

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 115 – 119

**THE TWO-CHANNEL SEVEN-COLOR CCD PHOTOMETER****M. A. Krugov, N. V. Lichkanovsky, V. M. Tereschenko**

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mails: mkrugov@astroclub.kz, ajtor@mail.ru, volter2307@mail.ru

**Key words:** photometers, two-channel photometer, dichroic filter, infrared channel, CCD cameras.

**Abstract.** We present the description of two-channels seven-color CCD photometer designed and manufactured at Fesenkov Astrophysical Institute. The basis for necessity to manufacture this photometry is provided. We stressed that it is possible to observe almost all kind of celestial bodies using this photometer: from galaxies to satellites. We also describe optical-mechanical layout of the photometer as well as transparency curve of the filters used with this photometer. Special attention is paid to constructive characteristic and special features of the photometer. Observation with this photometer is fully automated. Operation control of the photometer (change of filters, timing and type of exposition, binning) is autonomous and is realized using software package "Maxim DL" and controllers of CCD ST-2. Both channels of the photometer operate independently. The CCD for each channel is used as radiation detector. Only one channel, namely in visible light, is currently operational which allows to observe in B, V and R bands. To observe in U, I, J and H bands we need to equip the photometer with special CCD designed for UV and IR bands. We also briefly discuss properties of CCDs in terms of absolute photometry. In particular, we noted relatively low reproducibility of counts in consequent observations using currently installed CCD.

УДК 520.2

**ДВУХКАНАЛЬНЫЙ СЕМИЦВЕТНЫЙ ПЗС-ФОТОМЕТР****М. А. Кругов, Н. В. Личкановский, В. М. Терещенко**

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** фотометры, двухканальный фотометр, дихроичный фильтр, инфракрасный канал, ПЗС-камеры.

**Аннотация.** В статье приведено описание двухканального семицветного ПЗС-фотометра, изготовленного в Астрофизическом институте им. В. Г. Фесенкова. Обоснована целесообразность изготовления данного фотометра. С его помощью можно наблюдать практически все небесные тела: от галактик до ИСЗ. В работе приводятся оптико-механическая схема фотометра и кривые пропускания используемых в нем фильтров. Основное внимание уделено конструктивным характеристикам и особенностям фотометра. Процесс наблюдений с ним полностью автоматизирован. Управление фотометром (перевод фильтров, время и выбор экспозиций, биннинг) осуществляется автоматически с помощью программы «Maxim DL» и контроллера ST-2. Каналы двухканального фотометра работают независимо. В качестве приемников излучения в обоих каналах предусмотрены ПЗС-камеры. В настоящее время работает только видимый канал с камерой Apogee Asphen M-16. С ее помощью реализуются полосы B, V и R. Для реализации полос U, I, J и H необходимы ультрафиолетовая и инфракрасная матрицы. В работе кратко обсуждаются свойства ПЗС-камер с точки зрения абсолютной фотометрии. В частности, отмечена относительно низкая воспроизводимость отсчетов используемой ПЗС-камеры на звезду при повторных наблюдениях.

Ввиду слабости потоков излучения от абсолютного большинства небесных тел фотометрический метод их исследования является наиболее массовым, и часто – единственно возможным. Особенно данный метод эффективен при наблюдениях разного рода переменных объектов. Информативность и точность фотометрических наблюдений зависят, прежде всего, от параметров используемого фотометра. Информативность получаемых данных возрастает с уменьшением ширины полос пропускания, но при этом уменьшается проникающая сила инструмента. Увеличение же экспозиции не всегда приводит к желаемому результату. Достоверность фотометрических данных увеличивается при более точном знании кривых полос пропускания инструментальной системы. В целом же она зависит также от выбора стандартов, методов наблюдений и учета экстинкции в земной атмосфере и, наконец, от точности регистрации [1].

В шестидесяти-восьмидесятые годы в АФИФ успешно работали два фотометра: одноканальный фотополяриметр на базе стандартного электрофотометра АФМ-6 [2] и двухканальный ИК-фотометр ГАО АН СССР ФПЗ-У [3]. Оба фотометра к концу века вышли из строя и их восстановление, из-за устаревшей элементной базы, не имело смысла. Несмотря на очевидную важность фотометров для исследований, до недавних пор в АФИФ они отсутствовали. После реанимации и модернизации двухметровых телескопов ТШАО [4] потребность в фотометре стала еще более актуальной. По этой причине было решено изготовить новый современный фотометр. Предварительно был сделан обзор и анализ наиболее известных фотометров и их оптико-механических схем на базе работ [3, 5, 6]. Были также учтены тематика исследований в институте и финансовые возможности. В итоге была выбрана схема двухканального семицветного фотометра, охватывающего спектральную область от 0,3 до 1,8 мк. Его разработка была выполнена в 2012 г., в 2013 г. был изготовлен макет, а сам фотометр – в начале 2014 г. На рисунке 1 приведена окончательная оптико-механическая схема фотометра. Там же представлены кривые пропускания используемых фильтров: для видимого канала – в нормированном, а для инфракрасного – в обычном виде.

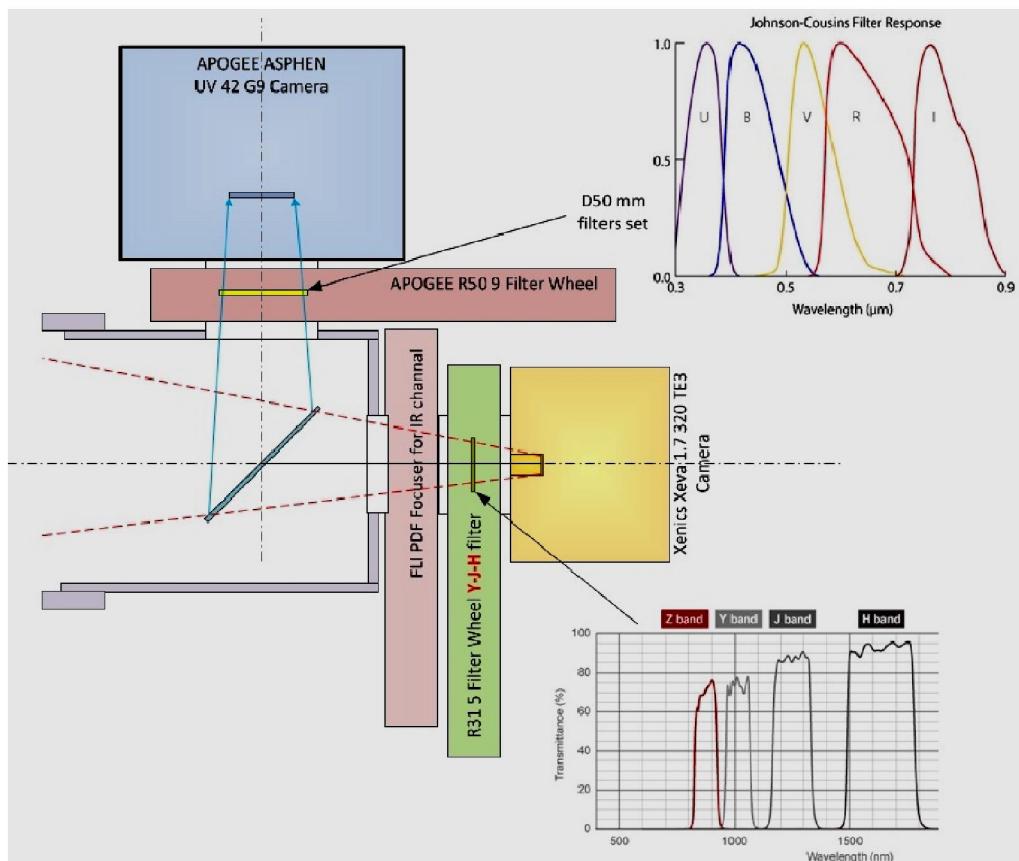


Рисунок 1 – Схема оптико-механического блока семицветного фотометра и кривые пропускания используемых фильтров



Рисунок 2 – Механический блок двухканального фотометра

По результатам тестирования макета фотометра удалось выявить и затем устранить в нем ряд недостатков. Так, например, пришлось увеличить жесткость механического блока (за счет увеличения толщины каркаса), жестче закрепить дихроичное зеркало, а в ИК-канале добавить устройство, обеспечивающее подвижку ПЗС-камеры вдоль луча зрения с целью ее фокусировки. Общий вид оптико-механического блока фотометра приведен на рисунке 2. Подчеркнем, что предложенная схема фотометра имеет минимальное число движущихся деталей и механизмов, что увеличивает его надежность. В нем отсутствуют диафрагмы, подсмотровые окуляры, зеркала к ним и подсветки – детали и узлы, которые необходимы в классических фотоэлектрических фотометрах. К метровым телескопам фотометр крепится с помощью специально изготовленного переходника.

Приведем основные требования и характеристики изготовленного фотометра.

- Фотометр можно устанавливать на телескопах, имеющих светосилу 1 : 6 и ниже.
- Изготовленный фотометр состоит из двух каналов. Один из каналов, условно называемый – видимый, формирует полосы UBVR, а второй – полосы IJH (инфракрасный). Заметим, что в зависимости от типа ПЗС-камеры фильтр I можно использовать и в видимом канале.
- В видимом канале фотометра имеется 9 окон-гнезд для 50мм фильтров.
- Основная инструментальная система фотометра близка к стандартной системе UBVR<sub>IJH</sub> Джонсона, но конструктивно предусмотрена также и слоановская система.
- Конструкция фотометра - блочная. Оба канала работают независимо, как совместно, так и по отдельности. Блочная конструкция позволила ввести фотометр в эксплуатацию поэтапно.
- Разделение излучения от наблюдаемых объектов на два пучка осуществляется дихроичным фильтром в длине волны около 0.96мк. ИК-канал работает на «просвет», а в видимый канал лучи отражаются фильтром. В случае работы только в видимом канале вместо фильтра можно использовать зеркало, а при работе только в ИК-области фильтр можно убрать.
- ПЗС-камеры, работающие в видимом и инфракрасном каналах, охлаждаются термоэлементами, работа которых основана на эффекте Пельтье. Термоэлементы обеспечивают охлаждение матрицы относительно окружающей среды до 40°C. Температура матрицы задается заранее и поддерживается на протяжении всей ночи.

- Управление фотометром (перевод фильтров, время и выбор экспозиций, биннинг) осуществляется автоматически с помощью программы «Maxim DL» и контроллера ST-2.

- Корпус фотометра выточен в форме трубы с толщиной стенок 4 мм и обладает достаточной жесткостью.

- Корпус фотометра светонепроницаем для паразитных засветок и внутри зачернен.

- Перевод колес с фильтрами (турелей) в обоих каналах осуществляется с помощью шаговых двигателей.

- Конструктивно предусмотрена возможность превращения фотометра в фотометр-поляриметр.

- Фотометр работает в интервале температур  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  и влажности менее 80%.

- Данные о наблюдаемых объектах (названия, координаты), режимах наблюдений (используемых полосах, экспозициях, биннингах) и величинах сигналов хранятся в ПК.

Тестиирование фотометра проведено с помощью заимствованных в Клубе любителей астрономии двух ПЗС-камер: Apogee Asphen UV-42G9, которая чувствительна в ультрафиолетовой области и Xenics Xeva 1.7 320 TE3, чувствительной в ИК-области. Как показали предварительные наблюдения, с помощью изготовленного фотометра можно наблюдать достаточно широкий класс объектов – от ИСЗ до галактик. Планируемая программа наблюдений с ним на ТШАО подробно описана в работе [7]. В настоящее время фотометр работает только в видимой области спектра В качестве приемника излучения используется камера Apogee Asphen M-16 [4096\*4096, 9 мк]. С ее помощью реализуются полосы B, V и R, полоса U – отсутствует, так как данная камера не чувствует ультрафиолет. В фотометре вместо дихроичного фильтра используется отражательное зеркало. К сожалению, возникли проблемы при наблюдениях с инфракрасной матрицей. В полосах J и особенно H инфракрасная матрица чувствует излучение зеркал телескопа. Пока только предпринимаются попытки устранения влияния излучения зеркал в этой области.

В заключение кратко остановимся на некоторых свойствах и особенностях ПЗС-камер. Как известно, они обладают многими положительными свойствами: панорамностью, документальностью, линейностью в большом диапазоне интенсивности излучения, высокой квантовой чувствительностью и малыми шумами. Очень важно, что сигналы с ПЗС-камер поддаются машинной обработке. Особенно они удобны и эффективны для астрометрических наблюдений и при наблюдениях переменных звезд. Однако, как показал наш опыт работы с ними, они имеют и существенные недостатки. Прежде всего, это – плохая воспроизводимость (нестабильность) отсчетов от кадра к кадру. С помощью камер получаются очень хорошие снимки звездных полей и протяженных объектов (планет, туманностей, галактик), но численные значения отсчетов от кадра к кадру воспроизводятся с точностью 5-15%, что для многих задач астрофизики недостаточно. Это обстоятельство следует учитывать при постановке задач. Серийные ПЗС-матрицы хорошо работают в случае относительных измерений, когда исследуемый объект и стандарт находятся в одном кадре. В этом случае можно достигнуть точности 0.003<sup>m</sup>. Однако в случае абсолютной фотометрии точность наблюдений падает минимум на порядок. Как один из путей повышения точности можно предложить предварительный отбор ПЗС-камер. Заметим, что этот путь намного сложнее и дороже по сравнению с отбором фотоумножителей. Второй недостаток ПЗС-камер – большинство из них имеют относительно малые размеры, что затрудняет поиск в кадре надежных стандартов. Стоимость же крупных профессиональных камер составляет десятки и сотни тысяч долларов. Кроме того, следует иметь в виду, что инфракрасные камеры из-за их двойного назначения, имеют ограничения на продажу в страны СНГ.

*Работа выполнена по РБП 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» по проекту «Создание информационной сети спектрофотометрических стандартов промежуточного блеска и исследование звезд, обладающих планетами» на 2015-2017 гг.*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Миронов А.В. Основы Фотометрии. - М. – Физматлит. - 2008. - 260с.;

[2] Курчаков А.В., Рспаев Ф. К. Электрополяриметр к однometровому телескопу Астрофизического института АН КазССР // Сборник «Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел». - Отв. ред. А.В. Мороженко. – Киев. - Наукова думка. - 1985. - 200 с.;

- [3] Бергнер Ю.К., Бондаренко С.Л., Мирошниченко А.С., Моралев Ю.Д., Шумахер А.В., Юдин Р.В., Ютанов Н.Ю. Многоцветный астрофотометр-поляриметр для синхронных наблюдений нестационарных объектов в видимом и ИК диапазонах спектра // Известия ГАО АН СССР. - 1988. - Т. 205. - С. 142 – 151;
- [4] Кругов М.А., Личкановский Н.В., Терещенков В. М. Модернизация системы управления телескопом «Цейсс-1000». I. Основные принципы модернизации и исследование механики телескопа. // Известия НАН РК, серия физико-математическая. - 5 (291). – 2013. - С. 108-112;
- [5] Корнилов В.Г.. Крылов А.В. Четырехканальный звездный фотоэлектрический фотометр для наблюдения ярких звезд. // Астрон. журн. - 1990. - Т. 67. - С.173;
- [6] Meistas E. Improvements of the PANCAKE Traveling Photometer // Baltic Astronomy. – 1993. - V. 2. - P. 498;
- [7] Терещенко В.М., Кусакин А.В., Хруслов А.В. Фотометрические исследования на ТПАО: история и перспективы. // Космические исследования и технологии.- 2013. - № 3. - С. 30-37.

#### REFERENCES

- [1] Mironov A. V. Osnovy fotometrii. - M. - Fizmatlit. - 2008. – 260 s.
- [2] Kurchakov A.V., Rspayev F.K. In book “Fotometricheskie i poliarimetricheskie issledovaniya nebesnykh tel”. - Kiev. – Naukova dumka. - 1985. - 200 p.
- [3] Bergner Yu. K., Bondarenko S. I., Miroshnichenko A.S. et al. // Izvestiya GAO AN SSSR. - 1988. - Т. 205. - S. 142.
- [4] Krugov M.A., Lichkanovsky N. V., Tereschenko V.M. // Izvestiya NAN RK, seriya fiz-mat, 5 (291). - 2013. - S. 108.
- [5] Kornilov V.G., Krylov A.V. // Astron. Zhurnal. - 1990. - Т. 67. - S.173.
- [6] Meistas E. // Baltic Astronomy. – 1993. - V. 2. - P. 498.
- [7] Tereschenko V.M., Kusakin A.V., Khruslov A.V. // Kosmicheskie issledovaniya i tekhnologii. - 2013. - № 3. - S. 30.

### ЕКІКАНАЛДЫ ЖЕТИТҮСТІ ПЗС-ФОТОМЕТР

**М. А. Кругов, Н. В. Личкановский, В. М. Терещенко**

«В. Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** фотометрлер, екіканалды фотометр, дихрои фильтр, инфрақызыл канал, ПЗС-камералар.

**Аннотация.** Мақалада В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтында дайындалған екіканалды жетітүсті ПЗС-фотометр сипаттамасы берілді. Осы фотометрді дайындау мақсаттылығы дәлелденді. Оның көмегімен барлық аспан денелерін бақылауға болады: ғаламдардан бастап ЖЖС дейін. Жұмыста фотометрдің оптика-механикалық сыйбасы және онда сүзгілерде пайдаланылатын қысық жіберулер көлтіріледі. Басты назар фотометрдің құрылымдық сипаттамалары және ерекшеліктеріне аударылған. Онымен бақылау процесssi толығымен автоматтандырылған. Фотометрмен басқару (сүзгілер ауыстыру, экспозициялар уақыты және таңдауы, биннинг) автоматты түрде «Maxim DL» бағдарламалары және бақылаушы ST-2 арқылы жүргізіледі. Екіканалды фотометрдің каналдары тәуелсіз жұмыс істейді. Екі каналда да сөулеленуді қабылдағыш ретінде ПЗС-камералар қарастырылған. Қазіргі таңда тек Apogee Asphen M-16 камералармен көрінетін канал ғана жұмыс істейді. Оның көмегімен B, V және R жолақтары жүзеге асады. U, I, J және H жолақтары жүзеге асуы үшін ультракүлгін және инфрақызыл матрикалар қажет. Жұмыста абсолютті фотометр қезкарасы бойынша ПЗС-камералар ерекшеліктері қысқаша талқыланады. Соның ішінде қайталама бақылауларда жұлдыздарға пайдаланылған ПЗС-камералар санауларының салыстырмалы төмен қайталанымдылығы белгіленді.

Поступила 15.15.2015 г.