

*А.И.Липкин*

## **О месте моделей в современной физике\***

В XX в. обычно и в теоретической физике, и в философии наук в качестве основы рассматривают двухслойную модель научного знания, в которой выделяют математико-теоретический и эмпирический слои. «Немного схематично... можно сказать, что всякая физическая теория состоит из двух дополняющих друг друга частей, — говорил известный физик-теоретик Л.И.Мандельштам в своих лекциях по квантовой механике. — Это *уравнения* теории... (и) связь этих (входящих в уравнения — *А.Л.*) символов (величин) с физическими объектами, связь, осуществляемая по *конкретным рецептам*» [1, с. 326-327].

В [2] к этому еще добавляют «интерпретацию или модель для абстрактного исчисления (уравнения Мандельштама — *А.Л.*), которая снабжает некоторым «мясом» в терминах более-менее знакомого понятийного или наглядного материала скелетную структуру». Аналогичное представление модели-интерпретации мы находим в «модели *для*» [3] и в так называемом «общепринятом взгляде» на теории [4, р. 3]. Но при этом модель выступает не как центральный элемент системы, а как связка между теорией-уравнением и эмпирическим материалом. Главных элементов, как и у Мандельштама, лишь два. Приблизительно то же мы находим даже в рамках структуралистского (модельного) течения философии науки (Суппес, Штегмюллер и др.), где интенсивно исполь-

---

\* Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Грант РФФИ № 99-06-80244.

зуется термин «модель». Здесь тоже есть только два основных слоя — теоретический и эмпирический: «Научная теория, — пишет П.Суплес в своей работе «Что такое теория?», — состоит из двух частей. Первая — абстрактное логическое исчисление... Вторую часть теории составляет набор правил, которые приписывают эмпирическое содержание логическому исчислению» [5, р. 56].

С этим взглядом в основном солидаризируется и один из патриархов отечественной философии науки И.В.Кузнецов, который, анализируя структуру физической науки, приводит позицию Л.С.Мандельштама как образец [6, с. 29] и в своем собственном анализе выделяет аналогичные два элемента: «главный структурный элемент» («ядро физической теории») — «систему общих законов, выражаемых в математических уравнениях» и «физическую *интерпретацию* уравнений» [6, с. 34].

Но в реальной физике именно построение физической модели отдельного «явления природы» (или глобальной «картины мира») является центральным в работе физика. Именно с создания физической модели начинается его работа и в классической и в квантовой механике. После того, как модель есть, составить для нее математическое «уравнение движения», которое часто называют «законом», — дело техники. Из чего же составляются эти модели? Мы утверждаем, что они состояются из первичных идеальных объектов (ПИО) типа частиц, полей и др., которые задаются в рамках некоторой системы понятий и постулатов, названной нами «ядром раздела науки» (ЯРН) [7; 8]. В центре этой системы находится взаимосвязанные модельно-онтологические понятия простейшей для данного раздела физики физической системы (А) — ПИО и множества ее состояний ( $S_A$ ), определяемых наборами соответствующих измеримых величин (для классической частицы — положением и скоростью). Эти модельно-онтологические понятия, как и составляемые из них более сложные физические системы, имеют математическую «надстройку», состоящую из математических образов физической системы (типа гамильтониана или лагранжиана), ее состояний (например, волновой функции в квантовой механике) и «уравнения движения», задающего связь между состояниями в различные моменты времени  $t$ . Кроме того, существует слой «эмпирического материала», в котором следует выделить «конструктивные элементы», обеспечивающие приготовление самой физической системы и ее исходного состояния, и эталоны и процедуры сравнения с ними для всех измеримых величин. При этом понятия, входящие в модель-

но-онтологический и математический слои, задаются одновременно, взаимосвязанно и неявно в рамках системы соответствующих постулатов.

Отметим вторичность математического слоя, в том числе, что в реальной работе физика, как правило, уравнения пристраиваются к модели физической системы, а не наоборот. На это указывает и характерное для физики использование разных «математических представлений» (т.е. математических образов физической системы и ее состояний) для решения одной и той же задачи (Ньютона, Лагранжа, Гамильтона — в классической механике, Шредингера, Гейзенберга, взаимодействия и др. — в квантовой механике). Последнее является причиной «головной боли» у философов, которые сводят теоретическую часть к математическим уравнениям.

Весьма ярко модельный слой проявляется в «методе затравочной классической модели» [8], широко используемом в физике XX в. [7]. Суть последнего состоит в следующей процедуре: берется «затравочная» модель физической системы из классического раздела физики (классической механики и электродинамики), затем берется классический математический образ этой системы (в виде соответствующего гамильтониана или лагранжиана), после чего вводятся определенные процедуры преобразования классического математического образа в неклассический. В результате «затравочной» классической модели (ЗКМ) сопоставляют новое математическое представление, в результате чего «классическая модель» приобретает «неклассические» свойства. В квантовой механике так ставятся все задачи (поищите, откуда берется гамильтониан той или иной квантовомеханической задачи, и вы найдете лежащую в ее основании «затравочную» классическую модель). Этот метод используется и при создании теории относительности и статистической физики [7].

Отметим, что, по сравнению с введенным в [9] понятием «затравочного абстрактного объекта» (ЗАО), наш метод ЗКМ является чрезвычайно конкретным. Метод ЗКМ является конкретным элементом исследовательской работы внутри раздела физики, используемым учеными при постановке физических задач. В весьма интересной работе [9] речь идет о логическом анализе процесса формирования теории. Вопрос о том, можно ли рассматривать ЗКМ как частный случай реализации выявленной в [9] логической процедуры, требует дополнительного анализа.

Наша структура близка структуре В.С.Степина, у которого «теория включает: 1) уравнения (математические выражения законов); 2) теоретическую схему, для объектов которой справедливы уравнения; 3) сложные и опосредованные отображения объектов, составляющих схему, на эмпирический материал» [10, с. 97]. Здесь обозначены все введенные нами слои. У В.С.Степина есть и аналоги наших ПИО и ЯРН — «теоретические объекты» и «фундаментальные теоретические схемы» [10, с. 24, 30]. Но у В.С.Степина нет введенной нами весьма конкретной единой для всех разделов физики структуры (в центре которой переход  $S_A(t_0) \rightarrow S_A(t_1)$ ). В отличие от «системы основных положений», состоящих из аксиом, допущений, общих законов и принципов теории [11, с. 265], наше «ядро раздела науки» обладает четкой и конкретной структурой составляющих его математического, модельного и эмпирического слоев [7,8].

Такой взгляд на физику имеет много общего с «общей структурой фундаментальных физических теорий» Г.Я.Мякишева [12]. Последний выделяет понятие состояния физической системы как центральное и утверждает, что общая структура классической механики остается и в других разделах физики. Но у него, как и у перечисленных выше авторов, в основе лежит двухслойная модель естественной науки, в которой теоретическая часть представлена лишь математическим слоем: «Общими структурными элементами механики Ньютона (и все другие «фундаментальные физические теории», как он указывает чуть ниже — А.Л.), — пишет Г.Я.Мякишев, — можно считать три элемента: совокупность физических величин (наблюдаемых), с помощью которых описываются объекты данной теории; характеристика состояний системы; уравнения движения, описывающие «эволюцию состояния» [12, с. 423].

Аналогичны отношения нашей структуры и от «костяка» (структуры) физической теории И.В.Кузнецова. У него мы находим похожие на наши ПИО «идеализированные объекты» (абстрактные модели [6, 30]), которые «по своему назначению в высокоорганизованной теоретической системе фактически играют роль фундаментальной идеи» и служат «посредствующим мостом» при «переходе от эмпирического базиса к совокупности новых понятий». При этом, как и у нас (если под «теориями» понимать разделы физики, у В.И.Кузнецова не выделены указанные выше два типа теорий), «теории... прежде всего отличаются положенными в их основу идеализированными объектами» [6, с. 31, 30].

Главное отличие между нашими ПИО и «идеализированными объектами» В.И.Кузнецова состоит в примате математики в его представлении теории (по сути его модель, как указывалось выше, двухслойна, она состоит из математико-теоретического и эмпирического слоев), вследствие чего «идеализированный объект с самого начала строится с помощью образов и средств математики» и его примерами являются  $\Psi$ -функция в квантовой механике и «абстрактное псевдоевклидово 4-мерное множество координат и мгновений времени» в СТО, а не квантовая и релятивистская частицы (формируемые в первую очередь в модельном слое), как у нас [7; 8].

То, что в приведенных выше и у И.В.Кузнецова взглядах на науку превалирует противоположная по сравнению с нашей субординация между модельным и математическим слоями, связано, по-видимому, с тем, что в рамках эмпиристской идеологии привыкли строить последовательность: эмпирические факты — эмпирические законы — теоретические законы (2). В ходе преодоления «гносеологического кризиса» в физике границы XIX—XX вв., сопровождавшего становление «неклассической физики» (теории относительности и квантовой механики) и связанной с ним комбинации позитивизма Маха, Пуанкаре и «Венского» и «Берлинского» кружков, теоретический слой в рамках философской рефлексии для очень многих философов и философствующих физиков редуцировался к математическим уравнениям.

Следует отметить, что для традиции советской философии науки 1960—80 гг., где сильный акцент делался не на формальной, а на содержательной стороне познавательного процесса [11, с. 266]), в отличие от западной, характерно непосредственное обращение к «абстрактным объектам» и «мысленным экспериментам», не ограничиваясь характерным для западной философии науки лишь «оперированием высказываниями» [11, с. 272]. В ее рамках в теорию, наряду с математическим, вводят еще и модельный слой. Наиболее известными образцами такого модельного слоя являются «ненаблюдаемые» «типы содержания физического знания» И.С.Алексеева [13, с. 49-57] и упомянутые выше «теоретические схемы» В.С.Степина [10].

Новизна предлагаемого нами подхода [7;8] состоит в следующих моментах.

1) Как указывается в [11, с. 264, 286], в отечественных и зарубежных исследованиях в качестве различных единиц анализа, встречаются: теории, суждения, умозаключения, научные дисциплины, парадигмы, исследовательские программы и др. Здесь

выбрана другая единица анализа — раздел физики (РФ) (классическая и квантовая механика, электродинамика, гидродинамика и т.д.).

2) Известный американский философ Б. ван Фраассен считает, что именно «эмпиризм всегда был главным философским ориентиром в изучении природы» [14, р. 3]. И действительно, в той или иной степени из Фр. Бэкона исходят как западный позитивизм, неопозитивизм и даже постпозитивизм, так и отечественные направления философии науки, восходящие к Марксу, Гегелю и Канту. Предлагаемые же автором поход, названный «конструктивным рационализмом», является продолжением идущей параллельно вышеназванным линиям — линии Галилея и Ньютона, которые опирались на геометрию Евклида как образец теории [15; 7].

3) Как и в последней, где можно выделить исходные понятия — точка, прямая, плоскость и все прочие строимые из первых «идеальные объекты второго уровня» — геометрические фигуры, в физике тоже можно выделить «первичные идеальные объекты» (ПИО) — частицы, силы, поля, ..., из которых (как дом из кирпичиков) строятся модели различных явлений природы и глобальные картины мира.

4) Как и в геометрии Евклида в физике к концу XIX в. перешли к системно-неявному типу определения исходных понятий — ПИО задаются не явно, а в рамках некоторой структуры (аналог системы аксиом геометрии), которую мы называем «ядром раздела науки» — ЯРН (отметим, что оно имеет существенно другой смысл, чем «ядро физической теории» И.В.Кузнецова). Для физики это очень конкретная целостная структура, включающая как теоретические, так и нетеоретические элементы [7, 8].

5) Из указанной иерархичности следует существование теорий двух типов, двух уровней: теорий, отвечающих созданию новых разделов физики (новых ПИО и ЯРН), и теорий различных явлений природы, описываемых (объясняемых, предсказываемых) в рамках уже существующих разделов науки (и соответствующих ПИО).

Это различие не ново, оно фиксируется в предложенном Т.Куном делении на «нормальную» и «аномальную» фазы науки, в эйнштейновском различении на «конструктивные» и «фундаментальные» теории, «фундаментальные» и «частные» «теоретические схемы» в работах В.С.Степина, «фундаментальные физические теории» у Г.Я.Мякишева [12]. Но при анализе структуры теорий это различие по сути не учитывается, в то время как для

нас здесь имеются существенные различия: в первом случае мы имеем дело с цепочкой «известные первичные идеальные объекты — конструирование — модель явления», а во втором — с цепочкой «проблема — конструирование — новые первичные идеальные объекты». Мы, в основном, обсуждаем последнее.

6) Существенным моментом является то, что мы рассматриваем измерение как принципиально нетеоретический элемент структуры раздела науки (физики), как процедуру сравнения с эталоном, а не как взаимодействие с измеряемым объектом. В этом вопросе мы солидарны с предложенной Фоком при рассмотрении квантовой механики (в полемике с Бором) [16] трехчастной моделью, выделяющей приготовление исходного состояния, теоретическую область и измерение конечного состояния. Существенным усложнением вводимым в эту схему, превращаемую нами в схему ЯРН, является введение конкретной двухслойной структуры теоретической части.

7) Различные разделы физики отличаются друг от друга различным содержательным наполнением указанных функциональных мест (Липкин).

---

**Литература**

1. *Мандельштам Л.И.* Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972.
2. *Nagel E.* 1961/ The sructurs of Sciences. N.Y., 1961 (p. 90-117).
3. *Huttsn E.H.* // British J. for the Phil. of Sci. 1953-54, 4, 285-301.
4. The Structurs of Scientific Theories. Urbana, Chicago, London, 1974.
5. *Suppes P.* // Philosophy of Sciences Today. N.Y., 1967. P. 55-67.
6. *Кузнецов И.В.* Избранные труды по методологии физики. М., 1975.
7. *Липкин А.И.* Модель современной физики (взгляд изнутри и извне). М.: 1999.
8. *Липкин А.И.* // Философия науки. 1996. Вып. 2. С. 199-217.
9. *Жаров С.Н.* // Естествознание: системность и динамика. М., 1990.
10. *Степин В.С.* Становление научной теории. Минск, 1976.
11. *Мамчур Е.А., Овчинников Н.Ф., Огурцов А.П.* Отечественная философия науки: предварительные итоги. М., 1997.
12. *Мякишев Г.Я.* // Физическая теория. М, 1980. С. 420-438.
13. *Алексеев И.С.* Деятельностная концепция познания и реальности. М., 1995.
14. *Van Fraassen Bas C.* The Scientific Images. Oxf., 1980.
15. *Липкин А.И.* Фр. Бэкон, Г.Галилей и современная философия науки // Филос. науки. № 3-4. С. 117-137.
16. *Фок В.А.* Критика взглядов Бора на квантовую механику // Философские вопросы современной физики. М., 1958.