

УДК 165.0

DOI:

10.15372/PS20160405

**А.Ю. Сторожук**

### **ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ\***

В процессе поиска теории великого объединения происходит изменение эпистемологических стандартов экспериментальной работы. В статье поднимается вопрос о том, какой из двух факторов первичен во влиянии на смену эпистемологических стандартов: социальная организация научных коллективов и принятые в них отношения или природа исследуемого объекта. Кратко рассмотрено изменение познавательного статуса эксперимента, описанного на языке таких свойств знания, как объективность, достоверность, истинность. Автор приходит к выводу, что трансформация эпистемологических стандартов в первую очередь обусловлена свойствами изучаемого объекта, его эпистемологической природой.

*Ключевые слова:* современный научный эксперимент, эпистемология эксперимента, познаваемость, объективность

**A. Yu. Storozhuk**

### **FACTORS OF THE EVOLUTION OF EPISTEMOLOGICAL STANDARDS IN AN EXPERIMENT**

In the course of the search for the Grand Unification Theory, there happens a change of epistemological standards of experimentation. Which of the two factors primarily influence this change – a social organization of researchers' teams and relations within them or the nature of the subject of inquiry? We briefly consider how the cognitive status of an experiment, described in terms of such knowledge properties as the objectivity, reliability and validity, changes. We conclude that the transformation of epistemological standards is caused primarily by properties of the subject of inquiry and its epistemological nature.

*Keywords:* modern scientific experiment; epistemology of an experiment; cognition; objectivity

Цель данной работы – установить механизм изменения эпистемологических стандартов в истории эксперимента. В их число входят критерии, обеспечивающие достоверность и необходимую степень надежности экс-

---

\* При поддержке гранта РГНФ № 16-23- 01012.

периментальных данных. Также важными требованиями являются стандарты объективности и воспроизводимости результатов экспериментов.

Из истории физики видно, что при исследовании новой области явлений полученные данные сначала пытаются свести к уже известным теориям и явлениям и только после неудачных попыток построить приемлемое объяснение разрабатывают новые подходы, ведущие к смене эпистемологических стандартов. Например, первой авторитетной научной теорией в физике была теория Ньютона. Соответственно, при последующих исследованиях электрических и магнитных явлений широко применялись механические аналогии. Так, движение тока в проводах представлялось аналогичным течению жидкостей в трубках. Тенденция давать механические объяснения была настолько сильна, что даже Дж.К. Максвелл, сформулировавший теорию электромагнитных явлений в ее окончательном виде, давал механические объяснения [4].

Стандарты объяснения, достоверности, валидности экспериментальных данных оказываются достаточно консервативными, и их изменения совершаются довольно медленно и бывают вынужденными. Основным вопросом, рассмотрению которого посвящена данная статья, является вопрос о причинах таких изменений. Ответ на него эквивалентен установлению тех вынуждающих обстоятельств, которые привели к изменению эпистемологических стандартов. Для того чтобы облегчить рассмотрение этого вопроса, применим хронологический порядок и сведем в таблицу основные этапы развития физических экспериментов, указав преимущественные типы изменения эпистемологических стандартов на соответствующем этапе:

Объект исследования	Эпистемологические черты экспериментальных исследований данного объекта
Механические явления	Наглядность, очевидность. Демонстрация явления равносильна доказательству правильности теории
Электрические явления	Появляется опосредованная теоретическая интерпретация (нагруженность) наблюдений. Встает проблема разделения явлений, вызванных различными причинами
Оптические явления	Возникает требование обеспечить помехоустойчивость системы
Термодинамические явления	Требуется замкнутость системы
Атомы	Дискретный характер изменений требует отказа от классического описания. Необходимо применение статистических методов

Квантовые явления	Требуется учет влияния наблюдателя на систему. Появляется концепция индетерминизма
Нейтрино	Особую важность получает учет фоновых явлений, растут требования к изоляции системы
Бозон Хиггса	Вклад исследуемой частицы в общее количество событий вычисляется математически
Гравитационные волны	Растет мультидисциплинарность как в области теории, так и в области эксперимента. Учет фона требует привлечения целого ряда теорий из разных областей знаний (от космологии до сейсмологии). В конструкцию интерферометра вносятся усложнения, позволяющие значительно повысить чувствительность оптических лазерных методов. Особые требования к изоляции системы обусловлены относительной слабостью гравитационного взаимодействия

Механизм обеспечения наглядности в механике делал доказательной демонстрацию события посредством прямой апелляции к причинности и очевидности. Объективность, понимаемая в узком смысле как интерсубъективность, обеспечивалась через требование воспроизводимости явления. Последняя, в свою очередь, обеспечивалась приведением подробного описания конструкции приборов и экспериментальной установки, которое давал автор первого эксперимента. Для работ раннего периода характерны подробные многостраничные технические описания условий выполнения эксперимента. Истинность понималась как соответствие между теоретическими предсказаниями и результатами эксперимента, и обеспечивалась она возможностью проведения независимой проверки. Наглядность гарантировала возможность причинного объяснения происхождения явлений путем апелляции к механизмам действия сил, с очевидностью вызывавших эти явления.

При изучении электродинамических явлений объяснения строились сначала на основе представлений о механических явлениях, ток понимался как течение зарядов по проводам, подобно течению жидкости в трубах [4]. Однако очень быстро была осознана ограниченность применимости механических моделей в области электромагнитных моделей. Например, сила Лоренца не была направлена по прямой, соединяющей заряды, что явно указывало на природу электромагнитных сил, отличную от природы механических. Магнитное поле не наблюдалось непосредственно, поэтому эксперименты не обеспечивали наглядности и очевидности. Последнее обстоятельство приводило к усложнению сначала причинной цепочки событий для взаимодействия с явлением, поскольку

электромагнитное взаимодействие непосредственно воспринимается человеком весьма ограниченно и требовались специальные устройства для его регистрации и представления в виде чувственно-воспринимаемых сигналов. Усложнение же причинной цепочки, выстраиваемой для восприятия явления, в дальнейшем приводило к усложнению и его теоретического описания. Это описание не всегда оказывалось правильным, в частности потому, что для описания агента, передающего электромагнитное взаимодействие, было введено понятие эфира. Появилась потребность в описании результатов эксперимента на языке, содержащем теоретические термины, что в дальнейшем получило название теоретической нагруженности наблюдений.

Под теоретической нагруженностью наблюдений можно понимать выражение результатов наблюдения на языке теории. Проблемы, связанные с теоретической нагруженностью, касаются обеспечения объективности, так как теоретическая интерпретация данных может оказаться ошибочной. Соответственно, стремление к чистому языку наблюдений отражает стремление получить достоверную информацию. Философы также указывали на возможность ошибочной интерпретации результатов наблюдений, которая нивелировала роль опыта как объективного независимого свидетельства о мире. Усматривалась возможность подмены предмета исследования: фактически сравниваются не теория и опыт, а две теории. Кроме того, теоретически нагруженные наблюдения, привлекаемые для развития теории, таили в себе возможность порочного круга.

Развитие оптики ознаменовалось противостоянием двух конкурирующих парадигм: корпускулярной, разрабатываемой Ньютоном, и волновой, которой придерживалась французская школа. Поскольку для наблюдения интерференции и дифракции нужен был когерентный свет, а приборы, созданные для наблюдения этих явлений, оказывались очень чувствительными к помехам, возникли особые требования к изоляции системы. Например, в интерферометре Майкельсона интерференционная картина нарушалась просто потому, что по улице на расстоянии квартала от института проходил трамвай. Эта необычайная чувствительность прибора используется в современных экспериментах по обнаружению гравитационных волн.

Институционально все ранние эксперименты могли проводиться и зачастую проводились учеными-одиночками, которые самостоятельно изготавливали экспериментальные установки. Однако уже с развитием электродинамики, потребовалось создавать более сложные установки, для обслуживания которых приходилось дополнительно привлекать лю-

дей, и эту эпоху научного развития принято называть эпохой лабораторий. К следующему этапу развития научных исследований понадобились уже целые институты.

Наибольшие изменения эпистемологических стандартов вызвали эксперименты с элементарными частицами. Исследования атома теоретически основывались на механических моделях (Томсон, Резерфорд), от которых в дальнейшем пришлось отказаться в пользу модели Бора, основанной на неклассических принципах. Поскольку эти принципы не могли быть сведены к цепочке наглядных представлений, пришлось полностью отказаться от попыток классического объяснения атомных и квантовых явлений. Соответственно, изменилась концепция достоверности. Из-за отсутствия наглядных механических моделей пришлось пересмотреть критерии доказательности и очевидности, а возникающие парадоксы поставили под вопрос истинность квантовой теории. Ненаглядность механизма квантовых явлений не позволила решить вопрос о достоверности, что вызвало раскол в обществе физиков и привело к появлению различных интерпретаций квантовой механики, которые расходятся в ряде вопросов, в частности в понимании причинности. Вероятностный характер квантовых явлений дает повод говорить о событиях микромира как о недетерминированных. Эта особенность квантовых явлений затрудняет построение механических моделей, что делает проблематичным нахождение правдоподобных объяснений. Вместо причинной очевидности и прозрачности, обеспечивающих понимание классических моделей, на роль источника достоверности была принята математика. Эта ее роль значительно усилилась в течение XX столетия [1]. Вместо истины как соответствия теории и эксперимента были введены новые критерии достоверности – статистический критерий, основанный на оценке величины ошибок измерений. Например, А. Франклин отмечает постепенно возрастающее значение статистического критерия, дающего оценку достоверности экспериментального результата на языке статистического квадратичного отклонения [5, с. 149].

Последнее обстоятельство меняет взгляд и на такое требование, как воспроизводимость явлений. Если ранние эксперименты заканчивались при получении искомого явления и проведении измерений, результаты которых согласовывались с теорией, то современные эксперименты повторяются многократно для набора статистики.

При исследовании квантовых явлений стало осознаваться влияние наблюдателя на систему. Поскольку микрочастица слишком мала, чтобы наблюдаться непосредственно, наблюдаются последствия взаимодейст-

вия частицы с регистрирующим прибором. В ходе взаимодействия частицы с окружением ее первоначальные параметры (положение, импульс) изменяются, что приводит к измерениям неопределенности. Осознание того, что вмешательство наблюдателя приводит к искажению параметров состояния частицы, повлекло за собой фактический отказ от понимания результатов наблюдения как объективных. Недетерминистичный характер поведения частиц делает очень значимым вероятностный подход к их изучению.

Невозможность смоделировать поведение элементарных частиц с помощью наглядных механических моделей, связанная с их двойственной корпускулярно-волновой природой, приводит к трудностям применения классического понимания причинности. Невозможность объяснить на классическом языке ряд эффектов, таких как квантовое туннелирование, запутанность многочастичных систем и др., ведет к отказу от попыток теоретического объяснения и к развитию феноменологической квантовой теории. Последняя развивается также под влиянием программы позитивизма, в рамках которой особую ценность приписывают непосредственным (прямым) наблюдениям.

Еще одной особенностью изучения микромира является то, что «экспериментальные приборы теряют ту избирательность относительно изучаемых явлений, которой они обладали в классическом эксперименте. Это связано в первую очередь со спецификой изучаемых объектов – частиц, с их неразличимостью и с множественностью процессов в микромире, в ходе которых могут возникать объекты, сходные по свойствам [6, с. 45]. Это обстоятельство заостряет вопрос об изолированности системы и поднимает проблему фона.

Так, открытая «на кончике пера» новая частица – нейтрино требовала экспериментов для своего реального обнаружения. Предполагалось, что искомая частица обладает большой проникающей способностью и слабо взаимодействует с веществом. Чтобы зарегистрировать эту частицу, понадобились особые условия: экспериментальная система должна быть очень хорошо изолирована от помех, вызывающих сходные явления. Чтобы удовлетворить высокие требования к изоляции системы, нужны были знания фоновых явлений. То есть чтобы отличить искомое явление от «паразитных», вызванных другими причинами, необходимо было применять не только теории явления, но и теории фона. Это обстоятельство выдвинуло еще одно требование к теоретическому обеспечению эксперимента – требование его мультидисциплинарности. Для полной оценки фоновых явлений нужно было учесть явления, обуслов-

ленные процессами, происходящими в недрах земли, что относилось к области геологии, оценить вклад высокоэнергетических частиц, прилетающих из космоса, что требовало привлечения знаний из области астрономии и космологии, учитывать помехи аппаратуры, описываемые электротехникой, и т.д. Объективность экспериментального свидетельства о регистрации нейтрино обеспечивалась только благодаря комбинации различных теорий.

Таким образом, особые требования к высокой изоляции системы и необходимость учета теории фона, включая теории приборов, были вызваны особыми свойствами изучаемого объекта – нейтрино: его высокой проникающей способностью и слабым взаимодействием с веществом. Социальные изменения в организации науки, такие как увеличение размера научных коллективов и привлечение специалистов различного профиля, в данном случае были вторичными следствиями, вызванными не только сложностью создания установки, которая для лучшей изоляции была помещена под землю, но и необходимостью привлечения специалистов разного профиля.

Учет фоновых явлений в современных экспериментах имеет очень большое значение, поскольку речь идет о фиксации очень тонких эффектов. Недавним примером экспериментов, в которых особое значение имеют теории фона, являются эксперименты по обнаружению гравитационных волн (LIGO, VIRGO). Основной «инструментальной» теорией в таких экспериментах являлась общая теория относительности, постулировавшая эквивалентность действия гравитации искривлению пространства в поперечном направлении. Гравитационные волны были предсказаны в 1916 г., а прямое подтверждение в области сильных гравитационных полей было получено почти через сто лет. Четырнадцатого сентября 2015 г. в 9 ч 50 мин гринвичского времени были зафиксированы гравитационные волны, испущенные в процессе слияния двух черных дыр с массами порядка тридцати масс Солнца. Одиннадцатого февраля 2016 г. после нескольких месяцев обработки данных результаты были опубликованы. Сигнал был зафиксирован двумя детекторами LIGO – Ливингстонской и Хэнфордской обсерваторий, разнесенных пространственно на 3002 км, с интервалом 7 мс. Форма сигнала хорошо согласуется с теоретическими предсказаниями, вероятность же случайного совпадения составляет 0,2% (3  $\sigma$ ), т.е. по современным статистическим критериям событие нельзя считать достоверным.

Поскольку гравитационное взаимодействие очень слабое (на  $10^{40}$  слабее сильного взаимодействия), для его обнаружения потребовался

чувствительный прибор, в своей основе представляющий собой интерферометр. Если Майкельсон использовал свой прибор в обычных условиях, то в случае эксперимента по обнаружению гравитационных волн были предприняты все возможные меры для изоляции системы. Конструктивно новый интерферометр расположен на платформе, поддерживаемой системой пружин. Он подвешен на кварцевых нитях в глубоком вакууме, – эти меры по изоляции системы приводят к тому, что сейсмические колебания гасятся в  $10^{10}$  раз. Поскольку точность детектора увеличивается с ростом массы пробных тел, массы в 40 кг позволяют фиксировать изменение расстояния до  $10^{-17}$  см, что представляет собой квантовый предел, вытекающий из соотношения неопределенностей. Кроме того, в данном эксперименте для повышения чувствительности используется новый принцип ее повышения: резонатор Фабри – Перо многократно (70 раз) отражает луч лазера в конце и начале плеча, что значительно увеличивает длину пробега фотонов и, следовательно, приводит к росту чувствительности [8].

В упомянутом эксперименте фоновыми явлениями были микросейсмозолны, а также колебания грунта, вызванные движением техники. И здесь для учета фоновых явлений требуется не только привлечение теорий из разных областей науки, но и установка собственных детекторов сейсмических волн. Обработка полученных данных осуществляется более чем сорока различными институтами.

Гравитационные детекторы представляют собой новое средство для исследования Вселенной на больших расстояниях. Гравитационные волны не экранируются и не имеют «отрицательного заряда», для гравитации не существует нейтральных частиц. Наиболее сильные гравитационные поля генерируются при быстром вращении тел маленького размера, но большой массы.

Современные эксперименты, такие как проект LIGO, или Большой адронный коллайдер (БАК), представляют собой новую модель организации науки, известную как mega-science. Это научные организации национального или мирового масштаба, созданные для решения фундаментальных задач и интегрирующие многие тысячи исследователей. Вместе с тем на БАК можно проследить реализацию всех ранее установленных эпистемологических стандартов. В частности, предъявляются повышенные требования к герметичности детектора (закрытости системы) и его изоляции [3, с. 698]. Кроме того, большую роль играют статистический критерий достоверности и математическая обработка результатов. Так, на БАК последняя неоткрытая частица стандартной модели –



бозон Хиггса была обнаружена и все ее свойства установлены с 96%-м уровнем достоверности [2, с. 1005]. «Первые прямые указания на существование нового бозона были получены еще в декабре 2011 г. в экспериментах ATLAS и CMS, выполняемых на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе. Кроме того, незадолго до 4 июля появилось сообщение о том, что данные, полученные на протон-антипротонном коллайдере Tevatron (Fermilab, США), также указывают на существование нового бозона. Всего этого было недостаточно для того, чтобы можно было говорить об открытии, но с декабря количество данных, набранных на Большом адронном коллайдере, удвоилось и, кроме того, были усовершенствованы методы их обработки. Результат оказался впечатляющим: в каждом из экспериментов ATLAS и CMS по отдельности статистическая достоверность сигнала достигла уровня, который в физике элементарных частиц считается уровнем открытия (5 стандартных отклонений)» [7, с. 1017].

Итак, мы рассмотрели гипотезы о действующих факторах смены эпистемологических стандартов. Можно заключить, что основной причиной трансформации эпистемологических стандартов является природа исследуемого объекта. Социальные преобразования организации научных исследований выступают как вторичные факторы. Общая динамика развития эксперимента показывает движение от очевидности и наглядности к опосредованности, к увеличению теоретической нагруженности. Эволюция от простых экспериментов к сложным ведет к росту значимости социальных взаимодействий, увеличению размера коллектива исполнителей и повышению сложности их взаимодействия между собой. Проблема влияния фона говорит о невозможности устранить все факторы, влияющие на протекание эксперимента, наличие этого влияния служит указанием на недостаточную изолированность системы. Для решения этой проблемы привлекаются как мультидисциплинарные теоретические средства, так и аппаратные, задача которых – измерение вклада фоновых событий в итоговый результат эксперимента.

## Литература

1. *Брянник Н.В.* Эпистемологические особенности эксперимента в постклассической науке // *Философия науки.* – 2016. – № 3 (70). – С. 61–75.
2. *Казаков Д.И.* Хиггсовский бозон открыт: что дальше? // *Успехи физических наук.* – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 1004–1016.
3. *Красников Н.В., Матвеев В.А.* Поиск новой физики на большом адронном коллайдере // *Успехи физических наук.* – 2004. – Т. 174, № 7. – С. 697–725.

4. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. – М.: ГИТТЛ, 1952.
5. Пронских В.С. Новации в стандартах экспериментирования в физике // Философия науки. – 2015. – № 3 (66). – С. 147–167.
6. Пронских В.С. Эпистемологическая роль экспериментального фона в философии эксперимента // Философия науки. – 2015. – № 2 (65). – С. 41–57.
7. Рубаков В.А. К открытию на Большом адронном коллайдере новой частицы со свойствами бозона Хиггса // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182, № 10. – С. 1017–1025.
8. Abbott B.P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger // Phys. Rev. Lett. – 2016. – Vol. 116, No. 6.

## References

1. Bryanik, N.V. (2016). Epistemologicheskie osobennosti eksperimenta v postneklassicheskoy fizike [Epistemological features of an experiment in postnonclassical science]. *Filosofiya Nauki [Philosophy of Science]*, 3(70), 61–75.
2. Kazakov, D.I. (2014). Khiggsovskiye bozon otkryt: chto dalshe? [The Higgs boson is discovered: what is the next?]. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk [Proceedings in Physical Science]*, Vol. 184, No. 9, 1004–1016.
3. Krasnikov, N.V. and V.A. Matveev. (2004). Poisk novoy fiziki na bolshom adronnom kollaydere [The search for new physics at the Large Hadron Collider]. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk [Proceedings in Physical Science]*, Vol. 174, No. 7, 697–725.
4. Maxwell, J.K. (1952). *Izbrannyye Sochineniya po Teorii Elektromagnitnogo Polya [Selected Works on the Electromagnetic Field Theory]*. Moscow, GITTL Publ. (In Russ).
5. Pronskikh, V.S. (2015). Novatsii v standartakh eksperimentirovaniya v fizike [Innovations in experiment standards in physics]. *Filosofiya Nauki [Philosophy of Science]*, 3(66), 147–167.
6. Pronskikh, V.S. (2015). Epistemologicheskaya rol eksperimentalnogo fona v filosofii eksperimenta [The epistemological role of experimental background in the philosophy of experiment]. *Filosofiya Nauki [Philosophy of Science]*, 2(65), 41–57.
7. Rubakov, V.A. (2012). K otkrytiyu na Bolshom adronnom kollaydere novoy chastitsy so svoystvami bozona Khiggsa [On the discovery of a new particle with the Higgs boson properties at the Large Hadron Collider]. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk [Proceedings in Physical Science]*, Vol. 182, No. 10, 1017–1025.
8. Abbott, B.P. et al. (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 116, No. 6.

## Информация об авторе

*Сторожук Анна Юрьевна* – доктор философских наук, Институт философии и права СО РАН (630090, г. Новосибирск, ул. Николаева 8, e-mail: stor71@mail.ru)

## Information about the author

*Storozhuk Anna Yuryevna* – Doctor of Sciences (Philosophy), Institute of Philosophy and Law, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (8, Nikolaeva str., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: stor71@mail.ru)

Дата поступления 24.10.2016