ӘОК 538

f(G) КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛІНІҢ ФАЗАЛЫҚ ПОРТРЕТТЕРІ

Арғынбай Бейбіт Жүзжасарұлы
argynbay.beibit@gmail.com
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, «Физика» мамандығының 4 курс студенті
Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекші- Цыба П.Ю.

Осы күнге дейін бақыланған космологиялық бақылау деректері [1] бізге Ғаламның үдемелі кеңейіп келе жатқанын көрсетті. Бұл құбылыстың генезисі мен эволюциясын дұрыс түсіну үшін классикалық теорияға айналып үлгерген Жалпы салыстырмалылық теориясын бақылау космологиясына сәйкестендіріп өзгерту қажет. Бұл үдеріске жауап беретін теориялық сипаттаманың мүмкін нұсқалары, оның ішінде, модификацияланған гравитацияны негізге алған күңгірт энергия моделі ұсынылды [2]. f(R) гравитация сияқты модификацияланған гравитация теорияларын қолдану Ғаламның эволюциясын түсінуге, соңғы уақыттағы Ғаламның үдемелі кеңеюін түсіндіруге мүмкіндік берді [3]. Осы теориялардың ішіндегі қызықты балама теориялардың бірі - модификацияланған Гаусс-Бонне гравитациясы немесе f(G) гравитациясы болып табылады [4]. Соңғы уақыттарда ғарыштық үдеуді түсіндіру үшін f(G) гравитацияның нақты модельдері [5] жасалынды. Жоғары ретті қисыққа түзетулер енгізудің салдарынан, f(G) -гравитациядағы болашақ соңғы уақыттың ерекшеліктері жойылатындығы көрсетілді. Гравитацияның кванттық және жалпы теориясын зерттеу үшін гравитацияны жалпыланған f(G) гравитация моделі ретінде зерттеу біршама қызықты.

Гаусс-Бонне модификацияланған гравитациясының әсерін қарастырамыз, ол мынадай өрнекпен анықталсын:

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

Сонымен қатар біз мұнда Фридман-Робертсон-Уокер (FRW) метрикасын қолданамыз

$$ds^2 = dt^2 - \sum dx_i dx^i \tag{2}$$

мұндағы

$$\sqrt{-g} = a^3$$

$$f' = f_G$$

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

Бұл жердегі $a = a(t)$-масштаб факторы. Бұл метрика үшін Гаусс-Бонне инварианты мынаған тең

$$G = 24\frac{\dot{a}^2\ddot{a}}{a^3} = 24H^2\dot{H} + 24H^4$$

мұндағы$H = \frac{\dot{a}}{a}$Хаббл коэффиценті.

Төрт өлшемді кеңістік-уақыттағы (1) әсерден шығатын лагранжианға келейік. Әсерді интегралдағаннан алынған нүктелік лагранжиан мынадай күйге ие болады

$$L = 3a\dot{a}^2 + \frac{f}{2}a^3 - \frac{f'}{2}a^3G - 24\frac{f''}{2}\dot{G}\dot{a}^3 \quad (3)$$

Жоғарыда келтірілген лагранжианнан шығатын қозғалыс теңдеуі

$$2\dot{H} + 3H^2 = \frac{f}{2} - \frac{f'}{2}G - 24\frac{f'''}{2}\dot{G}H^2 - 24\frac{f''}{2}\ddot{G}H^2 - 12f''\dot{G}H\dot{H} - 12f''\dot{G}H^3 \quad (4)$$

түрінде болады.

Теңдіктің оң жағы $-p$ -ға тең, демек

$$2\dot{H} + 3H^2 = -p \quad (5)$$

(3) лагранжианның нөлдік энергиясы мына түрге ие болады

$$3H^2 = 72\frac{f''}{2}\dot{G}\frac{\dot{a}^3}{a^3} + \frac{f}{2} - \frac{f'}{2}G \quad (6)$$

Теңдіктің оң жағы ρ-ға тең, солай екен:

$$3H^2 = \rho \quad (7)$$

f(G) гравитация моделін $f(G) = G^n$түріндегі жеке жағдайынқарастырамыз. (5) пен (7)-ші теңдеулерді ескере отырып, Фридман-Робертсон -Уокер (FRW) метрикасы үшін ρ тығыздық пен p қысымды мына түрде жаза аламыз

$$\begin{cases} 3H^2 + 2\dot{H} + p = 0 \\ 3H^2 - \rho = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Осыдан

$$\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0 \quad (9)$$

(4) пен (6)-шы теңдеулерді пайдалана отырып nайнымалысы үшін әртүрлі мәндерді қарастырып көреміз және осы арқылы $\dot{H}$ пенH шамаларының арасындағы өзара тәуелділік теңдеуін жазамыз.

a) $n = 2$ жағдайы үшін.

(9)-шы теңдеудің элементтері $n = 2$ болған жағдайда мынадай түрге ие болады:

$$\rho = 72\dot{G}H^3 - \frac{G^2}{2}$$

$$\dot{\rho} = 72\ddot{G}H^3 + 216\dot{G}H^2\dot{H} - G\dot{G}$$

$$p = \frac{G^2}{2} + 24\ddot{G}H^2 + 24\dot{G}H\dot{H} + 24\dot{G}H^3$$

Осыдан

$$144\ddot{G}H^3 + 288\dot{G}H^2\dot{H} + 288\dot{G}H^4 - G\dot{G} = 0 \qquad (10)$$

Осылайша, $n = 2$ жағдайында $\dot{H}$ пенH шамаларының арасындағы өзара тәуелділік теңдеуі мына түрде жазылады

$$5\dot{H}^2 + 113H^5\dot{H} + 52H^6 = 0 \qquad (11)$$

b) $n = 3$ жағдайы үшін.

(9)-шы теңдеудің элементтері$n = 3$ болған жағдайда мынадай түрге ие болады

$$\rho = 216G\dot{G}H^3 - G^3$$

$$\dot{\rho} = 216\dot{G}^2H^3 + 216G\ddot{G}H^3 + 648G\dot{G}H^2H - 3G^2\dot{G}$$

$$p = G^3 + 72\dot{G}H^2 + 72G\ddot{G}H + 72G\dot{G}H\dot{H} + 72G\dot{G}H^3$$

Осыдан

$$\dot{G}^2H^3 + G\ddot{G}H^3 + 4G\dot{G}H^2\dot{H} - \frac{1}{72}G^2\dot{G} + 4G\dot{G}H^4 + \dot{G}H^3 + G\ddot{G}H^2 = 0 \qquad (12)$$

Онда $n = 3$ жағдайындағы$\dot{H}$ пенH шамаларының арасындағы өзара тәуелділік теңдеуі былай жазылады

$$\frac{143}{72}H\dot{H}^3 + \frac{443}{12}H^3\dot{H}^2 + \frac{479}{8}H^5\dot{H} - \frac{287}{18}H^7 + \dot{H} + 4H^2 - 3\dot{H}^3 + 5H^2\dot{H}^2 + 8H^4\dot{H} = 0 \qquad (13)$$

Модификацияланған гравитация шеңберіндегі бұл жұмыста$f(G)$ гравитация теориясының моделі қарастырылды. n параметрінің екі мәні үшін Хаббл параметрінің фазалық тәуелділіктері алынды.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылады АР08052034.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Abraham N. et.all. Planck 2018 results. V. CMB power spectra and likelihoods // Astronomy and Astrophysics. – 2020. – Vol.641. –p.92
2. Nojiri S., Odintsov S.D., Oikonomou V.K. Modified gravity theories on a nutshell: Inflation, bounce and late-time evolution // Physics Reports – 2017. – Vol.692. – p. 1
3. Odintsov S.D., Oikonomou V.K., Sebastiani L. Unification of constant-roll inflation and dark energy with logarithmic R^2 -corrected and exponential F(R)gravity // Nuclear Physics B – 2017. – vol. 923 – p.608–632
4. Sharif M., Fatima H. Ismat Noether symmetries in f(g) gravity // ЖЭТФ – 2016. –Vol.1, T.149. – стр. 121–130
5. Chirkov D, Pavluchenko S.A Some aspects of the cosmological dynamics in Einstein-Gauss-Bonnet gravity // arXiv:2101.12066