

учной полемике связана прежде всего с тем, что в процессе полемики об-суждается не одно, а несколько различных мнений, касающихся одного и того же вопроса. Кроме того, каждый участник полемики, высказывая свое мнение или присоединяясь к мнению других участников, обязан его доказывать, и никто не должен принимать чье-то мнение без убедитель-ной аргументации. Наука устанавливает истинность новых положений, сопоставляя их с теми, истинность которых уже установлена (аксиома-ми, ранее открытыми законами науки, фактами и пр.), т. е. опираясь на доказательство. Наряду с позитивным обоснованием определенных мнен-ний процесс научной полемики предполагает критическую и самокрити-ческую проверку на прочность всей системы аргументации: анализ до-водов, критика и самокритика логической связи аргументов со своими тезисами-мнениями и обсуждаемым вопросом, всестороннее рассмотре-ние различных суждений и вытекающих из них следствий. Любые факти-ческие или логические недочеты и слабые места в сопутствующих рас-суждениях принимаются во внимание и чреватые существенными, деструк-тивными последствиями по отношению к соответствующему мнению.

Природа и структура научной полемики соотносимы в том плане, что в структуре как бы в снятом виде зафиксированы отношения, характер-ные для ее генезиса (онтогенез повторяет логику филогенеза). Этот факт нетрудно обнаружить и понять, если принять во внимание определенное тождество между деятельностью по обоснованию и объяснению научных достижений. Поэтому сущность полемики как феномена развития науки может получить полное освещение лишь с учетом единства рассматри-ваемых сторон.

¹ Платон. Избранные диалоги.— М., 1965, с. 156.

² См.: Юдин Э. Г. Системный подход и принцип деятельности.— М., 1978, с. 5; Степин В. С. Естествознание как социокультурный феномен: К проблеме становле-ния естествознания в истории цивилизации.— В. кн.: Ценностные аспекты современного естествознания. (Тез. докл. к теор. конф.). Обнинск, 1979, с. 25; Лекторский В. А., Швырев В. С. Диалектика практики и теории.— Вопросы философии, 1981, № 11, с. 15—16.

³ См.: Наука и нравственность.— М., 1971, с. 197.

⁴ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 346.

⁵ Там же, т. 21, с. 99.

⁶ См.: Соколов А. Н. Проблемы научной дискуссии.— Л., 1980, с. 85.

⁷ См.: Берков В. Ф. Структура и генезис научной проблемы.— Минск, 1983, с. 58.

⁸ Берков В. Ф. Задачи и проблемы в структуре научной деятельности.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 3, 1980, № 1, с. 35.

⁹ См.: Сборник упражнений по логике.— Минск, 1981, с. 152.

¹⁰ См.: Кант И. Соч.— М., 1969, т. 3, с. 159.

¹¹ Гегель Г. В. Ф. Наука логики.— М., 1972, т. 3, с. 13.

В. А. УТКЕВИЧ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАК СРЕДСТВО ИНТЕГРАЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Современная физика характеризуется возрастанием интегративных тенденций в ее развитии. Под интеграцией физического знания понимает-ся процесс непрерывного объединения физических законов и теорий, идей и методов, выработанных различными физическими дисциплинами, процесс их взаимопроникновения и взаимосвязывания на основе однород-ности объектов изучения. Объективной основой этого процесса является материальное единство мира. Но, будучи необходимым, данное условие не является достаточным. Интеграция физического знания предполагает наличие еще некоторых условий, которые зависят от уровня развития са-мой физической науки. Главное из этих условий—математизация физи-ки. Сущность данного процесса не только в проникновении математиче-ских методов в физику и другие науки, хотя и это важно («Наука только тогда достигает совершенства,—считал К. Маркс,—когда ей удастся овладеть математическими методами»)¹, но и в том, что современная фи-зика вообще неотделима от математики. Такая интегративная функция математики в естествознании вообще, и в физике в частности, связана со специфическими особенностями математики как науки. Во-первых, мате-матика наиболее абстрактная из всех наук, а поэтому любой ее вывод

относится не к одному конкретному объекту, а ко многим, различным по своей сущности². Во-вторых, математика изучает количественные отношения и пространственные формы материального мира. Но так как любая физическая дисциплина исследует ту или иную форму движения материи, а материя не может двигаться иначе, как в пространстве и времени, то и любая физическая теория должна в своем построении (в явном или неявном виде) исходить из того или иного определения пространства и времени. Следовательно, для интеграции физических законов и теорий предварительно необходимо выбрать единую, вполне определенную, концепцию пространства и времени, что во многом предопределяется введенным геометрией пространством и временем. В-третьих, математические объекты не имеют прямых аналогов действительности, поэтому существует возможность описания разнородными математическими понятиями одной и той же конкретной ситуации. И, наконец, в-четвертых, интеграция физического знания не есть формальный процесс. Она возможна лишь при выявлении чего-то, объединяющего отдельные физические факты, явления, стороны объекта в единое целое, т. е. при выявлении сущности объекта. Но «в физических теориях понятие о сущности выражается с помощью математических уравнений...»³ Вот основные причины того, что благодаря математизации возможна интеграция физического знания (кстати, необходимо отметить, что процесс математизации физики также является интегративным процессом, но уже более высокого уровня).

В математизации физического знания традиционно выделяют три основных этапа: применение математики как средства вычисления; создание математических моделей; создание полностью или частично формализованных математических теорий физических явлений. На каком же из этих этапов математика становится главным средством интеграции физического знания? Первый этап характерен для всего естествознания. Практически он реализуется в момент зарождения любой науки. Но уровень математизации физики на этом этапе явно невисок, а поэтому интеграция здесь может быть лишь формальной, да и это не объединение физических законов и теорий, а лишь приведение каких-то эмпирических данных в некоторую (причем не до конца определенную) систему. Что касается третьего этапа, то он в физике реализован лишь в некоторых, наиболее развитых теориях, но даже и они не являются чисто математическими, а имеют вполне определенную физическую интерпретацию. Кроме того, на этом этапе главную интегрирующую роль играет не теория, а аксиоматико-дедуктивный метод ее построения, сама же теория может служить моделью для теорий большей степени общности. Моделью, в которой формальному описанию подверглись не только какие-то свойства объекта или сам объект, но и правила логического оперирования с ним. Следовательно, основным средством интеграции физического знания является именно математическая модель.

Каково же содержание термина «математическая модель»? В современной философской литературе есть множество определений понятия модели. На наш взгляд, наиболее удачным является определение В. А. Штоффа⁴. Необходимо также отметить, что математическая модель не имеет каких-либо принципиальных отличий от других видов моделей. «Любая модель строится с помощью определенных теоретических принципов и реализуется какими-то средствами. Модель, построенную на принципах математической теории и реализуемую с помощью математических средств, и называют математической моделью»⁵.

В процессе интеграции физического знания можно выделить следующие этапы. 1) Первичный. Его сущность выражается в открытии физического закона или создании новой теории с последующим расширением области ее применения. 2) Диалектическое разрешение борьбы конкурирующих теорий. 3) Объединение первоначально независимых, но сопоставимых теорий. 4) Создание теории большей степени общности, чем предыдущая. 5) Создание «единой» физической теории.

Рассмотрим каждый из этих этапов. Первый непосредственно связан с созданием феноменологических моделей, полученных прямым наблюдением объекта. Если «форма всеобщности в природе — это закон...»⁶, то феноменологическая модель является математической формой выражения закона. На данном этапе суть синтеза сводится к выявлению связей между различными физическими величинами. Эти связи устанавливаются в результате прямого наблюдения объекта, обобщения эксперимен-

тальных данных, т. е. выявления определенных закономерностей в них, и выражаются в виде математических уравнений. Причем, любое уравнение становится математической моделью не само по себе, а лишь при определенной физической интерпретации входящих в него величин. Такое построение физического закона или теории характерно, в первую очередь, для раннего этапа развития физики, например, классической механики. Но уже в этом случае математическая модель выражает не только форму физического закона, но и его сущность. При достаточной развитости физической теории феноменологические модели могут строиться не только на основе непосредственных наблюдений, но и по аналогии. В данном случае математическая модель часто выполняет свою интегративную функцию потенциально, так как экстраполируя ее с одного уже ранее известного физического объекта на другой, мы тем самым «объединяем» ранее известную теорию с той, которая могла бы возникнуть. История развития физики дает примеры и реальной интеграции подобного типа (назовем ее «поглощением»), когда именно благодаря экстраполяции, возможно включение некоторых частиц теорий в более общую, причем уже в качестве самостоятельных. В этом случае математическая модель не претерпевает изменений с формальной стороны. Но содержательно она изменилась, так как изменилась (стала более широкой) физическая интерпретация входящих в нее переменных.

Как уже отмечалось, такая экстраполяция физического закона или теории на новую предметную область возможна лишь благодаря математической тождественности физических законов, относящихся к различным материальным объектам. Такого рода тождественность для операционалистов имеет чуть ли не мистический смысл. На самом же деле «в аналогичности математической модели целого ряда физических явлений нет ничего мистического, ничего субъективного... Математическое моделирование физической теории сделало предельно ясным внутреннее единство очень широкого круга явлений, показало возможность применения одних и тех же математических идей к очень большому кругу различных природных объектов. Это убедительно свидетельствует о материальном единстве мира, о наличии общих черт, сторон, моментов во внешне разнородных областях физического мира»⁷. В этом случае математическая модель реализует интегративную функцию не в момент своего построения (хотя при построении эта функция уже в потенции заложена), а на этапе ее экстраполяции с одной стороны действительности на другую.

Второй этап интеграции физического знания не является обязательным. В самом деле, он предполагает существование двух конкурирующих теорий. Но, во-первых, многие теории с момента зарождения практически не имели конкурентов, во-вторых, некоторые теории оказались совершенно неадекватными по отношению к отображаемой ими действительности. В этом случае происходило не объединение конкурирующих теорий, а простое отбрасывание неправильных. Но и здесь математическая модель являлась одним из главных средств такой операции. Наиболее ярко это заметно на примере физических теорий, опирающихся на одну и ту же экспериментальную базу, причем не настолько развитую, чтобы подтвердить или опровергнуть их. В этом случае процесс оценки двух конкурирующих теорий основывается в большей степени на таких критериях, как красота математической модели, простота входящих в нее уравнений и т. д.⁸. История развития физики свидетельствует о высокой надежности такого подхода, о том, что последующие эксперименты, как правило, подтверждают его выводы. Классическим же примером объединения конкурирующих теорий является создание Луи де Бройлем теории света. Как известно, еще с семнадцатого века существовали две конкурирующие теории света: корпускулярная (Ньютона) и волновая (Гюйгенса). По способу построения математические модели в этих теориях являлись типично феноменологическими. Луи де Бройль устранил противоречия между этими теориями, причем его математическая модель была индукционной. Она явилась обобщением феноменологических моделей Гюйгенса и Ньютона, которые, в свою очередь, стали асимптотическими моделями для моделей де Бройля (например, при расстояниях намного больших, чем длина волны света волновая оптика переходит в геометрическую ньютоновскую оптику). Такой процесс построения индукционных моделей (и общей теории) объясняется следующим. Изучая одни из многообразных свойств материи, мы можем забыть о других (часто противоположных), а поэтому и создаются теории, кажущиеся исключаящими

друг друга (а на самом деле отображающие лишь отдельные стороны, а не весь изучаемый объект в целом). Но в определенных условиях эти противоположности могут оказаться тождественными и даже взаимопереходят друг в друга. В реальном единстве этих противоположных сторон действительности и заключены объективные предпосылки создания общей теории. Такая теория не есть механическое сложение двух конкурирующих, это совершенно новая теория, которая органически включает в себя старые. Причем математические модели старых теорий обязательно должны получаться как предельный случай, как упрощение новых моделей, отвлечение от некоторых свойств реального мира, как асимптотическое приближение к какой-то одной стороне референта.

Третий этап интеграции физического знания предполагает наличие двух или более сопоставимых теорий. Некоторые предположения о логических соотношениях между двумя теориями можно сделать и при анализе содержательных физических теорий, но установить, какие именно соотношения существуют между ними возможно лишь на основе анализа полностью аксиоматизированных теорий (в противном случае нам будет неизвестно, что сравнивается). Именно недостаток формализованных физических теорий является причиной слабого логико-математического и отчасти гносеологического анализа соотношения между сопоставимыми теориями. С формально-логической точки зрения две сопоставимые теории могут находиться в следующих соотношениях: а) пересечение; б) включение; в) логической (но не обязательно семантической) эквивалентности. Случай пересечения соответствует второму этапу интеграции физического знания, случай включения — четвертому, для третьего же этапа характерна логическая эквивалентность теорий.

Установить логическую эквивалентность теорий возможно двумя методами. Суть первого состоит в непосредственном сравнении результатов применения двух теорий к различным задачам. Так, если решение одних и тех же задач методами разных теорий дает одни и те же результаты, мы вправе сделать предположение о логической эквивалентности теорий. Но это только предположение, а не доказательство, для доказательства необходимо решить все задачи, что, разумеется, невозможно. Строгое доказательство может быть получено лишь при выявлении тождественности математического аппарата этих теорий, эквивалентности их математических моделей.

Четвертый этап интеграции физического знания имеет некоторые общие черты как с первым, так и со вторым. Как и первый этап, он начинается с создания новой физической теории. Но математические модели этой теории не являются чисто феноменологическими⁹. Создание новой теории большей степени общности не есть «поглощение» старой. Взаимосвязь между ними и их математическими моделями определена принципом соответствия Нильса Бора.

Что касается пятого этапа, то на пути его практической реализации лежат большие трудности принципиального характера¹⁰. Поэтому процесс интеграции физического знания никогда не закончится созданием «единой», всеохватывающей теории, как бы не были велики успехи на пути продвижения к этой цели.

¹ Меринг Ф. Воспоминания о Марксе и Энгельсе.— М., 1956, с. 43.

² См.: Гнеденко Б. В. Математика и современное естествознание.— В сб.: Синтез современного научного знания. М., 1973, с. 145.

³ Оганезов К. С. Принцип соответствия и его место в логической структуре физической теории.— *Философские науки*, 1975, № 1, с. 31.

⁴ См.: Штофф В. А. Моделирование и философия.— М.— Л., 1966, с. 19.

⁵ Акчурина И. А., Веденев М. Ф., Сачков Ю. В. Познавательная роль математического моделирования.— М., 1968, с. 10.

⁶ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 549.

⁷ Жбанкова И. И. Гносеологическая роль математической модели в построении физической теории.— В сб.: Гносеологические проблемы формализации.— Минск, 1969, с. 205—206.

⁸ См.: Янг Ч. Эйнштейн и физика второй половины XX века.— *Успехи физических наук*, 1980, т. 132, вып. 1, с. 173.

⁹ См.: Степин В. С. Проблема субъекта и объекта в опытной науке.— *Вопросы философии*, 1970, № 1, с. 83.

¹⁰ См.: Бирюков Б. В. Актуальные проблемы философско-кибернетических исследований.— *Философские науки*, 1981, № 2, с. 28—29.