

УДК: 524. 31. 017

ОБ ИСТЕЧЕНИИ ВЕЩЕСТВА У HD46300 А—СВЕРХГИГАНТА КЛАССА СВЕТИМОСТИ Ib

Д.Ж.Б.ОГАНЕСЯН

Поступила 24 января 1995

Принята к печати 10 февраля 1995

Используя архивные данные IUE, приведены результаты анализа профиля линий k и h MgII у HD46300 A0Ib—сверхгиганта. Обнаружены свидетельства потери массы звездой, наиболее вероятная природа которой — выброс вещества в виде облака. Сделаны оценки некоторых параметров этого облака.

1. *Введение.* Согласно исследованиям сверхгигантов промежуточных спектральных типов В—А [1–3], только представителям класса светимости Ia характерен, в резонансных линиях обильных ионов, профиль, ассоциируемый с эффектом потери массы. При этом профили этих линий состоят из нескольких, смещенных в коротковолновую область, компонентов, изменение скорости которых во времени свидетельствует о том, что потеря массы у этого класса объектов происходит эпизодически с разной временной шкалой.

В то же время, профили резонансных линий FeII, MgII и т.д. у сверхгигантов класса светимости Ib, симметричны с центрами на нулевой скорости и они не теряют вещества. Последний вывод, как нам кажется, сделан преждевременно и вот почему:

1. Изучено всего три A Ib—сверхгиганта, причем у одного из них HD59612 (A5Ib) наблюдается, характерная для A Ia—сверхгигантов, высокая переменность профиля линий резонансного дублета 2800 MgII, что позволило Талавера

и др. [3] довести нижний предел абсолютной светимости для звезд с потерей вещества до $M_v = -5.1^m$. Если это так, тогда линии в спектре АОIb-сверхгиганта HD87737 ($M_v = -5.3^m$) также должны показывать профиль, ассоциируемый с истечением вещества. Неоднократные наблюдения этой звезды в ультрафиолете не обнаружили свидетельств потери массы [3,4].

2. Согласно наблюдениям эмиссии на 10μ [6], потеря массы имеет место у всех А-сверхгигантов, только у класса светимости Ia она на один-два порядка больше, чем у класса светимости Ib.

3. На двух высокодисперсионных спектрограммах звезд HD46300 и HD59612 (обе A1b-сверхгиганты) линия H_α не показывает асимметричный профиль, однако, наблюдаются небольшие изменения в эквивалентной ширине [7].

В настоящей статье, на основе IUE записей высокого разрешения и на примере звезды HD46300 ставится цель — показать, что А-сверхгиганты класса светимости Ib также проявляют нестабильность атмосферы, выражающуюся в выбросе облака вещества.

2. Звезды и наблюдательный материал. В табл. 1 приведены основные характеристики звезды HD46300, а также двух А-сверхгигантов: класса светимости Ia (HD21389, постоянно показывающей истечение вещества) и класса светимости Ib (HD87737, без явлений истечения вещества). Основные характеристики для звезд взяты из [3,5].

Таблица 1

Звезда HD	Спект. класс	V	M_v	m/m_\odot	T_{eff}	R/R_\odot	D пс	$V \sin i$ км/с	V_{esc} км/с
21389	AOIa	4.6 ^m	-7.1 ^m	16	9730	99	2000	6-15	233
46300	AOIb	4.5	-4.8	8	9730	34	860	17	297
87737	AOIb	3.5	-5.3	9	9730	41	560	20	283

В табл. 2 приведены номера IUE-записей, использованные для настоящей работы. Все записи получены с высоким спектральным разрешением. В последнем столбце таблицы приведены отметки об источнике изображения спектров звезд: а — реальные высокодисперсионные записи из архива IUE, б — кривые распределения энергии в области $2789-2807\text{Å}$ [3]: с — профиль линии h MgII [8].

* Вывод не совсем корректный, поскольку звезда HD59612 двойная [5], что может повлиять на структуру профилей линий 2800MgII .

Таблица 2

Звезда HD	Номера изображений		Дата наблюдений	Отметка
	LWR	LWP		
21389	2929		13.11.78	b
	9019		13.10.80	c
46300	3357		13.02.79	b
		9163	24.09.86	a
		9405	25.10.86	a
87737	2915		11.11.78	b

3. *Описание спектра.* Как показывает сравнение IUE-записей звезды HD 46300 в области $2790\text{--}2810\text{Å}$ (LWR3357, LWP9163 и LWP9405) и $2840\text{--}2860\text{Å}$ (LWP9163 и LWP9405), профили субординатных линий MgII (2790.7 и 2798.0Å), резонансной линии MgI (2852.13Å), а также линий других ионов, практически совпадают на всех записях, в то время как профили линий k и h MgII (2795.5 и 2802.7Å) существенно изменяются.

На рис. 1 приведены профили линий k и h MgII для звезд: HD46300 (записи LWP9163 и LWP9405), HD87737 (A0Ib) и HD21389 (A0Ia). Чтобы не загромождать рис.1 профили линий k и h MgII для записи LWR3357 не приведены, поскольку они практически идентичны с профилями этих же линий для записи LWP9405. Из большого набора A-сверхгигантов класса светимости Ia, мы выбрали HD21389, так как только в спектре этой звезды линия h MgII ненасыщенная.

Что можно сказать из анализа рис.1.

1. На длине волны нулевой скорости, у обеих линий наблюдается сильная симметричная (остаточная интенсивность ядра — нулевая) линия поглощения — результат суперпозиции межзвездной и фотосферной линий поглощения k и h MgII.

2. Профили линий для записи LWP9405 схожи с профилем этих же линий для звезды HD87737. Вместе с тем, при полной идентичности длинноволновых половин профилей, наблюдается незначительная асимметрия коротковолнового крыла.

3. Коротковолновая половина профиля линий на записи LWP9163 отличается от записи LWP9405 увеличением асимметрии и более подходит к коротковолновой половине профиля этих линий для звезды HD21389. Длинноволновая половина профилей не изменилась.

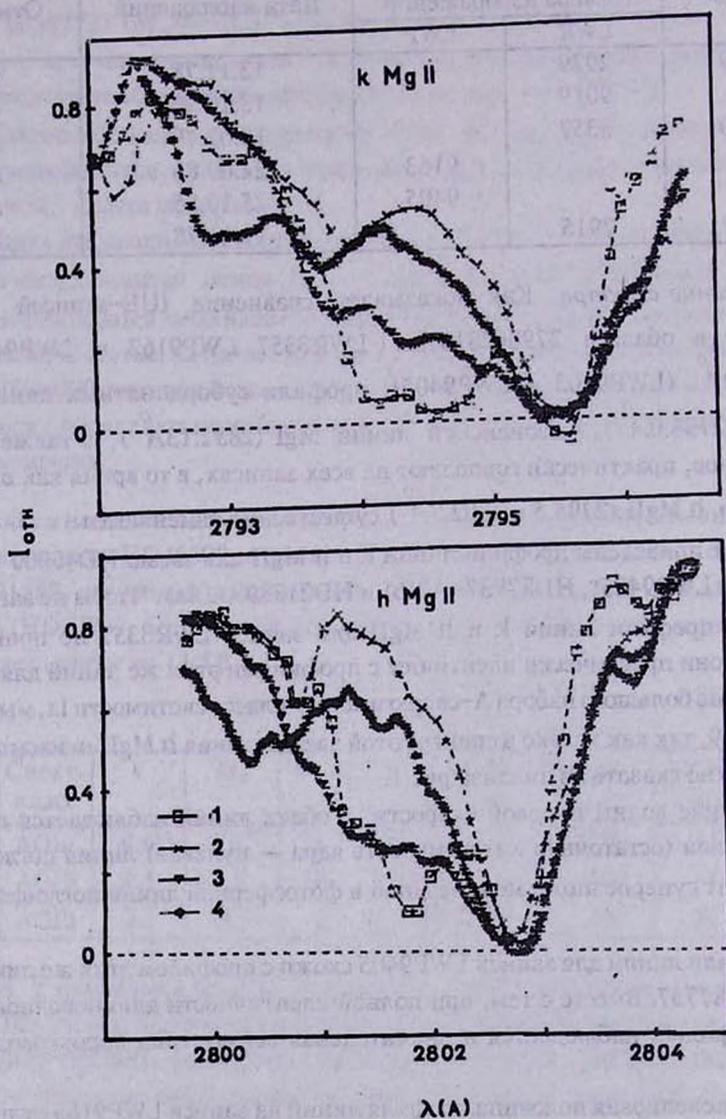


Рис. 1. IUE записи профилей дублета k и h Mg II A0 сверхгигантов: класса светимости Ia HD21389 (1) и класса светимости Ib: HD87737 (2) и HD46300: запись LWP9163 (3) и запись LWP9405 (4).

Таблица 3

Звезда (HD)	MgII							MgI		
	N	k		h		k+h	2791	2798	2852.13	
	изобр.	W	W _(зв+м)	W	W _(зв+м)	W _(м) расч.	W	W	W _(зв+м)	W _(м) расч.
21389	2929	2.5	1.13	1.87	1.12	2.8	0.6	0.6		
46300	3357	2.5	1.65	1.95	1.45	1.2	0.45	0.37		
	9163	2.82	1.7	2.55	1.46		0.39	0.32	0.4	0.6
	9405	2.75	1.51	2.29	1.42		0.39	0.5	0.4	0.6
87737	2915	2.56	1.13	1.36	1.15	0.9	0.43	0.44		

Эквивалентная ширина приведена в Ангстремах.

Для исследуемых в статье звезд, в табл. 3 приведены значения эквивалентных ширин субординатных и резонансных линий MgII и резонансной линии MgI (для HD46300). Столбцы табл. 3 соответствуют: для линии k MgII: эквивалентная ширина всей линии (3), — звездной и межзвездной составляющих (4); то же для линии h MgII (5,6): расчетная величина эквивалентной ширины межзвездной составляющей обеих линий (7), из условия, что величина W на 1кпс равна 1.4Å: эквивалентная ширина субординатных линий 2790.8 и 2798.0Å MgII (8,9): для резонансной линии MgI; эквивалентная ширина — звездной и межзвездной составляющей (10) и — расчетная величина эквивалентной ширины межзвездного происхождения (11) из условия, что средняя величина W на 1кпс составляет 0.7Å.

Таблица 4

N Изобр.	k		h	
	V _{-1/2}	V _{+1/2}	V _{-1/2}	V _{+1/2}
3357	221	90	93	88
9163	202	111	218	62
9405	216	92	98	72

В табл. 4 приведены скорости, измеренные на половине интенсивности на фиолетовой и красной половинах профилей линий k и h MgII и отмеченные как V_{-1/2} и V_{+1/2}, соответственно.

* Профиль звездной и межзвездной составляющей построен аппроксимацией ядра и длинноволнового крыла линии k соответствующей Гауссиане.

Как видно из табл. 3 и 4, профили линий k и h 2800 MgII претерпевают изменения от одной записи к другой, в то время как субординатные линии MgII и резонансная линия MgI — нет. Особенно четко это видно в случае линии h MgII. Отсутствие изменений как в эквивалентных ширинах, так и полях скоростей в линии k MgII, обусловлено тем, что на диапазон длин волн, ограничивающих профиль этой линии, попадает много сильных линий FeI, FeII, MnI, в то время как профиль линии h MgII менее подвержен этому обстоятельству.

4. *Определение параметров облака, выброшенного звездой.* Анализ профилей и эквивалентных ширин резонансных линий MgII (2795.5 и 2802.7 Å) показывает, что на записи LWP9163 излучение от звезды HD46300 испытывает дополнительное поглощение от движущегося к нам облака.

Что же из себя представляет это облако? На рис. 2 для линий k и h MgII приведены по четыре кривые: соответствующие записям LWP9163 и LWP9405, наблюдаемые профили этих линий (1) и (2), их разница (3) и описывающая эту разницу Гауссиана (4).

Как видно из рис. 2, кривые разницы для обеих линий показывают по два минимума, на длинах волн, 2794.34 Å и 2794.90 Å для линии k MgII и соответственно, 2801.16 Å и 2801.55 Å для линии h MgII. Смещение ядра поглощения по отношению к длине волны нулевой скорости соответствует 1.19 Å и 0.62 Å для линии k MgII и 1.52 Å и 1.13 Å для линии h MgII.

Реально то поглощение, которое наблюдается в обеих линиях за одним и тем же расстоянием от длины волны нулевой скорости. В данном случае это имеет место только для одного минимума, соответствующего смещению ядра поглощения на 1.19 Å и 1.13 Å. В результате имеем скорость движения облака $V(k) = 127$ км/с и $V(h) = 121$ км/с.

Вторые минимумы могут быть обусловлены сильными резонансными линиями FeI (2795.006 Å) и MnI (2794.81 Å) и сильной линией MnI (2801.084 Å).

Предполагая, что дополнительное поглощение, наблюдаемое в обеих линиях резонансного дублета 2800 MgII, возникло в результате рассеяния излучения звезды на ионах магния в облаке, определим некоторые другие параметры облака. В качестве стартового рассмотрим предельный случай, предполагая, что облако чисто поглощающее. Были определены численные значения оптической толщины облака t_0 в линиях k и h MgII в разных точках (длинах волн) профиля дополнительного поглощения, используя формулы (8) и (9) статьи Гурзаяна и Переза [9], где числовые величины F_0 и H_* — кривые распределения энергии,

соответствующие записям LWP9163 и LWP9405. Результат приведен на рис.3, где кривая t_o хорошо представляется Гауссовым профилем для Доплеровской полуширины $\delta \lambda_d = 0.5 \text{ \AA}$. Максимальная величина оптической толщины в центре профиля дополнительного поглощения не велика и одинаковая для обеих линий $t_o(\max) = 1.84$.

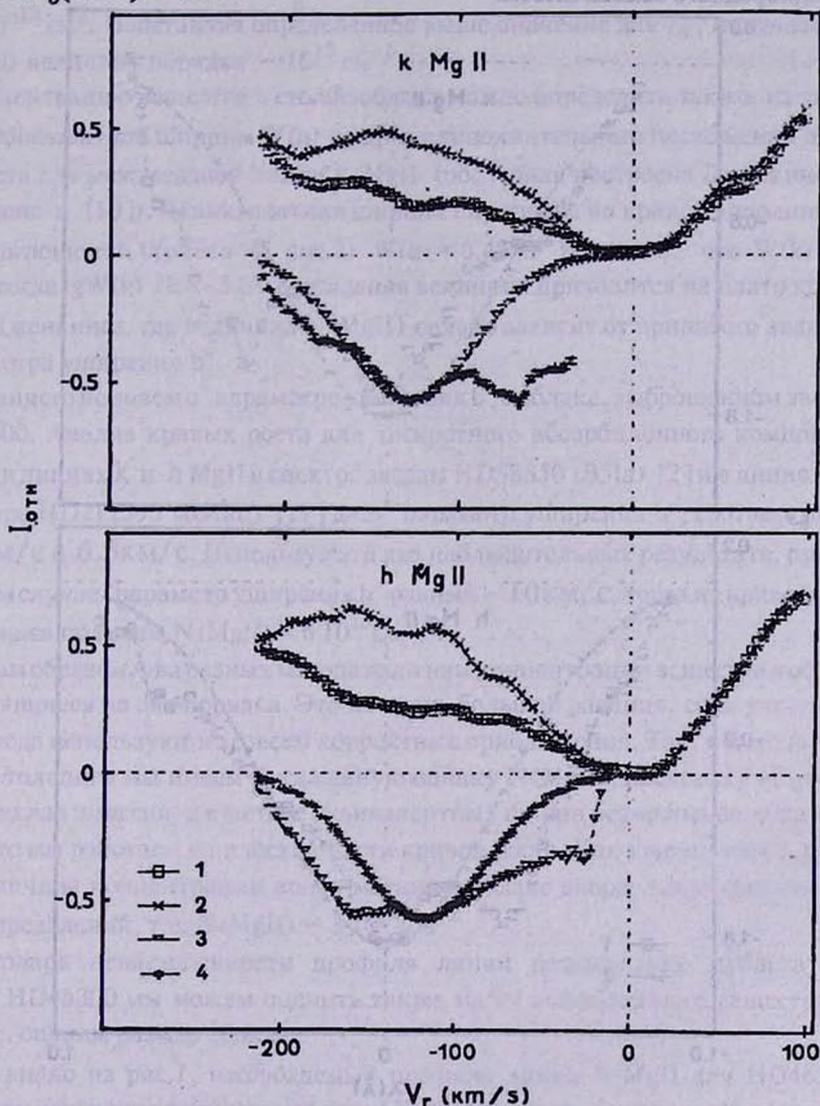


Рис.2. ПУЕ записи профилей дублета k и h MgII сверхгиганта HD46300 (A0Ib): запись LWP9163 (1), запись LWP9405 (2). Под абсциссой — кривые: дополнительного поглощения (3) и аппроксимированная к ней Гауссиана (4).

Таким образом, имеем параметр $t_0(max)$ характеризующий абсолютные размеры облака, массу и концентрацию вещества в нем, и параметр $\delta\lambda_d$, определяющий кинематическое состояние облака или дисперсию скоростей турбулентного движения в нем — $\delta v_t = 54 \text{ км/с}$.

Для однородного облака имеем:

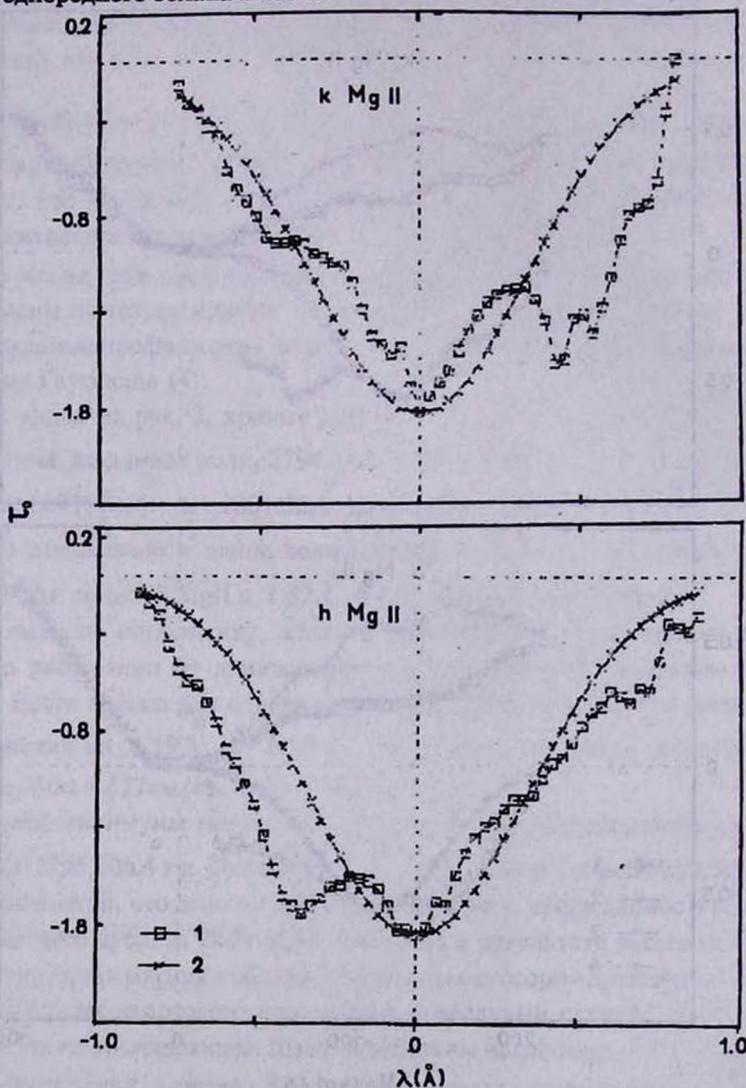


Рис.3. Кривые дополнительного поглощения в профиле линий k и h Mg II для A1b-сверхгиганта HD46300: наблюдаемые (1) и аппроксимированные к ним Гауссовы профили (2) с Доплеровской полушириной $\delta\lambda_d = 0.5A$.

$$n(\text{MgII}) = t_o(\text{max})/2 s_o R \text{ или } N(\text{MgII}) = t_o(\text{max})/2 s_o,$$

где $n(\text{MgII})$ и $N(\text{MgII})$ — концентрация объемная и в столбе с сечением 1см^2 ионов MgII в облаке, R — линейный радиус облака в см, s_o — коэффициент селективного поглощения в линии k и h , рассчитанный на один ион MgII и порядка $s_o \sim 10^{-13}\text{см}^2$. Подставляя определенное выше значение для t_o , получаем для $N(\text{MgII})$ величину порядка $\sim 10^{13}\text{см}^{-2}$.

Концентрацию вещества в столбе облака можно определить также, из значения эквивалентной ширины $W(h)$ профиля дополнительного поглощения и кривой роста для межзвездной линии k MgII (последняя построена Дженкинсом и приведена в [10]). Эквивалентная ширина Гауссианы на кривой дополнительного поглощения (кривая 4, рис.2) $W(h) = 0.48\text{Å}$. Известно, что $W(k) = 1.2 W(h)$, тогда $\lg W(k) / k = -3.68$. Последняя величина приходится на плато кривой роста Дженкинса, где величина $N(\text{MgII})$ сильно зависит от принятого значения "параметра уширения b ".

Мы ничего не знаем о "параметре уширения b " в облаке, выброшенном звездой HD46300. Анализ кривых роста для дискретного абсорбционного компонента (DAC) в линиях k и h MgII в спектре звезды HD58350 (B5Ia) [2] и в линиях FeII в спектре HD212593 (B9Iab) [11] дает "параметр уширения b ", соответственно $\sim 10\text{км/с}$ и 6.5км/с . Используя эти два наблюдательных результата, примем в нашем случае "параметр уширения b " равный $\sim 10\text{км/с}$, тогда из кривой роста Дженкинса получим $N(\text{MgII}) = 6 \cdot 10^{15}\text{см}^{-2}$.

Таким образом, два разных метода дали нам концентрации вещества в облаке, отличающиеся на два порядка. Это не очень большая разница, если учесть, что оба метода используют не совсем корректные приближения. Так, в методе оптической толщины мы имеем заниженную оценку $N(\text{MgII})$, поскольку не учитывается вклад эмиссии, а в методе эквивалентных ширин возможна ошибка из-за того, что мы работаем на плоской части кривой роста. Как увидим ниже, реальная величина концентрации ионов магния в облаке скорее всего средняя этих двух определений, т.е. $N(\text{MgII}) \sim 3 \cdot 10^{14}\text{см}^{-2}$.

Благодаря ненасыщенности профиля линий резонансного дублета 2800 MgII у HD46300 мы можем оценить также массу выброшенного вещества. Но прежде, оценим размер облака.

Как видно из рис.1, наблюдаемый профиль линии h MgII для HD46300 с явлением истечения вещества (запись LWP9163) где — то близок к наблюдаемому профилю линии h MgII для HD21389 (A0Ia). В то же время для A-сверхгигантов класса светимости Ia найдена полуэмпирическая модель, достаточно хорошо

описывающая наблюдаемый профиль линий резонансного дублета 2800 MgII. В частности, при моделировании звездного ветра в случае звезды HD21389 (A0Ia) [8], имеет место соответствие между наблюдаемым и расчетным профилями линии h MgII для значений объемной плотности в среднем 25–30 ионов MgII в 1см^3 на расстоянии до двух радиусов звезды и нескольких ионов в 1см^3 на расстоянии от трех до шести радиусов звезды. Принимая среднюю объемную плотность ионов магния $n(\text{MgII}) = 25\text{см}^{-3}$ в облаке, выброшенном звездой HD46300 (концентрация водородных атомов соответственно будет $n(\text{H}) \sim 10^6\text{см}^{-3}$, при универсальном содержании магния), получим следующие значения для радиуса облака: $R = 6 R_{\odot} = 0.2 R_*$ и $R = 3600 R_{\odot} = 105 R_*$ согласно значениям $N(\text{MgII})$, полученным соответственно из методов оптической толщины и эквивалентной ширины. Для среднего значения $N(\text{MgII})$, имеем $R = 171 R_{\odot} = 5 R_*$. Учитывая, что в модельных расчетах максимальная скорость звездного ветра или DAC достигает на радиусе $\sim 1.6\text{--}1.8 R_*$, а ветер простирается до 5–6 радиусов звезды, более реален третий результат – радиус облака $R = 5 R_*$. Для этого значения радиуса облака имеем массу выброшенного вещества $\sim 9 \cdot 10^{-12} m_{\odot}$.

Таблица 5

	λ_{min} (А)	$\delta\lambda$ (А)	V км/с	$\delta\lambda_d$ (А)	W (А)	W (А)	t_0 (max)	δv_f км/с	N(MgII) (см^{-2})	R/R_*	m/m_{\odot}					
k	2794.34	1.19	127	0.5	0.71	0.48	1.84	54	$\sim 10^{13}$	$6 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{14}$	0.2	105	5	$4 \cdot 10^{-12}$	
h	2801.55	1.13	121	0.5	0.75	0.48	1.84	54								

В табл. 5 приведены основные параметры облака, выброшенного A0Ib-сверхгигантом HD46300.

5. Обсуждение результатов. Анализ профиля линий k и h MgII A0Ib-сверхгиганта HD46300, проведенный нами в предыдущих секциях статьи, позволил нам получить первый, наблюдаемый в ультрафиолете, реальный факт потери вещества также A-сверхгигантом класса светимости Ib. Более того, наличие двух спектров, на одном из которых профиль линий k и h MgII показывает заметное уширение и асимметрию на скорости $\sim 120\text{км/с}$ и которое практически отсутствует через 30 дней, согласно другому спектру, говорит о том, что имел место выброс вещества из звезды.

Ранее, выбросом оболочки "порывами" (время от времени) была объяснена многокомпонентная и переменная структура профилей резонансных линий FeII и MgII у A1a-сверхгигантов [3]. У большинства A1a-сверхгигантов профиль

и MgII у A1a-сверхгигантов [3]. У большинства A1a-сверхгигантов профиль линий k и h MgII характеризуется смещенным в коротковолновую область широким насыщенным ядром и крутым фиолетовым краем. В то же время у некоторых звезд профиль линий резонансного дублета 2800 MgII состоит из нескольких, смещенных в коротковолновую область, глубоких компонент, а у двух из них, линия h MgII расщеплена на три компонента, в то время как линия k MgII не расщеплена. Наблюдаемая структура профиля линий 2800 MgII у A1a-сверхгигантов может быть объяснена суперпозицией отдельных, смещенных в коротковолновую область, компонент, возникших в результате эпизодических выбросов оболочки звезды. Многообразие же этой структуры есть следствие разной частоты и мощности выбросов у отдельных звезд.

В рамках этой гипотезы мы можем предположить, что у A0Ib-сверхгиганта HD46300 был зафиксирован отдельный эпизодический выброс вещества в виде облака, аналогичный происходящим более часто у A1a-сверхгигантов, выбросам оболочки звезды "порывами".

Тогда, можно сделать предположение, что у сверхгигантов класса светимости Ia имеют место два типа выбросов: один на скоростях более 200 км/с с большим темпом потери массы и наблюдаемый в основном в линиях с высоким потенциалом возбуждения и ионизации, второй, время от времени, на скоростях порядка 100–150 км/с, и наблюдаемый только в линиях с более низким потенциалом ионизации — в частности в резонансных линиях MgII, FeII. По мере продвижения в сторону поздних спектральных классов активность первого типа выбросов уменьшается, однако, увеличивается активность второго типа выбросов, что проявляется в наблюдении стационарно асимметричного переменного и многокомпонентного профиля в линиях MgII и FeII у A1a-сверхгигантов. Это приводит к насыщению профиля линий и невозможности выделения структуры отдельных выбросов. Этот тип выбросов, но с меньшей активностью, имеет место также и у A1b-сверхгигантов.

Тогда, типичная для A1a-сверхгигантов, наблюдаемая структура профиля линий резонансного дублета 2800 MgII у A5Ib-сверхгиганта (HD59612) [3] может быть следствием крайнего проявления для A1b-сверхгигантов частых и мощных выбросов оболочки.

6. *Выводы.* Результат анализа деформированных профилей линий резонансного дублета 2800 MgII у HD46300 A-сверхгиганта класса светимости Ib позволяет сделать следующие выводы.

1. A-сверхгигант класса светимости Ib на примере звезды HD46300 теряет вещество. При этом, облако выброшенного вещества движется со скоростью

порядка 120 км/с; имеет — оптическую толщину в линиях k и h MgII ~ 1.8 ; — скорость внутренних турбулентных движений ~ 50 км/с; — концентрацию ионов магния 10^{14} – 10^{15} в сечении 1см^2 ; Предполагая объемную концентрацию MgII порядка 25 ионов в 1см^3 (соответственно, объемная концентрация водородных атомов $\sim 10^6\text{см}^{-2}$) радиус и масса облака получаются порядка пяти радиусов звезды и $10^{-12} m_{\odot}$, соответственно.

2. Отсутствие деталей в профиле резонансных линий дублета 2800 MgII, характеризующих существование облака дополнительного поглощения через 30 дней после его появления, свидетельствует в пользу того, что имел место эпизодический выброс вещества.

3. Зафиксированный у HD46300 выброс вещества, аналогичен одному из частых и, возможно, более мощных выбросов у A1a-сверхгигантов. Полученный результат — свидетельство истечения вещества у HD46300 A0Ib-сверхгиганта на сегодня единственный, поэтому для подтверждения этого явления необходимо продолжить исследования в течение большого промежутка времени, охватывая более широкий класс объектов этого типа.

В заключение автор выражает благодарность Г.А. Гурзадяну за содействие в получении архивного материала IUE и обсуждение данной работы, М. Перезу (NASA) за обработку IUE архивных записей.

Гарнийский институт
космической астрономии, Армения

ON THE MASS LOSS FROM HD46300 A-SUPERGIANT OF THE Ib LUMINOSITY CLASS.

J.B.OHANESYAN

Results on the analysis of the profiles of the MgII k and h lines of the A0Ib-supergiants HD46300 have been carried out using archive IUE data. The discovered evidence of mass loss from star the most probable nature of which is the throw out of clouds of the substance. The estimates of some parameter this cloud were made.

ЛИТЕРАТУРА

1. *S. Gilheany, B. Bates, M. G. Catney, P. L. Dufton*, *Astrophys. Space Sci.*, 169, 85, 1990.
2. *B. Bates, S. Gilheany*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 243, 320, 1990.
3. *A. Talavera, A. I. Gomez de Castro*, *Astron. Astrophys.*, 181, 300, 1987.
4. *Y. Kondo, T. H. Morgan, J. L. Modisette*, *Astrophys. J.*, 209, 489, 1976.
5. *A. Hirshfeld, R. W. Sinnott*, *Sky Catalogue 2000*. о. YI Cambridge Univer. Press, Sky Publishing Corporation, 1985.
6. *M. J. Barlow, M. Cohen*, *Astrophys. J.*, 213, 737, 1977.
7. *J. D. Rosendhal*, *Astrophys. J.*, 186, 909, 1973.
8. *P. P. Kunasz, N. D. Morrison, B. Spressart*, 1983, *Astrophys. J.*, 266, 739, 1983.
9. *G. A. Gurzadyan and M. Perez*, *Astrophys. Space Sci.*, 180, 1, 1991.
10. *G. A. Gurzadyan*, *Stellar Chromospheres or Doublet 2800 MgII In Astrophysics*, Nauka, Moscow, 1984, (In Russian).
11. *B. Bates, M. G. Catney, F. P. Keenan*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 242, 267, 1990.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД 553

ЛИТЕРАТУРА

1. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян*, *Астрофизика*, 33, 5, 1990.
2. *J. R. Stauffer*, *Astron. J.*, 87, 899, 1982.
3. *J. R. Stauffer, L. W. Hartmann*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 61, 531, 1986.
4. *Л. В. Мирзоян*, Ранние стадии эволюции звезд, АН Армении, Ереван, 1991.
5. *J. R. Stauffer*, *Astron. J.*, 85, 1341, 1980.
6. *G. Haro, E. Chavira, G. Gonzalez*, *Bol. Inst. Tonantzintla*, 3, No. 1, 3, 1982.
7. *J. V. Bares, D. S. Hayes*, *IRS Standard Manual*, Kitt Peak National Observatory, 1984.
8. *Т. Ю. Мазакиян, С. В. Зарацян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 55, 80, 1984.
9. *M. F. McCarthy, P. J. Treanor*, *Ricerche Astron. Specola Vaticana*, 6, 535, 1964.
10. *R. P. Kraft, J. L. Greenstein*, *Low-luminosity Stars*, *Proceedings of the Symposium*, ed. S. S. Kumar, Gordon and Breach Science Publishers, New York-London-Paris, 1968, p. 65.
11. *D. R. Soderblom, J. R. Stauffer, J. D. Hudon, B. F. Jones*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 85, 315, 1993.
12. *C. Pritchett, van den Bergh*, *Astron. J. Suppl. Ser.*, 34, 101, 1977.
13. *А. Адифи, С. Эйзен*, Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ, М., Мир, 1982, с. 354.
14. *К. Энслейн, Э. Рэлстон, Г. С. Уилф*, *Статистические методы для ЭВМ*, М., Наука, 1986, с. 460.
15. *G. Jacoby, D. A. Hunter, C. A. Christian*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 56, 257, 1984.
16. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян*, *Астрофизика*, 29, 544, 1988.
17. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян*, *Астрофизика*, 29, 531, 1988.
18. *D. L. Grawford, C. L. Perry*, *Astron. J.*, 81, 419, 1976.
19. *G. H. Herbig*, *Astrophys. J.*, 135, 736, 1962.
20. *J. Stauffer, A. Klemola, C. Prosser, R. Probst*, *Astron. J.*, 101, 980, 1991.
21. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Л. Мирзоян*, *Астрофизика*, 36, №3, 1993.