

Задача 12. Фотометрия галактики с использованием цифрового атласа неба Aladin

15 февраля 2017 г.

1 Введение

Цифровой атлас неба Aladin, разработанный в Centre de Données astronomiques de Strasbourg, представляет собой многофункциональный комплекс программ для отождествления и визуализации астрономических объектов, определения координат выбранных точек, фотометрического анализа изображений, оценки угловых расстояний между отдельными точками, а также выхода на астрономические базы данных. Aladin широко используется для решения самых различных задач. В настоящей задаче предлагается использование Aladin для построения трехцветных изображений галактик по данным обзора SDSS, и фотометрии выбранных областей галактик в SDSS- фильтрах (системы g,r,i - звездных величин). Для детального измерения распределения показателей цвета обычно используются более сложные пакеты программ (напр., IDL, MIDAS, IRAF).

Рекомендуемые галактики для работы:

NGC 4501, NGC 4254, NGC 4123, NGC 309, NGC 493, NGC 2685, NGC 3198, NGC 2742, NGC 2776, NGC 2967, NGC 3190, NGC 3370, NGC 3423, NGC 3614.

1.1 Цели работы

1. Знакомство с форматом FITS для хранения фотометрических данных.
2. Проведение фотометрии галактики и ее отдельных областей по архивным данным SDSS.
3. Получение навыков работы с Aladin.

1.2 Знания, требуемые для успешного выполнения работы

Системы звездных величин и показателей цвета, в том числе используемые в SDSS, связь с потоком и интенсивностью. Поверхностные яркости, единицы измерения.

Связь показателей цвета звездных систем с характеристиками звездного населения.

Определенный навык работы с компьютером.

Влияние ослабления света на цвет и яркость источников.

2 Подготовка к работе

1. Скачать последнюю (v9 или новее) версию Aladin Desktop с сайта <http://aladin.u-strasbg.fr/>. Программа не требует установки.
2. Попробовать запустить Aladin. В случае требования установки Java, следуйте инструкции всплывающих окон.
3. Для удобства работы с *.fits*-файлами можно добавить в настройках ОС ассоциацию *.fits* и *.fts* файлов с Aladin.
4. Зайти на сайт SDSS Data Release 12 (для более нового Data Release 13 на момент написания описания Science Archive Server еще недоступен) <http://www.sdss.org/dr12/>.
5. Найти ссылку на Science Archive Server, после чего нажать на изображение галактики (Imaging). В открывшемся окне ввести в строку Search by Object Name идентификатор галактики, данный преподавателем (например, NGC 4501), нажать Enter.
6. После загрузки цветного изображения галактики в окне ниже, скачать пять фильтровых снимков в формате *.fits.bz2*. Эти файлы представляют собой *.bz2*-архивы *.fits*-изображений галактики в пяти фильтрах SDSS: ugriz. Разархивировать архивы с помощью WinRAR или 7-zip в одну папку, путь к которой не содержит кириллицы.
7. Открыть все пять файлов в одном окне Aladin. Это можно сделать командой «File/Open local file...», либо переносом мышкой из проводника (Drag-and-Drop). Отсортировать их в списке в порядке ugriz переносом мышки.

Aladin – удобный современный инструмент для просмотра и простой обработки *.fits*-файлов. Поскольку основным приложением Aladin является работа со средствами виртуальной обсерватории (Simbad, VizieR),

HiPS-панорамами всенебесных обзоров (DSS, SDSS, 2MASS, PLANCK) и каталогов (NED, HIPPARCOS, Gaia), работа с изображениями в Aladin является интуитивно понятной для современного пользователя. В Aladin встроен «интерактивный тур», активируемый по нажатию F1, позволяющий ознакомиться с основными элементами интерфейса.

Отдельное внимание стоит уделить «Plane Stack» – элементу интерфейса, расположенному по правому краю окна. В нем отображаются все загруженные и созданные слои: *.fits*-изображения, *HiPS*-панорамы, изофоты, области для исследования фотометрии.

Нажатие на галочку устанавливает слой как «reference frame»: все остальные слои будут рисоваться поверх него. Галочка должна стоять на самом нижнем слое из рассматриваемых одновременно. Выберите один из скачанных снимков и поводите курсором мыши по изображению. В правом верхнем углу изображения голубым цветом написано число. Это число соответствует значению соответствующего курсору пикселя *.fits*-файла, выбранного в качестве «reference frame», даже если поверх него отрисован другой непрозрачный слой.

Нажатие на трапецию со схематическим изображением галактики влияет на прозрачность слоя. По умолчанию трапеция белая, что соответствует прозрачному слою. Серая трапеция соответствует непрозрачному слою. Регулирование зеленого ползунка позволяет сделать слой полупрозрачным. Отображается самый верхний непрозрачный слой.

Третьей возможностью Aladin является выбор слоя. Выбранный слой выделяется голубой рамкой. Можно выбрать сразу несколько слоев нажатием Ctrl или Shift. Если выбран только один слой, то такие действия, как показ *.fits*-шапки или отрисовка изофот будет выполнена для выбранного слоя.

Aladin может сохранять свое состояние, чтобы потом можно было вернуться к проделанной работе. Для этого нажмите File/Save/Backup the stack.

Нажатие правой кнопкой мыши на изображение переводит в режим регулировки яркости и контрастности.

3 Выполнение работы

Упражнение 1. Формат *.fits*.

FITS (Flexible Image Transport System) – наиболее распространенный формат хранения цифровых данных в современной астрофизике. Файл представляет собой один или несколько бинарных массивов чисел, снабженных текстовой шапкой (header). В случае нескольких массивов у каждого может быть своя отдельная «подшапка». В массивах могут

храниться как изображения, так и каталоги – таблицы с числами и строками.

Шапку можно прочитать с помощью обычных текстовых редакторов (стандартный Блокнот Windows обычно зависает при открытии больших файлов, но WordPad справляется нормально). Шапка заканчивается словом END, после которого идет бинарный массив (крокозябры). Для чтения *.fits* файлов для языка программирования C существует библиотека cfitsio. В высокоуровневых языках (Python, IDL, Matlab, Wolfram) существуют более удобные средства работы с *.fits* файлами. Aladin умеет показывать текстовую шапку *.fits* файла. Для этого выберите интересующий слой в Plane Stack, чтобы вокруг него возникла рамка, и нажмите Alt+N.

Шапка состоит из набора строк, в котором первые 8 байт (букв) кодируют название параметра шапки, после чего стоит нечитаемый знак равенства и значение параметра. После значения может стоять знак / , за которым следует нечитаемый комментарий, предназначенный для читателя.

1. Откройте *.fits*-шапку файла, соответствующего фильтру g. Первые строки шапки заданы стандартом.

- Параметр SIMPLE равен T (true) в случае, когда файл следует стандарту, и F (false), если не следует.
- Параметр BITPIX указывает количество бит, выделяемых для каждого пикселя. Положительное значение соответствует целому типу, а отрицательное – типу с плавающей точкой. Например, 8 соответствует типу BYTE, в котором значение пикселя может принимать значения от -128 до 127. Значение -32 соответствует типу данных SINGLE FLOAT – числу с плавающей запятой одинарной точности (примерно 6 знаков после запятой в мантисе).
- Параметр NAXIS указывает размерность (число осей) массива. Для изображений NAXIS равен двум. Файлы, хранящие, например, панорамную спектроскопию – спектр каждой точки изображения – нуждаются в трехмерных массивах, такие файлы называются кубами данных (data cube).
- После чего следуют строчки NAXIS1, NAXIS2,..., в которых хранится количество столбцов, строк и так далее в массиве. Обратите внимание, что так как эти массивы призваны описывать картинку, а не выводиться в консоль, то пиксель с индексом (1,1) находится в левом нижнем углу, ось NAXIS1 соответствует оси OX. В отличие от других способов хранить цифровые данные, стандарт FITS нумерует массивы не с нуля, а с единицы.

- Параметр EXTEND объясняет читающей программе, что в файле может присутствовать более одного массива. Например, так устроены данные с камеры ACS телескопа Хаббл. Aladin в таком случае открывает каждый массив как отдельный слой. В этом практикуме таких файлов встречаться не будет.
 - SDSS использует единицу потока «nanomaggy», что описано в параметре BUNIT. Это аддитивная единица потока, такая, что поток в один maggy (10^9 nanomaggy) соответствует звезде нулевой величины в соответствующем фильтре. В отличие от системы UBVRI Джонсона, в которой нулевому цвету соответствует звезда спектрального класса A0, в системе ugriz нулевому цвету соответствует объект с независимой от частоты плотностью потока.
 - Параметры STYPE1...CD2_2 описывают астрометрическую привязку *.fits* файла.
 - Строки HISTORY и COMMENT нужны для того, чтобы записывать в них описание процессов обработки, проведенных с файлом.
 - Остальные параметры описаны в комментариях шапки.
2. Самостоятельно выведите формулу перевода потока в nanomaggy в звездные величины с помощью формулы Погсона.
 3. Закройте окно с шапкой. Выберите все пять слоев со снимками. Нажмите Ctrl+M, чтобы открыть меню управления шкалой яркости и контраста Pixel Mapping. Выберите диапазон Visible pixels от 0 до 5, нажмите Enter. Это действие привело к тому, что все пиксели со значением меньше 0 будут изображены цветом, соответствующим минимуму в шкале цвета (Color map), а ярче 5 – максимуму. Выберите линейную шкалу и цвет gray. Нажмите Apply on other images, чтобы применить цветовую шкалу ко всем выбранным слоям. Оставьте эти настройки неизменными до конца упражнения. Кнопка CM on view приведет к отображению цветовой шкалы рядом с изображением, она понадобится в следующих упражнениях.
 4. Постройте две цветные (RGB) картинки по слоям изображения с помощью инструмента *rgb* на панели инструментов. Одна картинка должна соответствовать ближней ИК-области (*zir*), а другая – видимой (*rgu*). Сохраните картинки в формате *.png*.
 5. Сделайте вывод о распределении областей, ярких в фильтре *u*. Что это за области?

Упражнение 2. Фотометрия и показатели цвета.

Основной задачей упражнения 2 является фотометрия всей галактики в пределах изофоты $22.5^m \text{ arsec}^{-2}$. Обычно фотометрической границей галактики считается изофота 25^m arsec^{-2} , но экспозиции SDSS недостаточно для построения такой изофоты.

1. По параметрам CDi_j шапки .fits файла определите угловой размер пикселя в секундах. Переведите поток в пикселе, измеренный в panomaggu, в звездную величину на квадратную секунду. Какое значение потока в пикселе соответствует 25 изофоте? А 22.5?
2. Выберите все слои с фильтровыми снимками и выставите шкалу яркости так, чтобы 22.5 изофота попадала примерно в середину диапазона.
3. С помощью инструмента cont постройте изофоту 22.5 для фильтра g. Для построения только одной изофоты нужно выбрать 1 в выпадающем списке «Generate N levels...».
4. С помощью инструмента dist оцените полуоси изофоты. Определите наклонение галактики по формуле $\cos i = b/a$. Удалите слой drawing с нарисованными стрелочками, они больше не понадобятся.
5. С помощью инструмента draw нарисуйте замкнутую ломаную линию вдоль изофоты. Не стоит делать слишком много узлов, так как каждый узел будет замедлять работу программы.
6. В правом нижнем углу окна Aladin постройте гистограмму распределения пикселей по яркости, укажет количество пикселей, сумму, среднее и медианное значение. По сумме определите звездную величину галактики в пределах изофоты до второго знака после запятой.
7. Галочкой выберите другой слой – фильтровой снимок. Числа в правом нижнем углу изменятся на соответствующие этому слою. Посчитайте звездную величину галактики во всех фильтрах. Выпишите в таблицу звездные величины и показатели цвета u-g, g-r, g-i, g-z.
8. Найдите показатели цвета U-V и V-V и оцените погрешность по формулам 1-3. Подробнее про перевод показателей цвета можно прочитать по ссылке

<https://www.sdss3.org/dr8/algorithms/sdssUBVRITransform.php>.

$$U - B = (0.52 \pm 0.06) \cdot (u - g) + (0.53 \pm 0.09) \cdot (g - r) - (0.82 \pm 0.04) \quad (1)$$

$$B - g = (0.175 \pm 0.002) \cdot (u - g) + (0.150 \pm 0.003) \quad (2)$$

$$V - g = (-0.565 \pm 0.001) \cdot (g - r) - (0.016 \pm 0.001) \quad (3)$$

9. Найдите светимость галактики в светимостях Солнца с учетом абсолютной звездной величины в фильтре g : $M(g) = +5.12 \pm 0.02$. Расстояние до галактики найдите в базе данных NED.

<https://ned.ipac.caltech.edu/>

10. Повторите те же действия для ядра и балджа галактики в пределах 20-й изофоты и для самостоятельно выбранной наиболее голубой области спирального рукава.

Упражнение 3. Карта показателей цвета.

1. С помощью инструмента Image/Arithmetic operation постройте карты отношения потоков u/g и g/i . Выберите приемлимый диапазон для отображения, используйте неинвертированную таблицу цветов rainbow, чтобы более голубая область отображалась голубым цветом, а красная – красным.
2. Для сглаживания используйте инструмент Image/Convolution. Выберите Gaussian Kernel, Matrix radius 5. Сохраните сглаженные файлы цветов в *.fits* и *.png*. Отобразите цветовую шкалу на изображении и сохраните его.

4 Итог работы

Должна быть построена карта распределения показателей цветов выбранной галактики, определена звездная величина в каждом фильтре в пределах выбранной области и соответствующее значение светимости (в светимостях Солнца), оценена поверхностная яркость объекта.

Библиография