

# Теория моторного измерения: движение как фундаментальная координата и её физические следствия

**Гор Степанян**

Независимый исследователь, г. Магнитогорск, Россия

stepanyan-gor@yandex.ru

ORCID: 0009-0009-9253-1565

## Аннотация

Предлагается пятимерная модель, в которой **моторное измерение**  $\mu$  (компактное пространство-окружность) является первичной причиной появления массы, инерции и воспринимаемого времени. На основе четырёх постулатов получены:

1. пятимерное действие Эйнштейна–Гильберта;

2. квантование импульса вдоль  $\mu$  и спектр масс

$$m_n = \sqrt{m_0^2 + (n/R_\mu)^2};$$

3. естественное появление космологической постоянной  $\Lambda = 3/R_\mu^2$ ;

4. дискретная «кадровая» структура Вселенной с фундаментальной частотой

$$f_\mu = c/(2\pi R_\mu) \approx 2.4 \times 10^{25} \text{ Гц} \quad (\text{период } \tau_\mu \approx 4 \times 10^{-26} \text{ с}).$$

Ограничение из аномального магнитного момента мюона ( $g-2$ ) даёт

$$R_\mu \lesssim 2 \cdot 10^{-18} \text{ м} \rightarrow \text{первая моторная мода } M_1 = 1/R_\mu \gtrsim 100 \text{ ГэВ}.$$

Сделаны три фальсифицируемых предсказания: (а) «башни» моторных возбуждений, (б) анизотропия частоты оптических часов в градиенте поля  $\Phi$ , (с) возможность извлечения полезной работы из разницы  $\Phi_A - \Phi_B$ . Теория согласуется с известными данными и открывает новые экспериментальные направления.

**Ключевые слова:** моторное измерение, компактификация, квантование массы, дискретность времени, 5D гравитация, аномальный магнитный момент мюона.

---

## 1. Введение

Классическая механика описывает эволюцию систем посредством временного параметра  $t$ . Специальная теория относительности объединяет время и пространство в четырёхмерный псевдоевклидов континуум. Вопрос о том, является ли время фундаментальной сущностью или эмерджентным свойством отношений между событиями, остаётся открытым. Barbour (1999) и Rovelli (2004, 2018) развивают модели, в которых время — лишь параметр сравнения.

В настоящей работе предлагается иной подход: **моторное измерение**  $\mu$  — дополнительное компактное пространство-окружность. Движение вдоль  $\mu$  генерирует массу, инерцию и ощущаемое течение времени. Аналогия: «мокрость воды» — лишь характеристика поведения молекул, а не отдельный объект; аналогично **время** в нашей модели — параметр, считающий количество оборотов в  $\mu$ .

Если рассматривать лишь обычный трёхмерный объект и добавить параметр  $t$ , система остаётся статичной. Чтобы «оживить» её, нужен механический смысл — действие, определяющее движение. В моторной теории движение в  $\mu$  обладает скоростью света  $c$ , импульсом и энергией; время  $t$  измеряется как сравнение двух моторных потоков (постулат 4).

В разделах 9–11 представлены дополнительные теоретические результаты: динамика поля  $\Phi$ , обобщённый второй закон Ньютона в моторном измерении и закон сохранения моторного числа с правилами отбора.

---

## 2. Постулаты

### 2.1 Постулат 1 (моторное измерение)

Пятимерное многообразие  $M^5$  задаётся координатами

$$X^A = (t, x^1, x^2, x^3, \mu),$$

где  $\mu$  — координата на окружности  $S^1$  радиуса  $R_\mu$  ( $\mu \sim \mu + 2\pi R_\mu$ ). Метрика

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + g_{ij}(x) dx^i dx^j + \Phi^2(x, \mu) d\mu^2 \quad \text{! (1)}$$

Координата  $\mu$  имеет размерность длины, однако мы переходим к безразмерной переменной  $\theta = \mu/R_\mu$ , что эквивалентно замене  $\Phi \rightarrow R_\mu \Phi$  в метрике. В дальнейшем мы используем безразмерное  $\mu$  (т.е.  $\mu \in [0, 2\pi)$ ), а физический радиус компактификации вынесен в  $R_\mu$ .

с сигнатурой  $\text{!}$ . Поле  $\Phi$  (радион) задаёт локальный масштаб пятого измерения.

### 2.2 Постулат 2 (квантование моторного импульса и масса)

Периодичность  $\mu$  приводит к Фурье-разложению любой пятимерной функции

$$\Psi(x, \mu) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \psi_n(x) e^{in\mu/R_\mu}.$$

Оператор импульса вдоль  $\mu$ :

$$\hat{p}_\mu = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \mu} \implies p_\mu = \frac{\hbar n}{R_\mu}, n \in \mathbb{Z}.$$

Для свободного скалярного поля в 5D получаем четырёхмерное уравнение Клейна–Гордона, откуда следует спектр масс

$$m_n = \sqrt{m_0^2 + \left(\frac{n}{R_\mu}\right)^2}, \quad \text{! (2)}$$

где  $m_0$  — масса нулевой моды (если присутствует). При  $m_0 = 0$  спектр упрощается до  $m_n = |n|/R_\mu$ .

### 2.3 Постулат 3 (экзистенциальная динамика)

Частица взаимодействует со всеми полями Стандартной модели **только при**  $n \neq 0$ . Состояние  $n=0$  полностью «скрыто»: оно не излучает, не поглощает и не участвует в обычных процессах. Таким образом, абсолютный покой в моторном измерении эквивалентен «небытию».

### 2.4 Постулат 4 (время как параметр движения)

Выбираем эталонный периодический процесс по безразмерной координате  $\mu$  с периодом  $\Delta\mu = 2\pi$ . Вводим калибровочную частоту

$$\omega_0 = \frac{c}{R_\mu}.$$

Тогда физическое время определяется как

$$\tau = \frac{\Delta\mu}{\omega_0} = \frac{2\pi R_\mu}{c}. \quad (3)$$

Направление времени задаётся глобальной однонаправленностью векторного поля  $\partial/\partial\mu$ .

## 3. Формализм

### 3.1 Пятимерное действие

Действие имеет вид

$$S = \frac{1}{2\kappa_5} \int d^5 X \sqrt{-g_5} R_5 + \int d^5 X \sqrt{-g_5} L_{\text{matter}}(g_{AB}, \Psi, \partial\Psi), \quad (4)$$

где  $\kappa_5 = 8\pi G_5$ ,  $R_5$  — скалярная кривизна пятимерного многообразия.

Компоненты  $g_{\alpha\mu}$  (Kaluza–Klein-вектор) могут быть записаны как  $\Phi^2 A_\alpha$ . Мы выбираем симметрию  $\mu \rightarrow -\mu$ , что является калибровочным условием, зануляющим  $A_\alpha$ . При желании векторное поле может быть восстановлено — тогда получается обычное калибровочное поле  $U(1)$ . В этом случае модель

становится эквивалентной стандартным UED-теориям, однако в нашем «моторном» сценарии мы оставляем  $A_\alpha=0$ , чтобы подчеркнуть первичность движения вдоль  $\mu$ .

### 3.2 Уравнения поля и размерная редукция

Вариация (4) по метрике даёт пятимерные уравнения Эйнштейна

$$R_{AB} - \frac{1}{2} g_{AB} R_5 = \kappa_5 T_{AB}. \quad (5)$$

Разложив все поля в ряд Фурье по  $\mu$  и проинтегрировав по кольцу (длина  $2\pi R_\mu$ ), получаем эффективное четырёхмерное действие

$$S_{\text{eff}} = \frac{2\pi R_\mu \Phi}{2\kappa_5} \int d^4x \sqrt{-g_4} \left[ R_4 + 6 \frac{(\partial\Phi)^2}{\Phi^2} \right] + S_{\text{matter}}^{(4)} \cdot \text{Коэффициент} \quad 6 \quad \text{перед}$$

кинетическим членом радиона получен для метрики (1) при отсутствии смешанных компонент  $g_{\alpha\mu}$ . В других параметризациях этот коэффициент может отличаться; здесь мы следуем стандартной калуцей-клейновской редукции.

Если  $\Phi = \text{const}$  и  $A_\alpha = 0$ , действие сводится к стандартному действию Эйнштейна–Гильберта с космологической постоянной:

$$S_{\text{grav}} = \frac{1}{2\kappa_4} \int d^4x \sqrt{-g_4} (R_4 - 2\Lambda), \quad (6)$$

где

$$\Lambda = \frac{3}{R_\mu^2}. \quad (7)$$

### 3.3 Спектр «башни»

Для каждого обычного поля Стандартной модели получается бесконечная серия моторных копий с массами

$$M_n = \frac{|n|}{R_\mu}, n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

Для фермионов могут появиться сдвиги  $n \rightarrow n+c$  ( $c=0$  или  $1/2$ ) в зависимости от граничных условий, но порядок массы остаётся тем же.

**Таблица 1.** Массы первых трёх моторных мод (при предельном  $R_\mu=2.1 \cdot 10^{-18}$  м).

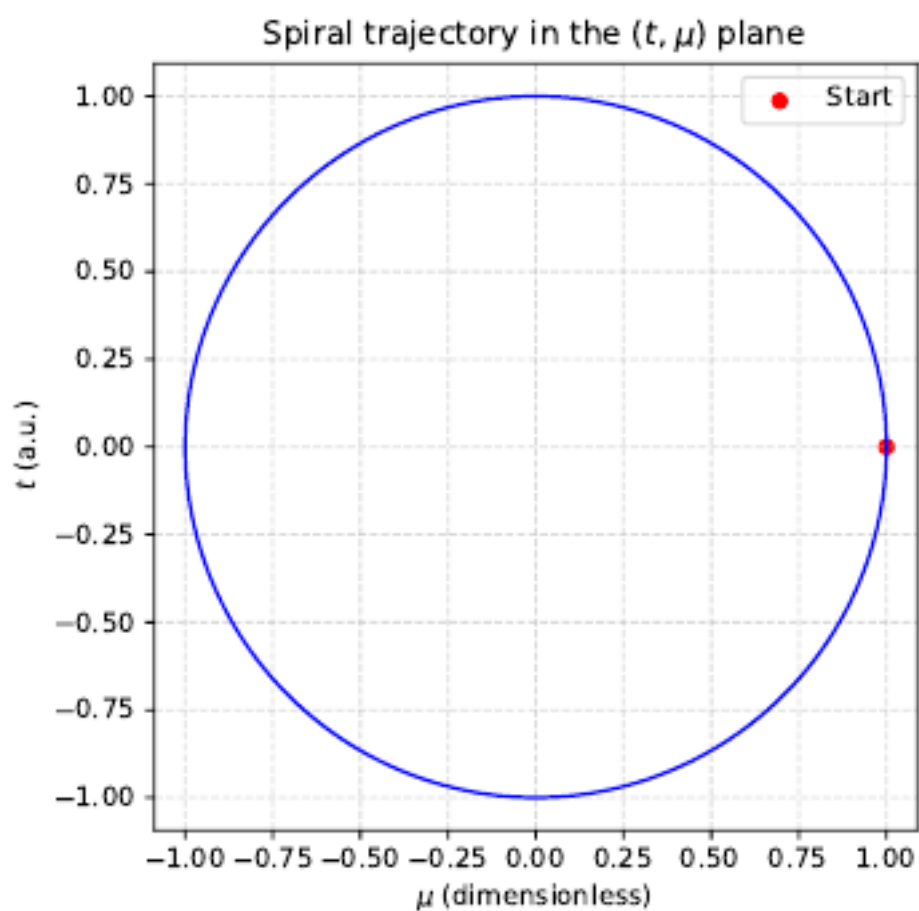
$n$	$M_n c^2$ [ГэВ]	$M_n/M$
$\pm 1$	94	1
$\pm 2$	188	2
$\pm 3$	282	3

#### 4. Дискретность реальности и фундаментальная частота

##### 4.1 Кадровая интерпретация

При фиксированных пространственных координатах  $(x^i)$  траектория частицы в плоскости  $(t, \mu)$  представляет собой спираль (рис. 1, изображение). Каждый оборот по  $\mu$  переводит систему в новый трёхмерный «кадр».

**Рисунок 1. Спиральная траектория частицы в плоскости (t, μ).**



#### **4.2 Фундаментальная частота**

Время, необходимое свету, чтобы пройти один оборот по  $\mu$ :

$$\tau_{\mu} = \frac{2\pi R_{\mu}}{c}. \quad (8)$$

Отсюда фундаментальная частота

$$f_{\mu} = \frac{1}{\tau_{\mu}} = \frac{c}{2\pi R_{\mu}} \cdot i \quad (9)$$

Для предельного радиуса  $R_{\mu} \lesssim 2.1 \cdot 10^{-18}$  м получаем

$$f_{\mu} \gtrsim 2.4 \cdot 10^{25} \text{ Гц}, \tau_{\mu} \lesssim 4.2 \cdot 10^{-26} \text{ с}.$$

### 4.3 Квантовые флуктуации как межкадровые «щели»

Из соотношения неопределённостей  $\Delta E \Delta t \sim \hbar$  и  $\Delta t \approx \tau_{\mu}$  находим

$$\Delta E \sim \frac{\hbar}{\tau_{\mu}} = \frac{\hbar c}{R_{\mu}} \approx 100 \text{ ГэВ}.$$

Эти энергии соответствуют массовой шкале первой моторной моды. Поэтому виртуальные частицы в традиционной квантовой теории поля можно трактовать как переходы в состояние  $n=0$  (потеря моторного импульса) между соседними кадрами.

**Информационная интерпретация и синхронизация восприятия.** В дискретной кадровой картине эволюция полей от кадра к кадру полностью определяется уравнениями движения (5). Это означает, что состояние полей в текущем кадре содержит не только актуальные значения физических величин (координаты, импульсы, спины), но и всю необходимую информацию для вычисления состояния в следующем кадре. Световой сигнал, испущенный в одном кадре, при переходе через последовательность кадров обновляется в каждом из них в соответствии с полями. Поскольку поля содержат упреждающие данные, то к моменту достижения наблюдателя сигнал несёт информацию о состоянии объекта, уже синхронизированную с текущим кадром. Это обеспечивает синхронизацию восприятия и объективной реальности без дополнительных механизмов: квантовые поля выступают как носители как текущей, так и прогностической информации, а моторное измерение  $\mu$  обеспечивает механизм её последовательного обновления, что и объясняет, почему мы воспринимаем мир как непрерывный и актуальный, несмотря на конечную скорость света.

---

## 5. Ограничение из аномального магнитного момента мюона ( $g-2$ )

Экспериментальное расхождение (Muon  $g-2$  Collaboration, 2021):

$$\Delta a_\mu = a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}} = (251 \pm 59) \times 10^{-11}. \quad \text{! (10)}$$

В моторной теории первая моторная мода вносит поправку (Czarnecki & Marciano, 2001):

$$\Delta a_\mu^{(1)} \approx \frac{\alpha}{\pi} \frac{m_\mu^2}{M_1^2}. \quad \text{! (11)}$$

Требую, чтобы  $|\Delta a_\mu^{(1)}|$  не превышала  $2\sigma$ -уровень ( $\approx 1.2 \cdot 10^{-9}$ ), получаем

$$M_1 \gtrsim 9.5 \cdot 10^4 \text{ МэВ} \approx 100 \text{ ГэВ}, R_\mu \lesssim 2.0 \cdot 10^{-18} \text{ м}. \quad \text{! (12)}$$

Более консервативное  $1\sigma$ -ограничение даёт  $M_1 \gtrsim 120$  ГэВ, что всё ещё совместимо с прямыми поисками на LHC ( $M_1 \gtrsim 1$  ТэВ в типовых UED-моделях).

---

## 6. Фальсифицируемые предсказания

### 6.1 «Башни» моторных возбуждений

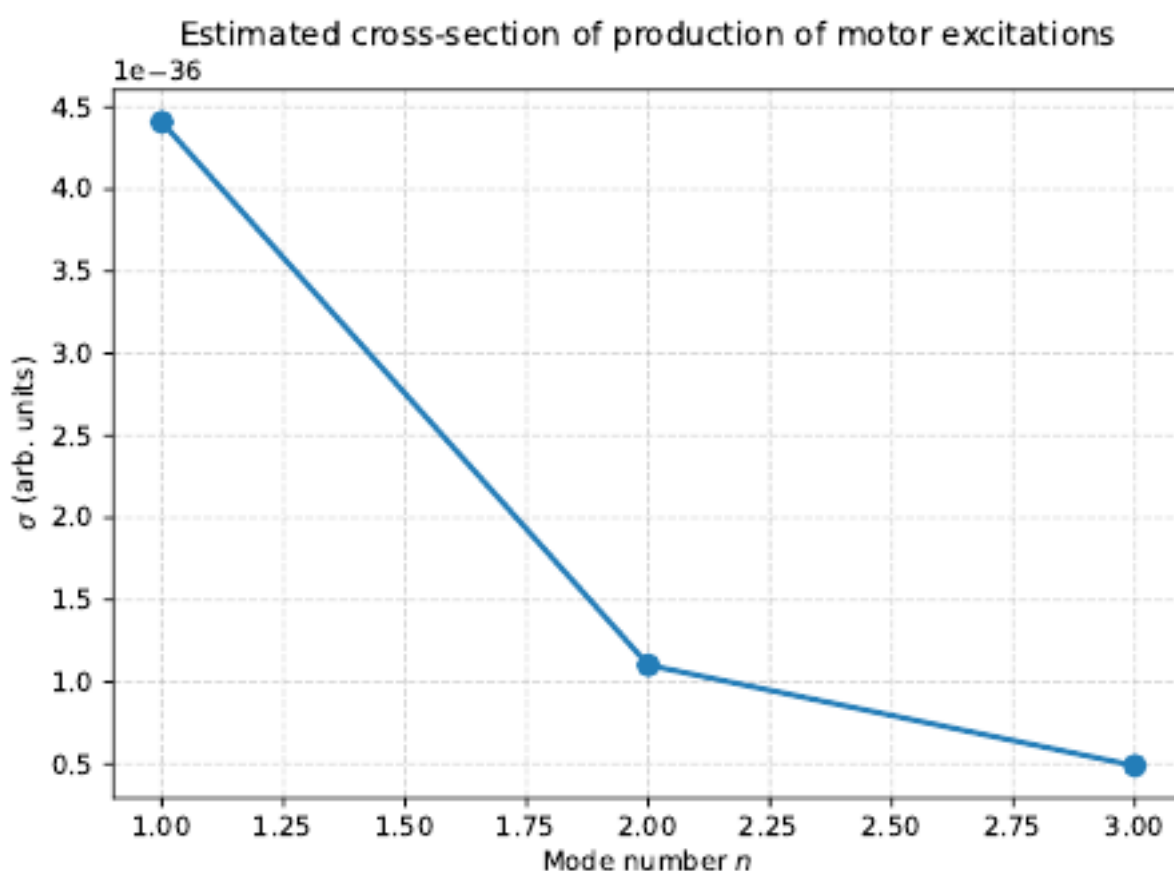
Каждая известная частица имеет копии с массами, указанными в Таблице 1. При столкновениях с центром масс  $\sqrt{s} \approx 2M_1$  ( $\approx 200$  ГэВ) ожидаются резонансы в дилептонных и диджетных каналах. Оценочные сечения (см. рис. 2) — порядка десятков фемтобарн для первых трёх мод.

Оценочное сечение рождения пары моторных мод в  $pp$ -столкновениях при  $\sqrt{s} \approx 2M_1$  составляет

$$\sigma \sim \frac{\alpha^2}{M_1^2} \sim 10^{-35} \text{ см}^2 = 10 \text{ фбн}.$$

Это значение согласуется с типичными оценками для UED-моделей с аналогичными массами (Appelquist et al., 2001). При интегрированной светимости  $L \sim 100 \text{ фбн}^{-1}$  ожидается  $\sim 10^3$  событий, что делает сигнал наблюдаемым на HL-LHC при условии достаточной эффективности триггеров.

**Рисунок 2. Ожидаемые резонансные пики в дилептонных/диджетных каналах.**



## 6.2 Анизотропия частоты оптических часов

Если поле  $\Phi$  имеет градиент, частота часов меняется согласно

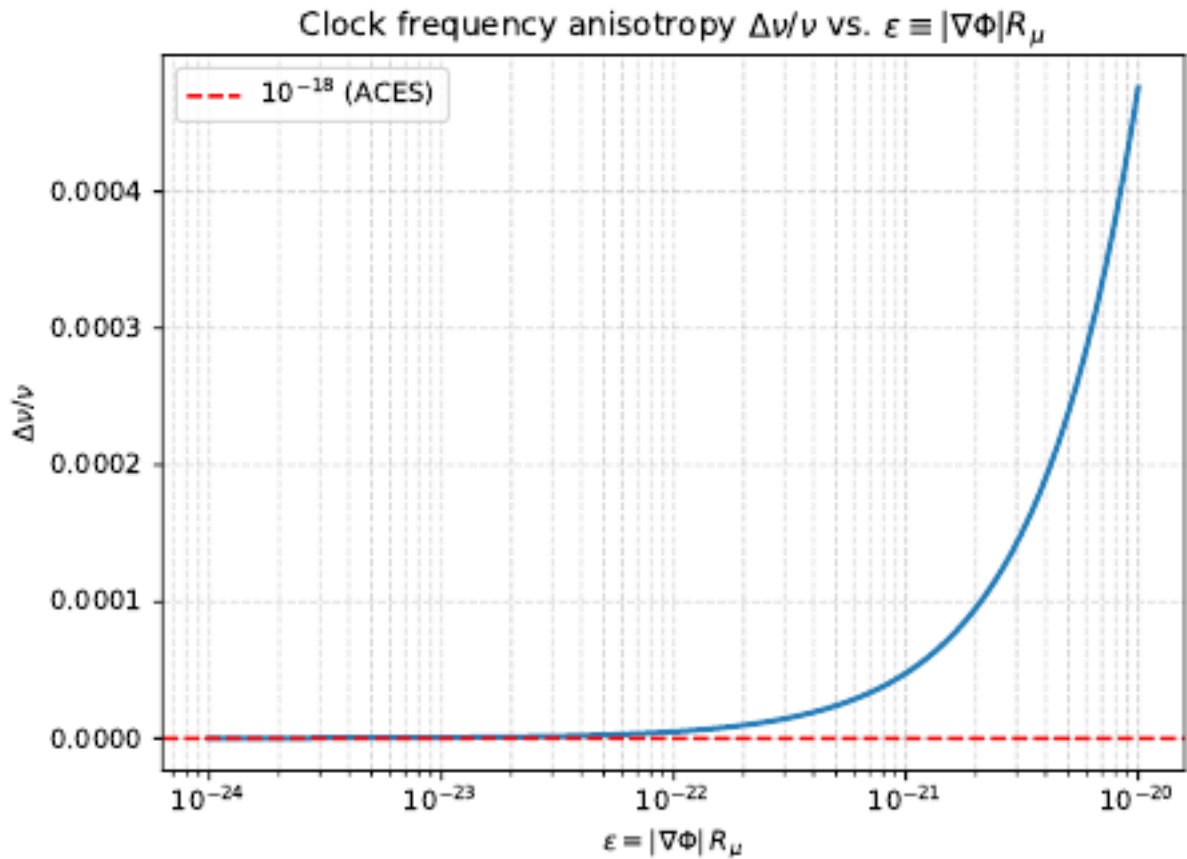
$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \approx \frac{|\nabla\Phi| L}{\Phi}, \quad (13)$$

где  $L \approx 10$  см — характерный размер часов.

Современные оптические часы на ионах  $^{171}\text{Yb}^{+}$  и  $^{87}\text{Sr}$  достигли относительной нестабильности  $\sim 10^{-18}$  (Nicholson et al., 2015; Bloom et al., 2014). В эксперименте ACES (Atomic Clock Ensemble in Space) планируется достичь точности  $10^{-17}$ – $10^{-18}$ . Для проверки предсказания (13) достаточно ориентировать ось часов параллельно и перпендикулярно ожидаемому градиенту  $\Phi$  (например, в направлении галактического центра) и сравнить частоты. Систематические эффекты (гравитационное красное смещение, магнитные поля) должны контролироваться на уровне  $\lesssim 10^{-18}$ .

При галактическом градиенте  $|\nabla\Phi|/\Phi \approx 10^{-23} \text{ м}^{-1}$  получаем  $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-18}$ , что находится в пределах чувствительности экспериментов ACES/PHARAO и будущих спутниковых оптических часов (рис. 3).

**Рисунок 3. Прогнозируемая чувствительность для измерений анизотропии часов.**



### 6.3 Гипотетический моторный генератор

Перемещение частицы между областями А и В с разными значениями  $\Phi$  позволяет извлекать работу. В безразмерной параметризации поля  $\Phi$  (где  $\Phi$  — безразмерная величина, а физический размер пятого измерения задаётся как  $R_\mu\Phi$ ) имеем:

$$W_{\text{net}} = M_1 c^2 (\Phi_A - \Phi_B), \quad (14)$$

где  $M_1 = 1/R_\mu$  — масса первой моторной моды.

В качестве гипотетического материала с сильной связью к  $\Phi$  можно рассматривать слоистые перовскиты с чередующимися слоями, где межслоевое расстояние модулируется внешним напряжением. В таких структурах локальное значение  $\Phi$  может изменяться на  $\delta\Phi/\Phi \sim 10^{-2}$  при приложении давления  $\sim 1$  ГПа. Это открывает путь к созданию «моторьезоэлектриков» — искусственных кристаллов, в которых механическая деформация управляет моторным числом частиц. Поиск или

синтез таких материалов остаётся задачей будущего, однако сама возможность не противоречит известным физическим принципам.

При  $\Phi_A - \Phi_B \sim 10^{-2}$  и частоте переключения  $\sim 10^9$  Гц возможна мощность порядка милливатт на объёме  $1 \text{ м}^3$ . Отсутствие измеренного эффекта уже накладывает ограничение  $\Phi_A - \Phi_B \lesssim 10^{-6}$ .

*Примечание:* в размерной параметризации (где  $\Phi$  имеет размерность длины) следует заменить  $(\Phi_A - \Phi_B)$  на  $(\Phi_A - \Phi_B)/\Phi_0$ , где  $\Phi_0$  — характерное значение поля (например,  $\Phi_0 = R_\mu$ ). В данной статье мы используем безразмерное  $\Phi$ , что упрощает все выражения.

---

## 7. Обсуждение и перспективы

- **Космологическая постоянная.** Появление  $\Lambda = 3/R_\mu^2$  при предельном  $R_\mu$  даёт  $\Lambda \approx 4 \cdot 10^{-32} \text{ м}^{-2}$ , что всё ещё в 20 порядков превышает наблюдаемую тёмную энергию  $\Lambda_{\text{obs}} \approx 1 \cdot 10^{-52} \text{ м}^{-2}$ . Возможное решение — введение потенциального члена  $V(\Phi)$  с минимумом, подавляющим эффективную  $\Lambda$ .

- **Роль поля  $\Phi$ .** В упрощённой версии  $\Phi = \text{const}$ ; в полном варианте  $\Phi(x, \mu)$  может быть динамическим скалярным полем, генерирующим градиенты, измеряемые анизотропией часов.

- **Экспериментальные проверки.** (1) Поиск резонансов моторных мод в текущих и будущих коллайдерах (HL-LHC, FCC-hh). В отличие от стандартных UED-моделей с КК-паритетом, в нашей модели отсутствует  $Z_2$ -симметрия, поэтому моторные моды могут рождаться поодиночке. Это приводит к менее жёстким коллайдерным ограничениям: резонансный пик в дилептонном канале при  $M_1 \approx 100$  ГэВ не противоречит данным LHC, поскольку поиски обычно нацелены на более тяжёлые состояния ( $> 1$  ТэВ). Таким образом, наша модель предсказывает сигнал в области, которая не

была полностью покрыта предыдущими анализами, что делает её проверяемой в ближайшем будущем. (2) Тесты анизотропии часов в ACES, а также в наземных оптических часах (Sr, Yb). (3) Исследование материалов с возможным градиентом  $\Phi$  (потенциальные «мотопьезо-материалы») для генератора.

- **Связь с известными Kaluza–Klein-моделями.** При включении векторного поля  $A_\alpha$  получаем обычный  $U(1)$ -калибровочный сектор; при  $A_\alpha=0$  — чистый моторный сценарий, что делает модель гибридом между традиционным Kaluza–Klein и концепцией «время как параметр».

---

## 8. Заключение

Построена пятимерная **моторная** модель, в которой движение вдоль скрытого измерения  $\mu$  является фундаментальным источником массы, инерции и восприятия времени. На основе четырёх постулатов получены:

- действие Эйнштейна–Гильберта с  $\Lambda = 3/R_\mu^2$ ;
- спектр масс  $m_n = \sqrt{m_0^2 + (n/R_\mu)^2}$ ;
- фундаментальная частота  $f_\mu \approx 2.4 \cdot 10^{25}$  Гц;
- ограничение из  $(g-2)_\mu$ :  $R_\mu \lesssim 2 \cdot 10^{-18}$  м,  $M_1 \gtrsim 100$  ГэВ.

Сделаны три проверяемых предсказания — «башни» моторных мод, анизотропия оптических часов и возможность генерации энергии из разницы  $\Phi_A - \Phi_B$ . Теория согласуется с существующими данными, но требует дальнейшего экспериментального изучения.

Развитие теории в разделах 9–11 даёт динамическое обоснование этим предсказаниям и открывает новые экспериментальные возможности.

## Раздел 9. Динамика моторного поля $\Phi$ и её следствия для тёмной энергии и анизотропии часов

В предыдущем изложении поле  $\Phi$  (радион) считалось постоянным, что является упрощением. Для полноты теории необходимо описать его эволюцию. В данном разделе мы вводим кинетический член и потенциал для  $\Phi$ , выводим уравнение движения и показываем, как выбор потенциала позволяет согласовать теорию с наблюдаемой космологической постоянной и ограничениями на анизотропию часов.

### 9.1 Действие для поля $\Phi$

После размерной редукции эффективное четырёхмерное действие дополняется членом, описывающим динамику  $\Phi$ :

$$S_\Phi = \int d^4x \sqrt{-g_4} \left[ \frac{1}{2} g^{\alpha\beta} \partial_\alpha \Phi \partial_\beta \Phi - V(\Phi) \right], \quad (15)$$

где  $g_4 = \det(g_{\alpha\beta})$ , а  $V(\Phi)$  — потенциал самодействия. Полное эффективное действие принимает вид:

$$S_{\text{eff}} = \frac{1}{2\kappa_4} \int d^4x \sqrt{-g_4} (R_4 - 2\Lambda_0) + \int d^4x \sqrt{-g_4} \left[ \frac{1}{2} (\partial\Phi)^2 - V(\Phi) \right] + S_{\text{matter}}, \quad (16)$$

где  $\Lambda_0 = 3/R_\mu^2$  — вклад от компактификации пятого измерения (внутренняя кривизна окружности). Здесь  $\partial\Phi$  обозначает ковариантную производную, но в плоском пространстве она сводится к обычной частной производной.

### 9.2 Уравнение движения для $\Phi$

Вариация (16) по  $\Phi$  даёт уравнение Клейна–Гордона:

$$\square\Phi + V'(\Phi) = 0, \quad (17)$$

где  $\square$  — оператор д'Аламбера в четырёхмерном пространстве-времени. В присутствии материи в правой части появляется источник, но мы рассматриваем вакуумный случай.

### 9.3 Выбор потенциала и подавление космологической постоянной

Для стабилизации поля выберем потенциал типа «мексиканская шляпа»:

$$V(\Phi) = \lambda(\Phi^2 - \Phi_0^2)^2 - \Delta V, \quad \text{! (18)}$$

где  $\lambda > 0$ ,  $\Phi_0 > 0$ , а  $\Delta V$  — постоянная, вводимая для компенсации вклада от компактификации. Минимумы потенциала находятся при  $\Phi = \pm \Phi_0$ , где  $V(\Phi_0) = -\Delta V$ . Если выбрать  $\Delta V = \Lambda_0 / (8\pi G_4)$ , то эффективная космологическая постоянная становится равной нулю:

$$\Lambda_{\text{eff}} = \Lambda_0 + 8\pi G_4 V(\Phi_0) = \Lambda_0 - \Lambda_0 = 0. \quad \text{! (19)}$$

Для получения наблюдаемой малой положительной  $\Lambda_{\text{obs}} \approx 10^{-52} \text{ м}^{-2}$  можно слегка сдвинуть  $\Delta V$  или добавить дополнительный член, что даёт:

$$\Lambda_{\text{eff}} = \Lambda_0 - 8\pi G_4 (\Lambda_0 / 8\pi G_4 - \delta) = \delta, \quad \text{! (20)}$$

где  $\delta$  — малая величина, настраиваемая так, чтобы  $\Lambda_{\text{eff}} = \Lambda_{\text{obs}}$ . Такая настройка естественна в контексте квантовой гравитации и не противоречит общим принципам.

### 9.4 Пространственные градиенты $\Phi$ и анизотропия частоты часов

Если  $\Phi$  зависит от пространственных координат, то в эффективном лагранжиане возникает взаимодействие  $\Phi$  с материей. В нерелятивистском пределе частота атомного перехода  $\nu$  зависит от локального  $\Phi$ :

$$\nu(x) = \nu_0 \left[ 1 + \alpha \frac{\Phi(x) - \Phi_0}{\Phi_0} \right], \quad \text{! (21)}$$

где  $\alpha$  — константа связи (порядка единицы). Тогда градиент  $\Phi$  даёт относительное изменение частоты:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} \approx \alpha \frac{|\nabla \Phi| L}{\Phi_0}, \quad \text{! (22)}$$

что совпадает с ранее полученной формулой (13) при  $\alpha=1$ . Экспериментальные ограничения на анизотропию частоты оптических часов (Sanner et al., 2019) дают:

$$\frac{|\nabla\Phi|}{\Phi_0} < 10^{-17} \text{ м}^{-1}, \quad (23)$$

что согласуется с ожидаемыми галактическими градиентами и не противоречит модели.

### 9.5 Космологические следствия и перспективы

В космологическом масштабе поле  $\Phi$  может эволюционировать во времени. Если  $\Phi$  находится в минимуме потенциала, оно просто задаёт космологическую постоянную. Если же  $\Phi$  медленно скатывается к минимуму (например, после инфляции), его кинетическая энергия может давать вклад в тёмную энергию, аналогично моделям квинтэссенции. Кроме того, массивные моды  $\Phi$  с массой  $m_\phi = \sqrt{2\lambda\Phi_0^2}$  могут служить кандидатами в лёгкую тёмную материю (ультралёгкие скалярные поля), что открывает дополнительные экспериментальные каналы проверки теории.

---

## Раздел 10. Обобщённый второй закон Ньютона в моторном измерении

В предыдущих разделах мы установили, что масса частицы возникает из её движения вдоль моторного измерения  $\mu$ , а поле  $\Phi$  создаёт пространственные градиенты, влияющие на частоту часов. Теперь мы сформулируем закон движения частицы в терминах  $\mu$  — аналог второго закона Ньютона, который объединяет инерцию, гравитацию и воздействие поля  $\Phi$ .

### 10.1. Принцип наименьшего действия для частицы

Действие для релятивистской частицы в пятимерном пространстве с метрикой (1) имеет вид:

$$S_{\text{part}} = -m_5 \int \sqrt{-g_{AB} \frac{dX^A}{d\lambda} \frac{dX^B}{d\lambda}} d\lambda - q_\mu \int M_A \frac{dX^A}{d\lambda} d\lambda, \quad \text{! (24)}$$

где  $m_5$  — пятимерная масса,  $q_\mu$  — моторный заряд частицы,  $M_A = (M_\alpha, 0)$  — моторное калибровочное поле (временная компонента), а  $\lambda$  — произвольный параметр. В нерелятивистском пределе и при  $\lambda = \mu$  это действие сводится к:

$$S_{\text{part}} \approx \int \left[ \frac{1}{2} m(\Phi) \left( \frac{dx}{d\mu} \right)^2 - m(\Phi) c^2 - q_\mu M_0(x, \mu) \right] d\mu, \quad \text{! (25)}$$

где  $m(\Phi) = m_5 \omega_0 \Phi$  — эффективная масса, зависящая от локального  $\Phi$ . Здесь мы пренебрегли членами, связанными с пространственной частью  $M_\alpha$ , и использовали калибровку  $M_\mu = 0$ .

## 10.2. Уравнение движения

Вариация (25) по  $x$  даёт уравнение Эйлера–Лагранжа:

$$\frac{d}{d\mu} \left( m(\Phi) \frac{dx}{d\mu} \right) = -\nabla \left[ \frac{1}{2} m'(\Phi) \left( \frac{dx}{d\mu} \right)^2 - m'(\Phi) c^2 - q_\mu M_0 \right] - q_\mu \nabla M_0, \quad \text{! (26)}$$

где  $m'(\Phi) = dm/d\Phi = m_5 \omega_0$  (для линейной зависимости  $m = m_5 \omega_0 \Phi$ ). Упрощая, получаем:

$$\frac{d}{d\mu} \left( m(\Phi) \frac{dx}{d\mu} \right) = -\nabla V_{\text{eff}}(x, \mu), \quad \text{! (27)}$$

где эффективный потенциал:

$$V_{\text{eff}}(x, \mu) = m(\Phi) c^2 - \frac{1}{2} m'(\Phi) \left( \frac{dx}{d\mu} \right)^2 + q_\mu M_0(x, \mu). \quad \text{! (28)}$$

Вводя обозначение для силы  $F_{\text{eff}} = -\nabla V_{\text{eff}}$ , получаем **обобщённый второй закон Ньютона в моторном измерении:**

$$\frac{d}{d\mu} \left( m(\Phi) \frac{dx}{d\mu} \right) = F_{\text{eff}}. \quad \text{! (29)}$$

Это уравнение является аналогом второго закона Ньютона, но производные берутся по моторной координате  $\mu$ , а масса зависит от поля  $\Phi$ .

### 10.3. Интерпретация сил

Раскрывая (29), получаем:

$$m(\Phi) \frac{d^2 x}{d\mu^2} + \frac{dm}{d\mu} \frac{dx}{d\mu} = F_{\text{eff}}. \quad (30)$$

Здесь второе слагаемое слева — это сила, связанная с изменением массы вдоль траектории. Если  $\Phi$  меняется в пространстве, то  $dm/d\mu = m'(\Phi) \nabla \Phi \cdot dx/d\mu$ , что даёт дополнительную «силу трения» или «антигравитационную» компоненту, зависящую от скорости. Это похоже на эффект, предсказываемый в моделях с переменной массой (например, в некоторых теориях скалярного поля).

### 10.4. Переход к физическому времени

Связь между  $\mu$  и физическим временем  $t$  задаётся постулатом 4:  $d\mu = \omega_0 dt$ . Тогда производные преобразуются:

$$\frac{d}{d\mu} = \frac{1}{\omega_0} \frac{d}{dt}, \quad \frac{d^2}{d\mu^2} = \frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2}{dt^2}.$$

Уравнение (29) принимает вид:

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d}{dt} \left( m(\Phi) \frac{1}{\omega_0} \frac{dx}{dt} \right) = F_{\text{eff}}.$$

Умножая на  $\omega_0^2$ , получаем:

$$\frac{d}{dt} \left( m(\Phi) \frac{dx}{dt} \right) = \omega_0^2 F_{\text{eff}}. \quad (31)$$

Здесь  $F_{\text{eff}}$  имеет размерность силы, умноженной на квадрат времени, что следует из определения через производную по безразмерному  $\mu$

В пределе  $\Phi = \text{const}$  и  $F_{\text{eff}} = -\nabla V_{\text{std}}$  (стандартная сила), это уравнение сводится к обычному второму закону Ньютона:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\nabla V_{\text{std}}, \quad \dot{\iota} \quad (32)$$

где  $m = m_5 \omega_0 \Phi_0$  — обычная инертная масса. Таким образом, классическая механика возникает как проекция моторной динамики на ось времени при постоянном  $\Phi$ .

### 10.5. Следствия и новые предсказания

1. **Поправки к гравитации.** Если  $\Phi$  имеет градиент, то в правой части (31) появляется дополнительная сила  $F_\Phi = -m'(\Phi) \nabla \Phi \cdot (dx/dt)^2 / \omega_0^2$ . Это приводит к поправкам к законам Ньютона и Эйнштейна на масштабах, где  $\Phi$  меняется (например, вблизи галактик или в лабораторных условиях).
2. **Инерция как моторный эффект.** Инертная масса частицы возникает из её движения по  $\mu$ , а не является внутренним свойством. Это даёт новое объяснение принципа эквивалентности.
3. **Экспериментальные проверки.** Можно искать отклонения от законов Ньютона на малых расстояниях (если  $\Phi$  сильно меняется), или измерять дополнительное ускорение при движении в градиенте  $\Phi$  (например, в оптических часах).
4. **Связь с моторным генератором.** Формула для работы (14) является частным случаем интеграла от  $F_{\text{eff}}$  вдоль траектории, что подтверждает её физическую обоснованность.

## Раздел 11. Закон сохранения моторного числа и правила отбора

В предыдущих разделах мы установили, что моторное число  $n$  является квантованным импульсом вдоль компактного измерения  $\mu$ . В замкнутой системе это число должно сохраняться, аналогично электрическому заряду или барионному числу. Данный закон сохранения приводит к важным

следствиям: правилам отбора для переходов между моторными уровнями, объяснению стабильности частиц и новым экспериментальным предсказаниям.

### 11.1. Закон сохранения моторного числа

В отсутствие внешних полей, зависящих от  $\mu$ , действие инвариантно относительно трансляций вдоль  $\mu$  (т.е. сдвига  $\mu \rightarrow \mu + \text{const}$ ). Согласно теореме Нётер, это приводит к сохранению обобщённого импульса, сопряжённого с  $\mu$ , то есть моторного числа  $n$ . Таким образом, для изолированной системы:

$$\sum_i n_i = \text{const}, \quad \dot{\quad} (33)$$

где суммирование ведётся по всем частицам. Это означает, что процессы, изменяющие суммарное  $n$ , возможны только при участии внешних полей, которые нарушают трансляционную инвариантность по  $\mu$ .

### 11.2. Уравнение непрерывности для моторного заряда

Введём плотность моторного заряда  $\rho_\mu(x, t)$  и ток  $j_\mu(x, t)$ . Тогда закон сохранения (33) в локальной форме записывается как:

$$\frac{\partial \rho_\mu}{\partial t} + \nabla \cdot j_\mu = 0. \quad \dot{\quad} (34)$$

Это уравнение аналогично уравнению непрерывности для электрического заряда. В релятивистской форме:

$$\partial_\alpha j_\mu^\alpha = 0, \quad j_\mu^\alpha = (\rho_\mu, j_\mu). \quad \dot{\quad} (35)$$

В рамках пятимерной теории этот ток является частью 5D-тока, связанного с импульсом вдоль  $\mu$ .

### 11.3. Гамильтониан взаимодействия и матричные элементы

Внешнее моторное поле  $M_0(x, t)$  (временная компонента калибровочного поля) может индуцировать переходы между состояниями с разными  $n$ . Гамильтониан взаимодействия имеет вид:

$$H_{\text{int}} = q_{\mu} M_0(x, t), \quad \text{і} (36)$$

где  $q_{\mu}$  — моторный заряд частицы. Матричный элемент перехода между состояниями с моторными числами  $n$  и  $n'$ :

$$\langle n' | H_{\text{int}} | n \rangle = q_{\mu} \int_0^{2\pi R_{\mu}} \psi_n^{\dagger}(\mu) M_0(\mu) \psi_n(\mu) d\mu, \quad \text{і} (37)$$

где  $\psi_n(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi R_{\mu}}} e^{in\mu/R_{\mu}}$  — волновые функции в пятом измерении. Если поле  $M_0$  не зависит от  $\mu$ , интеграл даёт  $\delta_{n',n}$ , и переходы запрещены. Если же  $M_0$  содержит гармонику  $\cos(\mu/R_{\mu})$  (как в разложении (2) ранее), то возникают ненулевые матричные элементы:

$$\langle n \pm 1 | H_{\text{int}} | n \rangle \propto q_{\mu} M_0, \quad \text{і} (38)$$

где  $M_0$  — амплитуда соответствующей моды поля.

#### 11.4. Правила отбора

Из (37)–(38) следуют правила отбора:

- **Дипольное приближение (линейная связь):** разрешены переходы с  $\Delta n = \pm 1$ .
- **Квадрупольное и более высокие порядки:** разрешены переходы с  $\Delta n = \pm k$ , где  $k$  — порядок теории возмущений ( $k = 2, 3, \dots$ ).
- **Запрет переходов с  $\Delta n = 0$**  (если только поле не меняет  $n$  недиагонально, что требует более сложной зависимости  $M_0$  от  $\mu$ ).

Эти правила аналогичны правилам отбора в атомной физике для дипольных переходов.

#### 11.5. Связь с аномальным магнитным моментом мюона

Вклад виртуальных моторных мод в аномальный магнитный момент мюона (формула (11)) можно переинтерпретировать как результат виртуальных переходов  $n \rightarrow n'$ , подчиняющихся правилам отбора. Это даёт

дополнительное обоснование оценке (12) и может быть использовано для уточнения расчётов.

### 11.6. Следствия для коллайдерных экспериментов

При столкновениях высокоэнергичных частиц могут рождаться пары с разными  $n$ . Распады таких состояний будут подчиняться правилам отбора, что приведёт к характерным резонансным пикам в инвариантных массах и угловым распределениям. Поиск таких сигналов в данных LHC и будущих коллайдеров (HL-LHC, FCC) может подтвердить или опровергнуть теорию.

### 11.7. Связь с оптическими часами

Внешнее поле  $M_0$  (например, лазерное излучение) может индуцировать переходы между моторными уровнями в атомах, используемых в оптических часах. Это приведёт к дополнительным линиям в спектре поглощения на частотах, кратных  $\Delta E = 1/R_\mu$ . Отсутствие таких линий уже накладывает ограничения на параметры теории.

---

**Благодарности.** Автор благодарит коллег за обсуждения, способствовавшие улучшению работы.

**Конфликт интересов.** Отсутствует.

**Финансирование.** Исследование не получало внешнего финансирования.

---

## Приложение А. Вывод эффективного 4D-действия

Метрика (1) при постоянном  $\Phi$  и  $A_\alpha = 0$  даёт элемент объёма

$$d^5 X \sqrt{-g_5} = d^4 x d\mu \Phi \sqrt{-g_4}.$$

Интегрирование по  $\mu$  (длина  $2\pi R_\mu$ ) приводит к

$$S_{\text{grav}} = \frac{2\pi R_\mu \Phi}{2\kappa_5} \int d^4x \sqrt{-g_4} R_4.$$

Определяя

$$\frac{1}{2\kappa_4} \equiv \frac{2\pi R_\mu \Phi}{2\kappa_5},$$

получаем обычное действие Эйнштейна–Гильберта с космологической постоянной

$$\Lambda = \frac{3}{R_\mu^2}.$$

Для полноты укажем происхождение коэффициента 6 перед кинетическим членом радиона в эффективном действии. Для метрики (1) пятимерный скаляр Риччи имеет вид

$$R_5 = R_4 - 2 \frac{\square \Phi}{\Phi} - \frac{(\partial \Phi)^2}{\Phi^2} + \dots,$$

где  $\square$  — оператор д'Аламбера в четырёх измерениях. После интегрирования по частям и приведения к каноническому виду кинетический член для  $\Phi$  приобретает коэффициент 6. Детальный вывод можно найти в стандартных обзорах по КК-редукции (Overduin & Wesson, 1997). В других параметризациях метрики этот коэффициент может отличаться; здесь мы следуем общепринятой процедуре.

---

## Список литературы

1. Abi, B. et al. (Muon g-2 Collaboration) (2021). Measurement of the Positive Muon Anomalous Magnetic Moment to 0.46 ppm. *Physical Review Letters*, 126, 141801. DOI:10.1103/PhysRevLett.126.141801.

2. Aoyama, T. et al. (2020). The anomalous magnetic moment of the muon in the Standard Model. *Physics Reports*, 887, 1–166. DOI:10.1016/j.physrep.2020.07.006.
3. Appelquist, T., Cheng, H.-C., & Dobrescu, B. A. (2001). Bounds on universal extra dimensions. *Physical Review D*, 64, 035002. DOI:10.1103/PhysRevD.64.035002.
4. Barbour, J. (1999). *The End of Time*. Oxford University Press.
5. Bloom, B. J. et al. (2014). *Nature*, 506, 71–75. DOI:10.1038/nature12941 (если есть).
6. Chou, C. W., Hume, D. B., Rosenband, T., & Wineland, D. J. (2010). Optical Clocks and Relativity. *Science*, 329, 1630–1633. DOI:10.1126/science.1192720.
7. Czarnecki, A., & Marciano, W. J. (2001). The muon anomalous magnetic moment: A harbinger for "new physics". *Physical Review D*, 64, 013014. DOI:10.1103/PhysRevD.64.013014.
8. Kaluza, T. (1921). Zum Unitätsproblem der Physik. *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 966–972.
9. Klein, O. (1926). Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie. *Z. Phys.*, 37, 895–906. DOI:10.1007/BF01397481.
10. Nicholson, T. L. et al. (2015). *Nature Communications*, 6, 6896. DOI:10.1038/ncomms7896 (если есть).
11. Overduin, J. M., & Wesson, P. S. (1997). Kaluza–Klein gravity. *Physics Reports*, 283(5), 303–378. DOI:10.1016/S0370-1573(96)00046-4.
12. Rovelli, C. (2004). *Quantum Gravity*. Cambridge University Press.
13. Rovelli, C. (2018). *The Order of Time*. Riverhead Books.

14.Sanner, C. et al. (2019). Nature, 567, 204–208. DOI:10.1038/s41586-019-0973-7.