

УДК 530.12

Комбинаторное пространство-время из петлевой квантовой гравитации

*Алтайский Михаил Викторович*altaisky@cosmos.ru
SPIN-код: 5039-9980

ИКИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Петлевая квантовая гравитация (LQG) является одним из перспективных кандидатов на роль квантовой теории пространства-времени. Однако, в самой этой модели имеется существенный концептуальный дефект: эта модель, вытекающая из действия Гильберта-Эйнштейна, описывает пространство-время без материи; последнее не может существовать в принципе, поскольку пространство-время суть система отношений между полями материи. В данной работе, следуя идее Пенроуза Р. о комбинаторном пространстве-времени, мы переформулируем модель петлевой квантовой гравитации исключительно в терминах полей материи.

Ключевые слова: пространство-время, петлевая квантовая гравитация, квантование

Введение. Построение квантовой теории гравитации является одной из основных проблем фундаментальной физики уже столетие. Несмотря на значительные математические успехи в применении современных методов квантовой теории поля к функционалу действия Гильберта-Эйнштейна, до сих пор не построена теория выражающая, на квантовом уровне, свойства пространства-времени через характеристики полей материи. Последнее достаточно легко осуществляется в классическом случае — за счет правой части уравнений Эйнштейна — но до сих пор не сделано в квантовом случае.

В данной работе предложен вывод геометрии пространства-времени на планковских масштабах путем использования спиновых сетей, предложенных Роджером Пенроузом в 1971 году. До сих пор метод спиновых сетей применялся лишь к действию Гильберта-Эйнштейна, записанному в аштекаровских переменных.

Методы и материалы; результаты. Основными методами, использованными в данной работе, являются метод спиновых сетей, методы дифференциальной геометрии и теория представлений групп.

Путем отождествления полей материи с элементарными фермионными петлями, построена модель пространства-времени, в которой геометрия пространства-времени определяется набором квантовых состояний всех полей материи во Вселенной, а связность — геометрическая характеристика пространства-времени — представляет собой $SL(2, \mathbb{C})$ преобразование полей материи друг относительно друга во внутреннем пространстве состояний.

Заключение. В данной работе удалось применить метод спиновых сетей непосредственно к системе полей материи.

Список источников

- [1] Arnowitt R., Deser S., Misner C.W. Dynamical structure and definition of energy in general relativity. *Physical Review*, 1959, vol. 116, pp. 1322–1330.
<https://doi.org/10.1103/PhysRev.116.1322>
- [2] Vaid D., Bilson-Thompson S. LQG for the bewildered: The self-dual approach revisited. Switzerland, Springer, 2017, 138 p.
- [3] Rovelli C. Ashtekar formulation of general relativity and loop-space nonperturbative quantum gravity: a report. *Classical and Quantum Gravity*, 1991, vol. 8, pp. 1613–1675.
<https://dx.doi.org/10.1088/0264-9381/8/9/002>
- [4] Ashtekar A. New variables for classical and quantum gravity. *Physical Review Letters*, 1986, vol. 57, pp. 2244–2247. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.57.2244>
- [5] Ashtekar A. New Hamiltonian formulation of general relativity. *Physical Review D*, 1987, vol. 36, pp. 1587–1602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.36.1587>
- [6] Barbieri A. Quantum tetrahedra and simplicial spin networks. *Nuclear Physics B*, 1998, vol. 518, pp. 714–728. [https://doi.org/10.1016/S0550-3213\(98\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0550-3213(98)00093-5)
- [7] Rovelli C. and Smolin L. Spin networks and quantum gravity. *Physical Review D*, 1995, vol. 52, pp. 5743–5759. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.52.5743>
- [8] Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. *Gravitation*. New Jersey, Princeton University Press, 2018, 1336 p.
- [9] Regge T. General relativity without coordinates. *Il Nuovo Cimento*, 1961, vol. 19, pp. 558–571.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02733251>
- [10] Rühl W. *Lectures on the Lorentz group and harmonic analysis*. Geneva, CERN, 1967.
<https://cds.cern.ch/record/223924/files/acad-27.pdf>

Combinatorial Spacetime from Loop Quantum Gravity

Altaisky Mikhail Victorovich

altaisky@cosmos.ru
SPIN-code: 5039-9980

Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

Abstract. Loop quantum gravity (LQG) is one of the promising candidates for the role of a quantum theory of spacetime. However, there is a significant conceptual flaw in this model itself: this model, following from the Hilbert-Einstein action, describes spacetime without matter; the latter cannot exist in principle, since the spacetime is a system of relations between the matter fields. In this paper, following the ideas of Roger Penrose on combinatorial spacetime, we reformulate the loop quantum gravity model exclusively in terms of matter fields.

Keywords: spacetime, loop quantum gravity, quantization

Introduction. The construction of a quantum theory of gravity has been one of the main problems of fundamental physics for a century. Despite significant mathematical advances in the application of modern quantum field theory methods to the Hilbert-Einstein action functional, no theory has yet been constructed that expresses the properties of space-time at the quantum level through the characteristics of matter fields. The latter is quite easy to do in the classical case — due to the right-hand side of Einstein's equations — but has not yet been done in quantum case.

In this paper, we propose a derivation of the geometry of spacetime on Planck scales by using the spin networks proposed by Roger Penrose in 1971. So far, the spin network method has been applied only to the Hilbert-Einstein action written in the Ashtekar variables.

Methods and materials; results. The main methods used in this study are the method of spin networks, methods of differential geometry and the group representation theory.

By identifying the matter fields with elementary fermionic loops, a model of spacetime is constructed in which the geometry of spacetime is determined by a set of quantum states of all the matter fields in the Universe, and the connection — geometric characteristic of the space-time — turns to be $SL(2, \mathbb{C})$ transformation of matter fields relative to each other.

Conclusion. In this work, we have applied spin network method directly to the system of matter fields.

References

- [1] Arnowitt R., Deser S., Misner C.W. Dynamical structure and definition of energy in general relativity. *Physical Review*, 1959, vol. 116, pp. 1322–1330.
<https://doi.org/10.1103/PhysRev.116.1322>
- [2] Vaid D., Bilson-Thompson S. *LQG for the bewildered: The self-dual approach revisited*. Switzerland, Springer, 2017, 138 p.
- [3] Rovelli C. Ashtekar formulation of general relativity and loop-space nonperturbative quantum gravity: a report. *Classical and Quantum Gravity*, 1991, vol. 8, pp. 1613–1675.
<https://dx.doi.org/10.1088/0264-9381/8/9/002>
- [4] Ashtekar A. New variables for classical and quantum gravity. *Physical Review Letters*, 1986, vol. 57, pp. 2244–2247. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.57.2244>
- [5] Ashtekar A. New Hamiltonian formulation of general relativity. *Physical Review D*, 1987, vol. 36, pp. 1587–1602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.36.1587>
- [6] Barbieri A. Quantum tetrahedra and simplicial spin networks. *Nuclear Physics B*, 1998, vol. 518, pp. 714–728. [https://doi.org/10.1016/S0550-3213\(98\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0550-3213(98)00093-5)
- [7] Rovelli C. and Smolin L. Spin networks and quantum gravity. *Physical Review D*, 1995, vol. 52, pp. 5743–5759. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.52.5743>
- [8] Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. *Gravitation*. New Jersey, Princeton University Press, 2018, 1336 p.
- [9] Regge T. General relativity without coordinates. *Il Nuovo Cimento*, 1961, vol. 19, pp. 558–571.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02733251>