

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

ФЕВРАЛЬ, 1980

ВЫПУСК 1

УДК 621.383.812+523.15

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ М9щв ДЛЯ 6-МЕТРОВОГО ТЕЛЕСКОПА

М. М. БУТЦЛОВ, А. Н. БУРЕНКОВ, А. В. ГЯВГЯНЕН, В. Г. ДЕБУР,
П. А. ЗНЫКИН, А. Ф. КЛЕПОВ, А. И. КОНДРАШОВА, В. С. РЫЛОВ,
Б. М. СТЕПАНОВ, Т. И. УШАКОВА, Т. М. ФЕДОРОВСКАЯ

Поступила 20 мая 1979

Пересмотрена 7 августа 1979

Даны результаты лабораторных исследований и испытаний на 6-м телескопе (БТА) однокамерного электронно-оптического преобразователя (ЭОП) типа М9щв с магнитной фокусировкой, щелевым фотокатодом 5×40 мм и плоской волоконной шайбой на выходе. Электронно-оптические преобразователи М9щв эксплуатировались в течение трех с половиной лет, из них 2 года — на светосильном спектрографе БТА. Одновременно исследовались различные параметры ЭОП в лабораторных условиях. Проницающая способность светосильного спектрографа БТА с М9щв для дисперсии 65А/мм, определенная по результатам наблюдений, составляет не менее 19^м при выдержке 1 час. Для фокусировки изображения ЭОП была создана фокусирующая система из постоянных магнитов оригинальной конструкции.

После 1950 г., когда впервые были опубликованы сведения о применении ЭОП в астрономических наблюдениях [1], в СССР было создано много различных типов ЭОП, но ни один из них не разрабатывался специально для астрономии. Создание крупнейшего в мире 6-м телескопа (БТА) поставило перед САО АН СССР задачу оснащения телескопа современными светоприемниками и прежде всего электронно-оптическими преобразователями с характеристиками, отвечающими требованиям наблюдательной астрономии. К этой работе обсерватория приступила в 1972 г., разработку и изготовление ЭОП взял на себя Институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ).

Астрономические ЭОП применяются в решении различных научных задач. Основным профилем работы БТА, как большого телескопа, являются спектральные наблюдения, которые ведутся сейчас преимущественно

на щелевых спектрографах. Специфика астроспектрографов такова, что они должны обеспечивать высокое пропускание света и, как следствие, они конструируются для работы с широкой входной щелью. В связи с этим требование к разрешающей способности ЭОП сводится к согласованию ее с шириной входной щели спектрографа по известному выражению

$$b = R f' d'' / d f'', \quad (1)$$

где b — ширина входной щели, R — разрешение светоприемника, f' / d и f'' / d'' — относительные фокусные расстояния телескопа и камеры спектрографа. При регистрации спектров слабых объектов и размере изображения более $2''$ на большом, т. е. длиннофокусном телескопе приходится расширять входную щель больше, чем это следует по (1). В этом случае, хотя имеет место потеря в спектральном разрешении, частотно-контрастная характеристика ЭОП и фотоэмульсии может оказаться лучше этой же характеристики для входной щели и последняя будет зарегистрирована более качественно, чем узкая щель, т. е. с большим числом градаций яркости и пространственных частот.

Расчетная разрешающая способность однокамерных ЭОП с магнитной фокусировкой ограничивается разбросом начальных скоростей фотоэлектронов и составляет 200—250 п. л./мм [2, 3]. В [3] показано также, что в реальных ЭОП на разрешение влияют непараллельность плоскости экрана и фотокатода и нестабильность источников питания ЭОП. Допустимый наклон плоскости экрана к плоскости фотокатода не должен превышать 10 угловых минут, а стабильность электрического поля в лучшем случае 0,2%, магнитного — 0,1%. Очевидно также влияние на разрешающую способность качества люминофоров и волоконных шайб. В каскадных ЭОП перечисленные факторы суммируются.

Коэффициент преобразования является одним из важнейших параметров ЭОП и характеризует усиление ЭОП по свету в определенном диапазоне длин волн. Для увеличения усиления ЭОП типа М9щя были улучшены следующие характеристики: спектральная чувствительность фотокатода, пропускание волоконной шайбы, рабочее напряжение доведено до 20 кВ.

Темновой ток ЭОП, создающий паразитное свечение выходного экрана, является причиной собственного шума преобразователя, снижает динамический диапазон системы: ЭОП — фотоэмульсия. Для снижения темнового тока ВНИИОФИ разработал технологию изготовления фотокатодов отдельно от объема колбы ЭОП. После формирования фотокатода и проверки его качества он вводится в ЭОП при помощи манипулятора.

Исследования ЭОП М9щв проводились в обсерватории. Потребовалось длительное время, чтобы установить стабильность характеристик ЭОП и, прежде всего, внесенных фотокатодов.

За 2,5 года эксплуатации М9щв на светосильном спектрографе СП-160 на БТА было получено наблюдателями ряда обсерваторий свыше 1000 спектров звезд и галактик. Все спектры — фотометрические, с достаточной плотностью непрерывного спектра. Климатические условия наблюдений на БТА были следующие: в зимнее время температура воздуха в кабине первичного фокуса достигала — 15 С, летом + 15 С, влажность воздуха от 60 до 95%.

В табл. 1 дан ряд примеров отдельных спектров звезд, полученных на СП-160 БТА с ЭОП М9щв (область спектра 3600—5000 А). Во всех случаях применялась фотопленка Кодак 103а-О. На основании приведенных данных можно считать, что при хорошем качестве изображения и хорошей прозрачности проникающая способность этой системы составляет около 19^м за 1 час наблюдения с дисперсией 65 А/мм. Из таблицы видно, что при плохой прозрачности выдержки от спектра к спектру изменяются хаотично. Спектры, приведенные в табл. 1, получены в разные ночи. Плохая прозрачность характеризуется наличием переменной дымки, из-за которой изображение слабой звезды на щели спектрографа иногда исчезало. Характерно, что качество изображения оставалось при этом относительно хорошим.

Таблица 1

Звезда	Период блеска (мин)	Дисперсия (А/мм)	Блеск (зв. вел.)	Качество изображения (угл.сек)	Прозрачность	Ширина щели (угл.сек)	Расширение (угл.сек)	Выдержка (мин)	Плотность континуума (ед. ГОСТ)
WZ Sge	81.5	55	16.8	3	хорошая	1.2	—	6	1.1
AM CVn	17	65	14	3	плохая	1.2	1.7	1.5	0.7
MV Lyr	120	65	14	2	плохая	1.2	1.5	2	0.7
AM Her	186	85	14	4	плохая	1.2	2.5	10	1.0
F около Mark III	—	65	18.5	4	средняя	1.2	—	60	0.4

На рис. 1 представлена спектрограмма AM Her, данные о которой помещены в табл. 1.

Разрешающая способность. Визуальные измерения предела разрешения ЭОП М9щв выполнялись по мере абсолютного контраста, изображение которой проектировалось на фотокатод при помощи двух объективов РО-109-1а в масштабе 1:1. Изображение миры на экране ЭОП рассматривалось через микроскоп с 20-кратным увеличением. Измерения производились на двух экземплярах ЭОП с фокусировкой изображения как при помощи короткой электромагнитной катушки, так и магнитно-статической линзой, разработанной в обсерватории совместно с ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина) [4]. Для случая электромагнитной катушки, которая давала

уменьшенное в 1.32 раза изображение, предел разрешения в центре поля экрана составил 26.4 мкм (что соответствует примерно 20 мкм в масштабе 1:1). Предел разрешения с магнитно-статической линзой для первого ЭОП составил 20 мкм, для второго — 18.5 мкм. Во всех случаях ускоряющее напряжение было 15—17 кВ. Различие пределов разрешения двух ЭОП можно объяснить разной толщиной слоев люминофора в экранах.

Для уменьшения веса оснастки ЭОП и удобной стыковки ЭОП с камерой спектрографа обе магнитные системы были изготовлены малогабаритными: внутренний диаметр брони катушки 125 мм, линзы — 111 мм. Относительно малые размеры катушки и постоянного магнита привели к тому, что напряженность магнитного поля стала расти быстрее в направлении от оси катушки (или магнита), чем у ранее применявшихся катушек с внутренним диаметром 140 мм. В связи с этим разрешающая способность ЭОП, выставленная на максимальное значение в центре поля, на расстоянии 10 мм от центра снижалась до 30 п. л./мм. Наблюдалось также некоторое увеличение масштаба изображения на краю поля, которое на расстоянии 10 мм от центра составляло 9% для обеих фокусирующих систем.

Известно, что ЭОП с магнитной фокусировкой короткими катушками дает изображение с *S*-дисторсией: изображение прямой линии имеет на экране форму, напоминающую сильно вытянутую букву *S*. На рабочем поле М9шв, составляющем 22—20 мм, отклонения от прямой линии в обоих ЭОП начинаются за пределами центрального поля 11—12 мм. При этом наибольшие отклонения от прямой наблюдаются на краях поля и они направлены в разные стороны. Для катушки отклонения равны с одной стороны 0.4 мм, с другой — 0.3 мм; для магнита соответственно 0.5 и 0.4 мм.

Уменьшение разрешения и изменение масштаба изображения на краю поля могут быть значительно снижены путем повышения однородности электрического и магнитного полей и, в частности, путем увеличения габаритов магнитной системы. Более сложный путь — коррекция поля вспомогательными катушками или магнитами, а также подбором профиля магнитопровода. В настоящее время эта работа находится в стадии завершения.

Было также измерено разрешение, которое получается на фотоэмульсии Кодак 103а-0 при фотографировании с экрана ЭОП путем контакта фотопленки с плоскостью волоконной шайбы. Разрешение определялось или по двум близким линиям спектра сравнения, или по полуширине слабой линии. На рис. 2 даны записи одиночной и двойной линий спектра сравнения, отстоящих от центра поля на расстоянии 8 мм, и профиль одиночной линии в центре поля. Полуширина профиля одиночной линии равна 40 мкм, расстояние между двумя близкими линиями равно 44 мкм

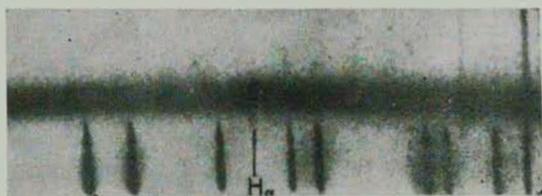


Рис. 1. Спектрограмма звезды AM Her, 14^m , спектральный диапазон 3450—5300 Å, дисперсия 85 Å/мм, разрешение 3.4 Å, континуум нормальной плотности. Видно, что профили линий асимметричны, с хорошей проработкой деталей.

К ст. **М. М. Бутслова**, А. Н. Буренкова и др.

с контрастом 20%. Пересчет на допустимый в фотометрии контраст 10% дает разрешение по дублету также 40 мкм.

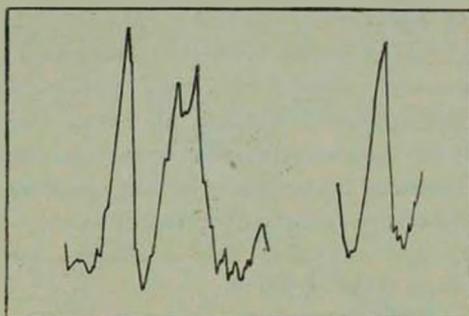


Рис. 2. Профили двойной и одиночных линий спектра сравнения, получены с помощью М9щв. Запись на микрофотометре ИФО-451 с увеличением $100\times$.

Коэффициент преобразования. На рис. 3 дана зависимость коэффициента преобразования от ускоряющего напряжения. В ЭОП I усиление заметно больше, чем в ЭОП II, при этом после 16 кВ рост усиления начинает несколько замедляться по мере увеличения разности потенциалов.

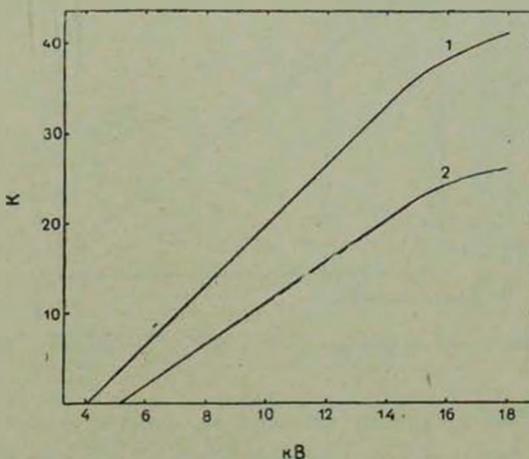


Рис. 3. Коэффициент преобразования ЭОП I и II в зависимости от ускоряющего напряжения для области 4550 Å.

В ЭОП I сигнал на экране появляется уже при 4 кВ, а в ЭОП II — при 5.5 кВ, что можно объяснить потерей энергии электронов в пленке алюминия, нанесенной на слой люминофора со стороны катода. Величина потеря энергии определяется толщиной пленки алюминия. При 18 кВ коэффициенты преобразования достигают 40 у ЭОП I; 26 — у ЭОП II.

Представленные на рис. 3 коэффициенты преобразования соответствуют области, совпадающей со спектральным диапазоном свечения экрана ЭОП, поэтому их значения идентичны тому выигрышу в выдержке, который дает ЭОП по сравнению с фотоэмульсией. Максимум свечения экрана приходится на длину волны 4550 А и находится вблизи спектральной области максимальной чувствительности фотоэмульсий 103а-0, 103а и др. Поэтому для спектральной области по длине волны, превышающей 4550 А, выигрыш будет преимущественно больше коэффициента преобразования ЭОП. Исключение составляют только области дсбавочной чувствительности сенсibilизированных фотоматериалов, в которых выигрыш снижается. Например, для эмульсии 103а-D область уменьшения выигрыша падает на длины волн 6000—6400 А.

При фотографировании нестационарных во времени объектов необходимо знать разрешающее время ЭОП. В М9щв временное разрешение целиком определяется временем высвечивания люминофора экрана. На рис. 4 дана зависимость послесвечения экрана от времени. Поскольку послесвечение зависит от величины и длительности светового сигнала, подаваемого на фотокатод ЭОП, для измерений, приведенных на рис. 4, был

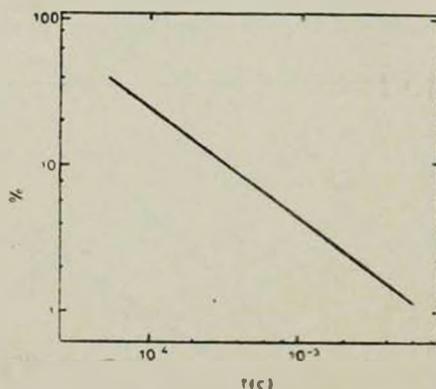


Рис. 4. Зависимость послесвечения экрана М9щв от времени. Ускоряющее напряжение 15 кВ.

выбран уровень освещенности фотокатода, равный такой освещенности, которую создает 6-м телескоп в фокусе 184 м от звезды 10^m при качестве изображения 6 угл. с. Следует заметить, что коэффициенты преобразования измерялись при таком уровне светового сигнала, длительность которого была 1 мин, мощность — около $4 \cdot 10^{-13}$ Вт на площадке диаметром 6 мм.

Светочувствительность фотокатодов. Интегральная чувствительность фотокатода ЭОП I сразу после изготовления составляла 340 мкА/лм, ЭОП II — 260 мкА/лм.

На рис. 5 даны спектральные чувствительности фотокатодов этих ЭОП, выраженные в мА/Вт. Наклонные прямые показывают квантовый выход в %. Как следует из рис. 5 чувствительность фотокатодов в течение 2 лет изменялась мало, что свидетельствует об устойчивости внесен-

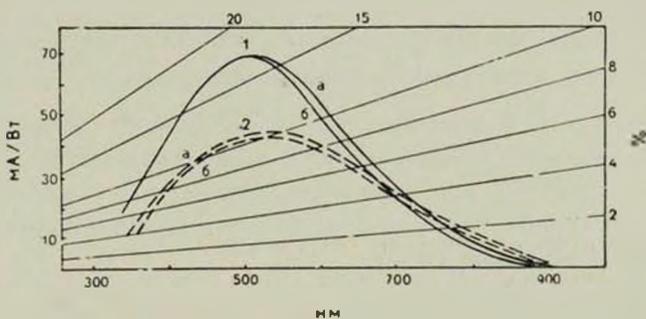


Рис. 5. Спектральные чувствительности многощелочных фотокатодов ЭОП I и ЭОП II, измеренные в 1976 г. (кривая «а») и в 1978 г. (кривая «б»).

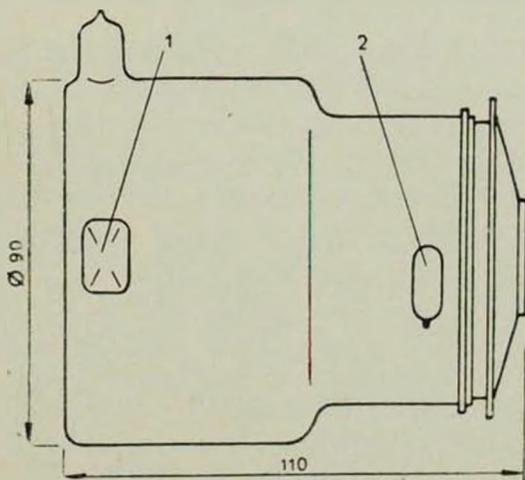


Рис. 6. Внешний вид М9ШВ: 1 — штенгель для внесения фотокатада, 2 — высоковольтный ввод.

ных катодов и правильности принятой технологии их изготовления. Замеченное нами старение катодов привело к некоторому уменьшению прежде всего «красной» чувствительности. В ЭОП II произошло небольшое снижение чувствительности также в синей области. К сожалению, не удалось провести измерения спектральной чувствительности в 1975 г., когда они были изготовлены.

Темновое свечение экрана. Темновое свечение экранов обоих ЭОП оказалось практически малым и было следствием термоэлектронной эмис-

сии. Например, экспонирование фотопленки 103а-О темновым свечением экрана в течение 1 часа при 15 С создавало почернение около 0.1 ед. ГОСТ (проявитель MW P-2); при температуре около — 5 С темновое свечение было настолько незначительным, что не оставляло на фотоэмульсии видимых следов за 6 час. экспонирования.

Лабораторные измерения темнового свечения показали, что при 15 С термоэлектронная эмиссия фотокатода соответствует $2 \cdot 10^{-16}$ А/см².

Заключение. 1. Астрономические ЭОП М9щв, разработанные для регистрации спектров, успешно прошли испытания на БТА. 2. Исследования М9щв в лаборатории подтвердили их высокие эксплуатационные качества по усилению, спектральному диапазону, фотометрической точности и по низкому уровню шума.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

Всесоюзный научно-исследовательский
институт оптико-физических измерений

ELECTRONIC IMAGE CONVERTER FOR 6-METER TELESCOPE

М. М. BUTSLOV, A. N. BURENKOV, V. V. GYAVGYANEN, V. G. DEBUR,
P. A. ZNIKIN, A. F. KLEPOV, L. I. KONDRASHEVA, V. S. RILOV,
B. M. STEPANOV, T. I. USHAKOVA, T. M. FEDOROVSKAYA

The results of tests on the 6-meter Telescope (BTA) and the laboratory investigations of the single-stage image tube with magnetic focusing, plane fiber optic output and the 5×40 mm slit photocathode are presented. The image tubes operated for 3.5 years, 2 years of which they worked on the fast BTA spectrograph. Simultaneously the different parameters of the image tube were investigated in laboratory conditions. The calculated limiting magnitude of the BTA fast spectrograph with image tube for the reciprocal linear dispersion 65 A/mm, determined from the observational results is no less than 19^m for the exposition of 1 hour. In order to focus the image tube a focus system was made out of permanent magnets of original construction.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Калиняк, В. И. Красовский, В. Б. Никонов, Изв. КрАО, 6, 119, 1950.
2. И. Н. Зайдель, Б. И. Куренков, Электронно-оптические преобразователи, Советское радио, М., 1970.
3. А. А. Коровяковская, В. С. Рылов, Астрофизические исследования, (Изв. САО), 8, 135, 1976.
4. А. А. Блохин, А. В. Гвягянсн, С. И. Молоковский, В. С. Рылов, ПТЭ, 1980, № 2.