

## ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И АСТРОНОМИЯ

УДК 52 : 378.14

А.В. Вольф, А.Е. Каплинский

### РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ АСТРОФИЗИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ

**Аннотация.** В статье обсуждаются вопросы постановки лабораторных работ для студентов с элементами астрофизики. На примере использования Брэдфордского роботизированного телескопа в режиме удаленного доступа и астрометрических ресурсов Интернета показана возможность проведения астрометрических и фотометрических исследований стационарных и нестационарных звезд. Результаты таких исследований применительно к сверхновой SN2014j в галактике M82 позволили экспериментально получить динамику ее блеска в трех спектральных каналах.

**Ключевые слова:** астрофизика, лабораторная работа, сверхновая, удаленная обсерватория, астрометрия, фотометрия.

A.V. Wolf, A.E. Kaplinsky

### DEVELOPMENT OF LABORATORY STUDIES WITH ASTROPHYSICAL CONTENT

**Abstract.** The aspects of setting up laboratory studies for students with elements of astrophysics are discussed. Taking the Bradford robotic telescope with remote access and astrometric Internet resources as an example, it is shown that astrometric and photometric research studies can be conducted with their help for stationary and non-stationary stars. The results of such studying of supernova SN2014j in M82 galaxy allowed to obtain experimental dynamics of its magnitude in three spectral channels.

**Key words:** astrophysics, laboratory studies, supernova, remote observatory, astrometry, photometry.

С введением федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования третьего поколения учебный процесс в высших учебных заведениях претерпел существенные изменения. Среди прочего произошло существенное увеличение доли самостоятельной работы студентов и во главу угла был поставлен компетентностный подход к их обучению. Данный подход в обучении предполагает, что по окончании вуза новоиспеченный специалист должен быть компетентен, в частности, в области постановки физического эксперимента и проведения измерений с их последующей интерпретацией.

Выполнение лабораторных работ очень важно в естественнонаучных дисциплинах. Глубокое практическое усвоение материала, овладение основными методами исследований и развитие критического подхода к анализу научных идей и фактов возможно только благодаря практике. При этом важно отметить, что астрономия (и астрофизика в частности) — единственная наука, которая в значительной мере базируется на наблюдательном материале в силу специфичности изучаемых ею явлений и зачастую невозможности поставить прямой физический эксперимент или провести прямое измерение.

В 2013 году силами сотрудников УНИЛ «Исследования космического пространства» и кафедры физики и методики обучения физике Алтайской государственной педагогической академии был реализован первый этап модернизации лабораторного практикума по астрономии для студентов института физико-математического образования АлтГПА [1, 2]. На втором этапе модернизации лабораторного практикума нами предполагается существенное расширение работ астрофизического содержания.

Основная трудность разработки данных работ заключается в специфике объектов и предмета исследований астрофизики, а также существенной зависимости от погодных условий на местности. Большое влияние на тематику лабораторных работ оказывает наличие необходимого оборудования.

Существенную часть курса астрофизики составляет физика звезд, изучение которых является посильной задачей для педагогических вузов, в которых этот курс, как правило, включен в число предметов по выбору и отводимое на него количество часов невелико. При наличии телескопа, оборудованного ПЗС-камерой и кольцом с фильтрами, возможно изучение стационарных и нестационарных звезд [3, 4].

**Характеристики используемых фотометрических фильтров**

Фильтр	$\lambda_{central}$ , нм	FWHM, нм	$\lambda_{max}$ , нм	Макс. пропускание, %
B	426.25	90.5	421.0	67.826
V	533.00	85.0	517.5	85.868
R	628.75	103.5	592.5	78.413

К сожалению, в АлтГПА на текущий момент времени нет в наличии кольца с фильтрами для ПЗС-камеры, из-за чего изучение физических характеристик звезд несколько ограничено. Разрешение данной проблемы возможно тремя способами: 1) приобретение и использование необходимого оборудования; 2) использование уже накопленного фотографического материала и 3) использование обсерваторий с удаленным доступом для получения необходимого материала. Мы пошли по пути комбинации всех трех путей решения проблемы. В частности, мы используем в учебном процессе материалы, полученные нами на Брэдфордском роботизированном телескопе [7]. Выбор данной обсерватории был нами сделан по целому ряду причин, среди которых самыми важными были:

1. Телескоп на данной обсерватории оборудован ПЗС-камерой с кольцом фильтров, что позволяет проводить многоцветную фотометрию объектов.

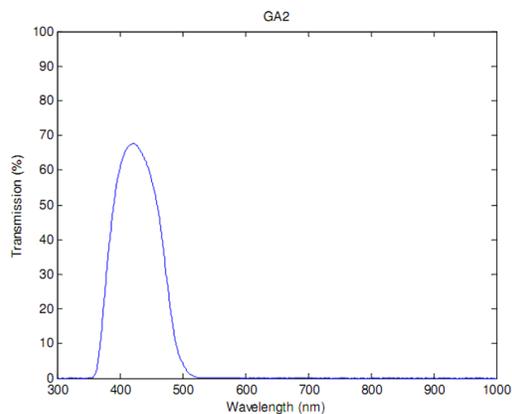


Рис. 1. Полоса пропускания фотометрического фильтра Johnson R

На текущий момент времени имеющееся в АлтГПА оборудование с привлечением ресурсов Брэдфордского роботизированного телескопа позволяет нам разрабатывать цикл лабораторных работ полного получения знаний:

1. Подготовка и проведение фотографических астрономических наблюдений.

2. Работа на телескопе для учебных групп предоставляется бесплатно.

Брэдфордский роботизированный телескоп расположен на высоте 2400 метров в точке с координатами 28° 17' 54" с.ш., 16° 30' 34" з.д. (о. Тенерифе).

В качестве инструмента на обсерватории используется телескоп системы Шмидта-Кассегрена Celestron C14 с апертурой 355 мм и фокусным расстоянием 3910 мм (f/11). Редуктор фокуса на данном инструменте дает эффективное фокусное расстояние 1877 мм с относительным отверстием f/5.3. Телескоп оснащен ПЗС-камерой 2-го класса FLI MicroLine с полем зрения 24 угловых минуты и размерами 1000x1000 пикселей (13 мкм на пиксел), и кольцом фильтров FLI CFW-2.

Характеристики используемых фотометрических фильтров приведены в таблице 1, а полосы пропускания для этих фильтров на соответствующих рисунках — Johnson B на рисунке 1, Johnson V на рисунке 2 и Johnson R на рисунке 3.

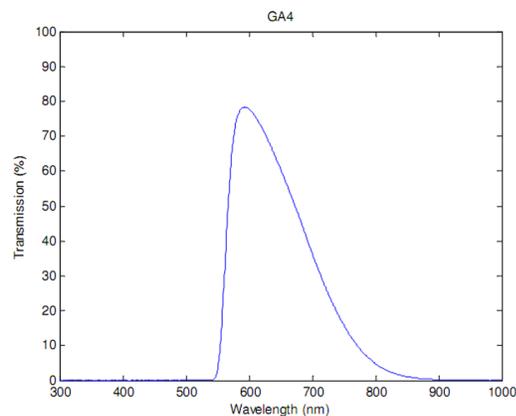


Рис. 2. Полоса пропускания фотометрического фильтра Johnson V

2. Обработка полученного фотоматериала.
3. Решение астрометрической задачи.
4. Решение фотометрической задачи.
5. Анализ и интерпретация полученных данных (к примеру, получение оценки расстояния до объектов).

Первых два пункта нами уже реализованы в виде конкретных лабораторных работ в рамках проведенного в 2013 году этапа модерниза-

ции практикума по астрономии. Третий пункт реализован частично в виде частной задачи астрометрии.

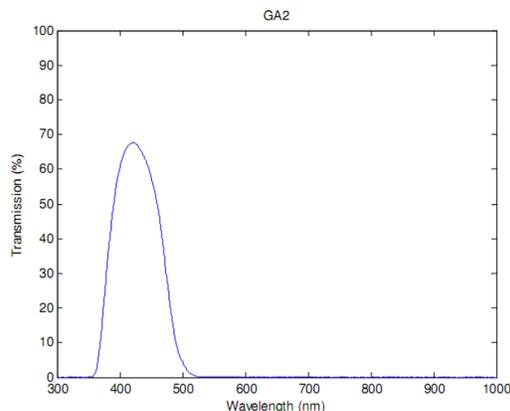


Рис. 3. Полоса пропускания фотометрического фильтра Johnson V

Для новых лабораторных работ мы предлагаем в качестве средства решения астрометрической задачи использовать сервис [astrometry.net](http://astrometry.net) [5]. Для решения фотометрической задачи можно применять несколько программных пакетов на выбор — в зависимости от используемой операционной системы и количества сопутствующих задач [6, 8, 9].

В качестве иллюстрации решения астрометрической и фотометрической задачи в период с 27 января по 27 марта 2014 года нами был использован Брэдфордский роботизированный те-

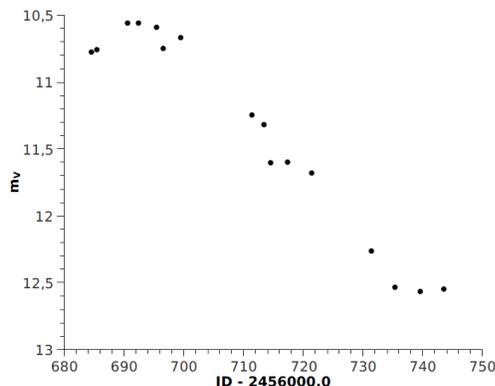


Рис. 4. Динамика изменения  $m_V$  SN 2014j

лескоп для получения снимков сверхновой SN 2014j ( $9^h 55^m 42.165^s$ ,  $69^\circ 40' 26.75''$ , ICRS) в галактике M82. Фотосъемка производилась через фотометрические светофильтры BVR. Калибровка полученных снимков производилась с использованием темновых кадров и кадров плоского поля. Астрометрическая задача была решена при помощи материалов сайта [5], а фотометрия сверхновой была измерена при помощи материалов сайта [6]. Полученные данные для канала V представлены в таблице 2 и на рисунке 4. Экспозиция каждого кадра составила 3 минуты.

Таблица 2

**Фотометрия SN 2014j для канала V**

Дата получения снимка	JD	$m_V$
27.01 01:07:28 UTC	2456684.546852	10.778
27.01 23:41:47 UTC	2456685.487350	10.757
02.02 02:02:43 UTC	2456690.585220	10.559
03.02 23:21:38 UTC	2456692.473356	10.559
06.02 22:50:16 UTC	2456695.451574	10.589
08.02 01:26:34 UTC	2456696.560116	10.747
11.02 00:33:02 UTC	2456699.522940	10.668
22.02 22:02:57 UTC	2456711.418715	11.245
24.02 23:34:44 UTC	2456713.482454	11.317
26.02 00:20:35 UTC	2456714.514294	11.605
28.02 21:39:26 UTC	2456717.402384	11.597
04.03 21:39:02 UTC	2456721.402106	11.681
14.03 23:08:36 UTC	2456731.464306	12.262
18.03 21:33:57 UTC	2456735.398576	12.536
23.03 01:13:48 UTC	2456739.551250	12.567
27.03 00:17:28 UTC	2456743.512130	12.547

Сопоставление результатов вычислений, проведенных по фотоснимкам с Брэдфордского роботизированного телескопа, с имеющимися в Интернете наблюдательными данными показало, что они вполне соответствуют им. К сожалению, из-за наличия облачности в конце января — начале февраля не удалось проследить самый интересный период максимума блеска сверхновой и по максимальному его значению определить расстояние до нее. Однако отработанная

методика удаленных наблюдений и обработки их результатов является вполне универсальной и может быть применена и для других звезд — в том числе новых, внегалактических сверхновых, переменных, в качестве средства развития интереса студентов к астрономии, физике, современным компьютерным технологиям обработки изображений, и для обучения их методам получения количественных данных из результатов наблюдений.

### Библиографический список

1. Астрономия : практикум / В.М. Лопаткин, А.В. Вольф, Д.А. Галецкий и др. — Барнаул : АлтГПА, 2013. — 90 с.
2. Вольф, А.В. Лабораторный практикум по астрономии / А.В. Вольф, Д.А. Галецкий, А.Е. Каплинский, В.М. Лопаткин, Р.С. Неприятель // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. — 2013. — № 4 (24). — С. 173–176.
3. Засов, А.В. Общая астрофизика : учебное пособие для студентов физических и астрономических специальностей университетов / А.В. Засов, К.А. Постнов ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга. — Фрязино : Век 2, 2011. — 573 с. : ил.
4. Сичевский, С.Г. Метод определения параметров звезд на основе их многоцветной фотометрии / С.Г. Сичевский // Астрономический журнал. — 2012. — Т. 89, № 9. — С. 787–792.
5. Astrometry.net : [сайт]. URL: <http://astrometry.net/> (дата обращения: 28.03.2014).
6. Audela — A Free, Open Source Astroimaging Software : [сайт]. URL: <http://www.audela.org/> (дата обращения: 28.03.2014).
7. Bradford Robotic Telescope : [сайт]. URL: <http://www.telescope.org/> (дата обращения: 28.03.2014).
8. Image Reduction and Analysis Facility : [сайт]. URL: <http://iraf.noao.edu/> (дата обращения: 28.03.2014).
9. IRIS: An astronomical images processing software : [сайт]. URL: <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm> (дата обращения: 28.03.2014).