

# КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ

Мельниченко Юрий Евстафиевич

[youriapostol@yandex.ru](mailto:youriapostol@yandex.ru)

Предлагается модель квантовой гравитации, с формально установленной ковариантностью с Общей Теорией Относительности Альберта Эйнштейна.

## Постулат

Гравитационное поле материально. Представляется как континуум материи-пространства-времени в пространстве Германа Минковского. Особенности поля описываются двумя взаимосвязанными волновыми функциями, параметры которых строго нормированы величинами Макса Планка.

Они принимаются в качестве нижних границ классического формализма. За пределами этих границ требуются квантовые поправки.

## Формальное определение планковских единиц

- **Масса**  $m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 2,18 \times 10^{-8} \text{ кг}$
- **Расстояние**  $l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1,6 \times 10^{-35} \text{ м}$
- **Время**  $t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5,39 \times 10^{-44} \text{ с}$

Где:

- $\hbar$  - приведённая постоянная Макса Планка
- $c$  – скорость света в вакууме
- $G$  – гравитационная постоянная Исаака Ньютона

Определение планковских величин с помощью этих, инвариантных констант говорит и об их собственной инвариантности или обязательности применения в любом физическом формализме.

Понятие их инвариантности подводит нас к определению общего принципа квантования. Любая из физических величин нашего мира измеряется только целым числом квантовых единиц. То есть говоря о расстоянии, времени и массе, мы понимаем, что они всегда имеют только такой вид:

$$L = nl_p \quad T = nt_p \quad M = nm_p \quad n \in N$$

Следствием этого утверждения является ещё одна важная константа, - предельная плотность энергии. В её выражении «n» равна 1 для каждой из формальных компонент.

$$\rho_{max} = \frac{m_p c^2}{l_p^3} = \frac{c^5}{\hbar G^2} \sim 10^{97} \text{ Дж м}^{-3}$$

Эта величина имеет фундаментальное значение для связи гравитации с квантовой механикой. Квантовая механика не допускает величин, значение которых равно или стремится к нулю, что в современной ОТО приемлемо, - представляется как сингулярность или черная дыра. Наличие предельной плотности энергии сингулярность устраняет, но вводит новое понятие «область планковской энергии» ОПЭ.

Таким образом, планковские единицы – это не только фундаментальные константы, а и границы классического описания природы

## Квантовые определения энергии

Современная наука при изучении разного рода излучений-поглощений энергии использует уравнение, предложенное Максом Планком. В этом уравнении только одна переменная. Это время.

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \hbar \nu \\ \nu &= \frac{1}{T} \rightarrow T = nt_p \rightarrow \nu = \frac{1}{nt_p} \rightarrow \varepsilon_1 = \hbar \frac{1}{t_p} \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_1 \frac{1}{n} \end{aligned}$$

Преобразование очень точно показывает принцип квантования. Всё связано с целым числом из натурального ряда. Аналогичное преобразование можно применить к гравитационной энергии:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= m_p c^2 \\ \varepsilon &= \varepsilon_1 \frac{1}{n} \end{aligned}$$

Возникает вопрос: «Можно ли рассматривать эти уравнения как выражения одной и той же формы энергии?» Ответ очевиден, - нельзя. Постоянная Планка в своей размерности содержит образ момента импульса, или вращения, а эйнштейновское выражение энергии строится на базе просто импульса. То есть первое – это энергия момента импульса, а второе – это энергия импульса. Их абсолютные значения тождественно равны, что приводит к мысли о возможности преобразования одного в другое!

## От планковских величин к квантовой гравитации Исаака Ньютона

Два предложенных выражения энергии позволяют нам записать две сложные волновые функции, параметры которых (амплитуды, длины волн, периоды колебаний) задают метрику материального поля. Эта метрика сходна с метрикой ОТО, но принципиально отличается от неё. Она квантована или ограничена используемыми единицами. Нет ничего меньше этих единиц.

$$\begin{aligned} \psi_{(n)}^c &= \hbar \cdot \frac{1}{(nt_p)} \\ \psi_{(n)}^r &= m_p c^2 \cdot \frac{1}{n} \\ |\psi_{(n)}^c| &\equiv |\psi_{(n)}^r| \end{aligned}$$

Первую функцию можно соотнести с циклической волной (с). А вторую – с радиальной (r). Сначала обратим внимание на радиальное уравнение. Определим его квантовый дифференциал:

$$\Delta \psi_{(n)}^r = m_p c^2 \left[ \frac{1}{n} - \frac{1}{(n+1)} \right] = m_p c^2 \frac{1}{n(n+1)}$$

Преобразуем его путём подстановки в числитель и в знаменатель разницы длин последовательных мод. Она всегда равна двум квантам расстояния.

В знаменателе мы получили формальное выражение суммы ограниченного числа членов натурального ряда:

$$\begin{aligned} \Delta \psi_{(n)}^r &= m_p c^2 \frac{1}{n(n+1)} \cdot \frac{2l_p}{2l_p} = m_p c^2 l_p \frac{1}{2l_p \cdot \left\{ \frac{n(n+1)}{2} \right\}} \\ 2l_p \left\{ \frac{n(n+1)}{2} \right\} &= 2l_p \sum_{n=1}^N n = r_N \end{aligned}$$

Два кванта расстояния, умноженные на сумму чисел натурального ряда от 1 до N, это интегральное расстояние или квантово-определённый радиус от первой до энной моды волновой функции.

$$\Delta\psi_{(n)}^r = \frac{m_p c^2 l_p}{r_{(n)}} = \left( \frac{m_p l_p^3}{t_p^2} \right) \cdot \frac{1}{r_{(n)}}$$

Для того, чтобы последнее выражение в скобках привести к метрической единице массы, нам надо разделить его на планковскую и умножить на любую другую массу, выраженную в метрических единицах. Тогда мы получим знаменитую формулу гравитационного потенциала Исаака Ньютона, построенную исключительно на радиальной силе или на радиальном импульсе:

$$\Delta\psi_{(n)}^r = \frac{l_p^3}{t_p^2 m_p} \cdot \frac{M}{r} = G \cdot \frac{M}{r}$$

Теперь обратимся к циклической волновой функции. Её квантовый дифференциал похож на дифференциал радиальной волны.

$$\Delta\psi_{(n)}^c = \left( \frac{\hbar}{t_p} \right) \cdot \frac{1}{(n)(n+1)}$$

Но, как можно заметить, здесь предлагается квантование времени. Введём параметр, равный двум квантам времени и получаем полный период цикла на уровне n:

$$2t_p \left\{ \frac{n(n+1)}{2} \right\} = 2t_p \sum_{n=1}^N n = T_N$$

$$\Delta\psi_{(n)}^c = \frac{\hbar}{T_n}$$

## Новая модель гравитации – ОТО в квантовом мире

Для перехода от квантовых полевых функций к тензору Эйнштейна обратимся к формализму теории поля.

### 1. Метрический тензор: волновая природа

В предложенной модели метрика пространства-времени строится на базе двух скалярных полей:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + \frac{l_p^2}{2} (\partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi + \partial_\mu \Theta \partial_\nu \Theta)$$

где:

- $\eta_{\mu\nu}$  - метрика Минковского (фоновая геометрия);
- $\Phi_{(rt)} = \frac{A}{r} e^{i(kr - \omega t)}$  - сферическое поле (пространственный аспект, радиальный импульс  $p = \hbar k$ );
- $\Theta_t = B e^{i\omega t}$  - циклическое поле (временной аспект, момент импульса  $L = \hbar m$ );
- $l_p$  - планковская длина (показатель максимума кривизны);
- $\partial_\mu$  - ковариантная производная.

#### Смысл уравнения:

Метрика не «решается» из уравнений Эйнштейна для заданного материального объекта, а **явно присутствует в волновой динамике**. Парадигма гравитации радикально меняется, она не свойство материи, искривлять пространства-время, а проявление волновой динамики материального поля.

Соответственно, сама массивная материя в принятом понимании — это объединение мод двух волновых функций с  $n=1$  (максимально допустимая плотность энергии и максимально допустимая поляризация спина).

## 2. Тензор энергии-импульса: волновые источники

Тензор  $T_{\mu\nu}$  строится из тех же полей:

$$T_{\mu\nu} = (\partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi + \partial_\mu \Theta \partial_\nu \Theta) \left(1 - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}\right)$$

**Особенности:**

- Благодаря волновым уравнениям ( $\Phi$  и  $\Theta$ ),  $T_{\mu\nu}$  автоматически удовлетворяет закону сохранения  $\nabla_\mu T_{\mu\nu} = 0$
- В пределе слабых полей  $n \rightarrow \infty \sim r \gg l_p$  модель сводится к чистому ОТО.

## 3. Уравнения Эйнштейна: волновой ковариантной вид

Подставим наши значения в тензор Эйнштейна и получим его волновой вариант:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \left\{ \eta_{\mu\nu} + \frac{l_p^2}{2} (\partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi + \partial_\mu \Theta \partial_\nu \Theta) \right\} R = \frac{8\pi G}{c^4} \left\{ (\partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi + \partial_\mu \Theta \partial_\nu \Theta) \left(1 - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}\right) \right\}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad R \leq l_p^2$$

**Ключевые отличия ОТО от КГ (Квантовая Гравитация)**

Параметр	ОТО	КГ
Источник гравитации	Материя	Материальное поле
Метрика	Тензор Эйнштейна	Волновая функция
Сингулярность	Допускается	Исключена
Горизонт событий	Математическая ловушка	Максимум градиентов волн
Ковариантность	Полная	Полная

## Физические следствия модели

### 1. Отсутствие сингулярностей

- Кривизна пространства-времени ограничена планковским масштабом  $R \leq l_p^2$ .
- Вместо сингулярности возникает Область Планковской Энергии (ОПЭ)  $\rho_{max} = \frac{\hbar c^2}{G^2 l_p^3}$

### 2. Горизонт событий ОПЭ

- Это поверхность, под которой:
  - Градиент сферической волны  $\partial_r \Phi$  максимальный.
  - Частота циклической волны  $\partial_t \Theta$  максимальна.
- За горизонтом метрика «смазывается» из-за квантовых флуктуаций.

Следует обратить внимание, - ограничение плотности энергии запрещает свободный обмен энергией, а это значит, что ОПЭ не может детектироваться простым наблюдением. Обнаружить её можно только через гравитацию. Не исключено, что в нашей Вселенной большое количество таких областей. Именно они могут ассоциироваться с «тёмной материей».

### 3. Механизм излучения энергии («антигравитация»)

- При флуктуации плотности энергии в сторону увеличения ( $\rho > \rho_{max}$ ) (близкое к бесконечности количество взаимодействий) идёт следующий процесс:
  - сферическая мода ( $n=1$ ) подвергается сжатию  $\rightarrow \delta r$  под горизонтом;
  - циклическая мода ( $n=1$ ) или спин меняет фазу  $\rightarrow \delta r$  над горизонтом.
- При флуктуации в сторону уменьшения ( $\rho < \rho_{max}$ ) (ограниченное количество взаимодействий) все происходит в обратном порядке – чистая гравитация.

Это процесс регулирования плотности или сохранения энергии системы. Спектр излучения энергии — не тепловой, как у Стивена Хокинга, а дискретный, как в атомной спектроскопии. Спиновая поляризация связана с гравитацией, что интересно с точки зрения космических наблюдений

### Почему это ковариантная теория?

#### 1. Объяснимый тензорный формализм

- Все уравнения записаны через тензоры и ковариантные производные.
- Физические предсказания не зависят от выбора координат.

#### 2. Инвариантные величины

- Скалярная кривизна (ограничена планковским масштабом).
- Квадрат тензора Римана  $R_{\mu\nu\alpha\beta}R_{\mu\nu\alpha\beta}$  содержит члены типа  $(\partial \partial \Phi)^2$ ,  $(\partial \partial \Theta)^2$  что задаёт планковский предел.

#### 3. Причинность

- Скорость распространения возмущений не превышает скорости света.

### Итог: что даёт модель?

#### 1. Физически наглядную картину мира

- Гравитация — макроскопический эффект волновой динамики.
- Горизонт — не ловушка, а граница измеримости.
- Излучение — механизм саморегуляции.

#### 2. Математическую строгость

- Ковариантная формулировка.
- Явная связь между волнами и геометрией.
- Планковские единицы как естественные регуляторы.

### 3. Альтернативу ОТО без парадоксов

- Нет сингулярностей.
- Нет «потери информации» (состояние кодируется в волновых полях).
- Излучение имеет квантовую природу, а не полуклассическую.

**Эта модель не отвергает Общую Теорию Относительности, а расширяет её, вводя квантовые эффекты через волновую динамику. Она сохраняет дух Альберта Эйнштейна, но предлагает новый взгляд на природу гравитации.**

### Опыты по обнаружению эффектов квантования

Предложенная модель квантовой гравитации с планковским квантованием пространства-времени, волновых полей и энергии допускает ряд наблюдаемых следствий. Ниже рассмотрены ключевые эффекты, потенциально доступные для экспериментальной проверки, и предложены методы их обнаружения.

#### 1. Квантовая «дрожь» траектории макроскопических объектов

Суть эффекта:

Из-за стохастических флуктуаций метрики  $\delta g_{\mu\nu} \sim l_p$  траектория любого объекта испытывает случайные смещения порядка  $l_p$  на каждом шаге собственного времени  $\Delta\tau \sim t_p$ . На макроскопических масштабах это приводит к диффузионному разбросу:

$$\langle \Delta x^2 \rangle \sim l_p^2 \cdot t_p t$$

Экспериментальная проверка:

- **Интерферометрия массивных частиц (атомы, наночастицы).**
  - Измерить уширение интерференционной картины при увеличении времени полёта.
  - Ожидается отклонение от классической интерференции при  $t \geq 1$  для объектов массой  $m \sim 10^{-15}$  КГ.
- **Оптические резонаторы с подвешенными микрзеркалами:**
  - Регистрировать низкочастотный шум в положении зеркала ( $f \sim 1$  Гц), не объяснимый тепловыми или квантовыми шумами стандартной квантовой механики.

Критерии обнаружения:

- Зависимость амплитуды шума от массы объекта как  $\sim m^{-\frac{1}{2}}$ .
- Отсутствие корреляции с температурой при  $T < 1^\circ\text{K}$ .

#### 2. Дискретность спектра гравитационного излучения

Суть эффекта:

В модели гравитационное взаимодействие опосредовано обменом квантов с энергией  $\varepsilon_n = \frac{m_p c^2}{n}$ . Это приводит к **дискретному спектру гравитационных волн** (ГВ) при процессах с планковской плотностью энергии.

#### Экспериментальная проверка:

- Анализ сигналов LIGO/Virgo от сливающихся чёрных дыр:
  - Искать периодические модуляции амплитуды ГВ с периодом  $\Delta f \sim \frac{c^5}{G \hbar^2} \approx 10^{10}$  Гц (в сопутствующей системе отсчёта).
  - Ожидаемый эффект: «гребёнка» в спектре ГВ при  $f \geq 10^3$  Гц.
- Косвенные следы в реликтовом гравитационном фоне:
  - Аномальные пики в спектре стохастического ГВ-фона на частотах  $f_n \sim n^{-1} 10^{10}$  Гц.

#### Критерии обнаружения:

- Статистическая значимость пиков  $> 5\sigma$ .
- Корреляция с астрофизическими источниками высокой плотности энергии.

### 3. Нарушение Лоренц-инвариантности на планковских масштабах

Суть эффекта:

Квантование пространства-времени вносит малые анизотропии в распространение света и частиц:

- Групповая скорость фотонов зависит от поляризации:  $v_g = c \left( 1 + \alpha \frac{l_p}{\lambda} \right)$ , где  $\alpha \sim 1$ .
- Для частиц с массой: отклонение от релятивистского закона  $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$  на уровне  $\delta E \sim \frac{\hbar c}{l_p}$ .

#### Экспериментальная проверка:

- **Астрофизические гамма-всплески:**
  - Измерять запаздывание высокоэнергичных ( $E > 100$  ГэВ) фотонов относительно низкоэнергичных.
  - Ожидаемое время задержки:  $\Delta t \sim \frac{l_p}{\lambda} \cdot \frac{D}{c}$  где  $D$  — расстояние до источника.
- **Космические лучи ультравысоких энергий** ( $E > 10^{20}$  эВ):
  - Искать аномалии в пороге рождения пионов ( $p + \gamma_{пл} \rightarrow \Delta^+$ ) из-за нарушения Лоренц-симметрии.

Критерии обнаружения:

- Зависимость задержки от энергии как  $\Delta t \propto E^{-1}$ .
- Согласованность данных от нескольких источников на разных расстояниях.

#### 4. Квантование гравитационной энергии в микросистемах

Суть эффекта:

Для объектов с массой  $m \sim m_p$  гравитационная энергия  $U = -\frac{Gm^2}{r}$

Принимает дискретные значения:  $U_n = -\frac{Gm_p^2}{nl_p} \quad n \in N$

Это приводит к **квантованным орбитам** в гравитационно-связанных системах.

**Экспериментальная проверка:**

- **Ультрахолодные нейтроны в гравитационном поле Земли:**
  - Измерять энергетические уровни нейтронов, отражённых от горизонтальной поверхности.
  - Ожидаемые расстояния между уровнями  $\Delta z \sim l_p \cdot \left(\frac{m_p}{m_n}\right)^{1/3} \approx 10^{-6}$  м.
- **Левитирующие микрочастицы в магнитных ловушках:**
  - Регистрировать дискретные скачки положения частицы при изменении гравитационного потенциала.

**Критерии обнаружения:**

- Периодичность в распределении высот левитации с шагом  $\sim 1 \mu\text{м}$ .
- Независимость шага от материала частицы.

#### 5. Ограничение на максимальную плотность энергии

Суть эффекта:

Модель предсказывает **максимальную плотность энергии**

$$\rho_{max} = \frac{m_p c^2}{l_p^3} \approx 10^{97} \text{ Дж м}^{-3}.$$

В такой области должны наблюдаться:

- подавление образования чёрных дыр;
- аномальное рассеяние высокоэнергичных частиц.

**Экспериментальная проверка:**

- **Эксперименты на коллайдерах (LHC, FCC):**
  - Искать дефицит событий с образованием чёрных микро-дыр  $\sqrt{s} > 10$  ТэВ.

- Анализировать угловые распределения частиц в области  $\Theta < 10^{-3}$  рад
- **Наблюдения гамма-всплесков:**
  - Проверять отсутствие поглощения фотонов с  $E > 10^{15}$  эВ на космических расстояниях (из-за подавления фотон-фотонного рассеяния при  $\rho \rightarrow \rho_{max}$ ).

**Критерии обнаружения:**

- Резкое падение сечения образования чёрных дыр при превышении планковской энергии.
- Несоответствие наблюдаемых потоков высокоэнергичных фотонов предсказаниям ОТО.

**6. Квантовые корреляции в гравитационных волнах**

Суть эффекта:

При квантовании метрики флуктуации  $\delta g_{\mu\nu}$  должны проявлять **неклассические корреляции** (аналог сжатых состояний в квантовой оптике).

**Экспериментальная проверка:**

- **Совместные измерения на двух детекторах ГВ (LIGO + Virgo + KAGRA):**
  - Искать корреляции шума в полосе 10-1000 Гц, не объяснимые классическими источниками.
  - Ожидаемая амплитуда:  $h_{kv} \sim \frac{l_p}{L}$ , где L — длина плеча интерферометра.
- **Квантовые сенсоры на основе атомов:**
  - Использовать интерферометры с холодными атомами для регистрации пространственно-временных корреляций  $\langle \delta g_{00}(x, t) \delta g_{00}(x', t') \rangle$

**Критерии обнаружения:**

- Нарушение неравенств Белла для гравитационных корреляций.
- Зависимость корреляций от расстояния как  $\sim |x - x'|^{-2}$ .

**Заключение**

**Эксперименты охватывают три масштаба: микромир, макромир и космос**

**Литература**

1. Эйнштейн А. *Собрание научных трудов*. - М.: Наука, 1965.

2. Уилер Дж. *Геометродинамика*. - М.: Мир, 1962.
3. Пенроуз Р. *Путь к реальности*. - Ижевск: ИКИ, 2007.
4. Смолин Л. *Неприятности с физикой*. - М.: Эксмо, 2007.
5. Rovelli C. *Quantum Gravity*. - Cambridge: CUP, 2004.
6. Green M., Schwarz J., Witten E. *Superstring Theory*. - Cambridge: CUP, 1987.
7. Ashtekar A., Lewandowski J. *Background independent quantum gravity: A status report*// *Class. Quantum Grav.* - 2004. - Vol. 21. - R53–R152.
8. Amelino-Camelia G. *Quantum Gravity Phenomenology*// *Living Rev Relativ.* - 2008. - Vol. 16. - 5.
9. Planck M. *Über irreversible Strahlungsvorgänge*// *Ann. Phys.* - 1900.— Vol. 306. - S. 69–122.
10. Dirac P.A.M. *Principles of Quantum Mechanics*. - Oxford: Clarendon Press, 1958.