

Некоторые свойства звезд типа β Cep*В. С. Попов*

Статья состоит из двух частей. В первой части содержатся результаты спектрофотометрического исследования непрерывного излучения шести звезд типа β Cep на основе материала, полученного автором. Установлено, что фазе максимального блеска соответствует максимальная спектрофотометрическая температура, а также, что в течение периода изменения блеска температура звезд меняется приблизительно на 1000° , причем для фотографической области спектра несколько больше. Во второй части рассматривается K -эффект для группы типа β Cep. Он получен равным $+2.7$ км/сек, что полностью объясняется гравитационным эффектом и эффектом кривой роста.

Some Properties of β Cep Type Stars*V. S. Popov*

In the first part of the paper the results are given of the spectrophotometric investigation of continuous emission of 6 β Cep type stars from data obtained by the author. It was found that the phase of maximum brightness corresponds to maximum spectrophotometric temperature and that during the period of light variation the temperature of the star changes by about 1000° , this value being somewhat greater in the photographic region.

In the second part the K -effect for a group of β type stars is considered. It was found to be equal to $+2.7$ km/sec, this being wholly explained by the gravitational and the curve of growth effects.

Введение

В середине первого десятилетия нашего века у ряда звезд при систематическом изучении их спектров обнаружены чрезвычайно быстрые (с периодом порядка 0.2^d), обычно небольшие по амплитуде, колебания лучевых скоростей. При этом периодичность выражена строго, так что с помощью линейных элементов можно было связать наблюдения за много лет. Амплитуды изменения лучевых скоростей у различных звезд этого типа неодинаковы, в пределах от десяти до многих десятков км/сек. У некоторых звезд они заметно меняются.

Все звезды этого типа относятся к спектральному классу В, хотя первоначально к нему относили и некоторые звезды классов А и F, которые при более тщательном исследовании оказались не принадлежащими к этому типу.

Начиная с середины десятых годов нашего века, ряд звезд типа β Cep был исследован с помощью фотоэлектрических фотометров (Гутник, Прагер, Стеббинс и др.). У многих звезд были обнаружены незначительные (с амплитудой порядка 0.05^m — 0.15^m) колебания блеска. Эти колебания обнаружили такую же периодичность, что и изменения лучевых скоростей. Также было замечено, что ширина и интенсивность спектральных линий заметно меняется в течение периода переменности.

Явления, наблюдаемые у этих звезд, по своей природе, по-видимому, сходны с явлениями, наблюдаемыми у цефеид, в частности типа RR Lyr.

Однако, поскольку нельзя с уверенностью говорить о физической связи этих звезд с цефеидами, эти звезды выделяются особо и называются по имени впервые показавшей подобные явления звезды — «звездами типа β Цефея» (или, как их иногда называют, звезды типа α Canis Majoris).

В течение последних лет были выполнены многочисленные исследования переменных звезд этого типа. Особенно много ими занимались *О. Струве, Д. Х. Мак Намара, А. Д. Вильямс, М. Ф. Уокер* и др. В настоящее время известные звезды этого типа представляют собой весьма однородную группу со спектральными классами В1 — В2, подклассами светимости III—IV и периодами изменения блеска и лучевых скоростей, заключенных в пределах 0.15^d — 0.25^d . Для звезд этого типа существует зависимость период — спектральный класс и период — светимость. Однако эти зависимости не являются продолжением аналогичных зависимостей для цефеид.

Переменность этого типа не очень редка — среди 28 звезд северного неба ярче 5.0^m классов В1 и В2 семь звезд являются переменными. Среди 97 звезд ярче 7.0^m — 10 переменных. В настоящее время известно 11 переменных звезд типа β Сер (γ Peg, δ Cet, ν Eri, β CMa*, ξ^1 CMa, τ^1 Lyr, σ Sco, BW Vul, β Ser, DD и EN Lac).

Более подробные сведения о звездах типа β Сер или β CMa можно найти в статьях *О. Струве* [1], *О. Б. Васильева* [2] и др.

1. Спектрофотометрия непрерывного спектра шести звезд типа β Сер

Одной из важных задач звездной спектрофотометрии является сравнительное изучение распределения энергии в непрерывном спектре звезд. Основывается оно на измерениях характеристик непрерывного спектра звезд — спектрофотометрических градиентов и температур, а также величины бальмеровского скачка, которые являются важными параметрами, характеризующими физическое состояние звездных атмосфер.

Настоящая работа содержит результаты исследования непрерывного излучения шести звезд типа β Сер (табл. 1) и некоторых их кинематических характеристик.

§ 1. Инструмент и наблюдательный материал

Наблюдения были произведены осенью 1956 г. на 250-мм (10") телескопе АСИ-5 системы Мельникова-Иоаннисиани [3] с бесщелевым кварцевым спектрографом в Бюраканской астрофизической обсерватории.

Для фотографирования звездных спектров были использованы пластинки типа Агфа — Астра.

На фотопластинках размером $4,5 \times 6$ см, при перемещении ее перпендикулярно дисперсии, можно было получить 8 — 10 спектров.

При нормальной выдержке получаются спектрограммы длиной в 3 см, охватывающие спектральную область λ 3000 — 5000 Å.

Спектры расширялись естественным суточным движением при отключенном часовом механизме.

Всего было получено около 85 спектров исследуемых звезд и звезд сравнения α Лиры и α CMa. Из них были выбраны 75 спектров, а именно 45 спектров исследуемых звезд и 30 спектров звезд сравнения для спектрофо-

* Принадлежность звезды β CMa к переменным звездам типа β Сер пока еще полностью не установлена.

Таблица 1

J. D.	E	Фаза	J. D.	E	Фаза
β Cep		B 2 III	δ Cet		B 2 IV
2435726.362	70990	0.393	2435733.517	8965	0.113
26.366	70990	.414	33.519	8965	.126
31.282	71016	.222	33.522	8965	.144
31.284	71016	.232	34.459	8970	.959
34.295	71032	.039	34.462	8970	.978
34.299	71032	.060	35.463	8977	.190
37.501	71048	.870	35.467	8977	.215
37.503	71048	.880	37.557	8990	.185
			37.559	8990	.198
ν Eri		B 2 III	β CMa		B 1 II-III
2435733.564	12121	0.769	2435734.495	69459	0.913
33.565	12121	.775	35.550	69464	.133
34.471	12126	.997	35.552	69464	.141
34.475	12127	.020	37.522	69472	.020
35.476	12132	.789	37.523	69472	.024
35.479	12132	.806	37.525	69472	.032
35.570	12133	.331	37.575	69472	.232
35.573	12133	.348	37.576	69472	.236
			37.578	69472	.244
γ Peg		B 2 IV	ξ^1 CMa		B 1 IV
2435726.384	7166	0.814	2435735.539	6672	0.884
31.289	7199	.137	35.564	6672	.908
31.291	7199	.150	37.534	6682	.308
31.292	7199	.157	37.566	6682	.460
34.288	7218	.900	37.569	6682	.475
34.289	7218	.906			

¹ Фазы и эпохи вычислены с элементами ОКПЗ, 1958.

тометрических шкал. Отметим, что при каждом наблюдении спектры исследуемых звезд нами были сняты по несколько раз с разной выдержкой для фотографической и для ультрафиолетовой частей спектра.

§ 2. Обработка спектрограмм

Регистрограммы спектров получены на саморегистрирующем микрофотомере системы Молля с увеличением $8\times$ (в спектроскопической лаборатории Астрономической обсерватории ЛГУ).

Калибровка спектрограмм выполнена по отношению к звездам сравнения α Луг и α CMa. Звездные фотометрические шкалы получены по этим звездам путем фотографирования их спектров с последовательным диафрагмированием входного отверстия трубы телескопа четырьмя сетчатыми диафрагмами с определенным отношением площадей пропускания света. Шкалы получены на тех же пластинках, что и спектры исследуемых звезд, и проявлялись одновременно.

Характеристические кривые были построены для каждой из шкал для 10 выбранных длин волн, равномерно расположенных в фотографической и ультрафиолетовой частях спектра.

Для каждой характеристической кривой шкала дает 5 точек (4 диафрагмы и свободное отверстие). Логарифмы площадей пропускания ($2 \lg D$) приведены в табл. 2. Для простоты площадь IV диафрагмы принята равной единице.

Таблица 2

Свободное отверстие	Диафрагмы			
	I	II	III	IV
1.255	0.962	0.688	0.276	0.000

Для каждой пластинки (или двух пластинок) характеристические кривые соединены в две кривые для фотографической ($\lambda\lambda$ 3650 — 4600 Å) и ультрафиолетовой ($\lambda\lambda$ 3100 — 3650 Å) областей, так как они для соседних длин волн мало отличаются друг от друга. При обработке спектрограмм использованы эти сводные кривые.

§ 3. Учет атмосферного поглощения

Для исключения влияния поглощения света земной атмосферы все звезды, как и звезды сравнения, приведены к зениту и затем сравнены между собой. Использована общеизвестная формула:

$$m_{\lambda}(0) = m_{\lambda}(z) + 2.5 [F(z) - 1] \cdot \lg p_{\lambda},$$

где $m_{\lambda}(0)$ и $m_{\lambda}(z)$ — звездные величины исследуемой звезды для данной длины волны в зените и на зенитном расстоянии z , соответственно; p_{λ} — коэффициент прозрачности земной атмосферы для этой длины волны ($p_{\lambda} = e^{-\tau_{\lambda}}$, где τ_{λ} — оптическая толщина атмосферы), а $F(z)$ — воздушная масса на зенитном расстоянии z , взятая по таблицам Бэмпорада [4].

В работе использованы следующие (табл. 3) средние значения коэффициентов p_{λ} , полученные Л. В. Мирзояном [5] из наблюдений звезды сравнения (α Лиры) на различных зенитных расстояниях.

Таблица 3

λ (Å)	$1/\lambda \cdot 10^4$	p_{λ}	λ (Å)	$1/\lambda \cdot 10^4$	p_{λ}
3000	3.33	0.329	4000	2.50	0.625
3200	3.12	0.406	4200	2.38	0.659
3400	2.94	0.477	4400	2.27	0.687
3600	2.78	0.535	4600	2.17	0.710
3800	2.63	0.585	4800	2.08	0.730

§ 4. Определение спектрофотометрических градиентов и бальмеровских скачков

Относительные спектрофотометрические градиенты определялись, как обычно, по формуле

$$G = \frac{d \ln \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}}{d\left(\frac{1}{\lambda}\right)} = 0.921 \cdot \frac{d \Delta m(\lambda)}{d\left(\frac{1}{\lambda}\right)}, \quad (1)$$

где $\Delta m(\lambda)$ — разность монохроматических звездных величин двух сравниваемых между собой звезд.

Допуская, что распределение энергии в спектре звезды представляется формулой Планка с температурой T_c , из формулы (1) легко получаем, что

$$G = \frac{c_2}{T_c} \left(1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T_c}}\right)^{-1} - \frac{c_2}{T_c^0} \left(1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T_c^0}}\right)^{-1},$$

иначе

$$G = \varphi_\lambda - \varphi_\lambda^0, \quad (2)$$

где

$$\varphi_\lambda = \frac{c_2}{T_c} \left(1 - e^{-\frac{c_2}{\lambda T_c}}\right)^{-1}. \quad (3)$$

φ_λ называется абсолютным спектрофотометрическим градиентом, соответственно для звезды сравнения и исследуемой звезды. Значение φ_λ всегда относится к определенной средней длине волны исследуемого участка.

Из формулы (3) видно, что можно однозначно определить градиентную или спектрофотометрическую температуру. Поскольку звезды типа A0 показывают наименьшую дисперсию спектрофотометрических температур, они используются как звезды сравнения. Таким образом, абсолютный спектрофотометрический градиент звезд A0 является нуль-пунктом шкалы спектрофотометрических температур вообще.

Из наблюдений относительный спектрофотометрический градиент определялся следующим образом. На микрофотограммах во всей доступной для обработки области частот были выбраны 23 равномерно расположенные точки: $1/\lambda = 2.16; 2.20; 2.26; 2.32 \dots$ и т. д. Для всех этих волновых чисел были определены разности блеска исследуемой звезды и звезды сравнения $\Delta m_i(\lambda)$ с учетом поправки для приведения к зениту. Очевидно, что не вполне точный учет атмосферного поглощения (использование средних коэффициентов прозрачности атмосферы) не может оказать заметного влияния на значения относительных спектрофотометрических градиентов. Затем, на основе полученных таким образом $\Delta m_i(\lambda)$, были построены кривые относительных звездных величин в зависимости от длины волны, угловой коэффициент которых, умноженный на 0.921, представляет собой относительный спектрофотометрический градиент. Причем для каждой звезды было построено по две кривых для относительных областей до бальмеровского скачка ($\lambda\lambda = 3650 - 4600 \text{ \AA}$) и за ним ($\lambda\lambda = 3100 - 3650 \text{ \AA}$).

При построении этих кривых точки, заметно уклоняющиеся от прямых на графиках зависимости $\Delta m_i(\lambda)$ от $1/\lambda$, были отброшены. В большинстве случаев это крайние точки на спектрограмме или точки в соседстве с границей серии Бальмера.

Часто зависимость Δm_λ от $1/\lambda$ нелинейная, что указывает на заметные отклонения распределения энергии в непрерывном спектре звезд от планковского распределения. Особенно резко такие отклонения наблюдаются в фотографической части спектра, до бальмеровского скачка. Естественным, что в этих случаях определенные градиенты лишь в грубом приближении характеризуют распределение энергии в непрерывном спектре звезды.

В табл. 4 в столбцах 3 и 4 приведены полученные значения относительных спектрофотометрических градиентов для фотографической и ультрафиолетовой областей спектра, соответственно G_1 и G_2 .

Так как относительный спектрофотометрический градиент равен разности абсолютных градиентов исследуемой звезды и звезды сравнения, то полученные значения относительных градиентов позволяют определить абсолютные спектрофотометрические градиенты исследуемых звезд. Для этого необходимо знать абсолютные спектрофотометрические градиенты звезд сравнения.

Таблица 4

Звезда	Фаза	G_1	G_2	D	φ'_1	φ'_2	φ_1	φ_2
β Cep B 2 III	0 ^p .05	—0.09	—0.38	0.11	+1.07	+1.05	0.69	0.75
	0.2	—0.08	—0.37	0.11	+1.08	+1.06	0.70	0.76
	0.4	—0.07	—0.36	0.13	+1.09	+1.07	0.71	0.77
	0.9	—0.08	—0.37	0.11	+1.08	+1.06	0.70	0.76
ν Eri B2 III	0.0	—0.18	—0.47	0.22	+0.98	+0.96	0.70	0.75
	0.3	—0.17	—0.45	0.23	+0.99	+0.98	0.71	0.77
	0.8	—0.18	—0.46	0.18	+0.98	+0.97	0.70	0.76
γ Peg B2 IV	0.15	—0.32	—0.55	0.11	+0.84	+0.88	0.69	0.76
	0.8	—0.32	—0.56	0.11	+0.84	+0.87	0.69	0.75
	0.9	—0.32	—0.55	0.11	+0.84	+0.88	0.69	0.76
δ Cet B2 IV	0.0	—0.25	—0.52	0.11	+0.91	+0.91	0.70	0.75
	0.1	—0.25	—0.52	0.11	+0.91	+0.91	0.70	0.75
	0.2	—0.25	—0.51	0.11	+0.91	+0.92	0.70	0.76
β CMa B1 II—III	0.0	—0.34	—0.59	0.07	+0.82	+0.84	0.64	0.70
	0.1	—0.33	—0.59	0.07	+0.83	+0.84	0.65	0.70
	0.2	—0.33	—0.58	0.07	+0.83	+0.85	0.65	0.71
	0.9	—0.33	—0.59	0.07	+0.83	+0.84	0.65	0.70
ξ^1 CMa B1 IV	0.3	—0.28	—0.55	0.09	+0.88	+0.88	0.66	0.71
	0.5	—0.28	—0.53	0.09	+0.88	+0.90	0.66	0.73
	0.9	—0.29	—0.58	0.07	+0.87	+0.85	0.65	0.68

Для звезд сравнения α Lyr и α CMa в качестве абсолютных спектрофотометрических градиентов в области $\lambda\lambda = 3650 - 4600 \text{ \AA}$ нами было принято значение $\varphi_1^0 = 1.16 \pm 0.03$ и в области $\lambda\lambda = 3100 - 3650 \text{ \AA}$ значение $\varphi_2^0 = 1.43 \pm 0.08$. Первые значения получены *О. А. Мельниковым* [6], а вторые, для ультрафиолетовой области спектра, — *Д. Барьбе* и *Д. Шалонжем* [7].

Полученные нами значения абсолютных спектрофотометрических градиентов приведены в табл. 4 в столбцах 6 и 7. При этом через φ'_1 обозначен абсолютный градиент до границы серии Бальмера, через φ'_2 — градиент после границы.

Кроме спектрофотометрических градиентов, важной характеристикой непрерывного спектра звезд, в частности звезд типа β Cep, является скачок интенсивности у предела серии Бальмера. Эта величина определяется по формуле

$$D = \lg \frac{I_{3647+\varepsilon}}{I_{3347-\varepsilon}}.$$

Очевидно, что космическое и атмосферное поглощение света не влияет на величину бальмеровского скачка.

Для определения величины D мы поступили следующим образом. Плавную линию, проведенную на микрофотограмме для определения спектрофотометрического градиента в фотографической части, мы экстраполировали вблизи бальмеровского континуума, так как большая концентрация линий поглощения водорода на узком интервале длин волн вблизи континуума вызывает искажение истинного распределения энергии в непрерывном спектре.

Затем определялись логарифмы интенсивностей у пределов серии Бальмера (т. е. $\lg I_{3647+\varepsilon}$ и $\lg I_{3647-\varepsilon}$). Полученные нами значения величины D приведены в табл. 4 в столбце 5.

§ 5. Учет избирательного поглощения света межзвездной материей

Полученные нами в § 4 спектрофотометрические градиенты не являются величинами, характеризующими истинное распределение энергии в непрерывном спектре звезд, так как они еще не исправлены за космическое избирательное поглощение.

В настоящей работе мы будем учитывать межзвездное поглощение не по избыткам цвета звезд, а по средним значениям поглощения для данной области неба и данного расстояния, так как в случае звезд типа β Сер избытки цвета, вероятно, определяются не только межзвездным поглощением, но и пульсациями их атмосфер.

Как известно, общее и избирательное поглощение света вызывается не непрерывной поглощающей материей, а дискретными космическими облаками. Однако в первом приближении можно предположить, что она распределена равномерно, независимо от размеров частиц.

Так как изменение интенсивности излучения звезды происходит по закону:

$$I'_\lambda = I_\lambda \cdot e^{-\kappa_\lambda r}, \quad (4)$$

где r — расстояние до звезды, то для истинного абсолютного спектрофотометрического градиента φ_λ получаем

$$\varphi_\lambda = \varphi'_\lambda - \Delta\varphi_\lambda, \quad (5)$$

где φ'_λ — абсолютный градиент, искаженный избирательным поглощением, а

$$\Delta\varphi_\lambda = \frac{dx_\lambda \cdot r}{d(1/\lambda)}. \quad (6)$$

Для коэффициента поглощения света межзвездной материей обычно принимается следующее эмпирическое выражение

$$\kappa_\lambda = k_0 + K_\lambda, \quad (7)$$

где k_0 — не избирательная, а $K_\lambda = \frac{k}{\lambda^{a(\lambda)}}$ — избирательная его часть. Однако известно [8], что $k_0 \approx 0.1 K_\lambda$ при $3000 \text{ \AA} < \lambda < 5000 \text{ \AA}$, т. е. $\kappa_\lambda \approx K_\lambda$.

Поэтому, пренебрегая величиной k_0 в формуле (7), для полного поглощения в длине волны λ мы имеем:

$$A_\lambda = 1.086 \cdot K_\lambda;$$

Величина $\Delta\varphi_\lambda$ может быть представлена в виде

$$\Delta\varphi_\lambda = 0.921 \frac{\left(\frac{K_{\lambda_2}}{K_v} - \frac{K_{\lambda_1}}{K_v}\right)}{\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \cdot A_v, \tag{8}$$

где A_v — полное визуальное поглощение, а λ_1 и λ_2 — начальная и конечная длины волн области определения спектрофотометрического градиента. Значения величины K_λ/K_v находились по отношению K_{pg}/K_λ , полученному *О. А. Мельниковым* [9].

Подставляя указанные значения K_λ/K_v в формулу (8), для наших интервалов определения спектрофотометрических градиентов получаем $\Delta\varphi_1 = 0.573 \cdot A_v$ для фотографической части, $\Delta\varphi_2 = 0.443 \cdot A_v$ — для ультрафиолетовой части.

При вычислении $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ для разных звезд значения величины A_v были взяты из работы *П. П. Паренаго* [10].

Исправленные указанным способом градиенты исследуемых звезд приведены в табл. 4 в последних двух столбцах. При этом предположено, что свет, идущий от звезд сравнения, не подвергается межзвездному поглощению.

§ 6. Результаты измерения

Полученные выше значения бальмеровского скачка D и абсолютных спектрофотометрических градиентов φ_1 и φ_2 , исправленных за межзвездное поглощение света, мы усреднили для спектральных подклассов B1 и B2. При нахождении средних значений величин φ_1 и φ_2 были отброшены некоторые значения, сильно отличающиеся от средних. Усредненные величины φ_1 и φ_2 и D для различных фаз приведены в табл. 5.

Таблица 5

Спектральный подкласс	Фаза	D	φ_1	φ_2
B1	0 ^p 0	0.07	0.64	0.70
	0.1	0.07	0.65	0.70
	0.2	0.07	0.65	0.71
	0.3	0.09	0.66	0.71
	0.4	0.09	0.66	0.73
	0.9	0.07	0.65	0.69
B2	0.00	0.11	0.70	0.75
	0.05	0.11	0.69	0.75
	0.10	0.11	0.70	0.75
	0.15	0.11	0.69	0.76
	0.20	0.11	0.70	0.76
	0.3	0.13	0.71	0.77
	0.4	0.13	0.71	0.77
	0.8	0.11	0.70	0.76
	0.9	0.11	0.70	0.76

Для обоих подклассов были найдены D , φ_1 и φ_2 , T_{c1} и T_{c2} — для максимума и минимума блеска звезд (табл. 6).

Таблица 6

Спектральный подкласс	Фаза	D	φ_1	φ_2	Tc^1	Tc^2
B1	0P.00 макс. 0.40 мин.	0.07	0.65	0.70	36000°	25000°
		0.09	0.66	0.72	34600°	24000°
B2	0P.00 макс. 0.35 мин.	0.11	0.70	0.75	30000	22600
		0.13	0.71	0.77	28600	21700

Из табл. 6 видно, что градиентные или спектрофотометрические температуры для обоих подклассов для максимума блеска выше, чем для минимума, причем в фотографической части спектра примерно на 1400° и для ультрафиолетовой части примерно на 1000°.

II. К-эффект для системы звезд типа β Сер

§ 1. Движение звезд типа β Сер

Наблюдаемую лучевую скорость звезды, как обычно, мы представляем формулой

$$v_r = v_r' - v_{\odot} \cdot \cos \lambda + A \cdot r \cdot \sin 2(l - l_0) \cdot \cos^2 b, \tag{9}$$

- где v_r' — пекулярная (т. е. присущая самой звезде) лучевая скорость;
 $v_{\odot}$ — скорость движения Солнца относительно какой-либо системы звезд;
 λ — угловое расстояние звезды от апекса;
 r — расстояние до звезды, исправленное за межзвездное поглощение;
 A — постоянная галактического вращения, принятая нами равной 17.2 км/сек/пс [9], [11];
 l — галактическая долгота звезды;
 b — галактическая широта звезды;
 l_0 — галактическая долгота Солнца, равная 325°.

Пекулярная скорость звезды будет, следовательно, равна:

$$v_r' = v_r + v_{\odot} \cdot \cos \lambda - A \cdot r \cdot \sin 2(l - l_0) \cdot \cos^2 b.$$

В среднем для достаточно большого числа звезд пекулярная скорость близка к нулю.

Однако, В-звезды обнаруживают характерную особенность, замеченную впервые в 1903 г. Фростом и Адамсом и названную в дальнейшем К-эффектом.

В случае звезд спектральных классов, отличных от О и В, К-эффект близок к нулю, а для этих звезд он составляет +4 — +5 км/сек.

Природа К-эффекта еще недостаточно выяснена.

Нами был определен К-эффект для системы звезд типа β Сер, а также была определена скорость Солнца относительно этой системы звезд. Для этого лучевые скорости исследуемых звезд, взятые из «Общего каталога лучевых скоростей звезд» Р. Е. Вильсона [12], были исправлены за галактическое вращение, ибо его определение для системы звезд типа β Сер пока еще не представляется возможным ввиду ее малочисленности.

Из решения 11 условных уравнений вида:

$$K - v_{\odot} \cdot \cos \lambda = v_r^*,$$

где v_r^* — лучевая скорость звезды, исправленная за галактическое вращение; было найдено, что:

$$K = + 2.7 \pm 1.4 \text{ км/сек},$$

$$v_{\odot} = 19.3 \pm 3.9 \text{ км/сек}.$$

§ 2. Эффекты, входящие в K -член

Наблюдаемое значение K -члена включает в себя, согласно терминологии *О. А. Мельникова* [6], три возможных эффекта: динамический, геометрический и физический.

Динамический эффект вытекает из обобщенной теории галактического вращения и может проявиться в изменении K -члена с расстоянием.

Для системы звезд типа β Сер, как и для цефеид, эта зависимость обнаруживается, K -член с увеличением расстояния медленно убывает.

Часть K -эффекта звезд вообще и, в частности, типа β Сер, может быть вызвана местными потоками, например, потоком Скорпиона — Центавра и др.

Под геометрическим эффектом K -члена подразумевается влияние бленд и ошибок в длинах волн.

Для звезд *О* и *В* по необходимости используется лабораторная система длин волн (так как другого пути для определения лучевых скоростей этих звезд пока неизвестно). Список главных и вторичных стандартов для этой цели был разработан и рекомендован Комиссией по лучевым скоростям *МАС* [14]. Однако имеются серьезные факторы, которые искажают лабораторную систему длин волн при применении ее к звездам, в частности эффект кривой роста, сущность которого заключается в следующем. Эквивалентная ширина линий поглощения пропорциональна оптической глубине в их центре только в области очень слабых линий. При больших значениях оптической глубины изменениям последней соответствуют очень незначительные изменения эквивалентных ширин спектральных линий. В 1944 г. *Г. А. Шайн* [15] обратил внимание на тот факт, что в результате указанного явления компоненты спектральных мультиплетов могут иметь в звездных спектрах относительные интенсивности, отличные от таковых, вычисленных теоретически или измеренных в лаборатории. Действительно, так как оптическая глубина в линиях пропорциональна их теоретическим интенсивностям, то относительные интенсивности компонент будут пропорциональны теоретическим только в области малых оптических глубин. Если же компоненты мультиплета находятся на части кривой роста, параллельной оси абсцисс, то отношение их интенсивностей может быть достаточно близким к единице. Следовательно, если в числе линий, используемых для измерения лучевых скоростей, имеются неразрешенные мультиплеты, то при определении их стандартных длин волн необходимо вычислять взвешенное среднее с учетом относительных интенсивностей, обусловленных кривой роста. Причем, необходимо отметить, что влияние кривой роста на относительную интенсивность компонент может быть направлено только в сторону усиления слабой компоненты. Таким образом, наблюдается систематическое положительное смещение для триплетных линий гелия. Интерпретируя же наблюдения с точки зрения лучевых скоростей при принятом значении длины волны (лабораторный стандарт), мы получим заметный положительный избыток, который достигает, например, для $\lambda = 4471 \text{ \AA}$ (*He I*) около $+5 \text{ км/сек}$.

При использовании рекомендованных длин волн лучевые скорости звезд типа *В* по причине указанного смещения для триплетных линий гелия в среднем окажутся подверженными систематической ошибке порядка $+1 \text{ км/сек}$. Такое же, по порядку величины, значение получено *М. А. Аракеляном* [16] при исследовании β Рег. Эта величина может ошибочно трактоваться, войдя в наблюдаемый K -член для исследуемой группы звезд.

Однако основная трудность проблемы заключается не столько в самой системе длин волн, сколько в том, что та или иная система длин волн вообще может отличаться от лабораторной вследствие различных физических условий в звездной атмосфере и в лаборатории. Можно, например, упомянуть об эффекте Штарка. Профиль некоторых линий в этом случае делается асимметричным, а иногда появляются запрещенные линии вблизи известных

линий He I. При дисперсиях, употребляющихся в астроспектроскопии, разделение линий в некоторых случаях не будет иметь места, в результате чего мы будем иметь видимые сдвиги линий.

Однако и в случае изолированных линий необходимо с большой осторожностью пользоваться системой лабораторных длин волн, так как, по-видимому, особенно для звезд ранних спектральных классов, нельзя всякое смещение спектральных линий интерпретировать как доплеровское. Условия образования спектральных линий в атмосферах этих звезд весьма и весьма значительно отличаются от тех, которые имеют место в наших земных лабораториях. Здесь может действовать, например, гравитационный эффект, вызывающий смещение линий к красному концу. Если такой гравитационный эффект имеет место на звездах, то применение нашей лабораторной системы длин волн приведет к ложной интерпретации движения звезд. В этом случае звезды в среднем обнаружат тенденцию иметь положительную лучевую скорость, т. е. будет казаться, что звезды в среднем имеют тенденцию удаляться от нас. Этот эффект в звездах спектрального класса O и в так называемых белых карликах, по-видимому, достигает значительной величины.

Для звезд спектральных классов B0 — B2 этот эффект составляет в среднем около $+1.7$ км/сек.

К физическим эффектам, влияющим на K -член, могут также относиться явления чисто динамического характера в атмосферах самих звезд, в частности, сжатие или же истечение материи из звездных атмосфер, что, вероятно, и наблюдается у долгопериодических цефеид, для которых, после всех исправлений, все же получается отрицательный K -член [9].

В настоящее время мы не располагаем достаточными данными для разделения различных эффектов и можем говорить лишь о порядке величины.

Действительно, уже сумма гравитационного эффекта и эффекта кривой роста составляет для B-звезд $+2.7$ км/сек, т. е. величину порядка K -эффекта для всех звезд типа β Сер. Это, однако, вероятно, не исключает наличия в K -члене этой группы звезд и других эффектов, которые частично могут компенсировать друг друга.

В заключение я выражаю глубокую благодарность профессору О. А. Мельникову, под руководством которого выполнена настоящая работа, а также П. Н. Холопову за информацию относительно некоторых характеристик ряда исследуемых звезд.

Л и т е р а т у р а

1. O. Struve, AAp 15, 157, 1952.
2. О. Б. Васильев. Природа (в печати).
3. О. А. Мельников и Б. К. Иоаннисиани. Изв. ГАО № 147, 1951.
4. Курс астрофизики и звездной астрономии. Отв. ред. А. А. Михайлов, ч. 1, 1951, стр. 507.
5. Л. В. Мирзоян, Сообщ. Бюраканской обс., вып. 16, 1955.
6. О. А. Мельников, Изв. ГАО № 156, 1956.
7. D. Barbier, D. Chalonge, AAp 4, 31, 1941.
8. B. Sticker, Veröff. Univ.-Sternwarte Bonn 30, 39, 1937.
9. О. А. Мельников, Тр. ГАО. 64, 1950.
10. П. П. Паренаго, АЖ 22, 129, 1945.
11. R. M. Pelrie, P. M. Cuttle a. D. H. Andrews, AJ 61, 289, 1956.
12. R. E. Wilson, General Catalogue of Stellar Radial Velocities, 1953.
13. К. Ф. Огородников, АЖ 9, № 3—4, 1932; 10, № 3, 1939; 21, № 1, 1944; Вопросы космогонии 1, 1952.
14. Trans. IAU 4, 186, 1932.
15. Г. А. Шайн, ДАН СССР, 45, 57, 1944.
16. М. А. Аракелян, Спектрофотометрическое исследование Алголя. Канд. дисс., ЛГУ, 1956.

Главная астрономическая обсерватория
АН СССР

Пулково, ноябрь 1958 г.