УДК 533.9.01

В.М. Сомсиков
Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан,
Email: *vmsoms@rambler.ru*

О ПОСТРОЕНИИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МЕХАНИКИ

Аннотация. Последовательно излагаетсяпостроение механики структурированных частиц. Отличие этой механики от классической в том, что в ней вместо базовой модели материальной точки, используется модель структурированного тела. Учет структуры тел в динамике позволил описывать диссипативные процессы в рамках законов классической механики. Это, в свою очередь, дало возможность приступить к построению основ физики эволюции, описывающей процессы возникновения и развития систем. Излагается природа механизма необратимости процессов в неравновесных системах, а также понятия Д-энтропии и эволюционной нелинейности. Предлагается расширение уравнения Шредингера, позволяющее учитывать диссипативные процессы в квантовых системах.

Ключевые слова: необратимость, классическая механика, эволюция, энтропия.

«Нет ничего более практичного, чем хорошая теория»
Людвиг Больцман

Введение

Ньютоновская механика была создана примерно три столетия назад. Она заложила основы современной фундаментальной физики. Ее успехи в 18-м веке были настолько впечатляющими, что Больцман поставил своей целью построить физическую модель окружающего мира в соответствии с теорией эволюции Дарвина, опираясь на идеи молекулярно-кинетической теории строения вещества [1-3]. Он был уверен, что все явления природы, включая развитие живой материи, поддаются описанию в рамках законов механики. Но уже в самом начале этого пути Больцман столкнулся с явным противоречием между механистической моделью картины мира и реальностью. Так, согласно формализмам классической механики, процессы в природе обратимы. В то же время, природные процессы являются эволюционными, то есть необратимые. Преодолеть это противоречие, как ему, так и его последователям не удалось вплоть до последнего времен. Поэтому фундаментальная физика, в основах которой лежат формализмы классической механики, достаточно хорошо описывает динамику консервативных систем, но не описывает процессы их возникновения и эволюции. В связи с этим Пригожин метко назвал современную физику «физикой существующего». Будущую физику, которая окажется способной описывать процессы эволюции, он предложил назвать «физикой возникающего» [1, 2]. Пригожин показал, что построить «физику возникающего» невозможно, не решив проблему необратимости. Было ясно, что без решения проблемынеобратимости невозможно обоснование термодинамики, статистической физики, кинетики и др. Отсюда же проистекают трудности в объяснении природы нарушения симметрий в микро - и макромире, в решение проблем эволюции, включая проблему изменения климата на Земле [4]. Поэтому сегодня проблема необратимости отнесена к трем ключевым проблемам современности, которые органически связаны между собой [5].

Трудности решения проблемы необратимости в рамках классической механики заставили использовать для ее объяснения гипотезу о случайных флуктуациях. Они приводят к необратимой динамике неустойчивых гамильтоновых систем [2]. Но использование чуждых для фундаментальной физики вероятностных гипотез при объяснении необратимостиозначает, что законы физики неполны, или природа эволюции носит вероятностный характер.

Анализ многочисленных попыток решить проблему необратимости привел к заключению о невозможности ее решения в рамках формализмов классической механики. Действительно, область использования форамлизмов ограничена только системами с голономными связями. Ноэто еще не значит, что решения проблемы необратимости нет в рамках законов классической механики. То есть, необходимо было попытаться ***найтиобъяснения необратимости только в рамках законов механики.*** Поэтомубыла поставлена задача: найти новые подходы к решению проблемы необратимости [12]. В результате ее решения была построенамеханика систем, которую впоследствии мы стали называть механикой эволюции, поскольку эта механика описывает процессы возникновения диссипативных структур в природе.

В данной работебудет показано, как строилась механика систем, какие идеи легли в ее основу, почему эта механика позволяет описывать процессы формирования диссипативных структур**.** Главное внимание будет уделено решению проблемы необратимости в рамках законов механики. Также будут рассмотрены вопросы, как решение проблемы необратимости повлияло на физику в целом.

Динамикасистем дисков

Чтобы приблизиться к пониманию природы необратимости, изучались биллиарды, лоренцовский газ, системы упруго сталкивающихся дисков и шаров. Их исследования привели к результатам, позволившим приблизится к пониманию природы необратимости. В частности, изучена роль экспоненциальной неустойчивости в гамильтоновых системах и свойство их перемешивания [3, 4, 6-8]. Отталкиваясь от этих результатов, полученных примерно к концу 90-х годов прошлого столетия, нами были начаты исследования динамики систем упруго сталкивающихся дисков с целью изучения роли процессов столкновения в механизме установления равновесия взаимодействующих систем дисков [9-11]. Изучение дисков строилось на основе уравнения движения, полученного с помощью матрицы парных столкновений [9]:

$$\dot{V}_k = \Phi_{kj}\delta(\psi_{kj}(t))\Delta_{kj} \tag{2.1}$$

где $\psi_{kj} = [\left|l_{kj}(t)\right| - D]/\left|\Delta_{kj}\right|$; $\delta(\psi_{kj})-$ дельта функция; $l_{kj}(t) = z^0_{kj} + \int_0^t \Delta_{kj}dt-$ расстояния между центрами сталкивающихся k и j дисков; $\Phi_{kj} = i(l_{kj}\Delta_{kj})/(\left|l_{kj}\right|\left|\Delta_{kj}\right|)$; $z^0_{kj} = z^0_k - z^0_j-$ начальные значения координат дисков; $D-$ диаметр диска. Удары считались центральными, трением пренебрегли. Массы и диаметры дисков приняты равными единице. Моменты столкновений и сталкивающиеся партнеры определяются условиями $\psi_{kj} = 0$.

Исследования, главным образом, сводились к анализу потоков энергии в движущихся и взаимодействующих системах дисков. В частности, изучалось, какработа внешних сил, которая идет и на перемещение систем дисков, и на изменение внутренних энергий этих систем зависит от количества дисков, характера столкновений между ними.

Внутренняя энергия системы дисков равна сумме кинетических энергий их движения относительно *центра масс* (ЦМ) при условии равенства нулю суммы импульсов. Согласно численным расчетам, если количество дисков в системах достаточно велико, то их внутренняя энергия при взаимодействии дисков между собой растет с ростом числа столкновений за счет энергии движения систем [10-12]. Это позволило предположить, что для объяснения необратимости необходим учет структуры тел уже в самом уравнении их движения. Аналогичное предположение раньше было сделано в работах Климонтовича [21].

Преобразование энергии движения систем дисков в их внутреннюю энергию позволяетввести понятие Д-энтропии, определив ее, как отношение приращения внутренней энергии системы за счет энергии движения к полной величине внутренней энергии. Целесообразность Д - энтропии обусловлена тем, что нарушение симметрии времени определяется нарушением инвариантности энергии движения системы в результате ее трансформацией во внутреннюю энергию.

В целом, изучение дисков привело к следующим результатам [12]:

- *основным фактором, определяющим трансформацию энергии движения системы дисков в ее внутреннюю энергию, является процесс столкновения дисков;*
- *необратимость систем может быть обусловлена возможностью трансформации энергии их движения во внутреннюю энергию;*
- *наличие внутренних степеней свободы тел - определяющий фактор необратимой динамики;*
- *законы механики не должны запрещать необратимость динамики структурированных тел;*
- *для покоящихся относительно ЦМ систем выполняется принцип сохранения энергии относительных движений элементов.*

Дальнейшее изучение механизма необратимости сталкивалось с принципиальными ограничениями, обусловленными моделями систем дисков. Так, взаимодействия частиц в природе потенциальны, и не являются упругими, как для дисков. Кроме того, для моделей дисков невозможен учет коллективных взаимодействий. Поэтому, на следующем этапе исследований было решено взять модель тела, исключающую эти ограничения. В качестве такой модели выбрана система потенциально взаимодействующих *материальных точек* (МТ), используемая в механики Ньютона и в молекулярно-кинетической теории

Динамика системы потенциально взаимодействующих МТ

Принцип дуализма симметрии в динамике систем.

Изучение систем дисков указывало на то, что необратимость должна быть связана с преобразованием энергии движения тела в его внутреннюю энергию. Действительно, если однородность времени связана с инвариантностью энергии движения, то ее преобразование в какой-либо иной тип энергии эквивалентно нарушению симметрии времени. Поэтому для *объяснения необратимости нужно было получить уравнение движения, учитывающее возможность преобразования энергии движения тела во внутреннюю энергию.*Для этого вкачестве моделителя было решено взять равновесную систему достаточно большого количества потенциально взаимодействующихМТ. Такую систему мы назвали *структурированной частицей* (СЧ). Как уже было отмечено, до нас решение проблемы необратимости пытались найти, как правило, в рамках формализмов классической механики. Отсутствие ее решения в рамках этих формализмов еще не означало, что его нет в рамках самих законов классической механики, так как формализмы следуют из законов при определенных ограничениях. Поэтому было решено пойти по такому пути поиска механизма необратимости, который лежит в рамках законов механики, но не использует ее формализмы. Для этого мы использовали возможность получения уравнения движения системы МТ в неоднородном поле сил непосредственно из энергии. Поясним, как это можно сделать.

Движение СЧ в пространстве определяется траекторией его ЦМ. Положение ЦМ определяется распределением МТ в пространстве, зависящим от положения МТ относительно ЦМ. Энергия движения СЧ определяется симметрий пространства-времени [12, 23]. Отсюда следует, что характер движения системы должен зависеть, как от работы внешних сил, так и от работы сил взаимодействия МТ. Но тогда приходим к заключению, что движение системы определяются не только симметриями пространства, но и ее внутренними симметриями. Этот факт оказался ключевым для построения механики СЧ. Мы назвали его *принципом дуализма симметрии* (ПДС) [12]. Краткая формулировка ПДС: динамика тел определяется, как их внутренними симметриями, так и симметриями пространства.

Каждой группе симметрии соответствует свой инвариант [23]. Инвариантами динамических групп симметрий являются энергии. Отсюда в соответствии с ПДС, энергию системы нужно представлять в виде суммы энергии движения и внутренней энергии. Необходимость такого представления энергии была впоследствии подтверждена на примере решения задачи о движении систем через потенциальный барьер [15, 16]. Только благодаря учету изменения внутренней энергии удалось выявить эффект подбарьерного прохожденияклассического осциллятора, когда энергия барьера выше энергии движения, но меньше полной энергии осциллятора. Эффект связан с трансформацией внутренней энергии осциллятора в его энергию движения.

В соответствии с ПДС, уравнение движения системы МТ следует строить в двух пространствах переменных. Переменные, характеризующие внутреннюю энергию, мы назвали *микропеременными.* Они определяют движение каждой МТ системы относительно ее ЦМ. Переменные, определяющие движение ЦМ, мы назвали *макропеременными.*

Покажем, что микро- и макропеременные образуют группы независимых переменных, в которых энергия системы МТ распадается на энергию ее движения и внутреннюю энергию**.** Это послужит математическим обоснованием ПДС.

Пусть система состоит из N потенциально взаимодействующих МТ единичной массы. Потенциальные силы, действующие на каждую МТ, равны сумме сил со стороны всех других МТ и внешних сил. Аддитивность сил для каждой МТ следует из их потенциальности. Силы между МТ определяются расстоянием между ними. Кинетическая энергия системы, T_N, равна сумме кинетических энергий МТ. Т.е., $T_N = \sum_{i=1}^{N} mv_i^2/2$, где v_i - скорость i-й МТ в лабораторной системе координат. Потенциальная энергия системы МТ в поле внешних сил - U_N^{env} равна сумме потенциальных энергий МТ. Потенциальная составляющая внутренней энергии складывается из энергий парных взаимо-действий МТ между собой - $U_N^{ins}(r_{ij}) = \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} U_{ij}(r_{ij})$, где i, j - номера МТ, $i, j = 1,2,3...N$, N -количество МТ; $r_{ij} = r_i - r_j$ расстояние между i и j элементами. Энергия в лабораторной системе координат имеет вид:

$$E_N = T_N + U_N^{ins} + U_N^{env} = const \quad (3.1)$$

Запишем выражение (3.1) в микро- и макропеременных. Назовем соответствующую систему координат *дуальной системе координат*. Вначале покажем, что в этой системе энергия равна энергии движения ее ЦМ и сумме энергий относительных движений МТ. Затем покажем, что сумма энергий относительных движений МТ совпадает с суммой кинетических энергий движения МТ относительно ЦМ системы.

Квадратичная функция кинетической энергии может быть записана через квадратичную функцию, в которой аргументами являются относительные скорости МТ и скорость ЦМ системы. Это следует из равенства: $N\sum_{i=1}^{N} v_i^2 = (\sum_{i=1}^{N} v_i)^2 + \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}^2$. Выполним в немзамену: $V_N = (\sum_{i=1}^{N} v_i)/N$ -скорость ЦМ, $v_i - v_j = v_{ij} = \dot{r}_{ij}$, получим: $T_N = [M_N V_N^2 + m/N \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}^2]/2$ (a). Выполним в (a) замену: $v_i = V_N + \tilde{v}_i$, где $\tilde{v}_i$ -скорости движения частиц относительно ЦМ. Т.к. $\sum_{i=1}^{N} \tilde{v}_i = 0$, то будем иметь: $T_N = M_N V_N^2/2 + \sum_{i=1}^{N} m\tilde{v}_i^2/2$. Следовательно, суммарная энергия относительных движений МТ и кинетическая составляющая внутренней энергии, определяемая суммой кинетических энергий движения МТ относительно ЦМ, совпадают. Таким образом, кинетическая энергия системы в микро - и макропеременных распалась на сумму кинетических энергий МТ относительно ЦМ и кинетическую энергию движения ЦМ системы.

Потенциальная энергия системы определяется суммарной потенциальной энергией всех МТ. Она соответствует потенциальной энергии МТ, равной массе системы и находящейся в ЦМ. Потенциальная составляющая внутренней энергиисистемы связана с энергией взаимодействия МТ. Она зависит от микропеременных и определяется симметриями системы. Кроме того, вклад в потенциальную составляющую внутренней энергии даст неоднородное поле внешних сил. Этот вклад также будет зависеть от микропеременных.

В целом, микро – и макропеременные принадлежат к двум различным группам симметрии. В некоторых случаях, о которых пойдет речь ниже, микро– и макропеременные зацепляются через члены неоднородного поля внешних сил.

Независимость микро– и макропеременных является математическим подтверждением ПДС и свидетельствует о наличии двух инвариантов, соответствующих двум группам симметрии, определяющих движение тел [24]. Один тип симметрии определяет движение тела, а второй - связан с изменением внутренней энергией. Это означает, что динамика системы является однозначной функцией микро- и макропараметров, в то время, как состояние системы не является однозначной функцией переменных в лабораторной системе координат, поскольку они зависят друг от друга.

Выражение для энергии в дуальной системе координат можно записать так:

$$E_N = E_N^{tr} + E_N^{ins}, \qquad (3.2)$$

где $E_N^{ins} = T_N^{ins} + U_N^{ins}$-внутренняя энергия, $T_N^{ins} = \sum_{i=1}^{N} m\tilde{v}_i^2 / 2$-кинетическая составляющая внутренней энергии тела МТ, E_N^{tr} - кинетическая энергия движения ЦМ системы. В соответствии с (3.2), закон сохранения энергии системы следующий: *сумма энергии движения и внутренней энергии системы сохраняетсявдоль ее траектории.*

Уравнение движения системы. Продифференцировав энергию системы (3.2) по времени, получим [11,12]:

$$V_N M_N \dot{V}_N + \dot{E}_N^{ins} = -V_N F^{env} - \Phi^{env}, \quad (3.3)$$

где $F^{env} = \sum_{i=1}^{N} F_i^{env}(R_N, \tilde{r}_i), F_i^{env} = \partial U^{env} / \partial \tilde{r}_i$,

$\dot{E}_N^{ins} = T_N^{ins}(\tilde{v}_i) + U_N^{ins}(\tilde{r}_i) = \sum_{i=1}^{N} \tilde{v}_i (m\dot{\tilde{v}}_i + F(\tilde{r}_i)_i)$,

$M_N = mN$, $\Phi^{env} = \sum_{i=1}^{N} \tilde{v}_i\, F_i^{env}(R_N, \tilde{r}_i)$.

Уравнение (3.3) - уравнение изменения энергии системы во внешнем поле. Правая часть определяет работу внешних сил, изменяющую энергию системы.

Помножив уравнение (3.3) на V_N, разделив его на V_N^2, оставив в левой части инерциальную силу, получим уравнение движения системы [12]:

$$M_N \dot{V}_N = -F^{env} - \alpha_N V_N, \qquad (3.4)$$

где $\alpha_N = (\Phi^{env} + \dot{E}_N^{ins}) / V_N^2$- коэффициент, определяющий изменение внутренней энергии.

Первый член в правой части (3.4) это сила, приложенная к ЦМ системы. Она определяет движение системы в целом. Второй член, зависящий от микро – и макропеременных, обуславливает изменение энергии движения. Из-за наличия второго члена в правой части, симметрия уравнения (3.4) по времени отличается от симметрии уравнения Ньютона. То есть, *энергия движения для системы, в отличие от уравнения движения Ньютона для МТ, в общем случае уже не является инвариантной. Это означает нарушение симметрии времени.*

Опираясь на уравнение (3.3), рассмотрим, природу нарушения инвариан-тности энергии движения. Пусть имеет место неравенство $R \gg \tilde{r}_i$. Тогда силу F^{env} можно разложить по малому параметру $\tilde{r}_i / R$. Сохраняя в разложении члены нуле-вого и первого порядков малости, запишем: $F_i^{env} \approx F_i^{env}\big|_R + (\tilde{r}_i \cdot \nabla) F_i^{env}\big|_R$. Учитывая, что $\sum_{i=1}^{N} \tilde{v}_i = \sum_{i=1}^{N} \tilde{r}_i = 0, \sum_{i=1}^{N} F_{i0}^{env} = NF_{i0}^{env} = F_0^{env}$, будем иметь из уравнения (3.3):

$$V_N(M_N \dot{V}_N) + \dot{E}_N^{ins} \approx -V_N F_0^{env} - \sum_{i=1}^{N} (\tilde{r}_i \cdot \nabla) F_i^{env}\big|_R \tilde{v}_i \quad (3.5)$$

Второй член в правой части (3.5) зависит от микро - и макропеременных. Так как он зависит от переменных разных групп симметрии, то его можно назвать *бисимметричным.* Он отличен от нуля только при наличии градиента внешних сил. Поскольку микро- и макропеременные принадлежат различным группам симметрии, то нелинейности, определяющие изменения энергии движения систем за счет ее преобразования во внутреннюю энергию, отвечают за нарушение симметрии времени, то есть, за эволюцию. Поэтому*нелинейности, отвечающие за преобразование энергии движения в любые другие типы энергии динамических систем, назовем эволюционными нелинейностями, поскольку они определяют нарушение симметрии времени.*

Уравнение (3.4) обобщает уравнения Аристотеля и Ньютона. Действительно, Аристотель утверждал, что скорость тела пропорциональна силе. Согласно (3.4) это верно, когда сила трения, обусловленная переходом энергии движения во внутреннюю энергию, равна движущей внешней силе. Уравнение движения Ньютона утверждает, что ускорение пропорционально внешней силе. Согласно (3.4) это имеет место, когда внешние силы однородны, или, когда изменением внутренней энергии можно пренебречь.

Существует еще один путь вывода уравнения движения системы МТ, который позволяет правую часть уравнения движения разделить на силы, изменяющие внутреннюю энергию и осуществляющие движение системы как целого.

Дифференцируя энергию системы МТ по времени, получим:

$$\begin{aligned} &v_1(\dot{v}_1 + F_{12} + F_{13} + \ldots + F_{1N} + F_1^0) + \\ &v_2(\dot{v}_2 - F_{12} + F_{23} + \ldots + F_{2N} + F_2^0) + \\ &+v_3(\dot{v}_3 - F_{13} - F_{23} + \ldots + F_{3N} + F_3^0) + \ldots\ldots \\ &+v_N(\dot{v}_N - F_{1N} - F_{2N} - \ldots + F_{N-1,N} + F_N^0) = 0 \end{aligned} \qquad (3.6)$$

Здесь F_i^0-внешняя сила, действующая на i-ю МТ; F_{ij}-сила взаимодействия i и j МТ; $m_i = m_j = 1 \forall i, j; i, j = 1, 2, \ldots N$.

Условие голономности связей, используемое при получении уравнения Лагранжа, эквивалентно тому, что каждый член уравнения (3.6) равен нулю [15,17]. В этом случае из (3.6) имеем [13]:

$$\dot{v}_i = -F_i^0 - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} F_{ij} \qquad (3.7)$$

А уравнение движения всей системы имеет вид [13]:

$$M_N \dot{V} = -\sum_{i=1}^{N} F_i^0 \qquad (3.8)$$

Здесь $V = 1/N \sum_{i=1}^{N} v_i$; $M_N = Nm = N; m = 1$.

Согласно (3.8) ускорение системы пропорционально сумме внешних сил, а движение системы не зависит от ее структуры.

Рассмотрим случай, который следует из (3.6) при отсутствии требования равенства нулю каждого слагаемого. Учтем, что $v_1\dot{v}_1 + v_2\dot{v}_2 + v_3\dot{v}_3 + \ldots + v_{N-1}\dot{v}_{N-1} + v_N\dot{v}_N =$ $= NV\dot{V} + (\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}\dot{v}_{ij}) / N$, где $v_i = V + 1/N \sum_{j=1; j \neq i}^{N} v_{ij}$; $v_{ij} = v_i - v_j$. Тогда переписав уравнение (3.6) в микро- и макропеременных, будем иметь [17, 18]:

$$NV\dot{V} = -V \sum_{i=1}^{N} F_i^0 - $$

$$-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}(\dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + NF_{ij}) \qquad (3.9)$$

где $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$. Отсюда имеем [17]:

$$M_N \dot{V}_N = -\sum_{i=1}^{N} F_i^0 - $$

$$-\frac{V_N}{NV_N^2} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}(m\dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + NF_{ij}) \qquad (3.10)$$

Это уравнение движения системы МТо получено в результате сложения не сил, как это сделано в [13], а изменений энергий движения и внутренней энергии с учетом их возможной взаимной трансформации. То, что здесь внешняя сила задавалась для каждой МТ, позволило разделить силы в правой части на силы, поределяющие движение системы и силы, изменяющие внутреннюю энергию. Из (3.10) видно, что в неоднородном поле внешних сил возникает изменение внутренней энергии пропорциональное разности внешних сил, действующих на различные МТ. Это соответствует выводам, которые следуют из уравнения (3.5).

В уравнении (3.8), которое также следует из уравнений Лагранжа, члены, определяющие изменение внутренней энер-гии, отсутствуют [12, 17]. Это обусловлено тем, что уравнения Лагранжа выводятся при условии выполнения гипотезы о голономности связей. То есть, гипотеза исключает нелинейность, отвечающую за необратимость [18]. Это подтверждает наше утверждение, что *обратимость гамильтоновых систем связана с ограничениями формализмов, но не с законами механики.* Отказавшись от условия равенства нулю каждого члена суммы (3.4), мы получили (3.10), учитывающее изменение внутренней энергии.

Увеличение внутренней энергии СЧ определяется членами второго порядка малости [20]. Поэтому при незначительных неоднородностях внешнего поля,СЧ можно считать равновесной в течение всего времени, а ее внутреннююэнергию эквивалентной тепловой энергии. Но, как следует из закона сохранения импульса и устойчивости состояния равновесия, тепловая энергия тела не может преобразовываться в энергию движения [12, 17, 20]. В этом случае *увеличение* *внутренней энергии СЧ необратимо.* Ниже определим, когда движение системы необратимо в сильных внешних полях сил.

Эволюция неравновесных систем

Формализмы неравновесных систем. Все окружающие нас природные тела с достаточной общностью являются неравновесными системами (**НС**). Поэтому в общем случае, вместо динамики систем в неоднородном поле сил, следует рассматривать эволюцию НС. В приближении локального термодинамического равновесия неравновесная системы (НС) может быть представлена совокупностью равновесных СЧ [19, 20]. Поэтому в качестве модели НС можно брать совокупность движущихся относительно друг друга СЧ. Внутренняя энергия СЧ «чистая». Слово «чистая» означает, что при любом разбиении СЧ на подсистемы, эти подсистемы не обладают энергией относительных движений. В противном случае, как видно из предшествующего параграфа, уравнения движения системы усложнятся за счет членов, определяющих изменения внутренних и энергий относительных движений равновесных подсистем, из которых в неравновесном случае будет состоять СЧ.

Канонические формализмы классической механики строились на основе уравнения движения Ньютона при условии выполнения гипотезы о голономности связей [13]. Это привело к потере возможности описания необратимых процессов в рамках формализмов. Но если формализмы построить на основе уравнения движения СЧ, то полученные таким образом расширенные формализмы устраняют данное ограничение. Они могут быть использованы для описания необратимых процессов в НС [10-12].

Расширенное уравнение Лиувилля для p -ой СЧ, взятой из НС, имеет вид [10]:

$$\frac{df_p}{dt}=\frac{\partial f_p}{\partial t}+\sum_{k=1}^{T}\{v_k(\partial f_p/\partial r_k)+$$

$$\dot{p}_k(\partial f_p/\partial p_k)\}=-f_p\sum_{k=1}^{T}\partial F_k^p/\partial p_k \quad (4.1)$$

Здесь f_P – функция распределения МТ в p -й СЧ, v_k, r_k, p_k -скорость, координаты и импульс k- й МТ, T- число МТ в СЧ, F_k^p – внешние силы, действующие на k-ю МТ .

Уравнение (4.1) применимо для описания установления равновесия в НС. Правая часть уравнения (4.1) следует из коллективных сил, определяющих трансформацию энергии СЧ во внутреннюю энергию. Формальное решение уравнения (4.1) имеет вид[25]:

$$f_p = f_0\exp\{-\int(\sum_{k=1}^{T}\partial F_k^p/\partial p_k)dt\} \quad (4.2)$$

Из уравнения (4,2) следует, что функция распределения стремится к состоянию, когда силы в системе перестают зависеть от скоростей. Это соответствует равновесному состоянию, в котором относительные скорости СЧ обращаются в ноль в результате трансформации энергии относительных движений СЧ во внутреннюю энергию.

Отметим, что из уравнения (4.1) должно вытекать уравнение Больцмана, если выполнить в нем упрощения, которые использовал Больцман при получении его уравнения.

Аналогично, как и расширенные формализмы, строятся расширенные скобки Пуассона для НС. Определяемые ими инварианты, зависят от микро - и макропеременных [12]. Основным инвариантом является сумма энергии движения и внутренней энергии.

Условие голономных связей эквивалентно потенциальности коллективных сил, определяющих движение системы. Это видно из того, что к одному и тому же уравнению Лагранжа можно прийти как вариационным методом, так и интегрированием уравнения Даламбера по времени при условии потенциальности внешних сил. Интегрируя уравнение Даламбера с фиксированными начальными и конечными точками траектории системы, получим [14]:

$$\int_{t_1}^{t_2}\delta w dt=\delta\int_{t_1}^{t_2}L dt=\delta A=0, \quad (4.3)$$

где $A=\int_{t_1}^{t_2}L dt$ -действие. Отсюда имеем, что для потенциальных сил [14]: $\delta A=0$. Выражение (4.3) является *принципом наименьшего действия*. Согласно этому принципу, движение системы происходит таким образом, что определенный интеграл с фиксированными начальным и конечным положениями имеет стационарное значение по отношению к любым возможным изменениям траектории системы. То есть, гипотеза о голономности связей, использованная при выводах канонических уравнений Лагранжа и Гамильтона, исключает использование этих уравнений для описания необратимых процессов. В случае неголономных связей вместо уравнения (4.3), получим [18]:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta w dt = \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = \delta A \neq 0 \qquad (4.4)$$

Здесь A^d - член, обусловленный нелинейным преобразованием энергии движения системы во внутреннюю энергию. В простейшем случае A^d является билинейной функцией. Назовем выражение (4.4) *расширенным принципом наименьшего действия* для систем в неоднородном поле внешних сил. В отличие от классического принципа наименьшего действия, его правая часть отлична от нуля. Канонические уравнения формализмов классической механики являются частным случаем соответствующих им расширенных уравнений, полученных на основе уравнения движения СЧ.

Зададим НС совокупностью движущихся СЧ. Тогда ее состояние может быть задано точкой в фазовом пространстве $6R-1$ измерений, где R– количество СЧ, входящих в НС. Положение каждой СЧ задается тремя координатами и тремя компонентами импульсов их ЦМ. Это пространство назовем*S–пространством*, чтобы отличать от фазового пространства гамильтоновых систем.

При движении СЧ, помимо изменения ее скорости, изменяется внутренняя энергия. Поэтому каждой точке S –пространства могут соответствовать разные значения внутренней энергии СЧ. Эту неоднозначность S –пространства можно исключить, если его дополнить пространством микропеременных, определяющих движения МТ каждой СЧ. Такое дуальное фазовое пространство, назовем*SD – пространством*. Наиболее просто *SD*-пространство выглядит для случая, когда все СЧ равновесны в течение всего времени. Тогда дополнительное пространство сведется к R- мерной плоскости, поскольку в этом случае внутреннее состояние СЧ определяется только ее внутренней энергией[19,20].

Поскольку энергия движения СЧ трансформируется во внутреннюю энергию, *S*–пространство сжимаемо. Сжатие определяется уравнением Лиувилля (4.1). Но если внутренняя энергия СЧ не меняется, *S*– пространство совпадает с обычным фазовым пространством. Это соответствует равновесию системы или стационарному состоянию НС. Проблема установления стационарного состояния НС выходит за рамки классической механики, так как ее решение требует использования теории излучения[26,27].

Термодинамика и механика СЧ. Одной из актуальных задач фундаментальной физики является обоснование термодинамики [32]. Механика СЧ позволяет это сделать. Действительно, механика СЧ, как и термодинамика, строится на основе дуального представления энергии для системы.

В механике СЧ в соответствии с ПДС,полная энергия системы, из которого выводится уравнение движения СЧ,является суммой внутренней энергии и энергии движения. В соответствии с этим в ней были введены микро- и макропеременные. Микропеременные характеризуют внутреннее состояние системы. Макропеременные характеризуют динамику системы как целого. Если выполнить интегрирование по микропеременным, то можем получить усредненные значения параметров состояния системы, подобных термодинамическим параметрам давления, плотности. *То есть, термодинамика может быть построена в рамках законов механики, если использовать механику СЧ.*

Согласно уравнению (3.2), полный дифференциал работы внешних сил по перемещению СЧ можно записать так:

$$dU^{sp} = \delta E^{\text{int}} + \delta E^{tr}. \qquad (4.5)$$

δE^{int}- изменение внутренней энергии; δE^{tr}- изменение энергии движения. По аналогии с термодинамикой, выражение (4.5) можно назвать *механическимпринципом энергии.*

В то время как механический принцип энергии представляет собой полную работу внешних сил, термодинамический принцип энергии включает в себя только работу по изменению внутренней энергии, равной сумме работы по изменению объема тела и изменению тепловой энергии. Он записывается так [19]:

$$dU = \delta Q - \delta A \qquad (4.6)$$

То есть, если в механике СЧработа внешних сил рассматривается полностью, включая работу по перемещению системы, то в термодинамике энергия движения тела исключается из рассмотрения. Но при этом работа по изменению внутренней энергии делится на работу по изменению ее объема и изменению ее тепла. Отсюда для адиабатического потенциала U имеет место равенства $U = E^{\text{int}}$. Таким образом, хотя принципы энергии в механике СЧ и в термодинамике отличаются, эти отличия не носят качественного характера, как в случае механики Ньютона для бесструктурных тел. Поэтому они не ограничивают возможность обоснования термодинамики в рамках законов классической механики.

Как и втермодинамике, в механику СЧ можно ввести понятие энтропии, определяя ее,как $\delta E^{\text{int}} / E^{\text{int}}$.Она была названа *Д-энтропией* $-S^d$.Д-энтропия определяет работу внешних сил по изменениювнутренней энергиисистемы E^{int}.Для замкнутой НС, объем которой не меняется,*Д-энтропия* определяется количеством энергии относительных движений СЧ, перешедшим в их внутреннюю энергию. Этот ведет к установлению равновесия в НС. Для СЧ Д-энтропия эквивалентна энтропии Клаузиуса и для нее справедлив аналог второго закона термодинамики, т.е. $dS^d / dt \geq 0$. Если рассматривать установление равновесия в НС, составленной из СЧ, то изменение Д-энтропии можно определить в виде суммы энтропий СЧ. Это можно записать так [11, 12]:

$$\Delta S^d = \sum_{L=1}^{R} \left\{ N_L \sum_{k=1}^{N_L} [\int \sum_s F_{ks}^L v_k dt] / E_L \right\} \qquad (4.7)$$

E_L - внутренняя энергия для L-СЧ; s - внешние МТ относительно МТ из L-СЧ, взаимодействующие с ее k-ми МТ; F_{ks}^L-сила, действующая на k-ю МТ СЧ со стороны s-ой МТ другой СЧ, v_k -скорость k-й МТ.

Определение *Д-энтропии* применимо не только для СЧ, но и для систем с малым количеством МТ. При этом изменение Д-энтропии малой системы может оказаться отрицательным [16]. Как показали численныерасчеты Д-энтропии для систем, движущихся в неоднородном поле сил, существует минимальное N_1 числа МТ в системе, начиная с которого ее Д-энтропия может быть только положительна. Есть также N_2 для числа МТ, после увеличения которого Д-энтропия перестает изменяться с ростом числа МТ, т.е. выходит на асимптотику. Следовательно, Д-энтропия позволяет определять области применения термодинамики на основе законов классической механики [15, 22].

Стремление НС к равновесию в статистической физике доказывается путем вариации энтропии НС при условиях ее максимума в равновесном состоянии, а максимальной энтропии соответствуют состояния, в которых система находится максимальное время. Если рассматривать НС, состоящую из СЧ, то равновесное состояние соответствует нулевым относительным скоростям СЧ [20]. То есть, кинетическая энергия относительных движений СЧ при установлении равновесия в НС удовлетворяет условию:$T_K^{tr} \to 0$ при $t \to \infty$, где K – номер СЧ. Согласно принципу наименьшего действия, равновесие также является устойчивым состоянием [12]. Установление равновесия можно объяснить на основе уравнения движения СЧ тем, что при движении СЧ в неоднородном поле сил Д – энтропия увеличивается [18].

Эволюционная нелинейность и необратимость. Стремление НС к равновесию было доказано для случая, когда СЧ можно считать равновесными в течение всего времени [12]. То есть, для достаточно слабых неравновесных систем. Но, что будет в случае сильных взаимодействий СЧ, когда нельзя пренебречь нарушением их равновесия? Ответить на этот вопрос можно с помощью эволюционной нелинейности[25].

Необратимость НС можно определить тем, что положительный поток внутренней энергии каждой СЧ, совокупностью которых представляется НС, больше отрицательного потока. Рассмотрим, когда это условие имеет место. Для этого будем опираться на тот факт, что механизм формирования прямого и обратного потоков энергии для СЧ связан с взаимной трансформацией энергий движения и внутренней энергии.

Установление равновесия в НС эквивалентно тому, что внутренняя энергия каждой СЧ, движущейся в неоднородном поле сил других СЧ, увеличивается за счет энергии относительных движений СЧ. Пусть ΔE^{tr} - часть энергии относительного движения СЧ, которая переходит в ее внутреннюю энергию. Согласно уравнению (3), величина ΔE^{tr} определяется билинейными членами разложения поля внешних сил, зависящих от микро - и макропеременных. Она имеет второй порядок малости. То есть, $\Delta E^{tr} \sim \varepsilon^2$, где $\varepsilon << 1$ - малый параметр, например, отношение характерного масштаба СЧ к характерному масштабу неоднородности внешнего поля сил. Если градиенты поля внешних сил невелики, то $\Delta E^{tr} / E^{\text{int}} << 1$, и нарушением равновесия СЧ можно пренебречь. В этом случае мы имеем необратимость, так как для равновесной СЧ нет обратного потока.

При достаточно больших внешних силах и их градиентов, равновесие СЧ нарушается. Тогда ее можно представить совокупностью перемещающихся относительно друг друга равновесных подсистем. В этом случае для приращения внутренней энергии СЧ можно записать: $\Delta E^{tr} = \Delta E^{tr}_{ins} + \Delta E^{h}$, где ΔE^{tr}_{ins} - приращение энергии относительных движений подсистем, ΔE^{h} - приращение внутренних энергий подсистем. То есть, $\Delta E^{tr}_{ins} < \Delta E^{tr}$. При этом только энергия относительных движений подсистем может вернуться обратно в энергию движения СЧ [13]. Обозначим ее ΔE^{tr}_{ret}.Величина ΔE^{tr}_{ret}, как и ΔE^{tr}, определяется билинейной функцией переменных энергий движения подсистем СЧ и энергии движения СЧ. Т.е. ΔE^{tr}_{ret} является членом второго порядка малости этих переменных. Но поскольку $\Delta E^{tr} \sim \varepsilon^2$, то $\Delta E^{tr}_{ret} \le \varepsilon^4$ и $\Delta E^{tr} >> \Delta E^{tr}_{ret}$. А это означает необратимость. **Отметим, что данный вывод одновременно является обоснованием того факта, что тепловая энергия тела не может перейти в энергию его движения.**

Покажем, как из механики следует, что процесс увеличения внутренней энергии систем за счет их энергии движения необратим только для достаточного большого числа МТ в системе. То есть, для некоторых начальных условий и для достаточно малых систем может иметь место неравенство $\Delta E^{tr} < \Delta E^{tr}_{ret}$.

Согласно аналитическим и численным расчетам уравнения движения, для движущейся системы из N=2 МТ в неоднородном поле внешних сил ее внутренняя энергия может переходить в энергию движения. Покажем, что такое поведение системы с малым числом частиц объясняется достаточно большими флуктуациями прямого и обратного потоков внутренней энергии при движении системы в неоднородном поле сил.

Согласно численным расчетам, с ростом числа МТ в системе доля внутренней энергии, переходящая в ее энергию движения, уменьшается. Уже при N>100 изменение внутренней энергии становится только положительным, а при N>>10^3 ее рост перестает зависеть от увеличения числа МТ [15, 16]. Численные расчеты Д-энтропии показали, что величина флуктуаций внутренней энергии системы, обусловленных изменениями начальных условий, подчиняется закону $1/\sqrt{N}$ [15]. Подчеркнем, что это соответствует статистическому закону квадратичных флуктуаций [19]. Напомним, что неравенство $\Delta E^{tr}_{ret} << \Delta E^{tr}$ справедливо в среднем по начальным условиям для систем. Это объясняется тем, что для малых систем для некоторых начальных условий величина флуктуации внутренней энергии δE^{tr}_{ret}, переходящей в энергию движения, может оказаться больше величины энергии движения ΔE^{tr}, переходящей во внутреннюю энергию (здесь знак δ используется для обозначения флуктуаций соответствующих величин). Однако, при увеличении числа МТ в системе, неравенство $\delta E^{tr}_{ret} < \Delta E^{tr}$ перестает нарушаться для любых начальных условий в силу уменьшения флуктуаций. То есть, мы приходим к выводу, что статистические закономерности для динамических систем, например, закон флуктуации энергии $1/\sqrt{N}$, являются следствием уравнений движения системы. То есть, *стремление системы к равновесному состоянию, соответствую-*

*щему максимальной вероятности, вытекает из законов механики***.** Это позволяет считать, что*область применения статистических законов определяется законами физики.* А если это так, то использование вероятностных законов можно рассматривать, как возможное упрощение, определяемое законами физики.

Отметим, что для стационарности НС, необходимо выполнение равенства ΔE^{tr}_{ret} = ΔE^{tr} на всех иерархических уровнях материи. Но установление этого равенства уже не описывается законами классической механики, поскольку в природе оно реализуется только благодаря тепловому излучению тела, определяемому формулой Планка [19, 26, 27].

Расширение квантовой механики.

Квантовая механика, как и любой другой раздел физики, в своем развитиисталкивается с трудностями, которые связанны с ограничениями принципов, постулатов и с упрощениями моделей, неизбежно используемых при построении физики. В ней известен достаточно широкий круг проблем [28]. Поскольку в основах квантовой механики лежит уравнение Шредингера [29, 30], то часть из них связана с ним. Уравнение Шредингера обратимо и линейно. Именно это приводит к значительным трудностям его использования при описании процессов в квантовых системах. С такими процессами связано нарушение симметрии времени.

Уравнение Шредингера получено, опираясь на принцип наименьшего действия и уравнение Гамильтона – Якоби, взятые из классической механики. Поэтому естественно, что ограничения классической механики приводят к ограничениям и в квантовой механике. Логично предположить, что подходы к снятию этих ограничений аналогичны подходам, использованным для расширения классической механики [12].

Здесь кратко поясним, как и к каким ограничениям квантовой механики, привели ограничения классической механики, на основе которых построено уравнение Шредингера, и как их снять [31].

Главное отличие квантовой механики от классической механики состоит в том, что микрочастицам присущ квантово-волновой дуализм. В соответствии с ним, микрочастице можно приписать энергию и импульс, определяемые частотой и длиной волны [30]: $E = h\nu = \hbar\omega$, $p = h\nu / c = 2\pi\hbar / \lambda$, $k = p / h$.Здесь $\hbar = h/2\pi$ - постоянная Планка; c - скорость света; $\omega = 2\pi\nu$ - круговая частота; λ длина волны де - Бройля. Это позволило поставить в соответствие квантовой частице волновую функцию. Для свободной микрочастицы она имеет вид плоской монохроматической волны де - Бройля [30]:

$$\psi_i(r,t) = Ae^{i(kr-\omega t)/h} = Ae^{i(pr-Et)/h} \quad (5.1),$$

Шредингер обратил внимание на важное соответствие уравнения Гамильтона-Якоби [13, 14] и уравнения геометрической оптики. Оно состоит в том, что действие S эквивалентно фазе волны (см. уравнение Гамильтона-Якоби [13]). Отталкиваясь от этого, он воспользовался тем, что для волновой функции $\psi(r,t)$ справедливо уравнение:

$$u^2\nabla^2\psi(r,t) - \partial^2\psi(r,t)/\partial t^2 = 0\,, \quad (5.2)$$

Если в уравнении (2) подставим $u = E/(\sqrt{2m(E-U)})$, m - масса микрочастицы, U - потенциальная энергия, а также если учтем, что $\partial^2\psi(r,t)/\partial t^2 = -\omega^2\psi(r,t)$, $E\psi(r,t) = i\hbar\partial\psi(r,t)/\partial t$, то придем к уравнению [29, 30]:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi = \left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(r,t)\right\}\psi \quad (5.3)$$

Это волновое уравнение Шредингера для микрочастицы. Если энергию и импульс заменить соответствующими операторами, то уравнение Шредингера для системы микрочастиц будет иметь вид [30]:

$$\{i\hbar\frac{\partial}{\partial t} + \sum_{i=1}^{N}[\frac{\hbar^2}{2m_i}\nabla_i^2 - U(r_i\,,t)] -$$
$$-W_{\text{int}}(r_1\,,r\,\ldots r_N)\}\psi(r_1,r_2,\ldots.r_N,t) = 0\,, \quad (5.4)$$

где $W_{\text{int}}(r_1\,,r\,\ldots r_N)$ - энергия взаимодействия микрочастиц, зависящая от расстояний между ними; $i = 1, 2 \ldots N$;$U(r_i)$ - потенциальная энергия i -й частицы во внешнем поле.

При решении уравнения (4) возникают проблемы, аналогичные проблемам многих тел в классической механике. Как и в случае классической механики, переменные уравнения (4) в общем случае неоднородного внешнего поля взаимозависимы. Будем исходить из того, что *для описания системы взаимодействующих микрочастиц в квантовой механике уравнение (4) должно быть преобразовано в соответствии с ПДС* [12]. То есть, энергию следует задать инвариантной суммой энергии движения системы и внутренней энергии. Чтобы представить уравнение (4) в соответствии с ПДС, перейдем к микро – и макро-переменным. Сначала это сделаем для системы двух микрочастиц. Для такой стационарной системы уравнение (4) имеет вид [5]:

$$\{E+[\frac{\hbar^2}{2M}\nabla_R^2-U(r,R)]+[\frac{\hbar^2}{2\mu}\nabla_r^2-W_{\text{int}}(r)]\}\psi(r,R)=0 \quad (5.5)$$

$M=m_1+m_2$ -сумма масс микрочастиц, $\mu=m_1m_2/(m_1+m_2)$, E_{cm} - энергия движения ЦМ, причем $E_{\text{int}}+E_{cm}=E$, E_{int} - внутренняя энергия системы, $r=r_1-r_2$, $R=(m_1r_1+m_2r_2)/(m_1+m_2)$-координаты ЦМ.

Чтобы получить расширенное уравнение Шредингера для системы из *N*частиц, необходимо опираться на ее полную энергию, записанную в микро- и макропеременных. Для квантовой механики это означает, что оператор Гамильтона должен быть представлен в виде операторов, описывающих внутреннюю динамику системы и операторов, определяющих движение системы. Выполнив такое представление, получим:

$$\{i\hbar\frac{\partial}{\partial t}+\frac{\hbar^2}{2M}\nabla_R^2-U(\tilde{r}_1,\tilde{r}_2,....\tilde{r}_N,R,t)+$$
$$+\sum_{i=1}^N[\frac{\hbar^2}{2m}\nabla_{\tilde{r}_i}^2-W_{\text{int}}(\tilde{r}_i)]\}\psi(\tilde{r}_1,\tilde{r}_2,....\tilde{r}_N,R,t)=0 \quad (5.6)$$

Здесь R - координаты ЦМ системы. Координаты $\tilde{r}_i$ - это координаты i - частицы относительно ЦМ системы. Для стационарного случая уравнение (6) имеет вид:

$$\{E+\frac{\hbar^2}{2M}\nabla_R^2-U(\tilde{r}_1,\tilde{r}_2,....\tilde{r}_N,R)+$$
$$+\sum_{i=1}^N[\frac{\hbar^2}{2m}\nabla_{\tilde{r}_i}^2-W_{\text{int}}(\tilde{r}_i)]\}\psi(\tilde{r}_1,\tilde{r}_2,....\tilde{r}_N,R)=0 \quad (5.7)$$

Это уравнение назовем *расширенным уравнением Шредингера.* В отличие от классического уравнения, оно учитывает трансформацию энергии движения квантовой системы в ее внутреннюю энергию. Такая трансформация возникает при движении системы в неоднородном поле внешних сил. Без учета такой трансформации невозможно описание процессов образования аттракторов или квантовых систем.

В классической механике трансформация энергии движения во внутреннюю энергию определяет необратимость, что составляет сущность второго закона термодинамики. Естественно предположить, что и для квантовой механики это будет аналогично.

Расширение уравнения Шредингера приводит к новому пониманию сути принципа неопределенности Гейзенберга: $\Delta p\Delta r\geq\hbar$. Он играет фундаментальную роль не только в квантовой механике, но и во всей физике.

Существует, по крайней мере, два подхода к трактовке принципа неопределенности. Бор утверждал, что его следует принять, как реальное проявление природы, не пытаясь искать ему объяснения. Эйнштейн же его рассматривал, как ограничение, или недостаток самой теории. С позиций структурированности материи на всех ее иерархических уровнях [12] можно предложить еще одно объяснение принципа неопределенности, которое соответствует точке зрения Эйнштейна.

Здесь мы показали, что согласно законам классической механики материя должна быть делима до бесконечности. Если это так, то и на квантовом уровне частица должна представлять собой систему и обладать внутренней энергией. Тогда природа принципа неопределенности может объясняться преобразованием энергиивзаимодействия частицво внутреннюю энергиюпродуктов реакции. В соответствии с принципом неопределенности будем иметь: $A^d\geq h$.То, что частицам соответствует электромагнитная волна, дает основание предполагать, что все такие частицы представляют собой осциллятор с длиной волныде - Бройля, а постоянная Планка [27] определяет его минимальную внутреннюю энергию.

Этапы решения проблемы необратимости

Отсутствие решения проблемы необратимости в рамках формализмов механики привело к идее искать ее решении, не используя эти формализмы. Возникновение этой идеи привело к построению эволюционной мехники. Это построение можно представить в виде трех этапов: изучение систем дисков; изучение систем потенциально взаимодействующих МТ; изучение НС, представленных совокупностью СЧ.

На первом этапе выполнялось изучение систем дисков с целью выявления природы механизмов перемешивания и установления равновесного распределения дисков по скоростям. Вначале было получено уравнение динамики систем дисков. Опираясь на него, было установлено, что ключевым фактором необратимости, являются столкновения дисков. Также было получено, что необратимость динамики системы дисков связана с преобразованием энергии движения системы в ее внутреннюю энергию, определяемую суммой энергий движения системы дисков относительно ее ЦМ.

На втором этапе изучалась динамика систем потенциально взаимодействующих МТ. Их исследование выполнялось на основе ПДС, согласно которому динамика тел определяется симметриями тела и симметриями пространства. Отсюда следовала необходимость представления энергии тела в виде суммы энергии движения и ее внутренней энергии. Такое представление энергии удалось получить для системы МТ, переписав ее выражения в микро- и макропеременных. Было доказано, что микро – и макропеременные образуют независимые группы переменных с соответствующими инвариантами, которыми являются внутренняя энергия и энергия движения.

Было установлено, что невозможность применения канонических формализмов класссической механики для описания необратимых процессов обусловлена ограничениями применимости формализмов только для систем с голономными связями, в то время, как необратимость имеет место только для неголономных систем. Отсюда возникла необходимость найти такой путь получения уравнения движения систем МТ, который опирается непосредственно на законы Ньютона. Такой путь был найден. Уравнение движения системы МТ было получено из дуального представления энергии в микро- и макропеременных. Из уравнения следовало, что нарушение групповой симметрии, а также возникновение необратимости, обусловлено билинейными членами в разложении неоднородного поля внешних сил. Эти члены с зацепляющимися микро- и макропеременными возникают при наличии градиентов внешних сил. Они определяют преобразование энергии движения системы во внутреннюю энергию. Тем самым, было показано, чтофундаментальные законы классической механики не исключают необратимую динамику тел. Необратимость, возникает из-за наличия структуры тел, благодаря которой энергия движения тела в неоднородном поле внешних сил трансформируется во внутреннюю энергию.

На третьем этапе изучалась динамика НС в приближении локального термодинамического равновесия. Используя уравнение движения СЧ, для НС были получены расширенные уравнения Лагранжа, Гамильтона и Лиувилля, которые применимы для описания диссипативной динамики НС.

Был выделен класс эволюционных нелинейностей, отвечающих за нарушение симметрии времени. Этими нелинейностями являются члены второго и более высокого порядка малости разложения внешнего поля сил, зависящие от микро - и макропеременных. С их помощью математическим образом была показана природа необратимости больших систем при сильных воздействиях на них.

Наличие диссипативности для СЧ позволило ввести понятие Д-энтропии. Она определяется, как величина отношения прироста внутренней энергии к ее полной величине. Для малых систем Д-энтропия может быть, как положительной, так и отрицательной. Для больших равновесных систем она соответствует известным термодинамическим и вероятностным энтропиям.

Таким образом, ключ к решению проблемы необратимости состоял в необходимости учета структуры тел в самом уравнении их движения и с учетом того, что динамика структурированного тела, определяется как его симметриями, так и симметриями пространства. Это привело к построению механики систем. Из нее следует, что *необратимость означает нарушение закона сохранения энергии движения тел, которое возникает при их движении в неоднородных* *полях сил из-за нелинейной трансформации энергии движения во внутреннюю энергию, определяемую хаотическим движением молекул тела относительно ЦМ***.**

Выводы

Впервые объяснение механизма необратимости в рамках формализма Гамильтона было предложено Больцманом. Его объяснение опиралось на эргодическую гипотезу. Но оно столкнулось с противоречиями. Главное из них состояло в том, что динамика гамильтоновых систем обратима. Чтобы снять эти противоречия, впоследствии для объяснения необратимости использовалась гипотеза о наличии в экспоненциально неустойчивых гамильтоновых системах сколь угодно малых флуктуаций, которые делают их необратимыми. Ноиспользование вероятностных гипотез в основах фундаментальной физики неприемлемо. Это послужило причиной продолжения поискаобъяснения необратимости в рамках законов классической механики.

В результате изучения систем дисков возникло предположение, что необратимость обусловлена трансформацией энергии движения системы в ее внутреннюю энергию. Это могло означать, что для объяснения необратимости нужно учитывать наличие структур у тел уже на стадии уравнения их движения. Но для этого нужна была *механика систем*, элементом которой является не МТ, как в механики Ньютона, а СЧ, обладающая внутренней энергией. Для построения такой механики в качестве модели была взята система потенциально взаимодействующих МТ. Ключевым принципом построения механики систем являлся ПДС, **согласно которому динамика структурированных тел определяется не только симметриями пространства, как в случае МТ, но и симметриями самой системы**. Тогда в соответствии с ПДС, необратимость динамики систем должна быть связана с нарушениями этих двух типов симметрии. Поскольку внутренней симметрии ставится в соответствие внутренняя энергия, а симметрии пространства соответствует энергия движения системы, то для описания процессов нарушения симметрии в динамики системы, ее энергия была представлена в виде суммы энергии движения и внутренней энергии. Это было сделано, используя два независимых пространства микро- и макропеременных, определяющих внутреннюю энергию и энергию движения соответственно. Из представленной таким образом энергии было получено уравнение движения системы, которое легло в основу механики СЧ. Его члены разделились в соответствии с энергией движения и внутренней энергией. В отличие от уравнения движения Ньютона, это уравнение оказалось несимметричным относительно обращения времени, поскольку оно помимо членов, отвечающих за инерциальные и активные силы, содержит члены, определяющие изменение внутренней энергии.

Согласно уравнению движения системы, при наличии градиента поля внешних сил, энергия движения и внутренняя энергия системы могут переходить друг в друга. Характер перехода определяется билинейными членами разложения внешних сил, зависящих от микро – и макропеременных. Поскольку симметрия времени связана с инвариантностью энергии движения, то нарушение ее инвариантности означает нарушение симметрии времени. Для равновесной системы такое нарушение симметрии времени необратимо. Это означает, что **необратимость – это переход упорядоченного движения систем в хаотическое движение их элементов, определяемое равенством нулю суммы скоростей МТ любой выделенной подсистемы!** Класс нелинейностей, определяющих нарушение симметрии времени, был назван *эволюционным*.

При сильных неоднородностях внешнего поля равновесие системы может нарушиться. Тогда система будет представлять собой НС, состоящую из совокупности движущихся относительно друг друга равновесных подсистем. Необратимость такой НС обусловлена преобразованием энергии относительного движения подсистем, совокупностью которых она может быть представлена, в их внутренние энергии. Равновесие наступает, когда энергия относительных движений подсистем обращается в ноль. В определенных случаях энергия относительных движений подсистем НС способна переходить в энергию движения всей системы. Но такая обратная трансформация энергии имеет четвертый порядок малости в то время, как преобразование энергии движения всей системы в ее внутреннюю энергию имеет второй порядок малости. Это приводит к необратимости динамики систем. Такой сценарий необратимости нашел подтверждение в численных расчетах потоков энергии в системе, возникающих при ее движении в неоднородном поле внешних сил.

Нарушение инвариантности энергии движения позволило ввести в механику систем понятие Д-энтропия. Она определяется отношением изменения внутренней энергии к ее величине. Д-энтропия может быть, как положительной, так и отрицательной. Для равновесных систем она эквивалентна энтропии Клаузиуса.

Механику систем можно использовать в различных областях физики. Она позволяет рассчитывать потоки энергии во Вселенной при движении галактик, звезд, планет в неоднородных полях сил, в том числе в неоднородностях потоков частиц, гравитационных полейбез каких-либо гипотез о массе [46].

Невозможно понять природу ядерных процессов в физике высоких энергий без учета внутренней структуры микрочастиц. Проблемы изменения климата сталкиваются с отсутствием необходимых фундаментальных уравнений, описывающих процессы эволюции НС, для получения которых требуется механика систем.

Используемые при решении проблемы необратимости идеи обладают значительной общностью. Так, построенное на основе ПДС расширенное уравнение Шредингера учитывает нарушение симметрии времени в динамике квантовых систем.

Решение проблемы необратимости затрагивает методологические основы всей физики, а также вопросы философии. Это служит подтверждением ее фундаментальности для науки в целом. Так, важным следствием ее решения является то, что материя делима до бесконечности. То есть, тела представляют собой иерархию вложенных друг в друга систем. Их динамика определяется эволюционными нелинейностями, степень которых соответствует степени неоднородности поля внешних сил.

Определяющей чертой природных систем является их эволюция. Она характеризуется процессами образования, развития и исчезновения систем. Эти процессы носят диссипативный характер. Основным препятствием на пути создания физики эволюции было отсутствие решения проблемы необратимости. Механика систем устранило это препятствие.

ПДС имеет философский смысл. Найденная и используемая на его основе физическая интерпретация механизма нарушения симметрий, обусловленная нарушением инвариантности энергии движения, указывает на сущность эволюционных процессов в природе.

На примере решения проблемы необратимости не сложно заметить, что развитие физики может идти не только по пути раскрытия сущности новых физических явлений, но и в результате снятия ограничений с уже существующих теорий. Ведь предложенный механизм необратимости удалось найти благодаря тому, что уже на стадии построения уравнения движения тел была учтена структурность материи.

Правильность развиваемой теории механики структурированных частиц подтверждается ее согласованностью с эмпирическими разделами физики. Так, она согласована с термодинамикой, которая также в своих основах использует ПДС. Механика СЧ согласуется с эмпирическим описанием образования аттракторов, наблюдаемого превращения порядка в хаос и хаоса в порядок, бесконечной делимости материи. Вероятностные закономерности, например, закон $1/N^{1/2}$, также следуют из детерминированных законов механики. В целом, следует отметить, что предлагаемый механизм необратимости не противоречит существующей физической картины мира, а скорее дополняет ее собой, определяя ранее скрытые связи коллективных явлений.

Что касается дальнейших перспектив, то механика СЧ, механизм нарушения симметрии времени, природа необратимости, предложенный класс эволюционных нелинейностей, соответствующий математический аппарат и др. требуют дальнейшего анализа и развития, что будет способствовать развитию физики в целом.

Литература:

1. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1980. –342 с.
2. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем – М.:Наука, 1984.–273 с.
3. Lebowitz J.L. Boltzmann’s entropy and time’s arrow // Phys. Today. – 1999. – P. 32-38.
4. Пригожин И. Время, структура и флуктуации. УФН.Т.131, вып. 2, 1980. С. 185-207.
5. Гинзбург В.Л. Специальное заседание ред. Коллегии журнала УФН, приуроченное к 90-летию со дня рождения В.Л. Гинзбурга// УФН. – 2007. – № 177 (4). – С. 345-346.
6. Kryilov, N.S. [1950] *Papers on substantiation of statistical physics* (L. Publishing House of USSR AS), p. 198.
7. Sinai, Ya.G. [1970] "Dynamical system with elastic reflection ergodynamic properties of scattering billiards" *Uspekhi Mat. Nauk* V. 25, P.141-192.
8. Синай Я.Г. Современные проблемы эргодической теории. М.: Физматлит, 1995. – 208 с.
9. Somsikov V.M. Non-recurrence problem in evolution of a hard-disk system Intern. //IJBC. –V.11, No 11, 2001, P. 2863-2866.
10. Somsikov V. M. The equilibration of an hard–disks system. // IJBC. –V. 14, No 11. – 2004. – P. 4027-4033.
11. Somsikov V.M. Thermodynamics and classical mechanics// Journal of physics: Conference series. 23. 2005, p.7-16
12. Сомсиков В.М. К основам физики эволюции. Алматы. 2016. 306 с.
13. Голдстейн Г. Классическая механика. М. Наука. 1975. 416 с.
14. Ланцош К. Вариационные принципы механики. – М.: Мир, 1962. – 408 с.
15. Somsikov V. M. and Andreev A.B. On criteria of transition to thermodynamic description of system dynamics. Russ. Physics Journal, Vol. 58, No. 11, March, 2016 (Russian Original No. 11, November, 2015)
16. Somsikov V. and Mokhnatkin A. Non-Linear Forces and Irreversibility Problem in Classical Mechanics. // Journal of Modern Physics. – 2014. – V. 5, № 1. – P. 17-22.
17. Somsikov V.M. Transition from the mechanics of material points to the mechanics of structured particles. Modern Physics Letter B. Issue 4.Feb 2016 P. 1-11
18. Somsikov V. M. Limitationofclassicalmechanicsandwaysit’sexpansion// Seminar on High Energy Physics Problems. – Dubna, – 2014. –P. 1-12.
19. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамик. Стат. Физика и Кинематика. – М.: Наука, 1977. – 532 с.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.Стат. физика. М. 1976.583 с.
21. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем.–М.:Янус, 1995.– 292 с.
22. Somsikov V.M. The Dynamical Entropy. International Journal of Sciences. Volume 4 – May 2015 (05).c30-36.
23. Любарский Г. Я. Теория групп и ее применение в физике. Физ.мат. лит. М., 1958, 354с.
24. ди Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. О множественности геометрий и множественности физик. Проблемы и особенности современной методологии. АН СССР, Уральский научный центр. 1978. С.55-67.
25. Somsikov V.M. Non-Linearity of Dynamics of the Non-Equilibrium Systems. World Journal of Mechanics, 2017, Vol.7 No.2, 11-23.
26. Гейзенберг В. Открытие Планка и основные философские проблемы атомной теории УФН. 1968 г. Октябрь Т. LXП, вып. 2 с.163-175
27. Клейн М.Дж. Макс Планк и начало квантовой теории // УФН, Т.92,вып.4, с. 679-700.
28. Гринштейн Дж. Зайонц А. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный. Интеллект. 2012. 432 с.
29. Schrödinger A. An undulatorytheory of the mechanics of atoms and molecules. // Physical Review. –V28. No 6. 1926. –P. 1049-1070.
30. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики II. М., Из-во Физ.-мат. Литература. 1962, 820 с.
31. SomsikovV.M. Extension of the Schrodinger equation. EPJ Web of Conferences

138? 07003 (2017) Baldin ISHEPP XXIII, p.1-7
32. CastelvecchiD. Battle between quantum and thermodynamic laws heats up. Nature, 543, (30 March 2017) doi:10.1038/543597a, p. 597–598.

Принята в печать 25.02.2017

В.М. Сомсиков

Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан,
Email: *vmsoms@rambler.ru*

О ПОСТРОЕНИИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МЕХАНИКИ

Аннотация. Последовательно излагаетсяпостроение механики структурированных частиц. Отличие этой механики от классической в том, что в ней вместо базовой модели материальной точки, используется модель структурированного тела. Учет структуры тел в динамике позволил описывать диссипативные процессы в рамках законов классической механики. Это, в свою очередь, дало возможность приступить к построению основ физики эволюции, описывающей процессы возникновения и развития систем. Излагается природа механизма необратимости процессов в неравновесных системах, а также понятия Д-энтропии и эволюционной нелинейности. Предлагается расширение уравнения Шредингера, позволяющее учитывать диссипативные процессы в квантовых системах.

Ключевые слова: необратимость, классическая механика, эволюция, энтропия.

В.М. Сомсиков

Ионосфера Институты, Алма-Ата, Қазақстан, 050020.
vmsoms@rambler.ru

МЕХАНИКА ЭВОЛЮЦИЯСЫН ҚҰРУ ТУРАЛЫ

Аннотация. Құрылымданған бөлшектер әдістемесін құру кезеңдері негізінде баяндалады. Бұл механиканың классикалықтан айылмашылығы базалық моделден орнына материялық нүкте, дене құрылымды моделі пайдаланылды. Қайтымсыздық процестерін сипаттау олардың динамикасын сипаттауына дене құрылымын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, физика эволюциясы негіздерін құру кірісу мүмкіндігі мен даму жүйелері және үрдістердің пайда болуын сипаттайды. Механикалық канондық формализмдерінің шектеулерін бекітіп, қайтымсыз процестердің сипаттамалар болғызбайтын мүмкіндігі мен бұл шектеулер ретінде алынатыны көрсетілген. Қайтымсыздық процестерінің тепе-теңдіксіз жүйелерінің тетігі ұсынылады, сондай-ақ, Д-энтропия мен эволюциялық біртекті емес ұғымдарының негізгі түрлері.

Түйін сөздер: қайтымсыздылық, классикалық механика, эволюция, энтропия

V.M. Somsikov

Institute of the ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan,
Email: vmsoms@rambler.ru

ON THE CONSTRUCTION OF THE EVOLUTION MECHANICS

Abstract. The basic stages of constructing the mechanics of structured particles are described. The difference between this mechanics and the classical one is that instead of the basic model of a material point, the model of a structured body is used. Taking into account the structure of bodies in their dynamics allowed us to describe irreversible processes. This, in turn, made it possible to proceed with the construction of the foundations of the physics of evolution, which describes the processes of the origin and development of systems. Limitations of canonical formalisms of mechanics that exclude the possibility of describing irreversible processes are established, and it is shown how these restrictions are removed. A mechanism is proposed for the irreversibility of processes in nonequilibrium systems, as well as the concepts of D-entropy and evolutionary nonlinearity.

Keywords: irreversibility, classical mechanics, evolution, entropy.