

Исследование переменности Z Жирафа по трехцветным наблюдениям А. Ф. Пугач

В 1970 — 1972 г.г. получено приблизительно по 350 значений блеска Z Cam в каждой полосе системы UBV. Переменность рассматривается как сумма двух независимых процессов: основного (вспышки звезды на 3^m — 4^m) и вторичного (быстрые неправильные колебания в течение ночи). Для основного процесса характерно отставание роста яркости в фильтре U по сравнению с ростом в фильтре B в начальной стадии вспышки, что приводит к своеобразному движению переменной по диаграммам величин и цветов. При вторичной переменности связь величин V, B и U оказывается случайной. Амплитуда вторичных колебаний увеличивается при уменьшении яркости переменной.

Three-Colour Investigation of Variability of Z Camelopardalis by A. F. Pugach

Some fragments of four outbursts of Z Cam had been photoelectrically observed in 1970 — 1972.

The variability of Z Cam is considered as a sum of two independent processes. The primary process is great outbursts ($\Delta m \approx 3^m - 4^m$), while the secondary one includes fast fluctuations of small amplitude (flickering).

At the ascending branch of an outburst the star shows some deficiency of U-radiation as compared with the B one, performing loop on the B — V and (U — B) — (B — V) diagrams. There is no correlation between V, B, U magnitudes during flickering. The flickering range increases while the star grows weak.

Звезда Z Cam является представителем небольшой группы переменных типа U Gem и обладает той особенностью, что иногда переход от максимума к минимуму прерывается продолжительными остановками в промежуточном блеске. Картина изменения блеска Z Cam выглядит довольно сложной. На циклически повторяющиеся вспышки с амплитудой 3 — 4 величины накладываются небольшие периодические ($\Delta m \approx 0.3$) изменения блеска, связанные с орбитальным вращением компонентов, которые, в свою очередь, замываются совершенно неправильными быстрыми колебаниями блеска сравнимой амплитуды (flickering).

Кроме этого в последнее время Робинсоном (1973) обнаружено присутствие сверхкороткопериодических изменений яркости очень малой амплитуды с периодом 16 — 19 секунд.

Мы в дальнейшем будем говорить о двух процессах переменности: основном, суть которого — вспышки звезды на 3^m — 4^m , и вторичном, который состоит в быстрых неправильных изменениях блеска до 0.75 (flickering), наложенных на основной процесс.

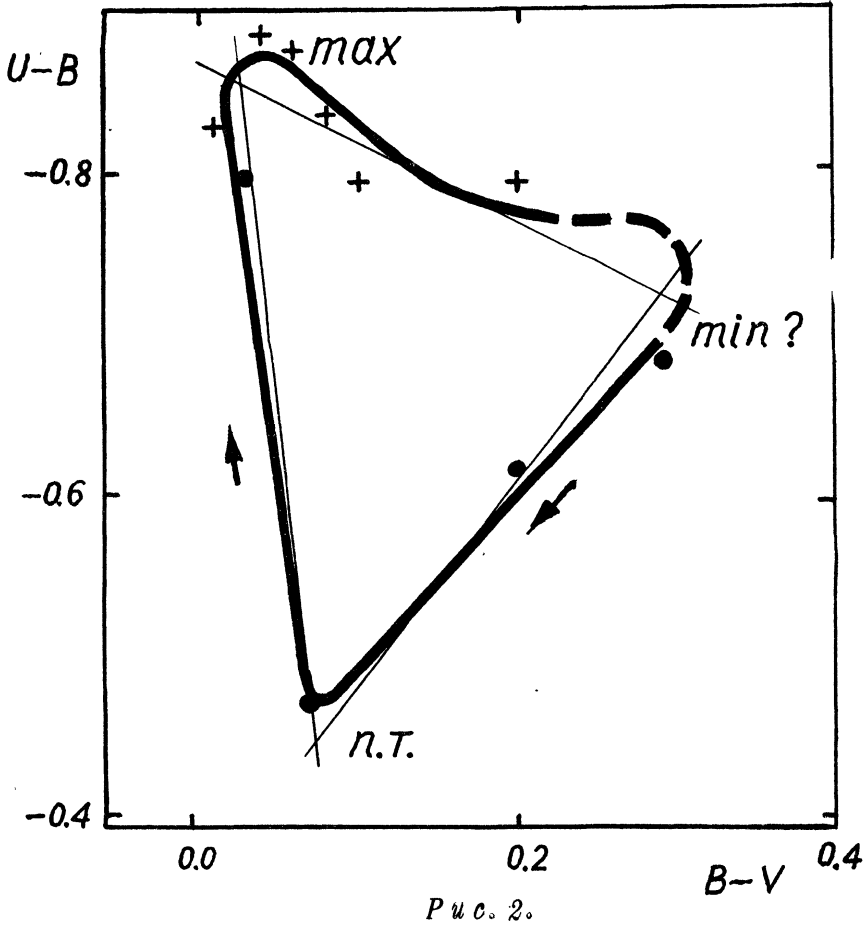
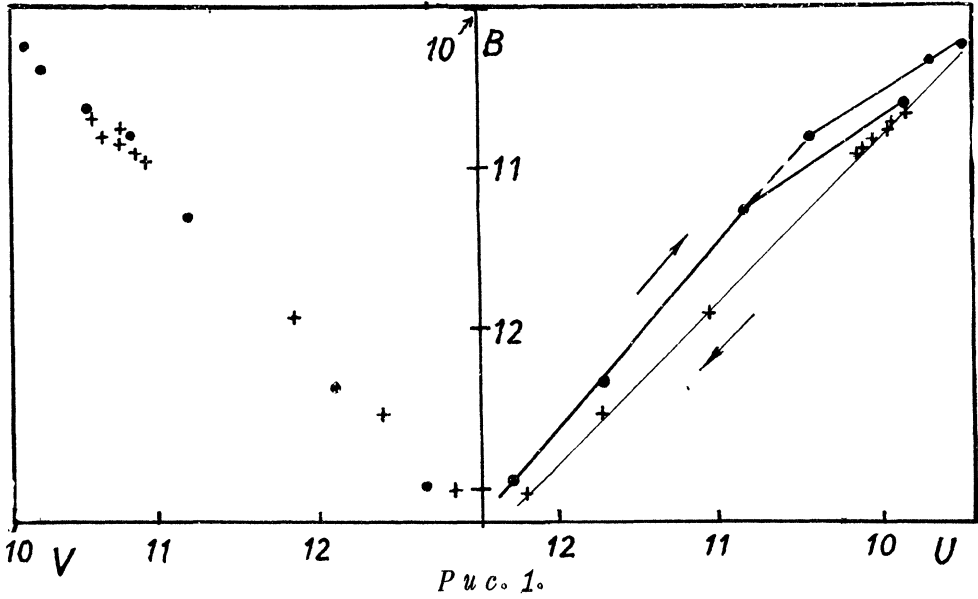
Z Cam наблюдалась в течение 1970 — 1972 г.г. на электрофотометре, работающем в режиме счета фотонов (Пугач, 1970). Зарегистрированы фрагменты четырех вспышек на подъеме, спаде и в максимуме блеска. Наблюдения в минимуме не проводились. Результаты наблюдений приведены к системе UBV. В качестве стандартов использовались звезды из работы Крафта с соавторами (1969). В каждом фильтре получено около 350 значений блеска. Первая часть наблюдений опубликована в работе Пугача (1972); наблюдения 1972 года приводятся в таблице 2.

При исследовании основного процесса переменности результаты наблюдений в одну ночь усреднялись с целью исключить влияние вторичной переменности. Полученные средние значения $\bar{V}$, $\bar{B}$ и $\bar{U}$ сопоставлялись на графиках зависимостей V от B и U от B и показаны на рис. 1. Наклоны зависимостей V от B и U от B называются градиентами и определяются как:

$$V_V = \frac{\Delta V}{\Delta B}; \quad V_U = \frac{\Delta U}{\Delta B};$$

Изменение блеска Z Cam в разных стадиях вспышки характеризуется своими градиентами, причем наибольшие отличия имеют место для V_U . Проследим по правой части рис. 1 как меняется V_U в течение вспышки. Увеличению блеска и максимуму соответствуют точки, спаду — крестики. На подъеме V_U равен 0.87. В конце восходящей ветви, примерно за пол-величины до максимума резко возрастает скорость изменения блеска в ультрафиолете. Наступает переходная стадия, в которой V_U скачком увеличивается, принимая значение, близкое к 1.7. После прохождения звездой максимума градиент V_U снижается до значения 1.02 и остается неизменным на всей нисходящей ветви. Градиент V_V меняется незначительно и соответственно принимает значения 0.91 и 0.96. Переходного значения V_V не имеет.

Описанному перемещению переменной по диаграмме величин $V-B$ и $U-B$ во время вспышки соответствует движение звезды по диаграмме цветов ($U-B$) — ($B-V$), показанное жирной линией на рис. 2. Точками обозначены цвета переменной на подъеме и в максимуме, крестиками — на нисходящей части вспышки, указаны также переходная точка (ПТ) и предполагаемое место минимума. Вследствие того, что амплитуды вспышек Z Cam неодинаковы, положение переходной точки на диаграмме $U-B$ меняется и зависит от величины максимума.



Поскольку наклон трека звезды на двухцветной диаграмме однозначно связан с градиентами следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta(U-B)}{\Delta(B-V)} = \frac{V_U - 1}{1 - V_V};$$

можно получить три трека переменной на плоскости $(U-B) - (B-V)$ для трех градиентов во время вспышки. На рис. 2 тонкими прямыми изображены вычисленные наклоны треков. Удовлетворительное совпадение с наблюдаемым движением по двухцветной диаграмме свидетельствует в пользу того, что по фотометрическим характеристикам вспышки Z Cam действительно можно делить на три участка.

По характеру изменения цветов во время вспышек Z Cam очень похожа на SS Cyg, также принадлежащую к типу U Gem. Чуваев (1962), исследовав поведение SS Cyg по большому фотометрическому материалу, показал, что в начале вспышки показатель $(U-B)$ быстро увеличивается, доходит до наибольшего значения и по мере приближения блеска звезды к максимальному уменьшается. На графике зависимости $(U-B)$ от времени появляется резкий пик. Чуваев замечает, что этот эффект "является результатом отставания роста яркости в фильтре U относительно роста яркости в фильтре B".

Описанные выше особенности движения Z Cam по диаграммам величин и цветов также можно интерпретировать как результат отставания U-излучения на подъеме по отношению к излучению в фотографической области спектра. В начальной стадии вспышки интенсивность свечения в U-области при любой фиксированной B-величине меньше, чем на спаде, как это следует из рис. 1. Методом численного интегрирования кривых блеска можно получить количественную оценку дефицита U-излучения вспышки на участке от минимума до максимума. Оказывается, на подъеме блеска звезда "недорабатывает" 16% энергии в области частот, соответствующих кривой реакции U-полосы, по отношению к той энергии, которую она высветила, если бы ее излучающая характеристика была такой, как на спаде. Это утверждение не означает, однако, что U-энергия, высвеченная на подъеме, на 16% меньше энергии, излученной на спаде, так как при вычислениях не учтен фактор времени, а восходящая и нисходящая ветви имеют разную продолжительность.

Кроме больших вспышек блеск Z Cam испытывает вторичные, т.е. быстрые колебания малой амплитуды с характерным временем порядка нескольких десятков минут. При анализе вторичных колебаний обнаруживается их главное отличие от основного процесса: отсутствие связи между изменением величин в разных участках спектра. Вследствие этого, градиенты вторичных изменений блеска V'_U и V'_B , полученные по зависимостям $V-B$ и $U-B$ для наблюдений одной ночи, принимают широкий диапазон значений (в том случае, если удастся получить их значения). В особенности это относится к V'_U , который меняется в

интервале $0.8 \leq \nabla \hat{U} \leq 7.0$. Значения градиентов $\nabla \hat{V}$ и $\nabla \hat{U}$ вторичных колебаний указаны в таблице 1. На рис. 3 представлены зависимости V , B и U -величин, по которым получаются $\nabla \hat{V}$ и $\nabla \hat{U}$.

Оказывается, разнообразие градиентов объясняется тем, что при вторичных колебаниях блеска отсутствует синхронность в изменении величин, вследствие чего их связь оказывается случайной. Этот вывод непосредственно подтверждается наблюдениями, представленными на рис. 4, из которых видно, что величины V и U , например, могут изменяться без видимой связи, либо со сдвигом фазы. Аналог такой взаимосвязи не может быть найден среди крупномасштабных изменений основного процесса, где переменные V , B и U -величины связаны положительными регрессионными зависимостями. В этом состоит главное отличие вторичного процесса от основного.

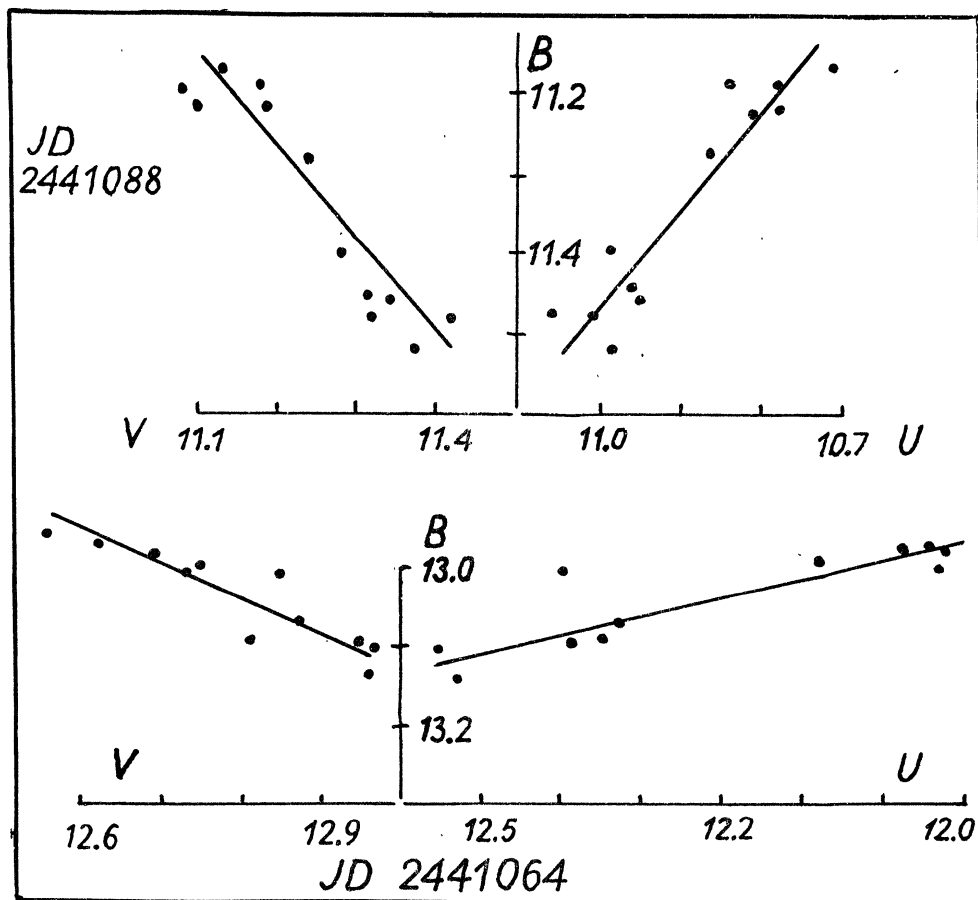
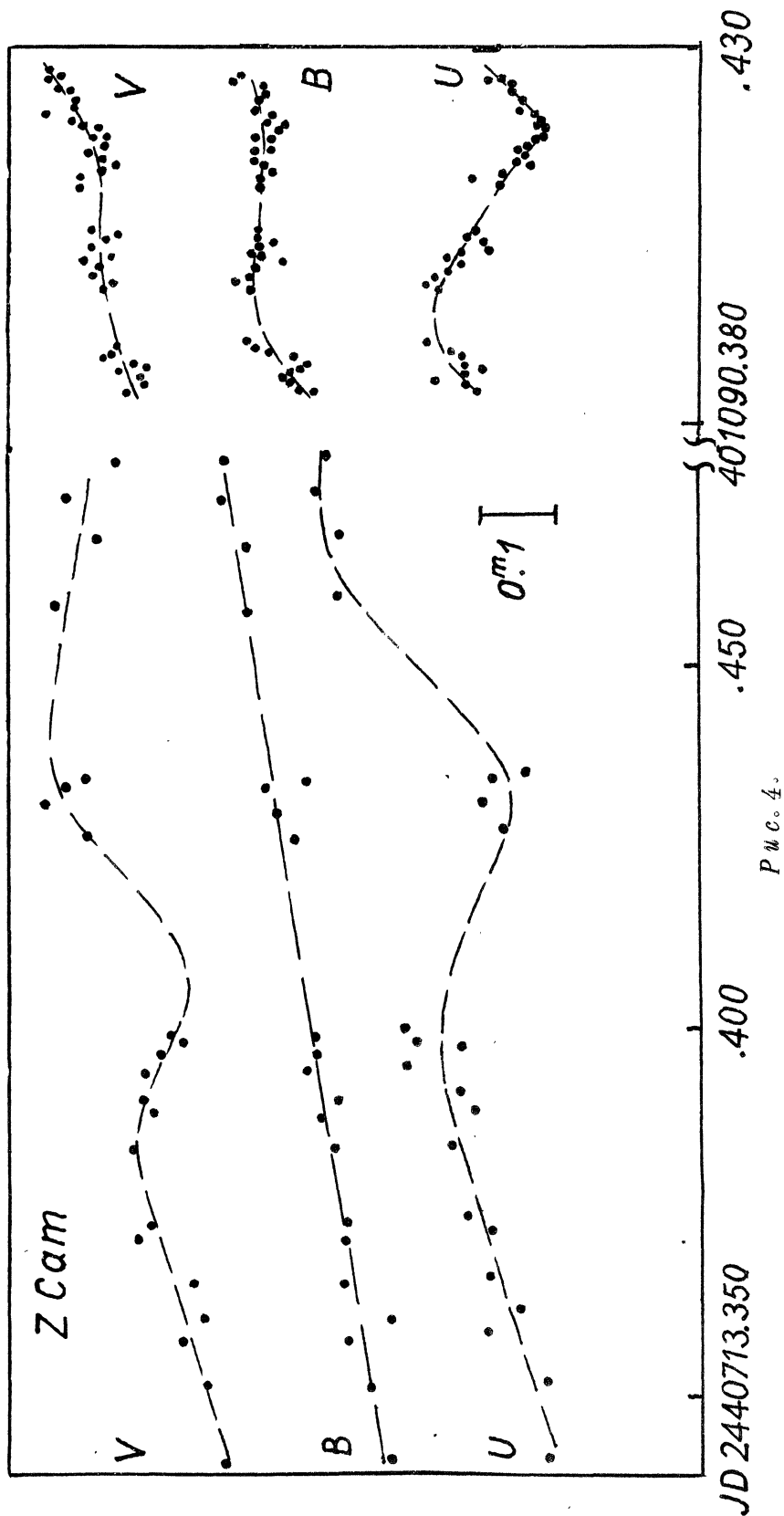


Рис. 3

Степень влияния вторичных колебаний на блеск системы в целом зависит от яркости звезды: чем слабее переменная, тем больше амплитуда вторичных колебаний, выраженная в звездных величинах. Для оценки этого влияния были вычислены среднеквадратичные отклонения блеска σ_V вторичных колебаний от среднего за ночь и проведено сопоставле-



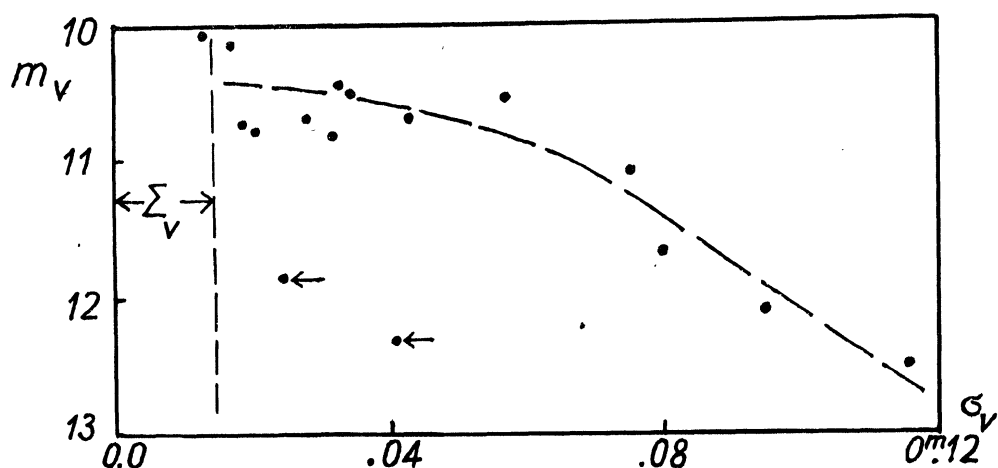


Рис. 5.

ние с блеском переменной в фильтре V. Результат представлен на рис. 5. Рост σ_V нельзя объяснить только возрастанием среднеквадратичной ошибки одного наблюдения Σ_V с переходом к большей звездной величине, поскольку, например, для объекта 11^т0 Σ_V не превышает 0^т015. На графике величина Σ_V показана пунктирной линией. Из этой зависимости выпадают две точки, указанные стрелками. Они соответствуют моменту начала вспышки, когда активность вторичного процесса была, по-видимому, низкой.

Аналогичная картина получается при сопоставлении величин m и σ в полосах В и U.

Вывод о том, что амплитуда вторичных колебаний растет с падением яркости системы подтверждается и тем, что построенные нами функции распределения блеска вторичных колебаний, которые являются симметричными и монотонно спадающими относительно среднего значения, все же не удается представить *одним* нормальным распределением, поскольку σ_V , как было показано ранее растет с уменьшением блеска и, следовательно, не является статистикой.

Таким образом, рассмотренные фотометрические характеристики Z Cam дают основания полагать, что у исследуемой звезды действуют по крайней мере, два механизма переменности, являющиеся источниками основного и вторичного процессов, природа которых различна.

Таблица 1.

Таблица градиентов вторичных процессов

JD 24...	интервал δ JD	∇_V	∇_U	JD 24...	интервал δ JD	∇_V	∇_U
40713	0.341 - 0.479	1.14	1.32	41088	0.366 - 0.393	0.72	0.78
41062	.410 - .447	1.23	1.77	090	0.3897 - 0.4195	?	5.8:
063	.379 - .449	1.90	1.18	091	.3880 - .4340	0.77	1.82
064	.342 - .414	2.1	4.1	092	.3671 - .3983	?	1.66
086	.363 - .393	0.45	2.5	380	.4390 - .4728	1.45	1.00
087	.348 - .377	?	7.0:				

Таблица 2.

JD 24...	V	B	U	JD 24...	V	B	U
41379.463	10.80	10.85	9.94	41380.4820	10.83	10.82	9.94
.494	10.86	10.84	9.97	381.4085	10.89	10.90	-
.495	10.81	10.78	9.95	.4092	10.89	-	10.17
.497	10.83	10.85	-	.4100	10.97	10.99	10.19
.498	10.83	10.78	9.95	.4154	10.93	10.94	10.15
.5025	10.89	-	9.83	.4165	10.94	10.90	10.10
.504	10.83	10.75	9.84	.4189	11.05	10.98	-
.5055	-	10.76	9.87	.4203	10.93	11.02	10.17
.518	-	-	9.89	.4210	10.94	10.91	10.12
.519	10.82	-	9.95	.4246	10.97	11.00	-
380.4390	10.73	10.76	9.92	.4252	10.97	-	10.16
.4397	10.69	10.68	9.85	.4260	10.97	10.93	10.11
.4419	10.74	10.75	9.88	.4287	10.96	10.93	10.12
.4426	10.70	10.71	9.89	.4295	10.93	10.96	10.12
.4453	10.82	10.78	9.91	.4316	10.93	10.94	10.13
.4460	10.77	10.73	9.89	.4321	10.94	10.93	10.09
.4467	10.81	10.76	9.91	.4326	10.92	10.92	10.14
.4474	10.74	10.75	9.91	.4331	10.94	10.93	10.12
.4502	10.80	10.80	9.96	.4336	10.92	10.96	10.12
.4509	10.80	10.81	9.95	.4340	10.94	10.97	10.16
.4515	10.75	10.77	9.95	.4345	10.92	10.93	10.10
.4522	10.78	10.78	9.94	.4350	10.96	10.94	10.16
.4728	10.84	10.78	9.95	.4355	10.95	10.92	10.14
.4735	10.79	10.72	9.94	.4360	10.92	10.93	10.13
.4756	10.79	10.75	9.98	.4365	10.94	10.93	10.11
.4763	10.82	10.75	9.98	.4370	10.93	10.92	10.11
.4791	10.80	10.76	9.93	.4375	10.94	10.91	10.11
.4799	10.81	10.76	-	.4380	10.93	10.92	10.10
.4812	10.83	10.81	10.03	.4385	10.92	10.91	10.13

Литература:

- Крафт и др. 1969 — Kraft R. P., Krzeminski W., Mumford G. S., ApJ 158, 589;
 Пугач А. Ф., 1970, Сб. "Астрометрия и астрофизика", 47, вып. 9, Наукова Думка, Киев;
 Пугач А. Ф., 1972, рукопись депонирована в ВИНТИ, регистр. номер 4452-72;
 Робинсон, 1973 — Robinson E. L., ApJ 180, 121;
 Чуваев К. К., 1962, Изв. КРАО 28, 141.

Главная Астрономическая
 Обсерватория АН УССР
 Киев

Поступила в редакцию
 7 марта 1974 г.