А 01.04.02
П- 436

Ա.Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ

Պողոսյան Էմիլ Էդուարդի

ՏԻԵԶԵՐՔՈՒՄ ՆՅՈՒԹԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ՄՆԱՑՈՐԴԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2011

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ им А.И. АЛИХАНЯНА

Погосян Эмиль Эдуардович

О НЕОДНОРОДНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЩЕСТВА ВО ВСЕЛЕННОЙ И КОСМИЧЕСКОМ РЕЛИКТОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Автореферат

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

ЕРЕВАН-2011

© National Library of Armenia OCR by Portmind

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայում:

Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Վ.Գ. Գուրզադյան (ԱԳԼ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ն. Ս. Անանիկյան (ԱԳԼ)
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու Ա. Ն. Իոաննիսյան (ԱԳԼ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ Տեսական և փորձարարական ֆիզիկայի ինստիտուտ, Մոսկվա

Պաշտպանությունը կայանալու է 2011թ. հուլիսի 8-ին ժամը 16.00-ին Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայում գործող ԲՈՀ-ի 024 մասնագիտակ խորհրդի նիստում (375036, Երևան Ալիխանյան եղբայրներ փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2011թ. հունիսի 8-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Է.Դ. Գազազյան

Тема диссертации утверждена в Национальной научной лаборатории имени А.И. Алиханяна.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Гурзадян В.Г. (ННЛ)

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

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

Защита диссертации состоится 8-го июля 2011 года в 16.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024, действующего при Национальной научной лаборатории им. А.И. Алиханяна (375036, г. Ереван, ул. Братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛ.

Автореферат разослан 8-го июня 2011 г.

Ученый секретарь спец. совета, д.ф.м.н. Э.Д. Газазян

3777-2011

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Развитие современной космологии во многом происходило благодаря информации полученной через космическое реликтовое излучение, со времени его открытия до специализированных космических аппаратов Cosmic Background Explorer, Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) и Planck. Эти эксперименты привели к получению данных, которые наряду с другими наблюдениями, привели к нынешней стадии 'точной' (precision) космологии. Важным достижением наблюдательной космологии следует считать факт, что параметры космологической модели с доминированием темной энергии определяемые разными методами, а именно, спектром мощности реликтового излучения, обзорами крупномасштабной структуры и диаграммой хаббла для далеких объектов, космическим нуклеосинтезом, находятся во взаимном согласии, и, следовательно, можно говорить о (concordance) космологической модели.

Связь свойств реликтового излучения с распределением вещества во Вселенной естественное и тесное, так как реликтовое излучение распространяясь от эпохи последнего рассеяния до наблюдателя несет информацию о крупномасштабной структуре Вселенной, что описывается интегральным эффектом Сакса-Вольфа, а также содержит информацию о структурах меньшего масштаба - скоплениях галактик, вследствие рассеивания реликтовых фотонов на горячих электронах - эффект Сюняева-Зельдовича. Продолжающиеся и предстоящие наблюдения, естественно, увеличат эффективность исследований взаимосвязи свойств реликтового излучения и распределения вещества. Данная работа посвящена исследованию двух проблем, а именно, выявлению в данных реликтового излучения возможных признаков наличия пустот в неоднородном распределении вещества и обнаружение точечных источников - галактик, квазаров, на картах реликтового излучения. Мы используем технику развитую изначально Колмогоровым, а недавно и Арнольдом, которая позволяет оценить степень стохастичности заданных последовательностей. Эта техника тесно связана с нелинейной динамикой и методами динамических систем, широко применяемых в различных физических проблемах.

Цель диссертационной работы

- Исследование взаимосвязи свойств реликтового излучения и неоднородносыей распределения вещества с использованием статистических

© National Library of Armenia

свойств сигналов.

- Анализ поведения параметра стохастичности при моделировании систем разных классов.
- Полости в распределении вещества и их признаки на картах реликтового излучения.
- Выявление точечных источников по поведению стохастического параметра.

Научная новизна

- Поведение параметра стохастичности при моделировании систем с случайными и регулярными свойствами.
- Гиперболичность полостей и ее проявление на картах реликтового излучения.
- Точечные источники и степень стохастичности реликтового излучения.

Практическая ценность работы

Методы разработанные для исследования карт космического реликтового излучения, могут быть применены для анализа как более точных данных по реликту, так и других астрофизических массивов данных, где необходимо отделение сигналов от шума.

Научные положения, выносимые на защиту

- Моделирование систем с стохастическими и регулярными компонентами методом Колмогорова.
- Вычисление распределения Колмогорова для данных реликтового излучения полученных WMAP.
- Анализ карт и выявление соответствующих областей и сравнение с признаками наличие пустот в неоднородном распределение вещества.
- Выявление признаков точечных источников и сравнение с данными о распределения известных источников.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференциях М.Гроссмана по гравитации (2009, Париж), Нор-Амберде (2009), международной школе по космологии (Триест, 2010), на семинарах Калифорнийского технологического института, института астрофизики (Париж), Женевской обсерватории, Национальной лаборатории им.Алиханяна и Ереванского

госуниверситета.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 134 наименований. Общий объем работы составляет 101 страницы печатного текста и включает 38 рисунков и 6 таблиц.

Содержание работы

В первой главе описан метод Колмогорова, определяется стохастический параметр для конечной случайной последовательности реальных чисел

$$\lambda_n = \sqrt{n} \cdot sup|F(X) - F_n(X)|,$$

где $F(X)$ и $F_n(X)$ теоретические и эмпирические функции распределения, соответственно, и

$$F_n(X) = \begin{cases} 0, & X < x_1 \\ \frac{k}{n}, & x_k \le X < x_{k+1} \quad k = 1,2,\dots n-1 \\ 1, & X > x_n \end{cases}$$

Согласно теореме Колмогорова распределение вероятности з начений λ_n

$\Phi_n(\Lambda)$ в пределе $n \to \infty$ и $\lambda_n \le \Lambda$

определяется формулой

$$\Phi(\Lambda) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k e^{-2k^2\Lambda^2} \qquad -\infty < k < +\infty, \qquad \Phi(0) = 0.$$

© National Library of Armenia

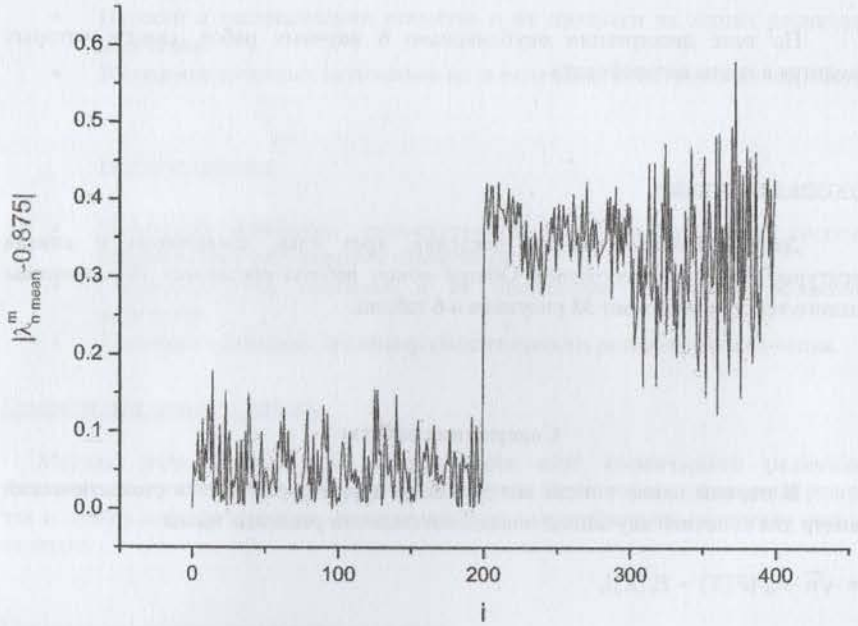

Рис.1. Поведение $|\lambda_n^m(mean)$ - 0.875029|.

Исследованы генерированные случайные и регулярные последовательности данной длины определяющие параметр λ и функцию Ф. Системы включали последовательности как с гауссовским так и с возмущённым гауссовским распределением $F(X)$ (рис.1), которые особенно интересны при последующем исследовании свойств реликтового излучения.

Анализ проведён для наборов сигналов посредством разбиения их на подмножества и определения среднего значения параметра стохастичности.

Особенности поведения параметра стохатичности найдены в зависимости от свойств регулярных и случайных последовательностей, определены соответствующие критерии.

В определенных случаях характерные особенности выявляются разным поведением λ_n, в других, отличия проявляются при большем числе разбиений. В итоге, критерии поведения стохастического параметра выявлены для этих систем, либо качественные или количественные.

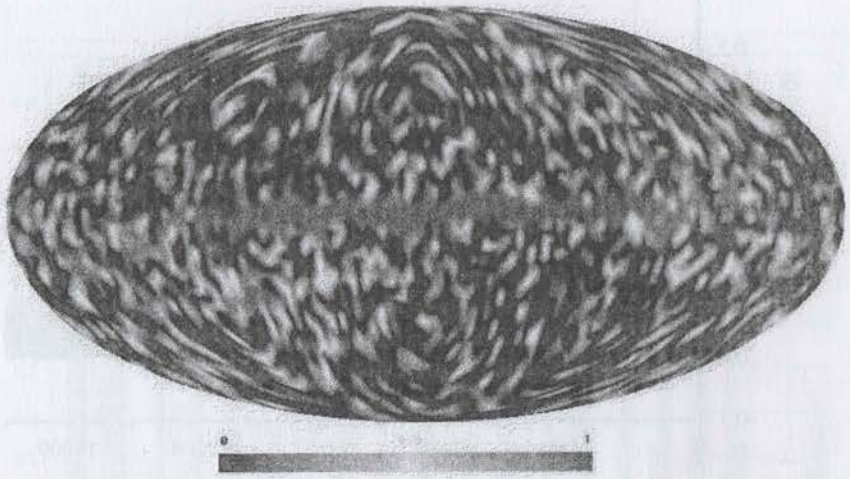

Рис.2. Распределение функции Ф вычисленное для температурных данных реликтового излучения полученных Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.

Во второй главе исследованы статистические свойства последовательностей, которые имеют случайные и регулярные компоненты и заданы в виде

$$z_n = \alpha x_n + (1-\alpha)y_n$$

где параметр α определяет долю случайной и регулярной компонент и меняется от

© National Library of Armenia

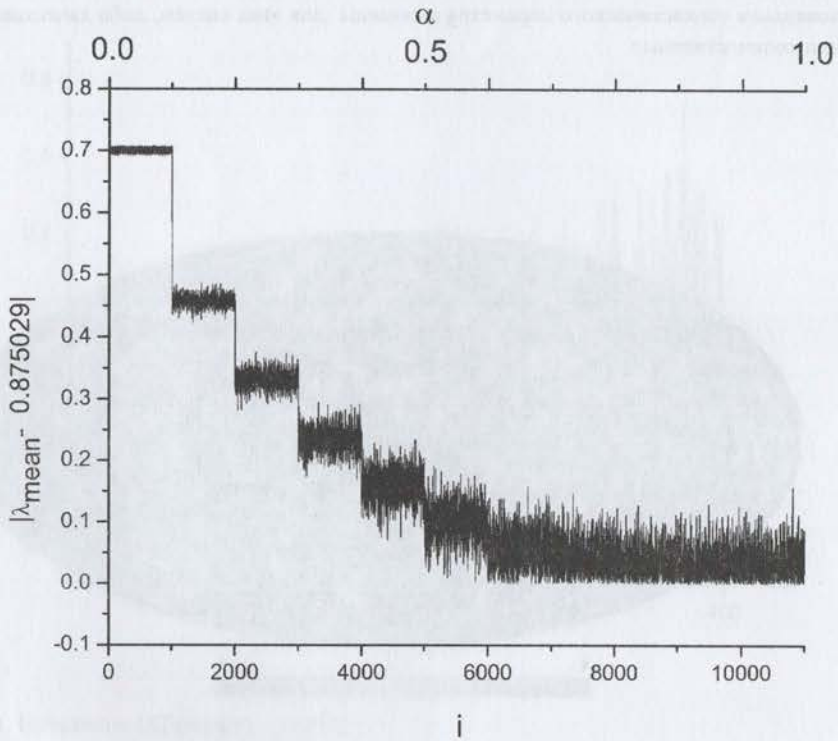

Рис.3. Нормированная λ_n^m в зависимости от α.

1 до 0, в пределе определяет случайную x_n, и регулярную y_n последовательности, последнее задано в виде y_n = 107i mod 513 (рис.3). Значение этого определения состоит в возможности разделения рассмотренных классов сигналов с различной степенью хаотичности единственным параметром.

Пользуясь данными полученными при 7-летних наблюдениях WMAP в представлении HEALPix, были получены карты распределения функции Колмогорова Ф (рис. 2).

Карты вычислены также для разных частот WMAP, с целю выявления вклада галактического излучения. Факт выделения галактического диска в полученном распределении функции Ф указывает на эффективность метода разделения сигналов и определил стратегию нашего дальнейшего исследования.

Анализ параметра Колмогорова для реальных температурных карт реликта WMAP, был проведен также для отдельных участков карты распределения Ф.

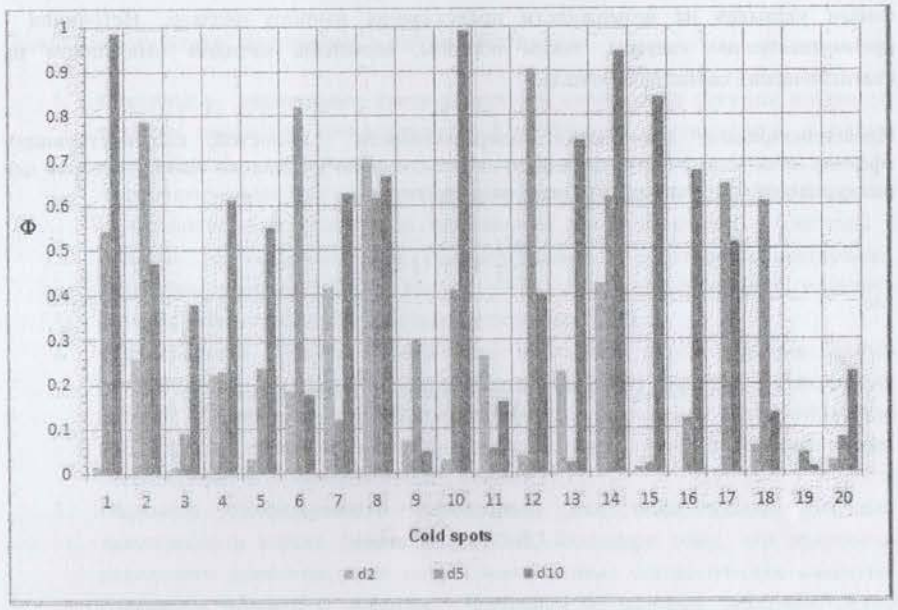

Рис.4. Распределение степени случайности для 20 холодных пятен и радиусов 2°, 5° и 10°, соответственно.

В третей главе изучены возможные проявления точечных источников и неоднородностей вещества на картах реликтового излучения. Техника параметра Колмогорова применена для выявления точечные источники в картах реликта. Идея

© National Library of Armenia

состоит в том, что сигналы источников излучений различного происхождения могут иметь различные статистическое свойства определяемые распределением Колмогорова. Численные эксперименты для систем с заданными статистическими свойствами, описанные в первых двух главах показали, что параметр стохастичности, действительно, может быт применен для этих целей.

При доступном угловом разрешении WMAP метод выявил 12 областей, которые, оказались радио галактиками, а также гамма источниками обнаруженные спутником Fermi; некоторые из источников выявленных нашим методом отсутствовали в первом каталоге Fermi, однако они появились в его следующем, более полном каталоге, тем самым указывая на возможности предсказания данного подхода. Источники - преимущественно квазары, таким образом, выявлены методом основанном на статистических свойствах сигнала.

Проанализированы проявления гиперболичности полостей, соответствующих эффекту отклонения близких геодезических согласно уравнению Якоби, которая для возмущённой метрики Робертсона-Уокера имеет вид

$$\frac{d^2 l}{d\lambda^2} + r \cdot l = 0$$

где

$$\lambda(z, \Omega_m, \Omega_\Lambda) = \int_0^z \frac{d\xi}{\sqrt{\Omega_\Lambda + [1 - \Omega_\Lambda + \Omega_m \xi]\,(1+\xi)^2}}$$

и

$$r = -\Omega_k + 2\delta_0 \Omega_m;$$

если $\delta_0 = 0$ то $r = -\Omega_k$,

то в неоднородной Вселенной, если $\delta_0 \geq -1$,

$$r \geq -\Omega_k - 2\Omega_m,$$

для областей с малым значением плотности вещества (относительно средней плотности) $\delta_0 \leq 0$.

Высокая степень хаотичности была найдена для 20 областей как южного так и северного полушария с отрицательных температурной и выявленным поведением

функции Ф. Области показывают свойства слоистости, которые согласуются с ожидаемыми с поведением геодезических для полостей. Моделированные гауссовские карты, с шумом и без шума WMAP, как показано, обладают разным поведением и более низкой степенью хаотичности, чем реальные карты.

Карты Ф, как показано, отражают важные свойства космологических и некосмологических сигналов, и, таким образом, могут открыть новые возможности для отделения сигналов от шума и изучения карт реликта.

Заключение

Основные результаты, полученные в работе следующие:

1. Системы с различными статистическими свойствами изучены используя технику параметра стохастичности Колмогорова и статистики, с целью дальнейшего применения этого подхода к астрофизическим и космологическим сигналам. Среди изученных систем - определенные гауссовским и возмущённым гауссовским распределением, и системы с данным соотношением α стохастических и регулярных компонент. Выявлены критерии, когда параметр стохастичности позволяет отделить сигналы, как качественно, так и количественно [3,4].
2. Распределение функции Колмогорова Ф по небу определено для данных космического реликтового фона полученных при 7-летних наблюдениях WMAP. Постоянство относительно областей разбиения неба позволило соотнести определенную степень стохастичности фону по галактическим полушариям: 0.53, северный; 0.61, южный [1,2].
3. Параметр стохастичности использован для обнаружения точечных источников в картах реликтового фона, благодаря тому, что излучения различного происхождения могут иметь разные статистическое свойства. Выявлены области с высоким значением Ф, которые оказались радио галактиками, а также источниками гамма излучения зарегистрированные спутником Fermi. Некоторые из областей, предсказанные Ф–индикатором, отсутствовали в начальном каталоге Fermi 0FGL, однако они вошли следующий, 1FGL каталог, что указывает на предсказательную силу метода. Эффективность метода увеличится при наличии карт с более высоких угловым разрешением ожидаемых от предстоящих экспериментов [5,6].
4. Гиперболические свойства областей с низким значением плотности вещества - полостей в крупномасштабном распределении вещества, изучены вычисляя степень стохастичности на картах. Повышенная степень

© National Library of Armenia

стохастичности была найдена для ряда областей как в южном, так и в северном полушариях, которые также проявляют свойства слоистости параметра стохастичности, которые согласуются с ожидаемыми для полостей. [1].

Публикации по теме данной работы:

1. 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.
2. Gurzadyan V.G., Kashin A.L., Khachatryan H.G., Kocharyan A.A., Poghosian E., Vetrugno D., Yegorian G., The power spectrum of the cosmic microwave background Kolmogorov maps: possible clue to correlation of voids, Astronomy & Astrophysics, 506 (2009) L37.
3. Ghahramanyan T., Mirzoyan S., Poghosian E., Yegorian G., Probing the statistic in the cosmic microwave background, Mod.Phys.Lett. A 24 (2009) 1187.
4. Mirzoyan S., Poghosian E., Exploring the cosmic microwave background as a composition of signals with Kolmogorov analysis, Mod.Phys.Lett. A 24 (2009) 3091.
5. Gurzadyan V.G., Kashin A.L., Khachatryan H.G., Kocharyan A.A., Poghosian E., Vetrugno D., Yegorian G., Kolmogorov analysis detecting radio and Fermi gamma-ray sources in cosmic microwave background maps, Europhys. Lett. 91 (2010) 19001.
6. Poghosian E., Studying the stochasticity in cosmic microwave background radiation, in: Proceed. MG XII meeting on General Relativity, vol.B., p.1245, World Sci., 2011.

Ամփոփագիր

Ուսումնասիրվում են տիեզերքում նյութի բաշխման և տիեզերական մնացորդային ճառագայթման որոշ հատկություններ՝ հիմնվելով մնացորդային ճառագայթման վիճակագրական հատկանիշների վրա:

Նկարագրվում է Կոլմոգորովի մեթոդը, վերջավոր իրական թվային հաջորդականությունների համար սահմանվում է ստոխաստիկության պարամետրը: Հետազոտվել են տրված երկարության պատահական և ոչ պատահական գեներացված հաջորդականություններ, որոնց համար որոշվել է λ պարամետրը և Φ ֆունկցիան : Թվային համակարգերը ներառում են զուտայան և խոտորված զուտայան բաշխումներ, որոնք հատկապես կարևոր են մնացորդային ճառագայթման հատկությունների հետագա ուսումնասիրման համար: Ստացվել են ստոխաստիկության պարամետրի վարքի առանձնահատկություններ՝ պատահական և ոչ պատահական հաջորդականությունների համար, հաշվարկների արդյունքում ստացվել են քանակական և որակական չափանիշներ:

Հետազոտվել են պատահական և ոչ պատահական բաղադրիչներ ունեցող հաջորդականությունների վիճակագրական հատկությունները: Ընտրված համակարգերը նկարագրվում են մեկ պարամետրով, որ արտահայտում է ստոխաստիկական և կանոնավոր կոմպոնենտների հարաբերական ներդրումը:

Արտածվել են ստոխաստիկության հատկանիշները՝ այդ պարամետրից կախված: Հիմնվելով մոդելավորման այդ արդյունքների վրա, նշված տեխնիկան կիրառվել է իրական դիտողական տվյալների համար: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe արբանյակի 7-ամյա տվյալների հիման վրա ստացվել է Φ ֆունկցիայի բաշխման քարտեզը HEALPix պատկերացմամբ: Այս մեթոդով առանձնացվել է գալակտիկայի՝ ոչ կոսմոլոգիական ճառագայթման ներդրումը: Սա ցույց է տալիս մեթոդի էֆեկտիվությունը ազդանշանների իրարից առանձնացման համար: Գալակտիկական կիսագնդերի համար ստացվել է մնացորդային ճառագայթման ստոխաստիկության աստիճանի արժեքներ, դրանց ինվարիանտությունը ստուգելով երկնքի տրոհման և միջինացման համապատասխան ալգորիթմներով:

© National Library of Armenia

Ստոխաստիկական պարամետրի տեխնիկան կիրառվել է կետային աղբյուրներ գրանցելու համար: Հայտնաբերվել է 12 կետային աղբյուր՝ ճառագայթման ռադիո և գամմա տիրույթներում, ընդ որում, այդ աղբյուրներից երեքը կանխատեսվել են մինչև Fermi արբանյակի տվյալների ստացումը, որտեղ դրանք ընդրգկված էին: Դա ցույց է տալիս մեթոդի կանխատեսման հնարավորությունը կետային աղբյուրների վերաբերյալ: Հետազոտվել է նյութի մեծամասշտաբ բաշխման մեջ խոռոչների (voids) հիպերբոլական վարքը զեռդեզիականների հոսքի համար: Հայտնաբերվել են 20 բարձր Φ-ով տիրույթներ, որոնք միաժամանակ հանդիսանում են սառը տիրույթներ մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանային քարտեզներում: Ցույց է տրվում, որ այս տիրույթներում Φ պարամետրի վարքը այնպիսին է, ինչպիսին կանխատեսվում էր խոռոչների համար: Դա հաստատում է որոշ հեղինակների վարկածը սառը բծերի նյութի բաշխման ցածր խտության տիրույթներին՝ խոռոչներին համապատասխանելուն:

Այսպիսով ցույց է տրվում ստոխաստիկական պարամետրի միջոցով տիեզերքում նյութի բաշխման լոկալ և մեծամասշտաբ անհամասեռությունների, մնացորդային ճառագայթման տվյալներում կետային աղբյուրների կանխատեսման և հայտնաբերման, ինչպես նաև ազդանշանների անջատման հնարավորությունը:

Abstract

Some properties of the distribution of matter in Universe and of cosmic microwave background radiation are studied based on the statistical properties of the corresponding signals.

Systems of various statistical properties are studied using the technique developed originally by Kolmogorov who has introduced the stochasticity parameter and statistic. The aim of the modeled systems is the further application of this approach to astrophysical and cosmological signals. Among the studied systems are those defined both by Gaussian and perturbed Gaussian distributions and systems with given ratio Φ of the stochastic and regular components. Criteria are revealed when the stochasticity parameter enables to separate the signals, either qualitatively or quantitatively.

The distribution of the Kolmogorov's function Φ over the sky is derived for data on cosmic microwave background obtained at the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe's 7-year observations. Using the data obtained on the temperature maps in their HEALPix representation, we obtained the sky distribution of the Kolmogorov's function Φ. The invariance with respect to the split regions of the sky and the averaging procedures enabled to assign a definite degree of randomness to the Galactic hemispheres: 0.53, northern; 0.61, southern.

We concentrated on the possible signatures of the points sources and matter inhomogeneities in the CMB maps. We applied Kolmogorov's technique to extract point sources in the cosmic microwave background temperature maps. The idea is that the radiation of different origin can have different statistic and this can be revealed by the Kolmogorov's distribution. Numerical experiments for systems with built a priori different statistic described in the first two chapters showed that stochasticity parameter is indeed sensitive to the randomness properties of systems and this enabled their application to the mentioned datasets.

At the available angular resolution of WMAP the method enables to identify a sample of 12 regions which appear to be radio galaxies, as well as gamma sources detected by Fermi satellite. Notably, part of the sources detected by our method were absent in the first catalog of Fermi, and they appeared in its next, more complete catalog thus

© National Library of Armenia

outlining the predictive power of the approach. The sources, mostly quasars are. multi-wavelength and superluminous objects, and the possibility of their identification based on entirely alternative tool, the statistic of the signal, was hence shown.

Then we analyzed the signature of the hyperbolicity of the voids i.e. due to deviation of the close geodesics as described by the Jacobi equation for perturbed Robertson-Walker metric. The enhanced degree of the randomness has been computed for the cold spot and for another similar region in the northern hemisphere, among a sample of 20 negative temperature regions. The regions reveal definite similarities in their stratification which agrees with what is expected for the voids. Simulated Gaussian maps, with and without WMAP's noise, are shown to possess different behaviors and a lower degree of randomness than the real CMB ones.

The Kolmogorov stochastic parameter technique appears to reflect underlying genuine properties for a variety of effects, cosmological and non-cosmological, and thus can open new possibilities in separating signals, in analyzing the information provided by conventional cosmic microwave background maps.

© National Library of Armenia

15.05.2014

© National Library of Armenia

© National Library of Armenia