УДК 524.312: 520.84

Спектроскопия гипергиганта HD 183143

Е. Л. Ченцов

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п.Нижний Архыз, 369167, Россия

Аннотация. Приводятся спектроскопические свидетельства того, что светимость HD 183143 на величину выше, чем считалось ранее. Звезда является еще одним белым гипергигантом Галактики спектрального класса B6–8 Ia-0. Ее абсолютная визуальная величина близка к -8^m, а расстояние – к 2 кпк. Описаны спектроскопические проявления нестационарности ее атмосферы и ветра.

Spectroscopy of the hypergiant HD 183143

E. L. Chentsov

Special Astrophysical Observatory RAS, Nighnij Arkhyz, 369167 Russia

Abstract. The evidence that the luminosity of HD 183143 is higher than it was considered earlier by a one magnitude is adduced. The star is one more white galactic hypergiant of the spectral class B6-8 Ia-0. Its absolute visual magnitude is close to -8^m and the distance – to 2 kpc. The spectroscopic manifestations of instability of its atmosphere and wind are described.

1 Введение

Белые гипергиганты, звезды наивысшей светимости поздних подклассов B и ранних подклассов A, очень редки. В нашей Галактике известно всего несколько таких объектов: Cyg OB2-12 (B5 Ia-0), HD 168625 (B6 Ia-0), HD 168607 (B9 Ia-0), HD 92207 (A0 Ia-0), HD 223960 (A0 Ia-0), 6 Cas (A2.5 Ia-0) и две переменные LBV, HR Car и HD 160529, в определенных фазах. Кандидатом на пополнение этого списка является HD 183143 (MWC317, HT Sge) — яркая, сильно покрасневшая ($V = 6\overset{m}{.}8$, $(B - V) = 1\overset{m}{.}2$) звезда очень высокой светимости спектрального класса B7. Ее спектр богат диффузными абсорбционными полосами межзвездной природы (DIB), благодаря чему он использовался для введения в проблему DIB (Хербиг, 1975, 1995) и неоднократно включался в спектральные атласы DIB (Дженнискенс, Десерт, 1994; Галазутдинов и др., 2000; Туаиризг и др., 2000). Однако самой звезде пока не уделено, на наш наш взгляд, должного внимания.

Полвека назад HD 183143 была предложена в качестве звезды-стандарта подкласса B7 Ia в системе МК (Джонсон, Морган, 1953). С тех пор в подавляющем большинстве работ используется эта оценка, вполне надежная в отношении спектрального класса, но сомнительная в отношении класса светимости. Дело в том, что она сделана по спектрограммам низкой дисперсии, полученным на синечувствительных пластинках, что не позволило заметить пекулярности спектра. Однако 20-ю годами раньше звезда уже была представлена в первой части каталога MWC, содержащего звезды с эмиссиями в линиях водорода (Меррилл, Баруэлл, 1933). Включив в рассмотрение также и вторую часть каталога MWC (Меррилл, Баруэлл, 1943), мы найдем в них, кроме HD 183143, лишь 3 сверхгиганта класса светимости Ia в интервале спектральных классов B5-B8: HD 34085, HD 166937 и HD 199478. Все они показывают эмиссии только в H_α, причем по Эндрюсу (1968) значительно более слабые, чем у HD 183143. Согласно существующей для B-сверхгигантов зависимости между интенсивностью эмиссии H_α и абсолютной звездной величиной (Эндрюс, 1968, Розендаль, 1973), HD 183143 оказывается ярче указанных звезд на целую величину. Уже это позволяет причислить ее к гипергигантам (класс светимости Ia-0). Более того, в спектре HD 183143 эмиссия видна и в H_β, β-индекс соответствует $M_v < -8\overset{m}{.}0$, т.е. опять-таки светимости гипергиганта (Линдеманн, Хаук, 1973; Некель и Кларе, 1976).

У HD 183143 отмечен повышенный уровень фотометрической и спектральной переменности, естественное следствие повышенной светимости. По фотометрии Hipparcos амплитуда изменений блеска HD 183143 вдвое больше средней для B-сверхгигантов Ia (Эйделмен и др., 2000). Многолетняя спектроскопия HD 183143 с умеренной дисперсией выявила изменения профиля H_β от абсорбционного до залитого эмиссией, а также переменность профилей некоторых абсорбций (Коупленд, Хед, 1963).

К сожалению, оценка светимости HD 183143 по тригонометрическому параллаксу или по принадлежности звезды к скоплению (ассоциации) затруднена ее удаленностью и положением в Галактике.

Параллакс HD 183143 по каталогу Hipparcos (ECA, 1977) $2.7 \pm 0.8 \times 10^{-3}$ угл. сек. Но если звезда удалена от нас на соответствующие 370 пк, то, с учетом межзвездного поглощения, она попадает в класс светимости Ib или даже II ($M_v = -5^m$)! Столь низкая светимость несовместима с описанными ниже особенностями спектра звезды, более того, она была бы, конечно, замечена создателями системы МК. Но данные каталога Hipparcos недостаточно точны для звезд, удаленных больше, чем на 0.5-0.6 кпк. Это видно из обзора ближних ассоциаций де Зиу и др. (1999), но особенно наглядно демонстрируется с помощью сверхгигантов рукава Персея — их удаленность, по крайней мере, на 2 кпк подтверждена раздвоением межзвездных линий на 40 км/с (см. классическую работу Мюнча, 1957). Сравним, например, HD 14143 B2Ia и HD 14331 B0III, с одной стороны, и HD 13841 B2Ib и HD 13866 B2Ib — с другой. Все они принадлежат к ассоциации Per OB1, удаленной от нас на 2.3 кпк (Хамфрис, 1978), но для первых

Таблица 1: Данные о спектрах и гелиоцентрические лучевые скорости

Дата	R	$\Delta\lambda$, Å	V_r, км/с		
			$r \to 1$	HeI 5876 Å	H_α
5.05.1993	64000	5650-6870	15	20	−45, 25
14.05.1997	40000	4100-8900	13	20	−10
11.06.1997	40000	4100-8900	13	18	−70 :, −25, 50
30.08.1997	45000	4100-10000	18	28	−120, −25
5.06.1999	25000	5160-6720	10	17	−47
7.06.2001	15000	4550-7840	9	14	−55, 75
29.07.2002	70000	4560-5980	20	11	
24.09.2002	64000	5450-6700	11	20	−21

ЕСА (1977) дает параллаксы: $0.69 \pm 0.78 \times 10^{-3}$ угл.сек и $0.02 \pm 1.03 \times 10^{-3}$ угл. сек., а для вторых – $1.83 \pm 0.92 \times 10^{-3}$ угл. сек. и $2.92 \pm 0.83 \times 10^{-3}$ угл.сек., соответственно. Последний сверхгигант оказывается в этом случае субкарликом! Параллаксы двух белых гипергигантов 2-го квадранта Галактики, HD 168607 и HD 168625, удаленных на 2 кпк, в ЕСА (1997) также завышены: $2.0 \pm 1.2 \times 10^{-3}$ угл. сек. и $2.4 \pm 1.2 \times 10^{-3}$ угл.сек.

HD 183143 расположена между локальным рукавом (Ориона–Лебедя) и рукавом Киля–Стрельца (ее галактические координаты: $l = 53^\circ\!.3$, $b = 0^\circ\!.6$), и ее не удается приписать к какой-либо группировке: по каталогу Хамфрис (1978) ассоциации отсутствуют в интервале $30^\circ < l < 59^\circ$.

Судить о расстоянии до HD 183143 можно, однако, по лучевым скоростям самой звезды и межзвездных облаков на ее луче зрения, а также по зависимости от расстояния величины межзвездного поглощения.

Ниже приводятся спектроскопические свидетельства, позволяющие причислить HD 183143 к белым гипергигантам.

2 Спектральный материал и его обработка

Нами использовано 8 спектров HD 183143, все они получены с помощью ПЗС-эшелле-спектрометров высокого разрешения. Даты их получения, значения спектрального разрешения и рабочие спектральные интервалы приводятся в первых трех колонках таблицы. 7.06.2001 использовался спектрометр PFES в первичном фокусе 6-м телескопа БТА Специальной астрофизической обсерватории (Панчук и др., 1998), 5.06.1999 – спектрометр LYNX в фокусе Нэсмита того же телескопа (Панчук и др., 1999), а 29.07.2002 – заменивший его спектрометр НЭС (Панчук и др., 2002). Спектрометры в фокусах кудэ 1-м телескопа Специальной астрофизической обсерватории (Мусаев, 1996) и 2-м телескопа обсерватории Терскол (Мусаев и др., 1999) использовались в 1997 г., первый 14.05 и 11.06, второй — 30.08.1997. Наконец, 5.05.1993 и 24.09.2002 спектры были получены в обсерватории Мак-Дональд с помощью спектрометра в фокусе Кассегрена 2.1-м телескопа (Маккарти и др., 1993).

После экстракции одномерных спектров из двумерных изображений обработка спектров, включающая проведение континуума, построение дисперсионных кривых (по спектрам лампы с полым катодом Th-Ar или звезд-стандартов лучевой скорости), спектрофотометрические и позиционные измерения, выполнялась с помощью пакета DECH20 (Галазутдинов, 1992). Программа, в частности, позволяет находить положения отдельных деталей линий путем совмещения прямых и зеркальных изображений профилей. Инструментальные сдвиги спектров срав-

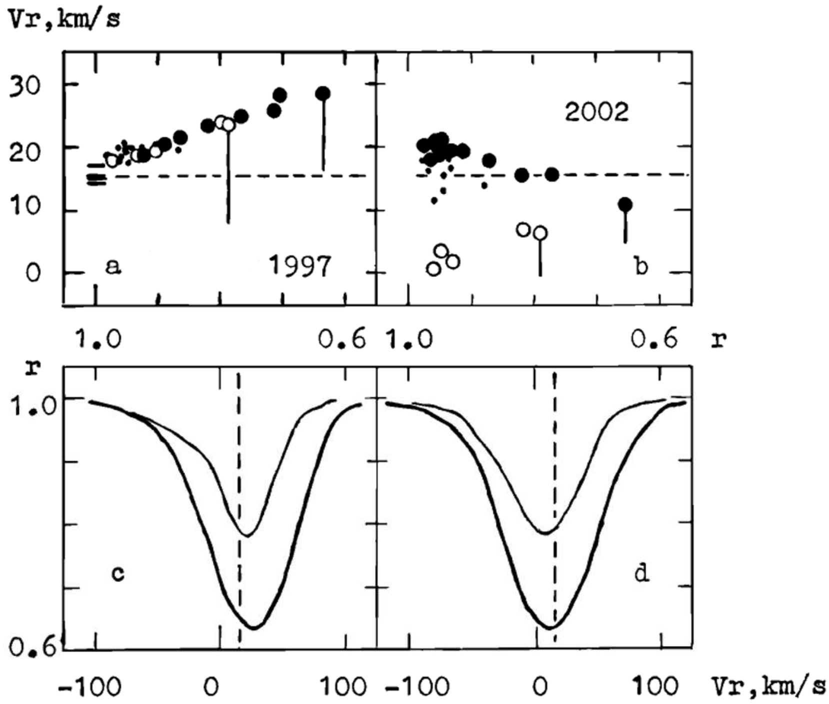

Рис. 1: Зависимости гелиоцентрической лучевой скорости V_r для ядра линии от ее центральной остаточной интенсивности r (вверху) и соответствующие им профили HeI 5875 Å (жирная линия) и FeII 5169 Å (тонкая линия) в спектрах 30.08.1997 (a и c) и 29.07.2002 (b и d). В верхнем фрагменте каждый значок соответствует отдельной линии: заполненные кружки – абсорбции HeI, CII, NII, AlIII, открытые кружки – FeII, точки – SII, горизонтальные черточки – эмиссии FeII в спектре 1997 г. Вертикальными отрезками показаны направление и величины сдвигов крыльев относительно ядер. Штриховые прямые указывают скорость центра массы звезды.

нения и изучаемого объекта устранены с помощью теллурических линий O_2 и H_2O. Оценка остаточных систематических погрешностей, весьма актуальная при сопоставлении данных, полученных на разных инструментах в течение 9 лет, сделана также по межзвездным линиям NaI и узким DIB. Для спектра, полученного с наименьшим разрешением с помощью подвесного спектрометра PFES, неучтенный сдвиг не превышает 2 км/с, возможные сдвиги остальных спектров — в пределах 1 км/с. Система лабораторных (для тесных бленд — эффективных) длин волн, использованная при измерении лучевых скоростей, — та же, что в атласе Ченцова и др. (2003).

3 Спектроскопические особенности и спектральная переменность HD 183143

Спектр HD 183143 в интервале 4800÷6700ÅÅ в табличной и графической формах представлен в атласе Ченцова и др. (2003), он получен усреднением двух из восьми спектров, используемых в настоящей работе. Лучевые скорости, измеренные по отдельным линиям в спектре HD 183143, и формы профилей наиболее сильных из них изменяются с интенсивностью линии и со временем. Характер тех и других изменений иллюстрируют три последние колонки таблицы и рис. 1, 2.

В настоящей работе используются только гелиоцентрические лучевые скорости, V_r. Их значения, приводимые в таблице и на рис. 1a, b, измерены по ядрам абсорбций или абсорбционных

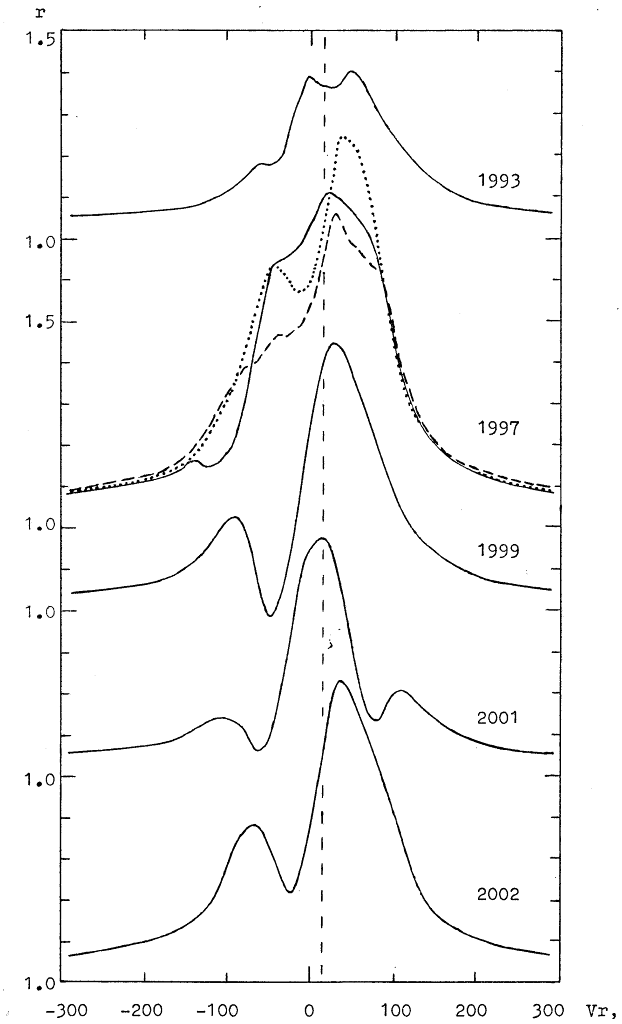

Рис. 2: Профили линии H_α в спектрах HD 183143, полученных 5.05.93, 14.05.97 (пунктир), 11.06.97 (штриховая линия), 30.08.97 (сплошная линия), 5.06.99, 7.06.01 и 24.09.02. Вертикальная штриховая прямая отмечает V_{sys}.

компонентов H_α. Имеются в виду нижние части профилей, в которых градиент интенсивности еще достаточно высок, например, для линии HeI 5876 Å (рис. 1c, d) они ограничены интервалом остаточных интенсивостей: $0.65 < r < 0.7$.

На рис. 1a, b даны образцы зависимостей $V_r(r)$. Заполненные кружки, представляющие слабые линии CII, NII, AlIII и более глубокие линии HeI, образуют четкие цепочки. У звезд главной последовательности и даже сверхгигантов Ib такие цепочки горизонтальны, у сверхгигантов более высокой светимости они приобретают наклон (Ченцов, 1999). Значения V_r, приведенные в 4-й колонке таблицы, получены экстраполяцией левых концов цепочек к $r = 1.0$, т.е. к уровню континуума. В 5-й колонке даны значения V_r для самой глубокой абсорбции, HeI 5876Å (на рис. 1a, b кружки на правых концах цепочек).

В спектре, полученном 30.08.1997, в цепочку, прочерченную указанными линиями, хорошо укладываются также абсорбции FeII и SII (открытые кружки и точки соответственно), разброс значков на рис. 1a обусловлен в основном ошибками измерений. Чем глубже абсорбция, тем больше найденная по ней скорость — правый конец цепочки выше левого. Такой наклон зависимости $V_r(r)$ встречается в 7-ми случаях из 8-ми, только в спектре 29.07.02 (рис. 1b) наклон цепочки противоположный.

При анализе кинематики атмосферы, а также для оценки расстояния до звезды очень важна скорость ее центра массы (она же системная скорость V_{sys}). В случае HD 183143 она может быть найдена по эмиссиям FeII ближней инфракрасной области (7496 Å, 7513 Å и др. – горизонтальные черточки на рис. 1a) и по участкам профиля H_α, не деформированным абсорбционными компонентами (см. рис. 2). Найденное таким образом значение $V_{sys} = 15 \pm 2$ км/с отмечено на рис. 1 и 2 пунктирными прямыми.

Значения V_r для самых слабых абсорбций, несущих информацию о наиболее глубоких из просматриваемых слоев атмосферы, отклоняются от V_{sys} как в сторону меньших значений, так и в сторону больших, что может быть следствием пульсаций, которым подвержены эти слои. Изменение скорости со временем для этих линий меньше, чем для самых сильных, формирующихся в верхней атмосфере и основании ветра. Среднее значение скорости из 4-й колонки таблицы (14 км/с) в пределах ошибок совпадает с V_{sys}.

Положительные сдвиги сильных линий относительно слабых указывают на сжатие атмосферы, но они могут быть вызваны также существованием в ней системы восходящих и нисходящих потоков. Напомним, что речь идет о ядрах сильных абсорбций, в то же время асимметрия линий свидетельствует о расширении: верхние части профилей смещены в синюю сторону относительно нижних. На рис. 1c,d это видно непосредственно, а на рис. 1a,b отмечено отрезками вертикальных прямых. В спектре 30.08.97 скорость, найденная по верхней части профиля FeII 5169 Å, меньше V_{sys} на несколько км/с, а по вытянутому синему крылу – почти на 100 км/с. Расширение атмосферы HD 183143 еще отчетливее проявляется в спектре 29.07.02 (рис. 1b,d): отрицательные сдвиги показывают не только крылья, но и ядра сильных абсорбций, даже слабые линии SII и тем более FeII, формирующиеся выше линий CII, NII, смещены относительно них в синюю сторону. Необходимо отметить, что у сверхгигантов Ia поздних подклассов B также наблюдается рост скорости с интенсивностью линии, но для них характерен тип асимметрии, обратный наблюдаемому у HD 183143 – крылья смещены относительно ядер в красную сторону (Ченцов, 1999). Описанное же сочетание дифференциальных сдвигов линий и формы их профилей встречается только у гипергигантов.

Аномальная интенсивность эмиссий в первых членах серии Бальмера у HD 183143 уже отмечена во введении. Рис. 2 показывает особенности профиля H_α и зафиксированные нами вариации его формы – то и другое сближает HD 183143 с гипергигантами B5-B6 Cyg OB2-12 и HD 168625 (Клочкова и др., 2003). Кроме большой интенсивности эмиссии для всех трех звезд характерны широкие томсоновские крылья, сравнительно низкая скорость ветра и частое появление наряду с синесмещенными почти не смещенных или даже красносмещенных компонентов. Смена прямого P Cyg-профиля инверсным и даже совмещение их деталей в одной линии отмечено у некоторых LBV в фазах максимального визуального блеска, т.е. тогда, когда их спектры становятся похожими на спектры белых гипергигантов (Вольф и Шталь, 1990, Шталь и др., 2003).

Лето 1997 г. – единственный сезон, для которого у нас имеется три спектра, содержащих H_α, на рис. 2 ее профили наложены друг на друга без сдвига по вертикали. Возможно, мы видим здесь последовательные фазы зарождения абсорбционных компонентов вблизи вершины профиля и их постепенное удаление от нее, сползание по синему крылу – за три с половиной месяца V_r падает с -10 км/с до -120 км/с. Такой эффект, первоначально обнаруженный у P Cyg, также известен лишь у немногих голубых и белых гипергигантов.

Глубины и эквивалентные ширины абсорбций в спектре HD 183143 изменяются со временем, как и их положения, и это изменение аномально велико для B-сверхгиганта. Количественная спектральная классификация, выполненная по нашим спектрам, выявила вариации спектрального класса в интервале B6–B8. Они видны на рис. 3, для которого отобраны две пары соседних

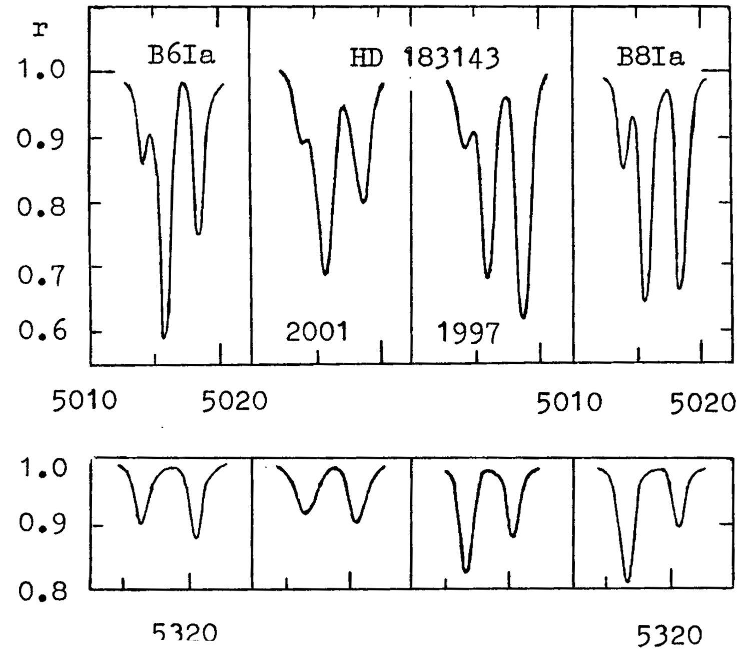

Рис. 3: Пары соседних линий HeI 5015 / FeII 5018 (вверху) и FeII 5316 / SII 5320 (внизу) в спектрах HD 183143 7.06.01 и 14.05.97 (жирная линия, посередине) и звезд сравнения HD 15497 (B6Ia) и β Ori (B8Ia) (тонкая линия, слева и справа соответственно.)

линий: HeI 5015 Å с FeII 5018 Å и FeII 5316 Å с SII 5320 Å. Соотношения интенсивностей линий в этих парах – хорошие классификационные критерии: в спектрах сверхгигантов вблизи подкласса B6 абсорбции SII наиболее глубоки, абсорбции HeI ослабевают к более поздним подклассам, а FeII наоборот усиливаются. Однако рис. 3 показывает также, что спектральную переменность HD 183143 вряд ли можно свести только к реакции на изменение эффективной температуры. Если у звезд сравнения (фрагменты их спектров приведены на рис. 3) ее снижение сопровождается как усилением линий FeII, так и ослаблением линий HeI и SII, то у HD 183143 последние остаются почти неизменными. Существенно переменны только линии FeII, на которые может оказывать влияние нестационарный ветер звезды.

Разумеется, почти все отмеченные выше эффекты нуждаются в детальном исследовании, и для этого необходимы более частые, желательно еженедельные наблюдения. HD 183143 – очень перспективный объект для спектроскопического мониторинга.

4 Светимость и расстояние

Спектроскопические особенности, сближающие HD 183143 не с многочисленными B-сверхгигантами, а с немногими гипергигантами:

– большие амплитуды изменений лучевой скорости и спектрального класса,
– большие дифференциальные сдвиги линий,
– вытянутость синих крыльев сильных абсорбций,
– сильная эмиссия H_α,
– низкоскоростные ветровые абсорбции H_α, в том числе
– "движущиеся" депрессии на ее синем крыле, —

все это говорит об очень высокой светимости HD 183143, превышающей светимость сверхгиганта B7 Ia. Как замечено во введении, интенсивность эмиссий в первых бальмеровских линиях

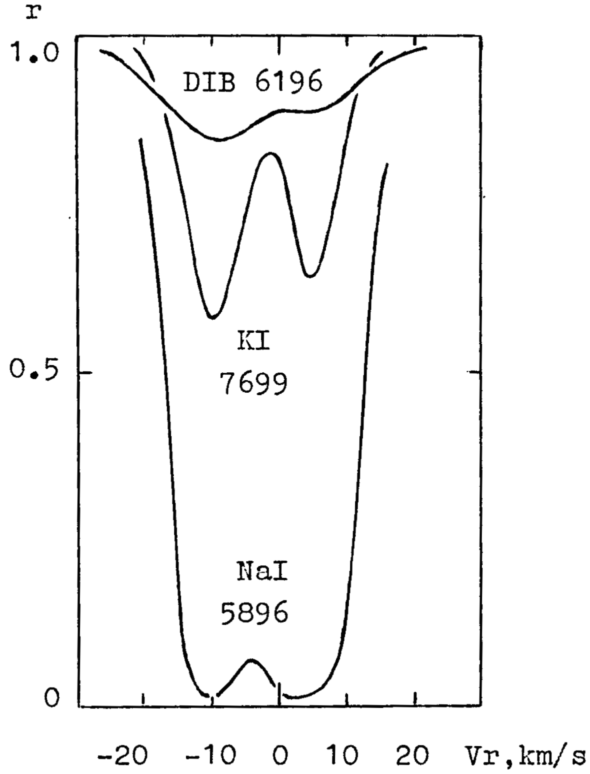

Рис. 4: Профили межзвездных линий NaI и KI и полосы 6196 Å в спектре HD 183143 при разрешениях не ниже 60000.

соответствует $M_v < -8^m$, т.е. классу светимости Ia-0 (Хамфрис, Мак-Элрой, 1984). Оценить величину M_v можно также по зависимостям от светимости амплитуды временных изменений V_r и величины взаимного сдвига линий для сверх- и гипергигантов (Ченцов, 1978). Подставляя в них наши значения, 11 и 20 км/с соответственно, вновь получаем $M_v < -8^m$. Наконец, на уровень светимости гипергиганта выводит и большая эквивалентная ширина триплета OI 7773: 1.75 Å по Фараггиане и др. (1988) и 1.85 Å по нашим данным.

Этим оценкам не противоречат и определения светимости по зависимости межзвездного поглощения A_v от расстояния d и через кинематическое расстояние.

Первый способ дает лишь оценку удаленности снизу. В обзоре Некеля и Кларе (1980) площадка Млечного Пути, в которую попадает HD 183143, очень велика (около 40 кв. град.), и поглощение в ней неоднородно. Однако уточнение графика $A_v(d)$ по звездам в меньшей площадке (8 кв. град.) вблизи HD 183143 не изменило оценки. Исходя из избытка цвета $E(B-V) = 1\overset{m}{.}28$ (Хербиг, 1993) и соответствующего ему значения поглощения $A_v = 4\overset{m}{.}0$, мы получили: $d > 1.0$ кпк.

Различия в спектральном разрешении не очень существенны при сопоставлении профилей довольно широких звездных линий, полученных в разные даты, но они заметно сказываются на профилях межзвездных линий. Среднее кинематическое расстояние до облаков межзвездного газа на луче зрения HD 183143 может быть найдено и по спектрам умеренного разрешения, однако при этом не будет учтен вклад наиболее далеких (и наиболее интересных для нас) облаков. Линии NaI и KI в спектрах, полученных 5.06.99 и 7.06.01 с умеренным разрешением, не разделены на компоненты и дают $V_r = -2$ км/с. Но из рис. 4 видно, что профили не только этих линий, но также и узких DIB, полученные при достаточно высоком разрешении, раздвоены.

Однако расстояние между компонентами гораздо меньше, чем во 2-м квадранте Галактики, всего около 13 км/с. В направлении на HD 183143, по крайней мере до 2 кпк, скорость нарастает с расстоянием (Бранд, Блиц, 1993), и если значение V_r, найденное по профилю в целом, также составляет -2 км/с, что дает $d = 1.0$ кпк, то положение красного компонента соответствует $d = 1.5$ кпк. Наконец, скорости самой звезды (15 км/с) соответствует расстояние до нее, близкое к 2.0 кпк. Конечно, отдельная звезда может иметь пекулярную составляющую скорости по лучу зрения. В нашем случае учет завышения V_r на 10 км/с снижает расстояние до 1.5 кпк. По приведенной выше оценке на таком удалении от нас (но заведомо ближе, чем звезда) находится дальнее сгущение межзвездного вещества.

С учетом межзвездного поглощения, $A_v = 4^m\!.0$, значениям $d = 1.0$, 1.5 и 2.0 кпк для HD183143 соответствуют значения $M_v = -7^m\!.2$, $-8^m\!.0$ $-8^m\!.7$, соответственно. Т.е. даже при удаленности на 1.5 кпк HD 183143 должна иметь светимость гипергиганта.

5 Заключение

Хроника спектроскопии HD 183143 в последние десятилетия драматична и поучительна. Многочисленные исследователи уделяли внимание лишь межзвездному веществу на луче зрения звезды. В то же время сама она как уникальный объект, обладающий предельно высокой светимостью и ярко выраженной нестабильностью, оставалась не востребованной.

Спектроскопия дает разнообразные и вполне убедительные свидетельства в пользу того, что HD 183143 можно считать еще одним белым гипергигантом Галактики. Уровень светимости звезды превышает на целую величину светимости обычных сверхгигантов Ia. Это следует из разнообразных спектроскопических проявлений нестационарности, относящихся как к атмосфере звезды, так и к ее ветру. Характер и степень этих проявлений позволяют уверенно отличить сверхгигант от гипергиганта и отнести HD 183143 к последним. Это подтверждается также оценкой расстояния до звезды, сделанной единственным доступным сегодня способом, – по дифференциальному вращению Галактики.

Отметим также, что среди белых гипергигантов северного неба HD 183143 – один из самых визуально ярких, он доступен для спектроскопии высокого разрешения даже с телескопами умеренного размера. Это позволяет надеяться, что в ближайшее время он станет весьма полезным и активно используемым объектом в исследованиях эволюции массивных звезд и механизмов потери ими вещества.

Благодарности. Автор благодарен В.Е. Панчуку, Г.А. Галазутдинову, Ф.А. Мусаеву, А.С. Мирошниченко и Я. Креловски за предоставление спектрального материала, а также Н.С. Таволжанской за подготовку рукописи к печати.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 02-02-16085а), программы "Астрономия", и программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН "Протяженные объекты во Вселенной" (подпрограмма "Спектроскопия протяженных оболочек звезд на поздней стадии эволюции").

Список литературы

Бранд, Блиц (Brand J. and Blitz L.), 1993, Astron. Astrophys., **275**, 67

Галазутдинов Г.А., 1992, Препринт САО, No. 92

Галазутдинов и др. (Galazutdinov G.A., Musaev F.A., Krelowski J., Walker G.A.H.), 2000, Publ.Astron.Soc.Pacific, **112**, 648

Вольф, Шталь (Wolf B., Stahl O.), 1990, Astron.Astrophys., **235**, 340

де Зиу и др. (de Zeeuw P.T., Hoogerwere R., de Bruijne J.H.J.), 1999, Astron.J., 117, 354

Дженнискенс, Десерт (Jenniskens P. Desert F.X.), 1994, Astron.Astrophys.Suppl.Ser., **106**, 39

Джонсон, Морган (Johnson H. and Morgan W.W.), 1953, Astrophys.J., **117**, 313
ЕСА (ESA), The Hipparcos and Tycho Catalogues, SP-1200, 1997
Клочкова В.Г., Ченцов Е.Л., Таволжанская Н.С., Проскурова Г.А., 2003, Препринт САО, No. 183
Коупленд, Хед (Copeland J.A. and Heard J.F.), 1963, Publ.David Dunlap Obs., **2**, 317
Линдеманн, Хаук (Lindemann E. and Hauck B.), 1973, Astronomy.Astrophys.Suppl.Ser., **11**, 119
Маккарти и др. (McCarthy J.K., Brendan A., Sandiford A., Boyd D., Booth J.), 1993, Publ.Astron.Soc.Pacific, **105**, 881
Меррилл, Баруэлл (Merrill P.W. and Burwell C.G.), 1993, Astrophys.J., **78**, 87
Меррилл, Баруэлл (Merrill P.W. and Burwell C.G.), Astrophys.J., 1943, **98**, 153
Мусаев Ф.А., 1996, Письма в Астрон.журн., **22**, 795
Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А., Сергеев А.В., Карпов Н.В., Подьячев Ю.В., 1999, Кинематика и физика небесных тел, **15**, 3
Мюнч (Münch G.), 1957, Astrophys.J., **125**, 42
Некель, Кларе (Neckel T. and Klare G.), 1976, Astron.Astrophys., **52**, 77
Некель, Кларе (Neckel T. and Klare G.), 1980, Astron.Astrophys. Suppl.Ser., **42**, 251
Панчук и др. (Panchuk V.E., Najdenov I.D., Klochkova V.G., Ermakov S.V., Ivanchik A.V., Murzin V.A.), 1998, Bull SAO, **44**, 127
Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Найденов И.Д., Витриченко Э.А., Викульев Н.А., Романенко В.П., 1999, Препринт САО, No.139
Панчук В.Е., Пискунов Н.Е., Клочкова В.Г., Юшкин М.В., Ермаков С.В., 2002, Препринт САО, No.169
Розендаль (Rosendhal J.D.), 1973, Astrophys.J., **186**, 909
Туаиризг и др. (Tuairisg S.O., Cami J., Foing B.H., Sonnentruker P.„ Ehrenfreund P.), 2000, Astron.Astrophys.Suppl.Ser., **142**, 225
Фараггиана и др. (Faraggiana R., Gerbaldi M., van't Veer C., Floquet M.), 1988, Astron.Astrophys., **201**, 259
Хамфрис (Humphreys R.M.), 1978, Astrophys.J.Suppl.Ser., **38**, 309
Хамфрис, Мак-Элрой (Humphreys R.M. and McElroy D.B.), 1984, Astrophys.J., **284**, 565
Хербиг (Herbig G.H.), 1975, Astrophys.J. **196**, 129
Хербиг (Herbig G.H.), 1993, Astrophys.J., **407**, 142
Хербиг (Herbig G.H.), 1995, Astron.Astrophys.Rev., **33**, 19
Ченцов Е.Л., 1978, Сообщ. САО, вып. 21
Ченцов (E. Chentsov), 2000, In: "Variable and Non-spherical Stellar Winds in Luminous Hot Stars", IAU Coll. 169 (eds. Wolf B., Stahl O., Fullerton A.W.), Berlin etc.: Springer-Verlag, 206
Ченцов и др. (Chentsov E.L.,Ermakov S.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Bjorkman K.S., Miroshnichenko A.S.), 2003, Astron.Astrophys., **397**, 1035
Шталь и др. (Stahl O., Gaeng T., Sterken C., Kaufer A., Rivinius T., Szeifert T., Wolf O.), 2003, Astron.Astrophys., **400**, 279
Эйделмен и др. (Adelman S.J., Yuce K., Engin S.), 2000, Inform. Bull. Var. Stars, No.4946
Эндрюс (Andrews P.J.), 1968, Mem. Roy. Astron. Soc., **72**, 35