

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРА 10 ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

Л. В. МИРЗОЯН

Характеристики непрерывного спектра звезд: спектрофотометрические градиенты и величина скачка у границы серии Бальмера являются важными параметрами физического состояния звездных атмосфер.

Определению этих характеристик для звезд различных спектральных классов посвящены исследования Д. Шалонжа и его коллег из Парижского астрофизического института [1—4]. Им, в частности, разработан метод спектральной классификации звезд, основанный на характеристиках непрерывного спектра [3, 4]. В этих работах, однако, не производится учет избирательного космического поглощения.

В Бюраканской астрофизической обсерватории значительное внимание уделяется исследованию непрерывного спектра горячих звезд, которые в большинстве случаев входят в состав звездных ассоциаций.

Настоящая работа посвящена результатам фотометрического исследования непрерывного спектра 10 звезд спектральных классов O и B, входящих в состав звездной ассоциации Цефеи II [5].

§ 1. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И ЕГО ОБРАБОТКА

Спектрограммы исследованных звезд, в количестве 37 штук, были получены в ноябре 1953 года с помощью 10" телескопа с бесщелевым спектрографом. Оптика спектрографа кварцевая. Линейная дисперсия около 150 Å/мм у H_γ . Использованы фотопластины Ильфورد-Зенит. Пригодная для обработки спектрограмма звезды седьмой величины получалась за часовую экспозицию.

В список исследуемых звезд (таблица 1) были включены четыре O звезды и шесть B звезд. Из остальных звезд ассоциации Цефей II ярче седьмой величины три были исследованы ранее французскими исследователями [1, 3] и нами [6].

Таблица 1

№№ п/п.	Номер по HD	α (1950)	δ (1950)	m	Спектр	Число снимков
1	202214	$21^{\text{h}} 10^{\text{m}}.5$	$59^{\circ} 47'$	5.65	O9s	5
2	203374	17.9	61 39	6.64	B0ne	2
3	205139	29.6	60 14	5.52	B1s	5
4	203165	36.6	61 51	4.87	cB2	4
5	206267	37.4	57 16	5.64	O6n	4
6	203773	40.8	57 30	6.98	B0ne	4
7	207198	43.5	62 14	5.97	O9s	5
8	207538	46.1	59 28	7.03	O9ss	4
9	208218	51.2	62 29	6.76	B1s	2
10	208392	52.4	62 23	7.10	B3ne	2

Методика получения и обработки спектрограмм в основном прежняя. Она подробно изложена в нашей первой работе [7] по фотометрии непрерывного спектра горячих звезд. Фотометрические шкалы получались по звезде α Лирь, последовательным диафрагмированием входного зрачка трубы. Спектрограммы исследуемых звезд и соответствующие шкалы проявлялись одновременно. Обработаны спектрограммы по их микрофотометрическим записям, полученным с помощью фотоэлектрического микрофотометра Бюраканской обсерватории [8]. Использованы две сводные характеристические кривые для областей 3100—3700 Å и 3700—4700 Å. В каждой области непрерывный спектр измерен в 9—11 точках, равномерно расположенных на микрофотограмме. На некоторых спектрограммах непрерывный спектр в ультрафиолетовой области получился очень слабым, вследствие чего он был измерен только в области до бальмеровского скачка.

§ 2. УЧЕТ АТМОСФЕРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

В дни наблюдений параллельно с фотографированием спектров исследуемых звезд были получены спектрограммы звезд α Лиры на разных зенитных расстояниях — с интервалом примерно в один час. Результаты обработки этих спектрограмм были использованы для определения средних коэффициентов прозрачности атмосферы в Бюракане в период наблюдений. С этой целью использована известная зависимость:

$$\lg I_z = \lg I_0 + [F(z) - 1] \lg p,$$

где I_0 и I_z интенсивности в зените и на зенитном расстоянии z , p — коэффициент прозрачности атмосферы для данной длины волны, а $F(z)$ — воздушная масса, проходимая лучом на зенитном расстоянии z^* . Коэффициенты прозрачности получены путем решения способом наименьших квадратов систем таких уравнений. При редукции наблюдений за атмосферное поглощение использованы эти средние коэффициенты (таблица 2).

Таблица 2

$\lambda(\text{A})$	p_λ	$\lambda(\text{A})$	p_λ
3000	0.329	4000	0.625
3200	0.407	4200	0.659
3400	0.477	4400	0.687
3600	0.535	4600	0.710
3800	0.585	4800	0.730

Сравнение данных таблицы 2 с аналогичными из работы [6] показывает, что в ноябре 1953 года прозрачность земной атмосферы в Бюракане была лучше, в особенности в ультрафиолетовой области, по сравнению с соответствующим периодом 1949 г.

Как и в предыдущих работах, звезды сравнивались между собой после их приведения к зениту.

* Для небольших зенитных расстояний $F(z) \approx \sec z$.

§ 3. ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТЫ

Относительный спектрофотометрический градиент звезды

$$\Delta\Phi = -2.303 \frac{d(\Delta\lg I_{\lambda})}{d(1/\lambda)}$$

с точностью до постоянного множителя определяется как угловой коэффициент в линейной зависимости $\Delta\lg I_{\lambda} = f(1/\lambda)$, где $\Delta\lg I_{\lambda}$ есть разность логарифмов интенсивностей исследуемой звезды и звезды сравнения.

Разность $\Delta\lg I_{\lambda}$ характеризует распределение энергии в непрерывном спектре исследуемой звезды по отношению к распределению в спектре звезды сравнения. В настоящей работе звездой сравнения служила HD 206165. Определение указанного углового коэффициента на практике сводится к решению способом наименьших квадратов систем уравнений, представляющих упомянутую линейную зависимость, на основе известных из измерений непрерывного спектра звезд $\Delta\lg I_{\lambda}$ и $1/\lambda$.

Спектрофотометрические градиенты исследованных звезд по отношению к HD 206165 представлены в таблице 3, где $\Delta\Phi_1$ и $\Delta\Phi_2$ — относительные спектрофотометрические градиенты для областей 3700—4600А и 3100—3700, n — число измеренных спектрограмм, а σ_1 и σ_2 — соответствующие среднеквадратичные ошибки из всех определений.

Звезда сравнения HD 206165 в свою очередь сравнена со звездой α Лиры по четырем спектрограммам. Относительные градиенты для HD 206165 оказались равными 0.36 ± 0.05 и -0.30 ± 0.11 для областей до и за границей серии Бальмера.

Абсолютные спектрофотометрические градиенты α Лиры были определены ранее из ее сравнения с лабораторным источником известной температуры и оказались равными:

$$\Phi_1 = 1.14, \Phi_2 = 1.60 \text{ по нашей работе [7].}$$

$$\Phi_1 = 1.14, \Phi_2 = 1.43 \text{ по работе Шалонжа и Барбье [1].}$$

Таблица 3

Номер по HD	Спектр	$\Delta\Phi_1$	n	ε_1	$\Delta\Phi_2$	n	ε_1
202214	O9s	-0.24	5	0.07	-0.11	3	0.05
203374	B0ne	0.09	2	0.07	-0.09	1	—
205139	B1s	-0.29	5	0.10	-0.17	4	0.12
206165	cB2	0.00	4	—	0.00	4	—
206267	O6n	-0.06	4	0.02	-0.20	2	0.15
206773	B0ne	-0.07	4	0.01	0.08	2	0.06
207198	O9s	0.07	5	0.05	-0.14	4	0.14
207538	O9ss	0.02	4	0.10	-0.11	2	0.16
208218	B1s	0.21	2	0.12	-0.10	2	0.12
208392	B3ne	-0.10	2	0.11	-0.07	1	—

В последней работе Шалонжа и Диван [3] приведены значения:

$$\Phi_1=0.96 \text{ и } \Phi_2=1.43.$$

Нами использованы значения $\Phi_1=1.14$ и $\Phi_2=1.60$ для вычисления на основе данных таблицы 3 абсолютных видимых градиентов исследованных звезд. Они даются в первой половине таблицы 4.

Таблица 4

Номер по HD	Спектр	Φ_1	Φ_2	E_1	$\Phi_{1.0}$	$\Phi_{2.0}$
202214	O9s	1.26	1.19	0.18	0.75	0.86
203374	B0ne	1.59	1.21	0.27	0.83	0.72
205139	B1s	1.21	1.13	0.17	0.73	0.82
206165	cB2	1.50	1.30	0.22	0.88	0.90
206267	O6n	1.44	1.10	0.21	0.85	0.62
206773	B0ne	1.43	1.22	0.21	0.84	0.74
207198	O9s	1.57	1.16	0.30	0.73	0.62
207538	O9ss	1.52	1.19	0.30	0.68	0.65
208218	B1s	1.71	1.18	0.26	0.98	0.71
208392	B3ne	1.40	1.23	0.23	0.75	0.81

§ 4. УЧЕТ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ И НОРМАЛЬНЫЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТЫ

Все исследуемые звезды находятся в области, где имеет место заметное покраснение межзвездной природы. Об этом свидетельствуют избытки цвета этих звезд (табл. 4). Поэтому наши определения нуждаются в редукции за избыточное космическое поглощение.

В работе Петри [9] показано, что учет межзвездного покраснения может быть основан на зависимостях наблюдаемого градиент-избыток цвета и наблюдаемый градиент-интенсивность линий межзвездного кальция. Использование второй зависимости дает меньшую точность из-за неравномерного распределения атомов кальция в межзвездном пространстве, несовпадающего с распределением избирательно поглощающей материи.

Зависимость наблюдаемый градиент-избыток цвета была подробно рассмотрена в [10]. На основе наблюдательных данных об избытках цвета и градиентах звезд был определен угловой коэффициент A в зависимости:

$$\Phi = A \cdot \text{ИЦ} + \Phi_0,$$

где Φ — наблюдаемый, Φ_0 — нормальный градиенты звезды, а ИЦ — ее избыток цвета. Для средних длин волны интересующих нас областей спектра и для системы показателей цвета Стеббинса и др. коэффициент A оказался соответственно равным 2.81 (при $\lambda = 0,425\mu$) и 1.81 (при $\lambda = 0,350\mu$). Эти значения и использованы нами. Избытки цвета звезд заимствованы из работы Стеббинса и его коллег [11] с поправками за нормальные показатели цвета согласно Н. Ф. Флорья [12].

Полученные нормальные градиенты табулированы во второй половине таблицы 4.

§ 5. ВЕЛИЧИНА БАЛЬМЕРОВСКОГО СКАЧКА

Решения систем нормальных уравнений при определе-

нии относительных градиентов были использованы для вычисления величины скачка у границы серии Бальмера:

$$D = \lg \frac{I_+}{I_-}.$$

Расстояние точек на прямых, представляющих относительное распределение энергии в спектре исследуемой звезды слева и справа от Бальмеровского скачка при волновом числе, соответствующем скачку, как нетрудно убедиться, равно разности в величинах скачка у звезд исследуемой и сравнения.

Для указанного волнового числа принято значение $\lambda = 2.703$ ($\lambda = 3700 \text{ \AA}$). При этом разность $D - D_0$ для пары HD 206165 — α Лиры оказалась равной 0.443, откуда по известной величине скачка в спектре α Лиры 0.510 [6] была вычислена величина скачка в спектре HD 206165, а затем и в спектрах всех исследуемых звезд (табл. 5).

Таблица 5

Номер по HD	Спектр	$D - D_0$	D
202214	O9s	-0.035	0.032
203374	B0ne	0.002	0.069
205139	B1s	-0.035	0.032
206165	cB2	0.000	0.067
206267	O6n	-0.037	0.030
206773	B0ne	-0.077	-0.010
207198	O9s	-0.063	0.004
207538	O9ss	-0.030	0.037
208218	B1	0.041	0.108
208392	B3ne	0.061	0.128

§ 7. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Четыре из исследованных 10 звезд входят в список Шалонжа и Диван [3]. Кроме того, для шести из них Барбье [13] определил величину Бальмеровского скачка на основе данных шестицветной фотометрии Стеббинса

и Уитфорда [14]. При этом три звезды общие в обеих работах.

В таблице 7 приводится сводка результатов, полученных в этих работах и в нашей, с целью их сравнения.

Таблица 6

Номер по HD	Спектр	Φ_1		Φ_2		D		
		Шалонж, Диван	Мирзоян	Шалонж, Диван	Мирзоян	Шалонж, Диван	Барбье	Мирзоян
203374	B0ne	—	1.59	—	1.21	—	-0.013	0.069
205139	B0's	1.24	1.21	1.36	1.13	0.053	0.028	0.032
205165	cB2	1.50	1.50	1.56	1.30	0.089	0.071	0.067
206267	O6n	1.45	1.44	1.51	1.10	0.029	—	0.030
206773	B0ne	—	1.43	—	1.22	—	-0.034	-0.010
207198	O9s	1.57	1.57	1.56	1.16	0.048	0.004	0.004
207538	O9	—	1.52	—	1.19	—	-0.017	0.037

Рассмотрение этой таблицы показывает, что в фотографической области для всех четырех звезд градиенты совпадают с высокой точностью, между тем в ультрафиолете они значительно отличаются, причем по нашим определениям они систематически меньше, чем у Шалонжа и Диван.

Если учесть, что по работе последних для α Лиры соответствующие градиенты равны: $\Phi_1 = 0.96$ и $\Phi_2 = 1.43$, а нами использованы значения $\Phi_1 = 1.14$ и $\Phi_2 = 1.60$, то указанная разность в ультрафиолете значительно возрастет, а для градиентов в фотографической области появится постоянная разность между определениями Шалонжа и Диван и нашими.

Согласие между определениями нашими, Шалонжа и Диван, а также Барбье для величины бальмеровского скачка следует считать удовлетворительным.*

* Примечание к корректуре. Согласно, удовлетворительное также между нашими определениями и таковыми, приведенными в недавно вышедшей статье Диван (Ann. d'Ap. 17. 456, 1954).

Для HD 203374 заметное различие в величине скачка, по определениям Барбье и нашим, повидимому, можно объяснить усилением непрерывного излучения этой звезды за балмеровским скачком в период наблюдений Стеббинса и Уитфорда, подобно тому, что наблюдалось у γ Кассиопеи [1]. В пользу такого объяснения может служить сходство их спектров, классифицированных как B0pe.

Данные второй половины таблицы 4 можно попытаться использовать для получения средних для данного спектрального подкласса нормальных градиентов и спектротометрических температур. Сказанное иллюстрируется таблицей 7. Температуры в ней вычислены из формулы

$$\Phi = \frac{c_2}{T} \left(1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \right)^{-1},$$

где T — спектротометрическая температура, а c_2 — постоянная в законе Планка.

Таблица 7

Спектр	n	Φ_1	Φ_2	$T_1 \times 10^{-3}$	$T_2 \times 10^{-3}$
O6—O9	4	0.75	0.69	26.5	26.5
B0	2	0.84	0.73	21.5	24.0
B1	2	0.86	0.77	20.5	22.0
B2—B3	2	0.82	0.86	22.5	19.0

Данные этой таблицы показывают, что спектротометрические температуры в ультрафиолете в среднем больше, чем в фотографической области. Как известно, во всех известных случаях наблюдается обратное соотношение (см. например [15]). Причина такого расхождения кроется, повидимому, в том, что наши исходные данные об абсолютных градиентах α Лиры не совсем корректны. Дело не выигрывает, если использовать для них данные Шалонжа и Барбье [1] или Шалонжа и Диван [2]. В первом случае получаются невероятно высокие температуры в ультрафиолете, а во втором, как в ультрафиолете, так и в фотографической области.

Остается допустить, что если величина абсолютного градиента α Лиры в ультрафиолете, принятая в настоящей

работе $\Phi_2 = 1.60$, близка к действительности так как приводит к температурам, близким к средним температурам, полученным на основе материала для большого числа звезд [16], то его величина в фотографической области $\Phi_1 = 1.14$ должна быть несколько уменьшена.

Не исключена также возможность, что это расхождение имеет более глубокую причину. А именно, что у звезд, входящих в звездные ассоциации, т. е. находящихся в стадии становления, имеется избыток ультрафиолетового излучения по отношению к излучению нормальных звезд.

Автор выражает благодарность сотруднику обсерватории Э. С. Парсамян за помощь в вычислениях.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория АН Армянской ССР

Լ. Վ. ՄԻՐՅՈՅԱՆ

10 ՋԵՐՄ ԱՍՏՂԻ ԱՆԸՆԴՀԱՏ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ՖՈՏՈՄԵՏՐԻԿ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ցեֆեյ II աստղասփյուռի կազմում գիտվող մինչև յոթերորդ մեծություն 10 աստղի անընդհատ սպեկտրների չափումների հիման վրա որոշված են այդ աստղերի սպեկտրոֆոտոմետրիկ գրադիենտները բալմերյան թռիչքի երկու կողմերում ընկած տիրույթների համար, ինչպես նաև այդ թռիչքի մեծությունը: Ուսումնասիրված աստղերի ցուցակը բերված է աղյուսակ 1-ում: Դիտումները կատարվել են Բյուրականում, 10" ԱՍԻ-5 գիտակ-սպեկտրոգրաֆի միջոցով 1953 թվականի նոյեմբեր ամսին: Օգտագործված է հեղինակի նախկին աշխատանքներում մշակված մեթոդիկան:

Չափումների արդյունքներն աղստոված են մթնոլորտային կլանման ազդեցությունից: Օգտագործված են դիտումների ժամանակաշրջանի համար որոշված մթնոլորտի թափանցիկության միջին գործակիցները (աղյուսակ 2):

Բոլոր աստղերը համեմատված են HD 206165 աստղի հետ, որն իր հերթին համեմատված է α Գնարի աստղի հետ, վեր-

Չինիս համար նախկինում որոշված են եղել բացարձակ սպեկտրոֆոտոմետրիկ գրադիենտները հիշյալ տիրույթներում և բալմերյան թռիչքի մեծութունը, որոնք և օգտագործվել են ներկա աշխատանքում:

Ուսումնասիրված աստղերի հարաբերական գրադիենտները HD 206165-ի համեմատությամբ, նրանց միջին քառակուսային սխալների հետ միասին բերված են աղյուսակ 3-ում, իսկ դիտվող բացարձակ գրադիենտները՝ աղյուսակ 4-ի երրորդ և չորրորդ սյունակներում:

Աստղերի դիտվող բացարձակ գրադիենտների և գույնի ավելցուկների միջոցով այնուհետև հաշվված են նրանց իրական (նորմալ) բացարձակ գրադիենտները (աղյուսակ 4-ի վեցերորդ և յոթերորդ սյունակները):

Բալմերյան թռիչքի մեծութունը որոշված է նախկինում օգտագործված մեթոդով: Հաշվման արդյունքները բերված են աղյուսակ 5-ում:

Ստացված մեծութունները համեմատված են այլ հեղինակների ստացած արդյունքների հետ (աղյուսակ 6):

Աշխատանքի վերջում բերված են տարբեր սպեկտրալ ենթադասերի համար հաշվված միջին նորմալ բացարձակ գրադիենտներն ու սպեկտրոֆոտոմետրիկ ջերմաստիճանները (աղյուսակ 7):

Արդյունքների քննարկումը հանգեցնում է հետևյալ եզրակացությունների: Եթե α Քնարի բացարձակ գրադիենտի համար բալմերյան թռիչքից հետո ընկած տիրույթում ընդունված 1.60 արժեքը մոտ է իրականությանը, ապա մինչ այդ թռիչքը ընկած մասում ընդունված 1.14 արժեքը պետք է փոքրացվի:

Հակառակ դեպքում պետք է ենթադրել, որ աստղասփյուռների կազմում դիտվող աստղերը, որոնք ըստ ժամանակակից պատկերացումների երիտասարդ աստղեր են, նորմալ աստղերի համեմատությամբ սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասում ունեն ճառագայթման ավելցուկ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Barbier D., Chalonge D. Ann. d'Ap. 4, 31, 1941.
2. Barbier D., Chulonge D. Ann. d'Ap. 10, 195, 1947.
3. Chalonge D., Divan L. Ann. d'Ap. 15, 201, 1952.
4. Шалонж Д. Природа, 11, 42, 1954.

5. *Маркарян Б. Е.* Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. 11, 1953
6. *Мирзоян Л. В.* Астрон. Журн., 30, 153, 1953.
7. *Мирзоян Л. В.* Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. 7, 1951.
8. *Гурзадян Г. А.* Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. 14, 1954.
9. *Petrie W.* Publ. Dom. Obs. Victoria, 7, 383, 1948.
10. *Мирзоян Л. В.* Известия АН Армянской ССР, серия ФМЕТ наук, 5 № 6, 1952.
11. *Stebbins J., Huffer C., Whitford A.* Ap. J. 90, 20, 1940.
12. *Флюря Н. Ф.* Труды ГАИШ, 16, 4, 1949.
13. *Barbier D.* Ann. d'Ap. 15, 113, 1952.
14. *Stebbins J., Whitford A.* Ap. J. 102, 318, 1945.
15. *Мустель Э. Р.* Успехи Астр. наук, 3, 153, 1953.
16. *Мирзоян Л. В.* Доклады АН Армянской ССР, 20: 3, 1955.