

## Поиск оптических сигналов ВЦ в САО — прошлое, настоящее, будущее

Г. Бескин<sup>1</sup>, В. де-Бур<sup>1</sup>, С. Карпов<sup>1</sup>, В. Плохотниченко<sup>1</sup>, С. Бондарь<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт прецизионного приборостроения РКА, г. Москва

Приведен обзор методов и результатов, использовавшихся и полученных в эксперименте МАНИЯ при поиске сверхбыстрой переменности астрономических объектов как естественного, так и искусственного происхождения. Обсуждается современное состояние методики и аппаратуры для астрофизических исследований с высоким временным разрешением. В частности, приводятся результаты наблюдений с панорамными детекторами, регистрирующими отдельные фотоны и параметры нового поколения этих приемников. Проанализированы различные модификации методов поиска сигналов ВЦ при мониторинге широких полей. В качестве перспективы для оптического SETI предложен проект системы из многих оптических телескопов умеренных размеров. Этот комплекс позволит обнаруживать не только переменные сигналы от источников неизвестной локализации, но и детально исследовать уже обнаруженные точечные оптические объекты.

**SEARCH FOR OPTICAL SIGNALS FROM EXTRATERRESTRIAL CIVILIZATIONS IN SAO: PAST, PRESENT AND FUTURE, by G.Beskin, V.de-Bur, S.Karpov, V.Plokhotnichenko, S.Bondar'.** We present review of methods and the results used and received in experiment MANIA by search of superfast variability of astronomical objects both natural, and an artificial origin. We discuss the modern condition of a technique and the equipment for astrophysical researches with the high time resolution. In particular, we present results of observations with the panoramic detectors registering separate photons, and parameters of new generation of these receivers. We analyze various modifications of searching methods for signals from ETI at wide fields monitoring. As prospect for optical SETI we offer the project of system from many optical telescopes of the moderate sizes. This complex will allow not only finding out variable signals from sources of unknown localization, but also to investigate in details already finding out pointlike optical objects.

Поиск сигналов ВЦ в оптическом диапазоне начинался в рамках эксперимента МАНИЯ (Многоканальный Анализ Наносекундных Изменений Яркости) (Шварцман В., 1977; Шварцман и др., 1993). Главная задача эксперимента — поиск и исследование релятивистских объектов с высоким временным разрешением. Речь идет об изучении экстремальных свойств черных дыр, пульсаров, рентгеновских двойных, гамма-всплесков, — словом, различного рода объектов, с предельно высокими плотностями энергии, малыми размерами, высокой степенью нестационарности, а также высокой плотностью информации. В последнем случае имеются в виду искусственные переменные источники, т. е. передатчики внеземных цивилизаций. Эксперимент был начат в 70-х годах В. Шварцманом, который, разрабатывая стратегию

изучения быстрой переменности релятивистских объектов, изначально планировал и поиски сигналов ВЦ. Конечно, прежде всего лазерных сигналов, для обнаружения которых необходимы наблюдения с предельно высоким временным разрешением (Таунс и Шварц, 1961; Шварцман и др., 1993).

Исследования в рамках нашей программы и в том числе оптические поиски внеземных цивилизаций, можно разделить на три этапа. На первом (1972–1995 гг.) мы использовали классические ФЭУ в качестве детекторов и фотометры с диафрагмами, однополосные или многополосные (Шварцман и др., 1993; Бескин и др., 1997). Каждый ФЭУ принимает поток фотонов, который специальным преобразователем “время–код” “Квантохрон” (Журавков и др., 1994) трансформирует

ся в последовательность закодированных моментов времени регистрации каждого отдельного фотона. Затем этот набор кодов поступает в компьютер, накапливается на жестком диске и анализируется. При этом использовались различного рода методы, в том числе и специально разработанные в рамках эксперимента, — построение кривых блеска, спектров мощности, интервальный и дисперсионный анализ (Шварцман В., 1977; Плохотниченко В., 1983). На рис. ?? показана структура аппаратного комплекса на первом этапе эксперимента МАНИЯ. С его помощью были проведены исследования вспышечной активности нескольких звезд типа UV Cet (Бескин др., 1988; Шварцман и др., 1988), обнаружена быстрая переменность у некоторых маломассивных рентгеновских двойных (Бескин и др., 1994; Шварцман и др., 1989а), изучена регулярная тонкая структура кривой блеска и вариации цвета в разных фазах периода у пульсара в Крабовидной туманности (Бескин и др., 1983; Бескин и др., 2000) (рис. ??).

Эта же аппаратура использовалась при наблюдении нескольких десятков объектов, представляющих интерес в рамках проблемы SETI. Разумеется, прежде всего солнцеподобных звезд, — здесь речь идет о поисках сигналов непосредственно из зон возможного обитания ВЦ. Другой класс — оптические объекты, в спектрах которых отсутствуют линии — возможные маяки внеземных цивилизаций, вынесенные за пределы зон их обитания. Таких источников известно немного, всего две-три сотни. К ним относятся радиоисточники с континуальными оптическими спектрами (РОКОСы), подвид блазаров (Пустильник С., 1977), и ДС-карлики — белые карлики, в спектрах которых нет линий (Бескин и Митронова, 1991). Подчеркнем, что эти объекты по совокупности признаков являются и кандидатами в одиночные черные дыры звездных масс (Шварцман В., 1977). Таким образом, результаты поисков переменности их излучения можно интерпретировать в рамках предположений как о ее естественном (вспышки в аккрецирующей плазме) (Шварцман и др., 1989b; Шварцман и др., 1989с), так и искусственном (сигналы ВЦ) (Шварцман и др., 1993) происхождении.

Были проведены исследования приблизительно 70 объектов, для которых получены верхние пределы на относительную мощность переменной компоненты излучения, в диапазоне времен от  $5 \times 10^{-7}$  до 100 секунд. Эти пределы зависят от типа вспышек — для редких событий они лучше, для частых — хуже. Они относятся как к мощности несущего лазерного излучения (статистика которого в некоторых модах отличается от пуассоновской), так и к собственно переменной компоненте, содержащей информацию искусственно-

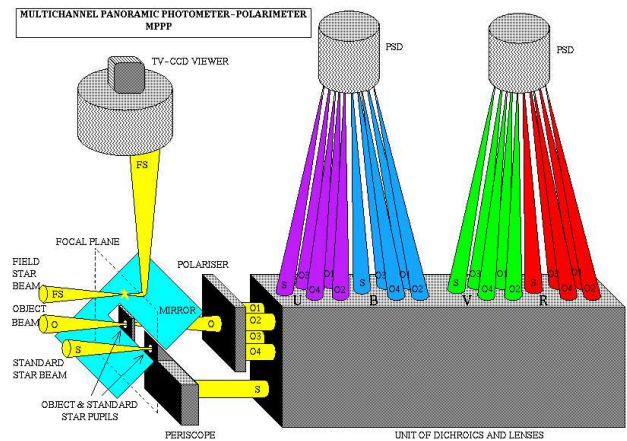


Рис. 1: Оптическая схема многоканального фотополяриметра (МРРР) на базе двух координатно-чувствительных детекторов.

го характера. Необходимо отметить, что объекты, наблюдавшиеся на первом этапе эксперимента, были ярче 18 зв. величины (для 6-метрового телескопа). Это ограничение связано с необходимостью использования диафрагмы существенных размеров ( $> 5''$ ), что позволяло достаточно точно центрировать изображение звезды и сводить к минимуму переменность, обусловленную их дрожанием.

В девяностых годах появились возможности для исследований более слабых объектов с использованием координатно-чувствительных детекторов (КЧД), регистрирующих отдельные фотоны (Фирмани и др., 1984). В этих приемниках фотоны, попав на стандартный фотокатод, вырывают фотоэлектроны, размножающиеся в блоке микроканальных пластин, на выходе которого формируется лавина уже из  $10^3 - 10^7$  электронов. Последняя приходит на коллектор, состоящий из определенного числа электродов (вплоть до нескольких десятков). Попавшие на каждый из них части заряда лавины усиливаются и измеряются с большой точностью. Соотношение между этими зарядами определяет положение центра лавины, а следовательно, координаты зарегистрированного фотона. Пространственное разрешение КЧД составляет 10–70 микрон при числе элементов до  $10^6$  и временном разрешении 0.1–1 микросекунда, а чувствительность определяется квантовым выходом фотокатода и в оптическом диапазоне, как правило, не превышает 10% (Фирмани и др., 1984; Каллам М., 1990; де-Бур и др., 2003; Вестранд и др., 2003).

На основе такого КЧД нами был сконструирован многоканальный панорамный фотометр-поляриметр (МРРР) (Плохотниченко и др., 2003), который с 2000 г. регулярно используется в наблю-

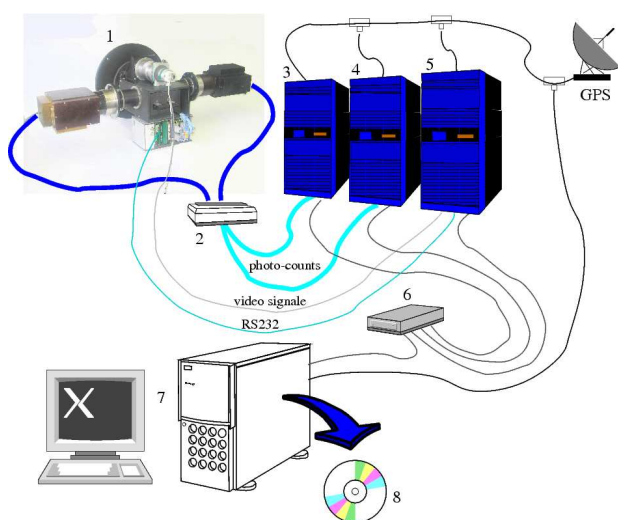


Рис. 2: Наблюдательный комплекс эксперимента МАНИЯ (современный этап). 1 — многоцветный фотометр-поляриметр (MPPP), 2 — коммутатор пуассоновских потоков, 3, 4, 5 — компьютерный кластер для управления фотометром и сбора данных, 6 — переключатель компьютерной сети (Switch), 7 — компьютер астронома-наблюдателя, 8 — DVD носитель.

дениях на 6-метровом телескопе. Этот прибор позволяет изучать объекты с блеском вплоть до 20–22 звездной величины (в 5–40 раз слабее, чем прежде), поскольку работа с изображениями, как и в ПЗС-матрицах, приводит к существенному улучшению отношения “сигнал-шум”. Собственно эти изменения и составляют особенность второго (текущего) этапа эксперимента МАНИЯ. На рис. 1 показана блок-схема прибора, в котором используются два КЧД для одновременных наблюдений в нескольких цветовых полосах и измерения линейной поляризации — мгновенных значений трех параметров Стокса. Изображения объекта и звезды сравниваются с окружающими их областями неба центрируются в относительно больших диафрагмах диаметром 15–20 угловых секунд. Затем излучение поля объекта после расщепления поляризатором на четыре изображения с разными ориентациями плоскости поляризации, а поля звезды сравнения — непосредственно, разделяется с помощью блока дихроиков на UVVR-полосы и попадает на фотокатоды двух КЧД. В конечном итоге фотоны, формирующие 16 изображений поля объекта и 4 — поля звезды сравнения, с временным разрешением 1 микросекунда регистрируются преобразователем “время-код” “Квантохрон” (Журавков и др., 1994) и информация о них сохраняется в долговременной памяти РС. Схема наблюдательного комплекса показана на рис. 2. Отметим, что на-

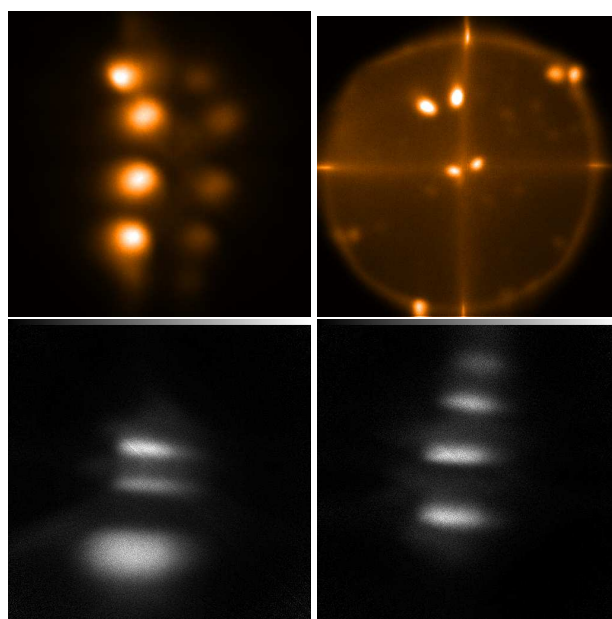


Рис. 3: Вид поля зрения MPPP в различных режимах наблюдений — многоцветном, панорамном поляриметрическом, спектральном и спектрополяриметрическом.

блюдения могут проводиться в различных модах — однополосной широкопольной (с одним из фильтров в поле зрения диаметром 1 угловая минута) с измерением и без измерения линейной поляризации, фотометрической и фотополяриметрической с меньшим числом полос, спектральной и спектрополяриметрической в диапазоне 4000–7000Å и разрешением около 50Å (рис. 3).

Ниже приведены результаты наблюдений некоторых объектов на 6-метровом телескопе. На рис. 4 проиллюстрированы исследования пульсара в Крабовидной туманности в широкопольной однополосной фотополяриметрической моде. Здесь показаны изображения пульсара и его звезды-соседки в разных фазах пульсарного периода, эта же пара — при двух ориентациях главной плоскости поляризатора и, наконец, зависимость трех показателей цвета от фазы периода (регистрация излучения объекта проводилась последовательно в BVR-полосах).

Поле Ser X-1, знаменитого рентгеновского барстера с блеском в В-полосе около 19 звездной величины, изображено на рис. 5. На расстоянии в одну угловую секунду от объекта расположена звезда, на величину более яркая. Ясно, что по этой причине использование в наблюдениях стандартного фотометра с диафрагмами не может быть эффективным даже при секундных изображениях. В то же время панорамная система дает возможность отделить фотоны собственно объекта Ser X-1 от

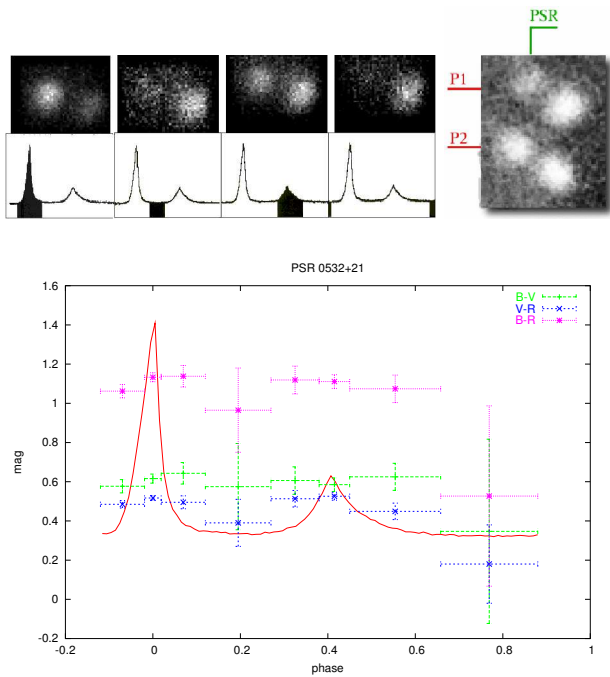


Рис. 4: Изображения пульсара в Крабовидной туманности и звезды-соседки в различных фазах периода и с различными положениями поляризатора (вверху); зависимость показателей цвета от фазы (внизу).

излучения более яркой звезды-соседки и получить ограничения на переменную компоненту его блеска (см. рис. 5). Предел в этих наблюдениях составил около 22 звездной величины за время экспозиции 40 минут.

На рис. 6 приведены результаты поиска черной дыры в области локализации одного из МАСНО объектов большой длительности (Беннет и др., 2002). На 6-метровом телескопе была проведена панорамная фотометрия в полосе В при зенитном расстоянии 75 градусов. Тем не менее качество изображений было не хуже одной угловой секунды, что позволило за 20 минут экспозиции получить предел около 21 звездной величины и вразумительные ограничения на мощность вспышек с характерными временами 10 мкс – 10 с. На основе результатов этих наблюдений были сделаны выводы о массе вероятной черной дыры-гравитационной линзы и расстоянии до нее (Бескин и др., 2006).

В последние годы начаты исследования новой генерации РОКОСов, в основном имеющих блеск слабее 19-ой звездной величины. Эти объекты могут оказаться как одиночными черными дырами, так и маяками ВЦ. Они отобраны по данным кросс-идентификации ряда радио, рентгеновских и оптических обзоров (Царевский и др., 2005).

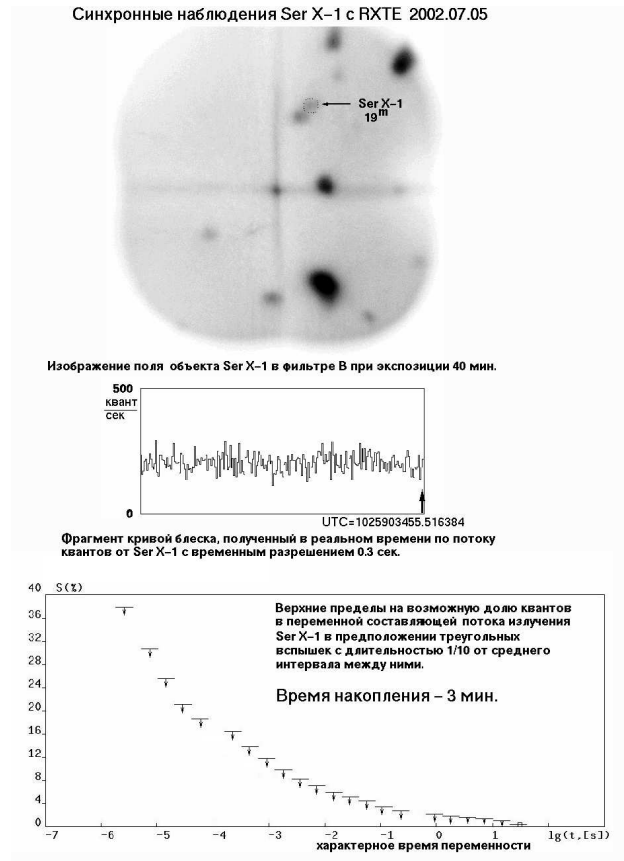


Рис. 5: Результаты наблюдений рентгеновского барстера Ser X-1 на 6-м телескопе.

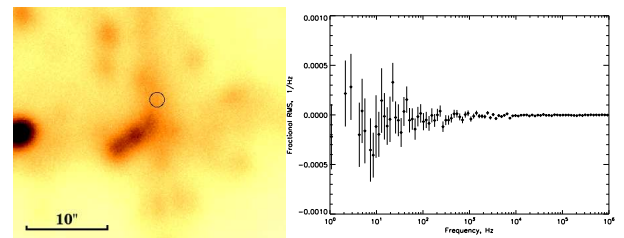


Рис. 6: Результаты наблюдений кандидата в одиночные черные дыры MACSO-99-BLG-22 на 6-м телескопе.

Вот тот методический этап, на котором мы сейчас находимся, в изучении объектов известной локализации, которые по тем или иным соображениям должны быть целями для поисков сигналов от внеземных цивилизаций.

В течение последних нескольких лет мы начали использовать новую стратегию — поиск коротких вспышек в широких полях от объектов а priori неизвестной локализации. В первоначальном виде она предназначалась для обнаружения и исследования оптического излучения, сопровождающего гамма-всплески, независимо от информации



Рис. 7: Солнечный концентратор *PETAL*.

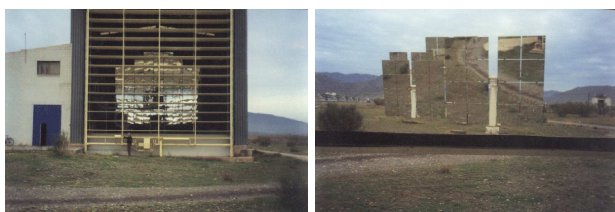


Рис. 8: Солнечный концентратор *PSA*.

с гамма-телескопов. Ясно, что речь должна идти о мониторинге достаточно больших областей неба (сравнимых с полями зрения гамма-телескопов, составляющими десятки градусов). При этом аппаратура, используемая для наблюдений, должна иметь высокое временное разрешение, поскольку сами гамма-всплески имеют секундные длительности, да еще и обладают тонкой временной структурой вплоть до миллисекунд. Прежде всего предлагалось использовать для мониторинга инструменты с зеркалами “плохого” качества, обладающие, однако, большими размерами (10–20 метров) и полями зрения (5–10 градусов) при низком пространственном разрешении (5–10 угл. минут): черенковские телескопы, солнечные концентраторы, радары, радиотелескопы сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Собранные в фокальной плоскости излучение должно регистрироваться либо большими массивами ПЗС-матриц, либо решетками из 100–500 ФЭУ (линейный размер поля зрения в фокусе составляет 20–100 см). Оценки показали, что благодаря большим размерам такие инструменты способны обнаруживать всплески секундной длительности с блеском вплоть до 18–19 зв. величины (Бескин и др., 1999; Бескин и др., 2000).

Очевидно, что описанная методика может при-

меняться как для поиска искусственных сигналов одновременно от большого числа объектов, представляющих интерес в рамках программы SETI (солнцеподобные звезды, звезды с планетами в зоне обитания, пекулярные источники — возможные маяки ВЦ), так и от цивилизаций с заранее неизвестной локализацией (Эйхлер и Бескин, 2001). В частности, при сканировании окрестностей Земли лучом лазера его излучение будет иметь вид коротких вспышек, сходных с событиями, регистрируемыми черенковскими телескопами, например, MAGIC и HEGRA. Кстати, именно эти инструменты представляются максимально приспособленными для мониторинга широких полей с высоким временным разрешением (Бескин и др., 1999).

Достаточно эффективными инструментами для поиска сигналов внеземных цивилизаций неизвестной локализации могут быть и солнечные концентраторы, в фокусах которых должны быть размещены решетки ФЭУ. В пустыне Негев (Израиль) установлен полноповоротный параболоид с диаметром 23 метра *PETAL* (рис.9) — планируется его переоборудование в черенковский телескоп и в ночное время его можно будет использовать для мониторинга. Концентратор другого типа, с неподвижным составным параболическим зеркалом диаметром 10 метров и набором плоских целостатов, используется на солнечной платформе *PSA* (*Platforma Solaris da Almeria*) (юг Испании) (рис.10). Этот инструмент менее эффективен для поиска сигналов ВЦ в силу небольших размеров области сканирования на небе.

В качестве определенного компромисса был разработан проект широкоугольного телескопа малых размеров (12–25 см) с апертурой, близкой к 1:1 (фокальное расстояние 15–30 см), имеющего поле зрения 400–600 кв.градусов. Принципиально важным элементом этой системы является электростатический ЭОП большого диаметра (90 мм) с выходным окном 25 мм, редуцирующий поле зрения телескопа (60–80 мм) до размеров, позволяющих использовать для регистрации одиночный панорамный детектор (ПЗС-матрицу, координатно-чувствительный детектор) дюймового класса, а следовательно, приемлемой стоимости. В реализованном кооперацией САО-НИИПП-ИКИ инструменте *FAVOR* (*FAst Variability Optical Registrator*) (Карпов и др., 2005) (рис.11) питающий объектив имеет диаметр 15 см при фокусном расстоянии 18 см, телевизионная ПЗС-матрица работает с кадровой частотой 7.5 Hz (временное разрешение — 0.13 с), ее формат — 1200 × 800 пикселей размером 6.5 микрон. В конечном итоге за один кадр телескоп позволяет обнаруживать объекты 10–11 звездной величины в поле 18 × 22 градуса. Данные монито-

ринга с помощью специального мат. обеспечения анализируются в режиме реального времени разностным методом — за три кадра (0.4 с) определяются параметры обнаруженного объекта, подвижного или неподвижного, и проводится его идентификация. В случае, если источник отсутствует в каталогах различных нестационарных объектов и спутников, он классифицируется как алертный и информация о нем поступает в сеть. Данные, накопленные при мониторинге в течение ночи (объем — 800 Гб), сохраняются на дисковом RAID-массиве (Карпов и др., 2005). На рис.12 мы приводим последовательность кадров с обнаруженным (практически неподвижным) спутником и кривую его блеска. FAVOR с 2004 года используется для мониторинга поля зрения гамма-телескопа Swift, за ночь регистрирует несколько сотен метеоров и спутников. Космические вспышки как естественного, так и искусственного происхождения пока не обнаружены.

Следующий этап развития обсуждаемой стратегии — создание двухтелескопного комплекса, где источником алертов, то есть космических вспышек, является широкопольная камера, информация с которой в реальном времени (после идентификации зарегистрированного события) передается на среднего размера (40–100 см) роботический телескоп для детальных исследований обнаруженной вспышки (рис.13). Поскольку скорость наведения такого рода телескопов велика ( $> 5$  град/с), наблюдения объекта могут начаться уже через несколько секунд после формирования алер-



Рис. 9: Быстрая широкопольная камера FAVOR.

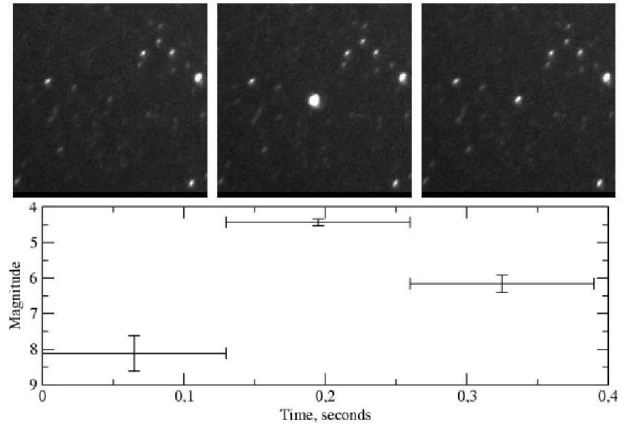


Рис. 10: Пример обнаружения оптического транзита (вращающийся спутник).



Рис. 11: Двухтелескопный комплекс TORTOREM.

та (Бескин и др., 2005). Такой комплекс уже создан нами в сотрудничестве с итальянскими коллегами и под именем TORTOREM с начала 2006 года функционирует в обсерватории Ла Силла (Чили). Его основой является роботический телескоп REM с диаметром зеркала 60 см, снабженный ИК-камерой и спектрографом, позволяющими исследовать источники инфракрасного и оптического излучения с блеском до 18–19 зв. величины при временном разрешении вплоть до 1 с (Зерби и др., 2001). Непосредственно на телескопе смонтирована широкопольная камера TORTORA, отличающаяся от своего прототипа FAVOR меньшим диаметром зеркального объектива (12 см), большим полем ( $25 \times 25$  град) и несколько худшим пределом (10.5 зв. вел.) (Рис.14). Трехкомпьютерный кластер обеспечивает накопление, обработку и сохранение наблюдательной информации. В 2006 году были впервые получены пределы на блеск и оп-

тическую переменность с характерными временами 0.2–100 с в областях локализации трех гамма-всплесков уже через 30–100 с после их обнаружения (Молилари и др., 2006).

В расчете на подробные исследования быстрых оптических вспышек естественного и искусственного происхождения в настоящее время разрабатывается проект многомодового спектрополяриметра высокого временного разрешения — FUSP (Fast Universal SpectroPolarimeter) (Бескин и др., 2005). Схема прибора и результаты наблюдений в различных модах (бесщелевая спектроскопия и фотометрия, фотополариметрия и щелевая спектрополяриметрия) приведены на рис.15. Выбор и смена мод производится автоматически с достаточно высокой скоростью на основе данных о яркости объекта и ее изменении. Проницающая способность за время экспозиции 1 с близка к 12–13 зв.величине в зависимости от режима. При этом в качестве детектора используется КЧД и, следовательно, временное разрешение системы составляет несколько микросекунд.

Для повышения эффективности исследований с высоким временным разрешением в течение последних двух лет нами разрабатывался координатно-чувствительный детектор нового поколения. Работа проводилась при поддержке ИИТАС (грант 04–78–7366). Этот прибор уже изготовлен (прежде всего, усилиями сотрудников НИИ Физики полупроводников СО РАН) и испытан в режиме реальных наблюдений на БТА. В этом детекторе используется блок микроканальных пластин для размножения первичных фотоэлектронов, электростатическая фокусировка электронных лавин, а также многоэлементный анод для определения их центров (т.е. координат первичных фотонов). Однако он имеет арсенид-галиевый фотокатод с квантовым выходом 45–48% в диапазоне 4000–8000 Å (в несколько раз больше, чем у КЧД прежнего поколения!) и 16-электродный анод, использование которого доводит пространственное разрешение до 20–30 микрон (вместо 70–100). В конечном итоге мы получили систему, близкую по чувствительности (35%) и числу элементов (500 × 500) к ПЗС-матрицам, но обладающую микросекундным временным разрешением.

С точки зрения долговременных перспектив поисков сигналов внеземных цивилизаций в оптическом диапазоне представляется наиболее оптимальным объединение мониторинга широких полей с высоким временным разрешением и детальных исследований обнаруженных событий в режиме реального времени. В некотором смысле этот подход уже реализован в проекте двухтелескопного комплекса. Тем не менее, принципиальным ограничением такого рода систем является невы-

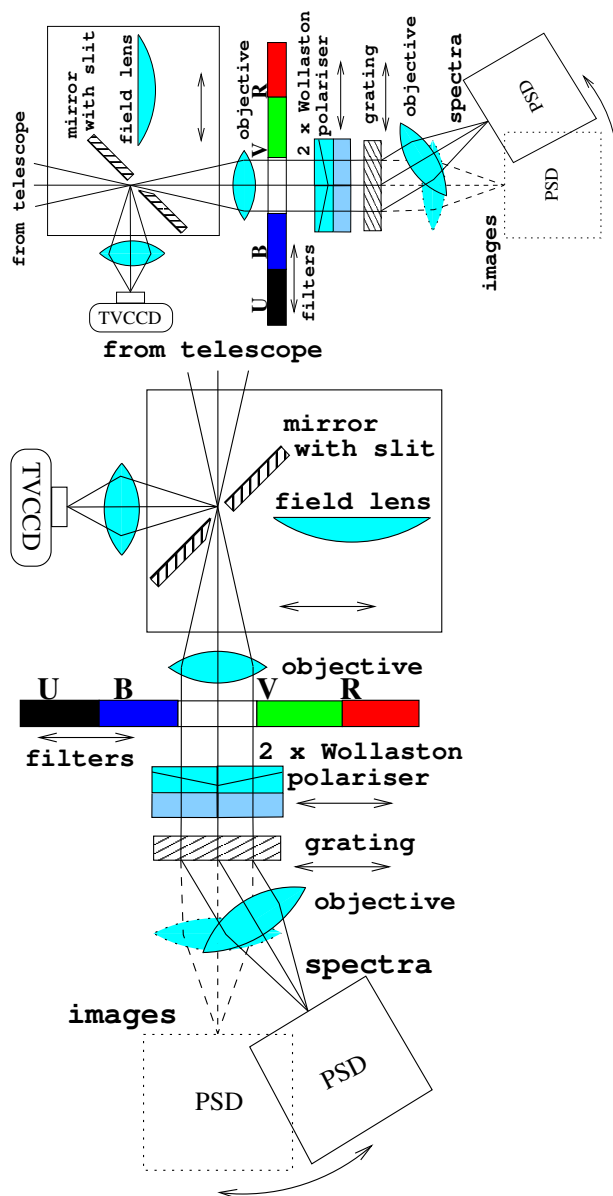


Рис. 12: Быстрый универсальный спектрофотополариметр (FUSP). Оптическая схема (вверху), вид данных наблюдений (внизу).

сокая проницающая способность широкоугольных телескопов (слабые вспышки невозможно обнаруживать в больших полях из-за небольшого пространственного разрешения).

На наш взгляд, эта трудность естественным образом преодолевается при использовании многотелескопного комплекса, состоящего из инструментов с зеркалами и полями зрения умеренных размеров (40–60 см и 1–2 град соответственно) (см. рис. 13). Оценки показывают, что предел для отдельного телескопа составляет 18–19 зв.величин при времени экспозиции 1 с и пространственном разрешении 2–3 угл.с, что соответствует парамет-

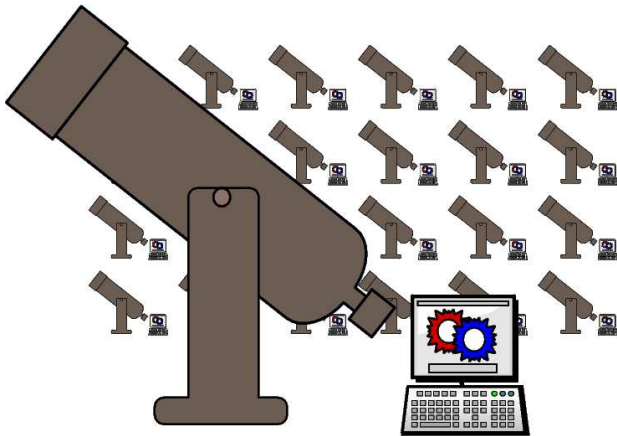


Рис. 13: Решетка оптических телескопов (ОТА).

рам как телевизионных ПЗС-матриц, так и КЧД. В первом случае временное разрешение не может превышать нескольких миллисекунд, во втором же — будет составлять несколько микросекунд. К сожалению, координатно-чувствительные детекторы имеют существенные ограничения по максимальной величине регистрируемого потока излучения ( $< 10^6$  фотонов/с), что делает невозможным их использование при наблюдениях больших площадей даже с телескопами умеренных размеров ( $> 50$  см). Они могут входить в состав комплекса, будучи установленными на телескопах с полем зрения несколько минут для детальных исследований уже обнаруженных событий. Полное поле комплекса определяется числом телескопов, его составляющих, — скажем, для решетки  $10 \times 10$  единиц оно будет иметь площадь 400 кв.град. Разумеется, управление системой и сбор данных должен проводиться с помощью многопроцессорного информационного кластера. Простая конструкция малых телескопов позволяет быстро менять их ориентацию и режим наблюдений. В частности, такая система может функционировать в интерферометрическом режиме, при синхронных же наблюдениях одного участка неба она эквивалентна 5-метровому телескопу с полем зрения 2 градуса. Таким образом, предлагаемый комплекс будет объединять исследования точечных объектов естественного и искусственного происхождения с высоким временным разрешением и мониторинг широких полей, где эти объекты могут появляться.

Следует отметить, что предлагаемый проект аналогичен многоэлементным радиокомплексам, начиная с давно функционирующих, как VLA, и заканчивая разрабатываемыми в настоящее время однокилометровому телескопу и телескопу Аллена (СЕТИ-2020, 2001). Наконец, напомним, что в свое время идеологию многотелескопных систем разви-

вал Лабейри, правда, прежде всего для когерентной регистрации (Лабейри, 1981).

В заключение подчеркнем, что стоимость 100-телескопной решетки не будет превышать \$10М.

Исследования по SETI частично поддерживаются средствами РФФИ (04-02-17555), ИНТАС (04-78-7366), программой ПРАН.

## Список литературы

- Беннет и др. (Bennet, D.P., Becker A.C., Calitz C.C.), 2002, *ApJ*, **579**, 639
- Бескин и др. (Ефимов Ю.С., Неизвестный С.И., Пустильник С.А., Шаховской Н.М.), 1981, Письма в АЖ, **7**, 12, 507
- Бескин и др. (Неизвестный С.И., Пимонов А.А., Плохотниченко В.Л., Шварцман В.Ф.), 1983, Письма в АЖ, **9**, 5, 280
- Бескин и др. (Beskin G.M., Gershberg R.E., Shvartsman V.F., Neizvestny S.I., Plokhotnichenko V.L., Pustil'nik L.A., Chekh S.A., Mitronova S.N., Zhuravkov A.V.), 1988, *Sov. Astron. Lett.*, **14**, 65
- Бескин и Митронова (Beskin G.M., Mitronova S.N.), 1991, *Izv. SAO*, **31**, 36
- Бескин и др. (Beskin G., Neizvestny S., Plokhotnichenko V., Popova M., Benvenuto O., Feinstein K., Mendez M.), 1994, *Astron. Astrophys.*, **289**, 141
- Бескин и др. (Beskin G., Komarova V., Neizvestny S., Plokhotnichenko V., Popova M., Zhuravkov A.), 1997, *Experimental Astronomy*, **7**, 413
- Бескин и др. (Beskin G.M., Plokhotnichenko V.L., Bartolini C., Guarnieri A., Masetti N., Piccioni A., Shearer A., Golden A., Auriemma G.), 1999, *Astronomy and Astrophysics S.*, **138**, 589
- Бескин и др. (Beskin G.M., Komarova V.N., Plokhotnichenko V.L.), 2000, *Proceedings of the XIXth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology "Texas in Paris"*; *Nuclear Physics B*; CD-ROM, 80
- Бескин и др. (Beskin G., Bartolini C., Guarnieri A., Biryukov S., Piccioni A., Eichler D., Faiman D., Guarnieri A.), 2001, *Proceedings of the 2nd International Workshop on GRBs, Rome*, 387
- Бескин и др. (Beskin G., Bad'in D., Biryukov A., Bondar S., Chuntunov G., Debur V., Ivanov E., Karpov S., Katkova E., Plokhotnichenko V.L., Pozanenko A., Zolotukhin I., Hurley K., Palazzi E., Masetti N., Pian E., Nicastro L., Bartolini C., Guarnieri A., Piccioni A., Conconi P., Molinari E., Zerbi F.M., Brosch N., Eichler D., Shearer A., Atteia, J.-L., Boer M.), 2005, *Nuovo Cimento C*, **28** issue 04-05, 751
- Бескин и Карпов (Beskin G., Karpov S.), 2006, in: "Black Holes from Stars to Galaxies - Across the Range of Masses", *Proceedings of IAU Symposium N 238*, (в печати)
- Вестранд и др. (Vestrand W.T., Albright K., Casperson D., Fenimore E., Ho C., Priedhorsky W., White R., Wren J.), 2003, in: "Gamma-ray burst and afterglow astronomy 2001", *Proceed. AIP Conference*, **662**, 550
- де-Бур и др. (Debur V., Arkhipova T., Beskin G., Pakho-



- mov M., Plokhotnichenko V., Smirnova M., Solin A.), 2003, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **A 513**, 127
- Журавков и др. (Zhuravkov A.V., Pimonov A.A., Plokhotnichenko V.L.), 1994, *Astrophyz. Issledovanija*, **37**, 159
- Зерби и др. (Zerbi F.M. et al.), 2001, *Astron. Nach.*, **322**, 275
- Каллам М. (Cullum M.), 1990, *Installation & Maintenance Manual*, September
- Карпов и др. (Karpov S., Beskin G., Biryukov A., Bondar S., Hurley K., Ivanov E., Katkova E., Pozanenko A., Zolotukhin I.), 2005, *Nuovo Cimento C*, **28** issue 04-05, 747
- Лабейри А. (Labeyrie A.), 1981, in: "Optical Telescope of the Future", *Proceed. of ESO Conference*, 273
- Молинари и др. (Molinari E., Bondar S., Karpov S., Beskin G., Biryukov A., et al.), 2006, *Nuovo Cimento*, (в печати)
- Плохотниченко В.Л., 1983, *Сообщ. САО*, **38**, 29
- Плохотниченко и др. (Plokhotnichenko V., Beskin G., Debur V., Panferov A., Panferova I.), 2003, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **A 513**, 167
- Пустильник С. (Pustil'nik S.), 1977, *Soobsch. SАО*, **18**, 3
- СЕТИ-2020 (SETI-2020), 2001, eds.: Ekers R.D., Cullers D.K., Billingham J., Scheffer L.K., SETI Press, USA
- Таунс и Шварц (Townes C.H., Schwartz R.N.), 1961, *Nature*, **192**, 348
- Фирмани и др. (Firmani C., Gutierrez L., Ruiz E., Bisicchi C., Salas L., Paresce F., Carlson C.W.), 1984, *Astronomy and Astrophysics*, **134**, 2, 251
- Царевский и др. (Tsarevsky G., de Freitas Pacheco J., Kardashev N., de Laverny P., Thevenin F., Slee O., Stathakis R., Barsukova E., Goransky V., Komberg B.), 2005, *A&A*, **438**, 949
- Шварцман В.Ф. (Shvartsman V.F.), 1977, *Soob. SАО*, 1977, **19**, 5
- Шварцман и др. (Shvartsman V.F., Beskin G.M., Gershberg R.E., Plokhotnichenko V.L., Pustil'nik L.A.), 1988, *Sov. Astron. Lett.*, **14**, 97
- Шварцман и др. (Shvartsman V.F., Beskin G.M., Mitronova S.N.), 1989a, *Sov. Astron. Lett.*, **15**, 4, 145
- Шварцман и др. (Shvartsman V.F., Beskin G.M., Mitronova S.N., Neizvestny S.I.), 1989b, *Sov. Astron. Lett.*, **15**, 7, 590
- Шварцман и др. (Shvartsman V.F., Beskin G.M., Pustil'nik S.A.), 1989c, *Astrophysica*, **31**, 3, 457
- Шварцман и др. (Shvartsman V., Beskin G., Mitronova S., Neizvestny S., Plakhotnichenko V., Pustil'nik L.), 1993, *Proceed. Third decennial US-USSR Conference on SETI*, ed. by G.Seth Shostak, Santa Cruz, USA, **47**, 381
- Эйхлер и Бескин (Eichler David, Beskin Gregory), 2001, *Astrobiology*, 2001, bf 1(4), 489