

Электрофотометрическая аппаратура в астрономической обсерватории г. Белоградчик

А. Томов

I. Введение

В окрестностях города Белоградчик, близ замечательных скал, в начале 60-х годов была построена и оборудована астрономическая обсерватория. Важным моментом в деятельности обсерватории было монтирование в 1969 г. телескопа системы Кассегрена /600/2400/7500/ фирмы „Карл Цайс“ — ГДР. На указанном телескопе автором, при помощи болгарских и советских ученых, в 1973 г. был установлен звездный электрофотометр, работающий в трехцветной UVV системе в режиме счета фотонов. Наблюдательная система отредуцирована к стандартной UVV системе, и при этом вполне надежно определена атмосферная экстинкция.

II. Электрофотометр

Устройство и функции многих элементов любого электрофотометра хорошо известны, и поэтому мы их не будем рассматривать. Более подробно остановимся только на тех элементах, которые выполняют функции редуцирования световного потока в электрические импульсы, усиления и регистрации. Электрофотометр (рис. 1) состоит из следующих частей:

1. *Окуляр-искатель.*
2. *Диафрагмы.* Вращающийся диск с четырьмя диафрагмами с диаметрами 0,5 мм, 1 мм, 2 мм и 5 мм, или в угловых секундах 13''5, 27'', 54'' и 135''. Подбор диафрагм осуществляется в зависимости от размеров объекта, и они ограничивают его при измерениях.
3. *Окуляр для центрирования.*
4. *Люминофор.* В качестве радиоактивного вещества использован ^{90}Sr , растворенный в пластмассах. Этот элемент обладает маленьким температурным коэффициентом и имеет постоянный распад в течение долгих лет и, следовательно, постоянное воздействие на фотокатод фотоумножителя. Служит для калибровки системы и проверки ее исправности.
5. *Фильтры.* Используются советские фильтры, которые имеют толщину соответственно: U — УФЦ — 2 мм, В — СС — 2 мм, V — ЖС

— 3 нм. Параметры фильтров определены (Томов, 1973) на спектрофотометре Сф — 4А Южной станции ГАИШ (Крым), и данные этого исследования приведены в табл. 1 и на рис. 2. Максимумы пропускания указанных трех фильтров соответственно $U = 356$ нм, $V = 440$ нм, $V = 553$ нм.

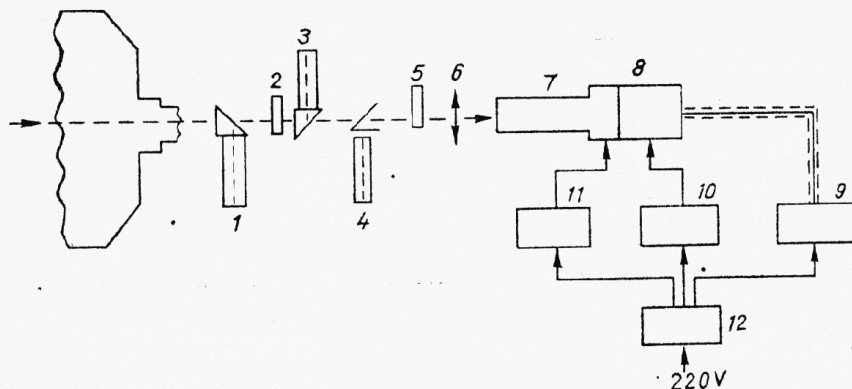


Рис. 1. Общий вид электрофотометра

Кроме этих максимумов, фильтры имеют и вторичные максимумы на длинах волн меньше 300 нм и выше 650 нм. В этих областях фотоумножитель ЕМ1 нечувствителен, и вторичные максимумы не пропускаются.

6. Линза Фабри.

7. Фотоумножитель. В начале (1973) нами был использован советский ФФУ—64, а потом в конце 1974 г. был установлен фотоумножитель ЕМ1—6256. Из всех параметров подобранного для использования фотоумножителя особое внимание мы обратили на следующие два: иметь большую и стабильную интегральную чувствительность и минимальный и постоянный темновой ток (Павлов, 1972). Из-за отсутствия электронной лаборатории фотоумножители измерялись сразу на электрофотометре. В качестве светового источника использовался предусмотренный в системе эталон (лю-

Таблица 1

Прозрачность фильтров в зависимости от длины волны

№	λ нм	U УФС ₆	V СС ₅	V ЖС ₁₇	№	λ нм	U УФС ₆	V СС ₅	V ЖС ₁₇
1	200	0%	23%	—	13	440	—	66	1
2	220	1	23	—	14	460	—	58	1
3	240	3	24	—	15	480	—	36	42
4	260	4	13	—	16	500	—	13	73
5	280	5	6	—	17	520	—	3	80
6	300	9	2	—	18	540	1	1	83
7	320	41	5	—	19	560	—	0,5	85
8	340	65	2	—	20	580	—	—	85
9	360	69	10	—	21	600	—	—	85
10	380	55	35	—	22	620	—	0,5	85
11	400	4	57	—	23	640	—	1	85
12	420	—	65	1	24	660	—	2	85

минофор). Данные измерений, при приложенном нарастающем напряжении для каждого фильтра в отдельности, выраженные в imp/s, даны в табл. 2. Кроме того, измерения представлены на рис. 3. Кривая I (приложенное напряжение 1240 V) описывает оптимальный режим работы использованного

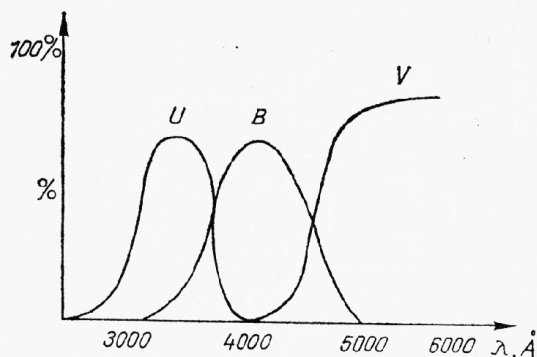


Рис. 2. Кривая чувствительности использованных нами фильтров

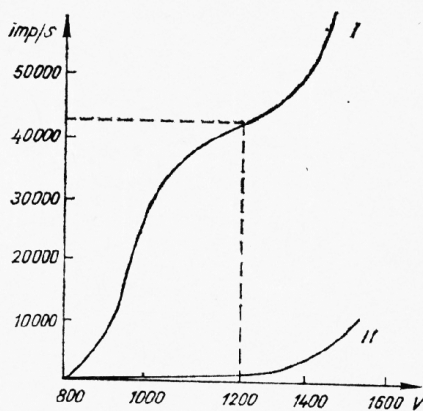


Рис. 3. Оптимальный режим фотоумножителя EMI — 6256 (кривая I) и темновой ток (кривая II) в зависимости от приложенного напряжения

фотоумножителя. При указанном режиме темновой ток (кривая II) составляет 74 imp/s.

Несмотря на большое усиление (коэффициент $k=2.10$), электрические импульсы, полученные на выходе фотоумножителя, имеют весьма маленькую амплитуду. Она дается (Лютый, 1973) формулой

$$U_{\text{imp}} = \frac{q}{c} = \frac{ek}{c},$$

где $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ С — заряд электронов; $k=2.10^7$ — коэффициент усиления фотоумножителя; $c=4.10^{-10}$ F — емкость связи. При этих значениях получаем

Таблица 2

Параметры фотоумножителя EMI — 6256 в зависимости от приложенного напряжения

№	Приложенное напряжение	С люминофором — imp/s				Темновой ток
		без фильтра	фильтр U	фильтр B	фильтр V	
1	700V	0	0	0	0	0
2	800	90	20	30	0	0
3	900	5400	2100	2600	5	0
4	1000	22800	8800	11300	15	8
5	1040	30000	11100	14600	24	10
6	1080	34300	12800	16900	42	23
7	1120	39100	14200	18100	50	35
8	1160	42400	15200	19200	70	58
9	1200	44600	16300	20500	85	65
10	1240	45800	17200	21900	92	74
11	1280	46850	18600	22550	105	80
12	1320	48500	20200	26100	140	120
13	1400	55000	25000	35100	500	400
14	1600	136000	43000	65400	3200	3000

$$U_{\text{imp}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ V.}$$

Но полученные таким образом импульсы не могут быть зарегистрированы установленным нами прибором — пересчетным прибором ПП—15. Необходимо усилить импульсы.

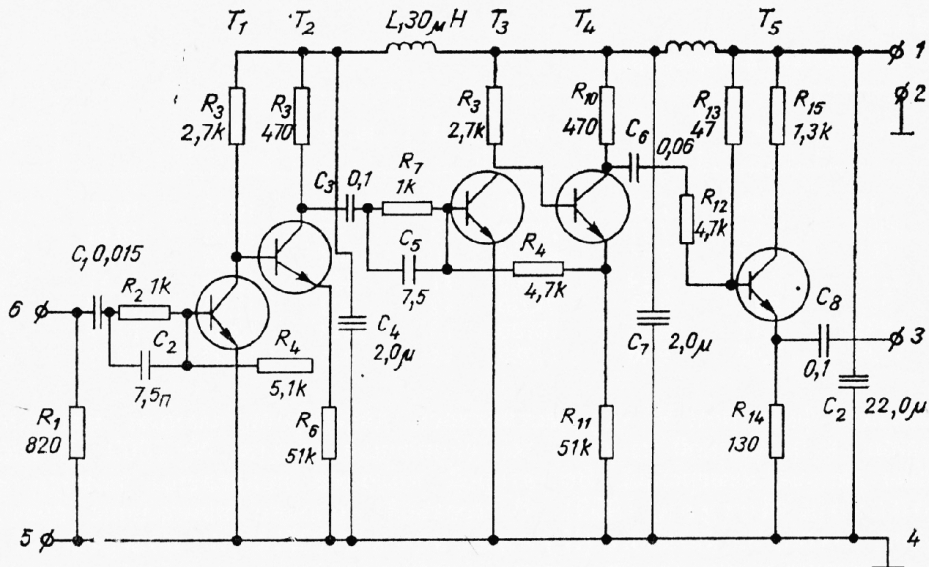


Рис. 4. Принципиальная схема усилителя

8. *Усилитель.* Вычисления показывают, что необходимо конструировать высокочастотный усилитель с коэффициентом усиления $k \approx 2 \cdot 10^3$ и полосой пропускания $> 6 \text{ MHz}$. В таком случае электрические импульсы на выходе усилителя будут:

$$U_{\text{imp}} = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 1.6 \text{ V.}$$

Это уже высокочастотные импульсы с амплитудой, вполне достаточной для регистрации. В нашей обсерватории лучшие качества показал усилитель, сконструированный в КрАО — СССР. На рис. 4 показана принципиальная схема этого усилителя, где $T_1 \div T_5$ КТ 315.

9. *Регистрирующий прибор.* Для регистрации всегда были использованы советские приборы. В начале это был пересчетный прибор ПП—15, а позднее и до сих пор — ЧЗ—33 и ЧЗ—54.

10. *Стабилизированный токовыпрямитель ЗНБ для питания высокочастотного усилителя.*

11. *Высоковольтный токовыпрямитель ВС—22 для питания фотумножителя.*

12. *Стабилизатор St.2000.6.* Питание всей системы осуществляется через этот прибор. На выходе стабилизатор дает напряжение $220 \pm 1\% \text{ V}$, что со своей стороны обеспечивает стабильность эксплуатации всей системы в течение 8—10^h.

III. Линейность электрофотометрической аппаратуры

Чтобы доказать линейность указанной аппаратуры, были использованы первичные электрофотометрические стандарты в Плеядах (Куликовский, 1971). Было выбрано 14 звезд от 7 до 14 звездной величины. Измерение

Таблица 3

Данные линейности аппаратуры

№	HI, II	V	v	imp/s	№	HI, II	V	γ	imp/s
1	19	7,58	7,55	82400	8	708	10,13	10,15	7550
2	2220	7,52	7,71	70200	9	53	10,55	10,61	5280
3	569	7,68	7,85	62500	10	248	11,02	11,08	3350
4	2195	8,12	8,14	47580	11	430	11,40	11,51	2350
5	597	8,77	8,85	24320	12	522	11,93	11,99	1490
6	993	9,14	9,16	18730	13	1348	12,61	12,78	750
7	1309	9,46	9,46	14280	14	945	13,29	13,37	420

этих звезд с фильтром V осуществлялось дифференциальным методом по отношению к избранной из того же скопления звезды № 1309. В табл. 3 показаны данные измерений. Во второй колонке приведены номера звезд по (Johnson, Morgan, 1953). В третьей колонке приведены звездные величины, взятые из каталога (Куликовский, 1971). В четвертой — звездные величины получены по нашим наблюдениям, а в пятой — соответствующие imp/s. На рис. 5 эти измерения показаны графически. Видно, что линейность аппаратуры сохраняется приблизительно от 14, 5 до 8 зв. величины, или соответственно от 10^2 до $5 \cdot 10^4$ imp/s. Аппаратуру можно приспособить к исследованию более ярких объектов уменьшением поверхности главного зеркала телескопа.

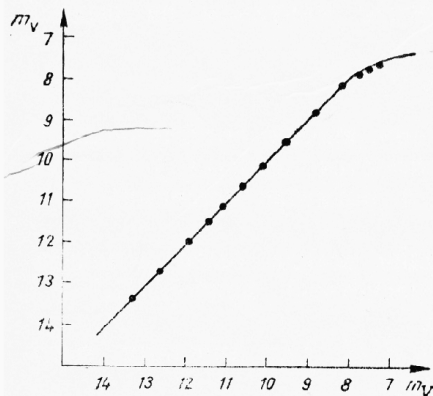


Рис. 5. Линейность аппаратуры

IV. Связь нашей инструментальной системы со стандартной *UBV*-системой

Для калибровки самые подходящие первичные стандарты (Johnson, Morgan, 1953, 1955) находятся в рассеянных звездных скоплениях Плеяды, Гиады, Ясли и др. В зависимости от возможности наблюдать эти стандарты в любое время, мы избрали два рассеянных звездных скопления — Плеяды и NGC 6910. Из указанных двух скоплений были выбраны для измерения по 10 звезд (по одной из них

как стандарт), соблюдая определенные требования, состоящие в следующем:

- их звездная величина должна быть в диапазоне 4-х единиц;
- диапазон их показателей цвета должен быть как можно более большим;
- стандарт, по отношению к которому измеряются дифференциально девять звезд, должен иметь спектральный класс А;

Таблица 4

К определению коэффициентов редукиции по наблюдениям в Плеядах

№	№ звезд	Стандартная система			Система Белоградчик		
		V	B-V	U-B	v	b-v	u-b
1	3	7,680	1,24	1,11	7,761	1,151	1,140
2	5	8,120	0,22	0,10	8,105	0,256	0,098
3	7	8,770	1,17	0,81	8,829	1,082	0,762
4	8	9,140	0,16	0,15	9,132	0,195	0,139
st 5	9	9,460	0,47	0,02	9,460	0,470	0,020
6	10	10,130	0,62	0,13	10,152	0,632	0,137
7	12	11,400	0,85	0,34	11,462	0,800	0,370
8	13	11,930	0,94	0,61	11,973	0,973	0,585

Таблица 5

К определению коэффициентов редукиции по наблюдениям в NGC 6910

№	№ звезд	Стандартная система			Система Белоградчик		
		V	B-V	U-B	v	b-v	u-b
1	2	8,120	0,050	-0,700	8,090	0,070	-0,784
2	3	8,540	0,890	-0,160	8,638	0,810	-0,123
st 3	5	10,050	0,190	0,090	10,050	0,190	0,090
4	7	10,420	0,840	-0,170	10,474	0,760	-0,171
5	9	10,640	0,290	0,120	10,657	0,279	0,127
6	11	10,950	1,200	1,130	11,050	1,124	1,213
7	13	11,770	0,820	-0,070	11,807	0,783	-0,057
8	15	12,270	0,730	-0,060	12,294	0,656	-0,066
9	18	12,870	1,000	0,010	12,930	0,934	0,002

г) наблюдения необходимо проводить, когда скопление находится у меридиана $\pm 1^h$;

д) проводить по несколько наблюдений в разные ночи и брать среднее значение.

В 1975—1976 г. для определения редукиционных коэффициентов нашей инструментальной системы в разные ночи было сделано восемь измерений. Половина наблюдений была проделана в звездном скоплении Плеяды, в котором семь звезд дифференциально измерены по отношению к звезде № 5 (№ 9) — избранной для стандарта. Среднее значение четырех измерений дано в табл. 4. Таким же образом в течение четырех разных ночей проведены наблюдения 8 звезд скопления NGC 6910, фотометрированных дифференциально по отношению к звезде № 3 (№ 5). И здесь среднее значение указанных наблюдений представлено в табл. 5. Обработка этих наблюдений осуществлена согласно математическому выражению, данному в (Хилтнер, 1967), а именно:

$$\Delta V = \Delta V + c\Delta(B-V), \quad \Delta(B-V) = k_1\Delta(b-V), \quad \Delta(U-B) = k_2(u-b),$$

где ΔV ; $\Delta(B-V)$; $\Delta(U-B)$ — данные по (Johnson, Morgan, 1953) ΔV ; $\Delta(b-V)$; $\Delta(u-b)$ — данные, полученные по нашим измерениям; c , k_1 , k_2 — коэффициенты редукиции.

Полученные результаты представлены на рис. 6 а — в, где (+) означены наблюдения звезд в Плеядах, а (•)-те, полученные в NGC 6910.

По методу наименьших квадратов для средних значений редуционных коэффициентов из всех восьми измерений получены следующие значения: $c = -0,098 \pm 0,025$, $k_1 = 0,998 \pm 0,028$, $k_2 = 1,040 \pm 0,034$.

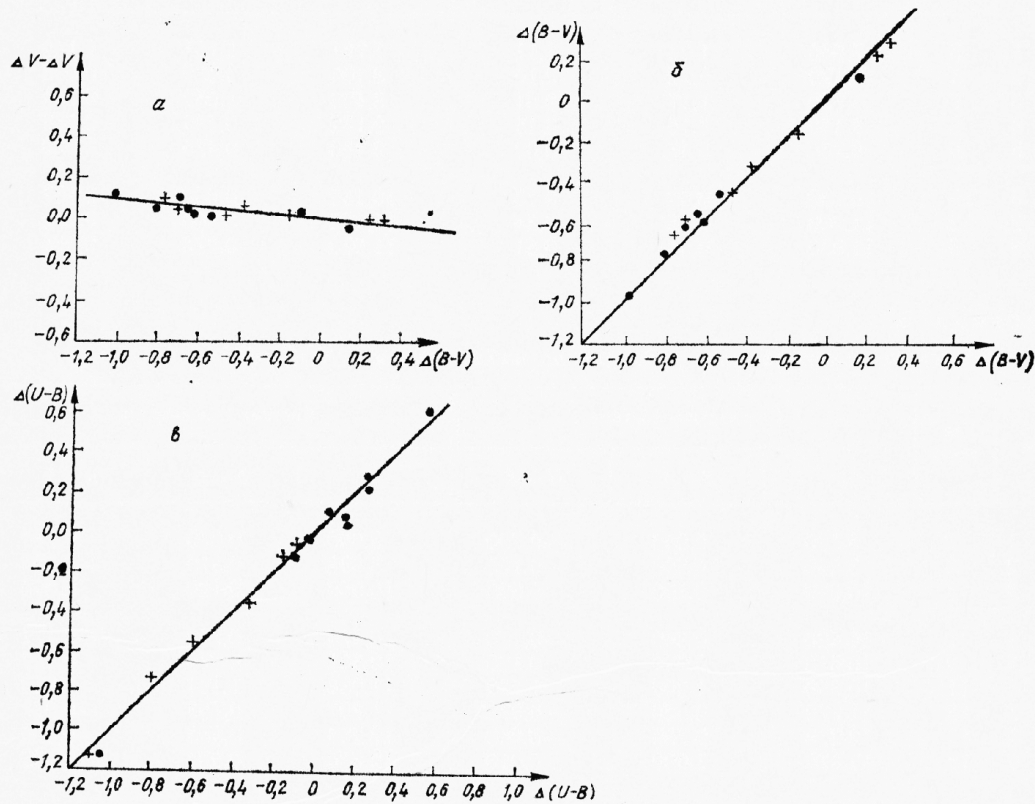


Рис. 6. Коэффициенты редуции

а) для интегральной величины V , б) для цветных индексов $(B-V)$ и $(U-B)$ соответственно

При определении редуционных коэффициентов не говорилось об атмосферной экстинкции, так как все измерения указанных звездных скоплений осуществлялись, когда они были почти в зените. Измерение воздушной массы $\Delta F_{(z)}$ во время этих измерений практически равняется нулю.

V. Атмосферная экстинкция

Реальная информация о небесных объектах получается только тогда, когда наблюдения проводятся вне земной атмосферы. Так как это невозможно для наземных обсерваторий, то необходимо точно регистрировать изменение светового потока, проходящего через земную атмосферу. Атмосферная экстинкция зависит от следующих факторов:

- а) от высоты обсерватории над уровнем моря;
- б) от зенитного отстояния объекта наблюдения;
- в) от длины световых волн.

Таблица 6

Данные об атмосферной экстинкции

№	T	t	cosz	F(z)	V	B	U
1	22h 04m	08° 00'	0,9933	1,0068	-10,202	-10,200	-8,342
2	22 30	15 00	0,9799	1,0205	-10,198	-10,194	-8,330
3	22 51	21 00	0,9621	1,0394	-10,194	-10,186	-8,315
4	23 17	27 00	0,9387	1,0653	-10,187	-10,174	-8,292
5	23 50	36 00	0,8992	1,1220	-10,173	-10,152	-8,251
6	0 33	46 30	0,8274	1,2087	-10,145	-10,107	-8,167
7	0 55	52 00	0,7874	1,2700	-10,127	-10,078	-8,117
8	1 40	63 00	0,6986	1,4315	-10,075	-10,003	-7,984
9	2 02	68 45	0,6483	1,5426	-10,041	-9,951	-7,891

По этим проблемам созданы ряд теорий (Мартынов, 1977). При определении атмосферной экстинкции нами была использована теория Бугера

$$m_z - m_0 = \Delta m = (\sec z - 1)(-2,5 \lg \alpha),$$

где $\sec z = \frac{1}{\cos z} = F(z)$ — воздушная масса при данном зенитном отстоянии; α — коэффициент прозрачности.

Изменения этих величин ($F(z)$, α) определяются электрофотометрическими величинами (V , B , U) первичных электрофотометрических стандартов (Johnson, Morgan, 1953, 1955). Данное наблюдение состоит в определении указанных величин при часовых углах 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° . По формулам Гаусса (Бонев, 1964), в момент наблюдений определялась $F(z)$, а из наклона Бугеровых прямых — α_V , α_B , α_U . Коррекция за атмосферную экстинкцию определяется выражениями

$$V_0 = V_H - \alpha_V F(z), (B - V)_0 = (B - V)_H - \alpha_{(B-V)} F(z), (U - B)_0 = (U - B)_H - \alpha_{(U-B)} F(z).$$

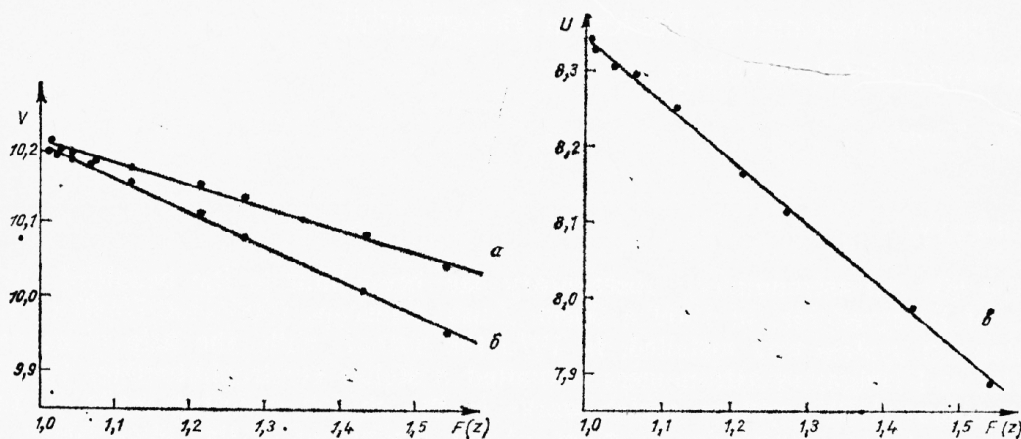


Рис. 7. Коэффициенты прозрачности
а), б), в) в фильтрах V, B и U соответственно

Чтобы определить атмосферную экстинкцию в астрономической обсерватории г. Белградчик, в 1975—1976 гг. автором были проведены шесть наблюдений в разные ночи. В трех из ночей наблюдались по две звезды (№ 1309 и № 597) в Плеядах (Johnson, Morgan 1953), а в остальных

трех ночах звезды № 5 и 8 в NGC 6910 (Куликовский, 1971). Полученные величины почти совпадают. Средние величины всех наблюдений приведены в табл. 6, где во второй колонке даны моменты наблюдений, в третьей — соответствующие часовые углы, в четвертой — $\cos z$, в пятой — $F_{(z)}$, а в последние три колонки приводятся параметры фильтров (V, B, U). На рис. 7 а—в, в зависимости от $F_{(z)}$ представлены Бугеровы прямые. Коэффициенты прозрачности ($\alpha_V, \alpha_B, \alpha_U$) определяются из наклона этих прямых. Численные значения $\alpha_V, \alpha(U-B), \alpha(U-V)$ следующие:

$$\alpha_V = -0,298 \pm 0,034, \alpha_{(B-V)} = -0,174 \pm 0,036, \alpha(U-B) = -0,380 \pm 0,045.$$

Основная деятельность обсерватории г. Белградчик за последние десять лет заключается в измерении (электрофотометрически в UBV -системе) около 120 двойных галактик и нескольких переменных звезд.

Литература

- Бонев, Н. 1964. *Астрономия*, С.
 Куликовский, П. Г. 1971. *Справочник любителя астрономии*.
 Лютый, В. М. 1973. Диссертация — ГАИШ.
 Мартынов, Д. Я. 1977. *Курс практической астрономии*. М.
 Павлов, А. В. 1972. *Приемники излучения*. М.
 Томов, А. Н. 1973. *Бюлетин Астрон. обсерв.* — Варна.
 Хилтнер, В. А. 1967. *Методы астрономии*. М.
 Чугайнов, П. Ф. 1971. *Методы исследования переменных звезд*. 4.
 Шаров, А. С. 1962. *Современное состояние проблемы фотометричных систем*. 27.
 Johnson, H. L., W. Morgan. 1953, *Ap. J.*, 177, 313.
 Johnson, H. L. 1955. *Ann d'Aph.*, 18, 292.

The Electrophotometric Device in Belogradchik Astronomical Observatory

A. N. Tomov

(Summary)

In the 60s an astronomical observatory has been built in the beautiful environs of Belogradchik. In 1969 a 60cm Zeiss telescope (600/2400/7500) of the Cassegrain system was installed. In 1973 the author with the help of several Soviet and Bulgarian astronomers mounted a stellar electrophotometer for the three-colour UBV system which works in the photon counting mode. In this paper a detailed description is given of the equipment of this photometer, as well as of the methods of data reduction to the standard UBV system. The atmospheric extinction may also be considered as determined exactly enough.

*Секция астрономии с Национальной
астрономической обсерваторией,
Болгарская академия наук*

*Поступила 15.1.1978
Переработана 1979, 1981, 1982*