ӘОЖ 524.832

ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСЕТІН КОСМОЛОГЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ

Бегалы Назерке Ерұланқызы
nazi.begaly@mail.ru
Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 4-ші курс студенті
Нур-Султан,Қазахстан
Ғылыми жетекші: Цыба П.Ю

Қазіргі ғаламға космологиялық модель ұсынылған, ол өзара әрекеттеспейтін бариондық материядан және өзара әрекеттесетін қара компоненттерден тұрады. Күңгірт энергия мен Күңгірт зат олардың тиімді баротропты индекстері арқылы байланысады, олар энергия тығыздығы арасындағы байланыс функциялары ретінде қарастырылады. Күңгірт сектордағы минималды емес байланыс Ғаламның космологиялық кеңею тарихына және космологиялық құрылымдардың өсу жылдамдығын өзгерту арқылы тығыздық бұзылыстарының эволюциясына айтарлықтай әсер етуі мүмкін[1]. КЭ рөлін Ғаламның стационарлық моделін құру үшін А.Эйнштейн енгізген космологиялық тұрақты атқарады. Компоненттер арасында өзара әрекеттесу жоқ деген болжам әрбір компоненттің энергия тығыздығы тәуелсіз сақталу теңдеулеріне бағынатынын білдіреді.

Жұмыстағы бізде негізгі мақсат өзара әрекеттесу бойынша жалпы дифференциалданатын бірлікті табу және графигін құру болып табылады.
Бұл есепте бізде бірінші әсер берілген

$$S=\int d^4x\sqrt{-g}\left(\frac{R}{2k^2}-\frac{f'(G)}{2k^2}\left(G-24\frac{\ddot{a}\dot{a}^2}{a^3}\right)\right), \tag{1}$$

Мұндағы R- Риччи тензоры, G -Гравитациялық тұрақты.
Бұл әсерді космологиялық модельде шығару үшін екіншіден бізге ФРУ метрикасы берілді

$$ds^2 = -dt^4 + a(t)^2 \sum (dx^{\cdot})^2, \tag{2}$$

$$R = 6\left(\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2}\right), \tag{3}$$

$$G = 24\frac{\ddot{a}\dot{a}^2}{a^3}, \tag{4}$$

Тисінше, бізге келесі кезекте L Лагранжиан берілген

$$L = \frac{3}{k^2}(\dot{a}^2 a + \ddot{a}a^2) + \frac{f(G)a^3}{2k^2} - \frac{f'(G)}{2k^2}Ga^3 + \frac{12}{k^2}f'(G)\ddot{a}\dot{a}^2, \tag{5}$$

Бұл берілген Лагранжиан теңдеуінің бірінші бөлігінде $\dot{a}^2 a$ -дан құтылу үшін біз t уақыт бойынша туынды аламыз, және 0-ге теңестіреміз

$$(\dot{a}a^2)_t = \ddot{a}a^2 + \dot{a}2a\dot{a} = \ddot{a}a^2 + 2\dot{a}^2 a = 0, \tag{6}$$

Осылайша,

$$\ddot{a}a^2 = -2\dot{a}^2 a, \tag{7}$$

(7) теңдеуін аламыз. Сонымен қатар, (5) Лагранжиан теңдеуінде $f'(G)\ddot{a}\dot{a}^2$ мәнін (6) теңдеудегідей берілген мәннен құтылу үшін, тағы біз t уақыт бойынша туынды аламыз, және 0-ге теңестіреміз

$$(f'(G)\dot{a}^3)_t = f'(G)\dot{G}\dot{a}^3 + f'(G)3\dot{a}^2\ddot{a} = 0, \tag{8}$$

Осылайша,

$$-\frac{(f''(G)\dot{a}^3)_t}{3} = f'(G)\ddot{a}\dot{a}^2 \tag{9}$$

(9) теңдеудің мәнін табамыз. Алдағы t уақыт бойынша туынды алған (6) және (9) теңдеуді (5) теңдеуге қайадан әкеліп орнына қойып мәнін табамыз, сонда бізде толық Лагранжиан алынады

$$L = -\frac{3}{k^2}\dot{a}^2 a + \frac{f(G)}{2k^2}a^3 - \frac{f'(G)}{2k^2}Ga^3 - \frac{4}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3. \tag{10}$$

Бізге енді $\dot{a}$ бойынша және $\dot{G}$ бойынша туынды алу қажет. Сондықтан, бірінші нөлдік энергия шартын тауып аламыз

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{a}}\dot{a} = -\frac{3}{k}2\dot{a}^2 a - \frac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3, \tag{11}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{G}}\dot{G} = -\frac{4}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3, \tag{12}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{a}}\dot{a} + \frac{\partial L}{\partial \dot{G}}\dot{G} - L = 0, \tag{13}$$

мұндағы, (13) теңдеу Нөлдік энергия шарты деп аталады.

a бойынша қозғалыс теңдеуі

Келесі кезекте біз Эйлер-Лагранж теңдеуін қолданамыз, және осы Эйлер-Лагранж теңдеуі арқылы біз a бойынша қозғалыс теңдеуін аламыз. a бойынша қозғалыс теңдеуін алу үшін бірінші бізге Эйлер формуласын қажет етеміз. Эйлер формуласының бірінші мүшесі $\frac{dL}{\partial a}$ [2]. Осы берілген Лагранжианнан біз бірінші a бойынша туынды аламыз, екінші $\dot{a}$ бойынша туынды аламыз және $\dot{a}$-ның уақыт бойынша туындысын аламыз

$$\frac{\partial L}{\partial a} = -\frac{3}{k^2}\dot{a}^2 + \frac{3}{2k^2}f(G)a^3 - \frac{3}{2k^2}f'(G)Ga^3, \tag{14}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{a}} = -\frac{3}{k^2}2\dot{a}a - \frac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^2, \tag{15}$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{a\dot{a}} = -\frac{6}{k^2}\ddot{a}a - \frac{6}{k^2}\dot{a}^2 - \frac{12}{k^2}f'''(G)\dot{G}^2\dot{a}^2 - \frac{12}{k^2}f''(G)\ddot{G}\dot{a}^2 -$$

$$-\tfrac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}2\dot{a}\ddot{a} - \tfrac{3}{k^2}\dot{a}^2 + \tfrac{3}{k^2}f(G)a^2 - \tfrac{3}{k^2}f'(G)Ga^2, \tag{16}$$

Сәйкесінше 3-жолмен алынған туындыларды біз Эйлер формуласы жолымен шығарамыз, яғни

$$\frac{dL}{\partial a} - \frac{d\partial L}{dt\partial \dot{a}} = 0, \tag{17}$$

Осылайша біз алдағы барлық тапқан мәндерімізді (17) формулаға койып, есептейміз

$$-\frac{6}{k^2}\dot{a}^2a - \frac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3 - \frac{4}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3 + \frac{3}{k^2}\dot{a}^2a - \frac{f(G)}{2k^2}a^3 + \frac{f'(G)}{2k^2}Ga^3 + \frac{4}{k^2}f''(G)\dot{G}\dot{a}^3 = 0, \tag{18}$$

$$-\frac{3}{k^2}\frac{\dot{a}^2}{a^2} - \frac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}\frac{\dot{a}^3}{a^3} - \frac{f(G)}{2k^2} + \frac{f'(G)}{2k^2}G = 0, \tag{19}$$

$$\frac{3}{k^2}H^2 = \left(-\frac{12}{k^2}f''(G)\dot{G}H^3 + \frac{f'(G)G}{2k^2} - \frac{f(G)}{2k^2}\right) = \rho, \tag{20}$$

Сонымен, Эйлер формуласының орнына теңдеулерді қою арқылы біз a бойынша қозғалыс таптық. Және a бойынша қозғалыс теңдеуін біздер ρ деп алдық.

Өзара әрекеттесу бойынша табылған Q мәні

Бұл бөлімде біз баяу кеңею режимі жеделдетілген кеңею режиміне ауысқанда белгісі (яғни энергияның берілу бағыты) өзгеретін Q өзара әрекеттесулерін қарастырамыз[3].

$$f(G) = G^n, \tag{21}$$

Біз жұмыста Әлемдік модель үшін ыдырайтын космологиялық тұрақты деп қарастырамыз.

$$\dot{\rho}_\Lambda = -Q, \tag{22}$$

Фридман теңдеуі және Райчаудхури теңдеуі келесідегідей түрде болады[4].

$$H^2 = \frac{1}{3M_{pl}^2}\rho_{tot} = \frac{1}{3M_{pl}^2}(\rho_A + \rho_m), \qquad (23)$$

$$\dot{H} = \frac{1}{2M_{pl}^2}(\rho_{tot} + \rho_{tot}) = -\frac{\rho_m}{2M_{pl}^2}, \qquad (24)$$

Зерттей келе біз келесі түрді өзара әрекеттесу моделімен қарастырамыз

$$G = 24\frac{1}{3M_{pl}^2}(\rho_A + \rho_m)\left(-\frac{\rho_m}{2M_{pl}^2} + \frac{1}{3M_{pl}^2}(\rho_A + \rho_m)\right), \qquad (25)$$

Бұл жұмыста Q өзара әрекеттесу түрлерінің бірі ұсынылып, оның космологиялық салдары қарастырылады. Және біз есептерді қорытындылай келе бізге керекті мәнді шығарып алдық

$$Q = -\frac{1}{2k^2}\left[\frac{1}{G_0}\exp\left(\frac{G}{G_0}\right)\cdot\exp\left(\frac{G}{G_0}\right) + \left(\frac{1}{G_0}\right)^2\exp\left(\frac{G}{G_0}\right)\cdot G - \frac{1}{G_0}\exp\left(\frac{G}{G_0}\right) + 6H\frac{1}{G_0}\exp\left(\frac{G}{G_0}\right)G\right]. \quad (26)$$

Бізде есепте әсер S, Фридман-Робертсон-Уокер метрикасы ds, Риччи тензоры R, Гравитациялық тұрақты G және Лагранджиан L берілген. Осы берілген шарттар арқылы Эйлер Лагранж теңдеуінен қозғалыс теңдеуін тауып, олардан керек p және ρ мәнін табу керек. Осылайша есеп сонында бізге өзара әрекеттесу арқылы қолданып, Q мәнін тауып, график шығару.

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің жобасы аясында дайындалған (ЖТН жобасы: AP09261147).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. De Felice A., Tsujikawa Sh. Generalized Galileon cosmology // Physical review D. – 2009. – Vol.84, № 12. –P. 4029
2. Hassan, S. F., Rosen, Rachel A. Bimetric gravity from ghost-free massive gravity // Journal of High Energy Physics. – 2012. – Vol. 2012, № 2. – P. 123
3. Katsuragawa T. Properties of bigravity solutions in a solvable class // Physical Review D. – 2013. – Vol. 89. №12. – P.4007
4. Capozziello S., Francaviglia M., Makarenko A. N. Higher-order Gauss-Bonnet cosmology by Lagrange multipliers // Astrophysics and Space Science. – 2014. – Vol. 349, №1. – P.603