АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4 МАЙ, 1968 ВЫПУСК 2

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕКУЛЯРНОГО ОБЪЕКТА MH$_\alpha$ 328—116

А. А. БОЯРЧУК

Поступила 1 ноября 1967

На основании 6 спектрограмм 80 Å/*мм* (табл. 1) определены относительные интенсивности эмиссионных линий (табл. 2) и распределение энергии в непрерывном спектре (рис. 1). Найдено, что степень возбуждения эмиссионного спектра в 1966 г. была меньше, чем в 1965 г. Показано, что наблюдения можно объяснить, если считать, что исследуемая звезда является двойной, состоящей из гиганта типа M, горячей звезды с $T=10^5\,^\circ K$ и туманности с $n_e=2.5\cdot10^6$, $T_e=18000\,^\circ K$ и $\mathfrak{M}=1.5\cdot10^{-2}\,\mathfrak{M}_\odot$, а также, что звезда MH$_\alpha$ 328—116 принадлежит к группе симбиотических звезд.

В июле 1965 г. Маккаски [1] сообщил о том, что звездообразный объект MH$_\alpha$ 328—116 сильно увеличил свою яркость и достиг $m_{ph}=12^m$. Ранее этот объект выглядел как звезда 15-й величины и было известно лишь то, что его спектр соответствует позднему спектральному типу и имеет эмиссионную линию H$_\alpha$. Сообщение о вспышке привлекло внимание к MH$_\alpha$ 328—116.

Фицджералд, Хоук, Маккаски и Хофлейт [2] опубликовали первое качественное описание спектра MH$_\alpha$ 328—116 в 1965 году в области 3670—6600 Å и изменение блеска с 1920 по 1965 гг. Несколько позднее Маммано и Розино [3] опубликовали результаты спектральных наблюдений в течение второй половины 1966 г. в области 3690—8610 Å.

Эти исследования показали, что до конца 1963 г. MH$_\alpha$ 328—116 имела $m_{ph}\approx15^m.5$ и испытывала колебания блеска в пределах одной величины. Затем яркость звезды стала возрастать и в 1965 году достигла $V=11^m.73$ [5]. По-видимому, рост яркости продолжается и в настоящее время. Во всяком случае в 1966 г. $V=11^m.26$ [6].

Спектр МН$_2$ 328—116 состоит из эмиссионных линий, среди которых наиболее сильными являются линии H, He I, [O III], [Ne III] и [Fe II]. Линии выглядят довольно резкими на спектрограммах с дисперсией ~ 100 Å/*мм*. Лучевая скорость, определенная по эмиссионным линиям, равна -58 ∓ 5 *км/сек* [2] и -68 ∓ 3 *км/сек* [3]. При этом в [3] указывается, что в течение лета 1965 г. величина лучевой скорости оставалась практически постоянной.

Наблюдения. Осенью 1966 г. на спектрографе СП—72 ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории были получены несколько спектрограмм (дисперсия 80 Å/*мм*) объекта МН$_2$ 328—116.

Табл. 1 содержит некоторые сведения о наблюдениях.

Таблица 1

Дата	Экспозиция	Спектральная область
5 окт. 1966	3^h	5000—3300
6 окт. 1966	3^h	4900—3500
	1^h, 15^m	
7 окт. 1966	2^m, 6^m	H_β—H_ε и [OIII]—линии

Спектрограммы были получены на пластинках Kodak II aO.

После измерения спектрограмм и исправления за чувствительность аппаратуры были определены относительные интенсивности всех обнаруженных эмиссионных линий ($I_{H_\beta} = 100$), которые приведены в столбце 6 табл. 2. В первом столбце этой таблицы даны длины волн линий, а во втором — их отождествление. В столбцах 3—5 этой таблицы приведены для сравнения результаты наблюдений других авторов.

Чтобы судить о соотношении интенсивностей непрерывного спектра и эмиссионных линий, в конце таблицы приведены значения эквивалентных ширин водородных линий H_7 и H_8.

На рис. 1 сплошной линией представлено распределение энергии в непрерывном спектре МН$_2$ 328—116. Из-за того, что плотность почернения на отдельных участках спектрограмм была невелика, точность в районе $\lambda 5000$ Å и $\lambda 3700$ Å будет меньше, чем $\Delta \lg I = 0.1$.

Из сравнения относительных интенсивностей линий, найденных в этой работе, с опубликованными ранее данными [3, 4] видно, что за прошедший год произошли заметные изменения. Так в 1966 г. запрещенные линии [OIII] усилились на 30% по сравнению с 1965 г.,

если предполагать, что интенсивность водородных линий не изменилась. Значительные изменения произошли в соотношении интенсивностей разрешенных и запрещенных линий ионизованного железа. Так в 1965 г. линии Fe II λ 4233 и [Fe II] λ 4244 имели примерно одинаковую интенсивность [3], а в 1966 г. линия [Fe II] λ 4244 была в 2.5 раза интенсивней линии Fe II λ 4233. Эти изменения, вероятно, вызваны уменьшением электронной плотности в районе свечения эмиссионных линий.

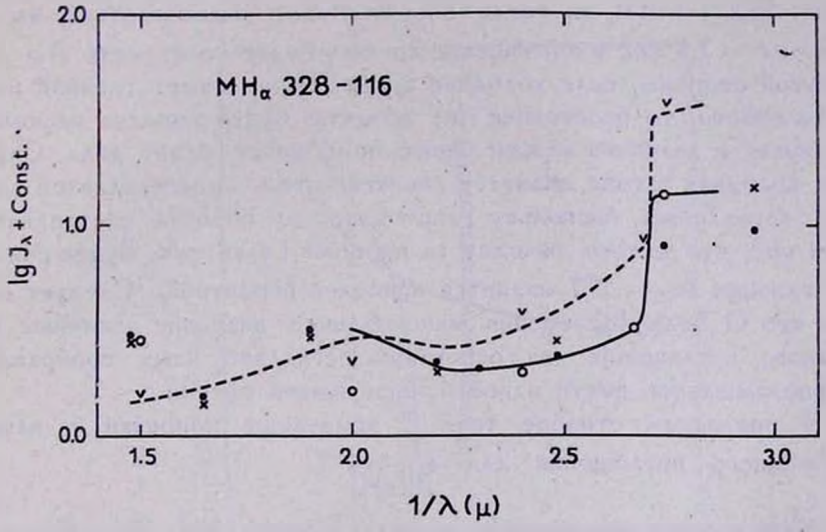

Рис. 1. Распределение энергии в непрерывном спектре MH_α 328—116. — наблюдаемое распределение, $A_{ph}=0^m0$, - - - распределение, исправленное за влияние межзвездного поглощения, $A_{ph}=1^m7$. ● и x фотоэлектрические наблюдения О'Делла [4] в 1963 и 1966 гг. соответственно. Распределение в спектре суммарного излучения трех источников: o для $A_{ph}=0^m0$ и v для $A_{ph}=1^m7$.

С другой стороны, линия He II λ 4686 в 1966 г. заметно ослабла по сравнению с 1965 г. Кроме того, линии [Fe III] были в 1966 г. слабее, чем в 1965 г. Таким образом, степень возбуждения эмиссионного спектра в 1966 г. была ниже, чем в 1965 г. Поскольку за это время электронная плотность также уменьшилась, то уменьшение степени возбуждения вызвано, вероятно, уменьшением температуры источника возбуждающей радиации.

Прежде чем перейти к интерпретации наблюдений, необходимо исключить влияние межзвездного поглощения на относительные интенсивности линий и распределение энергии в непрерывном спектре.

Нассау и МакРей [7] исследовали распределение поглощающей материи в Галактике в направлении, близком к направлению на MH$_2$ 328—116. Они приводят зависимость величины поглощения A_{ph} от расстояния. Их исследования распространяются до 3.6 *кпс*. Чтобы использовать результаты Нассау и МакРей [7], необходимо знать расстояние до MH$_2$ 328—116. В [2] показано, что до вспышки исследуемая звезда имела $m_{ph} = 15^m5$ и ее спектральный класс соответствовал позднему M. Если предположить, что наблюдавшаяся до вспышки холодная звезда являлась нормальным гигантом со светимостью $M_{ph} = +1^m0$, то тогда объект будет располагаться на расстоянии $r = 3.5$ *кпс* и поглощение до него будет составлять $A_{ph} = 1^m7$. С другой стороны, если холодная звезда принадлежит главной последовательности, то расстояние до объекта будет порядка нескольких сот парсек и величина межзвездного поглощения будет мала. Случай, когда холодная звезда является сверхгигантом, представляется совершенно нереальным, поскольку расстояние до объекта составляло бы ~ 300 *кпс*, что далеко выходит за пределы Галактики. Будем считать, что величина $A_{ph} = 1^m7$ является наиболее вероятной. Следует отметить, что О'Делл [4] оценил максимальное значение величины межзвездного поглощения на основании несколько иных соображений, которое оказалось почти вдвое больше нашей оценки.

В последнем столбце табл. 2 приведены поправки за влияние межзвездного поглощения для $A_{ph} = 1^m7$.

Определение физических условий. Спектр MH$_2$ 328—116 содержит довольно большое число запрещенных линий, что позволяет определить электронную температуру и электронную плотность в районе образования эмиссионного спектра. Из относительных интенсивностей линий [O III] следует, что электронная плотность довольно высока. В этом случае на интенсивности линий будут влиять удары второго рода и их отношение не может быть описано простой формулой. Поэтому для определения электронной плотности и температуры мы воспользовались методом пересечения кривых равных отношений. На рис. 2 представлены кривые равных отношений, взятые из [8] для исправленных за межзвездное поглощение отношений [O III] $\frac{I_{4363}}{I_{5007} + I_{4959}} = 0.22$ и [Ne III] $\frac{I_{3343}}{I_{3869} + I_{3967}} = 0.011$. Поскольку линия [Ne III] λ 3967 блендируется с H_ε, мы приняли, что $I_{3969} + I_{3967} = 1.33\, I_{3869}$. Так как кроме туманности в наблюдаемый непрерывный спектр могут

вносить вклад и другие источники излучения (звезда типа M, горячий компонент), наблюдаемое значение бальмеровского скачка будет являться его нижней границей. Из рис. 2 следует, что вероятными значениями будут $\lg n_e = 6.5$ и $T_e = 18\,000$ °K. Аналогичное рассмотрение относительных интенсивностей линий, не исправленных за влияние межзвездного поглощения, дает $\lg n_e = 6.4$ и $T_e = 17\,000$ °K. Если использовать данные О'Делла [4] об относительных интенсивностях линии [OIII], то получим $\lg n_e = 6.2$ и $T_e = 20\,000$ °K. Таким образом, можно считать, что в районе возникновения запрещенных линий высокого возбуждения $\lg n_e = 6.4$ и $T_e = 18\,000$ °K.

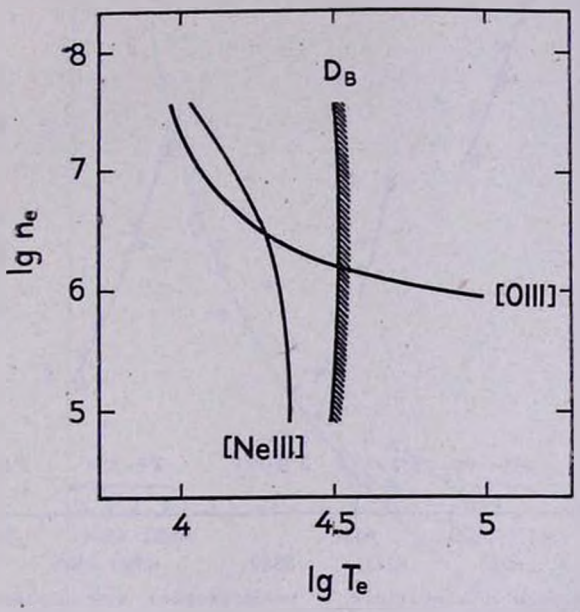

Рис. 2. Кривые равных отношений $\frac{I_{4363}}{I_{5007}+I_{4959}}=0.22$ и $\frac{I_{3343}}{I_{3869}+I_{3967}}=0.011$ и $D_B=0.3$.

На рис. 3 представлено сравнение наблюдаемых относительных интенсивностей линий нейтрального гелия с теоретическими, вычисленными для мензеловского случая B [9, 10]. Видно, что в отличие от многих симбиотических звезд в случае MH_α 328—116 наблюдаемые и теоретические соотношения линий хорошо согласуются между собой. Исключение составляет линия He I λ 3889, которая блендируется с линией H_8. Ее интенсивность, представленная на рис. 3, является раз-

ностью между наблюдаемой интенсивностью бленды и интерполируемой интенсивностью H_β. При такой процедуре возможно появление заметной ошибки.

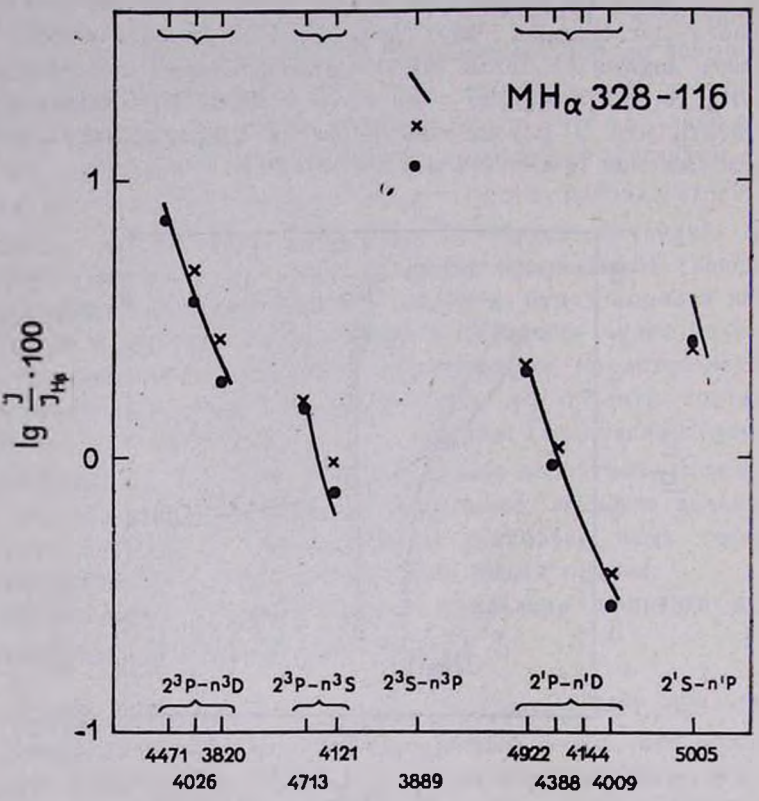

Рис. 3. Сравнение наблюдаемых и теоретических относительных интенсивностей HeI. — теоретические интенсивности [9, 10], ● наблюдаемые интенсивности, x — интенсивности, исправленные за влияние межзвездного поглощения.

Сравнение наблюдаемых относительных интенсивностей водородных линий с теоретическими, вычисленными для случая B [11], представлено на рис. 4. Хотя в обоих случаях общий ход интенсивностей с номером линии одинаков, имеются существенные различия. Наблюдаемая относительная интенсивность линии H_α приблизительно в четыре раза больше теоретического значения. Такое же различие, но в меньших масштабах, наблюдается для верхних членов серии. Учет влияния межзвездного поглощения не меняет общую картину. Указанные различия являются типичными для туманности, непрозрачной в линиях бальмеровской серии. Рассмотрение эквивалентных ширин

линий H_γ и H_δ подтверждает вывод непрозрачности. В столбце 3 табл. 3 представлены наблюдаемые эквивалентные ширины линий H_γ и H_δ по отношению к континууму туманности (об определении его интенсивности см. ниже), а в столбце 4 — их теоретические значения для

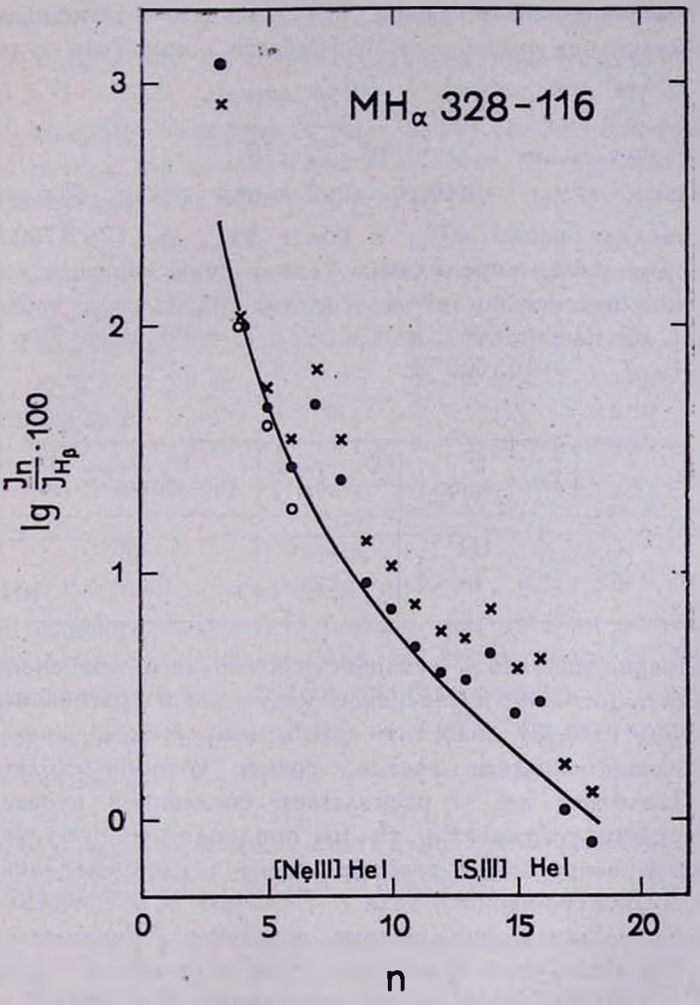

Рис. 4. Бальмеровский декремент. — теоретический случай B [11], ● наблюдаемые интенсивности, o — данные O'Делла [4], x — интенсивности, исправленные за влияние межзвездного поглощения.

$T_e = 20\,000$ °K. Мы видим, что наблюдаемые значения эквивалентных ширин заметно меньше. O'Делл [4] также отмечал наличие самопоглощения в линии H_β. Таким образом, можно считать, что туманность МН$_\alpha$ 328—116 не прозрачна для излучения в бальмеровских линиях.

Рассмотрим теперь непрерывный спектр и в первую очередь бальмеровский скачок. Его наблюдаемая величина равна $D_{\text{набл.}} = 0.3$, в то время, как для определяемых ранее величин $\lg n_e = 6.4$ и $T_e = 18\,000\,^\circ\text{K}$ он должен быть $D_{\text{теор.}} = 0.75$. Это уменьшение скачка, вероятно, вызвано присутствием излучения горячего компонента, которое не имеет подобного скачка интенсивностей. Отношение интенсивностей излучения туманности и горячего компонента будет равно:

$$\left.\frac{I_{\text{тум.}}}{I_{\text{г. к.}}}\right|_{\lambda=3600} = 10^{D_{\text{теор.}}} \frac{10^{D_{\text{набл.}}} - 1}{10^{D_{\text{теор.}}} - 10^{D_{\text{набл.}}}} = 1.6. \qquad (1)$$

Следовательно, вклад горячего компонента после бальмеровского скачка составляет около 40 % и более 80 % для $\lambda > 3700$ Å. В [12] был предложен метод определения температуры горячего компонента по отношению интенсивностей континуума. Используя табл. 1 и 2 работы [12], мы нашли, что для $I_{\text{тум.}} / I_{\text{г. к.}} = 1.6$ при $T_e = 18\,000\,^\circ\text{K}$ должно быть $T_{\text{г. к.}} = 105\,000\,^\circ\text{K}$.

Таблица 3

	W_λ набл.	W_λ туман. набл.	W_λ туман. $T_e = 20\,000\,^\circ\text{K}$ [10]
H_γ	124	420	620
H_δ	68	220	330

Комбинация излучения туманности и горячего компонента не может объяснить довольно интенсивное излучение в красной части спектра и поэтому следует допустить, что в непрерывный спектр вносит заметный вклад холодная звезда, спектр которой наблюдался до вспышки. Поскольку мы не располагаем сведениями о спектральном классе холодного компонента, то мы предположили, что распределение энергии в непрерывном спектре близко к распределению энергии в спектре абсолютно-черного тела с $T = 3\,000\,^\circ\text{K}$, и попытались представить наблюдаемое распределение энергии в непрерывном спектре MH$_\alpha$ 328—116 суммарным излучением трех источников: горячего компонента $T = 105\,000\,^\circ\text{K}$, холодного компонента $T = 3\,000\,^\circ\text{K}$ и туманности $n_e > 10^6\ см^{-3}$ и $T_e = 18\,000\,^\circ\text{K}$. Результаты представлены на рис. 1. Мы видим, что согласие удовлетворительное. В табл. 4 приведены доли излучения каждого источника для некоторых длин волн.

Используя данные табл. 4, мы можем определить видимые звездные величины трех источников. Согласно [6] в 1966 г. MH$_\alpha$ 328—116 имела $B = 11^m.53$ или исправленное за эффект ярких полос $B' \simeq 12^m.0$.

Результаты приведены в последней строке табл. 4. Мы видим, что фотографическая величина холодного компонента практически равна величине всей звезды до вспышки, в случае учета влияния межзвездного поглощения. Согласно [2], до вспышки в 1947 г. $m_{Pg} = 12^m.4$, а после вспышки в 1965 г. $I = 10^m.7$. Эквивалентная ширина H_α была в 1965 г. $\sim 1\,500$ Å [4], то есть поправка за влияние эмиссионных полос $\Delta m \sim 0.5$ и $I' = 11.2$. Данные табл. 4 показывают, что в 1965 г. величина I холодного компонента была на 1^m слабее суммарного излучения, то есть и для длинноволновой области спектра подтверждается постоянство блеска холодного компонента.

Таблица 4

λ	$A_{ph} = 0^m.0$			$A_{ph} = 1^m.7$		
	гор. ком.	тум.	хол. ком.	гор. ком.	тум.	хол. ком.
3600	0.40	0.60	—	0.40	0.60	—
4300	0.60	0.27	0.13	0.63	0.30	0.07
6700	0.07	0.18	0.75	0.17	0.42	0.41
m_{ph}				$12^m.5$	$13^m.3$	$15^m.7$

Таким образом, увеличение яркости MH_α 328—116 вызвано вспышкой горячего компонента больше, чем на 4^m и появлением мощной туманности. Если считать, что во время вспышки болометрическая светимость горячего компонента существенно не изменилась, то его температура до вспышки была $\sim 4 \cdot 10^5$ °K и абсолютная визуальная величина $M_v \geqslant +1^m$, если считать, для холодного компонента $M_v = -0^m.4$.

Оценим размеры и массу светящейся части туманности. Согласно [12], звезда типа M5III с $m_v = 0^m.0$ излучает:

$$1.35 \cdot 10^{-1} \text{эрг/см}^2\text{сек Å у } \lambda = 4360 \text{ Å}. \quad (2)$$

Средняя абсолютная визуальная величина звезды M5III равна $M_v = -0^m.4$. Отсюда монохроматическая светимость будет:

$$L_{M5III} = 2.25 \cdot 10^{31} \text{ эрг/сек Å}. \quad (3)$$

Светящаяся часть туманности, V, излучает

$$L_{тум.} = n_e n^+ \varepsilon_\lambda V \text{ эрг/сек Å}, \quad (4)$$

Таблица 2

λ	Элемент	$\lg I/I_{H_\beta} \cdot 100$				$\Delta \lg I_{н.з.}$
		1965 [4]	1965 [3]	1966 [4]	1966 (Крым)	
1	2	3	4	5	6	7
6563	H_α	1.07				—0.16
5045	He I				0.30	—0.02
5015	He I				0.41	
5007	[OIII] 1	2.39	2.30	2.27	2.53	—0.02
4959	[OIII] 1		1.88		1.99	—0.01
4922	He I				0.30	0.00
4905	[Fe II] 20				0.19	
4890	[Fe II] 4				—0.07	
4861	H_β	2.00	2.00	2.00	2.00	
4814	[Fe III] 3				—0.26	
4754	[Fe III] 3				—0.64	0.01
4740	[A IV] 1				—0.10	0.02
4734	[Fe III] 3				—0.59	
4728	[Fe III] 4				—0.31	
4713	He I				0.17	
4701	[Fe III] 3				—0.11	
4686	He II				—0.47	
4658	[Fe III] 3				0.13	
4650	CIII 1				—0.40	0.03
4641	N III 2				0.14	
4634	N III 2				—0.15	
4607	[Fe III] 3				—0.70	
4584	Fe II 38				—0.17	
4571					—0.39	
4555	Fe II 37				—0.55	0.04
4549	Fe II 38				—0.60	
4522	Fe II 38				—0.51	
4515	Fe II 38				—0.64	
4508	Fe II 38				—0.81	0.05
4490	[FeII] 6, FeII 37				—0.32	
4471	He I				0.86	
4458	[Fe II] 6				—0.35	
4452	[Fe II] 7				—0.30	
4416	[Fe II] 7,6				0.10	0.06
4413	[Fe II] 7				0.13	
4388	He I				—0.04	
4363	[OIII] 2	1,73	1.88	1.40	1.91	0.07

(Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
4351	Fe II 27				—0.14	
4340	H_7	1.64	1.70	1.59	1.67	
4319	[Fe II] 21				—0.10	
4305	[Fe II] 21				—0.45	
4287	[Fe II] 7				0.21	0.08
4276	[Fe II] 21				—0.01	
4267	CII 6				—0.50	
4244	[Fe II] 21				0.24	
4233	Fe II 27				—0.15	
4209					—0.14	0.09
4178	[Fe II] 28				—0.24	0.10
4151					—0.28	
4144	He I				0.35	0.10
4121	He I				—0.13	0.11
4115	[Fe II] 23				—0.39	
4101	H_6	1.39	1.45	1.26	1.43	
4096	N III 1				0.35	
4076	[S II] 1				0.05	
4068	[S II] 1				0.54	0.12
4026	He I				0.57	
4009	He I				—0.54	
3970	H_8 ,[Ne III] 1		1.25		1.68	0.13
3889	H_9 He I		1.11		1.38	0.15
3869	[Ne III] 1		2.00		2.13	
3835	H_9				0.96	0.16
3820	He I				0.27	
3798	H_{10}				0.85	0.17
3770	H_{11}				0.70	
3750	H_{12}				0.59	
3734	H_{13}				0.56	0.18
3722	H_{14} [S III] 2				0.67	
3712	H_{15}				0.43	
3704	H_{16}, He I				0.47	
3697	H_{17}				0.04	
3691	H_{18}				—0.09	0.19
3585	[Fe VII]				0.20	0.21
3343	[Ne III] 2				0.16	0.26
W (H_7)					124	
W (H_6)					68	

где ε_λ — объемный коэффициент эмиссии. Из [8] можно найти, что при $T_e = 18\,000\ ^\circ\mathrm{K}$ для $\lambda = 4\,360$ Å

$$\varepsilon_\lambda = 4.8 \cdot 10^{-30} \text{эрг}/\text{см}^3\,\text{сек}\,\text{Å}. \tag{5}$$

Полагая $n_e = n^+$ находим:

$$n_e^2 V = 4.7 \cdot 10^{60} \frac{I_{\text{тум.}}}{I_{\text{M5III}}}\ \text{см}^{-3}. \tag{6}$$

Ранее было найдено $n_e = 2.5 \cdot 10^6\ \text{см}^{-3}$ и $I_{\text{тум.}} / I_{\text{M5III}} = 10$ у $\lambda = 4\,300$ Å. Подставляя численные значения в (6), получим

$$V = 3.8 \cdot 10^{48}\ \text{см}^3 \tag{7}$$

и

$$\mathfrak{M} = 3.1 \cdot 10^{31}\ \text{г} = 1.5 \cdot 10^{-2}\,\mathfrak{M}_\odot. \tag{8}$$

Предполагая, что туманность имеет форму сферы, получим:

$$R = 0.97 \cdot 10^{16}\ \text{см}. \tag{9}$$

Заключение. Анализ спектрограмм МН$_\alpha$ 328—116 позволяет заключить, что исследуемая звезда, по-видимому, относится к группе симбиотических звезд. Основные наблюдательные факты удалось объяснить предполагая, что МН$_\alpha$ 328—116 является двойной системой, состоящей в настоящее время из нормального гиганта типа M и горячего компонента с $T = 10^5\ ^\circ\mathrm{K}$ и $M_v \approx -3^m$.

Кроме того имеется туманность, расположенная вблизи звезды. Ее электронная плотность равна $2.5 \cdot 10^6\ \text{см}^{-3}$ и $T_e = 18\,000\ ^\circ\mathrm{K}$. Туманность непрозрачна для излучения в бальмеровских линиях. Масса ее светящейся части равна $1.5 \cdot 10^{-2}\ \mathfrak{M}_\odot$. Среди симбиотических звезд наибольшее сходство с МН$_\alpha$ 328—116 имеет BF Cyg. Соотношение между интенсивностями запрещенных и разрешенных линий, вид бальмеровского декремента, а также относительные интенсивности линий нейтрального гелия показывают, что МН$_\alpha$ 328—116 имеет больше, чем любая другая симбиотическая звезда, сходства с планетарными туманностями. Исследование звезды МН$_\alpha$ 328—116 подтверждает сделанное ранее предположение об эволюционном родстве планетарных туманностей и симбиотических звезд.

Выражаю глубокую благодарность Р. Е. Гершбергу за полезные дискуссии, Г. Н. Шараповой за помощь при обработке и С. О'Деллу за предоставленную возможность ознакомиться с его статьей до опубликования.

Крымская астрофизическая
обсерватория

THE SPECTROSCOPIC INVESTIGATION OF THE PECULIAR OBJECT MH$_z$ 328—116

A. A. BOYARCHUK

Six spectrogramms of 80 Å mm (see table 1) were used for the determination of the relative intensities of emission lines (see table 2) and the energy distribution in continuous spectrum (see fig. 1). It was found that the excitation degree of emission spectra had been in 1966 less than that in 1965. The observations can be explained by supposition that MH$_z$ 328—116 is a double star which consists of M-giant, hot star with $T = 10^5$ °K and a nebula with $n_e = 2.5 \cdot 10^6$, $T_e = 18\,000$ °K and $\mathfrak{M} = 1.5 \cdot 10^{-2} \mathfrak{M}_\odot$. Apparently MH$_z$ 328—116 is a symbiotic star.

ЛИТЕРАТУРА

1. *S. W. McCuskey*, Circ, IAU 1916, 1965.
2. *M. P. FitzGerald, N. Houk, S. W. McCuskey, D. Hoffleit*, Ap. J., 144, 1135, 1966.
3. *A. Mammano, L. Rosino*, Mem. d. Soc. Astr. Italiana, 37, № 3, I, 1966.
4. *C. R. O'Dell*, Ap. J., 149, 373, 1967.
5. *A. G. D. Philip*, Circ. IAU, 1946, 1965.
6. *Т. С. Белякина*, Изв. КрАО, 39, (в печати).
7. *J. J. Nassau, D. A. MacRae*, Ap. J., 110, 40, 1949.
8. *А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, В. И. Проник*, Изв. КрАО, 39, (в печати).
9. *R. R. Robbins*, Ap. J., (в печати).
10. *M. J. Seaton*, M. N., 1960, 120, 326.
11. *А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников*, Изв. КрАО, 38, 208, 1967.
12. *А. А. Боярчук*, Астрофизика, 3, 203, 1967.
13. *R. V. Willstrop*, Mem. Royal Astr. Soc., 69, 83, 1965.