

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО

## **ОМСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2018**

**Материалы Второй Всероссийской научной конференции**

**(Омск, 10–15 декабря 2018 г.)**

© ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», 2018

**ISBN 978-5-7779-2339-4**



2018

# МОДЕЛЬ МЕЖВРЕМЕННЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПЕТЛЕВОЙ КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

А.К. Гуц

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия

E-mail: guts@omsu.ru

## MODEL OF INTERTEMPORAL TRANSITIONS IN LOOP QUANTUM GRAVITATION

A.K. Guts

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Дается описание механизма, осуществляющего межвременные переходы в рамках петлевой квантовой гравитации. В отличие от квантовой геометродинамики в данном случае становится понятным, что производить воздействия, меняющие современную геометрию на прошлую, необходимо на микрообласти пространства.

The description of the mechanism that makes intertemporal transitions within the loop quantum gravity is given. In contrast to quantum geometrodynamics in this case it becomes clear that for changing modern geometry on the past it is necessary to produce effects on micro-domains of space.

**Ключевые слова:** квантовая машина времени, петлевая квантовая гравитация, спиновая сеть, спиновая пена.

**Keywords:** quantum time machine, loop quantum gravity, spin net, spin foam.

### 1. Петлевая квантовая гравитация (LQG)

Петлевая квантовая гравитация по сути дела является переводом квантовой геометродинамики Уилера на язык другой пары канонических переменных: вместо пары  $(h_{\alpha\beta}, K_{\alpha\beta})$  рассматривается пара Аштекара  $(A_\beta^{(\alpha)}, \tilde{E}_\beta^{(\alpha)})$ , где  $A_\beta^{(\alpha)}$  – связность пространства [1].

Уравнение Уилера–ДеВитта в петлевой квантовой гравитации имеет следующий вид

$$\varepsilon^{(\alpha\beta\gamma)} F_{\mu\nu(\gamma)} \frac{\delta}{\delta A_\mu^{(\alpha)}} \frac{\delta}{\delta A_\nu^{(\beta)}} \Psi[A] = 0.$$

Решением этого уравнения является волновая функция, максимум амплитуды которой дает наиболее вероятностную связность, а, точнее, наиболее вероятную 3-геометрию со связностью, и, следовательно, показывает как меняется вектор в 3-пространстве  $M^3$ , обносимый по петле.

Вводим кинетическое гильбертово пространство  $H_{kin}$  состояний петлевой квантовой гравитации, на котором действуют введенные выше операторы, состоящее из (цилиндрических) функций вида

$$\Psi[A] = f(U(A, s_1), \dots, U(A, s_p)),$$

где  $s_1, \dots, s_p$  – дуги графа  $\Gamma \subset M^3$ ,  $U(A, s_j)$  – параллельный перенос вдоль  $s_j$  относительно связности  $A$ , и

$$h(A, s_j) = P \left( \exp \left( - \oint_{s_j} ds A(s_j(s)) \right) \right).$$

– голономия вдоль  $s_j$  для связности Аштекара  $A$ . Если петля Вильсона является гладкой кривой без самопересечений, то она будет решением уравнения Уилера-ДеВитта.

Физическое гильбертово пространство  $H_{phys}$  состояний состоит из тех векторов пространства  $H_{kin}$ , которые удовлетворяют уравнению Уилера–ДеВитта.

## 2. Межвременные переходы

Волновой пакет 3-геометрий

$$\int_{\Omega} c_{\alpha} \Psi_{\alpha}[A] d\alpha, \quad c \in \mathbb{C}, \quad (1)$$

где  $\Omega = \{\alpha\}$  – некоторое множество петель, в результате его интерференции дает пространство-время, в котором течет время  $t$ .

В общей теории относительности геометрия пространства меняется со временем. Геометрия характеризуется метрикой в геометродинамике Уилера и связностью  $A$  в петлевой гравитации. Каждому моменту времени отвечает конкретная связность  $A_0$ , конкретная петля  $\alpha_0 \in A_0$ , со значением  $|\Psi_{\alpha_0}[A_0]|^2 = \max |\Psi_{\alpha_0}[A]|^2$ , т. е.

$$A_0 = \operatorname{argmax}_A |\Psi_{\alpha_0}[A]|^2.$$

С учетом цилиндрических волновых функций логично пространство-время рассматривать как результат интерференции более общего волнового пакета вида

$$\int_K c_k \Psi_k[A] dk, \quad c_k \in \mathbb{C}. \quad (2)$$

Смена волновой функции  $\Psi_k[A]$  – это смена 3-геометрии. Каждая такая 3-геометрия характеризует ту или иную историческую эпоху [2]. *Скачкообразный переход из одной исторической эпохи в другую – это межвременной переход их одной эпохи в другую*: из настоящего в прошлое, из прошлого в будущее и т. д. [2].

Таким образом, чтобы волновой пакет (2) совершал коллапс в нужную историческую эпоху, в нужную геометрию  $A_0$

$$\int_K c_k \Psi_k[A] dk \rightarrow \Psi_{k_0}[A],$$

следует произвести соответствующие ее измерения (так говорят об этом на языке квантовой механики), т. е. запустить машину времени, настроенную на геометрию  $A_0 = \operatorname{argmax}_A |\Psi_{k_0}[A]|^2$  (подробности в: [2]).

## 3. Спиновые сети и спиновая пена.

В петлевой квантовой гравитации объемы и площади являются квантовыми объектами, представляемые операторами со счетными числами дискретных собственных значений. Поэтому пространство представляют в виде графа следующим образом.

Область пространства объем – изображают как точку (узел). Объем примыкающий к данному – также есть точка, а общую между ними часть поверхности изображают как отрезок. Например куб изображается как точка из которой исходят шесть отрезков, каждый из которых изображает одну из граней куба. Рядом с точкой указывают величину объема, а рядом с отрезками – величины площади соответствующих граней. Если объемы – это любые комбинации различных многогранников, то объемные полиэдры становятся точками или узлами, а плоские грани – отрезками, линиями, соединяющими узлы.

Как видим, при таком подходе получается то, что математики называют *графом*. Этот граф представляет квантованные объемы с квантованными площадями, общими для объемов. Этот граф называют *спиновой сетью*. Квантовое состояние пространства – это квантовое состояние спиновой сети. Переходы между спиновыми сетями – это переходы между состояниями пространства.

Если взять спиновую сеть и рассмотреть ее с течением времени, то линии спиновой сети расширяются и становятся двумерными поверхностями, а узлы растягиваются в линии. Это *спиновая пена*. Пространство-время – это спиновая пена. Поперечный срез спиновой пены представляет собой спиновую сеть. Переходы (шаги), при которых происходит изменение спиновой сети, представляются узлами, в которых сходятся/выходят линии пены. На каждом шаге происходит изменение связности графа, представляющего спиновую сеть.

Предлагаемая нами машина времени – это физическое устройство, организующее требуемые энергетические воздействия на совокупность дискретных ячеек 3-пространства, т. е. на совокупность узлов графа  $\Gamma$ , представляющего спиновую сеть нашей исторической эпохи, меняющее его связность  $A_{наст.}$  на связность прошлой эпохи  $A_{прош.}$ . Точные расчеты по макро-межвременным переходам нужно осуществлять, рассматривая вместо когерентных суперпозиций (1) или (2) квантовые суперпозиции когерентных состояний спиновых сетей [3], каждое из которых воспроизводит классическую 3-геометрию пространства [4]. Хотя концептуально все ясно, но фактическое вычисление  $H_{phys}$  технически довольно сложно. Это связано с тем, что связи Гаусса и Гамильтона действуют довольно нетривиально на  $H_{kin}$ . Поэтому физические когерентные состояния теории пока неизвестны явно. «Кажется, что в своей нынешней формулировке LQG слишком сложна для решения аналитически» [5].

---

1. *Gambini R., Pullin J.* A First Course in Loop Quantum Gravity. New York, 2011.

2. *Гуз А.К.* Временные эффекты коллапса волнового пакета в суперпространстве Уилера // Международный научный семинар «Нелинейные модели в механике, статистике, теории поля и космологии» GRACOS-16. Казань, 2016. С. 273–280.

3. *Bianchi E., Magliaro E., Perini C.* Coherent spin-networks. URL: <https://arxiv.org/abs/0912.4054> (2010) (дата обращения: 06.11.2018).

4. *Ashtekar A., Rovelli C., Smolin L.* Weaving a classical geometry with quantum threads. URL: <http://arXiv.org/pdf/hep-th/9203079v1.pdf> (1992) (дата обращения: 06.11.2018).

5. *Bahr B., Thiemann T.* Gauge-invariant coherent states for Loop Quantum Gravity I: Abelian gauge groups. URL: <https://arXiv.org/pdf/0709.4619v1.pdf> (дата обращения: 06.11.2018).