

## ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ

### FORMAL MODELS OF EVOLUTION OF SCIENTIFIC THEORY

*N. Arkhiereev*

*Summary.* The article is concerned with various formal models of evolution of scientific theory. A cumulative model, based on standard approach to scientific theory, presents evolution of science as a continuous linear process. An abstract character of this model has been severely criticized, which results in statements of incommensurability of scientific theories, of unrealistic nature of scientific postulates and of inapplicability of notions of formal truth and falsity to the theories of natural science. A set-theoretic model of evolution of science, based on generalization of Tarski's notion of theory model, allows to avoid certain drawbacks of cumulative model and demonstrates partial integrity of scientific evolution.

*Keywords:* theory, model, formalization, axiomatization, truth, verisimilitude.

**Архиереев Николай Львович**

*К.ф.н., Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана  
arkh-nikolaj@yandex.ru*

*Аннотация.* В статье рассматриваются различные формальные модели эволюции научной теории. Кумулятивная модель, основанная на стандартной трактовке научной теории, представляла эволюцию науки как непрерывный линейный процесс. Абстрактный характер данной модели стал объектом ожесточённой критики и привёл к утверждению о несоизмеримости сменяющих друг друга теорий, о нереалистичном характере утверждений научных теорий и невозможности применения к теориям естественных наук формально строгих понятий истинности/ложности. Теоретико-множественная модель развития науки, основанная на обобщении понятия модели теории в смысле А. Тарского, позволяет избежать крайностей кумулятивной модели и при этом продемонстрировать частичную преемственность между моделями сменяющих друг друга теорий.

*Ключевые слова:* теория, модель, формализация, аксиоматизация, истина, правдоподобие.

Одной из отличительных черт программы обоснования научного знания, выдвинутой логическим позитивизмом, была принципиальная и последовательная опора на формальные методы исследования при решении ряда содержательных проблем философии науки. Условием успешного решения задач строгого различения аналитических и синтетических предложений теории, формулировки критериев осмысленности высказываний и др. объявлялась предварительная их экспликация 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 при помощи правил соответствия  $C$  (в более поздних редакциях данной программы — при помощи предложений редукции  $R$ ). Прямыми семантическими значениями при этом обладали только понятия из языка  $L_O$ . Научная теория отождествлялась с множеством конъюнкций теоретических постулатов теории и правил соответствия  $T \wedge C$ . Данное множество рассматривалось как упорядоченное (связанное) отношением формальной выводимости.

Формализацию теории в Я.К.Л.П.— 1= принято называть стандартной.

Трактовку теории как множества предложений некоторого формализованного языка (аксиом и теорем), связанных отношением дедуктивной выводимости, принято называть стандартной или «высказывательной».

На основе стандартной трактовки научной теории, принятой в логическом позитивизме, была предложена оригинальная модель развития научного знания.

Согласно логико-позитивистским представлениям, теории, успешно прошедшие серию эмпирических проверок обладают высокой степенью достоверности. При этом дальнейшие трансформации «предварительно подтверждённых» теорий могут осуществляться по одному из следующих сценариев: 1) по мере совершенствования измерительной и экспериментальной аппаратуры, в предсказаниях теории выявляются несоответствия и ошибки, понижающие степень её подтверждения опытом; это сужает область применимости теории и в исключительных случаях может вести к отказу от неё; 2) высокая степень достоверности исходной теории позволяет расширить область её применения; 3) несколько разрозненных теорий, каждая из которых обладает высокой степенью достоверности, включаются в единую, «обобщающую».

Варианты 2) и 3) рассматриваются как наиболее распространённые.

При втором из возможных вариантов развития теории исходное множество теоретических постулатов и правил соответствия  $ТС$  заменяется множеством  $ТС'$ , в котором правила соответствия  $С'$  призваны «адаптировать» концептуальный аппарат исходной теории к более широкой области наблюдаемых феноменов. Теория  $ТС'$  должна успешно пройти эмпирическую проверку и, кроме того, терминологический аппарат исходной теории  $ТС$  не должны существенным образом отличаться от терминологического аппарата теории  $ТС'$ . Последнее требование обуславливает однородность словарей обеих теорий, что, в свою очередь, обеспечивает возможность дедуктивного вывода предложений теории  $ТС$  из множества предложений теории  $ТС'$ . Поэтому данная модель эволюции теории является, по сути, схемой редукции предложений одной теории к предложениям другой. Другие разновидности этого способа эволюции теории предполагают возможность расширения перечня теоретических постулатов исходной теории при сохранении правил редукции (переход от  $ТС$  к  $ТС'$ ) или же расширение обоих списков предложений исходной теории (переход от  $ТС$  к  $ТС'$ ).

Третий из возможных вариантов развития теории предполагает несколько иной тип редукции, при котором (по крайней мере, некоторые) формулировки законов исходной теории/теорий содержат дескриптивные термины, отсутствующие в формулировках теоретических постулатов и/или правил соответствия «обобщающей» теории. Для корректного осуществления редукции данного типа должны быть выполнены следующие условия: 1) значения теоретических терминов обеих теорий должны быть однозначно определены; 2) для каждого теоретического термина  $\alpha$  исходной теории, отсутствующего в словаре обобщающей теории, постулируется гипотетическое соответствие между значением термина  $\alpha$  и теоретическим термином  $\beta$  в словаре обобщающей теории, (предположительно) отражающим свойства значения  $\alpha$ ; 3) на основе гипотезы 2) все законы исходной теории должны быть логически выведены из теоретических постулатов и правил соответствия обобщающей теории; 4) все дополнительные гипотезы, использованные в выводе, должны быть эмпирически подтверждены [5, с. 345].

Как правило, редукция данного типа представляет собой объяснение некоторой феноменологической теории или множества экспериментальных законов, относящейся к одной предметной области, при помощи теории, сформулированной для другой (хотя и смежной) предметной области (например, объяснение законов движения планет Кеплера при помощи механики Ньютона).

В результате наука представляет собой *линейныйкумулятивный процесс непрерывного накопления зна-*

*ния. Прежние теории не отбрасываются, а редуцируются к новым указанными способами.*

Излишне схематизированные, подчеркнута «дедуктивистские» представления о характере эволюции науки, развитые на основе стандартной трактовки научной теории, стали отдельным объектом критики противников логико-позитивистской программы обоснования научного знания.

«Хрестоматийным», к примеру, стало утверждение Т. Куна о «несоизмеримости парадигм» — сменяющих друг друга фундаментальных научных теорий, определяющих сам способ постановки и решения научных задач в некоторой области знания [1].

Аргументация Куна, в свою очередь, спровоцировала обострение полемики между научным реализмом и антиреализмом в истолковании природы и функций научной теории.

Основное содержание данной группы проблем было выражено в ставшей классической работе Ларри Лаудана «Опровержение конвергентного реализма» («Confutation of Convergent Realism») [3].

Суть научного реализма (или, в терминологии Л. Лаудана, конвергентного эпистемического реализма) может быть выражена в виде последовательности следующих тезисов:

1) Зрелые научные теории являются (по крайней мере) *приблизительно истинными* в «корреспондентском» смысле; при этом последующие во времени теории «ближе к истине», чем предшествующие им теории, относящиеся к той же предметной области.

2) Как наблюдаемые, так и теоретические термины, входящие в состав «зрелых» теорий, имеют реальные референты — в мире действительно существуют объекты, соответствующие постулируемым элементам онтологии научной теории.

3) В зрелой науке предшествующие теории оказываются «граничными»/ «предельными» случаями последующих (последующие теории в зрелой науке сохраняют референты предшествующих теорий и связывающие их отношения).

4) Каждая последующая теория способна объяснить, почему предшествующая ей теория была «успешной» в предсказательном и объяснительном плане (если, разумеется, предшествующая теория действительно была успешной в указанном смысле).

Термин «приблизительная истинность» или «правдоподобие» (verisimilitude) рассматривается как некоторое «ослабление» формально-логического понятия истинности предложения теории.

В результате, с точки зрения эпистемического реализма, развитие науки представляет собой «сходящийся», конвергентный процесс, неизбежно приближающий нас ко «всё более истинному» образу реальности.

В частности, с точки зрения научного реализма корректными должны оказаться следующие утверждения:

А) Если теория является «правдоподобной» / «приблизительно истинной», то она успешно выполняет объяснительные и предсказательные функции.

Б) Если теория успешно выполняет объяснительные и предсказательные функции, то она является правдоподобной. [3, с 30]

В связи с утверждением Б) Л. Лаудан отмечает: можно указать целый ряд теорий, успешно выполнявших объяснительные и предсказательные функции на протяжении достаточно длительного времени и, тем не менее, оказавшихся впоследствии фактически ложными (классическим примером подобной теории является астрономия Птолемея – Аристотеля).

В связи с утверждением А) Л. Лаудан обращает внимание на следующий факт: ни одна известная ему попытка строгим образом определить понятие «приблизительной истинности» теории не увенчалась успехом. [3, с. 30]

Одним из наиболее известных вариантов подобного определения является следующая формулировка.

Пусть  $T_1$  — некоторая теория, сформулированная стандартным образом. Пусть  $CtT(T_1)$  — мощность множества истинных предложений, логически вытекающих из постулатов (аксиом)  $T_1$ ,  $CtF(T_1)$  — мощность множества ложных предложений, являющихся следствиями аксиом  $T_1$ .

Тогда теория  $T_1$  является правдоподобной (приблизительно истинной), если и только если мощность множества её истинных предложений/следствий больше мощности множества её ложных предложений/следствий:  $CtT(T_1) > CtF(T_1)$ .

Как отмечает Л. Лаудан, данное определение является неудовлетворительным: рассмотрим некоторый случайным образом выбранный класс наблюдаемых следствий теории, вытекающих из её постулатов. Вполне может оказаться так, что теория является приблизительно истинной в указанном выше смысле, и, тем не менее, *все* её наблюдаемые следствия, принадлежа-

щие рассматриваемому классу, будут фактически ложными.

Отсутствие корректного определения понятия приблизительной истинности автоматически делает невыполнимой задачу сравнения сменяющих друг друга теорий «по истинности» и ставит под сомнение центральный тезис эпистемического реализма о преемственности в развитии научного знания и неуклонном возрастании его «истинного содержания».

Нетрудно заметить, что приведённое выше определение понятия правдоподобия основано на стандартной трактовке научной теории как множества предложений, упорядоченного отношением выводимости. Иными словами, в данном определении отсутствует понятие модели, которое опосредует отношение между постулатами теории и её предметной областью в теоретико-множественной программе обоснования научного знания, являющейся основной альтернативой программе логического позитивизма.

В результате понятие истинности/правдоподобия теории трактуется в этом случае как буквальное (полное или частичное) соответствие фундаментальных постулатов теории элементам её предметной области, устанавливаемое на основе специфических «правил перевода» — предложений редукции.

В рамках теоретико-множественной программы обоснования научного знания различаются два принципиально различных понятия: сугубо формальное понятие истинности предложения теории в модели и понятие структурного соответствия между элементами моделей теории различного уровня и элементами некоторой предметной области (причём именно второе понятие рассматривается в качестве корректного уточнения понятия истинности естественно-научной теории в корреспондентском смысле).

В результате, на наш взгляд, приведённое определение правдоподобия теории неявным образом смешивает два эти понятия истинности — точнее, подразумевает использование первого понятия в качестве аналога второго.

Этот факт объясняется в целом недостаточной разработанностью семантической проблематики в логико-позитивистской программе обоснования научного знания.

Понятие частичной истинности/правдоподобия теории было успешно уточнено в рамках теоретико-множественного подхода к обоснованию научного знания. В основе данного подхода лежит обобщение семантического понятия модели в смысле А. Тарского.

В самом общем виде в формальной семантике под моделью теории обычно понимают некоторую возможную реализацию теории, выполняющую её 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, определённых на  $D$ ,  $F$  — множество (возможно, пустое) предметных функций (операций), определённых на  $D$ . Данная конструкция является моделью теории, если только все предложения (аксиомы) теории истины при их интерпретации в терминах  $\langle D, R, F \rangle$ .

Данные определения неявным образом предполагают выполнение следующих условий.

1. Все термины, входящие в выражения соответствующего формального языка, должны иметь определённые значения из области  $D$ .

2. Для каждого определённого на  $D$  предиката ( $n$ -местного отношения)  $R_i^n$  ( $n \geq 1, i \geq 1$ ) должны быть однозначным образом определены множества последовательностей объектов из  $D$ , выполняющих данный предикат и не выполняющих его. То есть, для каждого такого отношения должны быть однозначным образом определены множества его «истинности»  $T(R_i^n)$  и «ложности»  $F(R_i^n)$  такие, что:

$$a). T(R_i^n) \cap F(R_i^n) = \{\emptyset\}$$

$$б). T(R_i^n) \cup F(R_i^n) = D$$

Противники использования формальных методов в философии науки обычно указывают на излишне «ригористичный», нормативистский характер данных требований применительно к особенностям построения и модификации теорий естественных наук.

В частности, первое требование не позволяет должным образом отразить концептуальные изменения, сопровождающие эволюцию естественно-научных теорий: некоторые гипотетические понятия, постулируемые теорией, могут впоследствии оказаться «пустыми» (к примеру, показательна в этом плане судьба таких гипотетических понятий, как «теплород» и «флогистон»).

Второе требование не позволяет должным образом отразить изменение структурных отношений между элементами предметной области теории: в общем случае для эмпирических теорий (по крайней мере, на ранних этапах их развития) нельзя обеспечить однозначно строгое выполнение условий а) и б) (области истинно-

сти/ложности отношений  $R_i^n$ , входящих в формулировку эмпирических обобщений и законов теории, могут изменяться).

Н. ДаКостой, С. Френчем, И. Майкенбергом, Р. Чуаки [2], [4] было предложено обобщение понятия модели, позволяющее успешно нейтрализовать описанные технические трудности и построить естественную экспликацию понятия приблизительной истинности теории, что демонстрирует справедливость основных тезисов конвргентного реализма.

Исходными при данном подходе являются понятия частичного отношения (заданного на некоторой непустой области  $D$ ), частичной структуры и квази — истинности. Последнее понятие и является формально строгой экспликацией понятия приблизительной истинности.

Пусть  $D$  — непустая предметная область. При этом, однако, не известно, все ли объекты, постулируемые этой областью, существуют.

Частичное  $N$ -местное отношение на  $D$  есть тройка  $\langle R_1^n, R_2^n, R_3^n \rangle$ , где  $R_1^n, R_2^n, R_3^n$  есть взаимно непересекающиеся множества, объединение которых совпадает с  $D$ :  $R_1^n \cup R_2^n \cup R_3^n = D$

При этом  $R_1^n$  есть такое множество  $n$ -ок из  $D$ , которые находятся в отношении  $R, R_2^n$  — множество  $n$ -ок, не находящихся в отношении  $R$ , и  $R_3^n$  — множество  $n$ -ок, относительно которых на данный момент не установлено, находятся они в отношении  $R$  друг к другу или нет.

Частичная структура есть упорядоченная пара  $\langle D, R_i^n \rangle$  ( $n \geq 1, i \geq 1$ ), где  $D$  есть непустое множество, а  $R_i^n$  — семейство частичных отношений на  $D$ .

Следующим необходимым при данном подходе понятием является понятие *A-нормальной структуры*.

Пусть  $A = \langle D, R_i^n \rangle$  есть частичная структура. Тогда  $B = \langle D', R_i'^n \rangle$  есть *A-нормальная структура*, если только:

$$(1) D = D';$$

(2) каждой константе языка в структурах  $A$  и  $B$  приписывается один и тот же объект,

$$(3) R_i'^n \text{ есть расширение } R_i^n$$

Поскольку в результате для каждой частичной структуры возможными оказываются несколько *A-нормальных структур*, чтобы выделить «приемлемые» её расширения вводится понятие *прагматической структуры*.

Прагматическая структура — это тройка  $\langle D, R_i^n, P \rangle$ , где  $D, R$  понимаются также, как и раньше, а  $P$  есть некоторое множество законов или данных наблюдения, специфических для данной предметной области.  $P$  естественным образом вводит ограничения на допустимые расширения исходной частичной структуры. Прилагательное «прагматическая» в наименовании этого типа структур отражает нелогический, фактический характер множества ограничений  $P$ .

На основе понятия прагматической структуры можно следующим образом определить условия существования  $A$ -нормальной структуры  $\langle D', R_i^n \rangle$  для некоторой частичной структуры  $\langle D, R_i^n \rangle$ .

Пусть  $\langle D, R_i^n, P \rangle$  — прагматическая структура. Для каждого частичного отношения  $R_i$  строим множество  $M_i$  атомарных предложений и их отрицаний таких, для которых, соответственно, выполняется и не выполняется каждое из отношений  $R_i^n$ . Строим объединение  $M$  всех множеств  $M_i$ :  $M = \bigcup_{i \in I} M_i$ .

Тогда прагматическая структура  $\langle D, R_i^n, P \rangle$  допускает существование  $A$ -нормальной структуры, е.т.е. (если и только если) множество  $M \setminus P$  непротиворечиво.

Высказывание  $\alpha$  квази-истинно в прагматической структуре  $\langle D, R_i^n, P \rangle$ , е.т.е. существует  $A$ -нормальная структура  $\langle D', R_i^n \rangle$ , в которой  $\alpha$  истинно (в смысле Тарского). В противном случае  $\alpha$  квази-ложно в прагматической структуре.

Наконец, некоторое высказывание  $\alpha$  квази-истинно (приблизительно истинно), е.т.е. существует некоторая прагматическая структура  $A$  и соответствующая ей  $A$ -нормальная структура  $B$  такая, что  $\alpha$  истинна в  $B$  (в смысле Тарского). В противном случае  $\alpha$  квази-ложно.

Данный формальный аппарат позволяет строить адекватные формальные модели развития научного знания, отражающие возможность концептуальных и структурных изменений теорий при сохранении (частичной) преемственности между ними. Таким образом, можно сказать, что тезис о «поражении» конвергентного реализма и, в частности, о полной несоизмеримости сменяющих друг друга фундаментальных теорий является всего лишь результатом некорректной абсолютизации стандартной трактовки научной теории, предложенной в рамках формальной программы логического позитивизма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кун Т. И. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977. 300 с.
2. Da Costa N., Frensh S. Science and Partial Truth. A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning. Oxford: Oxford University Press. 2003. 259 p.
3. Laudan Larry. A Confutation of Convergent Realism. Philosophy of Science, Vol. 48, No. 1 (Mar., 1981), pp. 19–49.
4. Mikenberg L., da Costa N. C.A. and Chuaqui R. 1986: Pragmatic Truth and Approximation to Truth. The Journal of Symbolic Logic 51. pp.201–221.
5. Nagel Ernest. The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation. Columbia University Press. 1961.

© Архиреев Николай Львович ( arkh-nikolaj@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана