

УДК 577.3

ПОЧЕМУ НЕ ПРЕКРАЩАЮТСЯ ДИСКУССИИ НА ТЕМУ: ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЗИКИ

(ответ на статью А.М. Смолевича
«Гипотеза о физической природе феномена жизни»)

© 2021 г. Г.Р. Иваницкий

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
142290, Пущино Московской области, ул. Институтская, 3

E-mail: ivanitsky@iteb.ru

Поступила в редакцию 25.01.2021 г.

После доработки 12.07.2021 г.

Принята к публикации 08.07.2021 г.

Рассмотрен механизм образования энергетической щели при взаимодействии открытых нелинейных систем на разных иерархических уровнях их организации. Показано, что наличие энергетической щели не является специфическим признаком живых систем, так как этот признак имеет место и в системах, которые принято называть неживыми.

Ключевые слова: энергетическая щель, определение жизни с позиции физики.

DOI: 10.31857/S0006302921050239

Я благодарю А.М. Смолевича за проявленный интерес к моей статье [1]. Что касается его попытки отделить «живое» от «неживого» с помощью такого признака, как «наличие в электронном спектре живых систем энергетической щели», то такая попытка не приведет к успеху. Сначала отвечу на вопрос: «Что такое энергетическая щель на каждом из уровней иерархической организации биосистем?» Затем отвечу на вопрос: «Является ли наличие энергетической щели специфическим свойством живой материи и отсутствует ли этот признак в неживой материи?»

1. ЧТО ТАКОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЩЕЛЬ

В-первых, при температуре, близкой к комнатной температуре 293 К, а тем более для теплокровных животных, у которых внутренняя температура $T \geq 310$ К, сверхпроводимость невозможна. Сверхпроводимость предполагает, что в системе не должно происходить рассеяние энергии, т.е. она не должна преобразовать при работе часть своей кинетической энергии в тепловую энергию. Сверхпроводимость возможна, когда $T \rightarrow 0$ К, т.е. приближается к абсолютному нулю, тогда энергия тепловых флуктуаций также стремится к нулю, поскольку сопротивление флюктуационного переноса энергии в этом случае равно нулю. А.М. Смолевич в этом смысле прав, отмечая, что сверхпроводящее состояние — это лишь одно из

характерных состояний, наряду с рядом других. Он предлагает, уподобляя живую систему полупроводнику, искать разделяющий признак живого от неживого на атомном уровне и для этого использовать понятие «энергетической щели» в качестве плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми, где нет разрешенных уровней энергии. По сути это есть характеристика устойчивости системы, полученной в результате поляризации, т.е. разделения энергии зарядов. Следует заметить, что энергия Ферми — одно из центральных понятий физики *твёрдого тела*, а живые системы состоят из материалов с разной плотностью с различающимися физико-химическими свойствами. Большей своей частью они состоят из жидкостей (коллоидных растворов) на водной основе и, следовательно, могут работать, когда $T \geq 273$ К, т.е. когда жидкость не кристаллизована, а подвижна. Напомним, что в живых организмах, обитающих на суше, содержание воды уменьшается, но по-прежнему вода составляет большую часть любого живого организма. Например, во взрослом человеке весом 70 кг в норме содержится до 75% воды, а сухая масса составляет 25%. Внутриклеточная жидкость нашего организма — 27.2 л (40%). Она включает тканевую жидкость и лимфу (20.4 л, или 30%), а также плазму крови (3.4 л, или 5%). Второе место по весу занимают кости и жир различного состава, но его содержание меньше. Человек содержит в норме по-



Рис. 1. Пирамида иерархических структурных уровней организации биосистем, включая социальные системы.

рядка 10.2 кг жировых компонентов (включая мембраны клеток), т.е. приблизительно 15% от своего веса. Только 10% веса человека приходится на все другие соединения (белки и нуклеиновые кислоты), хотя последние и определяют специфику нашего существования. Связанная вода занимает от 25% до 70% объема белковых структур [2]. Поэтому попытки *интегрального рассмотрения* живых систем, начиная с начала XX века, *в терминах твердых тел* (например, в терминах твердых электретов) особого успеха не принесли. Электретами называют вещества, обладающие внешним электрическим полем подобно тому, как магнит обладает магнитным полем. Основой электретов является неравновесная электрическая поляризация, создающая долговременное электростатическое поле. При воздействии на электрет любым полем (включая нагрев), которое нарушает ориентацию частиц-диполей, возникает ток, и поляризация разрушается. Энергия электрического поля переходит в тепловую энергию $k_B T$. В клетках тканей живых систем, покрытых фосфолипидной мембраной, которая обладает сопротивлением 10^4 – 10^6 Ом см и образует тканевую покров всех электрически возбудимых систем (синцитий сердца, нейронной сети мозга, стенок желудка и т. д.), такое поле существует и измерено. Однако оно существует и в неживых системах — в диэлектриках и полупроводниках с удельным сопротивлением не менее 10^7 Ом см. При термодинамическом равновесии для неживого вещества характерное время деполяризации 10^{-5} с. В живых системах с жидким наполнением, подобных электролитам, это время уменьшается

и может находиться даже в пикосекундном диапазоне. Такие параметры, как диэлектрические потери, электрическая релаксация, электропроводность и т.п., хорошо известны всем физикам. Наличие изменения энергии Ферми в термодинамике эквивалентно росту химического потенциала системы. Другими словами, поляризация не может служить признаком, отличающим живую от неживой материи.

Во-вторых, как было отмечено выше, все биологические системы имеют иерархическое строение (рис. 1). Поэтому необходимо определиться, на каком уровне мы пытаемся описать динамику работы биосистем и их взаимодействия между собой, поскольку от выбора уровня рассмотрения будет зависеть язык описания. При температурах выше абсолютного нуля по шкале Кельвина все системы находятся в колебательном режиме. В связи с этим их взаимодействия удобно рассматривать в терминах волн с детерминированной и стохастической (шумовой) компонентами. Из-за наличия вклада шума прогнозировать результат взаимодействия нелинейных биосистем можно лишь с определенной вероятностью [3–5].

В-третьих, если пытаться производить оценку энергетической щели в живых системах в терминах классической механики, то ее величина будет колебаться в широких пределах в зависимости от массы выделенных и взаимодействующих друг с другом структур. В работе [6] нами были даны способы и оценки колебаний для различных биосистем.

В-четвертых, наиболее простым методом волновых взаимодействий двух биосистем служит теория автоволн. В работе [7] (на примере постро-

ения бактериями своих колоний) было показано использование этой теории. Этот же подход к описанию живых систем распространяется и на другие биосистемы на клеточном уровне.

В-пятых, существуют по крайней мере четыре причины, которые приводят к ускорению процессов как в живых системах, так и в тех системах, которые называют «неживыми»:

ускорение процесса во времени путем увеличения шага τ (характерного внутреннего времени) по шкале внешнего реального времени t , так как при этом величина t/τ уменьшается;

— появление эстафетного ускорения за счет толчков активной среды. Примерами могут служить: волновое распространение пламени по бикфордову шнуру или пороховому скотчу, лесной пожар, переход от декогерентной волны к когерентной волне, появление солитонов при сужении граничных условий при распространении волны и т.д.;

— понижение сопротивления вязкой или газовой среде при переходе от турбулентного движения к ламинарному, а в твердотельных механических системах — появление при определенных условиях отрицательного сопротивления, например маятник Фруда, когда ускоряющий момент будет в среднем больше тормозящего [8];

— нарушение устойчивости из-за конкуренции при столкновении двух потоков, например, при описании изменения погоды в результате взаимодействия «циклон $\leftrightarrow$ антициклон».

В-шестых, если использовать язык квантовой механики для описания живых клеток, то можно сделать оценки для биохимических процессов сохранения квантовой когерентности или поляризации. При этом потребуется сравнительно большой временной интервал жизни когерентности ~ 1 с [9]. Это достигается за счет структурной организации макромолекулярных компонентов, составляющих основу живых систем. В этом временном интервале молекула фермента, ускоряющего реакцию, частично защищена от энергии теплового взаимодействия со стороны молекул остальной части клетки, находящихся в пространственных пределах от нее на расстоянии более ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Аналогично, гистон в упаковке ДНК может служить защитой когерентного кодирования нуклеотидов [10]. Конкретизация этих механизмов в приложениях к глобулярным белкам (например, гемоглобину или миоглобину) или к фибриллярным белкам (актину, миозину и др.) также может быть описана на языке квантовой механики [11–13]. Выбор языка описания — это дело исследователя. Природа едина, а выбор методов ее описания — это предмет договоренности между исследователями. Критерий один: чем проще и понятнее, тем лучше. Лишь бы результат подтверждался экспе-

риментально и имел бы практические приложения.

В-седьмых, общий закон для описания как живой, так и неживой природы один и тот же: рост когерентности в одной локальной области приводит к увеличению декогерентности (хаоса) в другой области или в окружающей среде. Это закон аффинного преобразования отношений цен действия к размерам системы, который определяет устойчивость системы при конкуренции с другими системами. На квантовом уровне он известен как принцип Гейзенберга:

$$E\tau \geq h, \quad (1)$$

где E — энергия, затраченная на один временной шаг τ , а h — постоянная Планка (минимальная цена действия).

На макроуровне его можно записать как

$$\Delta E \Delta \tau \geq \Delta H \text{ или } \Delta p \Delta x \geq \Delta H, \quad (2)$$

где ΔE — требуемое приращение кванта энергии при увеличении на один квант временного шага $\Delta \tau$ по шкале времени (сокращение времени реакции), а ΔH — приращение цены действия или требуемое приращение кванта импульса движения $\Delta p = mv$ при увеличении на один квант пространственного шага Δx по шкале пространства. Из выражения (2) имеем

$$(\Delta E \Delta \tau / \Delta p \Delta x) \geq 1. \quad (3)$$

Как распорядится любой живой организм этими параметрами при конкуренции с другими организмами и внешней средой, чтобы обеспечить устойчивость своего существования, показывает результат конкуренции. При конкуренции двух или более развивающихся систем выигрывают те, которые выживают, т.е. достигают результата существования при наименьшей цене действия.

Ниже приведем несколько примеров, поскольку примеры всегда понятнее, чем обобщения.

Первый пример. На всех иерархических уровнях живого организма вышестоящий уровень модулирует высокочастотные стохастические процессы нижнего уровня. Например, на пространственных масштабах в десятки ангстрем мы видим, что макромолекула глобулярного белка (рис. 2а) в среднем содержит порядка 2000–5000 атомов, которые в этом масштабе могут рассматриваться как неизохронные микромаятники, колеблющиеся случайно.

Они отклоняются вокруг ковалентных связей в полипептидном остове молекулы на углы порядка 20–60°. Эти движения стохастичны и не согласованы между собой, но под влиянием периодических энергетических потоков, создаваемых переходами АТФ $\rightarrow$ АДФ в митохондриях или флуктуациями изменения кислотности среды, их колебания могут синхронизироваться. Флуктуа-

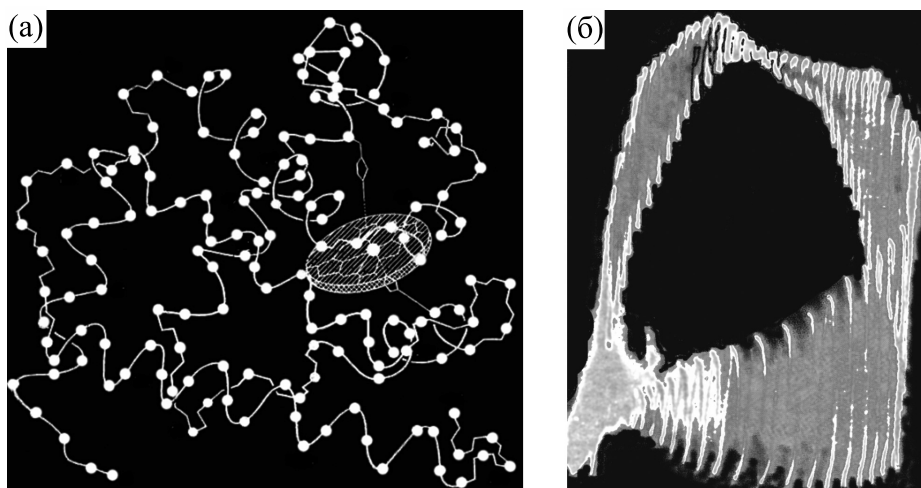


Рис. 2. Биосистемы с переходным процессом «порядок $\leftrightarrow$ хаос». (а) — Молекула глобулярного белка миоглобина имеет подвижную пространственную упаковку атомов. Ее размер порядка 50 Å. Внутри «облака» атомов находится группа атомов, формирующих гем (светлый диск), который присоединяет кислород. Различная форма «облака», возникающая при движении атомов, окружающих гем, либо мешает (при асинхронных колебаниях), либо, наоборот, способствует (при синхронных колебаниях) присоединению или отдачи атома кислорода. (б) — Вектор-кардиограмма, снятая в полярных координатах (спациокардиограмма начала инфарктного состояния). Впервые была построена чешским ученым В. Лауфбергером еще в 60-х годах XX века.

ции атомов, расположенных внутри глобулярных белков, не превышают 0.5 Å, но на поверхности могут достигать 2 Å и более с характерными временами 10^{-9} – 10^{-3} с. Если флуктуации синхронизуются, то, например, в молекуле миоглобина энергетические барьеры для проникновения молекулы кислорода снижаются почти в 20 раз. Это позволяет миоглобину в динамическом режиме выполнять свою функцию связывания молекул кислорода с затратой энергии всего 8.5 ккал моль $^{-1}$. Подобные управляемые с более высокого иерархического уровня переходы, в основе которых лежит модуляция случайного движения на нижнем уровне, характерны для работы практически всех биосистем [14].

Другой пример. Все органы живых организмов работают в циклическом периодическом режиме. Сердце, желудок, кишечник и другие органы имеют как собственный, так и навязанный извне ритм работы. Другими словами, верхний уровень (мозг), взаимодействуя с внешней средой, модулирует собственную частоту нижнего уровня (органов тела) так, чтобы обеспечить устойчивость организма в целом. Например, средняя частота сокращений сердца человека приблизительно 60–70 ударов/мин, у собаки — 90–100 ударов/мин, у крысы — 350 ударов/мин, желудок человека сокращается с частотой 3 цикла/мин, собаки — 4–5 циклов/мин, у кошки — 6–7 циклов/мин и т.д. Известно, что типичная электрокардиограмма здорового человека не является полностью регулярным процессом и имеет существенную хаотическую компоненту. Иссле-

дование хаотической динамики сердечного ритма, путем определения меры регулярности этого процесса, позволяет даже прогнозировать заболевания человека на раннем этапе их развития (рис. 2б).

При спектральном анализе циклов сердца на фоне случайных колебаний проявляется ряд специфических гармоник, отражающих состояние подкорковых нервных центров дыхания (1.2–1.5 колебаний в минуту) и активность автономного контура регуляции сердечного ритма мозгом (2 колебания в минуту). За 13 ч до остановки сердца в динамике цикла начинают исчезать хаотические компоненты. Сердечный цикл замедляется, а векторная кардиограмма становится почти окружностью. Это хорошо заметно при наложении в полярных координатах циклов друг на друга. Внезапная сердечная смерть представляет собой результат выхода системы из режима переходов «детерминированность $\leftrightarrow$ хаотичность». Управление сердца мозгом исчезает, после чего изменения быстро идут к исчезновению ритма, т.е. к остановке сердца и к гибели живого организма [14].

Если акцентировать внимание на социальных процессах, то рассмотренные выше положения оказываются полезными для описания работы в системах «хищник $\leftrightarrow$ жертва», в демографии это «рождаемость $\leftrightarrow$ смертность», или в экономике, например, при оптимизации управления биржей или рынком на основе периодической смены законов управления по результатам мониторинга возникающих ситуаций [15–19].

Механизмы переходов «детерминированность ↔ стохастичность» используются на всех структурных уровнях управления биосистемами. В синергетике в приложении к живым системам известно правило: *биосистемы работают на границе порядка и хаоса*. Энергетическая щель, о которой говорит А.М. Смолович в своей статье, — это порог энергетического перехода между порядком и хаосом. Изменение порога возбуждения приводит к изменению симметрии системы. Корректировка отклонения «симметрия ↔ асимметрия» есть способ управления биосистемами. А существенное отклонение от положения равновесия может привести к разрушению биосистемы [15].

2. МОЖНО ЛИ НАЛИЧИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ ПРИНЯТЬ ЗА АБСОЛЮТНЫЙ ПРИЗНАК ОТЛИЧИЯ ЖИВОГО ОТ НЕЖИВОГО

В моей статье «XXI век: что такое жизнь с позиции физики» [1], которая послужила поводом для заметки А.М. Смоловича, имелась таблица. Приведу ее здесь.

По-сути, в своей статье А.М. Смолович предлагает дополнить колонку «*Признаки живой материи*» этой таблицы дополнительным одиннадцатым признаком: «*Наличие в электронном спектре живых систем энергетической щели*». Однако из изложенного выше (в пятом пункте раздела 1) следует, что колонка «*Признаки неживой материи*» также будет заполнена (маятник Фруда, лесной пожар и т.д.).

ВЫВОДЫ

1. Попытка найти какой-либо один абсолютный, характерный признак живого — занятие малоперспективное. В живых системах не обнаруживаются никаких свойств, которыми не обладали бы неживые объекты.

2. Задача определения жизни и механизма ее возникновения с точки зрения физики является *некорректной обратной задачей*, поэтому она неразрешима. Наука требует фактов и основана на операционном методе. Наше желание дать точное определение *жизни и живого* — это не более чем «игра ума» с сильным антропоцентрическим акцентом. Отсюда и возникает множество определений *жизни и живого* и их отличий от *неживого*.

3. Естественно, что каждый автор считает, что данное им определение является верным и исчерпывающим. Так было и так будет, пока человечество не столкнется с другими вариантами «развитой жизни» на другой физической основе, если эти варианты действительно существуют не только в умах фантастов, а в реальности.

P.S. Работа [1], на которую обратил внимание А.М. Смолович, была написана более десяти лет назад. На некоторые вопросы, поставленные в ней, ответить удалось [15–22]. Но по-прежнему нет ответа на вопрос: «Чем отличается живое от неживого?» Причина простая. Все живое и неживое, окружающее нас, встроено в нашу Вселенную. Физические законы нашей Вселенной основаны на ее фундаментальных физических постоянных (гравитационная постоянная, постоянная Планка, скорость света в вакууме, масса покоя электрона, постоянная Больцмана, постоянная Авогадро и т.д.). Их более тридцати. Поскольку все живое возникло, эволюционировало и существует в одной и той же Вселенной с неживой природой, то оно не может не подчиняться одним и тем же ее законам. Живое собрано из тех же элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева, что и неживое. Отличие живого от неживого состоит только в том, что живое сформировалось из *ограниченного разнообразия элементов таблицы Менделеева, но обменяло это ограничение на расширение кинетического использования разнообразия физических законов природы*. Это позволило живому существенно повысить пространственно-временную *скорость адаптации* к изменениям внешней среды, повысить скорости комбинаторных обменных операций, при сравнительно высоких температурах, между разнообразием химических элементов и, тем самым, продлить время своего существования [20]. Следовательно, в живом не может существовать какого-либо одного признака, который не проявил бы себя в какой-либо из неживых систем. Неживое плавно переходит в живое. Проведение линии раздела живого от неживого — это семантическая проблема *таксономии*, основанная на отборе признаков классификации путем договоренности между исследователями [23]. Более 40 лет тому назад мы написали книгу «Математическая биофизика клетки» [24], в которой изложили подход к описанию жизнедеятельности клетки на трех разных математических языках: биохимическом, волновом и на языке заполнения внутреннего объема живых систем на основе законов классической механики. При этом наглядно продемонстрировали, что каждый из этих языков высвечивает лишь определенную сторону жизнедеятельности клетки, но смогли их объединить в единое целое лишь частично. Возможно, дальнейшее развитие теории струн [25] позволит осуществить полное великое объединение. Однако об этом можно не только мечтать, но работать в этом направлении. Казалось бы, развитие такого обобщенного, системного подхода — это чисто философская метафизическая задача, далекая от практического приложения, и не стоит на это тратить время исследователей. Однако это не так. На рис.3 показаны наборы частных биофизических задач, на которые в случае успеха

Признаки живой и неживой материи

№	Признаки живой материи	Признаки неживой материи
1	Живые организмы характеризуются <i>упорядоченной иерархической структурой</i>	Все объекты неживой природы отвечают этому же условию и устроены по иерархическому принципу: элементарные частицы → атомы → → молекулы → макромолекулы и т.д.
2	Живые организмы являются <i>открытыми системами</i> и получают энергию из окружающей среды, используя ее для поддержания своей высокой упорядоченности	Смерчи, тайфуны, ветер, молнии черпают энергию Солнца; вулканы, землетрясения, подвижка материков черпают энергию из недр Земли. Таким образом, открытость живых систем не является специфическим признаком живого
3	Способность <i>реагировать на внешнее воздействие</i> (рецепция) — универсальное свойство всех живых систем	Намагничивание, электризация, свечение, поляризация, деформация, инерция, перемещение, разрушение и т.д. — это также ответы неживых объектов на внешние воздействия
4	Способность <i>запоминать информацию</i> о предыдущих состояниях и адаптироваться к изменению внешних условий	Ответная реакция объектов неживой природы обычно также направлена на «нейтрализацию» внешнего воздействия. Ответная реакция неживого объекта — это стремление сохранить свое исходное состояние (принцип Ле-Шателье, принцип Ленца, инерция Ньютона). Существуют проявления в неживых объектах и элементов памяти, например, магнитный гистерезис
5	Живые организмы <i>изменяются и усложняются</i>	Объекты в астрофизике (образование газо-пылевых облаков → → туманностей → галактик), в геофизике (образование горячего ядра планет → сравнительно холодной мантии поверхности планет → → тектонических плит → материков и океанов), в химии (преобразование субстратов в продукты) также демонстрируют эволюционное изменение и усложнение
6	Все живое <i>размножается</i>	Коацерватные капли органических веществ могут расти и делиться. Из растворов солей растут кристаллы. Кусочек, отломившийся от растущего кристалла, становится зародышем для роста подобного кристалла. Черные курильщики и белые столбы на дне океана также размножаются
7	Живое способно к <i>саморегуляции и регенерации повреждений</i>	Устойчивые вихри, торнадо, ячейки Релея–Бенара — саморегулирующиеся системы. Ледяная сосулька после разрушения восстанавливается снова. Кристаллы способны к регенерации дефектов (дислокаций). Следовательно, сам факт саморегуляции и регенерации не может служить отличием живого от неживого
8	Живые объекты осуществляют <i>обмен веществ</i> с окружающей средой с целью размножения и экспансии	Все реакции окисления обладают этим свойством, например горение. Преобразование энергии — это свойство всей природы, а не специфическое свойство живых систем
9	Живые объекты обладают <i>направленной подвижностью</i>	Этим свойством обладают ферромагнитные частицы в магнитном поле, ионы в электрическом поле, броуновские частицы в тепловом поле, частицы, имеющие массу, в гравитационном поле и т.д.
10	Живым объектам свойственна <i>неравновесность состояния</i>	Дожди, снегопады, лавины, водопады и т.п. — это все также неравновесные состояния

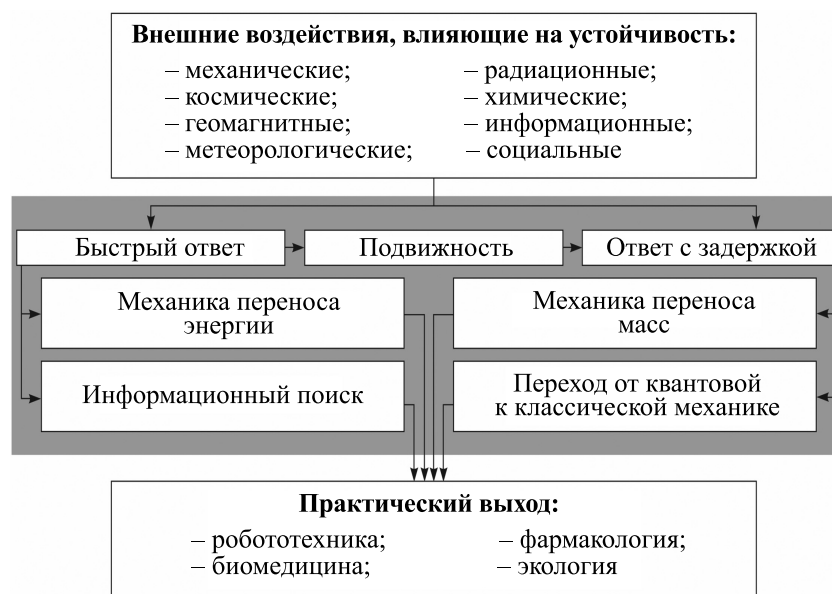


Рис. 3. Схема внешних воздействий, влияющими на нарушение устойчивости биосистем и практический выход, в случае успеха создания общей теории устойчивости живых систем.

объединения можно было бы взглянуть с новой неожиданной стороны. Все они имеют практический выход в разнообразные современные биофизические технологии.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук **180**, 337 (2010).
2. Э. Лайтфут, *Явление массопереноса в живых системах* (Мир, М., 1977).
3. Б. Б. Кадомцев, Успехи физ. наук **160** (7), 163 (1990).
4. Б. Б. Кадомцев, Успехи физ. наук **164**, 449 (1994).
5. Д. С. Чернавский, *Синергетика и информация* (Наука, М., 2001).
6. Г. Р. Иваницкий, А. Б. Медвинский, А. А. Деев и М. А. Цыганов, Успехи физ. наук **168**, 1221 (1998).
7. Г. Р. Иваницкий, А. Б. Медвинский и М. А. Цыганов, Успехи физ. наук **164**, 1041 (1994).
8. С. П. Стрелков, Журн. техн. физики **3** (14), 563 (1931).
9. A. U. Igamberdiev, BioSystems **31**, 65 (1993).
10. P. C. W. Davies, BioSystems **78**, 69 (2004).
11. K. Matsuno, BioSystems **85**, 23 (2006).
12. K. Matsuno, BioSystems **85**, 23 (2006).
13. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Phys. Rev. Lett. **79**, 321 (1997).
14. Г. Р. Иваницкий, *Выражи закономерностей. Правило БИО – стержень науки* (Наука, М., 2011).
15. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук **187**, 757 (2017).
16. М. А. Цыганов, В. Н. Бикташев и Г. Р. Иваницкий, Биофизика **54** (4), 704 (2009).
17. Г. Р. Иваницкий, А. А. Деев и М. А. Цыганов, Вестн. РАН **81** (11), 1008 (2011).
18. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук **188**, 965 (2018).
19. Г. Р. Иваницкий и А. А. Морозов, Успехи физ. наук **190** (11), 1165 (2020).
20. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук **182**, 1238 (2012).
21. Г. Р. Иваницкий, А. А. Деев и Е. П. Хижняк, Успехи физ. наук **184**, 43 (2014).
22. Г. Р. Иваницкий, Успехи физ. наук **189**, 759 (2019).
23. Ч. Джеффри, *Биологическая номенклатура* (Мир, М., 1980).
24. Г. Р. Иваницкий, В. И. Кринский и Е. Е. Сельков, *Математическая биофизика клетки* (Наука, М., 1978).
25. А. Ю. Морозов, Успехи физ. наук **162**, (8), 83 (1992).

**Why the Topic “What Is Life from the Point of View of Physics”
Is still under Discussion (a Response to the Article by A.M. Smolovich
“A Hypothesis about the Physical Phenomenon of Life”)**

G.R. Ivanitskii

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
142290, Pushchino, Moscow Region, Institutskaya ul. 3*

The mechanism of energy gap formation during the interaction of open nonlinear systems at different hierarchical levels of their organization is considered. It is shown that the presence of an energy gap is not a specific feature of living systems, since this feature also takes place in systems that are commonly called inanimate.

Keywords: energy gap, definition of life from the point of view of physics