

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ
ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

AL-FARABI KAZAKH
NATIONAL UNIVERSITY

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

3 (319)

МАМЫР – МАУСЫМ 2018 ж.

МАЙ – ИЮНЬ 2018 г.

MAY – JUNE 2018

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошқаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.
Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2018

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. чл.-корр. (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.
Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2018

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

E d i t o r i n c h i e f
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. corr. member. (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2018

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 319 (2018), 122 – 133

A. Serebryanskiy, S. Serebryakov, A. Ergeshev

Fesenkov Astrophysical Institute, Observatory-23, Almaty, Kazakhstan

E-mail: alex@aphi.kz, serebryakov@aphi.kz, ergeshev@aphi.kz

**METHODOLOGY OF PIPELINE DATA REDUCTION
FOR ASTROMETRY AND PHOTOMETRY
OF A LARGE ARRAY OF CCD OBSERVATIONS**

Abstract. We provide the description of the methodology of preliminary data reduction of the CCD observations and following astrometry and photometry analysis of large number of objects in CCD images during uninterrupted observations, surveys or search campaigns. The result of the method of analysis of a large array of CCD images on the example of the observations of Phaeton asteroid, made on the telescope Zeiss-1000 on the Tien Shan Observatory is presented.

Key words: CCD-observations: data analysis, methods: astrometry, photometry, pipeline for data reduction.

МРНТИ: 41.51.27, 41.51.41

УДК 520.2/.8, 520-16/-17; 520.88

А. Серебрянский, С. Серебряков, А. Ергешев

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Обсерватория-23, Алматы, Казахстан

**МЕТОДИКА ПОТОКОВОЙ АСТРОМЕТРИИ И ФОТОМЕТРИИ
БОЛЬШОГО МАССИВА ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ**

Аннотация. Дано описание разработанной методики процесса предварительной обработки ПЗС-наблюдений, последующей астрометрии и фотометрии максимального количества объектов на ПЗС изображениях, которые получают при продолжительных наблюдениях, обзорах неба или поисковых кампаниях. Показан результат работы методики анализа большого массива ПЗС-изображений на примере данных наблюдений астероида Фэтон, выполненных на телескопе Цейсс-1000 (ТШАО).

Ключевые слова: ПЗС-наблюдения: анализ данных, методы: астрометрия, фотометрия, потоковая обработка данных.

Введение

Одной из задач в Астрофизическом институте им. В.Г. Фесенкова (АФИФ) на 2018-2020 гг. является проведение ПЗС-наблюдений с целью поиска и классификации переменных звезд, а также продолжительных наблюдений отдельных объектов для уточнения параметров их переменности блеска. Параллельно идут мониторинговые наблюдения по поиску объектов потенциально опасных для Земли (ОСЗ – объекты, сближающиеся с Землей), малоизученных астероидов и комет, а также определение и уточнение физических характеристик известных ОСЗ. В результате таких наблюдений на обсерваториях Ассы-Тургень (АТО) и Тянь-Шань (ТШАО) получают массивы ПЗС-данных, насчитывающие до нескольких тысяч кадров за одну ночь [1]. Большая часть этих ПЗС-изображений уже сейчас имеет достаточно большое поле ($32' \times 32'$). В ближайшем будущем планируется увеличение поля на некоторых инструментах до нескольких

градусов и количество объектов на одном ПЗС-кадре, для которых необходимо получать фотометрическую и астрометрическую информацию может достигать нескольких тысяч, а количество получаемых кадров - нескольких тысяч за ночь наблюдений. Становится понятным, что обычная процедура анализа ПЗС-изображений в «ручном» режиме будет требовать слишком больших затрат времени и приведет к возрастанию вероятности ошибок из-за человеческого фактора. Усложняет задачу и разнообразие режимов наблюдений (см. «Сортировка данных»).

Таким образом, задача разработки методики автоматизированного процесса обработки ПЗС-наблюдений и получение астрометрической и фотометрической информации по каждому объекту на ПЗС-кадре в формате, максимально удобном для проведения дальнейшего анализа становится актуальной в астрономии.

Такие методики, естественно, разрабатывались и раньше, в других группах и обсерваториях. Однако, эффективность каждой конкретной методики напрямую зависит от специфики поставленной задачи на решение которой она направлена, а также особенностей приемной аппаратуры и условий наблюдений.

Выбор методики автоматического анализа данных в нашем случае определяется конкретной целью - поиском переменных звезд по изменению блеска в интервале периодов от нескольких минут до нескольких часов, с использованием ПЗС и EMCCD приемников с полем не меньше $20' \times 20'$, с различными параметрами усиления сигнала и наблюдениями в разных длинах волн (полный список используемых параметров приведен в разделе «Сортировка данных»).

Методы

В качестве основного инструмента поиска и идентификации переменных звезд предполагается применение методов анализа кривых блеска, полученных на основе фотометрии звезд с использованием ПЗС-приемников. Поскольку обзорные (поисковые) наблюдения достаточно рутинные, требуют, как можно более продолжительных наблюдений в каком-то одном режиме работы оборудования, правильным решением будет максимально автоматизировать сам процесс наблюдений. Автоматизация позволяет использовать максимально эффективно все доступное время наблюдений, значительно уменьшить или вовсе исключить ошибки, обусловленные человеческим фактором, более эффективно осваивать бюджетные средства, выделенные на научные исследования.

Автоматизация процесса наблюдений:

Помимо вышеперечисленных фактов необходимость автоматизации процесса наблюдений продиктована и ростом количества инструментов, установленных или планируемых к установке на ТШАО и АТО, а также спецификой выполняемых ими задач, разнообразием требований к приемной аппаратуре при разных типах наблюдений. В частности, среди различных опций лишь для одного инструмента, с определенным навесным оборудованием можно выделить следующие параметры: объект наблюдений, его приоритет, условия видимости, необходимая продолжительность наблюдений, комбинация фильтров, значения экспозиций, необходимость получения калибровочных кадров и кадров стандартных площадок и т.д. Сложность процесса наблюдений возрастает нелинейно при необходимости проводить замену навесного оборудования для наблюдения в течение одной ночи различных программных объектов.

Оптимизация процесса анализа наблюдательного материала не ограничена лишь автоматизацией процесса наблюдений, но включает и такие шаги как менеджмент данных (сортировка и сохранность в базе данных), подготовка к анализу и непосредственно сам анализ с выводом результатов в удобном для пользователей формате. Эти этапы схематически показаны на Рисунке 1.

Задача автоматизации процесса наблюдений успешно решается в АФИФ и детальное описание ее реализации будет представлено в отдельной публикации.



Рисунок 1 - Последовательность основных шагов анализа данных ПЗС-наблюдений

Сортировка данных:

Для эффективного использования полученных данных и удобства их анализа научным сообществом, наблюдения должны быть соответственным образом упорядочены (сортированы) и сохранены в базе данных. Процесс автоматической сортировки данных наблюдений существенно упрощает последующую процедуру их анализа и позволяет значительно минимизировать влияние человеческого фактора при его проведении. Один из возможных алгоритмов сортировки данных ПЗС-наблюдений, базирующийся на анализе информации в заголовке fits-файлов, реализован нами в среде Python и показан на Рисунке 2. В частности, представленная методика автоматически сортирует данные по директориям с определенными датами наблюдений. В каждой такой директории создаются соответствующие поддиректории по имени объекта (например, по международному номеру по каталогу), используемому фильтру и т.д., как показано на Рисунке 2. Такая сортировка не только упрощает последующий анализ данных, но и значительно облегчает сам процесс наблюдений, поскольку наблюдателю нет необходимости отслеживать уникальность присвоенного ID (или имени файла) ПЗС-кадра, а достаточно правильно прописывать план наблюдений на текущий сеанс, а соответствующая информация автоматически вносится через определенные ключи в заголовок fits-файла. Одновременно с сортировкой наблюдательного материала изображения могут проверяться, например, на наличие ошибок гидирования, стабильности температуры, при этом есть возможность автоматически генерировать отчет по статистике наблюдений и необходимый запрос на получение калибровочных изображений, если таковых не обнаружено.

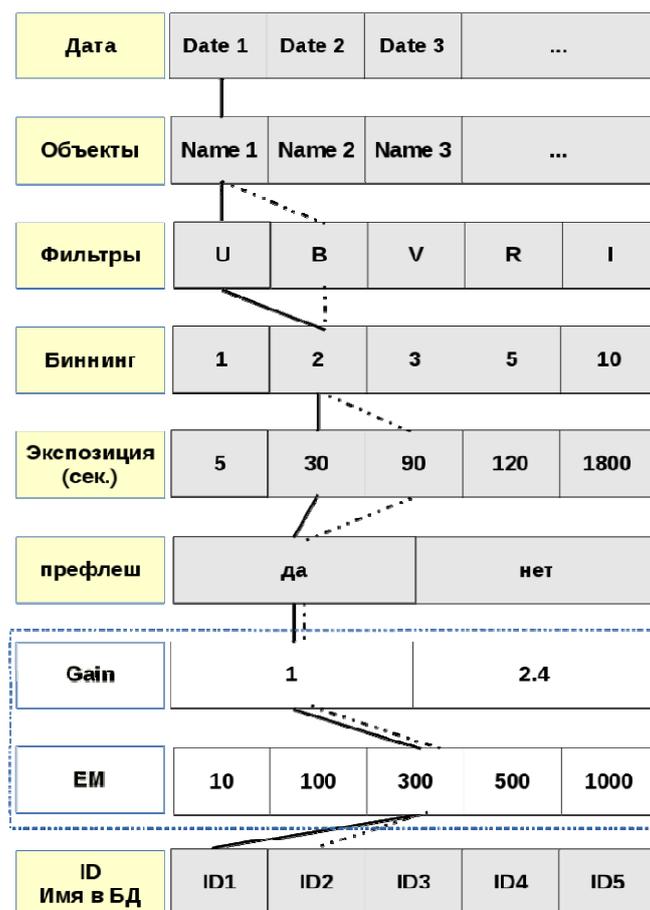


Рисунок 2 - Схема автоматической сортировки данных ПЗС-наблюдений по соответствующим параметрам наблюдений. Сплошной и пунктирной линией показаны примеры комбинаций параметров. Параметры Gain и EM соответствуют наблюдениям, выполняемым с применением EMCCD и для обычных CCD не применяются

Предварительная калибровка данных:

Следующим этапом подготовки данных наблюдений для дальнейшего анализа является учет инструментальных систематических шумов в ПЗС-изображениях. Мы не будем останавливаться на этом вопросе, интересующиеся могут подробно ознакомиться с ним в работе [2]. К систематическим шумам относятся темновой ток, ток смещения и неравномерность чувствительности по полю ПЗС приемника. Для минимизации случайных ошибок при учете систематических шумов, соответствующие калибровочные кадры необходимо усреднить по достаточному количеству изображений (обычно не меньше 10). В качестве основного инструмента анализа астрономических данных ПЗС-наблюдений используется пакет IRAF (<http://iraf.noao.edu/>). Усредненные ПЗС-кадры тока смещения (MasterBias) могут быть получены процедурой zerocombine (iraf.imred.ccdred), а темнового тока (MasterDark) процедурой darkcombine (iraf.imred.ccdred). MasterDark должен быть получен для каждой из комбинаций изображений объекта исследований, представленных на Рисунке 2 (за исключением выбора фильтров). MasterBias и MasterDark являются аддитивными шумами и должны быть вычтены из ПЗС-изображения объекта (при этом соответственно сначала MasterBias вычитается из MasterDark), а неоднородность чувствительности ПЗС приемника по полю является мультипликативной составляющей, поэтому на нее следует делить ПЗС-изображение объекта. Усредненный ПЗС-кадр плоского поля (MasterFlat) должен быть получен для каждого фильтра, в котором велись наблюдения объекта и правильным образом скорректирован за темновой ток. Для получения MasterFlat используется процедура flatcombine (iraf.imred.ccdred). Учет систематических шумов осуществляется процедурой ccdproc (iraf.imred.ccdred).

Методика автоматической потоковой фотометрии объектов на ПЗС кадрах:

Так как основной задачей является поиск переменных звезд по анализу кривых блеска, то методика должна выполнять следующие шаги: 1) автоматически привязывать сетку экваториальных координат к ПЗС-кадру, 2) обнаруживать все источники на поле ПЗС-кадра, 3) определять среди них звезды различных каталогов, 4) проводить апертурную и PSF-фотометрию и 5) выводить данные в удобном для дальнейшего анализа формате.

Для наглядности и облегчения понимания всего процесса фотометрии на рисунке 3 представлена его блок-схема.

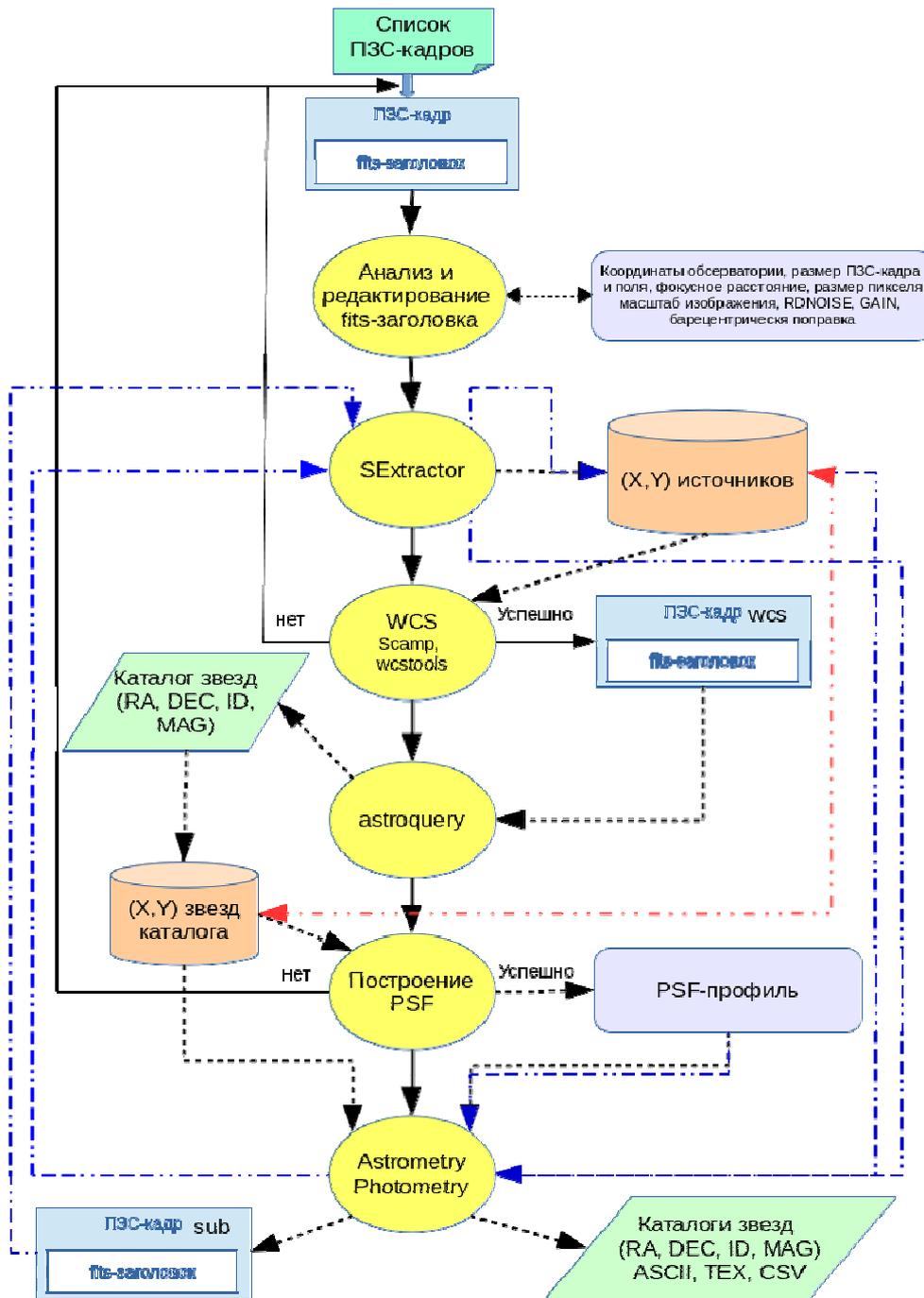


Рисунок 3 - Блок-схема процедуры автоматической апертурной и PSF-фотометрии и астрометрии всех источников, обнаруженных на поле ПЗС-изображения

В качестве среды выбрана комбинация операционной системы Linux с языком высокого уровня python. Такой выбор сделан по нескольким причинам. Во-первых, как Linux, так и python находятся в открытом доступе с открытым кодом (стандартная общественная лицензия, GNU GPL). Во-вторых, python - это один из самых динамично развивающихся языков высокого уровня, он достаточно прост и предоставляет широкие возможности для привлечения к работе большого количества людей, включая студентов и аспирантов. В-третьих, в среду python интегрирован пакет IRAF - pyraf (http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyraf). Алгоритмы и методы этого пакета многократно протестированы, хорошо документированы и интегрированы во многие современные пакеты анализа данных ПЗС-наблюдений. Все функции и библиотеки iraf доступны и могут быть напрямую импортированы в среду python.

К настоящему моменту python-сообществом разработано большое количество приложений для работы с цифровыми изображениями, анализа астрономических каталогов, представления графической и иной информации непосредственно в формате, пригодном для публикации или использования другими приложениями. Наиболее популярной платформой python для анализа научных данных является Anaconda, развиваемая компанией Continuum Analytics (<https://www.anaconda.com/>). Мы используем эту платформу для установки канала AstroConda со всеми соответствующими пакетами (<http://astroconda.readthedocs.io/en/latest/index.html>). Весь процесс установки и конфигурации достаточно прост.

Рассмотрим теперь подробно каждый из блоков, показанных на Рисунке 3. В начале работы формируется список из ПЗС-кадров, прошедших предварительную обработку. Для этого используются процедуры `getcwd` и `listdir`, импортированные из `iraf.os` в среде python. Далее, для сокращения, будем обозначать \leftarrow процесс импортирования соответствующих пакетов и методов в python. На этом этапе проверяется наличие соответствующих директорий для сохранения результатов работы и соответствующих log-файлов (`path.exists`, `makedirs` \leftarrow `iraf.os`).

Результаты наблюдений сохраняются в формате fits [3], в заголовке которого прописаны все параметры наблюдений. Работа с fits-файлами осуществляется через пакет `astropy.io.fits`. Заголовок fits-файла анализируется с целью определения таких параметров как координаты обсерватории (`coordinates` \leftarrow `astropy` [4]), размера ПЗС-кадра и FOV (Filed Of View - ширина поля ПЗС кадра в угловых минутах дуги), фокусное расстояние f в мм, размер пикселя в мкм, масштаб изображения в угловых секундах на пиксел. Для анализа наблюдений, полученных в разные эпохи, особенно для анализа кривых блеска переменных звезд, желательно использовать барицентрические моменты времени. Для этого рассчитывается барицентрическая поправка (`time` \leftarrow `astropy`).

Следующим этапом является автоматическая привязка к ПЗС-кадру сетки экваториальных координат - wcs (world coordinat system). Эта задача может выполняться двумя методами: с использованием пакетов `wcstools` [5,6,7] или `scamp` [8]. Для этого в fits-заголовке помимо таких параметров как центр изображения, масштаб изображения, прописываются предварительные значения основных параметров wcs, а также определяется геометрия кадра (то есть, необходимость инвертирования и поворота ПЗС-кадра). Необходимой информацией для `wcstools` и `scamp` является также список объектов, а точнее координаты (X, Y) источника на поле ПЗС-кадра. Для обнаружения этих источников используется пакет `SExtractor` [9]. Тип выходного каталога для правильной работы процедуры прописывания сетки координат должен быть FITS_LDAC (Leiden Data Analysis Center). Найденные положения источников, то есть координаты (X, Y) источников, и положение центра кадра во второй системе экваториальных координат на эпоху наблюдений 2000 используются для привязки сетки координат. Точность процедуры привязки координат можно оценить по выходному комбинированному файлу невязок, который автоматически генерируется процедурой `scamp`. Пример карты невязок приведен на Рисунке 4. По осям X и Y отложены, соответственно, разности координат между каталожными значениями и значениями, полученными из измерений, а также показаны соответствующие распределения разностей.

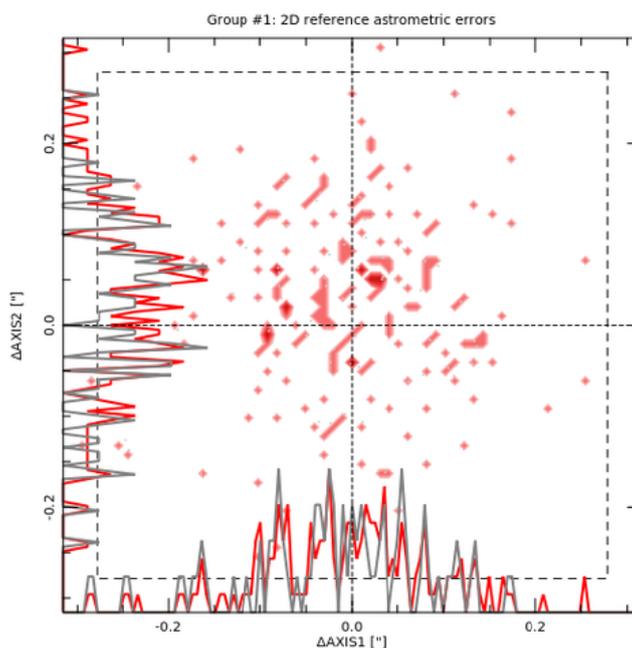


Рисунок 4 - Пример 2D-карты невязок координат по результатам работы процедуры scamp, на примере анализа данных ПЗС-наблюдений с полем $19' \times 19'$, выполненных на Цейсс-1000, обсерватории ТШАО (ноябрь, 2017 г.).

В случае успешного выполнения процедуры wcs-привязки, анализируемый ПЗС-кадр с обновленным fits-заголовком передается далее, для поиска на кадре звезд каталога.

Сканирование каталогов с целью поиска известных объектов:

Следующим этапом методики является идентификация на поле ПЗС-кадра звезд, которые вошли в те или иные каталоги. К примеру, это могут быть каталоги фотометрических стандартов или каталог переменных звезд. В первом случае эти звезды могут быть использованы для пересчета инструментальных звездных величин в стандартную фотометрическую систему, а во втором случае идентифицированные звезды могут быть исключены из дальнейшего анализа, как переменные или заподозренные в переменности. Возможности пакета astroquery [10] (Vizier ← astroquery.vizier) позволяют автоматически идентифицировать звезды для интересующих нас каталогов из базы данных Vizier. В нашей реализации процесса анализа данных используется каталоги URAT1 [11], UCAC4 [12] или 2MASS [13]. Значения звездных величин в системе ugriz (фотометрическая система SDSS) пересчитываются в систему UBVRI, в которой проводятся наблюдения на ТШАО. Для этого используются следующие уравнения пересчета [14]:

$$\begin{aligned}
 B - g &= (0.313 \pm 0.003) \cdot (g - r) + (0.291 \pm 0.002) \\
 V - g &= (-0.565 \pm 0.001) \cdot (g - r) - (0.016 \pm 0.001) \\
 V - I &= (0.675 \pm 0.002) \cdot (g - i) + (0.364 \pm 0.002), \text{ если } g - i \leq 2.1 \\
 V - I &= (1.11 \pm 0.02) \cdot (g - i) - (0.52 \pm 0.05), \text{ если } g - i > 2.1 \\
 R - r &= (-0.153 \pm 0.003) \cdot (r - i) - (0.117 \pm 0.003) \\
 R - I &= (0.93 \pm 0.005) \cdot (r - i) + (0.259 \pm 0.002)
 \end{aligned}$$

Экваториальные координаты обнаруженных звезд каталога пересчитываются в координаты (X, Y) положения на ПЗС-кадре с использованием библиотеки astLib (astWCS ← astLib), положения звезд проверяются на близость к границе поля ПЗС-кадра и отсеиваются, если они расположены слишком близко к краю изображения (обычно меньше ширины профиля звезды). Результирующий каталог звезд формируется в удобные таблицы с использованием возможности astropy.table (Table, Column ← astropy.table) и передается далее для построения PSF-профиля, используемого для PSF-фотометрии всех обнаруженных на кадре источников.

Есть несколько причин, почему мы выбрали именно такой метод построения PSF-функции. Во-первых, мы используем звезды каталога, а не просто обнаруженные источники на поле ПЗС-кадра, среди которых могли бы оказаться и случайные источники. Во-вторых, мы, одновременно с построением PSF-профиля, проводим фотометрию звезд каталогов, что позволяет нам, в будущем, проводить пересчет в стандартную фотометрическую систему, если не было проведено наблюдений стандартных площадок. Это особенно полезно, если наблюдения должны проводиться непрерывно. В-третьих, последующее вычитание звезд, вошедших в каталог, позволяет обнаружить и провести фотометрию звезд, не вошедших в каталоги. Именно такие звезды являются основной целью поисковых наблюдений.

Для построения правильного PSF-профиля в автоматическом режиме необходимо убедиться, что профили выбранных звезд достаточно далеки от края изображения и при этом не перекрываются между собой. Мы используем следующие критерии выбора PSF-звезд:

$$3 \cdot R_{PSF} < X < N_{pix} - 3 \cdot R_{PSF} \quad \text{и} \quad 3 \cdot R_{PSF} < Y < N_{pix} - 3 \cdot R_{PSF},$$

$$FWHM_{PSF} \cdot scale / 2 < r_{ij} < R_{PSF} \cdot 2 \cdot scale,$$

где $r_{ij} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ и $\Delta x, \Delta y$ - взаимные расстояния между центрами профилей звезд. Здесь $N_{pix} = N_{AXIS1}$ - размер ПЗС-изображения в пикселах, $R_{PSF} = 4 \cdot FWHM_{PSF} - 1$ - радиус PSF профиля, $FWHM_{PSF} = \frac{seeing}{scale} + 0.1$ - предварительная оценка полной ширины на половине максимума PSF-профиля, при $seeing = 2''.5$ (определяется качеством астроклимата обсерватории). Значение $scale = \frac{\mu m}{f} \cdot 206.265$ - масштаб изображения в угловых секундах на пиксел, где $\mu m = XPIXSZ$ - физический размер пикселя в мкм, $f = FOCALLEN$ - эквивалентное фокусное расстояние инструмента в мм. После селекции звезд по предварительным критериям, значения $FWHM_{PSF}$ уточняются автоматической аппроксимацией профилей отобранных звезд процедурой `radprof` пакета IRAF. Общее количество PSF-звезд, выбранных по таким критериям, обычно не превышает 25. Полученные уточненные параметры профилей используются для спецификации параметров фотометрии. Апертура фотометрии $A_p = 5 \cdot \sigma$ где σ для гауссовского профиля связана с $FWHM_{PSF}$ выражением $\sigma = \frac{FWHM_{PSF}}{2\sqrt{2 \ln(2)}}$, внутренний радиус кольца, в котором

определяется фон неба $R_{inner}^{sky} = 6 \cdot \sigma$, внешний радиус этого кольца $R_{outer}^{sky} = R_{inner}^{sky} + 5.0$.

Радиус PSF-профиля, используемого для аппроксимации $R_{fit} = FWHM_{PSF} + 0.75$. Выбор вида функции PSF-профиля может быть автоматическим или задан пользователем. В нашей реализации используется профиль `moffat` с $\beta=2.5$ [15] и в случае, если построение неудачно, используется профиль «`reppu2`» (сложный профиль у которого центральная часть описывается функцией Гаусса, а крылья распределения описываются функцией Лоренца с параметром $\beta=1$, при этом функции Гаусса и Лоренца могут быть вытянуты в различных направлениях), показавшие лучший результат. Для нормировки PSF профиля сначала процедурой `daophot.phot` оценивается значение потока апертурной фотометрией. Затем процедура `daophot.pstselect` выбирает звезды для построения PSF-профиля и `daophot.psf` строит сам PSF-профиль.

В случае успешного построения профиля, он передается на следующий этап обработки. Если по каким-либо причинам PSF-профиль не удастся построить, то программа переходит к следующему ПЗС-кадру.

Вычитание звезд каталога из ПЗС кадра и поиск новых объектов:

Следующим этапом является фотометрия звезд каталогов и последующее их вычитание с поля ПЗС-кадра. Для этого повторно проводится апертурная фотометрия уже всех звезд каталога

процедурой `phot.daophot`. Полученные значения апертурной фотометрии, PSF-профиль и соответствующие координаты источников используются для процедуры PSF-фотометрии с использованием `allstar.daophot`. В результате на выходе помимо результатов фотометрии мы получаем изображения с вычтенными звездами каталога, для которых была успешно выполнена фотометрия. Эти изображения используются для поиска источников (`SExtractor`), не вошедших в каталоги, представляющих для нас наибольший интерес. После этого формируется обобщенный список объектов. На этом этапе можно вновь пересчитать PSF-профиль с проверкой близости профилей звезд. После этого процедурой `allstar.daophot` проводится PSF-фотометрия всех звезд списка одновременно. Этот процесс на Рисунке 3 показан синей пунктирной линией.

Полученный ПЗС-кадр с вычетом всех обнаруженных и успешно прошедших фотометрию звезд, в идеале, должен представлять файл с фоновым шумом. Пример последовательного вычитания обработанных звезд показан на Рисунке 5.

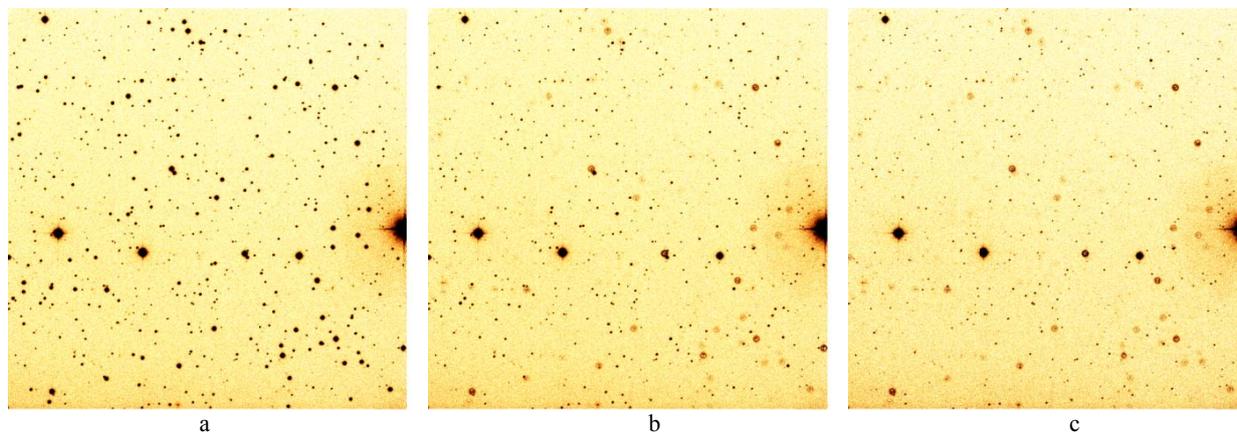


Рисунок 5 - ПЗС-изображения с последовательным вычитанием звезд: а) исходное ПЗС-изображение, б) после фотометрии и вычитания звезд каталога, с) после фотометрии и вычитания источников, не вошедших в каталог. Оставшиеся звезды на поле передержаны и были исключены из процесса анализа

Вывод результатов анализа:

Для удобства дальнейшего анализа, представления результатов непосредственно для публикации или обмена между заинтересованными группами, результаты анализа выдаются в виде табличных значений как в обычном текстовом формате, так и в формате `csv` и `tex`. Такие таблицы автоматически генерируются отдельно для звезд каталога и объектов, не вошедших в каталоги. Для звезд каталогов таблицы содержат следующую информацию: номер по каталогу (`resno`), координаты объекта в каталоге в долях градуса (`RAJ2000`, `DEJ2000`), значения звездных величин по каталогу (`Bmag`, `Vmag`, `Rmag`, `Imag`), координаты объекта по каталогу в формате ч:м:с, гр:м:с (`RA (h:m:s)`, `DEC (d:m:s)`), значения магнитуды в определенном фильтре (`V_Johnson`), ошибку магнитуды (`errV_Johnson`), наблюдаемые значения координат в формате ч:м:с, гр:м:с (`RA_obs`, `DEC_obs`), барицентрическая Юлианская дата (`OBS-TIME`) и воздушная масса на момент наблюдений (`AIRMASS`). Табличные данные для объектов не вошедших в каталоги содержат следующую информацию: номер по внутреннему (локальному) каталогу (`resno`), значения магнитуды в определенном фильтре (`V_Johnson`), ошибку магнитуды (`errV_Johnson`), наблюдаемые значения координат в формате ч:м:с, гр:м:с (`RA_obs`, `DEC_obs`), барицентрическая Юлианская дата (`OBS-TIME`) и воздушная масса на момент наблюдений (`AIRMASS`).

Результаты

Описанная методика опробована на наблюдениях астероида Фаэтон, выполненных на Цейс-1000 обсерватории ТШАО в период с 16.11.2017 г. по 22.11.2017 г. включительно. Всего было получено более 280 ПЗС изображений в каждом из трех фильтров BVR. То есть общее количество изображений более 800. На поле каждого ПЗС-изображения идентифицируется несколько десятков звезд каталогов и, следовательно, количество фотометрических оценок и астрометрических

измерений может достигать несколько десятков тысяч. Если учитывать регистрируемые источники, не вошедшие в каталоги (представляющие наибольший для нас интерес), то количество фотометрических измерений для данного конкретного примера составляет несколько сотен тысяч! Тем не менее, весь процесс фотометрии всего этого массива наблюдений в автоматическом режиме занимает лишь несколько часов.

Разработанная методика автоматизированного процесса фотометрии всех источников на поле ПЗС-кадра может быть использована и для поиска объектов с большим собственным движением (например, астероидов и других малых тел солнечной системы).

Результат такого анализа, на примере наблюдения поля астероида Фазтон (3200) показан на Рисунке 6. На данном рисунке показан участок $10' \times 10'$ с результатом автоматической астрометрии и фотометрии всех объектов наблюдений 19.11.2017г. на телескопе Цейсс-1000 (ТШАО). Размер кружков соответствует инструментальной звездной величине. Помимо основного объекта исследований (Фазтон), заметны еще два известных астероида, попавших в наблюдаемое поле (230273, 45156). При построении такой карты звезды каталогов, идентифицируемые по уникальному номеру, отображаются цветными символами в зависимости от звездной величины в трех фильтрах. Сами значения звездных величин и положений этих звезд автоматически выводятся в виде табличных значений во всех трех форматах (текстовый, csv, tex) для каждой из звезд каталога в отдельности и для каждого из фильтров, в которых велись наблюдения. Информация по другим, интересующим пользователя объектам, может быть получена, например, выделением соответствующей области на карте, показанной на Рисунке 6. Полученные табличные значения используются для построения и анализа кривых блеска. Результаты этого анализа будут представлены нами в отдельной публикации.

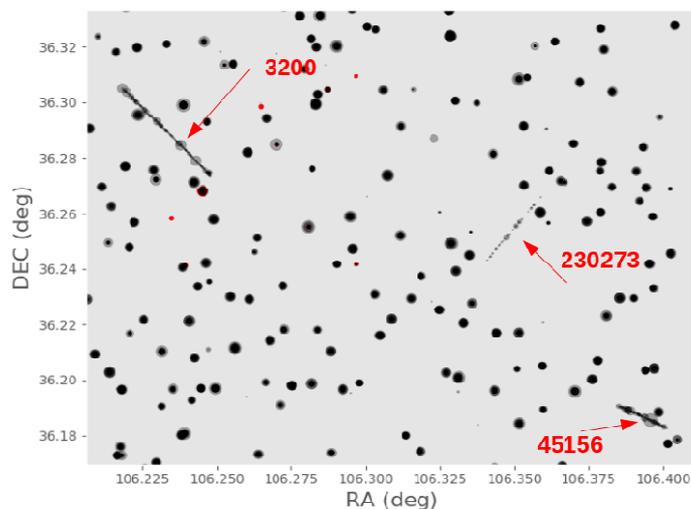


Рисунок 6 - Результаты автоматической фотометрии и астрометрии данных ПЗС-наблюдений, полученных на Цейсс-1000 (ТШАО). Показано поле размером $\sim 10' \times 10'$, на котором можно заметить треки трех астероидов

Обсуждение

Проведение обзорных и поисковых наблюдений с целью обнаружения транзиентов, быстро текущих процессов, поиска переменных звезд и т.д. на инструментах средней и малой апертуры (от 50 см до 1 метра) с достаточно большим полем подразумевает получение большого массива данных наблюдений. Особенно, если используется EMCCD для задач time-domain astrophysics. Это, в свою очередь, делает задачу быстрой, высокоточной обработки и анализа наблюдательного материала особенно актуальной.

Кроме того, наличие результатов различных обзоров неба в виде баз данных позволяет значительно повысить эффективность поиска новых объектов, информация о которых отсутствует в каталогах или быстро реагировать на необходимость проведения алертных и follow-up наблюдений особенно интересных объектов.

Описанная в этой статье методика была реализована в операционной системе Linux на базе языка высокого уровня python и использует общепризнанные и проверенные алгоритмы (реализации которых находятся в свободном доступе) анализа.

Продолжается работа по усовершенствованию методики. В частности, необходимо выработать критерии обновления параметров процедур обнаружения слабых объектов, рассмотреть возможность построения PSF профиля для данного инструмента, что не только должно повысить качество результатов PSF-фотометрии, но и сократить время анализа. Актуальной остается реализация задачи адаптации методик фотометрии треков объектов при различных режимах ведения телескопа, а также (в перспективе) фотометрии протяженных объектов (галактик, туманностей).

В заключении нужно отметить возможные источники ошибок фотометрии и астрометрии с использованием разработанной методики. Во-первых, предполагается, что функция PSF-профиля остается постоянной на протяжении всего сеанса наблюдений, что может не соблюдаться при сильно меняющихся погодных условиях наблюдений, неточности ведения телескопа (ветер, сбой автогидирования и пр.). В результате некорректного описания истинного профиля на изображениях после вычитания звезд остаются остатки, которые неверно могут быть интерпретированы как дополнительные источники, что в конечном счете приводит к ошибкам фотометрии. Во-вторых, предполагается, что зависимость формы PSF-профиля по полю ПЗС-кадра также является постоянной или меняется линейно. В случае, если это требование не соблюдается, то это также может привести к ошибкам фотометрии звезд и детектированию ложных источников. Для определения допустимых режимов адекватной работы и оценки области применения методики необходимо ее тестирование на искусственных данных сгенерированных с различным уровнем шумов и разной сложностью поля (плотность источников, непостоянство PSF-профиля звезд по полю ПЗС кадра и др.).

Благодарности

Работа выполнена в рамках Проекта № BR05236322 "Исследования физических процессов во внегалактических и галактических объектах и их подсистемах", финансируемого МОН РК. Авторы выражают благодарность Аймановой Г. К. за конструктивные замечания, предложения и редактирование статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Серебрянский А.В., Кругов М. А., Комаров А. А., Усольцева Л. А., Акниязов Ч. Б. Первые результаты наблюдений на новом оптическом комплексе на базе телескопа RC500 и EMCCD (Electron Multiplying Charge-Coupled Device) обсерватории Ассы-Тургень в Казахстане // *Астрономический вестник*. – 2018. - (в печати)
- [2] Howell S. B. *Handbook of CCD astronomy* // Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge cb2 2ru, UK Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York. - 2006
- [3] Wells, D. C.; Greisen, E. W.; Harten, R. H. (1981) FITS - a Flexible Image Transport System // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. – 1981. - v. 44. - P. 363
- [4] Astropy collaboration Astropy: A community Python package for astronomy // *Astronomy & Astrophysics*. – 2013. – V.558, id.A33. - P.9. - DOI: 10.1051/0004-6361/201322068
- [5] Mink, D. // *ASP Conf. Ser.* – 1997. - V.125. - ADASS VI, ed. G. Hunt & H. E. Payne (San Francisco: ASP). – P.249
- [6] Mink, D. // *ASP Conf. Ser.* – 1999. - V.172. - ADASS VIII, ed. D. M. Mehringer, R. L. Plante, & D. A. Roberts (San Francisco: ASP). – P.498
- [7] Mink, D. // *ASP Conf. Ser.* – 2002. - V.281. - ADASS XI, ed. D. A. Bohlender, D. Durand, & T. H. Handley (San Francisco: ASP). – P.169
- [8] Bertin, E. Automatic Astrometric and Photometric Calibration with SCAMP, Software for Calibrating AstroMetry and Photometry // *Astronomical Data Analysis Software and Systems XV ASP Conference Series*. – 2006. - V.351, Proceedings of the Conference Held 2-5 October 2005 in San Lorenzo de El Escorial, Spain. Edited by Carlos Gabriel, Christophe Arviset, Daniel Ponz, and Enrique Solano. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. - P.112
- [9] Bertin, E. SExtractor: Software for source extraction // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. – 1996. - V.117. - P.393-404
- [10] Jenness, T., Robitaille, Th., Tollerud, E., Mumford, S., Cruz, K. Python in Astronomy // *Proceedings of the conference held 21-25 March, 2016 at the University of Washington eScience Institute in Seattle, WA, USA*. – 2016. - id.34
- [11] Zacharias, N., Finch, C., Subasavage, J., Bredthauer, G., Crockett, C., Divittorio, M., Ferguson, E., Harris, F., Harris, H., Henden, A., Kilian, C., Munn, J., Rafferty, T., Rhodes, A., Schultheiss, M., Tilleman, T., Wiedner, G. The First U.S. Naval Observatory Robotic Astrometric Telescope Catalog // *The Astronomical Journal*. – 2015. – V.150, Issue 4, article id. 101

[12] Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G., Zacharias, M. I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // The Astronomical Journal. – 2013. – V.145, Issue 2, article id. 44

[13] Cutri, R.M., Skrutskie, M.F., van Dyk, S., Beichman, C.A., Carpenter, J.M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E.L., Kirkpatrick, J.D., Light, R.M., Marsh, K.A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W.A., Wheelock, S., Zacarias, N. VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003) // VizieR Online Data Catalog. – 2003. - 2246

[14] Jordi, K., Grebel, E. K., Ammon, K. Empirical color transformations between SDSS photometry and other photometric systems // Astronomy and Astrophysics. – 2006. – V.460, Issue 1. - P.339-347, DOI: 10.1051/0004-6361:20066082

[15] Trujillo, I., Aguerrri, J. A. L., Cepa, J., Gutie' rrez, C. M. The effects of seeing on Se' rsic profiles – II. The Moffat PSF // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2001. – V.328, Issue 3. - P.977-985, DOI: 10.1046/j.1365-8711.2001.04937.x

А. Серебрянский, С. Серебряков, А. Ергешев

«В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Обсерватория, 23, Алматы, Қазақстан

ҮЛКЕН АУҚЫМДАҒЫ ЗБА-БАҚЫЛАУ МӘЛІМЕТТЕРІН ФОТОМЕТРЛЕУ ЖӘНЕ АҒЫМДЫҚ АСТРОМЕТРИЯНЫҢ ӘДІСНАМАСЫ

Аннотация. Іздеу кампаниялары немесе аспанды шолуда ұзақ уақыт бақылау жүргізгенде, ЗБА-суреттердегі объектілер саны максималды болғанда және оның астрометриялық және фотометрлік зерттеулерін жүргізудің ЗБА-бақылауларының алдын-ала өңдеу процесінің өңделген әдіснамасы берілген. Цейс-1000(ТШАО) телескобында астероид Фазтонның үлен ауқымды бақылау мәліметтерінің талдау әдіснамасының нәтижелері көрсетілген.

Тірек сөздер: ЗБА-бақылаулары: мәліметтердің талдаулары, әдіснама: астрометрия, фотометрия, ағымдық мәліметтерді өңдеу.

Сведения об авторах:

Серебрянский Александр Владимирович - ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», зав.отделом «Наблюдательная астрофизика», alex@aphi.kz;

Серебряков Степан Сергеевич - ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», инженер, serebryakov@aphi.kz;

Ергешев Абдулазим Русланович - ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», инженер, ergeshev@aphi.kz

МАЗМҰНЫ

<i>Серебрянский А., Рева И., Кругов М., Yoshida Fumi.</i> Фэтон (3200) астероидының фотометрлік талдауларының нәтижелері (ағылшын тілінде).....	5
<i>Ерланұлы Е., Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т., Ахметжанов Н.А., Аханова Н.Е., Омиржанов О.</i> Плазма параметрлерінің көміртекті наноматериалдардың pecvd әдісімен синтезіне әсері (ағылшын тілінде).....	14
<i>Тейфель В.Г., Вдовиченко В.Д., Лысенко П.Г., Каримов А.М., Кириенко Г.А., Филиппов В.А., Харитонова Г.А., Хоженец А.П.</i> Юпитердегі үлкен қызыл дақ: аммиакты жұтылудың кейбір ерекшеліктері (ағылшын тілінде).....	23
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Курахмедов А.Е., Чункибаева А., Еділбаев Е.Н.</i> Төменгі энергияларда $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ реакциясын эксперименттік зерттеу (ағылшын тілінде).....	32
<i>Серебрянский А., Серебряков С., Ергешев А.</i> Үлкен ауқымдағы ЗБА-бақылау мәліметтерін фотометрлеу және ағымдық астрометрияның әдіснамасы (ағылшын тілінде).....	37
<i>Минглибаев М. Дж, Шомиекова С.А.</i> Реактивті күшті есепке алып анизатропты айнымалы массадағы екі планеталы үш дене есебінің ұйытқушы функцияның аналитикалық теңдеулері (ағылшын тілінде).....	48
<i>Кондратьева Л.Н., Рыспаев Ф.К., Денисюк Э.К., Кругов М.А.</i> М1-77 планетарлық тұмандықтың жаңа нәтижелері (ағылшын тілінде).....	59
<i>Павлова Л.А., Кондратьева Л.Н.</i> Планетарлық тумандардың біркелкі құрылымын қалыптастыру механизмдері (ағылшын тілінде).....	63
<i>Асанова А.Т., Сабалахова А.П., Толеуханова З.М.</i> Үшінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін бастапқы-шеттік есептің шешімі туралы (ағылшын тілінде).....	67
<i>Кульжумиева А.А., Сартабанов Ж.А.</i> Тұрақты коэффициентті төрт дифференциалдық теңдеулердің сызықты жүйесінің көппериодты шешімінің бар болуының коэффициенттік белгілері (ағылшын тілінде).....	74
<i>Мусабеков А., Сарипбаев А., Куракбаева С., Калбаева А., Исмаилов С., Сатыбалдиева Ф., Мусабеков Н., Аубакирова Т.</i> Айна шоғырландырушы жүйенің қозғалыс теңдеуі мен алгоритмін зерттеу (ағылшын тілінде).....	81
<i>Ақылбаев М.И., Бейсебаева А., Шалданбаев А. Ш.</i> Сингуляр әсерленген Коши есебінің әлді жыйынқталуының кепілдігі (ағылшын тілінде).....	90

* * *

<i>Ерланұлы Е., Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т., Ахметжанов Н.А., Аханова Н.Е., Омиржанов О.</i> Плазма параметрлерінің көміртекті наноматериалдардың PECVD әдісімен синтезіне әсері (орыс тілінде).....	107
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Курахмедов А.Е., Чункибаева А., Еділбаев Е.Н.</i> Төменгі энергияларда $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ реакциясын эксперименттік зерттеу (орыс тілінде).....	117
<i>Серебрянский А., Серебряков С., Ергешев А.</i> Үлкен ауқымдағы ЗБА-бақылау мәліметтерін фотометрлеу және ағымдық астрометрияның әдіснамасы (орыс тілінде).....	122
<i>Минглибаев М. Дж, Шомиекова С.А.</i> Реактивті күшті есепке алып анизатропты айнымалы массадағы екі планеталы үш дене есебінің ұйытқушы функцияның аналитикалық теңдеулері (орыс тілінде).....	134
<i>Кондратьева Л.Н., Рыспаев Ф.К., Денисюк Э.К., Кругов М.А.</i> М1-77 планетарлық тұмандықтың жаңа нәтижелері (орыс тілінде).....	144
<i>Павлова Л.А., Кондратьева Л.Н.</i> Планетарлық тумандардың біркелкі құрылымын қалыптастыру механизмдері (орыс тілінде).....	149
<i>Рамазанов Т.С., Коданова С.К., Бастыкова Н.Х., Тихонов А., Майоров С.А.</i> Тығыз ыстық плазма жиынтығының гидродинамикалық қасиеттерін зерттеу (орыс тілінде).....	153

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Серебрянский А., Рева И., Кругов М., Yoshida Fumi.</i> Результаты фотометрического анализа астероида фазтон (3200) (на английском языке)	5
<i>Ерланулы Е., Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т., Ахметжанов Н.А., Аханова Н.Е., Омиржанов О.</i> Влияние параметров плазмы на синтез углеродных наноматериалов методом PECVD (на английском языке).....	14
<i>Тейфель В.Г., Вдовиченко В.Д., Лысенко П.Г., Каримов А.М., Кириенко Г.А., Филиппов В.А., Харитонова Г.А., Хоженец А.П.</i> Большое красное пятно на Юпитере: некоторые особенности аммиачного поглощения (на английском языке).....	23
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Курахмедов А.Е., Чункибаева А., Еділбаев Е.Н</i> Экспериментальное исследование реакции $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ при низких энергиях (на английском языке).....	32
<i>Серебрянский А., Серебряков С., Ергешев А.</i> Методика потоковой астрометрии и фотометрии большого массива ПЗС-наблюдений (на английском языке).....	37
<i>Минглибаев М.Дж., Шомиекова С.А.</i> Аналитические выражения возмущающих функции в двухпланетной задаче трех тел с анизотропно изменяющимися массами при наличии реактивных сил (на английском языке).....	48
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Денисюк Э.К., Кругов М.А.</i> Новые результаты исследования планетарной туманности М1-77 (на английском языке).....	59
<i>Павлова Л.А., Кондратьева Л.Н.</i> Механизмы формирования неоднородной структуры планетарных туманностей (на английском языке).....	63
<i>Асанова А.Т., Сабалахова А.П., Толеуханова З.М.</i> О решении начально-краевой задачи для системы дифференциальных уравнений в частных производных третьего порядка (на английском языке).....	67
<i>Кульжумиева А.А., Сартабанов Ж.А.</i> Коэффициентные признаки существования многопериодических решений линейной системы четырех дифференциальных уравнений с постоянными на диагонали коэффициентами (на английском языке).....	74
<i>Мусабеков А., Сарибаяев А., Куракбаева С., Калбаева А., Исмаилов С., Сатыбалдиева Ф., Мусабеков Н., Аубакирова Т.</i> Исследование уравнения и алгоритма движения зеркальной концентрирующей системы (на английском языке).....	81
<i>Ақылбаев М.И., Бейсебаева А., Шалданбаев А. Ш.</i> Критерии сильной сходимости решений сингулярно возмущенной задачи Коши (на английском языке).....	90
* * *	
<i>Ерланулы Е., Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т., Ахметжанов Н.А., Аханова Н.Е., Омиржанов О.</i> Влияние параметров плазмы на синтез углеродных наноматериалов методом PECVD (на русском языке).....	107
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Курахмедов А.Е., Чункибаева А., Еділбаев Е.Н</i> Экспериментальное исследование реакции $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ при низких энергиях (на русском языке).....	117
<i>Серебрянский А., Серебряков С., Ергешев А.</i> Методика потоковой астрометрии и фотометрии большого массива ПЗС-наблюдений (на русском языке).....	122
<i>Минглибаев М.Дж., Шомиекова С.А.</i> Аналитические выражения возмущающих функции в двухпланетной задаче трех тел с анизотропно изменяющимися массами при наличии реактивных сил (на русском языке).....	134
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Денисюк Э.К., Кругов М.А.</i> Новые результаты исследования планетарной туманности М1-77 (на русском языке).....	144
<i>Павлова Л.А., Кондратьева Л.Н.</i> Механизмы формирования неоднородной структуры планетарных туманностей (на русском языке).....	149
<i>Рамазанов Т.С., Коданова С.К., Бастыкова Н.Х., Тихонов А., Майоров С.А.</i> Исследование гидродинамических свойств сгустка плотной горячей плазмы (на русском языке).....	153

CONTENTS

Serebryanskiy A., Reva I., Krugov M., Yoshida Fumi. Results of photometrical analysis of asteroid (3200) phaethon (in English)..... 5

Yerlanuly Ye., Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Ahmetzhanov N.E., Ahanova N.E., Omirzhanov O. Effect of plasma parameters on the synthesis of carbon nanomaterials by the pecvd method (in English)..... 14

Teifel V.G., Vdovichenko V.D., Lysenko P.G., Karimov A.M., Kirienko G.A., Filippov V.A., Kharitonova G.A., Hozenets A.P. The great red spot on Jupiter: some features of the ammonia absorption (in English)..... 23

Burtebaev N., Kerimkulov Zh.K., Zazulin D.M., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S., Kurahmedov A.E., Chunkibayeva A., Edilbayev E.N. Experimental study of $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$ reaction at low energies (in English)..... 32

Serebryanskiy A., Serebryakov S., Ergeshev A. Methodology of pipeline data reduction for astrometry and photometry of a large array of ccd observations (in English)..... 37

Minglibayev M. Zh., Shomshekova S.A. Analytical expressions of the perturbing functions in two planetary three- body problem with masses varyng non-isotropically when available for reactive forces (in English)..... 48

Kondratyeva L.N., Rspaev F.K., Denissyuk E.K., Krugov M.A. New results of study of the planetary nebula M1-77 (in English) 59

Pavlova L.A., Kondratyeva L.N. Mechanisms for forming the inhomogeneous structure of planetary nebulae (in English)... 63

Assanova A.T., Sabalakhova A.P., Toleukhanova Z.M. On the solving of initial-boundary value problem for system of partial differential equations of the third order (in English)..... 67

Kulzhumiyeva A.A., Sartabanov Zh.A. Coefficient criterion of existence of multiperiodic solutions of a linear system of four differential equations with constant coefficients on diagonal (in English)..... 74

Musabekov A., Saribayev A., Kurakbayeva S., Kalbayeva A., Ismailov S., Satybaldieva F., Musabekov N., Aubakirova T. The investigation of equation and algorithm of the mirror concentrating system movement (in English)..... 81

Akylbayev M.I., Beisebayeva A., Shaldanbaev A.Sh. Criteria for strong convergence of solutions singularly of the perturbed Cauchy problem (in English)..... 90

* * *

Yerlanuly Ye., Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Ahmetzhanov N.E., Ahanova N.E., Omirzhanov O. Effect of plasma parameters on the synthesis of carbon nanomaterials by the pecvd method (in Russian)..... 107

Burtebaev N., Kerimkulov Zh.K., Zazulin D.M., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S., Kurahmedov A.E., Chunkibayeva A., Edilbayev E.N. Experimental study of $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$ reaction at low energies (in Russian)..... 117

Serebryanskiy A., Serebryakov S., Ergeshev A. Methodology of pipeline data reduction for astrometry and photometry of a large array of ccd observations (in Russian)..... 122

Minglibayev M. Zh., Shomshekova S.A. Analytical expressions of the perturbing functions in two planetary three- body problem with masses varyng non-isotropically when available for reactive forces (in Russian)..... 134

Kondratyeva L.N., Rspaev F.K., Denissyuk E.K., Krugov M.A. New results of study of the planetary nebula M1-77 (in Russian)..... 144

Pavlova L.A., Kondratyeva L.N. Mechanisms for forming the inhomogeneous structure of planetary nebulae (in Russian).. 149

Ramazanov T.S., Kodanova S.K., Bastykova N.Kh., Tikhonov A., Maiorov S.A. Investigation of hydrodynamic properties of hot dense plasma (in Russian)..... 153

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы *М. С. Ахметова, Т.А. Апендиев, Д.С. Аленов*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 05.06.2018.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
10 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19