

УДК 520.626/627-17

## МНОГОМОДОВЫЙ ПАНОРАМНЫЙ ФОТОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР ВЫСОКОГО ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

© 2009 В. Л. Плохотниченко<sup>1\*</sup>, Г. М. Бескин<sup>1\*\*</sup>, В. Г. де Бур<sup>1\*\*\*</sup>, С. В. Карпов<sup>1\*\*\*\*</sup>,  
Д. А. Бадьин<sup>2\*\*\*\*\*</sup>, З. В. Любецкая<sup>3\*\*\*\*\*</sup>, А. П. Любецкий<sup>4\*\*\*\*\*</sup>, В. В. Павлова<sup>3\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup> ГАИШ, Москва

<sup>3</sup> ФГУП ГКБ “Связь”, Ростов-на-Дону

<sup>4</sup> ООО “СМП ВОК”, Ростов-на-Дону

Поступила в редакцию 10 февраля 2009 г.; принята в печать 24 февраля 2009 г.

Описывается аппаратно-программный комплекс эксперимента МАНИЯ для поиска и изучения переменности блеска астрофизических объектов с временным разрешением  $10^{-6}$  с. В панорамном фотоспектрополяриметре используются сменные оптические блоки, позволяющие проводить наблюдения в четырех модах — спектральной, спектрополяриметрической, фотометрической и фотополяриметрической. Координато-чувствительный детектор с набором микроканальных пластин позволяет регистрировать флуктуации потоков от объектов и звезд сравнения одновременно в различных цветовых полосах и различных ориентациях плоскости поляризации. Система регистрации “Квантохрон 4-48” на линии с компьютером накапливает наблюдательные данные с временным разрешением 1 микросекунда. Обсуждаются методы анализа панорамных данных высокого временного разрешения.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение астрофизических процессов в экстремальных условиях высоких напряженностей гравитационных и магнитных полей, а также предельных плотностей вещества компактных объектов (белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр) требует наблюдений с высоким временным разрешением. Вследствие малых размеров областей генерации излучения ( $10^5 - 10^8$ ) см характерные длительности нестационарных процессов, в них протекающих, составляют ( $10^{-5} - 10^{-2}$ ) сек. Сами объекты обычно очень слабы в оптическом диапазоне (слабее 17 – 18 зв. вел.) и их наблюдения со стандартными фотометрами, снабженными диафрагмами, не позволяют достигнуть оптимальной величины отношения “сигнал - шум” [1, 2] — для этого необходимы панорамные детекторы. Они должны удовлетворять нескольким очевидным требованиям:

- позволять регистрировать отдельные фотоны;
- иметь достаточно высокий квантовый выход;
- обладать большим количеством элементов разрешения для одновременной регистрации опорных объектов и для реализации многоканальных наблюдений (многополосных, поляризационных, спектральных);
- позволять получать максимум данных (цветовых, поляризационных, спектральных) для каждого зарегистрированного фотона;
- использовать эффективную систему регистрации и накопления данных.

В настоящее время в мире существуют несколько комплексов, в которых в той или иной степени реализованы эти требования. Однако ни один не отвечает всем этим требованиям. Мы детально проанализировали характеристики разного рода детекторов для наблюдений с высоким временным разрешением (CCD, APD, TES) и пришли к выводу, что сейчас наилучшим из них является координатно-чувствительный детектор (КЧД или

\*E-mail: pvl@sao.ru

\*\*E-mail: beskin@sao.ru

\*\*\*E-mail: vgd@sao.ru

\*\*\*\*E-mail: karpov@sao.ru

\*\*\*\*\*E-mail: badjnda@gmail.com

\*\*\*\*\*E-mail: zoya@land.ru

\*\*\*\*\*E-mail: lapicon@mail.ru

\*\*\*\*\*E-mail: pavika@pochta.ru

PSD — Position Sensitive Detector) высокого временного разрешения [3, 4]. На его основе был создан панорамный фотометр высокого временного разрешения [5], с помощью которого было проведено успешное изучение пульсара в Крабе [6], мягкого репитера [7] и поиск одиночных черных дыр [8, 9].

На основании опыта работы с этим прибором была существенно модернизирована его конструкция. Создание КЧД нового поколения на основе арсенид-галлиевого фотокатода с квантовым выходом более 20% и высоким пространственным разрешением [4] дало возможность существенно повысить эффективность наблюдений и реализовать их спектральную моду.

В настоящей работе мы описываем новую версию панорамного фотоспектрополяриметра, его систему регистрации и накопления данных.

## 2. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Задачи астрономии высокого временного разрешения можно разделить на две группы — поисковые и исследовательские. В первом случае необходимо использовать приборы максимально упрощенной конструкции с минимальными потерями света. Для выполнения же наблюдений детального исследования нестационарных процессов необходимы инструменты с расширенными функциями, позволяющие получать максимум информации о каждом зарегистрированном фотоне. В силу этих соображений были созданы два панорамных прибора высокого временного разрешения — одноканальный фотополяриметр (BFPP — Bright Field Photo Polarimeter) и многомодовый панорамный фотоспектрополяриметр (MPPP — Multimode Panoramic PhotospectroPolarimeter).

На Рис. 1 приведена оптическая схема первого прибора.

В его состав входят следующие блоки:

- подвижное диагональное зеркало, перебивающее изображение поля зрения размером 6 мм (52" для 6-метрового телескопа) из фокальной плоскости телескопа на подсмотр (убирается из оптического пучка после наведения на исследуемую область);
- подсмотр, объектив которого формирует изображение поля на чипе TV CCD матрицы (Sony TC5101) с изменяемыми в диапазоне 0.4–40 сек экспозициями;

- линейка оптических фильтров, реализующих U, B, V, R — полосы, близкие к системе Джонсона (белым прямоугольником обозначено пустое окно);
- щель длиной 6 мм и шириной 0.5 мм (4".5 для 6-метрового телескопа), предназначенная для наблюдений при повышенной яркости фона и для поляриметрии;
- поляризатор — пластина Савара [10], поворачивающаяся на  $\pm 22^\circ.5$  вокруг оптической оси от среднего положения и разводящая пучки с перпендикулярными проекциями вектора поляризации на плоскости пластины на 0.6 мм (5".2 для 6-метрового телескопа);
- объектив ( $f=50$  мм,  $D=20$  мм) из линз, просветленных в УФ и синем диапазоне, с увеличением  $\times 3$ , формирующий изображение поля зрения на фотокатоде координатно-чувствительного детектора (PSD);
- фотоприемное устройство (PSD), состоящее из координатно-чувствительного детектора с входным окном 18 мм, холодильника, набора зарядовых усилителей и аналого-цифровых преобразователей (см. подробнее [4]);
- компьютер с регистрирующим устройством.

В качестве регистрирующего устройства используется преобразователь “время - код” “Квантохрон 4-48” [11] на линии с РС (о системе регистрации и накопления данных см. ниже).

Прибор был использован при поиске переменности с временным разрешением 1 мкс у еще обнаруженных в оптике релятивистских объектов SGR 1806-20 [7] и MACHO-99-BLG-22 [8] (см. вставку на Рис. 1). В последнем случае были получены верхние пределы как на амплитуду переменности, так и на полную светимость аккреционного гало вокруг возможной одиночной черной дыры — гравитационной линзы.

Блок-схема второго прибора, многомодового панорамного фотоспектрополяриметра, приведена на Рис. 2.

Перечислим основные элементы прибора.

*Блок фокальной плоскости* включает в себя:

- зеркальную щель, раздвигающуюся на ширину от 0.1 мм до 1.2 мм (0".9 – 10".5 для масштаба 6-метрового телескопа), имеющую квадратное в проекции на фокальную плоскость телескопа отверстие (10 × 10 мм), в котором установлена линза поля ( $D=9$  мм,

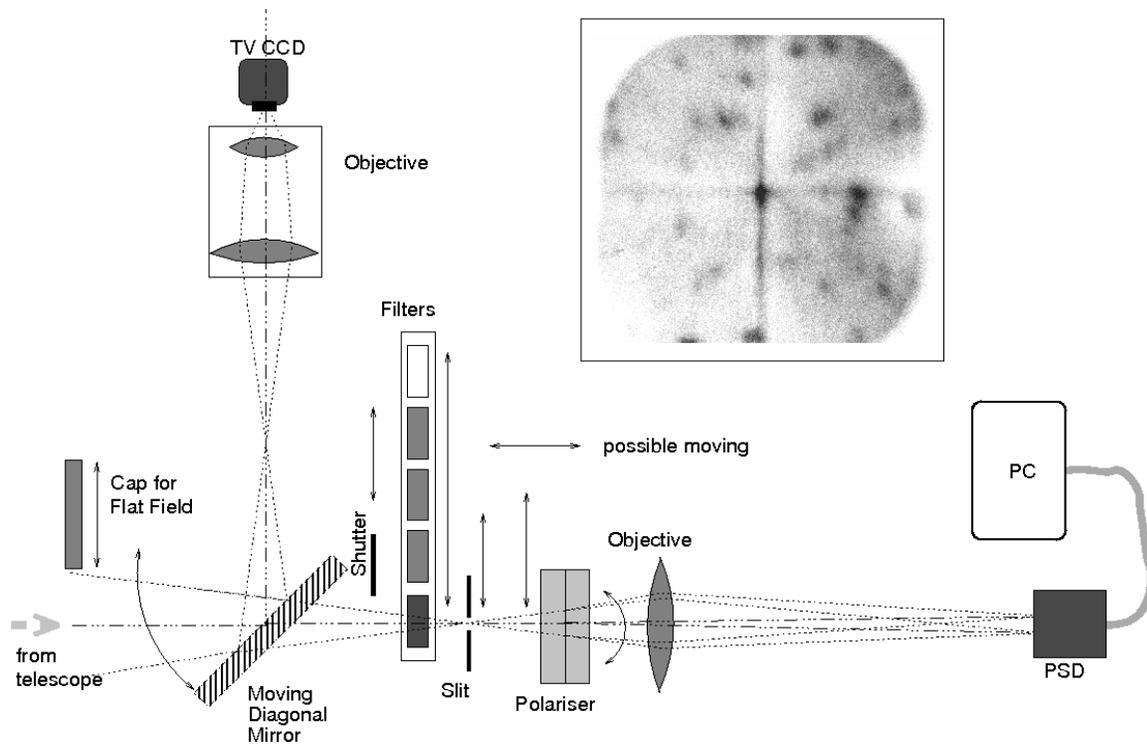


Рис. 1. Схема однополосного панорамного фотополариметра. Показано изображение поля MACHO-99-BLG-22, полученное в наблюдениях на БТА.

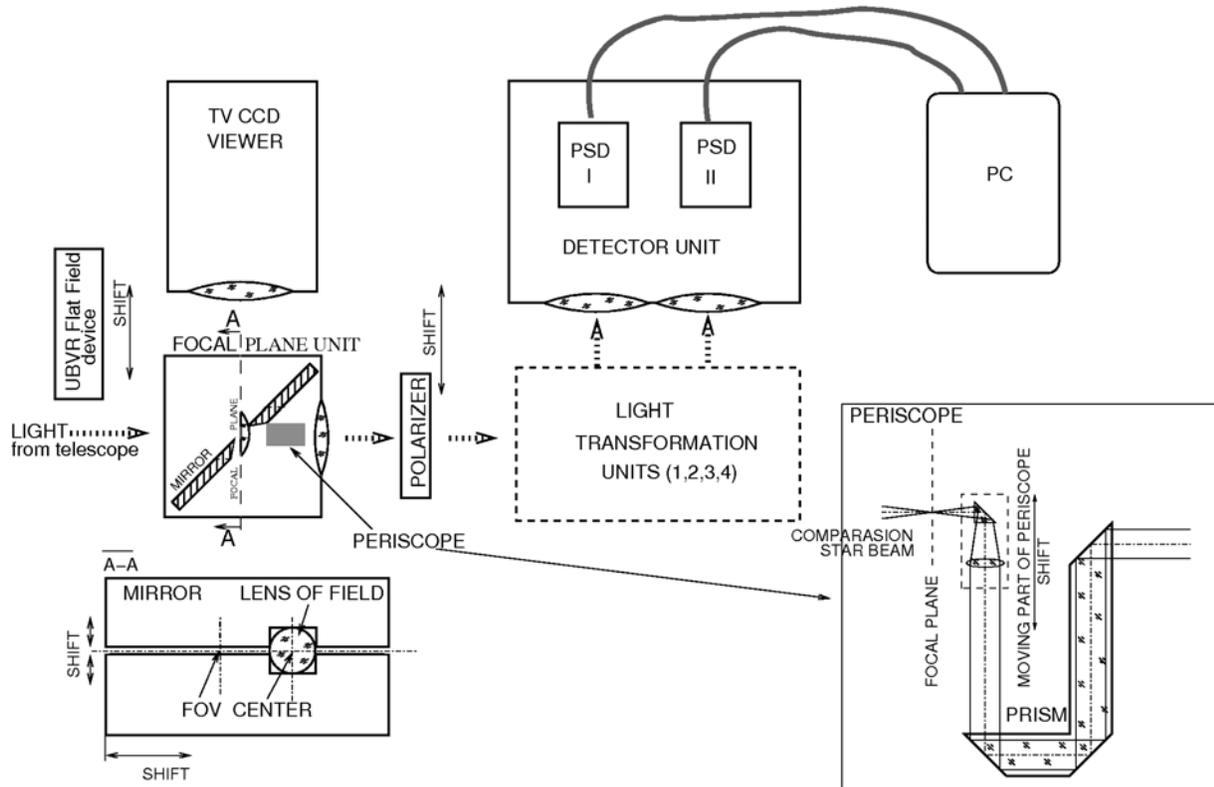


Рис. 2. Схема многомодового панорамного фотоспектрополариметра (МРПП).

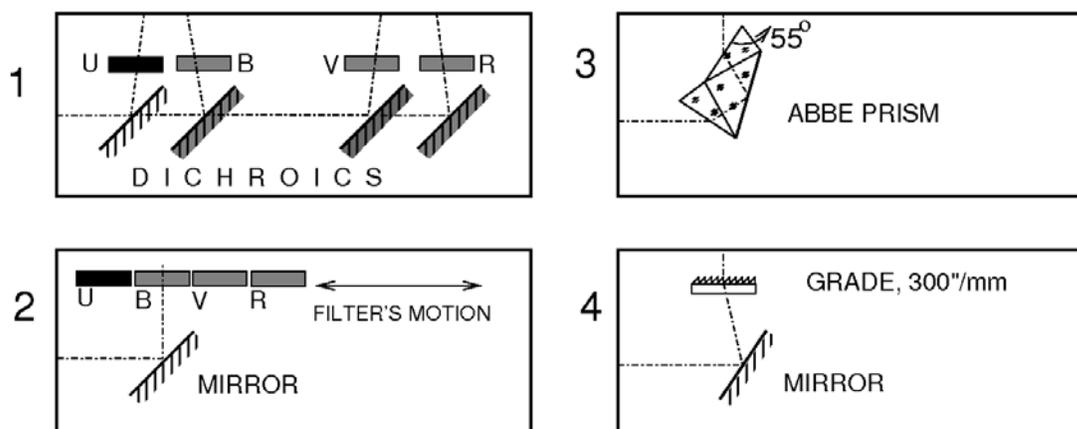


Рис. 3. Преобразователи излучения.

$f=50$  мм). Зеркало имеет два рабочих положения (Рис. 2, разрез А-А) — для наблюдений со щелью или линзой поля (малое и большое поля);

- просветленный двухлинзовый объектив ( $D=15$  мм,  $f=50$  мм), коллимирующий расходящийся осевой пучок;
- перископ (вставка на Рис. 2), установленный за щелью и переносящий фрагмент изображения площадки размером 2 мм ( $19''$ ) из фокальной плоскости телескопа на расстояние 12–40 мм от оптической оси, на катод КЧД;
- устройство калибровки на плоское поле в UVBR полосах (UVBR flat field device), представляющее собой белый экран на внутренней стороне крышки прибора, освещаемый через оптоволоконный кабель набором светодиодов, включаемых дистанционно;
- блок подзора, состоящий из TV CCD-матрицы (Sony TC5101) с объективом, формирующим изображение фокальной области размером  $17 \times 25$  мм ( $2'.5 \times 3'.5$  в масштабе 6-метрового телескопа), перемещающийся вдоль щели вплоть до расстояния в 40 мм от оптической оси. Экспозиция матрицы изменяется от 0.001 до 1000 сек;
- поляризатор, представляющий собой комбинацию призмы Волластона и ахроматической полуволновой фазосдвигающей пластины, перекрывающей половину сечения пучка и поворачивающей плоскость поляризации этой части потока излучения в пучке на  $45^\circ$ . При этом формируются четыре пучка с углами поворота плоскости поляризации (относительно главной плоскости призмы) 0,

45, 90 и  $135^\circ$  разнесенные по полю детектора, что позволяет одновременно измерять три параметра Стокса излучения объекта. В будущем планируется использование двойной призмы Волластона [12];

*Блок детекторов*, состоящий из двух взаимозаменяемых КЧД с фотокатодами S20 (КЧДИ) и GaAs (КЧДИІ), для регистрации фотонов “синей” и “красной” частей спектра; перед каждым КЧД установлен объектив, формирующий увеличенное в 3 раза фокальное изображение;

*Блоки преобразователей излучения* сменные, могут по очереди устанавливаться в центральном коробе на пути луча для изменения функции прибора, фотометрии или анализа спектров. Основные блоки показаны на Рис. 3:

- блок 1 — набор из 4-х дихроичных фильтров, отражающих излучение с длиной волны короче 3600, 5200, 6000 и 8000 Å соответственно; в сочетании с 4-мя дополнительными склейками цветных стекол они формируют спектральные полосы U, B, V и R, близкие к системе Джонсона; изображения в U и B полосах передаются на фотокатод КЧДИ, а в V и R полосах — на фотокатод КЧДИІ (Рис. 2);
- блок 2 — полностью отражающее диагональное зеркало в сочетании со сменными U, B, V, R фильтрами проектирует изображение в одной из полос на один из КЧД (на Рис. 2 — PSD I);
- блок 3 — призма Аббе, формирующая спектр длиной 5 мм в диапазоне  $(4000-8000)$  Å (при ширине щели диагонального зеркала 0.1 мм реализуется

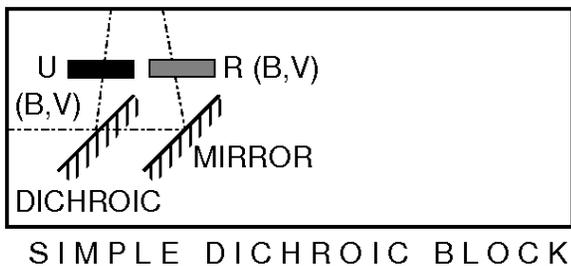


Рис. 4. Упрощенный блок цветоделителей для одновременных наблюдений в цветовых полосах U и R.

спектральное разрешение  $240 \text{ \AA}/\text{элемент}$ ), который проектируется также на один КЧД;

- блок 4 — прозрачная решетка ( $300$  штрихов/мм), формирующая спектр длиной около  $20$  мм в диапазоне  $(4000-8000) \text{ \AA}$  (при минимальной ширине щели  $0.1$  мм разрешение —  $60 \text{ \AA}/\text{элемент}$ );

Прибор может использоваться в упрощенном варианте для работы с одним детектором. В этом случае с помощью одного из трех дихроичных фильтров и стеклянного фильтра формируется изображение в одной из полос (U, B, V), а с помощью диагонального зеркала и стеклянного фильтра — в другой (B, V, R), как, например, показано на Рис. 4.

На Рис. 5 приведен общий вид многомодового панорамного фотоспектрополяриметра (МРРР).

Сделаем несколько поясняющих замечаний к Рис. 5. В блоки детекторов входят фотоприемные устройства, состоящие из КЧД, вмонтированных в камеры с холодильниками, зарядовыми усилителями, аналого-цифровыми преобразователями и источниками питания [4]. Блок управления использует РС-контроллер для опроса датчиков состояния узлов прибора и передачи сигналов на 10 двигателей подвижных элементов под управлением компьютера.

Прибор рассчитан на работу с детектором, имеющим фотокатод до  $25$  мм в диаметре, что при трёхкратном увеличении изображения в оптической схеме соответствует полю зрения  $8$  мм или  $90''$  в первичном фокусе БТА. В настоящее время используется детектор с диаметром фотокатода около  $15$  мм, что соответствует полю зрения  $50''$  при наблюдениях в широкопольном варианте. В других вариантах размер поля задается апертурной диафрагмой, меняющейся в пределах от  $1'' \times 14''$  до  $10'' \times 14''$ .

Управление приборами осуществляется с помощью специализированного графического интерфейса.

### 3. СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ

Для регистрации данных в МРРР используется преобразователь “время - код” “Квантохрон 4-48”, определяющий, упорядочивающий и накапливающий характеристики потока фотонов [11]. Этот прибор является развитием систем накопления данных, описанных в работах [13–15]. Основным его элементом является микросхема SPARTAN XCS40XL\_4PQ240C FPGA (Field Programmable Gate Arrays). Прибор, являющийся интерфейсом между КЧД и компьютером, изготовлен в виде РСІ-карты, устанавливаемой в стандартный компьютер типа Pentium III или Pentium IV. Конфигурационный код работы “Квантохрона 4-48” написан на языке VHDL проектирования логических матриц.

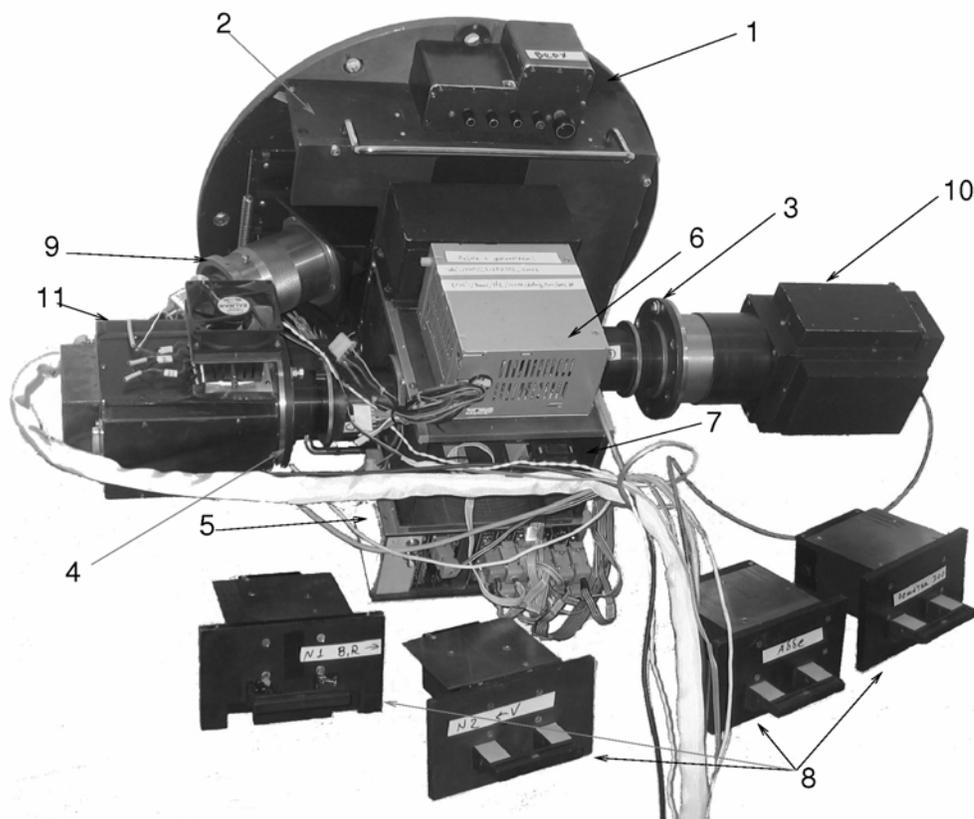
Главные характеристики “Квантохрона 4-48”:

- точность измерения моментов времени регистрации фотонов —  $30$  нс;
- мёртвое время системы —  $30$  нс;
- предельный поток отсчетов, регистрируемый без потерь —  $10^6$  фотоотсчетов/сек;
- размерность входящих кодов —  $48$ .

Схема взаимосвязи компонент в аппаратурном комплексе показана на Рис. 6.

В процессе наблюдений КЧД формирует последовательность  $40$ -разрядных кодов, соответствующих координатам каждого зарегистрированного фотона. Эти коды поступают в “Квантохрон” по  $48$ -разрядной стробируемой линии. Для измерения времени регистрации используются три счетчика пульсов различных частот —  $1$  Гц (pps, секундный счетчик),  $10$  кГц (тактовый счетчик) и  $33$  МГц (нониусный счетчик). Первые два сигнала подаются от GPS, последний — от РСІ-шины. Нониусный  $12$ -разрядный отсчет времени добавляется к  $48$  разрядам координат, дополняя их до  $64$ -разрядного кода. Набор последних запоминается во внутренней FIFO-памяти “Квантохрона” и порциями по  $32$  разряда считывается компьютером. Каждый приём данных начинается после прихода сигнала pps и длится одну секунду.

Для обеспечения непрерывности приема данных на протяжении сколь угодно длительного времени используются два идентичных “Квантохрона”, установленные в двух компьютерах, работающих в режиме flip-flop, — когда один принимает отсчёты, второй по межкомпьютерной сети передает ранее принятые данные в компьютер управления. Если используются два КЧД одновременно, то их коды



**Рис. 5.** Общий вид фотоспектрополяриметра. фланец для установки на телескопе: 1 — блок фокальной плоскости; 2 — фланец для установки КЧД I; 3 — фланец для установки КЧД II; 4 — блок контроля состояния детекторов и управления подвижными элементами; 5 — источник питания; 6 — оправа для сменных блоков преобразования излучения; 7 — короб для сменных блоков преобразователей излучения; 8 — блоки преобразования излучения; 9 — TV-CCD подсмотр; 10 — КЧД I; 11 — КЧД II.

смешиваются в специальном мультиплексоре (2 на Рис.6), приписывающем каждому событию номер принявшего его детектора.

Типичный объем накопленных данных за одну наблюдательную ночь составляет несколько гигабайт.

Временное разрешение комплекса и точность привязки моментов регистрации фотонов к мировому времени составляет 1 мкс.

#### 4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдательные данные сохраняются в собственном бинарном формате, содержащем информацию о времени прихода каждого кванта, а также зарядах на отдельных электродах коллектора КЧД. Величины этих зарядов позволяют определять координаты события на фотокатоде с коррекцией электронных искажений, вносимых КЧД.

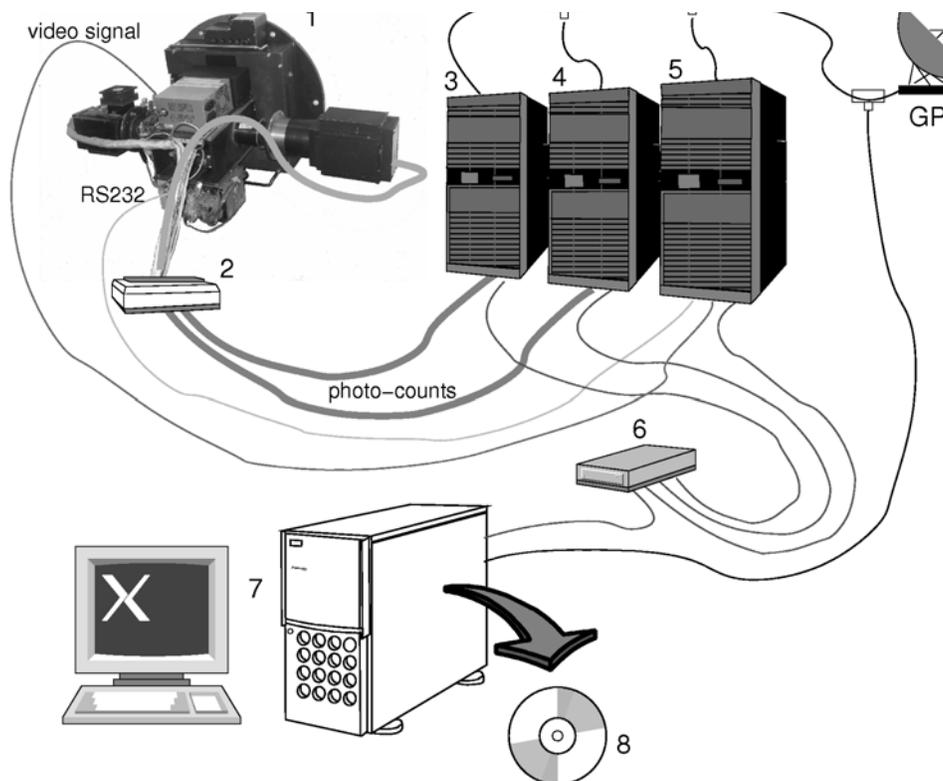
На этапе первичной обработки данные преобразуются в, так называемый, фотонный лист, содержащий моменты времен и координаты прихода

квантов. Благодаря использованию системы глобального позиционирования GPS для абсолютной временной привязки, моменты прихода в дальнейшем могут быть скорректированы к барицентру Солнечной системы, что позволяет использовать их для изучения строго периодических сигналов от астрофизических объектов (радиопульсаров, белых карликов и т.д.).

Использование фотонного листа дает возможность как производить стандартные процедуры анализа астрономических изображений (фотометрию и астрометрию), так и проводить изучение последовательности моментов регистрации фотонов.

Для выделения информации, относящейся к отдельным объектам в поле зрения МРРР, проводится пространственная фильтрация фотонного листа — наложение маски, сформированной по анализу суммарного изображения, полученного за время полной экспозиции.

В фотонных листах компенсируются искажения координат отдельных фотонов объекта, обусловленных внешними причинами, ухудшающими ка-



**Рис. 6.** Схема наблюдательного комплекса 1 — многомодовый панорамный фотоспектрополяриметр (MPPP); 2 — мультиплексор потоков данных; 3, 4 — компьютеры приема данных с “Квантохронами 4-48” на PCI-шине; 5 — компьютер TV подзора и управления кинематикой; 6 — локальный сетевой переключатель; 7 — компьютер управления; 8 — накопленные данные.

чество изображения (атмосферное дрожание, плохое ведение телескопа, поворот поля и так далее). Для этого строится набор изображений с короткими экспозициями, которые, тем не менее, должны содержать достаточное число квантов от объекта. В каждом из таких кадров определяется положение объекта либо опорной звезды в кадре, интерполируется кривая отклонений координат от средних значений на моменты прихода отдельных квантов и проводится соответствующая коррекция их координат (см., например, Рис. 7).

Скорректированные фотонные листы могут обрабатываться любым из стандартных методов, в число которых входят построение и анализ кривых блеска с произвольным шагом, исследование статистики интервалов между событиями [7, 15, 16], свертка с предполагаемой моделью сигнала для периодических процессов [7, 15].

В качестве иллюстрации на Рис. 8 приведены изображения, полученные на КЧД в разных модах работы фотоспектрополяриметра.

Для изучения переменности астрофизических объектов с более высоким спектральным разрешением можно устанавливать КЧД в фокальной плоскости штатных спектрографов БТА, имеющих вынос фокуса более 40 мм.

## 5. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ MPPP И ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Оптические компоненты MPPP имеют простой состав и работают в параллельных пучках. Общая пропускная способность прибора определяется пропускной способностью всех его компонент, причем параметры фильтров измерены в лаборатории, а оценки пропусканий всех остальных элементов взяты из справочника. В широкопольном режиме используются пять компонент (см. Рис. 2 и 3):

- (1) тонкая двухлинзовая склейка входного объектива с непросветленными поверхностями (кварц + ЛК7) имеет коэффициент пропускания около 0.9 во всем используемом нами диапазоне длин волн;
- (2) тонкая кварцевая линза поля с коэффициентом пропускания 0.9;
- (3) алюминированное зеркало с защитным слоем — отражение 0.9;
- (4) набор UBVR-фильтров, кривые пропускания которых приведены на Рис.9;

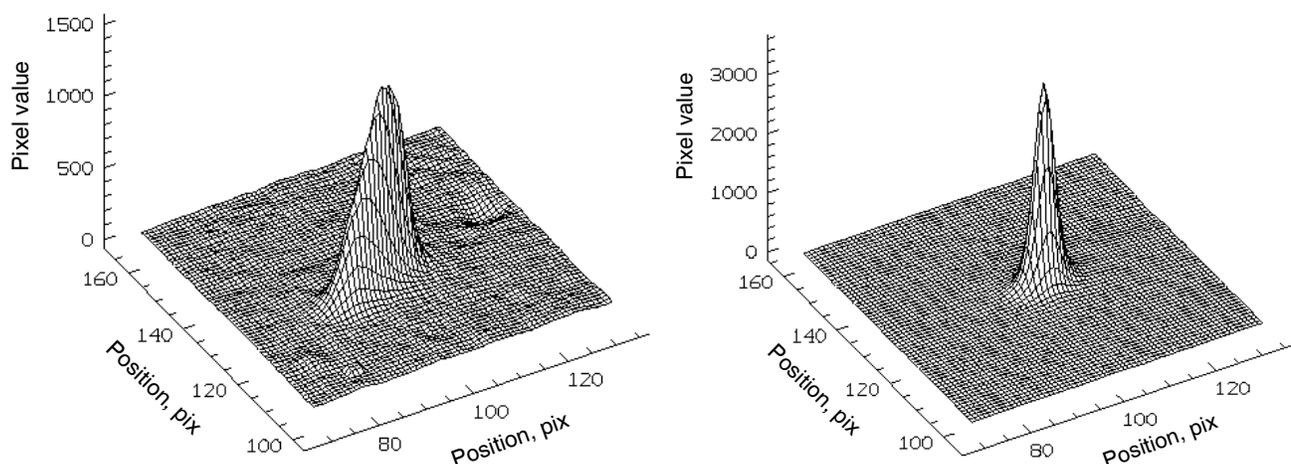


Рис. 7. Вариант применения процедуры компенсации атмосферных искажений при наблюдениях HZ Her.

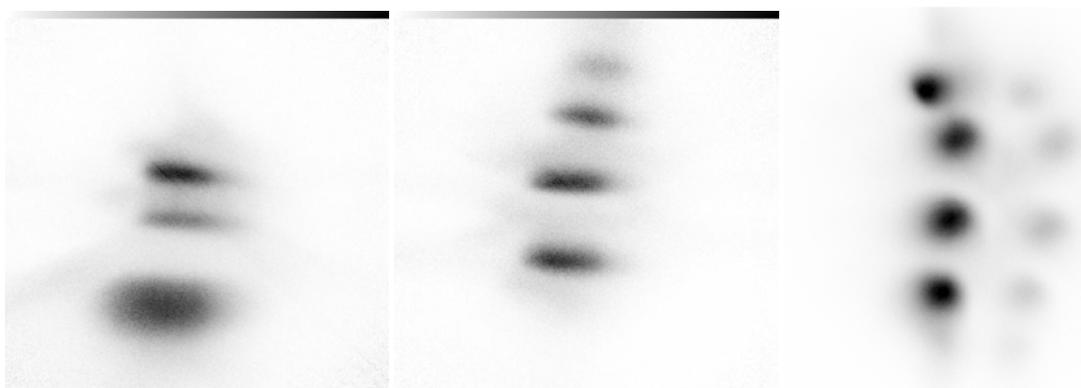


Рис. 8. Поле зрения МРРР в различных модах (слева направо): — спектральной (низкодисперсные спектры пульсара в Крабе, соседней звезды и туманности расположены сверху вниз соответственно); спектрополяриметрической (снизу вверх четыре спектра звезды с плоскостями поляризации, повернутыми на 0, 90, 45 и 135° соответственно); фотополяриметрической, изображения получены в U (справа) и R (слева) полосах и 4-х углах поляризации, 0, 90, 45 и 135°, снизу вверх. В спектрах длина волны растет слева направо.

(5) объектив выходной камеры, состоящий из одной кварцевой линзы, просветленной для синего диапазона, с пропусканием, изменяющимся от 0.98 на длине волны 3300 Å до 0.87 на 6000 Å.

UBVR-фильтры сформированы из цветных оптических стекол (ГОСТ 9411-74), как показано в Таблице.

Кривые пропускания в широкополной моде приведены на Рис.9. Результирующие прозрачности фотометра в полосах U, B, V, R с учетом потерь на отражение на всех оптических поверхностях — 35, 53, 45 и 47%.

Полная эффективность МРРР с арсенид-галлиевым КЧД в широкополной моде — 3, 7, 10 и 11% ( в тех же полосах).

Таблица. Состав фильтров для 4-х фотометрических полос. В скобках указаны толщины цветных стекол в мм

U	B	V	R
УФС-2 (1.0)	СС-5 (1.0)	ЖС-17 (1.0)	ОС-14 (1.0)
СЗС-21 (3.1)	СЗС-21 (3.6)	СЗС-21 (3.6)	СЗС-26 (3.6)

Фотометрия на БТА объекта USNO-B1.0 1049-0254100 (GSC2.3 N30S008488), проведенная 22–23 июля 2007 года, дала близкие значения суммарной эффективности прибора в BVR-фильтрах: 7.1, 6.8 и 10%.

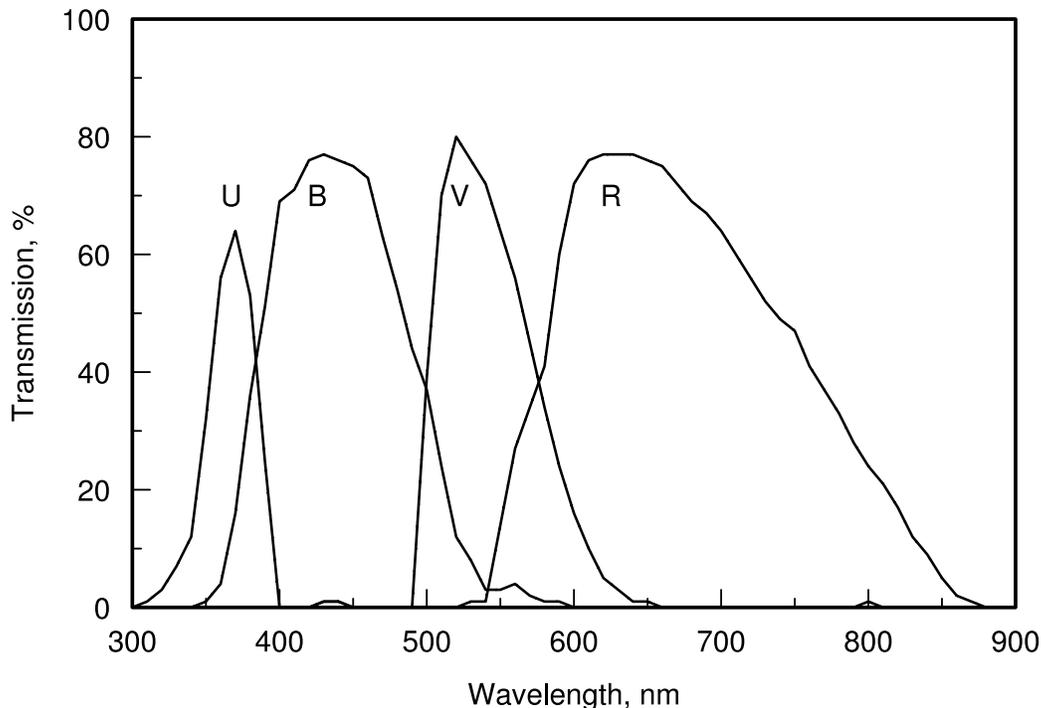


Рис. 9. Кривые спектрального пропускания стеклянных фильтров.

MPPP позволяет исследовать переменность астрономических объектов в диапазоне от 1 мкс (мертвое время КЧД) до полного времени накопления данных. Точность измерений параметров зарегистрированного излучения близка к математически ожидаемой (пуассоновской) практически при любых его интенсивностях. При плохих погодных условиях точность зависит от нестабильности атмосферы, не всегда компенсируемой при анализе данных. Например, пределы на амплитуду переменной компоненты излучения кандидата в черные дыры объекта MACHO-99-BLG-22, полученные в наблюдениях с фотометрическим комплексом, составили 4% в диапазоне (1.0–0.1)сек и 50% в диапазоне ( $10^{-4} - 10^{-5}$ ) сек [17].

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

MPPP используется в регулярных наблюдениях на 6-м телескопе для исследования быстропротекающих процессов в самых разных объектах, от кандидатов в одиночные черные дыры, до вспыхивающих звезд. В настоящее время комплекс позволяет изучать переменности интенсивности, спектра и поляризации астрономических объектов в диапазоне (13–22)<sup>m</sup> с временным разрешением около 1 микросекунды.

В ближайшее время мы планируем улучшить временные характеристики детектора и автоматизировать процесс смены блоков трансформации света во время наблюдений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Эта работа была поддержана INTAS (грант №04-78-7366), РФФИ (грант №04-02-17555) и фондом поддержки научных программ Президиума Российской Академии Наук. Авторы выражают благодарность Е. Перепелицину, Ю. Мамаеву, Г. Чунтонову, В. Мурзину и Т. Туполовой за содействие и большую помощь в выполнении работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Beskin et al., *Experimental Astronomy* 7, 413 (1997).
2. G. Beskin, V. Plokhotnichenko, V. Debur, and S. Karpov, in *Proceedings of the IAU Symposium №238*, Ed. by V. Karas and G. Matt, p.391 (2007).
3. V. G. Debur et al., *NIM Elsevier A* 513, 127 (2003).
4. В. де-Бур и др. (в печати).
5. V. Plokhotnichenko et al., *NIM Elsevier A* 513, 167 (2003).
6. S. Karpov, G. Beskin, V. Debur, and V. Plokhotnichenko, *Astrophys. and Space Sci.* 308, 595 (2007).
7. G. Beskin et al., *Astrophys. and Space Sci.* 308, 477 (2007).
8. G. Beskin, S. Karpov, in *Proceedings of IAU Symposium №238*, Ed. by V. Karas and G. Matt, p.159, (2007).
9. G. Beskin et al., astro-ph/0709.2552.

10. M. Born and E. Wolf, *Principles of optics. Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. (Pergamon Press, Oxford, 1980).
11. В. Плохотниченко, А. Солин и А. Тихонов, *Астрофизический бюллетень* **64**, 198 (2009).
12. E. Oliva, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **123**, 589 (1997).
13. A. Zhuravkov, A. Pimonov, and V. Plokhotnichenko, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **37**, 159 (1994).
14. А. В. Журавков и В. Л. Плохотниченко, ВНИИГ-ПЭ, регистр. №МКИ G04F 10/04, 1991г.
15. В. Л. Плохотниченко, Кандидатская диссертация по математике и физике (САО, Нижний Архыз, 1992).
16. V. Shvartsman et al., *Soobsh. SAO* **19**, 39 (1977).
17. С. В. Карпов, Кандидатская диссертация по математике и физике (САО, Нижний Архыз, 2007).

## HIGH-TEMPORAL RESOLUTION MULTIMODE PHOTOSPECTROPOLARIMETER

**V.L. Plokhotnichenko, G.M. Beskin, V.G. de Bur, S.V Karpov, D.A. Bad'in, Z.V.Lyubetskaya, A.P. Lyubetskij, V.V. Pavlova**

A hardware and software complex of the MANIA experiment designed to search for and study the photometric variability of astrophysical objects with a temporal resolution of  $10^{-6}$  s is described. The panoramic photospectropolarimeter uses interchangeable optical units, which allow the observations to be performed in four modes—spectroscopic, spectropolarimetric, photometric, and polarimetric. A coordinate-sensitive detector equipped with a set of microchannel plates is capable of recording flux fluctuations from objects and comparison stars simultaneously in different photometric bands and in different polarization planes. The Quantochron 4-48 data acquisition facility operating on line with a computer acquires observational data with a temporal resolution of 1 microsecond. The methods of analysis of panoramic data with high temporal resolution are discussed.

*Key words: methods of astronomical observations, equipment and instruments*