

Гусельцева М.С.

Обзор статьи Larry Abbott & Rocco Gaudenzi
«Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience:
What Each Can Learn from the Other»

Guseltseva M.S.

Review of the article by Larry Abbott & Rocco Gaudenzi
“Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience:
What Each Can Learn from the Other”

*Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований
(Психологический институт), Москва, Россия*

Институт психологии им. А.С. Выготского РГГУ, Москва, Россия

Обозреваемая статья «Теоретическая физика и теоретическая нейронаука: чему они могут научиться друг у друга» (оригинальное название – “Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience: What Each Can Learn from the Other”) представляет собой беседу физика Рокко Гауденци (кафедра гуманитарных наук, университет Вероны, Верона, Италия) с философом, физиком и нейробиологом-теоретиком Ларри Эбботтом (Центр теоретической нейронауки, Колумбийский университет, Нью-Йорк, США). Р. Гауденци написал введение к данной статье и задает Л. Эбботу вопросы, касающиеся способов научного поиска в областях физики и биологии, на которые Л. Эббот дает свои развернутые ответы.

В интервью затронут широкий спектр тем: от фундаментальной природы моделирования в физике и биологии до роли искусственного интеллекта (ИИ) в понимании работы человеческого мозга.

Цель беседы двух ученых – обсудить основные сходства и различия между теоретическими структурами физики и биологии и соответствующими методами моделирования в этих областях.

Для подготовки статьи были использованы методы интервью, философского размышления, сравнительного анализа методологии двух дисциплин.

Л. Эбботт рассуждает о философских основах и практических проблемах этих профессиональных областей, подчеркивая роль математического моделирования в представлении о сложных физических и биологических системах. Итогом беседы стало лучшее понимание способов мышления в областях физики и биологии, а также анализ научной биографии ученого, перешедшего из одного исследовательского пространства в другое.

В качестве основного вывода можно рассматривать умозаключение Л. Эббота о том, что верно поставленный исследовательский вопрос является в науке гораздо более важным фактором, нежели используемый философский или методологический подход.

Ключевые слова: методология, наука, теоретическая физика, нейробиология, практики моделирования в физике и биологии, искусственный интеллект и человеческий мозг

Для цитирования: Гусельцева, М.С. Обзор статьи Larry Abbott & Rocco Gaudenzi “Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience: What Each Can Learn from the Other” // Новые психологические исследования. 2024. № 4. С. 220–228. DOI: 10.51217/npsyresearch_2024_04_04_10

Введение

Обозреваемая статья представляет собой интервью физика Рокко Гауденци (кафедра гуманитарных наук, университет Вероны, Верона, Италия) с Ларри Эбботтом (Центр теоретической нейронауки, Колумбийский университет, Нью-Йорк, США), ученым, чей творческий путь простирался от теоретической физики элементарных частиц до нейронауки. Основной темой беседы стало обсуждение сходства и различия между теоретическими структурами физики и биологии и соответствующими методами моделирования в этих научных областях.

В интервью также затрагивался широкий круг вопросов: от фундаментальной природы моделирования в физике и биологии до роли искусственного интеллекта (ИИ) в понимании работы человеческого мозга.

Сравнительный анализ моделирования физических и биологических систем

Лоуренс Фредерик Эбботт (Laurence Frederick Abbott, р. 1950) – американский нейробиолог-теоретик, доктор философии в области физики. Он получил известность благодаря своим работам по использованию математических и физических моделей для понимания функционирования мозга. В настоящее время Л. Эбботт является профессором Колумбийского университета, а также исследователем в Институте разума, мозга и поведения Цукермана (Columbia’s Zuckerman Institute, <https://zuckermaninstitute.columbia.edu>). Он профессионально занимается компьютерным моделированием, создавая модели систем, которые другие нейробиологи в дальнейшем более детально изучают в своих лабораториях (About Larry Abbott, 2024).

Ранее Л. Эббота интересовала синаптическая пластичность и то, какую роль она играет в процессах памяти и обучения. Он является одним из пионеров теоретической и вычислительной нейронауки, исследующей, каким образом нейронные цепи порождают сложное поведение и когнитивные процессы. Л. Эбботт анализировал интерфейсы мозг-машина, преобразующие сигналы мозга в компьютерный ввод для перемещения курсора или роботизированной руки, а также занимался моделированием психических заболеваний (Ibid.). Сотрудничая с доктором медицины, лауреатом Нобелевской премии Ричардом Акселем (Richard Axel), Л. Эбботт исследовал, как мозг извлекает смыслы из сигналов, управляющих человеческим обонянием. Он также является одним из соавторов фундаментального руководства по теоретической нейронауке (Dayan, Abbott, 2001).

Размышляя о различиях в профессиональной деятельности ученого-теоретика и экспериментатора, Л. Эбботт обратил внимание, что если экспериментаторы обычно фокусируются на конкретной исследуемой ими модели, будь то отдельный участок мозга, биологическая или физическая система, то теоретикам присуще стремление к интеграции знаний, которые они добывают, сотрудничая с разными лабораториями, а потому им принципиально важно «прыгать туда-сюда», то есть, подобно пчелам, переносить нектар знаний из одной дисциплинарной области в другую (About Larry Abbott, 2024). Таким образом, междисциплинарность выступает латентной практикой в профессиональной деятельности теоретика.

В разговоре с Р. Гауденци Л. Эбботт сравнивает профессиональную деятельность ученого в областях теоретической физики и нейробиологии, последовательно показывая, что между физическим и биологическим моделированием существуют как философские, так и практические различия. Согласно Л. Эбботу, для того, чтобы физические принципы сделали возможным применить к биологическим явлениям, в истории науки должны были произойти определенные социологические и методологические сдвиги.

Непринужденно беседуя, Р. Гауденци и Л. Эбботт рассматривают перспективы перехода от работы с универсальными принципами в физике к работе со сложными и менее поддающимися количественной оценке аспектами биологических систем. С этих позиций Л. Эбботт осмысливает отличия между моделированием физической системы и биологической системы уже непосредственно в области нейронауки.

Если физика представляет собой дисциплину, основанную на фундаментальных принципах и законах, то нейронаука лишена

подобных основ. Однако, погружаясь в физические исследования и выходя за пределы физических теорий, можно обнаружить, что на самом деле физики работают с разными уровнями реальности, где имеют дело с разняющимися описаниями мира. «Кажущееся единство физики опирается на переходы от релятивистской квантовой теории поля к нерелятивистской квантовой механике, к классической механике и классическому электромагнетизму и к статистической физике» (Abbott, Gaudenzi, 2024, p. 2).

В нейронауке ситуация противоположная: в ней не достает фундаментальных принципов. Тем не менее, здесь довольно неплохо изучена работа нервной системы, основанная на взаимодействии между химическими и электрическими механизмами.

Влияет ли подобное положение дел на практики моделирования в физике и практики моделирования в биологии? На первый взгляд, у ученых в этих областях существует общеметодологическая цель – сделать неизвестное известным; установить связи между теми вещами, которые прежде казались несвязанными; выявить наиболее значимые аспекты в работе анализируемой системы.

Общим является и метод компьютерного моделирования, представляющий собой симуляцию поведения физических или сложных биологических систем. Моделирование служит важным познавательным инструментом, посредством которого ученые изучают поведение и выявляют особенности физических или биологических систем. Суть успешного моделирования заключается в том, чтобы отыскать необходимый уровень абстракции базовой проблемы, и, несмотря на имеющиеся пробелы в знаниях об изучаемой системе, проследить, чтобы модель, с одной стороны, не утратила своих ключевых свойств, а с другой – не оказалась уж слишком тривиальной. «В обоих случаях нужно найти подходящее математическое описание, которое соответствует задаваемым вопросам по глубине и объему известной информации, и исходить из этого» (Ibid.). При моделировании и физических, и биологических систем используются математика дифференциальных уравнений, методы аппроксимации и общезвестные аналитические приемы.

Если же сфокусироваться на отличиях между исследованиями в области физики и в области биологии, то они будут связаны не столько с методологией, сколько с особенным характером самих систем.

Р. Гауденци задает Л. Эбботу вопрос, сложно ли ему было перейти от способа мышления моделирования в физике к моделированию биологических систем?

Л. Эббот полагает, что современная физика и современная биология находятся на разных стадиях развития своих дисциплин, а этим обусловлены разные способы мышления в этих науках. Например, когда он занимался теоретической физикой элементарных частиц, то эта исследовательская область была «похожа на теоретическую нейронауку сейчас, в том смысле, что процесс состоял из принятия некоторых предположений и наблюдения за тем, что [конкретно] работает», однако в дальнейшем внимание исследователей оказалось «направлено на фундаментальную, все объясняющую теорию» (Ibid., p. 3). В дальнейшем сменив профессиональную область и познакомившись с нейронаукой, Л. Эббот обнаружил, что его новый опыт не сильно отличается от занятий в сфере физики элементарных частиц, поскольку это снова была коллективная научная работа, связанная, прежде всего, с моделированием. В то же время более глубокое погружение в нейронауку потребовало от Л. Эббота смены менталитета: ведь в первом случае требовалось применять уже известные модели к особенностям конкретной ситуации (что в этой сфере было наиболее сложно), тогда как во втором – модель еще предстояло создать (и это оказалось наиболее трудной частью работы), а вот применить модель к ситуации было намного легче.

По существу же, нейронаука отличается от физики не только тем, что не имеет глобальной, «космической теории», но и своей приближенностью к повседневной жизни человека.

Подход ренормализационной группы, или ренормгруппы (renormalization group approach), Л. Эббот называет триумфом физики. Это метод математической физики, разработанный для изучения поведения физических систем на отличающихся масштабах, например, на пространственных или энергетически уровнях. Основная идея этого подхода заключается в том, что физические системы по-разному ведут себя на различных уровнях, или масштабах. Так, поведение системы на микроуровне (например, атомы) может существенно отличаться от поведения системы на макроуровне (например, молекулы). Подход ренормгруппы позволяет проследить, как те или иные параметры системы изменяются при смене масштаба, при переходе от одного уровня к другому.

Между тем, следует отметить такую особенность в поведении систем, как фазовые переходы: считается, что в критических ситуациях, системы проявляют универсальные характеристики, и вот в этих случаях деталями на малых масштабах можно пренебречь (Wilson, 1971).

Л. Эббот полагает, что подход ренормгруппы, дающий возможность «вычислить определенные свойства системы (например, критические показатели), опираясь при этом на минимальные сведения об анализируемой системе, служит хорошим примером философских различий между физикой и нейронаукой» (Ibid., p. 4). Однако, если исследователь, заинтересован в изучении деталей анализируемой системы, то речь идет скорее о биологе, чем о физике. «Искусство моделирования заключается в знании того, что следует исключить, поэтому любое моделирование подразумевает некоторую форму грубой зернистости (some form of coarse-graining). В биологическом моделировании вам просто нужно принять, что то, что вы выбросили при грубой зернистости, так же интересно, как и то, что вы сохранили» (Ibid.).

Цель физика – узнать многое, особо не нагружая собственную память. В свою очередь, биология есть наука об упорядоченном разнообразии мира. «Ее красота понятна, но она, в некотором смысле, несжимаема» (incompressible) (Ibid.). Но упрощается ли физика по мере продвижения к «фундаментальному» уровню частиц, если переход от организмов к их молекулам по сути «ничего не упрощает»? «Легче вычислить путь кирпича, летящего по воздуху, нежели поведение электрона» (Ibid.). Речь здесь может идти лишь об игнорировании «многих» характеристик анализируемой системы при сосредоточении внимания на «немногих». Такое происходит и в физике, и в биологии, однако при изучении биологических систем это может быть неоправданной редукцией.

Достижения в области искусственного интеллекта и теория мозга

В завершении интервью Р. Гауденци интересуется у Л. Эббота, смогут ли текущие достижения в области ИИ способствовать появлению «всеобъемлющей теории мозга» (comprehensive theory of the brain)?

Искусственный интеллект сделался важным фактором в современной жизни и современных научных исследованиях. «Дайте мне рычаг и точку опоры, и я переверну Землю» превратилось в «Дайте мне несколько графических процессоров и триллион параметров, и я создам интеллект», с той разницей, что Архимед в реальности вовсе не перевернул Землю» (Ibid., p. 4). Однако вопрос заключается в том, создает ли ИИ новые модели понимания, отличные от моделей теоретической физики? «Ричард Фейнман сказал: “То, что я не могу

создать, я не понимаю”, но сегодня следует поставить вопрос иначе: “Если я могу это создать, понимаю ли я это?”». В наши дни системы с достаточной степенью сложности умеют создавать тексты на человеческом уровне, и человеческий мозг является одной из таких систем. «Для нейронауки система – это мозг, поэтому вопрос о том, как работает эта конкретная система, останется нерешенным, независимо от того, насколько впечатляющими и значимыми будут достижения в области искусственного интеллекта» (Ibid.).

Хотя современная вычислительная нейронаука вдохновляется физикой («это физика 40-летней давности», – замечает Л. Эббот), но и сама физика подвержена изменениям. С этих позиций Л. Эббот полагает, что нейронауке не следует особенно гнаться за физикой. «Инструменты физики – это инструменты применения математики к природе» (Ibid., р. 5). Гораздо важнее озаботиться искусством нахождения релевантного уровня абстракции, ибо все модели являются абстракциями, а вот сама эта релевантность определяется не столько методологическим подходом, сколько верно поставленным вопросом.

Заключение

Итогом беседы Р. Гауденци и Л. Эббота стало лучшее понимание способов мышления в областях физики и биологии, а также осмысление профессиональной деятельности ученого, переходящего из одного исследовательского пространства в другое.

В качестве основного вывода можно рассматривать умозаключение Л. Эббота о том, что верно поставленный исследовательский вопрос является в науке гораздо более ценным достижением, нежели используемый философский или методологический подход.

Благодарность

Статья выполнена в рамках госзадания, проект FNRE-2024-0016.

Литература

- Abbott, L., Gaudenzi, R. Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience: What Each Can Learn from the Other // Human Arenas. Published online: 23 August 2024. P. 1–5. <https://doi.org/10.1007/s42087-024-00439-w>
- About Larry Abbott. Creating Models of the Brain in Action. What can we learn from simulations of brain circuits? // The Zuckerman Institute, Columbia University. 2024. URL <https://zuckermaninstitute.columbia.edu/larry-f-abbott-phd> (date of access 07.07.2024)
- Dayan, P., Abbott, L.F. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems. London: The MIT Press, 2001.

Wilson, K.G. Renormalization Group and Critical Phenomena. I. Renormalization Group and the Kadanoff Scaling Picture // *Physical Review*. 1971. Vol. 4. No. 9. P. 3174–3183. DOI:10.1103/physrevb.4.3174

Сведения об авторе

Марина С. Гусельцева, доктор психологических наук, доцент, Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (Психологический институт), Москва, Россия; 125009, Россия, Москва, ул. Моховая, д. 9, стр. 4; Институт психологии имени А.С. Выготского, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125047, Россия, Москва, Митусская пл., д. 6; mguseltseva@mail.ru

Guseltseva M.S.

Review of the article by Larry Abbott & Rocco Gaudenzi
“Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience:
What Each Can Learn from the Other”

*Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research
(Psychological Institute), Moscow, Russia*

Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia

The reviewed article presents a conversation between physicist Rocco Gaudenzi (Department of Humanities, University of Verona, Verona, Italy) and philosopher, physicist, and theoretical neuroscientist Larry Abbott (Center for Theoretical Neuroscience, Columbia University, New York, USA). R. Gaudenzi authored the introduction to the article and poses questions to L. Abbott concerning the methods of scientific inquiry in the fields of physics and biology, to which L. Abbott provides detailed responses.

The interview covers a wide range of topics, from the fundamental nature of modeling in physics and biology to the implications of artificial intelligence (AI) for understanding how the human brain works.

The purpose of the dialogue between the two scholars is to discuss the key similarities and differences between the theoretical frameworks of physics and biology, as well as the corresponding modeling methods used in these fields.

For the preparation of the article, methods of interview, philosophical reflection, and comparative analysis of the methodologies of the two disciplines were employed.

The result of the conversation was a deeper understanding of the ways of thinking within physics and biology, as well as an analysis of the scientific biography of a researcher who transitioned from one research domain to another.

The main conclusion drawn from the discussion can be considered L. Abbott’s assertion that a well-formulated research question is a far more important factor in science than the philosophical or methodological approach used.

Key words: methodology, science, theoretical physics, neuroscience, modeling practices in physics and biology, artificial intelligence and the human brain

For citation: Guseitseva, M.S. (2024). Review of the article by Larry Abbott & Rocco Gaudenzi “Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience: What Each Can Learn from the Other”. *New Psychological Research*, No. 4, 220–228. DOI: 10.51217/npsyresearch_2024_04_04_10

Acknowledgment

The article was prepared within a state task, project FNRE-2024-0016.

References

- About Larry Abbott. Creating Models of the Brain in Action. What can we learn from simulations of brain circuits? (2024). *The Zuckerman Institute, Columbia University*. Retrieved from <https://zuckermaninstitute.columbia.edu/larry-f-abbott-phd>
- Abbott, L. & Gaudenzi R. (2024). Theoretical Physics and Theoretical Neuroscience: What Each Can Learn from the Other. *Human Arenas*. <https://doi.org/10.1007/s42087-024-00439-w>
- Dayan, P. & Abbott, L.F. (2001). *Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems*. London: The MIT Press.
- Wilson, K.G. (1971). Renormalization Group and Critical Phenomena. I. Renormalization Group and the Kadanoff Scaling Picture. *Physical Review*, 4(9), 3174–3183. DOI:10.1103/physrevb.4.3174

Information about the author

Marina S. Guseitseva, Sc.D. (Psychology), Associate professor, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research (Psychological Institute), Moscow, Russia; bld. 9–4, Mokhovaya str., Moscow, Russia, 125009; Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya square, Moscow, Russia, 125047; mguseitseva@mail.ru