

Ориентация спинов галактик относительно филаментов крупномасштабной структуры Вселенной



Антипова А.В., Макаров Д.И

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН)

Согласно теории образования галактик должна наблюдаться четкая корреляция между спином галактик и направлениям на элементы крупномасштабной структуры Вселенной, в частности на филаменты. Было проведено большое количество работ как наблюдательных, так и основанных на моделировании по поиску зависимости положения спина относительно элементов крупномасштабной структуры, однако результаты работ противоречивы. В данной работе мы представляем исследование ориентации спинов 4513 галактик относительно 3494 филаментов крупномасштабной структуры Вселенной. В нашей выборке все галактики имеют угол наклона к наблюдателю больше 85 градусов, то есть видны практически «с ребра», что позволяет однозначно определить направление оси вращения галактики в пространстве. Мы обнаружили, что спины галактик имеют тенденцию выравниваться вдоль оси филаментов крупномасштабной структуры. Статистическая значимость результата находится на уровне 3 сигм.

Введение

Было опубликовано большое количество работ по изучению ориентации спинов галактик относительно филаментов в том числе и по наблюдательным данным. В работе [1] было обнаружено, что яркие спиральные галактики имеют преимущественно сонаправленные спины галактик с филаментами, тогда как эллиптические галактики имеют перпендикулярное направление спина. Авторы статьи [2] обнаружили преимущественно перпендикулярное положение спинов галактик, которые находятся в более плотных средах. Но некоторые авторы не находили никаких зависимостей, например, [3,4]. Такие различия в результатах могут быть связаны со сложностью определения положения спина галактик, с идентификацией самих нитей и ограниченной статистикой.

Выборка объектов

Неопределенность в положении спина галактик можно обойти, используя галактики, видимые «с ребра», поэтому в данной работе был использован один из крупнейших каталогов галактик, видимых «с ребра», — EGIPS [5], содержащий 16551 галактик. Филаменты определялись по каталогу [6], который основан на выборки из 499 340 галактик с красным смещением $0.009 < z < 0.155$ в системе космического микроволнового фона (СМВ), он содержит 15421 филамента. После сопоставления галактик из каталога EGIPS с галактиками из каталога филаментов [6] была составлена выборка из 3494 филаментов и 4513 принадлежащих им галактик.

Поиск корреляции

Было построено распределение числа галактик по косинусу углов между касательной к филаменту и спином галактики в трехмерном пространстве (см рис 1.). Из этого распределения ясно, что спины большинства галактик имеют тенденцию быть параллельными относительно оси нити. Используя линейную регрессию, мы получаем наклон 0.15 с доверительными интервалами от 0.047 до 0.25 и вертикальным пересечением равным 0.93 с доверительным интервалом от 0.87 до 0.98. Доверительные интервалы даны для 95% уровня значимости. Значение p-value для наклона составляет: 0.006. Значение p-value проверяет нулевую гипотезу о том, что коэффициенты равны нулю. Низкое значение (< 0.05) указывает на то, что мы можем отвергнуть нулевую гипотезу. Таким образом, коэффициенты, определяемые приближением, значимы, и распределение действительно показывает, что спины большинства галактик имеют тенденцию быть параллельными относительно осей нитей.

Была рассмотрена зависимость p-value наклона аппроксимирующей прямой от числа галактик в выборке. Из основной выборки случайным образом выбиралось 100 раз определенное количество галактик и их $\cos(\theta)$ распределение аппроксимировалось прямой линией. Данная процедура проводилась для случайной выборки размером от 200 до 4500 галактик с шагом 200. Для каждого выбранного числа галактик полученные p-value усреднялись. Зависимость p-value от числа галактик в выборке представлена на рис.2. Из зависимости следует, для того чтобы найти связь между спином галактики и осью филамента, нам нужна выборка, состоящая более чем из 3000 галактик (что соответствует $p\text{-value} \approx 0.05$).

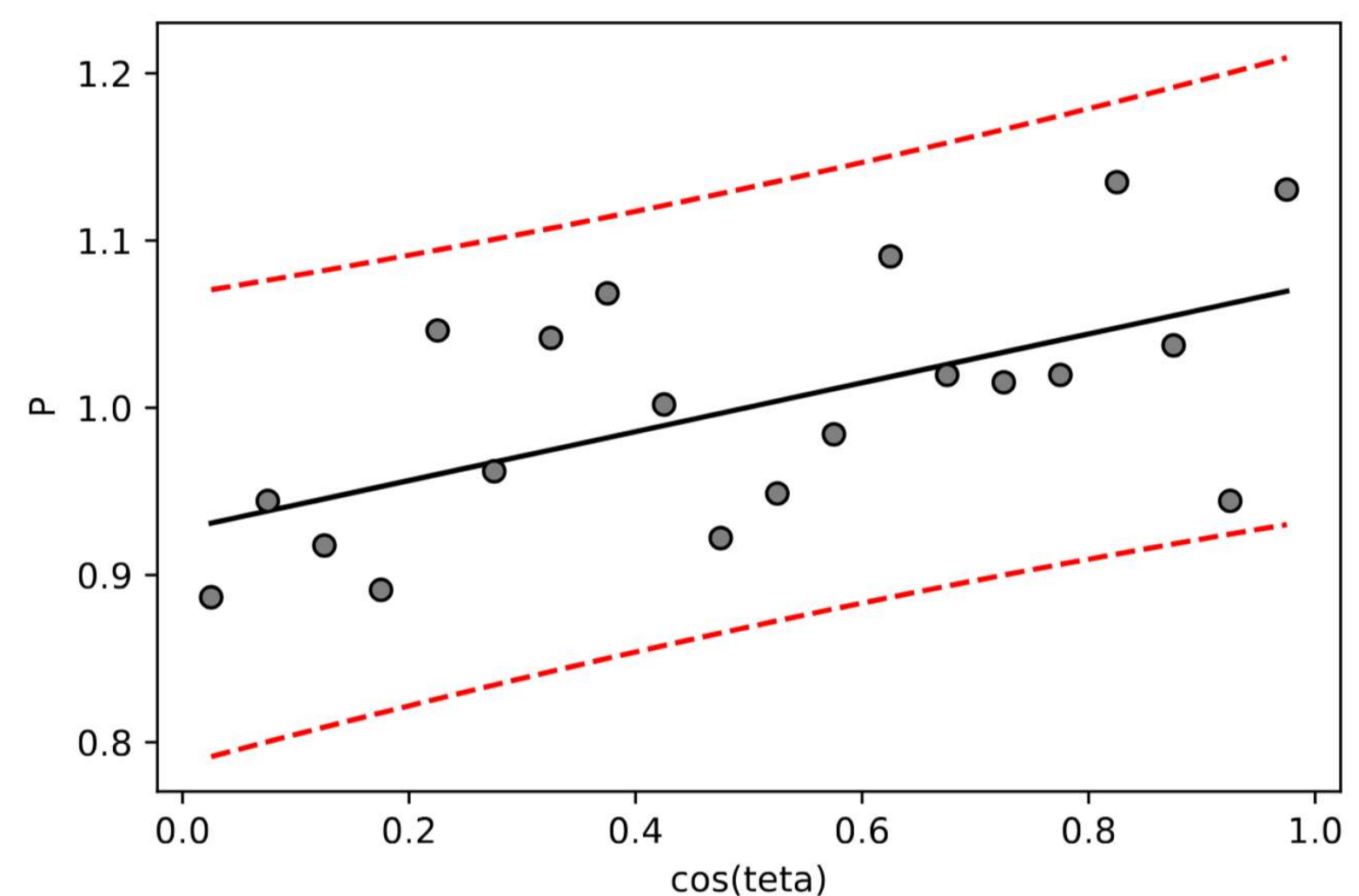


Рис.1. Распределение плотности вероятности взаимной ориентации спинов галактик и нитей в трехмерном пространстве. Распределение основано на выборке из 3494 галактик, видимых с ребра, из каталога EGIPS [5] и 4513 филаментов из каталога [6]. Черная сплошная линия — аппроксимационная прямая линия. Красные пунктирные линии показывают доверительный интервал.

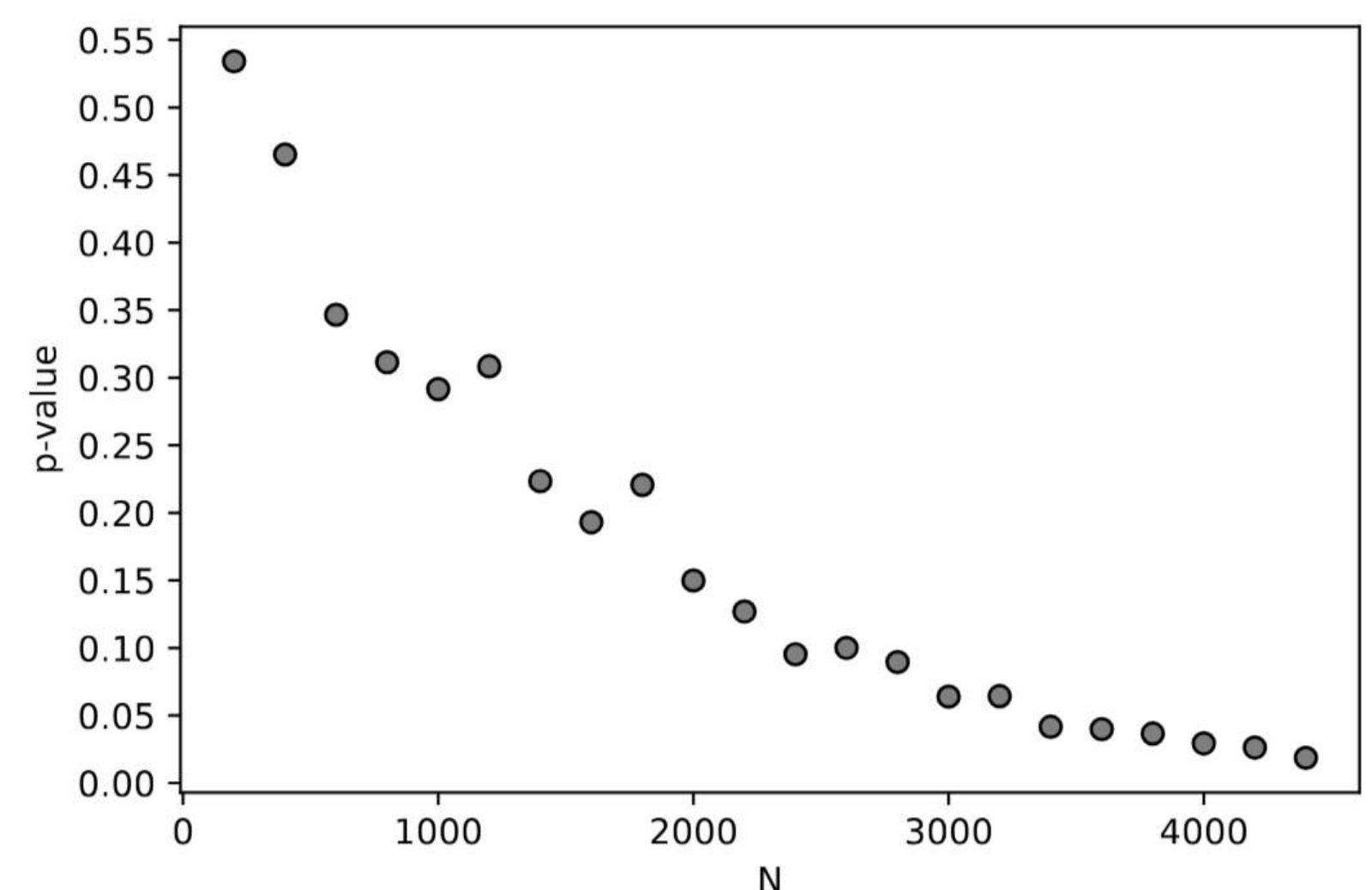


Рис.2. Зависимость p-value угла наклона аппроксимационной прямой от размера выборки.

Литература

- [1] Tempel E., Stoica R.S., Saar E., 2013, MNRAS, 428, 1827
- [2] Lee J., Erdogdu P., 2007, ApJ, 671, 1248
- [3] Pahwa I., Libeskind N.I., Tempel E., Hoffman Y., Tully R.B., Courtois H.M., Gottlober S., et al., 2016, MNRAS, 457, 695
- [4] Krolewski A., Ho S., Chen Y.C., Chan P.F., Tenneti A., Bizyaev D., Kraljic K., 2019, ApJ, 876, 52
- [5] Makarov D., Savchenko S., Mosenkov A., Bizyaev D., Reshetnikov V., Antipova A., Tikhonenko I., et al., 2022, MNRAS, 511, 3063
- [6] Tempel E., Stoica R.S., Martinez V.J., Liivamagi L.J., Castellan G., Saar E., 2014, MNRAS, 438, 3465