

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ղախրամանյան Տիգրան Ռազմիկի

ՔԱՆՍԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԿՈՍՄՈՂՈԳԻԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԵՎ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.02- «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2010

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им А.И. Алиханяна

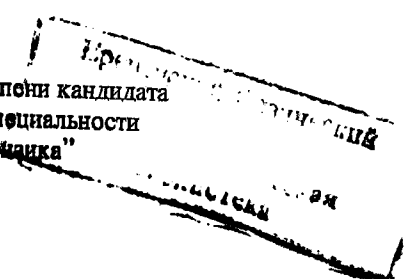
Каграманян Тигран Размикович

ХАОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В КОСМОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ И СИГНАЛАХ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 – «Теоретическая физика»

ЕРЕВАН-2010



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում:
 Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Վ.Գ. Գուրգադյան (Երֆի)
 Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ն. Ս. Անանիկյան (Երֆի)
 Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու Ա. Ն. Իրանիսիյան (Երֆի)
 Առաջատար կազմակերպություն՝ Տեսական և փորձարարական ֆիզիկայի ինստիտուտ, Մոսկվա

Պաշտպանությունը կայանալու է 2010թ. մարտի 16-ին ժամը 14.00-ին Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ԲՈՂ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (375036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրներ փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում
 Մեղմագիրը առարված է 2010թ. փետրվարի 10-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր *Յ.Մարտիրոսյան* է.Դ. Գազարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте имени А.И. Алиханяна.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Гурзadyan В.Г. (ЕрФИ)

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Ананикян Н.С. (ЕрФИ)
 кандидат физико-математических наук Иоаннисян А. Н. (ЕрФИ)

Ведущая организация: Институт теоретической и экспериментальной физики, (Москва)

Защита диссертации состоится 16-го марта 2010 года в 14.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024, действующего при Ереванском физическом институте им. А.И. Алиханяна (375036, г. Ереван, ул. Братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.
 Автореферат разослан 10-го февраля 2010 г.
 Ученый секретарь спец. совета, д.ф.м.н. *Յ.Մարտիրոսյան* Э.Д. Газарян

Актуальность темы

Исследование хаотической динамики нелинейных систем, каковыми являются многие физические системы, является существенным для выявления их глубинных свойств. Появление и стремительное развитие вычислительной техники имеет решающее влияние на эти исследования, не только благодаря возросшим возможностям проведения сложных вычислений и численных экспериментов, но и благодаря новым возможностям визуализации, как процесса анализа, так и результатов.

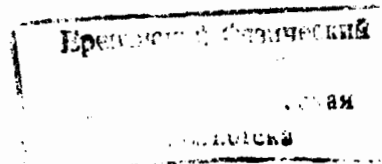
Астрофизические системы составляют важную часть этих исследований, более того, они были среди первых систем, для которых хаотические свойства были выявлены явным образом. Так, разные проявления хаоса были выявлены для астрофизических N-частичных гравитирующих систем - от планетарных систем до звездных скоплений и галактик разных морфологических классов, а также для определенных космологических моделей в релятивистской космологии.

В данной работе изучены две проблемы. Первая проблема включает хаотические свойства определенной гравитирующей N-частичной системы, а именно, типа ядро-гало, т.е. сферической системы с плотным ядром, что характерно для шаровых звездных скоплений и галактических ядер.

Вторая проблема посвящена анализу статистических свойств и аномалий в сигналах космического микроволнового реликтового излучения, что является ключевым источником информации о ранней вселенной. При этом применялись геометрические методы теории динамических систем и метод параметра стохастичности Колмогорова.

Цель диссертационной работы

- Исследование хаотических свойств гравитирующих систем типа ядро-гало.
- Изучение статистических свойств температурных карт космического микроволнового реликтового излучения.
- Анализ пятен анизотропии реликтового излучения на основе параметра стохастичности Колмогорова.
- Исследование крупномасштабной симметрии карт реликтового излучения с использованием параметра стохастичности.



Научная новизна

- Изучена относительная неустойчивость (хаотичность) N-частичных гравитирующих систем и получена зависимость неустойчивости систем типа ядро-гало от параметров системы и ядра.
- Анализирована стохастичность карт космического реликтового излучения.
- Выявлено поведение степени стохастичности сигнала реликтового излучения на не-гауссовских аномалиях карт.
- Для пятилетних данных спутника Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) показано, что степень стохастичности коррелирует с крупномасштабной зеркальной симметрией температурной анизотропии.

Практическая ценность работы

Методы и алгоритмы, разработанные для исследования стохастичности температурных карт космического реликтового излучения, могут быть применены для анализа результатов предстоящих более точных экспериментов, включая спутник PLANCK Mission.

Научные положения, выносимые на защиту

- Действие критерия относительной хаотичности Риччи для изучения гравитирующих систем типа ядро-гало.
- Анализ степени стохастичности карт космического реликтового излучения.
- Свойства и информативность параметра Колмогорова, как для космологического сигнала реликтового излучения, так и не-космологических сигналов.
- Степень стохастичности реликтового излучения и эффект Сакса-Вольфа на малых мультиполях.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференциях М.Гроссмана XI (2006, Берлин), по релятивистской астрофизике (Рим, Пескара, 2007, Лече, 2008), Нор-Амберде (2009), на семинарах Калифорнийского технологического института (2009), Ереванского физического института и Ереванского госуниверситета.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 146 наименований. Общий объем работы составляет 104 страницы печатного текста и включает 30 рисунков и 6 таблиц.

Содержание работы

В первой главе изучаются хаотические свойства N-частичных гравитирующих систем на примере конфигурации типа ядро-гало. Системы с плотным ядром являются характерными для шаровых звездных скоплений и галактических ядер. Понимание статистических, в том числе и хаотических свойств, важно для определения эволюции, релаксации звездных систем. Для описания неустойчивости системы используется геометрический критерий относительной неустойчивости, который основан на вычислении кривизны Риччи в 3N-мерном римановом многообразии с метрикой

$$ds^2 = g_{ik} dq^i dq^k,$$

$$g_{ik} = W(q^i) \delta_{ik}, \quad g^{ik} = \frac{1}{W(q^i)} \delta^{ik},$$

где

$$W(q^i) = E - V(q^i).$$

При этом геодезические линии соответствуют траекториям гамильтоновой системы, в соответствии с принципом Мопертюи и параметризацией аффинного параметра

$$ds = \sqrt{2} W dt.$$

Сферические системы с плотным ядром изучались в зависимости от исходных параметров, таких как число звезд в системе, полная энергия

системы, а также размер и масса ядра:

$$k_r = \frac{R_{core}}{R_{sys}},$$

$$k_m = \frac{N_{core}}{N_{sys}},$$

$$e = \frac{E_{total}}{E_p},$$

где E_p — потенциальная энергия, R_{core} и R_{sys} — радиусы ядра и системы, N_{core} и N_{sys} — число частиц в ядре и во всей системе, соответственно.

По результатам вычислений кривизны Риччи и использования соответствующего критерия для ее отрицательного и относительного значения, сравнивались системы с одинаковыми N и энергией, но с разными k_r и k_m . Отсюда, в частности, было выявлено, что ядро может, как увеличивать, так и уменьшать степень неустойчивости системы. Соответствующее поведение было изучено и с помощью критического радиуса k_{cr} ядра и в зависимости от полной энергии.

Таким образом, результаты исследований неустойчивости систем с ядром оказались отличными от изученного другими авторами случая систем с центральной точечной массой, когда степень неустойчивости всегда увеличивается пропорционально массе центра.

Во второй главе исследовались статистические свойства измеряемого сигнала космического микроволнового реликтового излучения, который содержит как космологическую информацию, так и наложенные шумы разной природы.

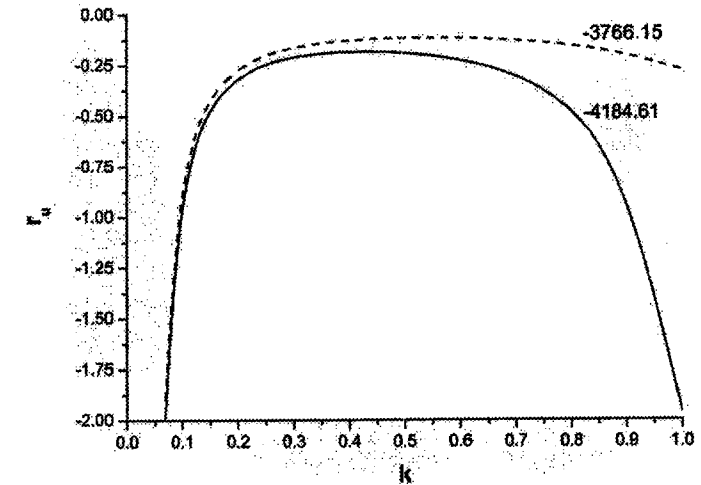


Рис. 1. Зависимость кривизны Риччи гравитирующей системы от относительного радиуса ядра k_r для двух значений полной энергии и $N = 1000$, $k_m = 0.25$.

При этом реликтовое излучение рассматривается как суперпозиция сигналов разной статистики, а именно, несущих как стохастическую, так и регулярную информацию. Информация разной степени стохастичности может отражать особенности неоднородностей крупномасштабного распределения вещества во вселенной. В частности, области с меньшей относительной плотностью, так называемые полости (voids), действуя как рассеивающие линзы, могут внести стохастичность в температурном распределении данной области на карте реликтового излучения.

Параметр стохастичности Колмогорова был использован для изучения степени стохастичности температурных данных реликтового излучения полученных спутником WMAP. Функция распределения параметра λ_n , которая сама является случайным числом:

$$\Phi_n(\lambda) = P\{\lambda_n \leq \lambda\},$$

при $n \rightarrow \infty$ стремится к распределению Колмогорова

$$\Phi(\lambda) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2\lambda^2}, \quad \text{для } \lambda > 0,$$

и

$$\Phi(0) = 0.$$

Массив данных в соответствующем представлении (HEALPix) позволил вычислить параметр Колмогорова для конкретных подмножеств с последующим определением его среднего значения по заданным областям неба. В результате, с использованием теоремы Колмогорова получена карта распределения степени стохастичности температуры реликтового неба.

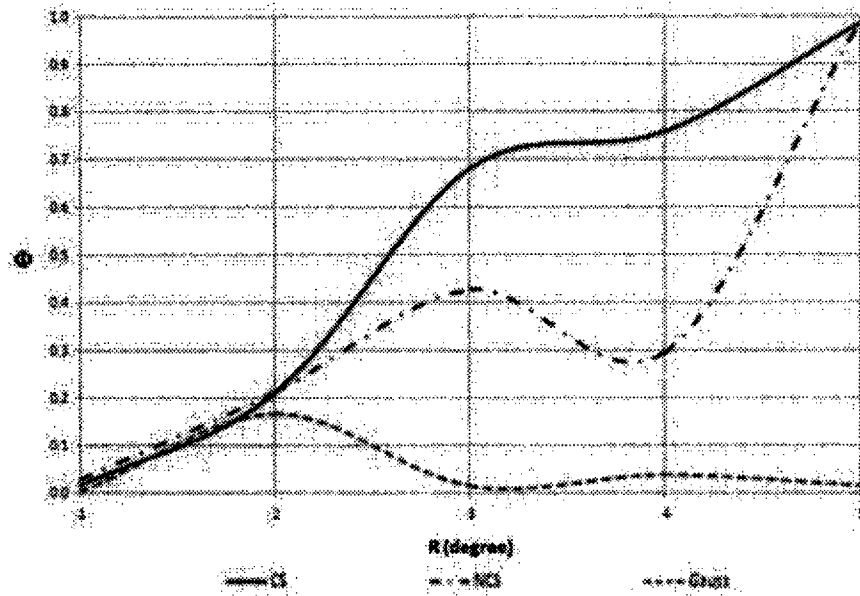


Рис. 2. Зависимость степени стохастичности Φ от радиуса холодного пятна (CS) и северного холодного пятна (NCS). Показано также среднее Φ для двадцати пятен гауссовских карт с наложенным шумом спутника WMAP.

На полученных картах, которые имеют меньшее угловое разрешение по сравнению с температурными картами, параметр Колмогорова однозначно выделяет область диска Галактики, тем самым отделяя не-космологический сигнал от космологического.

Колмогоровские карты также позволяют различать и другие структуры, такие как область с аномальным отклонением параметров от гауссовского распределения в южном галактическом полушарии - так называемое Холодное пятно. Показано, что степень стохастичности в области Холодного пятна выше, чем ее среднее значение по небу, а поведение параметра Колмогорова соответствует полости в распределении вещества.

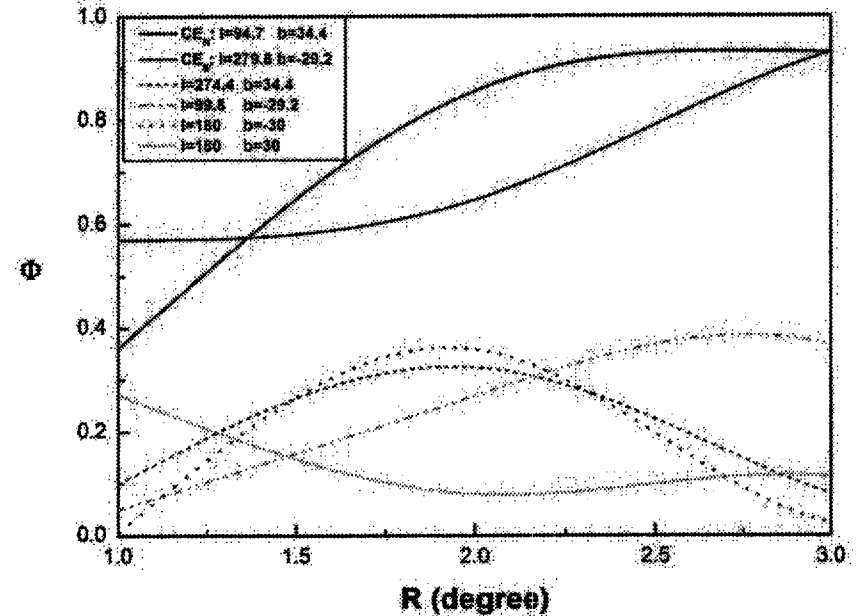


Рис. 3 – Поведение функции Φ для зеркальных и 4 других областей.

В третьей главе параметр стохастичности Колмогорова использован для изучения симметричных свойств анизотропных пятен, т.е. связанных множеств пикселей с температурой равной или превышающей данный порог (ниже, для отрицательных температур) на картах реликтового излучения. Хотя реликтовые карты характеризуются гауссовским распределением параметров, выявление не-гауссовских сигналов является целью многих исследований, так как такие аномалии могут отражать важные особенности процессов происходивших до, после или в эпоху рекомбинации в ранней вселенной.

Крупномасштабная зеркальная симметрия, как свойство эффекта Сакса-Вольфа, т.е. зависимости анизотропии температуры от мультиполя l

$$\frac{\Delta T_l(\hat{n})}{T} = \sum_{m=-l}^l a_{lm} Y_{lm}(\hat{n}) = \left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{\text{mirr}} + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)_{\text{non-mirr}},$$

является одним из предсказаний, которое может быть связано как с топологическими свойствами вселенной, так и особенностями спектра начальных возмущений плотности.

Были анализированы данные полученные за 5 лет работы (т.е. наиболее полные) спутника WMAP и были получены распределения функции Колмогорова для областей, которые как было показано ранее, проявляют симметрические свойства температурной анизотропии. Найденное распределение может быть результатом сочетания топологии и параметров возмущений плотности, отраженных в эффекте Сакса-Вольфа. Независимо от природы, полученный результат указывает на эффективность параметра Колмогорова для выявления разных сигналов по их статистическим свойствам.

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе следующие:

- Изучена относительная неустойчивость (хаотичность) N -частичных гравитирующих систем: для конфигураций типа ядро-гало показано существование критического радиуса ядра, соответствующего наибольшей устойчивости по критерию кривизны Риччи. Для больших и меньших радиусов ядра система переходит в более неустойчивое состояние. Также выявлена роль массы ядра для

неустойчивости, показывая эффективность использования геометрических методов для изучения динамического хаоса в многомерных нелинейных системах [1,2].

- Статистические свойства космического реликтового излучения изучены с использованием параметра стохастичности Колмогорова. Полученные карты распределения степени стохастичности температуры реликтового излучения позволяют выделить космологического сигнал от излучения диска Галактики, а также указывают на аномальность не-гауссовской области - Холодного пятна. Давая возможность для различения сигналов - космологических и не космологических, карты степени стохастичности своей информативностью дополняют температурные и поляризационные карты реликтового излучения [3].
- Исследована зеркальная симметрия температурных карт реликтового излучения полученных за 5 лет работы спутника Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Найдена зависимость симметрии от мультиполей, что соответствует предсказаниям эффекта Сакса-Вольфа для случая компактной плоской топологии и определенных свойств начальных возмущений плотности, и может также являться результатом неизвестного наложения межпланетного и Галактического излучений [4].
- Зеркальная симметрия также исследована по методу параметра стохастичности Колмогорова. Распределение степени стохастичности вызвано соответствующими аномалиями в свойствах температурной анизотропии. Повышенная стохастичность в направлениях центров симметрии указывает, либо на анизотропию самого эффекта стохастизации, либо на разную глубину его действия в этих направлениях [5].

Список работ опубликованных по теме диссертации:

1. Ghahramanyan T., Gurzadyan V.G., *Chaos in core-halo gravitating systems*, in: *Proceedings XI M.Grossmann meeting on General Relativity* (Eds.H.Kleinert, R.Jantzen, R.Ruffini), vol.C, p.2081, World Sci, 2008.
2. Ghahramanyan T., *The Role of Core in the Instability of Spherical Gravitating Systems*, *Nuovo Cimento*, **B122** (2007) 589.
3. Gurzadyan V.G., Allahverdyan A.E., Ghahramanyan T., Kashin A.L., Khachatryan H.G., Kocharyan A.A., Kuloghlian H., Mirzoyan S., Poghosian E., Yegorian G., *Kolmogorov cosmic microwave background sky*, *Astronomy & Astrophysics*, **497** (2009) 343.
4. Gurzadyan V.G., Starobinsky A. A., Ghahramanyan T., Kashin A.L., Khachatryan H., Kuloghlian H., Vetrugno D., Yegorian G., *Large Scale Plane-Mirroring in the Cosmic Microwave Background WMAP5 Maps*, *Astronomy & Astrophysics*, **490** (2008) 929.
5. Gurzadyan V.G., Ghahramanyan T., Kashin A.L., Khachatryan H.G., Kocharyan A.A., Kuloghlian H., Vetrugno D., Yegorian G., *Plane-mirroring anomaly in the cosmic microwave background maps*, *Astronomy & Astrophysics*, **498** (2009) L1.

Անփոփում

Ուսումնասիրված են իրա միջուկով N-մասնիկանի գրավիտացիոն համակարգերի քառասյին, անկայունության հատկությունները՝ կախված համակարգի երկրաչափական և ֆիզիկական պարամետրերից և օգտագործելով Բիչիի կորության չափանիշը: Ուսումնասիրված են տիեզերական մնացորդային ճառագայթման վիճակագրական հատկությունները, որպես միախումբ առանձին ազդանշանների: Ստացված է մնացորդային ճառագայթման ստոխաստիկության աստիճանի բաշխման քարտեզը ըստ Կոլմոգորովի ստոխաստիկական պարամետրի՝ օգտագործելով Wilkinson Microwave Anisotropy Probe արբանյակի կողմից հինգ տարվա ընթացքում ստացված տվյալները: Ի հայտ է բերված Մաքս-Վոլֆի երևույթի ազդեցությունը ջերմաստիճանային քարտեզների հայելային համաչափ հատկությունների վրա փոքր մուլտիպոլների դեպքում՝ ելնելով մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանի բաշխման վիճակագրական հատկություններից:

