

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՏԻՉԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Եզրայան Գեղամ Սերաժանի

ՄԱԹ ԷՆԵՐԳԻԱՅՈՎ ԿՈՍՄՈՂՈԳԻԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ
ՄԱՑՈՂԱՅԻՆ ԿԱՌԱԳԱՅՑՄԱՆ ՈՐՈՇ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

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

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2007

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им А.И. Аликханяна

Егорян Гегам Меружанович

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ С ТЕМНОЙ ЭНЕРГИЕЙ
И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН-2007

Ереванский Физический
ИНСТИТУТ
научно-техническая
библиотека

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

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

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Կ. Բալիրյան (Երֆի)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա.Տ.Ջախարով (ԻՏԵՖ, Սոսկվա)
Երևանի պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2007թ. մարտի 27- 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):

Ատենախառնության կարելի է ծանոթանալ Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2007թ. փետրվարի 27-ին:

Ստանագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար

Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու

Սիմոն

Ա.Բ. Մարգարյան

Թեմա դիսսերտացիայի ցանկում հաստատված է Երևանում ֆիզիկական ինստիտուտի անունով
Ա.Ի. Ալիխանյանի անունով

Նախնական ղեկավար:

դոկտոր ֆիզիկո-մաթեմատիկական գիտ.,
Գուրգալյան Վ.Գ. (Երֆի)

Օրինական օպոնենտներ:

դոկտոր ֆիզիկո-մաթեմատիկական գիտ.,
Իսիրյան Կ.Ա. (Երֆի)
դոկտոր ֆիզիկո-մաթեմատիկական գիտ.,
Զախարով Ա.Փ. (ԻՏԵՖ, Մոսկվա)

Վարչական կազմակերպություն:

Երևանի պետական համալսարան

Դիսսերտացիայի պաշտպանությունը կայանալու է 27 մարտի 2007 թ. 14.00 ժամին նախնական ղեկավարի նիստում Երևանի ֆիզիկական ինստիտուտի անունով (375036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրներ փ. 2):

Ս. Դիսսերտացիայի կարելի է ծանոթանալ Երֆի-ում:

Ավտորեֆերատը 27 փետրվարի 2007 թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտ. քարտուղար

Սիմոն

Ա.Տ. Մարգարյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Бурный прогресс космологии за последние 10-20 лет перевел ее в так называемую фазу точной космологии. Новые и намного более точные эксперименты, как выполненные с земли и, особенно, со спутников, привели к впечатляющим данным, и таким образом, определили эти достижения.

Наблюдательные проявления существования темной энергии с отталкивающими свойствами, которая приводит к ускорению расширения Вселенной поставили принципиальную проблему для теоретиков, что привело к многочисленным попыткам, начиная с пересмотра основных принципов до многочисленных феноменологических теорий и моделей, включая и модели с переменными физическими константами. Одновременно, измерения космического реликтового излучения дают важную информацию относительно раннего развития Вселенной.

Данная работа посвящена этим двум направлениям исследования в космологии: некоторым свойствам космического реликтового излучения и космологическим моделям с темной энергией.

Цель диссертационной работы

- Развить и проанализировать модели с темной энергией и переменными физическими константами.
- Рассмотреть соответствие найденных решений космологических уравнений с имеющимися наблюдательными данными.
- Посредством исследования температурных карт космического реликтового излучения изучить соответствие свойств его анизотропии и космологических моделей.

Научная новизна

- Получены космологические уравнения, в которых вовлеченные физические константы меняются со временем.
- Обнаружена скрытая симметрия космологических моделей с темной энергией.
- Развита теория гравитационных возмущений в случаях, когда

физические константы меняются со временем.

- С помощью специально созданных алгоритмов изучены геометрические свойства анизотропий температурных карт космического реликтового излучения.

Практическая ценность работы

Решения для моделей с темной энергией могут быть применены к широкому классу космологических моделей с переменными константами. В дальнейшем, соответствие между наблюдательными данными и рассматриваемыми моделями может быть исследовано с привлечением новых, более полных наборов данных о сверхновых звездах и других классов отдаленных объектов.

Методы и алгоритмы разработанные для исследования анизотропий космического реликтового излучения могут стать основанием для глубокого анализа результатов будущих более точных экспериментов.

Научные положения выносимые на защиту

- Решение космологических уравнений с темной энергией и переменными физическими константами.
- Обнаружение скрытой симметрии космологических моделей с темной энергией.
- Вывод и решение уравнений для космологических гравитационных возмущений.
- Исследование моделей с темной энергией, сравнение с наблюдательными данными сверхновых звезд и радиогалактик.
- Алгоритмы исследования определенных свойств карт космического фонового излучения.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах в Ереванском физическом институте, в университете Рима "La Sapienza", на конференциях Темная Материя-2006 (Марина дель Рей, Калифорния, 2006), XI Марсель Гроссмана по гравитации (Берлин, 2006), Релятивистическая Астрофизика (Пескара, 2006).

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 8 научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Общий объем работы составляет 85 страниц печатного текста, включая 26 рисунков и две таблицы.

Содержание работы

В первой Главе развит и проанализирован класс космологических моделей с переменными физическими константами. Идея интерпретировать космологическую постоянную как энергию вакуума, принадлежит Зельдовичу (1967). В рамках этого подхода изучены космологические модели, основанные на формуле для плотности энергии вакуума, полученной Гурзадяном и Ксусе (2003). Это единственная формула на данный момент, которая дает соответствие с наблюдательным значением космологической константы без какого либо свободного параметра; она имеет вид

$$\rho_{Gx} = \frac{\pi c^4}{8Ga^2}$$

где c - скорость света, G - гравитационная постоянная, a - масштабный фактор Вселенной.

Модели классифицированы согласно вариации вовлеченных констант, а именно, скорость света, гравитационная постоянная, а также плотность темной энергии, действующая как космологическая постоянная. Космологические уравнения в этом случае выглядят следующим образом

$$H^2 + \frac{kc^2}{a^2} - \frac{\Lambda}{3} = \frac{8\pi G\rho}{3c^2}$$

$$H + H^2 - \frac{\Lambda}{3} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(\rho + 3p) + H \frac{c}{c}$$

где ρ - плотность энергии, p - давление, k - скалярная кривизна, H - постоянная Хаббла; точка обозначает производную по времени. Уравнение непрерывности тогда принимает следующий вид

$$\rho + 3H(\rho + p) - \frac{\Lambda}{3} = -\rho_\Lambda + (\rho + \rho_\Lambda) \left(4 \frac{c}{c} - \frac{G}{G} \right)$$

После решения соответствующих систем уравнений, были получены аналитические решения для плотности материи и масштабного фактора для каждой из рассматриваемых моделей. Отметим, что сохранение энергии-импульса не приводит к сохранению обычной материи в моделях с переменными константами. Следовательно, обычный закон $\mu \sim a^3$ не имеет место в подобной расширяющейся Вселенной.

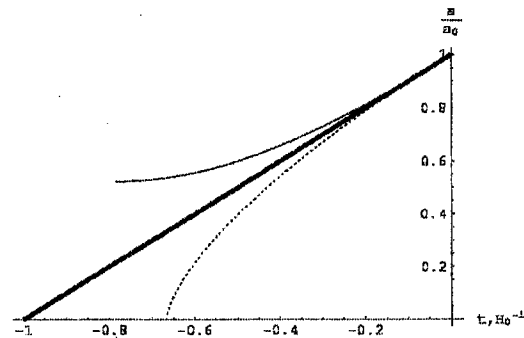


Рис.1 – Масштабный фактор как функция от времени для модели I с излучением. Время измерено в обратных единицах современного значения параметра Хаббла.

Качественный анализ решений в рассматриваемых моделях показал их интересные особенности, в частности наличие сепаратрисы в фазовом пространстве решений. Сепаратриса делит пространство решений на два класса: Фридмано-подобные, с начальной сингулярностью и нефридмановские решения, которые начинаются с отличного от нуля масштабного фактора и исчезающей плотности материи. Каждое решение характеризуется единственным параметром, так как параметр плотности определен таким же образом, как и в стандартной космологической модели.

$$\Omega_m = \frac{8\pi G_0}{3H_0^2} \mu_0$$

где μ - плотность материи, и индекс "0" означает сегодняшнее значение этих величин.

Сепаратриса для всех моделей задается единственным параметром: параметром плотности $\Omega_m = 2/3$, который указывает на скрытую

симметрию между моделями описываемыми весьма разными космологическими уравнениями. Простые модели с темной энергией обобщены с целью включения также и излучения и получены соответствующие решения. Главное различие в этом случае - это отсутствие сепаратрисы в моделях с излучением: все решения (за исключением модели с переменной космологической константой) начинаются с исчезающей плотности материи, в отличие от решений Фридмана. Имеется, однако, параметр плотности в этих моделях, который делит решение еще на два класса: в одном из классов плотность материи в вещественно доминируемой эпохе увеличивается, а в другом - уменьшается.

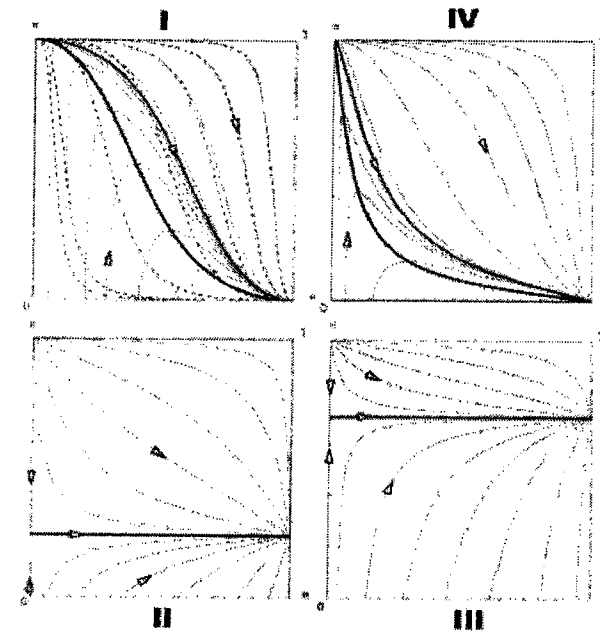


Рис.2 – Фазовые портреты для 4 моделей. Направления фазовых траекторий указаны стрелками. Верхний левый угол в каждой диаграмме соответствует фридмановской сингулярности с $\mu = \infty$ и $a=0$. Для моделей II и III сепаратриса - горизонтальная линия, показанная жирной кривой. Для моделей I и IV сепаратриса изображена в виде жирной пунктирной кривой.

Во второй Главе изучена динамика космологических возмущений плотности моделей с темной энергией в ньютоновском приближении. Это позволяет исследовать решения возмущений в контексте крупномасштабной структуры Вселенной. С этой целью получены релятивистские гидродинамические уравнения для моделей с переменными константами. Уравнение непрерывности имеет следующий вид

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \partial_\alpha (\mu v^\alpha) = -\mu \left(\frac{\dot{G}}{G} - 2 \frac{\dot{c}}{c} \right)$$

уравнение Эйлера:

$$\frac{\partial v_\alpha}{\partial t} + v_\beta \frac{\partial v_\alpha}{\partial x^\beta} + \frac{\partial p}{\mu \partial x^\alpha} + \frac{\partial \phi}{\partial x^\alpha} = -v_\alpha \frac{\dot{c}}{c}$$

и уравнение Пуассона:

$$\Delta \phi - 4\pi G \mu = 0$$

Таким образом, только уравнение Пуассона сохраняет свой вид по сравнению со стандартным ньютоновским описанием, а уравнение непрерывности и уравнение Эйлера содержат дополнительные члены, возникающие из-за переменных физических констант, а именно, скорости света и гравитационной постоянной.

Используя гидродинамические уравнения, мы находим, что возмущения плотности описываются дифференциальным уравнением второго порядка, которое имеет вид

$$\delta''(a) + \delta'(a) \left(\frac{3}{a} + \frac{1}{Na} \frac{\dot{c}}{c} + \frac{\dot{H}}{H} \right) - \frac{4\pi G \bar{\mu}}{H^2 a^2} \delta = 0$$

где δ - безразмерный контраст плотности, μ - невозмущенная плотность. Здесь, в отличие от соответствующего уравнения для моделей Фридмана, появляется дополнительный член, вызванный тем, что только скорость света не постоянная.

Найдены аналитические решения последнего уравнения для всех моделей с темной энергией. Решения сравнены с аналогичными фридмановскими решениями. Показано, что в радиационно и вещественно доминирующих стадиях нет различий в динамике возмущений между

нашей моделью I (переменная плотность энергии вакуума) и стандартной космологической моделью, однако, на последних стадиях возмущения растут согласно правилу "золотого сечения". В других моделях мы находим полиномиальную зависимость контраста плотности от масштабного фактора.

Выполнен анализ правдоподобия данных сверхновых звезд и радиогалактик с решениями предсказанными моделями с темной энергией.

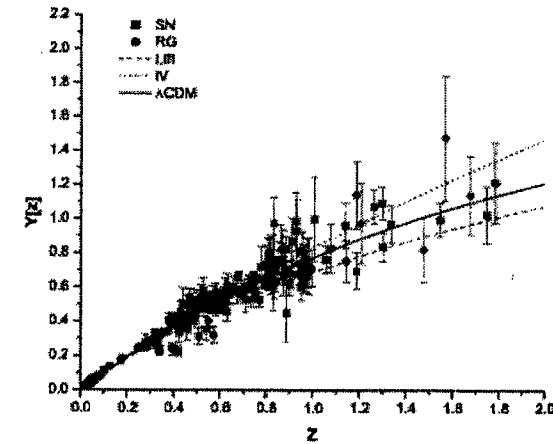


Рис 3 - Сравнение моделей с темной энергией I, III, IV с данными для сверхновых звезд и радиогалактик, где z - красное смещение и $Y[z]$ - безразмерное координатное расстояние. Кривые для всех кривизн, $k=0, +1, -1$, совпадают.

Важные космологические параметры, такие как возраст Вселенной и параметр замедления, были вычислены для всех четырех моделей и приводятся в нижеприведенной таблице.

Таким образом, анализ подтверждает критическую роль сепаратрисы не только для общего поведения решений, но также и в сравнении с наблюдениями, что априорно не очевидно, так как начальные уравнения весьма отличны.

k	Ω_m	I		II		III		IV	
		t_0, Gyr	q_0	t_0, Gyr	q_0	t_0, Gyr	q_0	t_0, Gyr	q_0
-1	0.3	4.21	-1.55	3.27	-5.82	3.19	-1.81	4.56	-3.55
	Ω_{dep}	14.0	0	∞	-4.00	13.9	0	27.8	-2.00
	0.999	9.31	2.00	28.0	-2.01	9.31	2.00	14.0	0
0	0.3	3.23	-1.70	3.65	-6.21	3.23	-2.20	3.44	-4.20
	Ω_{dep}	13.9	0	∞	-4.00	13.9	0	27.1	-2.01
	0.999	9.31	2.00	28.0	-2.00	9.31	2.00	14.0	0
+1	0.3	2.26	-3.43	4.23	-6.78	3.32	-2.79	2.35	-5.42
	Ω_{dep}	14.0	0	∞	-4.02	13.9	0	27.2	-1.99
	0.999	9.31	2.01	28.0	-2.00	9.31	2.00	14.0	0

Третья Глава посвящена исследованию карт космического микроволнового реликтового излучения, с целью выявления их свойств и сравнения с предсказаниями космологической модели. А именно, мы изучаем эллиптичность, которая является одним из функционалов Минковского для температурных анизотропий. Был выполнен анализ пикселизованных карт микроволнового фонового излучения, полученных за время трехлетней работы спутника Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Эти данные представлены в специальной сферической системе координат Healpix, и содержат также многочисленные шумы различной природы, которые были выявлены и отделены от космологического сигнала.

В пространстве постоянной отрицательной кривизны решение уравнения расхождения геодезических имеет следующий вид

$$n(\lambda) = n(0) \cosh \lambda + n'(0) \sinh \lambda$$

где n - вектор отклонения.

Траектории пучков, которые экспоненциально расходятся должны привести к дополнительному удлинению пятен анизотропии, что впервые было зарегистрировано спутником Cosmic Background Explorer (COBE, 1997).

Для пикселизованных карт были разработаны алгоритмы для определения эллиптичности анизотропных пятен, используя при этом данные трех лет работы спутника WMAP, полученные весной 2006 года.

Анализ пятен анизотропии показывает независимость

эллиптичности от температурного сечения, что предсказано эффектом геодезического смешивания. Нельзя при этом исключить, что полученное поведение карт реликтового излучения может содержать информацию также о топологии Вселенной.

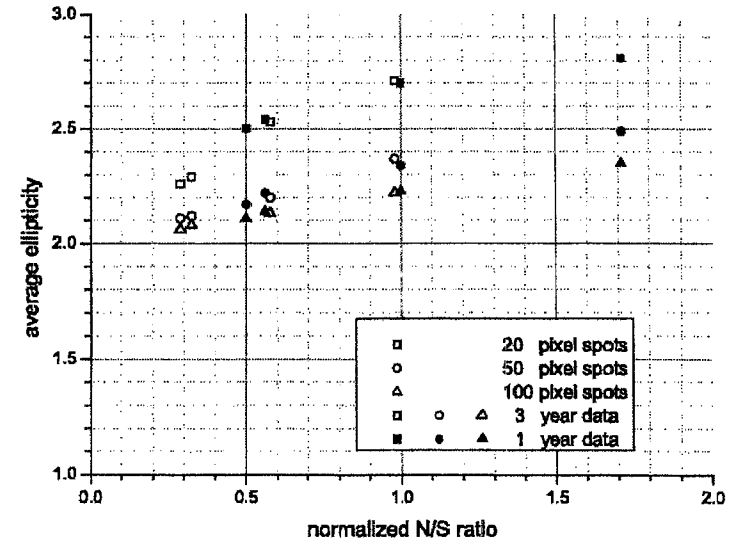


Рис 4 - Средняя эллиптичность анизотропных пятен в зависимости от отношения шум-сигнал для 1-летних и 3-летних карт спутника WMAP. Отношение шум-сигнал нормализовано к единице для 1-летней карты от одного из датчиков ($w1$).

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе следующие:

- Изучен новый класс космологических моделей, основанный на формуле плотности темной энергии полученной Гурздяном и Ксусе. Выведены космологические уравнения в случае, когда вовлеченные физические константы меняются со временем. Получены аналитические решения для четырех моделей.
- Качественный анализ решений в рассматриваемых моделях с

темной энергией показал их интересные особенности, в частности присутствие скрытой симметрии между моделями с совершенно разными космологическими уравнениями. Показано наличие сепаратрисы в фазовом пространстве решений. Для всех моделей сепаратриса определяется параметром плотности материи: $\Omega_m = 2/3$.

- Модели с темной энергией обобщены с целью включения также и изучения и получены соответствующие решения. Главное различие в этом случае - отсутствие сепаратрисы в моделях с изучения.
- В моделях с темной энергией была изучена динамика космологических возмущений плотности в ньютоновском приближении. Получены гидродинамические уравнения в случае, когда физические константы меняются со временем. Для каждой модели с темной энергией получены решения для возмущений плотности.
- Проведен анализ горячих и холодных температурных пятен карт анизотропии космического микроволнового реликтового излучения. Для карт полученных за 3 года измерений спутника WMAP определены значения эллиптичности пятен в зависимости от температурного сечения, а также другие критические параметры.

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., 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 Anisotropy 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. Vereshchagin G.V. and Yegorian G., *Hidden invariance in Gurzadyan-Xue cosmological models*, Phys.Lett. **B**, **636**, (2006), pp. 150-153.
5. Vereshchagin G.V. and Yegorian G., *Cosmological models with Gurzadyan--Xue dark energy*, Class. Quantum Gravity, **23**, (2006), pp. 5049-5061.
6. Khachatryan H., Vereshchagin G.V. and Yegorian G., *On the Intrinsic Invariance in Gurzadyan-Xue Cosmological Models.*, in: Proceedings of XI Marcel Grossmann Meeting on Gravitation (Berlin, 2006), (Eds. H.Kleinert, R.Jantzen, R.Ruffini), vol.B, World Scientific, 2007, pp. 1310-1313.
7. Yegorian G., *On Gurzadyan-Xue Cosmological models and dynamics of density perturbations.*, in: Proceedings of XI Marcel Grossmann Meeting on Gravitation (Berlin, 2006), (Eds. H.Kleinert, R.Jantzen, R.Ruffini), vol.B, World Scientific, 2007, pp. 1307-1309.
8. 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**, **363**, (2007), pp 121-124.

Ամփոփում

Հետազոտված է մութ էներգիայով մոդելների դաս, հենվելով Գուրզադյանի և Քսուեի կողմից ստացված վակուումի էներգիայի խտության բանաձևի վրա, որը այսօր գոյություն ունեցող միակ բանաձևն է, որ համապատասխանում է դիտումներին՝ առանց ազատ, անորոշ պարամետրերի: Կոսմոլոգիական հավասարումները արտածվել և լուծվել են այն դեպքում, երբ ընդգրկված ֆիզիկական հաստատումները փոխվում են ըստ ժամանակի: Ստացված լուծումները համեմատվել են Ֆրիդմանի մոդելի լուծումների հետ: Ստացված լուծումների փուլային տարածության ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ բոլոր մոդելների համար գոյություն ունի

սեպարատրիս, որի բնութագրիչը անսպասելիորեն ստացվել է նույնը բոլոր մոդելների համար, չնայած դրանց բնութագրող ոչ-գծային հավասարումները ունեն տարբեր տեսքեր: Դա վկայում է թաքնված սիմետրիայի մասին, որը հատուկ է այդ կոսմոլոգիական մոդելներին: Նյուտոնյան մոտավորությամբ հետազոտվել է խտության խտորումների էվոլյուցիան մութ էներգիայով կոսմոլոգիական մոդելների համար: Դուրս են բերված Պուասոնի, անընդհատության և էյլերի հավասարումները, երբ ֆիզիկական հաստատումները փոխվում են ըստ ժամանակի: Արտածված խտորումների էվոլյուցիայի հավասարումը լուծված է բոլոր մոդելների համար, և լուծումները համեմատվել են համապատասխան լուծումների հետ՝ ֆրիդմանյան մոդելների դեպքում: Տիեզերքի տարիքի և դանդաղման պարամետրի հաշվարկ է կատարված բոլոր 4 մոդելների համար: Կատարված է նաև մոդելների համեմատությունը գերնորերի և ռազիոգալակտիկաների տվյալների հետ: Կատարված է տիեզերական մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանային քարտեզների ուսումնասիրում՝ ստացված Wilkinson Microwave Anisotropy Probe արբանյակի կողմից: Սահմանվել են անիզոտրոպիայի բծերը և մշակվել է ալգորիթմ այդ բծերի էլիպտիկությունը՝ որպես կոսմոլոգիական ազդանշանի բնութագիր, հաշվելու համար: Կատարվել է այդ մեծության հաշվարկը մնացորդային ճառագայթման ջերմաստիճանային քարտեզների համար, հաշվի առնելով աղմուկների ներդրումը այդ երևույթում: Ստացվել են մնացորդային ճառագայթման անիզոտրոպիայի էլիպտիկության մեծությունները և հետազոտվել են այդ բնորոշիչի հատկությունները՝ ջերմաստիճանից կախված:

Լե. Ջիմաթ



Տպագրության եղանակը՝ ռիզոգրաֆիա:
Ֆորմատ՝ 60x84 1/16, թուղթ՝ օֆսեթ, N 1:
Տպաքանակ՝ 60:

Տպագրված է «Լիմուշ» ՍՊԸ-ի տպարանում:
Ք. Երևան, Տերյան 72
Դեռ. 58.22.99, 56.24.52
E-mail: info@limush.am