1971 г. Июль Том 104, вып. 3

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

621.3.032.26

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, УСИЛИТЕЛИ СВЕТА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

(Общесоюзный семинар, заседание II, Москва 15—16 июня 1970 г.)

Общесоюзный семинар при ВНИИОФИ под председательством профессора Б. М. Степанова начал работать в 1969 г. На первом заседании обсуждались проблемы высокоскоростной электронно-оптической фотографии.

На втором заседании, посвященном применению электронно-оптических приемников изображения в астрономии, было зачитано более 20 докладов. Это было первое в нашей стране широкое научное совещание, где так тесно переплелись проблемы астрономии, физики и электроники. В нем приняли участие сотрудники ВНИИОФИ, Алма-атинской, Бюраканской, Крымской и Пулковской обсерваторий, ГАИШ, ПГИ Кольского филиала АН СССР, ИАЭ им. И. В. Курчатова, ЛФТИ им. А. Ф. Иоффе и др.

Вступительное слово академика Е. К. Завойского было посвящено перспективам изучения Вселенной на основе применения новейших методов исследования. Информация о строении Вселенной поступает к нам через посредство электромагнитного излучения (в радио-, оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах спектра) и корпускулярных излучений. По объему принимаемой информации на первом месте сейчас стоят оптическая и радиоастрономия. Но по мере развития техники эксперимента можно ожидать развертывания астрономических исследований, основанных на приеме протонов, нейтронов, нейтрино, рентгеновских и γ-лучей, гравитационных волн. Информационная емкость каналов связи с Вселенной определяется фундаментальными законами природы, но зависит также от состояния технологии изготовления научной аппаратуры. Успехи в создании все более крупных телескопов и появление разнообразных электронно-оптических приемников изображения существенно расширило возможности оптической астрономии. В настоящее время экспериментальная астрономия достигла такого уровня, что ограничения в исследованиях далеких объектов связаны уже с принципиальной неопределенностью наблюдательных данных при малом числе поступающих квантов. Вместе с тем еще существенно сказывается наличие у приемников изображения собственных шумов и помех.

Академик Е. К. Завойский детально проанализировал причины появления таких шумов (термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии, бомбардировка катода ионами, воздействие космических лучей на стекло прибора, остаточная радиоактивность стекла и т. д.) и выдвинул задачу их существенного снижения в ЭОП, используемых в астрономии. Он рассмотрел также возможности применения ЭОП с предельной чувствительностью в астрономии, основанной на приеме рентгеновского и гамма-излучений, а также релятивистских частиц.

Зачитанные на семинаре доклады группировались в основном вокруг трех тем: 1) принципиальные вопросы применения усилителей яркости изображения в астрономии; 2) электронно-оптические установки для телескопов и опыт их применения в астрономических исследованиях, 3) новые ЭОП.

В обзорном докладе М. М. Бутслова, Е. К. Завойского, Г. Е. Смолкина и С. Д. Фанченко была кратко изложена история разработки ЭОП и их применений в астрономии, подробно описаны отечественные каскадные ЭОП серии УМ-УМИ, рассмотрены основные свойства и преимущества этих приборов, а также проанализированы информационные характеристики фотографических изображений, получаемых в условиях большого усиления яркости изображения. Зарубежные разработки в области ЭОП и усилителей яркости изображения были рассмотрены

в докладе П. В. Щеглова, причем основное внимание докладчик уделил однокамерным ЭОП с контактным фотографированием (типа отечественного прибора ФКТ). Сопоставление возможностей астрономических наблюдений при использовании каскадного ЭОП с прямым фотографированием изображения и каскадного ЭОП с телевизионной системой регистрации было проведено В. В. Прокофьевой, Г. Е. Смолкиным и С. Д. Фанченко. В докладе М. М. Бутслова, В. А. Горностаева, Б. О. Карапетяна, А. А. Маркова, Г. Е. Смолкина, Г. Н. Софиева и в докладе А. Н. Абраменко и В. В. Прокофьевой были продемонстрированы преимущества применения импульсных каскадных ЭОП типа УМИ для исследования нестационарных астрофизических объектов в миллисекундном диапазоне (пульсары и т. п.). Подробнее о последних двух докладах будет сказано ниже.

В упомянутых выше докладах и последовавшей за ними оживленной дискуссии были рассмотрены преимущества и недостатки современных ЭОП применительно к требованиям астрофизических наблюдений и в связи с этим обсуждены исторические тенденции развития телескопии с усилением изображений.

Лишь 20 лет прошло с тех пор, как А. А. Калиняк, В. И. Красовский и В. Б. Никонов впервые применили в астрономии простейший ЭОП [ДАН СССР **66**, 25 (1949)] и получили снимки области галактического центра в инфракрасных лучах. В 1950 г. В. Т. Лукашеня и В. И. Красовский разработали однокамерный ЭОП с контактным фотографированием изображения (ДАН СССР **79**, 241 (1951)) и исследовали с его помощью инфракрасный спектр излучения ночного неба. В этих работах ЭОП использовался в основном для преобразования изображения из инфракрасной в видимую область спектра, где чувствительность фотоматериалов выше.

Принципиально новые возможности открыло создание в 1953 г. каскадных ЭОП столь высокой чувствительности, что они способны регистрировать отдельные кванты света [М. М. Бутслов, УНФ **6**, 76 (1959); Е. К. Завойский, М. М. Бутслов, Г. Е. Смолкин, ДАН СССР **111**, 996 (1956)]. Каскадные ЭОП с предельным усилением яркости изображения впервые были применены в астрономии в 1957 г. совместно Крымской астрофизической обсерваторией и Институтом атомной энергии им. И. В. Курчатова [М. М. Бутслов, Е. К. Завойский, А. А. Калиняк, В. Б. Никонов, В. В. Прокофьева, Г. Е. Смолкин, ДАН СССР **121**, 815 (1958)]. При фотографировании звездных полей и внегалактических туманностей на телескопе МТМ-500 было показано, что применение каскадного ЭОП позволяет сократить экспозиции в 10^2—10^3 раз. Такое же сокращение экспозиций было получено при фотографировании туманностей в узком спектральном диапазоне на телескопе ЗТШ [М. М. Бутслов, И. М. Копылов, В. Б. Никонов, А. Б. Северный, К. К. Чуваев, Астрон. ж. **30**, 315 (1962)].

Результаты этих работ получили широкий международный резонанс и послужили толчком к разработке каскадных ЭОП за рубежом и оснащению ими во второй половине 60-х годов более 35 астрофизических обсерваторий мира. Еще около 50 астрономических установок с каскадными ЭОП в США сейчас находятся в стадии наладки. Постепенно расширяется и применение в астрономии однокамерных ЭОП с контактным фотографированием (отечественный прибор ФКТ, малосерийное производство которого освоено в 1958 г., и аналогичный прибор, созданный в США в 1960 г.). Помимо ЭОП различных типов, в астрономии применяются телевизионные системы с электронно-оптическим предусилением, а также с предкоммутационным усилением по принципу наведенной проводимости, и электронно-графические камеры в различных вариантах.

Последние международные астрономические конгрессы показали, что объем ценной астрофизической информации, получаемой на основе применения ЭОП и других усилителей изображения, быстро растет. Тем не менее до сих пор еще не изжито известное предубеждение против использования каскадных ЭОП на телескопах, которое на данном семинаре проглядывало, например, в докладе П. В. Щеглова, ориентировавшего астрономов на применение главным образом приборов типа ФКТ. Принципиальный вопрос о величине полезного усиления яркости изображения, обеспечиваемой ЭОП, находился в центре дискуссии по докладам. Поскольку нередко встречаются противоречивые толкования этого вопроса, остановимся на выводах дискуссии несколько подробнее.

Фотопластинка, ЭОП, телевизионная трубка, электронно-графические камеры (спектрокон и камера Лальмана) заметно различаются по своим характеристикам, но существует единое для них всех понятие обобщенного квантового выхода $\varepsilon_{об}$. По определению $\varepsilon_{об} = (R_{вых}/R_{вх})^2$, где $R_{вх}$, $R_{вых}$ — отношение полезного сигнала к шуму на входе и на выходе прибора. Для изображений величина R характеризует тот минимальный оптический контраст C_{min}, который еще удается различить. Если световой поток, приходящийся на разрешаемый элемент изображения, соответствует числу квантов N, то очевидно, что $C_{min} = pR = p\,(\varepsilon_{об}N)^{-1/2}$, где p — коэффициент достоверности (порядка единицы). Из этой формулы ясно, что при заданной величине передаваемого минимального контраста необходимое число первичных квантов света обратно пропорционально $\varepsilon_{об}$. Это и позволяет считать $\varepsilon_{об}$ универсальной мерой чув-

ствительности приемников изображения. Обратимся к экспериментальным данным о величине обобщенного квантового выхода.

Для фотографических эмульсий величина $\varepsilon_{об}$ сильно зависит от светового потока. Она близка к нулю при $N < N_{пор} \approx 10^3 - 10^4$ и достигает значений 10^{-3}—10^{-2} вблизи $N_{пор}$. Роль «шума» выполняет гранулярность фотографической вуали.

Обобщенный квантовый выход применяемых в астрономии каскадных ЭОП типа УМ-УМИ (В. М. Сотников, С. Д. Фанченко, сб. «Диагностика плазмы», т. 2, М., Атомиздат, 1968, стр. 145) в достаточно хорошем приближении можно представить соотношением вида $\varepsilon_{об} = \varepsilon_{фк}\,[1 + (\dot{n}_{ш}\tau/n_{сиг})]$. Для малых экспозиций τ, когда число электронов изображения $n_{сиг}$ в одном разрешаемом элементе намного больше числа электронов темновой эмиссии с входного фотокатода, обобщенный квантовый выход прибора в целом есть не что иное, как квантовый выход $\varepsilon_{фк}$ входного фотокатода. Для того чтобы судить о чувствительности ЭОП в случае больших экспозиций, нужно привлечь данные о собственных шумах этих приборов.

Природа собственных шумов каскадных ЭОП была подробно исследована Е. К. Завойским, М. М. Бутсловым и Г. Е. Смолкиным [ДАН СССР **111**, 996 (1956)], которые впервые обнаружили в составе темнового тока с входного сурьмяно-цезиевого фотокатода два компонента: одноэлектронный, обусловленный термоэлектронной эмиссией, и многоэлектронный, обусловленный бомбардировкой фотокатода ионами присутствующих в колбе прибора щелочных металлов. При попадании иона цезия в фотокатод с последнего эмитируется группа в среднем из 7—10 электронов, вылетающих из одной точки за время $\Delta t \leqslant 10^{-11}$ *сек* с разбросом начальных энергий порядка 10 *эв*.

Эксперименты, выполненные в этой работе, позволили выявить следующие свойства собственных шумов ЭОП. Одноэлектронный компонент шумов удается полностью исключить путем соответствующего охлаждения входного фотокатода. Однако на величину многоэлектродного компонента охлаждение не оказывает заметного влияния даже при достижении температуры жидкого азота. Число $\dot{n}_{ш}$ многоэлектронных групп, вылетающих с разрешаемого элемента фотокатода в секунду, зависит, во-первых, от степени загрязнения внутренних поверхностей ЭОП щелочными металлами и, во-вторых, от ускоряющей разности потенциалов V на каскаде. Этой зависимостью можно воспользоваться для выбора наиболее выгодного режима работы ЭОП в астрономических наблюдениях. Действительно, при $V = 12$ *кв* для некоторых образцов ЭОП число $\dot{n}_{ш} \sim 10^{-1}$. Уменьшение V до 5—6 *кв* снижает $\dot{n}_{ш}$ до 10^{-4}. При этом некоторое уменьшение общего коэффициента усиления легко компенсируется увеличением усиления и числа последующих каскадов прибора. Именно при таком оптимальном режиме питания ЭОП образца 1957 г. фон на негативах в упомянутой выше совместной работе КрАО и ИАЭ при минутных экспозициях оказался почти на два порядка величины ниже фона от ночного неба.

Как видно из приведенных данных, в современных ЭОП типа УМ-УМИ с охлаждаемым входным фотокатодом $\varepsilon_{об} \simeq \varepsilon_{фк}$ вплоть до экспозиций порядка десятков минут (без охлаждения — секунды, десятки секунд). В этих условиях каскадный ЭОП можно рассматривать как вполне бесшумовой приемник изображения. При больших экспозициях $\varepsilon_{об}$ становится меньше квантового выхода фотокатода из-за собственных шумов.

Перед разработчиками ЭОП для астрономических целей стоит задача технологического снижения этих шумов до такой степени, чтобы время экспозиции в бесшумовом режиме доходило до многих часов. Поскольку природа многоэлектронного компонента шумов известна, эта задача выполнима и на пути ее разрешения уже получены обнадеживающие результаты, о которых подробнее будет сказано ниже. Разумеется, несоблюдение нормальных условий эксплуатации ЭОП (пробои и коронирование в высоковольтной изоляции, нестабильное питание и т. п.) может явиться источником дополнительных «шумов». Ясно, что при введении каждого ЭОП в эксплуатацию все подобного рода внешние источники шумов могут и должны быть полностью устранены.

Наконец, несколько слов о величине $\varepsilon_{об}$ для электронно-графических камер и телевизионных систем. К обобщенному квантовому выходу электронно-графической камеры (камера Лальмана, спектрокон и др.), при условии счета под микроскопом числа электронов, вылетевших с фотокатода, применимо все сказанное о $\varepsilon_{об}$ ЭОП. Что же касается обычных передающих телевизионных трубок (суперортикон, видикон и т. п.), то для них $\varepsilon_{об}$ ведет себя в зависимости от величины светового потока так же, как и для фотоэмульсий. Роль неустранимой фотографической вуали в данном случае играют шумы считывающего электронного пучка.

Приведенные данные об обобщенном квантовом выходе позволяют сопоставить принципиальные возможности основных методов объективной регистрации изображений в астрономии: 1) фотографирование, 2) телевизионный прием и регистрация изображения (без предварительного усиления); 3) электронно-оптический прием изображения с последующей фотографической либо телевизионной регистрацией.

Из всех перечисленных наибольшую информационную емкость имеет прямой фотографический метод (высокая разрешающая способность, почти неограниченная

площадь поля зрения). Основной недостаток фотоэмульсий — наличие порога чувствительности, ниже которого изображение не может быть зарегистрировано. Этим же недостатком страдают телевизионные системы с обычными телевизионными трубками. Кроме того, они заметно уступают фотопластинкам по разрешающей способности и площади поля зрения, а также по величине дисторсии изображения. Важным достоинством телевизионного метода является сам факт ведения наблюдений на расстоянии от телескопа, а также возможность легко изменять контрастные характеристики регистратора (последнее, разумеется, не относится к величине минимального передаваемого контраста, который определяется исключительно величиной $(N\varepsilon_{об})^{-1/2}$). Следует, наконец, учитывать, что в принципе телевизионный сигнал непосредственно может быть введен в электронно-вычислительную машину для обработки.

Взятый в отдельности ЭОП занимает промежуточное положение между фотопластинкой и телевидением в отношении разрешающей способности и площади поля зрения. В области достаточно больших световых потоков он превосходит фотопластинку в десятки раз по величине $\varepsilon_{об}$. Но самым главным преимуществом ЭОП с предельным усилением перед обоими другими методами является независимость $\varepsilon_{об}$ от величины светового потока вплоть до минимальных значений освещенности, когда изображение состоит из считанного числа квантов света (фотоэлектронов). Не говоря об электронно-графических камерах, каскадный ЭОП является первым примером приемника изображения с предельной чувствительностью, способным регистрировать в отдельности единичные фотоны (фотоэлектроны). Фотографические (либо телевизионные) изображения, получаемые с выходного экрана каскадного ЭОП в режиме предельной чувствительности, приобретают специфически гранулярный характер, определяемый квантовыми флуктуациями световых потоков на входе системы. Непривычная гранулярность этих изображений, по-видимому, и вызвала известное предубеждение к ЭОП с предельным усилением как к прибору, который будто бы недопустимо портит качество фотографий. В действительности же качество изображения в данном случае целиком определяется квантовыми флуктуациями первичного светового потока в условиях «бедной» статистики фотонов, составляющих изображение. Понятно, что в силу квантовых флуктуаций величину сигнала из N квантов нельзя установить с точностью, большей чем $\sqrt{N}$. Спрашивается, есть ли в астрономии необходимость в таких изображениях? Оказывается, есть. Пусть, например, наблюдается спектр переменной звезды с характерным временем изменения t_c, за которое на участок спектра, разрешаемый прибором, приходит $N = 500$ квантов света. При квантовом выходе фотокатода 0,1 получим 50 первичных фотоэлектронов. Следовательно, эмиссионная спектральная линия может быть надежно зарегистрирована, а ее интенсивность измерена с точностью порядка 15%. Фотопластинка и телевизионная трубка (без предусиления) в этом случае вообще не могут дать никакого изображения.

Как расчеты, так и эксперименты показывают, что условием фотографической (телевизионной) регистрации такого рода пороговых изображений является его предварительное усиление по яркости с помощью ЭОП до 10^3—10^4 раз.

Разумеется, в тех случаях, когда необходимо передать малый контраст в изображении (например, обнаружить слабую звезду на фоне неба), а само явление позволяет вести длительное накопление сигнала, пользоваться усилениями 10^3—10^4 не рационально. Но применение малокаскадного ЭОП (например, УМ либо УМИ-91, 92) или ЭОП с контактным фотографированием все равно выгодно, поскольку $(\varepsilon_{об.фотоэм}/\varepsilon_{об.ЭОП}) \sim 10^{-1}$—$10^{-2}$ и время экспозиции для получения фотографической информации с той же статистической точностью можно сократить в десятки раз. Таково полезное усиление ЭОП при наблюдении стационарных астрономических объектов.

В любом случае пороговая чувствительность и информационные свойства комбинированной установки типа усилитель яркости изображения (ЭОП) плюс регистратор (фотопластинка либо передающая телевизионная трубка) целиком определяются ее первым звеном — усилителем яркости. Функция усилителя яркости заключается в том, чтобы поднять полезный сигнал над порогом чувствительности регистратора.

Доклады методического характера вызвали большой интерес и позволили участникам семинара обменяться опытом применения ЭОП на телескопах. В докладе В. Ф. Есипова и докладе И. Н. Зайделя, И. В. Волкова, В. Ф. Есипова, П. В. Щеглова было рассказано о характеристиках, результатах испытаний и некоторых применениях прибора ФКТ-1 с многощелочным фотокатодом. Этот ЭОП с фотоконтактной регистрацией имеет рабочее поле зрения диаметром 10 *мм* и разрешающую способность 25 п.л./*мм* в центре поля. Собственные шумы фотокатода при комнатной температуре за время экспозиции 3 часа вызывают почернение фотоэмульсии $D = 0{,}3$ при использовании высокочувствительной фотопленки А - 600 или Кодак 103а D (с подсветкой перед экспозицией). Информационный выигрыш для синей области спектра составляет величину порядка 10. Прибор не требует громоздкого оборудования, легко устанавливается на подвижные части телескопа. В настоящее время он применяется в ГАИШ, обсерватории Ленинградского государственного университета, обсерватории Тартуского университета ЭССР, в Ташкентской обсерватории.

Применение ФКТ в сочетании с эталоном Фабри — Перо дало возможность изучить движение газа в ряде диффузных и тонковолокнистых туманностей, а также исследовать геокорону. С дифракционным спектрографом на 125-сантиметровом телескопе получено большое количество спектров квазаров и сверхновых в разных фазах их блеска, изучаются профили линий в ядрах нестационарных галактик. Возможности применения ФКТ для наблюдения слабых астрономических объектов иллюстрируются следующим примером. На 125-сантиметровом телескопе спектр звезды $17^m,5$ с дисперсией 250 Å /*мм* получается за время экспозиции 1,5 часа. Дальнейшее увеличение экспозиции ограничено излучением ночного неба.

В докладах Э. К. Денисюка, К. К. Чуваева, П. Я. Сухоиваненко, А. Н. Абраменко, а также в докладе Р. Е. Гершберга и К. К. Чуваева, было рассказано об опыте применения на телескопах трехкамерного ЭОП с магнитной фокусировкой изображения УМ-92 в условиях непосредственного фотографирования изображения с выходного экрана. Эти ЭОП имеют рабочее поле диаметром 40 *мм*. Изображение с экрана обычно фотографируется на высокочувствительную фотопленку в масштабе 1 : 1 при помощи объектива «Аврора-1». Разрешение на фотопленке в рабочих условиях составляет 10—15 п.л./*мм*.

В докладе Р. Е. Гершберга и К. К. Чуваева приводятся данные о наблюдениях спектров быстрых (длящихся всего несколько минут) вспышек красных карликовых звезд, проведенных в Крымской астрофизической обсерватории на 2,6-метровом телескопе им. Г. А. Шайна в 1965—1969 гг. Получены десятки спектров вспышек с временным разрешением до нескольких десятков секунд. Спектрофотометрическая обработка их позволила впервые получить количественные данные о процессе развития вспышек звезд данного типа и установить их аналогию с хромосферными вспышками на Солнце. На том же телескопе ведется большая программа по наблюдению галактик в узких спектральных областях.

В г. Алма-Ате на 70-сантиметровом телескопе Э. К. Денисюком с сотрудниками получено около 900 спектров диффузных газовых и планетарных туманностей, эллиптических галактик, сделаны и фотометрированы прямые снимки 47 эллиптических галактик; УМ-92 успешно используется также в ПГИ АН СССР для изучения монохроматических эмиссий полярных сияний (доклад П. Я. Сухоиваненко).

Как отметили в своих докладах Э. К. Денисюк и П. Я. Сухоиваненко, применение УМ-92 чрезвычайно расширило возможности астрономических наблюдений на телескопах среднего диаметра.

При обсуждении данной группы докладов обнаружилось, что уровень собственных шумов УМ-92, отмечаемый астрономами, в 10—100 раз выше, чем наблюдаемый при лабораторных испытаниях тех же приборов. Выяснились две причины повышения шумов. Во-первых, в условиях работы под открытым небом отсыревала высоковольтная изоляция на ЭОП, трескался защитный слой лака на самом приборе и т. п. Оказалось, что в отдельных случаях выступавшие ошибочно включали интенсивность возникающего при этом дополнительного фона в цифры, характеризующие многоэлектронный компонент собственных шумов ЭОП. Во-вторых, ввиду нехватки усиления для достижения режима предельной чувствительности, УМ-92 зачастую использовался в форсированном режиме работы, когда напряжение на входном каскаде составляло величину ~12 *кв*. Это приводило к чрезвычайно сильному повышению интенсивности истинно многоэлектронного компонента собственных шумов. В таких случаях следует, видимо, перейти к использованию приборов УМ-93 или даже УМ-95, существенно снизив напряжение на каскадах.

В докладах А. Н. Абраменко и В. В. Прокофьевой были освещены вопросы применения телевизионной техники с электронно-оптическим предусилением для фотографирования астрономических объектов. В качестве передающей телевизионной трубки использовались как высокочувствительный суперортикон (ЛИ-211 или ЛИ-214) с каскадным ЭОП типа УМ-92 в качестве предусилителя яркости, так и недавно разработанная высокочувствительная трубка, представляющая собой сочленение суперортикона и одного усилительного каскада ЭОП в одной вакуумной колбе. Был экспериментально определен обобщенный квантовый выход телевизионной системы, который составлял в первом случае 0,03, а во втором — 0,02 при экспозициях 2 *мин*.

С помощью телевизионной техники изучено изменение блеска более 10 слабых переменных звезд, быстро меняющих яркость.

В упомянутом выше докладе М. М. Бутслова, В. А. Горностаева и др. рассмотрен вопрос о применении усилителей яркости изображения для астрономических наблюдений с короткими экспозициями вплоть до миллисекундного диапазона. К числу подобного рода задач можно отнести, например, наблюдение изменений оптического излучения пульсаров и других нестационарных объектов как в белом, так и в спектрально разложенном свете, устранение влияния атмосферной турбулентности при фотографировании планет, туманностей и двойных звезд, установление «мгновенных значений» координат движущихся тел и т. д.

До последнего времени самые короткие экспозиции в астрономии получались с помощью механических затворов либо при использовании импульсного ускоряющего напряжения для ЭОП. В настоящей работе представлена аппаратура, созданная на базе импульсных каскадных ЭОП серии УМИ, ранее разработанных для высокоскоростной фотографии. Во входной камере таких преобразователей имеется компенсированный электронный затвор и две пары пластин, отклоняющих изображение во взаимоперпендикулярных направлениях. Это позволяет получать как непрерывную, так и многокадровую развертку исследуемого процесса во времени. По своему быстродействию и удобству эксплуатации электронно-оптический затвор превосходит все известные механические системы. Для управления электронным изображением ЭОП разработаны генераторы кадровой и непрерывной разверток, которые обеспечивают экспозиции от 2 до 100 *мсек*. При этом разрешающая способность по полю зрения диаметром 20 *мм* достигает 40—50 п. л./*мм* для однокамерного преобразователя, 20—25 п. л./*мм* для УМИ-92 и 10—15 п. л./*мм* для УМИ-95.

Практическому применению такого типа аппаратуры в сочетании с 70-сантиметровым телескопом КрАО был посвящен доклад А. Н. Абраменко и В. В. Прокофьевой, в котором приведены результаты наблюдений изменений оптического излучения пульсара NP 0532, находящегося в центре Крабовидной туманности. Наблюдения проводились в марте 1970 г. с помощью телевизионной системы, в которой ЭОП УМИ-92 использовался в качестве предусилителя яркости изображения. На отклоняющие пластины УМИ-92 подавалось напряжение ступенчатой формы, обеспечивающее 16-кадровую временну́ю развертку изображения пульсара на экране ЭОП и телевизионной системы. Длительность развертки была с большой точностью равна периоду пульсара. Накопление световой энергии в каждом из 16 интервалов изменения блеска пульсара производилось в течение тысяч его периодов. Генератор разверток собран по схеме, аналогичной ранее опубликованной [Г. Л. Левин, А. А. Марков и др., ПТЭ № 6, 100 (1962)]. Длительность периода определялась синхроимпульсами от пересчетного устройства ПС-12, работающего от генератора ГСС-6.

Сообщение об электронно-оптической приставке к телескопам АЗТ-8 и АЗТ-14, построенной на основе ЭОП типа УМ-92, и о результатах ее испытаний сделали А. А. Аношкин, К. Л. Менч и Г. Г. Петров. В докладе дано подробное описание конструкции приставки, высоковольтного питания ЭОП, а также приведены характеристики дополнительного оптического оборудования, использованного в работе.

Доклад Е. П. Семенова и В. В. Купревича был посвящен исследованию разрешающей способности электронных линз с уменьшением изображения. С помощью частотно-контрастных характеристик авторы рассмотрели, как влияют на разрешающую способность системы в целом отдельные звенья канала передачи информации (фотокатод, электронная оптика, люминесцентный экран и т. п.).

Результаты исследования возможностей уменьшения дисторсии изображения в каскадных ЭОП при использовании сильного магнитного поля были сообщены в докладе М. М. Бутслова, В. И. Комарова, Г. Е. Косарева, О. В. Савченко и Л. М. Сороко.

Доклад М. М. Бутслова был посвящен анализу причин возникновения фонового свечения ЭОП. Рассмотрены разнообразные эффекты, дающие вклад в фон собственных шумов: термоэлектронная эмиссия с поверхности фотокатода, бомбардировка фотокатода ускоренными ионами, электронная эмиссия различной природы с боковых стенок и монтажных деталей ЭОП с попаданием электронов в поле зрения на люминесцентном экране и т. п. При обычном способе изготовления ЭОП основной вклад в собственные шумы наиболее удачных образцов дают только две первые причины, но во многих образцах наблюдаются повышенный уровень шумов, связанный с последней (локальная автоэлектронная эмиссия и т. п.). В докладе показано что во всех указанных случаях основной причиной повышения уровня шумов является попадание в объем ЭОП паров щелочных металлов (K, Na, Cs) в процессе формирования фотокатода. Щелочные металлы не только бомбардируют фотокатод, но также снижают работу выхода и увеличивают вероятность паразитной темновой эмиссии с внутренних поверхностей прибора. Для эффективного снижения уровня шумов предложен и опробован метод изготовления ЭОП с помощью манипулятора, когда фотокатод и корпус прибора изготовляются в отдельных баллонах, а затем в условиях высокого вакуума фотокатод вводится в корпус ЭОП. На примере ЭОП серии с электростатической фокусировкой изображения показано, что применение манипулятора снижает уровень шумов на один-два порядка величины как для кислородно-цезиевого, так и для многощелочного фотокатода при номинальном ускоряющем напряжении 15 *кв*.

Подробному рассмотрению характеристик ЭОП с электростатической и магнитной фокусировкой изображения, изготовленных с помощью манипулятора, и новым типам ЭОП с повышенным качеством изображения был посвящен доклад М. М. Бутслова, Ю. А. Карасева, С. В. Липатова, Б. М. Степанова, В. Н. Стожковой, Т. М. Федоровской.

Непосредственные измерения яркости темнового фона однокамерных ЭОП, изготовленных с помощью манипулятора, показали, что при двухчасовой экспозиции фотопленки А-600 фотоконтактным методом почернение составляет 0,17 и 0,4 при чувствительности многощелочного фотокатода соответственно 100 и 150 *мка/люмен*. Это указывает на отсутствие других шумов, кроме термоэлектронных. Для этих измерений были изготовлены однокамерные ЭОП П8-Щ и М9-Щ с люминесцентным экраном на тонком слюдяном выходном окне (размеры окна соответственно 5 × 40 и 5 × 50 *мм*). Интересно отметить, что визуальная разрешающая способность в обоих случаях составляла 50 п.л./*мм*, а фотографическая (при контактном фотографировании) — 33 п.л./*мм* по всей длине щелевого выходного окна прибора М9-Щ.

В докладе были описаны недавно разработанные ЭОП М9-В, М9-2В и П8-2Щ. ЭОП типа М9-В снабжен на выходе волоконнооптической планшайбой с рабочим диаметром 40 *мм*. Его разрешающая способность, измеренная фотоконтактным методом, оказалась равной 40 п.л./*мм*, причем эта величина определяется в основном разрешением использованной волоконной оптики.

ЭОП типа М9-2В — в модульном исполнении. Он имеет волоконнооптические планшайбы как на выходе, так и на входе. Разрешающая сила таких ЭОП — 35 п.л./*мм*.

Для работы в ультрафиолетовой части спектра, в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгеновского излучения разработан ЭОП типа П8-2Щ с входным слюдяным окном толщиной около 10 *мкм*. Фотокатод наносится на внутренней поверхности окна.

Приемником коротковолнового излучения в этом ЭОП является люминесцентный экран — конвертор, наносимый на катодное окно с внешней стороны. Толщина слоя экрана и тип люминофора определяются характеристиками регистрируемого коротковолнового излучения. Разрешающая сила такого ЭОП определяется разрешением люминофора-конвертора.

Большая и плодотворная дискуссия проблем электронно-оптической астрономии, проведенная на семинаре, не только способствовала более четкому выяснению принципиальных возможностей и перспектив применения усилителей изображения, но и позволила выявить наиболее актуальные задачи разработки и усовершенствования ЭОП. Сейчас назрела необходимость разработки для астрономии разнообразных малошумящих усилителей изображения как с малым, так и с предельно большим усилением, при высоком качестве изображения и однородной чувствительностью по полю зрения.

М. М. Бутслов, В. В. Прокофьева, Г. Е. Смолкин, С. Д. Фанченко