Подсекция 1.3. Общая и теоретическая физика

ӘОЖ 524.832

f(G) ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ӘДІСІ

Арғынбай Бейбіт Жүзжасарұлы

argynbay.beibit@gmail.com

Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Жалпы және теориялық физика кафедрасы,

7М05304-Физика мамандығының1 курс магистранты,

Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Ғылыми жетекшісі – П.Ю. Цыба

Космологияны зерттеудегі ең қызықты теориялардың бірі - модификацияланған Гаусс-Бонне гравитациясы немесе f(G)-гравитация болып табылады [1]. Қарастырылып отырған модельдің қозғалыс теңдеулерін келесі әсерден алуға болады

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

мұндағы R – скаляр қисығы және G – Гаусс-Бонне инварианты, ол мынадай мәнге ие,

$$G = 24H^2\dot{H} + 24H^4 .$$

Фридман-Робертсон-Уокер (ФРУ) метрикасы келесідей

$$ds^2 = dt^2 - a(t)\sum dx_i dx^i , \tag{2}$$

мұндағы $a(t)$ - масштаб фактор деген атпен белгілі өлшемі жоқ функция.

Қысым мен тығыздықты сипаттайтын теңдеулер келесідей

$$3H^2 + 2\dot{H} = -p , \tag{3}$$

$$3H^2 = \rho . \tag{4}$$

Энергияның сақталу теңдеуі [2]

$$\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0 , \tag{5}$$

мұндағы

$$p = -\frac{1}{2}f + \frac{1}{2}f'G - 4f'''\dot{G}H^2 - 4f''\ddot{G}H^2 - 8f''\dot{G}H^2 , \tag{6}$$

$$\rho = 12f''\dot{G}H^3 + \frac{f}{2} - \frac{f'}{2}G . \tag{7}$$

Әрі қарай, біз жалпы әдісті, әдебиетте зерттелген нақты өміршең модельдерге қолданамыз. Көріп отырғанымыздай, біз динамикалық жүйелердің стандартты әдістерін қолдана отырып, әдебиетте алынған нәтижелерді шығара аламыз, сонымен қатар олардың айырмашылықтары мен ұқсастықтарына назар аудара отырып, Ғаламның глобальді характеристикасы туралы қосымша ақпарат бере аламыз [3]. Атап айтқанда, келесі бөлімде f(G) дәрежелік моделін бөлек қарастырып көреміз.

f(G) дәрежелік моделі мына күйде берілсін

$$f(G) = G + \alpha(-G)^b, \tag{8}$$

көріп отырғанымыздай мұнда α және b болып табылатын екі модель параметрі бар (біріншісі $[length]^{2(b-1)}$ өлшемімен сипатталса, екіншісі өлшемсіз).

Фридманның қазіргі уақыт сәтіндегі бірінші теңдеуі мына түрде жазылады

$$H^2 = 4f''\dot{G}H^3 + \frac{f}{6} - \frac{f'}{6}G. \tag{9}$$

(8) теңдеуді Фридманның қазіргі уақыт сәтіндегі бірінші теңдеуіне (9) қоя отырып, α мен b арасындағыарақатынасты таба аламыз

$$H^2 = \frac{1}{6}(24f''\dot{G}H^3 + f - f'G), \tag{10.1}$$

$$6H^2 = (b-1)\left(24\alpha b(G)^{b-2}\dot{G}H^3 - \alpha(G)^b\right), \tag{10.2}$$

$$\alpha = \frac{6H^2}{\left((b-1)G^b\right)\left(24bH^3\frac{\dot{G}}{G^2} - 1\right)}. \tag{10.3}$$

Енді жоғарыда сипатталған динамикалық жүйе әдісінің жалпы f(G)-космология жағдайына қолданылуына тоқталайық. Жоғарыда айтқанымыздай, зат пен қысымның энергетикалық тығыздығын H функциясы арқылы өрнектей аламыз, яғни (5) және (9) арқылы біз мынадай формуланы жаза аламыз [4]

$$\dot{H} = 3(1+\omega)\left[\frac{\tilde{f}(H) - H\tilde{f}_H}{\tilde{f}_{HH}}\right] = \tilde{F}(H). \tag{11}$$

Бұл $p = \omega\rho$ сипаттамасы бар жалпы баротропты сұйықтық затының теңдеуі.

Мұндағы $\tilde{f}_H = \frac{\partial\tilde{f}}{\partial H}$ және $\tilde{f}_{HH} = \frac{\partial^2\tilde{f}}{\partial H^2}$.

(11) теңдеу жалпы f(G)-космологиядағы бір өлшемді автономды жүйенің негізгі теңдеуі болып табылады. Бәрінен бұрын, бұл теңдеу тұрақты нүктелердің барлығы мен аяқ астынан ерекшеліктердің болу-болмауын анықтайды.

Біздің модель үшін бұл теңдеудің элементтері мынадай түрде беріледі

$$\tilde{f}(H) = f(24H^2\dot{H} + 24H^4), \tag{12.1}$$

$$\tilde{f}_H = 48H\dot{H} + 96H^3 + \alpha b(24H^2\dot{H} + 24H^4)^{b-1}(48H\dot{H} + 96H^3), \tag{12.2}$$

$$\tilde{f}_{HH} = 48\dot{H} + 288H^2 + \alpha b(b-1)(24H^2\dot{H} + 24H^4)^{b-2}(48H\dot{H} + 96H^3)^2. \tag{12.3}$$

Бұл элементтерді (11) теңдеуге апарып қойғаннан алатын нәтижеміз

$$\dot{H} = 3(1+\omega)\left[\frac{\alpha(24H^2\dot{H}+24H^4)^b - 24H^2\dot{H} - 72H^4 - \alpha b(24H^2\dot{H}+24H^4)^{b-1}(48H^2\dot{H}+96H^4)}{48\dot{H}+288H^2+\alpha b(b-1)(24H^2\dot{H}+24H^4)^{b-2}(48H\dot{H}+96H^3)^2}\right]. \quad (13)$$
$$= \tilde{F}(H)$$

Бізді күңгірт энергия дәуірі қызықтыратындықтан, біз тозаңды материяға баса назар аударамыз және $\omega = 0$ жағдайын қарастырамыз. Сонымен қатар, $H > 0$ жартылай жазық жазықтықтағы қозғалмайтын нүктелерді анықтау үшін (13) теңдеуді $\dot{H} = 0$ жағдайында қарастырамыз.

$$\dot{H} = 3(1+\omega)\left[\frac{\alpha(24H^4)^b - 72H^4 - 4\alpha b(24H^4)^b}{288H^2 + 16H^4\alpha b(b-1)(24H^4)^b}\right] = \tilde{F}(H)\,. \quad (14)$$

Өту уақытын дәлірек білу арқылы b параметрін шектей аламыз. Мұны $H = H_{tr}$ болған жағдайда $\dot{H} = -H^2$ деп алып, фазалық портреттің нөлдік үдеу қисығымен қиылысуын анықтау арқылы орындауға болады [5]. (13) теңдеудің көмегімен біз мынаны табамыз

$$\alpha = -\left(24H_{tr}^4\right)^{1-b}\frac{3}{\left[3 - 12b + 16b(b-1)\right]}, \quad (15)$$

осы өрнекті (10.3) теңдеуімен салыстыра отырып, мынадай пайдалы арақатынасты анықтай аламыз

$$H_{tr}^4 = -\frac{1}{24}\left[\frac{6H_0^2 - 24H_0^2 b + 32H_0^2 b(b-1)}{\left(24b(b-1)\frac{1}{H^2}(24H_0^4)^b\right) - b(24H_0^4)^b + (24H_0^4)^b}\right]^{\frac{1}{1-b}}. \quad (15)$$

Осылайша, фазалық кеңістік портреттерін қолданудан көріп отырғанымыздай, f(G) дәрежелік моделі қызықты феноменологияға әкелуі мүмкін.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (№AP09261147 Грант).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 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 //

2 Ferraro R., Fiorini F., Modified teleparallel gravity: Inflation without an inflaton// Physical Review D. – 2007. – Vol.75. – P. 084031.

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]