

УДК 530.12, 524.834, 53.043

© Жогин И. Л., 2025

ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В ПЯТИМЕРНОМ АБСОЛЮТНОМ ПАРАЛЛЕЛИЗМЕ И КОСМОЛОГИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ БРАНЫЖогин И. Л.^{a,1}^a ИХТТМ, г. Новосибирск, 630090, Россия.

Стандартная $4D$ -космология, допускаемая ОТО, никоим образом не является «островным» решением, удовлетворяющим тривиальным граничным условиям; при отрицательной или нулевой пространственной кривизне число галактик бесконечно, что довольно нефизично. Предлагается пятимерная космологическая модель, Вселенная-на-бране, возникающая в исключительном варианте абсолютного параллелизма (АП). Это исключительное уравнение (exceptional equation, EE), второго порядка, поля ко-реперов h^a_μ , не допускает, по-видимому, сингулярностей решений, если размерность $D=5$. Совместность EE, регулярность его старших членов, нарушается (в отличие от остальных случаев, включая вакуумное уравнение ОТО), когда ко-репер (и ко-метрика) становится вырожденной, ко-ранга один. Для EE нет законов сохранения, но есть ковариантно сохраняющийся тензор энергии-импульса, а также O_4 -симметричные решения типа продольной волны, бегущей по радиусу, в которой, как в неглубоком оптическом волноводе (или толстой бране), могут удерживаться более короткие почти касательные волны, а также квазичастицы – нелинейные конфигурации поля, несущие топологический заряд и/или квази-заряд. Толщина браны (в сопутствующей системе; $L \sim 3-5$ кау) задает расстояние, где притяжение $1/r^2$ заменяется более медленным $1/r$.

Скорость браны V немного меньше 1 ($c = 1$), поскольку брана удерживает волны, несущие энергию, – три из 15 поляризаций; другие, включая три растущие, линейно неустойчивые поляризации, ответственные за «нелинейности» и квази-частицы, не переносят энергию. Рассматривается движение массивных тел и безмассовых фотонов в такой релятивистски расширяющейся бране, а также возможные проявления нелинейных вне-брановых «акторов».

Обсуждается настольный эксперимент (малые колебания маятника, сферический конденсатор) и электро-гравитационный эффект, способный подтвердить существование продольных волн, прямо влияющих на метрику, тензор Риччи.

Ключевые слова: абсолютный параллелизм, продольная поляризация, космология-на-бране, электро-гравитационный эффект.

LONGITUDINAL WAVES IN 5D ABSOLUTE PARALLELISM AND RELATIVISTICALLY EXPANDING BRANE COSMOLOGYZhogin I. L.^{a,1}^a ISSCM, Novosibirsk, 630090, Russia.

The standard $4D$ -cosmology within general relativity is by no means an «island» solution satisfying trivial boundary conditions; with negative or zero spatial curvature, the number of galaxies is infinite, which is rather unphysical. A five-dimensional cosmology is proposed, the Universe-on-a-brane, arising in an exceptional variant of Absolute Parallelism (AP). This exceptional equation (EE), of the second order, of the frame field h^a_μ , does not admit, apparently, singularities of solutions if $D = 5$. The EE's compatibility, regularity of its highest derivatives, breaks (unlike other cases, including the GR vacuum equation), when h^a_μ (and the co-metric) becomes one-degenerate. EE has no exact conservation laws, but there is a covariantly conserved stress-energy tensor, as well as O_4 -symmetric solutions looking as a longitudinal wave going along the radius, in which, as in a shallow optical

¹E-mail: zhogin@mail.ru

waveguide (or a thick brane), shorter almost tangential waves can be held, as well as quasi-particles – nonlinear field configurations, carrying a topological charge and/or quasi-charge ('or' for bosons). Brane thickness (in the co-moving system; $L \sim 3-5 \text{ kau}$) sets the distance where attraction $\sim 1/r^2$ is replaced by the slower law $1/r$.

The brane velocity V is slightly less than 1 ($c = 1$) because the brane holds energy-carrying waves – three of the 15 polarizations; others, including three growing, linearly unstable polarizations responsible for nonlinearities and quasi-particles, do not carry energy. Motion of massive bodies and massless photons in such a relativistically expanding brane is briefly considered, as well as possible manifestations of non-linear off-brane «actors».

A tabletop experiment (an oscillating pendulum, spherical capacitor, ...) and an electro-gravitational effect are briefly discussed which are able to confirm the existence of longitudinal waves directly changing the metric and Ricci tensor.

Keywords: teleparallelism, longitudinal polarization, Brane cosmology, electro-gravity effect.

PACS: 04.50.+h, 98.80.-k, 04.80.-y

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2025.2.40-51

Введение

Для нелинейных уравнений в частных производных (для линейных – нет «взаимодействий»), включая (вакуумное) уравнение ОТО, существует проблема сингулярностей, на которых решения уравнений обрываются, не могут быть продолжены дальше. В сингулярной точке (ко)метрика вырождена, а инварианты кривизны обращаются в бесконечность. Принято считать, что ОТО перестает работать вблизи сингулярностей, и требуется гравитация квантовая. Раздел 1 касается эволюции нашего понимания окружающего мира как некоего континуума – Ньютоновская картина мира, СТО, ОТО, абсолютный параллелизм (АП).

В АП известны четыре класса совместных уравнений второго порядка поля реперов $h^a_\mu(x^\nu)$, один из которых включает лагранжевы уравнения (следуют из принципа наименьшего действия), а три – нелагранжевы [1]. И только одно исключительное уравнение (exceptional equation, ЕЕ; нелагранжево), $\mathbf{E}\mathbf{E}_{\mu\nu}(h'', h', h) = 0$, по-видимому, не допускает сингулярностей решений (общего положения), если $D = 5$ [2,3]. Продолженное симметричное уравнение $\mathbf{E}\mathbf{E}_{(\mu\nu);\lambda;\lambda} = 0$ дает гравитацию 4-го порядка с корректным тензором энергии-импульса (гравитационные ямы, т.е. притяжение; положительная энергия) – оно также следует из принципа наименьшего действия [3,4]. Раздел 2 содержит краткие сведения об уравнениях (основное, продолженные), их свойствах, типах поляризации, топологических зарядах и квази-зарядах.

Космологическая модель расширяющейся Вселенной-на-бране возможна в этой теории как сферически симметричная одиночная продольная волна, действующая подобно неглубокому оптическому волноводу, удерживающему почти тангенциальные волны, относящиеся к разным типам поляризациям (степеням свободы). В Разделе 3 вводится лагранжево описание движения массивных объектов в подобном релятивистски расширяющемся волноводе (a sort of coasting cosmology), также описывается движение безмассовых фотонов и приводится диаграмма Хаббла.

Раздел 4 касается вопросов появления квази-частиц в бране, является ли это процессом продолжительным (и всё ещё продолжающимся – возможно, идущем в квазарах и не только), который может сопровождаться вылетом из браны нелинейных образований. Последующее пересечение браны этими образованиями, внебрановыми акторами, вылетевшими внутрь браны, может, при определенных условиях (большая концентрация и заряженных фермионов [периферия браны], и фотонов [центр браны]) приводить к их захвату и эффектам типа LENR (low energy nuclear reactions), включая образование новых квази-частиц в бране. Обсуждаются данные об ускоряющемся росте океанической поверхности Земли, её водородной дегазации, и т.д.

Наконец, в Разделе 5 речь идет о возможности генерации продольных волн в лаборато-

рии (Тесла был убежден, что такие волны существуют) и подтверждении их прямого (линейного) влияния на метрику, тензор Риччи (псевдо-гравитационные волны). Сообщаются предварительные результаты настольного эксперимента, нацеленного на измерение следующего электрогравитационного эффекта: рост или падение электрического потенциала $U(t)$ в некоем объеме может влиять на окружающий гравитационный потенциал, как если бы в этом объеме возникала плотность $\rho = \kappa dU/dt$. Получена предварительная оценка: $\kappa \approx 10^{-3} \div 10^{-2} [\text{г/см}^3]/[\text{В/с}]$.

1. Физические теории и континуум (отступление)

Существует очевидная и естественная потребность, понятная геологам, делить окружающий мир на части, всё более и более мелкие. Или другими словами, как несколько торжественно выразился Эйнштейн, «интеллектуал смотрит на мир в микроскоп». Такое деление, по крайней мере в нашем воображении, может закончиться, когда мы достигнем уже более неделимых частей – точек, и точки эти должны, по-видимому, образовывать некое плотное множество, континуум. Иначе появляются многие сложные вопросы (как так, если совсем ничего? маленькое дальное действие, через ничего?). Как выразился Эйнштейн, «отказ от использования континуума напоминает попытку дышать в безвоздушном пространстве».¹

Ньютон, несомненно, был интеллектуалом, и даже изготавливал увеличительные стекла (откуда пошли «кольца Ньютона»). Он предложил наиболее простую картину, какую только можно было представить, – что существует всего два типа точек, точки пустого пространства и, довольно редкие, материальные точки (или точечные массы).

Два века спустя появились поля – электрическое и магнитное; затем – уравнения Максвелла и СТО. Точки, казалось бы, навсегда стали бесконечно разнообразными (поля-то разные), хотя смысл полей оставался загадочным. СТО объединило пространство и время, электрическое и магнитное поля, но не дало объяснения существованию наблюдаемых полей (и частиц). Также обнаружились сложности с описанием гравитации в рамках СТО, и только с появлением ОТО и искривленного пространства-времени тела разной массы смогли двигаться одинаково в гравитационном поле (т.е. в искривленном пространстве), что было установлено в экспериментах Галлилея (на Пизанской башне). ОТО, таким образом, объяснило, свело к геометрии, гравитацию, но остальные компоненты теории, поместившиеся в тензоре энергии-импульса, остались необъясненными. Эйнштейна не могло удовлетворить такое положение, и позже он с немногими коллегами исследовал теорию абсолютного (или далекого) параллелизма (АП). В АП геометрия сложнее, и описывается полем (ко-)реперов $h^a_\mu(x^\nu)$, несимметричных квадратных матриц. Симметричная метрика появляется в этой геометрии как квадратичная форма

$$g_{\mu\nu} = \eta_{ab} h^a_\mu h^b_\nu, \text{ где } \eta_{ab} = \text{diag}(-1, 1, \dots, 1) \text{ – метрика Минковского.} \quad (1)$$

Симметрия уравнений АП включает симметрии СТО и ОТО – глобальные преобразования группы Лоренца действуют по латинским индексам, а группа координатных диффеоморфизмов – по греческим.

Особенная симметрия уравнения ОТО, общековариантность, означает, что для случая вакуумной ОТО (есть только метрика и кривизна) любые две точки континуума сами по себе, т.е. пока не выйдем в окрестность, неотличимы, т.к. метрику в них можно преобразовать к метрике Минковского, если это регулярные точки, не сингулярные (метрика не вырождена).

Оказывается, однако, что совместность (регулярность старших членов) уравнения ОТО и почти всех уравнений АП, за одним исключением, сохраняется для вырожденной ко-метрики $\text{rank } g_{\mu\nu} = D - 1$ и, соответственно, ко-репера $\text{rank } h^a_\mu = D - 1$. Это указывает на появление в решениях ко-сингулярностей, точек с вырожденной ко-метрикой (ко-репером), и с помощью диф-

¹Конечно, дискретные модели всё-таки существуют, с эмерджентной гравитацией и т.д.; но, как выразился Эйнштейн, «математика это самый совершенный способ водить самого себя за нос».

феоморфизмов нельзя сингулярные точки преобразовать в регулярные. Как и в ньютоновской картине мира, мы имеем два типа точек – регулярные и сингулярные.

Единственное исключение – это исключительное уравнение АП, exceptional equation (ЕЕ), с особым типом совместности (требуется второе тождество, для продолженных уравнений). Для ЕЕ размерность $D = 4$ оказывается запрещенной, т.к. в этом случае следовое уравнение (свёртка двух индексов ЕЕ) теряет старшие производные и становится нерегулярным уравнением первого порядка. Но следующая размерность, $D = 5$, оказывается предпочтительной и единственно возможной, чтобы отсутствовали контра-сингулярности [2] (связанные с вырождением контра-реперной плотности некоторого веса; тут появляется зависимость от D).

Таким образом, есть единственный вариант АП (ничего нельзя изменить, даже размерность пространства), в решениях которого все точки сами по себе (в нулевых джетах; пока мы не выходим в окрестность) неотличимы, одинаковы; есть только один тип точек – регулярные, и в них матрица репера может иметь вид единичной матрицы.²

Кстати, нельзя считать безупречным утверждение Эриха Кречмана, что любую СТО-теорию можно сделать общековариантной теорией, добавив уравнение нулевой кривизны, $R_{\mu\varepsilon\nu\tau} = 0$, или, если геометрию описывать репером h^a_μ , уравнение нулевого Λ -тензора (линейное уравнение),

$$\Lambda^a_{\mu\nu} = h^a_{\mu,\nu} - h^a_{\nu,\mu} = 0 \quad (R_{\mu\varepsilon\nu\tau} = 0; \quad h^a_\mu = y^a_{,\mu}).$$

Кроме пространства Минковского, это уравнение имеет и сингулярные решения, с сингулярными точками, с вырожденным ко-репером (ко-метрикой). А инерциальные координаты $y^a(x^\mu)$ могут быть отображением с особенностями, например, типа катастрофы сборки, где $\text{rank } y^a_{,\mu} < D$.

2. Исключительное уравнение АП

Используем обозначения, соглашения, более подробно разъясняемые в [2, 3] (так, в явно ковариантных выражениях сворачиваемые индексы пишем внизу – как «класс эквивалентности», поднять можно любой). Используем обычное ковариантное дифференцирование (симметричная связность), согласованное с метрикой (1), а также Λ -тензор (и Λ -тождество) и его неприводимые части:

$$\Lambda_{a\mu\nu} = h_{a\mu;\nu} - h_{a\nu;\mu} = 2h_{a[\mu;\nu]}, \quad \Lambda_{a[\mu\nu;\lambda]} \equiv 0 \quad (h_{a\lambda}\Lambda_{a[\mu\nu;\lambda]} \equiv 0). \quad (2)$$

$$S_{\mu\nu\lambda} = 3\Lambda_{[\mu\nu\lambda]}, \quad \Phi_\nu = h_{a\mu}\Lambda_{a\mu\nu} = \Lambda_{\mu\mu\nu}, \quad f_{\mu\nu} = 2\Phi_{[\mu;\nu]}, \quad f_{[\mu\nu;\lambda]} \equiv 0. \quad (3)$$

Риманова кривизна следует из уравнений

$$R_{a\mu\nu\lambda} = 2h_{a\mu;[\nu;\lambda]}, \quad 2h_{a\mu}h_{a\nu;\lambda} = -2h_{a\nu}h_{a\mu;\lambda} = \Lambda_{\mu\nu\lambda} - \Lambda_{\nu\mu\lambda} - \Lambda_{\lambda\mu\nu}. \quad (4)$$

Исключительное уравнение (далее сокращаем как ЕЕ, exceptional equation) допускает следующий простой вид:

$$\mathbf{EE}_{a\mu} = L_{a\mu\nu;\nu} - \frac{1}{3}(f_{a\mu} + L_{a\mu\nu}\Phi_\nu) = 0, \quad \text{где } L_{a\mu\nu} = \Lambda_{a\mu\nu} - S_{a\mu\nu} - \frac{2}{3}h_{a[\mu}\Phi_{\nu]} (= L_{a[\mu\nu]}). \quad (5)$$

Важно иметь представление о том, как выглядят антисимметричная и симметричная части ЕЕ. Первая имеет очень простой вид, и только она, её дивергенция, участвует в тождестве:

$$-2\mathbf{EE}_{[\mu\nu]} = S_{\mu\nu\lambda;\lambda} = 0 \text{ [учитываем свертку } \Lambda\text{-тождества (2)]; } \mathbf{EE}_{[\mu\nu];\nu} \equiv 0. \quad (6)$$

В симметричной части можно выделить тензор Эйнштейна $G_{\mu\nu}$ ($G_{\mu\nu;\nu} \equiv 0$), и оказывается, что в остатке присутствуют линейные члены $\Phi_{(\mu;\nu)}$, т.е. это не может быть корректным тензором

²То есть тезис Гегеля о тождественности бытия и небытия можно сформулировать немного конкретнее: в любой точке, бытие тождественно небытию (под которым мы можем понимать тривиальное решение, пространство Минковского).

энергии-импульса. Дивергенция этой части дает уравнение типа Максвелла, см. (3), ток которого сохраняется (тривиален); это второе тождество, необходимое (и достаточное) для совместности:

$$\mathbf{EE}_{(\mu\nu)}: G_{\mu\nu} + \frac{2}{3}(\Phi_{(\mu;\nu)} - g_{\mu\nu}\Phi_{\lambda;\lambda}) + (\Lambda^2) = 0, \quad \mathbf{EE}_{a\mu;\mu}: f_{\mu\nu;\nu} = (S_{\mu\nu\lambda}\Phi_{\lambda})_{;\nu} (= \frac{1}{2}S_{\mu\nu\lambda}f_{\lambda\nu}); \quad (7)$$

Свёртка индексов \mathbf{EE} (5) даёт уравнение, где старшие члены исчезают при $D = 4$ (но не остальные), т.е. оно становится нерегулярным (в первых джетах, [5]):

$$\mathbf{EE}_{\mu\mu} = \frac{4-D}{3}\Phi_{\mu;\mu} - \frac{1}{2}\Lambda_{abc}^2 + \frac{1}{3}S_{abc}^2 + \frac{D-1}{9}\Phi_a^2 = 0. \quad (8)$$

Если исходить из требования отсутствия как ко-сингулярностей, так и контра-сингулярностей [2], нужно выбирать «околокритическую» размерность $D = 5$. Конечно, следовую часть (8) можно добавлять в (7) «по вкусу»; наш выбор – в пользу наглядности, что дивергенция (7) дает уравнение типа Максвелла. Добавим, что поскольку ток в этом уравнении исчезает, когда $f_{\mu\nu} = 0$, совместность (формальная интегрируемость [5]) \mathbf{EE} сохраняется, если добавить уравнение $f_{\mu\nu} = 0$; но такие решения составляют меру нуль.

Корректный тензор энергии-импульса появляется в продолженном симметричном уравнении ($\mathbf{EE}_{(\mu\nu);\tau;\tau} = 0$; гравитация 4-го порядка, см. [3] и ссылки внутри), допускающем следующий вид:

$$G_{\mu\nu;\tau;\tau} + G_{\varepsilon\tau}(2R_{\varepsilon\mu\tau\nu} - g_{\mu\nu}R_{\varepsilon\tau}/2) = -T_{\mu\nu} = -\frac{2}{9}T_{\mu\nu}^{(f)} + B_{[\mu\rho][\nu\tau]}(\Lambda^2)_{;\rho;\tau}, \quad (9)$$

где $T_{\mu\nu}^{(f)} = f_{\mu\tau}f_{\nu\tau} - \frac{1}{4}g_{\mu\nu}f_{ab}^2$; $T_{\mu\nu;\nu} = 0$, $T_{00}^{(f)} > 0$ – правильный знак, чтобы были гравитационные ямы!

Это уравнение (9) можно также получить из «квадратичного (по уравнениям) лагранжиана» (или «слабый лагранжиан» – по терминологии Н.Х. Ибрагимова; варьирование даёт ноль с учётом и продолженных уравнений)

$$\mathcal{L} \sim \mathbf{EE}_{(\mu\nu)}^2 \sim R_{\mu\nu}G_{\mu\nu} + \frac{1}{9}f_{\mu\nu}^2 + [X_{\nu}]_{;\nu} + (\Lambda'\Lambda^2, \Lambda^4). \quad (10)$$

Для масс, протяженных по дополнительному измерению (длина L), на малых расстояниях $r < L$ действует ньютоновский закон $1/r^2$, а для $r > L$ асимптотика другая, $\propto 1/r$ [3, 4].

Уравнение эволюции Λ -тензора следует из дивергенции Λ -тождества (2) и \mathbf{EE} (в линеаризованных уравнениях используем \square и \approx):

$$\Lambda_{\lambda\mu\nu;\tau;\tau} = -\frac{2}{3}f_{\mu\nu;\lambda} + (\Lambda\Lambda', \Lambda^3), \quad \text{т.е.} \quad \square\Lambda_{\lambda\mu\nu} \approx -\frac{2}{3}f_{\mu\nu;\lambda} \quad (\square\Lambda_{[\lambda\mu\nu]} \approx 0). \quad (11)$$

Три роторных f -поляризации вызывают (подобно резонансной силе) линейный рост трех неустойчивых поляризаций. Поляризации, относящиеся к $S_{\mu\nu\lambda}$, Φ_{μ} , $f_{\mu\nu}$ и кривизне $R_{\mu\tau\nu\rho}$ (берем дивергенцию тождества Бианки) устойчивы, $\square S_{\mu\nu\lambda} \approx 0 \approx \square\Phi_{\mu}$, $\square f_{\mu\nu} \approx 0 \approx \square R_{\mu\tau\nu\rho}$. Квадратичные члены важны для оценки амплитуд поляризаций [3, 4], например, следующие по амплитуде это продольная и три S -поляризации (антисимметризация Λ -тождества); потом – f -волны (и GW);

$$\Phi_{\mu;\mu} = -\frac{3}{2}\Lambda_{abc}^2 + (S^2, \Phi^2); \quad S_{[\mu\nu\lambda;\tau]} \propto \Lambda_{[\mu\nu}^a\Lambda_{\lambda\tau]}^a, \quad S_{\mu\nu\lambda;\lambda} = 0; \quad f_{\mu\nu;\nu} = \frac{1}{2}S_{\mu\nu\lambda}f_{\lambda\nu}, \quad f_{[\mu\nu;\lambda]} = 0. \quad (12)$$

Привычной является идея (или, м.б., иллюзия), что пространство-время населено (кроме метрики) независимыми дополнительными полями. Интересно, поэтому, попробовать выделить, м.б. в каком-то приближении (линейном – для 12 из 15), (квази)независимые поля для имеющихся поляризаций. Так, для продольной поляризации можно ввести вспомогательное скалярное поле Ψ , решая уравнение $\Psi_{;\mu;\mu} = -\frac{3}{2}\Lambda_{abc}^2 + S_{abc}^2 + \frac{4}{3}\Phi_a^2 (= \Phi_{\mu;\mu})$. Теперь у нас есть вектор $J_{\mu} = \Phi_{\mu} - \Psi_{;\mu}$, сохраняющийся «ток», $J_{\mu;\mu} = 0$, так что мы можем решить уравнение для трёх F -поляризаций, который могут представлять растущие («гигантские») поляризации, волны, см. (11):

$$F_{\mu\nu;\nu} = -\frac{2}{3}J_{\mu}, \quad F_{[\mu\nu;\lambda]} = 0; \quad F_{\mu\nu;\tau;\tau} = -\frac{2}{3}f_{\mu\nu} + (fR); \quad \square(\Lambda_{\lambda\mu\nu} - F_{\mu\nu;\lambda}) \approx 0.$$

В каком-то смысле, вместо $h^a{}_\mu$, возможен такой набор полей (поляризаций; по убыванию амплитуды; можно взять $S_{\mu\nu\lambda} = \varepsilon_{\mu\nu\lambda\rho\tau} \tilde{f}_{\rho\tau}$) на фоне метрики: $F_{\mu\nu}$ (3), Ψ (1), $S_{\mu\nu\lambda}$ (3), $f_{\mu\nu}$ (3), $R_{\mu\nu\tau\rho}$ (5).

Рост F -поляризаций неизбежно приводит к появлению нелинейных конфигураций поля, которые могут нести дискретную информацию – топологические заряды и, для локализованных конфигураций, обладающих симметрией, квази-заряды. Для простых симметрий Sym , группы квази-заряда $\Pi(Sym)$ сводятся к относительным (или диадным) гомотопическим группам (описаны в [6]); для «составных» симметрий потребуются более общие, k -адные гомотопические группы [2]. Группа топологического заряда включает два «фермиона», левый и правый (при отражении одной или трех координат они меняются местами) $\Pi(1) = \pi_4(SO(1, 4)) = \pi_4(SO_4) = Z_2^{(L)} + Z_2^{(R)}$.

Классификация топологических квази-зарядов (квази-частиц), с привлечением симметричных оснащенных 1-многообразий (аналогично подходу [7]), позволяет объяснить многие свойства частиц стандартной модели (лептонные и кварковые ароматы; нейтрино, как и фотоны, имеют СР-симметрию, где С связано с отражением дополнительного измерения; см. [2, 3] и ссылки там). Возникает 4D феноменология, типа квантовой теории поля, как результат усреднения по протяженному дополнительному измерению. Требуются вспомогательные поля, квантованные «аватары», для учёта топологических квази-частиц, способных к взаимодействиям.

3. Релятивистски расширяющаяся брана (продольная O_4 -симметричная волна)

В случае сферической симметрии может «уцелеть» (и повлиять на тензор Риччи) только продольная поляризация; тензор $S_{\mu\nu\lambda}$ тождественно равен нулю, как и ток для $f_{\mu\nu}$ (7); интегрируя уравнения $(hf^{\mu\nu})_{,\nu} = 0$, получим, что и $f_{\mu\nu} = 0$. Дальнейшие интегрирования сводят задачу к простой системе двух уравнений типа 2D динамики газа Чаплыгина [2, 8]. Найдены также решения типа плоской продольной волны (матрица репера при этом диагональна, в отличие от случая сферической симметрии) [3], но они «нефизичны», т.к. не локализованы.

Мы рассматриваем одиночную O_4 -симметричную волну, бегущую по радиусу (дополнительное пространственное измерение) как неглубокий и широкий оптический волновод (ширина L в сопутствующей системе), космологическую Брану, где могут удерживаться почти касательные волны, а также расти F -поляризации и образовываться топологические квази-частицы.

Движение массы m в такой релятивистски расширяющейся Бране можно описывать простым Лагранжианом ($c = 1 = \hbar$; $|t\dot{\varphi}| < 1$)

$$\mathcal{L} dT = -m\sqrt{1 - V^2 - V^2 T^2 (d\phi/dT)^2} dT = -m\sqrt{1 - t^2 \dot{\varphi}^2} dt = \mathcal{L}(\dot{\varphi}, t) dt, \quad (13)$$

где $\dot{\varphi} = d\varphi/dt$, $t = T/\Gamma$ ($\sim 1/H_0$) – время наблюдателей-на-Бране («в покое», т.е. реликтовое излучение изотропно), $\varphi = V\Gamma\phi$ – «раздутый угол» на космологической сфере S^3 , $\Gamma = 1/\sqrt{1 - V^2}$ – Лоренц-фактор расширяющейся Браны для «центрального наблюдателя» в точке O , её центре.

Радиус Браны VT_0 намного больше, чем текущее время $t_0 = 1/H_0$ – на фактор Γ , эффекты кривизны крайне малы, т.к. угол ϕ очень мал, $\phi \sim \Gamma^{-1} \ln(1 + z)$.

Можем найти точное решение для свободного движения в Бране. Импульс объекта с начальной скоростью $v_* = t_* \dot{\varphi}_*$ (относительно местного покоящегося наблюдателя) в момент t_* , $p_* = m\gamma_* v_*$, снижается (почти по Аристотелю; центробежная сила совершает работу и слегка ускоряет Брану, а гравитация – тормозит; $|t_* \dot{\varphi}_*| < 1$):

$$(\partial\mathcal{L}/\partial\dot{\varphi})^* = 0, \text{ т.е. } t^2 \dot{\varphi}/\sqrt{1 - t^2 \dot{\varphi}^2} = C (= \text{const} = pt/m); p(t) = p_* t_*/t; \quad (14)$$

$$t\dot{\varphi} = C/\sqrt{C^2 + t^2}, \quad \varphi(t) = \int_{t_*}^t \frac{C}{\sqrt{C^2 + t^2}} \frac{dt}{t}; \quad C = t_*^2 \dot{\varphi}_*/\sqrt{1 - t_*^2 \dot{\varphi}_*^2}.$$

Интегрируем дальше, используя подстановку $x^2 = C^2 + t^2$, и находим угол максимального убегания:

$$\exp[2(\varphi - \varphi_*)] = \frac{1 + t_* \dot{\varphi}_*}{1 - t_* \dot{\varphi}_*} \frac{\sqrt{C^2 + t^2} - C}{\sqrt{C^2 + t^2} + C}; \quad \varphi(\infty) - \varphi_* = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + t_* \dot{\varphi}_*}{1 - t_* \dot{\varphi}_*}. \quad (15)$$

Движение безмассовых фотонов выглядит ещё проще, $t\dot{\varphi}=1$ (скорость света в Бране примем за 1; вне Браны она чуть-чуть выше), т.е. $\varphi(t) - \varphi_* = \ln t/t_* = \ln(1+z)$, где $\varphi_* = \varphi(t_*)$. Отсюда можно получить следующую простую диаграмму Хаббла:

$$\mu(z) = \mu_0 + 5 \log[(1+z) \ln(1+z)], \quad \text{где } \mu_0 = -5 \log(H_0 d_*/c), \quad d_* = 10 \text{ пк}. \quad (16)$$

Перейдя в (13) от угловых к обычным (декартовым) координатам $x = t\varphi$, $t\dot{\varphi} = \dot{x} - x/t$, видим, что первые поправки, зависящие от t (или $H = 1/t$) образуют полную производную (не играют роли), и параметр Хаббла проявляется только в следующих членах разложения:

$$\mathcal{L}/m = -\sqrt{1 - (\dot{x} - x/t)^2} \approx -1 + \dot{x}^2/2 - (x^2/t)/2 + \dot{x}^4/8 - t^{-1}\dot{x}^3x/2 + \dots \quad (17)$$

Но если масса тела m зависит от времени (масса Земли, Солнца, ...), ситуация меняется:

$$\mathcal{L} + m(t) + (m x^2/t)/2 \approx m \dot{x}^2/2 + H_0 m x^2/2 + \dots \quad (18)$$

Орбитальное движение тел переменной массы изучается давно (см. обзор [9] и ссылки там). Возмущение орбиты Земли зависит от $(\dot{M}_\odot + \dot{M}_\oplus)/(M_\odot + M_\oplus)$, и здесь важны изменения обеих масс [3].

4. Вне-брановые «акторы» (ВБА) и LENR-эффекты (растущая Земля)

Общим для LENR-эффектов (low energy nuclear reactions³), исследуемых всё активнее, начиная со взрыва вольфрамовых проволочек [10, 11] и заканчивая кавитацией [12], является большая плотность вещества (заряды, «края» Браны) в условиях нагрева до нескольких тысяч градусов (плазма, коронный разряд – то есть, и много фотонов); при этом могут наблюдаться низкоэнергетические ядерные трансформации, появление новых элементов, и генерация энергии. С эффектами типа LENR можно связывать и рост размера (и, по мнению ряда геологов, массы) Земли, учитывая высокие давление и температуру, а также большую плотность внутреннего гидридного ядра Земли (ионные (би)гидриды, низкая электропроводность). На Рисунке 1 показано распределение коры Земли по возрасту образования, из книги В.Ф. Блинова [13]. Новая кора образуется в рифтовых долинах срединно-океанических хребтов (СОХ), Рисунок 2, со скоростью от 5 до 10–15 см/год, быстрее – в Тихом и Южном океанах.⁴ Явных мест погружения старой океанической коры под континенты, со «сдиранием» лёгких осадочных пород (гипотеза субдукции), не найдено.

В.Н. Ларин предложил теорию происхождения и развития гидридной Земли [14]; рост Земли объясняется разложением очень плотных гидридов металлов (внутреннее ядро Земли – до 25 г/см³!?) с выделением тепла и водорода, выходящего из внешнего жидко-металлического ядра (водород внесен в реестр полезных ископаемых, 2023 г.) и с увеличением объема. Подтвердился ряд предсказаний В.Н. Ларина: трансформные разломы (и продольный рост) СОХ, сверхпластичность наводороженных металлов при высоком давлении (и синтез алмазов из чугуна). Однако малый оставшийся объем внутреннего ядра (по Ларину ~1%) не согласуется с экспоненциальным ростом Земли (и есть другие доводы в пользу роста массы Земли [13]). Водородная дегазация Земли (особо выраженная в рифтах, возле Антарктиды) разрушает озоновый слой, образуя серебристые облака; известны семейства бактерий, питающихся водородом, и т.д. (см. hydrogen-future.com).⁵

Можно предположить, что во время мощных катаклизмов, сопровождающихся выделением огромной энергии, потоков частиц (включая «растянутый» Большой Взрыв, и, возможно, какие-то взрывы поменьше), появление новых (квази)частиц (должны же они появляться, когда нелинейности вырастают до нужных кондиций) может сопровождаться вылетом из Браны нелинейных образований, «вне-брановых акторов» (ВБА), несущих топологический заряд, но не энергию (предполагаем, что $f_{\mu\nu}$ -волны, переносящие энергию-импульс, сосредоточены в Бране). Число ВБА может

³В качестве LENR-обзора предлагается статья А. Пархомова «Дорогу осилит идущий...» на сайте lenr.seplm.ru.

⁴Поэтому палеотропики пермокарбона смещены от экватора на север [13].

⁵Как отмечал В.Н. Ларин, выход водорода делает Землю открытой системой, где хаос снижается и образуются новые месторождения. Образование новых квази-частиц делает открытой системой и Вселенную-на-бране.

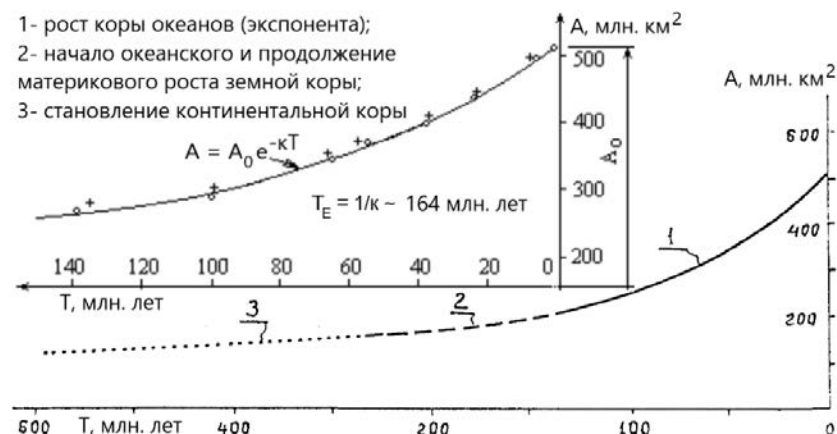


Рис. 1. График возрастов земной коры (главная геологическая закономерность [13]).



Рис. 2. Карта СОХ: 1) современные и 2) предполагаемые; 3) древние (мезозойские).

даже превышать число квази-частиц в Бране. На Рисунке 3 показано движение наиболее «древних» ВБА; из-за Доплер-эффекта положительные значения угла ψ малы ($< 1/\Gamma$). Взяв $\psi=0$, можно записать уравнение: $AB^2 = OB^2 - OA^2$, или $(T_0 - T_*)^2 = V^2(T_0^2 - T_*^2)$. Учитывая $T_0/T_* = 1 + z$, находим z для наиболее далеких (и массовых, времён Big Bang) ВБА: $z \approx 2V^2\Gamma^2$.⁶

5. Возможный электро-гравитационный эффект (настольный эксперимент)

Хотелось бы иметь способ генерировать продольные волны. Можно предположить, что в области, где меняется электрический потенциал (связанный с топологическими квази-частицами определенной симметрии – виртуальными фотонами), также имеет место падение или рост компоненты Φ_0 . Все квази-частицы, будучи нелинейными образованиями, приобретают энергию через взаимодействие со слабыми «весомыми» роторными поляризациями $\Phi_{[\mu;\nu]}$, и, попутно, может проявляться «родственная» продольная поляризация. Поскольку член $\Phi_{0,0} = \dot{\Phi}_0$ действует в симметричной части ЕЕ (7) подобно компоненте тензора энергии-импульса, $-T_{00}$, т.е. как плотность массы в ОТО, интересно посмотреть, действует ли область, где растет или падает электропотенциал, подобно возникающей массе, положительной или отрицательной, и измерить в соотношении $\rho = \kappa \partial U / \partial t$ коэффициент κ [Г/см³]/[В/с].

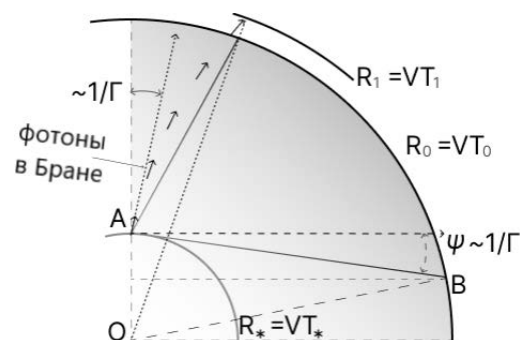


Рис. 3. Внебрановые «актеры», вылетевшие из А и пересекающие Брану в точке В.

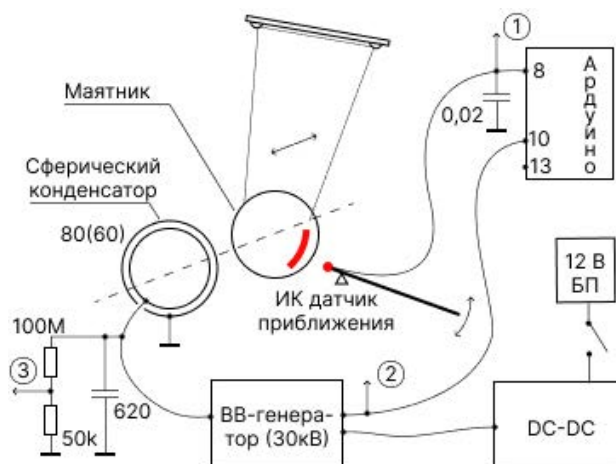


Рис. 4. Схема эксперимента с маятником.

На Рисунке 4 показана схема настольного эксперимента с маятником и сферическим конден-

⁶Оценки z для более близких (но всё же – вне Галактики) ВБА см. в [dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27702.51525](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27702.51525).

сатором.⁷ Груз маятника это сферическая оболочка (пластмасса) диаметром 60 мм, заполненная гипсом; вес 138 г. На шар наклеена белая полоска, ~ 1 мм шириной. Датчик приближения (ДП, proximity sensor; ИК, цифровой) срабатывает, когда полоска проходит мимо. Этот сигнал идет на пин 8 платы Ардуино (DCCDuino), где работает захват Таймера-1 (16 бит). К шару маятника прикреплена в двух точках (выше «экватора») черная леска, 0.15 мм, как показано на Рис. 4. Период колебаний $T \approx 1.462$ с. Сферический конденсатор (СК) это металлическая полая сфера диаметром 50 мм (также заполнена гипсом, на всякий случай...), и в технологическое отверстие (5 мм) заведен винт М3 (впотай, лыски) и затянут гайкой. К обточенному кончику винта паяется провод для подачи высокого напряжения. Эта сфера покрыта слоем эпоксидки, 5 мм (силиконовая форма, диаметр 60 мм). Внешняя оболочка, идущая на землю, выполнена из медной ленты с проводящим клеем, несколько слоев (~ 3) и тонкие (многожильные) провода. Емкость СК равна 60 пФ, и дополнительные 20 пФ – емкость подводящего «коаксиала». Высоковольтный генератор (ВВГ) выдает выпрямленное положительное напряжение (до 30 кВ), но с большими пульсациями; параллельно СК добавлены высоковольтные конденсаторы, емкостью 620 пФ, а также делитель напряжения – 100 М и 50 к, т.е. коэффициент деления 2000. Время разряда конденсаторов (хвост) составляет ~ 70 мс. На Рисунке 1 указаны три места, где сигнал измеряется осциллографом:

- 1) сигнал датчика (падает в ноль при приближении объекта, белой полоски на черной изоленте);
- 2) сигнал управления ВВГ, с пина 10 (низкий уровень включает генератор); 3) сигнал с делителя.

Для большего эффекта, включать/выключать высокое нужно, когда скорость маятника максимальна – импульс, произведенный «наведенной массой» СК, складывается с (вычитается из) импульсом(а) маятника. Возможны два варианта эксперимента («фазы»): для фазы-«плюс» высокое включается, когда маятник проходит ИК-датчик, двигаясь к СК, и выключается – при обратном проходе датчика (для фазы-«минус» всё наоборот). Зная время прохода датчика τ_n (n – номер колебания), находим текущую добротность из следующих уравнений (считаем, что центр импульса датчика отвечает нижнему положению маятника, в моменты $t=0, T, 2T, \dots, nT, \dots$; A_0 – начальная амплитуда):

$$x(t) = A_0 e^{-\lambda t} \sin(2\pi t/T); \quad a = A_0 e^{-\lambda \tau_n T} \sin(\pi \tau_n/T), \quad \text{т.е. } A_0/a e^{-n/q} = 1/\sin(\pi \tau_n/T) \quad (19)$$

(добавки «через экспоненту» малы, $q \sim 10^3$); здесь a это эффективная полуширина области срабатывания датчика (примерная оценка 0.6 мм); $q = 1/(\lambda T) = Q/\pi$ – «(полу)редуцированная» добротность, зависящая от отношения полной энергии маятника к её потере за период: $q = 2W/\Delta W$. Зная изменение обратной добротности, можно найти работу, совершаемую «дополнительной гравитацией» за период, и найти коэффициент κ . Обработка данных [экспонентой подгоняем $p(n) = 1/\sin(\pi \tau_n/T)$] велась с использованием функции `curve_fit` пакета `scipy.optimize` (Python). На Рисунке 5 приведены результаты подгонки, изменение редуцированной добротности q , фаза-«плюс».

Используем упрощения: время заряда и разряда СК мало, и происходит в моменты, когда импульс маятника максимален (он в нижней точке) и равен $p = MA 2\pi/T$, где M – масса маятника (не должна войти в ответ), A – текущая амплитуда колебаний (будем ее оценивать в центре диапазона подгонки; и считаем, что $a \approx 0.6$ мм). Учитываем только объем (эффективный) СК, без подводящего «провода». Записываем следующие уравнения (работа ΔW^* совершается дважды за период – при заряде и разряде СК; $q^0 = 890.2$; $q^+ = 952.7$, см. Рис. 5):

$$1/q^0 - 1/q^+ = 7.37 \cdot 10^{-5} = \Delta W^*/W = 2\Delta p^*/p; \quad \Delta p^* = F\Delta t = G\kappa\Delta U V M/R^2; \quad (20)$$

здесь $V = 2\pi(R_1 + R_0)R_1R_0/3 \approx 86.4 \text{ см}^3$ – эффективный объем СК ($R_1 = 3$ см, $R_0 = 2.5$ см – радиусы внешней и внутренней обкладки СК); $R \approx 7$ см – расстояние между центрами СК и маятника (в нижнем положении); $\Delta U \approx 25$ кВ – скачок потенциала. Подставляя все значения ($A \approx 4.7$ мм, $T \approx 1.46$ с), а также постоянную Ньютона $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг}/\text{с}^2$, можно получить оценку $\kappa^{(+)} \approx$

⁷ Подробное описание эксперимента см. в [dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17396.26246](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17396.26246).

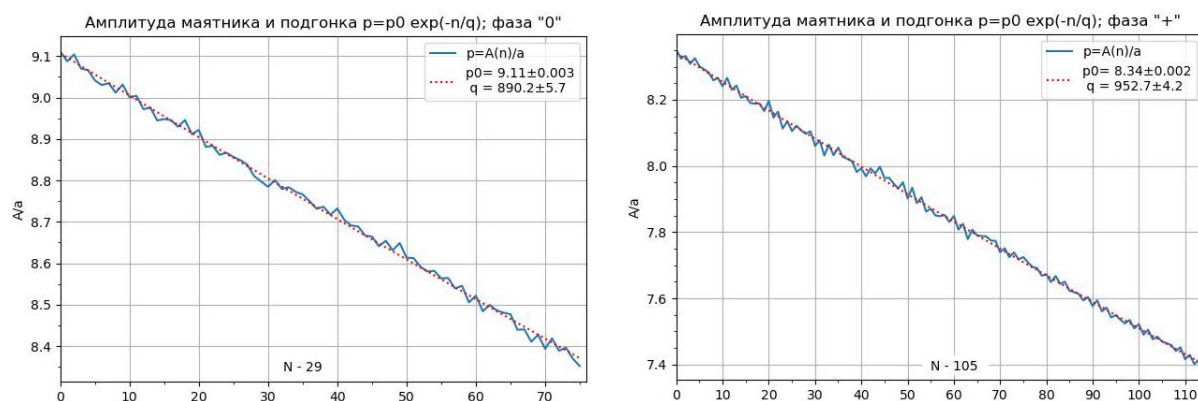


Рис. 5. Изменение добротности после включения высокого напряжения на СК (~ 25 кВ, 10.6 В на ВВГ).

$0.025 \text{ [г/см}^3\text{]}/[\text{В/с}]$. Существуют, однако, систематические эффекты, погрешности, учет которых, по-видимому, может существенно снизить эту оценку (нужно проводить эксперимент в вакууме).

Заключение

Существование продольных волн, продольной поляризации, является важной особенностью обсуждаемой пятимерной теории, исключительного уравнения АП. Именно благодаря этой особенности существуют нестационарные сферически-симметричные решения, продольные сферические волны, способные быть основой приемлемой космологической модели – релятивистской Вселенной-на-Бране. Настольный эксперимент с маятником и сферическим конденсатором (СК), кратко представленный в Разделе 5, по-видимому, подтверждает существование продольных волн. И это, безусловно, должно привлечь внимание специалистов по гравитации (а также всех интересующихся антигравитацией). Качество эксперимента, удобство настройки и точность данных, значительно улучшается, если использовать целевой датчик на базе опто-пары, установленный на мини-подвижке с микро-винтом; в качестве «флажка» служит отрезок провода $\sim 14\text{AWG}$ ($2.3\text{--}2.5 \text{ мм}^2$), закрепленного в нижней точке шара маятника, размер которого можно уменьшить, и увеличить плотность. Важно также отодвинуть подальше (и экранировать) высоковольтный трансформатор, чтобы точнее оценивать вклад всех областей с высоким потенциалом.

Используемая аналогия с массой (в каком-то смысле «нерелятивистская»), конечно, не может быть точной, и требуется адекватное описание, феноменология, включающая как топологические квази-частицы (элементарные частицы – топологическая «настройка»), так и «базовые» степени свободы, ансамбли неквантованных волн, относящихся к разным поляризациям. Этот эксперимент имел скромные цели – хотелось удостовериться в наличии эффекта и определить его знак (хорошо, и порядок величины оценить тоже).⁸ Эксперимент призван качественно подтвердить особый вариант, пятимерный, теории Абсолютного Параллелизма, где большая симметрия уравнений (это красиво) дополняется отсутствием произвольных параметров (принцип единственности; это просто – если иметь в виду теорию сложности алгоритмов Колмогорова), а также отсутствием сингулярностей решений (это важно и полезно; такие «бессингулярные» решения могут продолжаться как угодно долго, оставаясь при этом «нелинейными» – из-за роста линейно-неустойчивых поляризаций). Мы косвенным образом можем видеть проявления дополнительного измерения в разбегании галактик (расширяющаяся Вселенная), а также в нелокальном поведении элементарных частиц, которые движутся сразу по многим доступным траекториям – разные их части, отвечающие разным положениям по дополнительному измерению. И принцип суперпозиции связан с суммированием, или усреднением по этому измерению, «амплитуд», описывающих взаимодействие «частей»

⁸Помнится, Лев Митрофанович Барков несколько критически высказывался об эксперименте Эйнштейна–де Гааза (авторы сообщили, видимо, переоценив точность своих измерений, неверное значение гиромагнитного отношения, но согласующееся с тогдашними представлениями, до появления спина).

квази-частицы со слабыми весовыми поляризациями. Наконец, LENR-эффекты и рост размеров и массы Земли, возможно, также связаны с существованием дополнительного пространственного измерения.

Я признателен В.В. Алексеенко за интерес к этой работе и полезные замечания.

Список литературы

1. Эйнштейн А., Майер В. Систематическое исследование совместных уравнений поля, возможных в римановом пространстве с абсолютным параллелизмом. *Альберт Эйнштейн. Собрание научных трудов*, М.: Наука, 1966, т. 2, с. 353–365.
2. Zhogin I.L. *Old and new research on the Absolute Parallelism theory*. Lambert Academic Publishing, 2010. ISBN 978-3-8383-8876-2.
3. Zhogin I.L. Cosmology with one extra dimension. *Proceedings of CSS-2024*, Prague: Institute of Mathematics; 2024, pp. 29–46.
4. Zhogin I.L. Absolute Parallelism, modified gravity, and suppression of gravitational short waves. *Proc. PIRT-2011*. Moscow: BMSTU, 2012, pp. 337–346.
5. Поммаре Ж. *Системы уравнений с частными производными и псевдогруппы Ли*. М.: Мир, 1983, с. 398.
6. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. *Современная геометрия. Часть I*. М.: Наука, 1979, с. 760.
7. Понтрягин Л.С. *Гладкие многообразия и их применения в теории гомотопий*. М.: Наука, 1976, с. 176.
8. Жогин И.Л. Абсолютный параллелизм; сферическая симметрия и сингулярности. *Известия вузов. Физика*, 1991, № 9, с. 47–52.
9. Veras D. Post-main-sequence planetary system evolution. *Royal Society Open Science*, 2016, vol. 3, 150571. <http://doi.org/10.1098/rsos.150571>.
10. Wendt G.L., Irion C.E. Experimental attempts to decompose tungsten at high temperatures. *American Chemical Society*, 1922, vol. 44, no. 9, pp. 1887–1894.
11. Уруцкоев Л.И., Филиппов Д.В., Бирюков А.О. и др. Исследование возможности инициирования альфа-распада вольфрама с помощью электровзрыва. *Прикладная физика и математика*, 2017, № 1. с. 3–27.
12. Fomitchev-Zamilov M. Observation of neutron emission during acoustic cavitation of deuterated titanium powder. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, 11517. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62055-6>.
13. Блинов В.Ф. *Растущая Земля: из планет в звёзды*. М.: Едиториал УРСС, 2003, с. 271.
14. Ларин В.Н. *Наша Земля*. М.: Агар, 2005, с. 248.

References

1. Einstein A., Mayer W. Systematische Untersuchung über kompatible Feldgleichungen, welche in einem Riemannschen Raume mit Fernparallelismus gesetzt werden können. *Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., phys.-math. Kl.* 1931, pp. 257–265.
2. Zhogin I.L. *Old and new research on the Absolute Parallelism theory*. Lambert Academic Publishing, 2010. ISBN 978-3-8383-8876-2.
3. Zhogin I.L. Cosmology with one extra dimension. *Proceedings of CSS-2024*, Prague: Institute of Mathematics; 2024, pp. 29–46.
4. Zhogin I.L. Absolute Parallelism, modified gravity, and suppression of gravitational short waves. *Proc. PIRT-2011*, Moscow: BMSTU, 2012, pp. 337–346.
5. Pommaret J.F. *Systems of Partial Differential Equations and Lie Pseudogroups*, New York, Gordon and Breach, 1978.
6. Dubrovin, B.A., Novikov, S.P., Fomenko, A.T. *Modern Geometry. Methods and Applications. Part 1*, Springer-Verlag, GTM 93, 1984.
7. Pontryagin L.S. Smooth Manifolds and Their Applications to Homotopy Theory. *Transactions of the American Mathematical Society*, 1959, Ser. 2, vol. 11, pp. 1–114.
8. Zhogin I.L. Absolute Parallelism: Spherical Symmetry and Singularities. *Soviet Physics Journal*, 1992, vol. 34, p. 781. arXiv: gr-qc/0412081v3.

9. Veras D. Post-main-sequence planetary system evolution. *Royal Society Open Science*, 2016, vol. 3, 150571. <http://doi.org/10.1098/rsos.150571>.
10. Wendt G.L., Irion C.E. Experimental attempts to decompose tungsten at high temperatures. *American Chemical Society*, 1922, vol. 44, no. 9, pp. 1887–1894.
11. Urutskoev, L.I., Filippov, D.V., Birykov A.O. et al. The Study of Possibility of Initiating Tungsten Alpha Decay Using Electric Explosion. *Applied Physics and Mathematics*. 2017, no 1, pp. 3–27 (in Russian).
12. Fomitchev-Zamilov M. Observation of neutron emission during acoustic cavitation of deuterated titanium powder. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, 11517. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62055-6>.
13. Blinov V.F. *The Growing Earth: from planets to stars*. Kyiv, 2011, p. 271. (in Russian).
14. Larin V.N. *Our Earth*. Moscow, Agar, 2005, p. 248. (in Russian).

Авторы

Жогин Иван Львович, к.ф.-м.н., научный сотрудник, ИХТТМ СО РАН, ул. Кутателадзе, д. 18, г. Новосибирск, 630090, Россия.
E-mail: zhogin@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Жогин И. Л. Продольные волны в пятимерном Абсолютном Параллелизме и космология релятивистски расширяющейся браны. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2025. № 2. С. 40–51.

Authors

Zhogin Ivan L’vovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, ISSCM SB RAS, Kutateladze st., 18, Novosibirsk, 630090, Russia.
E-mail: zhogin@mail.ru

Please cite this article in English as:

Zhogin I. L. Longitudinal waves in 5D Absolute Parallelism and relativistically expanding brane cosmology. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2025, no. 2, pp. 40–51.