кривые блеска объекта во всех полосах показаны на Рис. 1. Исправленное значение орбитального периода отличается от данных [12] на $\Delta P_{orb} = 0.^d00000026$, что в 3 раза больше указанной авторами ошибки. Однако продолжительность наблюдательного ряда в работе [12] составляла около 4000 орбитальных периодов и обеспечивала истинную точность определения P_{orb} не выше $\sigma = 0.^d00000025$. Поэтому мы считаем, что различие двух значений P_{orb} не связано с реальными изменениями орбитального движения компонент.

Для получения эфемериды и орбитального периода Abell 65 ее фотометрические наблюдения

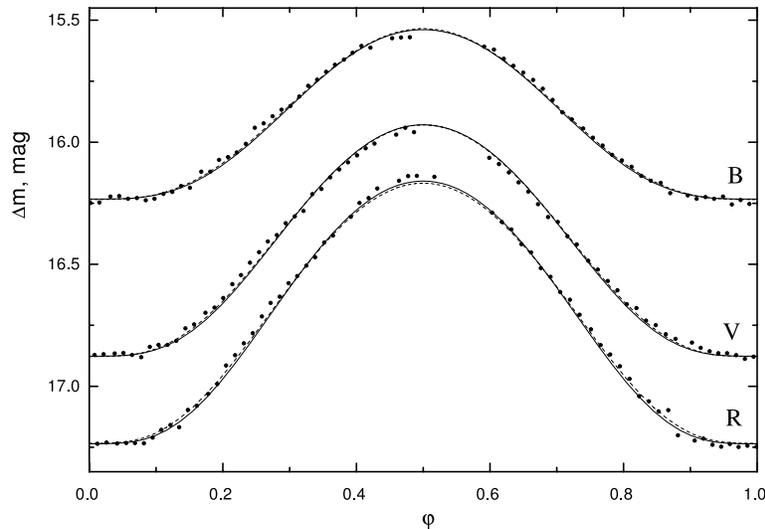


Рис. 1. Наблюдаемые (кружки) и теоретические кривые блеска HS 1857+5144 в полосах *B*, *V* и *R* для вариантов расчетов с эффективной температурой главной компоненты 80000K (сплошные линии) и 70000K (штриховые линии).

в 2005–2008 гг. проанализированы с использованием программы *WINEFK* В. П. Горанского (ГАИШ). С учетом замечаний Бонда и Ливлио [9], Люи и Хилвига [23] о близости орбитального периода системы к одним суткам, поиск его величины проводился в диапазоне $P_{orb} = (0.8–1.2)^d$ с шагом $\Delta P_{orb} = 0.^d0000001$. В результате нами получена следующая эфемериды Abell 65:

$$HJD = 2454300.298(\pm 0.001) + \\ + 1.003729(\pm 0.000007) \times E.$$

Итоговая кривая блеска в полосе *V* представлена на Рис. 2.

4. АНАЛИЗ СПЕКТРОВ HS 1857+5144 И ABELL 65

Усредненные спектры HS 1857+5144 и Abell 65 для различных фаз орбитальных периодов показаны на Рис. 3 и 4. В фазах, близких к минимуму блеска, наблюдаются линии поглощения H_β , H_γ и $HeII$ $\lambda 4686\text{\AA}$, формирующиеся в излучении главной компоненты. Значительная эквивалентная ширина линий H_β и H_γ в спектре HS 1857+5144 (соответственно, $W_\lambda = 17\text{\AA}$ и $W_\lambda = 22\text{\AA}$) при полуширине их профилей около $\Delta\lambda = 27\text{\AA}$ подтверждает данные Юнгеровита и др. [12] о принадлежности этой компоненты к белым карликам с $\log g \approx 8.0$. В спектре Abell 65 для фазы $\varphi = 0.00$ линия H_γ оказывается значительно слабее линии

H_β . Анализ полученных ПЗС-изображений показал, что усиление последней объясняется частичным поглощением излучения звезды окружающей планетарной туманностью и используемой методикой обработки спектров, т.е. носит искусственный характер. В целом, сравнение спектров поглощения двух объектов позволяет сделать вывод о более высокой температуре и светимости главной компоненты Abell 65. Кроме того, в ее излучении даже в минимуме блеска (см. Рис. 4) наблюдается эмиссионная бленда *CNO* ($\lambda = 4620 - 4655\text{\AA}$), что свидетельствует о значительном наклоне орбиты системы к лучу зрения.

С возрастанием блеска HS 1857+5144 и Abell 65 в их спектрах появляются многочисленные эмиссионные линии водорода, гелия и тяжелых элементов во второй и третьей стадиях ионизации, формирующиеся в облученной атмосфере вторичных компонент. Их полуширина варьируется от $\Delta\lambda \approx 10\text{\AA}$ для линии H_β до $\Delta\lambda \approx 6\text{\AA}$ для неблендированных линий металлов и определяется эффектами штарковского уширения и аппаратной функцией спектрографа. Изменение интенсивности всех линий происходит синхронно с изменениями блеска, обусловленным эффектом облучения. В целом, можно констатировать хорошее соответствие спектров HS 1857+5144, Abell 65 и молодых ПП с *sdO*-субкарликами BE UMa [21] и V664 Cas [16], что подтверждает принадлежность всех систем к одной группе. Отметим, что существенное усиление линий *HI* при слабости бленды *CNO* $\Delta\lambda = 4620 - 4655\text{\AA}$ в спектрах HS 1857+5144 указывает на температуру газа

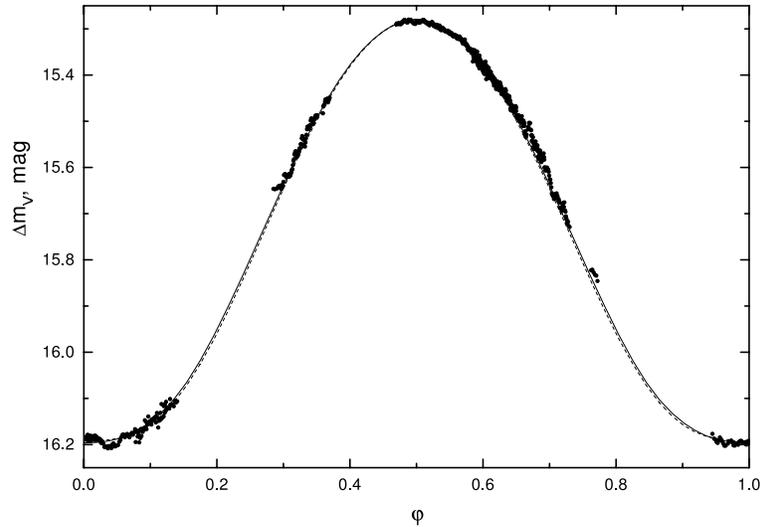


Рис. 2. Наблюдаемые (кружки) и теоретические кривые блеска Abell 65 в полосе V для вариантов расчетов с эффективной температурой главной компоненты $102000K$ (сплошная линия) и $94000K$ (штриховая линия).

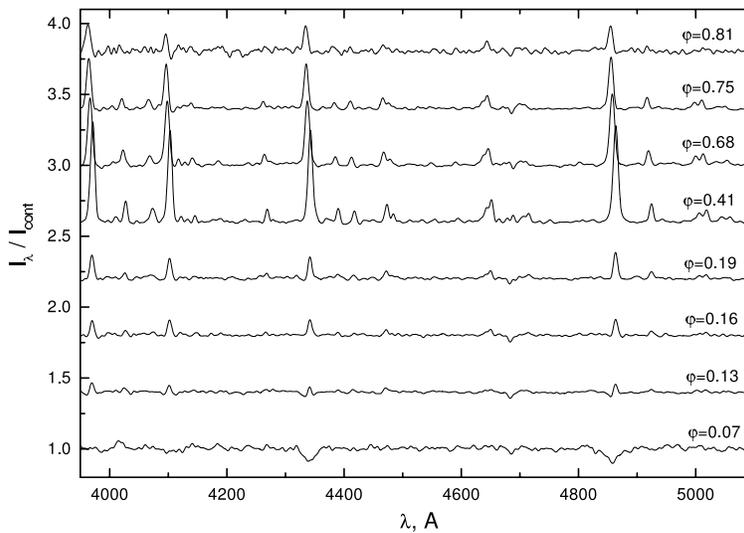


Рис. 3. Нормированные спектры NS 1857+5144 для различных фаз орбитального периода. Спектры имеют последовательный сдвиг вдоль вертикальной оси на 0.4.

в зоне их формирования порядка $T_e \approx 15000K$. В спектрах Abell 65 наблюдаются интенсивная бленда CNO , а также эмиссионная линия $HeII$ $\lambda 4686\text{\AA}$, позволяющие оценить температуру газа на уровне $T_e \approx 22000K$. Таким образом, в системе Abell 65 происходит более сильное облучение вторичной компоненты, что соответствует выводу о высокой светимости ее sdO -субкарлика.

Измерение лучевых скоростей выполнено методом кросс-корреляции спектров. В качестве спектра сравнения выбиралась одна из спек-

трограмм с высоким отношением S/N , полученная в фазах минимума блеска (при нахождении скоростей главной компоненты) или максимума блеска (при нахождении скоростей вторичной компоненты). При определении величин V_r выбирались спектральные участки с линиями, формирующимися только в главной или вторичной компоненте. Лучевые скорости вторичных компонент обеих систем измерены по эмиссионным линиям HeI $\lambda 4387\text{\AA}$, HeI $\lambda 4471\text{\AA}$, HeI $\lambda 4921\text{\AA}$, HeI $\lambda 5017\text{\AA}$, OII $\lambda 4416\text{\AA}$ и бленде CNO

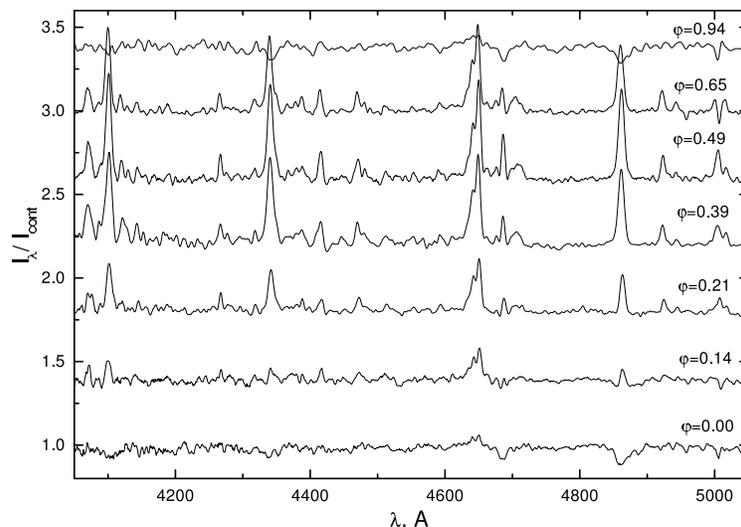


Рис. 4. Нормированные спектры Abell 65 для различных фаз орбитального периода. Спектры имеют последовательный сдвиг вдоль вертикальной оси на 0.4.

в диапазоне $\Delta\lambda = 4620 - 4655\text{\AA}$, исследуемым совместно. Лучевые скорости белого карлика в HS 1857+5144 найдены по абсорбционному профилю линии $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$. В спектрах Abell 65 данная линия имеет сильную эмиссионную компоненту даже в фазах минимума блеска и не пригодна для определения V_r . Кросс-корреляционный анализ спектров проводился в пределах диапазонов $\Delta\lambda = 10\text{\AA}$, содержащих выбранные линии с центрами, соответствующими их лабораторным длинам волн. Ошибки измерений, вызванные низким отношением S/N в исследуемых спектрограммах, составляли $\Delta V_r \approx 24$ км/сек для главной компоненты HS 1857+5144 и до $\Delta V_r = 32$ км/сек для вторичных компонент обеих систем. Для их минимизации мы выполнили частичное усреднение найденных величин V_r внутри отдельных блоков наблюдений (см. Табл. 1). Полученные значения V_r представлены в Табл. 1 и 2 и на Рис. 5 и 6.

Анализ кривых лучевых скоростей проведен в рамках пакета графической обработки данных Origin 4.0 с определением параметров орбит методом градиентного спуска и минимизацией квадратов невязок величин V_r .

Аппроксимации кривых лучевых скоростей компонент HS 1857+5144, полученных в рамках модели круговой орбиты (см. Рис. 5), в пределах точности измерений согласуются с наблюдаемыми изменениями V_r . Амплитуды лучевых скоростей белого карлика и холодной звезды, соответственно, равны $K_1 = 148.8 \pm 4.0$ км/сек и $K_2 = 198.3 \pm 5.8$ км/сек. При численном моделировании профилей линии $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$ для

найденного в дальнейшем набора параметров HS 1857+5144 (см. ниже) показано, что в фазах $\varphi = 0.70 - 1.30$ слабая эмиссия, формирующаяся в излучении холодной компоненты, искусственно увеличивает амплитуду K_1 на 17 км/сек. Таким образом, мы определили итоговую амплитуду лучевой скорости главной компоненты как $K_1 = 131.8 \pm 4.0$ км/сек. Найденная из наших наблюдений амплитуда K_2 получена по относительно небольшой выборке значений. Поэтому мы объединили наши данные с результатами работы [12] и выполнили их совместный анализ. Итоговая кривая лучевых скоростей, представленная на Рис. 5, имеет амплитуду $K_2 = 193.2 \pm 3.6$ км/сек. Анализ формирования спектров HS 1857+5144 на основе их численного моделирования с итоговыми набором фундаментальных параметров (см. ниже.) показал, что поправка амплитуды, обусловленная различием скоростей центра масс вторичной компоненты и горячего пятна на ее поверхности, составляет $\Delta K_2 = 6$ км/сек. В результате исправленная амплитуда $K_2 = 199.2 \pm 3.6$ км/сек.

Зная амплитуды компонент и орбитальный период, мы нашли функции масс звезд в HS 1857+5144: $f(M_1) = 0.219 \pm 0.012M_\odot$ и $f(M_2) = 0.063 \pm 0.006M_\odot$. Как будет показано ниже, численный анализ наблюдаемых кривых блеска HS 1857+5144 с учетом эффектов облучения и несферичности компонент дает угол наклона орбиты в узком диапазоне значений $i = 75^\circ \pm 3^\circ$. Это позволило нам вычислить массы обеих компонент $M_1 = 0.61 \pm 0.04M_\odot$, $M_2 = 0.41 \pm 0.03M_\odot$, а также величину большой полуоси $A = 1.75 \pm 0.03R_\odot$.

Таблица 2. Журнал спектроскопических наблюдений Abell 65. Обозначения аналогичны Табл. 1

HJD	φ	$V_r^{(2)}$	HJD	φ	$V_r^{(2)}$
2450000+		км/сек	2450000+		км/сек
2855.340	0.380	10	4243.514	0.395	22
2855.350	0.390	23	4243.518	0.399	23
2855.361	0.401	-3	4300.328	0.998	
3595.397	0.686	-146	4300.335	0.005	-63
3974.315	0.197	51	4300.340	0.010	
3974.327	0.209	64	4300.465	0.134	41
3977.264	0.135	51	4300.469	0.138	15
3977.273	0.143	51	4300.473	0.142	41
3977.280	0.150	38	4302.278	0.941	-75
3977.336	0.206	77	4302.283	0.945	
3977.343	0.213	51	4302.287	0.949	-62
3978.223	0.090		4688.256	0.484	-45
3978.231	0.097		4688.260	0.489	-44
4232.517	0.439	-15	4688.264	0.493	-58
4232.521	0.443	-2	4688.419	0.647	-135
4232.525	0.447	-15	4688.423	0.651	-134
4243.510	0.391	21	4688.427	0.655	-135

Основную неопределенность в найденные значения масс вносят ошибки лучевых скоростей главной компоненты, полученных в ограниченном диапазоне фаз по одной линии $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$.

Амплитуды лучевых скоростей вторичной компоненты Abell 65, найденные в рамках моделей круговой и эллиптической орбит, равны, соответственно, $K_2 = 108.3 \pm 3.5$ км/сек и $K_2 = 107.3 \pm 3.5$ км/сек при возможном эксцентриситете последней $e = 0.03$. Мы оценили различия этих результатов как несущественные и в дальнейшем использовали параметры только круговой орбиты. Поправка амплитуды K_2 , вычисленная при моделировании спектров Abell 65 с различными наборами ее параметров, варьируется в пределах $\Delta K_2 = 12-14$ км/сек. Поэтому итоговая амплитуда лучевых скоростей холодной компоненты равна $K_2 = 121.3 \pm 4.1$ км/сек, а функция масс главной компоненты — $f(M_1) = 0.186 \pm 0.020 M_\odot$.

При согласовании наблюдаемых и теоретических кривых блеска Abell 65 найдено, что величина угла наклона ее орбиты находится в диапазоне

$i = 66^\circ-71^\circ$ в зависимости от задаваемого радиуса вторичной компоненты (см. ниже). В результате масса вторичной компоненты системы может быть установлена только при независимом определении массы sdO -субкарлика. Ее мы определяли (см. ниже) путем сравнения параметров sdO -субкарлика, получаемых при анализе кривых блеска, с данными эволюционных треков Блеккера [22] для ядер планетарных туманностей. В итоге нами найдены представленные в Табл. 4 массы компонент Abell 65.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КРИВЫХ БЛЕСКА NS 1857+5144

Определение параметров NS 1857+5144 и Abell 65 проводилось путем согласования их теоретических кривых блеска с наблюдаемыми. Теоретические строились с применением программного комплекса *SPECTR* [2, 24], реализующего метод моделирования атмосфер и спектров звезд с внешним облучением в двухпоточковом приближении [25, 26]. Он предусматривает определение формы поверхностей звезд при их частичном заполнении полостей Роша с учетом взаимного

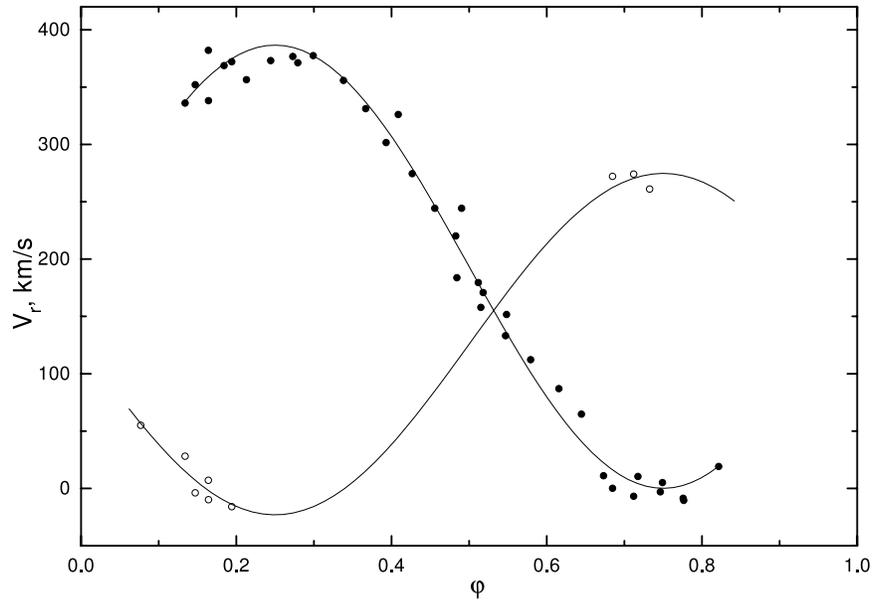


Рис. 5. Лучевые скорости главной (открытые кружки) и вторичной (заполненные кружки) компонент HS 1857+5144. Сплошными линиями показаны аппроксимации в рамках модели круговой орбиты.

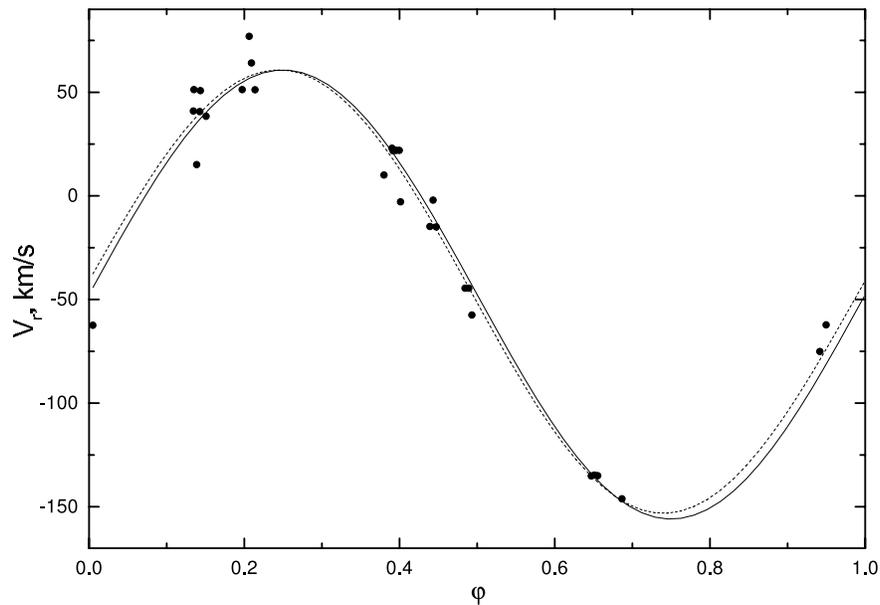


Рис. 6. Лучевые скорости вторичной компоненты Abell 65. Сплошной и штриховой линиями показаны аппроксимации в рамках моделей круговой и эллиптической орбит.

гравитационного влияния и орбитального движения. Далее поверхности разбивались на площадки с шагом в 2° по углам сферической системы координат, для каждой из которых вычислялись локальные значения параметров атмосфер (T_{eff} , $\log g$, $[M/H]$) и внешнего излучения. В качестве

внешнего излучения для холодной звезды принималось излучение звезды с $\log g = 7.0$ и с заданной температурой главной компоненты, для горячей звезды облучение не учитывалось. Температурная структура атмосфер площадок рассчитывалась методом возмущения моделей Куруца [27] с учетом

баланса функций нагрева и охлаждения в них [25]. Корректность вычислений проверялась с помощью программы *BINARY3* [25], реализующей построение бланкетированных моделей атмосфер с внешним облучением. Кроме того, данная программа использована для получения набора моделей атмосфер субкарликов и белых карликов высоких температур, данные для которых отсутствуют в сетках Куруца [27]. Металличность вторичной компоненты принималась равной солнечной с химическим составом, согласно данным Андерса и Гревеса [28]. Возможные отклонения содержания ряда элементов от солнечного будут отмечены нами ниже. Для атмосфер горячих звезд содержания элементов ($[He/H] \approx -0.3$, $[M/H] < -1.5$) оценены по результатам исследования наблюдаемых спектров в фазах $\varphi = 0.06-0.09$, где вклад эмиссионных компонент минимален.

По найденным моделям атмосфер площадок вычислялись удельные интенсивности их излучения. Расчеты проводились в спектральном диапазоне $3600-9600\text{\AA}$ с шагом 0.05\AA с учетом непрерывных источников непрозрачности, затабулированных в программных комплексах *STARDISK* [29] и *SPECTR* [24], около 570000 линий из списков Куруца [27] и молекулярных полос, рассчитанных Я. Павленко (ГАО НАНУ) согласно теории Нерсиян и др. [30]. Профили водородных линий определялись с использованием таблиц уширения Вайдл-Куппер-Смита [31], для остальных линий учитывались доплеровское уширение тепловым движением и микротурбулентностью (принятой как $\xi_{turb} = 1.5 \text{ км/сек}$), естественное затухание, штарковское уширение, заданное аппроксимационной формулой Куруца и Фуренлида [32], и ван-дер-ваальсовское уширение с константами C_6 , полученными по классической оценке Унзоляда [33] с масштабирующим фактором $\Delta \log C_6 = 0.7$. Далее для 72 фаз орбитального периода производилось суммирование интенсивностей всех площадок с учетом условий их видимости и индивидуальных лучевых скоростей. В заключение теоретические спектры систем сворачивались с аппаратной функцией, описываемой гауссианой шириной $\Delta\lambda = 2.9 \text{\AA}$, и кривыми пропускания в исследуемой фотометрической системе [34]. В итоге мы получали синтетические бланкетированные спектры HS 1857+5144 и Abell 65 в оптическом диапазоне длин волн и их кривые блеска в полосах B, V, R .

Наблюдаемые кривые блеска HS 1857+5144, представленные на Рис. 1, показывают отсутствие главного затмения, вызванного покрытием белого карлика холодной звездой. В результате задача нахождения параметров ее компонент из анализа фотометрических данных заметно усложняется по сравнению с затменными системами и может быть

решена только с использованием дополнительных предположений.

В процессе моделирования кривых блеска HS 1857+5144 величины масс M_1, M_2 , большой полуоси A , определенные нами ранее, считались фиксированными. Согласование наблюдаемых и теоретических кривых блеска системы достигалось варьированием свободных параметров, таких, как температуры и радиусы компонент, а также угла наклона орбиты. С целью исключения избыточных свободных параметров мы зафиксировали радиус горячей звезды как $R_1 = 0.02R_\odot$ для всех возможных эффективных температур. Данная величина найдена нами для массы звезды $M_1 = 0.61M_\odot$ (см. выше) с применением эволюционных треков остывающих белых карликов [22]. Ранее было показано [8], что получаемые из наблюдений параметры главных компонент изученных молодых ПП полностью согласуются с теоретическими, определенными по эволюционным трекам звезд соответствующих масс. Мы провели моделирование кривых блеска при трех значениях температуры главной компоненты $T_{eff}(1) = 70000, 80000, 90000K$. Сопоставление теоретической и наблюдаемой кривых блеска и найденные наборы параметров компонент представлены на Рис. 1 и в Табл. 3 в виде средних значений и их дисперсии. Отметим, что отсутствие главного затмения в HS 1857+5144 при большой продолжительности фазы минимума светимости позволило определить угол наклона орбиты к лучу зрения $i = 75^\circ \pm 3^\circ$ и использовать его во всех вариантах описания наблюдаемых кривых блеска.

Рассмотрим полученные характеристики компонент HS 1857+5144 и их физическое состояние с точки зрения современной теории эволюции звезд. На Рис. 7а представлены эволюционные треки Блеккера [22] для ядер планетарных туманностей и отмечено положение главной компоненты для трех вариантов расчетов, а на Рис. 7б — треки маломассивных звезд ГП [35] различных индексов металличности (z) с положениями вторичной компоненты. Как видно на Рис. 7а, для любого набора параметров HS 1857+5144 является одной из наиболее старых систем, относящихся к группе молодых ПП. В зависимости от выбранной температуры главной компоненты время существования объекта после сброса общей оболочки составляет $t = 5 \times (10^5-10^6)$ лет. Главная компонента находится на последовательности остывающих белых карликов, что однозначно определяет ее радиус на уровне $R_1 = 0.02R_\odot$ и упрощает процедуру нахождения остальных параметров системы.

Как было указано выше, наилучшее согласие наблюдаемых и теоретических кривых блеска достигается при температуре горячей звезды $T_{eff}(1) = 90000K$ (соответствующее положение

Таблица 3. Параметры HS 1857+5144

	Компонента	
	Главная	Вторичная
P_{orb} (сут)	0.2663331 ± 0.0000001	
φ_0 (JD)	2452831.5475 ± 0.0017	
K (км/сек)	131.8 ± 3.6	199.2 ± 3.6
q	0.67 ± 0.07	
T_{eff} (K)	80000 ± 10000	4300 ± 200
$\log g$	7.6 ± 0.3	5.05 ± 0.15
M/M_{\odot}	0.61 ± 0.04	0.41 ± 0.03
R/R_{\odot}	0.020 ± 0.003	0.31 ± 0.05
A/R_{\odot}	1.75 ± 0.03	
$i(^{\circ})$	75.0 ± 3.0	

компонент отмечено цифрой 3). В частности, в этом случае удается правильно воспроизвести форму кривой блеска и получить наиболее близкие к наблюдаемым отношения амплитуд переменности в полосах B , V , R . Отметим, что наблюдаемая амплитуда блеска в полосе V всегда оказывается меньше, а в полосе R — больше теоретической. Как показали наши тестовые расчеты, данные различия невозможно объяснить несолнечным химическим составом атмосфер главной и вторичной компонент HS 1857+5144. Вероятной причиной их появления является неучет в нашем исследовании дифференциальной поправки за цвет объекта при его большом зенитном расстоянии в конце ночи наблюдений. При $T_{eff}(1) = 90000 K$ параметры вторичной компоненты и ее положение на эволюционных треках хорошо согласуется с найденной нами массой $M_2 = 0.41M_{\odot}$, однако величина ее радиуса составляет $R_2 = 0.26R_{\odot}$, что соответствует звездам, находящимся ниже ГП. Кроме того, время эволюции HS 1857+5144 после сброса общей оболочки в этом случае не превышает $t = 6 \times 10^5$ лет, что предполагает наличие не обнаруженного нами большого избытка светимости вторичной компоненты, характерного для других известных молодых ПП.

При $T_{eff}(1) = 70000K$ различия наблюдаемых и теоретических кривых блеска оказываются существенными (более $0.^m05$), но могут быть объяснены ошибками обработки наблюдений. Данный вариант предпочтителен с точки зрения теории звездной эволюции, поскольку возраст системы после выхода из общей оболочки оказывается до-

статочным ($t > 10^6$ лет) для уменьшения избытка светимости вторичной компоненты до наблюдаемых значений ($\Delta L = 0.24L_{\odot}$). Однако в полученных нами в этом случае теоретических спектрах HS 1857+5144 присутствуют многочисленные абсорбционные линии холодной звезды, отсутствующие в наблюдаемых спектрах с высоким отношением сигнал/шум ($S/N = 70$).

Набор параметров, полученный в варианте расчетов с $T_{eff}(1) = 80000K$, является оптимальным, поскольку с одной стороны обеспечивает хорошее описание наблюдаемых кривых блеска, а с другой — не противоречит прогнозам теории эволюции звезд. Соответствующий полный набор параметров HS 1857+5144 представлен в Табл. 3. Отметим, что уточнить параметры системы можно только после прямого определения эффективной температуры белого карлика из анализа ультрафиолетовых спектров или температуры холодной звезды по инфракрасным фотометрическим наблюдениям.

6. АНАЛИЗ КРИВОЙ БЛЕСКА ABELL 65

Анализ фотометрических наблюдений Abell 65 только в полосе V не позволяет определить набор фундаментальных параметров без использования дополнительных оценок. Принадлежность к классу молодых ПП допускает возможность существования ее главной компоненты как в стадии сжимающегося sdO -субкарлика, так и остывающего белого карлика (см. Рис. 7а). Используя оценку линейного радиуса (примерно

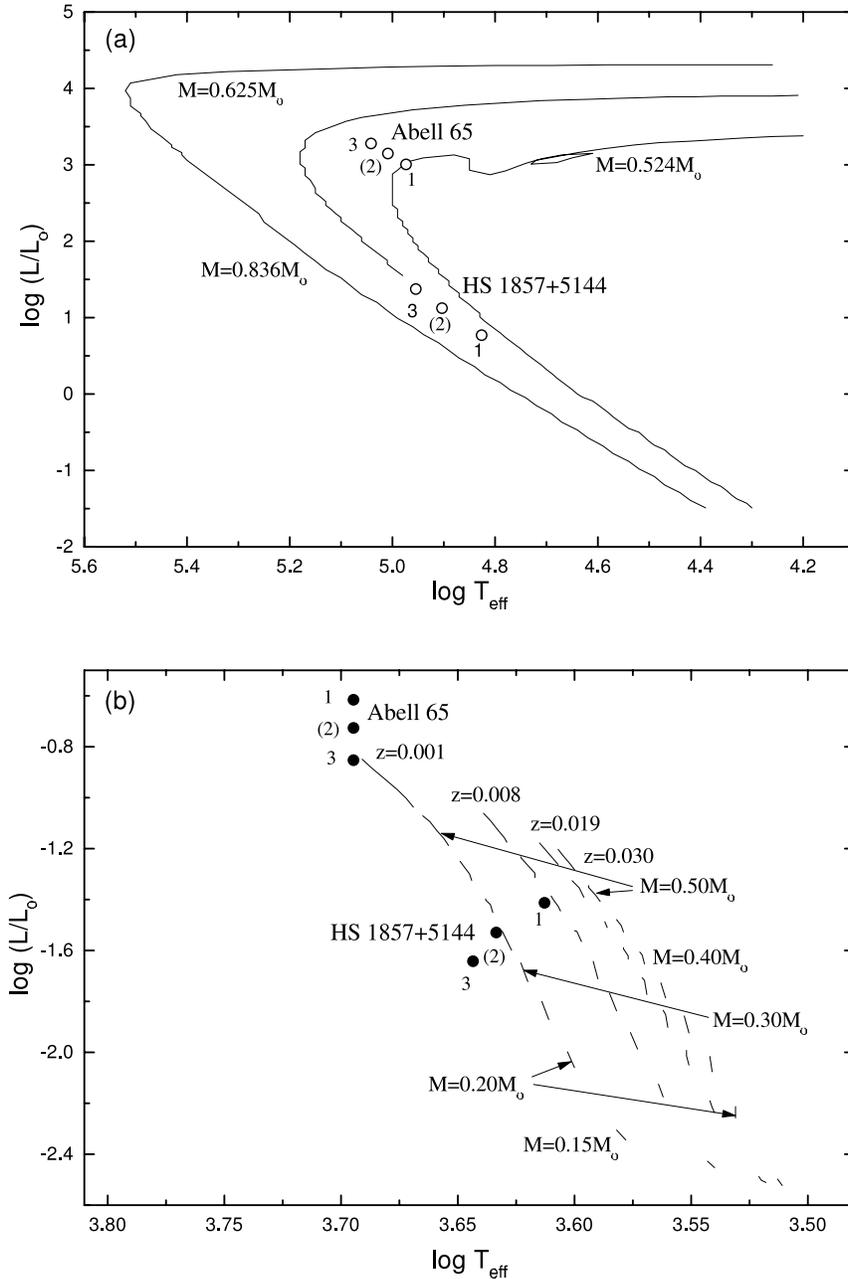


Рис. 7. Эволюционные треки $\log T_{eff}-\log(L/L_{\odot})$ для ядер планетарных туманностей [22] (на (а)) и звезд ГП различных масс (M) и индексов металличности ($z = 0.030, 0.019, 0.008, 0.001$) [34] (на (b)). Положения главных и вторичных компонент HS 1857+5144 и Abell 65 для разных вариантов расчетов отмечены закрытыми и открытыми кружками, номера оптимальных вариантов (см. текст) заключены в скобки.

2 пк) туманности Abell 65 из [13] и принимая скорость ее расширения $V = 16$ км/сек — среднее значение для объектов данного типа, мы нашли, что время эволюции системы после сброса общей оболочки составляет $t \approx 130000$ лет. Сравнение с эволюционными треками [22] показывает, что Abell 65 находится на конечной стадии сжатия *sdO*-субкарлика с наиболее вероятной величиной

радиуса $R_1 = 0.12 \pm 0.04 R_{\odot}$. Спектры системы в фазах минимума блеска (см. Рис. 4) содержат в диапазоне длин волн $4800-5200 \text{ \AA}$ многочисленные линии поглощения нейтральных атомов, возникающие в атмосфере холодной звезды. Для прямого определения ее эффективной температуры $T_{eff}(2)$ (понимаемой нами, как усредненная температура необлученной части поверхности) мы выполнили

анализ интенсивностей этих линий путем численного моделирования спектров Abell 65. В процессе расчетов варьировалась температура вторичной компоненты и вклад излучения главной компоненты, спектр которой для интервала возможных температур $T_{eff}(1) = 90000\text{--}110000\text{ K}$ можно считать постоянным. В результате было найдено, что оптимальное описание интенсивностей бленд линий FeI и TiI с разными потенциалами возбуждения нижних уровней достигается при $T_{eff}(2) = 4950 \pm 250\text{ K}$.

Во всех последующих расчетах кривых блеска Abell 65 мы считали фиксированными радиус главной компоненты $R_1 = 0.12R_\odot$ и температуру вторичной компоненты $T_{eff}(2) = 4950\text{ K}$ и варьировали остальные параметры. Для каждого варианта расчетов задавалась эффективная температура главного компонента $T_{eff}(1)$, для которого с использованием эволюционных треков [22] находилась ее масса. Угол наклона орбиты и радиус холодной звезды определялись по согласованию формы и амплитуды наблюдаемой и теоретической кривых блеска. В заключение определялась большая полуось системы и масса ее вторичной компоненты. Нами выполнено три варианта расчетов, соответствующих оптимальному и предельным значениям эффективной температуры sdO -субкарлика. Итоговые теоретические кривые блеска показаны на Рис. 2, а полученные для них наборы параметров Abell 65 — в Табл. 4 в виде средних значений и их дисперсии.

К сожалению, единственным критерием, определяющим выбор оптимального набора параметров системы, является степень согласия наблюдаемой и теоретической кривых блеска. Анализ показал, что при температурах главной компоненты $T_{eff}(1) < 95000\text{ K}$ теоретическая продолжительность фаз минимума оказывается существенно больше наблюдаемой, а при температурах $T_{eff}(1) > 110000\text{ K}$ — меньше наблюдаемой. Кроме того, нижний предел температуры соответствует массе sdO -субкарлика $M_1 = 0.52M_\odot$, являющейся минимально необходимой для существования яркой планетарной туманности. Оптимальное согласие наблюдаемых и теоретических данных достигается при температуре $T_{eff}(1) = 102000\text{ K}$, для которой в Табл. 4 представлен полный набор фундаментальных параметров Abell 65. Дальнейшее их уточнение возможно на основе анализа как многополосных фотометрических наблюдений объекта, так и его ультрафиолетовой спектроскопии с независимым определением температуры главной компоненты.

7. ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наших исследований HS 1857+5144 и Abell 65 позволяют расширить до 9 систем список молодых ПП с sdO -субкарликами с найденными наборами всех фундаментальных параметров. Параметры 7-ми ранее изученных объектов взяты нами из обзоров [3, 8, 36]. Положение их главных компонент на диаграмме $\log T_{eff} - \log(L/L_\odot)$ показано на Рис. 8а, вторичных компонент на диаграмме $M - \log(L/L_\odot)$ — на Рис. 8б, а зависимость их избыточной светимости от времени жизни систем после сброса общей оболочки — на Рис. 9.

Очевидно, что главные компоненты шести из девяти изученных систем находятся на различных этапах сжатия и нагрева голубых субкарликов и только у трех систем — на стадии охлаждения белых карликов. Среди недавно открытых или малоизученных молодых ПП наблюдается еще больше главных компонент — sdO -субкарликов. Например, к 2009 году было известно не менее 5 подобных систем и только 3 ПП с горячими белыми карликами. В результате масштабного фотометрического обзора ядер планетарных туманностей в галактическом балдже [7] дополнительно открыто 12 молодых ПП с голубыми субкарликами. Однако анализ моделей эволюции ядер планетарных туманностей [37] показывает, что продолжительность жизни звезды в стадии sdO -субкарлика меньше, чем в стадии горячего белого карлика примерно в 10 раз. Таким образом, вероятность открытия новых молодых ПП с sdO -субкарликами ниже, чем объектов с горячими белыми карликами. Количество последних может достигать нескольких сотен даже в ближайших окрестностях Солнца. Отметим, что низкая светимость таких объектов ($m_V = 19^m - 21^m$) делает их труднодоступными для обнаружения. Однако вероятные большие амплитуды изменения блеска ($\Delta m_V \approx 1^m$) позволяют надеяться на открытие значительного числа молодых ПП при детальном анализе фотометрических наблюдений плоскости Галактики.

Массы вторичных компонент восьми исследованных систем не превышают (см. Рис. 8б) $M_1 = 0.41M_\odot$ и хорошо соответствуют массам холодных звезд в старых ПП и молодых ПП с sdB -субкарликами [3]. Таким образом, в настоящее время не наблюдается различия масс вторичных компонент ПП разных типов, что подтверждает их общую физическую природу и формирование при прохождении стадии общей оболочки. Вторичная компонента Abell 65 обладает (10–14)-кратным избытком светимости по сравнению со звездами ПП, что согласуется с 80- и 50-кратными избытками для эволюционно близких систем V477 Луг и VE UMa. Красный карлик в HS 1857+5144 показывает лишь 30-процентную величину избытка,

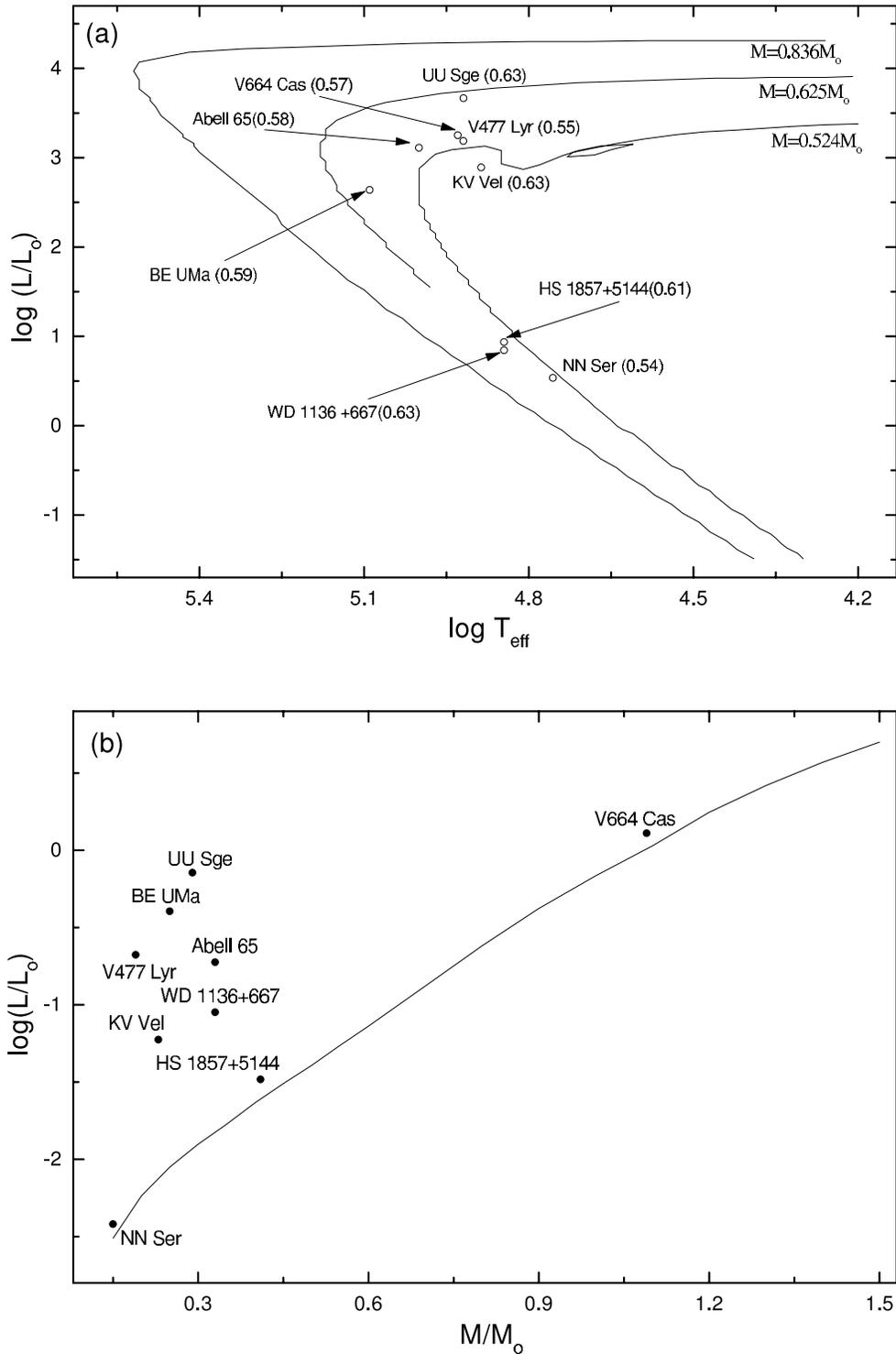


Рис. 8. Эволюционные треки $\log T_{\text{eff}}-\log(L/L_{\odot})$ для ядер планетарных туманностей и горячих белых карликов [22] (на (a)) и зависимость $M-\log(L/L_{\odot})$ для звезд ГП нулевого возраста с $z = 0.019$ [34] (на (b)). Положения главных и вторичных компонент молодых ПП отмечены открытыми и закрытыми кружками, массы главных компонент указаны в скобках.

Таблица 4. Параметры Abell 65

	Компонента	
	Главная	Вторичная
P_{orb} (сут)	1.003729 ± 0.000007	
T_0 (JD)	2454300.298 ± 0.001	
K (км/сек)		121.3 ± 4.1
q	0.59 ± 0.06	
T_{eff} (K)	102000 ± 8000	4950 ± 250
$\log g$	6.0 ± 0.3	4.4 ± 0.2
M/M_{\odot}	0.56 ± 0.04	0.33 ± 0.06
R/R_{\odot}	0.12 ± 0.04	0.59 ± 0.08
A/R_{\odot}	4.05 ± 0.15	
$i(^{\circ})$	68.0 ± 2.0	

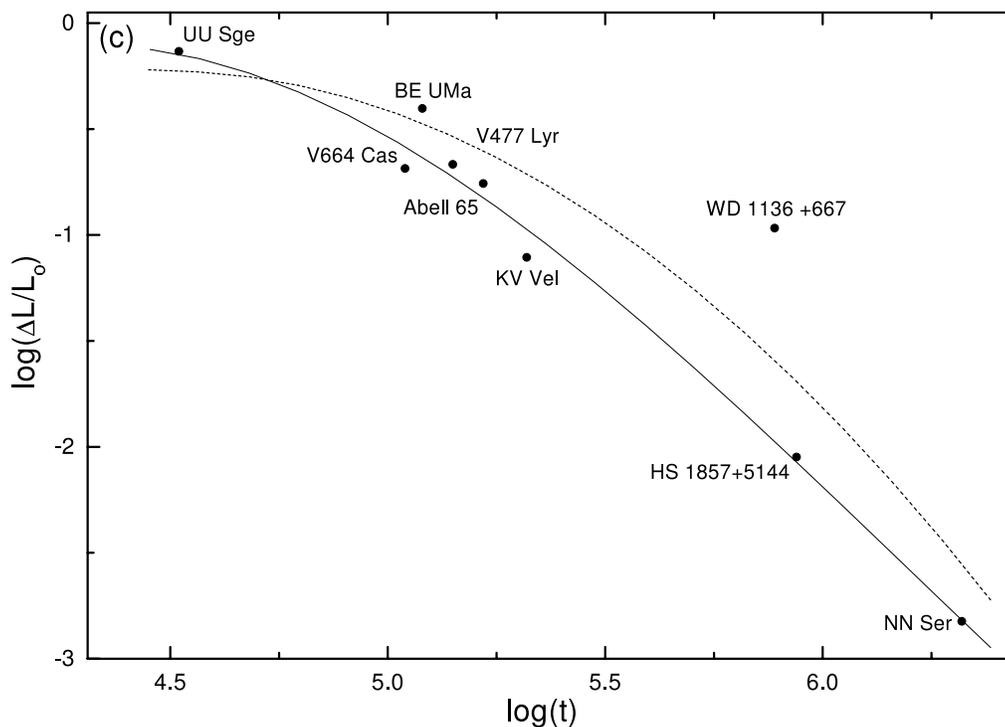


Рис. 9. Зависимость $\log t - \log(\Delta L/L_{\odot})$ для вторичных компонент (см. Рис. 8). Сплошной и штриховой линиями показаны различные варианты аппроксимации наблюдаемых данных (см. текст).

существенно (в 2.5 раза) меньшую чем у холодной компоненты WD 1136+667. Анализ распределения избытков для всех изученных систем с оценкой времени их эволюции после сброса общей оболоч-

ки (см. Рис. 9) подтверждает высказанную ранее гипотезу о релаксации вторичных компонент к нормальному состоянию звезд ГП. Заметим, что красный карлик в WD 1136+667 имеет аномально вы-

сокую светимость для своего возраста, что требует проверки и уточнения набора его фундаментальных параметров. Как видно на Рис. 9, аппроксимация наблюдаемой зависимости $M-\log(L/L_{\odot})$ с исключением данных для этой системы (сплошная линия) существенно отличается от полученной в [8] (штриховая линия) и показывает большие темпы охлаждения звезд после сброса общей оболочки. Перспективы дальнейшего уточнения данной зависимости связаны с масштабным анализом ряда недавно обнаруженных [6, 7] двойных ядер планетарных туманностей, многие из которых являются затменными.

Авторы выражают свою признательность Комитету по Тематике Больших Телескопов (КТБТ) за многолетнюю поддержку тематики наших исследований. Особо благодарим Н. А. Сахибуллина и В. Л. Афанасьева за многочисленные полезные советы и помощь, оказанную при обработке наблюдательных данных, Р. Я. Жучкова за проведение ряда фотометрических наблюдений и ТЮБИТАК за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в г. Анталья). Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, Академии Наук Республики Татарстан (проект 09-02-97017-р-поволжье-а) и президентской программы “Ведущие научные школы” (проект НШ-4224.2008.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Ritter, *Astronom. and Astrophys.* **169**, 139 (1986).
2. В. В. Шиманский, Н. В. Борисов и Н. Н. Шиманская, *Астрон. ж.* **80**, 712 (2003).
3. H. Ritter and U. Kolb, *Astronom. and Astrophys.* **404**, 301 (2003).
4. V. Shimansky, N. Sakhibullin, I. Bikmaev, et al., *Astronom. and Astrophys.* **456**, 1069 (2006).
5. T. Nagel, S. Schuh, D. J. Kusterer, et al., *Astronom. and Astrophys.* **448**, L25 (2006).
6. T. Hillwig, *ASP Conf. Ser.* **313**, 529 (2004).
7. B. Miszalski, A. Acker, A. F. J. Moffat, et al., *Astronom. and Astrophys.* **496**, 813 (2009).
8. В. В. Шиманский, С. А. Позднякова, Н. В. Борисов и др., *Письма в АЖ* **34**, 465 (2008).
9. H. E. Bond and M. Livio, *Astrophys. J.* **355**, 568 (1990).
10. N. M. Silvestri, S. L. Hawley, A. A. West, et al., *Astronom. J.* **131**, 1674 (2006).
11. D. Engels, H. J. Hagen, L. Cordis, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **128**, 507 (1998).
12. A. Aungwerojwit, B. T. Gansicke, P. Rodriguez-Gil, et al., *Astronom. and Astrophys.* **469**, 297 (2007).
13. J. R. Walsh and N. A. Walton, *Astronom. and Astrophys.* **315**, 253 (1996).
14. R. W. Hilditch, T. J. Harries, and G. Hill, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **279**, 1380 (1996).
15. K. M. Exter, D. L. Pollacco, and S. A. Bell, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **348**, 1349 (2003).
16. В. В. Шиманский, Н. В. Борисов, Н. А. Сахибуллин и А. Е. Сурков, *Астрон. ж.* **81**, 620 (2004).
17. R. C. Bohlin, *Astronom. J.* **111**, 1743 (1996).
18. В. Л. Афанасьев, А. Н. Буренков, В. В. Власюк и С. В. Драбек, *Препринт САО РАН, №234*, 128 (1995).
19. P. Ballester, *ESO/ST-ECF Data Analysis Workshop*, 177 (1992).
20. V. L. Afanas'ev, E. B. Gazhur, S. R. Zhelenkov, and A. V. Moiseev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 90 (2004).
21. В. В. Шиманский, Н. В. Борисов, С. А. Позднякова и др., *Астрон. ж.* **85**, 623 (2008).
22. J. Bloeker, *Astronom. and Astrophys.* **299**, 755 (1995).
23. M. N. Louie and T. C. Hillwig, *Bull. Amer. Astronom. Soc.* **41**, 461 (2009).
24. Н. А. Сахибуллин и В. В. Шиманский, *Астрон. ж.* **74**, 432 (1997).
25. Н. А. Сахибуллин и В. В. Шиманский, *Астрон. ж.* **73**, 793 (1996).
26. Д. В. Иванова, Н. А. Сахибуллин и В. В. Шиманский, *Астрон. ж.* **79**, 433 (2002).
27. R. L. Kurucz, *SAO CD-Roms*, (Cambridge, MA02138, USA, 1994).
28. E. Anders and N. Grevesse, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 197 (1989).
29. V. F. Suleymanov, *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 197 (1992).
30. С. Е. Нерсисян, А. В. Шаврина и А. А. Яремчук, *Астрофизика* **30**, 247 (1989).
31. C. R. Vidal, J. Cooper, and E. W. Smith, *Astrophys. J. Suppl.* **25**, 37 (1973).
32. R. L. Kurucz and I. Furenlid, *Sample Spectral Atlas for Sirius*. *SAO Special Rep.* **387**, 1 (1979).
33. A. Unsold, *Physik der Sternatmosphären*, (Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1955).
34. В. Л. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд* (Вильнюс, Моклас, 1977).
35. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **141**, 371 (2000).
36. O. De Marco, T. C. Hillwig, and A. J. Smith, *Astronom. J.* **136**, 323 (2008).
37. I. J. Iben and A. Tutukov, *Astrophys. J.* **418**, 343 (1993).

**ANALYSIS OF THE OPTICAL EMISSION OF THE YOUNG PRECATAclysmic
VARIABLES HS 1857+5144
AND ABELL 65**

**V. V. Shimansky, S. A. Pozdnyakova, N. V. Borisov, I. F. Bikmaev, V. V. Vlasyuk, O. I. Spiridonova,
A. I. Galeev, S. S. Mel'nikov**

We analyze the physical state and the properties of the close binary systems HS 1857+5144 and Abell 65. We took the spectra of both systems over a wide range of orbital phases with the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS) and obtained their multicolor light curves with the RTT150 and Zeiss-1000 telescopes of the SAO RAS. We demonstrate that both Abell 65 and HS 1857+5144 are the young precataclysmic variables (PV) with the orbital periods $P_{orb} = 1.^d003729$ and of $P_{orb} = 0.^d26633331$, respectively. The observed magnitude and spectral variations during the orbital period are due to the radiation of the cold component, which absorbs the short-wave radiation of the hot component and reemits it in the visual part of the spectrum. A joint analysis of the magnitude and radial velocity curves allowed us to find the possible and optimum sets of their fundamental parameters. We found the luminosity excesses of the secondary components of HS 1857+5144 and Abell 65 with respect to the corresponding Main-Sequence stars to be typical for such objects. The excess luminosities of the secondary components of all young PVs are indicative of their faster relaxation rate towards the quiescent state compared to the rates estimated in previous studies.

Key words: stars—properties, classification