

В. М. ЛЮТЫЙ

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР СО СЧЕТОМ ФОТОНОВ

**Резюме.** Описывается автоматический звездный электрофотометр со счетчиком фотонов. Прибор может работать как в автоматическом режиме по заданной программе (одной), так и в режиме дистанционного управления по произвольной программе. В качестве регистрирующего прибора используется пересчетный прибор типа ПП-12. Используемый в приборе фотоумножитель типа ЕМІ 6256s и фильтры УФС-3, СС-5, ЖС-18 позволяют осуществить цветовую систему, близкую к системе *UBV* Джонсона и Моргана. Установленный в кассегреновском фокусе 60-см рефлектора электрофотометр позволяет измерять звезды до 11 величины с экспозицией 10 сек. Приборная точность при этом не хуже 1% ( $0^m.01$ ). При увеличении экспозиции до двух минут можно фотометрировать звезды до  $14^m$ .

**Automatic electrophotometer with photon-counting, by V. M. Liutyi**

**Abstract.** The automatic pulse-counting stellar electrophotometer is described. The photometer can be used both with one program (automatically) and with different programs as a distant-manned device. The photomultiplier EMI 6256s, together with filters УФС-3, СС-5 and ЖС-18, gives the color system quite close to *UBV* of Johnson and Morgan. Mounted at Cassegrain focus of 60-sm reflector, electrophotometer provides measuring the stars of  $11^m$  with exposure time of 10 sec, and of  $14^m$  with of 2 minutes one.

В последнее время в электрофотометрии развивается новый метод регистрации — счет фотонов. Счет фотонов дает существенные преимущества [1] при наблюдении слабых объектов по сравнению с усилением постоянного тока.

В настоящей статье описывается звездный электрофотометр, созданный на Южной станции ГАИШ. Электрофотометр предназначен для наблюдения звезд и туманностей в системе *UBV*. Ставилась цель создать эффективный и удобный в работе прибор для наблюдения слабых объектов. Трехканальные фотометры представляются недостаточно пригодными для этой цели из-за больших потерь в самом приборе, доходящих до 70% [2], хотя для исследования быстрых процессов (например, вспыхивающие звезды) они более эффективны.

**Оптическая часть фотометра.** В приборе используется оптическая часть электрофотометра АФМ-1М, которая была подвергнута значительной переделке. Оптическая схема фотометра показана на рис. 1. Через диафрагму 1, расположенную в фокальной плос-

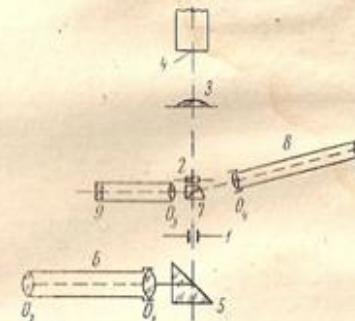


Рис. 1. Оптическая схема фотометра

кости телескопа, свет от звезды проходит к фильтру 2, а затем через линзу Фабри 3 на фотокатод фотоумножителя 4. Перед диафрагмой (со стороны телескопа) можно ставить призму полного внутреннего отражения 5, которая направляет пучок в микроскоп-искатель 6; последний используется при отождествлении слабых объектов. Между диафрагмой и фильтром ставится призма 7, направляющая свет от звезды в микроскоп 8 — микроскоп внутреннего подсмотра, а свет от стандартного источника — люминофора 9 — к фотоумножителю. В микроскоп 8 можно видеть положение звезды в диафрагме.

При работе с обычным фотометром после окончания записи в каком-либо фильтре необходимо подойти к фотометру, чтобы сменить фильтр или включить люминофор. Для записи фона неба нужно переводить на соседний участок неба весь телескоп. При переделке оптической части фотометра ставилась задача освободить прибор от указанных недостатков, т. е. снабдить его дистанционным управлением.

Для этой цели блок фильтров был переделан следующим образом. Один диск фильтров снят совсем, а второй установлен на шаговом искателе типа ШИ-17 вместо ротора. Контактное поле шагового искателя удалено. При нажатии кнопки КИ1 на пульте управления (см. рис. 3) срабатывает электромагнит шагового искателя, поворачивая храповое колесо и жестко связанный с ним диск фильтров на один зуб. Так как храповое колесо имеет 36 зубьев, а диск фильтров — шесть отверстий для фильтров, то для установки последующего фильтра нужно шесть раз нажать кнопку КИ1. Такой способ установки фильтра имеет, однако, тот

недостаток, что при ошибке в счете (например, кнопка Кн1 нажата 5 или 7 раз, а не 6) оправа фильтра может виньетировать световой пучок. Чтобы исключить подобную ошибку в установке фильтра, были установлены специальные контакты, замыкающиеся только при определенном положении диска фильтров. Таких положений — шесть, по числу отверстий для фильтров. Контакты замыкают цепь питания лампочки, расположенной на пульте управления. Таким образом, лампочка на пульте загорается только тогда, когда правильно устанавливается какой-либо фильтр. Для того чтобы знать, какой именно фильтр установлен, на пульте имеется 6 лампочек, напряжение на которые подается через контакты блока фильтров и шаговый исполнитель Р7, врачающийся синхронно с диском фильтров.

Для измерения фона неба в нашем фотометре применен метод «прыгающей» диафрагмы: диафрагма сдвигается в фокальной плоскости на определенное расстояние. Такой метод использован в [3]: на одной пластинке расположены две диафрагмы — обычна круглая для измерения звезды и фигуриная для измерения фона неба. В фигурной диафрагме центральная часть закрыта.

Фигурная диафрагма довольно сложна в изготовлении. Проще для измерения фона применять ту же диафрагму, что и для звезды. В нашем случае пластина с диафрагмами сдвигается электромагнитом, цепь которого замыкается переключателем П1 на пульте управления (рис. 3). При включении электромагнита (измерение фона) пластина с диафрагмами сдвигается на 2 мм. Основные рабочие диафрагмы — 1 мм и 0.5 мм (всего в пластинке 5 отверстий: 5 мм; 2.5 мм; 1 мм; 0.5 мм; 0.3 мм), т. е. для измерения фона неба диафрагма сдвигается на 2—4 диаметра. Если при этом в диафрагму попадает соседняя звезда, что, впрочем, случается исключительно редко, фотометр можно повернуть при помощи позиционного подшипника так, чтобы звезда вышла из диафрагмы.

При измерении фона диафрагма отходит от оптической оси на 2 мм, но виньетирования не происходит, так как диаметр пучка достаточно мал (при светосиле телескопа 1 : 12—1 : 17). Смещение диафрагмы в фокальной плоскости не имеет значения, так как перед фотокатодом установлена линза Фабри, дающая на фотокатоде ФЭУ изображение входного зрачка телескопа.

Кроме фильтров и диафрагмы дистанционное управление имеет еще один узел — призму внутреннего подсмотра (7, рис. 1). Механизм призмы связан фрикционной передачей с реверсивным электродвигателем постоянного тока. Электродвигатель управляется переключателем П2 на пульте.

В качестве приемника излучения в электрофотометре используется сурьмяно-цезиевый фотоумножитель типа ЕМІ 6256s с кварцевым окном. Фотоумножитель работает в импульсном режиме (счет фотонов) с сопротивлением нагрузки 3 килоома, темновой ток его при комнатной температуре составляет 20—25 имп/сек.

В случае необходимости блок сурьмяно-цезиевого («синего») ФЭУ можно заменить на блок мультишелочного («красного») фотоумножителя типа ФЭУ-79 (с темновым током 50 имп/сек.). Работают фотоумножители на плате счетной характеристики (1400 в для ЕМІ 6256s и 1850 в для ФЭУ-79).

*Отсчетно-регистрирующая аппаратура.* Амплитуда импульса на выходе фотоумножителя очень мала. Определяется она величиной емкости  $C_0$  (емкость выхода ФЭУ+емкость монтажа+емкость входного каскада усилителя) и составляет 3—5 мв. Длительность импульса — десятые доли микросекунды. Следовательно, усилитель должен иметь достаточно высокое усиление и полосу пропускания в несколько мегагерц.

Усилитель собран на транзисторах типа ГТ311Е. Принципиальная схема его показана на рис. 2. Транзистор T1 является вход-

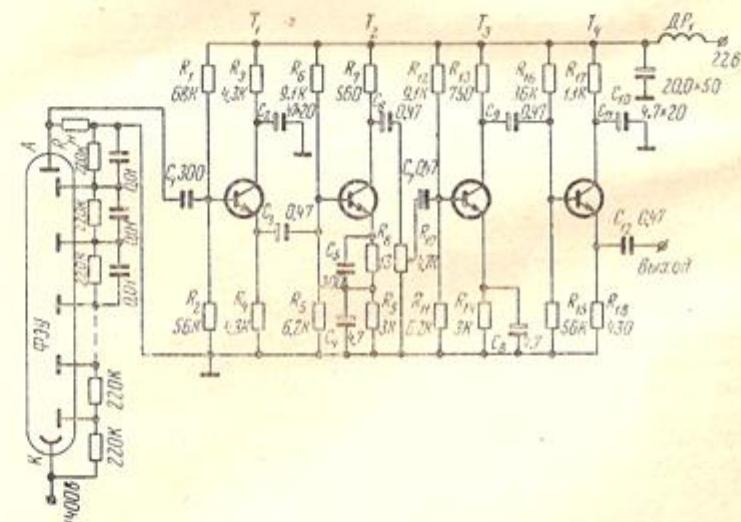


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя  
T1-T4-GT311E

ным эмиттерным повторителем. Он необходим для повышения входного сопротивления и уменьшения входной емкости усилителя. Дальше следует двухкаскадный усилитель (транзисторы T2 и T3) и выходной эмиттерный повторитель T4 — для согласования выходного сопротивления усилителя с коаксиальным кабелем типа РК-119 с волновым сопротивлением  $\rho = 50$  ом. Кабель длиной 10 м нагружен сопротивлением, равным волновому. Резистор R10 служит для регулировки усиления, дроссель Др1 и конденсатор C10 — развязывающий фильтр в цепи питания.

Полоса пропускания усилителя  $\Delta F = 10$  Мгц, а коэффициент уси-

ления  $K=100$ . Амплитуда импульса на выходе составляет примерно 0.5 в, что вполне достаточно для нормальной работы дискриминатора.

Амплитудный дискриминатор собран на двух транзисторах типа П416Б по схеме триггера Шмидта. Чувствительность его (уровень дискриминации) 0.1—0.6 в, амплитуда выходного импульса немного больше 1 в при длительности 0.6 мксек. С выхода дискриминатора импульсы подаются на пересчетный прибор типа ПП-12 с разрешающим временем не хуже 1 мксек и чувствительностью к импульсам отрицательной полярности 0.5 в. Электронный секундомер прибора позволяет задавать экспозиции 1, 4, 10, 40, 100, 400, 1000 и 4000 сек. Сброс и пуск ПП-12 выведены на общий пульт управления фотометром (рис. 3), с которого осуществляется управление фильтрами, диафрагмой и призмой внутреннего подсмотра.

Кроме того, в блоке пульта расположены три стабилизированных выпрямителя для питания импульсного усилителя, амплитудного дискриминатора и цепей управления. Питание фотоумножителя осуществляется от высоковольтного стабилизированного выпрямителя ВС-22. Программное устройство для автоматической работы электрофотометра также находится в пульте управления.

Опишем работу электрофотометра в режиме ручного (дистанционного) управления. Этот режим работы применяется чаще, так как режим автоматического управления требует очень хороших атмосферных условий, что в Крыму, где установлен фотометр, бывает не часто.

Перед началом наблюдений переключатели на пульте (рис. 3) должны быть в следующем положении: переключатель П3 («управление ручное—автоматическое») — в положении «управление ручное», переключатель П1 («звезда—фон») — в положении «звезда», переключатель П2 — в положении «люминофор введен». При этом положении П2 в микроскоп 8 (рис. 1) можно видеть положение звезды в диафрагме.

После установки звезды в диафрагме наблюдатель подходит к пульте управления и весь цикл наблюдения одной звезды проводит у пульта. Прежде всего кнопкой Кн1 устанавливается нужный фильтр, например V. При этом загорается лампочка — индикатор фильтра, подсвечивая табло с названием фильтра. Затем переключателем П2 выводится призма внутреннего подсмотра («люминофор выведен») и нажатием кнопки Кн2 начинается экспозиция. Время экспозиции задается переключателем «экспозиция» на передней панели ПП-12.

Опыт показал, что наиболее удобная экспозиция — 10 сек. Повторяется она 3—4 раза в каждом фильтре, так что общее время накопления составляет 30—40 сек. Такой метод лучше, чем применение более длительной экспозиции, так как дает возможность оценить ошибку, обусловленную внешними, не аппаратурными эффектами.

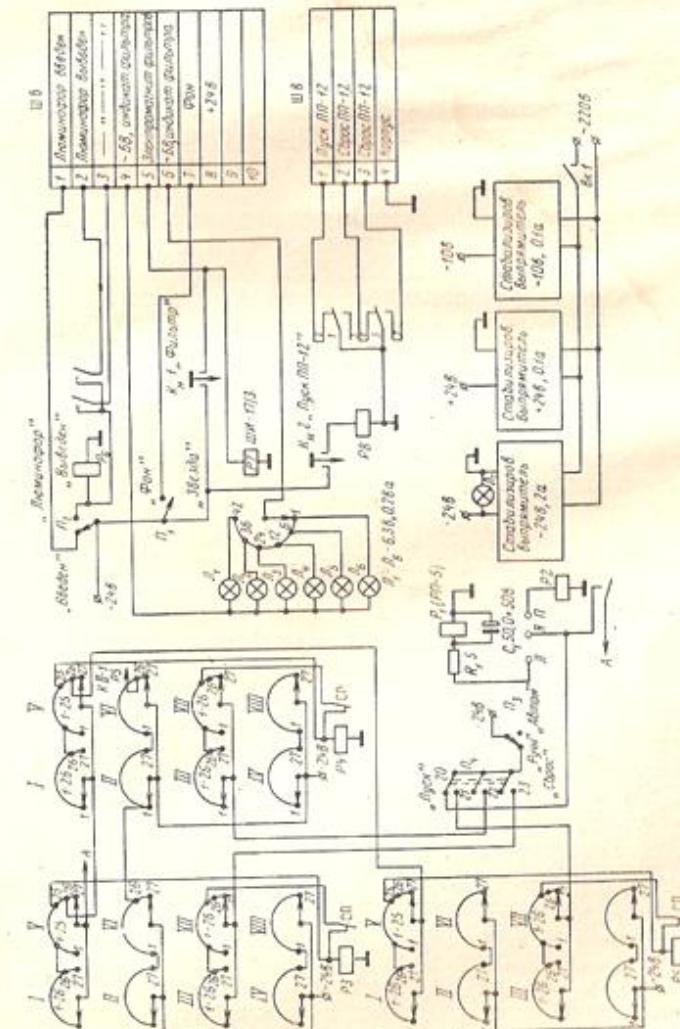


Рис. 3. Принципиальная схема пульта управления. Контакты I—26 групп II, VI, Р3, Р4, Р5 подключены к П1, П2, Кн1, Кн2 в определенном порядке (см. текст). Надписи «ручн.», «автом.» (переключатели П3) следует поменять местами

После окончания измерений в первом фильтре (*V*) переключатель  $P_1$  ставится в положение «фон», и снова кнопкой  $K_{12}$  начинается экспозиция. Измерение фона неба производится 1—3 раза в зависимости от того, какую часть от яркости звезды он составляет. Закончив измерение фона, переключатель  $P_1$  возвращают в положение «звезда», кнопкой  $K_{11}$  устанавливают следующий фильтр (*B*) и повторяют цикл. То же — для третьего фильтра (*U*). Затем переключатель  $P_2$  ставится в положение «люминофор введен», а переключатель  $P_1$  — в положение «звезда». Прибор готов к измерению следующей звезды. При этом же положении переключателей можно записать отсчет стандартного источника — люминофора.

Для перехода к автоматическому управлению переключатель  $P_3$  ставится в положение «управление автоматическое». При этом переключатели ручного управления должны быть в таком же положении, как перед началом наблюдений (см. выше).

После наведения на звезду переключателем  $P_4$  запускают программное устройство, собранное на шаговых искателях (распределителях) типа ШИ-25/8. Генератор, собранный на поляризованном реле РП-5, вырабатывает запускающие импульсы с периодом 2 сек, которые через реле  $R_2$  (рис. 3) подаются на электромагниты шаговых искателей  $P_3$ ,  $P_4$  и  $P_5$ . Шаговые искатели работают последовательно, так что второй включается, когда кончит работать первый, и т. д. Достигается это тем, что напряжение 24 в на обмотку  $P_4$  подается через  $P_3$ , когда его ротор замыкает последнюю ламель, а на  $P_5$  — через  $P_4$ . Таким образом,  $P_3$ ,  $P_4$  и  $P_5$  работают как один искатель с расширенным контактным полем. К контактному полю искателей подключены цепи управления фильтрами, диафрагмой, призмой и пересчетным прибором ПП-12. Переключение их производится шаговыми искателями в том же порядке, как и при ручном управлении. После окончания экспозиции (10 сек) отсчет на декатронах ПП-12 держится в течение трех секунд, затем автоматически сбрасывается. Полный цикл измерения одной звезды и записи фона в трех фильтрах (*V*, *B*, *U*) в автоматическом режиме составляет 5.5 мин. После окончания цикла сброс шаговых искателей (перевод программного устройства в начальное состояние) осуществляется переключателем  $P_4$  (положение «сброс»).

Так как в автоматическом режиме прибор работает только с экспозицией 10 сек, то при наблюдениях требуются очень хорошие атмосферные условия. При работе на 60-см рефлекторе от звезды 11-й величины за 10 сек накапливается около 10 тыс. импульсов, т. е. приборная точность при этом около 1% (как известно, относительная ошибка при счете импульсов  $\varepsilon = 1/\sqrt{N}$ , где  $N$  — число накопленных импульсов). Чтобы можно было наблюдать в автоматическом режиме при атмосферных условиях, которые бывают в Крыму чаще всего, программное устройство необходимо

переделать: расширить диапазон экспозиций и сделать возможной смену программ. В настоящее время разрабатывается программируемое устройство с записью программы на магнитную ленту.

**Исследование электрофотометра.** Фотоумножитель, используемый для астрономических целей, должен иметь возможно меньший темновой ток и возможно большую чувствительность. Можно, конечно, охлаждать ФЭУ сухим льдом — это уменьшает темновой ток в несколько (а иногда и больше) раз, но приводит к усложнению аппаратуры, а значит — к уменьшению надежности.

Фотоумножители можно сравнивать по их счетным характеристикам, т. е. зависимости числа имп/сек на выходе ФЭУ от приложенного к фотоумножителю напряжения. Используемый в нашем фотометре фотоумножитель типа EMI 6256s (с кварцевым окном) имеет плато на счетной характеристике в области 1250—1450 в, темновой ток на плато характеристики — 20—30 имп/сек.

Наличие «мертвого» времени аппарата, т. е. времени, в течение которого она нечувствительна к приходу следующего импульса, ограничивает диапазон применения методов счета фотонов яркостей. Необходимо поэтому исследовать линейность фотометра: до каких освещенностей световую характеристику можно считать линейной, например, с точностью 1—2%.

Линейность описываемого фотометра измерялась двумя способами: в лаборатории, на оптической скамье, и непосредственно на телескопе. Так как свет от точечного источника ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния, то расстояние от фотокатода фотоумножителя до источника может служить характеристикой входного сигнала. Измерения проводились на оптической скамье ОСК-3 длиной 4 м, минимальное расстояние от катода ФЭУ до источника составляло 0.6 м (на этом расстоянии источник имеет угловые размеры около 6'). В качестве источника использовалась лампа накаливания с матовым стеклом и диафрагмой, питаемая стабилизированным напряжением.

Для проверки линейности аппарата на телескопе наблюдалось звездное скопление Плеяды, являющееся первичным стандартом системы *UBV*. Полученные в нашей инструментальной системе величины  $v$  редуцировались затем к величинам  $V$  стандартной системы (редуцированные величины обозначены через  $V'$ ) и использовались для проверки линейности аппарата. О методике наблюдения и редукции будет сказано ниже при описании системы прибора.

Результаты измерения линейности представлены на рис. 4, а (измерения на оптической скамье) и рис. 4, б (на телескопе, по звездам). Числа возле точек показывают скорость счета в имп/сек.

Можно считать, что с точностью 0<sup>m</sup>.01—0<sup>m</sup>.02 на 60-см рефлекторе измеряются звезды до 7<sup>m</sup>.5 (около 20 тыс. имп/сек). Однако если используются близкие по величине звезды сравнения, то можно измерять и более яркие объекты — до 50—60 тыс. имп/сек, так как просчеты аппаратуры (вследствие «мертвого» времени)

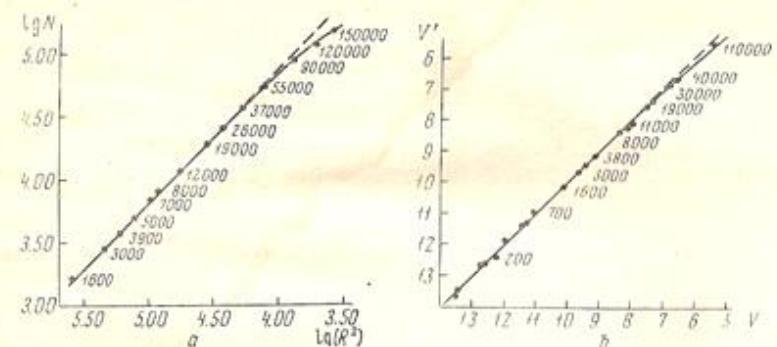


Рис. 4: а — измерение линейности на оптической скамье, б — измерение линейности по Плеядам; числа возле точек показывают скорость счета в имп/сек

можно здесь еще считать одинаковыми как для исследуемой звезды, так и для звезды сравнения. Кроме того, как показано в [4], расширить диапазон измеряемого светового потока можно уменьшением общего коэффициента системы «фотоумножитель—усилитель». Для фотоумножителя типа ЕМ1 уменьшением напряжения на его динодах можно снизить чувствительность примерно в 40 раз (далее снижение напряжения приводит уже к нелинейности). В нашем случае это соответствует уменьшению напряжения на ФЭУ от 1400 в (плато) до 925 в. Изменением напряжения дискриминации можно еще примерно в два раза уменьшить чувствительность. Следовательно, уменьшая напряжение на ФЭУ и изменения напряжение дискриминации, можно расширить диапазон измеряемых яркостей на 4—5 величин и фотометрировать звезды до 3<sup>m</sup>.5 с 60-см рефлектором.

Для осуществления цветовой системы, близкой к *UBV*, использовались следующие фильтры: УФС-3 (для *U*), СС-5 (для *B*) и ЖС-18 (для *V*). Хотя эти фильтры и отличаются от используемых в стандартной системе *UBV* Джонсона и Моргана [5], но являются наиболее подходящими из отечественных фильтров [6].

Кривые спектральной чувствительности аппаратуры (фотоумножитель+фильтры) показаны на рис. 5 сплошными линиями, пунктиром нанесены кривые спектральной чувствительности аппаратуры Джонсона и Моргана [5, 6]. Спектральная чувствительность фотоумножителя типа ЕМ1 с сурьмяно-цезиевым фотокатодом взята из [7]. Эффективные длины волн  $\lambda_e$  и полуширины полос  $\Delta\lambda$  пропускания инструментальной системы оказались следующими: 3520 (600), 4300 (980) и 5450 (730) Å для *u*, *b* и *v* соответственно (в скобках —  $\Delta\lambda$ ). Для стандартной системы *UBV*  $\lambda_e$  и  $\Delta\lambda$  следующие: 3500 (700), 4350 (970) и 5550 (850) Å. Таким

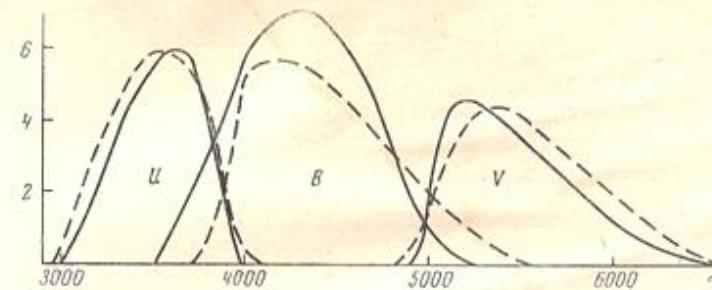


Рис. 5. Кривые реакции аппаратуры. Пунктир — кривые аппаратуры Джонсона и Моргана

образом, наша инструментальная система достаточно близка к системе *UBV*.

Уравнения связи нашей инструментальной системы со стандартной системой *UBV* определялись из наблюдений рассеянных скоплений Плеяды и Ясли, которые являются первичными стандартами системы *UBV* [8, 9].

Если выбрать в скоплении одну из звезд в качестве стандартной и по отношению к ней определить величины и цвета остальных звезд, то для *i*-той звезды можно написать:

$$\begin{aligned}\Delta V_i &= \Delta v_i + c \cdot \Delta(b_i - v_i), \\ \Delta(B_i - V_i) &= k_1 \cdot \Delta(b_i - v_i), \\ \Delta(U_i - B_i) &= k_2 \cdot \Delta(u_i - b_i).\end{aligned}$$

В этих уравнениях *V*, *B*—*V*, *U*—*B* — величина и цвет в системе *UBV*; *v*, *b*—*v*, *u*—*b* — величина и цвет в системе прибора, а *c*, *k*<sub>1</sub> и *k*<sub>2</sub> — коэффициенты, определяющие связь двух систем. Поправка нуль-пунктов здесь исключается, так как уравнения записаны в дифференциальной форме. Уравнение яркости (звездной величины), вообще говоря, вводится только в том случае, если усилитель работает в нелинейном режиме.

Наблюдения проводились вблизи меридиана, где воздушная масса за время наблюдений (полтора — два часа) меняется очень мало относительно одной звезды, выбранной в качестве стандартной. Полученные разности  $\Delta v_H$ ,  $\Delta(b - v)_H$  и  $\Delta(u - b)_H$  выводились за атмосферу по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta v &= \Delta v_H - \alpha_v \cdot \Delta F(z), \\ \Delta(u - b) &= \Delta(u - b)_H - \alpha_{u-b} \cdot \Delta F(z), \\ \Delta(b - v) &= \Delta(b - v)_H - \alpha_{b-v} \cdot \Delta F(z) - \gamma \cdot \Delta c \cdot F(z),\end{aligned}$$

где  $\alpha$  — коэффициент прозрачности ( $\alpha = -2.5 \lg p$ ),  $F(z)$  — воздушная масса ( $\sec z$ ),  $\Delta c$  — разность цветов ( $B - V$ ) наблюданной звезды и стандарта, а  $\gamma = d\alpha/dc$  принималось равным  $-0^m.03$  [5]. Коэффициент прозрачности  $\alpha$  определялся по бугоровским прямым, построенным для стандартной звезды. Так как разность воздушных масс  $\Delta F(z)$  не превышает  $0.10 - 0.15$ , то ошибка в определении  $\alpha$  мало скажется на редукции за атмосферу.

Полученная таким образом система уравнений решалась относительно неизвестных  $c$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  методом наименьших квадратов (36 уравнений). Получились следующие значения коэффициентов:

$$c = -0.048 \pm 0.012, k_1 = 0.991 \pm 0.008, k_2 = 0.997 \pm 0.015.$$

Графическое сопоставление инструментальной и стандартной цветовых систем показано на рис. 6, а, б. Прямые на рисунках проведены по полученным коэффициентам. Коэффициенты связи  $c$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  в пределах ошибок совпадают с коэффициентами, полученными Г. В. Зайцевой для фотометра АФМ-6, в котором использо-

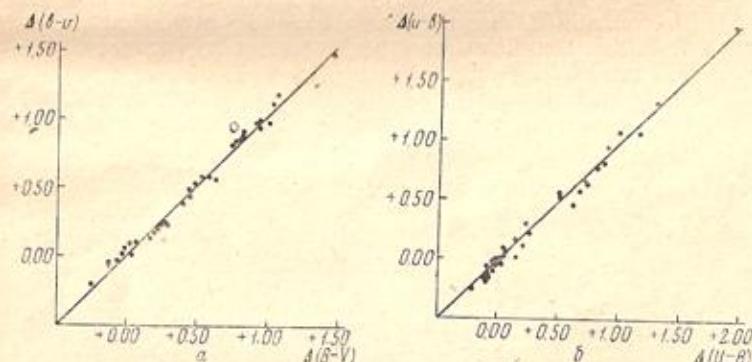


Рис. 6. Сопоставление инструментальной и стандартной цветовых систем:  
а — для цвета  $B - V$ , б — для цвета  $U - B$

вался тот же экземпляр фотоумножителя и те же фильтры.

Как видим, инструментальная система очень близка к стандартной — коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  почти равны единице. Следовательно, при наблюдениях дифференциальным методом, если разность цветов звезд не превышает одной величины и требуется точность  $\pm 0^m.01$ , можно считать, что  $\Delta(B - V) = \Delta(u - v)$  и  $\Delta(U - B) = \Delta(u - b)$ .

Дифференциальный метод обычно применяется при наблюдениях переменных звезд (выбирается близкая звезда сравнения), но его можно применять и при определении величин звезд сравнения, если последние неизвестны. Так как в настоящее время

определены  $UBV$ -величины очень многих звезд [11], то всегда почти можно выбрать достаточно близкую стандартную звезду, чтобы по отношению к ней определить величины звезд сравнения.

В заключение автору хотелось бы поблагодарить Г. В. Зайцеву, оказавшую большую помощь в исследовании электрофотометра, и В. П. Архипову за помощь в определении уравнений связи.

Крымская станция ГАИШ  
февраль 1970 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Н. А. Изв. КрАО, 30, 308, 1963.
2. Димов Н. А. Изв. КрАО, 35, 279, 1966.
3. Кундзинь А. П. В сб.: «Новая техника в астрономии». М.-Л., Изд-во АН СССР, 1963.
4. Терез Э. И. Изв. КрАО, 38, 257, 1968.
5. Johnson H. L., Morgan W. W. Astrophys. Journ., 114, 522, 1951.
6. Шаров А. С. Бюлл. астрофиз. обсерв., № 27, 1962.
7. Глуховской Б. М., Терез Э. И. Изв. КрАО, 36, 294, 1967.
8. Johnson H. L., Morgan W. W. Astrophys. Journ., 117, 313, 1953.
9. Johnson H. L. Astrophys. Journ., 116, 640, 1952.
10. Зайцева Г. В. Переменные звезды, 16, № 4, 1968.
11. Blanco W. M., Demers S., Douglass G. G., Fitzgerald M. P. Publ. of US Naval observ., 21, 722, 1968.