

УДК 160.1

ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ И ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ*

А.Ю. Сторожук

Увеличение сложности экспериментальной техники привело к появлению новых особенностей эксперимента, влияющих на ранее принятые эпистемологические стандарты. К таким особенностям относятся, в частности, повышение статистической значимости, образование последовательностей экспериментальных исследований, связанных с поставленными проблемами, появление новых звеньев между исследователем и природой, опосредующих прямой доступ к познавательным процедурам, и др. В статье делается вывод, что перечисленные изменения приводят к размыванию ранее принятых эпистемологических стандартов.

Ключевые слова: эксперимент, эпистемология, моделирование, философия научного эксперимента

Эксперимент как контролируемое вмешательство в природу появился в эпоху Возрождения. Первые эксперименты, автором которых был Галилей, относились к области механики. С самого начала эксперименты кроме задачи получения знаний выполняли еще несколько функций. В их число входила эвристическая функция: эксперименты в области механики привели к появлению ряда теоретических понятий, таких как «инерциальная система отсчета», «принцип относительности» и др. Важную роль играла доказательная функция: эксперименты позволяли опровергать ошибочные представления о механических явлениях и устройстве Вселенной. Благодаря демонстративной функции возникла и укрепилась традиция публичных демонстраций физических явлений, их проводили Лондонское королевское общество и Парижская академия наук. Важной была также иллюстративная функция:

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного фонда (проект № 13-03-0065).

наглядность научных представлений обеспечивала психологическую уверенность в явности происходящего.

Однако уже с началом исследования электромагнитных явлений часть этих функций изменяли свое значение, поскольку взаимодействие проводов с током и магнитной стрелки происходит без непосредственного контакта, свойственного механическим явлениям. Эксперименты становятся неочевидными, так как демонстрируют действие невидимого агента, позже в трудах Фарадея и Максвелла получившего название электромагнитного поля. Дальнейшее развитие науки приводит к тому, что эксперименты становятся еще более опосредованными, повышаются сложность и точность экспериментальной техники, а это еще сильнее снижает роль демонстративной и иллюстративной функций.

С усложнением техники эксперимента возникают новые его особенности. В частности, с появлением сложных экспериментов, в которых невозможно получить результат за короткое время, сократилось число публичных демонстраций. Для проведения высокоточных экспериментов было необходимо хорошо настроенное оборудование. Например, изготовление и настройка интерферометра для опыта Майкельсона заняли около года, сами измерения проходили сериями по несколько часов [1].

Если проведение механических, оптических и электродинамических экспериментов было под силу ученым-одиночкам, то усложнение экспериментов потребовало институализации науки. Для обслуживания сложной установки нужны были усилия коллектива разнообразных специалистов. Для проведения квантово-механических экспериментов требовались усилия большого коллектива не только ученых, но также инженеров и технического персонала. Специализация привела к тому, что не только исполнители эксперимента не знали о его цели и его теоретическом объяснении, но и ученый, планирующий эксперимент, не был в курсе всех технических деталей используемой установки. Важным стало соединение научных и инженерных знаний. От инженеров требовалось все более глубокое понимание теории происходящих процессов, от ученых – овладение техническими навыками. Институциональная работа предусматривала иерархическую систему управления, когда общее руководство работами осуществляется из одного центра и выстраивается четкая «вертикаль власти».

С социологической точки зрения с развитием экспериментальной техники специализация усиливается. Происходит разделение эписте-

мического труда между теоретиками, инструменталистами и экспериментаторами.

В 1960-е годы возникают крупные научные объединения, получившие на Западе название *megascience*. Такие объединения имеют большие коллективы, в их рамках происходит дальнейшее углубление специализации. Меганаука развивается в условиях повышенной конкуренции за ресурсы. Работа на одной установке производится различными коллективами из разных институтов, вследствие чего возникает новый тип управления, подобный процессам самоорганизации. При этом типе управления не существует выделенного центра, происходят динамичное распределение ресурсов и согласование функций.

Таким образом, современные эксперименты приобрели новые эпистемологические и онтологические особенности, которые не были присущи экспериментальному знанию ранее. Рассмотрим некоторые из них.

Одной из эпистемологических особенностей является вероятностный характер предсказаний результатов эксперимента в некоторых областях современной науки, например в квантовой механике.

Требование статистической значимости. Поскольку предсказания носят статистический характер, требуется набор статистики, т.е. проведение большого количества измерений в одинаковых условиях. Доверительный интервал вычисляется с помощью квадрата среднеквадратичного отклонения, его оценка должна быть представлена, чтобы результат эксперимента обладал статистической значимостью. «Если отличие составляет меньше 3σ , то вероятность того, что два числа согласуются друг с другом, больше 0,2%. В физике элементарных частиц такой вероятности недостаточно для каких-либо серьезных выводов, и принято говорить: различие между двумя результатами не является статистически значимым» [2]. Для того, чтобы получить значимый результат, требуется дальнейший набор статистики. Но и после проведения большого числа экспериментов результат не является достоверным, в физике принято указывать статистическую значимость. И даже если набрана большая статистика, результат может оказаться недостоверным, потому что оценка статистических ошибок не позволяет учесть ошибки систематические. Так, например, некорректным оказался результат измерения скоростей «сверхсветовых» нейтрино в эксперименте OPERA. В данном случае удалось установить источник систематической ошибки, но это получается далеко не всегда. Послед-

нее обстоятельство указывает на следующие особенности современных экспериментов.

Отсутствие критерия окончания эксперимента. Известный историк науки П. Галисон в книге «Как кончаются эксперименты?» [3] формулирует условия окончания эксперимента. Запланированный эксперимент в целом подходит к концу, когда достигнуто соответствие между тестируемой гипотезой и экспериментальными данными. Галисон выделяет две традиции в конструировании детекторов: «визуальную», когда явление вызывает видимый эффект, подобный треку в камере Вильсона, и «электронную», ведущую начало от счетчика Гейгера. В «электронной» традиции большую значимость приобретает не конкретное событие, а статистическая тенденция. Современные эксперименты требуют набор большой статистики, поэтому критерий «остановки» практически отсутствует. Кроме того, в текущих экспериментах необходимо уточнение деталей, что приводит к появлению еще одной особенности.

Преемственность экспериментальных задач. Планирование экспериментов в начале XX в. часто диктовалось теорией, и в целом исследование шло по гипотетико-дедуктивному пути. В первой половине XX в. укоренилась точка зрения, что основная функция эксперимента – проверка гипотез. В 1980-х годах появляется работа Я. Хакинга, в которой автор отстаивает право эксперимента на самостоятельную жизнь. Идея относительной независимости экспериментального исследования фигурирует и у других авторов. «В противоположность превалирующему в науке взгляду о доминировании научной теории, – пишет А. Франклин, – экспериментальные практики и инструменты часто сохраняются в теории при больших измерениях и, таким образом, обеспечивают преемственность при этих концептуальных изменениях. Таковы измерения спина электрона с помощью гироскопа в классической электродинамике, старой квантовой теории Бора и новой квантовой механике Гейзенберга и Шредингера. Как указал Хакинг и подтвердил Галисон, эксперименты часто имеют свою собственную жизнь. Это говорит не о том, что Галисон отрицает теорию, но скорее о том, что он предлагает новый взгляд на взаимоотношения теории и эксперимента. Это видение непрерывности эксперимента связано с представлением Галисона об экспериментальной традиции, в рамках

которого ученые развивают умение использовать определенные типы инструментов и аппаратуры» [4].

Современные эксперименты часто образуют тематически связанные серии, когда задачи последующих экспериментов формируются в рамках предшествующих. Таким образом, эксперименты образуют непрерывный ряд исследований, где прослеживается преемственность проблем. Можно проследить и влияние экспериментальных задач на развитие теории, когда теоретически уточняются вопросы, возникшие в эксперименте. Например, с ростом энергий БАК появляются новые данные о протон-протонных взаимодействиях. Поскольку картина неупругих процессов кардинально меняется, требуется уточнение формы области взаимодействия при энергиях, когда феноменологические модели дают противоречивые предсказания [5].

Рост значения компьютерной симуляции. Наука становится все более тесно связанной с инженерией. Между теорией и экспериментом возникают опосредующие звенья, такие как компьютерная симуляция и моделирование. Проблема опосредования реальности возникла уже в период становления квантово-механического эксперимента [6]. Но со временем ее влияние значительно увеличилось, и многие авторы, работающие в области философии эксперимента, отмечают рост кумулятивного эффекта от всего множества используемых в науке компьютерных симуляций. «Новые технологии компьютерной симуляции эпистемологически радикально преобразуют физические науки. Физика парадоксально подменяет традиционную реальность и создает новые пространства, которых первоначально нигде не было, и наносит их на эпистемологические карты» [7]. Поэтому данная особенность может быть с равным успехом отнесена и к онтологическим, поскольку она обуславливает изменение понимания мира.

Компьютерная симуляция, производимая для анализа сложной физической системы, дает возможность изучать явления, математически неразрешимые аналитическими методами. Вычислительная симуляция является первичным инструментом репрезентации теоретического понимания механизма и динамики развития системы, выраженной дифференциальными уравнениями, и их принципиальная задача – соотносить решения этих уравнений с экспериментально наблюдаемыми эффектами. Часто дифференциальные уравнения оказываются очень сложными, особенно если описывается поведение системы многих взаимодействующих тел или если уравнения нелинейные. Компьютеры

не дают точного решения таких уравнений, они дают приближенные решения с требуемой степенью точности.

Другой возможный источник неточностей – недостаточная верификация компьютерной модели. Компьютерная программа должна пройти не только верификацию кода (проверку корректности кодирования алгоритма), но и пробное тестирование на модельных примерах (требуются специальные эксперименты, целью которых является проверка достоверности компьютерных моделей). Набор проверочных примеров, однако, всегда ограничен и, как правило, включает распространенные типичные случаи. Между тем в нестандартных задачах поведение модели может отклоняться от правильного.

Компьютерная симуляция рассматривается как «эксперимент в теории». Но если теорию смоделировать сравнительно легко, то насколько адекватно симулируется экспериментальная техника? В реальном эксперименте мы часто имеем дело с более медленным проявлением эффектов. Тем не менее компьютерные «эксперименты в теории» начинают жить своей собственной жизнью, образуя особую реальность, и делают легитимной практику численного анализа. Экспериментальная эпистемология вытесняется математико-дедуктивной, заменяющей приближенные методы вместо экспериментальных. Численное моделирование дает представление о том, *как* это случилось, но никогда не отвечает на вопрос, *почему* это случилось. Все же в некоторых областях физики компьютерные эксперименты играют очень большую роль. Например, отмечается, что в области исследования молекулярной структуры жидкости «с 1958 г. такие компьютерные эксперименты добавили больше знания, чем все теоретические работы предыдущего века, и продолжают быть областью активных исследований не только чистых жидкостей, но и растворов» [8].

Вопрос о том, являются ли реальные эксперименты эпистемологически более предпочтительными, чем компьютерные симуляции, обсуждался в 2014 г. на конференции в Питтсбурге [9]. В частности, отмечена эпистемологическая непрозрачность компьютерных симуляций, если программа написана кем-то другим. Такой «компьютерный эксперимент» может привести к неожиданностям. Еще один источник неожиданностей при компьютерной симуляции поведения природных систем – скрытые механизмы или причины. Например, так были открыты «прыгающие гены» – транспозоны. Э. Парк сформулировала условия принятия неожиданных выводов: «Хотя неожиданности и являются продуктивными, но достоверные выводы из модельных экспе-

риментов возможны только при условии исключения источников неожиданностей» [10].

В обзоре докладов конференции также указывается, что в экспериментах по поиску бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере всегда используются компьютерные симуляции. «Некогда резкая граница между экспериментом и симуляциями сейчас размыта. В качестве подтверждения своих слов Моррисон продемонстрировала набор входных данных и настроечных параметров, подаваемый на вход расчетной программы GEANT4, использовавшейся для компьютерных симуляций детекторов БАК. Такая взаимосвязь между экспериментом и симуляциями (на всех этапах эксперимента от взаимного размещения магнитов до прохождения частиц) привела Моррисон к утверждению, что симуляции необходимы для эксперимента» [11].

Среди онтологических особенностей современных экспериментов отметим опосредование реальности. Ранее считалось, что в экспериментальном исследовании непосредственно изучаются процессы, происходящие в самой природе. В современных экспериментах появляются дополнительные звенья, опосредующие доступ к реальности. Одно из таких звеньев описано выше, – это компьютерные симуляции. Другим звеном является искусственно созданная экспериментальная среда – экспериментальная установка, которая представляет собой артефакт. Онтологически «первая природа» – естественные объекты оказывается подмененной «второй природой» – измерительными приборами. Подобное опосредование заостряет вопрос о том, что мы изучаем – природу или искусственно созданную среду.

Тем не менее искусственные объекты играют роль некой универсальной онтологии, принятой в коллективе ученых. Вызвано это тем, что работы по проведению эксперимента становятся все более специализированными. Происходит разделение эпистемического труда между теоретиками, инструменталистами и экспериментаторами. Ни один вовлеченный в проведение эксперимента специалист не владеет всеми деталями проводимого эксперимента. Специализация ухудшает понимание между узкими специалистами. «Вторая природа» образуется «граничными объектами» [12], и они обеспечивают коммуникацию различных специалистов в научной среде. К граничным объектам относятся, например, «детектор», «ускоритель», «пучок элементарных частиц». Участники эксперимента могут не владеть, скажем, тонкостями технологии приготовления пучка частиц, но использование обще-

принятой терминологии, обозначающей онтологическую структуру эксперимента, обеспечивает возможность коммуникации между ними.

* * *

Современные эксперименты обретают черты, приводящие к размыванию эпистемологических стандартов начала XX в. Эти стандарты предполагали наличие четкой границы между теорией и экспериментами. Результаты наблюдений принято было выражать наиболее «элементарными» (Р. Карнап), или базисными, предложениями. Такая граница была необходима в первую очередь для того, чтобы опыт мог рассматриваться как независимый источник знаний о мире. Эпистемологическая первичность этого источника состояла в том, что истинностные значения всех остальных предложений устанавливались на основе сравнения с базисными. Чистота опыта была важна и для принятия онтологии научной теории. Реально – значит наблюдаемо, ненаблюдаемые (или нередуцируемые к языку наблюдения) сущности объявлялись метафизическими и подлежали изгнанию из науки.

Требование наличия четкой границы между теорией и опытом выдвигалось для сохранения чистоты опыта, для защиты его от неверных теоретических интерпретаций. В современных экспериментах опыт тесно связан с теорией посредством сложной экспериментальной техники (использование инструментальных теорий) и компьютерного моделирования или симуляций (использование вычислительных теорий и приближенных методов). Граница между теорией и опытом, таким образом, становится крайне неопределенной, результаты эксперимента оказываются «заражены» еще и интерпретирующими теориями. То есть опыт теряет статус «неподкупного судьи» и образует скорее сложную систему познавательных взаимоотношений.

Эта система познавательных взаимоотношений зависит не только от «первой природы», но и от всей системы дедуктивного знания, в функционировании которой в силу ее сложности есть ряд рискованных моментов. Статистический характер экспериментов не гарантирует от систематических ошибок. Логическая верификация программы не обеспечивает полной защиты от неточности алгоритма, которую из-за ограниченности проверочных примеров не всегда могут выявить и процедуры эмпирической верификации программ.

Онтология становится усложненной дополнительными звеньями, опосредующими доступ к реальности. Вопросы принятия теории в области ее абстрактных терминов оказываются все более спорными.

Примечания

1. См.: *Harre R.* Great Scientific Experiments: Twenty Experiments That Changed Our View of the World. – N.Y.: Dover Publication, P. 131.
2. URL: <http://elementy.ru/LHC/HEP/study/errors/sigma> (дата обращения 18.02.2015).
3. См.: *Galison P.* How Experiments End. – Chicago: Univ. of Chicago Press, 1987.
4. *Franklin A.* Review How Experiments End: Galison Peter // *British Journal for the Philosophy of Science.* – 1988. – V. 39. – P. 411.
5. См.: *Дрёмин И.М.* Область взаимодействия протонов высоких энергий // *Успехи физических наук.* – 2015. – Т. 185. – С. 65–76.
6. См.: *Макаров А.Б.* Принцип дополнительности Н. Бора и проблема его статуса // *Научный ежегодник Института философии и права УрО РАН.* – 2012. – Вып. 12. – С. 101.
7. *Keller E.F.* Models, simulation, and «computer experiments» // *The Philosophy of Scientific Experimentation.* – Pittsburg: Univ. of Pittsburgh Press, 2003. – P. 200.
8. *Prausnitz J.M., Poling B.E.* Molecular dynamics // *Encyclopaedia Britannica Online/* – URL: <http://www.britannica.com/>.
9. Обзор докладов см.: *Пронских В.С.* Актуальные вопросы философии научного эксперимента (обзор конференции) // *Эпистемология и философия науки.* – 2014. – Т. XLII, № 4. – С. 192–197.
10. Там же. – С. 195.
11. Там же.
12. Термин введен В.С. Пронских в докладе «Эпистемическое единство и разоб- щенность экспериментирования в современной науке», представленном на семинаре в МФТИ.

Дата поступления 24.02.2015

Институт философии и права
СО РАН, г. Новосибирск

stor71@mail.ru

***Storozhuk, A.Yu.* The epistemological and ontological features of modern physical experiments**

The growth of experimental technique complexity leads to appearance of new features influencing on early accepted epistemology standards. In particular, the grown of statistical significance, sequence of experimental investigations are linked by staged problems, the arising of new links between an investigator and nature are noted. The main idea of the paper is to blurry the epistemological standarts.

Keywords: experiment, epistemology, simulation, philosophy of scientific experimentation.