

A 01.04.02.
X-29

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Խաչատրյան Հարություն Գրիգորի

ՄՈՒԹ ԷՆԵՐԳԻԱՅՈՎ ՎԱՂ ՏԻԵԶԵՐՔԻ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻՑԻԱՅԻ ՀԱՐՑԵՐ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2008

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им А.И. Алиханяна

Хачатрян Арутюн Григорьевич

ОБ ЭВОЛЮЦИИ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ С
ТЕМНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН-2008

Արտյուն Գրիգորյան

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

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Վ. Գ. Գուրգադյան (Երֆի)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Գ. Սեդրակյան (Երֆի)
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Վ. Բսալիրյան (ԵրՖի)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Տեսական և փորձարարական
ֆիզիկայի ինստիտուտ (ԻՏԵՖ, Մոսկվա)

Պաշտպանությունը կայանալու է 2008թ. մարտի 25-ին ժամը 14.00-ին Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ԲՈՂ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (375036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում
Սեղմագիրը առաքված է 2008թ. փետրվարի 7-ին:

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

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)
доктор физико-математических наук,
Испирян К. А. (ЕрФИ)

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

Защита диссертации состоится 25 марта 2008 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 7 февраля 2008г.

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



621-2008

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Проблема топологии Вселенной и возможности ее экспериментального исследования рассматривалась и раньше, однако только недавние высокоточные измерения анизотропии космического реликтового излучения, особенно проведенные космической станцией Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), позволили более подробное исследование ранней Вселенной и ее структуры, включая топологию.

Одновременно были получены наблюдательные данные о существовании темной энергии, приводящей к расширению Вселенной с ускорением, что и определило интерес к новым классам космологических моделей.

Данная диссертация посвящена исследованию свойств карт реликтового излучения полученных WMAP с целью выявления эффекта Сакса-Вольфа, который определяется как ранней эволюцией, так и топологией Вселенной. Расширение ранней Вселенной исследуется также путем построения диаграммы Хаббла для космических объектов с большими красными смещениями. Исследуются космологические модели с темной энергией, а диаграмма Хаббла включает как сверхновые SN Ia и радиогалактики, так и источники гамма всплесков. Последние источники, включая открытые недавно спутником SWIFT, с учетом ряда эмпирических соотношений позволяют довести диаграмму Хаббла до красного смещения более шести, что соответствует Вселенной всего около 800 млн. лет после Большого Взрыва.

Цель диссертационной работы

- Исследование свойств реликтового излучения с целью выявления признаков Сакса-Вольфа в случае нетривиальной топологии пространства.
- Исследование свойств космологических моделей с темной энергией.
- Получение фотометрического расстояния и других параметров,

позволяющих сравнение космологической модели с наблюдательными данными.

- Привлечение эмпирических соотношений для калибровки космологической модели и наблюдательных данных о сверхновых и гамма-всплесков.

Научная новизна

- Выявлена симметрия в структуре карт анизотропии реликтового излучения, которая может быть связана с топологическими свойствами Вселенной.
- Для моделей с темной энергией найдены инварианты, которые объясняют найденную ранее симметрию и свойства сепаратрисы.
- Дано обоснование для использования источников гамма-всплесков в качестве стандартных свечей.
- Построена диаграмма Хаббла для источников с большими красными смещениями.

Практическая ценность работы

Методы, разработанные для исследования карт анизотропии реликтового излучения, могут быть привлечены к анализу результатов предстоящих более точных экспериментов, таких как ожидаемых со спутника PLANCK. Метод калибровки данных гамма-всплесков можно использовать для данных, ожидаемых с SWIFT-а и других спутников.

Научные положения выносимые на защиту

- Выявление симметричных структур на карте реликтового излучения, полученных спутником WMAP.
- Возможный космологический характер найденных симметричных структур на карте реликтового излучения. Независимость данных структур от галактического и иного шума.
- Инварианты уравнений космологической модели с темной энергией.
- Соответствие наблюдательных данных с предсказаниями космологической модели с темной энергией.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинарах в Ереванском физическом институте, в университете Рима "La Sapienza", на конференциях: XI Марсель Гроссмана по гравитации (Берлин, 2006), Штукельберговской по релятивистским полевым теориям (Пескара 2006), по релятивистской астрофизике (Пескара, 2007).

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 136 наименований. Общий объем работы составляет 111 страниц печатного текста и включает 37 рисунков и 21 таблицу.

Содержание работы

В первой главе проблема топологии Вселенной изучается через определенные свойства карт реликтового излучения. Компактифицированные топологии обсуждаются в подходе квантовой космологии Хартгла-Хокинга и формализма волновой функции Вселенной относительно вероятностей существования Вселенной с космологической постоянной.

Затем рассмотрены свойства карт реликтового излучения для Вселенной с компактифицированной топологией T^3 , когда в разложение Фурье для потенциала дают вклад только моды, определенные тремя размерностями

$$\varphi(r) = \sum_{\vec{k}} \varphi(\vec{k}) e^{i\vec{k}\vec{r}}, \quad \vec{k} = \left(\frac{2\pi n_x}{L_x}, \frac{2\pi n_y}{L_y}, \frac{2\pi n_z}{L_z} \right),$$

$$n_x, n_y, n_z \in \mathbb{Z}, \quad \sum_i n_i^2 \neq 0$$

и эффектом Сакса-Вольфа

$$\frac{\delta T}{T}(\theta, \phi) = \frac{1}{3c^2} \varphi\left(\frac{d_{rec}}{a}, \theta, \phi\right),$$

где φ - потенциал гравитационного поля, d_{rec} - расстояние до поверхности последнего рассеяния реликтового излучения.

Тогда анизотропия реликтового излучения при расширяющейся Вселенной с метрикой Робертсона-Уолкера через мультиполи задается уравнением (рис. 1).

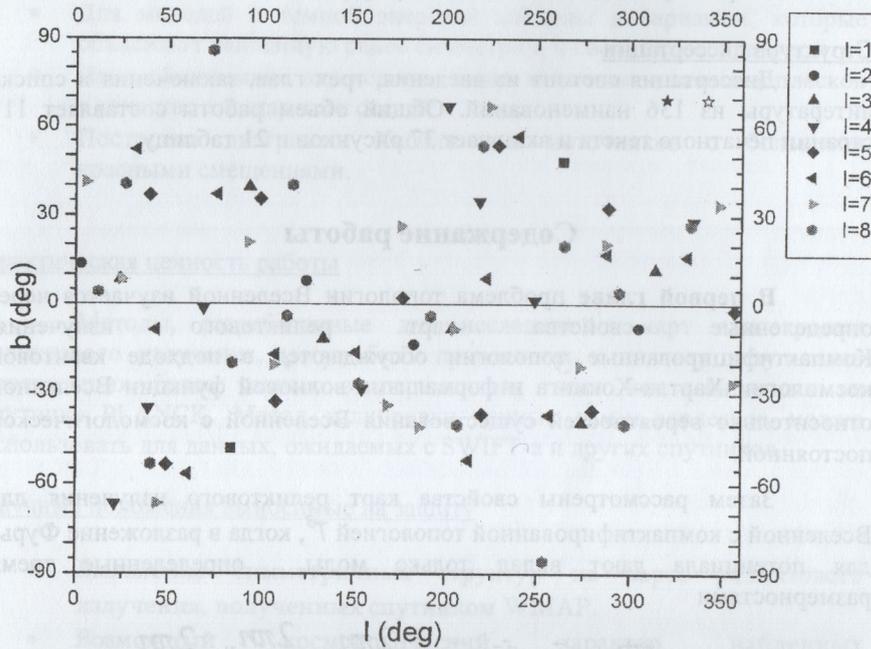


Рис. 1. Расположение векторов мультиполей реликтового излучения и их суммарных векторов до $l = 8$, обозначенных звездочками (темная - с учетом диполя).

$$\left(\frac{\delta T}{T}\right)_l^2 \approx \frac{2l+1}{18} \sum_{\vec{k}} \varphi(\vec{k}) \left(\frac{a}{kd_{rec}}\right)^2.$$

В случае, когда $n_z = 0, n_x^2 + n_y^2 \neq 0$, что соответствует эффективной топологии T^d , симметрия температурной анизотропии имеет вид

$$\frac{\delta T}{T}(\theta, \phi) = \frac{\delta T}{T}(\pi - \theta, \phi).$$

Разработаны алгоритмы и выявлены неоднородности в распределении пятен в температурных картах реликтового излучения, полученных за трехлетние наблюдения WMAP. Центры масс пятен определены используя теорему Картана о связности компактных подгрупп Ли.

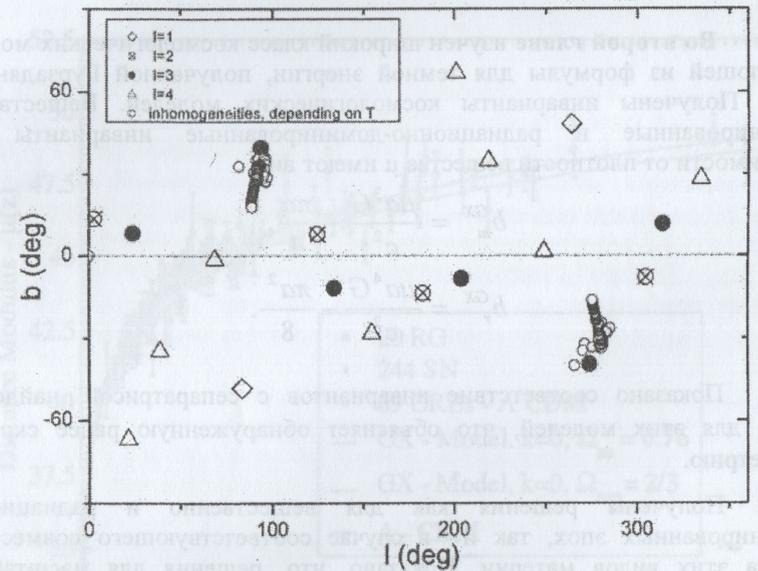


Рис. 2 Дрейф центров областей неоднородности анизотропий реликтового излучения и направление векторов мультиполей $l = 1 \div 4$.

Показано, что в температурном интервале $|T| = 90 \mu\text{K}$ относительно средней температуры распределение пятен с более чем 200 пикселями сконцентрировано в двух областях, почти в антиподах с

галактическими координатами $l = 94^\circ.7$, $b = 34^\circ.4$ и $l = 279^\circ.8$, $b = -29^\circ.2$. Центры этих областей дрейфуют к экватору при увеличении температурного интервала и расположены близко к одному из векторов мультиполя $l = 3$. Распределения пятен обладают зеркальной симметрией с достоверностью $\chi^2 = 0.7 \div 1.5$. Не выявлен какой-либо вклад шумов WMAP, нет также свидетельств зависимости эффекта от галактического фона.

Если этот эффект имеет космологическую природу, то это может быть проявлением аномально больших возмущений плотности вещества на расстояниях, превышающих световой горизонт и независимых от одной из пространственных координат, и (или) нетривиальной топологии Вселенной, включая

$$S^3/Z_N, \quad N \gg 1.$$

Во второй главе изучен широкий класс космологических моделей следующей из формулы для темной энергии, полученной Гурздяном и Кусе. Получены инварианты космологических моделей. Вещественно-доминированные и радиационно-доминированные инварианты в зависимости от плотности вещества μ имеют вид

$$b_m^{GX} = \frac{\mu \alpha^3 G}{c^2} - \frac{\pi a}{4},$$

$$b_r^{GX} = \frac{\mu \alpha^4 G}{c^2} - \frac{\pi a^2}{8}.$$

Показано соответствие инвариантов с сепаратрисой, найденной ранее для этих моделей, что объясняет обнаруженную ранее скрытую симметрию.

Получены решения как для вещественно и радиационно-доминированных эпох, так и в случае соответствующего совместного вклада этих видов материи. Показано, что, решения для масштабного фактора не зависят от гравитационной постоянной, а инварианты являются эффективным инструментом для описания данного класса моделей и разных фаз космологического расширения.

Используя инварианты, получены основные космологические параметры, такие как фотометрическое расстояние, возраст Вселенной и параметр замедления. В частности, уравнение для фотометрического

расстояния имеет вид

$$d_L(z) = a_0(1+z)f_k \left(\frac{1}{\sqrt{\beta}} \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}(z+1)+1} - 1}{\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}+1} - 1} \frac{\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}+1} + 1}{\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}(z+1)+1} + 1} \right| \right),$$

где

$$f_k(x) = \begin{cases} \sin x, & k = 1 \\ x, & k = 0 \\ \operatorname{sh} x, & k = -1 \end{cases},$$

а k - нормированная кривизна и α, β - параметры модели.

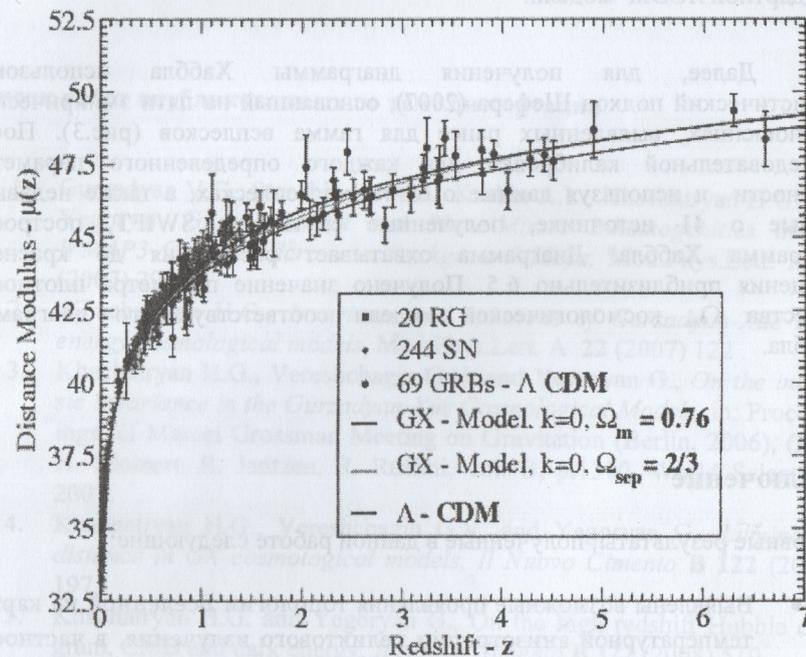


Рис. 3. Диаграмма Хаббла для 244 сверхновых, 20 радиогалактик и 69 гамма-всплесков.

В третьей главе при помощи данных сверхновых SN Ia, радиогалактические и источников гамма всплесков проверены рассмотренные космологические модели с темной энергией. Результаты сравнены также со стандартной Λ CDM моделью с использованием зависимости фотометрического расстояния $d_L(z)$ от красного смещения z

$$d_L(z) = a_0(1+z) \int \frac{da}{aa},$$

при помощи выражения

$$\bar{\mu}(z) = M - m = 5 \log_{10} d_L(z) + 25.$$

Показано, что согласие фотометрического расстояния при данной модели при параметре плотности $\Omega_m = \Omega_{sep}$ с наблюдениями близко к стандартной Λ CDM модели.

Далее, для получения диаграммы Хаббла использован статистический подход Шефера (2007), основанный на пяти эмпирических соотношениях, выявленных ранее для гамма всплесков (рис.3). После последовательной калибровки для каждого определенного параметра плотности и используя данные о 69 гамма всплесках, а также недавние данные о 41 источнике, полученные спутником SWIFT, построена диаграмма Хаббла. Диаграмма охватывает расстояния до красного смещения приблизительно 6.5. Получено значение параметра плотности вещества Ω_m космологической модели соответствующего диаграмме Хаббла.

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе следующие:

- Выявлены возможные проявления топологии Вселенной на картах температурной анизотропии реликтового излучения, в частности масштаба компактификации пространства.
- Разработаны специальные алгоритмы и с их помощью проанализированы структуры трехлетних температурных карт

реликтового излучения полученных спутником WMAP.

- Найдены симметрические образования в распределениях анизотропных структур, которые, в случае космологической природы сигнала, могут быть связаны с компактификацией пространства и с аномально большим масштабом возмущений плотности независимыми от одной пространственной компоненты.
- Изучена космологическая модель с темной энергией, найдены ее инварианты и основные космологические параметры.
- Проведено сравнение основных космологических параметров модели с темной энергией с наблюдательными данными. Изучена возможность использования источников гамма-всплесков в качестве «стандартных свечей» и получена диаграмма Хаббла вплоть до значения красного смещения порядка шести, что выявляет эволюцию расширения ранней Вселенной.

Список работ опубликованных по теме диссертации:

1. Gurzadyan V.G., Starobinsky A.A., Kashin A.L., Khachatryan H.G. and Yegoryan G., *On Axial and Plane-Mirror Inhomogenities in the WMAP3 Cosmic Microwave Background Maps*, Mod.Phys.Lett. A **22** (2007) 2955.
2. Khachatryan H.G., *Invariants and solutions of Gurzadyan-Xue dark energy cosmological models*, Mod.Phys.Lett. A **22** (2007) 122.
3. Khachatryan H.G., Vereshchagin G.V. and Yegoryan G., *On the intrinsic Invariance in the Gurzadyan-Xue Cosmological Models*, in: Proceedings XI Marcel Grossman Meeting on Gravitation (Berlin, 2006), (Eds. H. Kleinert, R. Jantzen, R. Ruffini, vol. B, p.1310, World Scientific, 2007.
4. Khachatryan H.G., Vereshchagin G.V. and Yegoryan G., *Luminosity distance in GX cosmological models*, *Il Nuovo Cimento* **B 122** (2007) 197.
5. Khachatryan H.G. and Yegoryan G., *On the high redshift Hubble diagram, CMB and dark energy*, *Il Nuovo Cimento* **B 122** (2008) 510.

Ամփոփում

Հետազոտվել են Տիեզերքի տոպոլոգիայի հնարավոր նշանները մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանային քարտեզների անիզոտրոպիայում, մասնավորապես, տարածության կոմպակտիֆիկացիայի երկարության կապը բծերի սիմետրիայի հետ: Մշակվել են հատուկ ալգորիթմներ և դրանց միջոցով ի հայտ է բերվել Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) արբանյակի երեք տարվա դիտումների մնացորդային ճառագայթման քարտեզներում անիզոտրոպիայի բծերի սիմետրիկ բաշխումը: Ազդանշանի կոսմոլոգիական բնույթի դեպքում, այդ երևույթը կարող է մեկնաբանվել, որպես տարածության կոմպակտիֆիկացիայի հետևանք, նաև բնորոշել կոսմոլոգիական խտության խտորումների հատկությունները: Հետազոտվել են մութ էներգիայով կոսմոլոգիական մոդելներ: Արտածվել են նրանց ինվարիանտները, որոնք բացահայտում են մինչ այդ գտնված սիմետրիան և սեպարատրիսի հատկությունները: Գտնվել են կոսմոլոգիական հիմնական պարամետրերը, որոնք ապա համեմատվել են դիտողական տվյալների հետ: Կառուցվել է Տիեզերքի վաղ էվոլյուցիան նկարագրող Հաբլի դիագրամ մինչև մոտ վեց կարմիր շեղումներով աղբյուրների համար, ներառյալ SWIFT արբանյակից վերջերս ստացված տվյալները բռնկվող գամմա աղբյուրների վերաբերյալ:

