

Н.Ш. Алимгазинова, А.Ж. Наурзбаева, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек, А.Б. Манапбаева
 Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГАЛАКТИК

Аннотация. В работе приводятся результаты информационно-энтропийного анализа распределения материи на фотографических снимках спиральных и эллиптических галактик. В результате данных исследований произведено количественное описание различных типов галактик.

Ключевые слова: галактика, информация, энтропия, обобщенная метрическая характеристика

Введение

Динамический хаос является объектом интенсивных научных исследований последних лет. Причиной является то, что хаос представляет собой наиболее универсальную форму реализации сложных природных явлений. К примеру, хаос содержит элементы стохастичности, квазипериодичности, цветного шума, самоподобия и самоаффинности и т.д.. Методы теории динамического хаоса широко используются в астрофизике [1, 2]. Данные астрономических наблюдений представлены в виде временных рядов некоторых параметров, видеоизображений и различных карт. Астрофизические сигналы в виде временного ряда интенсивности излучений, фотографического изображения либо полностью хаотические, либо обязательно содержат элементы хаоса. Поэтому для понимания физических явлений, происходящих во Вселенной крайне необходимо знание структуры хаоса.

Большой объем наблюдательных данных о галактиках позволяет иметь представление о пространственном распределении материи в них. В связи с тем, что основную информацию о далеких галактиках мы получаем в виде изображений, то вероятнее всего, некоторые составляющие галактики, такие как темная материя, не проявляются на снимках. Однако, изучая снимки, мы можем получить достаточно информации об излучающей материи, а следовательно, по её распределению возможен расчет распределения темной составляющей галактики.

Данная работа представляет собой новое направление в анализе фотографических снимков астрофизических объектов. Так как спиральные и эллиптические галактики наиболее распространённые виды галактик, нами в качестве объектов исследования были выбраны снимки, полученные космическим аппаратом «Хаббл» [3].

Целью исследования является изучение и количественное описание особенностей распределения материи в спиральных и эллиптических галактиках различного типа методом теории динамического хаоса – информационно-энтропийным анализом.

Краткие теоретические сведения

Информация порождается независимо от природы объекта при нарушении симметрии, структурировании (т.е. возникновения порядка из хаоса) и вероятностном поведении исследуемого процесса. Согласно общепринятой терминологии информация I_i , приобретаемая при рождении (уничтожении) структуры с вероятностью P_i , представляется в виде:

$$I_i = -\ln P_i \quad (1)$$

а её среднее значение дает информационную энтропию (меру неопределенности)

$$S = -\sum_i P_i \ln P_i \quad (2)$$

Данная формула определяет энтропию Шеннона.

Информационная энтропия является метрической и топологической

характеристикой. Для количественного описания ее закономерностей необходимо воспользоваться еще одной характеристикой – двумерным коэффициентом аффинности, или обобщенной метрической характеристикой, представленной в работе [4]:

$$K_{x_i, x_j}^{p, q} = \frac{\left(\langle |x_i|^p \rangle \right)^{1/p} \cdot \left(\langle |x_j|^q \rangle \right)^{1/q}}{|x_i x_j|}, \quad (3)$$

где некоторые коэффициенты p и q должны удовлетворять условию: $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$. При значениях $p=q=2$, они соответствуют топологической размерности евклидовой поверхности.

В одномерном случае, при $x_i = x, x_j = 1, p = q = 2$ имеем

$K_x^{2,2} = \frac{\langle x^2 \rangle}{\langle |x| \rangle}$ — коэффициент формы сигнала, используемый в радиофизике.

При учете двух определяющих параметров системы, например при $x_i = Y, x_j = X$ и значениях коэффициентов $p=q=2$, имеем K_{X^2, Y^2} - двумерный коэффициент аффинности рассматриваемого объекта.

Результаты исследования

В соответствии с общеизвестной морфологической классификацией Э. Хаббла все спиральные галактики были разделены на типы: Sa, Sb и Sc, а эллиптические галактики на типы: E0 и E7. Для каждого из них были определены значения информационной энтропии Шеннона и метрический параметр – коэффициент аффинности, по которым построены энтропийно-метрические диаграммы. Результаты представлены на рисунках 1-3.

На рисунке 1 представлена зависимость нормированной энтропии Шеннона от двумерного коэффициента аффинности объекта для различных типов спиральных галактик. Видно, что для галактик типа Sa значения характеристик варьируют в пределах от 0,83 до 0,92. Эта область

соответствует процессам [5], которые обладают равновесными свойствами, т.е. данной энтропией обладают те галактики, у которых наблюдается регулярное распределение материи на снимке. Это соответствует действительности, так как Sa – спиральная галактика с мало развитой спиральностью и с довольно мощным ядром. Для галактик Sa характерна туго закрученная регулярная структура, видимо, поэтому значения коэффициента аффинности не превышают 1,2.

Значения нормированной энтропии Шеннона для галактик типа Sc и Sb выделяются в отдельные группы. Для Sc коэффициент аффинности не превышает значения 1,4, в то время как для Sb он достигает значения 1,2. Что касается их энтропии, то для Sb она имеет значения меньше, чем для Sc. У галактик типа Sb спиральные ветви заметно развиты, и не имеют богатых разветвлений. Ядра меньше, чем у Sa. Для нескольких исследуемых снимков были получены значения нормированной энтропии Шеннона меньше 0,8. Т.е. энтропия их находится в области самоорганизации. При анализе снимков данных галактик было обнаружено, что в отличие от других галактик, в структуре у них присутствует балдж.

Значения нормированной энтропии Шеннона для типа Sc варьируют от 0,8 до 0,98. Это область равновесных процессов. В отличие от типа Sa, данный тип занимает больший диапазон, как по энтропии, так и по коэффициенту аффинности. Для данного типа галактик характерна клочковатая спиральная структура. Это галактики с еще меньшим ядром и с сильно развитыми спиральными ветвями, видимо, поэтому мы и наблюдаем их значения энтропии в данной области.

В данном исследовании также применена методика вычисления обобщенной метрической характеристики по кривым распределения цветопередачи на снимках. Так как мы исследуем кривые, то назовем данную метрическую характеристику двумерным коэффициентом формы сигнала.

На рисунке 2 представлена зависимость нормированной энтропии Шеннона от

двумерного коэффициента формы сигнала. Тип галактик E7 имеет практически такие же характеристики как и E0. Здесь мы видим, что энтропия распределения материи в эллиптических галактиках изменяется в соответствии с закономерностью эволюции энтропии, предложенной ранее в работе [5].

Значения нормированной энтропии Шеннона для типа E0 объединены в некоторые группы при различных диапазонах коэффициента формы: первая группа расположена при значениях от 1 до 1,5, вторая - от 1,6 до 3, третья - от 4 до 5,5. Анализ изображений показал следующее: в первую группу вошли те галактики, изображения которых получено с очень больших расстояний, т.е. плохое и нечеткое изображение. Вторая группа – это результаты анализа одиночных галактик, снимки которых имеют хорошее качество. Третью группу составляют галактики, наблюдающиеся в виде двойных взаимодействующих систем. Таким образом, мы видим, что в области самоорганизации находятся значения нормированной энтропии Шеннона для взаимно-связанных двойных эллиптических галактик.

Далее на рисунке 3 представлены результаты исследования всех типов галактик. Здесь мы видим, что энтропия Шеннона в зависимости от коэффициента формы уменьшается с увеличением сложности кривой цветопередачи. Так как цветопередача отражает распределение излучающей материи на исследуемом снимке, то можно предположить, что более сложные кривые распределения цветопередачи показывают более сложный состав и структуру галактики. Значит, большим коэффициентом формы обладают галактики, имеющие более сложное распределение материи. Видимо, поэтому их энтропия, принадлежит области, ограниченной критериями степени

самоорганизации, в интервале $[I_1, I_2]$, т.е. в таких объектах, вероятнее всего, составляющие галактик более упорядочены, нежели в других.

Заключение

В настоящей работе показана возможность изучения фотографических снимков астрофизических объектов методами нелинейной физики. Путем вычисления информационной энтропии Шеннона и обобщенной метрической характеристики были количественно описаны различные типы спиральных и эллиптических галактик. Было показано, что распределение материи в галактиках, обладающих сложным составом и структурой, наблюдаются процессы самоорганизации.

Список литературы:

1. Gustafsson M., Lemaire J.L. and Field D. A Method for Detection of Structure // *Astronomy & Astrophysics*, February 5, 2008. – [arXiv:astro-ph/0606150](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0606150)
2. Dubeibe and Leonardo F.L., Pachon A., Sanabria-Gomez Jose D. Chaotic dynamics around astrophysical objects with nonisotropic stresses // *Escuela de Fisica, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga, Colombia. Physical Review D* 75, 023008, 2007.
3. Жанабаев З.Ж. Обобщенная метрическая характеристика динамического хаоса // *Матер. 8-й межд. шк. «Хаотические автоколебания...»*. - Саратов, 2007. - С. 67-68.
4. Сайт космического аппарата «Хаббл» - <http://hubblesite.org>
5. Жанабаев З.Ж. Самоподобие и самоаффинность хаотических систем. Приложение теории // *Матер. 6 - й Межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент»*, 2008, Астана, С. 8-14.

Приложение

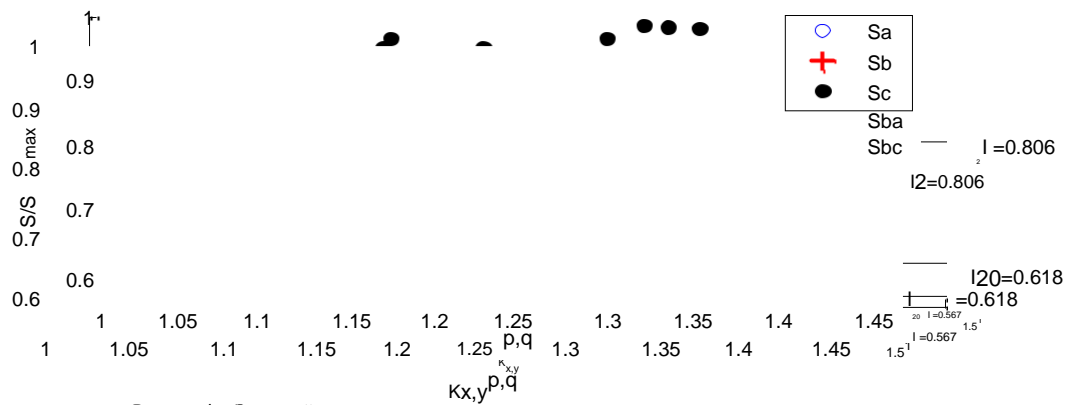


Рисунок 1 – Энтропийно-метрическая диаграмма распределения материи в спиральных галактиках

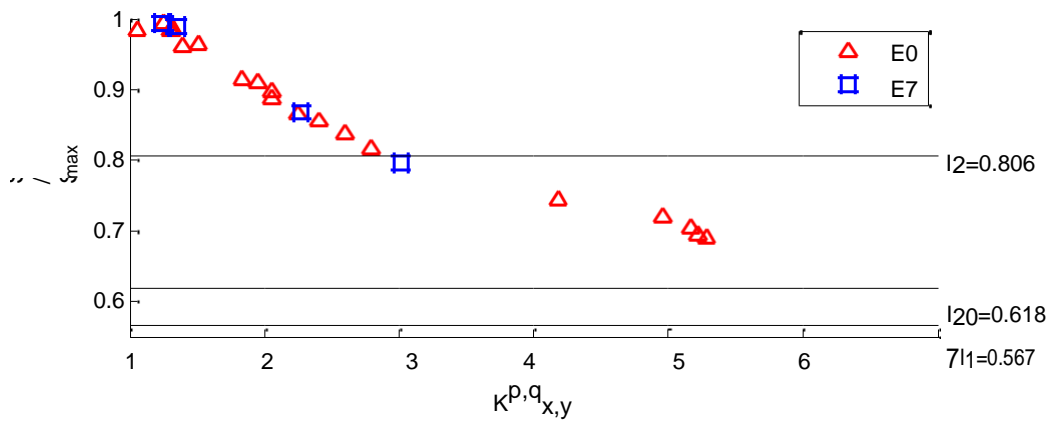


Рисунок 2 – Энтропийно-метрическая диаграмма распределения материи в эллиптических галактиках

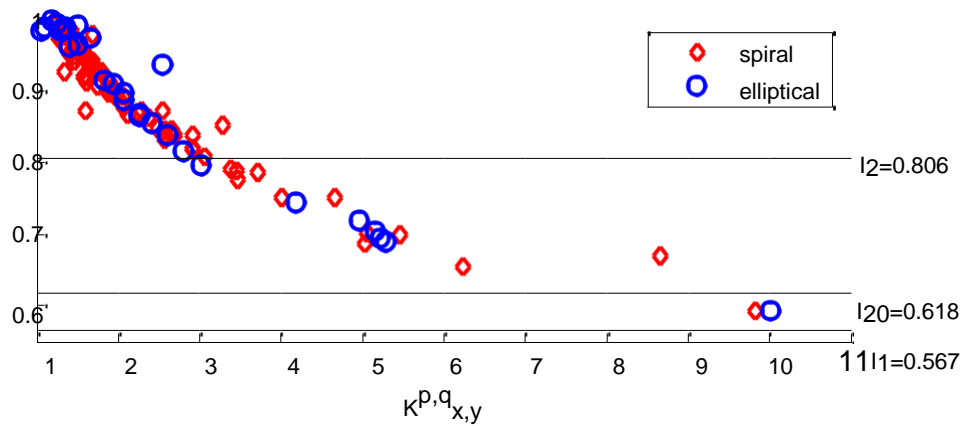


Рисунок 3 – Энтропийно-метрическая диаграмма распределения материи в галактиках

Н.Ш. Алимгазина, А.Ж. Наурзбаева, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек, А.Б. Манапбаева *Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГАЛАКТИК

Аннотация. В работе приводятся результаты информационно-энтропийного анализа распределения материи на фотографических снимках спиральных и эллиптических галактик. В результате данных исследований произведено количественное описание различных типов галактик.

Ключевые слова: галактика, информация, энтропия, обобщенная метрическая характеристика

Н.Ш. Алимгазина, А.Ж. Наурзбаева, Б.Ж. Медетов, А.А. Алибек, А.Б. Манапбаева
ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан

ГАЛАКТИКАНЫҢ ӘРТҮРЛІ ТИПІНІҢ ҚІҒРЫЛЫМЫН БЕЙСЫЗЫҚ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Жұмыста спиральды және эллипстік галактикалардың фотобенейлеріндегі материяның таралуына информациялық-энтропиялық талдау жасалған. Зерттеу мәліметтерінің нәтижесінде галактикалардың әртүрлі типтеріне сандық сипаттау жүргізілді.

Тірек сөздер: галактика, информация, энтропия, жалпыландырылған метрикалық сипаттама

N.Sh. Alimgazina, A.Zh. Naurzbayeva, B.Zh. Medetov, A.A. Alibek, A.B. Manapbayeva *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

NONLINEAR ANALYSIS OF STRUCTURE OF DIFFERENT TYPES OF GALAXIES

Abstract. Results of informational-entropic analysis of distribution of matter on photos of spiral and elliptical galaxies have been presented in the present work. Quantitative description of different types of galaxies has been obtained in the study.

Keywords: Galaxy, information, entropy, generalized metric characteristic