

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, Pepyne D L *J. Optim. Theory Appl.* **115** 549 (2002)
4. Мелких А В *Биофизика* **50** 959 (2005) [Melikh A V *Biophysics* **50** 832 (2005)]
5. Melikh A V *Acta Biotheor.* **56** 285 (2008)
6. Мелких А В *Биофизика* **47** 1134 (2002) [Melikh 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) [Borisuk 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. Melikh**

*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.

Том 181, № 4

## УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

### ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## Запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы

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

Г.Р. Иваницкий

Даётся ответ на комментарии к статье Г.Р. Иваницкого "XXI век: что такая 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 сценарию:

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 ней 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 запограмми-

**Г.Р. Иваницкий.** Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,  
ул. Институтская 3, 142290 Пущино, 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.*

рованная неизбежность (правда, при этом возникает другой вопрос: кем запрограммированная?), то и используемый язык, и логические построения, а главное, следствия из такой модели будут отличаться от таковых при другом варианте, в котором исследователь принимает как аксиому, что *появление жизни есть запомненная случайность, а эволюция материи цели не имела и не имеет* (см. [1]).

**От случайности к детерминированности (пояснение к парадоксу 6).** Мое объяснение парадокса 6 [1], основано на том, что я придерживаюсь второй аксиомы, поскольку для меня она выглядит более конструктивной и соответствующей не религиозным построениям, а современной науке. Чтобы было понятно, о чём идёт речь, использую известную аналогию. Этот пример принадлежит Г. Кастилеру [3] (цитируется по книге Л.А. Блюменфельда [4, с.31]):

"Пусть имеется сейф с замком; код для его открывания состоит из трёх цифр. Есть набор цифр от 0 до 9 и устройство случайного выбора, позволяющее отобрать из набора тройку цифр. Выберем с помощью этого устройства три цифры и введём их в виде кода в замок сейфа. До такой операции любые мыслимые последовательности из трёх цифр ничем друг от друга не отличались: все они не имели смысла. Введение случайно отобранный тройки цифр в замок сейфа сделало эту последовательность осмысленной. Смысл её заключается просто в том, что данная последовательность позволяет открыть сейф, а другие — нет. Легко видеть, что этот пример в принципе ничем не отличается от примера с нуклеиновыми кислотами. В обоих случаях осмысленная упорядоченность, новая осмысленная информация, создаётся способом запоминания случайного выбора...".

Поэтому все рассуждения об априорной информации, о теоремах поиска и оптимизации информации, в том числе теореме "о бесплатном завтраке", смысла не имеют. Первоначально всё определил *случайный выбор*. Важно другое: если случайный выбор на  $i$ -м шаге состоялся, то на шаге  $i + 1$  область случайного выбора сужается и случайность на последующих шагах постепенно переходит в детерминированность. Это положение можно проиллюстрировать на примере появления на нашей планете воды, которая в дальнейшем сыграла роль фильтра для выбора химических соединений на следующих этапах эволюции. Отобранные водой химические соединения, в свою очередь, играли роль фильтра на последующих этапах химической эволюции и т.д.

Поясним механизм этого рекуррентного процесса. Ныне живущие организмы содержат в себе, помимо воды (кислорода и водорода), до 25 из 83 долгоживущих элементов таблицы Менделеева. При этом 14 из них использованы в количествах, не превышающих 0,01 % общей массы организма или ещё меньших. Лидерами элементов, составляющих 99 % массы живого, являются водород, кислород, углерод и азот, так как в живых организмах в основном присутствуют вода и органические соединения. Наряду с элементами-лидерами есть элементы—"аутсайдеры". В неживой природе содержится несколько десятков элементов "изгоев из живого", которые в живых системах не использовались (или почти не использовались). К таким элементам относятся, например, многие соединения фтора. Почему появились классы элементов-лидеров и элементов-изгоев?

Напрашивается простой, но неполный ответ: *живое на нашей планете эволюционно формировалось из того, что было в большом количестве*. Действительно все лидеры, H, O, N и C, являются очень распространёнными химическими элементами. Они имеют атомы наименьшего размера и приобретают стабильные электронные конфигурации после присоединения одного, двух, трёх или четырёх электронов. Физико-химической основой важнейших соединений живой природы является углерод.

Но какое вещество является самым распространённым на Земле? По-видимому, не углерод, а перовскит  $\text{CaTiO}_3$ . Перовскит составляет около половины общей массы нашей планеты. Именно из него в основном состоит мантия Земли [5]. Если говорить о поверхности Земли, то казалось бы, что, действительно, все атомы лидеры, H, O, N и C, присутствующие в живых организмах, — весьма распространённые химические элементы в коре Земли и на её поверхности. Среди них интересен углерод, который приобретает стабильную электронную конфигурацию после присоединения четырёх электронов. Однако ближайший сосед углерода в таблице Менделеева кремний и его соединения являются более распространёнными на поверхности Земли, по сравнению с углеродом и его соединениями. Содержание кремния в земной коре составляет по разным данным от 27,6 до 29,5 % по массе. Кремний, так же как и углерод, имеет тенденцию к присоединению четырёх электронов и образованию ковалентных связей. Содержание углерода в земной коре по массе составляет всего 0,1 %. Таким образом, гипотеза об использовании химических элементов для биологической эволюции только по критерию их распространённости подтверждается лишь частично.

Противоречие устраняется, если предположить, что сначала на нашей планете появилась жидкая вода, синтезированная в чреве планеты или занесённая ледяными метеоритами из Космоса с растворёнными в воде оксидами некоторых металлов. Этот раствор стал основным фильтром отбора и определил последующие этапы "выбора и отбраковки" химических элементов для синтеза живого.

Следует отметить специфику взаимодействия с водой соединений различных химических элементов. С одной стороны, кремний соединён с атомами кислорода связями, которые образуют каждый из двух его неспаренных электронов с одним из электронов атомов кислорода, что, возможно, было бы хорошо для эволюции, поскольку вызывает процесс суперполимеризации и обуславливает умеренную растворимость в воде таких соединений. Но с другой стороны, сами цепи кремния Si—Si неустойчивы в присутствии воды и чувствительны к молекулам малого размера, имеющим неразделённые пары электронов. Например, углеводородное соединение метан ( $\text{CH}_4$ ) устойчиво к воде и гидрооксиду натрия, а кремнийводородное соединение силан ( $\text{SiH}_4$ ), напротив, вступает с ней в реакцию, образуя силикат натрия и газообразный водород ( $\text{SiH}_4 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 4\text{H}_2$ ). Другими словами, соединения C и Si ведут себя по-разному в водном окружении [6].

Также отличается сродство к воде соединений углерода с водородом от сродства к воде соединений углерода с фтором, поскольку перфторуглероды отличаются особой стереохимией [7]. Они покрыты "шубой"

из атомов фтора, все связи которых ковалентно замыкаются на находящихся внутри атомах углеродов. Такие молекулы инертны и сильно гидрофобны, они отталкиваются от поверхности воды [8]. Полная несмачиваемость водой таких соединений и их инертность, по-видимому, и стала причиной зачисления многих соединений фтора в класс "изгоев" на первых этапах предбиологической эволюции.

Поэтому напрашивается гипотеза о том, что на начальном этапе эволюции вода отбирала строительный материал для последующего создания Жизни. Она же сохраняла свои находки, сглаживая природные температурные катаклизмы. Суша, по сравнению с Океаном, в большей степени была подвержена резким повышениям или понижениям температуры. В результате животный и растительный мир Суши быстро обновлялся, но и часто погибал, а Моря и Океаны сохраняли многие виды живых организмов и их геномов с ранних периодов эволюции.

Специфика взаимодействия воды с соединениями различных элементов постепенно превращала случайный выбор в направленный. Утверждение о том, что без  $H_2O$  на нашей планете не было бы жизни, звучит банально, но я вкладываю в него другой смысл. *Без воды не только не было бы той углеродно-водной материи, которую сегодня мы называем живой, но даже не появились бы физико-химические условия для её возникновения.*

Вопрос: в какой из Земных сфер или в Космосе зародилась жизнь? *Углеродная жизнь могла зарождаться везде и многократно.* Для примера рассмотрим наиболее необычную сферу для её зарождения — глубины коры Земли. Геологическая история Земли составляет порядка 4,6 млрд лет [9]. Выход газов вследствие вулканической деятельности понижал давление внутри Земли. При этом магма периодически изменяла кислотно-щелочной состав поверхности планеты в направлении углеводородной специализации. Изменение рельефа Земли — это идеальный способ создания замкнутых объёмов и условий для их заполнения водой. Углеводороды, составляющие основу всех систем живых организмов,  $C-H-O$ ,  $C-H-N$ ,  $C-H-O-N$ ,  $C-H-O-N-P$ , могли быть синтезированы внутри Земли, но первоначально в негидратированном (примитивном) состоянии. В более поздние периоды они могли быть выброшены в гидросферу поверхности Земли и в результате взаимодействия с водой из безводных предшественников ( $C_5$ ,  $C_4N_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_5H_2N_2$ ,  $C_5H_3N_5$ ,  $C_4H_3N_3$ ,  $C_{10}H_5N_5$ ,  $C_{10}H_5N_3O_{2,5}P$ ) на основе гидратации под воздействием океанической воды могли возникнуть органические вещества живой материи:  $C_5 + 5H_2O = C_5H_{10}O_5$  (рибоза),  $C_4N_2 + 2H_2O = C_4H_4N_2O_2$  (урацил),  $C_2H_2 + 4H_2O = C_5H_{10}O_4$  (дезоксирибоза),  $C_5H_2N_2 + 2H_2O = C_5H_6N_2O_2$  (тимин),  $C_5H_3N_5 + H_2O = C_5H_5N_5O_2$  (гуанин),  $C_4H_3N_3 + H_2O = C_4H_5N_3O$  (цитозин) и др. [10–12].

Таким образом, эволюционный процесс, как и отмечалось в статье [1], происходил блоками с непрерывным сужением выбора на следующих этапах эволюции. *Существующее (случайно возникшее) определяло возникающее* [13]. По мере отбора химических соединений сохраняющиеся соединения сужали разброс выбора следующих соединений. В случайному процессе возникал детерминированный тренд отбора. Очевидно, что при таком *блочно-иерархическом отборе* требуемое для эволюции время существенно уменьшается по сравнению с тако-

вым при полном случайному переборе, что и было показано в статье [1].

**Новые знания возникают на основе конкуренции.** Что касается второго замечания оппонента, относительно механизма формирования знаний биологическими системами, то в статье [1] этот механизм подробно не рассматривался, поскольку он ранее частично был изложен в работе [14]. Тем не менее, поскольку оппонент изложил свой взгляд на этот вопрос, с которым трудно согласиться, необходимо дать некоторые пояснения.

По-видимому, оппонент находится во власти парадигмы, согласно которой мозг человека — это большой и сложный компьютер. Современный компьютер — это символический преобразователь со сравнительно ограниченным ресурсом конструктивных возможностей, но почти с полной семантической свободой творчества *программиста*. Это позволяет получать программные продукты для решения разнообразных задач. Создаётся иллюзия, что компьютер по мере увеличения его конструктивного и программного ресурсов приблизится к биологическим устройствам переработки информации, включая мозг человека. Ключевое слово здесь — *программист*. По-видимому, наличие *программиста* привело оппонента к следующему утверждению: "...*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*" [2].

Неправомерность такого постулата объясняется тем, что мозг — это не информационная цифровая вычислительная машина, а *аналоговая биохимическая машина*, которая не нуждается в программном или каком-либо лингвистическом обеспечении. В основе её работы лежат совсем другие принципы, в частности *принцип конкуренции* между её элементами за конечные ресурсы. У примитивных систем эти ресурсы в основном ограничиваются пищевыми ресурсами (кислород, глюкоза, вода) и размножением; по мере *эволюционного усложнения* центральной нервной системы перечень ресурсов расширяется, появляются информационные ресурсы (внимание, память, эмоции и т.д.). Здесь нет возможности подробно излагать механизмы, лежащие в основе усложнения нейросистем различных организмов. Весенняя сессия Общего собрания Российской академии наук в 2010 г. была посвящена наукам о мозге, материалы этой сессии представлены в [15, 16]. На этой сессии было несколько докладов, в которых излагались механизмы обработки информации мозгом. С некоторыми идеями можно ознакомиться также в наших обзорах "От динамики популяционных автоволн, формируемых живыми клетками, к нейроинформатике" [17] или «Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом — итоги "десетилетия"» [18].

Далее оппонент предполагает, что поскольку количество нейронов в мозге чрезвычайно велико, то необходим очень большой перебор вариантов для получения мозгом нового знания. Ошибка такого утверждения состоит в том, что механизм работы *аналоговых биохимических машин* основан не на дискретном переборе всех возможных вариантов комбинаций нейронов, а на автowолновых принципах взаимодействия коллективных мод. Например, при описании активности коры голов-

ного мозга используется крупномасштабная сеть, в которой каждый узел — это нейронный кластер (нейронный ансамбль), состоящий из множества нейронов. Такое описание называют "моделью нейронных масс" (neural mass model). Эти кластеры — динамические образования, создающие моды. Кластеры и их моды существуют, "умирают", распадаются и формируют новые образования за счёт появляющихся и исчезающих функциональных связей. Эти механизмы хорошо изложены в недавнем обзоре М.И. Рабиновича и М.К. Мюезинолу "Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность" [19].

Наконец, последнее, философское, замечание. Если принять точку зрения оппонента, то это будет означать, что новые знания *a priori* закладываются в нас. Такое утверждение можно трактовать так: существует нечто вне материального мира, которое раскрывает перед человеком строение внешнего мира, называемое нами *знаниями*. Для науки такая постановка вопроса не имеет смысла, так как само существование знаний как иррациональной субстанции вне нашего сознания не может быть предметом научного исследования.

В приобретении знаний мы обнаруживаем тот же механизм блочно-иерархического отбора, что и в биологической эволюции. По мере накопления знаний систематизированные знания предыдущих этапов сужают разброс вероятностей обнаружения новых знаний. Так в случайному процессе изучения природы возникает детерминированный тренд. Очевидно, что при таком сценарии требуемое время для последующих этапов развития науки непрерывно уменьшается по сравнению с тем, которое потребовалось бы при полном случайному переборе, а само развитие науки ускоряется [20, с. 68–86].

## Список литературы

1. Иваницкий Г Р УФН **180** 337 (2010) [Ivanitskii G R *Phys. Usp.* **52** 327 (2010)]
2. Мелких А В УФН **181** 449 (2011) [Melikh A V *Phys. Usp.* **52** (4) (2010)]
3. Quastler H *The Emergence of Biological Organization* (New Haven: Yale Univ. Press, 1964) [Кастлер Г *Возникновение биологической организации* (М.: Мир, 1967)]
4. Блюменфельд Л А *Проблемы биологической физики* (М.: Наука, 1977) [Blumenfeld L A *Problems of Biological Physics* (Berlin: Springer-Verlag, 1981)]
5. Kepler H et al. *Science* **322** 1529 (2008)
6. Wald G, in *Horizons in Biochemistry* (Eds M Kasha, B Pullman) (New York: Academic Press, 1962) p. 127 [Уолд Дж, в сб. *Горизонты биохимии* (М.: Мир, 1964) с. 102]
7. Мацуо М, Отоси С *Соединения фтора* (М.: Мир, 1990)
8. Иваницкий Г Р и др., в сб. *Горизонты биофизики: от теории к практике* (Под ред. Г Р Иваницкого) (Пущино, 2003) с. 52
9. Маракушев А А *Происхождение земли и природа ее эндогенной активности* (М.: Наука, 1999)
10. Маракушев А А, Маракушев С А *Докл. РАН* **406** 521 (2006) [Marakushev A A, Marakushev S A *Dokl. Earth Sci.* **406** 141 (2006)]
11. Маракушев А А, Маракушев С А *Докл. РАН* **414** 83 (2007) [Marakushev A A, Marakushev S A *Dokl. Earth Sci.* **414** 561 (2007)]
12. Маракушев А А, Маракушев С А *Докл. РАН* **420** 97 (2008) [Marakushev A A, Marakushev S A *Dokl. Earth Sci.* **420** 602 (2008)]
13. Prigogine I *From Being to Becoming: Time and Complexity in The Physical Sciences* (San Francisco: W.H. Freeman, 1980) [Пригожин И *От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках* (М.: Наука, 1985)]
14. Иваницкий Г Р, Медвинский А Б *Биофизика* **47** 1140 (2002) [Ivanitsky G R, Medvinsky A B *Biophysics* **47** 1059 (2002)]
15. "Научная сессия Общего собрания Российской академии наук" *Вестн. РАН* **80** (5–6) 397 (2010) ["Scientific Session of the General meeting of the Russian Academy of Sciences" *Herald Russ. Acad. Sci.* **80** 187 (2010)]
16. Григорьев А И (Ред.) *Мозг. Фундаментальные и прикладные проблемы* (М.: Наука, 2010)
17. Иваницкий Г Р, Медвинский А Б, Цыганов М А УФН **164** 1041 (1994) [Ivanitskii G R, Medvinskii A B, Tsyanov M A *Phys. Usp.* **37** 961 (1994)]
18. Борисюк Г Н и др. УФН **172** 1189 (2002) [Borisuk G N et al. *Phys. Usp.* **45** 1073 (2002)]
19. Рабинович М И, Мюезинолу М К УФН **180** 371 (2010) [Rabinovich M I, Muezzinoglu M K *Phys. Usp.* **52** 357 (2010)]
20. Иваницкий Г Р *Круговорот. Общество и наука* (М.: Наука, 2005)

## Remembering a random choice kills alternatives

(reply to comment on "21st century: what is life from the perspective of physics?"")

### G.R. Ivanitskii

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,  
ul. Institutskaya 3, 142290 Pushchino, Moscow region, Russian Federation  
Tel. (7-496) 773-2481  
Fax (7-496) 779-0553  
E-mail: ivanitsky@iteb.ru*

In his comment [*Usp. Fiz. Nauk* **181** 449 (2011) (*Phys. Usp.* **54** (2011))] on my paper [*Usp. Fiz. Nauk* **180** 337 (2010) (*Phys. Usp.* **53** 327 (2010))] A.V. Melikh raises the question of the initial conditions for the appearance of life on our planet. He suggests that the origin of life is a purposeful process. I believe that life is due to a memorized random selection. It is what is taken as the initial postulate which determines the understanding of how life emerged and evolved on our planet.

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

DOI: 10.3367/UFNr.0181.201104p.0451

Bibliography — 20 references

Received 20 August 2010

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **181** (4) 451–454 (2011)

*Physics – Uspekhi* **53** (4) (2011)