

# Galaxy cluster mass estimation

## Оценка масс галактических скоплений

Ustyuzhanin A., Zarodnyuk A., Trofimova E.,  
Katkov. I, Chilingarian I.

(Laboratory of Methods for Big Data Analysis, HSE)

**Abstract**—С помощью данных наблюдений космического гамма-телескопа Ферми был построен каталог галактических скоплений. Для этого использовались данные о красном смещении в спектре галактик. Однако из последних данных оптических телескопов стало ясно, что многие галактики были не видны в гамма диапазоне. Исходя из новых данных требуется сначала соотнести новые галактики с имеющимися галактическими скоплениями, либо определить в новые. Для этого будут использоваться методы кластеризации. Затем необходимо для уточненных данных рассчитать новые распределения масс в полученных скоплениях.

В исследовании оказались полезными следующие работы и источники:

- 1) David W. Hogg. Distance measures in cosmology
- 2) A. Diaferio. Mass estimation in the outer regions of galaxy clusters
- 3) A. Diaferio, M. J. Geller and K. J. Rines. Caustic and Weak Lensing Estimators of Galaxy Cluster Masses
- 4) J. Rhee, R. Smith and etc. Phase-Space Analysis In The Group And Cluster Environment: Time Since Infall And Tidal Mass Loss
- 5) M. H. Abdullah etc. Galweight Application: A Publicly-Availabale Catalog of Dynamical Parameters of 1,800 Galaxy Clusters from SDSS-DR13, (GALWCAT19)
- 6) R. Beck etc. Refined Redshift Regression in Cosmology with Graph Convolution Networks
- 7) Р. Шугалей. Темная материя во Вселенной
- 8) D. Gifford. CausticMass:  
<https://github.com/giffordw/CausticMass>

### I. Подготовка данных

Данные для исследования были взяты с сайта Vizier каталога J/A+A/596/A14 (Saulder+) были взяты таблицы по: скоплениям галактик - grlist\_2, grlist\_s, по отдельным галактикам - galist\_2, galist\_s.

Данные взяты из 2MRS и SDSS. Данные соответствующих таблиц по отдельным галактикам и по скоплениям были объединены. Эти объединенные таблицы и подвергались анализу.

### II. Обработка данных

В астрофизике принято рассматривать небесные объекты в проекции на небесную сферу.

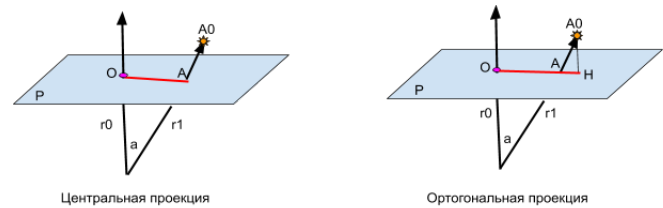


Fig. 1. Виды проекций на плоскость.

Предполагается, что наблюдатель располагается в вершине угла . на рисунке обозначено:

$O$  - центр некоторого скопления,  
 $A_0$  - некоторая галактика из скопления,  
 $r_0$  - вектор, соединяющий глаз наблюдателя и центр скопления  $O$ ,  
 $r_1$  - вектор, соединяющий глаз наблюдателя и объект  $A_0$ ,

$P$  - плоскость построенная таким образом, что она перпендикулярна вектору  $r_0$  и проходит через центр скопления  $O$ ,

$A$  - точка пересечения луча, идущего из глаза наблюдателя через объект  $O$  с плоскостью  $P$ ,

$H$  - перпендикуляр, опущенный из  $A_0$  на плоскость  $H$ ,

mean	231.886609
std	55.526141
min	116.769656
25%	207.802132
50%	247.822081
75%	274.170043
max	311.874596

TABLE I

Статистические величины для  $M_{tot}/M_{dyn}$  в каталоге  
Saulder+ из 2MRS

mean	315.488916
std	126.425801
min	71.992955
25%	225.756640
50%	296.039730
75%	381.532160
max	819.388756

TABLE II

Статистические величины для  $M_{tot}/M_{dyn}$  в каталоге  
Saulder+ из SDSS

$a$  - линейный угол между векторами  $r_0$  и  $r_1$ ,  
 $OA(OH)$  - проекция на плоскость  $P$ .

Так как наблюдения проводятся из одной точки, то интересующая нас проекция - центральная.

При анализе масс, указанных в каталоге Saulder+, обнаружилось, что отношение  $M_{tot}/M_{dyn}$  очень велико:

Скорости галактик в скоплении относительно центра этого скопления высчитывались с помощью формулы:

$$v = c \frac{z_{ga} - z_{gr}}{1 + z_{gr}} \quad (1)$$

Расстояния между галактиками в скоплении и центром этого скопления высчитывались с помощью формулы:

$$r_{pr} = r_0 * \tan(a), \quad (2)$$

где угол - линейный угол между лучами, соединяющими наблюдателя с галактикой в скоплении и наблюдателя с центром скопления. Через данные о углах наклона (DEC) и вознесения (RA) тангенс угла вычисляется:

$$\begin{cases} x = \cos(DEC) * \cos(RA) \\ y = \cos(DEC) * \sin(RA) \\ z = \sin(DEC) \end{cases} \quad (3)$$

$$\cos(a) = x_{centr} * x_{ga} + y_{centr} * y_{ga} + z_{centr} * z_{ga} \quad (4)$$

$$\tan(a) = \frac{\sqrt{1 - \cos^2(a)}}{\cos(a)} \quad (5)$$

На просторах интернета в репозитории Dan Gifford на GitHub была обнаружен код для построения каустических кривых, основанный технике из работ Diaferio (1999), Gifford et al. (2013), Gifford & Miller (2013).

При построении использовались следующие значения космологических постоянных:

$$\Omega_0 = 0.25$$

$$\Omega_\Lambda = 0.75$$

$$h_{100} = 0.73$$

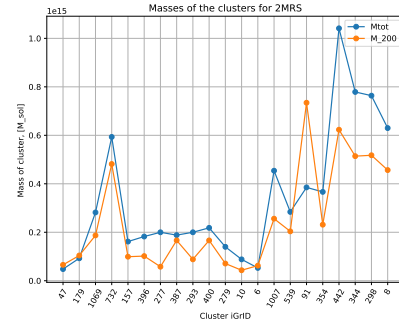


Fig. 2. Сравнение масс скоплений, полученных на основе каустик и взятых из каталога Saulder+ из 2MRS

Artificial\_Intelligence/Masses\_SDS

Fig. 3. Сравнение масс скоплений, полученных на основе каустик и взятых из каталога Saulder+ из SDSS

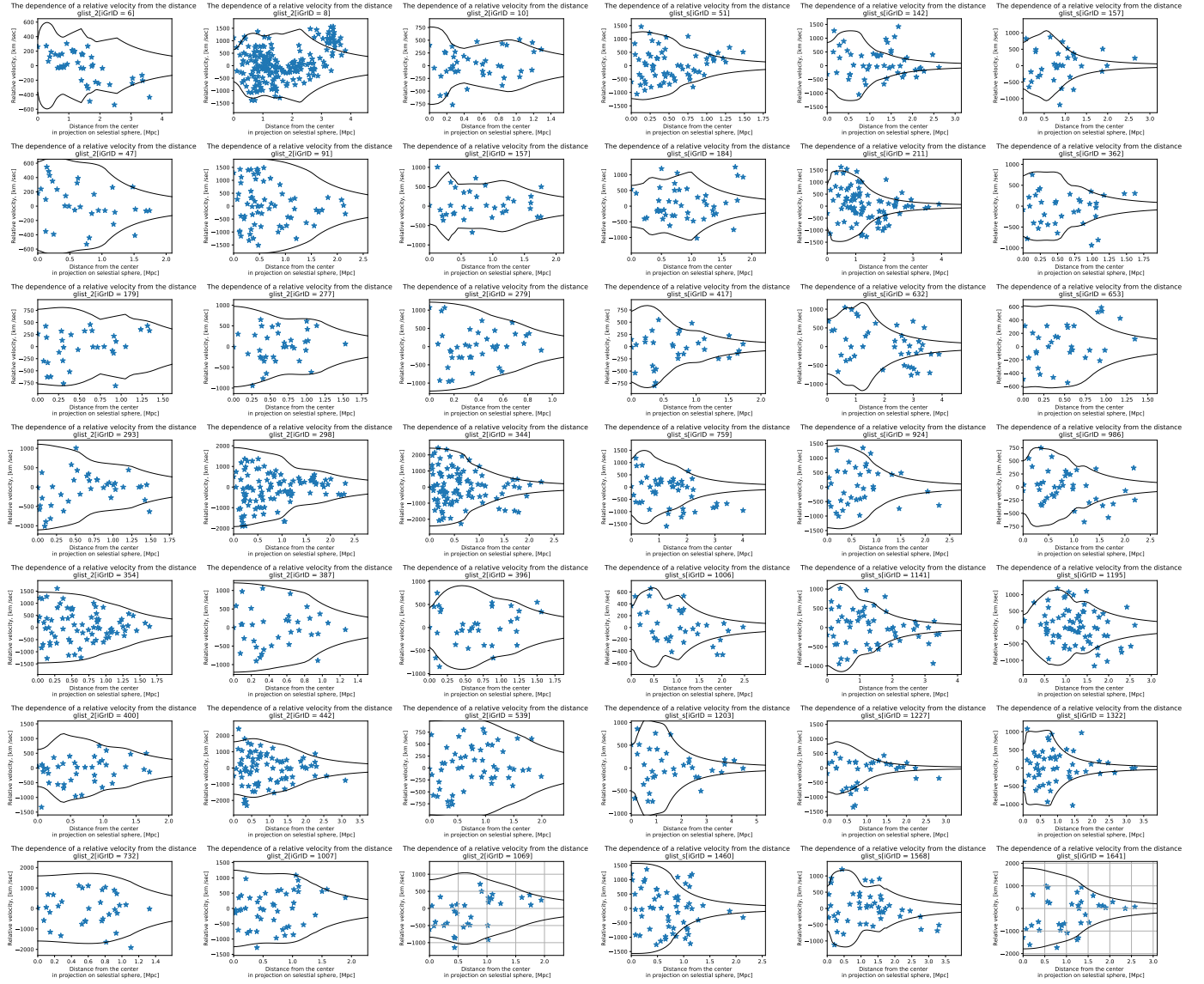


Fig. 4. Каустики для 2MRS

Fig. 5. Каустики для SDSS