



Общие проблемы логики и философии науки

УДК: 167.7

DOI: 10.15372/PS20260201

EDN: TPOJFX

И.Ф. Михайлов

МЕЗОКОСМИЧЕСКИЙ ГОРИЗОНТ: ТЕРМОДИНАМИКА, КОГНИТИВНАЯ НАУКА И ФИЗИЧЕСКИЕ ОНТОЛОГИИ

В статье исследуются основания физических онтологий – систем базовых сущностей, которыми оперируют физические теории. Автор доказывает, что эти онтологии имеют два взаимосвязанных биологических основания: перцептивное (сенсорный интерфейс человека эволюционно откалиброван на «средний мир» – мезокосм в смысле К. Лоренца) и коммуникативное (естественный язык как серийная дискретизирующая система). Данный тезис рассматривается в свете информационной термодинамики (принцип Р. Ландауэра, гипотеза Дж. Уилера «It from Bit»), принципа минимизации свободной энергии К. Фристана и интерфейсной теории восприятия Д. Хоффмана, образующих взаимно когерентную теоретическую рамку. Анализируются классические и неклассические физические онтологии: показывается, что даже наиболее абстрактные теории – квантовая механика, теория относительности, струнная теория – сохраняют «родимые пятна» мезокосмического происхождения в своих вербальных концептуализациях. Особое внимание уделяется различию между математическим формализмом теории и ее вербальной онтологией как основному источнику концептуальных парадоксов при экстраполяции за пределы мезокосма. В заключение рассматривается вопрос об ИИ как познающем агенте, чья компрессия данных не воспроизводит с необходимостью мезокосмическую структуру.

Ключевые слова: физика; онтология; мезокосм; восприятие; информация; термодинамика; предиктивный процессинг; интерфейсная теория восприятия; искусственный интеллект; вербальная онтология

I.F. Mikhailov

**THE MESOCOSMIC HORIZON:
THERMODYNAMICS, COGNITIVE SCIENCE,
AND PHYSICAL ONTOLOGIES**

The paper studies the foundations of physical ontologies – systems of basic entities employed by physical theories. The author argues that these ontologies have two interrelated biological foundations: a perceptual one (the human sensory interface is evolutionarily calibrated to the “middle world” – the mesocosm in K. Lorenz’s sense) and a communicative one (natural language as a serial discretizing system). This thesis is examined in the light of information thermodynamics (R. Landauer’s principle, J. Wheeler’s “It from Bit” hypothesis), K. Friston’s free-energy principle, and D. Hoffman’s interface theory of perception, which together form a mutually coherent theoretical framework. Classical and non-classical physical ontologies are analysed: it is shown that even the most abstract theories (quantum mechanics, relativity theory, and string theory) retain “birthmarks” of mesocosmic origin in their verbal conceptualizations. Special attention is paid to the distinction between a theory’s mathematical formalism and its verbal ontology as the primary source of conceptual paradoxes when extrapolating beyond the mesocosm. The paper concludes with considering AI as a cognitive agent whose data compression does not necessarily reproduce mesocosmic structure.

Keywords: physics; ontology; mesocosm; perception; information; thermodynamics; predictive processing; interface theory of perception; artificial intelligence; verbal ontology

1. Введение: мезокосмический горизонт

Концепт «мезокосмического горизонта» восходит к Конраду Лоренцу, который в рамках эволюционной эпистемологии ввел понятие *Mesokosmos* для обозначения той области реальности, в которой протекала биологическая эволюция человека и к взаимодействию с которой приспособлены наши когнитивные механизмы [3]. Это «средний мир» – не квантовый и не космологический, мир объектов средних размеров, умеренных скоростей и доступных энергий. Именно здесь сформировались наши перцептивные категории, наши интуиции о телесности, непрерывности, причинности и движении.

В предыдущей работе автора [5] было показано, что физические онтологии – системы базовых сущностей, которыми оперируют физические теории, несут на себе отпечаток этой эволюционно обусловленной перцептивной конституции. Категории «частицы» и «волны», концепты «силы» и «поля» возникли как перцептивные метафоры, перенесенные из области непосредственного опыта в область теоретического объяснения. Волновая механика и теория относительности частично вышли за пределы интуитивной наглядности, однако, как будет показано ниже, не порвали с мезокосмическим словарем окончательно.

Настоящая статья ставит более специальный вопрос: каков механизм этой зависимости и каковы ее пределы? Предлагается рассмотреть проблему в свете двух взаимодополняющих теоретических рамок: принципа минимизации свободной энергии К. Фристонa и интерфейсной теории восприятия Д. Хоффмана, которые совместно образуют убедительное, хотя и не окончательное объяснение того, почему биологический познающий субъект с необходимостью конструирует онтологии «под себя». Связующим звеном между физикой и когнитивной наукой служит информационная термодинамика: принцип Р. Ландауэра и гипотеза Дж. Уилера «It from Bit» позволяют рассматривать само познание как термодинамически ограниченный процесс, а мезокосмический горизонт – как его неизбежное следствие.

Отдельный вопрос, затрагиваемый в заключительном разделе, касается возможного выхода за этот горизонт. Системы искусственного интеллекта, оперирующие данными без обязательной привязки к чувственному опыту и без нужды давать им «физический смысл» в мезокосмическом словаре, представляют собой принципиально иной тип познающего агента. Их онтологические артефакты, если таковые возникнут, будут иметь другое происхождение, что само по себе является эмпирически проверяемым предсказанием предлагаемой концепции.

Методологическая установка статьи – абдуктивная: не претендуя на доказательство, автор указывает на концептуальную когерентность между современной физикой, информационной термодинамикой и когнитивной наукой, полагая эту когерентность достаточным основанием для серьезного рассмотрения выдвигаемых гипотез.

2. Теория и онтология: необходимое различие

Прежде чем перейти к анализу физических онтологий, необходимо зафиксировать различие, которое в методологических дискуссиях нередко остается имплицитным, хотя именно от него зависит корректность всего последующего аргумента. Речь идет о различии между физической теорией в строгом смысле, т.е. ее математическим формализмом, и онтологией, которую принято с этой теорией ассоциировать.

Физическая теория в своем ядре есть математическая структура – система уравнений, операторов, симметрий и правил соответствия, связывающих теоретические величины с результатами измерений. Как таковая она обладает точностью, внутренней непротиворечивостью и предсказательной силой, не зависящей от того, каким онтологическим содержанием мы ее наполняем. Уравнения Максвелла одинаково работают независимо от того, постулируем ли мы эфир в качестве их субстрата или нет. Математический аппарат квантовой механики исправно дает верные предсказания вне зависимости от того, придерживается ли физик копенгагенской, многомировой или какой-либо иной интерпретации. В информационных терминах математический формализм обладает высокой шенноновской эффективностью: его утверждения несут максимум информации при минимуме избыточности, а границы его применимости определяются условиями верификации, а не семантикой имен переменных.

Онтология – это нечто иное. Это совокупность вербальных утверждений о том, что именно описывает формализм: какие сущности существуют, каковы их свойства и каковы отношения между ними. Онтология отвечает на вопрос о «физическом смысле» теории, и именно здесь в игру вступает естественный язык со всем грузом своих мезокосмических ассоциаций. Когда физик говорит, что фотон «является» частицей, или что пространство-время «искривляется», или что волновая функция «коллапсирует», он использует слова, семантические поля которых сформированы опытом взаимодействия с объектами среднего масштаба, и этот опыт неизбежно привносится в теоретическое описание независимо от намерений говорящего.

Фрэнсис Бэкон в «Новом Органоне» описал этот источник заблуждений под именем «идолов рынка» (*idola fori*) – искажений,

возникающих вследствие некритического использования слов обобщенного языка в научном контексте [1]. Бэкон замечал, что слова, изначально приспособленные для нужд повседневного общения, навязывают мышлению свои категориальные членения, препятствуя точному познанию. Современная когнитивная наука позволяет уточнить этот диагноз: идолы рынка суть не просто риторические привычки, но следствие глубоких структурных свойств естественного языка как коммуникативной системы, сформировавшейся в условиях мезокосма и оптимизированной для нужд взаимодействия внутри него.

Различие между формализмом и онтологией имеет измеримые последствия для эффективности теорий. История физики знает случаи, когда смена онтологии при неизменном математическом содержании открывала новые теоретические возможности, и обратные случаи, когда онтологическая концептуализация направляла исследование по тупиковому пути. Переход от геоцентрической онтологии к гелиоцентрической при вычислительно эквивалентных в первом приближении формализмах радикально упростил математическое описание и открыл путь к ньютоновской механике. Онтология эфира, напротив, порождала нарастающий каскад вспомогательных гипотез, не изменяя предсказательного содержания электродинамики, но усложняя теоретический аппарат и затрудняя концептуальный прогресс.

Таким образом, вопрос об онтологиях физики – не чисто философский вопрос о «природе реальности», безразличный к научной практике. Это вопрос о том, насколько эффективен концептуальный инструментарий теории и насколько он соответствует той области реальности, для описания которой предназначен. Именно в этом смысле мезокосмическое происхождение физических онтологий – тема, имеющая прямое отношение к методологии науки.

3. Классическая физика: механизм онтологического переноса

Классическая физика строила свои объяснительные модели в пространстве, которое можно назвать онтологически двойственным. С одной стороны, она стремилась к математической строгости и предсказательной точности, с другой – нуждалась в том, чтобы пере-

менные уравнений были интерпретированы, т.е. наделены референтами, узнаваемыми для познающего субъекта. Эта нужда в интерпретации и открывала дверь для мезокосмических концептуализаций.

Механизм переноса можно описать следующим образом. Физик наблюдает некоторое явление: падение тел, распространение света, взаимодействие заряженных предметов. Для объяснения явления вводится объяснительная сущность, призванная быть его причиной. Эта сущность неизбежно концептуализируется по образцу уже известных объектов мезокосмического опыта – не потому, что физик наивен, а потому, что мезокосмический словарь является единственным доступным языком онтологических описаний. Так возникает то, что в предыдущей работе автора было названо «сенсуальной метафорой»: теоретическая сущность мыслится по аналогии с наблюдаемым объектом, наследуя часть его свойств.

Важно подчеркнуть, что речь идет именно о концептуализации, а не о перцепции как таковой. Перцептивный опыт сам по себе континуален и не предъявляет нам дискретных сущностей: мы не видим «частиц красного» и не осязаем «силовых линий». Дискретизация происходит на уровне категориального оформления опыта в понятия естественного языка. Именно язык, наделяя математическую переменную именем («частица», «волна», «поле»), привносит в формализм ту семантическую нагрузку, которая в дальнейшем может вступить в конфликт с математическим содержанием теории.

Ньютоновская механика дает здесь показательные примеры. «Тело» как онтологическая единица механики унаследовало от обыденного опыта свойства локализованности, непроницаемости и инертности – свойства, которые в пределах мезокосмических масштабов образуют связный кластер, но при экстраполяции в область малых масштабов или высоких скоростей начинают расходиться. «Сила» концептуализировалась по образцу мышечного усилия – телесного переживания, непосредственно данного в проприоцепции, что придавало ей интуитивную понятность, но одновременно затрудняло переход к концепции поля как распределенного взаимодействия. Не случайно Фарадей и Максвелл, вводя поле как базовую онтологическую единицу, первоначально прибегали к механическим моделям – вихрям, трубкам, шарикоподшипникам в упругой среде, пре-

красно понимая их условность, но нуждаясь в них, чтобы придать математическим структурам «физический смысл», т.е. укоренить их в мезокосмически узнаваемых образах.

Наиболее показательна в этом отношении история эфира. Волновая оптика требовала среды-носителя: мезокосмическая интуиция не допускала волны без субстрата, опыт волн на воде и звука в воздухе делал эту интуицию почти неодолимой. Математически уравнения Максвелла не предполагали эфира с необходимостью – они описывали распространение электромагнитного поля в вакууме вполне корректно. Однако концептуализация этих уравнений через мезокосмическую метафору «волны в среде» порождала онтологическое обязательство, от которого физика освободилась лишь ценой значительных усилий, включая эксперимент Майкельсона – Морли и специальную теорию относительности Эйнштейна. Примечательно, что сам Эйнштейн в берлинской лекции 1920 г. специально проследил интеллектуальную генеалогию эфира, показав, как цепочка вполне естественных сенсуальных ассоциаций привела к постулированию этой «таинственной среды» [7].

Здесь уместно сделать методологическое замечание, существенное для всего дальнейшего изложения. Перцептивное происхождение онтологической метафоры не делает ее ложной и не обесценивает теорию. Концепт «тела» работал (и продолжает работать) с замечательной точностью в пределах мезокосмических масштабов. Вопрос не в истинности или ложности этих онтологий¹, а в их области применимости и в тех концептуальных затруднениях, которые возникают при попытке экстраполировать их за пределы мезокосма. Именно там – в квантовой механике, в релятивистской физике, в физике экстремальных состояний проявляется мезокосмический горизонт, а именно граница, за которой привычные онтологические категории начинают порождать парадоксы не потому, что реальность противоречива, а потому, что наш концептуальный инструментарий был создан для другого масштаба.

¹ Как было показано в [4], онтологии, в отличие от собственно теорий, не могут корректно оцениваться на истинность/ложность.

4. Два основания мезокосмических онтологий

Если в предыдущем разделе описывался механизм онтологического переноса – как объяснительная сущность концептуализируется по образцу уже известного, то здесь необходимо ответить на вопрос более глубокий: почему этот перенос неизбежен? Ответ, как представляется, имеет два взаимосвязанных, но различных основания: перцептивное и коммуникативное.

4.1. Перцептивное основание. Первое основание связано с биологической конституцией познающего субъекта. Человек как вид сформировался в условиях мезокосма – области реальности, характеризующей средними масштабами пространства и времени, умеренными скоростями и энергиями, макроскопической стабильностью объектов. Конрад Лоренц, вводя понятие *Mesokosmos*, подчеркивал, что наши когнитивные механизмы представляют собой результат эволюционной адаптации именно к этой области, а не к реальности как таковой [3]. Наши перцептивные системы – зрение, осязание, проприоцепция – калиброваны на объекты и процессы мезокосмического диапазона, за его пределами они либо не работают вовсе, либо дают систематически искаженную картину.

Этот эволюционный факт получает в современной когнитивной науке механистическое объяснение через принцип минимизации свободной энергии, разработанный Карлом Фристоном [8; 9]. Согласно этому принципу, биологический агент существует постольку, поскольку способен удерживать себя в статистически предсказуемых состояниях, минимизируя «сюрприз» – расхождение между ожидаемыми и фактическими сенсорными сигналами. Восприятие в этой модели есть не пассивное отражение реальности, а активный процесс построения и уточнения внутренних генеративных моделей, оптимизированных не на истину, а на предсказательную эффективность в условиях данной среды обитания. Существенно, что обрабатывается лишь та часть сенсорного потока, которая не поглощена моделью: предсказуемый сигнал несет нулевую шенноновскую информацию и не требует обработки. Мозг является, таким образом, устройством сжатия данных, работающим под термодинамическим давлением: полное «знание» реальности во всей ее микрофизической

сложности потребовало бы бесконечных вычислительных ресурсов и привело бы к немедленному коллапсу биологической системы.

Дональд Хоффман математически радикализировал этот вывод, показав с помощью методов эволюционной теории игр, что вероятность того, что естественный отбор сформирует восприятие, верно отображающее структуру реальности, стремится к нулю [11; 12]. Его интерфейсная теория восприятия описывает воспринимаемые объекты не как фрагменты реальности, а как «иконки» адаптивного интерфейса: они несут информацию о приспособительной ценности взаимодействий, но скрывают лежащую в их основе физическую сложность. Хоффман распространяет этот вывод на физические концепты пространства и времени, рассматривая их как элементы интерфейса, а не структуры реальности как таковой [10]. Тезис сильный, и его следует принимать с соответствующей осторожностью: речь идет о правдоподобной теоретической позиции, подкрепленной математическими моделями, но не о доказанном факте. В этом смысле перцептивное основание мезокосмических онтологий носит не случайный, а принципиальный характер: оно встроено в саму биологическую архитектуру познания.

4.2. Коммуникативное основание. Второе основание менее очевидно, но не менее фундаментально. Даже если допустить, что перцептивный опыт отдельного субъекта богаче и континуальнее, чем позволяют мезокосмические категории, на пути его превращения в разделяемое научное знание стоит двойное «узкое горлышко», обусловленное серийной природой человеческой коммуникации.

Первое «горлышко» – физиологическое. Мозг обрабатывает информацию в режиме высокопараллельных, континуальных, многомерных процессов. Его выходной канал в коммуникацию – вокальный аппарат (гортань, голосовые связки, артикуляционный тракт) представляет собой принципиально низкочастотное устройство, способное производить лишь линейную последовательность дискретных звуковых единиц. Это анатомическое ограничение задает первичное квантование: непрерывный поток нейронных состояний вынужден быть перекодирован в серийный сигнал, теряя при этом значительную долю своей исходной «плотности».

Второе «горлышко» – информационное, и оно обусловлено первым. Для того чтобы серийно производимые звуки, а впоследствии письменные символы могли надежно передавать смысл через зашумленный канал социальной коммуникации, они должны быть максимально различимыми и легко опознаваемыми, т.е. обладать высокой шенноновской эффективностью при минимальной энтропии отдельного символа. Алан Тьюринг в 1936 г., размышляя об основаниях вычислимости, сформулировал аналогичный аргумент применительно к машинным вычислениям: алфавит машины должен быть конечным, поскольку распознавание бесконечно малых различий превышает возможности любого конечного распознающего устройства [15]. Человеческий слух – такое же конечное распознающее устройство, и естественные языки эволюционировали с учетом этого ограничения.

Следствием этого «двойного горлышка» является то, что концептуальные единицы, в которых формулируется и передается научное знание, неизбежно дискретны, категориальны и конечны по числу базовых различий. Когда физик вводит понятие «тела», «волны» или «поля», он не просто описывает воспринятое – он производит акт коммуникативной дискретизации: выбирает из континуума возможных концептуализаций ту, которая допускает надежную трансляцию через языковой канал. Онтологическая единица физической теории есть, таким образом, одновременно перцептивная метафора и коммуникативный атом.

Два основания взаимодействуют и усиливают друг друга. Перцептивное основание поставляет исходный материал – мезокосмически откалиброванные образы и категории; коммуникативное основание отбирает из них те, что поддаются надежной сериализации и воспроизведению. Физические онтологии, которые мы наследуем из истории науки, прошли, таким образом, двойную селекцию: они биологически удобны и лингвистически трансляционно устойчивы. Это объясняет их замечательную живучесть и одновременно их принципиальную ограниченность как инструментов познания за пределами мезокосма.

5. Неклассические физики: абстракция и сохраняющиеся «родимые пятна»

Переход от классической физики к неклассической часто описывается как радикальный разрыв с наглядностью и здравым смыслом. Квантовая механика, специальная и общая теории относительности, квантовая теория поля – все они потребовали отказа от ряда мезокосмических интуиций: абсолютного времени, траектории частицы, независимости наблюдателя от наблюдаемого. В этом смысле неклассическая физика действительно вышла за пределы мезокосмического горизонта – математически. Однако на уровне онтологических концептуализаций, т.е. на уровне того языка, которым физики описывают, что именно делают их уравнения, мезокосмические «родимые пятна» сохраняются, и их сохранение имеет не случайный, а структурный характер.

5.1. Квантовая механика: дуализм как концептуальный артефакт. Квантово-механический формализм – уравнение Шрёдингера, аппарат гильбертова пространства, борновское правило – математически единообразен и внутренне непротиворечив. Волновая функция является в нем единым математическим объектом, не распадающимся на «волновую» и «корпускулярную» составляющие. Корпускулярно-волновой дуализм – не теорема и не аксиома квантовой механики, это интерпретативный слой, наложенный на формализм извне. Его происхождение – в попытке описать поведение квантовых объектов через два мезокосмических концепта, каждый из которых по отдельности хорошо знаком из повседневного опыта: дискретный локализованный предмет и непрерывное распространяющееся возмущение среды. Парадоксальность дуализма – не свойство реальности и не свойство математики, это свойство концептуального инструментария, примененного за пределами области его применимости.

История интерпретаций квантовой механики – копенгагенской, многомировой, де-бройлевской механики пилотной волны и др. – в значительной мере представляет собой историю попыток выбрать наименее парадоксальную мезокосмическую онтологию для математически нейтрального формализма. Ни одна из этих интерпретаций не получила консенсусного принятия: каждая устраняет одни кон-

цептуальные затруднения, порождая другие, что само по себе свидетельствует о неадекватности мезокосмического словаря задаче, которую он призван решить.

Онтологический статус волновой функции остается предметом активной дискуссии. В недавней работе К.С. Унникришнана показано, что стандартные аксиомы квантовой теории не предполагают с необходимостью никакой конкретной онтологии волновой функции в пространстве-времени: математический формализм функционирует независимо от того, приписываем ли мы волновой функции статус физически реального объекта или нет [16]. Этот вывод когерентен нашему тезису: там, где математика молчит об онтологии, концептуализация вынуждена обращаться к мезокосмическому словарю, и с неизбежными парадоксами в качестве платы.

5.2. Теория относительности: новая онтология или переупакованная старая? Специальная теория относительности ликвидировала эфир и объединила пространство и время в единый четырехмерный континуум. Это был подлинный онтологический сдвиг, математически вынужденный и концептуально радикальный. Однако концептуализация релятивистского пространства-времени немедленно породила новый мезокосмический образ – «ткань пространства-времени», способную искривляться, растягиваться и «рябить» в виде гравитационных волн. Д. Хоффман прямо указывает, что пространство-время в этом прочтении есть элемент адаптивного интерфейса, а не структура реальности как таковой [10]. Математически риманова геометрия не требует «ткани», это онтологическая метафора, апеллирующая к тактильному и визуальному опыту упругих поверхностей.

Общая теория относительности сделала шаг к большей абстракции, однако и она не избежала концептуализации через мезокосмически узнаваемые образы. «Кривизна», «геодезическая», «горизонт событий» все эти термины несут в себе геометрическую наглядность, укорененную в опыте трехмерного пространства. Когда физики говорят, что массивное тело «искривляет» пространство-время, они используют метафору деформации упругого тела – метафору, физически некорректную, но коммуникативно необходимую.

5.3. Струнная теория и петлевая квантовая гравитация. Наиболее показательны в контексте нашего тезиса теории, претен-

дующие на описание реальности за пределами всех известных экспериментальных данных, прежде всего струнная теория и петлевая квантовая гравитация. Здесь, где математика в наименьшей степени ограничена эмпирическими требованиями, выбор онтологических концептов обнаруживает свою относительную свободу и вместе с тем свою зависимость от мезокосмического словаря.

Струнная теория постулирует в качестве базовой онтологической единицы одномерный протяженный объект – «струну», совершающую колебания в многомерном пространстве. Математически теория допускала бы и иные геометрические объекты в качестве фундаментальных; выбор именно одномерного протяженного объекта отражает интуицию, согласно которой «что-то должно колебаться», интуицию, восходящую к акустическому и тактильному опыту натянутой нити. Существенно, что развитие этой теории в направлении М-теории потребовало введения бранных объектов различных размерностей, частично растворив исходную «струнную» метафору в более абстрактных структурах. Это движение от конкретной мезокосмической метафоры к более абстрактному математическому объекту прослеживается как тенденция, хотя и не завершенная.

Петлевая квантовая гравитация строит пространство-время из дискретных «петель» и «спиновых сетей» – топологических структур, визуализируемых как графы с узлами и ребрами. Здесь перцептивная метафора иного рода: не протяженный объект, а пространственная решетка, апеллирующая к интуиции дискретной «ткани». Выбор петлевого представления в противовес алгебраическим или иным формулировкам той же физики влиял на то, какие проблемы казались центральными и в каком направлении развивалась теория, что является примером того, как онтологическая концептуализация, не будучи математически вынужденной, тем не менее оказывает реальное воздействие на теоретический прогресс.

5.4. Абстракция как незавершенный выход. Общая картина такова. Неклассическая физика совершила подлинное движение в сторону абстракции: она отказалась от ряда конкретных мезокосмических онтологий и заменила их математическими структурами с менее очевидной перцептивной нагрузкой. Однако это движение остается незавершенным по структурным причинам, описанным

в предыдущем разделе. Физик – биологический агент с мезокосмически откалиброванным восприятием, вынужденный транслировать свое знание через низкополосный канал естественного языка, задающий структуру и пределы того, что мы называем «пониманием». До тех пор пока эти условия сохраняются, онтологические концептуализации будут тяготеть к мезокосмическому словарю – не в силу наивности, а в силу архитектурных ограничений самого познающего субъекта.

6. Информационно-термодинамический фундамент мезокосмического горизонта

До сих пор аргумент развивался преимущественно на концептуальном уровне. Однако тезис о принципиальной ограниченности мезокосмических онтологий может быть подкреплен более строгим образом – через результаты информационной термодинамики, устанавливающие физические границы любого познавательного процесса. Речь идет не о редукции эпистемологии к физике, но о когерентности: физические и когнитивные ограничения описывают один и тот же феномен на разных уровнях анализа.

6.1. Энтропия Больцмана, энтропия Шеннона и принцип Ландауэра. Отправной точкой для понимания физических оснований познавательных ограничений служит замечательное формальное сходство между двумя формулами, возникшими в совершенно различных контекстах. Термодинамическая энтропия Больцмана $S = k \ln W$, где W – число микросостояний системы, и информационная энтропия Шеннона $H = -\sum p_i \log p_i$ имеют одинаковую математическую структуру. Это сходство не случайно: как детально показывает В.А. Зорич, шенноновская энтропия представляет собой по существу удельную, т.е. отнесенную к одному сообщению или одной частице, энтропию Больцмана [2]. Клод Шеннон, по свидетельству современников, принял термин «энтропия» по совету Джона фон Неймана, прозорливо ощутившего глубинное единство физического хаоса и информационной неопределенности.

Это единство имеет прямые следствия для теории познания. Если информационная энтропия и термодинамическая энтропия суть про-

явления одной и той же физической величины, то процесс получения знания о системе – уменьшение информационной неопределенности – неизбежно сопровождается ростом физической энтропии где-либо еще. Данный вывод был строго обоснован Рольфом Ландауэром в 1961 г.: логически необратимые операции над информацией, в частности стирание одного бита, неизбежно сопровождаются выделением тепла в количестве не менее $kT \ln 2$, где T – температура среды [14]. Следует обратить внимание, что в этой формуле фигурирует натуральный логарифм – мера, естественная для непрерывных физических процессов, тогда как шенноновский бит использует двоичный логарифм. Переход от натов к битам через коэффициент $\ln 2$ есть не просто смена единиц измерения, но знак более глубокого различия: между континуальной природой физических процессов и дискретной структурой тех концептуальных единиц, в которых человек их описывает. К этому различию мы вернемся в следующем разделе.

Для биологической системы принцип Ландауэра означает принципиальный предел детализации: бесконечно подробное «знание» реальности во всей ее микрофизической сложности потребовало бы бесконечных энергетических ресурсов. Мезокосмический горизонт есть, таким образом, термодинамически вынужденная граница – обусловленная не только случайными эволюционными ограничениями, но и фундаментальными законами физики.

6.2. «It from Bit» и онтологический статус информации. Джон Уилер сформулировал радикальную гипотезу, согласно которой физические объекты порождаются ответами на бинарные вопросы, – «*It from Bit*»: физический мир в своей основе является информационным по природе [17]. Эта гипотеза, разделяемая в различных версиях рядом современных физиков и философов физики, переворачивает привычный порядок: не информация описывает физические объекты, а физические объекты суть устойчивые паттерны информационных взаимодействий.

Для нашего тезиса эта гипотеза, рассматриваемая здесь исключительно эпистемологически, важна в следующем отношении. Если воспринимаемые нами «объекты» – тела, волны, поля – суть продукты нашего сложного информационного взаимодействия со сре-

дой, а не субстанциальные обитатели независимой реальности, то мезокосмические онтологии оказываются адаптивными компрессиями информационного потока, оптимизированными под биологического агента определенного масштаба. Здесь уместна эпистемологическая оговорка в духе юмовского скептицизма: мы не утверждаем, какова реальность «сама по себе», а лишь констатируем, что воспринимаемые объекты суть продукты взаимодействия, а не готовые данности.

6.3. Предиктивный процессинг и интерфейсная теория восприятия в термодинамическом контексте. Рассмотренные выше результаты – тождество энтропий Больцмана и Шеннона, принцип Ландауэра, гипотеза Уилера – получают дополнительное подкрепление со стороны когнитивной науки, если рассмотреть теории Фристона и Хоффмана именно в термодинамическом ключе. Принцип минимизации свободной энергии описывает биологического агента как физическую систему, вынужденную под термодинамическим давлением поддерживать низкоэнтропийные внутренние состояния, и именно это давление, а не случайные особенности эволюции делает мезокосмическую калибровку восприятия структурно неизбежной [8]. Интерфейсная теория восприятия математически конкретизирует этот вывод: адаптивный интерфейс есть оптимальная компрессия информационного потока под заданные термодинамические ограничения, а не приближение к истине [11]. Совокупность всех четырех результатов образует взаимно когерентную рамку, в которой мезокосмический горизонт предстает не как биологическая случайность, а как термодинамически вынужденная структурная черта любого конечного познающего агента.

7. Вербальная онтология и математический формализм: проблема концептуального квантования

Физическая теория существует на двух уровнях, которые не всегда различаются с достаточной четкостью. Первый – математический формализм: система уравнений, операторов, симметрий, задающая точные количественные соотношения между наблюдаемыми величинами. Второй – онтологическая интерпретация: совокупность вер-

бальных утверждений о том, что именно описывает формализм, какие сущности за ним стоят и каков их «физический смысл». Математический формализм в своей области действия точен и в шенноновском смысле высокоэффективен. Вербальная онтология, напротив, оперирует единицами естественного языка, несущими весь груз мезокосмических ассоциаций. Когда физик говорит, что электрон «является» частицей или «ведет себя как» волна, он неизбежно активирует семантические поля этих слов – поля, сформированные мезокосмическим опытом. Парадоксы, возникающие при такой концептуализации, суть не противоречия в природе вещей, а артефакты несоответствия между высокоточным формализмом и вербальным инструментарием, не предназначенным для описания объектов за пределами мезокосма.

Здесь уместно вернуться к различию между натуральным и двоичным логарифмами, намеченному в предыдущем разделе. Физические процессы – термодинамические, квантовые, гравитационные – описываются формализмом, естественной мерой которого является натуральный логарифм: именно $\ln$ фигурирует в формулах Больцмана, Ландауэра, в уравнении Шрёдингера. Этот выбор отражает непрерывную, континуальную природу описываемых процессов. Когда же физик переходит от формализма к вербальной онтологии – к описанию того, что «происходит», в терминах частиц, волн, полей, он совершает акт концептуального квантования: континуум возможных состояний разбивается на дискретные категории, каждая из которых получает имя. Этот переход структурно аналогичен смене логарифма с натурального на двоичный: не просто изменение масштаба, но переход от описания непрерывного распределения к описанию дискретных альтернатив – в этом и видится подлинный смысл радикальной гипотезы Уилера. Шенноновский бит – это единица именно такого дискретного описания, и не случайно теория информации в ее инженерном воплощении работает с $\log_2$: она изначально создавалась для передачи дискретных сообщений через конечный алфавит.

Важно подчеркнуть, что это квантование не является ошибкой или упрощением в пренебрежительном смысле, оно неизбежно при передаче знания через коммуникативный канал, описанный в разде-

ле 4. Проблема возникает не там, где вербальные категории применяются к явлениям мезокосмического масштаба, для которых они исторически сложились, а там, где они экстраполируются на области реальности, структура которых принципиально иная, будь то дискретность иного рода, чем мезокосмическая счетность предметов, или континуальность иного рода, чем плавность воспринимаемого движения. Квантование энергии в микромире – не та же дискретность, что дискретность яблок в корзине; волновая функция – не та же континуальность, что гладкость поверхности стола. Именно это несовпадение типов (а не просто масштабов) делает мезокосмический словарь неадекватным инструментом для онтологической интерпретации неклассических теорий. Зазор между натуральным логарифмом физики и двоичным логарифмом вербальных категорий отражает не различие континуального и дискретного как таковых, а различие между математическим описанием структуры реальности и ее концептуализацией через категории, оптимизированные для совершенно иной задачи.

Это различие имеет прямое следствие для вопроса об искусственном интеллекте как познающем агенте: система, не связанная обязательством давать «физический смысл» в мезокосмическом словаре и способная оперировать непосредственно с континуальными представлениями, принципиально свободна от этого класса концептуальных затруднений.

8. Искусственный интеллект за мезокосмическим горизонтом?

Вопрос об искусственном интеллекте как познающем агенте возникает в контексте нашего аргумента естественно и с определенной неизбежностью. Если мезокосмический горизонт есть структурное следствие биологической архитектуры познания – перцептивной калибровки на средний мир и коммуникативного «горлышка» естественного языка, то система, лишенная этих архитектурных черт, должна была бы порождать иные онтологические артефакты. Не обязательно более «истинные» в каком-либо абсолютном метафизическом смысле, но иные по происхождению и, возможно, более эф-

фективные в областях, где мезокосмические категории порождают парадоксы. Это рассуждение также носит абдуктивный характер: утверждается не то, что ИИ «видит реальность как она есть», но указывается на структурную асимметрию между биологическим и искусственным познающими агентами, потенциально имеющую важные эпистемологические последствия.

8.1. Отсутствие перцептивных обязательств. Биологический агент приходит к физике с готовым перцептивным интерфейсом – эволюционно отобранным набором категорий, оптимизированных для мезокосмического взаимодействия. Этот интерфейс предрасполагает к определенным онтологическим концептуализациям и делает другие когнитивно труднодостижимыми. Современные системы машинного обучения, оперирующие с физическими данными, не имеют этого перцептивного багажа в его биологическом смысле. Их «априорные ожидания» формируются архитектурой сети и обучающей выборкой, а не эволюционной историей вида. Это не означает, что они свободны от любых предубеждений: архитектурные решения и состав обучающих данных задают собственные смещения. Однако эти смещения имеют принципиально иное происхождение и не воспроизводят с необходимостью мезокосмическую структуру.

Существенная оговорка состоит в следующем. Современные большие языковые модели обучены преимущественно на текстах естественного языка, т.е. на материале, уже прошедшем через двойное коммуникативное «горлышко», описанное в разделе 4. В этом смысле они частично наследуют мезокосмические концептуализации через корпус. Однако это артефакт конкретного выбора датасетов, а не принципиальное ограничение. ИИ-системы, обучаемые непосредственно на физических данных (на показаниях приборов, результатах симуляций, массивах экспериментальных измерений), не связаны этим наследованием.

8.2. Иная компрессия, иные артефакты. Ключевой тезис состоит не в том, что ИИ способен «обойти» термодинамические ограничения познания, – принцип Ландауэра универсален. Тезис состоит в том, что форма компрессии, которую применяет ИИ-система, не обязана воспроизводить структуру чувственного опыта. Когда биологический агент сжимает информацию о взаимодействии с физической средой, он делает это через генеративные модели, сформи-

рованные эволюцией в мезокосме. Когда система машинного обучения сжимает информацию о той же среде, она строит латентные представления, оптимизированные под статистику обучающих данных и архитектурные ограничения. Эти представления могут не иметь прямых коррелятов в мезокосмическом словаре, и именно поэтому они могут оказаться более адекватными для описания областей реальности, лежащих за мезокосмическим горизонтом.

Показательно в этом отношении, что нейросетевые методы в квантовой химии и физике конденсированного состояния нередко обнаруживают корреляции и паттерны, не предсказанные теоретическими онтологиями. Нейросетевые потенциалы межатомного взаимодействия, разработанные Й. Бехлером и М. Парринелло, предсказывают энергии и силы точнее классических силовых полей, однако их «понимание» взаимодействий остается непрозрачным в терминах стандартной квантовой химии [6]. Аналогичная ситуация складывается с архитектурой AlphaFold2 в задаче предсказания структуры белка: латентные представления, обеспечивающие замечательную предсказательную точность, несводимы к стандартным биохимическим онтологиям, а интерпретируемость этих представлений остается открытой проблемой [13].

8.3. Физический смысл без мезокосмического словаря. Традиционное требование «физического смысла» – укорененности теоретических конструкторов в мезокосмически узнаваемых образах – выполняло двойную функцию. С одной стороны, оно служило эвристическим инструментом: наглядная модель помогала физiku ориентироваться в математическом пространстве теории. С другой стороны, оно было коммуникативным требованием: теория должна была быть объяснима для коллег через разделяемый словарь, каковым является мезокосмический язык. ИИ-система в принципе свободна от второго из этих требований, если только она не обязана отчитываться перед людьми в терминах, понятных людям. Ее «понимание» физической теории не нуждается в онтологической интерпретации через мезокосмические образы, и именно этот слой является, как было показано выше, основным источником концептуальных парадоксов при экстраполяции за пределы мезокосма.

Здесь уместна аналогия, которую следует принимать осторожно. Архитектурно современные нейронные сети являются дискретными

вычислительными системами². Однако вычислительно они оперируют с непрерывными распределениями вероятностей, градиентами и латентными пространствами высокой размерности, которые по своей природе ближе к континуальным математическим структурам, нежели к дискретным символьным операциям классических систем ИИ. Символьные системы классического ИИ воспроизводили дискретность тьюринговской парадигмы – и с ней часть онтологических обязательств мезокосмического происхождения, поскольку программировались людьми. Вопрос о том, в какой мере нейросетевые архитектуры, работающие с континуальными распределениями, способны систематически выходить за мезокосмический горизонт, остается открытым, и именно как открытый он представляет наибольший исследовательский интерес.

8.4. Эмпирическое предсказание. Изложенные соображения допускают формулировку в виде проверяемого предсказания. Если мезокосмический горизонт есть структурное следствие биологической архитектуры познания, то ИИ-системы, обучаемые непосредственно на физических данных без промежуточной вербализации, должны систематически обнаруживать паттерны и строить представления, несводимые к стандартным физическим онтологиям. Более того, попытки перевести эти представления в мезокосмический словарь должны систематически порождать потери, т.е. обнаруживать, что вербальная онтология является неполным и искажающим отображением того, что «знает» система. Первые свидетельства в пользу этого предсказания уже имеются, хотя и требуют осторожности в интерпретациях.

9. Заключение: наука за горизонтом

Аргумент, развитый в настоящей статье, может быть резюмирован следующим образом. Физические онтологии имеют два взаимосвязанных основания, оба уходящих корнями в биологическую

² Это верно только до тех пор, пока они реализуются на компьютерах фон-неймановской архитектуры. Спайковые нейронные сети на нейроморфных чипах с мемристорами, возможно, реализуют гибридную континуально-дискретную архитектуру, более близкую к живому мозгу, чем классические фон-неймановские системы.

природу познающего субъекта. Первое – перцептивное: наш сенсорный интерфейс эволюционно откалиброван на мезокосм и порождает категории, оптимизированные для взаимодействия внутри него. Второе – коммуникативное: естественный язык как серийная система передачи значения через низкочастотный физиологический канал вынужден дискретизировать континуальный поток опыта в категориальные единицы, наследующие мезокосмическую семантику. Физические онтологии прошли двойную селекцию по этим основаниям: они биологически удобны и лингвистически трансляционно устойчивы.

Информационная термодинамика и современная когнитивная наука предоставляют механистическое объяснение этой зависимости. Принцип Ландауэра устанавливает, что познание есть физический процесс с термодинамической ценой; принцип минимизации свободной энергии Фристана описывает биологического агента как устройство предсказательной компрессии данных; интерфейсная теория восприятия Хоффмана математически показывает, что эволюция отбирает адаптивные, а не верифицирующие интерфейсы. Совокупность этих результатов делает мезокосмический горизонт структурной чертой биологического познания, а не случайным историческим фактом.

Методологическое следствие состоит в следующем. Различие между математическим формализмом теории и ее вербальной онтологией (которое практикующие ученые нередко оставляют имплицитным) оказывается различием между инструментом, работающим за пределами мезокосма, и инструментом, принципиально к нему привязанным. Парадоксы неклассической физики – корпускулярно-волновой дуализм, проблема измерения в квантовой механике, концептуальные затруднения квантовой гравитации – суть по большей части парадоксы вербальной онтологии, а не математического формализма.

Это наблюдение открывает вопрос об ИИ как альтернативном типе познающего агента. Системы машинного обучения, оперирующие непосредственно с физическими данными, строят компрессии, не обязанные воспроизводить структуру мезокосмического опыта. Их онтологические артефакты имеют иное происхождение. Первые свидетельства этого уже наблюдаемы: результаты, полученные нейросетевыми методами в квантовой химии и физике конденсированного состояния, нередко с трудом поддаются интерпретации в терминах

стандартных теоретических концептов. И это является именно тем типом свидетельств, который следовало бы ожидать, если предлагаемая концепция верна.

Было бы, однако, опрометчивым заключить из этого, что ИИ есть готовый инструмент выхода за мезокосмический горизонт. Символьные системы классического ИИ, будучи программируемы людьми, воспроизводили часть онтологических обязательств мезокосмического происхождения. Современные большие языковые модели частично наследуют мезокосмические концептуализации через корпус естественного языка. Вопрос о том, в какой мере нейросетевые архитектуры способны систематически выходить за этот горизонт, остается открытым, и именно как открытый он представляет наибольший исследовательский интерес.

Мезокосмический горизонт, таким образом, есть не приговор науке, но указание на ее структурные границы и на направление, в котором эти границы могут быть расширены. Физика как интеллектуальное предприятие возникла внутри этого горизонта и достигла внутри него замечательных результатов. Математика позволила ей частично заглянуть за него. Вопрос о том, какие познавательные инструменты позволят сделать следующий шаг, остается одним из наиболее глубоких вопросов современной философии науки.

Литература

1. Бэкон Ф. Новый Органон // Бэкон Ф. Сочинения: В 2 т. М.: Мысль, 1978. Т. 2. С. 5–482.
2. Зорич В.А. Энтропия в термодинамике и в теории информации. М.: МЦНМО, 2021. 11 с.
3. Лоренц К. Обратная сторона зеркала. М.: Республика, 1998. 393 с.
4. Михайлов И.Ф. Модели, доменные онтологии и схематизм понятий // «Экспедиции» в науку: Архитектоника региональных онтологий / Под ред.: Б.И. Пружинина, Т.Г. Щединой. Москва; Санкт-Петербург; Белгород: ЦГИ Принт, 2023. С. 154–171.
5. Михайлов И.Ф. Физика как когнитивная склонность: свет, пространство-время и ученые летучие мыши // Философия науки. 2025. № 4 (108). С. 97–113.
6. Behler J., Parrinello M. Generalized neural-network representation of high-dimensional potential-energy surfaces // Physical Review Letters. 2007. Vol. 98, No. 14. Art. 146401.
7. Einstein A. Äther und Relativitätstheorie. Berlin: Springer, 1920. 15 S.

8. *Friston K.* The free-energy principle: a rough guide to the brain? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2009. Vol. 13, No. 7. P. 293–301.
9. *Friston K.J. et al.* *Active Inference: The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior*. Cambridge, MA: MIT Press, 2022. 308 p.
10. *Hoffman D.D.* *The Case Against Reality: How Evolution Hid the Truth from Our Eyes*. N.Y.: W.W. Norton, 2019. 272 p.
11. *Hoffman D.D., Prakash C.* Objects of consciousness // *Frontiers in Psychology*. 2014. Vol. 5. Art. 577.
12. *Hoffman D.D., Singh M., Prakash C.* The interface theory of perception // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2015. Vol. 22, No. 6. P. 1480–1506.
13. *Jumper J. et al.* Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold // *Nature*. 2021. Vol. 596. P. 583–589.
14. *Landauer R.* Irreversibility and heat generation in the computing process // *IBM Journal of Research and Development*. 1961. Vol. 5, No. 3. P. 183–191.
15. *Turing A.M.* On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem // *Proceedings of the London Mathematical Society*. 1936. Vol. 42. P. 230–265.
16. *Unnikrishnan C.S.* Information versus physicality: on the nature of the wave-functions of quantum mechanics // *Academia Quantum*. 2025. Vol. 2, No. 2. P. 1–7.
17. *Wheeler J.A.* *Information, physics, quantum: The search for links // Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Redwood City: Addison-Wesley, 1990. P. 309–336.

References

1. *Bacon, F.* (1978). *New Organon*. In: *F. Bacon Works: In 2 vols., Vol. 2*. Moscow, Mysl Publ., 5–482. (In Russ.).
2. *Zorich, V.A.* (2021). *Entropy in Thermodynamics and Information Theory*. Moscow, Moscow Center for Continuous Mathematical Education, 11. (In Russ.).
3. *Lorenz, K.* (1998). *The Other Side of the Mirror*. Moscow, Respublika Publ., 393. (In Russ.).
4. *Mikhailov, I.F.* (2023). Models, domain ontologies and the schematism of concepts. In: *B.I. Pruzhinin & T.G. Shchedrina (Eds.). "Expeditions" into Science: The Architectonics of Regional Ontologies*. Moscow, St. Petersburg & Belgorod, TsGI Print, 154–171. (In Russ.).
5. *Mikhailov, I.F.* (2025). Physics as a cognitive bias: light, spacetime and bats the scientists. *Filosofiya nauki [Philosophy of Science]*, 4 (108), 97–113. (In Russ.).
6. *Behler, J. & M. Parrinello.* (2007). Generalized neural-network representation of high-dimensional potential-energy surfaces. *Physical Review Letters*, Vol. 98, No. 14, Art. 146401.
7. *Einstein, A.* (1920). *Äther und Relativitätstheorie*. Berlin, Springer. 15.
8. *Friston, K.* (2009). The free-energy principle: a rough guide to the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 13, No. 7, 293–301.

9. *Friston, K.J. et al.* (2022). *Active Inference: The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior*. Cambridge, MA, MIT Press, 308.
10. *Hoffman, D.D.* (2019). *The Case Against Reality: How Evolution Hid the Truth from Our Eyes*. New York, W.W. Norton, 272.
11. *Hoffman, D.D. & C. Prakash.* (2014). Objects of consciousness. *Frontiers in Psychology*, 5, Art. 577.
12. *Hoffman, D.D., M. Singh & C. Prakash.* (2015). The interface theory of perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol. 22, No. 6, 1480–1506.
13. *Jumper, J. et al.* (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596, 583–589.
14. *Landauer, R.* (1961). Irreversibility and heat generation in the computing process. *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 5, No. 3, 183–191.
15. *Turing, A.M.* (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42, 230–265.
16. *Unnikrishnan, C.S.* (2025). Information versus physicality: on the nature of the wavefunctions of quantum mechanics. *Academia Quantum*, Vol. 2, No. 2, 1–7.
17. *Wheeler, J.A.* (1990). Information, physics, quantum: The search for links. In: *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Redwood City, Addison-Wesley, 309–336.

Информация об авторе

Михайлов Игорь Феликсович – Институт философии РАН (109240, Москва, ул. Гончарная, 12, стр. 1).
ifmikhailov@iphras.ru

Information about the author

Mikhailov, Igor Felixovich – Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences (12, Bld. 1, Goncharnaya St., Moscow, 109240, Russia).
ifmikhailov@iphras.ru

Дата поступления 21.04.2026.
Принята к публикации 12.05.2026.