**Гравитационные волны в теории относительности Хаяши-Ширафуджи**

**Головнев А.В.1, *Семенова* А.Н.2, *Вандеев В.П.* 3**

1Профессор, 2научный сотрудник, 3аспирант,

1Centre for Theoretical Physics, The British University in Egypt,
El Sherouk City, Cairo 11837, Egypt
2,3Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Гатчина, 188300, Россия
E–mail: vandeev\_vp@pnpi.nrcki.ru

Несмотря на грандиозные успехи теории относительности Эйнштейна в описании гравитационных явлений, она имеет ряд космологических сложностей, связанных в первую очередь с природой темных секторов. Это приводит нас к естественному заключению о том, что-либо они состоят из неизвестных нам элементарных частиц, либо, что гравитацию на определенных масштабах нужно описывать отличным от ОТО образом. Мы рассматриваем трехпараметрическое обобщение [1] телепараллельного эквивалента эйнтшейновской общей теории относительности TEGR, где плотность лагранжиана имеет вид

$\frac{a}{4}T\_{αβμ}T^{αβμ}+\frac{b}{2}T\_{αβμ}T^{βαμ}-cT\_{μ}T^{μ},$ (1)

который при $a=b=c$ становится плотностью лагранжиана TEGR. В рамках этой теории основной геометрической характеристикой пространственно-временного многообразия является кручение

$T\_{αβμ}=g\_{αγ}e\_{a}^{γ}\left(∂\_{β}e\_{μ}^{a}-∂\_{μ}e\_{β}^{a}\right),$ $T\_{μ}=g^{αβ}T\_{αμβ},$ (2)

а динамической переменной является тетрада $e\_{μ}^{a}$, которая с помощью плоской метрики Минковского $η\_{ab}$ задает риманову метрику

$g\_{μν}=e\_{μ}^{a}e\_{ν}^{b}η\_{ab}.$ (3)

В рамках этой теории мы рассматриваем линейные возмущения вакуумных уравнений движения над плоской тетрадой $e\_{μ}^{a}=δ\_{μ}^{a}$ в виде

$e\_{0}^{0}=1+ϕ,e\_{i}^{0}=∂\_{i}β+u\_{i},e\_{0}^{i}=∂\_{i}ζ+v\_{i},e\_{j}^{i}=1-ψδ\_{ij}+∂\_{ij}^{2}σ+∂\_{j}c\_{i}+ϵ\_{ijk}\left(∂\_{k}s+w\_{k}\right)+\frac{1}{2}h\_{ij},$ (4)

Где $u\_{i},v\_{i},w\_{i},c\_{i}$- бездивергентные вектора, $h\_{ij}$- симметричная, бесследовая, и бездивергентная матрица. Эти возмущения упрощаются фиксацией калибровки $σ=0,c\_{i}=0,β=ζ,$ что после замен $w\_{i}=ϵ\_{ijk}∂\_{k}χ\_{k},M\_{i}=\frac{u\_{i}-v\_{i}}{2},L\_{i}=\frac{u\_{i}+v\_{i}}{2},$ ведет к тому, что в первом порядке теории возмущений уравнения движения в тензорном секторе имеют вид

$\left(a+b\right)\left(h\_{ij}''-Δh\_{ij}\right)=0,$ (5)

в векторном секторе

$\left(a+b\right)\left(M\_{i}''-ΔM\_{i}\right)=0,$ (6)

$\left(a+b\right)M\_{i}-\left(a-b\right)\left(L\_{i}+χ\_{i}'\right)=0,$ (7)

$\left(a+b+2c\right)M\_{i}'-\left(a+b-2c\right)\left(L\_{i}'+Δχ\_{i}\right)=0,$ (8)

в скалярном секторе

$4cψ+\left(2c-a-b\right)\left(ζ'-ϕ\right)=0,$ (9)

$\left(2c-a-b\right)Δζ+\left(6c-a-b\right)ψ'=0,$ (10)

$2cϕ-\left(4c-a-b\right)ψ-\left(2c-a-b\right)ζ'=0,$ (11)

$\left(a-b\right)\left(s''-Δs\right)=0.$ (12)

Анализируя систему уравнений (5)-(12), определяем характер всех переменных, в рамках моделей, реализуемых при различных комбинациях параметров $a,b,c.$ Оказывается, что в первом порядке теории возмущений подобно ОТО [2], то есть при $a=b=c,$ где уравнения движения имеют вид

$ϕ=ψ=0,M\_{i}=0,h\_{ij}''-Δh\_{ij}=0,$ (13)

ведут себя две модели:

1. $2c=a+b,$где уравнения движения

$ϕ=ψ=0,s''-Δs=0,M\_{i}=0,L\_{i}=-χ\_{i}'h\_{ij}''-Δh\_{ij}=0.$ (14)

Откуда видно, что динамика метрических переменных $ϕ,ψ,M\_{i},h\_{ij}$тождественна (13), а Лоренцевы переменные $s,L\_{i},χ\_{i}$ перестают быть полностью калибровочными, но так как они не входят в метрику, то на наблюдаемые величины влияния не окажут.

1. $a=b=3c$ где уравнения движения

$ϕ+ψ=ζ=0,M\_{i}=0,L\_{i}'=-Δχ\_{i},h\_{ij}''-Δh\_{ij}=0.$ (15)

Где также видно, что тензорные переменные$h\_{ij}$подчиняются волновому уравнению, вектор$M\_{i}$тривиален, метрические скаляры обладают несколько большей свободой по сравнению с ОТО, а среди Лоренцевых переменных лишь скаляр$s$и вектор$χ\_{i}$калибровочные, тогда как на остальные наложены связи.

Остальные шесть моделей даже в линейном порядке очень далеки от эквивалента ОТО, поэтому малоприменимы к описанию физики.

Таким образом мы рассмотрели одно из возможных обобщений TEGR, в рамках линейной теории возмущений и обнаружили две модели, которые могут быть интересны для дальнейшего исследования при поиске модификаций теории относительности.

**Литература**

1. K. Hayashi, T. Shirafuji. New general relativity. Physical Review **D**19(1979) 3524
2. A. Golovnev, A.N. Semenova, V.P. Vandeev.Gravitational Waves in New General Relativity. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics JCAP01(2024)003