

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ DX ДЕЛЬФИНА

И. Ф. АЛАНИЯ

Введение. Как известно, для большинства звезд типа RR Лиры спектральные классы, оцененные по водородным линиям поглощения и по металлическим линиям, не согласуются между собой; водородные линии приводят к более позднему типу, чем металлические линии. Поэтому, естественно, возникает вопрос, какой спектральный класс отвечает действительным физическим процессам, происходящим в атмосферах этих звезд. Престон в своей обширной работе [1] по спектрам звезд типа RR Лиры ввел понятие степени металличности $\Delta S = S_p(H) - S_p(Ca\ I)$. На основе этой характеристики он подразделил короткопериодические цефеиды на две группы: звезды со слабыми и сильными линиями. Однако, по мнению В. Ивановской [2] интерпретировать различие кальциевых и водородных спектров как результат меньшего обилия металлов в звездах типа RR Лиры нельзя, поскольку в спектрах этих звезд, полученных с большой дисперсией, слабые линии металлов никакого ослабления не обнаруживают. Она считает, что расхождение спектральных классов обусловлено наличием эмиссии в водородных и кальциевых линиях, что является характерным преимущественно для населения типа II.

С другой стороны, в недавней работе Ок и других [3] снова встречается указание на то, что звезды типа RR Лиры характеризуются меньшим содержанием металлов и нужно отдать предпочтение спектральным классам, определенным по интенсивностям водородных линий.

Таким образом, в настоящее время еще нельзя считать установленным, какой спектральный класс следует принять за основной. Решению этого вопроса может способствовать сопоставление цветовых температур нормальных переменных ($\Delta S \leq 2$) с переменными, которые обнаруживают наибольшую аномалию ($\Delta S > 6$). В этом смысле заслуживает внимания короткопериодическая цефеида DX Дельфина, для которой водородные и металлические линии приводят практически к одинаковым результатам.

Целью настоящего исследования является определение спектрофотометрических градиентов DX Дельфина в различных фазах блеска.

Наблюдательный материал. Наблюдения проводились на 70-см менисковом телескопе Абастуманской астрофизической обсерватории с предобъективной призмой. Дисперсия $166 \text{ \AA}/\text{мм}$, около H_γ . Основной материал был получен с 16 по 22 августа 1963 года, при исключи-

тельно хорошей погоде и весьма стабильной прозрачности на горе Канонбили. Приступая к накопленному наблюдательного материала, мы предполагали произвести определения спектрофотометрических градиентов *DX* Дельфина относительно какой-нибудь звезды класса *B* из каталога *HD*. В качестве такой звезды была выбрана *HD 198459*, имеющая фотографическую величину 8.4 и угловое расстояние которой от исследуемой звезды не превышает одного градуса. Ввиду этого, как правило, вслед за переменной с короткими экспозициями фотографировалась та же область. Для осуществления абсолютной привязки, 21 августа и 13 декабря наряду со спектрами *HD 198459*, были получены и спектры α Дельфина через диафрагму. В таблице 1 приводятся данные о наблюдениях. Стандартизация негативов для построения характеристических кривых производилась со ступенчатым ослабителем на спектрографе ИСП-51.

Таблица 1

№ негативов	Дата	Объект	Экспозиция в минутах	Зенитные расстояния	Сорт фотографической эмульсии
3508	19—20.7.1963	<i>DX Del</i>	20	37°.1	Агфа Изопан ИСС
3510	"	"	25	30.1	"
3511	"	"	30	29.7	"
3512	"	"	31	33.3	"
3533	16—17.8	"	35	29.6	"
3534	"	<i>HD 198459</i>	5	30.8	Агфа Астро
3549	17—18.8	<i>DX Del</i>	35	35.3	"
3550	"	<i>HD 198459</i>	4	35.8	"
3553	"	<i>DX Del</i>	35	54.1	"
3554	"	<i>HD 198459</i>	4	58.7	"
3559	18—19.8	<i>DX Del</i>	35.5	33.9	"
3562	"	"	30	33.7	"
3563	"	<i>HD 198459</i>	2.3	30.9	"
3564	"	<i>DX Del</i>	16	33.2	"
3565	"	<i>HD 198459</i>	2.3	38.6	"
3574	19—20.8	<i>DX Del</i>	30	35.8	"
3575	"	<i>HD 198459</i>	2.3	32.9	"
3577	"	<i>DX Del</i>	25.5	30.1	"
3578	"	<i>HD 198459</i>	1; 2; 3	31.7	"
3579	"	<i>DX Del</i>	15	36.2	"
3580	"	"	15	37.2	"
3592	20—21.8	"	10	29.6	"
3593	"	"	15	29.5	"
3594	"	"	13.5	30.2	"
3595	"	"	25	42.7	"
3606	21—22.8	<i>HD 198459</i>	1; 3	29.8	"
3607	"	α Del	0.5—3	28.4	"
3608	"	"	0.5—3	30.5	"
3609	"	<i>HD 198459</i>	1; 2; 3	34.4	"
3610	"	<i>DX Del</i>	25	38.2	"
3777	13—14.12	α Del	1.2—3.5	47.3	"
3778	"	<i>HD 198459</i>	10	51.9	Агфа Изопан ИСС

Спектральная классификация. Пределы изменения спектрального типа *DX* Дельфина встречаются в работе Бонсака, где приведены определения лучевых скоростей и изменения радиусов поверхности Андромеды, *DX* Дельфина, *DY* Геркулеса и *DH* Персея [4]. Как отмечает

автор, спектрограммы, полученные для лучевых скоростей, были очень узкие, и они не подходят для точной классификации. Тем не менее, на них хорошо заметны изменения интенсивностей различных линий. По Бонсаку спектральные изменения переменных *SW* Андромеды и *DX* Дельфина одинаковы и заключены в пределах *A7 III—F8 III*. В [5] мы приводили спектры *DX* Дельфина в пяти фазах на нисходящей ветви кривой блеска. Такое же количество оценок опубликовал Престон в 1959 году [1]. Согласно его определениям спектральный класс переменной по водородным линиям меняется в интервале *A9—F6*, а по линии *K* ионизованного кальция — в *A9—F4*. Эти результаты по обоим критериям можно считать совпадающими в пределах ошибки определения.

Как видно из таблицы 1, на этот раз мы располагали достаточно большим количеством наблюдательного материала. Все негативы оказались качественными для целей спектральной классификации. Тщательный просмотр спектров и регистрограмм *DX* Дельфина, убедил нас в том, что никаких аномалий в поведении водородных линий не наблюдается. Линия *K* тоже имеет всюду нормальную интенсивность, как это должно быть для обычной звезды класса *F*.

Это дало нам повод произвести спектральную классификацию *DX* Дельфина в системе *МК* по критериям, применяемым для нормальных звезд. Мы, как и Бонсак, пришли к выводу, что *DX* Дельфина принадлежит к третьему классу светимости. Особенно хорошо это выявляется вблизи минимума блеска. Результаты нашей классификации даются в таблице 2.

Фазы вычислялись по формуле:

$$\Phi = 2 \cdot 115872 (E - 2425807 \cdot 494)$$

Таблица 2

№№ негативов	Средние моменты наблюдения в юлианских днях	Фаза	Спектральные классы
3508	2438230.354	0.370	F 8
3510	230.406	0.480	F 8
3511	230.438	0.548	F 8
3512	230.475	0.626	F 8
3533	258.456	0.619	F 8
3549	259.408	0.845	F 6
3553	259.492	0.023	F 2
3559	260.288	0.707	F 8
3562	260.354	0.847	F 8
3564	260.393	0.929	F 8
3574	261.275	0.795	F 8
3577	261.362	0.980	F 1
3579	261.394	0.047	A 8
3580	261.413	0.087	A 8
3592	262.329	0.026	A 8
3593	262.337	0.043	A 8
3594	262.350	0.091	A 8
3595	262.436	0.252	F 2
3610	263.414	0.321	F 5

В таблице приведены гелиоцентрические моменты. Насколько хорошо распределены определения спектральных классов переменной по фазе, можно судить по рисунку 1.

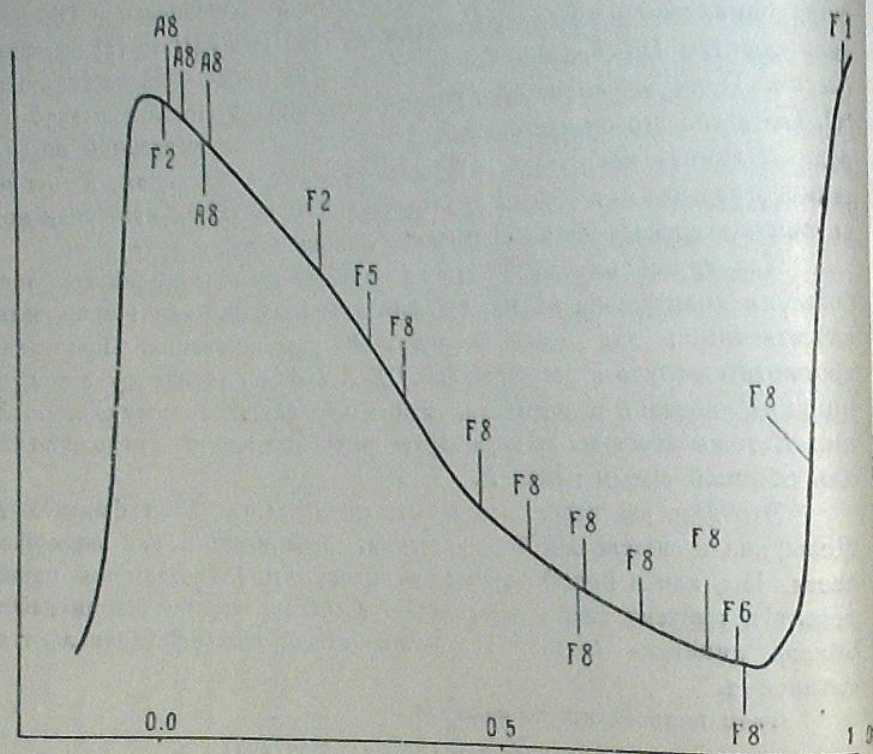


Рис. 1

Фотометрия непрерывного спектра. Из таблицы 1 видно, что 19—20 июля и 20—21 августа наблюдения не сопровождались снимками звезды сравнения. Чтобы можно было использовать и этот материал, было решено, сначала произвести определения градиентов $D\lambda$ Дельфина относительно какой-нибудь окрестной звезды спектрального класса F , а после, эти наблюдения связать со звездой HD 198459. В качестве первой была выбрана $BD + 11^\circ 4398$ ($9^m.3$), которая по нашей оценке имеет спектр F_5 , и угловое расстояние которой от переменной меньше одного градуса.

Методику определения спектрофотометрических градиентов мы описали раньше [6, 7] и повторно ее излагать здесь не будем. Отметим только, что на этот раз с помощью функционального преобразователя, присоединенного к микрофотометру МФ-4, записи спектров производились в интенсивностях с 50-кратным увеличением. Область спектра, подвергавшаяся обработке, заключена в пределах $3800 - 4700 \text{ \AA}$. Точки, изображающие зависимость $(\Delta \lg I, \lambda^{-1})$ в подавляющем большинстве случаев довольно хорошо ложатся на прямую. Средняя квадратичная ошибка одного определения градиента составляет величину ± 0.05 . Для

примера на рис. 2 приводится относительное распределение интенсивностей в фазах 0.707 и 0.980.

Результаты вычислений представлены в третьем столбце таблицы 3 (близкие по фазе значения спектров и градиентов усреднялись). Далее был определен градиент $BD + 11^\circ 4398$ по отношению к HD 198459, который оказался равным величине $+1.58$. Так как фотографирование исследуемой звезды и HD 198459 производилось последовательно, следова-

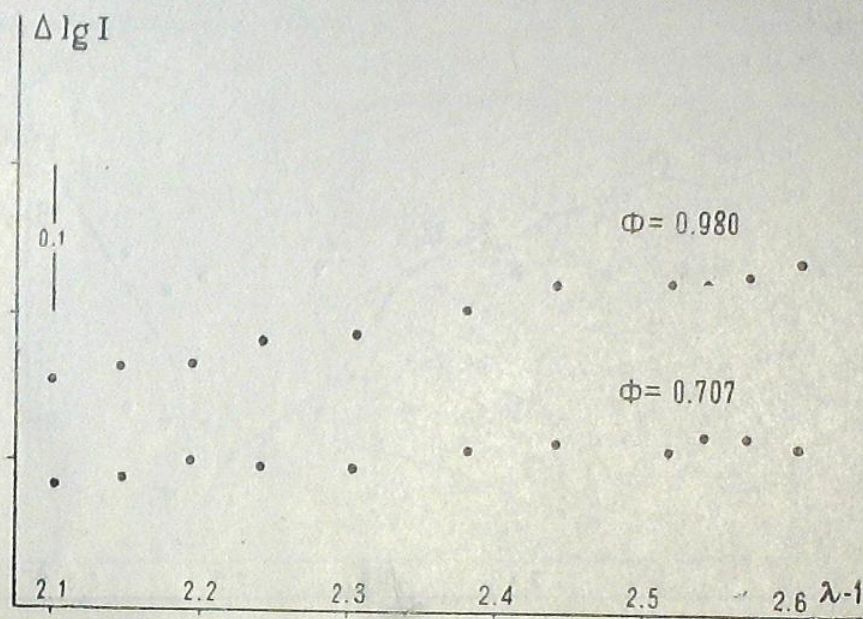


Рис. 2

ло бы вводить коррекцию в вычисления градиентов за атмосферное ослабление света. Но при разностях зенитных расстояний, встречаемых в таблице 1, разности воздушных масс получаются такого порядка, что учет экстинкции не может оказать ощутимого действия на наклон прямых в пределах точности определения градиентов.

Таблица 3

Фаза	Спектр	ΔG	G
0.010	F_1	-0.18	2.18
0.045	A_8	-0.62	1.74
0.089	A_8	-0.46	1.90
0.252	F_2	-0.21	2.12
0.321	F_5	0.00	2.36
0.370	F_8	+0.10	2.46
0.480	F_8	+0.13	2.49
0.548	F_8	+0.23	2.59
0.626	F_8	+0.27	2.63
0.707	F_8	+0.33	2.69
0.795	F_8	+0.30	2.66
0.847	F_8	+0.35	2.71

Наконец, на рисунке 4 представлены результаты сравнения интенсивностей по спектру для звезд *HD* 198459 и α Дельфина.

Можно заключить, что относительный градиент *HD* 198459 равен нулю, то есть звезда является в такой же мере покрасневшей, как и α Дельфина. Одинаковые спектральные классы этих звезд и клочковатая структура межзвездного поглощающего вещества не противоречат такому выводу. Однако, в данном случае наши суждения основываются

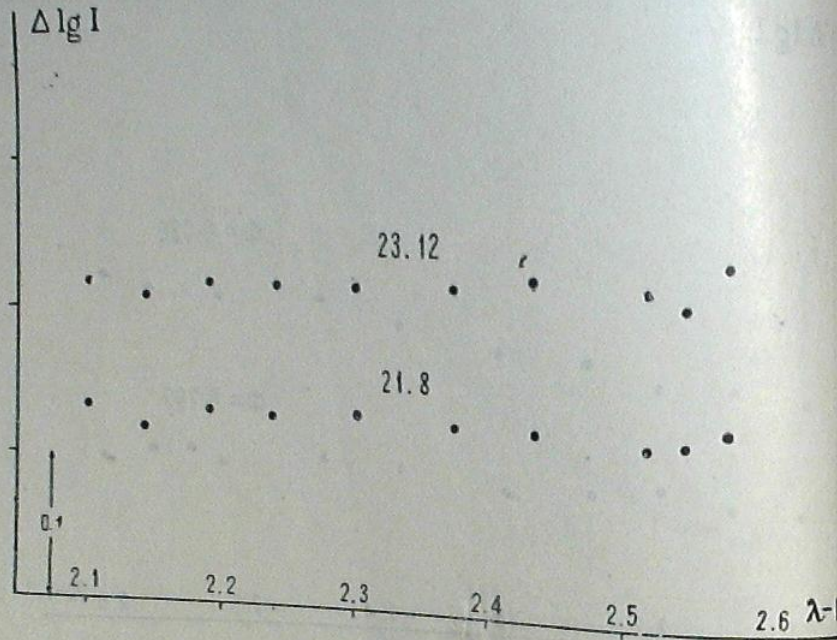


Рис. 3

лишь на двух определениях, и возникают некоторые сомнения относительно реальности полученной зависимости. Видимый блеск звезды *HD* 198459 значительно слабее, чем α Дельфина, и вполне возможно, что в результате более точного определения относительный градиент *HD* 198459 окажется положительной величиной, порядка 0.10. Для разрешения возникших сомнений важную роль могла бы сыграть трехцветная фотометрия звезды *HD* 198459. Но насколько нам известно, такие определения еще не делались. При таких обстоятельствах нам остается все же приписать звезде *HD* 198459 градиент α Дельфина, который согласно [8] равен $+0.34$. Если допустить, что относительные значения градиентов *DX* Дельфина во всех фазах приведены к абсолютным, что и сделано в четвертом столбце таблицы 3. На рис. 4 эти данные нанесены против фаз изменения блеска.

Числа последнего столбца таблицы 3 еще не изображают действительного распределения энергии в непрерывном спектре переменной *DX* Дельфина, так как они отягчены влиянием межзвездного покраснения света. Судя по имеющимся атласам звездного неба направление на *DX*

Дельфина ($l=26^\circ$, $b=-20^\circ$) никакими структурными особенностями не выделяется. Видимое распределение звезд равномерное и отсутствуют следы темных или светлых туманностей. В данном направлении поглощение в зависимости от расстояния не исследовалось. Не встречаются поблизости переменной и звезды раннего класса, для которых имелись бы колориметрические наблюдения в системе (*U*, *B*, *V*). Все это очень затрудняет задачу определения градиента покраснения, обязанного своим происхождением межзвездному веществу.

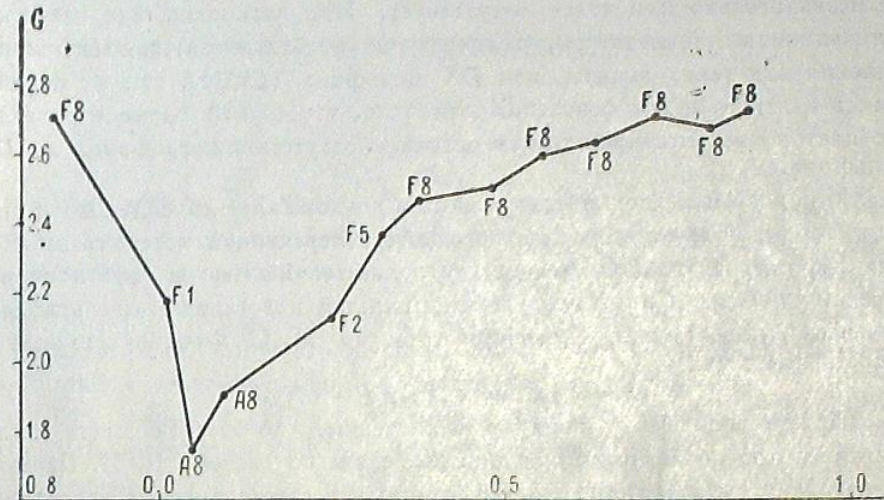


Рис. 4

Правда, в работе [9] для избытка цвета *DX* Дельфина мы даем величину $+0.34$. Но при современном уровне наших знаний о звездах типа *RR* Лиры эту величину следует считать преувеличенной. Дело в том, что когда выполнялась цитированная работа, информация относительно спектров короткопериодических цефеид была очень ограниченной. По имевшимся тогда данным мы предполагали, что спектральные классы подавляющего большинства звезд типа *RR* Лиры заключены в пределах *AO*—*A3* и для всех наблюдаемых нами звезд мы пользовались одним и тем же нормальным цветом. В качестве последнего был взят средний показатель цвета цефеид, расположенных на высоких галактических широтах. Такой прием в настоящее время нельзя считать оправданным. По мере накопления спектральных и других характеристик стало вполне ясно, что короткопериодические цефеиды состоят из многих подклассов и групп. До 1957 года спектральные изменения *DX* Дельфина вовсе не были известны. Теперь мы уже знаем, что в максимуме интенсивности она имеет спектр *A8*. Следовательно, ее нормальный цвет будет отличаться от истинного цвета цефеид, которые в указанной фазе имеют спектры *AO*—*A3*.

Согласно нашим определениям [9] показатель цвета *DX* Дельфина для момента максимума оказался равным $+0.06$ в интернациональной

системе. Этому соответствует $+0.22$ в системе (B, V) , то-есть в этой фазе цвет переменной не отличается от истинного цвета звезд $A8 III$. Такой же результат был получен Престоном [10] и для момента минимума; величина наблюдаемого цвета ($+0.54$) совпадает с истинным цветом звезд $F8 III$. Если физические параметры атмосфер короткопериодических цефеид в максимуме или в минимуме интенсивности были бы очень близки к физическим параметрам атмосфер обыкновенных звезд класса A или F , то можно было бы заключить, что межзвездное покраснение света в интересующем нас направлении на расстоянии DX Дельфина во все незначительно или вовсе отсутствует. Но, насколько нам известны ионизационные температуры, температуры возбуждения и электронные давления для таких цефеид, как DX Дельфина ($\Delta S \leq 2$), еще не определены, поэтому нет оснований для того, чтобы наблюдаемое совпадение цветов интерпретировать как результат отсутствия поглощения до DX Дельфина.

Можно было попытаться оценить поглощение до DX Дельфина, если бы при получении нормального цвета переменной исходить из корреляции, которая наблюдается между показателями цветов короткопериодических цефеид в минимуме интенсивностей и логарифмами периодов. Для звезд, подобных DX Дельфина согласно М. С. Фролову [11] зависимость имеет вид:

$$(B - V)_{\min} = 0.32 \lg P + 0.53.$$

При выводе этой формулы наблюдаемые показатели цвета были исправлены за космическое поглощение света по способу П. П. Паренатия, дающему удовлетворительные результаты в статистических исследованиях, когда к обработке привлекается большое количество объектов. Это условие в данном случае, конечно, не соблюдается и полученная зависимость большого доверия не заслуживает.

Таким образом, в настоящее время еще нет данных для надежной количественной оценки поглощения до переменной DX Дельфина. Исследование этого эффекта по цветовым избыткам звезд является следующим этапом нашей работы.

Из таблицы 3 видно, что изменение градиента от минимума к максимуму составляет величину $+0.97$, то-есть оно немного больше того значения, которое наблюдается для звезд главной последовательности. Если принять градиент покраснения равным 0.4 , тогда цветовые температуры DX Дельфина окажутся близкими к цветовым температурам звезд главной последовательности спектрального класса $A8 - F8$.

В заключение автор выражает искреннюю благодарность Р. А. Бартая и С. П. Априамашвили за участие в обсуждении вопросов, связанных со спектральной классификацией DX Дельфина.
Март, 1964.

ცვალებადის დელფინის DX -ის სპექტრული ბაგოკვლევა
ი. ფ. ალანია
(რეზიუმე)

აბსტრუქტის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის 70 სმ მენისკურ ტელესკოპზე მიღებული სპექტრების საფუძველზე შესწავლილია ცვალებადი ვარსკვლავების დელფინის DX . შეფასებულია სპექტრული კლასიფიკაციის 19 ფაზის სპექტრი იცვლება შუალედში $A8 - F8$. უბანში $3800 - 4700 \text{ \AA}$ განსაზღვრულია სპექტროფოტომეტრიული გრადიენტები. შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში. მოცემული მიმართულებით ვარსკვლავთშორისო შთანთქმის საიმედოდ შედეგობაში მიღება ვერ მოხერხდა. დელფინის DX -ის მინიმუმის მომენტიდან მაქსიმუმამდე გრადიენტის ცვლილება ცოტათი მეტია იმ ცვლილებაზე, რომელიც შეინიშნება მთავარი მიმდევრობის $A8 - F8$ ვარსკვლავებისათვის.

ლავი დელფინის DX . შეფასებულია სპექტრული კლასი სიკაზკაშის 19 ფაზის სპექტრი იცვლება შუალედში $A8 - F8$. უბანში $3800 - 4700 \text{ \AA}$ განსაზღვრულია სპექტროფოტომეტრიული გრადიენტები. შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში. მოცემული მიმართულებით ვარსკვლავთშორისო შთანთქმის საიმედოდ შედეგობაში მიღება ვერ მოხერხდა. დელფინის DX -ის მინიმუმის მომენტიდან მაქსიმუმამდე გრადიენტის ცვლილება ცოტათი მეტია იმ ცვლილებაზე, რომელიც შეინიშნება მთავარი მიმდევრობის $A8 - F8$ ვარსკვლავებისათვის.

THE SPECTRAL INVESTIGATION OF DX DEL

I. F. ALANIA

(Summary)

The variable DX Del is studied on the base of spectra obtained by means of the 70 cm meniscus telescope. The spectral class in 19 phases of brightness is estimated. The spectrum changes in the interval of $A8 - F8$. The spectrophotometric gradients in the region $3800 - 4700 \text{ \AA}$ are determined. The results are given in table 3. In the direction given, one can't take into consideration the interstellar absorption safely.

The change of gradient from minimum to maximum of the DX Del is a little more than that one which is noticed for $A8 - F8$ stars of the main sequence.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Preston G. W. A spectroscopic study of the RR Lyrae stars. *Aph. J.* 1959, **130**, 507-538.
2. Ивановская В. Спектроскопические исследования короткопериодических пульсирующих звезд. *Вопросы космогонии*. 1960, **7**, 299-314.
3. Oke I. B. et al. An analysis of the absolute energy distribution in the spectrum of SU Draconis. *Aph. J.* 1962, **136**, 393-407.
4. Bonaack W. K. Radial-variations in four shortperiod variable stars. *Aph. J.* 1957, **126**, 291-301.
5. Алания И. Ф. Спектральные классы 10 звезд типа RR Лиры. *Бюлл. Абастум. астрофиз. obs.* 1960, **25**, 127-138.
6. Алания И. Ф. Спектрофотометрическое исследование короткопериодической цефеиды RZ Цефея. *Бюлл. Абастум. астрофиз. obs.* 1962, **28**, 87-103.
7. Алания И. Ф. Спектрофотометрия непрерывного спектра переменной AS Геркулеса. *Бюлл. Абастум. астрофиз. obs.* 1962, **28**, 105-112.
8. Barbier D. et Chalonge D. Etude du rayonnement continu de quelques étoiles entre 3100 et 4600 \AA . *IV Ann. d'Aph.* 1941, **4**, 30-96.
9. Алания И. Ф. Исследование избирательного поглощения света в Галактике по цветовым избыткам короткопериодических цефеид. *Бюлл. Абастум. астрофиз. obs.* 1958, **23**, 3-67.
10. Preston G. W. and Spinrad H. On the intrinsic colors of the RR Lyrae stars. *PASP.* 1959, **71**, 497-502.
11. Фролов М. С. Зависимость „период-светимость“ и некоторые физические характеристики короткопериодических цефеид. Автореферат. Москва 1963.