

*Ховричев Максим Юрьевич,
Самсонов Ростислав Игоревич*

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ЦЕНТРЕ «ИНТЕЛЛЕКТ»

Со 2 по 4 июля в рамках учебно-тренировочных сборов (УТС), прошедших в Государственном бюджетном образовательном учреждении дополнительного образования детей «Ленинградский областной центр развития творчества одаренных детей и юношества «Интеллект», были организованы астрономические наблюдения. Необходимость их проведения обусловлена тем, что в программе Международной Астрономической Олимпиады (МАО) имеет место быть «наблюдательный тур», в рамках которого участники олимпиады демонстрируют свои навыки работы с астрономическими инструментами и знание методов анализа результатов наблюдений. Поэтому мы пытались поближе познакомить юных коллег с астрономической техникой, которая предоставляется участникам МАО (малые телескопы, бинокли и соответствующая регистрирующая аппаратура), сформировать навыки работы с данными астрономическими инструментами, дать представление о процессе первичной обработки наблюдений.

Помимо изложенного, прагматичного по своей сути обоснования, есть и другие соображения, детерминирующие необходимость небольшой «наблюдательной практики». Хорошо известно, что современная астрономия в значительной мере основана на результатах астрономических наблюдений небесных тел и их систем. Поэтому справедливо было дать юным коллегам почувствовать, что сырые данные астрономических

наблюдений, добытые из сети Интернет, попадают туда благодаря работе самых разных астрономических инструментов с «живым» небом. Мы пытались сформировать представление об этом процессе добычи данных, который является частью «астрономической культуры», частью «атмосферы поиска».

Нельзя не отметить, что трудно удержать уровень мотивации к занятиям астрономией даже для участников УТС, если не переключать их внимание на ночные наблюдения. Иногда непросто успешно решать олимпиадные задачи, содержащие либо описание процесса наблюдений, либо параметры телескопов, либо сырые данные. Работа с реальным телескопом, как считают многие, развивает «наблюдательскую интуицию», необходимую на теоретическом туре.

Некоторые участники УТС становятся впоследствии студентами астрономических отделений и, в конечном итоге, профессиональными астрономами. Поэтому в рамках занятий мы пытались сформировать зону ближайшего развития – продемонстрировать современные технологии анализа астрономических изображений как для снимков, полученных участниками УТС, так и для изображений, полученных с применением лучших телескопов мира. В качестве примера было предложено осуществить разложение изображений по шейплетам (определенного вида функциям). Мы не ставили целью сформировать глубокое понимание технологии. Мы старались показать, насколько

изящно и успешно можно применять этот формализм в астрономии, чтобы у юных коллег появилось стремление двигаться к пониманию его сути. Это стремление неизбежно заставит «пропустить через себя» целые пласты астрономии, физики и математики, поможет снизить, как говорят в психологии, уровень тревожности при дальнейшем изучении самых сложных для понимания аспектов астрономии.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ

Для поддержания мотивации, формирования представления о процессе астрономических исследований мы стремились максимально приблизить работу участников УТС к реальной астрономической практике: постановка задачи, проведение наблюдений, анализ результатов наблюдений. Такое построение соответствует общепринятой логике проведения исследования в естественных науках. При планировании исследований по интересующей специалиста-астронома тематике в идеальном случае необходимо разрабатывать соответствующий инструмент, приемник излучения, выбирать обсерваторию и т. д. Но такая ситуация встречается не часто. Обычно приходится подбирать задачу под уже существующие инструмент и приемную аппаратуру. Именно это и было предложено участникам УТС.

Участники УТС могли располагать несколькими телескопами, биноклями и светоприемниками. Четыре бинокля Celestron SkyMaster 25×70 с креплением к штативу, два телескопа-рефлектора системы Ньютона Celestron AstroMaster-130EQ 130мм/650мм, GOTO-телескоп системы Ричи-Кретъена Meade LX200 254мм/2500мм, оснащенный камерами CANON EOS 400 D и Canon EOS 600D с CMOS-датчиками. Видеокамера QN-B209 (диагональ CCD-сенсора: 0.5 дюйма, размер пикселя: 8.4×9.8 мкм, массив эффективных пикселей: 768×494) была оснащена переходным кольцом для установки в окулярную втулку любого из перечисленных телескопов.

Занятия и наблюдения проводились для двух групп по 15 человек. Обе группы мож-

но считать эквивалентными по уровню подготовки. При необходимости каждая из групп разделялась на подгруппы (например при сборке телескопов Celestron AstroMaster-130EQ и проведении наблюдений с помощью вышеуказанных трех телескопов и биноклей).

Задача-минимум, поставленная перед участниками УТС, заключалась в оценке FWHM для изображений звезд, полученных на разных инструментах с разными камерами. В дальнейшем участникам групп необходимо было сравнить найденные значения FWHM, попытаться объяснить полученные результаты, сделать выводы относительно перспектив реализации тех или иных наблюдательных проектов с помощью данного оборудования.

Величина FWHM (Full Width at Half Maximum – полная ширина на половине максимума) характеризует качество изображений астрономических объектов (смотрите рисунок ниже). Этот параметр (его часто называют astronomical seeing) принято указывать при публикации результатов астрономических наблюдений. Для его определения не требуется длительных наблюдений в течение многих ночей, и в то же время, навык оценивания FWHM относится к числу базовых для астронома-наблюдателя (рис. 1).

1. ОТ ФОРМУЛ ДО «ЖЕЛЕЗА»

Данное занятие проводилось в светлое время суток в аудитории. Главные цели – дать участникам УТС познакомиться с ин-

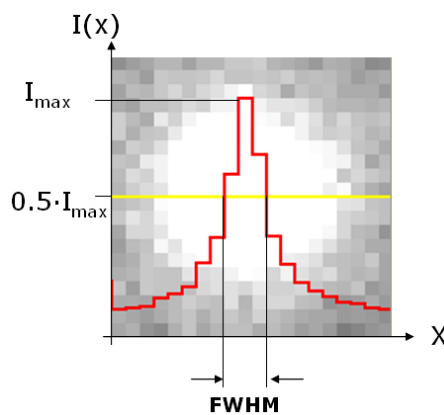


Рис. 1



Рис. 2. Сборка телескопа Celestron AstroMaster-130EQ

струментами и камерами, сформировать необходимые для решения поставленной задачи умения. В финале занятия участники УТС должны были сформулировать программы наблюдений, которые можно было бы выполнить с помощью данных телескопов. Ребятам был представлен небольшой обзор фундаментальных параметров, характеризующих телескопы и камеры: типы оптических систем телескопов, светособирающая площадь, относительное отверстие, светосила, разрешающая способность, предельная звездная величина, угловое увеличение, масштаб изображения (arcsec/pix), размеры рабочего поля (FOV) для заданного приемника излучения. Этот обзор занял 15–20 минут.



Рис. 3. Знакомство с системой управления телескопом LX200 требует внимания

Второй этап занятия состоял в том, что участники УТС должны были собрать телескопы Celestron AstroMaster-130EQ (они были предварительно разобраны и уложены в коробки) (рис. 2). После сборки задача участников состояла в том, чтобы определить все упомянутые параметры телескопов при визуальном наблюдении и при использовании камеры QN-B209.

Детальное знакомство с системой управления телескопом LX200 требует много времени. Поэтому манипуляции с базовыми командами (стартовая привязка телескопа по ярким звездам, выбор объекта и наведение) позволили сформировать зону ближайшего развития, которая потенциально обеспечивает дальнейшее продвижение в сторону освоения принципов работы с GOTO-системами. Полученные в этой работе навыки оказались востребованы в дальнейшем при наведении телескопа во время ночных наблюдений (рис. 3).

Для контроля освоения материала были сформулированы вопросы-задачи. Например, почему изображение звезды, полученное с помощью цифровой камеры в ходе наземных наблюдений, занимает десятки (а иногда и сотни) пикселей, если диаметр кружка Эйри чаще всего бывает меньше размера одного пикселя?

В ходе заключительного этапа занятия на основе анализа полученных данных участники формулировали свое представление о том, какие исследования можно выполнять с помощью изученных ими инструментов. Оказалось, что для большинства участников УТС такой анализ вызывает затруднения. Отчасти потому, что многие из них впервые столкнулись с такой проблемой. Более успешно с этой задачей справились те ребята, которые имеют практику работы со своими домашними телескопами или регулярно общаются на форумах любителей астрономии в Интернете. Все же стереотип, согласно которому малые любительские телескопы нельзя эффективно использовать для решения серьезных научных задач, оказался устойчивым.

В финальной части занятия понадобился экспресс-обзор проблемы. Действи-

тельно, в настоящее время, пока не вступили в строй цифровые обзоры неба типа Pan-STARRS (<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/>) или LSST (<http://www.lsst.org>), есть заметная ниша для профессионального применения малых телескопов (ожидается, что они позволят получать чуть ли не еженедельное сканирование всей небесной сферы до 20-ой звездной величины). Например, широкий интерес вызывают результаты наблюдений покрытий звезд астероидами, взаимных явлений в системах естественных спутников больших планет Солнечной системы (взаимные затмения и покрытия). Актуальны наблюдения ярких переменных звезд, поиск новых и сверхновых, оперативные наблюдения оптических послесвечений гамма-всплесков.

2. НОЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯРКИХ ЗВЕЗД, ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД, ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

Ночи начала июля под Петербургом слишком светлые и короткие. Тем не менее, двух часов наблюдений оказалось достаточно для формирования необходимых навыков и умений, получения материала для дальнейшей работы. Мы рассчитывали выполнить следующий комплекс заданий:



Более успешно с этой задачей справились те ребята, которые имеют практику работы со своими домашними телескопами...

1) Приблизительная установка полярной оси телескопов Celestron AstroMaster-130EQ по Полярной звезде (рис. 4).

2) Наведение телескопа на яркие звезды, хорошо видимые невооруженным глазом (Арктур, Вега). Съемка этих звезд с помощью камер смартфонов и планшетов на «окулярном увеличении» (рис. 5). Короткие видеоролики, снятые таким вот образом, позволяют увидеть влияние атмосферной турбулентности на изображения звезд.

3) Наведение телескопа на сравнительно слабые объекты типа 61-ой Лебеда, рассеянного скопления М39, эpsilon Лирь. По-

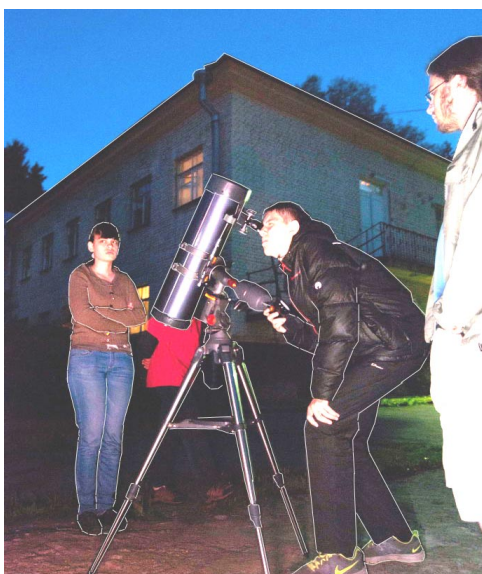


Рис. 4. Участники УТС устанавливают полярную ось телескопа Celestron AstroMaster-130EQ

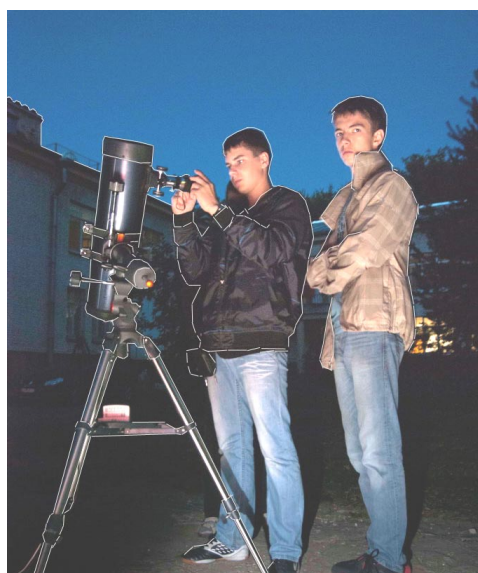


Рис. 5. Съемка Веги с помощью смартфона. AstroMaster-130EQ

иск этих объектов позволил познакомить участников УТС с различными приемами наведения телескопа (от конфигурации к конфигурации с помощью звездных карт, построенных с помощью мультимедийных планетариев; установка на яркую звезду, которая имеет склонение, близкое к склонению целевого объекта, и расположена немного западнее его; наведение с помощью системы GOTO на телескопе LX200).

При наведении телескопов хорошую службу сослужили бинокли Celestron SkyMaster 25×70. Использование метода «от конфигурации к конфигурации» требует надежного отождествления наблюдаемой в телескоп конфигурации расположения звезд с мультимедийными картами неба. Учитывая малое рабочее поле телескопа Celestron AstroMaster-130EQ и то, что этот телескоп имеет систему Ньютона, в ряде случаев необходимо было рассмотреть звездные конфигурации с помощью инструмента с широким полем зрения. Бинокли Celestron SkyMaster 25×70 помогли наметить надежные маршруты смещения большого телескопа относительно звезд от яркой опорной звезды к искомому объекту (рис. 6).

4) Съемка объектов с помощью цифровых камер. Камеры CANON EOS 400 D и EOS 600 D устанавливались в фокальной плоскости телескопа LX200. Управление камерами осуществлялось с помощью стандартного ПО через USB-интерфейс. Съемка велась с экспозициями от нескольких секунд до 30 секунд. Камера QN-B209 устанавливалась в окулярный узел телескопа Celestron

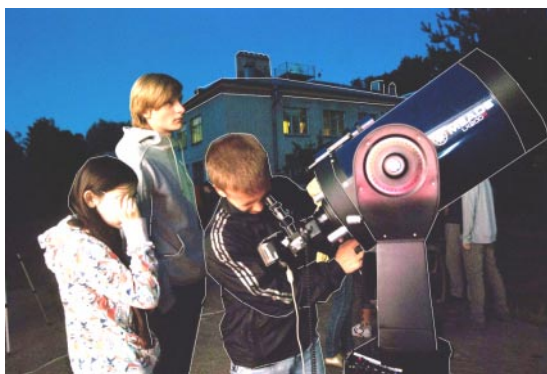


Рис. 6. Наведение телескопа Meade LX200

AstroMaster-130EQ. Съемка велась с помощью USB-устройства видеозахвата. Программное обеспечение – gstreamer в ОС Linux.

3. ОТ ФОТОНОВ К ЦИФРЕ: ПЕРВЫЕ ШАГИ ПРИ АНАЛИЗЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Все полученные снимки были конвертированы в fits-формат и размещены на сервере центра «Интеллект» и в сети Интернет (<https://sites.google.com/site/foxnose13/>). Туда же были загружены и видеофайлы. Занятия были организованы по группам в компьютерных классах центра «Интеллект». Для определения FWHM по результатам покадровой съемки видеонаблюдений участникам УТС было предложено:

1. Загрузить видеофайлы и fits-кадры (рис. 7).

2. Открыть любой из видеороликов в программе REGISTAX, осуществить суммирование кадров со сдвигом по звездам. Сохранить результат как fits-файл (рис. 8).

3. Открыть полученные fits-файлы в программе sfv. Построить центральные профили изображений звезд. Оценить FWHM при разных параметрах ориентировки профиля.

4. Выполнить пункт 3) для снимков, полученных с камерами CANON EOS 400 D и EOS 600 D (рис. 9).

5. Сравнить полученные значения FWHM. Совпали ли они в пределах ошибок? Почему совпали (почему не совпали)?

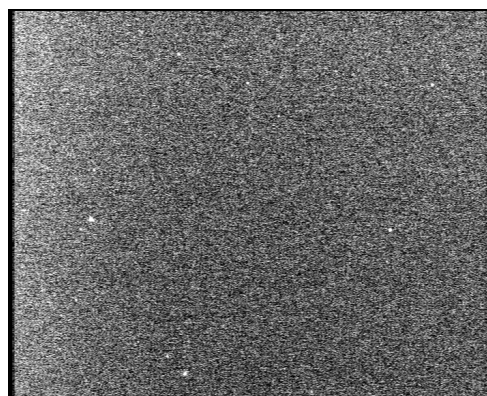


Рис. 7. Отдельный кадр из видеоклипа, содержащего результаты съемки скопления М39 в созвездии Лебедя



Наведение телескопа на сравнительно слабые объекты типа 61-ой Лебедя...

Определение FWHM – сравнительно простая задача. Существует масса программ, которые осуществляют этот процесс автоматически. В нашем случае такой подход скрывал от юных коллег суть вычислений. Поэтому было предложено оценить FWHM вручную (при желании участники УТС могут доработать приложение SFV для автоматизации измерений в дальнейшем). Программа SFV сыграла роль вьювера, в котором легко строить различные профили изображений. В результате независимых оценок, сделанных ребятами, оказалось, что для одиночных снимков, полученных с помощью вышеуказанных камер CANON, величины FWHM варьировались в пределах 3–4 arcsec. Значения FWHM для кадров, полученных после сложения отдельных кадров видеоролика, оказались в 2–3 раза больше. Объяснить это различие оказалось непросто. Детальный анализ профилей показал, что, с одной стороны, процесс сложения кадров не идеален (параметры сдвигов, поворотов, деформаций вычисляются недостаточно точно из-за малого отношения сигнал-шум на отдельных кадрах), с другой стороны, есть особенности аппаратной обработки кадров камерой QN-B209. По-видимому, происходит автоматическая регулировка диапазонов контрастности-яркости. В результате для

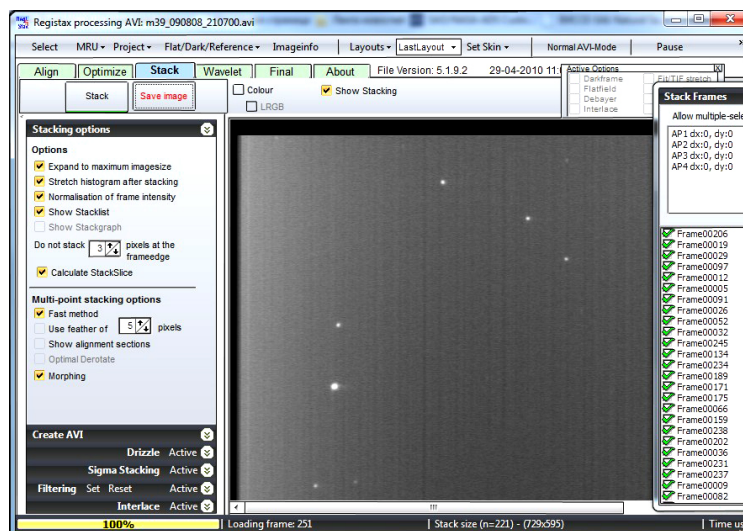


Рис. 8. Результат сложения кадров с помощью программы REGISTAX

ярких звезд пики профилей срезаются. Это и приводит к увеличению FWHM.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ШЕЙПЛЕТОВ

Данное дополнение к последнему занятию позволило расширить представление участников УТС об анализе астроснимков и дальнейшего применения оценок FWHM.

Профили звезд при ненадежном гидировании могут оказаться весьма сложными для аппроксимации с помощью традиционных

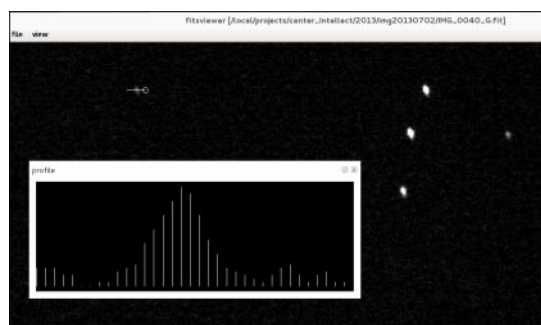


Рис. 9. Профиль изображения одной из звезд на кадре, полученном с помощью камеры CANON EOS 400 D. На кадре заметна деформация изображений звезд, связанная с несовершенством гидирования

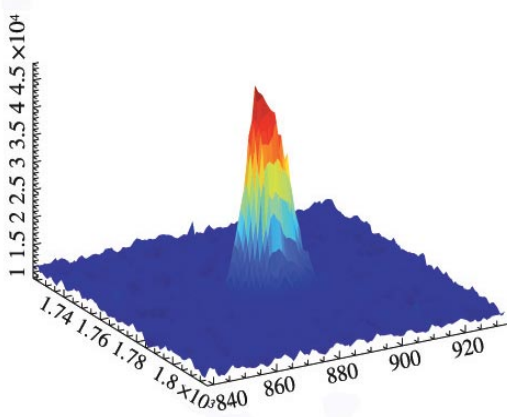


Рис. 10. Изображение одной из звезд на снимке, полученном при помощи камеры CANON EOS 600 D

технологий (см. рис. 10). Они подразумевают некую модель PSF (например профиль Лоренца).

В данном случае разумно использовать формализм разложения изображения звезды на шейплеты (shapelets – формочки). Пример графиков вещественных компонент базисных функций показан ниже (он взят из статьи *R. Massey and A. Refregier. Polar Shapelets. Mon. Not. R. Astron. Soc. 363, 1, 197 (2005)*).

Шейплеты представляют собой ортонормированную систему функций. Поэтому изображение звезды можно рассматривать как сумму произведений шейплетов и соответствующих коэффициентов до определенного порядка. Суть вычислений сводится к определению значений этих коэффициентов.

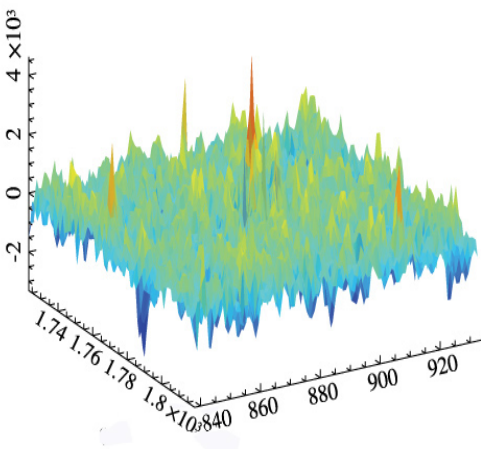


Рис. 12

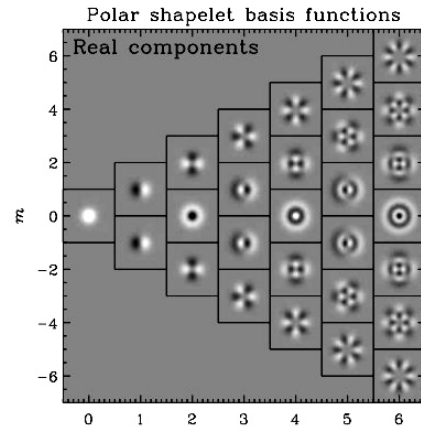


Рис. 11. Графики нескольких базисных шейплетов

В какой-то мере это напоминает уже знакомое многим участникам УТС разложение функции в ряд Фурье (рис. 11).

На рис. 12 показаны остаточные значения отсчетов на пикселях после вычитания результата разложения звезды по шейплетам. Из рисунка видно, что представленное в начале этого раздела изображение звезды полностью «вычтено». Остались только пики «шума» изображения.

Еще один пример – разложение изображения одной из галактик, взятого с ПЗС-кадра, полученного в рамках цифрового обзора SDSS (<http://www.sdss.org/>). Исходное изображение показано на рис. 13.

Свободным параметром разложения является некая величина, по физическому смыслу близкая к FWHM. Она характеризует ширину профиля шейплета нулевого порядка на высоте, в e раз меньшей максимуму

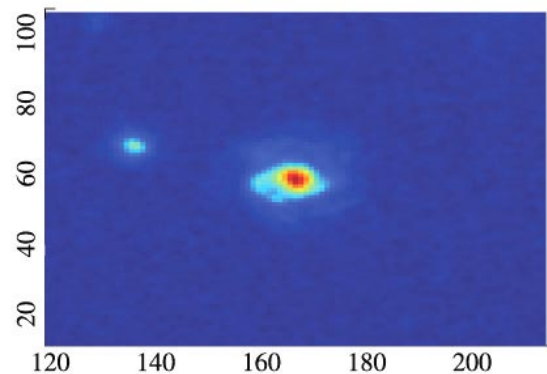


Рис. 13

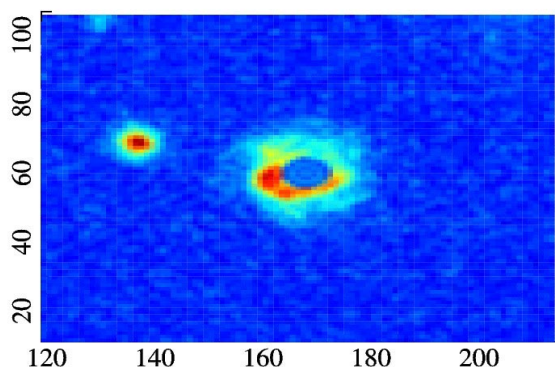


Рис. 14

ма. Если ее значение выбрать некорректно, то результат вычитания разложения из исходного изображения будет выглядеть так, как показано на рис. 14.

Если выбрать рассмотренную величину равной FWHM, то результат оказывается приемлемым. Это вытекает из анализа следующего рис. 15.

Как видно, корректная оценка такой простой величины как FWHM заметно уменьшает вычислительные затраты на поиск оптимальных параметров шейплет-разложения.

Легко понять, что применение подобного формализма возможно не всегда. Тем не менее, с его помощью можно успешно извлекать из изображений астрометрические и фотометрические данные. Более того, есть возможность формализовать процедуру классификации галактик, изучение поверхностной фотометрии галактик. Есть еще много других применений.

Как упоминалось в начале текста, формирование детального представления о рассмотренном формализме у участников УТС не было нашей целью. Мы стремились к

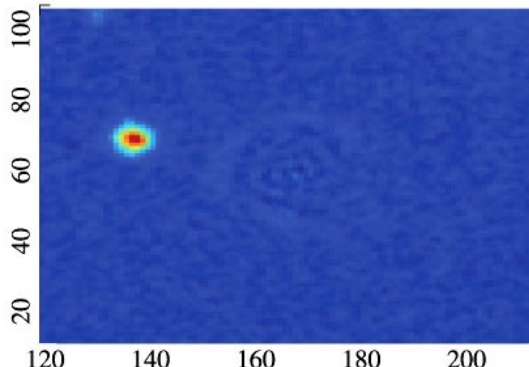


Рис. 15

тому, чтобы юные коллеги поняли основную идею метода. Возможно, это будет полезно им в дальнейшем изучении астрономии (и не только астрономии).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В ходе этой работы использовались два основных приложения – SFV и REGISTAX. Оба приложения можно свободно загрузить с помощью сети Интернет на свой компьютер и использовать при анализе астрономических снимков.

SFV (<https://docs.google.com/file/d/0B2X3mlYOHXvmUWFacXd0dkVqXzg/edit?pli=1>) – небольшое приложение для просмотра астрономических снимков в формате fits. Оно является кроссплатформенным.

REGISTAX (<http://www.astronomie.be/registax/>) – известная в среде астрономов-любителей программа для обработки астрономического видео.

Остальные приложения и пакеты являются стандартными для данного оборудования и операционных систем.

*Ховричев Максим Юрьевич,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Лаборатории Астрометрии и
Звездной Астрономии Пулковской
обсерватории (ГАО РАН),*

*Самсонов Ростислав Игоревич,
директор ГБОУ ДОД Центр
«Интеллект».*



Наши авторы, 2013.
Our authors, 2013.