

## Теоретико-модельная стратегия обоснования научного знания в современной формальной философии науки

© Н.Л. Архиреев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Принятая в логическом позитивизме программа обоснования научного знания опиралась на формализацию научных теорий в языке логики предикатов первого порядка, обычно называемую стандартной. Стандартная формализация не позволяет достаточно точно описать класс предполагаемых моделей теории, что до определенной степени дискредитирует применение формальных методов в философии науки. Естественной альтернативой стандартной формализации и обоснования теории является теоретико-модельная стратегия, использующая в качестве основного семантического понятие модели теории в смысле А. Тарского и лишенная большинства технических недостатков программы логического позитивизма. Рассмотрены основные принципы данной стратегии обоснования научного знания, выяснены особенности применения понятия модели в смысле Тарского к аксиоматизации теорий математики и физики, выявлена специфика истолкования понятия истины при характеристике предложений естественно-научных теорий.*

**Ключевые слова:** предикат, множество, стандартная формализация, аксиоматизация теории, модель теории, теорема представления, теория измерения

Одной из центральных задач формальной философии науки является описание различных процедур обоснования научного знания.

Под обоснованием научного знания (*теории*) обычно понимают описание логических методов введения (определения) исходных понятий теории, способов уточнения их объемов и содержаний, выявление формальных особенностей их взаимосвязи в составе постулатов (законов) теории, строгое описание способов верификации и фальсификации предложений теории, а также выявление различных отношений между моделями теории.

Одну из самых известных формальных программ обоснования научного знания предложили сторонники логического позитивизма. Данная программа предполагала решение ряда фундаментальных эпистемических и формально-логических задач. К основным эпистемическим задачам можно отнести обнаружение элементарных и достоверных основ научного знания, строгое различение аналитических и синтетических высказываний, входящих в состав научного знания, формулировку процедур обоснования теоретического знания (сведения теоретического знания к эмпирическому), которая одновременно оказывалась вариантом решения задачи строгого определения крите-

риев осмысленности высказываний и критериев демаркации научного и ненаучного знания. Необходимым условием успешного осуществления этого методологического проекта в рамках программы логического позитивизма объявлялось успешное решение формально-логической задачи строгой экспликации указанных проблем в некотором искусственном языке. В современной историко-философской и логической литературе в качестве такого формализованного языка принято называть язык логики предикатов первого порядка с равенством (далее — Я.К.Л.П.-1=). При этом сама научная теория, подлежащая анализу, формулировалась в виде частично интерпретированной аксиоматической системы, аксиомы которой представляли собой фундаментальные законы соответствующей теории, выраженные в некотором теоретическом языке  $L_T$ . Наблюдаемые следствия из данных законов формулировались в отдельном языке наблюдения  $L_O$ , а связь между понятиями из языков  $L_T$ ,  $L_O$  осуществлялась с помощью правил соответствия  $C$  (в более поздних редакциях данной программы — с помощью предложений редукции  $R$ ). Прямыми семантическими значениями при этом обладали только понятия из языка  $L_O$ .

Собственно теория отождествляется при этом с множеством фундаментальных постулатов  $T$  и правил соответствия  $C$ , упорядоченным отношением формальной дедуктивной выводимости.

Трактовка теории как некоторого множества предложений (высказываний), связанных отношением выводимости, называется стандартной или высказывательной (statement view).

Программа обоснования научного знания, предложенная сторонниками логического позитивизма, была, безусловно, далеко не первой в истории философии и науки попыткой обнаружения фундаментальных и непосредственно очевидных основ знания, редукции сложных концептуальных построений к некоторым элементарным составляющим, различения аналитических и синтетических суждений и т. д. Однако уникальность данной программы заключается, по мнению автора, в принципиальной и последовательной опоре на современные формально-логические методы анализа научного знания, предполагавшей использование искусственных языков с однозначно фиксированной структурой, строгих методов определения вводимых понятий, описание отношений между исходными понятиями теории с помощью системы аксиом.

Более того, поскольку реализация эпистемической части программы была поставлена в прямую зависимость от ее формально-логической части, именно логический позитивизм, несмотря на последовавшую в итоге дискредитацию ряда его исходных принципов, выявил первостепенную роль принимаемых норм и способов формализации знания в решении фундаментальных содержательных проблем философии науки.

Накапливавшиеся в рамках данной программы эпистемические и логико-методологические противоречия и проблемы привели в конце 1960-х годов к радикальному пересмотру ряда основных программных постулатов логического позитивизма или прямому отказу от них. В числе наиболее распространенных контраргументов, выдвигаемых против методологии логического позитивизма, необходимо назвать следующие:

1) в реальной практике научного познания естественно-научные теории обычно не строятся как аксиоматические системы в указанном выше смысле. Стандартная формализация подобных теорий (т. е. их исчерпывающая аксиоматизация в Я.К.Л.П.-1=) либо не осуществима в принципе, либо ведет к чрезмерному и неестественному техническому усложнению аппарата теории, делающему невозможной реальную работу с ней;

2) в общем случае строгое различие аналитических и синтетических высказываний (и, как следствие, наблюдаемых и теоретических терминов) при использовании стандартной формализации теории невозможно. Таким образом, предлагаемые в рамках данной стратегии критерии эмпирической осмысленности высказываний являются неудовлетворительными;

3) так называемые правила соответствия, сопоставляющие теоретические и наблюдательные словари, зачастую представляют собой разнородную смесь семантических понятий, элементов экспериментальных процедур и процедур измерения. Поскольку значения теоретическим терминам приписываются только с помощью правил соответствия (предложений редукции), а теория в целом отождествляется с ее лингвистической формулировкой, любое прогрессивное изменение в организации эксперимента или технике измерительных процедур неизбежно ведет к изменению самой теории, что абсурдно с точки зрения реальной практики научного познания;

4) теории не являются только лингвистическими объектами — множествами правильно построенных предложений некоторого формализованного языка, связанными отношением логической выводимости или замкнутыми относительно этого отношения. Поскольку, согласно традиционным принципам логической семантики, из всех категорий языковых выражений только высказывания (предложения, выражающие суждения) могут оцениваться как истинные или ложные, категория истины в этом случае оказывалась принципиально неприменимой к анализу реальной структуры научного знания. Как вопрос о соответствии научных теорий реальности, так и лежащая в его основе традиционная (корреспондентская) теория истины оказывались нерелевантными практике научного познания.

Наконец, если единственным допустимым языком формализации теории считается  $\text{Я.К.Л.П.-1}^=$ , формальная программа логического позитивизма сталкивается со следующей технической трудностью.

Согласно теореме Лёвенгейма — Сколема о повышении мощности, если теория, сформулированная в счетном  $\text{Я.К.Л.П.-1}^=$ , имеет хотя бы одну бесконечную модель, то она имеет и бесконечную модель произвольной мощности. Описать при этом подобные модели с точностью до изоморфизма (отличить предусмотренные/желательные модели теории от нежелательных) средствами данного языка невозможно. Опуская формальные подробности, можно сказать: из этого метаматематического результата о свойствах первопорядковых теорий следует, что значимые предложения теории (ее аксиомы и теоремы) неизбежно будут оказываться истинными на предметных областях с парадоксальными свойствами, для описания которых теория изначально не предназначалась. Подобные нежелательные модели теории будут являться ее потенциальными контрпримерами.

Все вышеприведенные возражения против логико-методологической программы логического позитивизма производны от этого факта.

Именно поэтому, согласно Ф. Саппу, автору канонической реконструкции развития логического позитивизма, предложенный в рамках стандартной трактовки эталонный способ формализации теории в  $\text{Я.К.Л.П.-1}^=$  не решает своей основной задачи — задачи исчерпывающего описания и однозначной идентификации соответствующих теорий, а следовательно, оказывается при всей своей технической изощренности практически бессмысленным [1, с. 54].

Из всего этого вытекал вывод: недостатки формальной программы логического позитивизма привели если не к полной дискредитации самой идеи использования формально-логических методов в философии науки, то, по крайней мере, к весьма сдержанной ее оценке.

Между тем еще с конца 1950-х годов в формальной философии науки развивался альтернативный способ аксиоматизации научных теорий, основанный на идее непосредственного описания класса предполагаемых (желательных) моделей некоторой теории.

Данный способ характеристики научной теории использует в качестве основного семантическое понятие модели теории в смысле А. Тарского, допускает (с определенными оговорками) трактовку теорий как истинных или ложных в корреспондентском смысле и лишен большинства технических изъянов, обычно выделяемых критиками программы логического позитивизма.

Программными для работ данного направления стали идеи П. Суппеса, изложенные в книгах [2–5].

Намеченная П. Суппесом стратегия обоснования научного знания была развита в трудах Джозефа Снида, Вольфганга Бальцера,

Карлоса Мулинеса [6], Б. ван Враассена [7], Фредерика Саппа [1, 8], Стивена Френча, Ньютона да Косты [9] и ряда других авторов.

В англоязычной литературе по философии науки различные версии данной программы называются теоретико-множественными, теоретико-модельными, семантическими, структуралистскими.

При этом общими для различных версий данного подхода к анализу научного знания являются следующие положения.

Конкретная лингвистическая формулировка научной теории (ее аксиоматизация в виде последовательности предложений некоторого формализованного языка) второстепенна при ее описании и идентификации. Наиболее эффективный способ идентификации теории — описание ее структуры, характеризующей класс реальных и потенциальных моделей теории (в смысле А. Тарского). При этом структура теории может трактоваться как абстрактный теоретико-множественный предикат (Суппес, Снид, Бальцер, Мулинес), фазовое пространство (допустимых) состояний эмпирической области теории (ван Фраассен) или как реляционная система, описывающая каузально допустимые изменения состояний физической системы (Сапп).

Поскольку структура теории в указанном выше смысле — объект не лингвистический, а теоретико-множественный, сам вопрос о ее истинности/ложности является некорректным. Речь может идти лишь об истинности/ложности следующего фундаментального эмпирического утверждения соответствующей теории: *между элементами предметной области теории (наблюдаемыми феноменами) и моделями теории, определяемыми ее законами, существует некоторое соответствие, обеспечивающее адекватную репрезентацию реальности в моделях теории.*

Степень строгости упомянутого отношения соответствия (изоморфизм, частичный изоморфизм, гомоморфизм, более слабые варианты отношения подобия) может варьировать в различных версиях теоретико-модельной программы. Общим, однако, является следующий факт: в каждом конкретном случае лингвистическая формулировка законов теории не определяет точный тип данного отношения соответствия/отображения. Этот факт радикально отличает семантическую трактовку научных теорий от стандартной, в рамках которой они рассматриваются как конъюнкции предложений — формулировок законов теории и правил соответствия, которые однозначно детерминируют способ проявления законов в наблюдаемых феноменах.

Согласно классической редакции теоретико-множественного подхода, изложенной в указанных работах Суппеса, именно понятие модели в смысле А. Тарского (а не понятие стандартной аксиоматизации теории в Я.К.Л.П.-1=) является общим как для структурных,

логики-математических, так и для естественно-научных и социальных дисциплин.

В самом общем виде в формальной семантике под моделью теории обычно понимают некоторую возможную реализацию теории, выполняющую ее аксиомы. В свою очередь, возможной реализацией теории является теоретико-множественный объект соответствующего логического типа — например, упорядоченная последовательность элементов  $\langle D, R, F \rangle$ , где  $D$  — некоторое произвольное непустое множество объектов;  $R$  — непустое множество отношений различной местности, определенных на  $D$ ;  $F$  — множество (возможно, пустое) предметных функций (операций), определенных на  $D$ . Данная конструкция является моделью теории, если только все предложения (аксиомы) теории истинны при их интерпретации в терминах  $\langle D, R, F \rangle$ .

В естественных и социальных науках распространено понимание модели как определенного способа (символической или наглядной) репрезентации изучаемой области реальности. В этом случае говорят, например, о модели определенной области наблюдаемых явлений или о модели данных.

По мнению П. Суппеса, формально-семантическое определение понятия модели охватывает и все нетривиальные варианты «репрезентирующего» использования данного понятия. Например, моделью алгебраической теории групп можно считать упорядоченную пару элементов  $\langle A, \circ \rangle$ , выполняющую все аксиомы теории групп, где  $A$  — непустое множество;  $\circ$  — заданная на нем бинарная операция с соответствующими свойствами. Модели естественно-научных, в частности физических, теорий могут быть описаны в тех же терминах.

Так, П. Суппес предложил естественную теоретико-множественную аксиоматизацию классической механики, осуществленную им на базе шести исходных понятий:  $P$  — непустое множество частиц;  $T$  — множество действительных чисел, соответствующее моментам времени;  $s$  — функция координаты, определенная на декартовом произведении  $P \times T$ ;  $g$  — функция силы, также определенная на  $P \times T$ ;  $m$  — функция массы, определенная на множестве  $P$ ;  $f$  — функция силы, определенная на декартовом произведении элементов  $P, T$  и множества натуральных чисел. Возможной реализацией классической механики как теории будет в этом случае упорядоченная шестерка элементов  $(P, T, s, m, f, g)$  соответствующего логического типа, а моделью этой теории — упорядоченная шестерка  $(P, T, s, m, f, g)$ , выполняющая все аксиомы (основные законы) классической механики [2, с. 291–304].

Таким образом, в самом общем виде составляющими элементами модели теории будут некоторое базовое (непустое) множество объектов и набор отношений и функций, заданных на этом множестве. Во-

прос о том, какой тип моделей (репрезентирующий или формально-семантический) является более фундаментальным, несущественен в силу их структурного тождества. Более того, различие между моделями указанных типов обнаруживается только при явной фиксации онтологии предметной области теории *D*.

При теоретико-множественной аксиоматизации теории говорить о ее истинности можно по крайней мере в двух различных смыслах:

1) истинность можно понимать сугубо формально как выполнимость предложений теории в некоторой модели в смысле Тарского. Данное понимание истинности может быть названо внутренним, поскольку в этом случае собственно эмпирическое содержание теории не всегда играет решающую роль. Поскольку между предложениями теории, модели которых относятся к одному и тому же логическому типу, можно обычным образом устанавливать основные виды отношений по логическим формам — их совместимость/несовместимость по истинности и ложности, наличие/отсутствие отношения логического следования и т. д. Данное понимание истинности также называют горизонтальным;

2) под истинностью/ложностью теории можно понимать истинность/ложность ее упомянутого выше фундаментального эмпирического утверждения, декларирующего некоторое структурное соответствие между моделями теории и моделями наблюдаемых феноменов (моделями данных). Это понимание истинности теории является внешним, так как непосредственно относится к проблеме состоятельности теории и зависит от успешности репрезентации предметной области теории в ее моделях. Поскольку при решении вопроса об истинности теории во втором смысле речь идет об оценке иерархии ее моделей различного уровня, данное понимание истинности можно также назвать вертикальным.

В трактовке Суппеса понятие внешней истинности теории также формально по своей природе, однако гораздо сложнее понятия внутренней истинности, поскольку предполагает использование *математической теории измерения* и *доказательство* фундаментальной для данного способа аксиоматизации теорий *теоремы представления* (репрезентации).

В рамках теории измерения точным образом устанавливается способ перехода от качественных по своей природе наблюдений к количественно точным утверждениям эмпирических наук. Способ подобного перехода фиксируется с помощью аксиоматизации соответствующей алгебры экспериментальных процедур.

На основе аксиоматизированной теории измерения некоторой эмпирической величины доказана теорема представления для эмпирических и численных моделей этой теории, устанавливающая

следующий факт: любая эмпирическая модель теории структурно соответствует некоторой ее численной модели. Под структурным соответствием можно понимать отношения эквивалентности (изоморфизма) или более слабые» отношения гомоморфизма и погружаемости между моделями.

Именно факт существования подобного структурного соответствия оправдывает применение чисел к вещам. Для корректного использования математических моделей некоторых эмпирических феноменов необходимо предварительно доказать, что структура некоторого множества феноменов с заданными на нем эмпирическими операциями и отношениями идентична структуре некоторого множества чисел с заданными на нем арифметическими операциями и отношениями. Понятия изоморфизма, гомоморфизма и т. д. есть конкретные экспликации качественного понятия идентичности [2, с. 266].

В общем случае под теоремой представления имеют в виду следующее утверждение.

Пусть  $M$  есть множество всех моделей некоторой теории,  $A$  — некоторое выделенное (конечное) подмножество  $M$ . Доказательство теоремы представления для  $M$  относительно  $A$  состоит в доказательстве утверждения, что для произвольной модели данной теории из  $M$  существует изоморфная ей модель, принадлежащая  $A$ . Иными словами, любая возможная модель данной теории представлена некоторой моделью из ограниченного (конечного) множества  $A$  (число возможных видов моделей теории конечно). Примером подобной теоремы является теорема алгебры, доказывающая, что любая группа изоморфна группе перестановок. Если множество  $A$  оказывается одноэлементным, это означает, что любые две модели теории изоморфны друг другу. В данном случае теория называется категоричной. (Примером категоричной теории является элементарная теория чисел, использующая стандартное определение множества.)

По мнению сторонников теоретико-множественной стратегии аксиоматизации теории, одной из основных технических ошибок стандартной трактовки теории было именно игнорирование наличия целой иерархии моделей, расположенной между постулатами фундаментальной теории и ее предметной областью, в силу чего непосредственное сопоставление теоретических и наблюдаемых терминов на основе правил соответствия невозможно.

Доказательство теоремы представления для классов моделей различного уровня является необходимым условием теоретико-множественной аксиоматизации некоторой теории. Данная аксиоматизация заключается (в самом общем виде) в построении некоторой единой порождающей структуры (теоретико-множественного предиката) с параметрами, посредством спецификации которых можно описать все допустимые модели соответствующей теории.

В качестве языка аксиоматизации теории могут использоваться:

- 1) язык теории множеств (неформальной или аксиоматической);
- 2) языки логики предикатов неэлементарного порядка;
- 3) язык математической теории категорий.

Первый вариант, технически наиболее простой, применяется в классических работах П. Суппеса, а также в работах Ньютона да Косты и Стивена Френча. На несколько иной, хотя и схожей технике основаны и семантические версии формальной философии науки, представленные в работах Б. ван Фраассена и Ф. Саппа.

Второй вариант, намеченный еще в поздних работах сторонников стандартной трактовки научной теории, в первую очередь Р. Карнапа, был полностью реализован в исследованиях представителей структуралистского направления в философии науки — Д. Снида, В. Штегмюллера, В. Бальцера, К. Мулинеса.

Третий, технически наиболее сложный вариант, реализуется в трудах Х. Халворсона, Дж. Ламбека, У. Ловиера и др.

Относительно всех указанных версий теоретико-модельной стратегии обоснования научного знания справедливы следующие утверждения: данная техника аксиоматизации научных теорий является гораздо более гибкой, чем стандартная аксиоматизация теорий в Я.К.Л.П.-1<sup>=</sup>, в большей степени соответствует процедурам построения теорий, применяемым в реальной научной практике, и плодотворно используется при анализе структуры и динамики как естественно-научных, так и социальных теорий.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Suppe F. *The Semantic Conception of Theories and Scientific realism*. Urbana. University of Illinois Press, 1989, 485 p.
- [2] Suppes P. *Introduction to Logic*. New York, Van Nostrand Reinhold Company Publ., 1957, 330 p.
- [3] Suppes P. A Comparison of the Meaning and Use of Models in Mathematics and the Empirical Sciences. In: *The concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences*. Synthese Library. Dordrecht, Springer Publ., 1961, vol. 3, pp. 163–177.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-3667-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-010-3667-2_16)
- [4] Suppes P. Models of Data. In: Nagel E., Suppes P., Tarski A., eds. *Logic, Methodology, and Philosophy of Science. Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford, Stanford University Press, 1962, pp. 252–261.
- [5] Suppes P. Measurement, Empirical Meaningfulness and Three-valued Logic. In: West Churchman C., Ratoosh P., eds. *Measurement: Definitions and Theories*. New York, Wiley, 1959, pp. 129–143.
- [6] Balzer W., Moulines C., Sneed J. *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*. Synthese library. Dordrecht, Springer Netherlands Publ., 1987, vol. 186, 440 p. DOI: 10.1007/978-94-009-3765-9.
- [7] Van Fraassen B. *The Scientific Image*. New York, Oxford University Press, 1980, 248 p.

- [8] Suppe F. Understanding Scientific Theories: An Assessment of Developments, 1969–1998. *Philosophy of Science*, vol. 67, pp. 102–115.
- [9] Da Costa N., Frensh S. *Science and Partial Truth. A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. Oxford, Oxford University Press, 2003, 259 p.

Статья поступила в редакцию 23.11.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Архиереев Н.Л. Теоретико-модельная стратегия обоснования научного знания в современной формальной философии науки. *Гуманитарный вестник*, 2017, вып. 12. <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2017-12-492>

**Архиереев Николай Львович** — канд. филос. наук, доцент кафедры «Философия» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: [arkh-nikolaj@yandex.ru](mailto:arkh-nikolaj@yandex.ru)

# The model-theoretic strategy of validating scientific knowledge in the modern formal philosophy of science

© N.L. Arkhiereev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The accepted in the logical positivism program of validating scientific knowledge founded upon the so-called standard formalization of scientific theories in the logical language of the first-order predicates. The standard formalization does not allow describing the class of the suppositional models of theory accurately enough, which to a certain degree brings into discredit the application of the formal methods in the philosophy of science. The commonsensical alternative to the standard formalization and validation of theory is a model-theoretic strategy using the semantic models of theory concept in the sense of A. Tarski as the basic one and deprived of most technical drawbacks in the logical positivism program. The article considers the underlying principles of this strategy of validating scientific knowledge, clarifies the peculiarities of applying the model concept in the sense of A. Tarski to axiomatizing the theories in mathematics and physics, and reveals the specific features of explaining the notion of truth when characterizing the assertions of the scientific theories.*

**Keywords:** predicate, set, standard formalization, theory axiomatizing, model of theory, representation theorem, measurement theory

## REFERENCES

- [1] Suppe F. *The semantic conception of theories and scientific realism*. Urbana, University of Illinois Press Publ., 1989, 485 p.
- [2] Suppes P. *Introduction to logic*. New York, Van Nostrand Reinhold Company Publ., 1957, 330 p.
- [3] Suppes P. A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences. In: *The concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences. Synthese Library*. Dordrecht, Springer Publ., 1961, vol. 3, pp. 163–177.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-3667-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-010-3667-2_16)
- [4] Suppes P. Models of data. In: Nagel E., Suppes P., Tarski A., eds. *Logic, methodology, and philosophy of science. Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford, Stanford University Press Publ., 1962, pp. 252–261.
- [5] Suppes P. Measurement, empirical meaningfulness and three-valued logic. In: West Churchman C., Ratoosh P., eds. *Measurement: definitions and theories*. New York, Wiley Publ., 1959, pp. 129–143.
- [6] Balzer W., Moulines C., Sneed J. *An architectonic for science. The structuralist program. Synthese Library*. Dordrecht, Springer Netherlands Publ., 1987, vol. 186, 440 p. DOI: 10.1007/978-94-009-3765-9
- [7] Van Fraassen B. *The Scientific Image*. New York, Oxford University Press, 1980, 248 p.
- [8] Suppe F. *Philosophy of Science*, vol. 67, Supplement. Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers (Sep., 2000), pp. 102–115.
- [9] Da Costa N., Frensh S. *Science and partial truth. A unitary approach to models and scientific reasoning*. Oxford, Oxford University Press, 2003, 259 p.

**Arkhiereev N.L.**, Cand. Sc. (Philos.), Assoc. Professor, Department of Philosophy, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: [arkh-nikolaj@yandex.ru](mailto:arkh-nikolaj@yandex.ru)