

Скоррелированность Направлений Вращений Спиральных Галактик

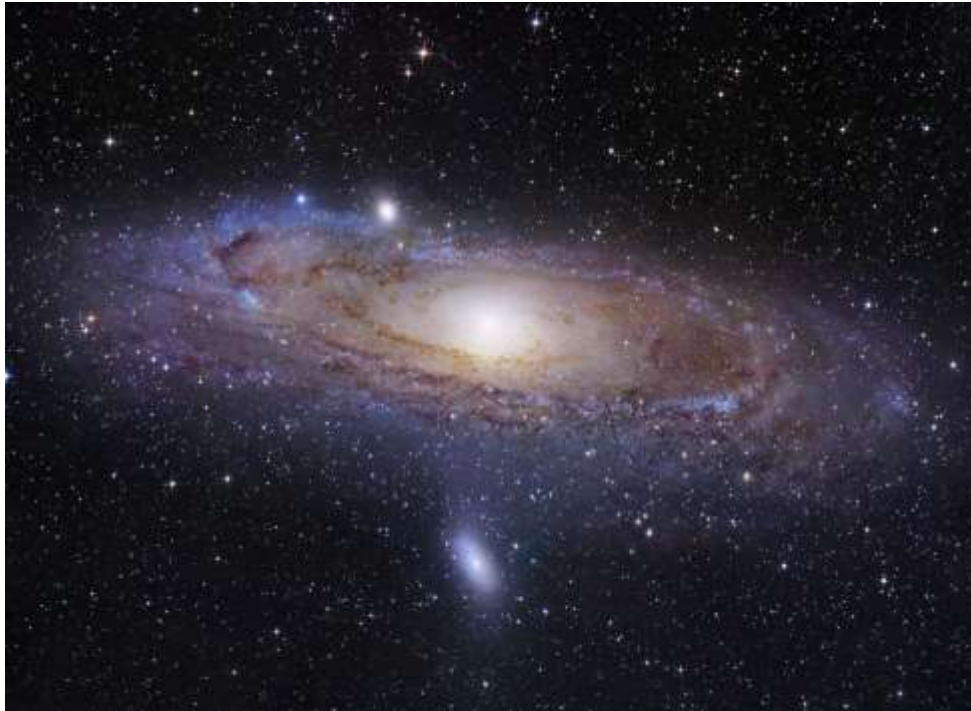
Курсовая работа
студента 2 курса 208 группы
Ленского Владислава Михайловича

Научный руководитель:
доктор физ.-мат. наук, член-корр.
РАН, г.н.с. ОТФ ИЯИ РАН
Дмитрий Сергеевич Горбунов

Утверждение о том, что спины спиральных галактик распределены не произвольно, считается значимой проблемой в астрономии последнего десятилетия:

(Longo 2011; Shamir 2012,2019, 2020; Lee et al. 2019)

В то время как эксперименты с данными, полученными вручную (Galaxy Zoo), страдали от нехватки информации и неточности ее обработки, применение цифровых небесных исследований, вкупе с автоматическими вычислительными методами дало гораздо большие доказательства неслучайного распределения спинов.



Данные

- Подборка из 77840 многоспектральных фотометрических объектов (спиральных галактик), снятых Слоуновским цифровым небесным обзором (Sloan Digital Sky Survey).
- Каждая галактика характеризуется направлением вращения (спином) $d = \pm 1$ и координатами (RA, DEC) на небесной сфере.
- Галактики имеют радиус Петросяна $> 5.5''$ и видимую звездную величину $(m) < 19$ (крупные и относительно яркие объекты).
- 39,187 галактик вращаются по часовой ($d=1$), а 38,653 против часовой стрелки ($d=-1$) (разница составляет $\sim 1.4\%$).
- Большинство галактик в северном полушарии.
- Спины определены автоматической программой Ganalyzer.



$d=1$



$d=-1$



Не спиральная

Вычисления

Для проверки существования дипольной оси проверяем соответствие распределения спинов закону косинуса: для каждой возможной комбинации (α, δ) косинус углового расстояния ϕ между (α, δ) и каждой галактикой рассчитывается по формуле:

$$\cos(\phi) = \sin(\delta) * \sin(\text{DEC}) + \cos(\delta) * \cos(\text{DEC}) * \cos(\text{RA} - \alpha)$$

Затем для каждой точки (α, δ) с шагом в 5° применяется критерий χ^2 , для сравнения реального распределения и распределения косинуса:

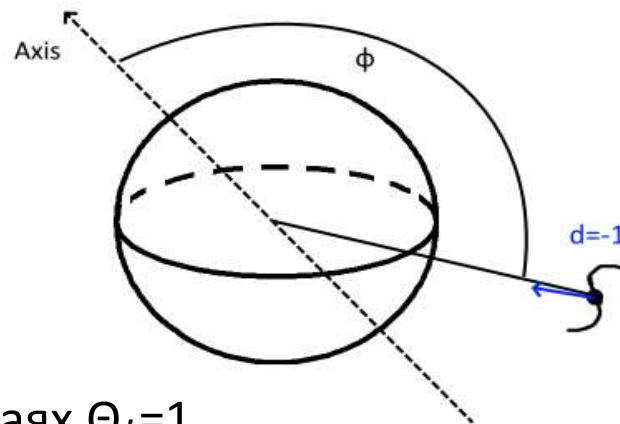
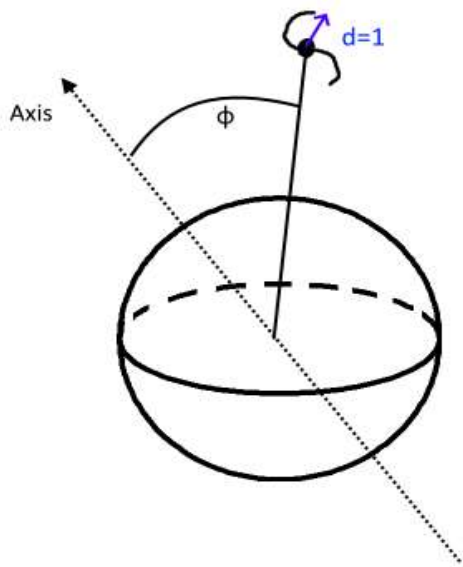
$$\chi^2 = \frac{(77840 - f_{real})^2}{77840},$$

$$\text{где } f_{real} = \sum_{i=1}^{77840} \Theta_i,$$

$$\Theta_i = \begin{cases} 1, & \cos(\phi) = d \cdot |\cos(\phi)| \\ 0, & \cos(\phi) \neq d \cdot |\cos(\phi)| \end{cases}$$

Вычисления

« Прикосновения



В обоих случаях $\Theta_i=1$.

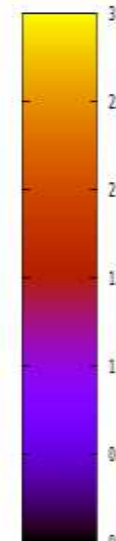
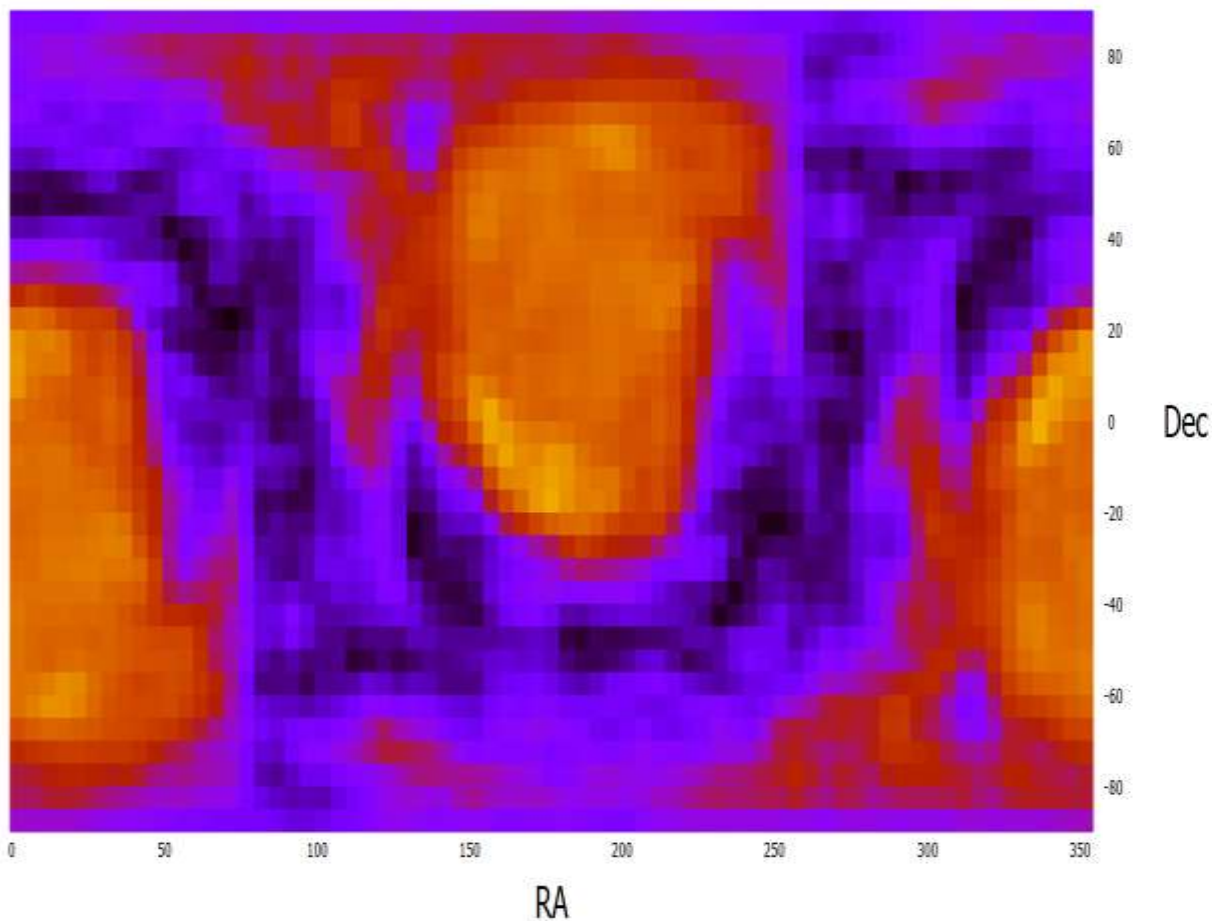
Величина $\frac{(\chi_r^2 - \chi_c^2)}{\sigma}$, где χ_r^2 рассчитан по реальным значениям d ,

χ_c^2 - среднее значение 1000 χ^2 рассчитанных по случайно заданным для тех же галактик $d=\pm 1$, а σ – среднеквадратичное отклонения набора, является вероятностью существования дипольной оси.

Используя $\cos(2\phi)$, были проведены аналогичные исследования для квадрупольной оси.

Все вычисления проведены в программе, код которой написан на языке C++.

Результаты

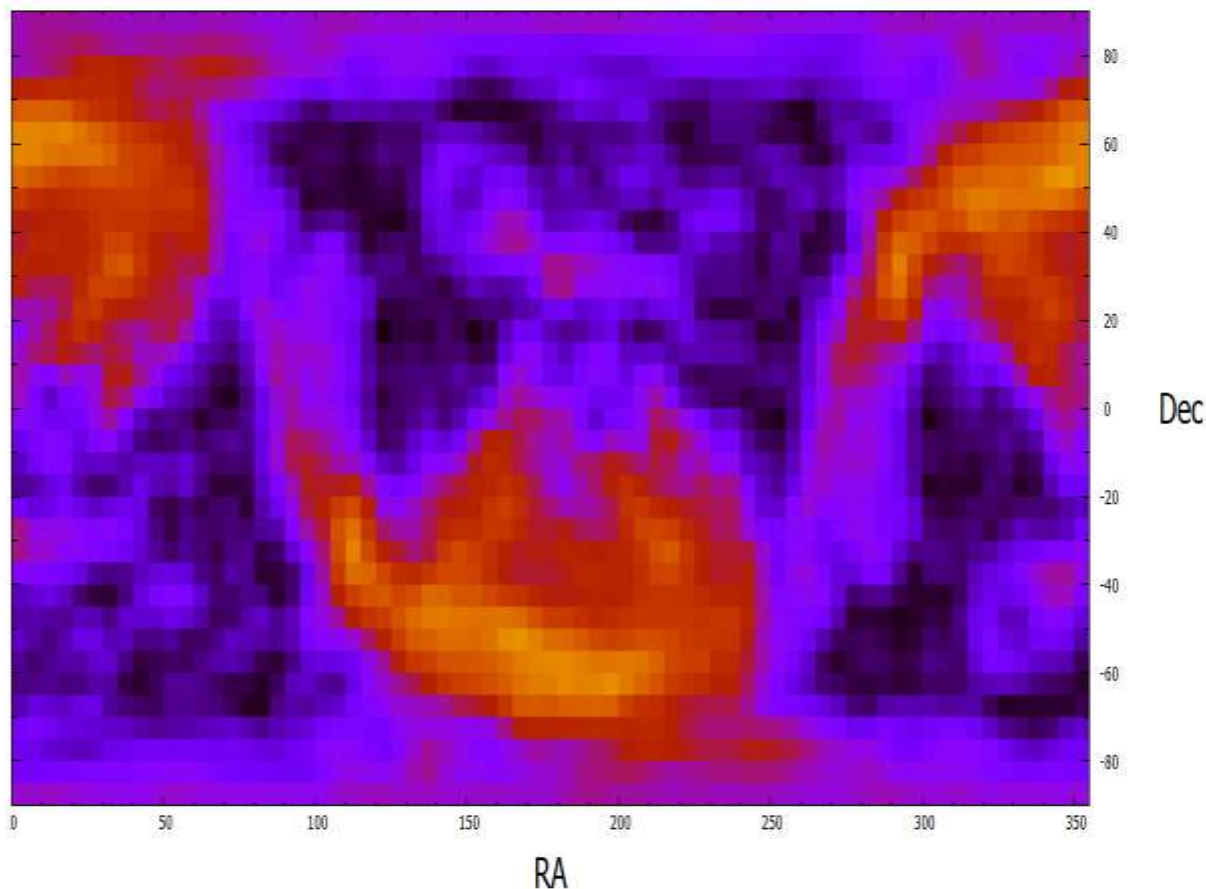


α	δ	вероятность
155	5	2.85746
335	-5	2.84946
340	0	2.74979
355	15	2.71518
160	0	2.70934
175	-15	2.70292
165	-10	2.67403
345	10	2.66476
20	-60	2.6353
200	60	2.63298

Наиболее
вероятные
дипольные оси.

Вероятность существования дипольной оси для всех
возможных комбинаций (α, δ).

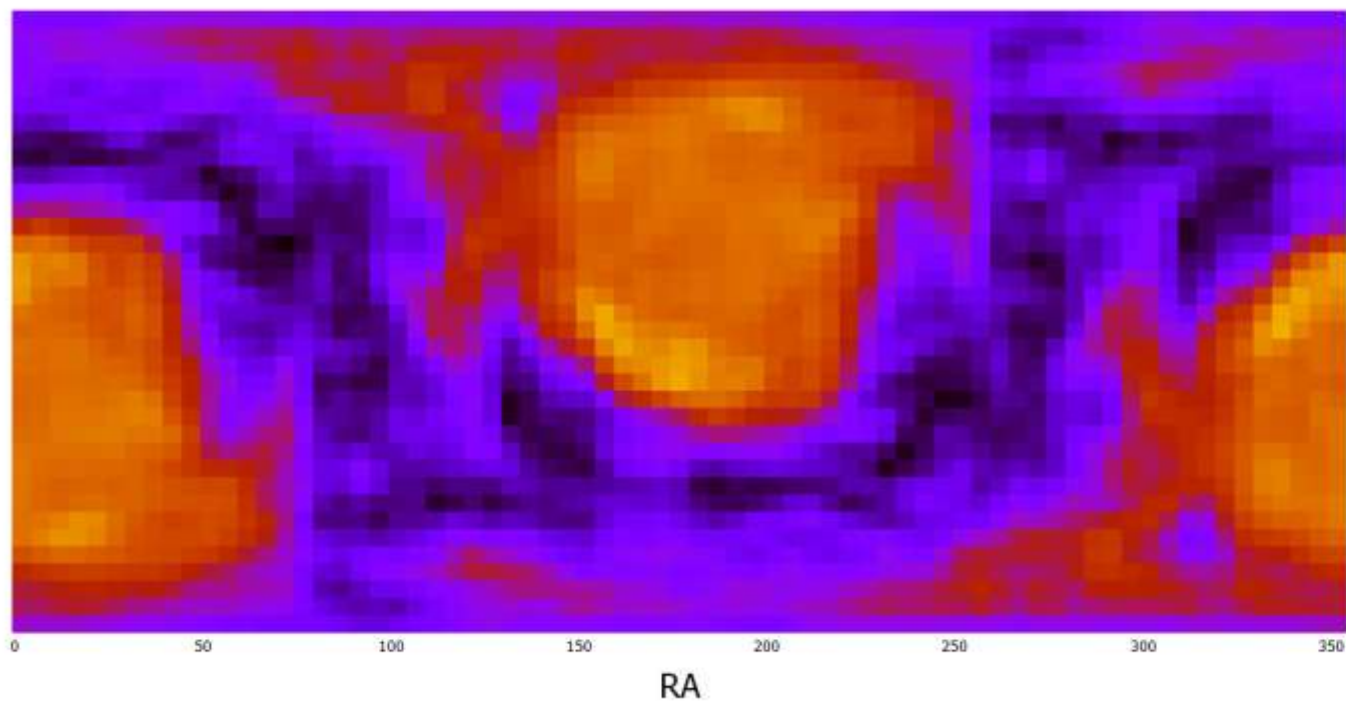
Результаты



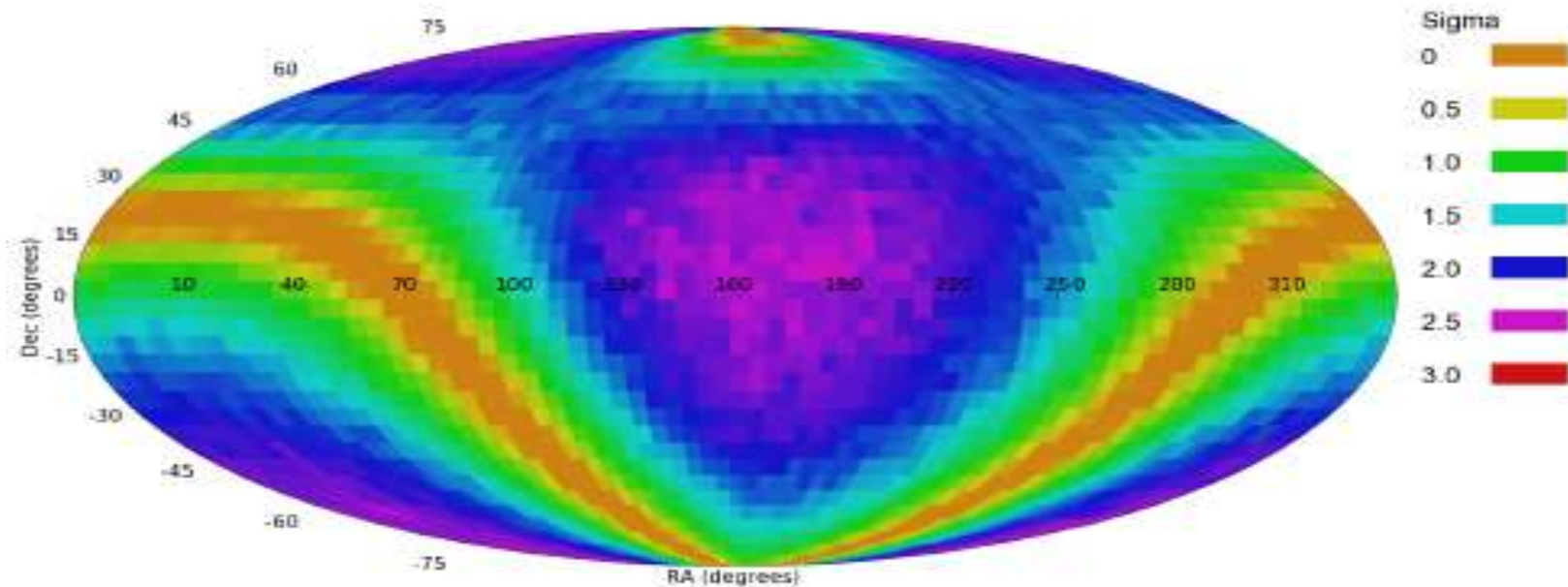
α	δ	вероятность
340	50	3.03114
180	-60	3.02776
200	-60	3.01671
185	-60	3.0146
5	60	3.01283
345	50	2.98886
320	45	2.98433
350	65	2.96232
160	-50	2.95903
0	60	2.94794

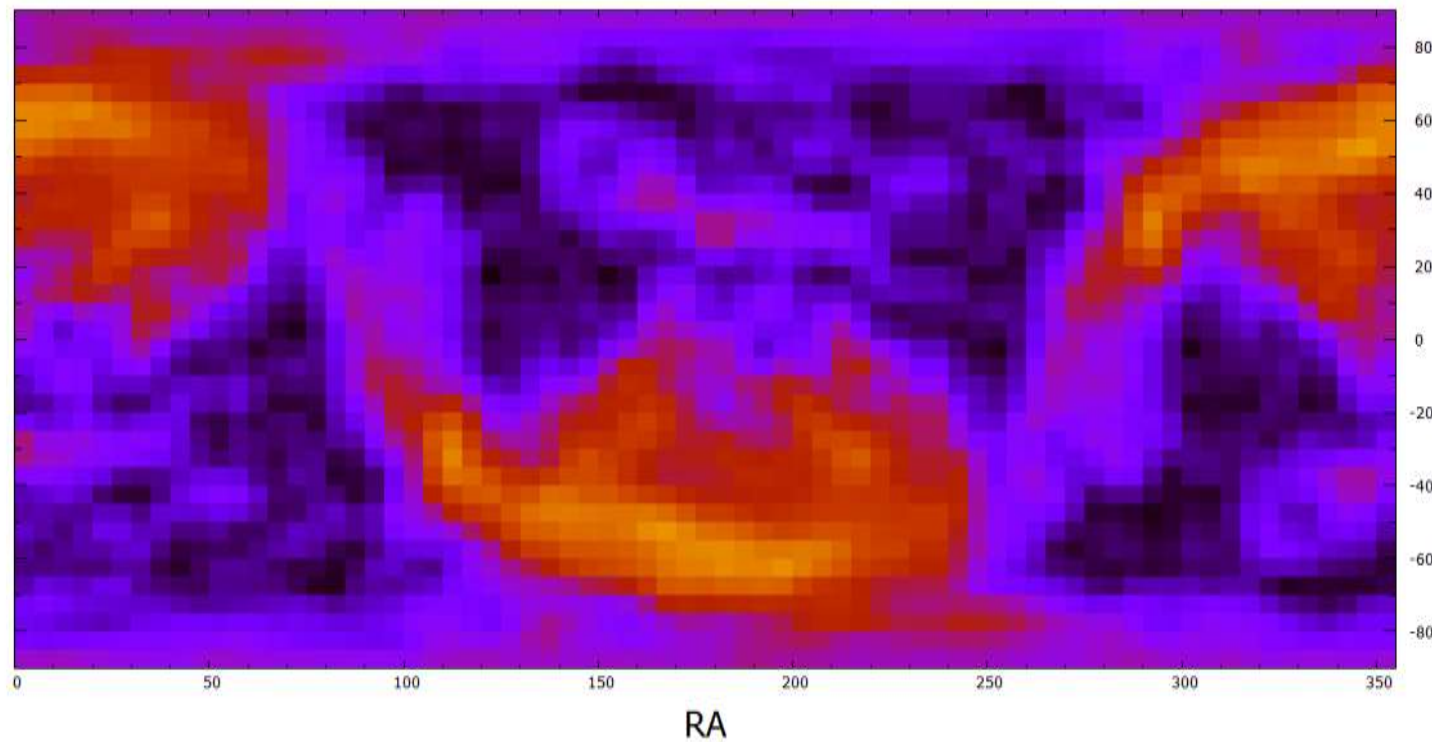
Наиболее
вероятные
квадрупольные оси.

Вероятность существования квадрупольной оси для всех возможных комбинаций (α, δ) .

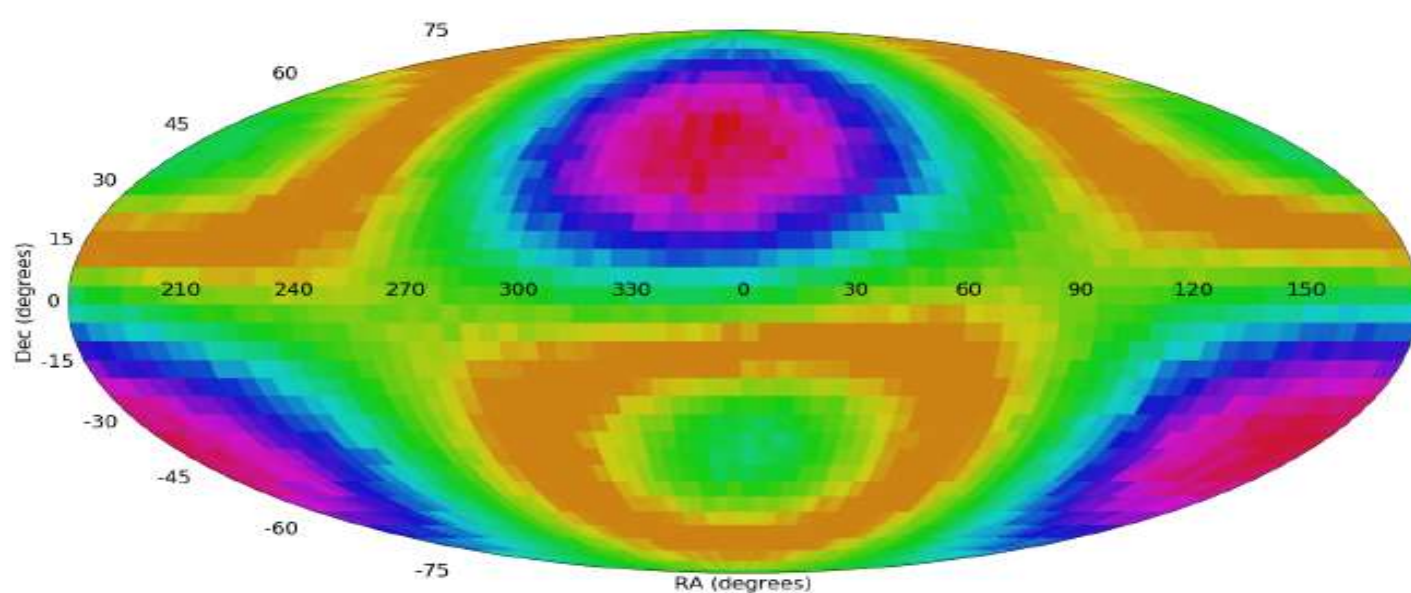


Сравнение с
результатом
исследования
Shamir 2021 для
диполя.





Сравнение с
результатом
исследования
Shamir 2021 для
квадруполя.



Итоги

- Статистическая значимость не достигает планки в 5σ , но все еще остается значительной.
- Результаты согласуются с данными более ранних исследований.
- Обнаружение дипольной оси может быть объяснено теориями о эллипсоидальной или вращающейся Вселенной, или связано с вращением сверхмассивных черных дыр.
- Свидетельства анизотропии космологических масштабов, найденные в распределении реликтового и гамма излучения, квазаров и сверхновых, подталкивают к дальнейшему исследованию вопроса, о существовании неслучайного распределения направлений вращений галактик.
- По самым скромным подсчетам (связанным с распределением Пуассона) при дальнейшем сохранении значения σ ниже \sqrt{N} , где N - число галактик, для преодоления планки в 5σ потребуется как минимум в 4 раза больше галактик.
- В ближайшее время станут доступны данные исследования Dark Energy Survey и будет запущена в работу обсерватория имени Веры Рубин, которые предоставят огромные массивы данных, преимущественно о галактиках Южного полушария.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Shamir, L. Patterns of galaxy spin directions in SDSS and Pan-STARRS show parity violation and multipoles, *Astrophysics and Space Science*, 365, 136, 2020.
- Shamir, L. Analysis of the alignment of non-random patterns of spin directions in populations of spiral galaxies. arXiv:2101.04068 [astro-ph.CO]
- Боровков А. А. Математическая статистика: учебник. Лань, 2010
- Shamir, L. Ganalyzer: A tool for automatic galaxy image analysis. *The Astrophysics Source Code Library* 2011, p. ascl:1105.011.
- Longo, M.J. Detection of a Dipole in the Handedness of Spiral Galaxies with Redshifts $z < 0.04$. *Physics Letters B* 2011, 699, 224-229.
- Shamir, L. Handedness asymmetry of spiral galaxies with $z < 0.3$ shows cosmic parity violation and a dipole axis. *Physics Letters B* 2012, 715, 25-29.
- Вайнберг С. Космология. URSS. 2018.

Спасибо за внимание!



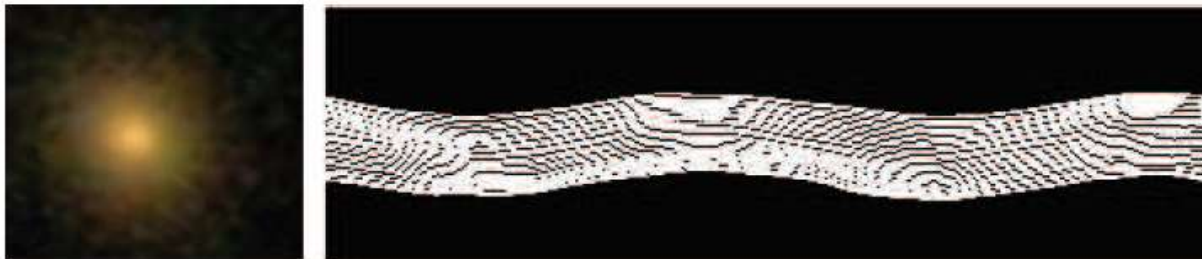
Дополнение

- Радиус Петросяна - расстояние от центра галактики, отношение поверхностной яркости на котором и средней поверхностной яркости в его пределах равно специфической величине (например 0,2).
- Видимая звездная величина – мера яркости небесного тела с точки зрения земного наблюдателя. Чем ярче объект, тем меньше его звездная величина.
- Мультиполь - определённая симметричная конфигурация неподвижных или движущихся источников поля в ограниченной области пространства.
- Изотропность, изотропия — одинаковость физических свойств во всех направлениях, инвариантность, симметрия по отношению к выбору направления.
- Реликтовое излучение - космическое электромагнитное излучение с высокой степенью изотропности и со спектром, характерным для абсолютно черного тела с температурой 2.725 К.
- Обсерватория имени Веры Рубин - строящийся в Чили широкоугольный (диаметр 8,36 м) обзорный телескоп-рефлектор, предназначенный для съёмки доступной области неба. Его конструкция способна обеспечить очень широкое поле зрения.
- Dark Energy Survey - астрономический обзор в видимой и ближней инфракрасной области спектра, целью которого является изучение динамики расширения Вселенной и роста её крупномасштабной структуры.

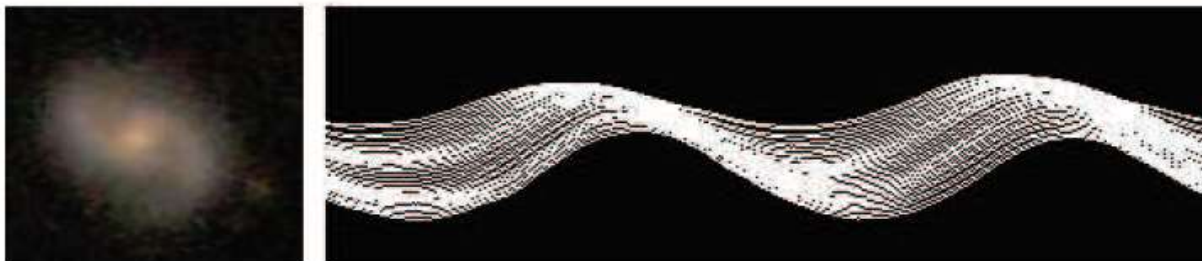
Ganalyzer: принцип работы



Преобразование изображения методом Оцу, отделение передних пикселей от фоновых.



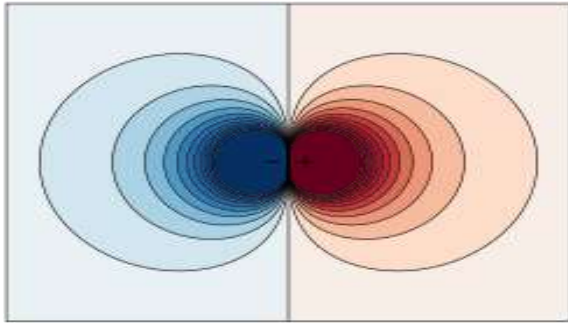
Зависимость интенсивности от полярного угла, строиться для различных расстояний от центра галактики. Находятся координаты пиков.



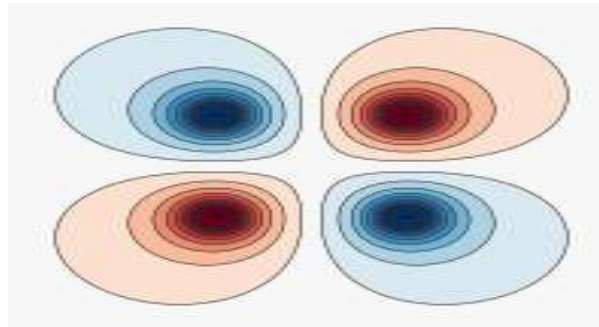
Зависимость расстояния от пика до центра галактики от угла. По наклону относительно вертикали определяется спиральность.



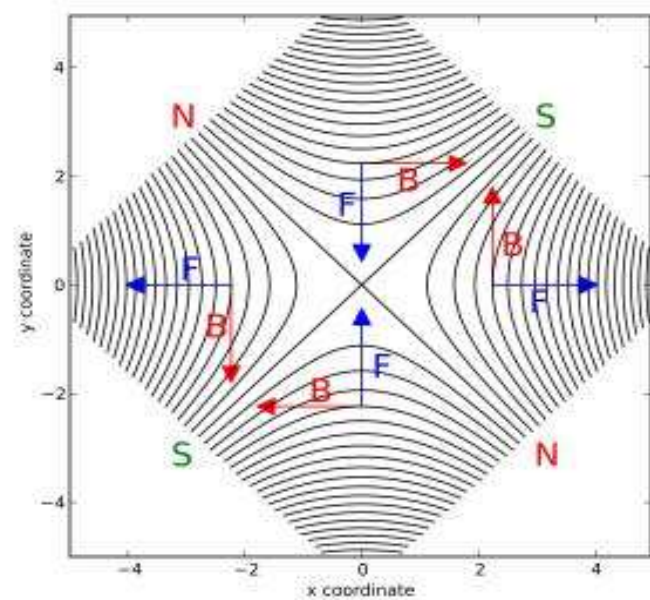
Мультиполи



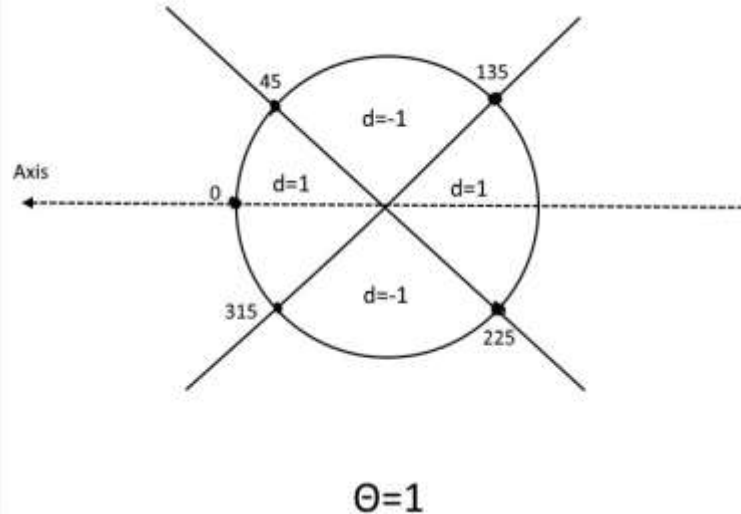
Электрический диполь



Электрический квадруполь



Иллюстрации для квадруполья



Поле, ориентирующее спины не содержит заряды, значит мультипольное разложение содержит только четные порядки, а отрицательные заряды рассматриваются только формально.

Различные ссылки

- Код для вычислений: <https://github.com/hackdady3000/Large-scale-spin-direction-assymetry>
- Данные для вычислений: <http://people.cs.ksu.edu/~lshamir/data/assymdup/>
- Программа Ganalyzer: <http://people.cs.ksu.edu/~lshamir/downloads/ganalyzer/>
- Описание работы программы Ganalyzer: <https://arxiv.org/abs/1105.3214>
- Исходный код программы Ganalyzer: <http://people.cs.ksu.edu/~lshamir/downloads/ganalyzer/ganalyzer.cpp>
- Сайт Слоуновского цифрового небесного обзора: <https://www.sdss.org/>
- Сайт исследования Dark Energy Survey: <https://www.darkenergysurvey.org/>