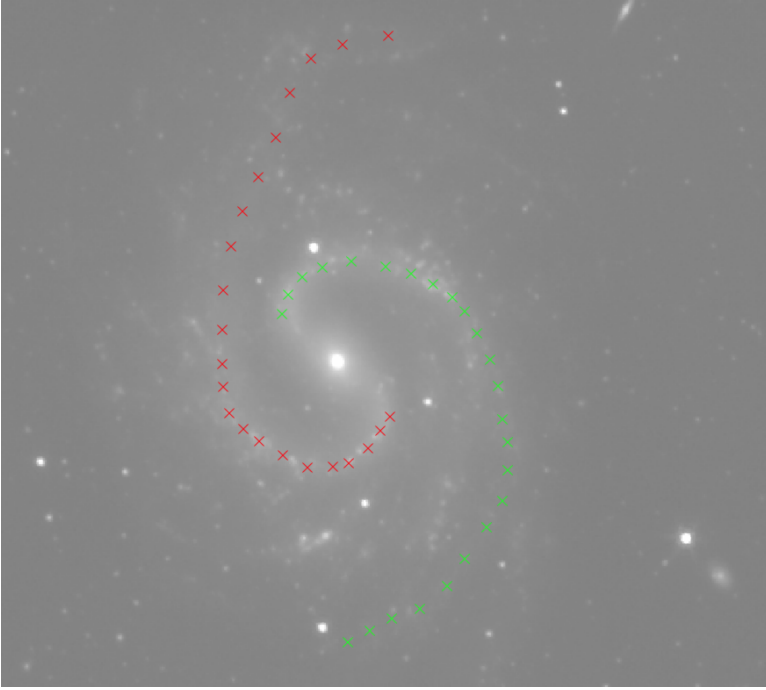


1 Инструкция

1. Добавить файл с регионами, соответствующими спиралям в рабочую директорию. Для этого нужно протыкать необходимые спирали в ds9 с помощью point (region -> shape -> point -> X) и сохранить в формате ds9. Протыкивать необходимо от начала спирали к ее концу. Точки должны соответствовать центру спиралей. Если спираль имеет сильный излом, то лучше протыкать более плавно изначалью.



2. Создать конфигурационный файл для нахождения коэффициентов разложения в ряд. Файл должен быть в следующем формате:

```
is_clockwise true
X0 60
Y0 80
PA 90
inc 30
cutoff red 3
cutoff green 7
```

Если X0, Y0, PA, inc отсутствуют или нужно, чтобы их значения тоже фитились, то соответствующие строки нужно убрать. is_clockwise и cutoff обязательные параметры. Количество строк cutoff должно соответствовать количеству спиралей. Этот параметр соответствует точкам, в пределах которых происходит спад потока до 0. На этом шаге его можно оценить на глаз. Позже он будет дополнительно фититься.

3. Запуск фита спиралей:

```
$ python get_series.py -de -x -acc 0.001 -rate 0 config.dat arms.reg
```

После завершения фита появятся по 2 файла для каждой спирали: red.pdf, red_parameters.dat. С помощью графика в первом можно удостовериться, что спирали зафитились удовлетворительно.

4. Полученные параметры нужно скопировать в конфигурационный файл для imfit (input.imfit). Оставшиеся параметры нужно оценить и ограничить из начального изображения. В ре-

зультате для каждой спирали в конфиге появится раздел следующего вида:

```
FUNCTION SpiralBranch
m0 0.13660036181998403 fixed
m1 -0.743136155677516 fixed
m2 0.9999998968441335 fixed
m3 0.6215848677815117 fixed
PA 30.0 fixed
inc 40.0 fixed
fi0 132.86808521248886 fixed
r0 84.53436462067945 fixed
fi_max 191.9809764337427 fixed
n 15.499094303013054 fixed
is_clockwise 1 fixed
I0 1 0,10
r_e 2 1,20
width_i 0.15 0,0.4
outer_r_e 1.5 1,10
inner_r_e 4 1,10
fi_of_max 10 0,100
outer_n 0.5 0.4,1
inner_n 0.5 0.4,1
```

Параметры m0-n копируются из предыдущего скрипта.

is_clockwise задается ориентацией спиралей.

I0 можно оценить по максимуму потока в начале спирали.

r_e можно оценить из радиуса конца спирали - он соответствует 3-5 масштабам.

width_i: 0 - спираль не расширяется, 0.5 - сильно расширяется.

outer_r_e, inner_r_e - можно оценить по расстоянию, в пределах которого заключена 1/2 потока спиралей у их начала.

fi_of_max - задает угол, в пределах которого спираль набирает максимальный поток. Должен быть в пределах нескольких десятков градусов. outer_n, inner_n - задают форму спиралей (параметр серсика). тонкие спирали с ярким центром 1, широкие и протяженные спирали 0.5 и меньше.

fi_max и n можно не фиксировать.

5. После этого необходимо запустить imfit: ./runme.sh
6. Нужно проанализировать модель, разностное изображение и срезы. При неудовлетворительной форме спиралей переделать шаг с фиттингом разложения в ряд. Если результат получился плохим, то можно попробовать оценить параметры с помощью makeimage:

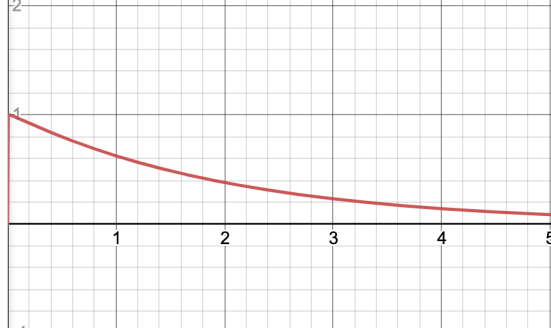
```
$ makeimage fitted_params.imfit --refimage image.fits
--overpsf psf_oversampled.fit --overpsf_scale 5 --psf psf_same_scale.fits
```

На выходе будет получена модель modelimage.fits. Таким образом можно менять параметры в fitted_params.imfit и сразу смотреть к чему это приводит.

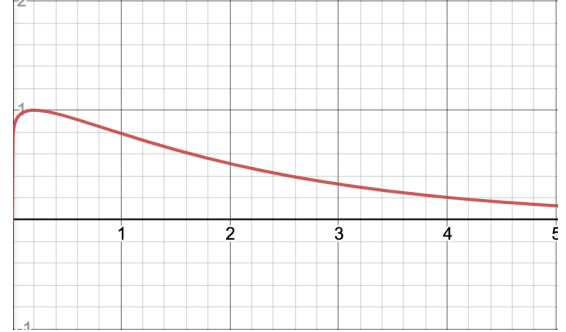
2 Распределение по радиусу.

$$I(r) = I_0 \cdot (r(\varphi) - r_0)^{\frac{r_m}{r_e}} e^{-\frac{r(\varphi) - r_0}{r_e}} \cdot \frac{1}{C},$$

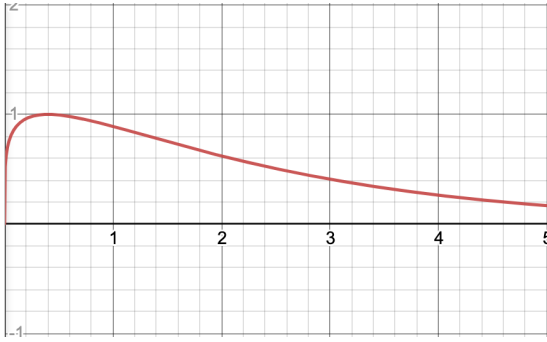
где $r_m = r(\varphi_{max}) - r_0$, C – нормировочная константа. Примеры распределения для $r_e = 2$:



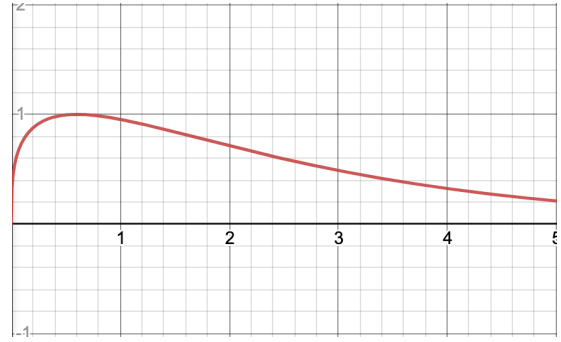
a)



b)



c)



d)

a) $r_m = 0$. б) $r_m = 0.2$. c) $r_m = 0.4$. d) $r_m = 0.6$

3 Распределение вдоль среза.

По направлению к центру галактики и от центра галактики распределение представляется функцией Серсика со своими параметрами:

$$I(h) = \exp \left(-b_n \cdot \left(\frac{h}{\sqrt{r_e^2 + (\varphi \cdot wi)^3}} \right)^{\frac{1}{n}} \right),$$

где wi - параметр, задающий расширение спирали.

4 Суммарное распределение

Суммарное распределение задается произведением двух составляющих:

$$I(r, h) = I(r) \cdot I(h)$$

При этом существует максимальный угол φ_{max} , при котором экспоненциальное убывание прерывается линейным трендом до 0 потока.

5 Параметры модели

1. m_0 - параметр разложения в ряд.
2. m_1 - параметр разложения в ряд.
3. m_2 - параметр разложения в ряд.
4. m_3 - параметр разложения в ряд.
5. PA - позиционный угол.
6. inc - угол наклона
7. fi_0 - угол начала спирали
8. r_0 - радиус начала спирали
9. fi_max - угол, при котором экспоненциальный закон прерывается линейным трендом. (cutoff)
10. n - угол, на протяжении которого происходит спад до 0. (Пример: $fi_max = 360$, $n = 40$, Экспоненциальный спад прекращается после 1 полного оборота, после чего за 40 градусов происходит спад потока до 0)
11. $is_clockwise$ - направление спиралей. По часовой стрелке, если > 0 , иначе против.
12. I_0 - максимальный поток, соответствующий углу fi_of_max
13. r_e - радиальный экспоненциальный масштаб.
14. $width_i$ - параметр, задающий расширение спирали. $[0, 0.5]$
15. $outer_r_e$ - расстояние, в пределах которого содержится половина потока в направлении от центра галактики.
16. $inner_r_e$ - расстояние, в пределах которого содержится половина потока в направлении к центру галактики.
17. fi_of_max - угол от начала спирали, на котором поток достигает максимума. (Должен быть малым.)
18. $outer_n$ - параметр серсика для распределения от центра галактики. $[0.3, 1]$
19. $inner_n$ - параметр серсика для распределения по направлению к центру галактики. $[0.3, 1]$

Свободные параметры: fi_max , n , I_0 , r_e , $width_i$, $outer_r_e$, $inner_r_e$, fi_of_max , $outer_n$, $inner_n$. Для ускорения процесса можно фитить итерационно: фиксировать часть параметров и находить оставшиеся, после чего находить пропущенные изначально. Фиксировать можно: fi_max , n , $outer_n$, $inner_n$.

Imfit позволяет указывать координаты центра отсчета для каждой компоненты отдельно. Поэтому для спиралей можно использовать отличные X_0 , Y_0 .

6 Разложение в ряд

$$r(\varphi) = r_0 \cdot \exp(\varphi \cdot (m_0 + m_1\psi + m_2\psi^2 + m_3\psi^3))$$

где $\psi = \varphi/2\pi$. Тогда угол закрутки $\mu = \arctan(m_0 + 2m_1\psi + 3m_2\psi^2 + 4m_3\psi^3)$.

Скрипт находится в поддиректории imfit: /imfit/python/spiral_helpers/get_series.py. Использование: `get_series.py [-h] [-de] [-x] [-acc ACC] [-rate RATE] filename regfilename`, где:

1. -de - добавление метода дифференциальной эволюции. Сильно увеличивает время работы скрипта, но часто дает значительно лучший результат.
2. -x -добавляет точки на график
3. -acc - параметр прекращения работы скрипта.(точность)
4. -rate - линейный тренд уменьшения весов точек. (от 0 до 1). Если сделать это значение отрицательным, то большие веса будут иметь точки с большим φ
5. filename - файл, с параметрами.
6. regfilename - файл, содержащий точки в формате ds9 .reg

Пример файла с параметрами:

```
is_clockwise true
X0 60
Y0 80
PA 90
inc 30
cutoff red 3
cutoff green 7
```

Параметры X0, Y0, PA, inc опциональны и в случае их отсутствия будут фититься.