

В.Л. ВАСЮКОВ

Логика неклассической науки*

Владимир Леонидович Васюков

Институт философии РАН.

Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Гончарная, д.12, стр.1.

E-mail: vasyukov4@gmail.com

Аннотация: Первая не решенная до сих пор проблема теоретической физики — проблема квантовой гравитации — предполагает построение единой теории, объединяющей общую теорию относительности и квантовую теорию. До сих пор все предпринятые попытки ее построения не увенчались успехом. Но похоже, что один специфический ответ на этот вопрос существует, хотя в силу своей природы он не находился в центре внимания исследователей. Анализ логических проблем квантовой теории приводит к обнаружению общих логических оснований теории относительности и квантовой механики. Оказывается, логическая структура обеих дисциплин основывается на конструкции ортомодулярной решетки, а не булевой алгебры, характерной для классической физики. С другой стороны, учитывая, что и квантовая теория, и теория относительности представляют собой неклассические дисциплины, общая для квантовой теории и релятивистской теории ортомодулярная логическая структура, лежащая в основании квантовой логики и каузальной логики пространства-времени, может расцениваться как логическое основание неклассической науки в целом, как характерный признак неклассического типа научной рациональности, позволяющей учитывать связи между знаниями об объекте и характером средств и операций деятельности. Конструкция ортомодулярной решетки используется также и в релятивистской квантовой теории. В этом случае, как показано, например, в работе Марка Хэдли «Логика квантовой механики, выведенная из классической общей относительности» [Hadley, 1997], разумные допущения о роли измерительного прибора приводят к ортомодулярной решетке высказываний, характерной для квантовой логики. При этом ортомодулярная решетка не закладывается в основание теории, но обнаруживается в процессе исследования при детальном анализе. Она присутствует и в квантовой теории, и в теории относительности. Но может ли она лечь в основу единого формализма, дающего решение проблемы квантовой гравитации? Скорее всего, наличие ортомодулярной решеточной структуры в недрах квантовой теории и теории относительности является следствием неклассического характера этих дисциплин: отсутствие выделенной импликации (кондиционала) в ортомодулярной решетке (как показано в работе [Kalmbach, 1974], существует как минимум пять подобных кондиционалов) указывает на необходимость контроля за особенностями наших наблюдений, поскольку неявный выбор «импликативной» связи между квантовыми высказываниями способен повлиять на результаты наблюдения.

* Статья представляет собой расширенную версию тезисов выступления на I Конгрессе РОИФН, опубликованных в электронном виде: *Васюков В.Л.* Логика неклассической науки // История и философия науки в эпоху перемен: сб. науч. ст.: в 6 т. Т. 1. [Электронный ресурс]. М.: РОИФН, 2018. С. 78–80.

Ключевые слова: квантовая гравитация, квантовая логика, каузальная логика пространства-времени, неклассический тип научной рациональности

Для цитирования: Васюков В.Л. Логика неклассической науки // Логические исследования / Logical Investigations. 2018. Т. 24. № 2. С. 78–84. DOI: 10.21146/2074-1472-2018-24-2-78-84

В 1916 г. А. Эйнштейн, формулируя концепцию гравитационных волн, переносящих энергию, замечает, что согласование ее с атомной физикой требует описания в терминах квантовой теории и самой энергии, переносимой гравитационными волнами. Он пишет: «атом, вследствие внутриатомного движения электронов, должен излучать не только электромагнитную, но и гравитационную энергию, хотя и в ничтожном количестве. Поскольку в природе в действительности ничего подобного не должно быть, то, по-видимому, квантовая теория должна модифицировать не только максвелловскую электродинамику, но также и новую теорию гравитации» [Эйнштейн, 1965, с. 522].

Однако создание подобной теории было отложено физиками на долгое время. Одной из причин было то, что в микромире мы обычно можем игнорировать гравитацию и нам достаточно рассматривать пространство и время в качестве ньютоновского неизменного фона. В макромире же — области гравитации и космологии — квантовые явления не играют никакой роли.

Так или иначе, но проблема осталась и постепенно приобрела статус первой нерешенной проблемы теоретической физики. В настоящее время ее называют проблемой квантовой гравитации и формулируют следующим образом: «Объединить общую теорию относительности и квантовую теорию в одну теорию, которая может претендовать на роль полной теории природы» [Smolin, 2006, p. 5].

Подобное объединение казалось всегда совершенно логичным с точки зрения места, занимаемого в физике квантовой теорией. Поскольку, как пишет Дж. Макки, «объединенными усилиями Гейзенберга, Шредингера, Дирака, Бора, Борна, фон Неймана и других ученых была создана новая, более совершенная механика, которая... включала классическую механику в качестве предельного случая для больших масс и расстояний» [Макки, 1965, с. 59], то квантовые явления, по-видимому, должны оказывать влияние на теорию относительности, создавая какие-то рамки для ее формализма. В сущности, все изложение физики должно было бы начинаться не с классического, а с квантовомеханического описания и лишь затем переходить к описанию «случая больших масс и расстояний». Это напрямую касается и теории относительности.

Однако прямые аналогии и параллели здесь не срабатывают. Дж. фон Нейман еще в 1932 году в «Математических основаниях квантовой меха-

ники» рассматривает один из примеров подобного затруднения. Он пишет: «...утверждается, что принципиально невозможно установить одновременность двух событий, происходящих в точках, разделенных расстоянием r , с точностью, превосходящей интервал длительностью r/c (c — скорость света), в то время как, согласно соотношениям неопределенности, принципиально невозможно указать положение материальной точки в фазовом пространстве с точностью, превосходящей область объема $(h/4\pi)$ » [Нейман фон, 1964, с. 242–243]. Но природа неопределенности здесь различна. В теории относительности это вызвано тем, что систему координат можно выбирать бесконечно многими различными способами, а в квантовой механике вообще невозможно описывать систему, характеризуемую волновой функцией, точкой в фазовом пространстве.

Так есть ли у теории относительности и квантовой механики что-то общее вообще? Оказывается, что один специфический ответ на этот вопрос существует, хотя в силу своей природы он не находился в центре внимания исследователей. В упомянутой выше книге фон Неймана 1932 года, излагающей физическую теорию на языке чистой математики, можно найти следующее высказывание: «Мы видим, что связь между свойствами физической системы, с одной стороны, и проекционными операторами, с другой, делает возможным некое логическое исчисление над ними» [Нейман фон, 1964, с. 189]. Такое логическое исчисление было им построено в совместной с Г. Биркгофом статье, положившей начало исследованиям особой, неклассической логики квантовой теории. Это логическое исчисление формально основывалось на ортомодулярной решетке замкнутых подпространств гильбертова пространства.

Начиная с конца 70-х годов начали появляться работы, демонстрирующие применимость конструкции ортомодулярной решетки к описанию теории относительности. Так, в работе В. Цеглы «Каузальная логика пространства Минковского» [Cegla, 1981] рассматривалось ортогональное пространство, образуемое каузальной структурой. В специальном случае каузальной структуры семейство дважды ортогональных множеств образует полную ортомодулярную решетку.

Абстрактно каузальное пространство (M, G) можно описать как пару, где M есть непустое множество, а G является структурой, определенной с помощью выделенного покрытия G непустыми подмножествами M . Элементы $f \in G$ называются каузальными путями, а $S(x) = \{f \in G : x \in f\}$ представляет собой множество всех путей, проходящих через x . Точки x и y каузально связаны, если имеется путь, проходящий через них.

Естественно определяемая операция ортодополнения для подмножеств M основывается на каузальной структуре, получаемой отождествлением

всего, что каузально связано с данным множеством. Для этого определяем на M симметричное рефлексивное отношение, которое задано на каузальной структуре. Для двух точек x и y из M записываем xRu и говорим, что x и y каузально связаны или просто связаны. Ортодополнение задается как $f^\perp = \{x : x \text{ не связано ни с одной точкой из } f\}$ и полагаем $f \in L(M)$ тогда и только тогда, когда $f^{\perp\perp} = f$. Ясно, что $f^\perp$ будет элементом $L(M)$, поскольку $f^\perp = f^{\perp\perp\perp}$.

В качестве конъюнкции в $L(M)$ можно рассматривать пересечение множеств $f \wedge g = f \cap g$, дизъюнкцией двух множеств будет каузальное замыкание их пересечения $f \vee g = (f \cup g)^{\perp\perp}$. В работе Х. Касини «Логика каузально замкнутых пространственно-временных подмножеств» [Casini, 2002] показано, что $L(M)$, где M — есть общее пространство-время, является ортомодулярной решеткой, и показано, что $L(M)$ также имеет логическую интерпретацию в терминах высказываний для классических частиц, когда высказывание, соответствующее подмножеству пространства-времени f , понимается как «частица проходит через f ».

Используется конструкция ортомодулярной решетки также и в релятивистской квантовой теории. Так, например, в работе Марка Хэдли «Логика квантовой механики, выведенная из классической общей относительности» [Hadley, 1997] показано, что разумные допущения о роли измерительного прибора приводят к ортомодулярной решетке высказываний, характерной для квантовой логики.

При этом ортомодулярная решетка не закладывается в основание теории, но обнаруживается в процессе исследования. Она присутствует и в квантовой теории, и в теории относительности. Но может ли она лечь в основу единого формализма, дающего решение проблемы квантовой гравитации? Скорее, наличие ортомодулярной решеточной структуры в недрах квантовой теории и теории относительности является следствием неклассического характера этих дисциплин: отсутствие выделенной импликации в ортомодулярной решетке (как показано в работе [Kalmbach, 1974], существует как минимум пять подобных импликаций) приводит к требованию контроля за особенностями наших наблюдений, поскольку выбор «импликативной» связи между высказываниями способен повлиять на результаты наблюдения.

Литература

- Макки, 1965 — Макки Дж. Лекции по математическим основам квантовой механики. М.: Мир, 1965. 129 с.
- Нейман фон, 1964 — Нейман И. фон. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964. 368 с.

- Эйнштейн, 1965 – *Эйнштейн А.* Приближенное интегрирование уравнений гравитационного поля // *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 514–523.
- Casini, 2002 – *Casini H.* The logic of causally closed space-time subsets. 2002. // URL: arXiv:gr-qc/0205013 v2 (дата обращения: 22.11.2002).
- Cegla, 1981 – *Cegla W.* Causal Logic of Minkowski Space // Current Issues in Quantum Logic / Eds. by S. Beltrametti and B. van Fraassen. N. Y.: Plenum, 1981. P. 419–424.
- Hadley, 1997 – *Hadley M.J.* The Logic of Quantum Mechanics Derived from Classical General Relativity // URL: arXiv:quant-ph/9706018v1 (дата обращения: 09.06.1997).
- Kalmbach, 1974 – *Kalmbach G.* Orthomodular Logic // Zeitschr. Math. Log. und Grundle. Math. 1974. Bd. 20, H. 5. S. 395–406.
- Smolin, 2006 – *Smolin L.* The trouble with physics: the rise of string theory, the fall of a science, and what comes next. Boston, N. Y.: Houghton Mifflin Company, 2006. 414 p.

VLADIMIR L. VASYUKOV

Logic of non-classical science

Vladimir L. Vasyukov

Institute of Philosophy RAS,

12/1 Goncharnaya St., Moscow, 109240, Russian Federation.

E-mail: vasyukov4@gmail.com

Abstract: The first still unresolved problem of theoretical physics — the problem of quantum gravitation — presupposes building a theory unifying the theory of general relativity and quantum theory. All attempts to date have failed. However, it seems that there is one specific answer to this question, albeit by virtue of its nature it was not in the uppermost of the researcher’s mind. Analysis of logical issues in quantum theory leads to the detection of the same general logical foundations both of relativity theory and quantum theory. It turned out that the logical structure of both disciplines is based on the construction of an orthomodular lattice and not Boolean algebra, which is typical for classical physics. On the other hand, taking into account the fact that quantum theory and the theory of relativity are non-classical disciplines, then the common structure underlying both quantum logic and causal logic of space-time should be evaluated as the logical basis of non-classical science in general. It might be considered to be a specific character of the non-classical type of scientific rationality which allows us to consider the links between knowledge on a subject and the specificity of means and activity operations. The construction of an orthomodular lattice is also employed in relativistic quantum theory. In this case, as is shown e.g. in Mark Hadley’s paper “The Logic of Quantum Mechanics Derived from Classical General Relativity” [Hadley, 1997], reasonable assumptions about the role of the measurement apparatus leads to an orthomodular lattice of propositions characteristic to quantum logic. In so doing, an orthomodular lattice is not assumed as the basis of the theory but is discovered during the process of inquiry under detailed analysis. It would be detected in quantum theory as well as in the theory of relativity. But should it be assumed as the basis of the unified formal apparatus for resolving the problem of quantum gravitation? It is most likely that the presence of an orthomodular lattice structure in the depth of quantum theory and the theory of relativity is a consequence of the non-classical nature of these disciplines. The lack of a distinguished implication connective (the conditional) in orthomodular lattice (as demonstrated by G. Kalmbach [Kalmbach, 1974] there are five such conditionals) indicates the need to monitor the peculiarities of our observations, since the implicit choice of “implicative” link between quantum propositions can affect our observation results.

Keywords: evaluation, category, non-finite methods, non-standard analysis, generalized non-standard, measure

For citation: Vasyukov V.L. “Logika neklassicheskoi nauki” [Logic of non-classical science], *Logicheskie Issledovaniya / Logical Investigations*, 2018, Vol. 24, No. 2, pp. 78–84. DOI: 10.21146/2074-1472-2018-24-2-78-84 (In Russian)

Acknowledgements. The paper is an expanded version of the abstract, published in the I Congress of RSHPS Proceedings in electronic form: Vasyukov V.L. “Logika neklassicheskoi nauki” [Logic of non-classical science], in: *Istoriya i filosofiya nauki v epokhu peremen* [History and philosophy of science in the era of change]. 6 Vols. Vol. 1. Moscow: RSHPS Publ., 2018, pp. 78–80. (In Russian)

References

- Casini, 2002 – Casini, H. *The logic of causally closed space-time subsets* [arXiv:gr-qc/0205013 v2, accessed on 11.11.2002].
- Cegla, 1981 – Cegla, W. “Causal Logic of Minkowski Space”, in: *Current Issues in Quantum Logic*, eds. by S. Beltrametti and B. van Fraassen. New York: Plenum, 1981. pp. 419–424.
- Einstein, 1965 – Einstein, A. “Priblizhennoe integrirovanie uravneniy gravitatsionnogo polya” [Nahemngsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation], in: A. Einstein. *Works. Vol. 1*. Moscow: Nauka, 1965. pp. 514–523. (In Russian)
- Hadley, 1997 – Hadley, M.J. *The Logic of Quantum Mechanics Derived from Classical General Relativity*, [arXiv:quant-ph/9706018v1, accessed on 09.06.1997].
- Kalmbach, 1974 – Kalmbach, G. “Orthomodular Logic”, *Zeitschr. Math. Log. und Grundl. Math.*, 1974, Bd. 20, H. 5, pp. 395–406.
- Mackey, 1965 – Mackey, G.W. *Lektsii po matematicheskim osnovam kvantovoi mekhaniki* [Mathematical foundations of quantum mechanics]. Moscow: Mir, 1965. 129 pp. (In Russian)
- Neumann, 1964 – Neumann, J. von. *Matematicheskie osnovy kvantovoi mekhaniki* [Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik]. Moscow: Nauka, 1964. 368 pp. (In Russian)
- Smolin, 2006 – Smolin, L. *The trouble with physics: the rise of string theory, the fall of a science, and what comes next*. Boston, New York: Houghton Mifflin Company, 2006. 414 pp.