УДК 520.34

В. П. ЗАЛИНЯН, Г. М. ТОВМАСЯН

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Дано описание двухканального электрофотометра с высоким временным разрешением 0.01÷1.00 с для одновременной регистрации вспышек звезд в двух цветах—U и B. Этот электрофотометр существенно повышает достоверность обнаруженных вспышек, так как при одновременной регистрации вспышки в двух каналах исключаются ложные всплески, вызванные ионными процессами в фотоумножителях, искровыми помехами и турбуленцией земной атмосферы.

Введение. Изучение кривых яркости вспышек с большим временным разрешением может дать важные сведения для понимания природы вспыхивающих звезд.

Наблюдения с постоянной времени интегрирования менее одной секунды позволяют детально исследовать обычно быстротечный процесс нарастания яркости, а также регистрировать короткие вспышки, которые невозможно обнаружить при записи с обычными постоянными времени в несколько секунд. Реальность, однако, коротких вспышек звезд типа всплесков может вызвать сомнения, поскольку аналогичные всплески могут быть зарегистрированы в результате каких-то помех. Основными источниками помех, могущими вызвать ложные всплески, являются ионные процессы в фотоумножителях, искровые помехи и турбуленция земной атмосферы. Поэтому требования, предъявляемые к работе аппаратуры, предназначенной для регистрации короткоживущих вспышек с постоянной времени интегрирования 0.01—1.0 с, определяют необходимость их высокой помехоустойчивости и сведения к минимуму фактов ложного обнаружения. Эффективным путем исключения вышеописанных факторов является синхронная регистрация блеска звезд, по крайней мере, в двух цветах U и B. Запись в двух независимых каналах практически сведет к нулю вероятность появления одновременных всплесков, вызванных газоразрядной ионной лавиной в двух фотоумножителях. Кроме того, это позволит с большой достоверностью различать реальные вспышки звезд от возможных всплесков атмосферного происхождения.

Ниже дается описание разработанного нами двухканального электрофотометра, с помощью которого можно вести наблюдения вспыхивающих звезд одновременно в двух цветах. Этот электрофотометр является модификацией описанного в [1] одноканального автоматического электрофотометра, в котором запись производится только во время вспышки наблюдаемой звезды, когда сигнал превышает средний уровень на $m\sigma$, где m—произвольный коэффициент (обычно от 3 до 6), выбираемый наблюдателем в зависимости от величины флуктуации сигнала. В процессе наблюдения микроЭВМ анализирует входящую информацию, определяя среднее число фотоимпульсов N из массива определенной длины, содержащего n последовательных отсчетов. Величина каждого поступающего отсчета сравнивается с уровнем порога регистрации, и если отсчет не превышает порога, то он занимает в массиве место ранее записанного отсчета, отстоящего от

ковь поступившего на время n·τ, где τ—постоянная времени инте-
нирования. Таким образом, массив из которого непрерывно опреде-
ляется порог обнаружения, непосредственно примыкает к поступаю-
щему отсчету, для которого и вычисляется порог.

Блок-схема прибора. Общий вид изготовленного нами электрофо-
тометра, установленного на телескопе 40 см системы Кассегрена, пред-
ставлен на рис 1, а блок-схема электрофотометра и системы регистра-
ции на рис. 2.

Световой поток исследуемой звезды фокусируется телескопом в
плоскости диафрагмы 4, а затем, с помощью светоделительной пла-
стины 7 разделяется на два канала. Светоделительная пластина пред-
ставляет собой неселективное полупрозрачное зеркало с коэффициен-
том пропускания равным 0.4 и коэффициентом отражения 0.42. Опти-
ческие фильтры «U» и «B», близкие к фотометрической системе U, B,
набраны из цветных стекол по методике, описанной в работе [2].
Электрофотометр, основные параметры которого приведены в работе

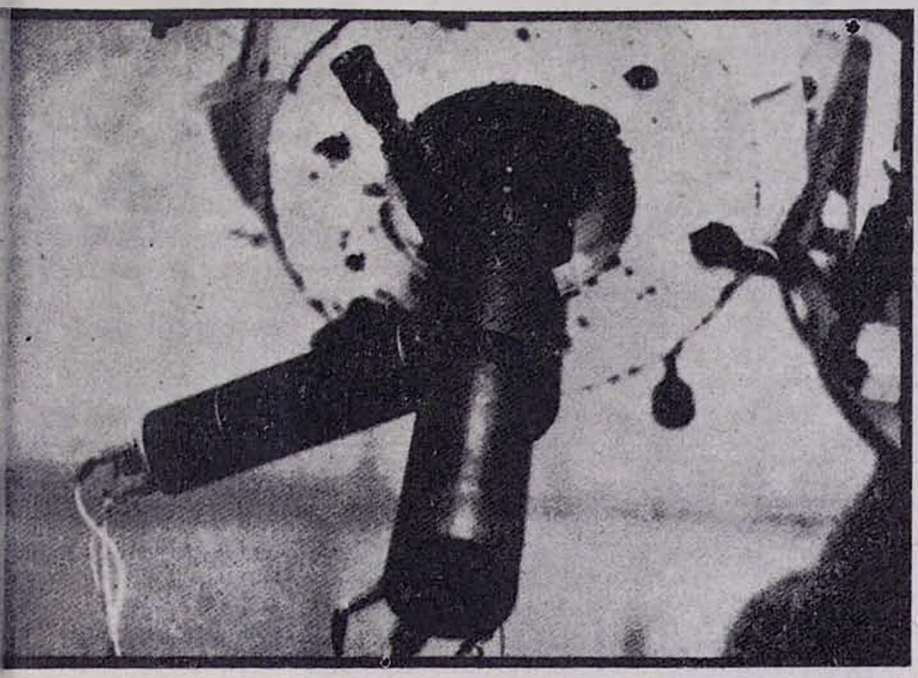

Рис. 1. Общий вид электрофотометра

1], работает по принципу счета фотонов. Чтобы исключить взаимное
влияние одного канала на другой, источники питания фотоумножите-
лей и схемы счета фотонов для каждого канала свои. В цепи сетево-
го питания всего прибора установлен двухзвенный фильтр для подав-
ления искровых помех, возникающих при работе мощных электродви-
гателей в подкупольном пространстве. Для визуального контроля в не-
посредственной близости от электрофотометра установлены частотоме-
ры 17 и 18. Вычислительная машина находится в отдельном помеще-
нии, где и осуществляется регистрация и оперативный контроль при-
ходящей информации.

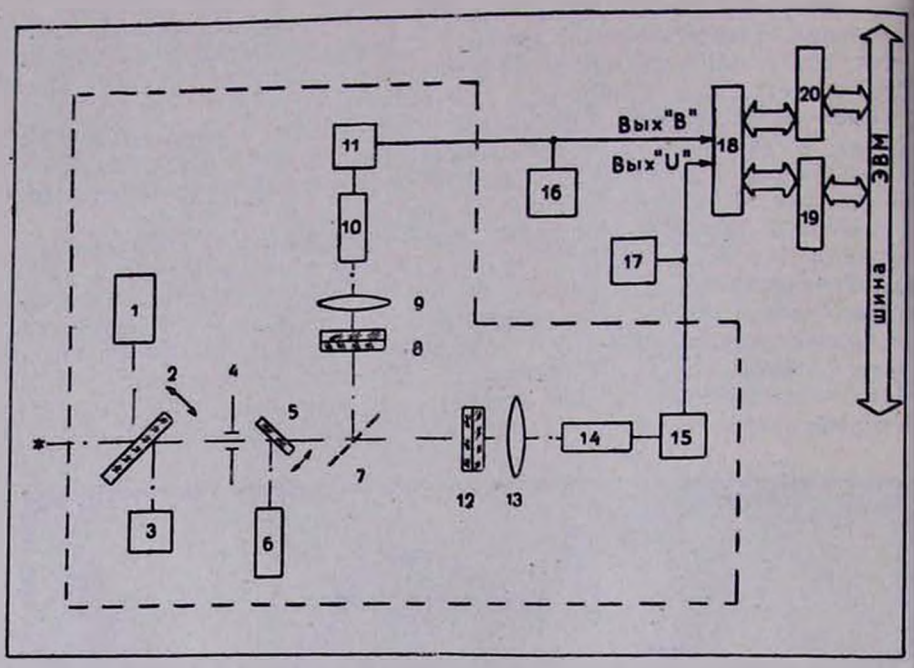

Рис. 2. Блок-схема двухканального электрофотометра: *1*—окуляр поля; *2*—откидное зеркало подсмотра поля; *3*—калиброванный источник света; *4*—полевая диафрагма; *5*—откидное зеркало подсмотра диафрагмы; *6*—окуляр подсмотра диафрагмы; *7*—светоделительная пластина; *8*—светофильтр «В»; *9*—линза Фабри; *10*—фотоумножитель; *11*—усилитель и формирователь-дискриминатор канала «В»; *12*—светофильтр «U»; *13*—линза Фабри; *14*—фотоумножитель; *15*—усилитель и дискриминатор-формирователь канала «U»; *16, 17*—частотомеры; *18*—блок сопряжения электрофотометра с интерфейсами И2; *19, 20*—интерфейсы И2

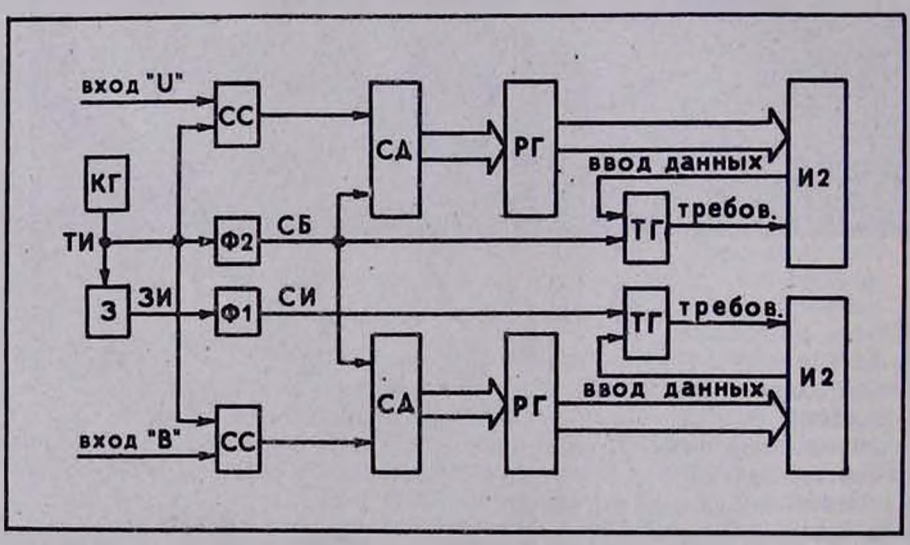

Рис. 3. Блок-схема блока сопряжения: КГ—кварцевый генератор; Ф1, Ф2.—формирователи; СС—схемы совпадений; РГ—регистры; СД—двоичные счетчики; ТГ—RS триггеры; З—задержка; И2—интерфейсы

Блок-схема сопряжения. Упрощенная блок-схема блока сопряжения представлена на рис. 3. Тактовые импульсы управления ТИ блоком сопряжения, временная диаграмма которых представлена на рис. 4, вырабатываются кварцевым генератором КГ. Импульсы сброса СБ двоичных счетчиков СД на ноль и импульсы перезаписи СИ состояний счетчиков в регистры РГ имеют длительность 30 нс с периодом следования от 0.001 до 1.0 с. Причем, импульсы СБ задержаны относительно импульсов СИ, подаваемых на синхровход регистров, на 50 нс. Эта задержка позволяет устранить нежелательные ошибки при перезаписи состояний счетчиков в регистры, т. к. время перезаписи составляет примерно 40 нс. В противном случае запись в регистры произойдет в тот момент, когда счетчики уже начали устанавливаться на нуль, что приведет к неправильным измерениям. Импульсы СИ, сформированные по переднему фронту импульсов ЗИ, задержаны относительно переднего фронта тактовых импульсов ТИ на 0.5 мкс, равного времени задержки установления последнего разряда в шестнадцатиразрядных счетчиках СД. На все время действия низкого уровня импульса ТИ прохождение фотоимпульсов с электрофотометра через схему совпадений СС на счетчики прекращается, что дает возможность для стабильного установления всех разрядов счетчиков. По заднему фронту импульсов ТИ формирователь Ф2 выдает импульс сброса СБ. Инвертированный импульс СБ подается на RS—триггеры ТГ, которые вырабатывают сигнал «Требование», используемый в качестве флага требования прерывания. Сигнал «Ввод данных» от интерфейсов И2 пересылает информацию с РГ в буфер данных И2 и по заднему фронту сбрасывает триггеры ТГ.

Вышеописанный блок сопряжения собран на микросхемах 155 серии.

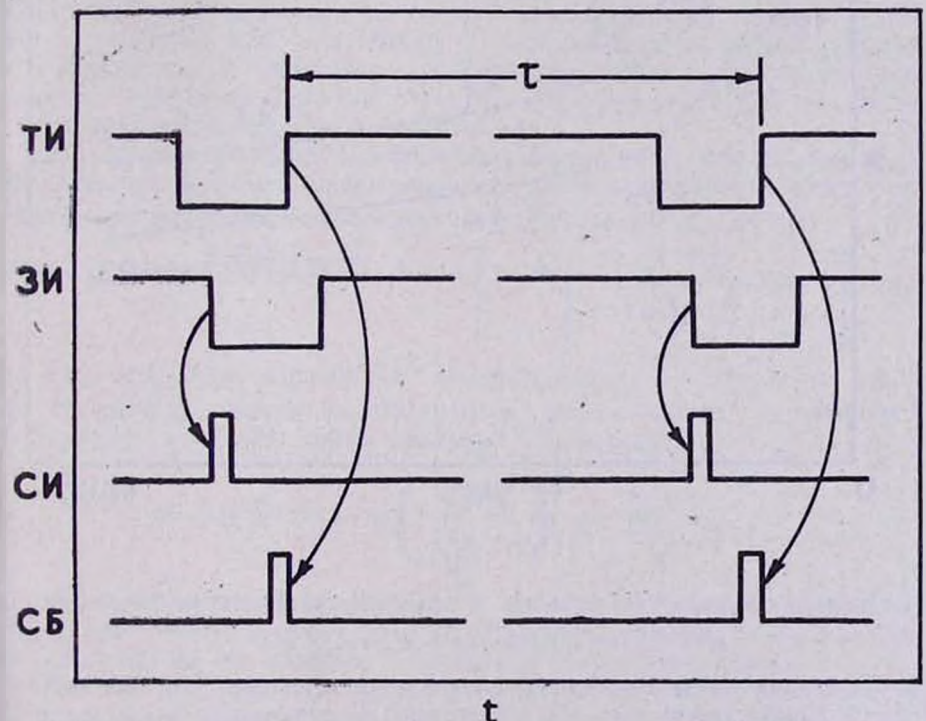

Рис. 4. Временная диаграмма импульсов управления блоком сопряжения

Программное обеспечение. Программа регистрации вспышек одновременно в двух цветах, алгоритм которого приведен в работе [1], позволяет записывать в магнитную память те отсчеты, которые превышают установленный порог обнаружения вспышки (выбором значения m) и предшествующие вспышке n последовательных отсчетов, по которым определяется средний уровень сигнала N и среднеквадратичное отклонение σ. При наших наблюдениях с описываемым электрофотометром значение n было принято равным 100. Алгоритм работы двухканального фотометра несколько отличается от алгоритма работы одноканального электрофотометра. Он состоит в том, что запись вспышки, причем одновременно в двух цветах, производится лишь тогда, когда количество фотоимпульсов превышает пороговое значение в канале «U», определяемое по отсчетам в этом канале. Зависимость срабатывания записи в канале «B» от канала «U» выбрана потому, что амплитуда вспышки в цвете U обычно, существенно превышает амплитуду в цвете B, и поэтому уверенное превышение адаптивного порога происходит именно в канале «U».

Включение записи вспышки только при превышении порога накладывает ограничения на способность системы регистрировать более

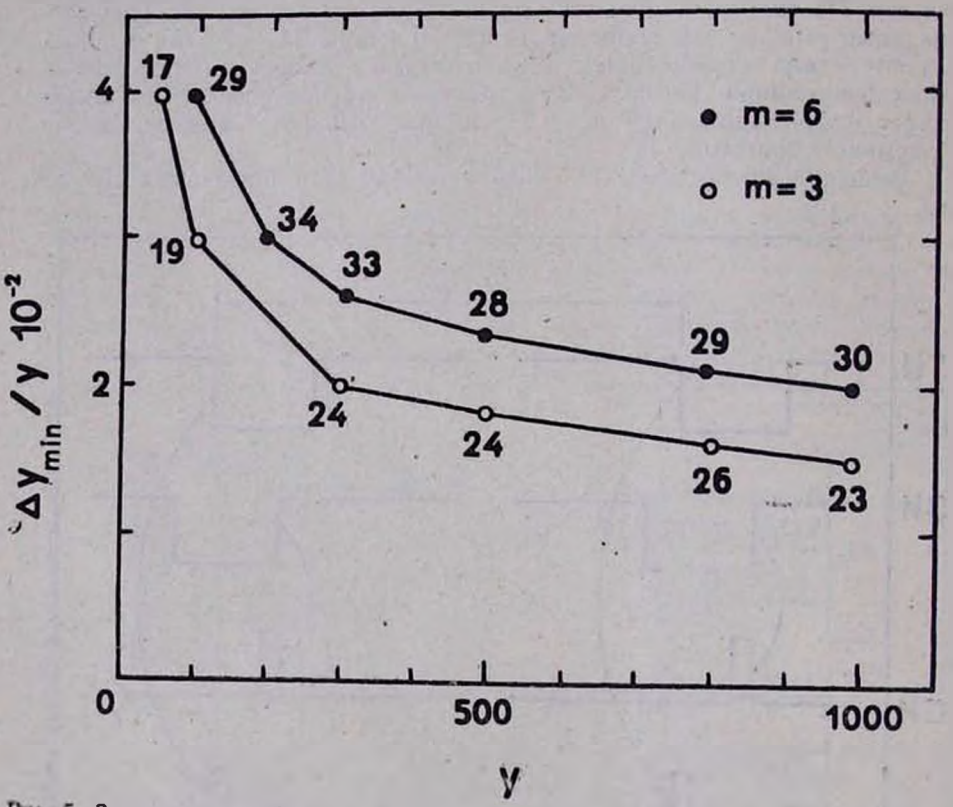

Рис. 5. Зависимость срабатывания записи от крутизны нарастания фронта $\Delta N_{min}/\overline{N}$ вспышки от среднего уровня сигнала $\overline{(N)}$

медленные нарастания яркости у длительных вспышек, т. к. по мере медленного нарастания сигнала постепенно увеличивается и сам адаптивный порог. Однако вспышка в нашей системе все же может быть записана и при небольших скоростях нарастания яркости. Действи-

ельно, при постоянном увеличении сигнала его уровень на каком-то тсчете может превысить порог обнаружения и тогда сработает сис-ема записи. При этом для каждого среднего количества импульсов N будет существовать некоторое минимальное значение ΔN_{min} прира-ения импульсов в каждом последующем отсчете, в случае равномер-ого увеличения сигнала, только при превышении которого накопле-ие приращений сигнала приведет к срабатыванию системы записи. На рис. 5 представлена кривая зависимости крутизны нарастания ронта $\Delta N_{min}/N$ от N при двух значениях m:3 и 6. Числами на каждой ривой при соответствующем среднем значении N указаны номера от-четов после начала вспышки, при которых срабатывает система за-иси. Естественно, что чем медленнее происходит нарастание яркости, ем позднее от начала вспышки, т. е. с тем более позднего номера тсчета начинается запись. Но поскольку в памяти машины сохраня-тся предшествующий началу записи массив из ста отсчетов, то во ногих случаях, как это видно из рис. 5, представляется возможность осстановить целиком весь процесс нарастания яркости, т. е. записать есь ход относительно медленной вспышки.

Программное обеспечение позволяет оператору, работающему у ерминала, контролировать информацию, идущую с электрофотомет-а. Помимо этого, в зависимости от характера информации можно зменять постоянную времени интегрирования от 0.01 до 1.0 с с ми-имальным шагом 0.01 с. Это позволяет исключить переполнение счет-иков при наблюдении ярких объектов.

Диалоговый режим работы дает возможность при наблюдении азных звезд строить различные файлы с записью в них названия бъекта, даты наблюдений и величины постоянной времени интегриро-ания. Вывод информации на печать осуществляется термопечатаю-им устройством ТПУ ВВП80-002. Предусмотрена возможность выво-а информации в аналоговом виде на двухкоординатный самописец, используя при этом выходные регистры интерфейсов И2 [3] совместно цифроаналоговыми преобразователями.

Вероятность ложного обнаружения. Вероятность обнаружения од-ого ложного всплеска, превышающего пороговое значение можно оп-ределить из выражения, приведенного в работе [4] при $\bar{N} \gg 1$:

$$P = 1 - [1 - \Phi^L\{2\sqrt{\bar{N}} - 2\sqrt{M+1}\}]^k = 1 - \left[1 - \Phi^L\left\{-\frac{2m}{1+\sqrt{\frac{m}{\sqrt{\bar{N}}}+1}}\right\}\right]^k, \quad (1)$$

де $\Phi(x)$—функция нормального распределения, L—количество кана-ов, $\bar{N}$—среднее число фотоимпульсов, k—количество непрерывных тсчетов, M—величина порога обнаружения, равная:

$$M = m\sqrt{\bar{N}} + \bar{N} = m\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} N_i}{n}\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i}{n},$$

де N_i—количество фотоимпульсов в отсчете, вызванных суммарным злучением звезды и фона, m—коэффициент, равный 3÷6, n—коли-чество отсчетов, по которым определяется величина порога.

Так как при реальных наблюдениях средняя частота фотоимпуль-сов N намного превышает коэффициент m, то выражение (1) можно записать в следующем виде:

$$P \simeq 1 - [1 - \Phi^L(-m)]^k. \quad (2)$$

Зависимость вероятности ложного обнаружения от количества непрерывных отсчетов k и коэффициента m приведена на рис. 6. Как видно из рисунка, регистрация одного ложного всплеска одновременно в двух каналах даже при m=3 может произойти за 2.8 ч непрерывных наблюдений с постоянной времени интегрирования 0.1 с. А при m=5 регистрация ложного всплеска произойдет за $2.7 \cdot 10^7$ ч.

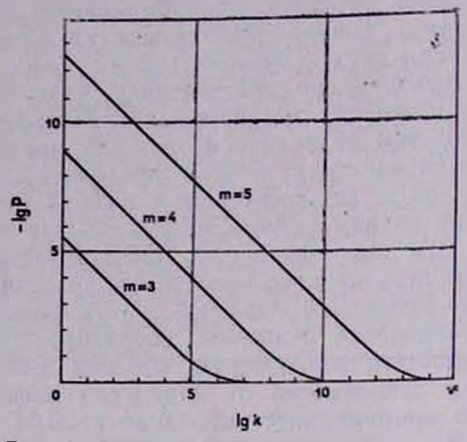

Рис. 6. Зависимость вероятности ложного обнаружения P от количества отсчетов k и коэффициента m для двухканального режима

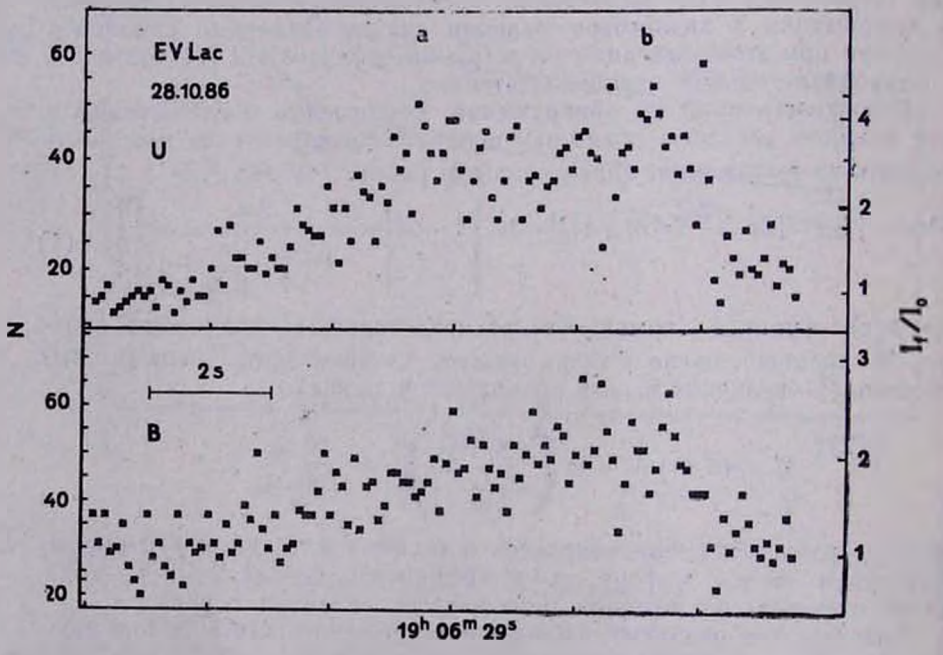

Рис. 7. Вспышка звезды EV Lac, зарегистрированная 28.10.86 с постоянной времени интегрирования 0.1 с

Таким образом, синхронная регистрация коротких вспышек в двух цветах не может вызвать сомнений в достоверности факта обнаружения вспышки, т. к. вероятность обнаружения одного ложного всплеска (тем более нескольких последовательных отсчетов, превышающих порог) при непрерывном патрулировании в течении одной ночи, практически равна нулю.

Результаты наблюдений. Наблюдения с помощью двухканального электрофотометра проводились на 40 см телескопе Бюраканской обсерватории. Исследовались вспыхивающие звезды типа UV Cet. Результаты первых наблюдений приведены в работе [5]. На рис. 7 приведена кривая блеска одной из зарегистрированных вспышек звезды EV Lac.

Заключение. Двухканальный электрофотометр, работающий с микроЭВМ «Электроника 60» и предназначенный для регистрации вспышек с высоким временным разрешением, порядка 0.01 с, позволил существенно увеличить достоверность регистрируемых коротких вспышек. В то же время наблюдения одновременно в двух цветах U и B дают представление об энергетическом спектре самой вспышки.

3 августа 1987 г.

Վ. Պ. ԶԱԼԻՆՅԱՆ, Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

ԲԱՐՁՐ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ԵՐԿԿԱՆԱԼ ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱՉԱՓ

Բերված է U և B գույներում աստղերի բռնկումների միաժամանակյա արձանագրման համար ստեղծած, մեծ ժամանակային լուծունակություն՝ 0.01÷1.0 վրկ ունեցող էլեկտրալուսաչափի նկարագրությունը։ Այս էլեկտրալուսաչափը զգալիորեն մեծացնում է հայտնաբերված բռնկումների իրական լինելը, քանի որ երկու կանալներում բռնկման միաժամանակյա արձանագրումը բացառում է լուսաբազմապատկիչներում տեղի ունեցող իոնային պրոցեսներով, կայծային բնույթի և մթնոլորտային խանգարումներով պայմանավորված կեղծ բռնկումները։

V. P. ZALINIAN, H. M. TOVMASSIAN

THE TWO-CHANNEL ELECTROPHOTOMETER WITH A HIGH TIME RESOLUTION

The two-channel electrophotometer with a high time resolution of 0.01—1.0 s for simultaneous registration of stellar flares in U and B is described. This electrophotometer appresiable increases the thrustworthiness of the detected flares, since the simultaneous registration of a flare in two channels excludes fals flares caused by ion processes in photomultipliers, sparks and atmospheric turbulence.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. П. Залинян, Г. М. Товмасян.* Сообщ. Бюраканской обс., *58*, 87, 1986.
2. *В. Л. Страйжис.* Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Изд., Мокслас, 1
3. Устройство параллельного обмена И2, техническое описание.
4. *А. Д. Веревкин, В. Г. Коваленко, Б. В. Поленов, М. А. Сабиров, В. М. Солов* Изучение гамма-всплесков автоматическими станциями, Сб. статей, М.: На 1983, 42 с.
5. *V. P. Zalinian, H. M. Tovmassian.* IBVS. № 2992, 1987.