

PACS numbers: 05.45.-a, 05.65.+b, 87.10.-e, 87.18.-h, 87.23.-n, 89.65.-s, 89.75.-k

Универсальная наука сложности: самосогласованное понимание динамики биологических, экологических и разумных систем¹

А. П. Кирилюк

*Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины,
бульв. Акад. Вернадского, 36,
03680, ГСП, Киев-142, Украина*

Основной вызов междисциплинарной проблемы описания поведения сложных систем состоит в том, возможно ли понимание систем высших уровней сложности, по крайней мере, с той же степенью объективной, «научной» строгости и универсальности, что и для «простых» систем в парадигме классической, ньютоновской науки. Задача сводится к проблеме произвольного взаимодействия многих тел (неразрешимой в стандартной теории). Здесь мы даём обзор её каузально полного решения, вытекающей из него универсальной концепции сложности и её применений. Обнаруженные ключевые свойства динамической многозначности и переплетения дают начало качественно новому типу математической структуры, представляющей собой точную копию поведения реальной системы. Эта расширенная математика сложности содержит истинно универсальное определение динамической сложности и случайности (хаоса), классификацию всех возможных динамических режимов и объединённый принцип динамики и эволюции любой системы, в виде универсальной симметрии сложности. Любая реальная система характеризуется ненулевым (и в действительности высоким) значением нередуцированной динамической сложности, определяющей, в частности, «таинственное» поведение квантовых систем и релятивистские эффекты, каузально объяснённые теперь как внутренне объединённые проявления сложной динамики взаимодействия. Наблюдаемые различия между разнообразными системами сводятся к разным режимам и уровням их нередуцированной динамической сложности. Мы кратко описываем применения универсальной концепции динамической сложности с акцентом на «истинно сложных» системах с высших уровней сложности (биологические и экологические системы, динамика мозга, интеллект и сознание, автономные информационные и коммуникационные системы) и показываем, что ост-

¹ Доклад, представленный на Международной конференции ‘Describing Complex Systems 2006’ (Острова Бриюни, Хорватия, 12–14 июня 2006 г.), <http://decos.znanost.org/>.

ро необходимый прогресс социальной и интеллектуальной структуры цивилизации неизбежно включает качественный переход к пониманию нередуцированной сложности (мы называем его «революцией сложности»). Он даёт новый тип знания, объединяющего внутреннюю междисциплинарность, универсальность, каузальную полноту и возможность строгого выражения в различных, универсально доступных формах.

Головний виклик міждисциплінарної проблеми опису поведінки складних систем полягає в тому, чи можливе розуміння систем вищих рівнів складності, принаймні, з таким самим ступенем об'єктивної, «наукової» строгості та універсальності, що й для «простих» систем у парадигмі класичної, Ньютонової науки. Задача зводиться до проблеми довільної взаємодії багатьох тіл (нерозв'язній у стандартній теорії). Тут ми даємо огляд її каузально повного розв'язку, універсальної концепції складності, що впливає з нього, та її застосувань. Винайдені ключові властивості динамічної багатозначності та сплетіння дають початок якісно новому типу математичної структури, яка являє точну копію поведінки реальної системи. Ця розширена математика складності містить у собі істинно універсальне визначення динамічної складності та випадковості (хаосу), класифікацію всіх можливих динамічних режимів та об'єднаний принцип динаміки й еволюції будь-якої системи у вигляді універсальної симетрії складності. Будь-яка реальна система має ненульове (та насправді високе) значення нередукованої динамічної складності, яка визначає зокрема, «таємничу» поведінку квантових систем та релятивістські ефекти, каузально пояснені тепер як внутрішньо об'єднані вияви складної динаміки взаємодії. Спостережувані відмінності між різноманітними системами зводяться до різних режимів і рівнів їх нередукованої динамічної складності. Ми стисло описуємо застосування універсальної концепції динамічної складності з акцентом на «істинно складних» системах з вищих рівнів складності (біологічні й екологічні системи, динаміка мозку, інтелект і свідомість, автономні інформаційні та комунікаційні системи) та показуємо, що вкрай необхідний прогрес соціальної та інтелектуальної структури цивілізації неминуче містить якісний перехід до розуміння нередукованої складності (ми зовемо його «революцією складності»). Він дає новий вид знання, який об'єднує внутрішню міждисциплінарність, універсальність, каузальну повноту та можливість точного вираження в різних, універсально доступних формах.

A major challenge of interdisciplinary description of complex system behaviour is whether real systems of higher complexity levels can be understood, at least, with the same degree of objective, 'scientific' rigour and universality as 'simple' systems of classical, Newtonian science paradigm. The problem is reduced to that of arbitrary, many-body interaction (unsolved in standard theory). Here, we review causally complete solution of it, the ensuing concept of complexity and applications. The discovered key properties of dynamic multivaluedness and entanglement give rise to a qualitatively new kind of mathematical structure providing the exact version of real system behaviour. The extended mathematics of complexity contains the truly definition of dynamic complexity, randomness (chaos), classification of all possible dynamic regimes, and the unifying principle of any system dynamics and evolu-

tion, the universal symmetry of complexity. Every real system has a non-zero (and actually high) value of unreduced dynamic complexity determining, in particular, 'mysterious' behaviour of quantum systems and relativistic effects causally explained now as unified manifestations of complex interaction dynamics. Different regimes and levels of their unreduced dynamic complexity cause the observed differences between various systems. We outline applications of universal concept of dynamic complexity emphasising the case of 'truly complex' systems from higher complexity levels (ecological and living systems, brain operation, intelligence and consciousness, autonomic information and communication systems) and show that the urgently needed progress in social and intellectual structure of civilisation inevitably involves qualitative transition to unreduced complexity understanding (we call it 'revolution of complexity'). It realises a new kind of knowledge combining intrinsic interdisciplinarity, universality, causal completeness, and possibility of rigorous expression in various, universally accessible forms.

Ключевые слова: сложность, хаос, самоорганизация, фрактал, проблема многих тел, динамическая многозначность, природа времени, динамическая информация, энтропия, симметрия сложности, математика сложности.

(Получено 18 ноября 2013 г.)

1. ВВЕДЕНИЕ

Основной вызов прогрессирующих междисциплинарных исследований поведения сложных систем состоит в том, можно ли описать динамику любой системы высшего уровня, по крайней мере, с той же степенью строгости и универсальности, которая характерна для обычной, ньютоновской науки по отношению к динамике «механических» систем низкого уровня. Задача сводится фактически к проблеме реального взаимодействия многих тел, которая остаётся нерешённой (или «неинтегрируемой»), уже начиная с трёх взаимодействующих тел (для произвольного потенциала взаимодействия). В данной работе мы даём обзор недавно предложенного, универсально непerturbативного решения проблемы произвольного взаимодействия, вытекающих из него универсальных, реалистичных концепций динамической сложности, хаоса, самоорганизации, фрактальности и их приложений к реальным системам, в особенности, принадлежащих к высшим уровням сложности (живые, разумные, социальные и экологические системы) [1–15]. Мы представляем универсальную симметрию сложности [1–5] как объединяющий принцип динамики и эволюции любой системы (и значит, универсальное расширение всех частных законов), так же как и внутреннюю междисциплинарность универсальной науки сложности, подтверждённую различными разрешающими проблемы при-

ложениями, от фундаментальной физики до гуманитарных областей [1].

2. ДИНАМИКА НЕРЕДУЦИРОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И УНИВЕРСАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛОЖНОСТИ

Рассмотрим произвольное взаимодействие многих тел, описываемое достаточно общим динамическим уравнением, называемым здесь *уравнением существования* и просто отражающим начальную конфигурацию системы [1–10]:

$$\left\{ \sum_{k=0}^N \left[h_k(q_k) + \sum_{l>k}^N V_{kl}(q_k, q_l) \right] \right\} \Psi(Q) = E\Psi(Q), \quad (1)$$

где $h_k(q_k)$ — обобщённый гамильтониан k -ой компоненты системы (со степенями свободы q_k); $V_{kl}(q_k, q_l)$ — потенциал взаимодействия между k -ой и l -ой компонентами; $\Psi(Q)$ — функция состояния системы, зависящая от всех её степеней свободы, $Q \equiv \{q_0, q_1, \dots, q_N\}$; E — собственное значение обобщённого гамильтониана, а суммирование осуществляется по всем (N) компонентам системы. Гамильтонова форма уравнения не является ограничением и может быть выведена как универсальное выражение динамики реальных систем [1–10], где обобщённые гамильтонианы выражают подходящие меры сложности (см. ниже). Можно переписать уравнение (1) в другой форме, где выделена одна степень свободы, $q_0 \equiv \xi$, поскольку она представляет общую компоненту или меру системы (такую как положение остальных, локализованных компонент):

$$\left\{ h_0(\xi) + \sum_{k=1}^N \left[h_k(q_k) + V_{0k}(\xi, q_k) + \sum_{l>k}^N V_{kl}(q_k, q_l) \right] \right\} \Psi(\xi, Q) = E\Psi(\xi, Q), \quad (2)$$

где теперь $Q \equiv \{q_1, \dots, q_N\}$ и $k, l \geq 1$ (также повсюду ниже).

Удобно выразить задачу в терминах собственных функций $\{\varphi_{kn_k}(q_k)\}$ и собственных значений $\{\varepsilon_{n_k}\}$ невзаимодействующих компонент системы:

$$h_k(q_k) \varphi_{kn_k}(q_k) = \varepsilon_{n_k} \varphi_{kn_k}(q_k), \quad (3)$$

$$\Psi(\xi, Q) = \sum_{n=(n_1, n_2, \dots, n_N)} \psi_n(\xi) \Phi_n(Q), \quad (4)$$

где $\Phi_n(Q) \equiv \varphi_{1n_1}(q_1) \varphi_{2n_2}(q_2) \dots \varphi_{Nn_N}(q_N)$, а $n \equiv (n_1, n_2, \dots, n_N)$ пробегает все комбинации собственных значений. Подставляя выражение (4) в уравнение (2) и производя обычное разделение переменных

(например, с помощью скалярного произведения), получаем систему уравнений для $\psi_n(\xi)$:

$$\left[h_0(\xi) + V_{00}(\xi) \right] \psi_0(\xi) + \sum_n V_{0n}(\xi) \psi_n(\xi) = \eta \psi_0(\xi), \quad (5a)$$

$$\left[h_0(\xi) + V_{nn}(\xi) \right] \psi_n(\xi) + \sum_{n' \neq n} V_{nn'}(\xi) \psi_{n'}(\xi) = \eta_n \psi_n(\xi) - V_{n0}(\xi) \psi_0(\xi), \quad (5b)$$

где $n, n' \neq 0$ (также ниже), $\eta \equiv \eta_0 = E - \varepsilon_0$,

$$\eta_n \equiv E - \varepsilon_n, \quad \varepsilon_n \equiv \sum_k \varepsilon_{n_k}, \quad V_{nn'}(\xi) = \sum_k \left[V_{0k}^{nn'}(\xi) + \sum_{l>k} V_{kl}^{nn'} \right], \quad (6)$$

$$V_{0k}^{nn'}(\xi) = \int_{\Omega_q} dQ \Phi_n^*(Q) V_{0k}(\xi, q_k) \Phi_{n'}(Q), \quad (7a)$$

$$V_{kl}^{nn'} = \int_{\Omega_q} dQ \Phi_n^*(Q) V_{kl}(q_k, q_l) \Phi_{n'}(Q), \quad (7b)$$

и мы отделили уравнение для $\psi_0(\xi)$, описывающее обобщённое основное состояние элементов системы, т. е. состояние с минимальной энергией и сложностью.

Если избегать любых пертурбативных упрощений задачи и попытаться решать уравнения (5) путём выражения $\psi_n(\xi)$ через $\psi_0(\xi)$ из уравнений (5б) с помощью функции Грина и подстановки результата в (5а), то получим *эффективное уравнение существования* для $\psi_0(\xi)$ [1–12]:

$$\left[h_0(\xi) + V_{eff}(\xi; \eta) \right] \psi_0(\xi) = \eta \psi_0(\xi), \quad (8)$$

где *эффективный потенциал* (ЭП), $V_{eff}(\xi; \eta)$, даётся выражениями

$$V_{eff}(\xi; \eta) = V_{00}(\xi) + \hat{V}(\xi; \eta), \quad \hat{V}(\xi; \eta) \psi_0(\xi) = \int_{\Omega_\xi} d\xi' V(\xi, \xi'; \eta) \psi_0(\xi'), \quad (9a)$$

$$V(\xi, \xi'; \eta) = \sum_{n,i} \frac{V_{0n}(\xi) \psi_{ni}^0(\xi) V_{n0}(\xi') \psi_{ni}^{0*}(\xi')}{\eta - \eta_{ni}^0 - \varepsilon_{n0}}, \quad \varepsilon_{n0} = \varepsilon_n - \varepsilon_0, \quad (9b)$$

а $\{\psi_{ni}^0(\xi)\}$, $\{\eta_{ni}^0\}$ — полные наборы собственных функций и собственных значений для урезанной системы уравнений, происходящей из «однородных» частей уравнений (5б):

$$\left[h_g(\xi) + V_{nn}(\xi) \right] \psi_n(\xi) + \sum_{n' \neq n} V_{nn'}(\xi) \psi_{n'}(\xi) = \eta_n \psi_n(\xi). \quad (10)$$

Собственные функции $\{\psi_{oi}(\xi)\}$ и собственные значения $\{\eta_i\}$, найденные из уравнения (8), используются для получения других компонент функции состояния и общего решения (см. (4)):

$$\Psi(\xi, q) = \sum_i c_i \left[\Phi_0(q) + \sum_n \Phi_n(q) \hat{g}_{ni}(\xi) \right] \Psi_{0i}(\xi), \quad (11)$$

$$\Psi_{ni}(\xi) = \hat{g}_{ni}(\xi) \Psi_{0i}(\xi) \equiv \int_{\Omega_\xi} d\xi' g_{ni}(\xi, \xi') \Psi_{0i}(\xi'), \quad (12a)$$

$$g_{ni}(\xi, \xi') = V_{n0}(\xi') \sum_{i'} \frac{\Psi_{ni'}^0(\xi) \Psi_{ni'}^{0*}(\xi')}{\eta_i - \eta_{ni'}^0 - \varepsilon_{n0}}, \quad (12b)$$

где коэффициенты c_i должны определяться из условий сшивки функции состояния на границе, где эффективное взаимодействие исчезает. Наблюдаемая плотность системы, $\rho(\xi, Q)$, получается как квадрат модуля функции состояния, $\rho(\xi, Q) = |\Psi(\xi, Q)|^2$ (для «волновых» уровней сложности), или как сама функция состояния, $\rho(\xi, Q) = \Psi(\xi, Q)$ (для «корпускулярных» уровней) [1].

Хотя формулировка эффективной задачи (8)–(12) технически эквивалентна начальным уравнениям (1), (2) или (5), она в явной форме раскрывает *новое качество* нередуцированного решения задачи, в виде явления *динамической многозначности, или избыточности, и переплетения*. Оно возникает как избыточное число *локально полных* и поэтому *взаимно несовместимых* решений задачи, или *реализаций* системы, которые, будучи *одинаково реальными*, вынуждаются тем же движущим взаимодействием к *постоянной смене* друг друга в определённом таким образом *динамически случайном* порядке. Избыточность решений следует, например, из элементарной оценки их числа по высшей степени характеристического уравнения для собственных значений η нередуцированного эффективного уравнения (8), (9) [1–14]. Она отражает физически прозрачное явление *динамической, или существенной, нелинейности*, обусловленной *динамическими связями* реального процесса взаимодействия, выражаемыми зависимостью нередуцированного ЭП (9) от искомым собственным решениям и остающимися «скрытыми» в обычной формулировке задачи, (1), (2), (5). Действительно, представляется очевидным, что нередуцированное взаимодействие между, скажем, двумя объектами с N элементами (собственными модами) каждый даст как минимум N^2 сочетаний элементов ($N!$ сочетаний для N одноэлементных объектов), тогда как имеется всё то же число N мест в реальности для продуктов взаимодействия, что даёт как минимум N -кратную избыточность продуктов взаимодействия.

В отличие от этого, любое обычное, пертурбативное упрощение задачи до её «точного», замкнутого решения эквивалентно некорректному отбрасыванию всех реализаций, кроме одной (сравните со стандартными теоремами «о единственности решения»). Такое *динамически однозначное, или унитарное, приближение* обычной

теории (включая её версии сложности, хаотичности, самоорганизации и т.д.) эквивалентно *нульмерной, точечной проекции* динамически многозначной, «многомерной» реальности, что объясняет странное сочетание успехов обычной науки с её «неразрешимыми», стагнирующими старыми и нарастающими новыми проблемами [1–10, 15].

Открытая таким образом *внутренняя, истинная случайность непрерывной* смены реализаций выражается окончательно полным, *динамически вероятностным* решением задачи, дающим плотность системы $\rho(\xi, Q)$ в виде *каузально вероятностной суммы* плотностей отдельных реализаций, $\{\rho_r(\xi, Q)\}$:

$$\rho(\xi, Q) = \sum_{r=1}^{N_{\text{я}}} \oplus \rho_r(\xi, Q), \quad (13)$$

где $N_{\text{я}}$ ($= N$) — число реализаций, а знак \oplus служит для указания на каузально вероятностный смысл суммы, определённый выше. Мы получаем также *динамически выведенные, априорные* значения *вероятностей реализаций*, $\{\alpha_r\}$:

$$\alpha_r = \frac{N_r}{N_{\text{я}}} \left(N_r = 1, \dots, N_{\text{я}}; \sum_r N_r = N_{\text{я}} \right), \quad \sum_r \alpha_r = 1, \quad (14)$$

где N_r — число элементарных реализаций, часто остающихся неразрешимыми внутри r -ой «составной» реализации. Важно подчеркнуть, что выражения (13), (14) содержат не только стандартное значение «математического ожидания» для большого числа событий, но остаются справедливыми также для любого *одиночного* события и даже до него, давая *априорную вероятность* и её *универсальное динамическое происхождение*.

Близким специфическим свойством полученного *нередуцированного* решения задачи (и структуры *реальной* системы) является *динамическое переплетение* взаимодействующих компонент, выражаемое суммой динамически взвешенных произведений функций взаимодействующих степеней свободы (ξ, Q) (см. (11), (12)). После дальнейшего усиления в *вероятностно фрактальной* структуре реализаций (см. ниже) оно даёт начало математически *строгому* определению осязаемого материального *качества* любой реальной структуры, которое не существует в стандартной, унитарной теории, неизбежно оперирующей лишь с абстрактными, «бестелесными» имитациями реальности в рамках её *сепарабельной* «модели» точных решений. Действительно, компоненты системы могут быть физически расплетены, «сепарированы» в любом «замкнутом» решении обычной теории, тогда как такое разделение невозможно для реальной, динамически переплетённой структуры. Эти два основных свойства *нередуцированного* решения задачи (и реальной

структуры системы, которую оно описывает), динамическая многозначность избыточных реализаций и динамическая переплетённость структуры каждой реализации, неразрывно связаны друг с другом, так что результат любого реального взаимодействия может быть описан как *динамически многозначное переплетение* взаимодействующих сущностей.

Динамическая сложность, C , может быть теперь *универсально* определена как растущая функция числа реализаций системы или пропорциональной ему скорости их смены, равная нулю для единственной реализации: $C = C(N_{\text{я}})$, $dC/dN_{\text{я}} > 0$, $C(1) = 0$. Именно этот последний, нереалистичный случай нулевой нередуцированной сложности неизменно рассматривается в канонической, динамически однозначной теории (включая её *имитации* сложности), что объясняет её старые и новые трудности на различных уровнях реальности [1]. Нередуцированная динамическая сложность представлена большинством практически измеряемых величин (теперь *правильно понимаемых* как меры динамической сложности), таких как энергия (временной темп смены реализаций в *хаотическом* порядке), масса (пропорциональная энергии), импульс (пространственный темп смены реализаций), различные заряды, действие и энтропия, получающие теперь *объединённую* и *существенно нелинейную* интерпретацию в терминах лежащего в основе *взаимодействия* [1–10] (см. также ниже). Отметим, что *выведенное* таким образом универсальное определение сложности существенно основано на полученном *каузально полном, динамически вероятностном решении задачи нередуцированного взаимодействия* (8)–(14), которое *не* может быть заменено формальным подсчётом произвольных, эмпирически определённых сущностей (как это делается в унитарной науке). Это объясняет, в частности, почему нередуцированная сложность даёт также универсальную меру *истинной* и *вездесущей хаотичности*.

Всё разнообразие структур мира воспроизводится единой классификацией режимов смены реализаций [1–10]. Как видно из формализма нередуцированного ЭП (8)–(12), *близкие* параметры взаимодействующих сущностей (подходящим образом представленные характеристическими частотами) приводят к *существенно различным* реализациям и их относительно быстрой смене ($N_r \approx 1$ и $\alpha_r \approx 1/N_{\text{я}}$ для всех r в (14)), давая начало режиму *сильного, глобального, или однородного, хаоса*. Противоположный случай *достаточно различных* характеристических параметров процесса взаимодействия сводится к *динамически многозначной самоорганизации*, включая расширенную, *хаотическую* версию *самоорганизованной критичности* (СОК) и *хаотическую* смену *схожих* реализаций, дающую начало более чётким структурам и (внешне) регулярной динамике. *Полное* разнообразие существующих, *всегда*

сложных (динамически многозначных) структур и движений получается в результате варьирования параметров систем между этими двумя предельными случаями (включая ситуации с несколькими или многими уровнями сложности, см. ниже). Выражаясь точнее, переход в режим сильного, глобального хаоса происходит, если *параметр хаотичности*, κ , близок к единице:

$$\kappa \equiv \frac{\Delta\eta_i}{\Delta\eta_n} = \frac{\omega_\xi}{\omega_Q} \cong 1, \quad (15)$$

где $\Delta\eta_i$, ω_ξ и $\Delta\eta_n \sim \Delta\varepsilon$, ω_Q — расстояния между энергетическими уровнями и частоты для межкомпонентных и внутрикомпонентных движений в системе, соответственно. При $\kappa \ll 1$ получаем относительно регулярную структуру/динамику режима *многозначной* СОК, тогда как при росте κ от 0 до 1 имеем серию переходов к всё более хаотичным режимам, кульминирующую при $\kappa \approx 1$ в режиме глобального хаоса (при $\kappa > 1$ происходят обратные переходы к всё более регулярным режимам, но с иной, «обращённой» конфигурацией системы) [1–5]. Помимо очевидных преимуществ полученной *универсальной* классификации *любой* динамики, можно отметить такие расширения по отношению к обычной, унитарной картине, как наличие *постоянной* и *хаотической* смены реализаций внутри *любой*, даже внешне «регулярной» структуры или динамики (дающей *динамический источник времени* и истинно *универсальный принцип роста энтропии*, см. ниже) и объединение в рамках режима нашей хаотической СОК расширенных (многозначных и хаотических) версий различных, до этого разделённых случаев обычной «науки сложности», таких как самоорганизация, СОК, адаптивность (приспособляемость), различные варианты «синхронизации», включая синхронизацию мод, и фрактальность.

Нередуцированная, *динамически вероятностная фрактальность* представляет собой *существенное*, сложно-динамическое расширение обычной фрактальной иерархии и получается как неизбежное развитие и *предельно полное содержание* динамически многозначного перепутывания (несепарабельности) и сложности в нередуцированном решении задачи взаимодействия многих тел [1, 5, 7, 8]. Она появляется благодаря зависимости ЭП от *неизвестных* решений урезанной системы уравнений (10), выражающей *неинтегрируемость* задачи. Формализм обобщённого ЭП (8), (9) может теперь быть применён к урезанной системе (10), превращая её в одно эффективное уравнение:

$$\left[h_0(\xi) + V_{\text{eff}}^n(\xi; \eta_n) \right] \psi_n(\xi) = \eta_n \psi_n(\xi), \quad (16)$$

где действие ЭП второго уровня подобно комбинированной версии

выражений (9) для первого уровня:

$$V_{\text{eff}}^n(\xi; \eta_n) \psi_n(\xi) = V_{nn}(\xi) \psi_n(\xi) + \sum_{n' \neq n, i} \frac{V_{nn'}(\xi) \psi_{n'i}^{0n}(\xi) \int_{\Omega_\xi} d\xi' \psi_{n'i}^{0n*}(\xi') V_{n'n}(\xi') \psi_n(\xi')}{\eta_n - \eta_{n'i}^{0n} + \varepsilon_{n0} - \varepsilon_{n'0}}, \quad (17)$$

а $\{\psi_{n'i}^{0n}(\xi), \eta_{n'i}^{0n}\}$ — полный набор собственных решений усечённой системы второго уровня:

$$h_0(\xi) \psi_{n'}(\xi) + \sum_{n'' \neq n'} V_{n'n''}(\xi) \psi_{n''}(\xi) = \eta_{n'} \psi_{n'}(\xi), \quad n' \neq n, 0. \quad (18)$$

Подобно ЭП первого уровня (8), (9), существенно нелинейная зависимость ЭП (16), (17) от искомым собственных решений приводит к расщеплению второго уровня (теперь решений урезанной системы первого уровня) на множество несовместимых реализаций (нумерованных индексом r'):

$$\{\psi_{ni}^0(\xi), \eta_{ni}^0\} \rightarrow \{\psi_{ni}^{0r'}(\xi), \eta_{ni}^{0r'}\}. \quad (19)$$

Эта иерархия уровней многозначных реализаций развивается до тех пор, пока мы не получим одно интегрируемое уравнение для одной функции, «закрывающее» решение задачи. Полученное истинно полное решение представлено динамически вероятностным фракталом, дающим окончательно точную, динамически объединённую структуру сложности реального мира, на любом её уровне и в каждой части:

$$\rho(\xi, Q) = \sum_{r, r', r'', \dots}^{N_{\mathfrak{R}}} \oplus \rho_{rr'r''\dots}(\xi, Q), \quad (20)$$

где индексы r, r', r'', \dots нумеруют хаотически сменяющиеся реализации последовательных уровней динамической (вероятностной) фрактальности. Усреднённое по времени математическое ожидание динамически фрактальной плотности системы получается в виде:

$$\rho_{ex}(\xi, Q) = \sum_{r, r', r'', \dots}^{N_{\mathfrak{R}}} \alpha_{rr'r''\dots} \rho_{rr'r''\dots}(\xi, Q), \quad (21)$$

где динамически определённые вероятности $\{\alpha_{rr'r''\dots}\}$ воспроизводят выражения (14) на различных уровнях фрактальности:

$$\alpha_{rr'r''\dots} = \frac{N_{rr'r''\dots}}{N_{\mathfrak{R}}}, \quad \sum_{r, r', r''\dots} \alpha_{rr'r''\dots} = 1. \quad (22)$$

Отметим, что в противоположность любым разложениям теории возмущений, выражения (20)–(22) (вместе с основополагающим формализмом ЭП (8)–(19)) дают *истинно точное*, полностью реалистичное решение задачи, где каждый член описывает действительно появляющийся элемент структуры. Возникающий в результате динамический фрактал является существенным расширением канонических, чисто абстрактных (математических) и динамически однозначных фракталов: он в общем случае не обладает упрощённой масштабной симметрией обычных фракталов и описывает свойство *вероятностной динамической адаптируемости и направленной эволюции всех* реальных структур благодаря постоянной, движимой взаимодействием смене реализаций. Оно отражает более глубокую (и всегда точную) симметрию реального мира, *универсальную симметрию сложности*, которая на самом деле определяет динамику и эволюцию любой реальной (сложной) системы [1–5] (см. ниже).

Основной практической особенностью нередуцированной сложно-динамической фрактальности (отсутствующей в её унитарных имитациях) является её очень большая, *экспоненциально огромная мощность* (т.е. скорость изменения состояния), возникающая благодаря *автономной* творческой способности и смене реализаций, движимой только самим взаимодействием [5–10]. Если $N = N_{\text{unit}} n_{\text{link}}$ — полное число связей взаимодействия в системе (где N_{unit} — число взаимодействующих элементов, а n_{link} — среднее число связей на один элемент), то мощность системы P , пропорциональная числу её реализаций N_{gr} , определяется *полным числом сочетаний связей*, т.е. $N_{\text{gr}} \approx N!$: $P \propto N_{\text{gr}} \approx N! \approx \sqrt{2\pi N} (N/e)^N \sim N^N$. Поскольку число N велико само по себе (например, $N \geq 10^{12}$ для взаимодействий мозга или генома [5, 7, 8]), получаем действительно огромные, практически бесконечные значения P . Любая унитарная (в основе регулярная и последовательная) модель той же системы имеет мощность P_0 , которая может расти только как N^β ($\beta \sim 1$), так что $P/P_0 \sim N^{N-\beta} \sim N^N \rightarrow \infty$, что демонстрирует преимущества сложно-динамического режима и происхождение «чудесных» свойств живых и разумных систем.

3. СИММЕТРИЯ СЛОЖНОСТИ И ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВРЕМЕНИ

Логически *возникающая*, свободная от аксиом структура универсальной науки сложности отражает тот факт, что каждая реальная сущность *получается явным образом* в результате развития процесса взаимодействия, в точном соответствии с её практическим возникновением. Хаотически сменяющиеся реализации и их группы образуют наблюдаемое разнообразие структур и динамики мира

(см. предыдущий раздел). Его наиболее фундаментальные уровни, включая элементарные частицы со всеми их внутренними и динамическими свойствами, пространство и время, появляются из взаимодействия наипростейшей возможной конфигурации, состоящей из двух взаимно притягивающихся, первоначально однородных (и физически реальных) полей или сред, обозначаемых как электромагнитное и гравитационное протополя [1, 4, 5, 13, 14]. Дальнейшие уровни структуры последовательно возникают в результате взаимодействия структур нижних уровней и образуют иерархию *уровней сложности*, или вероятностного динамического фрактала, *объединённой* структуры мира.

Каждый уровень сложности даёт начало соответствующему уровню *физически реального возникающего пространства и естественно текущего времени*. *Элемент пространственного расстояния* Δx получается в явном виде как расстояние между собственными значениями, найденными из уравнения (8), $\Delta x = \Delta \eta_i^r$, где расстояние между собственными значениями соседних реализаций даёт *элементарную длину* или размер скачка системы между реализациями $\lambda = \Delta x_r = \Delta_r \eta_i^r$, тогда как интервал между собственными значениями в пределах одной реализации определяет *минимальный размер самой возникающей структуры*, или величину физически реальной *пространственной точки* данного уровня, $r_0 = \Delta x_i = \Delta_i \eta_i^r$. Так, на нижайшем уровне сложности $\lambda = \tilde{\lambda}_c = \lambda_c / 2\pi$ совпадает с комптоновской длиной волны λ_c , определяющей внутреннюю сложную динамику, массу и электромагнитные взаимодействия электрона, тогда как $r_0 = r_e$ является «классическим радиусом электрона», приобретающим теперь хорошо определённый физический смысл (наиболее массивные элементарные частицы дают экстремальные значения пространственных элементов, совпадающих в нашей теории с последовательно модифицированной планковской единицей длины) [4, 13]. Отметим, что любой уровень пространственной структуры имеет *каузально квантованную, динамически дискретную* текстуру (в противоположность, как обычной непрерывности пространства, так и его произвольной, постулированной дискретности). Осязаемая, «материальная» природа пространства связана с фрактальным *динамическим перепутыванием* взаимодействующих сущностей (см. выше), представленных двумя протополями на нижайшем уровне «вмещающего» физического пространства.

Элементарный временной интервал Δt получается в явном виде, как *интенсивность*, в форме *частоты* ν каузально определённых *событий появления/смены реализаций* (последнее прямо следует из строго выведенной, универсальной динамической многозначности): $\Delta t = \tau = 1/\nu$. Скачок времени $\Delta t = \tau$ является не чем иным, как продолжительностью скачка системы на элементарную длину $\lambda = \Delta x_r$. И поэтому он может быть выражен как $\tau = \lambda/v_0$, где v_0 — скорость

распространения материальных сигналов в структуре компонент нижнего уровня. Важно подчеркнуть, что мы получаем таким образом физически реальное, *беспрерывно текущее* и *динамически необратимое*, но не материально осязаемое время (поэтому оно не может на самом деле «смешиваться» с пространством в объединённом пространственно-временном «многообразии», в противоположность формальному времени унитарной теории). Безостановочное течение времени обусловлено постоянной *сменой несовместимых реализаций*, движимой самим взаимодействием системы, тогда как невозможность его механического обращения следует из *динамической случайности* смены реализаций, что демонстрирует глубокую, внутреннюю *связь между временем и случайностью*, полностью игнорируемую в парадигме унитарной науки, для которой характерна противоположная тенденция рассматривать время как проявление базисной *регулярности* мировой динамики (откуда её неразрешимая *тайна* необратимого течения времени).

Поскольку полученные таким образом возникающие, физически реальные пространство и время содержат основные материальные и динамические свойства формируемой сложно-динамической структуры, то естественная и *универсальная мера сложности* даётся простейшей функцией, независимо пропорциональной пространственному и временному интервалам, т.е. обобщённым *действием* \mathcal{A} [1–10, 13, 14]. Внутренняя дискретность сложной динамики (скачки системы между несовместимыми реализациями) даёт начало *каузальному квантованию* действия:

$$\Delta \mathcal{A} = p \Delta x - E \Delta t, \quad (23)$$

где p и E изначально являются просто коэффициентами, которые, однако, немедленно опознаются, по аналогии с классической механикой, как обобщённый *импульс* и (полная) *энергия*:

$$p = \left. \frac{\Delta \mathcal{A}}{\Delta x} \right|_{t=\text{const}} \approx \frac{\mathcal{A}_0}{\lambda}, \quad (24)$$

$$E = - \left. \frac{\Delta \mathcal{A}}{\Delta t} \right|_{x=\text{const}} \approx \frac{\mathcal{A}_0}{\tau}, \quad (25)$$

где \mathcal{A}_0 — характеристическое значение действия (по модулю) на данном уровне сложности. Отсюда следует, что действие является *интегральной*, а импульс и энергия — *дифференциальными мерами сложности*. Отметим, что здесь и ниже p , x и другие соответствующие величины следует в случае необходимости считать векторами.

Необратимое течение времени ($\Delta t > 0$) и позитивность полной энергии/массы ($E > 0$) в выражении (25) означают, что $\Delta \mathcal{A} < 0$, т.е. обобщённое действие всегда *уменьшается* в реальных процессах

взаимодействия. Поэтому оно представляет собой *потенциальную, латентную* форму динамической сложности, называемую *динамической информацией* $I = \mathcal{A}$ и задаваемую при рождении системы в её начальном состоянии, *до* начала процесса взаимодействия её компонент. Возникающая в процессе взаимодействия новая структура характеризуется иной, дополнительной формой той же динамической сложности, *динамической энтропией* S , которая описывает сложность этой уже *реализованной, развёрнутой* структуры. Аспект постоянства системы (процесса взаимодействия), отражающий постоянство полного числа всех её степеней свободы (мод), выражается её *полной сложностью* $C = \mathcal{A} + S$, которая остаётся, таким образом, *неизменной*:

$$C = \mathcal{A} + S = \text{const}, \Delta S = -\Delta \mathcal{A} > 0. \quad (26)$$

Полученный абсолютно *универсальный закон сохранения, или симметрии, сложности* естественным образом объединяет как *сохранение* полной сложности, так и *постоянное изменение* её формы, от *уменьшающейся* динамической информации/действия к *растущей* динамической энтропии (обобщение принципа роста энтропии) [1, 3–5]. Это означает, что из-за вездесущей динамической многозначности возникновение *любой, даже внешне «регулярной»* структуры отражает непрерывный *рост* энтропии, в противоположность соответствующему противоречивому видению обычной, динамически однозначной теории.

Закону сохранения сложности можно придать универсальное дифференциальное выражение в виде *обобщённого уравнения Гамильтона–Якоби* путём деления второго равенства (26) на $\Delta t|_{x=\text{const}}$:

$$\frac{\Delta \mathcal{A}}{\Delta t} \Big|_{x=\text{const}} + H \left(x, \frac{\Delta \mathcal{A}}{\Delta x} \Big|_{t=\text{const}}, t \right) = 0, \quad H > 0, \quad (27)$$

где гамильтониан, $H = H(x, p, t)$, выражает дифференциальную меру *развёрнутой, энтропийной* формы сложности, $H = (\Delta S / \Delta t) \Big|_{x=\text{const}}$, а условие её положительности ($H > 0$) даёт универсальное *направление стрелы (течения) времени* (в сторону постоянно растущей динамической сложности-энтропии) [4, 5, 13, 14]. Поскольку инкремент действия пропорционален инкременту *обобщённой волновой функции (или функции распределения)* $\Psi(x, t)$, $\Delta \mathcal{A} = -A_0 \Delta \Psi / \Psi$ (*каузальное квантование*) [1, 3–5, 8–10, 13, 14], приходим к выводу, что уравнение (27) имеет дуального партнёра, в виде *обобщённого уравнения Шредингера* для $\Psi(x, t)$:

$$A_0 \frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \Big|_{x=\text{const}} = \hat{H} \left(x, \frac{\Delta}{\Delta x} \Big|_{t=\text{const}}, t \right) \Psi(x, t), \quad (28)$$

где оператор Гамильтона \hat{H} получен из своей функциональной формы H с помощью каузального квантования. Обобщённая волновая функция описывает специфическое, временно расплетённое состояние системы в моменты её переходов между регулярными, переплетёнными реализациями, которое может быть получено как часть нeredуцированного общего решения задачи [1]. На нижайших квантовых уровнях сложности мира оно представляет собой *каузально полное, физически реальное* расширение обычной квантово-механической волновой функции, теперь освобождённое от традиционной постулируемой «таинственности» [1, 4, 5, 13, 14]. Применённое выше правило каузального квантования описывает *реальный* процесс постоянных *переходов* системы между реализациями, который каузально (и универсально) объясняет также происхождение другого «квантового» (теперь обобщённого) постулата, *борновского правила вероятностей*, $\alpha_r = |\Psi(x_r)|^2$ (где x_r — конфигурация r -ой реализации), дающего другое выражение для вероятностей реализаций α_r (см. (14)). На более высоких уровнях сложности $\Psi(x, t)$ принимает форму функции распределения, которая определяет вероятность реализаций непосредственно («корпускулярные» уровни сложности) или в виде квадрата модуля («волновые» уровни сложности).

Разлагая гамильтониан $H = H(x, p, t)$ в ряд по степеням импульса p и подставляя результат в (27), (28), нетрудно понять [1, 4, 5], что эти уравнения представляют собой объединённое расширение *всех* обычных, «модельных» (как «линейных», так и «нелинейных») уравнений унитарной теории. Это подтверждает универсальность полученного *формализма Гамильтона–Шредингера* и лежащей в его основе *симметрии сложности*. Последняя фактически описывает взаимную симметричность всех последовательно возникающих реализаций системы на данном уровне сложности (симметрия сложности составляет, таким образом, прямую *основу динамики системы* как таковой), тогда как общее, многоуровневое развёртывание сложности даёт *универсальный закон эволюции и направление/смысл прогресса* [3, 4].

Важно подчеркнуть, что в противоположность регулярным, но всегда, в конечном счёте, «нарушенным» (неточным) симметриям, *формально постулируемым* в унитарной науке, каузально обоснованная универсальная симметрия сложности является всегда *точной* (ненарушенной), но *нерегулярно* структурированной симметрией, *эквивалентной динамике и эволюции системы*. Поэтому она даёт начало существенному расширению методов точных наук и реальной возможности получения *строгого и целиком последовательного (полного)* описания систем и явлений высшей сложности [1], обычно изучаемых с помощью чисто эмпирических методов в гуманитарных дисциплинах.

4. НОВАЯ МАТЕМАТИКА НЕРЕДУЦИРОВАННОЙ ДИНАМИКИ РЕАЛЬНОГО МИРА

Выше мы уже отмечали, что внутренне реалистичная, нередуцированная основа универсальной науки сложности позволяет получить её прямое выражение в интуитивно прозрачной форме, доступной для общего понимания (в противоположность неустранимой абстрактности и мистичности унитарной проекции знания). Однако этот реализм достигается благодаря *истинно строгому*, неупрощённому математическому описанию, которое действительно открывает *качественно новое явление динамически многозначного переплетения* компонент любого реального взаимодействия, дающего универсальную динамическую сложность и её разнообразные проявления. В этом разделе мы даём краткий обзор отличительных особенностей этой *нередуцированной математики сложности*, полученных просто благодаря полностью последовательному анализу произвольного процесса взаимодействия, избегающему каких бы то ни было «модельных» приближений обычных математических схем (включая их подходы к описанию сложности).

Отметим, прежде всего, непосредственно, внутренне *объединённую* математическую основу универсальной науки сложности, включая *универсальную симметрию сложности* как *единственный*, объединённый и всегда справедливый закон, который даёт начало всем частным законам, уравнениям, принципам и правилам, а также соответствующую *единую математическую структуру динамически вероятностного фрактала*, полученную как *каузально полное решение* задачи нередуцированного взаимодействия (см. предыдущие разделы) и дающую точное выражение структуры и динамики реального мира. Оба этих аспекта полученного внутренне объединённого знания согласуются с очевидной *физически объединённой природой* наблюдаемой реальности и сильно контрастируют с неустранимыми разрывами унитарных, проективных *имитаций реальности* (истинное происхождение которых теперь ясно определяется), включая недавние попытки их искусственного, противоречивого соединения, которое *не может*, в противоположность *внутреннему единству*, принести *решение реальных проблем*.

Мы подчёркиваем затем следующие естественно *возникающие* и также *последовательно выводимые* особенности нередуцированной математики реальной, сложной динамики мира (см. (8)–(22) и соответствующие объяснения).

(1) *Неединственность* решения любой реальной проблемы выражается основным свойством *динамической многозначности* (или *избыточности*). Это качественное расширение по сравнению с обычной единственностью решения, которая получается в резуль-

тате характерной ловушки «порочного круга» упрощающего, пертурбативного подхода (где *предполагаемая* однозначность потенциала взаимодействия приводит к единственности решения, в то время как это «естественное» начальное предположение оказывается в итоге *неверным* по отношению к реальному, эффективному потенциалу взаимодействия). Отметим, что надо чётко отличать динамическую многозначность от различных унитарных имитаций, таких как полуэмпирическая «мультистабильность» или чисто абстрактные «странные аттракторы», которые получены как искусственно «запутанная» структура обычного, динамически однозначного решения (подобная сильно спутанной одномерной нити) и описывают *совместимые*, сосуществующие части *одного и того же* (редуцированного) решения.

(2) Ясное математическое выражение *динамического возникновения* структур, хорошо определённое *динамическое происхождение событий и времени* получены в виде *беспреданной* смены реализаций и могут быть выражены общим свойством *отсутствия самоидентичности* любой математической (так же, как и реальной) структуры, $A \neq A$, в противоположность абсолютному доминированию часто неявного постулата самоидентичности в обычных математических конструкциях.

(3) Фрактально структурированное и хаотически меняющееся *динамическое переплетение* взаимодействующих сущностей даёт *строгое* выражение *осязаемого качества* возникающих структур (также полностью отсутствующего в унитарной математике, имеющей дело исключительно с «нематериальными», абстрактными имитациями реальности).

(4) Отсутствие «точных», замкнутых решений для задач реального взаимодействия (или задачи многих тел) имеет чётко определённое происхождение, которое раскрывает *единый, каузально полный* смысл *случайности, неинтегрируемости, несепабельности, невычислимости* и т.д.

(5) *Динамическая дискретность*, или *каузальное квантование* динамики реального взаимодействия вытекает непосредственно из его *нередуцированного* развития и включает *неунитарность* решения (т.е. *эволюции* любой системы) и каузальную, динамически дискретную *природу пространства*. Необходимо отличать эту строго выведенную динамическую дискретность, тесно связанную с истинной динамической случайностью, от любой формальной, искусственно вводимой дискретности или постулированного квантования.

Отметим, что *внутренне объединённая* природа расширенной математики сложности, её *точное* соответствие структуре/динамике *реального* мира и все её существенные свойства (1)–(5) выражают *фундаментальную междисциплинарность* универсаль-

ной науки сложности и раскрывают истинную причину столь же глубокой *дисциплинарной*, расщеплённой структуры обычной, унитарной науки.

5. РЕШЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ НАУКИ СЛОЖНОСТИ

Все описанные выше свойства и преимущества нередуцированного, сложно-динамического решения задачи взаимодействия многих тел находят окончательное подтверждение в рамках успешного применения предложенного анализа к различным конкретным, до этого устойчиво неразрешимым задачам на разных уровнях сложности, от фундаментальной физики (элементарные частицы, взаимодействия и космология) до динамической природы сознания и его наиболее сложных продуктов, изучаемых обычно в гуманитарных науках [1–15]. Важно подчеркнуть, что речь здесь идёт не об обычных упрощённых имитациях (или «моделировании») реальных явлений, но об их точном, каузально полном описании, которое в явном виде решает «неразрешимые» задачи и проблемы.

Перед тем, как переходить к краткому обзору результатов конкретных приложений, приведём несколько *общих принципов функционирования и дизайна сложных систем*, проявляющихся во всех приложениях [10].

(1) *Принцип соответствия сложности* относится к эффективному взаимодействию только между элементами сравнимой сложности [1, 4, 5]. В частности, большая сложность подчиняет меньшую сложность, в то время как инструменты/системы меньшей сложности *не могут* адекватно контролировать/моделировать поведение большей сложности, независимо от деталей и усилий.

(2) *Принцип сложно-динамического контроля* подчёркивает универсальное *развитие сложности* от динамической информации к динамической энтропии как единственную истинную цель эффективного, *творческого* контроля (в противоположность доминирующей парадигме обычного, ограничивающего контроля), дающую, в частности, универсальную концепцию *нередуцированного устойчивого развития* [9].

(3) *Принцип нередуцированного взаимодействия* открывает гигантскую мощь сложности естественного взаимодействия в форме *экспоненциально огромной мощи действия* динамически вероятностного (хаотического) фрактала, обуславливающей «таинственные» и «чудесные» свойства жизни, разума и сознания [4–10].

Первая группа приложений включает единое сложно-динамическое, каузальное происхождение Вселенной, её законов, фундаментальных объектов, структур и их внутренних и динамических

свойств [1, 4, 5, 13, 14]. Физически реальные пространство, время, элементарные частицы, взаимодействия и их свойства непосредственно выведены из нередуцированного решения задачи взаимодействия с простейшей возможной конфигурацией (два взаимно притягивающихся, изначально однородных протополя). Мы получаем целиком реалистичные (каузально полные) и внутренне объединённые версии квантовой механики и теории относительности, где происхождение всех обычных, постулированных «тайн» и абстрактных «принципов» проясняется как результат грубого упрощения в рамках стандартного унитарного подхода. Новые и старые «трудные» проблемы стандартной теории (такие как тёмная материя/энергия и «иерархия» масс частиц) имеют общее происхождение и теперь естественным образом разрешаются (или даже не появляются) без искусственного введения «скрытых» и абстрактных сущностей (измерений, частиц, полей и т.д.). В результате структура реального мира последовательно получается такой, как она есть, а не в виде абстрактных, противоречивых и разъединённых «моделей».

Вторая группа приложений даёт согласованное описание *неустранимо сложной динамики реальных нанобиосистем* [5, 6]. Мы показываем, что истинная, динамически многозначная и сильная хаотичность *неизбежна* в наименьших масштабах атомных и молекулярных взаимодействий и именно она, в силу своего динамического, интерактивного происхождения, последовательно объясняет «чудесные» свойства биосистем. В частности, в явной форме продемонстрировано фундаментальное, чисто динамическое происхождение *истинного квантового хаоса* [1, 5, 6, 11, 12], что решает целый спектр связанных проблем. *Сложная динамика каузального квантового измерения* [1] и *динамическое возникновение классического поведения* в простейших связанных системах (режим многозначной СОК) [1, 13] завершают *самосогласованную, универсальную основу нанобиотехнологических «приложений»*.

Третья группа приложений проводит дальнейшее расширение этих результатов на основы *сложно-динамической биологии*, которая возникает теперь как наука *точного, каузально полного типа*, с её главными применениями в виде *надёжной генетики* и *интегральной медицины* [1, 5, 7]. Наш динамически вероятностный фрактал, полученный как *нередуцированное решение* задачи взаимодействия многих тел, демонстрирует основные наблюдаемые свойства *живой структуры*, включая *автономную интерактивную адаптацию, целенаправленную динамику*, объективно определённые понятия *рождения, жизни и смерти системы* и *экспоненциально огромную мощность динамики*. *Надёжная генетика* основана на *нередуцированном анализе всех задействованных взаимодействий генома*. И мы строго показываем, что их практически

полное игнорирование в доминирующем эмпирическом подходе неизбежно создаёт явление генетической бомбы замедленного действия с катастрофическими последствиями. *Интегральная медицина* расширяет этот подход на всю систему взаимодействий каждого отдельного организма и обеспечивает нередуцированный, сложно-динамический и творческий контроль вероятностного (многозначного и многоуровневого) фрактала (см. общий принцип (2) выше).

Четвёртая группа приложений даёт каузально полное понимание *динамически возникающих разума и сознания*, как в естественных, так и в искусственных системах [1, 8]. Показано, что нередуцированные разум и сознание являются естественными свойствами *достаточно высоких*, хорошо определённых уровней *сложности нередуцированного взаимодействия*, неизбежно отсутствующими в любой его унитарной имитации с помощью как угодно «запутанной», но регулярной динамики. Таким образом, мы получаем, в частности, способ создания, конкретные принципы конструирования и специфические свойства *искусственных*, но при этом *истинных* разума и сознания, включая и ключевое свойство экспоненциально огромной мощности (сложно-динамического параллелизма).

Пятая группа приложений (связанная с четвёртой) имеет дело с созданием новых, сложно-динамических информационных систем, включая разумное программное обеспечение и автономные сети связи [10]. Происходящий при этом переход сложности в работе и создании информационных и коммуникационных систем существенно увеличивает мощность их работы в направлении нового качества «живого» и разумного поведения, включая такие применения, как сети, основанные на знаниях.

Шестая группа приложений направлена на необходимый переход к истинно устойчивому развитию на высшем уровне сложности цивилизации, или революцию сложности [1, 9]. Мы строго обосновываем необходимость этого перехода, как объединённого и единственного выхода из нынешнего экологического и эволюционного кризиса и рассматриваем различные аспекты предлагаемого решения, такие как новый основополагающий тип знаний универсальной науки сложности с его строго определённой концепцией прогресса, добавляющей сложность производства, неунитарной социальной структуры и нового типа поселений.

Седьмая группа приложений касается строгого описания высших уровней сложности, обычно изучаемых в гуманитарных науках, таких как этика, эстетика и духовные вопросы [1]. Мы даём *точно определённые* понятия *добра* (как оптимально растущей сложности-энтропии), *красоты* (как относительного достигнутого уровня сложности) и *духовности* (как нередуцированной динами-

ческой сложности высших уровней).

Необходимо подчеркнуть важную объединяющую роль предложенного *нового содержания и организации науки* в направлении *нередуцированного* понимания *сложно-динамической* реальности в рамках *либеральной, творческой структуры* производства и распространения знания [1, 15]. В результате получаем цельную, сложно-динамическую картину Вселенной, от нижайших до наивысших уровней сложности, доказывающую свою эффективность прямым решением до этого устойчиво нерешаемых конкретных задач и проблем на всех уровнях. Таким образом, универсальная наука сложности демонстрирует *доказуемо единственную* (и эффективную) возможность истинного прогресса знания к его внутренне объединённому, творческому и полезному состоянию, давая хорошо определённый положительный ответ на наш исходный вопрос (см. раздел 1).

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. P. Kirilyuk, *Universal Concept of Complexity by the Dynamic Redundance Paradigm: Causal Randomness, Complete Wave Mechanics and the Ultimate Unification of Knowledge* (Kyiv: Naukova Dumka: 1997); ArXiv:physics/9806002.
2. A. P. Kirilyuk, *Solid State Phenomena*, **97–98**: 21 (2004); ArXiv:physics/0405063.
3. A. P. Kirilyuk, *Proceedings of Institute of Mathematics of NAS of Ukraine*, **50**, Part 2: 821 (2004); ArXiv:physics/0404006.
4. A. P. Kirilyuk, *Consistent Cosmology, Dynamic Relativity and Causal Quantum Mechanics as Unified Manifestations of the Symmetry of Complexity*, ArXiv:physics/0601140.
5. A. P. Kirilyuk, *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, **10**, Iss. 2: 217 (2012); ArXiv:1204.3460.
6. A. P. Kirilyuk, *Complex Dynamics of Real Quantum, Classical and Hybrid Micro-Machines: From Causally Complete Quantum Mechanics to the Efficient Nanotechnology and Development Concept* (Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing: 2013); ArXiv:physics/0211071.
7. A. P. Kirilyuk, *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, **2**, Iss. 3: 1085 (2004); ArXiv:physics/0412097.
8. A. P. Kirilyuk, *Fractals in Biology and Medicine* (Eds. G. A. Losa, D. Merlini, T. F. Nonnenmacher, and E. R. Weibel) (Basel: Birkhäuser: 2005), vol. IV, p. 233; ArXiv:physics/0502133; hal-00004330.
9. A. P. Kirilyuk, *Emerging Consciousness as a Result of Complex-Dynamical Interaction Process*, ArXiv:physics/0409140.
10. A. P. Kirilyuk, *The Future of Life and the Future of Our Civilisation*, (Ed. V. Burdyuzha) (Dordrecht: Springer: 2006), Vol. IV: p. 411; ArXiv:physics/0509234; hal-00008993.
11. A. P. Kirilyuk, *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, **11**, Iss. 1: 1 (2013); ArXiv:1212.1939; hal-00760100.

12. A. P. Kirilyuk, *Network Control and Engineering for QoS, Security, and Mobility, IV, IFIP* (Ed. D. Gaïti) (Boston: Springer: 2007), vol. **229**, p. 1; ArXiv: physics/0603132; hal-00020771.
13. A. P. Kirilyuk, *Nucl. Instr. and Meth.*, **B69**, Iss. 2–3: 200 (1992).
14. A. P. Kirilyuk, *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, **21**, Iss. 4: 455 (1996); ArXiv:quant-ph/9511034, quant-ph/9511035, quant-ph/9511036.
15. A. P. Kirilyuk, *Quantum Field Mechanics: Complex-Dynamical Completion of Fundamental Physics and Its Experimental Implications*, ArXiv:physics/0401164.
16. A. P. Kirilyuk, *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, **11**, Iss. 2: 217 (2013); ViXra:1210.0162; hal-00740459.
17. A. P. Kirilyuk, *Complex-Dynamical Approach to Cosmological Problem Solution*, ArXiv:physics/0510240.
18. A. P. Kirilyuk, *Against the Tide: A Critical Review by Scientists of How Physics & Astronomy Get Done* (Eds. M. Lypez Corredoira and C. Castro Perelman) (Boca Raton: Universal Publishers: 2008), p. 179; ArXiv:0705.4562.
19. A. P. Kirilyuk, *Creativity and the New Structure of Science*, ArXiv:physics/0403084.