

Михаил Волошин\*

## «ПРИНЦИП МАТЕРИАЛЬНОСТИ» В ЭПИСТЕМОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ\*\*

Получено: 11.11.2023. Рецензировано: 18.02.2024. Принято: 19.07.2024.

**Аннотация:** В области эпистемологии компьютерных симуляций существует аргументативная стратегия, получившая название «принцип материальности» (Х. Дюран). Стратегия состоит в том, чтобы приписывать компьютерным симуляциям в науке эпистемические характеристики того или иного уровня на основе их онтологического сходства (степени «материальности») с материальными экспериментами. Это сопоставление отчасти мотивировано языковыми интуициями: компьютерное моделирование часто именуют «вычислительным экспериментом» и т. п. Если это верно, то компьютерные симуляции следует рассматривать как подвид научного моделирования и приписывать им соответствующее промежуточное положение между теоретическим и экспериментальным уровнем научного знания (как это делается в рамках современных подходов к структуре научного знания, а именно семантического и прагматического). Рассматриваются четыре варианта реализации «принципа материальности», аргументирующие как в пользу достоверности компьютерных симуляций, так и против нее. Компьютерные симуляции размывают границы между материальным и виртуальным (вычислительным) экспериментированием. «Принцип материальности» может работать аргументом как в пользу, так и против этого различия. Приводятся и усиливаются два основных аргумента против принципа материальности, условно называемые «аргумент непрозрачности» и «аргумент множественной реализуемости». Показано, что принцип материальности недостаточен для того, чтобы аргументированно обосновать эпистемологический статус компьютерных симуляций.

**Ключевые слова:** принцип материальности, компьютерная симуляция, научная модель, вычислительный эксперимент, эпистемологический статус, структура научной теории, прагматический подход.

DOI: 10.17323/2587-8719-2024-3-310-335.

### ВВЕДЕНИЕ В ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ

Вопрос об эпистемологическом статусе компьютерных симуляций возник в литературе сравнительно недавно. При этом компьютеры достаточно давно могли использоваться в разных научно-исследовательских

\*Волошин Михаил Юрьевич, преподаватель, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Москва), allrour95@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-6379-4771.

\*\*© Волошин, М. Ю. © Философия. Журнал Высшей школы экономики.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00804, <https://rscf.ru/project/23-28-00804/>.

целях: например, с одной стороны, в физике — чтобы рассчитывать последствия ядерных взрывов (Keller, 2003: 203–205), а с другой стороны, в экономике — для комплексного анализа поведения экономических систем (Hayenga & Manetsch & Halter, 1968). Однако в этот период (1940–70-е гг.) философская проблематизация эпистемологии компьютерных симуляций носила спорадический характер и не была связана с более общим контекстом философии и методологии науки. Первые попытки более комплексного определения понятия «компьютерная симуляция» относятся к началу 1990-х годов. Фриц Рорлих, Пол Хамфрис и Питер Галисон — ключевые имена в этой истории. В целом, с историей эпистемологии компьютерных симуляций можно ознакомиться в нашей работе «Концептуализация компьютерных симуляций в философии науки» (Хамдамов, Волошин, 2021: 153–159). Здесь же мы лишь кратко наметим ключевые точки развития этого дискурса.

Мы можем условно датировать возникновение эпистемологии компьютерных симуляций началом 1990-х годов. Фриц Рорлих, в частности, писал, что

Компьютерные симуляции обеспечивают [...] качественно новую и иную методологию для физических наук, и эта методология находится где-то посередине между традиционной теоретической физикой и ее эмпирическими методами экспериментирования и наблюдения (Rohrlich, 1990: 507).

Пол Хамфрис на основе работ Рорлиха и Р. Редди (Reddy, 1987) так определил компьютерные симуляции:

Компьютерная симуляция — это любой реализованный на компьютере метод исследования свойств математических моделей, для которых недоступны аналитические методы (Humphreys, 1990: 501).

В статье 1996 года Питер Галисон писал о методе Монте-Карло, который в 1940–50-е гг. впервые применили (Джон фон Нейман и Станислав Улам в лаборатории Лос-Аламос) к исследованию физических процессов, в частности — к взрыву водородной бомбы. Вместо физически производимого взрыва (более того — для того, чтобы продемонстрировать его возможность и актуальную мощность) ученые использовали расчеты с помощью компьютера. Эти расчеты обладали, разумеется, сомнительным статусом, до тех пор, пока на их основе не удалось сначала произвести актуальные выводы относительно изучаемых физических систем (потенциальных бомб), а затем — и рассчитать требуемые параметры этих систем и степень их реализуемости (Galison, 1996).

Таким образом, компьютерная симуляция послужила эффективной заменой множества нереализованных (и нереализуемых) материальных экспериментов.

Несмотря на то что развернутый Галисоном нарратив интересен в очень многих аспектах, в контексте эпистемологии компьютерных симуляций наиболее примечательной является характеристика, которую Галисон дает в начале своей статьи:

Методы Монте-Карло переместили физику в положение, парадоксальным образом не совпадающее с традиционной реальностью; в положение, которое заимствовало нечто как из экспериментального, так и из теоретического раздела, связало вместе эти заимствования и использовало полученный бриколаж для того, чтобы создать маргинализованную ничейную землю, которая была бы одновременно везде и нигде на методологической карте (Galison, 1996: 120).

Итак, вычислительные эксперименты находятся одновременно «везде и нигде на методологической карте»; выражение, которое плотно вошло в лексикон англоязычных эпистемологов<sup>1</sup>. Эта радикально обрванная характеристика не должна вводить в заблуждение. То, о чем говорит Галисон, вполне ясно из перспективы 2020-х годов, хотя и могло читаться спекулятивно-произвольно в 1996 году. Ту форму научной практики, о которой пишет Галисон, мы сейчас называем «компьютерными симуляциями» или «вычислительными экспериментами», и это действительно промежуточная зона между практиками теоретизирования и экспериментирования. Слова о «везде и нигде», на наш взгляд, стоит интерпретировать как указание на разнородный характер источников конструирования симуляций. В каком-то смысле они — часть теоретизирования, в каком-то — часть экспериментирования; части своих существенных составляющих они заимствуют в обоих регионах существования знания. Возникает, конечно, естественный вопрос: где именно расположена «ничейная земля», которую Галисон характеризует как «везде и нигде на методологической карте»? Второй естественный вопрос, вытекающий из предыдущего и определяющий возможность ответа на него — а что именно вообще размещено и обозначено на этой самой «методологической карте»?

<sup>1</sup>На эту фразу ссылаются Frigg & Julian, 2009; Humphreys, 2004; Jebeile, 2017; Keller, 2003; Lenhard, 2007, а Николь Саам вообще начинает с нее свой обширный (хотя и неточный) обзор эпистемологии компьютерных симуляций (Saam, 2017: 293).

Мы привыкли к тому, что научные методы делятся на две большие подгруппы: эмпирические и теоретические (Лебедев, 2010: 139; Степин, 2011: 196). Соответствующая этим подходам «методологическая карта» должна расположить произвольную интересующую нас научную практику в одном из этих доменов. Допустим, мы — «послушные дети»: мы характеризуем «эксперименты» как «эмпирический метод», а «моделирование» — как «теоретический» (Лебедев, 2010: 249–260; Степин, 2011: 196–232). Куда мы отнесем «вычислительные эксперименты», которые в то же самое время являются «компьютерными симуляциями», то есть «моделями»? Есть ли в традиционной эпистемологии вообще место для исследовательских практик этого рода?

Эпистемология XXI века отвечает однозначно: да, есть. Многообразие научных практик больше не ограничивается только двумя категориями (либо «устанавливайте факты», либо «предлагайте объяснения»). В промежутке между ними обнаруживаются эпистемические объекты самых разных типов: научные модели (Morrison & Morgan, 1999), вычисления (Хакинг, Кузнецов, 1998), идеальные и идеализированные объекты (Липкин, 2023) и, наконец, собственно компьютерные (вычислительные) эксперименты/симуляции (Humphreys, 2009)<sup>2</sup>. Хотя этот список вряд ли полон, он достаточно красноречиво говорит о том, что разграничение между теоретическим и эмпирическим уровнями знания как минимум проблематично. Нет очевидного и однозначного способа провести разграничение между этими двумя «этажами» научной деятельности, а следовательно, нет и полной уверенности в том, что их следует называть «этажами» одного и того же здания (в качестве альтернативы «этажной» структуре научного знания см. Галисон, 2004).

В особенности, нас интересуют «эксперименты», проводимые непосредственно в материальной окружающей обстановке, а в «виртуальной» среде. Здесь приходится ставить слово «эксперименты» в кавычки: ведь традиционное представление об экспериментах связывает их с процедурами вмешательства в материю, составляющую предмет изучения естественнонаучных дисциплин (Хакинг, Кузнецов, 1998; Мах, Котляр, 2014: 208–224). Это, конечно, не так в случае вычислительных (компьютерных) экспериментов: материя, которая задействована в экспериментальной установке (то есть компьютерное «железо»), часто

<sup>2</sup>На протяжении дальнейшего текста словосочетание «компьютерная симуляция» эквивалентно словосочетанию «вычислительный эксперимент» и, *mutatis mutandis*, равноценно используется во всех контекстах.

вообще не составляет познавательного интереса для ученого<sup>3</sup>. С другой стороны, и «материальность» традиционной научно-исследовательской работы в принципе легко поставить под сомнение: кто мог бы удостовериться, что материя, используемая во вполне *материальном* эксперименте, в *достаточно ясном смысле та же*, что и в природном (*natural*), естественном процессе?

Таким образом, возникает вопрос: как соотносятся экспериментальные практики, связанные с виртуализацией и/или воображаемым статусом экспериментального действия, с практиками материальной вовлеченности в материальные процессы? Ясно, что картина методологии науки больше не может ограничиваться дихотомией теоретического/эмпирического, и ясно, что статус и свойства научных практик, не вписанных в эту картину, должны быть подвергнуты прояснению. Но как именно в таком случае обстоит дело?

#### ЯЗЫКОВАЯ ИНТУИЦИЯ: «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ» В СТРУКТУРЕ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Иногда интуитивно кажется, что язык сам подсказывает правильные ответы. В самом деле, у нас есть эпистемологически надежные позиции, связывающие «экспериментальность» компьютерного моделирования или симуляции с «экспериментальностью» произвольной физической установки. Мы знаем, что ученые используют выражения типа «вычислительные эксперименты», «экспериментальные симуляции», «симуляции экспериментов», «эксперименты *in silico*» (Jebeile, 2017: 380).

Особенно ярко это выразил Эрик Винсберг:

Почему [ученый] часто называет то, что он делает, проведением «вычислительных экспериментов»? Почему он называет то, что он получает, «данными»? Почему практика симуляции столь явным образом во многих отношениях напоминает экспериментальную практику? Должны ли мы отвергнуть это как всего лишь произвольную метафору? (Winsberg, 2010: 52)

С 2010 года (публикация Винсберга) стандартные формы словоупотребления среди ученых трансформировались в сторону еще большего сближения экспериментальных и компьютерно-симуляционных практик. Так, в 2017 году об этом свидетельствует Клаус Байсбарт:

<sup>3</sup> Детали этого аргумента будут обсуждаться ниже.

Значительная часть разговоров о компьютерных симуляциях предполагает, что они являются экспериментами. Например, компьютерные симуляции называют «компьютерными экспериментами». Симуляционные исследования в биологии называют «эксперименты *in silico*». Некоторые люди используют выражения «эксперимент в теории», «вычислительное экспериментирование» или «виртуальная лаборатория», когда говорят о компьютерных симуляциях (Beisbart, 2017: 2).

Поэтому вполне естественно (хотя и, может быть, не вполне оправданно) думать о вычислительных экспериментах как подвиде практик экспериментирования.

Здесь есть несколько существенных проблем. Компьютерные симуляции, исходя из вышесказанного, соотносятся (или должны быть соотнесены) с практикой экспериментирования: или на субстратах, или на их заменителях (моделях). Неясно, считается ли эксперимент, проведенный на физической системе, которая рассматривается лишь как заменитель нужной системы, за эксперимент; будет ли он (его результат) эквивалентен материальному эксперименту (его результату). Соответственно, неясно, обладают ли компьютерные симуляции теми же эпистемическими характеристиками (добродетелями?)<sup>4</sup>, что и «материальные» эксперименты. Наконец, неясно — и это самое главное — связан ли эпистемологический статус компьютерных симуляций с тем, что они похожи (или не похожи) на материальные эксперименты? Релевантно ли вообще это свойство (сходство с материальным экспериментом) для определения места компьютерных симуляций «на методологической карте», используя выражение Галисона?

«Карта», на которой нам предлагается расположить вычислительные эксперименты, может выглядеть следующим образом. На ней расположены как минимум две области: область «чистой» теории (абстрактного теоретического знания) и область «чистой», хотя уже в менее ясном смысле, эмпирики — «наблюдения» и/или «данные». В свою очередь, «данные» также необходимо подразделить — они могут быть получены путем «представления» или путем «вмешательства» (Хакинг, Кузнецов, 1998), то есть, условно, путем пассивного созерцания или активного воздействия<sup>5</sup>. К области «чистой» теории примыкают не вполне чет-

<sup>4</sup>В англоязычной литературе имеется устойчивая конструкция «epistemic virtues». См., например, Галисон и Дагстон, Вархотов и др., 2018.

<sup>5</sup>Оговоримся, что в строгом смысле словосочетание «пассивное созерцание» является если не оксюмороном, то как минимум весьма проблематичным концептом, начиная с «Критики чистого разума» Канта.

ко отделимые от нее «мысленные эксперименты» (Мах, Котляр, 2014: 192–207; Вархотов, 2021). Наконец, исследования последних десятилетий указывают на необходимость учитывать существование областей, которые ранее выносились за скобки как «практические». Например, таким образом можно интерпретировать концепт «технонауки» в STS; а также, с рядом оговорок, приборно-инструментальную «зону», по Галисону (Галисон, 2004). Обобщить эти регионы в единую систему не представляется возможным; более того, в последнее время многие философы науки (в лице «Стэнфордской школы», например) эксплицитно отказываются от реализации проектов а-ля «Единая наука» (Cat, 2023).

Опосредующая связь между этими областями выглядит либо как «правила соответствия» (синтаксический подход, рассматривающий науку как систему высказываний), либо как гомоморфизм (семантический подход, использующий теоретико-множественное описание науки) (Da Costa & French, 1990), либо как практика моделирования данных и теории (*model of data* и *model for theory* в прагматическом подходе, рассматривающем науку как многообразие практик). Учитывая, что в философско-научном дискурсе достаточно давно признана невозможность «правил соответствия» (Куайн, Дмитриев, 2000), а интерпретация научных моделей в рамках теории множеств совместима с прагматической интерпретацией моделей (Da Costa & French, 2000), мы можем принять за минимально достаточную и необходимую именно концептуализацию прагматического типа. Таким образом, мы будем считать компьютерные симуляции вариантом *моделирования*.

Континуум научных практик					
	Наблюдение	Физический эксперимент	Модельный эксперимент	Мысленный эксперимент	Теория
Отличительные черты	Отсутствие вмешательства; максимальная конкретика	Вмешательство в «оригинальный» объект	Вмешательство в «заменитель»	Работа воображения	Максимальная абстрактность

#### ПРИНЦИП МАТЕРИАЛЬНОСТИ И ВАРИАНТЫ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Принципиальный вопрос: зависит ли степень достоверности производимого в науке знания от степени материального сходства объекта

манипуляции с объектом изучения? Интуитивно приемлемый *положительный* ответ на этот вопрос приводит к затруднению, описываемому в оставшейся части статьи.

В 2013 году Хуан Дюран опубликовал две статьи, обобщающие значительную часть траектории развития эпистемологии компьютерных симуляций (Duran, 2013a,b). Обе эти работы содержали важный концептуальный шаг: в них автор абстрагировался от многих существенных эпистемологических характеристик и вывел общий принцип, в соответствии с которым различные авторы в разное время разрешали теоретико-познавательные вопросы, связанные с компьютерным моделированием. Этот принцип, с его же легкой руки, получил название «принцип материальности».

Суть принципа материальности состоит в следующем. Мы доверяем некоторому набору научных практик, взаимодействующих непосредственно с материей, свойства которой мы изучаем. Таковы, например, эксперименты и натуралистические (натурные) наблюдения, в которых природа, как нам кажется, проявляет себя таковой, какова она есть, без лишних наслоений и вторичных обязательств. Мы, естественно, можем усомниться в эпистемических достоинствах практик такого рода. Но в нормальной ситуации мы признаем, что эти практики являются стабильным способом получения знания. Рефлексируя над тем, *почему* мы так думаем, мы приходим к тому, что эти практики в материальном смысле — в смысле субстрата, с которым мы взаимодействуем — почти не отличаются от объектов нашего интереса. То есть те объекты, которые нами заявлены как *искомые*, и те объекты, которые мы используем *для того, чтобы искать*, имеют как минимум одну важную общую характеристику: они сделаны из *той же самой* материи.

Таким образом, вывод от исследования некоторого объекта к знанию о других объектах легитимирован тем, что оба класса объектов онтологически представляют собой *один* класс, материальные свойства которого как раз и являются предметом научного поиска.

Принцип материальности применительно к компьютерным симуляциям состоит в том, что, если компьютерные симуляции (они же — вычислительные эксперименты) действительно являются экспериментами *с точки зрения их материального субстрата*, то знание, полученное с их помощью, является знанием экспериментального типа (то есть знанием с тем же уровнем доверия к нему). И наоборот, если компьютерные симуляции онтологически отличаются от изучаемых объектов,

то и знание, полученное с их помощью, страдает недостаточностью по сравнению с «материальным» экспериментом (Dugan, 2013a,b).

Рассмотрим несколько примеров того, как реализовывался «принцип материальности» в эпистемологии компьютерных симуляций<sup>6</sup>.

В 2003 году Мэри Морган пишет об «экспериментах без материального вмешательства»:

Архетип эксперимента предполагает, что, как бы ни была ограничена, контролируема или даже сконструирована экспериментальная ситуация, это, тем не менее, эксперимент над (в, с) материальной системой... Экспериментальное вмешательство содержит действие над материальным объектом или феноменом или его создание (Morgan, 2003: 218).

Языковая интуиция в этом случае та же, что и у Винсберга выше: использование термина «эксперимент» предполагает какую-то форму вмешательства познающего субъекта в изучаемую систему. Если эксперимент не является «материальным» (в случае вычислительного или мысленного эксперимента), становится неясным требуемый характер взаимодействия субъекта и объекта: что именно будет считаться за «вмешательство»?

Морган рассматривает два крайних случая: типичный лабораторный эксперимент и типичная математическая модель. В первом случае «вмешательство» однозначно есть, во втором — однозначно нет. Эти случаи сравниваются по трем параметрам:

- ◇ *способ экспериментального контроля*: в лаборатории он достигается манипуляцией с экспериментальной системой, физическим устранением или минимизацией незначущих факторов (например, Галилей, натирающий воском свои наклонные плоскости, чтобы минимизировать трение), а в математической модели — включением или невключением в перечень предпосылок тех или иных положений;
- ◇ *способ получения результата*: в лабораторном эксперименте манипуляции с экспериментальной системой ведут к новому состоянию этой системы, а в математической модели процесс получения результата состоит в дедуктивном выводе следствий из посылок;
- ◇ *способ производства вывода*: из лабораторного эксперимента мы получаем знание, актуальное для аналогичных материальных

<sup>6</sup>Ключевые моменты этой дискуссии уже были освещены в Хамдамов, Волошин, 2021, хотя и из несколько иной перспективы.

процессов, в том числе тех, которые протекают за пределами лаборатории, а в математической модели — результаты актуальны для абстрактно схожих систем, в том числе математических, то есть нематериальных (Morgan, 2003: 219–221).

Вычислительные эксперименты, или компьютерные симуляции, занимают промежуточное пространство между этими крайними, «идеальными» случаями. Морган пишет:

Это эксперименты, которые *используют* математическую модель как экспериментальное средства, а не эксперименты *на* математической модели (ibid.: 223).

Такого рода «гибридные эксперименты» она подразделяет на два типа: «*virtually an experiment*» и «*virtual experiment*». Мы попытались сохранить эту языковую игру при переводе на русский язык: «виртуально эксперимент», и «виртуальный эксперимент».

В первом типе эксперимента [команда ученых] превращает реальную коровью кость в компьютерное изображение. Эта процедура включает в себя нарезку очень тонких слоев кости, их подготовку... и цифровое фотографирование каждого слоя. Эти цифровые слои затем пересобираются в компьютере и создают высококачественное 3D-изображение этой реальной кости. Во втором типе эксперимента команда создает компьютерное 3D-изображение стилизованной кости, придавая ей структуру, состоящую из квадратных ячеек 3D-решетки. Элементы каждой ячейки — подпорки (*struts*), отсортированные по ширине на основе измерения реальных костей, и расположенные под углами, заданными случайно (ibid.: 222).

В каждом случае компьютер используется в качестве необходимого посредника (медиатора) практики моделирования, будь то визуальное оформление процесса или решение уравнений, описывающих состояние системы. Но мы не можем назвать это «чистым» математическим моделированием, потому что в первом случае объект, виртуальный образ которого создается на компьютере, *действительно существует* — это конкретный материальный объект, кость животного; во втором же случае мы производим *искусственный* объект, имеющий какое-то отношение к аналогичному классу *естественных* объектов, но не представляющий (не замещающий собой) один из них. Морган называет первый тип моделирования «полуматериальным», а второй — «псевдоматериальным». Эти термины достаточно хорошо отражают, опять же, языковую интуицию, сопровождающую компьютерное экспериментирование: это «как будто бы» эксперимент, или эксперимент «понарошку».

Эти случаи объединены тем, что они занимают промежуточное положение на «методологической карте» Морган («ничейная земля», как выразился Галисон за восемь лет до того). Однако в них есть и существенное различие, содержащееся в процессе конструирования этих моделей. Если в «virtually an experiment» была «оригинальная» коровья кость, которую экспериментатор пытался скопировать в виртуальной среде, то в «virtual experiment» коровья кость была создана *ex nihilo*, на основании общих предпосылок и теоретического знания о том, как вообще устроены кости. Мы поэтому можем использовать идеи Морган для детализации «методологической карты»: теперь на ней есть не только «эксперименты» и «теории», но и промежуточные случаи. Нижеследующая таблица — упрощенный и сокращенный перевод из статьи Морган.

	Лаборатория	Гибридные формы		Математическая модель
		Virtually	Virtual	
Способ контроля	Эксперимент	Экспериментальные данные на «входе», предположения — на «выходе»	Предположения	Предположения
Способ получения результата	Путем взаимодействия с материальной системой	Симуляция, использующая модельный объект		Дедукция из посылок
Степень материальности системы	Материальная	Полуматериальная	Псевдо-материальная	Нематериальная

Морган заключает, что формы экспериментально-модельной деятельности, которые были описаны выше, являются гибридными:

Они — смесь моделей и экспериментов. Они смешивают математическую и экспериментальную формы доказательства. Они смешивают типы контроля... Они смешивают нематериальные и материальные элементы (Morgan, 2003: 233),

и так далее.

Мы несколько раз упомянули «интуицию», говоря о том, какими способами и формами выражения ученые и философы науки описывают компьютерные симуляции. «Интуитивно» кажется очевидным, что чем «материальнее» научная модель, тем больше у нее шансов на производство достоверного, обоснованного знания о мире. В самом деле: экспериментировать (пусть и в виртуальной среде) с искусственно созданной «с нуля» костью или взять детальные данные о реальном материале? Кажется, что при прочих равных ответ очевиден: требуется предпочесть более «материальный» второй вариант. В этом смысле достоверность симуляционной практики производна от убежденности в «материальности» происходящего. Вычислительные эксперименты оказываются на заведомо второстепенных ролях.

Еще один пример, подтверждающий это — исследования Франческо Гуалы. Гуала в 2002 году исходит из той же интуиции, что и Винсберг и Морган:

Заметим, что повседневный научный дискурс часто относится к экспериментам, моделям и симуляциям как к образцам одного и того же типа деятельности... Почему ученые переходят от разговора об «экспериментах» к разговору о «моделях» и «симуляциях»? (Guala, 2002: 60)<sup>7</sup>

Этот переход, хоть и является распространенным уже 20 лет назад, не остается незамеченным даже для его участников, действующих ученых, которые безо всякой эпистемологической подготовки склонны разграничивать «настоящие» и «ненастоящие» эксперименты. Гуала пишет:

Это различие определено нагружено эпистемическими коннотациями: предполагается, что симуляции в некотором смысле менее плодотворны, чем настоящие эксперименты... Их результаты часто оцениваются как «всего лишь» симуляции, которые не следует путать с «настоящими вещами» (ibid.: 62).

Понятия «модель» и «симуляция» Гуала разграничивает через указание на динамический характер симулирования. Так симуляцию определял, в частности, С. Хартман:

Симуляция тесно связана с динамическими моделями... Эта модель предназначена для имитации эволюции реальной системы во времени. Другими словами, симуляция имитирует один процесс другим процессом (Hartmann, 1996: 83).

<sup>7</sup>Несколько противостоит говорить, что карта «симулирует» территорию, хотя вполне нормально сказать, что перемещение фигурок на этой карте «симулирует» перемещение армий по этой территории.

Поэтому, условно говоря, симуляция — это «подвижная» модель. Гуала пишет:

Различие лежит в характере отношения, которое существует между *экспериментом* и его *целевой системой*, с одной стороны, и *симуляцией* и ее *целевой системой*, с другой. В первом случае соответствие носит «глубинный», «материальный» характер, в то время как во втором случае признается только «абстрактное» и «формальное» сходство (Guala, 2002: 67).

Таким образом, онтологические предпосылки использования этих двух методов существенно различаются. Уточним: речь не идет о том, что материальные эксперименты *на самом деле* ближе к «истине», чем компьютерные симуляции. Но они интуитивно воспринимаются в таком качестве активными участниками процесса производства знания (а также философами, которые обращают свое внимание на этот процесс). С нашей точки зрения принципиально здесь то, что связь с *материальностью* происходящего используется как фактор *эпистемического* достоинства научной практики: чем материальнее, тем достовернее. Поэтому «принцип материальности» Дюрана здесь вполне работает: условно говоря, онтология предопределяет эпистемологию.

При этом, в отличие от Морган, Гуала не использует этот тезис как самоочевидный. Эпистемологический статус различных научных практик, в том числе экспериментирования и теоретизирования, менялся со временем и зависел от социокультурного контекста существования науки.

Степень доверия к конкретным научным инструментам или практикам менялась со временем. Так, эксперименты Галилея не были сразу же встречены с энтузиазмом, но было бы странно по этой причине вешать на них ярлык «симуляций», пока они не были приняты научным сообществом (*ibid.*: 65).

Возможно, этот вывод даже более важен, чем предполагает Гуала: он указывает на то, что «материальность» научной практики не свидетельствует однозначно о ее большей «достоверности», но в то же время и объясняет соблазн так думать<sup>8</sup>.

Морган уточняет (в другой работе):

Ученый в лаборатории *создает искусственную среду внутри реального мира*, в то время как автор математической модели *создает искусственный мир* (Morgan, 2002: 49).

<sup>8</sup>Возможна, однако, и альтернативная интерпретация. Альтернативой является то, что и сами эксперименты Галилея могли не рассматриваться как в полном смысле материальные (то есть относящиеся к познанию движения материи, к *физике*), по причине их избыточной искусственности. Я благодарю Т. А. Вархотова за это ценное замечание.

В этом смысле онтологическая связь между экспериментальной системой и миром, который нас интересует, оказывается гораздо более тесной, чем связь мира и симуляции. Но при этом:

Хотя [ученые] знают все об элементах, которые они помещают в модель (так что результаты модельных экспериментов заранее встроены в эту модель), ответы на их вопросы не вполне известны или не вполне понятны, в том числе за счет того, что мы не можем продумать до конца, как изменения в конкретных частях модели повлияют на другие элементы и отношения. Напротив, в случае лаборатории всегда есть вероятность не только удивиться (*surprised*), но и быть опровергнутым (*confound*), поскольку по отношению к миру в лаборатории мы не знаем заранее не только результатов собственных действий, но и поведения материальных элементов, задействованных в эксперименте (Morgan, 2002: 50).

Таким образом, способность изучаемого объекта «удивить» нас оказывается скоррелированной со способностью выходить из-под нашего контроля, выдавать результаты, плохо обрабатываемые нашей концептуальной рамкой. Различие между «surprise» и «confound» окажется впоследствии одним из ведущих лейтмотивов эпистемологии компьютерных симуляций, на что будет указывать тот же Дюран (Duran, 2013b: 91).

«Принцип материальности», но с обратным знаком, исповедуется в работах Уэнди Паркер. Для Гуалы и Морган «недостаточная материальность» компьютерных симуляций была аргументом в пользу недостаточной достоверности их результатов. Оба предполагали, явно или неявно, что чем ближе (в онтологическом смысле) исследуемые субстанции, тем выше значимость результатов исследования: «Онтологическая эквивалентность влечет эпистемологическую силу» (Morgan, 2005: 326). Паркер использует ту же схему аргументации, но в противоположных целях: она утверждает, что компьютерные симуляции *в буквальном смысле* являются материальными экспериментами.

Я защищаю ту точку зрения, согласно которой любое исследование с использованием компьютерных симуляций, которое обозначено как «эксперимент», является экспериментом в первую очередь в материальном смысле (Parker, 2009: 484).

Таким образом, Паркер отрицает, что между лабораторными экспериментами и компьютерными симуляциями существует онтологическое различие:

Эксперимент может быть охарактеризован как исследовательская активность, включающая в себя вмешательство в некоторую систему с целью увидеть, как изменятся интересующие нас свойства этой системы (Parker, 2009: 487).

Это определение выглядит так, как будто оно противопоставляет «представление» и «вмешательство» в духе Хакинга, но это не так: некоторые эксперименты могли бы служить симуляциями (в том числе компьютерными) для других экспериментов.

«Вмешательство», тем не менее, остается значимой характеристикой эксперимента. Но Паркер полагает, что оно имеет место в исследованиях компьютерных симуляций *в том же смысле*, что и в материальном эксперименте.

Экспериментальная система в компьютерном эксперименте это программируемый цифровой компьютер — физическая система, сделанная из проводов, пластика и т. д... Исследование компьютерной симуляции включает в себя помещение вычислительной системы в начальное состояние, запуск ее последующей эволюции и сбор информации о различных аспектах протекания этой эволюции (ibid.: 488–489).

Поэтому разграничить эксперимент и симуляцию по линии «материальное/нематериальное» не получится. На статус симуляций по отношению к экспериментам влияют другие параметры — в первую очередь, наличие релевантных сходств между экспериментальной и целевой системами. При этом оказывается, что «быть материальным» — это тривиальное сходство, которое само по себе не объясняет возможности вывода от результатов эксперимента к внешнему миру.

В некоторых случаях, как показывает пример прогнозов погоды, у ученых могут быть хорошие основания полагать, что результаты некоторого компьютерного эксперимента в большей степени способны предоставить желаемую информацию о целевой системе, чем результаты даже самых лучших доступных традиционных экспериментов (ibid.: 494).

Таким образом, Паркер соблюдает «принцип материальности»: если материальных различий нет, то и эпистемологические различия не порождаются<sup>9</sup>.

В ту же компанию, к Гуале, Морган и Паркер, Дюран включает также Эрика Винсберга и Маргарет Моррисон, что, на наш взгляд, является

<sup>9</sup>Стоит, однако, оговорить, что у самой Паркер нет указания на то, как могли бы быть выбраны «релевантные» свойства и как они связаны с интуицией «материальности» происходящего в симуляции процесса.

некорректным, особенно в последнем случае. Для анализа соотношений между вычислительным и материальным экспериментом Моррисон в явном виде задействует прагматический подход, рассматривающий эти эксперименты как практики, включающие существенный аспект *моделирования*. (Morrison, 2009; Morrison & Morgan, 1999). Ее задача состоит в том, чтобы показать, что в обоих случаях моделирование играет очень похожую роль (Morrison, 2009: 43). Собственно, онтологическая сторона вопроса эксплицитно игнорируется:

Роль моделей в экспериментальном процессе ставит под сомнение апелляции к материальности... Во многих случаях... материальность не влечет эпистемических или онтологических следствий (ibid.: 40).

Моррисон выбирает нетрадиционную для эпистемологов стратегию аргументации: анализировать не компьютерные симуляции (их природу, достоинства и недостатки), а классические эксперименты, с которыми их обычно сопоставляют. И тогда обнаруживается, что в классическом материальном эксперименте отсутствует та самая связь между теорией и действительностью, которую «принцип материальности» фактически рассматривает как неproblemатичную.

Опосредующую роль выполняют модели. Этот тезис характерен как для семантического (теоретико-модельного) подхода (см., например, Fraassen, 1980), так и для прагматического (см., например, Cartwright, 1983; Morrison & Morgan, 1999); различие лежит в экспликации способа, которым модели соотносятся с теориями и действительностью. В примерах Моррисон модели фактически определяют практику измерения, то есть получения научно релевантных данных. Так, при измерении ускорения свободного падения в классической механике используется маятник, относительно которого известна длина и период колебаний. Однако точные (*precise*) измерения этих величин и подстановка их в соответствующее уравнение вряд ли способно дать общепризнанные  $g=9,80665$  м/с<sup>2</sup>. Чтобы получить «истинное» значение  $g$ , требуется сделать ряд технически неосуществимых поправок — на растяжимость нити, сопротивление воздуха, высоту над уровнем моря и т. д. Поэтому результат измерений  $g$  не релевантен напрямую теоретическим предпосылкам (то есть может быть далеким от  $g$ , рассчитанной через закон всемирного тяготения). Опосредующей инстанцией является *модель*. «Проще говоря: не существует измерений без моделей» (Morrison, 2009: 50). Из этого

следует, что «искусственность» виртуальной модели в случае компьютерной симуляции не отличается по существу от «искусственности» моделей, задействованных в «материальных» измерениях.

Моррисон, таким образом, отвергает принцип материальности, причем если Паркер, признавая равенство симуляций и экспериментов, считала материальность компьютера частью аргументации в пользу этого равенства, то Моррисон, напротив, прямо говорит:

Вопросы о «материальности» или основанном на «материальности» прямом сопоставлении между объектом и целевой системой не имеют значения для обоснования (Morrison, 2009: 52–53)<sup>10</sup>.

Поэтому Дюран неправ, утверждая, что «Моррисон онтологически идентифицирует модели и компьютерные симуляции, которые совпадают по выполнению ими эпистемической роли» (Duran, 2013a: 43), и тем самым записывая Моррисон в адепты принципа материальности.

При этом сама по себе аргументация Моррисон не является опровержением принципа материальности, который помимо прочего служит и как указание на истоки интуиции (выраженной, например, у Гуалы выше) относительно более высокого статуса материальных экспериментов. Скорее, вместо того, чтобы аргументировать в пользу большей достоверности компьютерных симуляций, она предполагает некоторое существенное ограничение (то есть более высокую произвольность) материальных экспериментов: они менее «материальны», чем мы привыкли думать. Несправедливо было бы требовать от компьютерных симуляций того, что не всегда свойственно нашим лучшим материальным экспериментам, и в этом смысле более последовательно говорить о континууме между различными использованиями моделей. Таким образом, Моррисон скорее «еретик» относительно принципа материальности, чем «язычник».

#### АРГУМЕНТЫ ПРОТИВ ПРИНЦИПА МАТЕРИАЛЬНОСТИ

Обсуждая аргументы против «принципа материальности», имеет смысл вначале прояснить, какая именно эпистемологическая позиция может быть рационально (и достаточно долго) отстаиваема.

Вообще говоря, неочевидно, что принятие или отвержение принципа материальности как-то влияет на *фактическую* степень доверия

<sup>10</sup>Отдельного внимания в этой фразе заслуживают красноречивые кавычки, обрамляющие слово «материальность».

ученых к компьютерным симуляциям. Придерживаясь мнения о том, что эпистемология науки носит *дескриптивный*, а не *нормативный* характер, мы не можем *заставить* ученых изменить свое мнение о соотношении компьютерных симуляций и материальных экспериментов. Это соотношение является предметом изучения, а не целью. Однако эпистемологические исследования вполне понятным образом изменяют мнение философов науки, показывая, что та или иная позиция противоречит / не противоречит другой позиции, вытекает из нее, совместима с ней и т. д.

В этом смысле тезис о том, что онтологическое (материальное) сходство/различие не влечет соответствующего эпистемического сходства/различия, открывает новые горизонты в эпистемологии. Для примера: если признавать компьютерные симуляции экспериментами в том же смысле, что и материальные эксперименты, то появляется повод задуматься, применим ли к виртуальным объектам манипулятивный реализм Хаккинга, или живут ли они «своей жизнью» и т. д. Напротив, подчеркивая вторичность онтологических характеристик, эпистемолог тем самым признает множественность онтологий научных практик, и возникают вопросы об их взаимной упорядоченности, иерархичности, взаимозаменяемости и т. д.

Один из аргументов против принципа материальности принадлежит самому Дюрану: это аргумент множественной реализуемости. Согласно, например, Паркер, вычислительный эксперимент является экспериментом над материальной системой — физическим компьютером, и в этом смысле не отличим от материального эксперимента. Однако Дюран указывает, что, во-первых, компьютерная программа, проводящая эксперимент, никогда не бывает единственным процессом, протекающим в цифровом компьютере. Состояние компьютера определяется всеми параллельными вычислительными процессами, и оно не обязательно повторится при повторном запуске программы-симулятора. То есть *одни и те же* «экспериментальные» запуски соответствуют *различным* физическим состояниям системы при их повторении. То же самое происходит, если одна и та же симуляция запущена на *разных* компьютерах (Duran, 2013b: 82–84).

Дюран останавливается на этом, однако мы можем развить эту идею несколько далее. Если считать компьютерную симуляцию экспериментом, это означает, что она *принципиально* не может быть воспроизведена. В таком случае, конечно, лучше бы не называть это «экспериментом», так как воспроизводимость — одно из его ключевых свойств (тем более,

что экспериментам свойственен кризис воспроизводимости, обоснованно ставящий их под сомнение, см. Fidler, Wilcox, 2021). Мы полагаем, что принятие принципа материальности (по крайней мере, в версии Паркер) является самопротиворечивым: стремление рассмотреть компьютерные симуляции как материальные приводит к их не-экспериментальности (то есть принципиальной невозможности).

Еще одним аргументом против принципа материальности следует считать тезис «эпистемической непрозрачности» Пола Хамфриса. Изначально этот тезис использовался в качестве аргумента в другом споре, а именно по поводу того, требует ли расширяющаяся практика применения компьютерных симуляций особой области эпистемологии, или все теоретико-познавательные проблемы, связанные с ними, уже так или иначе включены в классический набор эпистемологических тем (будь то моделирование, материальное экспериментирование, мысленные эксперименты и т. д.) (Frigg & Julian, 2009, см. также Хамдамов, Волошин, 2021: 164–167).

Однако мы можем переместить этот аргумент в несколько другой контекст без особой потери смысла. Аргумент непрозрачности состоит в том, что процессы, которые предположительно составляют функционирование экспериментальной установки, по умолчанию недоступны человеку, который с ними работает: человек может манипулировать последовательностью «входов» и фиксировать «выходы», но в большинстве симуляционных практик ученый не знает, а главное — не обязан знать, что происходит внутри «черного ящика», именуемого компьютером (Humphreys, 2009: 618–619).

Байсбарт усиливает этот аргумент: представим себе, что используется не один компьютер, а несколько (система распределенных вычислений). Тогда можно быть вообще не в курсе, на каком именно аппаратном обеспечении в некоторый данный момент времени ведутся расчеты<sup>11</sup>. Теоретически это, конечно, можно выяснить. Но мы здесь констатируем факт, что знание об аппаратных материальных ресурсах (*hardware*) в общем случае не обязательно для запуска программного обеспечения (*software*) (Beisbart, 2017: 12–14). Более того, так может происходить и с классическими «лабораторными» экспериментами, которые часто

<sup>11</sup>Бейсбарт описывает свой пример как гипотетический, но мы можем в качестве реального воплощения указать, например, на проект распределенных вычислений Rosetta@home, где вычисления проводились на домашней аппаратуре добровольцев, и у ученых не было ни прямого, ни опосредованного доступа к этим машинам. См. Rosetta@home, 2023.

задействуют сложное оборудование с неочевидной («непрозрачной») архитектурой. Жюли Жебель даже указывает на этот «эффект черного ящика», как она его называет, как на общее свойство симуляций и экспериментов (Jebeile, 2017: 387–389). Действительно, очень странно утверждать, что материальность лежит в основе статуса (сходного или различного) экспериментов и компьютерных симуляций, если в огромном количестве случаев собственно материальность происходящего практически полностью игнорируется познающими субъектами. Подчеркнем: важен тот факт, что материальность *на практике* игнорируют<sup>12</sup>, хотя конечно же, отдельные случаи будут принципиально важны (скажем, процессор может перегреться, если вычислений много, а система охлаждения не справляется).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Место компьютерных симуляций (вычислительных экспериментов) на «методологической карте» Галисона становится все более четким. Незаконнорожденные дети от брака математических моделей с экспериментами, они постепенно обретают самостоятельность и признание. Вначале они делали это, «заимствуя» эпистемологический статус из родственных практик: на таком заимствовании и построен принцип материальности, предполагающий, что статус вычислительных экспериментов связан со степенью присутствия «материи» в его структуре. Однако, как мы попытались показать, до сих пор остается спорным, во-первых, удовлетворяют ли сами «материальные» эксперименты такому требованию (учитывая распространенность «модельных» экспериментов, где изучаемую систему замещает другая система, которая может находиться с первой в самых разных отношениях, исключая отношение тождества), а во-вторых, действительно ли онтология этой научной практики (вычислительного экспериментирования) предопределяет ее

<sup>12</sup>Хамфрис полагает, что в рамках дискурса эпистемологии компьютерных симуляций мы вправе ограничиваться анализом того, что происходит *на практике*, игнорируя вопросы о *принципиальной* возможности или невозможности. Так, М. Стоклер утверждал, что «в принципе, в [компьютерных] симуляциях нет ничего такого, что не могло бы быть получено без компьютеров» (цит. по Humphreys, 2009: 623). Это не значит, согласно Хамфрису, что у вычислений нет собственной эпистемологии, ведь *на практике* все эти расчеты без компьютеров заняли бы месяцы и годы. Вспомним также и о том, что «компьютером» изначально назывался человек, производящий вычисления, а не машина; *на практике* этот человек чаще оказывался женского пола, и вряд ли исследователь из области социальной эпистемологии мог бы успокоить себя утверждением, что *в принципе* это могли бы быть и мужчины.

эпистемологию. Мы полагаем, что ответ «нет» является правильным ответом на оба вопроса. Вместо «дискриминации»<sup>13</sup> компьютерных симуляций (на какой бы основе она ни проводилась) эпистемология XXI века должна признать их в ряду множества познавательных практик, как это декларируется в рамках прагматического подхода к структуре научной деятельности (Winther, 2016). Принцип материальности недостаточен для того, чтобы аргументированно обосновать эпистемологический статус компьютерных симуляций.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вархотов Т. А.* От воображения к карте : недискурсивные основания мысленного эксперимента // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. — 2021. — № 62. — С. 250–259.
- Галисон П.* Зона обмена : координация убеждений и действий // Вопросы истории естествознания и техники. — 2004. — № 1. — С. 64–91.
- Галисон П., Дагстон Л.* Объективность / пер. с англ. Т. А. Вархотова, С. М. Гавриленко, А. А. Писарева. — М. : Новое Литературное Обозрение, 2018.
- Квайн У. В. О.* Две догмы эмпиризма / пер. с англ. Т. А. Дмитриева // Слово и объект / пер. с англ. А. З. Черняка, Т. А. Дмитриева. — М. : Логос, Праксис, 2000. — С. 342–367.
- Лебедев С. А.* Философия науки : учебное пособие для вузов / под ред. С. А. Лебедева. — М. : Академический проект, 2010.
- Липкин А. И.* Философия науки : учебник для вузов / под ред. А. И. Липкина. — М. : Юрайт, 2023.
- Мах Э.* Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования / пер. с нем. Г. А. Котляра. — М. : Бином. Лаборатория знаний, 2014.
- Степин В. С.* История и философия науки : учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук. — М. : Академический проект, 2011.
- Хакинг Я.* Представление и вмешательство. Введение в философию естественных наук / пер. с англ. С. Кузнецова. — М. : Логос, 1998.
- Хамдамов Т. В., Волошин М. Ю.* Концептуализация компьютерных симуляций в философии науки // Эпистемология и философия науки. — 2021. — Т. 58, № 2. — С. 151–169.

<sup>13</sup>Ученые, как уже указывалось, давно и активно используют компьютерные симуляции в качестве стандартного средства исследования. «Дискриминация», о которой идет речь, имеет место в первую очередь в области философско-научного осмысления этой деятельности. Можно сказать, что философия науки не поспевает за актуальной научной практикой.

- Beisbart C.* Are Computer Simulations Experiments? And If Not, How are They Related to Each Other? // *European Journal for Philosophy of Science*. — 2017. — Vol. 8, no. 2. — P. 171–204.
- Cartwright N.* How the Laws of Physics Lie. — Oxford, NY : Oxford University Press, 1983.
- Cat J.* The Unity of Science / *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* ; ed. by N. E. Zalta. — 2023. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/scientific-unity/> (visited on Nov. 10, 2023).
- Da Costa N., French S.* The Model-Theoretic Approach in the Philosophy of Science // *Philosophy of Science*. — 1990. — Vol. 57, no. 2. — P. 248–265.
- Da Costa N., French S.* Theories, Models and Structures : Thirty Years On // *Philosophy of Science*. — 2000. — Vol. 67. — P. 116–127.
- Duran J.* A Brief Overview of the Philosophical Study of Computer Simulations // *American Philosophical Association Newsletter on Philosophy and Computers*. — 2013a. — Vol. 13. — P. 38–46.
- Duran J.* The Use of the Materiality Argument in the Literature on Computer Simulations // *Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation* / ed. by J. Duran, E. Arnold. — Newcastle upon Tyne : Cambridge Scholars Pub., 2013b. — P. 76–98.
- Fidler F., Wilcox J.* Reproducibility of Scientific Results / *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* ; ed. by E. N. Zalta. — 2021. — URL: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/scientific-reproducibility/> (visited on Nov. 10, 2023).
- Fraassen B. van.* Scientific Image. — New York : Oxford University Press, 1980.
- Frigg R., Reiss J.* The Philosophy of Simulation : Hot New Issues or Same Old Stew? // *Synthese*. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 593–613.
- Galison P.* Computer Simulation and the Trading Zone // *Disunity of Science : Boundaries, Contexts, and Power* / ed. by P. Galison, D. Stump. — California : Stanford University, 1996. — P. 118–157.
- Guala F.* Models, Simulations, and Experiments // *Model-based Reasoning : Science, Technology, Values* / ed. by L. Magnani, N. Nersessian. — New York : Springer Science, Business Media, 2002. — P. 59–74.
- Hartmann S.* The World as a Process : Simulations in the Natural and Social Sciences // *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View* / ed. by R. Hegselmann, U. Mueller, K. G. Troitzsch. — Dordrecht : Springer, 1996. — P. 77–100.
- Hayenga M., Manetsch T., Halter A.* Computer Simulation as a Planning Tool in Developing Economies // *American Journal of Agricultural Economics*. — 1968. — Vol. 50, no. 5. — P. 1755–1759.
- Humphreys P.* Computer Simulations // *PSA : Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. — 1990. — Vol. 2. — P. 497–506.

- Humphreys P.* Extending Ourselves : Computational Science, Empiricism, and Scientific Method. — New York : Oxford University Press, 2004.
- Humphreys P.* The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods // Synthese. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 615–626.
- Jebeile J.* Computer Simulation, Experiment, and Novelty // International Studies in the Philosophy of Science. — 2017. — Vol. 31, no. 4. — P. 379–395.
- Keller E. F.* Models, Simulation and “Computer Experiments” // The Philosophy of Scientific Experimentation / ed. by H. Radder. — Pittsburgh : University of Pittsburgh Press, 2003. — P. 198–215.
- Lenhard J.* Computer Simulation : The Cooperation Between Experimenting and Modelling // Philosophy of science. — 2007. — Vol. 74, no. 2. — P. 176–194.
- Morgan M.* Model Experiments and Models in Experiment // Model-based Reasoning : Science, Technology, Values / ed. by L. Magnani, N. Nersessian. — New York : Springer Science, Business Media, 2002. — P. 41–58.
- Morgan M.* Experiments without Material Intervention : Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments // The Philosophy of Scientific Experimentation / ed. by H. Radder. — Pittsburgh : University of Pittsburgh Press, 2003. — P. 216–235.
- Morgan M.* Experiments versus Models : New Phenomena, Inference and Surprise // Journal of Economic Methodology. — 2005. — Vol. 12, no. 2. — P. 317–329.
- Morrison M.* Models, Measurement and Computer Simulation : The Changing Face of Experimentation // Philosophical Studies. — 2009. — Vol. 1. — P. 33–57.
- Morrison M., Morgan M.* Models as Mediating Instruments // Models as Mediators : Perspectives on Natural and Social Science / ed. by M. Morrison, M. Morgan. — New York : Cambridge University Press, 1999. — P. 10–37.
- Parker W. S.* Does Matter Really Matter? : Computer Simulations, Experiments, and Materiality // Synthese. — 2009. — Vol. 169, no. 3. — P. 483–496.
- Reddy R.* Epistemology of Knowledge-Based Systems // Simulation. — 1987. — Vol. 48. — P. 161–170.
- Rohrlich F.* Computer Simulation in the Physical Sciences // PSA : Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. — 1990. — Vol. 2. — P. 507–518.
- Rosetta@home / Rosetta@home. — URL: <https://boinc.bakerlab.org> (visited on Nov. 10, 2023).
- Saam N.* What is a Computer Simulation? A Review of a Passionate Debate // Journal for General Philosophy of Science. — 2017. — Vol. 48, no. 2. — P. 293–309.
- Winsberg E.* Science in the Age of Computer Simulation. — Chicago, London : The University of Chicago Press, 2010.
- Winther R. G.* The Structure of Scientific Theories / The Stanford Encyclopedia of Philosophy ; ed. by E. N. Zalta. — 2016. — URL: <https://plato.stanford.edu/entries/structure-scientific-theories/> (visited on Nov. 10, 2023).

Voloshin, M. Yu. 2024. “‘Printsip material’nosti’ v epistemologii komp’yuternykh simulyatsiy [The ‘Materiality Principle’ in Studies of the Epistemology of Computer Simulations]” [in Russian]. *Filosofiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki [Philosophy. Journal of the Higher School of Economics]* 8 (3), 310–335.

MIKHAIL VOLOSHIN

LECTURER

LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY (MOSCOW, RUSSIA); ORCID: 0000-0002-6379-4771

## THE “MATERIALITY PRINCIPLE” IN STUDIES OF THE EPISTEMOLOGY OF COMPUTER SIMULATIONS

Submitted: Nov. 11, 2023. Reviewed: Feb. 18, 2024. Accepted: July 19, 2024.

**Abstract:** There is an argumentative strategy called the “materiality principle” (J. Duran) in the studies of epistemology of computer simulations. The strategy is about attributing epistemic characteristics to computer simulations on the basis of their ontological similarity with material experiments (the degree of “materiality”). This comparison is motivated in part by linguistic intuitions: computer modeling is often referred to as a “computational experiment” etc. It is reasonable then to consider computer simulations as a subspecies of scientific modeling, occupying an intermediate position between the theoretical and experimental level of scientific knowledge (as it is within the framework of modern approaches to the structure of scientific knowledge, namely semantics and pragmatics). Four different kinds of the implementation of the “materiality principle” are considered, arguing both in favor of the reliability of computer simulations and against it. Computer simulations blur the boundaries between material and virtual (computational) experimentation. The “materiality principle” can work as an argument both for and against this distinction. Two main arguments against the principle of materiality—the “opacity argument” and the “multiple realizability argument”—are hereby presented and strengthened. We conclude that the materiality principle is insufficient to substantiate the epistemological status of computer simulations.

**Keywords:** Materiality Principle, Computer Simulations, Scientific Model, Computational Experiment, Epistemological Status, Structure of Scientific Theory, Pragmatic View.

DOI: 10.17323/2587-8719-2024-3-310-335.

### REFERENCES

- Beisbart, C. 2017. “Are Computer Simulations Experiments? And If Not, How are They Related to Each Other?” *European Journal for Philosophy of Science* 8 (2): 171–204.
- Cartwright, N. 1983. *How the Laws of Physics Lie*. Oxford and NY: Oxford University Press.
- Cat, J. 2023. “The Unity of Science.” Ed. by N. E. Zalta. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Nov. 10, 2023. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/scientific-unity/>.
- Da Costa, N., and S. French. 1990. “The Model-Theoretic Approach in the Philosophy of Science.” *Philosophy of Science* 57 (2): 248–265.
- . 2000. “Theories, Models and Structures: Thirty Years On.” *Philosophy of Science* 67:116–127.
- Duran, J. 2013a. “A Brief Overview of the Philosophical Study of Computer Simulations.” *American Philosophical Association Newsletter on Philosophy and Computers* 13:38–46.

- . 2013b. “The Use of the Materiality Argument in the Literature on Computer Simulations.” In *Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation*, ed. by J. Duran and E. Arnold, 76–98. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Pub.
- Fidler, F., and J. Wilcox. 2021. “Reproducibility of Scientific Results.” Ed. by E. N. Zalta. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Nov. 10, 2023. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/scientific-reproducibility/>.
- Fraassen, B. C. van. 1980. *Scientific Image*. New York: Oxford University Press.
- Frigg, R., and J. Reiss. 2009. “The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew?” *Synthese* 169 (3): 593–613.
- Galison, P. 1996. “Computer Simulation and the Trading Zone.” In *Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*, ed. by P. Galison and D. Stump, 118–157. California: Stanford University.
- Galison, P. 2004. “Zona obmena [Trading Zone]: koordinatsiya ubezhdeniy i deystviy [Coordinating Action and Belief]” [in Russian]. *Voprosy istorii yestestvoznaniya i tekhniki [Studies in the History of Science and Technology]*, no. 1, 64–91.
- Galison, P., and L. Daston. 2018. *Ob'yektivnost' [Objectivity]* [in Russian]. Trans. from the English by T. A. Varkhotov, S. M. Gavrilenko, and A. A. Pisarev. Moskva [Moscow]: Novoye Literaturnoye Obozreniye.
- Guala, F. 2002. “Models, Simulations, and Experiments.” In *Model-based Reasoning: Science, Technology, Values*, ed. by L. Magnani and N. Nersessian, 59–74. New York: Springer Science / Business Media.
- Hacking, I. 1998. *Predstavleniye i vmeshatel'stvo. Vvedeniye v filosofiyu yestestvennykh nauk [Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science]* [in Russian]. Trans. from the English by S. Kuznetsov. Moskva [Moscow]: Logos.
- Hartmann, S. 1996. “The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences.” In *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, ed. by R. Hegselmann, U. Mueller, and K. G. Troitzsch, 77–100. Dordrecht: Springer.
- Hayenga, M., T. Manetsch, and A. Halter. 1968. “Computer Simulation as a Planning Tool in Developing Economies.” *American Journal of Agricultural Economics* 50 (5): 1755–1759.
- Humphreys, P. 1990. “Computer Simulations.” *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2:497–506.
- . 2004. *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. New York: Oxford University Press.
- . 2009. “The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods.” *Synthese* 169 (3): 615–626.
- Jebeile, J. 2017. “Computer Simulation, Experiment, and Novelty.” *International Studies in the Philosophy of Science* 31 (4): 379–395.
- Keller, E. F. 2003. “Models, Simulation and ‘Computer Experiments’.” In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, ed. by H. Radder, 198–215. Pittsburgh: U. P. P.
- Khamdamov, T. V., and M. Yu. Voloshin. 2021. “Kontseptualizatsiya komp'yuternykh simulyatsiy v filosofii nauki [Conceptualizing Computer Simulations in Philosophy of Science]” [in Russian]. *Epistemologiya i filosofiya nauki [Epistemology & Philosophy of Science]* 58 (2): 151–169.
- Lebedev, S. A. 2010. *Filosofiya nauki [The Philosophy of Science]: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Guide for Higher Education]* [in Russian]. Ed. by S. A. Lebedev. Moskva [Moscow]: Akademicheskiy proyekt [Academic Project].
- Lenhard, J. 2007. “Computer Simulation: The Cooperation Between Experimenting and Modelling.” *Philosophy of science* 74 (2): 176–194.

- Lipkin, A. I. 2023. *Filosofiya nauki [The Philosophy of Science]: uchebnik dlya vuzov [A Handbook for Higher Education]* [in Russian]. Ed. by A. I. Lipkin. Moskva [Moscow]: Yurayt.
- Mach, E. 2014. *Poznaniye i zabluzhdeniye. Ocherki po psikhologii issledovaniya [Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung]* [in Russian]. Trans. from the German by G. A. Kotlyar. Moskva [Moscow]: Binom. Laboratoriya znaniy.
- Magnani, L., and N. Nersessian, eds. 2002. *Model-based Reasoning: Science, Technology, Values*. New York: Springer Science / Business Media.
- Morgan, M. 2002. "Model Experiments and Models in Experiment." In *Model-based Reasoning: Science, Technology, Values*, ed. by L. Magnani and N. Nersessian, 41–58. New York: Springer Science / Business Media.
- . 2003. "Experiments without Material Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments." In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, ed. by H. Radder, 216–235. Pittsburgh: U. P. P.
- . 2005. "Experiments versus Models: New Phenomena, Inference and Surprise." *Journal of Economic Methodology* 12 (2): 317–329.
- Morrison, M. 2009. "Models, Measurement and Computer Simulation: The Changing Face of Experimentation." *Philosophical Studies* 1:33–57.
- Morrison, M., and M. Morgan. 1999. "Models as Mediating Instruments." In *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, ed. by M. Morrison and M. Morgan, 10–37. New York: Cambridge University Press.
- Parker, W. S. 2009. "Does Matter Really Matter?: Computer Simulations, Experiments, and Materiality." *Synthese* 169 (3): 483–496.
- Quine, W. V. O. 2000. "Dve dogmy empirizma [Two Dogmas of Empiricism]" [in Russian]. In *Slovo i ob''yekt [Word and Object]*, trans. from the English by T. A. Dmitriyev, 342–367. Moskva [Moscow]: Logos, Praxis.
- Radder, H., ed. 2003. *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: U. P. P.
- Reddy, R. 1987. "Epistemology of Knowledge-Based Systems." *Simulation* 48:161–170.
- Rohrlich, F. 1990. "Computer Simulation in the Physical Sciences." *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2:507–518.
- "Rosetta@home." Rosetta@home. Accessed Nov. 10, 2023. <https://boinc.bakerlab.org>.
- Saam, N. 2017. "What is a Computer Simulation? A Review of a Passionate Debate." *Journal for General Philosophy of Science* 48 (2): 293–309.
- Stepin, V. S. 2011. *Istoriya i filosofiya nauki [The History and Philosophy of Science]: uchebnik dlya aspirantov i soiskateley uchenoy stepeni kandidata nauk [A Handbook for Postgraduates and Applicants for the Candidate of Sciences]* [in Russian]. Moskva [Moscow]: Akademicheskii proyekt [Academic Project].
- Varkhotov, T. A. 2021. "Ot voozbrazheniya k karte [From Imagination to Map]: nediskursivnyye osnovaniya myslennogo eksperimenta [Non-discursive Basis for Thought Experiment]" [in Russian]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya [Tomsk State University Journal Of Philosophy Sociology And Political Science]*, no. 62, 250–259.
- Winsberg, E. 2010. *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Winther, R. G. 2016. "The Structure of Scientific Theories." Ed. by E. N. Zalta. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Accessed Nov. 10, 2023. <https://plato.stanford.edu/entries/structure-scientific-theories/>.