

В.М. Сомсиков^{1,2}¹ Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан;² Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
vmsoms@rambler.ru

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ НЕОБРАТИМОСТЬ В ПРИРОДЕ ХАОСА И ПОРЯДКА

Аннотация: На основе детерминированного решения проблемы необратимости рассмотрена природа возникновения структур и хаоса без использования каких-либо гипотез о случайных флуктуациях внешних ограничений. Показано, что необратимость детерминированного хаоса следует из уравнений динамики систем. Рассмотрено описание детерминированного динамического хаоса в дуальном фазовом пространстве. Такое фазовое пространство в соответствии с принципом дуализма симметрии в классической механике представляет собой два ортогональных фазовых подпространства. Первое фазовое пространство описывает динамику тела. Это описание представлено в макропеременных. Второе фазовое пространство описывает движение структурных элементов тела относительно его центра масс. Такое описание выполнено в пространстве микропеременных. Показано, что дуальное фазовое пространство позволяет описать характер стремления тела не только к равновесному состоянию, но и к аттрактору, определяемому внешними ограничениями. Обсуждается вопрос об универсальности процессов нарушения пространственно-временных симметрий. Эта универсальность объясняется общностью механизма эволюционной нелинейности для различных процессов спонтанного нарушения симметрии. Такое спонтанное нарушение симметрии имеет место при любом процесс возникновения новых систем или аттракторов.

Ключевые слова: динамика, эволюция, фазовое пространство, энтропия, необратимость, формализмы механики.

Введение. Длительное время основное препятствие на пути построения эволюционной картины мира было связано с тем, что современная фундаментальная физика описывает существующий мир, но не описывает *процессы эволюции, то есть, процессы возникновения, развития и преобразования мира* [1-6]. Это объясняется тем, что эволюция является необратимым процессом, а до недавнего времени механизм необратимости невозможно было описать в рамках фундаментальных законов физики. Поэтому было невозможно построить физическую картину мира, основной чертой которой является эволюция.

В процессе поиска решения проблемы необратимости вначале был найден ее вероятностный механизм [5, 6]. Он объяснялся существованием случайного внешнего воздействия на гамильтонову систему. Согласно теореме Пуанкаре, гамильтоновы системы обратимы. Но они экспоненциально неустойчива, поэтому для сколь угодно малого случайного возмущения всегда существует такое конечное время, что система отклонит-

ся от детерминированной траектории на любое наперед заданное расстояние в пределах доступного фазового пространства. Введение случайной величины возмущения в уравнения движения неустойчивых по Ляпунову систем эквивалентно нарушению детерминизма, а значит, нарушение обратимости. Но поскольку этот механизм необратимости имеет вероятностный характер, он не может ответить на вопросы: как порядок возникает из хаоса. Более того, не ясно, как строить физическую картину мира, в основах теории которой лежат вероятностные гипотезы.

Существование вероятностного механизма необратимости не означает отсутствие *детерминированного механизма необратимости* (ДМН). И действительно, такой механизм был относительно недавно предложен [7]. Он не только устранял проблемы, связанные с вероятностным объяснением необратимости. Он открывал возможности строить детерминированную эволюционную картину мира в рамках фундаментальных законов физики [7-11].

Основное препятствие на пути к ДМН было в следующем. Как известно, уравнение движения Ньютона для *материальной точки* (МТ) обратимо. Уравнения движения системы потенциально взаимодействующих МТ, а также уравнение Лиувилля, которые выводятся из уравнения Лагранжа или путем суммирования уравнений движения МТ, также обратимы [12, 13]. Из уравнения Лиувилля следует и известная теорема Пуанкаре о возврате [14]. То есть, в результате мы приходим к выводу об обратимости динамики гамильтоновых систем. Но здесь из внимания ускользал один, на первый взгляд, малозначительный вопрос: как учесть влияние на движение системы того, что работа внешних сил не только перемещает тело, но и меняет его внутреннюю энергию, например, в результате работы сил трения? При изучении этого вопроса оказалось, что для ответа на него нужно представить энергию тела в виде суммы энергии движения и внутренней энергии. Уравнение движения системы, соответствующее такому представлению энергии, оказалось не симметричным относительно времени. Причина состоит в том, что уравнения Лагранжа и Лиувилля выводятся при условии голономности связей. Но это условие не выполняется для неголономных систем, например, систем с трением. Но для получения уравнения движения из энергии, представленной в виде суммы энергии движения и внутренней энергии, условие голономности связей для системы не использовалось. Поэтому получаемое таким образом уравнение применимо для описания динамики систем с любыми связями. Это уравнение легло в основу механики *структурированной частицы* (СЧ), из которой следовал ДМН. В отличие от классической механики, построенной для бесструктурного тела, в механике СЧ вместо МТ для модели тела используется СЧ, которая представляла собой совокупность достаточно большого количества потенциально взаимодействующих МТ.

Существование ДМН в механике потребовало пересмотра механизма диссипации, а также проблемы взаимосвязи хаоса и порядка. Данная работа посвящена этим вопросам. С этой целью в ней кратко изложена природа механизма ДМН, предложено пояснение, почему детерминированный хаос воз-

никает в результате нарушения симметрии времени при трансформации энергии движения во внутреннюю энергию. Рассмотрена универсальность закона нарушения симметрии времени. В соответствии с ДМН предложена природа детерминированного хаоса.

Механизм ДМН

Чтобы понять природу детерминированного хаоса, поясним ключевые идеи и понятия, которые использовались при обосновании ДМН.

Рассмотрим тело, скатывающееся по наклонной шероховатой поверхности под действием силы тяжести. В начальный момент его энергия равна потенциальной энергии. В процессе скатывания часть этой энергии идет на увеличение кинетической энергии. Она определяется скоростью движения его *центра масс* (ЦМ). Другая часть энергии идет на нагрев тела в результате преобразования энергии движения во внутреннюю энергию из-за работы силы трения. В результате энергия движения в каждой последующей точке положения ЦМ тела оказывается меньше, чем израсходованная потенциальная энергия на величину изменения внутренней энергии (здесь и далее поглощение энергии движения тела внешней средой не учитывается, так как этот учет ни чего принципиально не меняет).

Для данной задачи движение тела в рамках классической механики описывается эмпирическим уравнением, в котором сила трения пропорциональна скорости [12, 13]:

$$M\dot{V}_0 = -F_0 - \mu V, \quad (1)$$

где M - масса тела, V_0 - скорость ЦМ, $-F_0$ - сила, действующая на ЦМ, μ - эффективный коэффициент трения. Здесь и далее силы выражаются через градиент потенциальной энергии.

Уравнение (1) из-за наличия эмпирического коэффициента трения не является детерминированным. Оно учитывает преобразование энергии движения во внутреннюю энергию, но не описывает сам процесс такого преобразования. Покажем, как можно найти аналитическое выражение этого коэффициента, опираясь на модель тела в виде СЧ [6].

Модель тела в виде СЧ следует из мо-

лекулярно-кинетической теории. Согласно этой теории тело можно представить в виде СЧ, состоящей из N потенциально взаимодействующих МТ. Не теряя общности, будем считать, что массы всех МТ, входящих в СЧ одинаковы и равны единице. Учтем, что любая скалярная сумма квадратичных функций вектора может быть представлена так [7]:

$$\sum_{i=1}^N r_i^2 = NR_0^2 + \sum_{i \neq j}^N (r_{ij})^2 / N$$

Вектор r_i определяет положение одной из МТ в лабораторной системе координат с началом в точке O ; $r_{ij} = r_i - r_j$; $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$ - номера различных МТ, где i, j пробегает значения от 1 до N , причем $i \neq j$; вектор $R_0 = (\sum_{i=1}^N r_i) / N$ определяет положение ЦМ для СЧ. Представим r_i так: $r_i = R_0 + \tilde{r}_i$, где вектор \tilde{r}_i определяет положение МТ относительно ЦМ СЧ. Отсюда вектор скорости МТ: $v_i = V_0 + \tilde{v}_i$.

Было показано [10], что

$$\sum_{i=1}^N r_i^2 = NR_0^2 + \sum_{i \neq j}^N (\tilde{r}_i)^2 \quad (3)$$

Это очень важное равенство для динамики тел. Из него вытекает, что внутренняя энергия и энергия движения независимы. Поэтому они соответствуют различным группам симметрии. Систему координат, в которой векторы координат и скоростей представлены в виде суммы векторов движения ЦМ и движения относительно ЦМ называют *дуальной системой координат (ДСК)*. Поясним, что означает представление движения тела в ДСК.

Если СЧ представлена совокупностью МТ, то ее движение складывается из совокупности движений МТ. Причем движение каждой МТ представляет собой совокупность двух движений: движение вместе с ЦМ СЧ и движение относительно ЦМ. Поэтому в ДСК работа внешних сил по перемещению СЧ распадается на работу по увеличению скорости ЦМ и работу, по увеличению скоростей МТ относительно ЦМ. Это энергия эквивалентна энергии нагрева системы.

Внутренние движения всех МТ обладают тем свойством, что их суммарный импульс равен нулю. Переменные, определяющие внутреннюю энергию, называют *микро-*

переменными, а переменные, определяющие энергию движения, называют *макропеременными*. Покажем, как энергию системы МТ можно записать в ДСК через микро- и макропеременные [9].

Из (2) и (3) видно, что сумма энергий относительных движений МТ и энергия, определяемая суммой кинетических энергий движения МТ относительно ЦМ, совпадают. То есть, кинетическая энергия системы, представленная в ДСК, распалась на сумму кинетических энергий МТ относительно ЦМ и кинетическую энергию движения ЦМ системы. Аналогичным образом представим в ДСК потенциальную энергию системы. Потенциальная составляющая энергии движения равна суммарной энергии МТ в поле внешних сил. Потенциальная составляющая внутренней энергии СЧ состоит из энергий взаимодействий МТ и вклада, возникающего из-за неоднородности внешнего поля.

Согласно (2, 3) микро- и макропеременные независимы и принадлежат к двум различным группам симметрии. Это свидетельствует о наличии двух инвариантов, соответствующих двум группам симметрии, определяющим движение тел. С одной группой симметрии связана энергия движение тела, а со второй - внутренняя энергия. То есть, движение тела определяется его внутренней симметрией и симметрией пространства, в котором оно движется. Данное утверждение называется *принципом дуализма симметрии (ПДС)* [10].

Таким образом, в микро- и макропеременных энергия системы имеет вид:

$$E_N = E_N^{tr} + E_N^{ins} = const \quad (4)$$

где $E_N^{ins} = T_N^{ins} + U_N^{ins}$ - внутренняя энергия СЧ;

$T_N^{ins} = \sum_{i=1}^N m\tilde{v}_i^2 / 2$ - кинетическая составляющая внутренней энергии СЧ. Потенциальная составляющая внутренней энергии складывается из энергий взаимодействий МТ между собой

$$U_N^{ins}(r_{ij}) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N U_{ij}(r_{ij}).$$

$E_N^{tr} = T_N^{tr} + U_N^{tr}$ - энергия движения, T_N^{tr} - кинетическая энергия движения системы, зависящая от макропеременных, U_N^{tr} - потенциальная энергия СЧ в поле внешних сил.

В соответствии с (4), закон сохранения энергии СЧ следующий: *сумма энергии*

движения и внутренней энергии системы сохраняется вдоль ее траектории.

Таким образом, в ДСК возникает разделение энергии системы на сумму ее энергии движения и внутренней энергии. Поясним необратимость динамики СЧ.

Из выражения для энергии (4) получим уравнение движения СЧ [11]:

$$M_N \dot{V}_N = -F_N^0 - \mu V_N, \quad (5)$$

где $F_N^0 = -\sum_{i=1}^N F_i^0$; F_i^0 - внешняя сила, действующая на i -ю МТ; $\mu = \dot{E}_N^{\text{int}} / (V_N^{\text{max}})^2$; F_{ij} - сила взаимодействия i и j МТ; $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$; $\dot{E}_N^{\text{int}} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N v_{ij} (m\dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + NF_{ij})$.

Уравнение (5) записано в форме уравнения (1), но в нем коэффициент трения имеет аналитическую форму. В правой части первый член определяет внешнюю силу, приложенную к ЦМ. Работа этой силы меняет скорость СЧ. Второй член отличен от нуля только при неоднородности поля внешних сил. Он биссимметричный, так как зависит от микро - и макропеременных, принадлежащих группам симметрии тела и пространства. Второй член определяет преобразование энергии движения во внутреннюю энергию. Такой вид уравнения (5) следует из того, что работа внешних сил делится на работу по перемещению системы, и на работу по изменению ее внутренней энергии.

Как видно из уравнений (3), ускорение системы обращается в ноль, когда достигается скорость V_N^{max} , при которой вся работа внешних сил уходит во внутреннюю энергию. При этом выполняется равенство: $V_N^{\text{max}} F_N^0 = -\dot{E}_N^{\text{int}}$. Это уравнение Аристотеля. То есть, зная внешнюю силу, действующую на тело и его установившуюся скорость, определяем поглощаемую им энергию.

Если $\mu = 0$, то имеем: $M_N \dot{V}_N = -F_N^0$. Это уравнение Ньютона, согласно которому при отсутствии трения ускорение пропорционально внешней силе [12, 13].

Уравнение (5) получено в ДСК путем суммирования скалярных величин изменений со временем энергий каждой МТ и дифференцированием по времени суммарной энергии при условии ее сохранения. Изменения энергии всех МТ связаны со взаимодействиями МТ в поле внешних сил. Как из-

вестно, классическое уравнение движения СЧ выводится путем суммирования уравнений движения для каждой МТ [13]. Поэтому в нем нет членов, описывающих преобразование энергии движения СЧ в ее внутреннюю энергию, так как сумма изменений импульсов МТ относительно СМ равна нулю.

Из механики СЧ следует бесконечная делимость материи [8]. Она следует из того, что возникновение аттракторов, эквивалентных природным системам, возможно только при наличии диссипации. Но диссипация возможна только для систем. Если учтем, что мир эволюционировал от простого к сложному. Тогда приходим к выводу, что любые природные объекты являются системами.

Таким образом, при переходе от модели тела в виде МТ к модели тела в виде СЧ, т.е. в результате перехода $MT \Rightarrow СЧ$ (с), обратимая механика переходит в необратимую. Необратимость обусловлена нелинейной трансформацией энергии движения тела в его внутреннюю, тепловую энергию. Обратная трансформация тепловой энергии невозможна из-за закона сохранения импульса.

Нарушение симметрии времени

Инвариантность энергии движения МТ соответствует симметрии времени. Для уравнения движения МТ энергия движения сохраняется. Но согласно уравнению (5) энергия движения СЧ в неоднородном поле внешних сил не сохраняется. Это означает нарушение симметрии времени. Такое нарушение симметрии связано с тем, что энергия движения тела в результате ее трансформации во внутреннюю энергию, обусловленную движением МТ относительно ЦМ, не сохраняется. При этом полная энергия системы (4) сохраняется. Нелинейности, отвечающие за нарушение пространственно-временных симметрий, были названы эволюционными [10]. Эти нелинейности отсутствуют в рамках канонических формализмов классической механики, поскольку формализмы получены только для голономных систем при условии потенциальности коллективных сил [12, 13]. Эти условия не выполняются, например, для систем с трением или при фазовых переходах [15-17].

Как отмечено в работе [10], физическая сущность эволюционной нелинейности обусловлена тем, что прямой поток энергии движения во внутреннюю энергию описывается членами второго порядка малости. Но обратный поток энергии движения описывается членом четвертого порядка малости. Неравная нуля разница этих потоков определяет нарушение симметрии времени.

Еще в 1937 году Ландау предложил математическое описание спонтанного нарушения симметрии физических систем, например, при фазовых переходах второго рода [15]. Оно происходит при бесконечно малых изменениях значений управляющих параметров в окрестности линии фазовых переходов.

Для количественного описания спонтанного нарушения симметрии, Ландау ввел так называемый скалярный параметр порядка. С помощью такого параметра порядка Ландау эмпирическим путем определил вид разложения свободной энергии в области фазового перехода, представив его следующим образом [15-17]:

$$F(\varphi) = F_0 + V(a_2\varphi^2 / 2 + a_4\varphi^4 / 4 - h\varphi) \quad (6)$$

где $F(\varphi)$ - термодинамический потенциал (энергия Гиббса), φ - скалярный параметр порядка, a_2, a_4, h - эмпирические коэффициенты.

Это выражение, исходя из его графической формы, впоследствии было названо «мексиканской шляпой». Как впоследствии оказалось, оно описывает не только нарушение симметрии при фазовых переходах второго рода. Аналогичный вид разложения термодинамических потенциалов или скалярных функций, определяющих нарушение пространственно-временных симметрий, существует при описании нарушения суперсимметрии, сверхпроводимости, а также для описания процессов рождения частиц и появления массы и т.п. [19]. Универсальность такого вида свидетельствует, что *нарушение любого типа симметрии связано с эволюционной нелинейностью, описывающей преобразование одного типа энергии, являющейся инвариантом соответствующей группы симметрии, в другой*. То есть, как и в случае нарушения симметрии при фазовых

переходах второго рода, оно описывает нарушение симметрии времени при ДМН. Если отталкиваться от природы эволюционной нелинейности, то такая универсальность объясняется тем, что все нарушения симметрии являются чисто нелинейными процессами, при которых нарушение инвариантности, например, двух типов энергии, соответствующих групп симметрии, происходит при условии сохранения их суммарной энергии.

Все это указывает на то, что природа ДМН, природа любого типа нарушения симметрии универсальна, включая механизм нарушения симметрий, определяющий природу происхождения массы по сценарию Хиггса [19].

Но если существует универсальный вид функции нарушения симметрии при различных физических процессах, то можно ожидать и универсальность некоторых характеристики самого процесса нарушения симметрий. Так, согласно ДМН нарушение симметрии времени происходит через увеличение внутренней энергий хаотического движения элементов системы.

О природе хаоса и порядка

ДМН связан с увеличением энергии хаотического движения элементов системы за счет упорядоченной ее энергии движения. Как известно, в природе существует два типа хаоса. К первому типу относится хаос, имеющий чисто вероятностную природу. Состояние системы с таким хаосом непредсказуемо и не может быть задано детерминированным уравнением. Его типичным примером является белый шум [18]. Суть этого хаоса в том, что он описывается вероятностными законами. Размерность такого хаоса бесконечная. В дальнейшем, будем называть его стохастическим хаосом, что в переводе с греческого означает случайный или вероятностный хаос.

Ко второму типу относится детерминированный хаос. Этот хаос назван детерминированным, поскольку он характеризует движения детерминированных систем, определяемые строгими уравнениями динамики. Он был открыт значительно позже стохастического хаоса [18, 20]. Как оказалось, даже динамика осциллятора в определенных точках

фазового пространства имеет решение практически неотличимое от стохастического хаоса. Но в отличие от стохастического хаоса, детерминированный хаос имеет конечную фрактальную размерность [18].

Согласно теореме Пуанкаре о возврате для гамильтоновых систем динамический хаос обратим. Долгое время наблюдаемая в реальной природе необратимость гамильтоновых систем объяснялась всегда присутствующими случайными воздействиями. Это объясняло тот факт, что фазовые траектории гамильтоновых систем не возвращаются в любую сколь угодно малую окрестность исходной точки. То есть, объяснения необратимости опирались на ее вероятностный механизм. Однако существование ДМН коренным образом меняет представления о механизме хаоса. Действительно, ДМН носит детерминированный характер и не требует наличия случайных внешних воздействий на систему. Это означает, что движение системы к равновесию описывается полностью детерминированными уравнениями. Оставляя в стороне обширную литературу об открытии детерминированного хаоса [14, 18, 20], о проблемах на пути развития математического аппарата для его описания, кратко поясним природу детерминированного хаоса, которая следует из ДМН [11].

Согласно принципу дуализма симметрии динамика тел определяется как его симметрией, так и симметрией пространства. Отсюда следует, что для определения динамики тела его энергию необходимо представить суммой энергии движения и внутренней энергией. Ключевым свойством внутренней энергии любой системы является равенство нулю суммы импульсов ее элементов. Реализация такого условия происходит через хаотическое движение элементов системы.

Из условия бесконечной делимости материи и механики СЧ следует, что в достаточно широких пределах общности все тела представляют собой ОНДС [11]. Рассмотрим случай, когда для изучаемого процесса можно пренебречь внешними воздействиями на ОНДС. То есть, рассмотрим неподвижную ОНДС в термостате. Тогда ее можно рассматривать как НС, заданную совокупностью перемещающихся относительно друг друга СЧ. Сумма импульсов СЧ равна нулю.

Это означает, что направления векторов импульсов для всех СЧ имеет изотропный характер.

Установление равновесия в НС связано со стремлением к нулю относительных скоростей СЧ. Равновесие соответствует нулевым значениям относительных импульсов подсистем, на которые произвольным образом может быть разбита система. Отсюда понятия абсолютного хаоса и равновесия соответствуют равенству нулю энергий относительных движений таких подсистем. То есть, идеальное равновесие или абсолютный хаос соответствует случаю, когда для любой достаточно большой выделенной из системы подсистемы энергия ее движения относительно других частей системы равна нулю. Процесс установления равновесия описывается уравнением движения (5). Отметим, что в природе абсолютный или идеальный хаос не встречается, поскольку все природные системы являются ОНДС. Абсолютный хаос – приближение, когда можно пренебречь диссипативными процессами.

Рассмотрим теперь случай, когда внешние ограничения неоднородны и нестационарные. Только при наличии таких ограничений существуют стационарные ОНДС, представляющие собой совокупность аттракторов. Такую совокупность аттракторов можно рассматривать как иерархическую лестницу сложных структур, когда одни, более простые ОНДС, являются составными элементами верхней ступени иерархической лестницы для ОНДС. Стационарность такой сложной ОНДС обеспечивается равенством входящих и исходящих потоков энергии, вещества, энтропии для каждой ступени иерархической лестницы [11]. То есть, в природе неравновесность и порядок соответствуют аттракторам. Аттрактор возникает через хаос при разрушении старого аттрактора в результате изменений внешних условий или эволюции системы. Такой процесс наблюдается, к примеру, при фазовых переходах, когда состояние системы с одним типом симметрий сменяется на ее состояние с другими типами симметрий.

Дуальное фазовое пространство

Для изучения процессов установления порядка или хаоса все системы необходимо

рассматривать, в виде ОНДС, поскольку все эволюционные процессы в системах связаны с изменениями внешних ограничений. Например, фазовые переходы могут возникать при изменении температуры окружающей среды. В соответствии с этим возникают вопросы, какой порядок может возникнуть при тех или иных внешних ограничениях. Очевидно, что для ответа на эти вопросы нужно знать, какие устойчивые состояния существуют в доступном пространстве параметров внешних ограничений для рассматриваемых систем. Более того, необходимо знать, каков возможный путь системы к тому или иному аттрактору, то есть, каков сценарий пространственно-временных изменений внешних ограничений, чтобы система пришла к заданному аттрактору. Изучение этих вопросов можно выполнить, опираясь на методы фазовых портретов.

Для систем классической механики в качестве фазового пространства удобно брать дуальное фазовое пространство [21]. В отличие от обычного фазового пространства, это пространство позволяет учесть принцип дуализма симметрии. Поясним его суть.

В общем случае природные системы являются ОНДС. В простейшем, но учитывающем все основные эволюционные свойства, *ОНДС* можно представить в виде совокупности СЧ, обладающих внутренней энергией и энергией движения. То есть, энергия каждой МТ, входящей в СЧ, обладает энергией хаотического движения, обуславливающей внутреннюю энергию СЧ, и энергией, которая вносит в клад в энергию движения СЧ. Следовательно, энергию *ОНДС* в общем случае нужно представить так:

$E = \sum_{i=1}^R (E_i^{tr} + E_i^{ins})$. Эволюция замкнутой ОНД происходит при условии сохранения полной энергии системы:

$\sum_{i=1}^R (E_i^{tr} + E_i^{ins}) = const$. Отсюда следует, что фазовое пространство, которое позволяет анализировать процессы эволюции *ОНДС*, нужно представлять в виде двух подпространств, соответствующих внутренней энергии и энергии движения.

Рассмотрим наиболее простейший случай, когда можно пренебречь внешним воздействием на ОНДС. В случае, когда внешним воздействием на ОНДС можно пренеб-

речь, для нее имеет место условие:

$$\left(\sum_{i=1}^R E_i^{tr} / E_i^{ins} \right)_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \quad (2),$$

где $i = 1, 2, 3 \dots R$, R – число СЧ, входящих в *ОНДС*, E_i^{tr}, E_i^{ins} – энергия относительного движения и внутренняя энергия i -той СЧ.

Величина $\left(\sum_{i=1}^R E_i^{tr} / E_i^{ins} \right) = \Theta$ характеризует степень неравновесности *ОНДС*.

Поскольку *ОНДС* можно представить совокупностью движущихся относительно друг друга СЧ, то состоянию *ОНДС* можно поставить в соответствие точку в фазовом пространстве ($6R-1$) измерений, где R – количество СЧ, входящих в *ОНДС*. То есть, положение каждой СЧ задается тремя координатами и тремя компонентами импульсов их ЦМ. Это пространство задается в макропеременных, определяющих координаты и импульсы СЧ. Оно было названо *S-пространством* [10]. В этом пространстве однозначное соответствие состояния и точки фазового пространства будет до тех пор, пока диссипацией можно пренебречь.

При наличии диссипации внутренняя энергия ОНДС будет расти за счет энергии относительного движения СЧ. То есть, каждой точке *S-пространства* уже будут соответствовать состояния с разными значениями внутренней энергии. Эта неоднозначность устраняется, если *S-пространство* дополнить *D-пространством* микропеременных, определяющих внутренние энергии СЧ. Такое дуальное пространство назовем *SD-пространством*. Основным отличием *SD-пространства* от обычного фазового пространства является то, что оно построено путем разделения энергии каждой МТ на две части. Одна часть соответствует вкладу МТ в энергию относительного движения СЧ, а другая часть соответствует вкладу МТ во внутреннюю энергию СЧ.

Таким образом, состояние *ОНДС* в заданный момент времени определяется двумя точками в *S* и *D* пространствах. То есть, состоянию *ОНДС* соответствует точка в плоскости, определяемая двумя *S* и *D* векторами. Причем длина *S*-вектора определяется модулем вектора точки *S-пространства*. Модуль этого вектора пропорционален сумме энергий относительного движения СЧ. Длина *D-вектора* определяет соответствующую

точку D - пространства. Очевидно, что длина D – вектора пропорциональна внутренней энергии **ОНДС**, равной сумме внутренних энергий СЧ.

При движении **ОНДС** к равновесию, модуль S – вектора стремится к нулю, поскольку стремится к нулю энергия относительных движений СЧ, а модуль D – вектора растет. Если **ОНДС** консервативна, то должно выполняться условие:

$$S^2 + D^2 = const \quad (3)$$

Это условие эквивалентно закону сохранения энергии. Условие (3) можно записать так: $ZZ^* = const$, где $Z = S + iD$, i – мнимая единица. Так как при любых преобразованиях S и D векторов сумма энергий движения СЧ и их внутренних энергий сохраняется, то состоянию **ОНДС** соответствует точка комплексной плоскости, определяемая числом: $Z = S + iD$. Для векторов S, D выполняется условие: $\varphi = \arctg(D/S)$. В равновесном состоянии имеем: $\varphi = \pi/2$. Поскольку выполняется условие (3), модуль вектора точки в SD -пространстве является инвариантом.

Энергия СЧ может быть представлена суммой энергии ее движения и внутренней энергии, в которые вносит вклад каждая МТ. В этом для фазового пространства можно записать:

$$\int_{\Delta_0^S} dq_0^S dp_0^S + \int_{\Delta_0^D} dq_0^D dp_0^D = \int_{\Delta_t^S} dq_t^S dp_t^S + \int_{\Delta_t^D} dq_t^D dp_t^D \quad (4)$$

Здесь q_0^S, p_0^S – координаты и импульсы СЧ, образующие элемент фазового объема Δ_0^S в начальный момент времени; q_0^D, p_0^D – координаты и импульсы МТ относительно ЦМ СЧ, заполняющие элемент фазового объема Δ_0^D в начальный момент времени; q_t^S, p_t^S – координаты и импульсы СЧ, а Δ_t^S фазовый объем, занимаемый ими спустя время t ; q_t^D, p_t^D – координаты и импульсы МТ относительно ЦМ СЧ, заполняющие элемент фазового объема Δ_t^D в момент времени t .

Эволюция фазового объема идет при выполнении условия: $\Delta_0^S + \Delta_0^D = \Delta_t^S + \Delta_t^D$ (в), которое эквивалентно закону сохранения энергии. Из-за трансформации энергии отно-

сительных движений СЧ в их внутреннюю энергию, будем иметь место следующее условие:

$$(\Delta_t^S / \Delta_t^D)_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \quad (5)$$

Скорость изменения Δ_t^S определяется D -энтропией - S^d [10], которая является отношением изменения внутренней энергии системы за счет энергии ее движения, к величине внутренней энергии. В случае **ОНДС** представленных совокупностью СЧ, можно записать: $\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^R E_i^{tr} = T \frac{d}{dt} S^d$, где T – температура СЧ, определяемая составляющей внутренней средней кинетической энергии.

Если система бездиссипативна, то в этом случае $\frac{d}{dt} S^d = 0$, и S – пространство совпадает с обычным фазовым пространством.

Главным достоинством SD -фазового пространства является то, что оно позволяет проследить характер изменения внутренней энергии, который определяет движение системы к аттрактору.

В общем случае эволюция **ОНДС** определяется внешними ограничениями. И в этом случае ее эволюция также будет определяться в SD – пространстве, если мы задаем систему совокупностью СЧ. Но фазовая траектория будет определяться не только диссипативными процессами, как в случае замкнутой **ОНДС**, но и характером внешних ограничений, которые следует задавать функционалом $\Phi(\alpha, \beta, \dots, \zeta, t)$. Причем для **ОНДС** с обратными связями этот функционал будет зависеть, как от внутренних свойств системы, так и от внешних характеристик среды.

Заключение.

Структурированные тела состоят из элементов. Каждый элемент тела участвует в двух типах движения. Один тип движения связан с перемещением ЦМ тела. Второй тип движения определяется перемещением элемента относительно ЦМ. Такое разделение движения элементов тела обусловлено тем, что его динамика определяется как симметриями пространства, так и симметриями самого тела. Если изучать динамику тела в

классическом фазовом пространстве, соответствующем лабораторной системе координат, то описать такое разделение энергии невозможно. Чтобы графически отобразить эти два различных типа движения, фазовое пространство следует разделить на два независимых подпространства: подпространство макропеременных, которое было названо S -пространством, и подпространство микропеременных, которое было названо D -пространством. S – пространство отображает движение тела, а D – пространство отображает движение элементов тела относительно ЦМ. Объединением этих подпространств является дуальное SD – пространство. SD – пространство однозначно определяет движение структурированного тела. При отсутствии изменений внутренней энергии тела, S – пространство совпадает с классическим фазовым пространством.

Дуальное фазовое пространство позволяет характеризовать процесс установления равновесия в ОНДС. Точки S – пространства характеризуют движение равновесных подсистем, совокупностью которых можно представить неравновесную систему. Точка в D -пространстве характеризует внутренние движения элементов подсистем. Процесс преобразования регулярного движения в хаотическое определяется уменьшением модуля вектора точки S – пространства и ростом модуля вектора точки D -пространства.

Ортогональность S и D пространств позволяет ввести комплексное число Z , характеризующее точку SD – пространства, соответствующую двум S и D векторам. Характер эволюции системы к равновесию определяется углом: $\varphi = \arctg(S/D)$. Стремление этого угла к нулю соответствует стремлению системы к равновесию.

Предложенная модификация фазового пространства особенно может быть полезной при анализе процессов эволюции систем к равновесным состояниям.

Исходя из универсального вида функции нарушения симметрии при различных физических процессах и природы ДМН, природа любого типа нарушения симметрии, включая механизм нарушения симметрий, определяющий природу происхождения массы по сценарию Хиггса, обладает универсальностью. Следовательно,

можно ожидать и универсальность характеристик процесса нарушения симметрий. Эта универсальность определяется тем, что нарушение симметрий связано с преобразованием одного типа энергии, соответствующей данному типу симметрии, в другой тип энергии.

Список литературы:

1. Anderson P. W. More Is Different Science, New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972), pp. 393-396
2. Hooft G. W't. Light is Heavy. arXiv:1508.06478v1 [physics.hist-ph] 26 Aug 2015
3. Hooft G. W't. Free will in the theory of everything arXiv:1709.02874v1[quant-ph]8 Sep 2017
4. Callaway H.G. Fundamental Physics, Partial Models and Time's Arrow. Dec.2016 <https://www.researchgate.net/publication/296327588>.
5. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., Наука, 1980, 342 с.
6. Пенроуз Р. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. М. Ижевск: 2007. 912 с.
7. Somsikov V.M. Irreversibility and physics of evolution. Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM) 1: 47-61p, (2018); Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. (2018), DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487
8. Somsikov V.M. Problems of Evolution of Open Systems. PEOS. 9(2). 2007. С.5-16.
9. Somsikov V.M. Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487
10. Somsikov V. M. To the basics of the physics of evolution. Almaty. 2016. 306 p.
11. Somsikov V.M. Deterministic irreversibility and the matter structure. Journal of Advances in Physics. V. 16. (2019) ISSN: 2347-3487 <http://cirworld.com/index.php/jap> p. 21-33.
12. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир, 1962. 408 с.
13. Голдстейн Г. Классическая механика. М. Наука. 1975. 416 с;

14. Zaslavsky G.M. The physics of chaos in Hamiltonian systems. London. Imperial College Press. 2007. 269 p.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М. Наука. 1976. 583 с.
16. Ландау. Л.Д., К теории фазовых переходов. *ЖЭТФ*, 7, (1937). с.19
17. Ландау. Л.Д. К теории фазовых переходов. *ЖЭТФ*, 7, 1937, с.627
18. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М. Наука. 1990. 272 с
19. Bernstein Jeremy. A question of mass. *Am. J. Phys.* 79 . 1 , January 2011. P. 25-31.
20. Chirikov V.V. Resonance processes in magnetic traps. *Atom. energy.* V.6(6).1959. P.630-638.
21. Сомсиков В.М., Андреев А.Б., Мохнаткин А.И, Капытин В.И. Дуальное фазовое пространство неравновесной системы. *ПЭОС Вып.20.Т.1.* 2018 с. 12-18

Принята к печати 4.04.2019

В.М. Сомсиков^{1,2}

¹ *Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан;*

² *Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;*
vmsoms@rambler.ru

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ НЕОБРАТИМОСТЬ В ПРИРОДЕ ХАОСА И ПОРЯДКА

Аннотация. На основе детерминированного решения проблемы необратимости рассмотрена природа возникновения структур и хаоса без использования каких-либо гипотез о случайных флуктуациях внешних ограничений. Показано, что необратимость детерминированного хаоса следует из уравнений динамики систем. Рассмотрено описание детерминированного динамического хаоса в дуальном фазовом пространстве. Такое фазовое пространство в соответствии с принципом дуализма симметрии в классической механике представляет собой два ортогональных фазовых подпространства. Первое фазовое пространство описывает динамику тела. Это описание представлено в макропеременных. Второе фазовое пространство описывает движение структурных элементов тела относительно его центра масс. Такое описание выполнено в пространстве микропеременных. Показано, что дуальное фазовое пространство позволяет описать характер стремления тела не только к равновесному состоянию, но и к аттрактору, определяемому внешними ограничениями. Обсуждается вопрос об универсальности процессов нарушения пространственно-временных симметрий. Эта универсальность объясняется общностью механизма эволюционной нелинейности для различных процессов спонтанного нарушения симметрии. Такое спонтанное нарушение симметрии имеет место при любом процесс возникновения новых систем или аттракторов.

Ключевые слова: динамика, эволюция, фазовое пространство, энтропия, необратимость, формализмы механики.

V.M. Somsikov^{1,2}

¹ *Institute of the Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan;*

² *Kazakh National University. Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan;*
e-mail: vmsoms@rambler.ru

DETERMINISTIC IRREDUCIBILITY IN THE NATURE OF CHAOS AND ORDER

Abstract: On the basis of a deterministic solution to the problem of irreversibility, the nature of the occurrence of structures and chaos is considered without using any hypotheses about random fluctuations of external constraints. It is shown that the irreversibility of deterministic chaos follows from the equations of the dynamics of systems. The description of deterministic

dynamic chaos in the dual phase space is considered. Such a phase space, in accordance with the principle of the dualism of symmetry in classical mechanics, is two orthogonal phase subspaces. The first phase space describes the dynamics of the body. This description is presented in macro variables. The second phase space describes the movement of the structural elements of the body relative to its center of mass. Such a description is made in micro-variable space. It is shown that the dual phase space allows us to describe the nature of the body's tendency not only to the equilibrium state, but also to the attractor, which is determined by external constraints. The question of the universality of the processes of breaking space-time symmetries is discussed. This universality is explained by the common mechanism of the evolutionary nonlinearity for various processes of spontaneous symmetry breaking. Such spontaneous symmetry breaking occurs with any process of the emergence of new systems or attractors.

Keywords: dynamics, evolution, phase space, entropy, irreversibility, formalism mechanics.

В.М. Сомсиков^{1,2}

¹ *Ионосфера институты, Алматы, 050020, Қазақстан;*

² *Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан;*
vmsoms@rambler.ru

ХАОС ЖӘНЕ ТӘРТІП ТАБИҒАТЫНДАҒЫ ДЕТЕРМИНИРЛЕНГЕН ҚАЙТЫМСЫЗ

Аннотация: Қайтымсыз проблеманы детерминирленген шешу негізінде сыртқы шектеулердің кездейсоқ флуктуациялары туралы қандай да бір гипотезаларды пайдаланбай құрылымдар мен хаостардың пайда болу табиғаты қарастырылды. Көрсетілгендей, бұл мызғымастығын детерминделген хаос керек теңдеулер жүйе динамикасы. Дуалды фазалық кеңістіктегі детерминирленген динамикалық хаостың сипаттамасы қарастырылды. Классикалық механикадағы симметрия дуализм принципіне сәйкес мұндай фазалық кеңістік екі ортогональды фазалық кеңістікті білдіреді. Бірінші фазалық кеңістік дененің динамикасын сипаттайды. Бұл сипаттама макроайнымалық ұсынылған. Екінші фазалық кеңістік дененің құрылымдық элементтерінің массаның ортасына қатысты қозғалысын сипаттайды. Мұндай сипаттама микроайнымалық кеңістікте жасалған. Дуалды фазалық кеңістік дененің тек тепе-тең жағдайға ғана емес, сыртқы шектеулермен анықталатын аттракторға да ұмтылу сипатын сипаттауға мүмкіндік береді. Кеңістіктік-уақыттық симметриялардың бұзылу процестерінің әмбебаптығы туралы мәселе талқыланады. Бұл әмбебаптылық симметрияның спонтанды бұзылуының түрлі процестері үшін эволюциялық бейсызық механизмінің ортақтығымен түсіндіріледі. Симметрияның мұндай спонтанды бұзылуы жаңа жүйелердің немесе аттракторлардың кез келген пайда болу процесі кезінде орын алады.

Түйін сөздер: динамика, эволюция, фазалық кеңістік, энтропия, қайтымсыз, механиканың формализмдері.