

IRAF/APPHOT FUCKUAL

Версия 2.0

31/12/2011

Содержание

Обозначения и сокращения.....	3
Пояснения к тексту	4
Почему IRAF?.....	5
Установка и конфигурация IRAF	7
Учимся работать в IRAF	9
2.1 Запуск IRAF и общие сведения	9
2.2 Редактирование параметров заданий	11
2.3 Пример: определение FWHM и параметров фона, редактирование параметров datpars	11
Начальная обработка изображений	13
3.1 Сортировка кадров.....	13
3.2 Обрезка области оверскана и ориентирование всех кадров	14
3.3 Комбинирование темновых кадров и кадров подложки	14
3.4 Вычитание dark из изображений и плоского поля.....	15
3.5 Комбинирование кадров плоского поля	15
3.6 Учет плоского поля.....	16
3.7 Вычисление юлианской даты	16
Геометрическое выравнивание изображений и астрометрическая привязка.....	17
4.1 Выравнивание изображений в прямоугольной системе координат	17
4.2 Выравнивание в экваториальной системе координат (астрометрическая шапка WCS)	19
Фотометрия звезд.....	21
5.1 Определение оптимальной апертуры и параметров изображения	21
5.2 Выбор звезд для измерения.....	21
5.2.1 Самостоятельный выбор звезд.....	21
5.2.2 Автоматический поиск звезд командой daofind.....	22
5.2.3 Преобразование прямоугольных координат объектов в экваториальные	23
5.3 Фотометрия.....	23
Работа с фотометрическими данными	24
6.1 Сортировка и выборка, вывод в файл	24
6.2 Выравнивание за изменение прозрачности атмосферы	25
Список литературы	26
Приложение А	27
Приложение Б.....	27
Приложение В	31

Обозначения и сокращения

ПЗС

PSF (англ. – Point Spread Function)

FWHM

IRAF «Image Reduction and Analysis Facility»

подложка

оверскан

темновой кадр

кадр плоского поля

WCS

Пояснения к тексту

Команды в терминале Linux начинаются после знака

:~\$

Команды в терминале xgterm начинаются после знака

>

Сами команды выделены **полужирным шрифтом**, например:

```
ec1> !ds9&
```

Параметры команд так же выделены полужирным шрифтом:

```
ec1> imcopy name[1:2048,1:2048] new_name
```

Имена файлов и вообще имена выделены *курсивом*: *name*, *new_name*, так же курсивом выделены и списки файлов для групповой обработки: *filelist.txt*, *output.txt*.

Особенно важные параметры команд выделены **полужирным шрифтом**:

```
input = @dark_in List of images to combine  
output = sdark List of output images
```

Почему IRAF?

За более чем 35-летнюю историю использования ПЗС-приемников было создано множество программных пакетов для обработки астрономических изображений. Однако все они реализуют три основных способа фотометрии: апертурная, PSF и метод разностных изображений.

Первый способ заключается в нахождении суммарного потока от объекта в выделенной области изображения – апертуре (рис. 1). Так как в апертуре кроме сигнала от звезды присутствует фон неба, то его необходимо учесть. Для этого определяется средний фон в пикселе в кольце (англ.: annulus) вокруг апертуры и из потока в апертуре вычитается это значение, умноженное на площадь апертуры. Между апертурой и кольцом остается промежуток (англ.: gap), чтобы слабые «крылья» изображения не вносили свой вклад в среднее значение фона. Оптимальный радиус апертуры равен значению FWHM для изображения звезды. Этот метод плохо работает в тесных звездных полях, когда в апертуру попадает свет от соседней звезды, а в кольце присутствуют звезды, повышающие значение фона неба.

Второй способ основывается на допущении, что форма профиля изображения точечного объекта – функция рассеяния для точки (англ. – Point Spread Function) не зависит от яркости источника (рис. 2а). Для определения функции рассеяния точки требуется наличие нескольких достаточно изолированных "стандартных" звезд (так называемых PSF-звезд), находящихся, по возможности, в областях с наиболее равномерным окружающим фоном. По выбранным PSF-звездам получают усредненные и нормированные к единичному значению параметры приближения профилей звезд. Имея эти параметры, вписывают вычисленное приближение в профили остальных звездообразных объектов и по изменению нормировочного коэффициента оценивают их яркость. После вычитания из реального профиля источника его теоретическо профиля иногда появляются новые звезды, ранее тонувшие в ореоле ярких соседей (рис. 2б). Этот метод можно применять в тесных звездных полях и в случае, когда источник проецируется на неравномерный фон, например сверхновые в галактиках.

Дальнейшим развитием PSF-фотометрии стал способ вычитания изображений. В тех случаях, когда нас интересует не абсолютный поток, а лишь его изменения, можно вычитать из изображений некое опорное изображение этого же участка неба. Все изменения на небе будут отражены в результирующем изображении (рис. 3). Остаток от вычитания измеряется методом апертурной или PSF-фотометрии. Перед вычитанием оба изображения «размываются», это делается, чтобы функция рассеяния точки была для них одинакова. Метод чувствителен к изменениям прозрачности атмосферы и фона неба, также важно стабильное качество изображений по полю зрения. Но это, пожалуй, лучший способ фотометрии слабых и не изолированных объектов. Метод был разработан для обработки большого количества данных обзоров неба.

Принципиальной разницы между программами, реализующими один и тот же способ фотометрии, нет. Так почему же именно IRAF?

IRAF это аббревиатура от «Image Reduction and Analysis Facility» – средство для обработки и анализа изображений. Основной дистрибутив IRAF включает в себя набор программ для работы с изображениями в видимом и инфракрасном диапазонах. Так, в нем можно осуществлять и апертурную и PSF-фотометрию. Освоение IRAF, не имеющего графического пользовательского интерфейса, вызывает определенные трудности, но не сложнее других подобных программ. В дальнейшем этот опыт может быть полезен в научной работе с другими пакетами в среде Linux.

Ну и наконец, у IRAF есть несколько принципиальных преимуществ перед другими программами:

- 1) IRAF – очень мощное средство обработки астрономических изображений, его возможности далеко не ограничиваются фотометрией звезд;

- 2) IRAF позволяет одновременно фотометрировать все звезды на кадре, это невозможно в большинстве программ;
- 3) Обработка кадров в IRAF не требует их визуализации, что позволяет одновременно работать с большим количеством изображений большого формата;
- 4) В подавляющем большинстве публикаций именно IRAF используется для фотометрии;
- 5) IRAF – совершенно бесплатная программа.

В этом пособии не приводятся теоретические выкладки. Предполагается, что читатель знаком с курсом астрометрии и практической астрофизики. Подробности о работе тех или иных пакетов и заданий можно подчерпнуть в подробных описаниях на сайте IRAF. Темы, не входящие в курс практической астрофизики, раскрываются в соответствующих статьях указанных в ссылках.

Установка и конфигурирование IRAF

IRAF разработан для работы в операционной системе Linux. Поэтому, прежде всего вам необходимо установить эту операционную систему на ваш компьютер. Для тех, у кого нет опыта работы в Linux, лучшим выбором будет Ubuntu [4] – простая и понятная версия Linux. Если вам необходимо работать в двух операционных системах, можно воспользоваться виртуальной машиной, например VirtualBox [5] для установки системы Linux непосредственно внутри Windows. Более подробно об установке Linux и виртуальной машины можно прочитать в Интернет.

Многие действия в Linux производятся из командной строки – терминала, наиболее важные команды приведены в Приложении А, более подробно можно узнать по адресу http://www.f-notes.info/doku.php?id=linux:linux_command.

Для установки IRAF вам понадобится пакет tcl. Если его нет – установите, используя менеджер пакетов Synaptic. В системах, основанных на Debian (в том числе и Ubuntu) можно использовать следующую команду:

```
:-$ sudo apt-get install tcl
```

или воспользоваться менеджером пакетов Synaptic (Система/Администрирование/Менеджер пакетов Synaptic).

Дистрибутив IRAF можно скачать по адресу <http://optlab.astro.usu.ru/iraf/> или воспользоваться командой:

```
:-$ wget http://optlab.astro.usu.ru/iraf/iraf.tar.gz
```

Распакуйте архив iraf.tar.gz в любую папку. Можете пользоваться следующей командой, выполненной в папке с архивом:

```
:-$ tar xfvz iraf.tar.gz
```

Запустите скрипт install_iraf.sh с правами суперпользователя. Используйте один из следующих способов:

```
:-$ sudo ./install_iraf.sh  
:-$ su -c "./install_iraf.sh"
```

Перейдите в домашнюю директорию и запустите из неё терминал xgterm. Используйте следующие команды:

```
:-$ cd ~  
:-$ xgterm
```

В терминале xgterm выполните команду **mkiraf**. В результате в вашей домашней директории появится файл *login.cl*.

Откройте файл *login.cl* в вашем любимом текстовом редакторе, например одним из следующих способов:

```
:-$ gedit login.cl &  
:-$ joe login.cl
```

Проверьте, верно ли указаны пути к вашей домашней папке в строке 7:
set home = "/home/ваше_имя_пользователя/"

и в строке 17 имя терминала, в котором вы будете запускать IRAF:

```
stty      xgterm
```

Измените в строке 24 параметр `stdimage` на значение `imt4096`:

```
set       stdimage      = imt4096
```

Измените в строке 31 параметр `imtype` на значение `"fits"`:

```
set       imtype        = "fits"
```

Сохраните изменения в файле `login.cl` и закройте его.

Чтобы начать работать в IRAF, запустите из вашей домашней папки терминал `xgterm` и выполните в нём команду `cl`.

Учимся работать в IRAF

2.1 Запуск IRAF и общие сведения

После входа в Linux запускаем терминал и переходим в папку IRAF, в которой лежит файл login.cl

```
:-$ cd Iraf/
```

запускаем xgterm с тегом &

```
:-$ xgterm&
```

Тег & позволяет закрыть терминал, не прерывая работы xgterm. Далее запускается сам IRAF

```
:-$ cl
```

Вы увидите приветственное окно IRAF (рис. 4).

```
NOAO/IRAFNET PC-IRAF Revision 2.14 Fri Nov 30 15:27:05 MST 2007
This is the RELEASED version of IRAF V2.14 supporting PC systems.

Welcome to IRAF. To list the available commands, type ? or ?? . To get
detailed information about a command, type `help <command>'. To run a
command or load a package, type its name. Type `bye' to exit a
package, or `logout' to get out of the CL. Type `news' to find out
what is new in the version of the system you are using.

Visit http://iraf.net if you have questions or to report problems.

The following commands or packages are currently defined:

    dataio.    language.  obsolete.  softtools.  tables.
    dbms.     lists.     plot.      stsdas.     utilities.
    images.   noao.     proto.     system.

ecl> █
```

Рис. 4 – Приветственное окно IRAF.

В терминале xgterm действуют основные команды Linux, например вы можете запустить программу просмотра фитс-файлов DS9[] следующим образом:

```
> !ds9&
```

Узнать, что находится в папке, где вы сейчас находитесь, можно с помощью команды

```
> ls
```

Перемещение по дереву папок осуществляется с помощью команды

```
>cd /путь/имя
```

Например:

```

> ls
Desktop Download IRAF Pictures Templates
Documents Music Public Videos
> cd IRAF
> ls
20100501 login.cl login.cl~ uparm

```

Переход вверх по дереву папок на один уровень командой

```
> cd ..
```

IRAF представляет собой большое количество отдельных небольших программ или заданий (англ.: task). Задания необходимые для определенного вида обработки собраны в пакеты, например пакет *arrhot* содержит задания необходимые для проведения апертурной фотометрии. В свою очередь пакеты часто входят в состав более крупных пакетов, тот же *arrhot* содержится в пакете *noao* – созданном для работы с данными, полученными в *National Optical Astronomy Observatory*.

На приветственной странице IRAF виден список основных пакетов. Некоторые команды IRAF не привязаны к пакетам, и вы можете их вызвать в любое время, а некоторые входят в конкретные пакеты и работают только внутри них. Для входа в пакет просто наберите его имя, например для доступа к командам пакета *noao*:

```
> noao
```

Для перемещения вверх по дереву пакетов IRAF введите команду

```
> by
```

Пакеты, содержащие в себе другие пакеты, обозначаются точкой после названия. Для получения списка заданий внутри пакета введите команду *?*. Для вызова справки используется команда *help*:

```
> help task_name
```

При работе вам придется столкнуться с множеством файлов. Определитесь с расширениями, чтобы не путаться. А имена лучше оставить такими же, как и имена исходных изображений. Например, так, как это показано в табл. 1.

Таблица 1.

расширение	Тип файла	Список файлов
<i>name.fits</i>	Изображение	<i>list</i>
<i>name.fnd</i>	Файл с найденными звездами (find)	<i>findlist</i>
<i>name.mtc</i>	Файл с кроссидентификацией звезд (match)	<i>matchlist</i>
<i>name.coo</i>	Файл с координатами (coordinates)	<i>coolist</i>
<i>name.mag</i>	Файл со звездными величинами (magnitudes)	<i>maglist</i>

Терминалы Linux и *xterm* сохраняют историю выполненных команд. Вы можете вызвать ранее выполненную команду, используя клавиши со стрелками.

Частично набрав имя файла или директории, нажмите на клавишу *tab*, Linux закончит ввод имени сам.

2.2 Редактирование параметров заданий

Каждое задание выполняется с определенными параметрами, определяющими имена входных и выходных файлов, взаимодействие с другими заданиями и общими параметрами пакета, особенности выполнения задания. Кроме того в пакетах есть общие параметры, характеризующие входные данные и работу всего пакета в целом, к их именам добавляется знак @. Чтобы просмотреть параметры используйте команду **lpar** (list parameters) с именем задания. Для редактирования параметров задания используется команда **epar** (edit parameters). Для сохранения результатов редактирования – сочетание клавиш ctrl+d.

```
>epar phot
```

Все параметры хранятся в папке `uparm` в виде отдельных файлов, соответствующих заданиям IRAF. Для их переноса с одного компьютера на другой достаточно скопировать эту папку. Так же следует сохранять ее копию при переустановке системы или IRAF.

В Приложении Б приведены рекомендуемые параметры заданий, используемых в этой методичке. Так же их можно скачать с нашего сервера []. Более подробно о параметрах можно узнать в описаниях пакетов на страничке [<http://iraf.noao.edu/iraf/web/iraf-help.html>] или вызвав справку командой **help**.

Чаще всего именно неправильно заданные параметры являются причиной ошибок при работе IRAF. Поэтому прежде, чем запустить любое задание, настоятельно рекомендуем проверить его параметры.

2.3 Пример: определение FWHM и параметров фона, редактирование параметров `datapars`

В качестве примера проведем редактирование параметров `datapars@` из пакета `noao/digiphot/apphot`, характеризующих входные изображения.

Перейдите в пакет `noao/digiphot/apphot`. Запустите программу DS9 для просмотра изображений:

```
> !ds9&
```

Используя команду `cd`, перейдите в папку, содержащую изображения прошедшие начальную обработку (подробнее о начальной обработке в следующей главе). Откройте изображение в DS9

```
> display name.fits
```

Для анализа изображения используйте команду:

```
> imexam
```

Сделайте активным окно DS9, щелкнув мышкой на его рамке. Наведите указатель в активном окне DS9 на звезду и нажмите клавишу `r`, в открывшемся окне `irafterm` вы увидите профиль изображения звезды. Еще несколько полезных функций **imexam** вызываются клавишами:

a – вывод параметров профиля в терминал `xgterm`

r – вывод радиального профиля и параметров в графический терминал `irafterm`

h – визуализация гистограммы

m – вывод статистики в терминал

s – трехмерная визуализация области

Для оптимальной фотометрии следует использовать апертуру с радиусом равным FWHM для изображений звезд, в этом случае соотношение сигнал/шум будет максимальным []. IRAF рассчитывает FWHM несколькими способами:

- 1) enclosed FWHM – полная ширина профиля на уровне, содержащем половину суммарного потока от звезды,
- 2) Moffat FWHM – ширина профиля аппроксимированного функцией Моффата,
- 3) direct FWHM – усредненная по разным азимутам непосредственно измеренная ширина профиля на половине максимального значения.

Значения, рассчитанные разными способами, отличаются незначительно. Вариации величины по полю могут быть намного больше. Измерьте direct FWHM для нескольких звезд и посчитайте среднее значение – это и будет искомое значение апертуры для фотометрии.

Так же следует оценить стандартное отклонение фона, для этого используйте клавишу **m**. Стандартное отклонение определяется для области вокруг курсора, следите, чтобы в нее не попадали звезды и горячие пиксели. Размер области определяется в параметрах задания **imexam** константами **ncstat** и **nlstat**.

Для выхода из **imexam** нажмите клавишу **q**, когда курсор находится в активном окне DS9.

Полученные средние значения для direct FWHM и стандартного отклонения фона надо внести в параметры **datapars**. Для этого вызовите функцию редактирования параметров:

> epar datapars

Клавиши со стрелками вверх/вниз позволяют перемещаться по списку параметров. Для изменения просто введите новое значения в соответствующей строке. Для сохранения результатов нажмите одновременно клавиши **ctrl** и **d**.

Прежде всего измените значения полей **fwhmpsf** (FWHM) и **sigma** (стандартное отклонение фона). Проверьте и установите правильные значения шума считывания и коэффициента усиления для вашей камеры. Остальные значения параметров не так критичны, их значения можно проверить в Приложении Б.

Начальная обработка изображений

Включает в себя следующие процедуры:

- 1) Сортировку кадров;
- 2) Обрезку области оверскана и ориентирование для всех кадров;
- 3) Комбинирование темновых кадров;
- 4) Вычитание темновых кадров из изображений объекта и плоского поля;
- 5) Комбинирование кадров плоского поля;
- 6) Деление кадров с изображением неба на кадр плоского поля.

3.1 Сортировка кадров

Часто возникает необходимость отсортировать или выделить кадры, по какому либо параметру. Например, по фильтру или величине экспозиции. Значения этих параметров содержатся в заголовке кадра – фитс-шапке (англ.: fits-header). Для работы с данными, содержащимися в заголовке, есть задание **hselect**. Приведем несколько примеров работы этой команды.

Нам необходимо узнать время получения всех кадров, содержащихся в папке и вывести эти данные в файл *date*. После имени команды идет маска (*.fit) для файлов с расширением .fit. Использование маски позволяет одновременно обработать все файлы с соответствующим расширением. Символ \$I подразумевает вывод имени файла. Далее через запятую следуют поля шапки, которые необходимо выводить в файл.

```
> hselect *.fit $I,DATE-OBS > date
```

В файле *date* мы получим запись следующего вида:

```
29289.fit 2010-09-02T16:45:24.286
29291.fit 2010-09-02T16:48:56.486
29293.fit 2010-09-02T16:52:22.801
29296.fit 2010-09-02T16:55:50.943
```

Если мы добавим условие, например, выводить в файл только имена файлов, в которых поле FILTER равно I, то получим список изображений полученных в этом фильтре.

```
> hselect *.fit $I '@"FILTER"=="I"' > ifilterlist
```

Чтобы отделить эти кадры от всех остальных можно переместить их в отдельную папку (например, I) используя команду **movefiles**.

```
> movefiles @ifilterlist I
```

Папка должна быть расположена в той же директории, что и перемещаемые файлы.

Работа с масками и списками позволяет одновременно обрабатывать большое количество кадров. Маска задается расширением или частью имени файла, на месте звездочки (*) могут находиться любые символы. В отличие от имен файлов, имена списков в заданиях следует предварять знаком @. Списки можно редактировать в любом текстовом редакторе Linux.

Вы можете создать лист входных файлов для потоковой обработки средствами Linux. Для этого необходимо перейти в папку с вашими изображениями используя команду **cd**. Для формирования списка файлов используйте команду **ls**. Например, имена всех файлов по маске *.fits будут записаны в файл *filelist*.

```
> ls *.fits > filelist
```

Редактировать полученный файл можно в любом текстовом редакторе. Используя функцию поиска и замены легко сменить расширение всех файлов в списке, как это рекомендовалось в пункте 2.1 этого руководства. Если вы хотите сохранить выходные файлы в отдельную папку, то создайте ее и пропишите в списке путь к ней. Например: *folder_name/file_name.fits*.

3.2 Обрезка области оверскана и ориентирование всех кадров

Область оверскана на кадре образована колонками и строками подвергающимися считыванию непрерывно, даже во время экспозиции. Таким образом, сигнал в этой области представляет собой уровень подложки (англ.: bias). Иногда эту область используют для уточнения среднего уровня подложки при обработке. Для повышения точности фотометрии нужно учитывать не средний уровень подложки, а значение подложки в каждом пикселе. Для этого получают кадры с нулевой экспозицией, либо темновые кадры, в которые входит еще и сигнал теплового шума ПЗС. Для камер с глубоким охлаждением (до -100°C) значение теплового шума пренебрежимо мало и при калибровке изображения можно использовать просто кадр подложки. В остальных случаях следует получать темновые кадры с той же экспозицией и при той же температуре, что и кадры со звездами.

Область оверскана можно отрезать на первом этапе обработки. Это можно сделать командой **imcopy**. Параметрами команды являются имя файла, область для копирования и имя выходного файла. Например, копируем часть изображения *name* с размерами [1:2048,1:2048] и создаем новое изображение с именем *new_name*.

```
> imcopy name[1:2048,1:2048] new_name
```

Вместо значения области можно использовать символ (*), это означает копирование всех пикселей колонки или столбца. Дополнительно можно использовать знак (-). В этом случае изображение будет скопировано с отражением. Например, скопируем изображение *name* и создаем новое изображение с именем *new_name* с отражением по оси Y.

```
> imcopy name[*,-*] new_name
```

При копировании большого числа изображений используйте маску.

Для поворота изображения используется команда **rotate**. Параметры команды: имя файла, новое имя, угол поворота.

```
> rotate name new_name 180
```

Эта команда может использоваться со списками файлов. Например,

```
> rotate @filelist @output 180
```

Обрезка области оверскана не обязательная процедура. Ориентирование кадров при фотометрии тоже не обязательно, если вы будете работать в экваториальных координатах.

3.3 Комбинирование темновых кадров и кадров подложки

Для удаления следов космических частиц и случайного шума калибровочные кадры усредняются медианным сложением. Проще всего скомбинировать кадр подложки и темновые кадры, используя команду **imcombine**. Параметры и список входных файлов можно

задать непосредственно в командной строке IRAF, или же заранее отредактировав параметры команды. Лучше выбрать последнее.

Вызовите список параметров:

```
> epar imcombine
```

Первые две строки – имена входного и выходного файлов (или списков). В качестве входного используется список *@dark_in*. Для формирования кадра *bias* (или темнового кадра) нужно использовать медианное усреднение, для этого параметр *combine* должен быть равен *median*. Но можно получить и сумму *combine=sum* или среднее *combine=average*. Медианное усреднение позволяет достаточно хорошо избавиться от следов космических частиц.

Осталось только запустить команду

```
> imcombine @dark_in sdark
```

которая сформирует изображение *super-dark* (*sdark*) из файлов, входящих в список *list*.

Следует еще раз отметить, что для каждой экспозиции должен быть соответствующий темновой кадр. Если все изображения звезд были получены с одной экспозицией и при неизменной температуре ПЗС, то достаточно одного темнового кадра. Кадры плоского поля обычно получают с существенно меньшей экспозицией, и для них следует сформировать свой темновой кадр.

3.4 Вычитание *dark* из изображений и плоского поля

Опять же формируем список изображений для обработки

```
> ls *.fits > filelist
```

Правим его в текстовом редакторе и создаем список *clear* с именами выходных файлов.

Командой

```
> imarith @filelist - sdark @clear
```

вычитаем *sdark* из изображений, перечисленных в файле *filelist*, и сохраняем их под именами из списка *clear*.

После вычитания темнового тока в изображениях, возможно, появятся отрицательные значения. Их можно заменить на 0 командой **imreplace**.

```
> imreplace @clear 0 upper=0
```

3.5 Комбинирование кадров плоского поля

Из всех кадров плоского поля вычитается соответствующий темновой кадр, после чего из них формируется кадр *super-flat*.

Можно использовать список или же перечислить изображения непосредственно в параметрах команды:

```
> imcombine flat0,flat1,flat2 sflat combine=median
```

Так мы сформировали медианно среднее *sflat* из изображений *flat0,flat1,flat2*.

Комбинирование плоских полей можно сделать специальной командой `flatcombine`. Для этого нужно перейти в пакет `ccdred: noao>imred>ccdred`.

> **flatcombine** @list

По умолчанию имя выходного файла будет `Flat`. Но вы можете изменить его, отредактировав параметры команды. Там же можно поменять и параметры сложения.

Для получения нормированного плоского поля его нужно разделить на константу. Обычно в качестве константы выбирается мода (пиковое значение гистограммы). Определить это значение можно командой

> **imstat** Flat

Только не забудьте поменять параметры этой команды для вывода моды. Нормируем плоское поле командой

> **imarith** Flat / const

где **const** – значение моды.

Так как в дальнейшем нам придется делить на плоское поле, то оно не должно содержать нулевых значений (вообще все значения должны быть вблизи единицы). Но нулевые значения вполне могут возникнуть, если камера имеет существенные косметические дефекты. Можно просто заменить все нулевые отсчеты на 1. Это делается командой **imreplace**.

3.6 Учет плоского поля

Остается поделить изображение объекта на плоское поле:

> **imarith** object / sflat

Или все кадры сразу командой:

> **imarith** @clear / sflat @good

Теперь у нас есть набор кадров готовых для проведения фотометрии.

3.7 Вычисление юлианской даты

При наблюдениях переменных звезд необходимо знать юлианскую дату. Для этого есть команда **setjd**. Она находится в пакете `noao/astutil`. Для ее правильной работы необходимо изменить некоторые параметры и установить место наблюдения. Параметры меняются с помощью команды **epar setjd**, место наблюдения описывается в **epar observatory** (пакет `noao`). Остается только запустить команду для списка файлов и она запишет в фитс-шапку файлов значение юлианской даты. Вывести значения в текстовый файл можно командой **hselect**.

Геометрическое выравнивание изображений и астрометрическая привязка

Ведение телескопа не идеально, это приводит к смещению звезд на кадре от экспозиции к экспозиции. Особенно заметно это на кадрах, полученных в разные ночи. Выравнивание подразумевает, что мы устанавливаем систему координат, в которой положение одних и тех же объектов на всех кадрах одинаково. Можно использовать либо прямоугольную систему координат, где значения $[x:y]$ соответствуют расстоянию от угла кадра, выраженному в пикселях, либо экваториальную, в этом случае для каждой точки на кадре можно однозначно вычислить соответствующие координаты RA и DEC (информация об этом преобразовании сохраняется в заголовке кадра).

В первом случае при выравнивании необходимо сдвигать и поворачивать изображения таким образом, чтобы объекты «совмещались». Это удобно если вам нужно сложить несколько изображений или фотометрировать одни и те же объекты на разных кадрах, после выравнивания они будут иметь одинаковые прямоугольные координаты

Во втором случае изображения не сдвигаются, но однозначно определяются правила, по которым можно вычислить экваториальные координаты любой точки снимка. Это удобно при работе с такими приложениями, как Aladin [], когда вы можете нанести на изображение метки по каталожным координатам объектов. В этом случае при фотометрии необходимо указывать не прямоугольные координаты объектов, а экваториальные.

IRAF позволяет произвести не только простые трансформации снимка (сдвиг, поворот), но и масштабирование. Это необходимо если вы хотите сложить кадры с разных инструментов.

4.1 Выравнивание изображений в прямоугольной системе координат

После геометрического выравнивания всех изображений вы можете использовать одинаковые прямоугольные координаты для фотометрии всех объектов, и у вас не возникнет проблемы кроссидентификации звезд в выходных файлах.

Для начала создаем список всех кадров (по маске, используя расширение .fits):

```
> ls *.fits > list
```

и редактируем его, если это необходимо.

Открываем список *list* в текстовом редакторе и, используя функцию «поиск и замена», изменяем расширения имен файлов с fits на fnd. Сохраняем файл со списком под новым именем, например *findlist*. В файлах *.fnd будет храниться информация о прямоугольных координатах найденных объектов.

<i>list</i>	<i>findlist</i>
<i>name0.fit</i> →	<i>name0.fnd</i>
<i>name1.fit</i> →	<i>name1.fnd</i>
<i>name2.fit</i> →	<i>name2.fnd</i>

Прежде всего необходимо найти на кадрах звезды, относительно которых будет происходить выравнивание. Для этого можно воспользоваться командами **daofind** или **starfind**. Редактируем параметры **daofind** и **findpars** как это описано в Приложении Б и пункте 5.2.2. Для выравнивания можно использовать не все звезды, а только яркие (которые наверняка будут присутствовать на всех кадрах). Вообще количество звезд не должно быть слишком большим, для этого задаем порог (**threshold**) для поиска достаточно высоким.

Запускаем **daofind** для списка всех кадров:

```
> daofind @list @findlist
```

С помощью команды **tvmark** проверяем правильность автоматического поиска звезд для одного или нескольких кадров, при необходимости корректируем параметры.

```
> !ds9&  
> display name0.fits 1  
> tvmark 1 name0.fnd
```

Один из фалов, полученных с помощью **daofind**, выбираем в качестве опорного. Открываем его и сохраняем под новым именем (для примера назовем его *ref.fnd*).

В текстовом редакторе, модифицируя расширения имен из списка *findlist*, делаем список файлов, в которых будут храниться данные о кроссидентификации объектов (назовем его, например, *matchlist*).

<i>findlist</i>	<i>matchlist</i>
<i>name0.fnd</i> →	<i>name0.mtc</i>
<i>name1.fnd</i> →	<i>name1.mtc</i>
<i>name2.fnd</i> →	<i>name2.mtc</i>

Редактируем параметры и запускаем команду **xyxymatch** которая производит кроссидентификацию объектов:

```
> xyxymatch @findlist ref.fnd @matchlist
```

Типичными причинами неудачной кроссидентификации являются: большое количество звезд, разворот кадра на угол более 20-30 градусов или отражение кадра относительно опорного.

Редактируем параметры задания **geomap**, необходимо установить размеры области соответствующие размеру кадра. Запускаем **geomap** для списка *matchlist*, задаем имя выходного файла (например, *transform*). Если хотите, то можно запустить **geomap** в интерактивном режиме, если нет – не забудьте отредактировать этот параметр. О горячих клавишах в интерактивном режиме можно узнать нажав **shift + ?** во время выполнения задания. Выход из режима подсказки – **q**.

```
> geomap @ matchlist transform
```

В файле *transform* содержатся данные для трансформации всех кадров.

Делаем еще один список *trlist*, где указываем имена для трансформированных кадров (здесь надо сохранить расширение *.fits*, например *.tr.fits*).

Запускаем команду **geotran** с параметрами *@list @trlist transform @matchlist*.

```
> geotran @list @trlist transform @matchlist
```

Изображения из списка *list* будут трансформированы по правилам указанным в файле *transform* в изображения с именами из списка *trlist*. Теперь прямоугольные координаты звезд на всех кадрах будут совпадать (не идеально, но дополнительное центрирование апертуры при фотометрии решает эту проблему).

4.2 Выравнивание в экваториальной системе координат (астрометрическая шапка WCS)

В этом случае изображения не смещаются, но в фитс-шапке прописывается экваториальная система координат (World Coordinate System), которая позволяет легко идентифицировать объекты. Команда **phot** в качестве входных координат для фотометрируемых объектов может использовать как прямоугольные, так и экваториальные координаты. Правда, на выходе всегда будут прямоугольные, но для идентификации звезд можно использовать ID (порядковый номер в списке).

Для начала создаем список всех кадров (по маске, используя расширение .fits):

```
> ls *.fits > list
```

и редактируем его, если это необходимо.

Сразу же можно открыть список *list* в текстовом редакторе и создать список *findlist*, просто поменяв расширения для имен файлов (поиск и замена). Например .fits → .fnd

```
list          findlist
name0.fit →   name0.fnd
name1.fit →   name1.fnd
name2.fit →   name2.fnd
```

Редактируем параметры **HWHM**, **threshold**, **roundhi** (для не очень круглых звезд) у задания **starfind** (пакет images/imcoords). Запускаем поиск звезд на кадре командой **starfind**:

```
> starfind @list @findlist
```

с большим порогом (**threshold**). Нужно найти не очень много звезд, не больше 100.

С помощью команды **tvmark** проверяем результат поиска звезд.

```
> !ds9&
> display name0.fits 1
> tvmark 1 name0.fnd
```

Загружаем каталог звезд для нашего кадра, примерные координаты центра кадра есть в фитс-шапке кадра. Удобно воспользоваться сервисом Aladin (коротко о нем рассказывается в Приложении В). Опять же нужно не слишком много звезд. Удобно пользоваться каталогом Tycho. В итоге получаем файл, содержащий координаты звезд в нужной области неба (в нашем примере он имеет имя *tycho*).

#ID	RA(dd.dd)	DEC(dd.dd)
1	22.92267306	30.70969028
2	22.94426222	30.62485583
3	22.94630611	30.36716972
4	22.97926250	30.49784778
5	23.00034639	30.22329917
6	23.00048389	30.36567556
7	23.00880778	30.51663139
8	23.02219889	30.91878361
9	23.05195056	30.25986528

В текстовом редакторе, модифицируя расширения имен из списка *findlist*, делаем список файлов, в которых будут храниться данные о кроссидентификации объектов (назовем его, например, *matchlist*).

```
findlist      matchlist
name0.fnd →  name0.mtc
name1.fnd →  name1.mtc
name2.fnd →  name2.mtc
```

Теперь необходимо найти соответствие между звездами на наших снимках и звездами каталога с помощью команды **ccxymatch**. Запускаем **ccxymatch**, предварительно отредактировав параметры (прежде всего, правильно укажите номера колонок входных файлов и единицы измерения (degrees, hours)).

```
> ccxymatch @findlist tycho @matchlist
```

Видим, что команда сработала только для первого кадра. Программа модифицирует опорный каталог и для второго кадра он уже не работает. Можно легко обмануть **ccxymatch** подгружая каталог заново для каждого кадра. Создайте список *ref* в который поместите имя вашего каталога столько раз, сколько у вас кадров вот в таком виде:

```
tycho
tycho
tycho
```

Снова запустите **ccxymatch** указав новые параметры:

```
> ccxymatch @findlist @ref @matchlist
```

Просматриваем сообщения, которые команда выводит в терминал. На каждом кадре должно быть кроссидентифицировано не менее 20-30 звезд. Наиболее типичная причина неправильной работы – ошибки в параметрах команды или большое количество звезд во входных списках.

Для расчета преобразования прямоугольных координат в экваториальные используется команда **ccmap**, результаты сохраняются в файле *transform*:

```
> ccmap @matchlist transform
```

С помощью команды **ccsetwcs**, создаем (трансформируем) фите - шапку кадров перечисленных в *list* по правилам, описанным в *transform*, соответствие между кадрами и преобразованиями задается в *matchlist*.

```
> ccsetwcs @list transform @matchlist
```

Теперь все кадры имеют стандартную фите - шапку, содержащую данные об экваториальных координатах. Информация о координатах доступна при просмотре в DS9 и Aladin.

Фотометрия звезд

5.1 Определение оптимальной апертуры и параметров изображения

Перед началом работы стоит посмотреть на изображение и определить оптимальную ширину апертуры. Запустите DS9 и откройте изображение:

```
> !ds9&  
> display name.fits
```

Для анализа используйте команду:

```
> imexam name.fits
```

После запуска введите номер окна (frame), в котором открыто изображение.

Наведите указатель в активном окне DS9 на звезду и нажмите клавишу r, в открывшемся окне `irafterm` вы увидите профиль и оценку FWHM.

Для оптимальной фотометрии следует использовать апертуру с радиусом чуть больше, чем Moffat FWHM. Параметр FWHM может меняться по кадру, используйте клавишу a для вывода данных в окно терминала. В дальнейшем можно усреднить значения FWHM и выбрать подходящий радиус апертуры.

Вот некоторые горячие клавиши:

- a – вывод параметров профиля в терминал
- r – вывод радиального профиля и параметров в графический терминал `irafterm`
- h – визуализация гистограммы
- m – вывод статистики в терминал
- s – трехмерная визуализация области

Так же следует оценить стандартное отклонение фона, для этого используйте клавишу m. Область, по которой будет рассчитана статистика, определяется в параметрах команды константами **ncstat** и **nlstat**.

Для выхода из **imexam** нажмите q в активном окне DS9.

Усредните полученные значения и внесите в параметры **datapars** используя команду **epar**.

5.2 Выбор звезд для измерения

Для проведения фотометрии вам необходимо составить список объектов и их координат. Это могут быть прямоугольные или экваториальные координаты. В первом случае все кадры, для которых составлен этот список, должны быть выравнены геометрически как это описано в п. 3.2.1. Во втором случае в фите - шапках кадров должна содержаться астрометрическая информация. Экваториальные координаты объектов можно взять из каталогов и просто привести к нужному виду. Если же у вас нет координат нужных вам звезд, то этот список составляется из объектов на кадре.

Можно самостоятельно выбрать звезды, которые будут измеряться, а можно доверить это процедуре **daofind**. Опишем обе процедуры.

5.2.1 Самостоятельный выбор звезд

Запустите DS9 и откройте изображение (обязательно запомните имя этого опорного изображения):

```
> !ds9&  
> display name 1
```

Создайте пустой текстовый файл в директории, где лежит изображение. Отредактируйте параметры команды **tvmark**:

coords=starfile (имя пустого файла),
mark=circle (вид маркера - кружок),
radii=3,7,15 (радиус кружка, или нескольких концентричных кружков через запятую),
color=205 (цвет маркера - зеленый),
number=yes (номер у каждой отмеченной звезды).
Запустите **tvmark**:

```
> tvmark 1 starfile interactive+
```

Отмечайте нужные вам звезды, наводясь на них указателем в активном окне DS9 и нажимая клавишу a. Объекты будут отмечены маркерами и пронумерованы. Для сохранения результатов нажмите shift + : и в окне терминала наберите **write**. Данные будут сохранены. После этого вы можете продолжить отмечать звезды или же выйти из задания, нажав q.

В файле *starfile* будут сохранены примерные прямоугольные координаты звезд. Карта с отмеченными звездами и номерами будет сохранена под именем *name.snap.1.fits*.

Откройте параметры задания **center** для редактирования:

```
> epar center
```

и слегка подправьте параметры: определите имя входного (**coords=starfile**) и выходного файла (**output=coofile**), установите тип координат для входного и выходного файлов (**wcsin** и **wcsout**) как **logical**.

Запустите утилиту центрирования:

```
> center name
```

Вам придется ответить на несколько вопросов, после чего задание будет выполнено. Уточненные координаты будут сохранены в файле *coofile*. Вы можете просмотреть и отредактировать его в вашем любимом текстовом редакторе или просто загрузить в окно DS9 с помощью **tvmark**.

```
> !ds9&  
> display name 1  
> tvmark 1 coofile
```

Используя команду **tvmark** в интерактивном режиме (**interactive+**) можно отредактировать список. Более подробное описание функции **tvmark** вы увидите если нажмете shift + ?. Для выхода из меню подсказок нажмите q.

В итоге мы получили карту с отмеченными звездами и файл с прямоугольными координатами этих звезд на снимке.

5.2.2 Автоматический поиск звезд командой **daofind**

Задание **daofind** осуществляет автоматический поиск объектов на изображении. Как всегда следует начать с редактирования параметров:

```
> epar daofind
```

Задайте имя входного (*name.fits*) и выходного файла (*coofile*), выберите интерактивный или автоматический режим поиска, установите тип координат в выходном файле (**logical**). Сохраните (**ctrl + d**) и переходите к редактированию параметров **findpars** (параметры **datapar** уже были отредактированы ранее). Установите пороговое значение для звезд (**threshold**), возможно его придется подкорректировать после пробного поиска.

Запустите автоматический поиск звезд на кадре (обязательно запомните имя этого опорного изображения):

```
> daofind name
```

В файле *coofile* будут сохранены координаты найденных звезд. Можно проверить правильность поиска, отметив их на изображении командой **tvmark**. При необходимости измените параметры **findpars** и попробуйте снова.

В итоге мы должны получить файл (*coofile*), содержащий прямоугольные координаты звезд для которых будет выполняться фотометрия.

5.2.3 Преобразование прямоугольных координат объектов в экваториальные

Если мы проводим фотометрию, используя прямоугольные координаты, то этот пункт не нужен и можно сразу переходить к п. 5.3.

Преобразовать прямоугольные координаты, полученные в пп. 5.2.1 или 5.2.2, в экваториальные можно так же, как и фитс-шапку. Так как это необходимо только при фотометрии кадров содержащих WCS-шапку, то вы уже это делали ранее. После выполнения этой процедуры у вас должны были остаться файл содержащий информацию о преобразовании прямоугольных координат в экваториальные (в наших примерах он имел имя *transform*) и файлы соответствия (они имели расширение *.mtc* и перечислены в списке *matchlist*).

Найдите тот *.mtc* файл, который соответствует кадру, по которому вы составляли список звезд для фотометрии (*name*). Далее необходимо изменить параметры **lngunit** и **latunit** задания **cctran** на **degrees**, так как астрометрическая шапка записана в градусах и запустить задание:

```
> cctran coofile coofile.wcs transform name.mtc
```

где *coofile* - имя входного файла содержащего прямоугольные координаты, *coofile.wcs* - имя выходного файла содержащего экваториальные координаты, *transform* – функция преобразования определенная раньше командой **csmap**, *name.mtc* – файл, соответствующий изображению на котором вы искали звезды.

5.3 Фотометрия

Отредактируйте параметры команды **phot**. Прежде всего, определите имена входных и выходных файлов и списков координат. Выберите нужный вам режим (интерактивный или нет). Установите систему координат. Список параметров см. в Приложении Б.

Далее следует отредактировать параметры **datapars**, **centerpar**, **fitskypars** и **photpars** (если они не были отредактированы ранее). Думаю это не вызовет особых хлопот, рекомендации есть в приложении и в справке по этим командам.

Запустите команду **phot**. Как всегда это можно сделать как для одного файла, так для списка файлов. Можно провести апертурную фотометрию для нескольких радиусов апертуры сразу. На выходе вы получите файл (файлы) с данными в «инструментальных» звездных величинах.

Работа с фотометрическими данными

6.1 Сортировка и выборка, вывод в файл

Отсортировать данные в полученных таблицах можно командой **psort**.

```
apphot>psort name field[2]
```

Где *name* – имя файла, **field** – имя поля (дополнительно в квадратных скобках можно обозначить строку поля [2], например, если вы делали фотометрию с разными апертурами). Можно отсортировать и несколько файлов, либо воспользовавшись списком:

```
apphot>ls *phot > plist  
apphot>psort @plist MAG[2]
```

либо по маске:

```
apphot>psort *phot ID
```

С помощью команды **pselect** можно выбрать и скопировать только те данные, которые удовлетворяют определенным условиям. Подробнее в хелпах.

Вывод в таблицу командой

```
apphot>pdump @list “fields1,fields2” > outfile
```

Пример формируемой таблицы внизу:

```
#N ID XCENTER YCENTER MAG  
#U # pixels pixels #  
#F %-9d %-13.3f %-10.3f %-9.3f  
#  
1 7.031 9.520 -3.808  
2 246.789 11.285 -2.043  
3 0.713 52.556 -3.132  
4 106.205 58.168 -1.859  
5 214.210 71.418 -1.947  
6 36.258 79.014 -1.098  
7 173.276 96.298 -1.954  
8 251.124 113.697 -3.792  
9 133.360 118.093 -0.553  
#N ID XCENTER YCENTER MAG  
#U # pixels pixels #  
#F %-9d %-13.3f %-10.3f %-9.3f  
#  
1 244.729 8.361 -1.944  
2 4.036 11.980 -3.719  
3 104.634 58.448 -1.633  
4 213.129 69.297 -1.847  
5 35.011 81.142 -1.024  
6 172.844 95.321 -2.054  
7 251.270 111.096 -3.508  
8 133.237 117.979 -0.591
```

6.2 Выравнивание за изменение прозрачности атмосферы

Если воспользоваться командой **pdump**,

```
apphot>pdump @list "MAG,MERR" > outfile
```

и вывести данные о фотометрии в файл, имеющий формат колонок с заголовками, то для дальнейшей обработки можно применить программу "sort". Она считывает данные о блеске и ошибках из входного файла *outfile* и формирует два выходных файла *outfile_clear* и *outfile_var*, содержащих соответственно блеск звезд исправленный за атмосферу и отдельно объекты, для которых переменность превышает некоторый критерий. Программа реализует алгоритм, описанный в [1]. Исходный код содержится в *sort.cpp*.

Примеры входных и выходных файлов и сама программа находятся в <http://optlab.astro.usu.ru/iraf/sort/>.

fitskypars@

median

Compute the median of the sky pixel distribution. This algorithm is a useful for computing sky values in regions with rapidly varying sky backgrounds and is a good alternative to "centroid".

centroid

Compute the intensity-weighted mean or centroid of the sky pixel histogram. This is the algorithm recommended for most APPHOT users. It is reasonably robust in rapidly varying and crowded regions.

Список литературы

1. *Howell S. B., Everett M. E.* A Technique for Ultrahigh-Precision CCD Photometry. - Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2001.

ISIS <http://www2.iap.fr/users/alard/package.html>???

DIA <http://www.astro.princeton.edu/~wozniak/dia/>???

<http://www.ubuntu.com/download>

<https://www.virtualbox.org/>

Приложение А

Некоторые команды Linux.

cd ..	перейти в директорию уровнем выше
cd /path/name	перейти в директорию /путь/имя
pwd	показать текущую директорию
ls	отобразить содержимое текущей директории
mkdir dir1	создать директорию с именем 'dir1'
rm -f file1	удалить файл с именем 'file1'
rmdir dir1	удалить директорию с именем 'dir1'
mv dir1 new_dir	переименовать или переместить файл или директорию
find / -name file1	найти файлы и директории с именем file1. Поиск начать с корня (/)
chmod 777 directory1	добавить полномочия на директорию directory1
apt-get install package_name	установить / обновить пакет

Подробнее об основных командах Linux можно узнать на страничке http://www.f-notes.info/doku.php?id=linux:linux_command.

Приложение Б

imcopy
rotate
imcombine
imarith
imreplace
flatcombine

imstat
imexamine

setjd
observatory

daofind
starfind
findpars
center
centerpars
fitsky
fitskypars
photpars
phot

display
tvmark

xyxymatch
geomap
geotran
ccxymatch
ccmap
ccsetwcs
cctran

pdump
hselect
imhead
hedit

Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = daophot
TASK = datapars

(scale = 1.) Image scale in units per pixel
(fwhmpsf= 2) **FWHM of the PSF in scale units**
(emissio= yes) Features are positive ?
(sigma = 13) **Standard deviation of background in counts**
(datamin= INDEF) **Minimum good data value**
(datamax= 65000) **Maximum good data value**
(noise = poisson) Noise model
(ccdread= rdnoise) CCD readout noise image header keyword
(gain = gain) CCD gain image header keyword

```

(readnoi=          10) CCD readout noise in electrons
(epadu =          1.) Gain in electrons per count
(exposur=        cexptime) Exposure time image header keyword
(airmass=        airmass) Airmass image header keyword
(filter =        filter) Filter image header keyword
(obstime=        ut) Time of observation image header keyword
(itime =         1.) Exposure time
(xairmas=        INDEF) Airmass
(ifilter=        INDEF) Filter
(otime =         INDEF) Time of observation
(mode = ql)

```

IRAF
Image Reduction and Analysis Facility

```

PACKAGE = immatch
TASK = imcombine

```

```

input =           @dark_in List of images to combine
output =          sdark List of output images
(headers=         ) List of header files (optional)
(bpmasks=        ) List of bad pixel masks (optional)
(rejmask=         ) List of rejection masks (optional)
(nrejmas=         ) List of number rejected masks (optional)
(expmask=         ) List of exposure masks (optional)
(sigmas =         ) List of sigma images (optional)
(logfile=        STDOUT) Log file
(combine=        median) Type of combine operation
(reject =         none) Type of rejection
(project=         no) Project highest dimension of input images?
(outtype=         real) Output image pixel datatype
(outlimi=         ) Output limits (x1 x2 y1 y2 ...)
(offsets=         none) Input image offsets
(masktyp=         none) Mask type
(maskval=         0.) Mask value
(blank =          0.) Value if there are no pixels
(scale =          none) Image scaling
(zero =           none) Image zero point offset
(weight =         none) Image weights
(statsec=         ) Image section for computing statistics
(expname=         ) Image header exposure time keyword
(lthresh=        INDEF) Lower threshold
(hthresh=        INDEF) Upper threshold
(nlow =           1) minmax: Number of low pixels to reject
(nhigh =          1) minmax: Number of high pixels to reject
(nkeep =          1) Minimum to keep (pos) or maximum to reject (neg)
(mclip =          yes) Use median in sigma clipping algorithms?
(lsigma =         3.) Lower sigma clipping factor
(hsigma =         3.) Upper sigma clipping factor
(rdnoise=         0.) ccdclip: CCD readout noise (electrons)
(gain =           1.) ccdclip: CCD gain (electrons/DN)
(snoise =         0.) ccdclip: Sensitivity noise (fraction)
(sigscal=         0.1) Tolerance for sigma clipping scaling correction
(pclip =         -0.5) pclip: Percentile clipping parameter
(grow =           0.) Radius (pixels) for neighbor rejection
(mode =          ql)

```

IRAF
Image Reduction and Analysis Facility

```

PACKAGE = apphot
TASK = phot

```

```

image = iname The input image
skyfile = The input sky file
(coords = coords) Coordinate list
(output = outname) Results file
(plotfil= ) File of plot metacode
(datapar= ) Data dependent parameters
(centerp= ) Centering parameters
(fitskyp= ) Sky fitting parameters
(photpar= ) Photometry parameters
(interac= no) Mode of use
(radplot= no) Plot the radial profiles in interactive mode
(icomman= ) Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
(gcomman= ) Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
(wcsin = logical)
(wcsout = logical)
(cache = no) Cache the output image pixel in memory?
(verify = yes) Verify critical parameters in non interactive mode
(update = no) Update critical parameters in non interactive mode
(verbose= no) Print messages in non interactive mode
(graphic= stdgraph) Graphics device
(display= stdimage) Display device
(mode = ql)

```

Приложение В

Алладин