



Al-Farabi Kazakh National University

**Proceedings of the  
10th International scientific conference  
«Chaos and structures in nonlinear systems.  
Theory and experiment»,  
devoted to the 75th anniversary  
of Professor Z. Zhanabaev**

Almaty 2017

**Proceedings of the 10th International scientific conference  
«Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment»,  
devoted to the 75th anniversary of Professor Z. Zhanabaev**

*edited by*  
Zeinulla Zhanabaev, Akmaral Imanbayeva

CHAOS 2017 KAZNU  
almaty kazakhstan

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

June 16-18, 2017

**МАЗМУНЫ**  
**TABLE OF CONTENTS**

**Plenary reports**

✓ <b>З. Жанабаев</b> <i>Нелинейные фрактальные меры и информационная энтропия в физике хаоса</i> .....	4
<b>A. Miroschnichenko</b> <i>Binary systems with circumstellar envelopes</i> .....	10
<b>V. Timoshenko</b> <i>Formation, Properties and Applications of Ensembles of Silicon Nanocrystals</i> .....	16
<b>A. Potarov</b> <i>Общая постановка проблемы потенциальных возможностей фрактально-скейлинговых методов в радиофизике, радиолокации и в теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов</i> .....	17

**Dynamical chaos and self-organization in astrophysics**

<b>О.В. Захожай, В.А. Захожай, А.С. Мирошниченко, К.С. Куратов</b> <i>Физические параметры протопланетного диска вокруг молодой звезды IRAS 22150+6109</i> .....	36
✓ <b>З.Ж. Жанабаев, А.С. Бейсебаева, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев</b> <i>Классификация горячих звезд на основе информационно – энтропийного анализа</i> .....	40
✓ <b>З.Ж. Жанабаев, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев</b> <i>Бифуркационные режимы эволюции нелинейной фрактальной меры</i> .....	44
<b>А.К. Морзабаев, Ш.Г. Гиниятова, Г.А. Шаханова, С.М. Сахабаева, В.С. Махмутов, В.И. Ерхов</b> <i>Анализ вариаций космических лучей, зарегистрированные в январе-феврале 2017 года на детекторе CARPET(Astana)</i> .....	48
<b>В.В. Дьячков, А.В. Юшков</b> <i>Хаотизация и кристаллизация пространства-времени</i> .....	52
<b>А.К. Куратова, А.С. Мирошниченко, К.С. Куратов, А.Ж. Наурзбаева, Н.Ш. Алимгазинова, А.Б. Манапбаева</b> <i>Определение критериев и поиск звезд типа FS CMA</i> .....	55

## КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО – ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА

**З.Ж. Жанабаев, А.С. Бейсебаева, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
skhokh88@gmail.com*

В представленной работе показана возможность классификации горячих звезд по спектрам, согласно их энтропийным характеристикам. Получены алгоритмы и методика определения отношения одномерной энтропии к полной по наблюдаемым спектрам.

### **Введение**

На протяжении более ста лет, энтропия является ключевой величиной не только для неравновесной статистической физики и термодинамики, но для естествознания в целом. Она имеет первостепенное значение при обсуждении вопросов порядка и хаоса в природе, происхождения и передачи информации, проблем необратимости и т.д. [1-5]. Однако в настоящее время практически не существует количественных расчетов энтропии для астрофизических объектов, и в редких только случаях для хорошо изученных объектов, как звезды [6-10] рассчитывается энтропия Больцмана. При этом, очевидно, что учет неравновесности системы чрезвычайно важно для понимания физики окружающего нас мира. И так как звезды являются наиболее распространенными объектами во Вселенной, которые составляют более 97% от массы всего видимого вещества, необходимо понять, как зависит энтропия от типа звезд. Однако на этот вопрос в современной литературе ответа нет. Таким образом, не было произведено количественного анализа энтропии для наиболее важных и распространенных объектов во Вселенной. Поэтому целью данной работы было описать количественно спектры горячих звезд различных типов на основе информационно – энтропийного анализа.

### **Информационно – энтропийные характеристики сигналов**

Обычно определение сложного понятия формируется через перечень его основных свойств. Информация  $I(x)$  статистической реализации некоторой физической величины  $x$  является положительной величиной и определена при наличии неравновесности  $I(x) \neq I(x_0)$ , если  $x \neq x_0$ . Если  $P(x)$  является вероятностью появления величины  $x$ , то выражение для количества информации

$$I(x) = -\ln P(x) \quad (1)$$

Информационная энтропия или энтропия Шеннона  $S(x)$  может быть определена как среднее значение информации:

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

где,  $i$  – номер ячеек разбиения множества значений  $x$ .

Вероятности реализации информации  $P(I)$  согласно формуле (1) записывается следующим образом

$$P(I) = e^{-I} \quad (3)$$

Определяя информацию и энтропию, таким образом, мы переходим к следующим выражениям [11]:

$$P(I) = \int_1^{\infty} f(I) dI, \quad f(I) = P(I) = e^{-I} \quad (4)$$

$$S(I) = \int_1^{\infty} I f(I) dI = (1 + I)e^{-I} \quad (5)$$

где  $f(I)$  плотность вероятности.

Принимая в качестве характерных функций  $f(I)$  и  $S(I)$  определим их неподвижные точки [11]:

$$f(I) = I, \quad e^{-I} = I, \quad I = I_1 = 0.567 \quad (6)$$

$$S(I) = I, \quad (1 + I)e^{-I} = I, \quad I = I_2 = 0.806 \quad (7)$$

Эти неподвижные точки являются единственно устойчивыми, так как они являются также и пределами бесконечных отображений, достигнутых при любых начальных значениях  $I_0$

$$I_{i+1} = f(I_i), \quad \lim_{i \rightarrow \infty} \exp(-\exp(\dots - \exp(I_0) \dots)) = I_1, \quad (8)$$

$$I_{i+1} = S(I_i), \quad \lim_{i \rightarrow \infty} \exp(-\exp(\dots - \exp(\ln(I_0 + 1) - I_0) \dots)) = I_2, \quad (9)$$

Возможные толкования физического смысла чисел  $I_1 = 0.567$  и  $I_2 = 0.806$  изложены в работе [12]. Результаты этого раздела показывают, что нормированная информационная энтропия может быть использована для количественного разделения различных состояний сложной, хаотической системы.

#### Результаты численного анализа спектров горячих звезд.

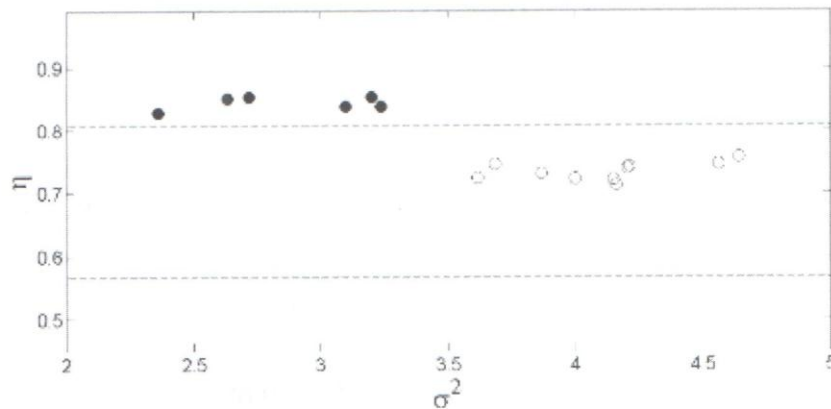
Для исследования были выбраны звезды ранних спектральных классов (карлики и сверхгиганты), со скоростями, не превышающими 100 км/с. Все спектры были получены на 1.93 телескопе ОНР с использованием спектрографа ELODIE ( $R \sim 42,000$ ).

Можно поставить вопрос о количественном описании различия спектров выбранных звезд методом информационной энтропии. Такой метод количественной оценки мы применяли в различных отраслях науки. Однако существуют ряд алгоритмических проблем, вычислений и трактовки результатов, которые мы приведем применительно к решению астрофизических задач.

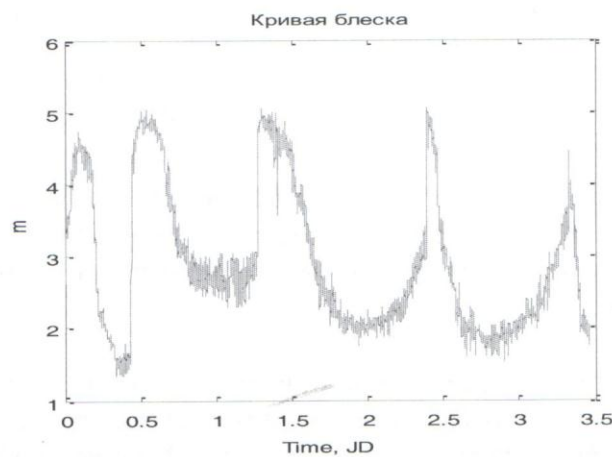
В результате была построена зависимость отношения одномерной энтропии к двумерной ( $\eta$ ) спектров от соответствующих значений дисперсии ( $\sigma^2$ ) (Рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что спектры звезд карликов имеют значения энтропии, лежащие в области самоподобия (формула(7)) и самоаффинности энтропии (формула(6)). По физической сути звезды этого типа должны относиться к самоорганизованным системам, что соответствует предлагаемой теоретической классификации. При значениях энтропии  $\eta \geq I_2$  сигналы близки к стохастическим, здесь лежат сверхгиганты. Это означает, что хаос звезд карликов сложно структурирован, в отличие от сверхгигантов.

Также были исследованы переменные звезды спектральных классов *Omi Cet*, *AC Her*, *AF Cyg*, *W Vir*, *UV*, *UG*, *RS*, *FU Ori*, *BY Gemini*, *By Draconis*. Исследования проводились на базе данных об изменении блеска переменных звезд различных типов, представленный на сайте [14]. Было исследовано 10 типов переменных звезд, лежащих выше и ниже главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела. На рисунке 2 для примера приведена кривая блеска переменной звезды *Omi Cet*.

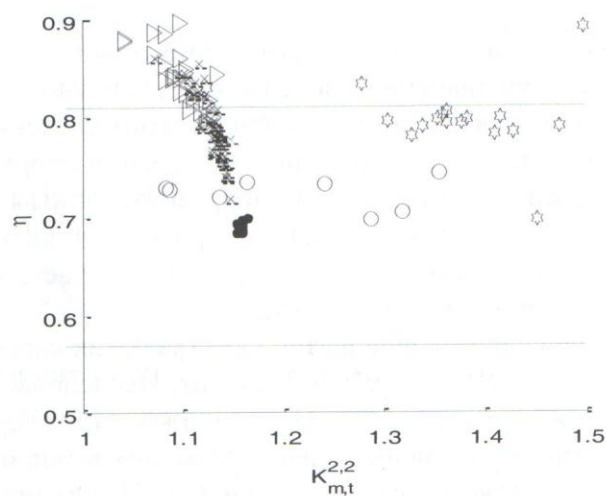


**Рис. 1** – Зависимость  $\eta$  от дисперсии для спектров горячих звезд. Закрашенные кружки – сверхгиганты, не закрашенные – звезды, находящиеся на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга – Рассела



**Рис. 2** – Кривая блеска переменной звезды *Omi Cet*

На рисунке 3 приведена зависимость отношения одномерной энтропии к двумерной ( $\eta$ ) кривой рис.2 от эволюционного параметра порядка [15].



**Рис. 3** – Зависимость  $\eta$  от эволюционного параметра порядка для кривых блеска переменных звезд 10 типов

Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что информационно-энтропийный анализ и расчет дисперсии, метрической характеристики для сигналов горячих и переменных звезд дает возможность их количественно классифицировать.

### Заклучение

В этой работе мы показали возможность классификации горячих звезд по спектрам и переменных звезд по их кривым блеска, через энтропийные характеристики.

Показано, что значения  $\eta$  для звезд, находящихся на главной последовательности Герцшпрунга – Рассела принадлежат области самоподобия и самоаффинности физических процессов, происходящих в них. Другими словами, эти объекты самоорганизованы и имеют сложную, хаотическую структурированность. Напротив, сверхгиганты являются квазиравновесными системами с шумоподобными свойствами.

Эти выводы являются количественными характеристиками физического состояния рассматриваемых астрофизических объектов.

### Литература

1. Prigogine, I.; Nicolis, G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems; Wiley: New York, NY, USA, 1977.
2. Kleidon, A., Lorenz, R., Eds. Non-Equilibrium Thermodynamics and the Production of Entropy in Life, Earth, and Beyond; Springer: Berlin, Germany, 2004.
3. Martyushev, L.M.; Seleznev, V.D. Maximum entropy production principle in physics, chemistry and biology. Phys. Rep. 2006, 426, 1–45.
4. Grandy, W.T. Entropy and the Time Evolution of Macroscopic Systems; Oxford University Press: Oxford, UK, 2008.
5. Martyushev, L.M. Entropy and Entropy Production: Old Misconceptions and New Breakthroughs. Entropy 2013, 15, 1152–1170.
6. Basu, B.; Lynden-Bell, D. A survey of entropy in the Universe. Q. J. R. Astron. Soc. 1990, 31, 359–369.
7. Frampton, P.H.; Hsu, S.D.H.; Kephart, T.W.; Reeb, D. What is the entropy of the Universe Class. Quant. Grav. 2009, 26, doi:10.1088/0264-9381/26/14/145005.
8. Egan, C.A.; Lineweaver, C.H. A larger estimate of the entropy of the Universe. Astrophys. J. 2010, 710, 1825–1834.
9. Aoki, I. Entropy productions on the earth and other planets of the solar system. J. Phys. Soc. Jpn. 1983, 52, 1075–1078.
10. Kennedy, D.C.; Bludmanthe, S.A. Variational Principles for Stellar Structure. Astrophys. J. 1997, 484, 329–340.
11. Z.Zh. Zhanabaev, “Information properties of self-organizing systems”, Rep. Nat. Acad. Of Science RK. Vol. 5, pp. 14-19, 1996.
12. Z.Zh. Zhanabaev, Y.T. Kozhagulov, S.A. Khokhlov, Scale invariance criteria of dynamical chaos // International Journal of Mathematics and Physics, vol. 4, №2, pp. 29-37, 2013.
13. Feder J. Fractals // Plenum press, New York 1988.
14. <http://www.aavso.org/data/download/>
15. Жанабаев З.Ж., Ахтанов С.Н. Универсальное отображение перемежаемости // Вестник КазНУ, сер. физ. – 2011. - №2(37). - С. 15-24.