

ТРАНСЦЕНДЕНТАЛЬНОЕ УЧЕНИЕ КАНТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СОЗДАНИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ МЕТОДИЧКИ РАЗРАБОТЧИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Тимур Хамдамов¹

APPLICATION OF KANT'S TRANSCENDENTAL DOCTRINE TO A USER
MANUAL FOR DEVELOPERS OF COMPUTER SIMULATIONS OF SCIENCE
EXPERIMENTS

© Timur Khamdamov

PhD Student in Philosophy, Moscow

ORCID ID: 0000-0001-9206-9571

E-mail: tkhamdamov@hse.ru

Abstract: experiments based on multilevel computer simulations, which are becoming widespread today in scientific research practices, are forcing philosophers of science to shift the focus of attention from traditional concepts of scientific experiments to a fundamentally new methodology for designing, setting up and conducting an experiment. The computational power of modern high-performance clusters, which allow the creation of unique computer simulations of target systems and environments in which an experiment is affected, inspire various specialists to investigate the status of such experiments, their epistemological value and ontological consistency before field, laboratory and thought experiments. Some philosophers, imbued with the technological capabilities of computing systems, dare to pose fundamental questions about the nature of knowledge, thinking and ontology. The author of this article, hoping and striving to contribute to this type of research, will attempt to provide a relevant description of the conceptual methodology for developing computer simulations for conducting scientific experiments based on the fundamental work of the founder of German classical philosophy, I. Kant.

1 Автор статьи не поддерживает любые военные действия, идущие сегодня в мире. Будучи гражданином РФ, автор осуждает вторжение ВС РФ на территорию Украины 24 февраля 2022 г. и открыто высказывает неприязнь к любому продолжению боевых действий российской армии в Украине.



In the first part, the methodological basis of the development of simulations concerning transcendental aesthetics is deduced, in the second with transcendental analytics and in the third, the limits of the ontology of computer simulations of scientific experiments are revealed following the Transcendental philosophy.

Keywords: Kant, transcendental philosophy, transcendental analytics, a priori forms, reason, computer simulations, computer science, philosophy of experiment, philosophy of science.

Введение

В качестве методологической основы концептуального создания² научного эксперимента на базе компьютерных симуляций взят труд И. Канта «Критика чистого разума» (Kant, Reimer, Gruyter (ed.), 1900, Kant, Guyer and Wood (ed.), 1998, Кант, Гулыга (ред.), 1994), в котором представляется концепция Трансцендентального учения о началах. Структурно статья состоит из трех частей. В первой уделено внимание проектированию эксперимента с точки зрения трансцендентальной эстетики, во второй — соотношению эксперимента с разделом трансцендентальной логики — трансцендентальной аналитикой и третья представляет собой формализованное методологическое описание компьютерных симуляций с точки зрения особенностей и преимуществ такого рода научных экспериментов. В заключительной части я попытаюсь определить онтологию симуляций в тех эпистемических границах, которые были определены Кантом через чувственную интуицию (Kant, Guyer and Wood (ed.), 1998, pp. 254–256) и рассудок человека (Ibid., pp. 387–393), формирующих механизм самосознания, обозначенный Кантом как трансцендентальное единство апперцепции (Ibid., pp. 231–232).

Важно отметить, что в работе рассматривается не классическая метафизическая концепция двух объектов (Strawson, 1966, Aquila, 1983, Guyer, 1987, Van Cleve, 1999), согласно которой Трансцендентальное учение Канта интерпретируется как смысловой конструкт взаимодействия двух миров: трансцендентального («вещь-для-нас» — мир явлений или феноменов, которые раскрываются перед человеком посредством познавательных способностей) и трансцендентного («вещь-сама-по-себе» — мир нуменов, который не может быть познан в силу познавательных

2 В работе рассматривается общая философско-концептуальная методология проектирования и использования компьютерных симуляций в научных экспериментах, не рассматриваются с технической точки зрения методология математического моделирования, программирования, системной настройки оборудования и программно-аппаратной части вычислительных кластеров.

ограничений человека, заложенных принципами работы рассудка и природы сенсорного аппарата).

В основу поиска методологии экспериментов на базе компьютерных симуляций имплементирована интерпретация Трансцендентального учения в виде эпистемологической теории или так называемой двуаспектной интерпретации (Bird, 1962, Bird, 2006, Prauss, 1974, Langton, 1998, Allison, 2004), где существуют две точки зрения на объекты опыта: 1) антропная точка зрения, в которой объекты рассматриваются относительно эпистемологических состояний, свойственных человеческим когнитивным способностям (возникновение «вещи-для-нас» через чувственную интуицию и рассудок); 2) точка зрения интеллектуальной интуиции — одни и те же объекты могут быть известны сами по себе и независимо от каких-либо эпистемологических условий («вещь-сама-по-себе» не может быть познана человеческой природой, но это не мешает познавательным способностям человека очертить границы через осознание антропных ограничений и закрепить формальную мысль об объекте в целом, не претендуя на раскрытие его содержания, но вместе с тем сохраняя возможность абстрактного мышления за пределами границ антропной точки зрения).

Данная работа ставит перед собой цели, которые можно сгруппировать по двум основным категориям:

1. Выявление концептуальной методологии научных экспериментов на основе компьютерных симуляций:

- симуляции как отдельный вид эксперимента;
- эпистемологическая ценностная уникальность симуляций и их эвристический потенциал;
- преодоление семантических барьеров между различными научными гипотезами и теориями через многоуровневые симуляции в рамках единой трансцендентальной онтологии.

2. Определение трансцендентальной онтологии как особой составляющей в Трансцендентальном учении о началах, относящейся к сфере человеческого познания экспериментального объекта через чувственную интуицию и рассудок:

- количественное и качественное усиление когнитивных характеристик человека с помощью технологий высокопроизводительных вычислительных кластеров и использования их в экспериментах посредством симуляции целевых систем³;
- антропоцентрическое затруднение и возможность технологического решения расширения границ познания мира через

3 Целевая система (англ. target system) — часть природы, на исследование которой направлен эксперимент. Она может исследоваться напрямую и быть объектом эксперимента (натурный эксперимент) или косвенно быть представленной в виде материальной (лабораторный эксперимент) или математической модели. См., например: Frigg, 2009, Giere, 2004, Weisberg, 2013, Elliott-Graves, 2014.

преодоление трансцендентального единства апперцепции и устранения человека как субъекта эксперимента.

Для того чтобы, с одной стороны, решить концептуальный методологический вопрос проектирования и проведения эксперимента посредством компьютерных симуляций, а с другой — установить онтологический статус трансцендентального как универсальной познавательной деятельности сознания, в первой части я буду определять значимость времени и пространства в компьютерных симуляциях и соотносить выявленные особенности с чувственной интуицией человека согласно кантианской трансцендентальной эстетике. Во второй части будет рассмотрен механизм настройки компьютерных симуляций с помощью категорий рассудка кантианской трансцендентальной аналитики. В заключительной, третьей части будет сформулирована методологическая картина специфики и уникальных преимуществ исследовательской экспериментальной деятельности на основе симуляций. Также будут рассмотрены усиливающие факторы когнитивной экспериментальной деятельности в результате применения симуляций, что, на мой взгляд, позволит определить (интуитивно почувствовать) онтологические границы трансцендентального не через абстрактное представление «вещи-самой-по-себе», а инструментального преодоления «вещи-для-нас». Сделанные мной предположения опираются на интуиции Канта с учетом принятия того факта, что немецкий философ проводил исследования во времена, когда вычислительные технологии не позволяли экспериментальным путем преодолевать барьер антропоцентрического познания.

1. Трансцендентальная эстетика и компьютерные симуляции

Пространство и время в современных нейронаучных когнитивных исследованиях, направленных на поиски комплексного медиатора между материальным субстратом нейронов, объединенных в сложные сети, и сознанием, представляемого в виде набора ментальных процессов, структурированных посредством конструкта «Я», в настоящее время стали важным звеном в цепочке формулирования рабочей теории связи мозга и сознания (связь энтропии нейрональной активности на нейрональном уровне и содержимого сознания на уровне ментальных процессов) (Northoff, etc., 2006, Northoff, 2017, Murray, et al., 2012).

Вместе с тем гений Канта уже в конце XVIII века определил пространство (Kant, Guyer and Wood (ed.), 1998, pp. 157–159) и время (Ibid., p. 162) как предел априорной формы чувственной интуиции, исходя из которой становится возможной всякая ментальная

деятельность, кристаллизирующаяся вокруг кантианского концепта трансцендентального единства апперцепции (Ibid., 225). Такая базовая априорная форма, на мой взгляд, может стать одним из главных методологических элементов в организации научной экспериментальной деятельности, в основу которой закладываются компьютерные симуляции целевых систем и сред объектов эксперимента.

Важно отметить, что конструкт времени в симуляциях начинает активно использоваться современными философами аналитической традиции почти с самого начала поисков внятного определения роли и места симуляций в философии эксперимента:

«Симуляции тесно связаны с динамическими моделями. Конкретнее, результат симуляции — это решение уравнения базовой динамической модели. Такая модель предназначена для имитации эволюции реальной системы во времени. Другими словами, симуляция имитирует один процесс другим процессом.

В этом определении термин “процесс” относится исключительно к некоторому объекту или системе, состояние которых изменяется во времени. Если симуляция выполняется на компьютере, она называется компьютерной симуляцией» (Hartmann, 1996, p. 83).

К слову, трактовка природы симуляций через одну из априорных форм чувственной интуиции получила распространение и стала довольно популярной версией определения симуляций в среде исследователей философии эксперимента: «Я характеризую симуляцию как упорядоченную по времени последовательность состояний, которая служит представлением некоторой другой упорядоченной по времени последовательности состояний» (Guala, 2002, pp. 66–67).

Вторая априорная форма чувственной интуиции, выраженная конструктом пространства, реализует себя в симуляциях через динамические математические модели, обрабатываемых симулятором. Пространство в этом случае может быть представлено не только в трехмерном измерении, то есть используемая абстракция может не воссоздавать пространство в том виде, которое воспринимается чувственной интуицией человека. В симуляциях важно не просто моделирование пространства в определенном измерении, а воспроизведение связи пространства и времени. Например, такой связи уделено внимание в работах по созданию симуляторов роста ансамбля наночастиц для исследования изменений их размеров и полидисперсности во времени (Ferrante, Liveri, 2005), динамики полимерных цепей в замкнутом пространстве (Romiszowski, Sikorski, 2005), динамических изменений микроструктур сплавов титана (Zhang, et al., 2019), гетероагрегации с асимметричными коллоидами большого размера (Laganapan, et al., 2018) и т.д. Используемые математические

модели в приведенных работах описывают целевую систему, как если бы она воспринималась через чувственную интуицию априорной формы конструкта пространства. А алгоритмы симулятора настроены таким образом, чтобы выстраивать возможные состояния динамических моделей в соответствии с определенным временным интервалом, приближенным к априорной форме конструкта времени.

В качестве примера приведем работу Вит Дoleyши, Михала Кураза и Павла Солина – создателей симуляции переменного-насыщенных потоков пористых сред (Dolejší, et al., 2019). Прикладное математическое моделирование течений в пористых средах получило довольно широкое применение. Авторы работы приводят наиболее распространенные примеры (Ibid., p. 276) из гидрологии, физики снега и почвы (Iden., et al., 2019, Würzer, et al., 2017), исследований переноса растворимых и нерастворимых загрязняющих веществ, например, в проектировании хранилищ токсичных отходов (Kuraz, et al., 2013) и др. Разработчики симуляции за основное уравнение для этого класса гидродинамических задач берут широко используемое специалистами уравнение Ричардса (Richards, 1931), которое вытекает из закона сохранения массы в сочетании с законом Дарси-Букингема для потоков (Buckingham, 1907). Уравнение разработчики формулируют методом Хайкорна (Huaykorn, et al., 1984):

$$C(\psi) \frac{\partial \Psi}{\partial t} - \nabla \cdot (K(\psi) \nabla \Psi) = S \quad (1.1)$$

где Ψ – гидравлический напор, ψ – напор; соотношение между напором и гидравлическим напором формулируются как: $\Psi = \psi + z$, где z геодезический напор (расстояние от опорного уровня), $K(\psi)$ является ненасыщенной гидравлической проводимостью, определяемой как $K(\psi) = K_r(\psi)K_s$, где $K_r(\psi)$ – относительная гидравлическая проводимость, а K_s – насыщенная гидравлическая проводимость. $C(\psi)$ – водоудерживающая способность, обычно определяемая как:

$$C(\psi) = \frac{d\theta(\psi)}{d\psi} + \frac{\theta(\psi)}{\theta_s} S_s \quad (1.2)$$

где $\theta(\psi)$ – функция содержания воды, S_s – коэффициент упругой емкости, θ_s – содержание насыщенной воды.

Разработчики отмечают, что дискретизация пространства и времени дает нелинейную алгебраическую систему, которая должна решаться на каждом временном шаге (Dolejší, et al., 2019, p. 277). Авторы представляют два метода итеративного решения получающихся систем нелинейных алгебраических уравнений:

- 1) прямое обобщение ранее выдвинутого ими же подхода (Dolejší, et al., 2015), который был разработан для численного решения уравнений Навье – Стокса;

2) адаптация ускорения Андерсона к методу Пикара (Walker, Ni, 2011).

Но в качестве главной своей заслуги разработчики отмечают адаптивный алгоритм, который контролирует ошибки, возникающие из-за дискретизации пространства и времени, а также из-за неточного решения основных алгебраических систем (Dolejší, et al., 2019, p. 278). Этот адаптивный к пространству и времени алгоритм разрабатывается с помощью разрывного метода Галёркина. Разработчики берут за основу схему этого метода из работы, которая использовалась для численного решения нелинейного уравнения конвекции-диффузии, имеющего линейный член производной по времени (Dolejší, Feistauer, 2015).

Проделав работу по формализации моделей (Dolejší, et al., 2019, pp. 278–288), разработчики задаются вопросами обеспечения точности и эффективности вычислительного процесса моделей:

«Мы должны избегать больших временных шагов и чрезмерно малых временных шагов, а также чрезмерно сильных и чрезмерно слабых критериев останковки» (Ibid., p. 288).

Решение этой задачи разработчики видят в балансировке трех источников ошибок такого рода (Ibid., p. 288): 1) дискретизация пространства; 2) дискретизация времени; 3) приближенное решение нелинейных алгебраических систем.

По мнению разработчиков, это означает, что критерий останковки в предложенных ими двух алгоритмах (по Ньютон-подобному методу и ускорению Андерсона), встроенных в модели (Ibid., p. 287), а также выбор временного шага должны быть связаны с ошибкой дискретизации пространства. Для решения этой пространственно-временной адаптации разработчики используют метод, который был получен для численного моделирования зависящих от времени сжимаемых потоков (Dolejší, Roskovec, Vlasák, 2015). Идея основана на аппроксимации алгебраических, пространственно-алгебраических и временных-алгебраических ошибок в двойственной норме. Авторы отмечают, что в отличие от работ, на которые они ссылаются сами ранее (Cances et al., 2014, Vohralík, Wheeler, 2013, Ern, et al., 2010), представленный подход теоретически не подкреплен строгим анализом и является довольно эвристическим. Однако в силу того, что выявление ошибок очень быстрое и действует простая методика их учета, авторы считают, что в данном случае этот способ максимально эффективен и особенно в случаях приближений в моделях, где используются уравнения с более высокими полиномиальными степенями.

Первое значительное концептуальное методологическое предположение исходя из определения симуляций через кантианское представление времени и пространства, а также практики

построения симуляций на основе динамических моделей можно сформулировать следующим образом: для создания симулятора необходимо использовать такие вычислительные алгоритмы, в математический аппарат которых встроен счетчик времени, соответствующий априорным формам чувственной интуиции пространственно-временного континуума, реализованного через слаженно работающие алгоритмы по смене состояний динамических моделей, обрабатываемых этим симулятором.

Из этого определения становится ясным, что в основу рабочего симулятора должны быть встроены не просто закономерности так называемого физического времени, а принципы априорной формы чувственной интуиции, которые выражаются в соотношении изменений состояний фиксируемых явлений, представленных в виде динамических моделей, с работой всей симуляции, в том числе той ее составляющей, которая генерирует выходные экспериментальные данные для субъекта эксперимента.

Помимо «погружения» вычислительных алгоритмов симулятора и соотношения синтаксиса динамических моделей с семантическими границами априорных форм чувственной интуиции, необходимо воспроизвести те семантические значения, которые формируются в опыте познания через трансцендентальное единство апперцепции. Это становится возможным, с точки зрения трансцендентальной логики, только при применении принципов рассудка к каждому наблюдаемому состоянию объекта. У Канта эта часть логики представляет трансцендентальная аналитика (Kant, Guyer and Wood (ed.), 1998, pp. 201–383). Ее соотношение с симуляциями будет разобрано в следующей части.

2. Трансцендентальная аналитика и компьютерные симуляции

В практике построения симуляторов научных экспериментов используются определенные виды динамических математических моделей, которые подбираются и настраиваются таким образом, чтобы их абстрактные формы соответствовали поведению целевой системы эксперимента. С точки зрения кантовской трансцендентальной аналитики, разработчик такой математической модели для достижения этой цели должен встроить системные принципы априорных категорий рассудка (Ibid., p. 206) в структуру как самих моделей, так и всего вычислительного симулятора, чтобы: 1) иметь возможность оперировать генерируемыми абстрактными суждениями согласно рассудочной деятельности человека; 2) субъект эксперимента имел возможность получать экспериментальные данные, которые воспринимаются таковыми

через априорные формы чувственной интуиции сообразно категориям рассудка.

Среди наиболее распространенных моделей чаще всего в компьютерных симуляциях используются:

- клеточный автомат (химия (Robben, 2020, Sitko, et al., 2020), биология (Babaei, et al., 2020), инженерия (Milašinić, et al., 2019), социальная динамика (Li, et al., 2020) и т.д.);
- агент-ориентированные модели (преимущественно в социальных, поведенческих и гуманитарных науках) (Tesfatsion, 2003, Stavrakas, et al., 2019);
- модели на основе дифференциальных уравнений (преимущественно естественное знание, точные науки) (Richit et al., 2019, Teixeira et al., 2013);
- модели на основе метода Монте-Карло (естественнонаучные дисциплины) (Santos, et al., 2020, Alvarenga, et al., 2020);
- гибридные модели:
 - многоуровневые симуляции, использующие одновременно множество моделей, построенных на основе различных теоретических концепций (Florimbi, et al., 2016);
 - симуляции, которые одновременно взаимодействуют с материальными объектами эксперимента в лабораторных или натуральных испытаниях (Brailsford, et al., 2019).

Вместе с тем систему априорных категорий рассудка можно обозначить в форме, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Система кантианских априорных категорий рассудка (Нарский, 1976, с. 64).

Категории количества		Категории качества
Математические (однородные)	1. Единство	1. Реальность
	2. Множественность	2. Отрицание
	3. Всеобщность (цельность)	3. Ограничение
Категории отношения		Категории модальности
Динамические (разнородные)	1. Субстанциальность и присущность (акцидентальность)	1. Возможность
	2. Причинность	2. Существование
	3. Взаимодействие	3. Необходимость и случайность

В качестве примера рассмотрим работу Сяо-Ли Сунь, Хуэй Ван, Синь-Ке Ли, Го-Хонг Цао, Юй Куан, Сяо-Чен Чжан – международной

группы американских и китайских разработчиков симуляторов на основе модели Монте-Карло (Sun, et al., 2020). В разбираемой работе разработчики описывают процесс создания симуляции для экспериментального подтверждения диапазона полезности излучения протонных пучков моделируемой камеры для лечения рака. Разработчики отмечают (Ibid., p. 979), что методы вычисления Монте-Карло отличаются от других вычислительных алгоритмов использованием выборки случайных чисел (Branford, et al., 2008, Samarasu, et al., 2013, Glatard, et al., 2008). Внушительные размеры выборки позволяют стохастическому характеру случайности моделировать реалистичные статистические флуктуации. Разработчики подчеркивают полезность такого метода в сценариях, когда невозможно получить математические выражения в замкнутой форме или в рамках детерминированных алгоритмов. Это делает данный метод хорошо подходящим для моделирования распространения частиц через вещество и доз облучения, которые распределяются внутри вещества, учитывая случайную природу движения частиц. Описывая суть использования в данной симуляции метода Монте-Карло, разработчики опираются на существующие теоретические допущения и исследовательскую экспериментальную практику, которая с помощью этой симуляции будет воспроизведена с высокой точностью:

«Когда фотон проходит через ткань, то у него есть уникальное свойство вероятности взаимодействия посредством фотоэлектрического или комптоновского рассеяния для каждого единичного расстояния, которое он проходит через ткань. Случайная выборка может определять, как и где он взаимодействует. Исходный фотон в этом случае называется первичной частицей, а все электроны или фотоны, которые он высвобождает или создает в результате взаимодействия, называются вторичными частицами. Симуляция методом Монте-Карло может моделировать уникальные треки большого числа отдельных частиц для данной геометрии среды, чтобы моделировать энергетическое положение в среде (Cirne, et al., 2007). Существуют параметры и допущения, которые можно сделать при расчете по методу Монте-Карло на основе требуемого времени моделирования и необходимого уровня точности. Простое увеличение числа первичных частиц повысит точность результатов, уменьшив статистические флуктуации случайных чисел, но время моделирования соответственно увеличится» (Sun, et al., 2020, p. 980).

Разобрав методику моделирования (Ibid., pp. 979–980), разработчики переходят к описанию иерархической структуры моделирования системы, которая включает в себя файл параметров высшего уровня и набор файлов параметров низшего уровня, необходимых для указания источника частиц, настройки физики,

геометрии, оценки, движения, зависящих от времени, входных данных и графических выходящих данных системы. Эта структура моделирования компьютерной симуляции показана на рис. 1.

Структура файловой системы параметров для симуляции трехмерных камер, разработанная в этом исследовании, показана на рис. 2. Каждый низкоуровневый параметр файла в кадре является другим низкоуровневым параметром файловой системы, которая содержит все вычислительные компоненты для моделирования.

Описание фреймворка было обобщено разработчиками в специальной алгоритмической процедуре (Ibid., p. 982). В ней описаны этапы моделирования измерений дальности пучка протонов. Основной частью является настройка временной характеристики движения и сканирования луча. Рабочий процесс компьютерной симуляции для измерения положения пятна протонного пучка был обобщен в алгоритмической процедуре (Ibid., p. 983), в которой описаны отдельные этапы моделирования и симуляции. Основная цель заключена в получении подробной информации о каждой частице (особенно о времени прибытия частиц) с помощью метода фазового пространства для расчета местоположения протонных пучков.



Рис. 1. Иерархическая структура системы моделирования⁴ (Ibid., p. 981).

4 Здесь: Geant4 — GEometry ANd Tracking (Geant4) — вычислительные коды Монте-Карло для моделирования переноса частиц в средах. Geant4 — это универсальный инструмент для моделирования по методу Монте-Карло, написанный на программном языке C++ в качестве открытого исходного кода (Titt, et al., 2012). ASCII (англ. American standard code for information interchange) — название таблицы (кодировки, набора), в которой некоторым распространенным печатным и непечатным символам сопоставлены числовые коды.

Все виды перечисленных выше моделей, включая модель Монте-Карло, разобранный на конкретном примере, обладают общей характеристикой: встроенный в них конструкт времени и пространства через гипотезы и теории, созданные ранее исследователями на основе априорных форм чувственной интуиции, которая была направлена через систему априорных категорий рассудка, либо непосредственно на эмпирически изучаемый объект, либо на его абстрактную форму. После создания моделей их запускают в специальной среде симулятора, цель которого обработать с помощью вычислительных алгоритмов все состояния моделей и представить их в таком виде, чтобы можно было интерпретировать их абстрактные формы в виде экспериментальных данных, то есть согласно трансцендентальной философии данные должны быть распознаваемы чувственной интуицией и рассудком субъекта эксперимента.



Рис. 2. Фреймворк компьютерной симуляции системы камер⁵ (Ibid., p. 981).

Исходя из этой прикладной задачи формулируется второй пункт концептуальной методологии разработки компьютерных симуляций: **при создании математических моделей**

5 Здесь: PG камера (англ. prompt gamma camera) — гамма-камера, которая имеет возможность мониторинга диапазона протонного пучка в режиме реального времени при доставке самого луча без эффектов вымывания из хорошо перфузируемых тканей благодаря быстрому гамма-излучению (менее 1 нс после возбуждения) (Park, et al., 2019).

и вычислительных алгоритмов симулятора на основе существующих научных теорий и гипотез для корректной интерпретации данных, генерируемых в ходе проводимого симуляционно-эксперимента, разработчику нужно выстроить внутренние и внешние связи используемых моделей, руководствуясь семантикой системы априорных категорий рассудка. В этом случае станет возможным настроить математические модели таким образом, чтобы семантика их взаимодействия, с одной стороны, была доступна рассудку разработчика для внесения правок и дополнений в случае необходимости совершенствования симуляции, а с другой — была семантически релевантной для выявления результатов эксперимента, визуализация которых соответствовала бы чувственной интуиции и рассудку субъекта эксперимента антропной природы.

После определения двух концептуальных методологических пунктов создания симуляций онтология компьютерных симуляций научных экспериментов в рамках трансцендентальной философии приобретает свои пределы в мире явлений и служит специфическим инструментом, расширяющим когнитивные способности человека количественно (например, через кратное увеличение скорости вычислений арифметических операций) и качественно (например, способностью симуляторов обрабатывать модели, которые невозможно решить аналитическим способом). Эта онтология состоит из элементов базовой трансцендентальной онтологии, которую можно определить не через предметы, а формы их познания, что в рамках эпистемологической двуаспектной интерпретации трансцендентальной философии и является тем основанием, с помощью которого возможно познание «вещей-для-нас» и притязаний интеллектуальной интуиции на описание «вещей-самих-по-себе».

В заключительной части сформулируем через получившуюся концептуальную методологию особенности компьютерных симуляций с точки зрения трансцендентальной эстетики и трансцендентальной аналитики, выделим преимущества экспериментов на основе компьютерных симуляций и определим пределы онтологии компьютерных симуляций в рамках трансцендентальной философии.

3. Трансцендентальная философия и компьютерные симуляции

Компьютерные симуляции с точки зрения трансцендентальной философии обладают важным качественным отличием от экспериментальных инструментов, исследовательского оборудования и установок, предназначение которых — улучшение способностей

человека в целях количественного усиления чувственной интуиции и рассудочного потенциала. Это отличие можно выразить следующими особенностями:

1) компьютерные симуляции создаются структурированием различных синтаксических элементов машинного языка для решения главной задачи: воспроизведение семантики гипотез и теорий, синтезированных ранее согласно трансцендентальной философии посредством трансцендентального единства апперцепции через познание объекта эксперимента в ходе эмпирического опыта с помощью механизма чувственной интуиции и деятельности рассудка;

2) симуляции расширяют охват познания за счет количественного усиления когнитивных способностей человека, которое позволяет применять трансцендентальную аналитику для большего числа объектов, становящихся доступными в ходе их экспериментального выявления во время работы компьютерной симуляции;

3) симуляции могут обладать потенциалом перехода границ трансцендентального познания за счет качественного преодоления когнитивных способностей человека, выражаемые через антропоцентрическое затруднение и свойства симуляций работать с математическими моделями на основе уравнений, которые невозможно решить аналитическим или другим доступным человеческой когнитивной природе способом;

4) симуляции работают непосредственно с объектами трансцендентальной онтологии (математическими моделями, описывающие теоретические концепции, гипотезы и эмпирические наблюдения), что позволяет проводить исследования, в основу которых закладываются множество гипотез и теорий через систему многоуровневой симуляции с внутренними и внешними обратными связями.

Разберем каждую особенность отдельно согласно сформулированным в первых двух частях концептуальным методологическим принципам создания и использования компьютерных симуляций.

1) Синтаксис и семантика. В работе Хамдамова (2019, с. 177–180) анализируется сущностная сторона симуляций через переход экспериментальных следов из графематического пространства в данные (концепция графемы Жака Деррида (Derrida, 1997)) и концепция эпистемической вещи Ханс-Йорга Райнбергера (Rheinberger, 1998), которые обнаруживают себя уже в репрезентативном пространстве, и предлагается следующее определение:

«Компьютерные симуляции научных экспериментов — это сложная форма взаимодействия разных теоретических, математических и прикладных вычислительных моделей с многоуровневыми связями и отношениями данных в пространстве репрезентации с высокой скоростью обмена, передачи и изменения информации

между данными, ведущими к образованию новых экспериментальных данных» (Хамдамов 2019, с. 180).

Такое представление симуляций выявляет их через трансцендентальную онтологию как описание реальности посредством априорных форм познания: *симуляции – это квинтэссенция структурирования синтаксиса (в случае компьютерных симуляций – машинно-вычислительного синтаксиса) согласно наиболее релевантным семантическим формам теоретических представлений и гипотез об объекте эксперимента*. Оптимально работающая настроенная система преобразования машинных синтаксических структур через семантические формы математических моделей, которые в свою очередь выражают семантику теоретических концепций и гипотез, позволяет симуляциям выполнять следующие важные функции эксперимента:

- *Определение (выбор) теории*. Среди множества теоретических концепций, претендующих на смысловое описание объекта эксперимента, при создании компьютерных симуляций предпочтение отдается наиболее обоснованным. В первом приближении критериями обоснованности служат научность, согласованность теории с эмпирическими наблюдениями и, что важно, наличие ее математического описания, не противоречащего ее концептуальной семантике.

- *Теоретическое изложение (проверка на внутреннюю семантико-синтаксическую противоречивость)*. Успешность развития теории напрямую зависит от возможности ее проверки в соответствии с принятыми смысловыми семантическими конструктами и той структуре синтаксиса, на который теория опирается. Компьютерная симуляция позволяет визуализировать теоретические представления в более наглядном и воспринимаемом исследователем виде, а также проверить на практике семантическую релевантность теории данным, получаемым эмпирически, и описательным математическим моделям, которые, приобретая определенную смысловую наполненность при создании симуляции, развивают и даже расширяют теоретические представления об объектах эксперимента.

- *Объяснение теории*. Симуляция демонстрирует исследователю семантическую суть теории с помощью возможности управления ее характеристиками (скорость течения времени, варьирование количественными и качественными параметрами объекта и среды эксперимента), которые в условиях лабораторного или натурального эксперимента имеют ограничения, характерные для материально-физических свойств как целевой системы, так и ее модели на основе материального субстрата.

- *Прогнозирование*. Симуляция, в механизм которой встроена семантика наиболее успешных теоретических представлений об объекте эксперимента, является крайне эффективным

инструментом предиктивной аналитики с широкими визуальными средствами представления прогностических данных на основе их извлечения непосредственно из экспериментальных данных, которые могут быть проверены эмпирическим или, возможно, аналитическим способом.

• *Научные открытия и получение эвристических данных.* Многоуровневые симуляции, разработанные на семантически различных динамических моделях, суть отличия которых – вложенные в них разные теоретические концепции и гипотезы, представляют собой уникальный семантико-синтаксический механизм, оперирующий объектами трансцендентальной онтологии на уровне, недоступном для других видов эксперимента, которые, как правило, опираются на ограниченное число (чаще всего одну базовую гипотезу или теорию) научных теорий. Такой механизм позволяет извлекать эвристические данные и быть источником научных открытий.

2) Количественное усиление познавательных способностей. В работе Хамдамова (2019, с. 169–170) разбирается два взгляда на природу симуляций в подходе Мануэля Дюрана (Duran 2018, с. 8–24), в результате чего выделяется важное свойство компьютерных симуляций, создаваемых с помощью программно-аппаратных комплексов на высокопроизводительных вычислительных кластерах. Это свойство, которое достаточно очевидно для каждого наблюдателя: кратное превосходство вычислительных способностей такого рода кластеров над вычислениями, ограниченных когнитивными возможностями человека, что позволяет организовывать работу с математическими моделями на недоступном для человека вычислительном уровне⁶.

Еще одним важным параметром, усиливающим познавательные способности исследователя, является визуализация экспериментальных данных в таком виде, в котором они обычно недоступны для человека ни в одном из других видов эксперимента. Особенно это касается тех объектов эксперимента, которые напрямую человек не может наблюдать в силу ограниченности своих сенсорных способностей. Однако, обладая априорными формами познания, человек способен довольно точно описывать явления с помощью математического аппарата в определенной семантике той или иной теоретической концепции, тем самым осуществляя перенос разрозненных экспериментальных следов в объекты трансцендентальной онтологии. После этого разработчик симуляции может создать симулятор и специальную программу для визуализации экспериментальных данных уже в семантически

6 См., например, вычислительную производительность суперкомпьютера Summit, которая по тесту Linpack Performance составила 148,600 ТФлопс/с, или 148 600 x 1012 операций с плавающей запятой в секунду: <https://www.top500.org/system/179397>.

считываемом исследователем виде. Например, с помощью симуляций для человека стали доступными трехмерные визуализации таких объектов эксперимента, как квантовая волновая функция (Figueiras, et al., 2019), хромосомы (Zawalski, et al., 2019), молекулы ДНК (Brandner, et al., 2019), массивные космические объекты, например, черные дыры (Fendt, 2019) и т.д.

3) Качественное усиление познавательных способностей.

С точки зрения расширения познавательного поля, особый интерес представляют такие возможности симуляций, с помощью которых становится реальным преодоление не просто сенсорных барьеров человека, но и рассудочных, тем самым, на мой взгляд, можно ставить вопрос о вероятности преодоления трансцендентальной онтологии во время экспериментально-исследовательских практик с помощью технологий компьютерных симуляций. Пол Хамфрис, описывая в своей работе (Humphreys, 2009, pp. 616–617) антропоцентрический характер познания на протяжении обозримой истории европейской мысли, включая логиков-позитивистов начала XX века и философов-лингвистов, которые безуспешно пытались отделить мышление от человека, не предоставляет в этом смысле шансов даже конструктивному эмпиризму и реализму. Хамфрис делает исключение для работы Карла Поппера (Popper, 1972), а также совместной работы Форда, Глимора и Хейса (Ford, et al., 2006), однако в первом случае, по мнению Хамфриса, предлагаемый метод слишком абстрактен для исследования⁷, а второй совсем не затрагивает вопросов вычислительных наук. Хамфрис приходит к промежуточному выводу о том, что сегодня философская наука о мышлении и познании полностью антропоцентрична и не может дать ответы на те проблемы, которые возникли перед современными научными вычислительными методами, выходящими, по мнению Хамфриса, за антропные пределы. Хамфрис называет это явление антропоцентрическим затруднением и подчеркивает его уникальность и коренное отличие от классической философской проблемы познания с антропоцентрической точки зрения, «так как старая проблема связана с репрезентативными посредниками, которые приспособлены к когнитивным способностям человека» (Humphreys, 2009, p. 617), что сразу становится неприемлемым в случае вычислительных методов, репрезентативными посредниками которых являются «компьютерные симуляции, конструируемые, чтобы сбалансировать потребности вычислительных инструментов и пользователей»

7 Хамфрис в работе (Humphreys, 2009) из двух случаев (гибридный и автоматизированный) исследует гибридный — сценарий, при котором научная экспериментальная деятельность ведется одновременно и человеком, и вычислительной машиной. Тот случай, когда эксперимент происходит без участия человека (автоматизированный) хоть и представляет значительный интерес для Хамфриса, в этой работе им не рассматривается.

(Ibid., p. 617). Антропоцентрическое затруднение Хамфрис формулирует в нескольких пунктах, среди которых, на мой взгляд, основным является так называемая эпистемическая непрозрачность. Это особенность компьютерных симуляций, которая выражается в отсутствии всякой возможности для исследователя как субъекта эксперимента проследить за каждым процессом в отдельности и всеми в совокупности, происходящими в программно-аппаратном комплексе на любом из его уровней (аппаратном, цифровом, математическом и логическом). Все что происходит во время эксперимента в этом случае оказывается для субъекта скрытым, с точки зрения его когнитивных способностей. *Такая непрозрачность фактически означает задействование в научном эксперименте практик, выходящих за границы трансцендентальных способов познания.*

Также стоит отметить у компьютерных симуляций главную для экспериментальной практики способность — работа с моделями и математическими уравнениями, которые невозможно разложить и решить доступными мышлению человека аналитическими или другими способами, связанными напрямую с рассудочной деятельностью. Так, в работе, посвященной историческому обзору экспериментальных исследований радиационных эффектов, в материалах (Nordlund, 2019) из 11 приводимых методов с 1940 г. по настоящее время только два (теория скорости реакций и конечно-элементное моделирование) могут быть применены в условиях аналитических решений, то есть без применения машинных вычислительных мощностей и создания компьютерных симуляций. Остальные методы (нейтронные расчеты методом Монте-Карло, метод Метрополиса-Монте-Карло, молекулярная динамика, бинарное приближение столкновений, функциональная теория плотности, кинетический метод Монте-Карло, функциональная теория зависимости от времени, дискретная динамика дислокаций) активно начали развиваться с 1970-х годы и получили широкое применение с 1990-х годов с появлением и развитием вычислительных технологий, которые позволили преодолеть барьер человеческих когнитивных способностей для корректной обработки абстрактных математических форм, не поддающихся аналитическому инструментарию рассудка. Тем самым технологии компьютерных симуляций обеспечили возможности для познавательной деятельности вне категорий рассудка, то есть вне трансцендентальной онтологии.

4) Внутри и вне границ трансцендентальной онтологии. Изначально компьютерные симуляции могут работать исключительно с объектами трансцендентальной онтологии: явлениями, феноменами или «вещью-для-нас». То есть, согласно трансцендентальной философии, онтология компьютерных симуляций происходит из трансцендентальной онтологии. Это позволяет

проектировать объект эксперимента без дополнительных посредников в виде предметов, состоящих из материального субстрата, как в случае лабораторного эксперимента. Такая возможность позволяет создавать многоуровневые симуляции – уникальный объект эксперимента, состоящий из множества уровней, построенных согласно различным семантикам, в основе которых закладываются различные (возможно даже противоречащие друг другу) теории и гипотезы. Ярким примером являются проекты изучения мозга по типу вышеупомянутого европейского Human Brain Project (Florimbi, 2016, Хамдамов, 2020, с. 44–53) – в проекте моделируются пять уровней человеческого мозга: молекулярный, клеточный, нейросетевой, функционально зональный и общий уровень мозга как органа (Markram, 2012, р. 31). Каждый из этих уровней опирается на модели, которые базируются на различных гипотезах и теоретических построениях. Поэтому одной из главных задач проекта является соединение этих уровней таким образом, чтобы они могли взаимодействовать друг с другом в рамках единой симуляции мозга. Такие соединительные междууровневые конструкции возможно создать, оперируя объектами трансцендентальной онтологии в рамках трансцендентального единства апперцепции. Однако по мере того как все больше уровней включаются в единую симуляцию, фактор антропоцентрического затруднения становится все более значимым, и исследователь вынужден принимать тот факт, что симуляция наполняется той своей частью, которая скрыта от человека.

Исходя из вышеупомянутых свойств симуляций можно предположить, что онтология компьютерных симуляций научных экспериментов двухуровневая: первый онтологический уровень расположен в пределах трансцендентальной онтологии и соответствует априорным формам познания, второй – вне пределов трансцендентального и не поддается познанию в рамках чувственной интуиции и кантианской системы категорий априорных форм рассудка.

Заключение

В ходе работы были выявлены два основания концептуальной методологии создания компьютерных симуляций научных экспериментов согласно трансцендентальному учению Канта.

Первое базируется на трансцендентальной эстетике и выражает взаимосвязь структуры симуляций с априорными формами чувственной интуиции. Из сформулированного в первой части данной работы определения этого основания был сделан вывод, что «в основание рабочего симулятора должны быть встроены не просто закономерности так называемого физического времени,

а принципы априорной формы чувственной интуиции, которые выражаются в соотношении изменений состояний фиксируемых явлений, представленных в виде динамических моделей, с работой всей симуляции, в том числе той ее составляющей, которая генерирует выходные экспериментальные данные для субъекта эксперимента». В этой части уделено особое внимание соотношению пространства и времени — «в симуляциях важно не просто моделирование пространства в определенном измерении, а воспроизведение связи пространства и времени». Детально этот аспект разбирается на примере работы Вит Долейши, Михала Кураза и Павла Солина — создателей симуляции переменного насыщенного потока пористых сред. Довольно сложный путь моделирования и разработки симулятора у авторов сводится к алгоритму, который они считают своим главным достижением: «адаптивный алгоритм, который контролирует ошибки, возникающие из-за дискретизации пространства и времени, а также из-за неточного решения основных алгебраических систем». Разработчики осознают, что эффективность работы симулятора напрямую зависит от качества воспроизведения соотношений времени и пространства, основанных на априорных формах чувственной интуиции, добавлю я.

Второе основание опирается на трансцендентальную аналитику и демонстрирует прямую зависимость внутренних и внешних связей задействованных в симуляциях моделей, входных и выходных данных от системы кантовских априорных категорий рассудка. Оно укладывается в определение второго важного методологического предположения: «При создании математических моделей и вычислительных алгоритмов симулятора на основе существующих научных теорий и гипотез для корректной интерпретации данных, генерируемых в ходе проводимого симуляционного эксперимента, разработчику нужно выстроить внутренние и внешние связи используемых моделей, руководствуясь семантикой системы априорных категорий рассудка». В качестве примера был разобран процесс создания симуляции для экспериментального подтверждения диапазона полезности излучения протонных пучков моделируемой камеры для лечения рака. На этом примере было продемонстрировано, что все составные части симулятора связываются между собой таким образом, чтобы «семантика их взаимодействия, с одной стороны, была доступна рассудку разработчика для внесения правок и дополнений в случае необходимости совершенствования симуляции, а с другой стороны, была семантически релевантной для выявления результатов эксперимента, визуализация которых соответствовала бы чувственной интуиции и рассудку субъекта эксперимента антропной природы».

Эти основания можно принимать за базовые методологические принципы разработки симуляций. При этом следование

данным принципам обеспечивает высокую эффективность работы симуляторов во многом за счет их разработки «с оглядкой» на чувственную интуицию и категории рассудка. Однако применение таких методов на практике в итоге выявляет свойства симуляций, которые обладают самостоятельным онтологическим и, что более интересно, эпистемическим потенциалом, который усиливает количественно и качественно (что и представляет интерес с точки зрения возможности появления новых способов познания) когнитивные способности человека.

В третьей части подробно рассмотрены эти особенности компьютерных симуляций, но с точки зрения трансцендентальной онтологии и возможности ее преодоления. Разбирая эту проблематику, я выделяю четыре важные характеристики, которые демонстрируют онтологическую структуру симуляций относительно трансцендентальной онтологии: 1) синтаксис и семантика; 2) количественное усиление познавательных способностей; 3) качественное усиление познавательных способностей; 4) навигация относительно трансцендентальной онтологии (внутри и вне ее границ).

Эти четыре шага последовательно приводят к выводу о двухуровневой онтологической структуре симуляций, они характеризуются соотношением с пределами трансцендентальной онтологии: 1) уровень внутри пределов — соответствие априорным формам познания; 2) уровень за пределами — не поддается познанию в рамках чувственной интуиции и кантовской системы категорий априорных форм рассудка.

Литература

- Allison, H. (2004) *Kant's Transcendental Idealism: An Interpretation and Defense*, New Haven and London: Yale University Press, Revised and Enlarged Edition.
- Alvarenga, T., Polo, I., Pereira, W., Caldas, L. (2020) *Use of Monte Carlo simulation and the Shadow-Cone Method to evaluate the neutron scattering correction at a calibration laboratory*, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 170.
- Aquila, R. (1983) *Representational Mind: A Study of Kant's Theory of Knowledge*, Bloomington: Indiana University Press.
- Babaei, A., Motameni, H., Enayatifar, R. (2020) *A new permutation-diffusion-based image encryption technique using cellular automata and DNA sequence*, Optik, Vol. 203.
- Bird, G. (1962) *Kant's Theory of Knowledge: An Outline of One Central Argument in the Critique of Pure Reason*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Bird, G. (2006) *The Revolutionary Kant: A Commentary on the Critique of Pure Reason*, Chicago and La Salle: Open Court.
- Brailsford, S., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N., Osorio, A. (2019) *Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review*. *European Journal of Operational Research*, Vol. 278, Issue 3, pp. 721–737.

- Brandner, A., Schüller, A., Melo, F., Pantano, S. (2018) Exploring DNA dynamics within oligonucleosomes with coarse-grained simulations: SIRAH force field extension for protein-DNA complexes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol. 498, Issue 2, pp. 319–326.
- Branford, S., Sahin, C., Thandavan, A., Weihrauch, C., Alexandrov, V., Dimov, I. (2008) Monte Carlo Methods for matrix computations on the grid. *Future Gener. Comput. Syst.* 24, pp. 605–612.
- Buckingham, E. (1907) *Studies on the Movement of Soil Moisture*, USDA Bureau of Soils – Bulletin. 38.
- Camarasu-Pop, S., Glatard, T., Silva, R., Gueth, P., Sarrut, D., BenoitCattin, H. (2013) Monte Carlo Simulation on heterogeneous distributed systems: A computing framework with parallel merging and check pointing strategies. *Future Gener. Comput. Syst.* 29, pp. 728–738.
- Cances, C., Pop, I., Vohralík, M. (2014) An a posteriori error estimate for vertex-centered finite volume discretizations of immiscible incompressible two-phase flow. *Math. Comput.* 83 (285), pp. 153–188.
- Cirne, W., Brasileiro, F., Paranhos, D., Goes, L., Voorsluys, W. (2007) On the efficacy, efficiency and emergent behavior of task replication in large distributed systems. *Parallel Comput.* 33, pp. 213–234.
- Derrida, J. (1997) *Of Grammatology*, Translated by Gayatri Chakravorty Spivak, corrected ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, first published 1967 as *De la grammatologie* (Paris: Minuit).
- Dolejší, V., Feistauer, M. (2015) *Discontinuous Galerkin Method – Analysis and Applications to Compressible Flow*, Springer Series in Computational Mathematics 48, Springer. Cham.
- Dolejší, V., Roskovec, F., Vlasák, M. (2015) Residual based error estimates for the space-time discontinuous Galerkin method applied to the compressible flows, *Comput. Fluids* 117, pp. 304–324.
- Dolejší, V., Kuraz, M., Solin, P. (2019) Adaptive higher-order space-time discontinuous Galerkin method for the computer simulation of variably-saturated porous media flows, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 72, pp. 276–305.
- Duran, M. (2018) *Computer simulations in science and engineering: Concepts-Practices-Perspectives*, Cham: Springer.
- Fendt, C. (2019) *Approaching the Black Hole by Numerical Simulations*, Universe. 5.
- Ferrante, F., Liveri, V. (2005) Time evolution of size and polydispersity of an ensemble of nanoparticles growing in the confined space of AOT reversed micelles by computer simulations. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 259, pp. 7–13.
- Figueiras, E., Paredes, O., Michinel, H. (2019) QMBlender: Particle-based visualization of 3D quantum wave function dynamics. *Journal of Computational Science*, Vol. 35, pp. 44–56.
- Florimbi, G., Torti, E., Masoli, S., D'Angelo, E., Danese, G., Leporati, F. (2016) The Human Brain Project: Parallel technologies for biologically accurate simulation of Granule cells. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 47, Part B, pp. 303–313.
- Ford, K., Glymour, C., Hayes, P. (2006) *Thinking About Android*. Epistemology. Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Frigg, R. (2009) Models and fiction. *Synthese*, 172(2), pp. 251–268.
- Giere R. (2004) How Models are used to Represent Reality, *Philosophy of Science (Proceedings)*, 71(5), pp. 742–752.

- Glatard, T., Montagnat, J., Lingrand, D., Pennec, X. (2008) *Flexible and efficient workflow deployment of data-intensive applications on grids with MO-TEUR*, Int. J. High Perform. Comput. Appl. 22, pp. 347–360.
- Guala, F. (2002) Models, Simulations, and Experiments, In: Magnani, L., Nersessian, N.J. (ed.) *Model-Based Reasoning*. Springer, Boston, MA, pp. 59–74.
- Guyer, P. (1987) *Kant and the Claims of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Elliott-Graves, A. (2014) *The Role of Target Systems in Scientific Practice*. Dissertation in Philosophy presented to the Faculties of the University of Pennsylvania.
- Ern, A., Stephansen, A., Vohralík, M. (2010) Guaranteed and robust discontinuous Galerkin a posteriori error estimates for convection-diffusion-reaction problems. *J. Comput. Appl. Math.* 234 (1), pp. 114–130.
- Hartmann, S. (1996) *The World as a Process*, In: Hegselmann R., Mueller U., Troitzsch K.G. (ed.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View. Theory and Decision Library (Series A: Philosophy and Methodology of the Social Sciences)*, vol. 23. Springer, Dordrecht, pp. 77–100.
- Humphreys, P. (2009) The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods. *Synthese*. Vol. 169. No. 3, pp. 615–626.
- Huyakorn, P., Thomas, S., Thompson, B. (1984) Techniques for making finite elements competitive in modeling flow in variably saturated porous media. *Water Resour. Res.* 20 (8), pp. 1099–1115.
- Iden, S., Blöcher, J., Diamantopoulos, E., Peters, A., Durner, W. (2019) *Numerical test of the laboratory evaporation method using coupled water, vapor and heat flow modelling*. *J. Hydrol.* 570, pp. 574–583.
- Kant, I. (1900-) *Kritik der reinen Vernunft*. Kant's gesammelte Schriften, ed. Königlichen Preußischen (later Deutschen) Akademie der Wissenschaften. Berlin: Georg Reimer (later Walter De Gruyter), Vol. 3, Vol. 4.
- Kant, I. (1998) *Critique of pure reason*. Guyer P. and Wood A. (ed.). New York: Cambridge University Press. 1998.
- Kuraz, M., Mayer, P., Havlicek, V., Pech, P., Pavlasek, J. (2013). Dual permeability variably saturated flow and contaminant transport modeling of a nuclear waste repository with capillary barrier protection. *Appl. Math. Comput.* 219 (13), pp. 7127–7138.
- Laganapan, A., Cerbelaud, M., Ferrando, R., Tran, C., Crespin, B., Videcoq, A. (2018). *Computer simulations of heteroaggregation with large size asymmetric colloids*. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 514, pp. 694–703.
- Langton, R. (1998). *Kantian Humility: Our Ignorance of Things in Themselves*. Oxford: Clarendon Press.
- Li Y., Chen M., Zheng X., Dou Z., Cheng Y. (2020) *Relationship between behavior aggressiveness and pedestrian dynamics using behavior-based cellular automata model*, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 371.
- Markram, H. (2012). *The Human in Brain Project*. *Scientific American*, Vol. 306, No. 6, pp. 50–55.
- Milašinović, M., Randelović, A., Jaćimović, N., Prodanović, D., (2019). Coupled groundwater hydrodynamic and pollution transport modelling using Cellular Automata approach. *Journal of Hydrology*, Vol. 576, pp. 652–666.
- Murray, RJ, Schaer, M, Debbane, M. (2012). Degrees of separation: a quantitative neuroimaging meta-analysis investigating self-specificity and shared

- neural activation between self- and other-reflection. *Neurosci Behav Rev*, pp. 1043-1059.
- Northoff, G, Heinzl, A, de Greck, M, Bermpohl, F, Dobrowlny, H, Panksepp, J. (2006) Self-referential processing in our brain—a meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage* 31, pp. 440–57.
- Northoff, G. (2017). Personal identity and cortical midline structure (CMS): do temporal features of CMS neural activity transform into “selfcontinuity”? *Psychol Inq* 28, pp. 121-131.
- Nordlund, K. (2019). Historical review of computer simulation of radiation effects in material. *Journal of Nuclear Materials*, 520, pp. 273–295.
- Park, J., Kim, S., Ku, Y., Kim, C., Lee, H., Jeong, J., Lee, S., Shin, D. (2019) Multi-slit prompt-gamma camera for locating of distal dose falloff in proton therapy. *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 51, Issue 5, pp. 1406-1416.
- Popper, K. (1972). Epistemology Without a Knowing Subject. In: Popper, K. (1972). *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford: Oxford University Press, pp. 106–152.
- Prauss, G. (1974). *Kant und das Problem der Dinge an sich*, Bonn: Bouvier.
- Strawson, P. (1966). *The Bounds of Sense: An Essay on Kant's Critique of Pure Reason*. London and New York: Routledge.
- Richards, L. (1931), *Capillary conduction of liquids through porous mediums*, *J. Appl. Phys.* 1 (5), pp. 318–333.
- Richit, L., Bonatto, C., Silva, R., Grzybowski, J. (2019) Prognostics of forest recovery with recovery GRASS-GIS module: an open-source forest growth simulation model based on the diffusive-logistic equation. *Environmental Modelling & Softwar*, Vol. 111, pp. 108–120.
- Romiszowski, P., Sikorski, A. (2005). Dynamics of polymer chains in confined space. A computer simulation study. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, vol. 357(2), pp. 356–363.
- Robben, L. (2020). Cage reactions in sodalites – A phenomenological approach using cellular automata. *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 294.
- Rheinberger, Hans-J. (1998). Experimental Systems – Graphematic Spaces. In: Timothy Lenoir (Hrsg.): *Inscribing Science. Scientific Texts and the Materiality of Communication*. Stanford University Press, Stanford CA, pp. 285–303.
- Santos, C., Santos, W., Perini, A., Valeriano, C., Belinato, W., Caldas, L., Neves, L. (2020). Evaluation of polymer gels using Monte Carlo simulations. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 167.
- Sitko, M., Chao, Q., Wang, J., Perzynski, K., Muszka, K., Madej, L. (2020). A parallel version of the cellular automata static recrystallization model dedicated for high performance computing platforms – Development and verification. *Computational Materials Science*, Vol. 172.
- Stavrakas, V., Papadelis, S., Flamos, A. (2019). An agent-based model to simulate technology adoption quantifying behavioural uncertainty of consumers. *Applied Energy*, Vol. 255.
- Sun, X., Wang, H., Li, X., Cao, G., Kuang, Y., Zhang, X. (2020). Monte Carlo computer simulation of a camera system for proton beam range verification in cancer treatment. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 102, pp. 978–991.
- Teixeira, P., Davyt, D., Didier, E., Ramalhais, R. (2013). Numerical simulation of an oscillating water column device using a code based on Navier-Stokes equations. *Energy*, Vol. 61, pp. 513–530.

- Tesfatsion, L. (2003). Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems. *Information Sciences*, Vol. 149, Issue 4, pp. 262–268.
- Titt, U., Bednarz, B., Paganetti, H. (2012). *Comparison of MCNPX and Geant4 proton energy deposition predictions for clinical use*, *Phys. Med. Biol.* 57, pp. 6381–6393.
- Van Cleve, J. (1999). *Problems From Kant*. New York and Oxford: Oxford University Press.
- Walker, H., Ni P. (2011). *Anderson acceleration for fixed-point iterations*. *SIAM J. Numer. Anal.* 49 (4), pp. 1715–1735.
- Vohralik, M., Wheeler, M. (2013). A posteriori error estimates, stopping criteria, and adaptivity for two-phase flows. *Comput. Geosci.* 17 (5), pp. 789–812.
- Weisberg, M. (2013). *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. Oxford Studies in Philosophy of Science.
- Würzer, S., Wever, N., Juras, R., Lehning, M., Jonas, T. (2017). Modelling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions – considering preferential flow. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21 (3), pp. 1741–1756.
- Zawalski, B., Tuszyńska, I., Wilczyński, B. (2019). *QChromosomeVisualizer: A new tool for 3D visualization of long simulations of polymer-like chromosome models*, *Methods*.
- Zhang, J., Li, X., Xu, D., Yang, R. (2019). Recent progress in the simulation of microstructure evolution in titanium alloys. *Progress in Natural Science: Materials International*, Vol. 29, Issue 3, pp. 295–304.
- Кант, И. (1994). *Критика чистого разума. Собрание сочинений в восьми томах. Под общей редакцией проф. Гулыги А. Том 3. Издательство «Чоро»*.
- Нарский, И. (1976). *Кант*. Москва: Издательство «Мысль». Главная редакция социально-экономической литературы. Серия «Мыслители прошлого».
- Хамдамов, Т. (2019). Определение термина компьютерных симуляций научных экспериментов через анализ природы феномена. *Социальные и гуманитарные науки: теория и практика*. 2019. № 1(3), с. 167–183.
- Хамдамов, Т. (2020). Практическая сторона нейроэтики и основания нейрофилософии в крупных проектах изучения мозга человека. *Философия. Журнал Высшей школы экономики*. Т. IV, № 1, с. 42–84.

References

- Allison, H. (2004) *Kant's Transcendental Idealism: An Interpretation and Defense*, New Haven and London: Yale University Press, Revised and Enlarged Edition.
- Alvarenga, T., Polo, I., Pereira, W., Caldas, L. (2020) *Use of Monte Carlo simulation and the Shadow-Cone Method to evaluate the neutron scattering correction at a calibration laboratory*, *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 170.
- Aquila, R. (1983) *Representational Mind: A Study of Kant's Theory of Knowledge*, Bloomington: Indiana University Press.
- Babaei, A., Motameni, H., Enayatifar, R. (2020) *A new permutation-diffusion-based image encryption technique using cellular automata and DNA sequence*, *Optik*, Vol. 203.

- Bird, G. (1962) *Kant's Theory of Knowledge: An Outline of One Central Argument in the Critique of Pure Reason*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Bird, G. (2006) *The Revolutionary Kant: A Commentary on the Critique of Pure Reason*, Chicago and La Salle: Open Court.
- Brailsford, S., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N., Osorio, A. (2019) Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 278, Issue 3, pp. 721–737.
- Brandner, A., Schüller, A., Melo, F., Pantano, S. (2018) Exploring DNA dynamics within oligonucleosomes with coarse-grained simulations: SIRAH force field extension for protein–DNA complexes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol. 498, Issue 2, pp. 319–326.
- Branford, S., Sahin, C., Thandavan, A., Weihrauch, C., Alexandrov, V., Dimov, I. (2008) Monte Carlo Methods for matrix computations on the grid. *Future Gener. Comput. Syst.* 24, pp. 605–612.
- Buckingham, E. (1907) *Studies on the Movement of Soil Moisture*, USDA Bureau of Soils – Bulletin. 38.
- Camarasu-Pop, S., Glatard, T., Silva, R., Gueth, P., Sarrut, D., BenoitCattin, H. (2013) Monte Carlo Simulation on heterogeneous distributed systems: A computing framework with parallel merging and check pointing strategies. *Future Gener. Comput. Syst.* 29, pp. 728–738.
- Cances, C., Pop, I., Vohralík, M. (2014) An a posteriori error estimate for vertex-centered finite volume discretizations of immiscible incompressible two-phase flow. *Math. Comput.* 83 (285), pp. 153–188.
- Cirne, W., Brasileiro, F., Paranhos, D., Goes, L., Voorsluys, W. (2007) On the efficacy, efficiency and emergent behavior of task replication in large distributed systems. *Parallel Comput.* 33, pp. 213–234.
- Derrida, J. (1997) *Of Grammatology*, Translated by Gayatri Chakravorty Spivak, corrected ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, first published 1967 as *De la grammatologie* (Paris: Minuit).
- Dolejší, V., Feistauer, M. (2015) *Discontinuous Galerkin Method – Analysis and Applications to Compressible Flow*, Springer Series in Computational Mathematics 48, Springer. Cham.
- Dolejší, V., Roskovec, F., Vlasák, M. (2015) Residual based error estimates for the space-time discontinuous Galerkin method applied to the compressible flows, *Comput. Fluids* 117, pp. 304–324.
- Dolejší, V., Kuraz, M., Solin, P. (2019) Adaptive higher-order space-time discontinuous Galerkin method for the computer simulation of variably-saturated porous media flows, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 72, pp. 276–305.
- Duran, M. (2018) *Computer simulations in science and engineering: Concepts-Practices-Perspectives*, Cham: Springer.
- Fendt, C. (2019) *Approaching the Black Hole by Numerical Simulations*, Universe. 5.
- Ferrante, F., Liveri, V. (2005) Time evolution of size and polydispersity of an ensemble of nanoparticles growing in the confined space of AOT reversed micelles by computer simulations. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 259, pp. 7–13.
- Figueiras, E., Paredes, O., Michinel, H. (2019) QMBlender: Particle-based visualization of 3D quantum wave function dynamics. *Journal of Computational Science*, Vol. 35, pp. 44–56.
- Florimbi, G., Torti, E., Masoli, S., D'Angelo, E., Danese, G., Leporati, F. (2016) The Human Brain Project: Parallel technologies for biologically accurate

- simulation of Granule cells. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 47, Part B, pp. 303–313.
- Ford, K., Glymour, C., Hayes, P. (2006) *Thinking About Android*. Epistemology. Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Frigg, R. (2009) Models and fiction. *Synthese*, 172(2), pp. 251–268.
- Giere R. (2004) *How Models are used to Represent Reality*, *Philosophy of Science* (Proceedings), no. 71(5), pp. 742–752.
- Glatard, T., Montagnat, J., Lingrand, D., Pennec, X. (2008) *Flexible and efficient workflow deployment of data-intensive applications on grids with MO-TEUR*, *Int. J. High Perform. Comput. Appl.* 22, pp. 347–360.
- Guala, F. (2002) Models, Simulations, and Experiments, In: Magnani, L., Nersessian, N. J., ed. *Model-Based Reasoning*. Springer, Boston, MA, pp. 59–74.
- Guyer, P. (1987) *Kant and the Claims of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Elliott-Graves, A. (2014). *The Role of Target Systems in Scientific Practice. Dissertation in Philosophy presented to the Faculties of the University of Pennsylvania*.
- Ern, A., Stephansen, A., Vohralík, M. (2010) Guaranteed and robust discontinuous Galerkin a posteriori error estimates for convection-diffusion-reaction problems. *J. Comput. Appl. Math.* 234 (1), pp. 114–130.
- Hartmann, S. (1996) *The World as a Process*, In: Hegselmann R., Mueller U., Troitzsch K.G. (ed.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View. Theory and Decision Library* (Series A: Philosophy and Methodology of the Social Sciences), Vol. 23. Springer, Dordrecht, pp. 77–100.
- Humphreys, P. (2009) The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods. *Synthese*. Vol. 169. no. 3, pp. 615–626.
- Huyakorn, P., Thomas, S., Thompson, B. (1984) Techniques for making finite elements competitive in modeling flow in variably saturated porous media. *Water Resour. Res.* no. 20 (8), pp. 1099–1115.
- Iden, S., Blöcher, J., Diamantopoulos, E., Peters, A., Durner, W. (2019) *Numerical test of the laboratory evaporation method using coupled water, vapor and heat flow modelling*. *J. Hydrol.* 570, pp. 574–583.
- Kant, I. (1900-) *Kritik der reinen Vernunft*. Kant's gesammelte Schriften, ed. Königlichem Preußischen (later Deutschen) Akademie der Wissenschaften. Berlin: Georg Reimer (later Walter De Gruyter), Vol. 3, Vol. 4.
- Kant, I. (1998) *Critique of pure reason*. Guyer P. and Wood A. (ed.). New York: Cambridge University Press. 1998.
- Kant, I. (1994) *Critique of pure reason*. Collected Works in eight volumes, under the general ed. of prof. Guliga A., Vol. 3, Translation Lossky N., Publishing House Choro.
- Khamdamov, T. (2019) *The term's definition of computer simulation scientific experiments through analysis the phenomenon*, *Social Sciences and Humanities: Theory and Practice*, Vol. 1(3), pp. 167–183.
- Khamdamov, T. (2020) *Prakticheskaya storona neyroetiki i osnovaniya neyrofilosofii v krupnykh proyektakh izucheniya mozga cheloveka* [The Practical Part of Neuroethics and the Basis of Neurophilosophy in Large Projects of Studying the Human Brain] [in Russian]. *Filosofiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki* [Philosophy. Journal of the Higher School of Economics] IV(1), pp. 42–84.

- Kuraz, M., Mayer, P., Havlicek, V., Pech, P., Pavlasek, J. (2013) Dual permeability variably saturated flow and contaminant transport modeling of a nuclear waste repository with capillary barrier protection. *Appl. Math. Comput.* no. 219 (13), pp. 7127–7138.
- Laganapan, A., Cerbelaud, M., Ferrando, R., Tran, C., Crespin, B., Videcoq, A. (2018) *Computer simulations of heteroaggregation with large size asymmetric colloids.* *Journal of Colloid and Interface Science.* Vol. 514, pp. 694–703.
- Langton, R. (1998) *Kantian Humility: Our Ignorance of Things in Themselves.* Oxford: Clarendon Press.
- Li Y., Chen M., Zheng X., Dou Z., Cheng Y. (2020) *Relationship between behavior aggressiveness and pedestrian dynamics using behavior-based cellular automata model,* *Applied Mathematics and Computation,* Vol. 371.
- Markram, H. (2012) *The Human in Brain Project.* *Scientific American,* Vol. 306, No. 6, pp. 50–55.
- Milašinović, M., Randelović, A., Jaćimović, N., Prodanović, D., (2019). Coupled groundwater hydrodynamic and pollution transport modelling using Cellular Automata approach. *Journal of Hydrology,* Vol. 576, pp. 652–666.
- Murray, RJ, Schaer, M, Debbane, M. (2012) Degrees of separation: a quantitative neuroimaging meta-analysis investigating self-specificity and shared neural activation between self- and other-reflection. *Neurosci Behav Rev,* pp. 1043–1059.
- Narsky, I. (1976) *Kant,* Moscow: Publishing House Thought, The main edition of socio-economic literature, Series “Thinkers of the Past”.
- Northoff, G, Heinzl, A, de Greck, M, Bermpohl, F, Dobrowlny, H, Panksepp, J. (2006) Self-referential processing in our brain—a meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage* 31, pp. 440–57.
- Northoff, G. (2017) Personal identity and cortical midline structure (CMS): do temporal features of CMS neural activity transform into “selfcontinuity”? *Psychol Inq* 28, pp. 121–131.
- Nordlund, K. (2019) Historical review of computer simulation of radiation effects in material. *Journal of Nuclear Materials,* 520, pp. 273–295.
- Park, J., Kim, S., Ku, Y., Kim, C., Lee, H., Jeong, J., Lee, S., Shin, D. (2019) Multi-slit prompt-gamma camera for locating of distal dose falloff in proton therapy. *Nuclear Engineering and Technology,* Vol. 51, Issue 5, pp. 1406–1416.
- Popper, K. (1972) *Epistemology Without a Knowing Subject.* In: Popper, K. (1972). *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach.* Oxford: Oxford University Press, pp. 106–152.
- Prauss, G. (1974) *Kant und das Problem der Dinge an sich,* Bonn: Bouvier.
- Strawson, P. (1966) *The Bounds of Sense: An Essay on Kant's Critique of Pure Reason.* London and New York: Routledge.
- Richards, L. (1931) *Capillary conduction of liquids through porous mediums,* *J. Appl. Phys.* no. 1 (5), pp. 318–333.
- Richit, L., Bonatto, C., Silva, R., Grzybowski, J. (2019) Prognostics of forest recovery with recovery GRASS-GIS module: an open-source forest growth simulation model based on the diffusive-logistic equation. *Environmental Modelling & Softwar,* Vol. 111, pp. 108–120.
- Romiszowski, P., Sikorski, A. (2005) Dynamics of polymer chains in confined space. A computer simulation study. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* Elsevier, Vol. 357(2), pp. 356–363.
- Robben, L. (2020) Cage reactions in sodalites – A phenomenological approach using cellular automata. *Microporous and Mesoporous Materials,* Vol. 294.

- Rheinberger, Hans-J. (1998) Experimental Systems — Graphematic Spaces. In: Timothy Lenoir (Hrsg.): *Inscribing Science. Scientific Texts and the Materiality of Communication*. Stanford University Press, Stanford CA, pp. 285–303.
- Santos, C., Santos, W., Perini, A., Valeriano, C., Belinato, W., Caldas, L., Neves, L. (2020) Evaluation of polymer gels using Monte Carlo simulations. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 167.
- Sitko, M., Chao, Q., Wang, J., Perzynski, K., Muszka, K., Madej, L. (2020) A parallel version of the cellular automata static recrystallization model dedicated for high performance computing platforms — Development and verification. *Computational Materials Science*, Vol. 172.
- Stavarakas, V., Papadelis, S., Flamos, A. (2019) An agent-based model to simulate technology adoption quantifying behavioural uncertainty of consumers. *Applied Energy*, Vol. 255.
- Sun, X., Wang, H., Li, X., Cao, G., Kuang, Y., Zhang, X. (2020) Monte Carlo computer simulation of a camera system for proton beam range verification in cancer treatment. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 102, pp. 978–991.
- Teixeira, P., Davyt, D., Didier, E., Ramalhais, R. (2013) Numerical simulation of an oscillating water column device using a code based on Navier-Stokes equations. *Energy*, Vol. 61, pp. 513–530.
- Tesfatsion, L. (2003) Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems. *Information Sciences*, Vol. 149, Issue 4, pp. 262–268.
- Titt, U., Bednarz, B., Paganetti, H. (2012) *Comparison of MCNPX and Geant4 proton energy deposition predictions for clinical use*, Phys. Med. Biol. 57, pp. 6381–6393.
- Van Cleve, J. (1999). *Problems From Kant*. New York and Oxford: Oxford University Press.
- Walker, H., Ni P. (2011). *Anderson acceleration for fixed-point iterations*. SIAM J. Numer. Anal. 49 (4), pp. 1715–1735.
- Vohralik, M., Wheeler, M. (2013) A posteriori error estimates, stopping criteria, and adaptivity for two-phase flows. *Comput. Geosci*, 17 (5), pp. 789–812.
- Weisberg, M. (2013) *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. Oxford Studies in Philosophy of Science.
- Würzer, S., Wever, N., Juras, R., Lehning, M., Jonas, T. (2017) Modelling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions — considering preferential flow. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21 (3), pp. 1741–1756.
- Zawalski, B., Tuszyńska, I., Wilczyński, B. (2019) *QChromosomeVisualizer: A new tool for 3D visualization of long simulations of polymer-like chromosome models*, Methods.
- Zhang, J., Li, X., Xu, D., Yang, R. (2019) Recent progress in the simulation of microstructure evolution in titanium alloys. *Progress in Natural Science: Materials International*, Vol. 29, Issue 3, pp. 295–304.