

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ СТАЦИОНАРНОЙ ВСЕЛЕННОЙ ДЕ СИТТЕРА ИЗ ФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КУЛАКОВА РАНГА (7, 7)

А.К. Гуц

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: aguts@mail.ru

Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

Аннотация. В данной статье демонстрируется возникновение геометрии стационарной вселенной де Ситтера из физической структуры Кулакова ранга (7, 7) в Мире событий Минковского, хотя для этого пришлось расширить понятие фундаментального закона в понимании Кулакова.

Ключевые слова: геометрия де Ситтера, появление пространства-времени, стационарная вселенная, физическая структура, теория Кулакова – Владимирова.

Введение

Идея вторичности пространства-времени, или его возникновение (emergence) из некоторой более исходной «подложки», которая является истинно фундаментальным понятием, весьма популярна в наши дни. Существуют различные подходы [1] к тому, чтобы строго установить этот факт, но все они, всё-таки, опираются на более или менее изощрённые математические конструкции, которые не воспринимаются как нечто *простейшее*.

Пространство-время, или пространственно-временная структура, – это Мир событий, введённый в физику в 1908 г. Г. Минковским, оснащённый 4-мерной псевдоримановой структурой. Иначе говоря, псевдориманова геометрия (метрика g_{ik}) накладывается на некоторое множество M , элементы которого называются событиями, превращённое в 4-мерное многообразие за счёт введения систем координат. В случае специальной теории относительности, пространство-время обладает 4-мерной псевдоевклидовой геометрией. Это пространство-время Минковского.

Поясним. Структура многообразия с точки зрения физики – это всего лишь определение систем отсчёта, используемых для проведения экспериментов, фиксация эталонов измерения времени. А вот введение метрики (геометрии) – это написание уравнений для распространения света, деление Мира событий на прошлое, настоящее и будущее, написание уравнений для тяготения тел (для искривлённой геометрии) и т. д.

Таким образом, более простой структурой – «подложкой» – следует рассматривать структуру многообразия, на котором должно возникнуть пространство и время, а поскольку они неразделимы, должно возникнуть пространство-время.

В случае пространства-времени Минковского, или 4-мерной псевдоевклидовой геометрии, такую *простейшую* «подложку» нашли Ю.И. Кулаков [2] и Ю.С. Владимиров [3]. Эта «подложка» состоит из совокупности событий $i, k, \dots$ и вещественных бинарных отношений a_{ik} между ними, подчинённых некоторым фундаментальному закону и феноменологической симметрии.

На этом пути Ю.И. Кулакову удалось *породить* многие классические геометрии, а Ю.С. Владимирову – современную теорию частиц и взаимодействий между ними.

В данной статье демонстрируется возникновение геометрии стационарной вселенной де Ситтера из физической структуры Кулакова в Мире событий Минковского, хотя для этого пришлось расширить понятие фундаментального закона в понимании Кулакова ранга (7, 7).

1. Пространство-время де Ситтера как система отношений Кулакова

Рассматриваем в Мире событий $\mathcal{M}$ события i, a, k, b, c, d и предполагаем, что могут находиться в некоторых отношениях между каждой парой (m, n) из них, которое обозначим через s_{mn}^2 . Более того, полагаем, что какую бы шестёрку событий i, a, k, b, c, d мы не взяли, всегда выполняется равенство

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ik}^2 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 & s_{ic}^2 & s_{id}^2 \\ 1 & s_{ki}^2 & 0 & s_{ka}^2 & s_{kb}^2 & s_{kc}^2 & s_{kd}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & s_{ak}^2 & 0 & s_{ab}^2 & s_{ac}^2 & s_{ad}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{ba}^2 & s_{bc}^2 & 0 & s_{bc}^2 & s_{bd}^2 \\ 1 & s_{ci}^2 & s_{ck}^2 & s_{ca}^2 & s_{cb}^2 & 0 & s_{cd}^2 \\ 1 & s_{di}^2 & s_{dk}^2 & s_{da}^2 & s_{db}^2 & s_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

называемое *фундаментальным законом*. Взаимозаменяемость шестёрок событий – это требование, именуемое *феноменологической симметрией*.

На языке теории Кулакова [2] вышесказанное означает, что Мир событий есть физическая структура ранга (7, 7).

Выполнение закона (1) позволяет найти математическую формулу для отношения s_{mn}^2 , которая записывается как [3, с. 41] (или [4, с. 46]):

$$s_{mn}^2 = (t_m - t_n)^2 - (x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2 + (z_m - z_n)^2, \quad (2)$$

где (t_m, x_m, y_m, z_m) – координаты события m (см. подробности в [4]).

Мы видим, что отношение s_{mn}^2 есть псевдоевклидово расстояние между двумя событиями $m = (t_m, x_m, y_m, z_m)$ и $n = (t_n, x_n, y_n, z_n)$.

Таким образом, фиксация физической структуры Кулакова ранга (7, 7) с фундаментальным законом (1) однозначно задаёт 4-мерную псевдоевклидову геометрию в

Мире событий [3, с. 41] с точностью до сигнатуры. Отметим, однако, что использование бинарных систем комплексных отношений ранга (3,3), введённых Ю.С. Владимировым, расширившим тем самым теорию Кулакова до комплекснозначных отношений, позволяет однозначно получить сигнатуру $(+ - - -)$ (см. [4, с. 162]).

Следовательно, пространство-время как геометрическая структура порождается первичной (изначальной) физической структурой Кулакова ранга (7,7) с законом (1), следовательно, пространство-время *вторично*.

В случае стационарной вселенной де Ситтера метрика пространства-времени имеет вид:

$$ds^2 = \frac{1}{t^2} [dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2]. \quad (3)$$

Поэтому соответствующее отношение между событиями m и n задаётся формулой

$$S_{mn}^2 = \frac{1}{t_m^2} [(t_m - t_n)^2 - (x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2 + (z_m - z_n)^2]. \quad (4)$$

Примем следующий закон для *обобщённой* физической структуры ранга (7,7):

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ t_i^{-2} & 0 & S_{ik}^2 & S_{ia}^2 & S_{ib}^2 & S_{ic}^2 & S_{id}^2 \\ t_k^{-2} & S_{ki}^2 & 0 & S_{ka}^2 & S_{kb}^2 & S_{kc}^2 & S_{kd}^2 \\ t_a^{-2} & S_{ai}^2 & S_{ak}^2 & 0 & S_{ab}^2 & S_{ac}^2 & S_{ad}^2 \\ t_b^{-2} & S_{bi}^2 & S_{ba}^2 & S_{bc}^2 & 0 & S_{bc}^2 & S_{bd}^2 \\ t_c^{-2} & S_{ci}^2 & S_{ck}^2 & S_{ca}^2 & S_{cb}^2 & 0 & S_{cd}^2 \\ t_d^{-2} & S_{di}^2 & S_{dk}^2 & S_{da}^2 & S_{db}^2 & S_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что при подстановке (4) в (5) за счёт вынесения множителя $1/t_m^2$ из каждой строки определителя (5) мы получим определитель (1), умноженный на эти множители:

$$\frac{1}{t_i^2 t_k^2 t_a^2 t_b^2 t_c^2 t_d^2} \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ik}^2 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 & s_{ic}^2 & s_{id}^2 \\ 1 & s_{ki}^2 & 0 & s_{ka}^2 & s_{kb}^2 & s_{kc}^2 & s_{kd}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & s_{ak}^2 & 0 & s_{ab}^2 & s_{ac}^2 & s_{ad}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{ba}^2 & s_{bc}^2 & 0 & s_{bc}^2 & s_{bd}^2 \\ 1 & s_{ci}^2 & s_{ck}^2 & s_{ca}^2 & s_{cb}^2 & 0 & s_{cd}^2 \\ 1 & s_{di}^2 & s_{dk}^2 & s_{da}^2 & s_{db}^2 & s_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0, \quad (6)$$

равный нулю в силу равенства (1).

Закон (5) очевидным образом справедлив для любых конформно-плоских пространств-времён

$$dS^2 = [\omega(t)]^2 [dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2],$$

в которых можно наблюдать красное смещение для галактик [5, с. 274].

2. О стационарной вселенной де Ситтера

Стационарная вселенная де Ситтера была предложена Х. Бонди, Т. Голдом [6] и Ф. Хойлом [7] в 1948 г. как альтернатива теории Большого взрыва, т. е. как альтернатива нестационарным вселенным Фридмана. В отличие от изменяющихся расширяющихся вселенных Фридмана, вселенная де Ситтера – Бонди – Годда – Хойла неизменна. В ней нет начала и конца, она бесконечна, в ней есть красные смещения, галактики удаляются друг от друга, а образующееся разрежение поддерживается постоянным рождением материи, причем материя должна создаваться со скоростью, определяемой расширением, а эволюционировавшая более старая материя исчезает за горизонтом. Вселенная всегда остаётся неизменной. Как пишут Дж. Нарликар и Г. Бэрбидж: «Эта идея не более экстравагантна, чем подход, при котором все изначально создавалось в результате гигантского взрыва, исходящего из определенной точки» [8, p. 121].

Для обоснования процесса создания новой материи Ф. Хойлом была введена отрицательная энергия – C -поле, которое обеспечивало сохранение вещества и энергии. В 1949 г. это привело к отклонению статьи Ф. Хойла рядом журналов, в наши дни отрицательная энергия воспринимается как нечто вполне нормальное [8, p. 130–131].

Стационарную вселенную де Ситтера можно изобразить на гиперboloиде

$$-v^2 + w^2 + x^2 + y^2 + z^2 = a^2$$

в плоском 5-мерном пространстве $\mathbb{R}^5$ с метрикой

$$ds^2 = -dv^2 + dw^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2.$$

В самом деле, покажем это [9]. На этом гиперboloиде введём следующие координаты (t, ξ, θ, ϕ) :

$$a \cdot sh\left(\frac{t}{a}\right) = v, \quad a \cdot ch\left(\frac{t}{a}\right) \cos \chi = w, \quad a \cdot ch\left(\frac{t}{a}\right) \sin \chi \cos \theta = x,$$

$$a \cdot ch\left(\frac{t}{a}\right) \sin \chi \sin \theta \cos \phi = y, \quad a \cdot ch\left(\frac{t}{a}\right) \sin \chi \sin \theta \sin \phi = z.$$

Тогда метрика гиперboloида примет вид

$$ds^2 = -dt^2 + a^2 \cdot ch^2\left(\frac{t}{a}\right) [d\chi^2 + \sin^2 \theta (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)].$$

Наконец, взяв координаты

$$\hat{t} = a \cdot \log \frac{w+v}{a}, \quad \hat{x} = \frac{ax}{w+v}, \quad \hat{y} = \frac{ay}{w+v}, \quad \hat{z} = \frac{az}{w+v},$$

получим метрику на гиперboloиде в виде

$$ds^2 = -d\hat{t}^2 + \exp\left(\frac{\hat{t}}{2a}\right) [d\hat{x}^2 + d\hat{y}^2 + d\hat{z}^2]. \quad (7)$$

Метрики (3) и (7) совпадают с точностью до знака (и коэффициента).

Сама стационарная вселенная де Ситтера изображена на рис. 1 – это половина гиперboloида между двумя прямолинейными образующими; координаты $(\hat{t}, \hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ покрывают эту половину. Поверхности $\hat{t} = \text{const}$ являются 3-мерными пространствами.

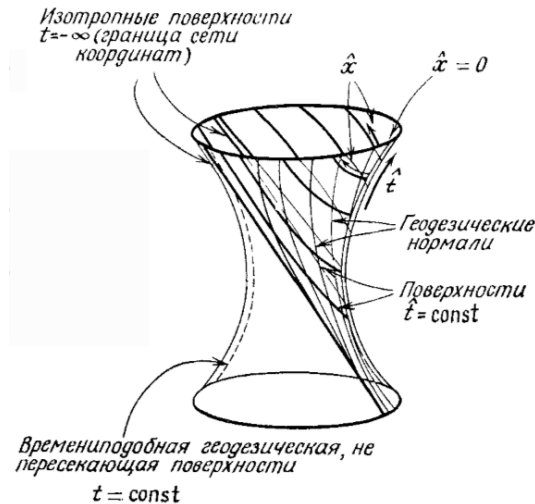


Рис. 1. Стационарная вселенная де Ситтера (рис. из [9])

3. Обобщённая физическая структура Кулакова в искривлённом пространстве-времени

Изначально Ю.С. Кулаков постулировал фундаментальный закон только для отношений a_{ik}

$$\Phi(a_{ik}, \dots, a_{mn}) = 0, \quad (8)$$

где число переменных определялось рангом рассматриваемой (унарной) физической структуры.

Однако геометрия искривлённого пространства-времени существенно локальна в том смысле, что на отношение двух событий влияет, главным образом, лишь близкое их местонахождение в пространстве и во времени. Поэтому в фундаментальный закон должны войти локализации (координаты) событий

$$\Phi(\{x_i, a_{ik}\}, \dots, \{x_m, a_{mn}\}) = 0. \quad (9)$$

Этот обобщённый закон в случае конформно плоских метрик мы угадали и представили выше.

Имеет смысл поискать вид этого закона для метрик Фридмана в силу того, что с ними связана теория Большого взрыва, а в последние годы в связи с данными, полученными от телескопа «Джеймс Уэбб», много говорят о возврате к модели стационарной вселенной, метрика которой, как показано выше, **возникает** как следствие

фиксации унарной структуры Кулакова ранга $(7, 7)$. Было бы сильным аргументом против теории Большого взрыва, если бы выяснилось, что метрики Фридмана не возникают из теории Кулакова.

4. Заключение

В Новосибирске в те же годы, когда совершенствовалась Ю.С. Кулаковым его теория, академик А.Д. Александров предложил путь аксиоматизации однородных лоренцевых геометрий на основе понятия причинного порядка в Мире событий. С целью аксиоматизации однородных пространств полезно согласовать порядковую структуру с вводимой полной плоской аффинной структурой, которую допускают, например, все лоренцевы многообразия размерности, не превышающей 4, с транзитивной разрешимой группой движений. В этом случае множества $\{y|x \leq y\}$ состояли бы из аффинных полугеодезических, исходящих из события. Были построены соответствующие аксиоматики для (исключительно) абелевой и основной аффинной групп Ли, а также для целого ряда важнейших космологических моделей, включая стационарную вселенную де Ситтера [10, 11].

Можно сказать, что по исходной простоте оба подхода явно равнозначны: в обоих случаях использовано бинарное отношение. Поэтому в обоих подходах геометрия возникает из бинарных отношений при некоторых дополнительных условиях – у Ю.С. Кулакова это фундаментальный закон и феноменологическая симметрия, у А.Д. Александрова – набор аксиом для отношения порядка $\leq$ и симметрия исходного Мира событий.

Последнее скрыто как раз во фразе: «С целью аксиоматизации однородных пространств полезно согласовать порядковую структуру с полной плоской аффинной ... с транзитивной разрешимой группой движений...» [11].

Конечно, аксиоматический подход Ю.С. Кулакова при его исполнении по законам математической строгости, что было отчасти сделано Г.Г. Михайличенко, приведёт к тому, что при описании аксиоматик на его основе появится гораздо больше математических понятий и конструкций, чем кажется при первом знакомстве со структурами Кулакова, а иначе быть не может, поскольку Ю.С. Кулаков физик, а не математик, а физики менее строги к точным формулировкам, чем математики.

Другими словами, оба подхода в чём-то близки, и если подход А.Д. Александрова легко воспринимается математиками и не вызывает особого отторжения у образованных физиков, то подход Ю.И. Кулакова не воспринимался ни физиками, ни математиками, хотя последние помогли Ю.И. Кулакову и его ученикам довести свои работы до уровня, который уже не раздражал математиков. Но физики и после такого наведения лоска по-прежнему остаются равнодушными к достижениям теории физических структур Кулакова и к теории систем отношений Владимиров-ва. Профессор Ю.С. Владимиров, думается, в силу того, что был в сфере влияния Д.Д. Иваненко, одного из самых наших образованных физиков, не только внимательно отнёсся к работам Ю.И. Кулакова, но существенно их обобщил¹, продвинул

¹Ю.С. Владимиров стал рассматривать комплексные бинарные отношения a_{ik} , что открыло возможность описания спиноров, элементарных частиц и др. в рамках подхода Ю.С. Кулакова.

в те области физики, куда не заглядывали ученики Ю.С. Кулакова, и получил массу выдающихся результатов, благодаря которым Мир выглядит совсем не так, как написано во всех учебниках для студентов-физиков.

Литература

1. Гуц А.К. Теории пространства-времени // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2019. № 4. С. 23–47.
2. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. Новосибирск: Илфа Виста, 2003. 851 с.
3. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 1. М.: Изд-во МГУ, 1996. 262 с.
4. Владимиров Ю.С. Основания физики. 3-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
5. Синг Дж. Общая теория относительности. М.: ИЛ, 1963. 432 с.
6. Bondi H., Gold T. The steady-state theory of the expanding universe // Mon. Not. Roy. Ast. Soc. 1948. Vol. 108. P. 252–270.
7. Hoyle F. A new model for the expanding universe // Mon. Not. Roy. Ast. Soc. 1948. Vol. 108. P. 372–382.
8. Narlikar J.V., Burbidge G. Facts and Speculations in Cosmology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2008.
9. Хоукинг С., Эллис Дж. Крупномасштабная теория пространства-времени. М.: Мир, 1977.
10. Гуц А.К. Аксиоматизация лоренцевой геометрии и структуры порядка // Вестник МГУ, сер. мат. 1986. № 5. С. 93.
11. Гуц А.К. Аксиоматическое описание стационарной вселенной де Ситтера // Тезисы Всесоюзного симпозиума по геометрии в целом и основаниям теории относительности. Новосибирск: Ин-т мат. СО АН СССР, 1982. С. 37.

THE EMERGENCE OF THE DE SITTER GEOMETRY OF THE STATIONARY UNIVERSE FROM THE KULAKOV-VLADIMIROV RANK RELATIONSHIP SYSTEM (7,7)

A.K. Guts

Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: aguts@mail.ru

Sochi State University, Sochi, Russia

Abstract. In this article the emergence of the geometry of the de Sitter stationary universe from the physical structure of Kulakov of rank (7, 7) in the World of Minkowski events is demonstrated, although for this it was necessary to expand the concept of the fundamental law in Kulakov's understanding.

Keywords: de Sitter geometry, the emergence of space-time, stationary universe, physical structure, Kulakov – Vladimirova theory.

Дата поступления в редакцию: 28.04.2025