

Ա.Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ

Սարգսյան Սեդա Նորայրի

ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԻՐ  
ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ՍՏՈՒԳՈՒՄԸ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐՈՎ ԵՎ  
ԿՈԼՄՈԳՈՐՈՎԻ ՎԵՐԼՈՒՄԻԹՅՈՒՆԸ

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

**ՍԵՂՍԱԳԻՐ**

ԵՐԵՎԱՆ-2013

---

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ им А.И. АЛИХАНИЯ

Саргсян Седа Норайровна

ПРОВЕРКА ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ОБОБЩЕНИЙ С  
ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И АНАЛИЗ КОЛМОГорова

**Автореферат**

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

ЕРЕВАН-2013

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

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Վ.Գ. Գուրգադյան (ԱԱԳԼ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Ն.Ս. Անանիկյան (ԱԱԳԼ)

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Ա.Գ. Մեղրակյան (ԱԱԳԼ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Տեսական և փորձարարական  
ֆիզիկայի ինստիտուտ, Մոսկվա

Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. նոյեմբերի 11-ին ժամը 14.00-ին Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայում գործող ԲՈՂ-ի «Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա» 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (375036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրներ 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԱԱԳԼ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2013թ. հոկտեմբերի 11-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար  
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր

*Ի. Դարյան* Դ.Ռ. Կարախանյան

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

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор  
Гурзадян В.Г. (ННЛА)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор  
Апанikian Н.С. (ННЛА)

доктор физико-математических наук, профессор  
профессор

Седракян А. Г. (ННЛА)

Ведущая организация:

Институт теоретической и экспериментальной  
физики, (Москва)

Защита диссертации состоится 11-го ноября, 2013 года в 14.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 “Физика ядра и элементарных частиц”, действующего при ННЛА (375036, г. Ереван, ул. Бр.Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА.

Автореферат разослан 11-го октября 2013 г.

Ученый секретарь спец.совета, д.ф.м.н.

*Ի. Դարյան* Д.Р. Караханян

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Проверка Общей теории относительности (ОТО) с все возрастающей точностью, а также ее обобщений, стало особенно актуальной после получения наблюдательных данных об ускоренном расширении Вселенной и темной энергии. Соответственно, тщательный анализ спутниковых данных по проверке ОТО, а также свойств космического микроволнового реликтового излучения несущего информацию о ранней Вселенной, относятся к приоритетным задачам космологии.

Космологические и астрофизические сигналы, такие как реликтовое излучение, как правило, содержат различные компоненты и их статистические свойства могут быть использованы для отделения компонент друг от друга. Имеются разные методы применяемые для конкретных проблем. Метод, первоначально разработанный Колмогоровом, затем развитый Арнольдом, в данной работе применяется для изучения сигналов имеющих различные степени случайности, а именно, данных по проверке Общей теорией относительности и температурной анизотропии реликтового излучения.

Так, метод применен для анализа данных спутников LAGEOS и LAGEOS 2 по проверке эффекта Лензе-Тирринга (Lense-Thirring), предсказанного Общей теорией относительности. Наряду с этим, в связи с ожидаемыми данными по эффекту Лензе-Тирринга с более высокой точностью с недавно запущенного спутника LARES (LAsER Relativity Satellite), изучаются предсказания теории Черна-Саймонса (Chern-Simons) по этому эффекту.

Методом Колмогорова затем изучены не-гауссовские участки температурных карт космического микроволнового реликтового излучения; данные получены как спутником Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) так и недавно - спутником Planck.

### Цель диссертационной работы

- Изучение сигналов заданных классов с случайными и регулярными компонентами с помощью метода Кологорова.
- Применение метода Колмогорова для анализа данных спутников LAGEOS и LAGEOS 2 по эффекту Лензе-Тирринга.

- Предсказания теории гравитации Черна-Саймонса и их экспериментальная проверка.
- Исследование аномалий в температурных карт космического микроволнового реликтового излучения.

#### Научная новизна

- Показано отличие в свойствах данных двух аналогичных спутников LAGEOS и LAGEOS 2.
- Выявлен эффект Ярковского-Рубинкама для искусственных спутников.
- Получено предсказание для параметра теории гравитации Черна-Саймонса и точности измерений спутником LARES.
- При изучении температурных карт космического микроволнового реликтового излучения выявлены свойства Холодного пятна и других аномальных областей.

#### Практическая ценность работы

Результаты полученные моделированием метода Колмогорова могут найти применение для других динамических систем, в разных физических задачах.

#### Научные положения, выносимые на защиту

- Моделирование метода Колмогорова для определенного класса динамических систем.
- Анализ данных спутников LAGEOS и LAGEOS 2 по методу Колмогорова.
- Выявление эффекта Ярковского-Рубинкама для искусственных спутников.
- Предсказание теории гравитации Черна-Саймонса для спутника LARES.
- Анализ недавних данных спутника Planck по реликтовому излучению.

#### Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференциях по релятивистской астрофизике (Лечче, 2011), по спутнику LARES (Рим, 2012), по конформной космологии (Оксфорд, 2013), на семинарах Калифорнийского технологического института, института астрофизики (Париж), Женевской обсерватории, Национальной лаборатории им.Алиханяна и Ереванского госуниверситета.

#### Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 научных работ (еще одна находится в печати в Physica Scripta), список которых приводится в конце автореферата.

#### Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 121 наименований. Общий объем работы составляет 102 страницы печатного текста, включает 38 рисунков и 3 таблиц.

#### **Содержание работы**

**В первой главе** методом Колмогорова моделируются определенные классы динамических систем, а именно, задаваемые параметром  $\alpha$  отношения случайных и регулярных компонент, т.е. определяемые эмпирической функцией распределения (см. [1,2])

$$F(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 0 \\ \frac{X^2}{2\alpha(1-\alpha)}, & 0 < X \leq \alpha \\ \frac{2\alpha X - \alpha^2}{2\alpha(1-\alpha)}, & \alpha < X \leq \alpha - 1 \\ 1 - \frac{(1-X)^2}{2\alpha(1-\alpha)}, & 1 - \alpha < X \leq 1 \\ 1, & X > 1 \end{cases}$$

Для генерированных последовательностей разных длин, выявлено поведение систем с кумулятивным однородным распределением в зависимости от параметра  $\alpha$ , а также заданных постоянных регулярных компонент (рис. 1).

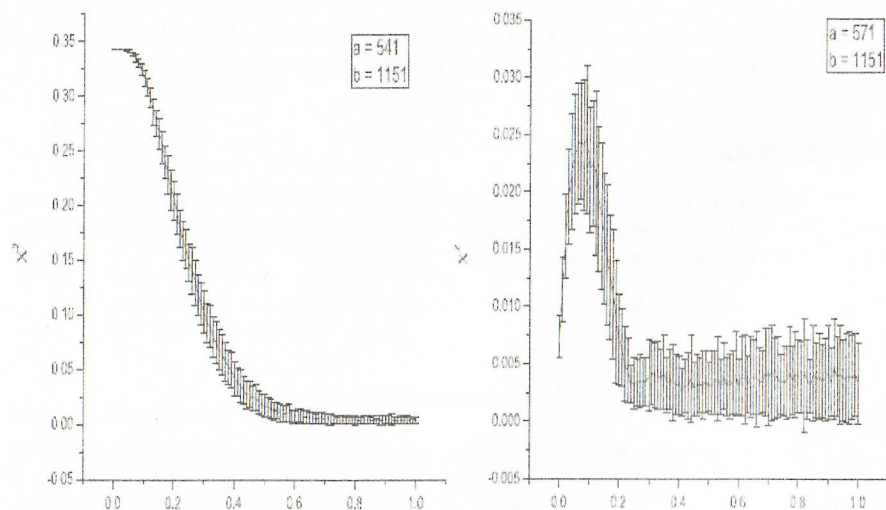


Рис.1. Поведение функции  $\chi^2$  в зависимости от параметра  $\alpha$  для заданных значений постоянных регулярных компонент последовательностей.

Прослежен переход от изначально монотонной функции  $\chi^2$  в функцию с экстремумом для определенного значения  $\alpha$ , а также изучен ряд других свойств. Изучены также сигналы в свете предсказаний метода с увеличением числа регулярных и случайных компонент в соответствии с центральной предельной теоремой.

Таким образом выявлены качественные и количественные критерии поведения функции Колмогорова для изученных классов систем, что дает возможность последующего применения метода для физических данных.

**Во второй главе** метод Колмогорова используется для анализа данных двух спутников LAGEOS и LAGEOS 2, запущенных в 1976 г. и 1992г., соответственно. Этими спутниками изучались предсказания Общей теории относительности - эффекта Лензе-Тирринга.

Прецессия Лензе-Тирринга в Общей теории относительности описывается формулой

$$\dot{\Omega}_{CR} = \frac{2GL}{a^3(1-e^2)^{3/2}}$$

где  $G$  - гравитационная постоянная,  $L$  - угловой момент центрального тела,  $a$  - большая полуось орбиты спутника,  $e$  - ее эксцентриситет.

Изучением разностей предсказанной ОТО для орбит спутников и их реальных данных методом Колмогорова, показана 10-кратное возрастание хаотичности данных спутника LAGEOS относительно LAGEOS 2 (рис.2), что соответствует вкладу эффекта Ярковского-Рубинкама, а именно теплового воздействия излучения Солнца, а также атмосферы Земли.

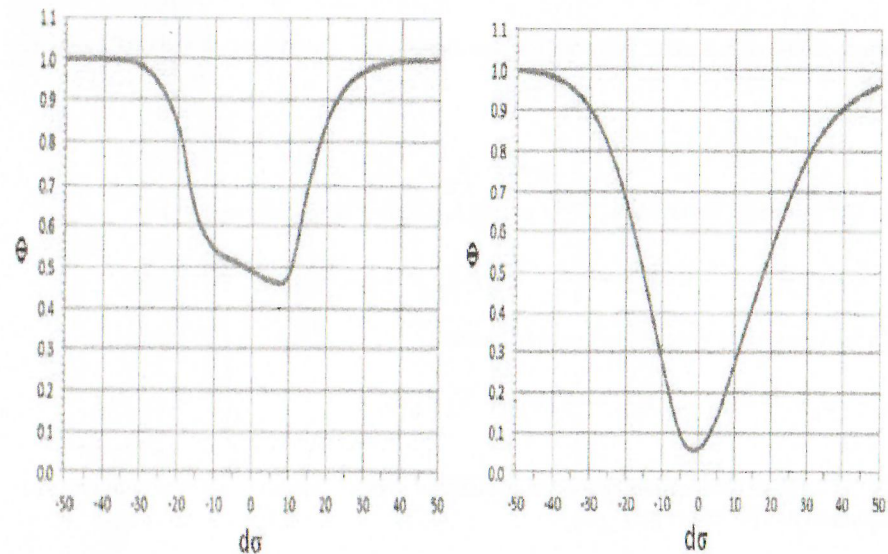


Рис. 2. Поведение функции Колмогорова относительно стандартного смещения Гауссианы для спутников LAGEOS (слева) и LAGEOS 2.

Затем изучаются следствия одной из обобщений Общей теории относительности - теории гравитации Черна-Саймонса. Она задается действием (см. [3,6])

$$S = \frac{1}{16\pi} \int d^4x \sqrt{-g} \times \left[ R + \frac{l}{4} \theta R \bar{R} - \frac{1}{2} (\partial\theta)^2 - V(\theta) + L_{mat} \right],$$

где  $R$  - скалярная кривизна,  $\theta$  - скалярное поле,  $l$  - константа связи,  $R\bar{R}$  - плотность

Понтрягина, которая определяется следующим образом

$$R\bar{R} = R_{\alpha}^{bcd} \bar{R}_{bcd}^{\alpha}.$$

Здесь  $\bar{R}$  - тензор дуальный тензору Римана.

$$\bar{R}_{bcd}^{\alpha} = \frac{1}{2} \epsilon_{efcd} R_b^{aef}.$$

Варьированием действия получаются уравнения для скалярного и гравитационного полей

$$\square\theta = \frac{dV}{d\theta} - \frac{1}{4} l R \bar{R}, \quad G^{ab} + l C^{ab} = 8\pi T^{ab},$$

где  $G^{ab}$  - тензор Эйнштейна,  $C^{ab}$  - тензор Коттона-Йорка (Cotton-York)

$$C^{ab} = v_l (\epsilon^{iacd} \nabla_c R_d^b + \epsilon^{ibcd} \nabla_c R_d^a) + v_{lk} (\bar{R}^{kaib} + \bar{R}^{kbia}),$$

$v_l$  и  $v_{lk}$  скорость и ускорение, соответственно,

$$v_l = \partial_l \theta = \nabla_l \theta, \quad v_{lk} = \nabla_l v_k = \nabla_l \nabla_k \theta.$$

Тогда отношение скорости прецессии Лензе-Тирринга в гравитации Черна-Саймонса и ОТО имеет вид

$$\frac{\dot{\Omega}_{CS}}{\dot{\Omega}_{GR}} = 15 \frac{a^2}{R^2} j_2(m_{CS} R) y_1(m_{CS} a),$$

где  $R$  - радиус Земли,  $m_{CS}$  - параметр теории Черна-Саймонса,  $j_2$  и  $y_1$  сферические функции Бесселя первого и второго порядка (рис. 3). Отсюда получена зависимость параметра  $m_{CS}$  от точности измерения спутника LARES (рис. 4.), цель последнего проверка эффекта Лензе-Тирринга по ОТО с точностью 1% и выше.

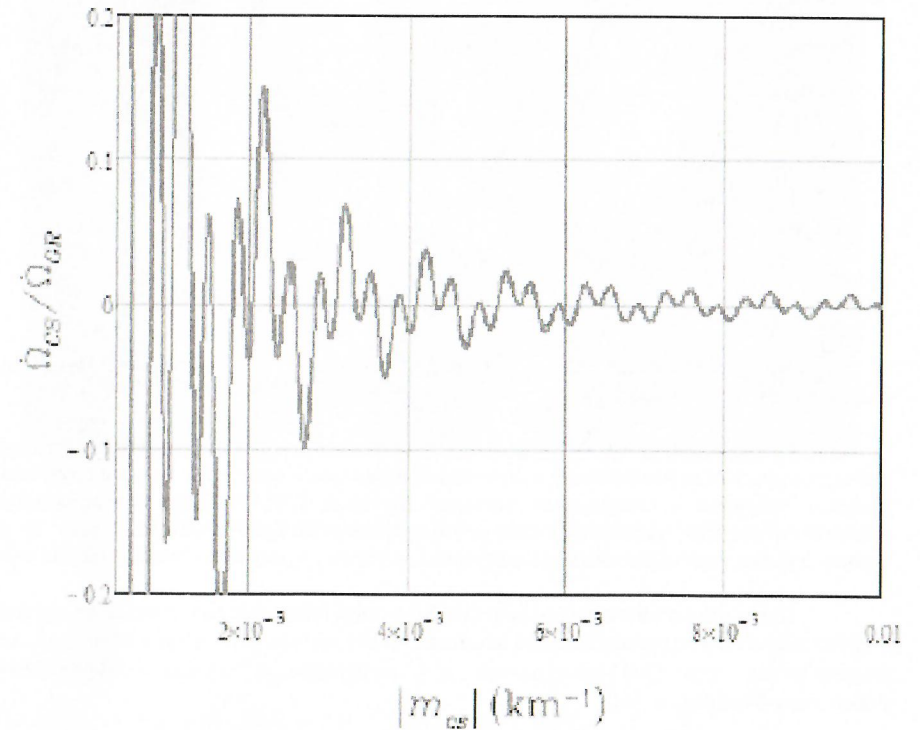


Рис. 3. Зависимость отношения скорости прецессии Лензе-Тирринга в гравитации Черна-Саймонса и Общей теории относительности от параметра  $m_{CS}$ .

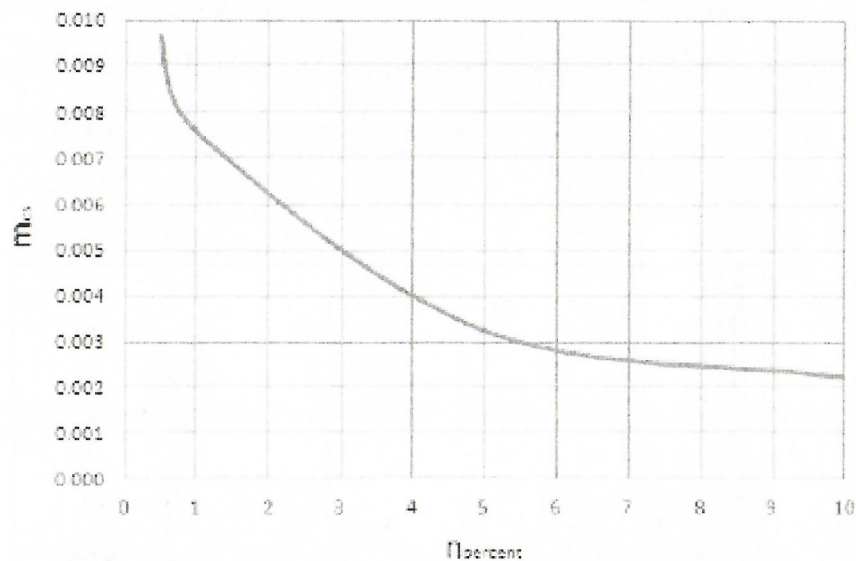


Рис. 4. Зависимость параметра Черна-Саймонса  $m_{CS}$  от ожидаемой точности измерения спутника LARES.

В третьей главе метод Колмогорова используется для изучения температурных карт реликтового излучения. Рассмотрены новейшие данные спутника Planck и сравнены с последними данными спутника WMAP. Были подтверждены свойства по степени стохастичности не-гауссовской Холодной области (рис. 5) в температурных картах реликтового излучения, а также других подобных областей.

Показано соответствие поведения Холодной области к ожидаемым от пустот в крупномасштабном распределении вещества во вселенной, что следует от поведения геодезических для (3+1)-пространств с возмущенной метрикой Фридмана-Робертсона-Уокера (см. [4])

$$ds^2 = -(1 + 2\phi)dt^2 + (1 - 2\phi)a^2(t)\gamma_{mn}(x)dx^m dx^n,$$

где возмущение  $|\phi| \ll 1$ ,

$$\gamma_{mn} = \left( 1 + \frac{k}{4} ([x^1]^2 + [x^2]^2 + [x^3]^2) \right)^{-2}$$

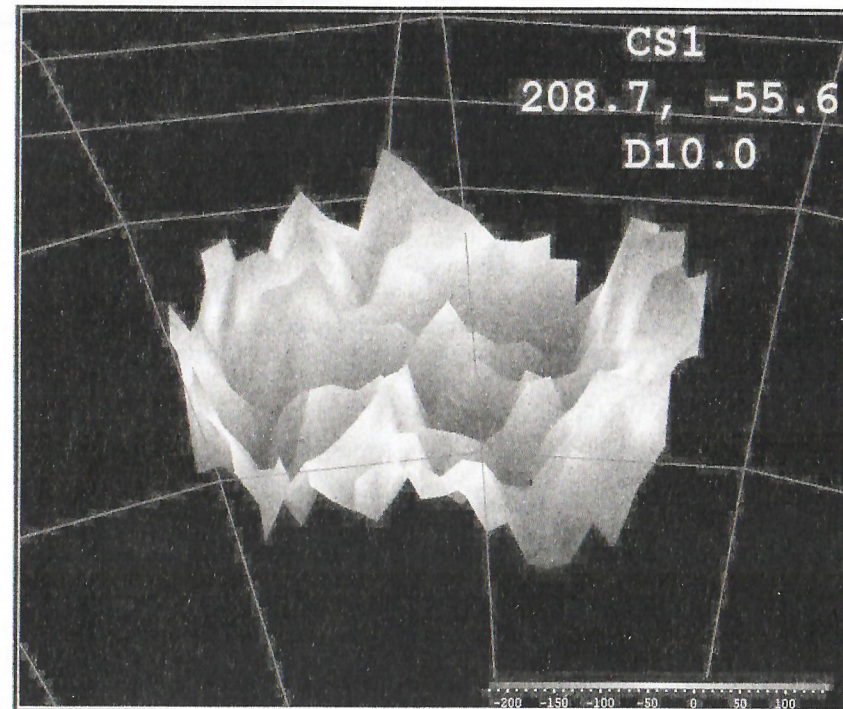


Рис. 5. Поведение температуры реликтового излучения для не-гауссовской области Холодного пятна.

### Заключение

Основные результаты, полученные в работе следующие:

1. Метод Колмогорова применяется для заданных классов динамических систем, определяемых последовательностями с случайными и регулярными компонентами и одним параметром - доли случайных и регулярных компонент. Для генерированных последовательностей проведено разделение сигналов друг от друга, получены соответствующие критерии [1,2].
2. Данные двух спутников LAGEOS и LAGEOS 2 по эффекту Лензе-Тирринга

предсказанного Общей теорией относительности проанализированы методом Колмогорова. Выявлено большая степень хаотичности данных спутника LAGEOS относительно LAGEOS 2, что соответствует эффекту Ярковского-Рубинкама [3,6].

3. Для одной из обобщений Общей теории относительности - теории гравитации Черна-Саймонса получена зависимость параметра этой теории от точности измерения спутника LARES для эффекта Лензе-Тирринга [3,6].
4. Методом Колмогорова исследованы температурные карты реликтового микроволнового излучения полученные как спутником Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, так и недавно - спутником Planck. Показано соответствие свойств Холодного пятна и некоторых других областей со свойствами пустот в распределении материи во вселенной Фридмана-Робертсона-Уокера [4,5].

#### Список работ опубликованных по теме диссертации:

1. Gurzadyan V.G., Ghahramanyan T., Sargsyan S., *Degree of randomness: numerical experiments for astrophysical signals*, Europhys. Lett. **95** (2011) 19001.
2. Sargsyan S., *Probing the correlations in composite signals*, Journ. Phys. **354** (2012) 012018.
3. Gurzadyan V. G., Ciufolini I., Sargsyan S., Yegorian G., Mirzoyan S., Paolozzi A., *Satellite probing General Relativity and its extensions and Kolmogorov analysis*, Europhys.Lett. **102** (2013) 60002.
4. Gurzadyan V.G., Sargsyan S., Yegorian G., *On the time arrows, and randomness in cosmological signals*, Eur. Phys.J. Web Conf. **58** (2013) 02005.
5. Khachatryan H.G., Nurbaeva G., Meylan G., Pfenniger D., Sargsyan S., Yegorian G., *Correlations in cosmological and non-cosmological signals*, in: "Low Dimensional Physics and Gauge Principles", Matinyan Festschrift, p. 174, World Scientific (2013).
6. Sargsyan S. Yegorian G., Mirzoyan S., *On the perturbations on satellites probing General Relativity*, Physica Scripta, in press, 2013.

#### Ամփոփագիր

Կատարված է Կոլմոգորովի մոդելավորում որոշակի դասի դինամիկական համակարգերի և հաջորդականությունների համար: Կոլմոգորովի պարամետրի իմաստալից արժեքների տիրույթում հետազոտված են ազդանշաններ, որոնցում առկա են կանոնավոր և պատահական կոմպոնենտներ: Կոլմոգորովի մեթոդի մշակման արդյունքները հնարավորություն են տալիս այն կիրառել այլ համակարգերի համար և այլ ֆիզիկական խնդիրներում: Ուսումնասիրված են տարբեր երկարություններ ունեցող և տարբեր քանակությունների տարբեր պարունակող մի պարամետրից բաղկացած կանոնավոր և պատահական կոմպոնենտներ ունեցող հաջորդականություններ:

Ազդանշանների հետազոտման համար, օգտվելով կենտրոնական սահմանային թեորեմից, գտնված են մեթոդի քանակական և որակական գնահատականներ:

Կոլմոգորովի մեթոդը կիրառված է Հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը ստուգող LAGEOS (արձակված 1976թ.) և LAGEOS 2 (արձակված 1992թ.) արբանյակների տվյալների մշակման համար: Ցույց է տրված, որ Կոլմոգորովի ստոխաստիկության պարամետրը LAGEOS արբանյակի տվյալների համար մոտ 10 անգամ ավելի մեծ է LAGEOS 2 արբանյակի տվյալներից: Ցույց է տրված Յանկովսկի-Ռուբինկամ ջերմային էֆֆեկտի ազդեցությունը արբանյակների համար:

Մութ էներգիայի և մի շարք այլ աստղագիտական երևույթների ուսումնասիրման համար հետաքրքրություն է ներկայացնում Հարաբերականության ընդհանուր տեսության ընդհանրացում Chern-Simons գրավիտացիայի տեսությունը: Chern-Simons գրավիտացիայի

տեսության պարամետրի համար ստացված է սահմանային արժեք: Ցույց է տրված այդ պարամետրի վարքի կախվածությունը նորագույն LARES արբանյակի դիտումների սպասվելիք ճշտությունից, որն արձակվել է Հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը ավելի մեծ ճշտությամբ հաստատելու համար:

Կոլմոգորովի մեթոդը օգտագործված է մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանային քարտեզների հետազոտման համար: Մշակված են նորագույն Planck արբանյակի տվյալները ինչպես նաև WMAP արբանյակի վերջին տարիների ստացված տվյալները: Կատարված է համեմատություն WMAP և Planck արբանյակների տվյալների միջև: Ուսումնասիրված է մնացորդային ճառագայթման քարտեզներում առկա ոչ-Գաոսսյան տիրույթները: Կատարված են հետազոտություններ դրանց տարանջատման համար:

Շնորհիվ Planck արբանյակի ճշգրիտ տվյալների հաստատված է մնացորդային ճառագայթման քարտեզներում առկա սառը տիրույթը ինչպես նաև ուսումնասիրված է նրա բնութագրիչների վարքը: Կոլմոգորովի վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված է այլ սառը տիրույթների առկայությունը:

## Abstract

The technique of degree of randomness is used to model the correlations in sequences containing various subsignals and noise. Kolmogorov stochasticity parameter enables to quantify the randomness in number sequences and hence appears as an efficient tool to distinguish the signals. Numerical experiments for a broad class of composite signals of regular and random properties are performed and enable to obtain the qualitative and quantitative criteria for the behavior of the descriptor depending on the input parameters typical to astrophysical signals. Astrophysical signals typically are superposition of various subsignals, regular and random, by features comparable to each other and of weaker ones, i.e. perturbations or the noise. The procedure of analysing of the needed signal or signals, their separation from the noise is a common problem while dealing with observations and measurements. A crucial step in these studies is the modeling and analysis of generated systems, which enables to reveal the behavior of the stochasticity parameter in the case of a given signal and then to consider the application of this technique for real signals. The performed analysis revealed the behavior of the Kolmogorov distribution vs the properties of the generated signals. To describe datasets which contain both regular and stochastic components.

The non-gravitational Yarkovsky-Rubincam effect for LAGEOS and LAGEOS 2 satellites used to probe General Relativity has been revealed by means of the Kolmogorov analysis of their perturbations. We represent the method and its efficiency at modeling of generated systems with properties expected at the satellite laser ranging measurements and then at satellite residual data analysis.

Despite the fact that both satellites are identical, one finds non-identical behavior of Kolmogorov's stochasticity parameter for LAGEOS and LAGEOS 2 for Gaussian CDF vs the variation of the standard deviation  $d\sigma$ . The residuals of LAGEOS do possess about 10 times higher degree of randomness (chaos) than of LAGEOS 2. The reason of this observation is related to Yarkovsky thermal thrust effect due to the radiation of the Sun at differently spinning satellites with nonequal stay time in the orbit. At finite heat conductivity of the satellites an anisotropic distribution of temperature occurs for each satellite resulting in additional thrust, so that the object longer undergoing such chaotic perturbations i.e. LAGEOS, will reveal higher degree of chaos in its residuals.

Then we have obtained the Chern-Simons gravity constraints for the accuracy of forthcoming measurements by the LARES satellite.

The Cosmic Microwave Background (CMB) radiation temperature data are studied by Kolmogorov method, namely we studied the degree of randomness in those datasets. The temperature maps of the CMB are sequences of numbers indicating the temperature assigned to the pixels in certain coordinate representation, commonly in HEALPix representation.

Kolmogorov's function determining the degree of randomness has been obtained for the CMB datasets of Wilkinson Microwave Anisotropy Probe and Planck mission. The resulting sky map enables to separate the cosmological signal (CMB) from non-cosmological ones, e.g. the Galactic disk, and also point sources, including those not detected by other methods. The non-Gaussian region of the CMB sky, known as a Cold Spot, reveals enhanced degree of randomness, as confirmed by Planck data. If it is due to the hyperbolicity of the voids discussed above, then it would support the void nature of the Cold Spot, as argued by some authors. Other regions of higher randomness, although not as clearly outlined as the Cold Spot, were also revealed in the sky.

The degree of randomness of CMB, therefore, can be helpful not only for the separation of cosmological and non-cosmological signals but also for probing the large scale matter distribution. The CMB properties are discussed in context of the void distribution in the Universe along with the dark sector linked with the emergence of the thermodynamical arrow of the observed Universe, the dark sector acting as a bath.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lap', with a horizontal line underneath.