

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОФОТОМЕТР 6-МЕТРОВОГО ТЕЛЕСКОПА АН СССР

*И. И. Балеха, Р. Г. Верещагина, С. В. Маркелов,
В. Б. Небелицкий, Н. Н. Сомов, Т. А. Сомова,
О. И. Спиридонова, А. Ф. Фоменко, Л. П. Фоменко,
Г. С. Чепурных*

Описана установка, предназначенная для регистрации и накопления спектров слабых астрономических объектов. В системе использован принцип счета фотоэлектронных событий ЭОП УМ-92 одновременно в 1000 каналах с помощью высокочувствительной передающей телевизионной трубки суперкремникон. Спектрофотометр работает на линии с ЭВМ «Электроника-100И», которая осуществляет управление системой, сбор данных и их первичную обработку. Возможна визуализация информации в реальном времени на экране дисплея. Приведен ряд измерительных характеристик системы и спектр галактики Сейферта NGC 3516, полученный с помощью телевизионного многоканального спектрофотометра на БТА.

A device intended for registering and storing of spectra of faint astronomical counting photoelectronic events with the image tube UM-92 simultaneously in 1000 channels with the help of a supersilicon transmitting television tube is used in the system. The spectrometer is on-line with the computer «Electronika-100 I» which performs control of the system, collection of data and their preliminary processing. Display visualization of information in the real time is possible. There presented a number of measurement characteristic of the system and also the spectrum of the system galaxy NGC 3516 obtained with the help of the multichannel spectrophotometer at BTA.

Необходимость в фотоэлектронных детекторах, которые позволяют регистрировать спектры по многим каналам одновременно, диктуется рядом задач современной астрофизики. Условия, накладываемые на идеальный астрономический детектор, можно сформулировать так [1]:

- 1) каждый фотон должен регистрироваться с равным весом и без шума;
- 2) емкость накопления информации бесконечна;
- 3) вся пространственная информация, содержащаяся в изображении, должна сохраняться.

Приборов, имеющих такие свойства, не существует. Однако существуют в настоящее время ЭОП, способные регистрировать отдельные фотоэлектронные события. Тогда система, состоящая из такого ЭОП, оптически соединенного с непрерывно сканирующей телевизионной трубкой, будет работать как многоканальный счетчик фотонов, имеющий свойства, сравнимые с большим числом ФЭУ. Интегрирование изображения может производиться цифровым методом в ЭВМ. Специально для регистрации предельно слабых световых потоков в последние годы был создан ряд многоканальных систем счета фотонов, которые успешно работают в различных обсерваториях мира [2—3]. Фундаментальным ограничением таких систем является квантовая природа самого излучения.

Ниже описан телевизионный многоканальный спектрофотометр (ТМС БТА), созданный в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР.

Описание системы. Телевизионный многоканальный спектрофотометр предназначен для регистрации и накопления спектров астрономических объектов, получаемых на 6-метровом телескопе АН СССР (БТА) как

в счете фотонов, так и в аналоговом режиме. На рис. 1 представлена блок-схема системы. В спектрофотометре усилителем светового потока перед телевизионной трубкой является ЭОП УМ-92. Изображение с люминесцентного экрана ЭОП переносится на фотокатод телевизионной трубки с помощью объектива «Аврора». Телевизионная установка спектрофотометра служит для визуализации изображений спектров, получаемых на выходном люминофоре ЭОП, а также для преобразования изображений в электрический сигнал для последующей цифровой обработки. В качестве телевизи-

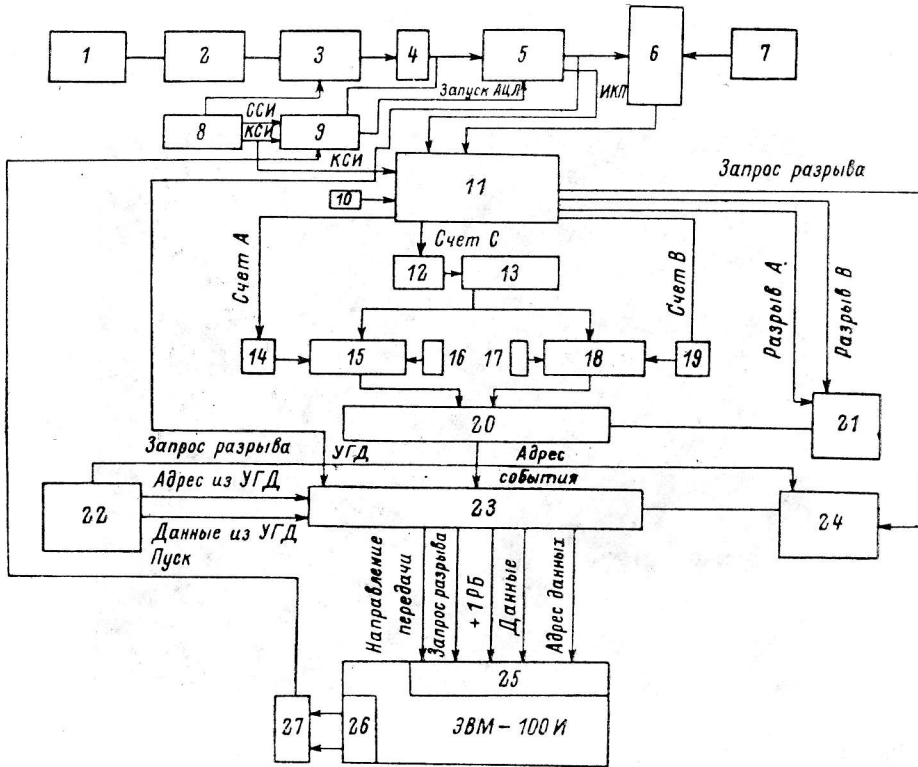


Рис. 1. Структурная схема телевизионного многоканального спектрофотометра.

1 — ЭОП; 2 — перебрасывающая оптика; 3 — суперкремникоп; 4 — видеоусилитель; 5 — аналого-цифровой преобразователь; 6 — схема сравнения; 7 — регистр множителя — частного; 8 — оптический многоканальный анализатор; 9 — устройство стробирования; 10 — счетчик тактов; 11 — блок синхронизации и управления; 12 — дополнительный разряд регистра текущей строки; 13 — регистр текущей строки; 14 — дополнительный разряд регистра первой линейки; 15 — регистр первой линейки; 16 — индексный регистр первой линейки; 17 — индексный регистр второй линейки; 18 — регистр второй линейки; 19 — дополнительный разряд второй линейки; 20 — мультиплексор 1; 21 — управление мультиплексором 1; 22 — дисплей УГД 43-1; 23 — мультиплексор 2; 24 — управление мультиплексором 2; 25 — канал разрыва данных; 26 — программируемый канал; 27 — интерфейс программируемого канала.

онного светоприемника в системе используется высокочувствительная передающая трубка суперкремникоп с диагональю изображения на фотокатоду 16 мм. Телевизионная трубка в системе работает как пространственный регистратор и как однокадровый буфер, который на мишени запоминает все вспышки, пришедшие с ЭОП за кадр. Для юстировки телевизионной трубки используется подвижка, обеспечивающая выставление фотокатода по спектру и фокусировку спектра на телевизионной трубке. Сформированный видеосигнал подается в видеоконтрольное устройство ВК-12 и блок стробирующего накопителя. Стробирующий накопитель представляет собой буферное устройство между видеоусилителем и аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и выполняет следующие функции: 1) выделяет на каждой строке телевизионного растра два участка (две

линейки) с регулируемой задержкой относительно начала строки от 0 до 64 мк/сек. и регулируемой шириной строки от 0.5 до 6 мк/сек.; 2) интегрирует видеосигнал на выделенных стробом участках строки. Управляющей электронной вычислительной машиной в системе является мини-ЭВМ «Электроника-100И». Общая емкость памяти ЭВМ — 16К. Узлом отображения накапливаемой информации в спектрофотометре служит устройство отображения графической и буквенно-цифровой информации (УГД43-1), которое выполняет диалог с ЭВМ.

Спектр исследуемого объекта, полученный с помощью дифракционного спектрографа УАГС (Цейсс, ГДР), установленного в кабине прямого фокуса телескопа БТА, проектируется на фотокатод УМ-92 так, чтобы в направлении дисперсии он был перпендикулярен к строкам развертки

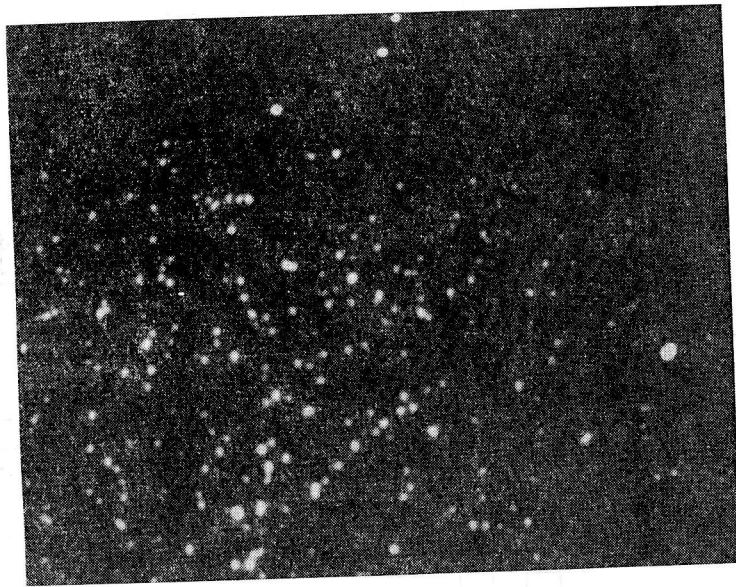


Рис. 2. Фотография с экрана ВК-12 фотоэлектронных событий (экспозиция 1 сек.).

телевизионной трубки. Режим считывания: 30 кадров в секунду, число строк разложения 512. После стробирующего накопителя видеосигнал подается на АЦП, разработанный ИАЭ СО АН СССР [4]. Время одного измерения 400 нсек., погрешность измерения 1%, число разрядов АЦП — 8, амплитуда видеосигнала, подаваемого на АЦП — 0—5 в. С АЦП сигнал поступает в сигнальный процессор, который может работать в трех режимах: аналого-цифровом, счете фотонов 1 и счете фотонов 2.

Временная диаграмма измерения спектра в аналоговом режиме описана в [5]. Код с АЦП поступает по каналу прямого доступа в память ЭВМ. При этом сигнальный процессор формирует адрес того участка памяти, куда необходимо записать информацию. Обслуживающая программа из поступающих данных формирует массив индикации для дисплея.

В режиме счета фотонов 1 система работает в счете фотонов по 500 каналам, т. е. по одной линейке. На рис. 2 представлено изображение с ВК-12 фотоэлектронных вспышек и шумов ЭОП на экране видеоконтрольного устройства. На рис. 3 изображены амплитуды фотоэлектронных вспышек на экране дисплея, а рис. 4 объясняет принцип выделения фотоэлектронных событий сигнальным процессором. После индивидуальной электронной обработки фотоэлектронные вспышки регистрируются с равным весом независимо от их амплитуды, детектируются только центры событий, кроме того, шум усилителя дискриминируется. Таким образом, в этом

режиме накопление спектра идет в счете фотонов по 500 каналам, а результат накопления в реальном времени наблюдается на экране дисплея.

При регистрации слабых объектов появляется необходимость тщательного учета фона неба. При этом спектр необходимо регистрировать одновременно с фоном неба. Это условие потребовало организации счета по двум линейкам. Индивидуальная электронная обработка фотоэлектронных вспышек аналогична режиму счета фотонов 1, только организуется по двум линейкам. Результат измерения двух спектров в реальном времени визуализируется на экране дисплея. По времени эффективность системы в этом режиме удваивается, чем экономится телескопное время. Это особенно важно при больших экспозициях, которые необходимы для регистрации предельно слабых объектов.

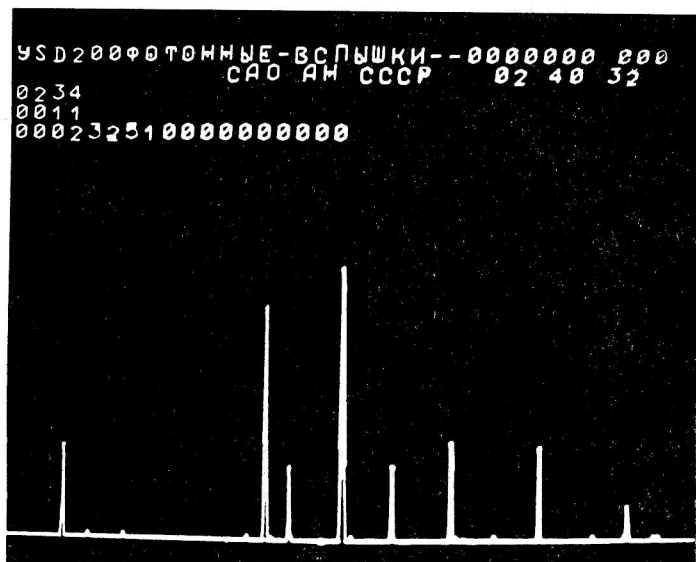


Рис. 3. Фотография фотоэлектронных вспышек с экрана дисплея.

По горизонтальной оси — номер канала от 0 до 499, по вертикальной оси — амплитуда фотоэлектронных вспышек.

Характеристики системы. Л и н е й н о с т ь. Для проверки линейности отклика системы на величину освещенности фотокатода ЭОП была снята зависимость, представленная на рис. 5. Значения освещенности задавались изменением ширины входной щели S спектрографа. По оси ординат отложена скорость счета N в отдельном канале. На графике указаны границы доверительных интервалов с уровнем значимости $\varepsilon=0.05$ и доверительной вероятностью $p=0.95$.

З а в и с и м о с т ь с к о р о с т и с ч е т а о т у р о в н я д и с к р и м и н а ц и и. Эта зависимость приведена на рис. 6. По оси абсцисс отложен уровень дискриминации, а по оси ординат количество отсчетов за кадр, т. е. сумма отсчетов по 500 каналам. Из рисунка видно, что имеется плато в интегральном распределении и провал в дифференциальном распределении, так что все фотоэлектронные события могут быть удовлетворительно детектированы и обработаны в памяти ЭВМ. Быстрый подъем в интегральном распределении слева от положения счетного плато и соответствующий подъем в дифференциальном распределении обусловлены шумом предусилителя и остаточными сигналами от событий, не полностью считанных в предыдущем кадре. Соответствующей установкой нижнего уровня дискриминации шумы устраняются.

Разрешение. Частотно-контрастная характеристика телевизионного спектрофотометра измерена методом функции рассеяния [6, 7]. На рис. 7 эта характеристика представлена для двух режимов счета: счета фотонов и аналогового режима, а для сравнения приведены эти же характе-

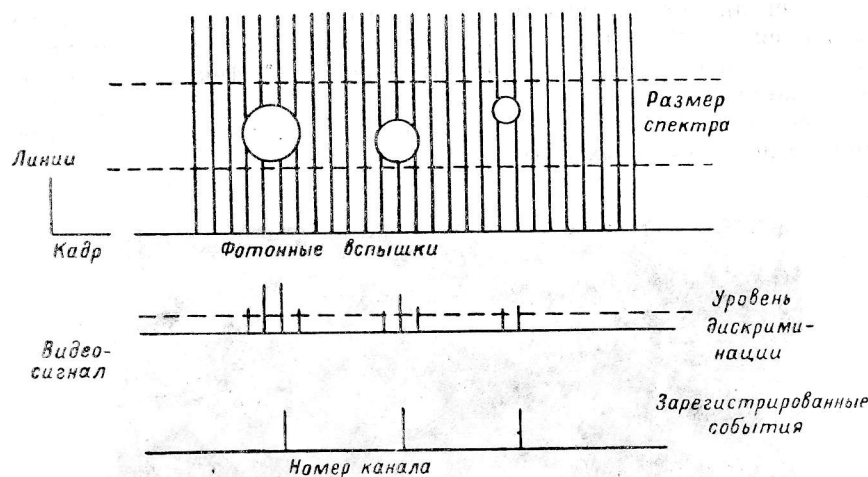


Рис. 4. Принцип выделения фотоэлектронных событий сигнальным процессором.

ристики для системы счета фотонов Боксенберга [2]. Из этих данных следует, что разрешение в аналоговом режиме гораздо ниже, чем в счете фотонов. Лучшее разрешение в системах счета фотонов достигается за счет определения координат центров фотоэлектронных событий цифровым способом.

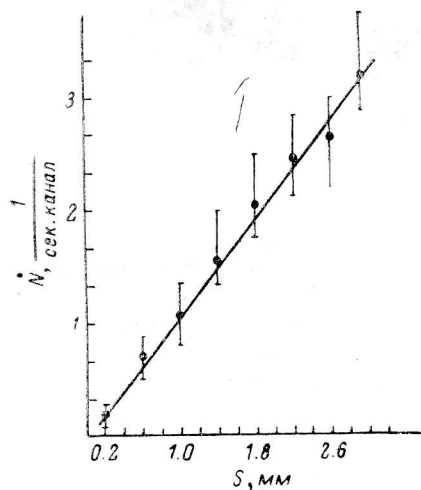


Рис. 5. График линейности системы. Напряжение на ЭОП 27 кв.

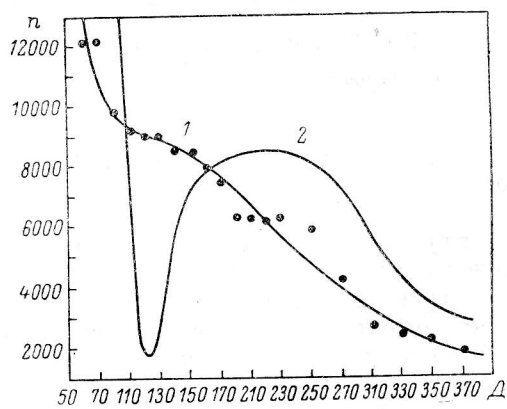


Рис. 6. Интегральное (1) и дифференциальное (2) распределение амплитуд фотоэлектронных событий. Напряжение на ЭОП 33 кв.

Программное обеспечение эксперимента. Для управления работой системы и обслуживания дисплея в память ЭВМ вводится программа-диспетчер, которая позволяет экспериментатору управлять и контролировать процесс накопления информации. С помощью функциональной клавиатуры дисплея наблюдатель задает старт, задержку, время интегрирования,

стоп. Экспериментатор может использовать кнопку «задержка», чтобы временно прекратить набор информации в случае, если условия наблюдений ухудшаются или проверяется состояние установки, и в случае необходимости может продолжить через некоторое время интегрирование для получения нужной статистики. С пульта дисплея задается режим измерения: счет фотонов 1, счет фотонов 2, аналоговый. После нажатия клавиши «старт» начинаются измерения и одновременно запускается таймер. Время экспозиции высвечивается на экране дисплея. Кроме того, во время наблюдений для каждого объекта делаются служебные надписи: название объекта, дата, угол решетки, ширина щели и т. д., которые после прекращения накопления спектра выводятся вместе с информацией на

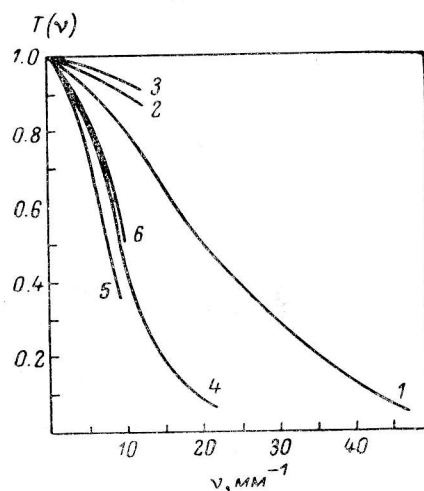


Рис. 7. Частотно-контрастная характеристика.

1 — ЧКХ ТМС в режиме счета фотонов; 2 — ЧКХ системы Боксенберга в счете фотонов (увеличение 0.59); 3 — то же (увеличение 1.7); 4 — ЧКХ ТМС БТА в аналоговом режиме; 5 — ЧКХ системы Боксенберга в аналоговом режиме (увеличение 0.59); 6 — то же (увеличение 1.7).

перфоленту. По программе предусмотрен просмотр содержимого любого канала накапливаемых спектров. Для этого маркер (самая яркая точка на изображении, которая с помощью функциональной клавиатуры с тремя скоростями может перемещаться по спектру) наводится на интересующий нас канал. В результате на экране дисплея высвечивается номер канала и его содержимое, т. е. интенсивность. Если в машину завести длины волн спектра сравнения (с пульта дисплея), то по программе построения дисперсионной кривой после нажатия клавиши «вычисление» кроме номера канала и интенсивности высвечивается длина волны интересующей нас детали. С накапливаемыми спектрами возможно оперативно осуществлять ряд операций: изменение масштаба по x и y , вычитание спектра неба из спектра объект + небо и просмотр результата вычитания на дисплее, вывод информации со служебными метками на перфоленту и т. д.

Заключение. Рабочие характеристики многоканального телевизионного спектрофотометра по звездам были получены в главном фокусе 6-метрового телескопа с использованием универсального астрономического спектрографа УАГС. В первую очередь была определена нижняя граница звездных величин, с которой спектрофотометр мог быть использован для получения спектров звезд в диапазоне линейности (рис. 6). Было установлено, что при диаметре изображения $\sim 3-4''$, дисперсии $\sim 100 \text{ \AA/мм}$ и полном провале звезды в щель спектрографа без заметного отклонения от линейности можно регистрировать спектры звезд не ярче $14-14.5^m$. Как правило, в этих условиях спектр неба на фоновой линейке спектрофотометра проявлялся через несколько десятков секунд. Стабильность системы в целом при работе на телескопе оказалась хорошей, нами не были зарегистрированы смещения линий опорного спектра неона более чем на канал за

1977	Количество экспериментов	Время накопления, мин.	Спектральный диапазон, \AA	Размер элемента разрешения, \AA
27—28.3	1	10	5800—7000	4
13—14.3	1	10	4700—6000	4

несколько часов работы. Однако весьма существенным оказалось влияние магнитного поля земли, из-за которого при изменении азимута на 90° линии неона сдвигались на 8 каналов. Было выяснено, что причиной этого является отсутствие в нашей системе магнитного экрана в области электростатической секции переноса суперкремникона.

В качестве примера на рис. 8. приведен спектр галактики Сейферта NGC 3516. Условия наблюдения содержатся в таблице.

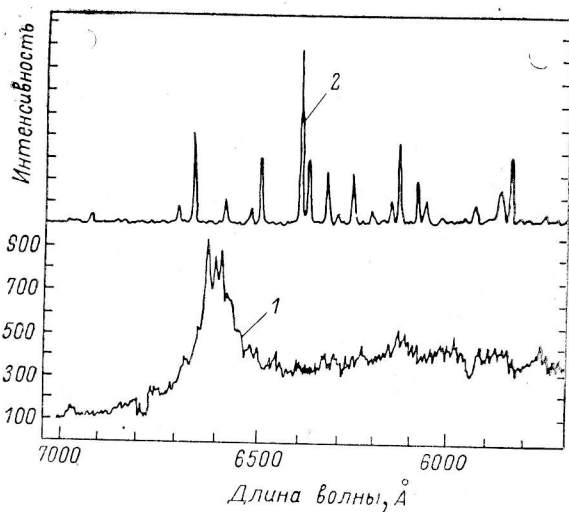
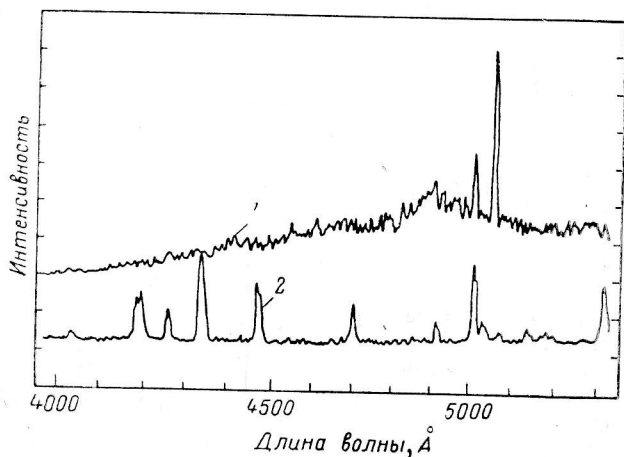


Рис. 8. Фотографии с экрана дисплея.

1 — спектр галактики NGC 3516; 2 — спектр сравнения (Ne, Ar, He).

Для выбранной дисперсии $100 \text{ \AA}/\text{мм}$ цена отдельного канала составляет $2.5 \text{ \AA}/\text{канал}$, однако спектральное разрешение хуже и обусловлено аппаратной функцией спектрографа при выбранной ширине щели 0.08 мм и 0.1 мм . Статистика в спектре такова, что в сильных линиях фотометрическая точность около 3% . Представленный на рис. 8 спектр сфотографирован с экрана дисплея непосредственно после завершения накопления, т. е. он не подвергнут никакой обработке. В настоящее время завершается работа по составлению программ для исправления на звездный стандарт и учета неоднородности чувствительности в каналах.

Первый опыт работы с телевизионным спектрофотометром по звездам показал, что предельная проникающая способность ограничивается не

его собственными шумами, а фоном неба и диаметром изображения звезд. При средних изображениях звезд $3''$, дисперсии $100 \text{ \AA}/\text{мм}$ и удовлетворительной прозрачности за 20—30 мин. оказалось возможным уверенно регистрировать спектры ϕSO до 19^m , когда спектральные потоки от объекта и неба в каналах примерно были одинаковы.

Список литературы

1. Boksenberg A. — In: Astronomical use of television-type image sensors. Washington, 1971, p. 77.
2. Boksenberg A., Burgess D. E. — In: Astronomical observations with television-type sensors. Vancouver, 1973, p. 21.
3. Robinson L. B., Wampler E. J. — In: Astronomical observations with television-type sensors. Vancouver, 1973, p. 69.
4. Алексеев В. А., Беломестных В. Н., Вьюхин В. Н., Прокопенко В. И., Касперович А. Н., Литвинов Н. В. и др. Быстродействующая система ввода в ЭВМ одномерных оптических изображений. — Автометрия, 1974, 3, с. 22.
5. Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Цифровая регистрация ТВ изображений. — Техника кино и телевидения, 1976, № 11, с. 71.
6. Logge Jean J. Enhancement of spectra by digital convolution. — Astron. J., 1973, 78, p. 67.
7. Баглай Р. Д., Искольдский А. М., Кудряшов М. И., Нестерихин Ю. Е. Электронно-оптический регистратор «Спектр» как элемент системы автоматизации спектральных исследований. — Автометрия, 1971, 6, с. 24.