

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2019.01.057>

УДК 524.312.7

А. А. Симон¹, Н. В. Метлова², В. Г. Годунова³, В. В. Василенко¹

¹Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко,
ул. Владимирская 60, Киев, Украина, 01033

²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Университетский просп. 13, Москва, Россия, 119234

³Международный центр астрономических и медико-экологических исследований
Национальной академии наук Украины,
ул. Академика Заболотного 27, Киев, Украина, 03143
godunova@mao.kiev.ua, andrew_simon@univ.kiev.ua

Спектральная классификация и оценка расстояний до двойных рентгеновских Be-систем 1H1936+541 и 1H2202+501

Представлены результаты спектральных и фотометрических наблюдений двойных рентгеновских Be-систем 1H1936+541 и 1H2202+501. Впервые определен спектральный класс для оптического компонента системы 1H1936+541 и уточнен спектральный класс оптического компонента системы 1H2202+501. Полученные результаты позволяют утверждать, что оптические компоненты систем 1H1936+541 и 1H2202+501 являются Be-звездами спектрального типа B1Ve и B3Ve соответственно. Такой вывод, а также известное распределение Be-звезд по спектральным классам может свидетельствовать о принадлежности объекта 1H1936+541 к рентгеновским двойным системам. В то же время, учитывая тот факт, что Be/рентгеновских двойных со спектральным классом B3 пока известно очень мало, объект 1H2202+501 нельзя однозначно отнести к Be/рентгеновским двойным. Скорости вращения основных компонентов этих систем составляют 246 ± 11 км/с для 1H1936+541 и 111 ± 8 км/с для 1H2202+501, а диапазон значений углов наклона их осей вращения составляет 49...82 и 21...28 соответственно. С использованием данных фотометрических наблюдений в полосах B и V и полученных спектральных классов звезд оценены значения межзвездного поглощения $E(B - V)$ и расстояния r к объектам: соответственно 0.36 ± 0.03^m и $0.8...1.6$ кпк для системы 1H2202+501 и 0.23 ± 0.03^m и $2.1...3.6$ кпк для системы 1H1936+541. Сравнение полученных оценок расстояний и данных каталога GAIA DR2 (<http://gea.esac.esa.int/ar->

© А. А. СИМОН, Н. В. МЕТЛОВА, В. Г. ГОДУНОВА, В. В. ВАСИЛЕНКО, 2019

chive/) выявило совпадение соответствующих значений в пределах погрешностей.

Ключевые слова: рентгеновские двойные системы, Ве-звёзды, фотометрия, спектроскопия, спектральная классификация звёзд.

ВВЕДЕНИЕ

Рентгеновские двойные Ве-звезды являются подклассом массивных рентгеновских двойных, основным компонентом которых выступает Ве-звезда, а вторичным — нейтронная звезда (реже белый карлик) [26]. По определению Ве-звёзды — это быстровращающиеся звёзды спектрального типа В и класса светимости III—V, в спектре которых хотя бы один раз за всю историю их наблюдений появлялись эмиссионные линии [19, 35]. Как правило, эмиссии в первую очередь проявляются в водородных линиях: чаще в H α , реже в H β , H γ и последующих [24]. Также эмиссии могут проявляться в линиях нейтрального гелия и однократно ионизированного железа [4, 10], а самые горячие звёзды могут ещё излучать и в линиях ионизированного гелия. Кроме того, Ве-звёзды отличаются от обычных звёзд спектрального типа В наличием в их спектре инфракрасного избытка. И эмиссионные линии, и инфракрасный избыток обусловлены наличием вокруг экваториальной части Ве-звезды декреционного диска, состоящего из ионизированного газа, который извергается с поверхности звезды. Несмотря на то что свойства и динамика самого диска исследованы достаточно хорошо [12], механизм его возникновения до сих пор окончательно не изучен [20].

Статистические исследования плотности распределения по спектральным классам одиночных Ве-звёзд показали [17], что они появляются в спектральном классе В0, затем в классе В2 их количество резко увеличивается, однако вскоре уменьшается в В4 и остаётся приблизительно на постоянном уровне вплоть до класса В9 (также бывают звёзды с эмиссионными линиями класса А0). Если же исследовать выборку звезд с эмиссионными линиями в спектре вместе со звездами, входящими в состав рентгеновских двойных, то можно обнаружить наличие объектов уже в спектральном классе О8, а максимальное их количество попадает в класс В0, в классах же позднее В2 они отсутствуют. По данным на 2002 г. [35], из 62 рентгеновских Ве-систем, для которых был определён орбитальный период системы или период пульсации нейтронной звезды, спектральные классы были установлены для 34 систем. Для ещё 13 систем вопрос принадлежности к классу Ве оставался открытым из-за отсутствия оптических наблюдений, и поэтому принадлежность к классу определялась по характеристикам рентгеновского излучения. По состоянию на 2008 г. в каталоге массивных рентгеновских двойных Галактики (4-я редакция) [16] числятся 39 подтверждённых двойных Ве-звезд, 13 подозреваются в принадлежности к данному классу, а четыре системы, возможно, включают в себя Ве-звезду и белый карлик. Из перечисленных выше

шесть звёзд имеют спектральные классы от В3 до В7. Заметим, что в работе [19] упоминаются 28 двойных систем, у которых известны оптические компоненты, и для которых достаточно хорошо изучены оптические и рентгеновские свойства систем.

В работе [14] проведен подробный анализ высокоточных фотометрических наблюдений 610 Ве-звезд северного и южного полушария, которые были получены в течение 10 лет при выполнении проекта KELT. При изучении кривых блеска было установлено, что большинство звезд являются фотометрически переменными: были обнаружены признаки, свидетельствующие о нерадиальных пульсациях (25 %), вспышках (36 %) и длительных изменениях в околозвездном диске (37 %). Было показано, как эти особенности коррелируют со спектральными подтипами звезд, а также произведен поиск проявлений переменности, которые указывали бы на двойственность объектов. Одновременная спектроскопия некоторых из исследуемых объектов позволила предположить, какие физические явления могут вызывать наблюдаемую переменность объектов, особенно в случаях вспышек или же изменений в околозвездных дисках.

Учитывая незначительное количество хорошо изученных рентгеновских двойных Ве-звёзд и наличие ряда вопросов о природе явлений в этих системах, мы поставили задачу определить спектральные классы и скорости вращения оптических компонентов, рассчитать величины межзвёздного поглощения света, а также оценить расстояния до двух малоизученных систем 1H1936+541 и 1H2202+501.

Объект 1H1936+541 впервые упоминается в каталоге рентгеновских источников HEAO A-1 [34] с потоком 0.0032 ± 0.0006 имп см⁻²с⁻¹ рентгеновского излучения в диапазоне 0.25...25 кэВ. Далее в 1988 г. его отождествляют с оптическим компонентом DM+53°2262, детальная информация о котором может быть найдена в работе [3]. Кроме того, объект упоминается в каталоге массивных рентгеновских двойных [15], обзоре ВерроSAX кандидатов в рентгеновские двойные Ве-звезды [28], списке источников высокой энергии излучения до миссии INTEGRAL (вводный каталог источников INTEGRAL) [8] и ещё в нескольких работах, не связанных напрямую с изучением и определением физических характеристик данного объекта [5, 22].

Детальное изучение Ве-систем проведено в работе [33], где использовали фотометрические наблюдения 1172 Ве-звёзд, полученные в обзоре 2MASS в инфракрасной области. Полученные оценки собственных инфракрасных цветов Ве-звёзд $(V - J)_0$, $(V - H)_0$, $(V - Ks)_0$ существенно отличаются от таковых для нормальных звёзд спектрального типа В. Также было обнаружено, что собственные цвета В-звёзд, как правило, более «синие», чем у Ве-звёзд соответствующего спектрального типа и класса светимости. Кроме того, было установлено, что Ве-звёзды в подавляющем большинстве ярче, чем «нормальные» В-звёзды соответствующих спектральных типов/подтипов.

Наряду с 1H1936+541, 1H2202+501 также есть в каталоге HEAO A-1 [34] с потоком 0.0032 ± 0.0006 имп см⁻²с⁻¹ рентгеновского излуче-

ния в диапазоне 0.25...25 кэВ. На данный момент можно найти лишь немногочисленные работы по исследованию этого объекта. К примеру, в работе [18], посвященной фотометрии 62 звезд высокой светимости в северной части Млечного Пути, этот объект упоминается как рентгеновская двойная большой массы LS III +49 37 (V2175 Cyg) спектрального класса OВlh! (?) с магнитудой $V = 9.26...9.38^m$. Объект упоминается также в работах [5, 6, 21].

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

С 2008 г. нами проводится мониторинг звездных систем 1Н1936+541, 1Н2202+501 и других. В частности, результаты фотометрических исследований системы 1Н1936+541 представлены в работе [25].

В данной работе анализируются спектральные данные, полученные Н. В. Борисовым в ночь с 26 на 27 июля 2010 г. в САО РАН на телескопе «Цейсс-1000». В качестве светоприёмника использовался спектрограф UAGS с длинной щелью в фокусе Кассегрена, а регистрация изображений проводилась на ПЗС-матрицу EEV CCD42-40. Для каждого из объектов (1Н1936+541 с оптическим компонентом DM+53°2262 и 1Н2202+501 с оптическим компонентом V2175 Cyg) была получена серия из трёх спектров с экспозициями по 900 с. Перед и после каждой серии записывались спектры неоновой лампы с целью построения дисперсионной кривой. После этого были получены спектры спектрофотометрических стандартов HD217086 и BD+28E4211, утреннего неба и кадры с нулевой экспозицией (bias). Кадры с темновыми токами не снимались, так как при температуре 140 К темновые токи данной матрицы пренебрежительно малы.

Полученные спектры покрывают спектральный диапазон 380...520 нм с разрешением 0.0689 нм/пкл. Соотношение сигнал/шум для обоих объектов в диапазоне длин волн 476...484 нм составило 105 и 122 для 1Н1936+541 и 1Н2202+501 соответственно.

Фотометрический материал был получен в полосах UBV на телескопе «Цейсс-600» Крымской лаборатории ГАИШ МГУ в течение 246 (для 1Н1936+541) и 181 (для 1Н2202+501) ночей в период с ноября 2009 г. по ноябрь 2017 г. В качестве приёмника излучения использовался одноканальный UBV -фотометр, разработанный и созданный В. М. Лютым [2]. Звёзды HD 184658 ($V = 9.672^m$, $B = 9.707^m$, $U = 9.816^m$) и TYC 3613-1026-1 ($V = 10.422^m$, $B = 10.493^m$, $U = 9.991^m$) были выбраны в качестве стандартов для 1Н1936+541 и 1Н2202+501 соответственно. Журналы наблюдений, а также фотометрические данные обоих объектов доступны по ссылке <http://aosimon.org.ua/astro/BeXray>.

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

В базе данных Simbad (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) на данный момент отсутствует чёткая информация о спектральном классе изучаемых объектов. В связи с этим мы предприняли работу по опреде-

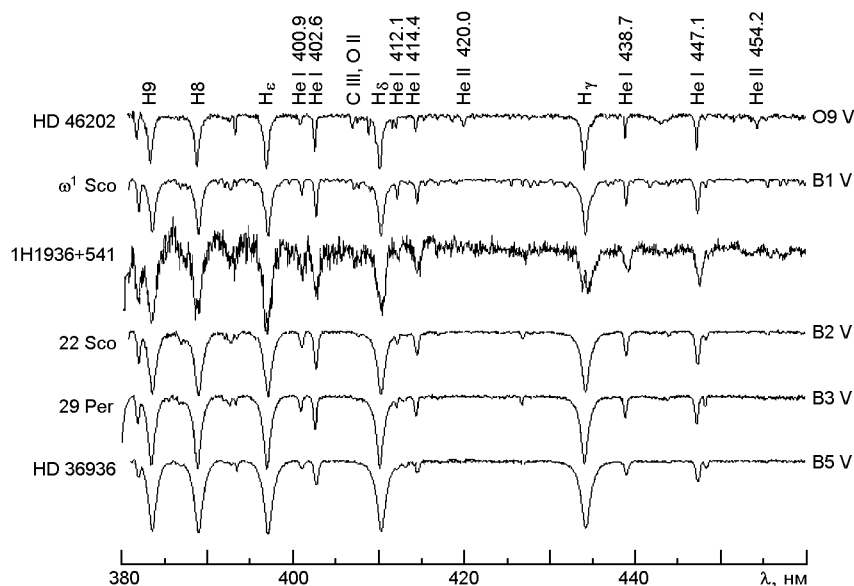


Рис. 1. Сравнение спектра 1H1936+541 со стандартными спектрами звёзд ранних В-классов

лению спектральных классов и некоторых физических параметров 1H1936+541 и 1H2202+501.

Объект 1H1936+541. Доминирование линий водорода и нейтрального гелия в синей части спектра свидетельствует о принадлежности звезды к ранним спектральным классам О или В (рис. 1). Линии ионизированного гелия He II отсутствуют либо выражены очень слабо, что говорит в пользу спектрального класса позднее В0. А слабая линия Mg II 448.1 нм указывает на спектральный класс не позднее В2. Сравнительно сильные линии C III + O II позволяют уточнить верхний спектральный класс до В1.5, так как в спектральном классе В2 они уже практически не выделяются. Также неплохо выделяется серия линий кремния Si III 455.2-456.8-457.5 нм, что позволяет отнести звезду к спектральному классу ранее В2.

Соотношение между линиями Si III 455.2 нм и He I 438.7 нм указывает на принадлежность звезды к звёздам главной последовательности. Тот же вывод можно сделать, сравнивая комплекс C III + O II с близлежащими линиями He I.

Все вышеперечисленные факторы, а также визуальное сравнение спектра 1H1936+541 со спектрами стандартов [30] и факт наибольшего его сходства со спектром звезды ω¹ Sco (см. рис. 1) дают возможность установить спектральный класс $B1 \pm 0.5$ Ve. Неточность классификации обусловлена невысоким спектральным разрешением полученных нами спектров.

Объект 1H2202+501. Доминирование линий водорода и нейтрального гелия в синей части спектра звезды свидетельствует о принадлежности к ранним спектральным классам О или В. Линии ионизированного гелия He II отсутствуют либо очень слабо выражены, что говорит в пользу спектрального класса позднее В0. Линия Mg II

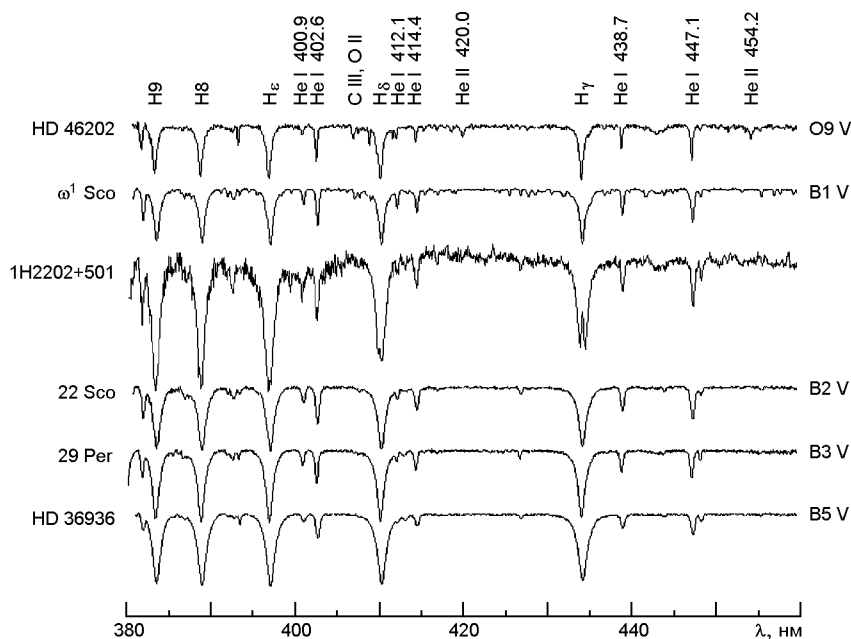


Рис. 2. Сравнение спектра 1H2202+501 со стандартными спектрами звёзд ранних В-классов

448.1 нм по глубине составляет приблизительно треть от соседней линии He I 447.1 нм, что присуще звёздам спектрального класса В2 или же более позднего, однако не позднее В5, где линия Mg II уже составляет порядка 0.7 от линии He I. Линии O II 407.0-407.2-407.6 нм, Si IV 408.9, 411.6 нм и O II 464.9 нм отсутствуют либо очень слабые, что свидетельствует о спектральном классе В2 и позднее [1]. Линии же Si II 412.81...413.11 нм если и есть, то они никак не сильнее линий He I 412.1 нм, что помещает звезду в спектральные классы ранее В5 [1].

Соотношения между глубиной линии C II 426.7 нм и линий He I свидетельствуют о принадлежности звезды к звёздам главной последовательности.

Визуальное сравнение спектра 1H2202+501 со спектрами стандартов [30] показывает наибольшее его сходство со спектром звезд Нуа и 29 Per (см. рис. 2). Этот факт наряду с изложенными выше результатами анализа спектра даёт возможность причислить эту звезду к спектральному классу $B3 \pm 1$ Ve.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Проекция скорости вращения объекта на луч зрения в данной работе определялась с использованием эмпирических соотношений, связывающих собственно саму проекцию скорости $v \sin i$ с полной шириной на половине максимума линий He I [27]:

Значения видимой скорости вращения объектов, полученные по оценкам $FWHM$ в разных линиях He I

Объект	He I, нм	$v \sin i$, км/с
1H1936+541	447.1	239
	438.7	261
	414.3	248
	402.6	236
	Среднее:	246±11
1H2202+501	447.1	110
	438.7	102
	414.3	119
	402.6	115
	Среднее:	111±8

$$v \sin i = 412.5F(447.1) \text{ км/с,}$$

$$v \sin i = 420.3F(438.7) \text{ км/с,}$$

$$v \sin i = 445.1F(414.3) \text{ км/с,}$$

$$v \sin i = 458.2F(402.6) \text{ км/с,}$$

где $F(\lambda)$ — полная ширина на половине максимума ($FWHM$), выраженная в нм на длине волны λ , нм.

Для учёта инструментального профиля линий при расчётах из величины $FWHM$ для каждой линии He I вычиталась аналогичная усреднённая величина $FWHM$ линий натрия и аргона, измеренная по спектрам стандартной лампы. В итоге были получены следующие значения скорости вращения звезд: 246±11 км/с для 1H1936+541 и 111±8 км/с для 1H2202+501 соответственно (см. таблицу).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКРАСНЕНИЯ И РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТОВ

Спектрофотометрический метод определения расстояний до объектов основан на использовании формулы Погсона с поправкой на межзвёздное поглощение [7] (здесь приведена формула для фотометрической полосы V):

$$m_V - M_V = 5 \lg r - 5 - A_V, \quad (1)$$

где m_V и M_V — видимая и абсолютная звездные величины объекта в полосе V соответственно, r — расстояние до объекта, A_V — общая экстинкция в полосе V (поглощение в околозвездной оболочке плюс межзвёздное поглощение).

Видимая звёздная величина объекта вычисляется из фотометрических наблюдений, а абсолютная звёздная величина оценивается по спектральному классу объекта, определенного по его спектру. Для оценки поглощения A_V применяются различные методы, и здесь подробнее рассмотрим те из них, которые были использованы в данной работе.

Чаще всего в качестве меры поглощения (экстинкции) используется величина избытка цвета $E(B - V)$ [13]:

$$E(B - V) = A_B - A_V + (B - V)_{obs} - (B - V)_0, \quad (2)$$
 где $(B - V)_{obs}$ и $(B - V)_0$ — наблюдаемый и собственный (intrinsic) колор-индекс соответственно, A_V и A_B — общее поглощение в фотометрических полосах B (440 нм) и V (550 нм) соответственно.

Величина поглощения A_V и избыток цвета $E(B - V)$ связаны простым соотношением [29]:

$$A_V = R_V E(B - V), \quad (3)$$

где R_V — коэффициент, который обычно оценивается из наблюдений в видимой и инфракрасной области спектра. В диффузной межзвездной среде значение R_V варьирует от 2.4 до 3.6 [9]. Для дальнейших расчетов будем использовать стандартный закон поглощения со значением $R_V = 3.1$ [23].

Один из способов определения избытка цвета $E(B - V)$ предусматривает измерение эквивалентной ширины диффузных межзвездных полос (diffuse interstellar bands — DIBs) в спектрах звезд [11]. Тут следует заметить, что большинство DIBs, используемых для вычисления $E(B - V)$, не попали в спектральный диапазон полученных нами спектров. Из полос, приведённых в работе [11], на наших спектрах могут быть только DIBs с центрами около $\lambda = 443$ и 450.2 нм, однако ни у одного из изучаемых объектов достоверно отождествить эти линии не удалось. Данный факт, в свою очередь, может свидетельствовать о незначительном межзвездном поглощении и крайней малости величины $E(B - V)$.

Для вычисления избытка цвета $E(B - V)$ и последующей оценки расстояния до изучаемых объектов мы использовали их фотометрические наблюдения в полосах B и V , а также данные о собственных колор-индексах объектов, принадлежащих к определенным спектральным классам.

Объект 1H1936+541. Согласно полученным фотометрическим данным значения показателя цвета $(B - V)_{obs}$ объекта 1H1936+541 изменялись в пределах $-0.13...0.00^m$ (рис. 3). В то же время колор-индекс $B - V$ этого объекта, вычисленный с использованием базы данных Simbad (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>), составляет -0.01^m , что хорошо согласуется с нашими данными. Для расчетов мы будем использовать максимальное значение $(B - V)_{obs} = 0.00^m$. Такой выбор базируется на том факте, что излучение, получаемое от звезды, состоит из излучения непосредственно самой звезды и излучения декреционного диска, который играет основную роль в красной области спектра и влияет на полосу V . Кроме того, наличие декреционного диска препятствует попаданию части излучения звезды к наблюдателю по чисто геометрическим соображениям, и следовательно, в более синей области мы будем получать меньше излучения, что также приведёт к увеличению показателя цвета. Собственное значение показателя цвета для звезд спектрального класса B1 V составляет $(B - V)_0 = -0.23^m$ [31]. Неточность определения спектрального типа вносит ошибку $\pm 0.01^m$; такие же по величине и ошибки определения звездных величин. Используя формулу (2) и суммируя все ошибки, вычисляем избыток цвета

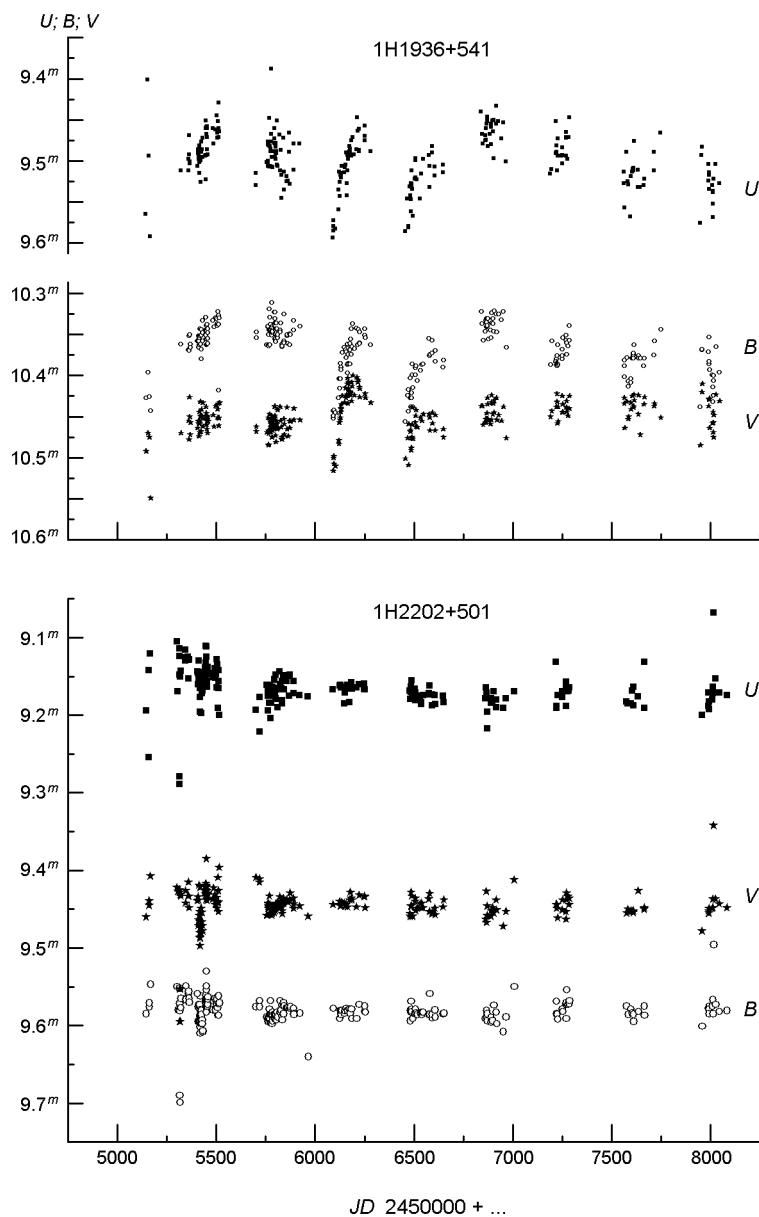


Рис 3. Кривые блеска объектов 1H1936+541 и 1H2202+501 в фотометрических полосах U, B, V

$E(B - V) = 0.23 \pm 0.03^m$, а из формулы (3) получаем величину поглощения $A_V = 0.71 \pm 0.01$.

Принимая значение абсолютной звёздной величины для данного спектрального класса (с учётом неточности определения) $M_V = -2.53 \pm 0.55^m$ [32] и используя определенное из наблюдений значение видимой величины $m_V = 10.38 \pm 0.01^m$, из формулы (1) получаем оценку расстояния $r = 2.1...3.6$ кпк (или параллакса $\pi = 0.28...0.47$ мсд^{*}). Согласно каталогу GAIA DR2 (<http://gea.esac.esa.int/archive/>) парал-

* миллисекунд дуги

лакс объекта 1H1936+541 составляет $\pi = 0.2619 \pm 0.0369$ мсд, что не противоречит нашим данным, а незначительное расхождение обусловлено неточностью определения спектрального класса и наличием декреционного диска. Более точные результаты могли бы быть получены в момент отсутствия декреционного диска, однако в период наблюдений такая конфигурация системы не сложилась.

Объект 1H2202+501. Для данного объекта вычисленный показатель цвета $(B - V)_{obs}$ изменялся в пределах от 0.10^m до 0.18^m (рис. 3). Следует заметить, что этот показатель, полученный из базы данных Simbad (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>), составляет 0.16^m , что хорошо согласуется с нашими результатами. Для расчетов мы будем использовать его максимальное значение, а именно $(B - V)_{obs} = 0.18 \pm 0.01^m$. Стандартное (собственное) значение показателя цвета для звезд спектрального класса B3 V с учётом возможной неточности классификации составляет $(B - V)_0 = -0.18 \pm 0.02^m$ [31]. Используя формулы (2) и (3), получаем оценки избытка цвета и поглощения для данного объекта: $E(B - V) = 0.36 \pm 0.03^m$, $A_V = 1.12 \pm 0.01$.

Принимая значение абсолютной звёздной величины для звезд данного спектрального класса $M_V = -1.96 \pm 0.66^m$ [32] и используя определенное из наблюдений значение видимой звёздной величины $m_V = 9.46 \pm 0.01^m$, получим оценку расстояния: $r = 0.8...1.6$ кпк (параллакс $\pi = 0.63...1.19$ мсд). Согласно каталогу GAIA DR2 (<http://gea.esac.esa.int/archive/>) параллакс объекта 1H2202+501 составляет $\pi = 0.8379 \pm 0.0389$ мсд, что хорошо согласуется с нашей оценкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашей работе впервые определен спектральный класс для оптического компонента двойной рентгеновской Be-системы 1H1936+541 и уточнён спектральный класс оптического компонента двойной рентгеновской Be-системы 1H2202+501. Полученные результаты позволяют однозначно утверждать, что оптические компоненты 1H1936+541 и 1H2202+501 являются Be-звёздами спектрального типа B1Ve и B3Ve соответственно. В частности, такой вывод, а также известные распределения по спектральным классам Be-звёзд [17], могут свидетельствовать о принадлежности объекта 1H1936+541 к рентгеновским двойным системам. В то же время, поскольку Be/рентгеновских двойных со спектральным классом B3 пока известно очень мало, объект 1H2202+501 не может однозначно быть причислен к числу таковых. Тем не менее, наличие рентгеновской активности в прошлом у этого объекта [34] не исключает и такой возможности.

Следует обратить внимание на тот факт, что в астрономической базе данных Simbad (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) объекты 1H1936+541 и 1H2202+501 имеют одинаковую спектральную классификацию Be D, указывающую на то, что объекты были причислены к классу Be-звёзд без наличия точных данных о спектральном классе (буква D). (Заметим, что в этой базе оптический компонент

DM+53°2262 объекта 1H1936+541 не тождественно равен самому объекту, а данные о его спектральной классификации отсутствуют).

Вычисленная нами скорость вращения 246 ± 11 км/с для объекта 1H1936+541 является типичным значением для Be/рентгеновских двойных (см. табл. 4 в работе [19]) и Be-звезд в целом [36]. Из этих же источников следует, что скорость вращения 111 ± 8 км/с, полученная для 1H2202+501, является нетипично малой для Be. Следует отметить, что в работе [36] приводятся реальные скорости вращения, а не $v \sin i$. Таким образом, учитывая возможные значения реальных скоростей вращения звезд B3Ve и полученные нами оценки, можно оценить угол наклона оси вращения звезды: $i = 21...28$. Аналогичным образом для системы 1H1936+541 получаем $i = 49...82$.

Авторы благодарны коллективам САО РАН и ГАИШ МГУ за предоставленный наблюдательный материал и выражают персональную благодарность Н. В. Борисову за спектры, Е. А. Барсуковой за помощь в их обработке, а В. Н. Ивченко — за ценные научные консультации.

1. *Курс астрофизики и звёздной астрономии.* (Под ред. А. А. Михайлова). М.: Наука. 1951. Т. 1. 591 с.
2. Лютый В. М. Автоматический электрофотометр со счетом фотонов. *Сообщ. ГАИШ.* 1971. Вып.172. С. 30—41.
3. Apparao K. M. X-ray emission from Be star/X-ray binaries. *Space Sci. Revs.* 1994. 69, № 3-4. P. 255—329.
4. Arias M. L., Zorec J., Cidale L., Ringuet A. E., et al. Fe II emission lines in Be stars — I. Empirical diagnostic of physical conditions in the circumstellar discs. *Astron. and Astrophys.* 2006. 460, № 3. P. 821—829.
5. Belczynski K., Ziolkowski J. On the apparent lack of Be X-ray binaries with black holes. *Astrophys. J.* 2009. 707, № 2. P. 870—877.
6. Chojnowski S. D., Wisniewski J. P., Whelan D. G., et al. High-resolution H-band Spectroscopy of Be Stars with SDSS- III/APOGEE. II. *Astron. J.* 2017. 153, № 4. id. 174 (22 p.).
7. Dufay J. *Introduction to Astrophysics: The stars.* London: George Newnes Ltd. 1964. 164 p.
8. Ebisawa K., Bourban G., Bodaghee A., Mowlavi N. High-energy sources before INTEGRAL-INTEGRAL reference catalog. *Astron. and Astrophys.* 2003. 411, № 1. P. L59—L62.
9. Fitzpatrick E. L., Massa D. L. An analysis of the shapes of interstellar extinction curves. V. The IR-Through-UV curve morphology. *Astrophys. J.* 2007. 663, № 1. P. 320—341.
10. Hanuschik R. W. High-resolution emission-line spectroscopy of Be stars. II-Fe II and other weak emission lines. *Astron. and Astrophys.* 1987. 173, № 2. P. 299—314.
11. Herbig G. H. The diffuse interstellar bands. IV-The region 4400—6850 Å. *Astrophys. J.* 1975. 196, pt.1. P. 129—160.
12. Kato S. Low-frequency, one-armed oscillations of Keplerian gaseous disks. *Publ. Astron. Soc. Jap.* 1983. 35, № 2. P. 249—261.
13. Krelowski J., Papaj J. The interstellar extinction curve. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1993. 105, № 693. P. 1209—1221.
14. Labadie-Bartz J., Pepper J., McSwain M. V., Bjorkman J., et al. Photometric Variability of the Be Star Population. *Astron. J.* 2017. 153, № 6. id. 252 (21 p.).
15. Liu Q. Z., Van Paradijs J., Van Den Heuvel E. P. J. A catalogue of high-mass X-ray binaries. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 2000. 147. P. 25—49.
16. Liu Q. Z., Van Paradijs J., Van Den Heuvel E. P. J. Catalogue of high-mass X-ray binaries in the Galaxy. *Astron. and Astrophys.* 2006. 455, № 3. P. 1165—1168.
17. Negueruela I. On the nature of Be/X-ray binaries. *Astron. and Astrophys.* 1998. 338.

- P. 505—510.
18. Reed B. C. Broadband photometry of northern-hemisphere luminous stars. VI. UBV Photometry for 62 case-Hamburg Stars. *J. Roy. Astron. Soc. Canada*. 2001. 95. P.64.
 19. Reig P. Be/X-ray binaries. *Astrophys. and Space Sci.* 2011. 332, № 1. P.1—29.
 20. Rivinius T., Carciofi A. C., Martayan C. Classical Be stars. Rapidly rotating B stars with viscous Keplerian decretion disks. *Astron. and Astrophys. Review*. 2013. 21, article id. 69.
 21. Roche P., Coe M., Everall C. Long-term monitoring of high mass X-ray binaries. *GEMINI Newsletter Royal Greenwich Obs.* 1993. 42. P. 8—11.
 22. Sarty G. E., Kiss L. L., Johnston, H. M., Huziak R., Wu K. Finding periods in high mass X-ray binaries. *J. Amer. Assoc. Var. Star Observers*. 2007. 35, № 2. P. 327.
 23. Schultz G. V., Wiemer W. Interstellar reddening and IR-excess of O and B stars. *Astron. and Astrophys.* 1975. 43, № 1. P. 133—139.
 24. Silaj J., Jones C. E., Tycner C., Sigut T. A. A., Smith A. D. A systematic study of H profiles of Be stars. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2010. 187, № 1. P. 228—250.
 25. Simon A. O., Vasylenko V. V., Metlova N. V. Photometric variability of the 1H1936+541 star in 2008—2014. *Adv. in Astron. and Space Phys.* 2014. 4. P. 28—31.
 26. Slettebak A. The Be stars. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1988. 100. P.770—784.
 27. Steele I. A., Negueruela I., Clark J. S. A representative sample of Be stars — I. Sample selection, spectral classification and rotational velocities. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 1999. 137. P. 147—156.
 28. Torrejyn J. M., Orr A. BeppoSAX survey of Be/X-ray binary candidates. *Astron. and Astrophys.* 2001. 377. P. 148—155.
 29. Voshinnikov N. V. Interstellar extinction and interstellar polarization: Old and new models. *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer*. 2012. 113. P. 2334—2350.
 30. Walborn N. R., Fitzpatrick E. L. Contemporary optical spectral classification of the OB stars: a digital atlas. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1990. 102. P. 379—411.
 31. Wegner W. Intrinsic colour indices of OB supergiants, giants and dwarfs in the UBVRJHKLM system. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1994. 270, № 2. P. 229—234.
 32. Wegner W. Absolute magnitudes of OB and Be stars based on Hipparcos parallaxes. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2000. 319, № 3. P.771—776.
 33. Wegner W. Intrinsic colour indices of Be stars obtained from 2MASS photometry. *Astron. Nachr.* 2015. 336, № 2. P. 159—167.
 34. Wood K. S., Meekins J. F., Yentis D. J., Smathers H. W., et al. The HEAO A-1 X-ray source catalog. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1984. 56. P. 507—649.
 35. Ziolkowski J. Magnetars. *Mem. Soc. Astron. Ital.* 2002. 73. P. 300—310.
 36. Zorec J., Levenhagen R., Chauville J., Royer F., et al. Rotational Velocities of “Field” Be Stars. In: Proc. IAU Symp. 215 (Eds. Andre Maeder and Philippe Eenens). San Francisco: Astron. Soc. Pacif. 2004. P. 89.

А. О. Сімон¹, Н. В. Метлова², В. Г. Годунова³, В. В. Василенко¹

¹Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Державний астрономічний інститут ім. П. К. Штернберга,

Московський державний університет ім. М. В. Ломоносова, Москва, Росія

³Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень

Національної академії наук України, Київ, Україна

СПЕКТРАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОЦІНКА ВІДСТАНЕЙ ДО ПОДВІЙНИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ВЕ-СИСТЕМ 1H1936+541 ТА 1H2202+501

Представлено результати спектральних та фотометричних спостережень подвійних рентгенівських Ве-систем 1H1936+541 та 1H2202+501. Вперше визначено спектральний клас оптичного компонента системи 1H1936+541 та уточнено спектральний клас оптичного компонента системи 1H2202+501. Отримані результати дозволяють стверджувати, що оптичні компоненти систем 1H1936+541 і 1H2202+501 є Ве-зорями спектрального типу B1Ve та B3Ve відповідно. Такий висновок, а також

відомий розподіл Be-зір по спектральних класах може свідчити про належність об'єкта 1H1936+541 до рентгенівських подвійних систем. У той же час, враховуючи той факт, що Be/рентгенівських подвійних зі спектральним класом B3 поки що відомо дуже мало, об'єкт 1H2202+501 не можна однозначно віднести до Be/рентгенівських подвійних. Отримано, що швидкості обертання основних компонентів систем становлять 246 ± 11 км/с для 1H1936+541 та 111 ± 8 км/с для 1H2202+501, а діапазон значень кутів нахилу їхніх осей обертання лежить у межах $49...82^\circ$ і $21...28^\circ$ відповідно. З використанням даних фотометричних спостережень у смугах B та V та отриманих спектральних класів зір оцінено значення міжзоряного поглинання $E(B - V)$ та відстані r до об'єктів: відповідно 0.36 ± 0.03^m і $0.8...1.6$ кпк для системи 1H2202+501 та 0.23 ± 0.03^m і $2.1...3.6$ кпк для системи 1H1936+541. Порівняння отриманих оцінок відстаней до об'єктів із даними каталогу GAIA DR2 (<http://gea.esac.esa.int/archive/>) виявило збіг відповідних значень у межах похибок.

Ключові слова: Be-зорі, рентгенівські подвійні системи, фотометричні та спектральні спостереження, криві блиску, спектральна класифікація зір, міжзоряне поглинання, колор-індекси зір, відстані до зір.

A. O. Simon¹, N. V. Metlova², V. G. Godunova³, V. V. Vasylenko¹

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, Russia

³International Center for Astronomical, Medical and Ecological Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

SPECTRAL CLASSIFICATION AND ESTIMATION OF DISTANCES TO THE BE/X-RAY BINARIES 1H1936+541 AND 1H2202+501

Results of spectral and photometric studies of the two Be/X-ray binaries 1H1936+541 and 1H2202+501 are presented. The spectral class of the optical component of the 1H1936+541 system was first determined and the spectral class of the optical component of the 1H2202+501 system was refined. The results obtained allowed us to state that the optical components of the systems 1H1936+541 and 1H2202+501 are Be stars of the spectral type B1Ve and B3Ve, respectively. These findings, as well as the well-known spectral type distribution of Be stars can testify to the fact that the object 1H1936+541 belongs to X-ray binary systems. At the same time, taking into account the fact that Be / X-ray binaries of spectral type B3 are still very little known, the object 1H2202+501 can not be unambiguously classified as a Be/X-ray binary. The rotational speeds of the main components of these systems are 246 ± 11 km/s for 1H1936+541 and 111 ± 8 km/s for 1H2202+501, and the range of the angles of their rotation axes is within $49...82^\circ$ and $21...28^\circ$, respectively. Additionally, using the B and V band photometric observations and spectral classes obtained, we estimated interstellar extinction values $E(B - V)$, as well as distances to the objects. In particular, for 1H2202+501, the value of $E(B - V)$ is 0.36 ± 0.03^m , and the distance r ranges from 0.8 to 1.6 kpc. For the 1H1936 + 541 system, the following values were obtained: $E(B - V) = 0.23 \pm 0.03^m$ and $r = 2.1...3.6$ kpc. Comparison of the distances to the objects with data from the GAIA DR2 catalog (<http://gea.esac.esa.int/archive/>) revealed the coincidence of the corresponding values within the limits of errors.

Key words: Be/X-ray binaries, photometric and spectral observations, stellar spectral classification, light curves, interstellar extinction, stellar color-indices, distances to stars

Статья поступила в редакцию 31.07.2018

После доработки 06.09.2018

Принята к публикации 22.10.2018