

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

### COMPUTATIONAL PHYSICS AND COSMOLOGY

**M. Openkov  
N. Tetenkov**

*Summary.* The article is devoted to modern attempts to represent physical reality. One such attempt is the physical metaphor of the Turing machine, which allows us to compare mathematical calculations with a physical process, which allows us to consider in physical terms the laws of storage and processing of information and computational physics. Twentieth century proposed to describe the physical reality of the theory of cellular automata—a mathematical construction, its structure resembles a cell. Of interest is the theory of constructs, which States that science can be formulated in terms of the difference between possible and impossible transformations. The third option is not possible in this system.

*Keywords:* cellular automaton, Turing machine, computational physics, cosmology, Wigner, Zuse, Deutch.

**Опёнков Михаил Юрьевич**

*Д.ф.н., профессор, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Россия Архангельск kotobarz@gmail.com*

**Тетенков Николай Борисович**

*К.ф.н., доцент, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Россия Архангельск tenibo@yandex.ru*

*Аннотация.* Статья посвящена современным попыткам представить физическую реальность. Одной из таких попыток является физическая метафора машины Тьюринга, которая позволяет сравнить математические вычисления с физическим процессом, что позволяет рассмотреть в физических терминах закономерности хранения и обработки информации и вычислительную физику. XX век предложил для описания физической реальности теорию клеточных автоматов — математическую конструкцию, своим строением напоминающую клетку. Интерес представляет и теория конструкторов, которая утверждает, что науку возможно сформулировать в понятиях разницы между возможными и невозможными трансформациями. Третий вариант в этой системе невозможен.

*Ключевые слова:* клеточный автомат, машина Тьюринга, вычислительная физика, космология, Вигнер, Цузе, Дойч.

**11** мая 1959 года Юджином или Енё Пал Вигнером (1902–1995), нобелевским лауреатом 1963 года по физике, был прочитан доклад «Непостижимая эффективность математики в естественных науках». [1].

В докладе Вигнер рассмотрел две главные темы:

1. между математическими понятиями возможны неожиданные связи, позволяющие точно описывать различные явления природы;
2. Мы не знаем в силу каких причин математические понятия столь эффективны, поэтому невозможно утверждать, что теория, опирающаяся на математические понятия,— это единственно возможная теория. Вигнер подчёркивал: «Эффективность математики в естественных науках есть нечто загадочное и не поддающееся рациональному объяснению» [1, стр. 536].

Существует афоризм, принадлежащий немецкому логика Вальтеру Дубиславу (1985–1937): «Философия — это злоупотребление специально разработанной терминологией». Следуя этому афоризму, Вигнер определил математику: «...как науку о хитроумных операциях, проводимых по специально разработанным правилам над специально придуманными понятиями» [2], тем самым, важным становятся создание новых понятий.

Глубина смысла, заложенного в новом понятии, выясняется в ходе использования этого понятия. Великий математик использует весь арсенал приемов мышления, балансируя на грани риска впасть в противоречие. Новые понятия математики необходимы для производства сложных логических операций, импонирующих чувству прекрасного.

Философ науки Майкл Полани (1891–1976) был другом Юджина Вигнера и в основном повлиял на его эпи-

стемологические воззрения. Полани полагал: «Математику как науку нельзя определить, не признав ее наиболее очевидного свойства, того, что она интересна» [3].

Выдающийся современный математик Ю.И. Манин заметил: «Вычислительный формализм математики — мысль, экстерииоризированная до такой степени, что она на время отчуждается и превращается в технологический процесс. Математический образ формируется в тяжком приживлении к человеку этой временно отторгнутой мысли.

**Думать — значит вычислять, волнуясь**» (курсив наш). [4]

Именно Алан Мэтисон Тьюринг (1912–1954) использовал физическую метафору машины Тьюринга в качестве описания алгоритмизированного мышления. Сравнение вычисления с физическим процессом позволило осмыслить в физических терминах закономерности хранения и обработки информации, и соответственно, вычислительную физику.

Итак, все началось с Алана Тьюринга, с именем которого связывают три достижения:

1. Решение математической проблемы при помощи конструкции, известной как Универсальная машина Тьюринга (УМТ);
2. создание УМТ как универсальной вычислительной машин;
3. идея создания компьютеров, которые могли бы имитировать когнитивные функции, оцениваемые при помощи игры в подражание. [5]

Если УМТ имеет ограничения, которые невозможно преодолеть без нарушения законов физики, то какие из ограничений свойственны естественным механизмам, способным выполнять вычислительные или логические операции? Этот вопрос главный и даже тревожный, когда мы исследуем такие важные естественные механизмы жизни — разум человека и Вселенная.

В XX веке одним из способов представления физической реальности становится теория клеточных автоматов, где под клеточным автоматом понимается математическая конструкция, своим строением напоминающая клетку. Для исследований чаще всего использовалась двумерная сетка, где каждая клетка подвергается влиянию соседних клеток, тем самым все клетки образуют простую сеть. Для создания УМТ, по Нейману, достаточно клеток, имеющих 29 состояний.

В 1969 году Конрад Цузе (1910–19995) издал короткую книгу под названием «Вычислительное пространство» [6], в которой утверждал, что наша Вселенная — это клеточный автомат.

Исторически законом физики приписывается непрерывность, законы физики выражаются через вещественные числа и связаны дифференциальными уравнениями, наоборот, квантовая теория утверждает, что Вселенная дискретна, и в основе её лежит цифровая природа, а непрерывность Вселенной — иллюзия.

Возникает вопрос: является ли реальность цифровой, аналоговой или гибридной?

Развитие Вселенной от простого к сложному, возможно на основе довольно простых законов, что очень напоминает клеточные автоматы.

Джон Арчибалд Уилер (1911–2008) считал, что Вселенная связана с человеком, наблюдающим за ней. Наблюдая за Вселенной человек задаётся вопросами типа «да-нет». Этот процесс характеризовался им фразой «It from bit» (это из бита). Это означает, что все тела в своей основе теоретико-информационные, что мир сделан из информации.

Одним из сторонников идеи мультивселенной является Дэвид Дойч (1953), который утверждал, что корпускулярно-волновые парадоксы квантовой теории — это влияние иных миров, искажающих квантовые явления [7].

Известная нам Вселенная — это одна из возможных вселенных в абсолютной мультивселенной. Рассуждая о генераторах виртуальной реальности, Дойч развивает принцип Тьюринга в собственной интерпретации: считается, что принцип Тьюринга относится к вычислительным механизмам, есть универсальный компьютер, в него заложены вычисления, благодаря которым возможно осуществить любой физический объект. Компьютер наделяется способностью моделировать любой физический процесс. Остается только вопрос: будет ли этот компьютер классическим или квантовым?

Суть идеи теории конструктора состоит в том, чтобы обобщить квантовую теорию вычислений так, чтобы она покрывала не только расчеты, но и множество остальных физических систем и законов физики. Это позволит получить новый способ описания физических систем и законов физики. Появятся новые законы, которые будут намного глубже самых глубоких нынешних теорий, таких как квантовая механика и теория относительности.

Одним из первых плодов этой теории стала формулировка новой основы для теории информации.

С одной стороны, информация исключительно абстрактна. Изначальная теория вычислений, предложенная Аланом Тьюрингом, воспринимала компьютеры

и информацию как математические объекты. Многие математики по сей день не понимают, что информация представляет собой физическую сущность, и такой вещи, как абстрактный компьютер, просто не существует. Вычислениями может заниматься лишь физический объект.

С другой стороны, физики всегда знали, что информация представляет собой физическую сущность, но информация должна быть независима от физического объекта, в котором она находится.

Теория конструктора находится на более фундаментальном уровне физики и физических систем, чем частицы и волны, пространство и время, изначальное состояние и законы движения, описывающие эволюцию этого изначального состояния.

В основе нашей надежды на формирование новой основы для законов физики лежит квантовая теория вычислений. Некоторое время казалось, что квантовая теория вычислений — это и есть вся физика. Казалось вполне разумным считать, что универсальный квантовый компьютер может моделировать любой другой конечный физический объект с произвольной точностью. Это значит, что множество всех возможных движений, иными словами, расчетов универсального компьютера соответствует набору всех возможных движений любого объекта.

В определенном смысле изучение универсального квантового компьютера — то же самое, что изучение любого другого физического объекта. Он содержит в себе все возможные движения всех возможных физических объектов.

Затем Дойч установил, что в этой логике имеется важный разрыв. Хотя квантовый компьютер может моделировать любой другой объект и представлять его так, что вы можете изучать через его характеристики в рамках программы, квантовая теория вычислений не может сказать, какая именно программа соответствует тому или иному физическому объекту. Это вопрос фундаментальной важности. Если говорят только то, что физическая система соответствует той или иной программе квантового компьютера, но вы не знаете, какой именно, то это значит, что суть физики не определена.

Для того, чтобы теория конструктора обеспечивала новое содержание, нужно понять, что законы теории конструктора, говорят не об изначальном состоянии, законах движения, финальном состоянии, а лишь о том, какие трансформации возможны, а какие нет.

Законы движения и другие подобные вещи представляют собой косвенные и отдаленные последствия представления о том, что возможно. Законы теории конструктора

говорят о том, можно ли это сделать в принципе. Эта теория аналогична теории вычислений. Теория вычислений говорит о том, какая трансформация информации возможна, а какая нет.

В случае теории конструктора важно понимать, какие трансформации физических объектов возможны, а какие нет. Если они возможны, то обычно множеством способов. Когда они невозможны, то потому что их запрещают те или иные законы физики. По словам Карла Поппера (1902–1944), суть любой научной теории состоит в том, что она не только что-то запрещает, но и объясняет, по каким причинам она это делает [8].

Если имеется теория того, что возможно, а что нет, то она подспудным образом говорит о том, что представляют собой все законы физики.

В определенном смысле эта теория, как квантовая механика, теория относительности и любые другие фундаментальные постулаты в физике, пересекаются с философией, поэтому наличие правильной философии — представляющей собой философию Поппера — хоть и не является необходимым, крайне полезно для того, чтобы не пошли по неверному пути.

Поппер более всего знаменит своим критерием демаркации между наукой и метафизикой: к научным теориям относятся те, которые в принципе могут проверять с помощью эксперимента. Это отличается от того, что он называл метафизическими теориями (их лучше было бы называть философскими).

Концепция проверяемости далеко не так проста, как может показаться на первый взгляд. Поппер очень детально изучил этот вопрос и изложил ряд принципов, которые заставили Дойча задаться вопросом: в каком смысле теория конструктора тестируема?

Теория конструктора состоит из языка, на котором выражаются другие теории (речь идет не об истинности или ложности, а лишь об удобстве или неудобстве), а также законов. Эти законы говорят не о физических объектах, а о других законах. Они говорят, что другие законы должны следовать принципам теории конструктора. Как можно протестировать закон о законах?

Эта проблема была решена Поппером.

Дойч предлагает назвать законы о законах принципами. В качестве примера берется принцип сохранения энергии, которому должны следовать все законы. Никто не провел эксперимента, способного продемонстрировать нарушение этого принципа, так как провести такой эксперимент невозможно.

Этот метод уже использовался в истории физики для открытия нейтрино. Ученые заметили, что при бета-распаде происходит нарушение закона сохранения энергии, а затем Паули предположил, что энергия могла переноситься невидимой частицей, которую невозможно выявить. Его мысль оказалась правильной, однако ее тестирование будет проводиться не с помощью экспериментов, а с помощью наблюдений за тем, насколько живучей и поддающейся независимому тестированию оказывается теория или закон, постулирующий существование нейтрино.

Тестируемость принципа напрямую связана с тестируемостью закона, о котором рассказывает этот принцип.

Теория конструктора говорит о том, как все происходит, но на другом языке. Мы просто не можем сформулировать некоторые из идей теории конструктора, пока у нас нет концептуальной основы в виде постквантовой теории вычислений — то есть пока теория вычислений не включилась явным образом не только в философию, но и в физику.

Когда фон Нейман обнаружил, что не может создать математической модели живого объекта с помощью уравнений, он обратился к вопросу упрощения законов физики. Он со временем изобрел целую научную область, которую мы называем клеточными автоматами. Это очень интересная область, но она заставляет двигаться в сторону от реальной физики, поскольку представляет собой определенную абстракцию соответствующих законов.

Дейч движется в противоположном направлении — интегрирует ее с законами физики, которые основаны на алгебре или представляют собой некое обобщение для теории вычислений.

К решению этой задачи вело несколько путей. Все началось с Тьюринга, а затем Рольфа Ландауэра, который чуть ли не единственный утверждал в 1960-е годы, что вычисления — это и есть физика. Теория вычислений по сей день воспринимается математиками как нечто, связанное скорее с абстракциями, а не с физикой.

Ландауэр понял, что концепция исключительно абстрактного компьютера не имеет никакого смысла, а теория вычислений должна описывать то, что физические объекты могут делать по отношению к информации.

Ландауэр сконцентрировался на вопросе ограничений, которые накладывают законы физики на возможность произвести те или иные вычисления. Это был неверный путь, ведь самое важное в вопросе связи физики с вычислениями состоит в том, что квантовая теория допускает существование новых способов вычисления,

невозможных в классической физике. Сформулировав квантовую теорию вычислений, получаем теорию вычислений, полностью находящуюся в области физики.

Дейч выступает сторонником иной традиции мышления, которую разделяли Хью Эверетт и Карл Поппер, с учетом присущих им различий. Они утверждали, что научные теории связаны с описанием реальности и объяснением причин, а не просто предсказанием тех или иных наблюдений, поэтому Дейч не мог удовлетвориться одной лишь операционной версией квантовой механики. Его интерпретация представляет собой, выражаясь языком философов, реалистичную теорию. Это теория, которая нацелена на описание происходящего в реальности, а не просто нашего собственного опыта. Необходимо поставить знак равенства между вычислениями и квантовой теорией, но одной квантовой теории вычислений недостаточно для создания основы для физики в целом. Чего же еще не хватает? Теории конструктора. Теория конструктора становится самой глубокой теорией, а все остальное оказывается подчиненным ей. Она создает ограничения, а это затем приводит к контакту с миром экспериментов.

Фундаментальная дихотомия теории конструктора утверждает, что вся суть науки должна быть сформулирована в понятиях разницы между трансформациями, которые возможны или невозможны. Наличие третьего варианта не позволит системе работать. Если в мире философии вы можете ограничиться написанием работы с гипотезами или новой интерпретацией, в мире физики необходимы результаты.

Одна из основных философских предпосылок занятий фундаментальной физикой, состоит в том, что интересно, как выглядит мир — не только мир наших наблюдений, того, что мы видим, но и невидимый мир, недоступные нашему наблюдению процессы и объекты, создающие все видимое.

Поскольку видимое нами представляет собой лишь крошечную, поверхностную и призрачную картину подлинной реальности, самое поразительное знание о мире и нашем месте в нем состоит в том, что мы можем открыть настоящую реальность. Мы знаем о существовании какой-то невидимой реальности, формирующей наше видимое восприятие.

Для нас важно воспринимать науку не как предприятие, цель которого состоит в создании прогнозов, а как занятие, цель которого состоит в том, чтобы понять, как на самом деле выглядит мир, что в нем есть, а чего нет, как он ведет себя и почему, и все наши идеи тестируются с помощью наблюдений. Это совершенно потрясающе, когда наш крошечный, узкий, слабый и подверженный множеству ошибок канал доступа к знанию позволяет протестировать

теории и знания о реальности, находящиеся далеко за пределами нашего опыта. И это самое потрясающее в науке.

Клеточные автоматы были использованы в качестве модели физических законов Вселенной в работах Стивена Вольфрама, который также связывал клеточные автоматы с УМТ и описывал, как они могут моделировать физические процессы. В книге «Новый вид науки» Вольфрам формулирует принцип вычислительной эквивалентности, который утверждает, что ни одна система не сможет выполнить точные расчеты, более сложные, чем те, что выполняются клеточными автоматами и машинами Тьюринга [9].

Точное вычисление должно быть реализовано в виде физического процесса, значит ему присущи такие же ограничения, что и любому подобному процессу.

Когда мы убеждаемся, что в мире не существует ничего невычислимого (на классических или квантовых компьютерах), то составляющие части не могут быть исключением из правила. Это — жизнь, как часть вычислимой Вселенной, это одно из самых известных и таинственных ее проявлений — человеческий разум [10]

Это также дает нам новый невероятный источник для технологий. Вместо того чтобы «копать» физический мир для поиска материалов, мы можем «копать» вычислительную вселенную для поиска алгоритмов. Мы можем получать удивительные вещи, которые нам, людям, никогда бы не пришли в голову, но на практике, как показали наши продукты, могут оказаться необычайно ценными. Это что-то вроде «нового вида технологий».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вигнер Е. Непостижимая эффективность математики в естественных науках // Успехи физических наук, 1968. Т. 94, Вып. 3. С. 535–546.
2. Вигнер Э. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. С. 183–184.
3. Вигнер Э. П. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии. М.: Едиториал УРСС, 2002. С. 182–185.
4. Манин Ю. И. Математика как метафора. М.: МЦНМО, 2010. С. 150.
5. Дональд Мичи Алан. Тьюринг и проект машины-ребенка // Тьюринг Алан Игра в имитацию: о шифрах, кодах и искусственном интеллекте. М.: Родина, 2019. С. 138.
6. Zuse K. Rechnender Raum // Elektronische Datenverarbeitung. 1967. № 8. Pp. 336–344.
7. Дойч Д. Теория конструктора // Вселенная: ученые обсуждают происхождение, структуру и загадки космоса. М.: Изд-во АСТ, 2018. С. 441–462.
8. Поплер К. Логика научного исследования. М.: Республика, 2005. 447 с.
9. Wolfram Stephen. A New Kind of Science Champaign. Illinois: Wolfram Media, 2002. P. 1197.
10. Петцольд Ч. Читаем Тьюринга. Путешествие по исторической статье Тьюринга о вычислимости и машинах Тьюринга. М.: ДМК Пресс, 2014. С. 387–388.

© Опёнков Михаил Юрьевич ( kotobarz@gmail.com ), Тетенков Николай Борисович ( tenibo@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Арктический Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова