

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

**Первые принципы теории вероятностей
и некоторые парадоксы современной биологии**

(комментарий к статье Г.Р. Иваницкого)

"XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики")

А.В. Мелких

Проанализирована статья Г.Р. Иваницкого "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики". Показано, что рассмотрение двух парадоксов, приведённых в этой статье, противоречит ряду положений теории вероятностей и известным теоремам оптимизации.

PACS numbers: 01.65. + g, 01.70. + w, 87.23. – n

DOI: 10.3367/UFNr.0181.201104o.0449

В статье Г.Р. Иваницкого "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики" [1], опубликованной в *УФН*, рассмотрено несколько парадоксов биологии и предложены их решения с точки зрения современной физики.

По прочтении статьи создаётся впечатление, что никаких парадоксов в понимании жизни сейчас уже не существует. Между тем это не так. Для того чтобы показать, что предложенные в [1] решения для ряда парадоксов не являются верными, рассмотрим сначала некоторые принципы теории вероятностей. Что можно отнести к первым принципам этой теории в контексте рассматриваемых задач?

Во-первых, это само определение вероятности. Вероятность любого события A равна отношению количества исходов эксперимента Ω , благоприятствующих осуществлению события A , к общему числу всех элементарных исходов. Это означает, что если какое-то состояние системы не запрещено законами физики, то в расчёте вероятностей оно обязательно должно быть учтено. В этом случае ключевым является понятие "эксперимент" — любое действие, которое позволяет определить значение искомой величины.

Априорная вероятность (и связанная с ней априорная информация) также играет важную роль в теории вероятностей. Действительно, пусть у нас есть ключ и m дверей, которые с его помощью могли бы быть открыты. В этом случае среднее число попыток, которое необходимо совершить для открытия двери существенно будет зависеть от априорной информации, которая у нас имеется. Если такой информации нет, то среднее число попыток будет равно m . Чем больше имеется априорной

информации, тем меньше требуется попыток. Это, конечно, в полной мере относится также к молекулам и используется в качестве основы статистической физики.

С другой стороны, в 1990-е годы было доказано несколько теорем, на основе которых можно сделать достаточно общие выводы, касающиеся процессов поиска и оптимизации. В первую очередь, это "теорема о бесплатном завтраке" (No Free Lunch Theorem) [2, 3]. В этой теореме доказано, что не может существовать алгоритмов, оптимальных для всех задач. Решающую роль при этом приобретает априорная информация о задаче. Поскольку процессы эволюции и поведения фактически являются процессами поиска и основываются на определённых алгоритмах, то для этих процессов выводы теоремы представляются принципиальными.

Из рассмотренных в статье [1] парадоксов наибольшие вопросы вызывает анализ двух из них: парадокса 6 (проблема дефицита времени) и парадокса 10 (парадокс буриданова осла). Рассмотрим их по порядку.

Парадокс 6. Проблема дефицита времени. Ф. Хойл и Ч. Викрамасингх сравнили вероятность возникновения жизни с вероятностью сбора суперлайнера из кусков лома. Г.Р. Иваницкий считает, что этот парадокс легко опровергнуть тем, что "сборку целого из составляющих его фрагментов можно осуществить снизу вверх, последовательно по этапам переходя от маленьких блоков к большим, т.е. от атомно-молекулярного уровня — к уровню целого организма". По мнению автора [1] именно так и происходило усложнение и развитие живых систем (блочно-иерархический отбор). При этом не подвергается сомнению дарвиновский принцип: отбор осуществляет внешняя среда.

Однако в этих рассуждениях содержится логическая ошибка: кто (или что) будет определять состав блоков, если внешняя среда и находящийся в ней организм не имеют никакой цели? Тогда нужно перебирать все возможные блоки! (Это было показано в работе [4].) Если

А.В. Мелких. Уральский государственный технический университет, ул. Мира 19, 620002 Екатеринбург, Российская Федерация
E-mail: mav@dpt.ustu.ru

Статья поступила 15 июня 2010 г.

принять, что блочный принцип действует (т.е. эволюция шла именно блоками), то тогда придётся отказаться от основной дарвиновской парадигмы — ненаправленности. Придётся предположить, что в каких-то структурах содержится информация о том, какие именно блоки окажутся хороши в дальнейшем. Если такой информации нет, то деление на блоки окажется эквивалентным полному перебору всех вариантов.

С точки зрения теории вероятностей для понимания механизма эволюции необходимо определить каждый шаг из какого-либо принципа (закона физики, например). В этом случае рассуждение типа "раньше этот блок приводил к хорошему результату, то может и теперь приведёт" не может быть положено в основу эволюционного движения без расчёта вероятностей такого процесса. Однако вероятность существенно зависит от наличия априорной информации для каждого шага. В основе движения молекул лежат законы теории вероятности. Если следовать этим законам, то для молекулы придётся принять, что если какое-либо состояние не запрещено законами физики, то его нужно учитывать при расчётах. То есть если другие сочетания блоков такими законами не запрещены (с точки зрения современной парадигмы таких законов нет), то вероятность того, что эволюция будет происходить именно перебором *правильных* блоков, окажется экспоненциально мала, поскольку общее число блоков экспоненциально велико.

Механизм эволюции (типа блочного) мог бы существовать только при наличии априорной информации о том, что будет хорошо для данного вида в будущем. Универсального механизма такого вида существовать не может, поскольку это противоречит указанной выше "теореме о бесплатном завтраке".

Если бы такой механизм существовал, то при его использовании можно было бы легко решать все NP-сложные (требующие экспоненциально большого числа шагов) задачи (такие, например, как взлом пароля в компьютере).

Не спасает положения и тот факт, что, в отличие от пароля, решение задачи о эволюции не является единственным. В работе [5] рассмотрена такая задача с учётом реальных межвидовых и внутривидовых различий и показано, что при отсутствии априорной информации задача эволюции остаётся NP-сложной и она не может быть реализована за реальные времена.

Таким образом, нужно либо признавать априорную ненаправленность процессов эволюции как основу (такая ненаправленность действительно является основой дарвинизма, если вспомнить, что сама теория Дарвина создавалась как противовес религиозным представлениям, в которых априорная направленность присутствовала по определению), но тогда мы столкнёмся с экспоненциально большими временами эволюции, либо использовать некоторые алгоритмы, существенно сокращающие время эволюции (что будет соответствовать экспериментальным данным), но тогда от априорной ненаправленности как основы теории эволюции придётся отказаться, т.е. придётся предположить, что эволюция в той или иной степени является априорно направленной.

Парадокс 10. Парадокс буриданова осла (проблема приобретения знаний). Г.Р. Иваницкий утверждает, что этот парадокс сводится просто к тому, чтобы система из двух

эквивалентных состояний предпочла какое-либо одно. В качестве решения предлагается шум, в результате которого такой переход неизбежно произойдёт. В такой постановке задачи произошла подмена понятий и самой задачи (соответственно, название парадокса не отражает сути проблемы). Проблема состоит вовсе не в том, как системе прийти в какое-либо из своих равноправных состояний (то, что это может произойти с помощью шума давно известно для физических систем), а в том, откуда берутся новые знания. Это другая проблема! Откуда следует, что в системе (например, мозге человека) должно возникнуть состояние, адекватное изменившейся окружающей действительности? Если возникновение этого состояния определяется алгоритмически (однозначно), то приобретения знаний нет, а если его там не было, то каков механизм его возникновения [6]? Г.Р. Иваницкий предлагает в качестве механизма возникновения знаний случайность. Однако при этом возникает вопрос: откуда следует, что вероятность *случайного* возникновения знаний велика? Наоборот, скорее всего, такая вероятность окажется исчезающе мала, поскольку общее число возможных вариантов синаптических связей между нейронами экспоненциально велико. В этом случае мы опять приходим к ситуации перебора большого числа величин, который займёт экспоненциально большое время.

Далее, в статье просто постулируется, что субъекты множества X обладают способностью к обучению [1, с. 361]. При этом нет никакого определения (математического или логического) того, что понимается под такой способностью. То есть постулируется то, что потом автор стремится доказать.

В [1] цитируются публикации, в которых, по мнению автора, описаны "самообучающиеся нейрокомпьютеры" [7, 8]. Однако тот факт, что какая-либо система называется самообучающейся, вовсе ещё не означает, что она действительно способна самостоятельно приобретать знания. Самообучение нейрокомпьютеров — всего лишь принятый термин, содержание которого можно понять, например, из той же статьи Д.С. Чернавского [7]. Там сказано: «Работа нейропроцессора начинается с предъявления образа. Предъявление образа (ввод первичного набора признаков), производится следующим образом. В начальный момент по *внешним связям* подаются сигналы, переводящие определённые элементы в активное состояние. Предъявленный образ поддерживается некоторое время, в течение которого связи "*обучаются*" (т.е. проводимость связей, по которым течёт ток, уменьшается). После обучения процессор может распознавать экзаменуемые объекты, соотнося их с определённым классом из тех, которым он был обучен». Именно человек подаёт сигналы по внешним связям. Именно тогда и закладывается в нейрокомпьютер новая информация (т.е. он готовится). Если нейрокомпьютер предоставить самому себе (без приготовления его состояния), то очевидно, что он работать не будет.

Таким образом, нейрокомпьютеры самостоятельно приобретать знания не могут.

Если бы существовал некоторый универсальный алгоритм приобретения новой ценной информации, то при этом опять была бы нарушена "теорема о бесплатном завтраке". Это означает, что алгоритм приобретения новой информации мог бы работать только

тогда, когда априорно известно, что это за информация. Но если это известно, то информация не является новой, а заложена ещё до её получения в структуре системы.

Таким образом, в настоящее время никаких простых решений указанных парадоксов не существует. Для того чтобы понять, необходима смена парадигмы в понимании живых систем или нет, нужны дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

Список литературы

1. Иваницкий Г Р *УФН* **180** 337 (2010) [Ivanitskii G R *Phys. Usp.* **52** 327 (2010)]

2. Wolpert D H, Macready W G *IEEE Trans. Evol. Comput.* **1** 67 (1997)
3. Ho Y C, Peiyue D L J. *Optim. Theory Appl.* **115** 549 (2002)
4. Мелких А В *Биофизика* **50** 959 (2005) [Melkikh A V *Biophysics* **50** 832 (2005)]
5. Melkikh A V *Acta Biotheor.* **56** 285 (2008)
6. Мелких А В *Биофизика* **47** 1134 (2002) [Melkikh A V *Biophysics* **47** 1053 (2002)]
7. Чернавский Д С *УФН* **170** 157 (2000) [Chernavskii D S *Phys. Usp.* **43** 151 (2000)]
8. Борисюк Г Н и др. *УФН* **172** 1189 (2002) [Borisjuk G N et al. *Phys. Usp.* **45** 1073 (2002)]

First principles of probability theory and some paradoxes in modern biology

(comment on "21st century: what is life from the perspective of physics?" by G.R. Ivanitskii)

A.V. Melkikh

Ural State Technical University
ul. Mira 19, 620002 Ekaterinburg, Russian Federation
E-mail: mav@dpt.ustu.ru

It is argued that a discussion of two paradoxes in the commented paper is at odds with some points of probability theory and well-known optimization theorems.

PACS numbers: **01.65. + g**, **01.70. + w**, **87.23. – n**
Bibliography — 8 references
Uspekhi Fizicheskikh Nauk **181** (4) 449–451 (2011)

DOI: 10.3367/UFNr.0181.201104o.0449
Received 15 June 2010
Physics – Uspekhi **54** (4) (2011)

Апрель 2011 г.

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

Том 181, № 4

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы

(ответ на комментарий к статье "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики")

Г.Р. Иваницкий

*Дается ответ на комментарии к статье Г.Р. Иваницкого "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики" [УФН **180** 337 (2010)], приведённые в статье А.В. Мелких [УФН **181** 449 (2011)]. Показано, что высказанные А.В. Мелких возражения основаны на недоразумении, связанном с неверной трактовкой оппонентом парадигмы возникновения живой материи.*

PACS numbers: **01.70. + w**, **87.23.Kg**

DOI: 10.3367/UFNr.0181.201104p.0451

Благодарю всех читателей, проявивших интерес к моей статье [1]. Что касается замечаний [2], то они основаны на недоразумении, связанном с тем, что оппонент неправильно трактует парадигму возникновения живой материи. Дело в том, что любая модель строится по сцена-

рию: "если ..., то ...". После "если" идут постулаты (аксиомы), закладываемые в модель. После "то" — аналитические уравнения (или имитационное компьютерное моделирование), а следствия из решений уравнений или моделирования проверяются в эксперименте. С каким бы логическим изяществом мы ни провели построение модели, соответствие её реальности будет определяться заложенными в неё постулатами (аксиомами).

При формулировке гипотез о механизмах возникновения жизни главный вопрос, на который должен себе ответить исследователь, следующий: появление жизни — это неизбежность или случайность? Ответ на этот вопрос принципиален. Если исследователь принимает как аксиому, что появление жизни — это запрограмми-

Г.Р. Иваницкий. Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, ул. Институтская 3, 142290 Пушкино, Московская обл., Российская Федерация
Тел. (496) 773-24-81. Факс (496) 779-05-53
E-mail: ivanitsky@iteb.ru

Статья поступила 20 августа 2010 г.