Мы рассмотрели случаи $f(R) = R$ для гибридного масштабного фактора $a = a_0^{\alpha t} t^{\beta}$. Нашли функцию скалярного поля, скалярного потенциала, давления, плотности, тёмной энергии. Построили графики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, грант № 0118RK00935 и грант AP08051910.

Список использованных источников

1. Myrzakulov R., Saez-Gomez D., Tureanu A. On the ΛCDM Universe in F(R) gravity // GeneralRelativity and Gravitation. – 2001. – Vol.43, №6. – P. 1671-1684

2. Tsyba P., Kulnazarov I., Yerzhanov K., Myrzakul Sh., Myrzakulov R. G-essence with Yukawa Interactions // The European Physical Journal C. – 2011. – Vol.71, 7. – P. 1698

ӘОЖ 524.882(035.3)

ТӨРТ ӨЛШЕМДІ КЕРР ҚАРА ҚҰРДЫМЫ

Барбосынова Сәния Нұрлыбекқызы

miss_saniya99@mail.ru

6В060400-«Физика» мамандығының 4-курс студенті, Л.Н.Гумилева ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі – Алтайбаева А.Б.

Жалпы салыстырмылық теориясының Римандық уақыт-кеңістігіндегі d өлшемдіге дейін кеңеюі Керр қара құрдымының негізгі қасиеттері туралы көбірек ақпарат береді.

Мысалы, бірлік теоремалары төрт өлшемдіге қарағанда өлшемдік көп түрлерде орындалмайды. Бұл, мұндай алуан түрлілікте еркіндік дәрежелерін қолдануға көбірек мүмкіндіктер жасайтындығына байланысты [1]. Мысалы, бес өлшем үшін қосымша айналмалы симметрия, айналмалы объектке тағы бір момент қосады.

d-өлшемді уақыт кеңістігіне арналған қара объектердің әртүрлі түрлері бұрын [2] жұмысында қарастырылған. Көп өлшемді қара объекттердің тағы бір қызықты ерекшелігі көкжиектің топологиясына қатысты. Төрт өлшемді конфигурацияда Киллинг горизонтының топологиясы S^2 деп тривиалды түрде бекітілген. Алайда, бес өлшемді жағдайда бізде басқа топология қарастырамыз - сақина тәрізді ерекшелігі бар қара объекттердің топологиясы немесе ұзартылған супергравитация қара құрдымдары үшін ішегінің топологиясы $S^2 \times P$. Сонымен қатар, қара құрдымдардың фазалық ауысу құрылымы мүлдем басқаша көрінеді. d-өлшемді Керр қара құрдымына арналған шешім тек бір нөлдік моментімен МП қара құрдымға сәйкес келеді.

Төменде термодинамиканың және геометротермодинамиканың негізгі теңдеулерін зерттеу үшін $d = 4$ өлшемінің нақты жағдайын қарастырамыз.

[1] жұмыстағы белгілерді сақтай отырып массаға арналған фундаменталды теңдеуді жазамыз

$$M(S,J) = \frac{1}{2} S^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{4J^2}{S^2}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

Жалпы алғанда, бұл теңдеуді инвертирлеу мүмкін емес, сондықтан тек массаның ұғымында ғана жұмыс жасаймыз. (3.19)-шы формуладан шығатыны $T = \frac{\partial M}{\partial S}$ температура және горизонттағы $\Omega = \frac{\partial M}{\partial J}$ бұрыштық жылдамдық келесі формулалар арқылы анықталады.

$$T(S,J) = \frac{4\frac{J^4}{S^4}}{S^{\frac{1}{2}}\left(1+4\frac{J^2}{S^2}\right)}, \quad (S,J) = \frac{2J}{S^{\frac{3}{2}}\left(1+4\frac{J^2}{S^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \tag{2}$$

Осылардан Керр қара құрымы үшін экстремалды шектеу бар екенін көруге болады. Өлшемі $d = 4$ болғандықтан, мұндай объект$J^2/M^2 = 0$ қатынасымен Майер-Перри қара құрдымынан өзгеше болады.

Керр қара құрдымының термодинамикасындағы фазалық ауысу құрылымын қарастыру үшін осы ұсыныста сәйкес жауап функциясын есептейміз. Тұрақты J бұрыштық момент жағдайында жылу сыйымдылығы [3] сәйкес анықталады

$$C_J = \frac{M_J}{M_{JJ}} = -\frac{2S(S^4+16J^4)}{-48J^4+24S^2J^2+S^4}, \tag{3}$$

мұнда изоэнтропикалық сығылуды анықтау мүмкін болмай қалады да, біз изоэнтропикалық ұлғаю коэффициенті келесідей жазамыз

$$\alpha_S = \frac{M_{SJ}^{-1}}{J} = \frac{1}{32JS^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{2\,(S^2+4J^2)^{\frac{3}{2}}}{-4J^2-3S^2}. \tag{4}$$

Бұл жағдайда жылу сыйымдылығының сәйкессіздігі келесі нүктеде пайда болады

$$\left.\frac{J^2}{S^2}\right|_{\text{фазалық ауысу}} = \frac{1}{12+8\sqrt{3}} \tag{5}$$

Өрнектің оң жағы (5) нақты болып табылады, бұл белгілі бір жылу сәйкессіздігі бар деген қорытындыға әкеледі. Жауап беру функциясына келетін болсақ, шарт орындалған кезде ол бөлінеді

$$\left.\frac{J^2}{S^2}\right|_{\text{фазалық ауысу}} = \infty \tag{6}$$

$d = 4$ үшін, сингулярлы жылу сыйымдылығы қара құрдым аймағында анық емес болады немесе оның шамасы өте үлкен деп қарастыруға болады.

(1) негізгі теңдеуді мен жалпы метриканы назарға ала отырып, Кердің төрт өлшемді қара құрдымы үшін масса көрінісінде қисықтық метрикасының скалярды есептейміз.

Бұрынғы жұмыста [4] конформалық арақатынас метриканың байланысын энтропия қызметі g_S^{II} және метрика функциясы ретінде g_M^{II} массасынан функция ретінде Кердің төрт өлшемді қара құрдымы үшін жазуға мүмкіндік беретіні көрсетілген .

$$g_S^{II} = -\frac{M - J\Omega}{T^2(ST+J\Omega)}\, g_M^{II}, \tag{7}$$

мұндағыT– температура;

Ω-горизонттың бұрыштық жылдамдығы.

Масса көрінісінде (3.20) теңдеудің метрикасын есептейміз [39].

$$g_M^{II} = \frac{1}{32\,(S^2+4J^2)}\left[S^{-3}(-48J^4 - 24S^2J^2 + S^4)dS^2\right] \tag{8}$$

Жоғарыда келтірілген (3.25) және (3.26) теңдеулерді қолдана отырып, энтропия көрінісінде метрикасы келесідей жазылады

$$g_S^{II} = \frac{32S^3}{S^2-4J^2} \cdot g_M^{II} \tag{8}$$

Бес өлшемді Керр қара құрдымының қисықтық скаляры екі жағдайда да анықталады

$$R_M^{II} = \frac{N_1(S,J)}{2A_1(S,J)^2 B_1(S,J)^2}, \tag{9}$$

мұндағы,

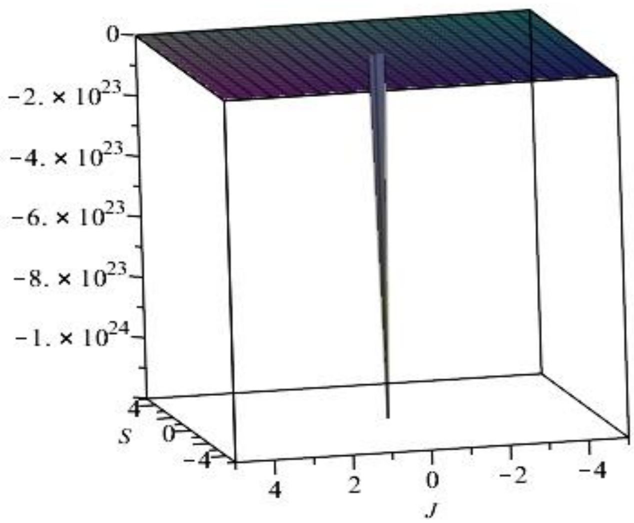
$$A_1(S,J) = -48J^4 - 24S^2J^2 + S^4 \tag{10}$$

$$B_1(S,J) = -2S^2 \tag{11}$$

Осылайша, теңдеу (3.28)көрініске ие болады

$$R_M^{II} = \frac{240\left(S^2+4J^2\right)^{\frac{4}{3}}(16J^4-S^4)}{(-48J^4-24S^2J^2+S^4)(-2S^2)}, \tag{12}$$

және тиісті тәуелділік кестесі қисықтық скалярыың энтропия мен бұрыштық моментке тәуелділігінің сәйкес графигі 1-суретте көрсетілген[1].



1-сурет. Масса көрінісіндегі қисықтық скалярының S энтропияға және J бұрыштық моментке тәуелділігі 0-ден 0,20-ға дейін

1-суретте әртүрлі мәндердегі энтропия мен бұрыштық импульске байланысты R_M^{II} қисық скалярының сингулярлығының кейбір нүктелері көрсетілген, бұл Керрдің төрт өлшемді қара құрдымының кеңістікпен әрекеттесуін растайды. Мұндакөрсетілген нүкте энтропия және бұрыштық моменттің әртүрлі мәндерінде скаляр қисықтығы сингулярлығымен байланысты Керрдің төрт өлшемді кеңістікпен қара құрдымның әсерлесуін растайды.

Сонымен, осы бөлімде біз төрт өлшемді Керрдің қара құрдымының геометриялық құрылымын қарастырдық. Біз геометриотермодинамика формализм әдісін қолдана отырып, ол дифференциалды геометрия концепция тұрғысынан өзара әрекеттесу және фазалық ауысулар, қисықтық және сингулярлық сияқты термодинамикалық қасиеттерді ұсындық. Алынған критикалық нүктелер, термодинамикалық функцияларындағы сәкессіздік анализі нәтижесінде алынған шешімін көрсетеді. Қара құрдымдардың термодинамикасында, ерекше жылудың критикалық нүктелері әдетте екінші ретті фазалық ауысуларда пайда болуымен байланысты.

Сонымен осы бөлімде біз, төрт өлшемді Керрдің қара құрдымының геометриялық құрылымын қарастырдық. Дифференциалды геометрия ұғымы тұрғысынан өзара әрекеттесу және фазалық ауысулар, қисықтық және сингулярлық сияқты термодинамикалық қасиеттерді білдіретін геометротермодинамика формализм әдісі қолданылады. Термодинамикалық функцияларындағы айырмашылықтарды талдаудан алынған маңызды критикалық нүктелері алынды. Қара құрдымының термодинамикасында ерекше жылудың критикалық нүктелері әдетте екінші ретті фазалық ауысулардың пайда болуымен байланысты. Керрдің төрт өлшемді қара құрдымы жағдайында жауап есебі фазалық ауысуды зерттеуге мүмкіндік береді. Алайда, мұндай тәсіл басқа термодинамикалық потенциалды есептеу мүмкін емес, сондықтан барлық есептеулер масса және энтропия тұрғысынан жүргізіледі. Бұл нәтиже геометротермодинамика қара тесігі құрылымының фазалық ауысуын дұрыс көбейте алады деген тұжырымды растайды.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Алтайбаева А.Б.. Геометродинамика некоторых топологических объектов: Монография - Нур-Султан, 2019. - 147 б.
2. Kovtun P., Son D. T., Starinets A. O. Holography and hydrodynamics: diffusion on stretched horizons // Journal of High Energy Physics. – 2003. – Vol. 2003, №10.
3. Bravetti A., Nettel F. Thermodynamic curvature and ensemble nonequivalence // Physical Review D. – 2014. – Vol. 90. – P. 044064.J
4. Emparan R., Reall H.S. Black holes in higher dimensions // Living Review in Relativity. – 2008. – Vol. 11, №6. – P.0801.

УДК 834

СТЕПЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С МИНИМАЛЬНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

[1]Беремжанова Э.У., [2]Шанина З.К.
elmiraberemzhanova@gmail.com
[1]Студент 4 курса специальности 5В060400-физика ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
[2]Докторант PhD 3 курса специальности 6D060400-Физика ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – О.В. Разина

Рассмотрим действие для модели f-эссенции

$$S=\frac{1}{16\pi G}\int d^4x\sqrt{-g}[f(R)+2K(Y,\bar{\psi},\psi)], \quad (1)$$

где $f(R)$-некоторая функция скалярной кривизны, Y - кинетический член фермионного поля ψ, $\psi=(\psi_1,\psi_2,\psi_3,\psi_4)^T$- фермионная функция и $\bar{\psi}=\psi^+\gamma^0$- сопряженная функция, а K - некоторая функция ее аргументов.

Рассмотрим модель f-эссенции при помощи метрики Фридмана-Робертсона-Уокера (ФРУ), которая является общим видом метрики однородного и изотропного пространства [1-2]

$$ds^2=-dt^2+a^2(t)(dx^2+dy^2+dz^2), \quad (2)$$

здесь $a(t)$-масштабный фактор, x, y, z - безразмерные координаты.

Кинетический член фермионного поля ψ для метрики ФРУ имеет вид