

УДК: 167.2+001.8

DOI: 10.15372/PS20260203

EDN: XBWELF

В.А. Мукин, К.А. Никитин**ФИЛОСОФИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
И НАБЛЮДЕНИЯ В ЭПОХУ БОЛЬШИХ ДАННЫХ
И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Статья посвящена трансформации эпистемологического статуса эксперимента в современной физике в условиях цифровизации и роста вычислительных мощностей. Показано, что классический идеал воспроизводимого эксперимента, основанный на разделении труда теоретика и экспериментатора, утрачивает свою однозначность. На примере открытия бозона Хиггса и гравитационных волн продемонстрирована гибридная природа современного научного факта, который конструируется на пересечении теоретической модели, статистической обработки и компьютерной симуляции. Особое внимание уделяется проблеме «черных ящиков» машинного обучения и необходимости выработки критериев эпистемического доверия к алгоритмам. Обосновывается тезис о новой роли философии, которая из внешнего критика превращается во внутреннего методолога гибридных исследовательских практик, помогая ученому осознавать границы своих моделей и интерпретаций. Актуальность такого подхода подтверждается современными исследованиями в области философии и методологии науки, в том числе работами, посвященными синергетике и междисциплинарности.

Ключевые слова: философия науки; физический эксперимент; компьютерное моделирование; большие данные; эпистемология; бозон Хиггса; гравитационные волны; машинное обучение; рефлексия

V.A. Mukin, K.A. Nikitin**PHILOSOPHY OF PHYSICAL EXPERIMENT
AND OBSERVATION IN THE ERA OF BIG DATA
AND COMPUTER MODELING**

The article examines the transformation of the epistemological status of experiment in modern physics in conditions of digitalization and the growth of computing power. It shows that the classical ideal of a reproducible experiment, based

on the division of labor between theorist and experimenter, is losing its unambiguity. Using the examples of the discovery of the Higgs boson and gravitational waves, the hybrid nature of the modern scientific fact is demonstrated; this fact is constructed at the intersection of theoretical model, statistical processing, and computer simulation. Special attention is paid to the problem of “black boxes” in machine learning and the need to develop criteria for epistemic trust in algorithms. The thesis about the new role for philosophy is substantiated: it turns from an external critic into an internal methodologist of hybrid research practices, helping scientists to recognize the limits of their models and interpretations. The relevance of this approach is confirmed by contemporary research in the philosophy and methodology of science, including works on synergetics and interdisciplinarity.

Keywords: philosophy of science; physical experiment; computer modeling; big data; epistemology; Higgs boson; gravitational waves; machine learning; reflection

Введение

Современная физика переживает фундаментальную трансформацию своего метода. Если на протяжении почти четырех столетий, от Галилея до середины XX в., идеал научного познания предполагал четкое разделение труда между теоретиком, выводящим законы из первых принципов, и экспериментатором, проверяющим эти законы в контролируемых лабораторных условиях, то сегодня эта граница стремительно размывается. Как точно заметил Р. Фейнман: «Мне хочется поговорить не столько о природе, сколько о нашем отношении к ней» [4, с. 165]. Эта рефлексивная установка становится не просто философским украшением, а необходимым условием научной работы.

Актуальность темы обусловлена тем, что современная физика высоких энергий, астрофизика и космология все чаще имеют дело с явлениями, которые невозможно наблюдать непосредственно или воспроизвести в лаборатории. Открытие бозона Хиггса (2012 г.) и регистрация гравитационных волн (2015 г.) стали возможны только благодаря сложнейшим алгоритмам обработки данных и компьютерным симуляциям. По свидетельству коллабораций Европейской организации по ядерным исследованиям (CERN) и Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO), до

99,9% информации, поступающей с детекторов, отсеивается как шум, а научный факт устанавливается лишь после сопоставления с теоретическими моделями. Это ставит под сомнение привычные представления о границе между реальным экспериментом и его компьютерной моделью. Физик больше не может полагаться только на показания приборов – он вынужден рефлексировать над тем, как устроены его модели, какие допущения в них заложены и где проходят границы их достоверности. Как подчеркивает В.Д. Эрекаев, мы сталкиваемся с проблемой «существования возможных границ фундаментального физического познания» [7, с. 12]. В этих условиях философская рефлексия становится внутренним методологическим инструментом самой науки.

Новизна данного исследования заключается в анализе классической функции философии через призму современной практики физического познания. Компьютерный эксперимент рассматривается как новый тип научной реальности, требующий философского осмысления границ моделей. В отличие от традиционных подходов, где философия выступала внешним критиком готового научного знания, в настоящей работе обосновывается тезис о трансформации философии во внутреннего методолога гибридных теоретико-экспериментально-вычислительных исследовательских практик. Данный тезис находит подтверждение и развитие в современных исследованиях в области методологии науки, в частности в работах, посвященных применению синергетического подхода к анализу сложных научных практик [2; 3; 6].

Цель работы – выявить трансформацию функции философии в современной физике и обосновать необходимость критически-рефлексивного подхода как внутреннего методологического инструмента науки в условиях цифрового эксперимента и больших данных. Для достижения цели решаются следующие задачи: проанализировать классический идеал эксперимента и его ограничения; исследовать специфику современного «цифрового эксперимента»; на примере открытий бозона Хиггса и гравитационных волн показать гибридную природу научного факта; определить новую роль философии в структуре гибридных исследовательских практик.

Классический идеал эксперимента и его границы

Что такое научный эксперимент в классическом понимании? Это вопрос, заданный природе в чистых условиях. Исследователь ставит опыт, получает результат, другой ученый в любой точке мира может повторить те же действия и убедиться в правильности вывода. Этот идеал воспроизводимости, сформировавшийся в XVII в., лежал в основе институционализации науки. Р. Бойль сознательно строил практику исследования так, чтобы ее могли повторить другие ученые: публикация подробных отчетов, демонстрация опытов, обмен приборами – все это служило одной цели, состоявшей в том, чтобы сделать научный факт независимым от конкретного наблюдателя.

Философские основания этого идеала включали три ключевых допущения: универсальность законов природы (один и тот же эксперимент в Лондоне и в Париже должен дать одинаковый результат); прозрачность инструментов (прибор мыслится как нейтральный посредник); независимость наблюдателя (исследователь может и должен быть устранен из картины мира). Классическая физика исходила из принципиальной возможности отделить объект познания от субъекта и средств познания, а также из существования жесткой границы между теоретическим и экспериментальным уровнями знания [5].

Однако уже в середине XX в. этот идеал столкнулся с серьезными трудностями. Квантовая механика нанесла по нему решающий удар. Как показывает В. Гейзенберг, в современной физике наблюдение не может рассматриваться как нейтральная фиксация реальности, независимой от условий эксперимента и от средств ее регистрации [1]. В квантовом эксперименте прибор не просто регистрирует состояние – он участвует в его формировании. Наблюдатель и средство наблюдения оказываются вплетены в ткань реальности. Более того, сам язык классической физики, на котором мы описываем эксперименты, оказывается недостаточным. Мы вынуждены пользоваться классическими понятиями, зная, что они неадекватны квантовой реальности. Это порождает парадоксы, которые можно разрешить только рефлексивным усилием – осознанием границ применимости нашего языка.

Квантово-механический вызов не отменил классический идеал эксперимента, но показал его границы. Воспроизводимость остается важнейшим критерием научности, однако теперь мы понимаем: вос-

произвести эксперимент – значит не просто повторить манипуляции с приборами, но и воспроизвести всю совокупность условий, включая теоретическую интерпретацию, способ обработки данных, контекст наблюдения. Современная наука требует от исследователя не только профессиональных знаний, но и философской культуры мышления [5]. Это требование становится еще более насущным в контексте современных междисциплинарных исследований, где границы между науками становятся подвижными [3].

Специфика современного «цифрового эксперимента»

Современная физика высоких энергий, астрофизика и космология работают в принципиально иной парадигме по сравнению с классической. Исследователь имеет дело не с «чистым» явлением, а с гигантскими массивами данных, сложнейшими компьютерными моделями и алгоритмами машинного обучения, которые стали полноправными участниками научного познания.

Первый фактор – объемы информации. На Большом адронном коллайдере (БАК) детекторы ATLAS и CMS (крупные многоцелевые эксперименты на БАК) генерируют петабайты данных ежегодно. Каждую секунду происходит около 40 млн столкновений протонов, но записать все события невозможно физически. Многоуровневая система триггеров в реальном времени принимает решение: какие события стоит сохранить, а какие – отбросить как шум. По данным коллаборации ATLAS, только 0,1% всех регистрируемых событий попадает в постоянное хранилище. То, что мы называем «экспериментальными данными», представляет собой результат сложнейшего процесса селекции, в основе которого лежат теоретические представления. Современные исследования в парадигме data-driven science показывают, что сами данные не являются нейтральной «сырой данностью», а формируются в рамках процедур отбора, стандартизации, очистки и интерпретации.

Второй важнейший фактор – компьютерное моделирование, занимающее промежуточное положение между теорией и экспериментом. В философии науки компьютерные симуляции все чаще рассматриваются как особая форма научного посредничества, занимающая промежуточное положение между теорией и экспериментом [8].

В космологии моделирование играет особую роль, поскольку мы не можем поставить эксперимент над Вселенной в принципе. Нельзя «перезапустить» Большой взрыв, нельзя изменить параметры темной энергии. Единственный доступный метод – строить компьютерные модели эволюции Вселенной и сравнивать их с наблюдениями. Однако здесь возникает фундаментальная проблема: как верифицировать модель, если единственный объект для сравнения – наша собственная Вселенная в ее текущем состоянии? Модель может быть подогнана под наблюдения, но это не гарантирует ее истинности – она лишь согласуется с имеющимися данными. В космологии мы имеем дело с уникальным объектом, что делает классические представления о воспроизводимости эксперимента неприменимыми. Эта проблема уникальности объекта обостряет вопрос о фальсифицируемости космологических теорий и требует особой рефлексивной осторожности.

Третий фактор – внедрение методов машинного обучения. Нейросети используются для классификации частиц, поиска гравитационных волн и анализа космологических карт. Особенно показателен в этом отношении пример гравитационно-волновой астрономии. Классический метод обнаружения сигналов – согласованная фильтрация (*matched filtering*) – предполагает наличие заранее заданного банка шаблонов и, следовательно, опирается на предварительное теоретическое моделирование формы искомого сигнала. Это означает, что процедура обнаружения оказывается тесно связанной с теми классами физических событий, которые уже описаны в рамках существующих моделей. Между тем современные исследования показывают, что сверточные нейросети могут использоваться и для поиска слабо моделируемых или непараметризованных гравитационно-волновых транзитов, включая сигналы, связанные с коллапсом сверхновых, без необходимости полного жестко заданного шаблонного банка [9]. Тем самым наблюдение в подобных случаях все в большей степени приобретает характер алгоритмически опосредованной реконструкции сигнала, а не его непосредственной регистрации. Однако здесь возникает новая проблема: нейросеть нередко функционирует как «черный ящик», так что исследователь получает результат, не имея прозрачного доступа к тем признакам и внутренним корреляциям, на основании которых система пришла к выводу. Отсюда вытекает необходимость разработки методов объясни-

мого искусственного интеллекта (ХАИ) и формирования критериев эпистемического доверия к алгоритмическим процедурам, что становится самостоятельной философско-методологической задачей. Решение подобных задач, как показывает опыт философии науки, требует выхода за узкие дисциплинарные рамки и применения комплексных, междисциплинарных подходов, таких как синергетика [6].

Границы достоверности: анализ открытий бозона Хиггса и гравитационных волн

Открытие бозона Хиггса часто представляют как триумф экспериментальной физики. Однако философский анализ показывает гибридную природу этого научного факта. Во-первых, доля теории: существование бозона было предсказано в 1964 г. в рамках Стандартной модели, которая задавала диапазон масс и вероятные каналы распада. Во-вторых, доля статистики: открытие объявлено только после достижения статистической значимости в 5 сигм, что соответствует вероятности ошибки менее 0,00006% и означает выделение сигнала из колоссального фона статистическими процедурами. В-третьих, доля «сырого» сигнала: в детекторах ATLAS и CMS сырой сигнал – это электрические импульсы от тысяч каналов. Увидеть в этих импульсах «частицу» может только сложная система реконструкции событий, которая, по сути, является компьютерной моделью детектора.

Открытие гравитационных волн, предсказанных А. Эйнштейном столетием ранее, обостряет проблему до предела. Сигнал настолько слаб (относительное изменение длины плеч интерферометра составляет порядка 10^{-21}), что он полностью скрыт в шумах: сейсмических вибрациях, тепловых флуктуациях, даже звуках проезжающих мимо грузовиков. Для его выделения используется метод согласованной фильтрации – сравнение данных с теоретической моделью формы волны (например, от слияния двух черных дыр). Здесь возникает герменевтический круг: чтобы обнаружить новое явление, нужно заранее знать, как оно выглядит. До 2015 г. мы не знали, существуют ли гравитационные волны, но для их обнаружения должны были предположить, что они существуют, и точно рассчитать, как они должны выглядеть.

Анализ этих кейсов показывает, что граница между симуляцией и реальностью онтологически не фиксирована и определяется консенсусом научного сообщества на основе нескольких критериев: устойчивой воспроизводимости в разных экспериментальных условиях (хотя сам БАК уникален, его результаты воспроизводятся двумя независимыми детекторами ATLAS и CMS); согласия с теоретическими ожиданиями в разумных пределах (открытие бозона Хиггса подтвердило Стандартную модель, гравитационных волн – общую теорию относительности); статистической проверки на случайность (5 сигм стали золотым стандартом достоверности). Но все три критерия сегодня опосредованы компьютером. Воспроизводимость относится не к уникальной установке, а к процедурам обработки данных. Согласие с теорией – теория сама есть модель. Статистика считается алгоритмами, которые тоже суть модели. Проблема границ физического познания становится центральной для философии науки XXI в. [7].

Заключение

Проведенный анализ позволяет сформулировать несколько ключевых выводов. Современный научный факт утратил характер непосредственной данности. Факт сегодня конструируется на пересечении трех компонентов: теоретической модели, статистической обработки и компьютерной симуляции. Классический идеал воспроизводимости трансформируется: в условиях уникальных установок (БАК, LIGO) воспроизводимость относится к процедурам обработки данных и моделирования.

Главный вывод – о новой роли философии. Классическая философия науки была внешним критиком готового знания. Сегодня она становится внутренним методологом гибридных исследовательских практик. Философская рефлексия смещается внутрь лаборатории: она помогает ученому осознавать границы своих моделей, критически оценивать алгоритмы, видеть неявные допущения в методах обработки данных. Без этой рефлексии физик рискует либо наивно отождествить модель с реальностью, либо утонуть в океане данных, не имея критериев достоверности.

Дальнейшего исследования требуют эпистемологический статус «цифровых двойников», стандарты верификации результатов машинного обучения, этика использования непрозрачных алгоритмов в науке. Для решения этих вопросов, находящихся на стыке философии, методологии и конкретно-научного знания, нужен тот самый критически-рефлексивный подход, который был обоснован в данной работе и который успешно развивается в современных междисциплинарных исследованиях [3; 6]. Осознание этой ситуации, умение видеть границы собственных методов и одновременно не терять из виду саму природу – вот что составляет суть критически-рефлексивного мышления в современной физике.

Литература

1. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1990. 400 с.
2. Гордеев А.Ю., Мукин В.А. Эволюция представлений о самоорганизации в химических системах: от кинетических теорий к синергетике // Философия науки. 2024. № 2 (101). С. 57–67.
3. Мукин В.А., Федоров А.О. Синтетический подход к вопросу возникновения и развития науки // Философия науки. 2023. № 2 (97). С. 35–42.
4. Фейнман Р. Характер физических законов. М.: АСТ, 2017. 256 с.
5. Философия науки: Учебник для магистратуры / Отв. ред. А.И. Липкин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2018. 512 с.
6. Чунихин С.С., Мукин В.А. Эффективность синергетического подхода в химическом исследовании // Философия науки. 2019. № 1 (80). С. 96–105.
7. Эрекаев В.Д. Физические онтологии и физическое познание: Философские проблемы фундаментальной физики XXI века. 2-е изд., испр. М.: URSS: ЛЕНАНД, 2023. 200 с.
8. Morrison M. Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations. Oxford: Oxford University Press, 2015. 288 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199380275.001.0001.
9. Skliris V., Norman M.R.K., Sutton P.J. Toward real-time detection of unmodeled gravitational wave transients using convolutional neural networks // Physical Review D. 2024. Vol. 110, No. 10. Art. 104034. DOI: 10.1103/PhysRevD.110.104034.

References

1. Heisenberg, W. (1990). Physics and Philosophy. Part and Whole. Moscow, Nauka Publ., 400. (In Russ.).
2. Gordeev, A.Yu. & V.A. Mukin. (2024). Evolution of ideas about self-organization in chemical systems: from kinetic theories to synergetics. *Filosofiya nauki [Philosophy of Science]*, 2 (101), 57–67. (In Russ.).

3. *Mukin, V.A., & A.O. Fedorov.* (2023). Synthetic approach to the problem of the emergence and development of science. *Filosofiya nauki [Philosophy of Science]*, 2 (97), 35–42. (In Russ.).
4. *Feynman, R.* (2017). *The Character of Physical Laws*. Moscow, AST Publ., 256. (In Russ.).
5. *Lipkin, A.I.* (Ed.). (2018). *Philosophy of Science: Textbook for Magistracy*. 2nd ed., revised and updated. Moscow, Yurayt Publ., 512. (In Russ.).
6. *Chunikhin, S.S. & V.A. Mukin.* (2019). The effectiveness of the synergetic approach in a chemical research. *Filosofiya nauki [Philosophy of Science]*, 1 (80), 96–105. (In Russ.).
7. *Erekaev, V.D.* (2023). *Physical Ontologies and Physical Cognition: Philosophical Problems of Fundamental Physics of the 21st Century*. 2nd ed., corrected. Moscow, URSS Publ., LENAND Publ., 200. (In Russ.).
8. *Morrison, M.* (2015). *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations*. Oxford, Oxford University Press, 288. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199380275.001.0001.
9. *Skiris, V., M.R.K. Norman & P.J. Sutton.* (2024). Toward real-time detection of unmodeled gravitational wave transients using convolutional neural networks. *Physical Review D*, Vol. 110. No. 10, Art. 104034. DOI: 10.1103/PhysRevD.110.104034.

Информация об авторах

Мукин Владимир Антонович – Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чебоксары, Московский проспект, 15).
mukin-va@yandex.ru

Никитин Кирилл Александрович – Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чебоксары, Московский проспект, 15).
krispin222@mail.ru

Information about the authors

Mukin, Vladimir Antonovich – Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (15, Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Russia).
mukin-va@yandex.ru

Nikitin, Kirill Aleksandrovich – Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (15, Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Russia).
krispin222@mail.ru

Дата поступления 20.04.2026.
Принята к публикации 12.05.2026.