

## Инструкция по фотометрии в IRAF

1. IRAF предназначен для работы на компе под linux'ом. Однако можно работать и под Windows, установив Cygwin и версию IRAF под Cygwin. Пока описываю только вариант с linux.  
Запускаем iraf, нажав на иконку. (На ноутбуке — открываем терминал, даем команду ./iraf  
Появятся терминал и окно для отображения изображений.

Удобно рядом поместить обычный терминал (просто линукс, не iraf). Некоторые команды линукса работают и в iraf, другие нет. Например, создавать и редактировать текстовые файлы удобнее в простом терминале.

2. Переходим в директорию, где находятся изображения, полученные в одну ночь. Сырые изображения сохраняем в одном месте, обрабатываем их в другой директории, заблаговременно создав ее и скопировав туда все файлы.

Например, сырые кадры в /observ/20120825

Обработка в /reduc/20120825

Команда cd переход в другую директорию

cd .. в верхнюю директорию

cd <dir-name> переход в данную директорию

pwd показывает текущую директорию

cd вне iraf переход в домашнюю директорию /home/user

внутри iraf переход в /home/user/IRAF

Команда cp копирование файлов.

Например, мы находимся в директории /observ/20120825

Чтобы скопировать все файлы в /reduc/20120825 даем команду

cp \* ~/reduc/20120825

cp -r копирование директорий рекурсивно. Например, мы находимся в

/observ Чтобы скопировать директорию 20120825 в /reduc,

даем команду cp -r 20120825 ~/reduc

Команда ls показывает все файлы и директории

3. Начинаем первичную обработку кадров. Для этого нужно, чтобы в эту ночь снимались bias, dark, flat.

Если нет, то эти кадры можно взять из соседних ночей. Важно чтобы bias, dark были получены с той же температурой камеры, для flat это не важно.

Если есть несколько кадров bias, dark (dark с одинаковой экспозицией)

их необходимо усреднить. Команда

imcombine <input files> <output file>

Например, даем команду imcombine bias\*.fit bias

Все файлы названия которых начинаются с bias и имеющие расширение .fit

будут усреднены, результатом будет файл bias.fits

Так же с темнотой (dark): imcombine dark\*.fit dark

После этого ненужные файлы стираем imdel bias\*.fit

imdel dark\*.fit

У нас остались кадры bias.fits, dark.fits

Переходим в программу обработки:

noao

imred

ccdred

Используем программу ccdproc

Задаем параметры: epar ccdproc

В строках zerocor, darkcor ставим yes, в flatcor - no.

выходим :q (две клавиши нажимаем последовательно!)

Запускаем программу:

ccdproc \*.fit zero=bias dark=dark

Все кадры с расширением .fit будут исправлены за bias, dark,

включая изображения объектов и плоские поля flat.

Теперь усредняем хорошие плоские поля в каждом фильтре (хорошее плоское поле имеет отсчеты в пределах 15000-40000 и нет следов звезд; допустимы, хотя и хуже, отсчеты от 8000 до 50000; экспозиция больше 1 сек)

Например

imcombine flat-B\*.fit flatB  
imcombine flat-V\*.fit flatV и т.д.

Получим усредненные плоские поля в каждом фильтре flatB.fits, flatV.fits и т.д.  
Исправим кадры с объектами за плоские поля:

erap ccdproc  
ставим по в строках zerocor, darkcor  
ставим yes в строке flatcor  
запускаем: ccdproc \*B.fit flat=flatB  
ccdproc \*V.fit flat=flatV и т.д.  
Первичная обработка закончена.

#### 4. Апертурная фотометрия.

Переходим в программу фотометрии :

by для выхода из ccdred

by выход из imred

digi

app

Выводим на экран нужное изображение:

disp hzher-001r.fit 1

Будем использовать программу апертурной фотометрии phot

а) Определим размер апертуры и кольцо, в котором берется фон.

Запускаем gadprof, наводим курсор на звезду, нажимаем

d

Появится графический терминал, в нем надо еще раз ввести размер отображаемой области (набрать 20 enter или принять значение по умолчанию просто нажать enter).

Появится график зависимости отсчета от радиуса. Выберем радиус, на котором звезда явно заканчивается, и начинается фон. (например 7)

Выходим из gadprof: нажимаем q в графическом терминале, в экране и в терминале. После этого закрываем графический терминал (крестиком).

Вставляем найденный радиус в программу: erap photpars

apertur 7

:q выход

Радиус кольца фона можно принять на 4 больше апертуры, а его размер - тоже 4

erap fitskypars

annulus 11

dannulus 4

:q

б) Теперь нужно фотометрировать последовательность изображений.

Самый простой, но трудоемкий способ - вручную фотометрировать каждый кадр.

Выводим его на экран (например hzher-001R.fit),

запускаем phot hzher-001R

наводим курсор на нужные звезды и нажимаем пробел. При этом в erap phot нужно поставить interactive=yes

В терминале будут отображаться результаты, в том числе звездная величина (условная), ее ошибка.

Выход из программы - нажать q на экране, а потом в терминале.

Будет создан файл hzher-001R.mag.1 (если мы при запуске программы не писали расширение) если писали, то hzher-001R.fit.mag.1

В нем будут спасены результаты фотометрии. Последовательно делаем это для всех кадров серии.

Удобнее использовать команду qphot

Для нее нужно прямо в командной строке задать размеры радиуса и кольца:

qphot HZHer-001R 3 11 4 7

3 - не важное число, 11 - радиус фона, 4 - ширина фона, 7 — радиус фотометрии.

Гораздо быстрее запустить программу в автоматическом режиме.

Возможны два варианта: автоматически определить координаты нужных звезд на всех кадрах; задать координаты вручную, но тогда, если звезды на кадрах сдвигаются, нужно их выровнять.

б1) автоматически определяем координаты

Используем программу daofind. Она находит на кадрах звезды и определяет их координаты. Кадры, полученные с камерой AP-47, с правого края имеют "шумную" полосу. Ее нужно отсечь, иначе программа будет находить в этой полосе много несуществующих звезд. Это делается командой `imcopy HZHer-*.fit[1:512,1:512] HZHer-*.fit`

После этого в кадрах останется только хорошая часть.

Основные параметры команды daofind задаются так:

Запускаем `epar findpars`

Вводим `nsigma 3` (например) - это число примерно равно FWHM звезд на изображении (определяется программой `gaufprof`, если нажать не `d`, а пробел)

Основной параметр - `thresho`

Он определяет, какие звезды будут отбираться, чем он больше, тем меньше будет найдено звезд (только более яркие). Его нужно подобрать, чтобы находились только нужные нам звезды (может быть и немного больше).

Подбираем по одному из кадров:

Запускаем программу daofind `HZHer-001R.fit`

Подтверждаем значения параметров (нажимаем `enter` после вопросов программы), после работы создается файл `HZHer-001R.fit.coo.1`

Смотрим его (лучше в другом терминале, где `iraf` не запущен)

`less HZHer-001R.fit.coo.1`

Если находится больше звезд чем нужно, увеличиваем `thresho`, если меньше - уменьшаем. После подбора проверяем на нескольких других кадрах - (например последнем, и среднем), при необходимости еще корректируем `thresho`

Потом запускаем программу на все кадры серии в одном фильтре

`daofind HZHer-*R.fit`

Подтверждаем параметры, получим файлы вида `HZHer-00nR.fit.coo.n` для всех кадров (`n` - число).

б2) Начинаем фотометрию. Запускаем `epar phot`

Нужно чтобы `coords = default`, `interact = no`

Тогда программа будет считывать файлы с координатами и фотометрировать звезды с этими координатами.

Запускаем `phot HZHer-*R.fit`

Подтверждаем параметры, получаем файлы `HZHer-*R.fit.mag.1`

Чтобы получить удобную таблицу результатов, используем

`txdump HZHer-*R.fit.mag.1 otime,mag,merr > HZHer-R.dat`

Программа считывает все файлы с результатами фотометрии и заносит в файл `HZHer-R.dat` только время наблюдения, звездные величины и их ошибки. После этого легко определить разности инструментальных величин переменной и стандартов и их ошибки.

Второй метод - вручную задать координаты звезд, которые нужно

фотометрировать, а если звезды сдвигаются на кадрах - выровнять кадры.

Метод более трудоемкий, однако он незаменим если нужно потом суммировать несколько кадров.

### **Выравнивание кадров и их сложение**

Начинаем с выравнивания. Отрезать края не нужно. Выводим на экран первый кадр, во второе окошко - последний кадр серии. Смотрим смещение звезд. Если оно не больше 7-10 пикселей, дело проще. Определяем координаты какой-нибудь звезды на первом кадре, заносим их в файл `coord`

Файл удобно создавать и редактировать в другом терминале, где `iraf` не запущен. Я пользуюсь редактором `joe` но есть много других.

В `joe` это выглядит так:

`joe coord`

Если файла еще нет, он будет создан, если уже есть, будет редактироваться.

Вводим координаты

230 341

нажимаем Ctrl kx (3 клавиши, одной рукой Ctrl, другой последовательно k x)  
для спасения.

Запускаем программу imalign

imalign HZHer-\*R.fit HZHer-001R.fit coord HZHer-\*R.fit

Программа сдвинет все кадры так, чтобы звезды были на одних  
координатах на всех кадрах, и запишет результаты в те же кадры.

Можно фотометрировать кадры по отдельности, или (для сверхновых обычно так делается) сложить все кадры в  
каждом фильтре. Сложение описано ниже.

Теперь определяем координаты звезд, которые нужно фотометрировать, и заносим их, например, тоже в файл coord  
(конечно, можно его называть как угодно).

Перед запуском фотометрии надо запустить

erap phot

и сделать чтобы в строке coords =

было пустое место, а не default. Для этого в строке нажимаем пробел и затем ввод.

Теперь запускаем phot HZHer-\*R.fit coords=coord

Программа профотометрирует только звезды с координатами, указанными в  
файле coord. Дальше делаем таблицу, как и раньше.

Если сдвиг кадров больше 7 пикселей, нужно задать приблизительные сдвиги в особом файле. Обычно сдвиги  
довольно равномерные, тогда можно сделать так: выводим на экран первый и последний кадры серии и смотрим  
смещение звезд. Например, за 10 кадров звезда сместилась по координате x на 30 пикселей, а по y на 10 (пусть  
координаты увеличились). Тогда  
создаем файл sdvig такого вида:

0 0

-3 -1

-6 -2

....

-30 -10

Конечно, нужно учитывать знак смещения (если координаты уменьшаются, нужно ставить плюс, то есть вообще без  
знака). Число строк должно быть равно числу кадров.

После этого запускаем

imalign HZHer-\*R.fit HZHer-001R.fit coord HZHer-\*R.fit shifts=sdvig

(или сначала вводим imalign shifts=sdvig

а потом отвечая на запросы вводим остальные параметры: список файлов, первый файл, файл с координатами,  
файлы с результатами сдвига).

Кадры будут выровнены, можно делать фотометрию. Если программа выдаст ошибку, значит предположение о  
равномерном сдвиге неверно, нужно смотреть все кадры и определять сдвиги вручную. Можно определить сдвиги с  
помощью программы daofind. Определим часть кадра, в которую попадает одна яркая звезда, чтобы при смещении  
она оставалась в этих же пределах. Например, это часть по x от 100 до 200, по y от 300 до 400.

Тогда запускаем

daofind HZHer-\*R.fit[100:200,300:400]

При правильном подборе параметра thresho найдется только одна звезда и в файлах HZHer-\*R.fit.coo.1 будут ее  
координаты (правда, не на полном кадре, а только на его части, если истинная координата x=150, а мы вырезали по  
x 100:200, то будет выведено 50). Это не важно, так как нам нужны только смещения. Запускаем

txdump HZHer-\*R.fit.coo.1 'xcenter,ycenter' > 1.dat

В файле 1.dat будут координаты этой звезды, легко вычислить смещения и создать файл sdvig.

Для этого я написал простенькие программы на Фортране, каждый может сделать то же при желании,  
или воспользоваться этими программами.

Если понадобится сложить несколько кадров, то это можно делать после выравнивания:

imsum HZHer-001R,HZHer-002R,HZHer-003R HZHerRsum1

(или imsum HZHer-\*R.fit HZHerRsum

Три кадра (или все подходящие под это описание) сложатся в один, который будем фотометрировать.

## 5. PSF- фотометрия.

Если при апертурной фотометрии подсчитываются все отсчеты по пикселям внутри круга, то при psf-фотометрии  
производится подгонка распределения яркости в изображении звезды к некоему среднему распределению,  
вычисленному для данного кадра (psf — point spread function, распределение в точечном изображении). Если звезды

хорошо «проработались» (большое отношение сигнал/шум, ошибка апертурной фотометрии 0.01-0.02), то обычно результаты psf- и апертурной фотометрии практически совпадают. Если не совпадают, то что-то с кадром не в порядке (плохой фокус, сдвиг и т.д.). Для слабых звезд psf-фотометрия обычно точнее апертурной. Ее можно делать только после апертурной. Три этапа: а) апертурная фотометрия; б) построение psf-функции для кадра; в) собственно фотометрия.

Первый этап уже описан. Апертурная фотометрия сделана, файлы \*.mag.\* созданы.

Переходим в программу psf- фотометрии (daophot):

bye  
dao

Рассмотрим сначала «ручной» режим (обработка каждого кадра вручную).

Запускаем программу создания psf-функции для кадра (выведя его на экран):

psf n6430V

Подтверждаем все предложения программы, нажимая Enter.

Изменения нужны, когда программа запрашивает

Psf radius in scale units

Вводим здесь тот радиус, который использовался при апертурной фотометрии (радиус фотометрии)

Затем запрашивается

Fitting radius in scale units

Вводим здесь число, близкое к качеству изображения в пикселях, обычно применяем такое правило :

если радиус фотометрии меньше 8, вводим 2; радиус фотометрии от 9 до 12 — вводим 3; от 13 до 16 - вводим 4; больше 17 — вводим 5. Обычно этого достаточно.

Программа выдает

Computing PSF for image: n6430V

4 stars read from n6430V.mag.1

После этого переводим курсор на изображение, наводимся последовательно на наши звезды (для которых сделана апертурная фотометрия) и нажимаем клавишу a

Появится графический терминал с изображением распределения яркости в звезде (объемный рисунок).

Если распределение нам нравится, нажимаем снова a (курсор в графическом терминале)

Звезда включается в список для построения функции psf.

Если не нравится (звезда очень слабая и еле выделяется над флуктуациями фона, есть горячие или холодные пиксели прямо на звезде), нажимаем клавишу d и исключаем звезду из списка.

Пройдя по всем звездам, нажимаем последовательно клавиши f, w, q (курсор на изображении).

Переводим курсор в терминал IRAF и нажимаем еще раз q.

Программа закрывается.

Она создает файлы

n6430V.psf.1.fits

n6430V.psg.1

n6430V.pst.1

Далее делаем собственно psf-фотометрию. Запускаем программу

peak n6430V

Отвечаем на все запросы программы точно так же, как и на запросы программы psf.

После подтверждения всех запросов ничего делать не нужно, программа выдаст на экран посчитанные величины звезд и сама закроется.

Она создаст файл n6430V.pk.1

В нем будут psf-величины всех измеренных звезд и их ошибки.

Фотометрия закончена.

PSF-фотометрия в автоматическом режиме для группы изображений.

У нас сделана апертурная фотометрия последовательности изображений, например HZHer-001V.fit, HZHer-002V.fit  
..... HZHer-020V.fit

Созданы файлы HZHer-\*V.fit.mag.1

Сделаем автоматически psf-фотометрию.

Переходим в пакет daophot

Вводим epar psf

вводим interac = no

photfile= HZHer-\*V.fit.mag.1  
йрpfstfile = HZHer-\*V.fit.mag.1  
Запускаем psf HZHer-\*V.fit  
Подтверждаем параметры, вводим нужные числа для Psf radius, Fitting radius.  
Создаются файлы .psf., .psg., .pst.  
Запускаем peak HZHer-\*V.fit  
Создаются файлы .pk. с результатами фотометрии. Обработка закончена.  
**Фотометрия сверхновых на фоне галактики.**

Если фон галактики сильный и существенно искажает структуру изображения звезды (это легко проверить, сделав команду gadprof), необходимо перед фотометрией вычесть фон галактики. Для этого нужно иметь хорошие изображения галактики без сверхновой, желательно во всех фильтрах и с хорошим качеством изображений (не хуже чем на лучшем из снимков с SN). Конечно, здесь возможны варианты — часто бывает достаточно снимка только в одном фильтре (обычно R или V), если SN достаточно далеко от центра галактик и рядом нет «сгущений». Все это проверяется при фотометрии, сравнением результатов полученных разными методами. Часто, когда SN яркая, можно обходиться без вычитания, и начинать вычитать только когда она ослабеет.

Итак, у нас есть изображение с SN: sn.fit и изображение галактики gal.fit.

Лучше, если они получены на одном телескопе с одной камерой, но вполне можно использовать и «разные» изображения.

### Совмещение изображений

Выводим sn.fit и gal.fit на два соседних экрана. Находим по крайней мере 3 общие звезды на обоих кадрах (можно больше). С помощью программы center определяем точные (с точностью до 0.01 пиксела) координаты выбранных звезд на обоих кадрах. Обозначим их X1sn, X2sn ...; Y1sn, Y2sn — координаты X и Y звезд на кадре с SN, X1gal....Y1gal.... - то же, на кадре без SN. Создаем файл dat с такой структурой:

```
X1sn Y1sn X1gal Y1gal  
X2sn Y2sn X2gal Y2gal  
.....
```

Запускаем программу geomap dat rez 1 N1 1 N2,

где N1, N2 — размер кадра с SN по X и Y координатам (эти цифры приводятся в заголовке каждого кадра).

Программа откроет графическое окошко, которое надо сразу же закрыть клавишей q, и создаст файл rez, в котором приводятся параметры преобразования кадра gal.fit. Выход из программы — клавиша 'q'.

Далее запускаем geotran gal.fit galtran.fit rez dat

Кадр galtran.fit будет совпадать геометрически с кадром sn.fit. На всякий случай проверяем, выведя эти два кадра в соседние окошки и блинкуя — звезды должны точно совпадать. Очень редко, но бывают ошибки — звезды не совпадают. Тогда нужно проверить файл dat, если он правильный — еще раз запустить весь процесс, если не помогло — выбрать другие звезды.

Далее вычитаем из кадров sn.fit и galtran.fit фон неба. Удобно это сделать с помощью программы qphot:

запускаем qphot sn.fit 3 0 3 1

Нажимаем a

Программа пишет на экране:

Measure sky around several cursor positions (t=measure, q=quit

Выбираем курсором места с чистым фоном и нажимаем t

Измерим таким образом фон в примерно 10 точках, нажимаем q

Программа выдает:

Averages 2174.508 19.75259 3.608857 223 29 ok

Первое число и будет средним фоном по кадру. Закрываем программу еще одним q

Делаем то же самое с кадром galtran.fit

Вычитаем фон из обоих кадров:

imarith sn.fit - 2174.508 sn.fit, то же для galtran.fit

Число конечно для каждого кадра свое.

Теперь сравниваем качество изображений на обоих кадрах программой gadprof.

Запускаем gadprof, наводим курсор на какую-нибудь не очень яркую и не очень слабую звезду и нажимаем пробел.

Программа откроет графическое окошко и выдаст в терминале такую строку:

kiss15nRc 445.14 206.62 50096.22 3.99 18.358 ok

Цифра 3.99 в этом случае — полуширина изображения звезды (FWHM) в пикселях. Делаем то же для изображения без SN, сравниваем цифры. Если они близки, все хорошо и можно идти дальше. Если сильно различаются (больше чем на 0.5), то нужно «испортить» кадр с лучшим качеством. Впрочем, если SN находится в месте с достаточно гладким фоном, можно этим и пренебречь. Все решается индивидуально. Если SN около ядра или сгустка, это делать обязательно.

Запускаем для кадра с лучшим качеством программу

```
gauss galtran.fit galgauss.fit 1.5
```

Она создаст кадр galgauss.fit, в котором звезды будут размыты. Параметр программы (в данном случае 1.5) определяет степень размытия и находится путем подбора. Запускаем gadprof galgauss.fit и находим FWHM для той же звезды, если она стала хуже чем надо, уменьшаем параметр, если все еще недостаточно испортилась, увеличиваем.

Итак, у нас есть два кадра с SN и без SN с примерно нулевым фоном неба и примерно одинаковым качеством изображений (если это нужно). Найдём параметр нормировки: разделим один кадр на другой

```
imarith sn.fit / galgauss.fit div.fit
```

Выводим кадр div.fit на экран и делаем фотометрию нескольких точек вокруг сверхновой:

```
qphot div.fit 3 0 3 1
```

Делаем так же, как при определении фона неба, только водим курсором вокруг места SN. Программа затем выдаст среднее значение нормировочного множителя

```
Averages 0.3555 0.2 .....
```

На это значение умножим galgauss.fit

```
imarith glagauss.fit * 0.355 umn.fit
```

И вычтем из sn.fit результат умножения

```
imarith sn.fit — umn.fit result.fit
```

Если все сделано правильно, то на кадре result.fit будет сверхновая на почти чистом фоне и остатки от вычитания звезд и может быть центральных областей галактики. Теперь вырезаем из result.fit кусок со сверхновой и вставляем в исходный кадр:

Приблизительно определяем координаты сверхновой (просто курсором). Пусть это x,y. Далее:

```
imcopy result.fit[x-k:x+k, y-k:y+k] par.fit
```

где k — определяет размер вырезаемого куска, обычно 20-30 пикселей достаточно.

И наконец

```
imcopy par.fit sn.fit[x-k:x+k, y-k:y+k]
```

Дело сделано — у нас кадр со звездами сравнения и со сверхновой на почти чистом фоне. Его фотометрируем так, как уже описано ранее (апертурная и psf-фотометрия).