

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Կուլոդյան Հովհաննես Էմիլի

ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ՄՆԱՑՈՂՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՔԱՐՏԵԶՆԵՐԻ
ՈՐՈՇ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

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

ՄԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2007

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им А.И. Аликханяна

Кулоглян Оганес Эмилевич

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КАРТ КОСМИЧЕСКОГО РЕЛИКТОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН-2007

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում:
Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Վ. Գ. Գուրզադյան (ԵրՖԻ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Գ. Մեդրակյան (ԵրՖԻ)

Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
Ա. Ն. Իրանխանյան (ԵրՖԻ, ՏՏՄԻ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Տեսական և փորձարարական ֆիզիկայի ինստիտուտ (ԻՏԵՖ, Մոսկվա)

Պաշտպանությունը կայանալու է 2007թ. հունիսի 12-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 առաքված է 2007թ. մայիսի 11-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար,

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր

Յ. Գազալյան

Է. Դ. Գազալյան

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

Научный руководитель:

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

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
Седракян А. Г. (ЕрФИ)
кандидат физико-математических наук,
Иоаннисян А.Н. (ЕрФИ, ИТФМ)

Ведущая организация:

Институт теоретической и
экспериментальной физики (ИТЭФ, Москва)

Защита диссертации состоится 12 июня 2007 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 11 мая 2007г.

Ученый секретарь спец. совета,

доктор физико-математических наук

Յ. Գազալյան

Э. Д. Газаян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Изучение свойств космического реликтового излучения является одним из самых быстроразвивающихся направлений современной космологии. Открытие реликтового излучения стало одним из краеугольных камней, на которых основана космологическая модель Большого Взрыва. Высокоточные эксперименты последних десятилетий по измерению реликтового излучения во многом способствовали переходу космологии на уровень так называемой "точной космологии".

В числе ключевых экспериментов по реликтовому излучению - BOOMERanG и спутник NASA Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Результаты экспериментов позволили получить карты температурной анизотропии реликтового излучения с высоким разрешением. Температурные карты реликтового излучения являются носителями важной космологической информации о ранней Вселенной и ее современной структуре. Так, в числе теоретически предсказанных эффектов - геодезическое перемешивание, свойство движения фотонов после эпохи последнего рассеяния, для изучения которого необходим детальный анализ искаженных карт анизотропии реликтового излучения.

Данная работа посвящена анализу свойств карт реликтового излучения, обнаружению скрытых параметров и сравнению их с космологической моделью соответствующей угловой корреляционной функции. Для исследований использованы данные полученные BOOMERanG и WMAP.

Цель диссертационной работы

- Провести сравнительный анализ данных экспериментов BOOMERanG и WMAP с целью проверки вклада инструментальных эффектов в свойство эллиптичности анизотропных пятен карт реликтового излучения.
- Изучить поведение эллиптичности на масштабах больше и меньше размера светового горизонта на поверхности последнего рассеяния.
- Исследовать воздействие излучения диска Галактики на эллиптичность.
- Получить теоретические (симулированные) карты реликтового излучения и выполнить анализ их анизотропных свойств.

- Исследовать поведение двухточечных корреляционных функций пятен анизотропии реликтового излучения в контексте явления запутанных квантовых состояний фотонов на поверхности последнего рассеяния.

Научная новизна

- Разработаны алгоритмы, необходимые для геометрического анализа карт космического реликтового излучения на плоскости и на сфере.
- Показана независимость эллиптичности от масштаба светового конуса на поверхности последнего рассеяния.
- Показана симметрия эллиптичности относительно галактических полушарий и независимость от излучения диска Галактики.
- Для трехлетних данных спутника WMAP показано, что эллиптичность не определяется космологической моделью Фридмана Λ CDM, характеризуемой угловой корреляционной функцией реликтового излучения. Обнаруженное поведение эллиптичности соответствует геодезическому перемешиванию потока фотонов в гиперболической Вселенной.
- Показана симметрия двухточечной корреляционной функции температурных пятен относительно отрицательных и положительных температурных сечений, что совместимо с температурной асимметрией запутанных состояний фотонов.

Практическая ценность работы

Методы и алгоритмы, разработанные для исследования карт анизотропии космического реликтового излучения, могут быть привлечены к анализу результатов предстоящих более точных экспериментов, таких как спутник Planck.

Научные положения, выносимые на защиту

- Соответствие поведения параметра эллиптичности для карт BOOMERanG и WMAP.
- Независимость эллиптичности от размера светового конуса на поверхности последнего рассеяния.
- Независимость эллиптичности от вклада диска Галактики и полушарий, инвариантность эллиптичности на картах с разными частотами.
- Монотонное поведение эллиптичности в зависимости от отношения сигнал/шум.

- Поведение теоретических и реальных карт при разном вкладе шума, их несоответствие.
- Температурная асимметрия двухточечной корреляционной функции температурных пятен.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинарах в Ереванском физическом институте, в университете Рима "La Sapienza", на конференциях по релятивистской астрофизике (Рим, Пескара, 2004, 2005, 2006).

Публикации

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

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 131 наименования. Общий объем работы составляет 112 страниц печатного текста, включая 36 рисунков и две таблицы.

Содержание работы

В первой Главе определяются необходимые для дальнейшего анализа основные характеристики анизотропии реликтового излучения, двухточечные и угловые корреляционные функции и их взаимосвязь. Угловые корреляционные функции используются при разложении по сферическим гармоникам.

$$\Delta T(\hat{n}) = \sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=-l}^l a_{lm} Y_{lm}(\hat{n}) \quad C_l = \langle a_{lm}^* a_{lm} \rangle$$

где \hat{n} - единичный вектор указывающий направление на сфере, Y_{lm} - сферические гармоники, C_l - угловые корреляционные функции. Двухточечные корреляционные функции

$$C(\theta) = \langle \Delta T(\hat{n}_1) \Delta T(\hat{n}_2) \rangle_{\theta}$$

связаны с угловыми корреляционными функциями через соотношения

$$C(\theta) = \frac{1}{4\pi} \sum_l (2l+1) C_l P_l(\cos \theta) \quad C_l = 2\pi \int_0^\pi C(\theta) P_l(\cos \theta) \sin \theta d\theta$$

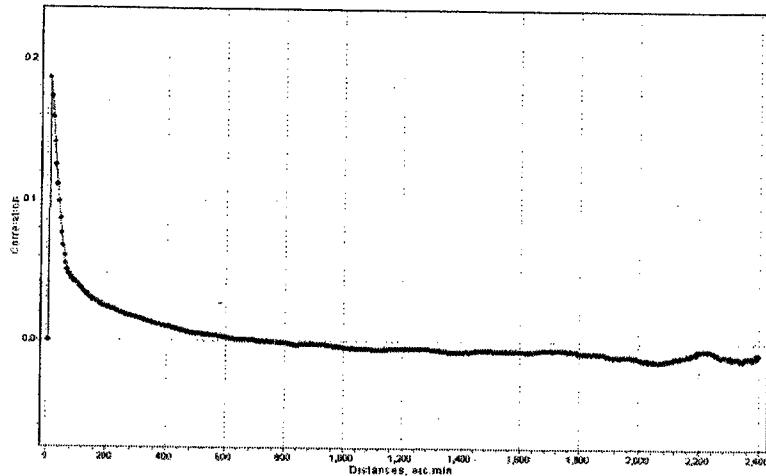


Рис.1 – Корреляционная функция $C(\theta)$, полученная для данных спутника WMAP.

Формулируются свойства геодезических потоков как гиперболических систем. Описано поведение временных корреляционных функций для перемешивающихся систем, включая геодезические потоки на гиперболических пространствах. Временная корреляционная функция $b_{g_1 g_2}(t)$ динамической системы с перемешиванием затухает со временем

$$\lim_{t \rightarrow \infty} b_{g_1 g_2}(t) = 0$$

где $g_1, g_2 \in L^2(X)$. В случае систем Аносова временная корреляционная функция удовлетворяет условию

$$|b_{g_1 g_2}(t)| \leq C_{g_1 g_2} \cdot \exp(-\beta_{g_1 g_2} \cdot h(T) \cdot t)$$

где $C_{g_1 g_2}$ и $\beta_{g_1 g_2}$ - постоянные, а $h(T)$ - энтропия Колмогорова-Синяя (КС) потока T .

Свободное движение фотонов во Вселенной с фридмановской метрикой и отрицательной кривизной представляет собой систему Аносова с КС-энтропией, характеризуемой масштабным фактором Вселенной

$$\lambda = 1/a$$

Эллиптичность в этом случае задается расхождением геодезических в (3+1)-мерном пространстве

$$\varepsilon = \frac{l(t)}{l(t_0)}, \quad l(t) = l(t_0) \frac{a(t)}{a(t_0)} \exp(\chi \lambda(t))$$

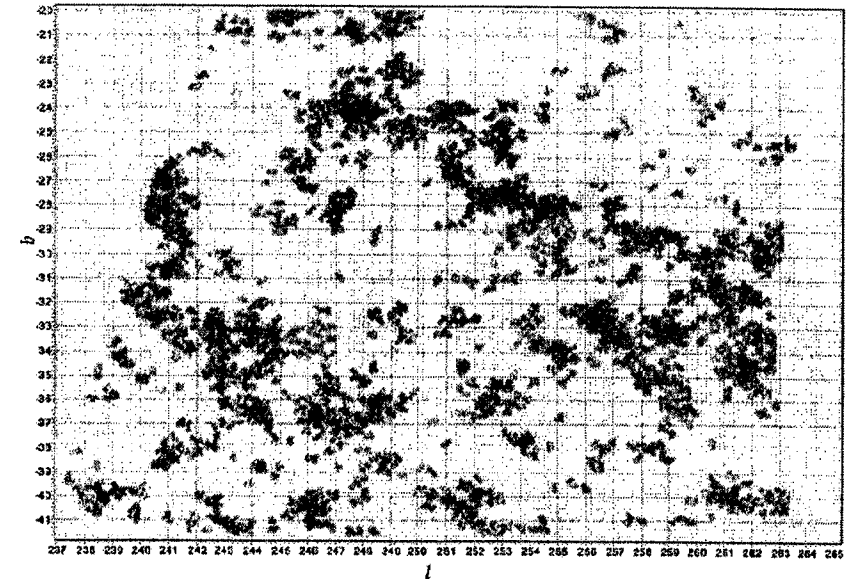


Рис.2 – Температурная карта (A+B) BOOMERanG-а полученная из трех независимых каналов на частоте 150 GHz, при температуре выше 100 μ K. $A+B=B150A+(B150A1+B150A2)/2$.

Для анализа эллиптичности пятен температурной анизотропии реликтового излучения, определены необходимые геометрические свойства,

характеризующие пятна анизотропии. Для малых пятен выявлена эллиптичность, независимая от температурного сечения. Эллиптичность сохраняется также в разных картах и разных областях.

Во второй Главе изучается поведение эллиптичности на масштабах больше и меньше характерного размера светового горизонта на поверхности последнего рассеяния. Размер горизонта задает расстояние на поверхности последнего рассеяния, на котором события могут быть причинно связаны. Во Вселенной с метрикой Фридмана-Робертсона-Уокера и скалярной кривизной R_c

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 (d\chi^2 + R_c^2 \sinh^2(\chi/R_c) d\Omega^2)$$

горизонт определяется конформным временным расстоянием поверхности последнего рассеяния

$$\chi_{sls} = \eta_0 - \eta_{sls} \approx \int \frac{da}{Ha^2}$$

$$\chi_{sls} \approx \frac{2}{H_0 \sqrt{\Omega_m}} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{\Omega_c}{\Omega_m} - \frac{1}{2(1-6\omega)} \frac{\Omega_\omega}{\Omega_m} + \dots \right)$$

где $\Omega_c = 1 - \Omega_0$, Ω_m , Ω_ω , соответственно, параметры плотности кривизны, нерелятивистского вещества и темной энергии, а H - параметр Хаббла.

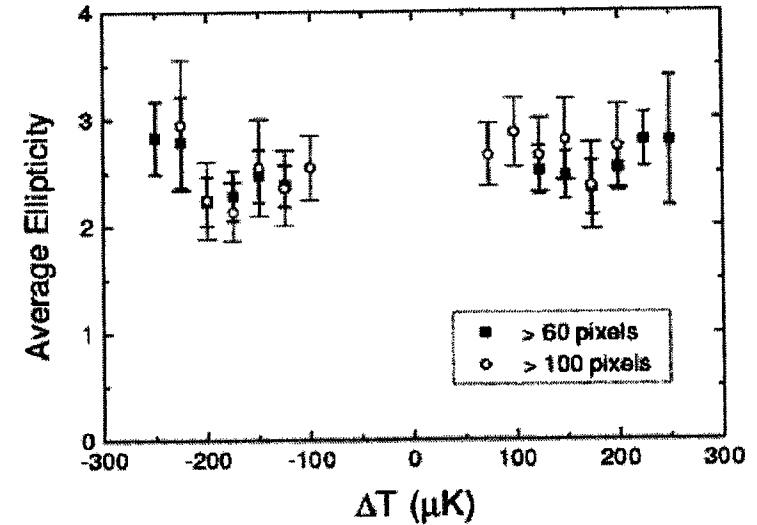


Рис. 3 – Эллиптичность в зависимости от температурного сечения для пятен с количеством пикселей больше 60 и 100 на карте A+B BOOMERanG-a.

В результате исследования пятен анизотропии, размеры которых превышают масштаб горизонта на поверхности последнего рассеяния, обнаружена инвариантность эллиптичности для пятен с размерами больше и меньше горизонта. Это говорит о том, что эллиптичность не обусловлена физическими условиями на поверхности последнего рассеяния, а характеризуется крупномасштабными свойствами Вселенной.

В третьей Главе исследуются температурные карты полного неба, полученные за первый, а затем за три года работы спутника WMAP. Высокая точность и лучшая статистика новых данных позволили с намного более высокой точностью показать температурную инвариантность эллиптичности, а также проверить зависимость эллиптичности от ряда эффектов. Выявлена независимость эллиптичности от излучения диска Галактики, симметрия относительно северного и южного полушарий в галактических координатах, сохранение свойств эллиптичности в картах, полученных на разных частотах. Результаты исследования говорят о нелокальной космологической природе свойства эллиптичности

анизотропных пятен реликтового излучения.

Новые, трехлетние данные WMAP позволили также провести сравнение свойств карт, полученных теоретически в соответствии с космологической моделью, характеризующейся угловой корреляционной функцией с реальными картами. Комбинируя реальные температурные карты анизотропии, получены карты неба с разными вкладами шумов в сигнал, благодаря чему стало возможным исследование воздействия шума на свойства анизотропных пятен космического реликтового излучения. Применение соответствующих методов и алгоритмов в случае теоретических карт реликтового излучения позволило получить аналогичные симулированные карты с разными отношениями сигнал/шум, и изучить воздействие шума на теоретические карты. Показана несовместимость свойств теоретических и реальных карт реликтового излучения, что свидетельствует о неполноте космологической модели, описываемой угловой корреляционной функцией.

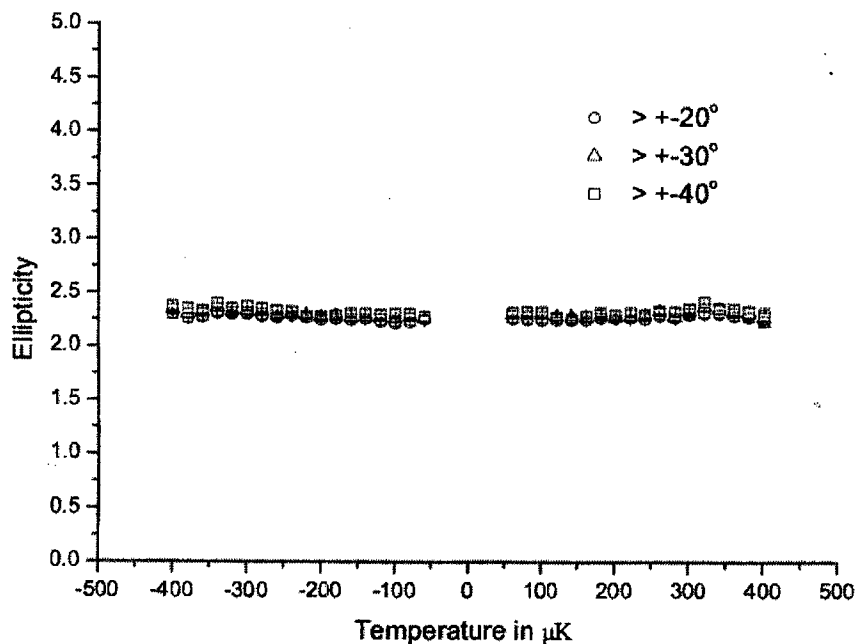


Рис. 4 — Эллиптичность пятен анизотропии при разных вкладах галактического диска в зависимости от температурного сечения

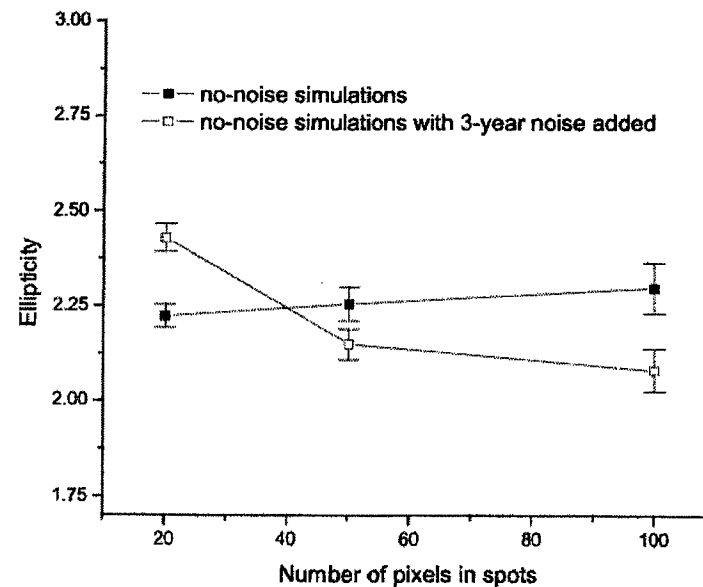


Рис. 5 — Средняя эллиптичность для 50 суммарных теоретических карт угловой корреляционной по данным спутника WMAP.

Следующая проблема, рассмотренная в третьей главе касается возможного воздействия запутанных квантовых фотонных состояний на поверхности последнего рассеяния на свойства анизотропии реликтового излучения.

Для модели системы двух осцилляторов, находящейся в тепловом равновесном состоянии с температурой $T = 1/\beta$

$$H = \frac{1}{2}(\hat{p}_1^2 + \hat{p}_2^2) + \frac{\omega^2}{2}(\hat{x}_1^2 + \hat{x}_2^2) + k\hat{x}_1\hat{x}_2$$

где k - константа взаимодействия, условие запутанности, т.е. матриц плотности ρ

$$\rho = \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_i^{(1)} \otimes \rho_i^{(2)}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0$$

имеет вид

$$\frac{\hbar^4}{16} \left\{ \left(1 - \coth \left[\frac{\hbar\beta\omega_1}{2} \right] \coth \left[\frac{\hbar\beta\omega_2}{2} \right] \right)^2 - \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{\omega_1\omega_2} \coth \left[\frac{\hbar\beta\omega_1}{2} \right] \coth \left[\frac{\hbar\beta\omega_2}{2} \right] \right\} < 0$$

или, при $k = \omega^2$, $\omega_1 = \sqrt{2}\omega$, $\omega_2 \rightarrow 0$

$$\frac{\hbar^2 T^2}{4\omega^2} \coth \left[\frac{\hbar\beta\omega}{\sqrt{2}} \right] \left(\coth \left[\frac{\hbar\beta\omega}{\sqrt{2}} \right] - \frac{\hbar\beta\omega}{\sqrt{2}} \right) < 0$$

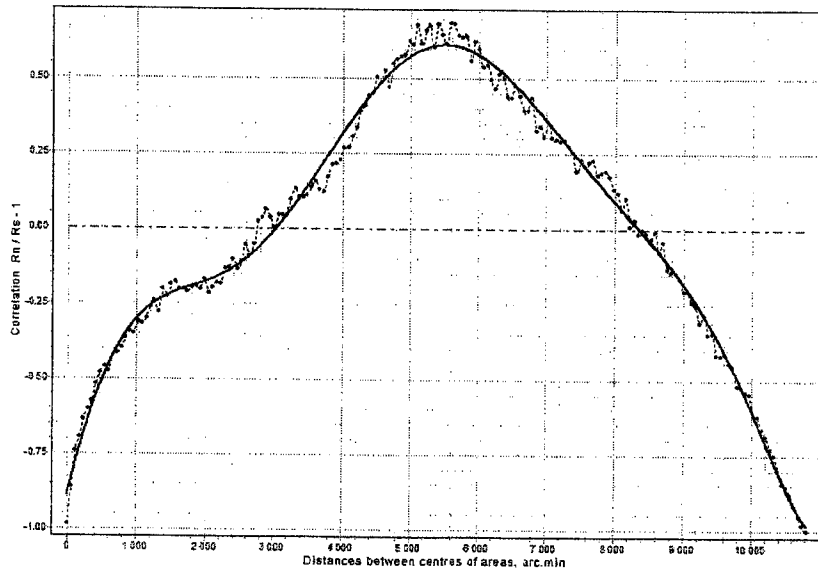


Рис. 6 – Двухточечная корреляционная функция пятен анизотропии реликтового излучения при положительном температурном сечении. Использованы трехлетние данные спутника WMAP.

При температурах

$$T < T_c \approx \frac{\hbar\omega}{1.2\sqrt{2}}$$

состояния являются запутанными, и корреляции имеют квантовый характер, а при высоких температурах поведение корреляций будет классическим. В соответствии с этим, произведено исследование двухточечных корреляционных функций пятен анизотропии реликтового излучения для отрицательных и положительных температурных сечений. Показана асимметрия корреляционных функций для положительных и отрицательных сечений, что согласуется с явлением запутанности фотонных состояний на поверхности последнего рассеяния.

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе следующие:

- Разработан математический формализм и алгоритмы необходимые для геометрического анализа карт космического реликтового излучения на плоскости и на сфере.
- Показана независимость эллиптичности от характеристического масштаба светового конуса на поверхности последнего рассеяния.
- Показана симметрия эллиптичности относительно галактических полушарий и независимость от излучения диска Галактики.
- Для трехлетних данных спутника WMAP показано, что эллиптичность не определяется космологической моделью Λ CDM, соответствующей Фридман-Робертсон-Уокеровской метрике и характеризуемой угловой корреляционной функцией.
- В трехлетних картах спутника WMAP показана асимметрия двухточечной корреляционной функции температурных пятен относительно отрицательных и положительных температурных сечений. Показана совместимость явления с температурной асимметрией запутанных квантовых состояний фотонов.

Список работ опубликованных по теме диссертации:

1. Gurzadyan V.G., Ade P.A.R., P. de Bernardis, Bianco C.L., Bock J.J., Boscaleri A., Crill B. P. , De Troia G., Hivon E., Hristov V.V., Kashin A.L., Kuloghlian H., Lange A.E., Masi S., Mauskopf P.D., Montroy T., Natoli P., Netterfield C.B., Pascale E., Piacentini F., Polenta G., Ruhl J., Yegorian.G.,
WMAP confirming the ellipticity in BOOMERanG and COBE CMB maps, Nuovo Cim. **118B** (2003), pp. 1101-1107.
2. Gurzadyan V.G., Ade P.A.R., P. de Bernardis, Bianco C.L., Bock J.J., Boscaleri A., Crill B. P. , De Troia G., Hivon E., Hristov V.V., Kashin A.L., Kuloghlian H., Lange A.E., Masi S., Mauskopf P.D., Montroy T., Natoli P. , Netterfield C.B., Pascale E., Piacentini F., Polenta G., Ruhl J., Yegorian.G.,
Ellipticity of Large Spots in CMB Anistropy maps, Mod.Phys.Lett. **A20** (2005), pp. 491-498.
3. Gurzadyan V.G., de Bernardis P., Bianco C.L., De Troia G., Kashin A.L., Kuloghlian H., Masi S., Piacentini F., Polenta G., Yegorian G.,
Elliptic CMB Sky, Mod. Phys. Lett. **A20** (2005), pp. 813-820.
4. Kuloghlian H., *On the role of the entangled states in the properties of Cosmic Microwave Background Radiation*, Proceedings of X Marcel Grossmann meeting on General Relativity and Gravitation (Eds. S.P.Bergliaffa, R.T.Jantzen, M.Novello), pp. 1863-1864, World Scientific, 2005.
5. Gurzadyan V.G., Bianco C.L., Kashin A.L., Kuloghlian H., Yegorian.G.,
Ellipticity in Cosmic Microwave Background as a Tracer of Large-Scale Universe, Phys. Lett. A, 2007, **363**, pp. 121-124, (astro-ph/0607160).

Ամփոփում

Հետազոտված են տիեզերական մնացորդային ճառագայթման քարտեզների հատկությունները հիպերբոլական Տիեզերքում մնացորդային ճառագայթման ֆոտոնների ազատ շարժման գեոդեզիականների խառնման երևույթի դեպքում: Կատարված է WMAP և BOOMERanG գիտափորձերի տվյալների մշակում և արդյունքների համեմատություն տեսական կոսմոլոգիական մոդելի համար: Հետազոտված է մի շարք երևույթների ազդեցությունը ճառագայթման ջերմաստիճանային բծերի էլիպտիկության հատկության վրա: Կատարված է վերջին ցրման մակերևույթի լուսային հորիզոնի չափից մեծ և փոքր տիրույթների վրա էլիպտիկության վարքի ուսումնասիրություն, Գալակտիկայի սկավառակի հնարավոր ներդրման և տարբեր հաճախությունների քարտեզների, գալակտիկական կիսագնդերի հնարավոր ասիմետրիայի գոյության, այլ աղմուկների ազդեցության, համեմատական վերլուծություն: Կատարվել է իրական և տեսականորեն ստացված քարտեզների հատկությունների համեմատական վերլուծություն և ցույց է տրվել տեսական քարտեզների վարքի անհամատեղելիությունը իրական քարտեզների հետ, և հետևաբար, անկյունային կորեյացիոն ֆունկցիայով բնութագրվող կոսմոլոգիական մոդելի ոչ լրիվությունը: Կատարվել վերջին ցրման մակերևույթի վրա ֆոտոնների քվանտային խճճված վիճակների կորեյացիաների և տիեզերական մնացորդային ճառագայթման քարտեզների անիզոտրոպիայի բծերի կորեյացիաների վարքի համեմատություն:

