УДК 530.1 (075.8)

В.М. Сомсиков
Институт ионосферы, Алматы, Казахстан

ПРИНЦИП ДУАЛИЗМА СИММЕТРИИ В ДИНАМИКЕ СИСТЕМ И НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ

Аннотация. *Обсуждается принцип дуализма симметрии в динамике систем. Он заключается в том, что их динамика определяется как симметриями пространства, так и симметриями самой системы. Показано, как в классической механике на основе принципа дуализма симметрии возникает объяснение детерминированного механизма необратимости. Предложено объяснение природы обратимости канонических формализмов классической механики. Приведены сравнения известных механизмов нарушения симметрии в физике с детерминированным механизмом нарушения симметрии в классической механике. Рассмотрены аналогии между механизмами нарушения симметрии в механике и в физике элементарных частиц.*

Ключевые слова: *формализмы классической механики, нарушение симметрии, необратимость.*

Введение

Симметрия, как ключевое понятие картины мира, имеет глубокие античные корни. Согласно идеям Платона, именно симметрия форм определяет структуру материи. Сегодня нет, пожалуй, ни одного раздела физики, в котором бы симметрия не играла основополагающей роли. Так, электродинамика, квантовая хромодинамика и т.п. строятся на основе симметрии [1, 2].

При условии сохранения симметрии удается описывать многие динамические процессы в природе. Однако в переходных и эволюционных процессах, когда меняются структуры природных систем, симметрия нарушается. Для описания этих процессов все существующие методы анализа систем, основанные на законах сохранения симметрии бессильны. Поэтому здесь пока господствуют эмпирические методы описания процессов нарушения симметрии.

С проблемами нарушения симметрии в физике, по-видимому, впервые столкнулся Больцман при попытках обосновать термодинамику в рамках законов Ньютона [3, 4]. Так, согласно законам механики, динамика тел обратима, в то время как согласно второму закону термодинамики, динамика систем необратима. Общепринятый на сегодня механизм необратимости в классической механике опирается на гипотезу существования случайных флуктуаций в гамильтоновых системах, что при условии экспоненциальной неустойчивости этих систем приводит к необратимости. Однако гипотеза о флуктуациях не укладывается в детерминистические принципы классической механики, т.е. приходится констатировать, что строгого детерминированного механизма необратимости в рамках гамильтонова формализма не существует [3, 4]. Поскольку все физические теории, так или иначе, строятся на основах формализмов классической механики, то проблема объяснения механизма нарушения симметрии времени в рамках ее законов является серьезным препятствием на пути развития физики в целом.

Тем не менее, оказалось, что если снять некоторые ограничения, при которых строятся формализмы классической механики, то удается предложить объяснение механизма необратимости в рамках законов Ньютона [5-8]. Поясним его суть.

Все природные тела обладают структурой, то есть они обладают внутренней динамикой структурных элементов. В довольно общем случае такие тела могут быть представлены системой

материальных точек (МТ). Это означает, что системы обладают внутренней энергией и энергией движения как целого. Внутренняя энергия соответствует симметриям самого тела, а энергия движения определяется симметрией пространства. Поэтому движение тела определяется как симметриями пространства, так и симметриями системы. Будем называть это ***принципом дуализма симметрии (ПДС)*** [9]. Из ПДС следует дуализм энергии, то есть энергия тела складывается из внутренней энергии и энергии движения. Динамическим инвариантом для тела является сумма этих энергий. Необратимость динамики связана с возможностью трансформации энергии движения во внутреннюю энергию тел при условии сохранения их полной энергии. Следовательно, фактор трансформации энергии движения во внутреннюю энергию является необходимым для механизма необратимости. Поэтому механику следует строить на основе уравнения движения систем, а не МТ или каких-либо других бесструктурных элементов, но только учет структурированности тел недостаточен для описания необратимой динамики. Кроме этого при выводах уравнений движения систем следует исключить гипотезу о голономности связей, используемую при получении уравнения Лагранжа [10].

При построении формализма описаания динамики тел в виде систем МТ нужно использовать тот факт, что их движение определяется траекторией ***центра масс (ЦМ)*** и движениями МТ относительно его. Это можно сделать, если принять, что любое тело можно задать совокупностью взаимодействующих ***стрктурированных частиц (СЧ)***, которые являются равновесными системами, состоящая из большого числа потенциально взаимодействующих МТ. При этом уравнение движения СЧ следует выводить из дуального закона сохранения энергии, представленной в соответствии с ПДС в виде суммы энергии движения и внутренней энергии [5-10].

Основная задача этой работы состоит в выявлении некоторых общих закономерностей механизмов нарушения симметрии в физике на основе ПДС. Для этого вначале приведем примеры известных механизмов нарушения симметрии в физике. Покажем, почему динамика систем МТ, определяемая на основе уравнений Лагранжа, оказалась обратимой. Затем рассмотрим ограничения классической механики, которые исключают возможность описания диссипативных процессов. Далее поясним, как на основе ПДС приходим к объяснению детерминированного механизма необратимости в механике. Рассмотрим аналогию между механизмами нарушения симметрии в механике и в физике элементарных частиц.

О нарушениях симметрий в физике

Современное понятие симметрий и их нарушений в физике непосредственно связано с математическим понятием групп симметрии [2]. Методы теории групп используется в физике в тех случаях, когда рассматриваются процессы, в которых нет нарушения симметрии, либо когда нас интересует начальное и конечное состояния системы, а сам процесс перехода фактически задается «руками» [11]. Только таким образом удается использовать строгий и универсальный математический аппарат теории групп.

Нарушение симметрии всегда связано с нелинейными процессами. Действительно, формально нарушение симметрии определяется операторами, зависящими от переменных нескольких неприводимых групп симметрии. Так, к примеру, возникает преобразование энергии движения во внутреннюю энергию системы в неоднородном поле сил за счет билинейного члена, зависящего от макро и микропараметров [7-10], т.е. функция связи, определяющая преобразования одной неприводимой группы симметрии в другую, должна зависеть от элементов двух групп симметрии. Поскольку же в настоящее время нет универсальных методов решения нелинейных уравнений, то для описания процессов нарушения симметрии приходится прибегать к частным методам решения тех или иных задач динамики, которые продиктованы их физической постановкой [9].

В квантовой теории поля, КХД, известны процессы спонтанного нарушения симметрии. Для описания их механизмов используется метод ренормгруппового анализа. В основе этого метода лежит функциональное уравнение [1].

Наряду с ренормгрупповым анализом в физике развивается метод решения довольно широкого круга задач, основанный на понятии суперсимметрии. Самое главное свойство суперсимметрии состоит в том, что она объединяет *непрерывные* преобразования (например, трансляции) с *дискретными* преобразованиями особого вида (типа отражения). Этот метод применим, если существует формальная аналогия между двумя такими типами преобразований, имеющих различную природу. Наличие этой аналогии и является основой суперсимметрии [11]. В приведенных случаях используется возможность сведения задачи тем или иным методом к задаче с новым типом расширенной симметрии.

Зачастую, необходимость объяснения нарушения симметрий приводит к развитию основ самой физики и физической картины мира, как это было в случае спонтанного нарушения симметрии [12].

Таким образом, как правило, в настоящее время объяснения механизмов нарушений симметрии опираются на феноменологические подходы в физике. При этом, как правило, интересуются начальным и конечным состояниями систем, а сам нелинейный процесс нарушения симметрии зачастую не рассматривается. Так делается в квантовой хромодинамике путем эмпирического подбора операторов, калибровочных полей, независимых переменных, операторов рождения (уничтожения) частиц с соответствующими начальными и конечными состояниями. Хотя соответствующие теории при этом не редко прекрасно описывают многочисленные экспериментальные результаты, вопросы о механизмах нарушения симметрии остаются недостаточно ясными. С другой стороны, кажется очевидным, что если нарушение симметрии пронизывает все разделы физики, то и объяснения природы таких нарушений должно быть универсальными, применимыми, как для классической механики, так и для других разделов физики.

Следовательно, вопрос о путях развития универсальных методов анализа и описания динамических систем при условии нарушения симметрий остается актуальным. Здесь попытаемся рассмотреть его на примере механизма детерминированного нарушения симметрии времени, предложенного в рамках механики СЧ [9].

Ограничения классической механики

Классическая механика построена для модели тел в виде МТ, которые не обладают структурой. Поэтому динамика МТ определяется только симметрией пространства, а инвариантом движения МТ является только энергия ее движения в поле внешних сил, и этот инвариант определяет все законы движения МТ.

Для описания систем МТ в классической механике используются канонические лагранжевы и гамильтоновы формализмы. При получении уравнений Лагранжа для систем МТ используется гипотеза о голономности связей [13]. Именно ее использование приводит к тому, что формализмы Лагранжа и Гамильтона не могут описывать необратимые процессы. Кратко поясним, как эта гипотеза исключает члены уравнений движения, ответственные за нелинейную взаимную трансформацию энергий движения различных степеней свободы, которые отвечают за нарушение симметрии времени [14].

Уравнения Лагранжа для системы из N МТ выводится из принципа Даламбера при условии, что работа сил реакции, обусловленных кинематическими связями, равна нулю. Согласно этому принципу имеет место следующее равенство [13]:

$$\sum_{i=1}^{R}\left[F_i - \dot{p}_i\right]\delta r_i = 0 \qquad (1)$$

Здесь F_i -активная сила, действующая на i-ю МТ системы; $\dot{p}_i$ -инерциальная сила со стороны i -й МТ; δr_i -виртуальное перемещение; $i = 1, 2...R$ -количество МТ в системе.

Чтобы проинтегрировать (1), следует перейти к независимым обобщенным переменным. Выполнив в (1) необходимые преобразования, получим [4]:

$$\sum_{l=1}^{R} \delta\omega_l = \sum_{l=1}^{R} \left\{ \left[\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_l}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_l} \right] - Q_l \right\} \delta q_l = 0 \qquad (2)$$

Здесь t -время; T -кинетическая энергия всех МТ системы; q_l -обобщенные независимые переменные; δq_l -виртуальное перемещение; Q_l -действующие на МТ силы.

Чтобы из (2) прийти к каноническому уравнению Лагранжа, используется гипотеза о голономности связей. Только в этом случае вариация δq_l не зависит от вариации δq_k . Значит гипотеза о голономности связей обеспечивает условия: $\delta\omega_l = 0, \forall l$. При этих условиях уравнение (2) преобразуется в независимые уравнения:

$$\left[\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_l}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_l} \right] - Q_l = 0 \qquad (3)$$

Таким образом, требование голономности связей позволяет перейти к системе независимых уравнений, определяемой условием: $\delta\omega_l = 0$. Естественно, что при этом исключается возможность описания динамики систем в случаях, когда имеется зацепление переменных, а такое зацепление переменных определяет нелинейную трансформацию энергий различных степеней свободы.

Пусть, кроме того, имеет место условие:

$$Q_l = -\sum_i \nabla_i V \frac{\partial r_i}{\partial q_l}. \qquad (4)$$

Уравнение (3) при выполнении условия (4) можно записать так [13]:

$$\left[\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_l}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_l} \right] = 0 \qquad (5)$$

где $L = T - V$ так называемая функция Лагранжа [13].

Уравнение (5) это уравнение Лагранжа. Оно позволяет определять динамику системы путем расчета динамики каждой МТ. Уравнения Гамильтона можно получить из уравнений Лагранжа путем перехода от переменных координаты и скорости к переменным координаты и импульсы [13, 15].

Условие голономности связей эквивалентно условию потенциальности коллективных сил (4), определяющих движение системы. Это следует из того, что к одному и тому же уравнению Лагранжа можно прийти как вариационным путем, так и путем интегрирования уравнения Даламбера по времени при условии потенциальности внешних сил. Действительно, интегрируя уравнения Даламбера при фиксированных начальных и конечных значениях траектории системы, будем иметь [15]:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta w dt = \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = \delta A, \qquad (6)$$

где $A = \int_{t_1}^{t_2} L dt$ - так называемое действие. Отсюда следует [15]:

$$\delta A = 0 \qquad (7)$$

Выражение (7) это принцип наименьшего действия Гамильтона. В соответствие с ним движение системы происходит таким образом, что определенный интеграл A приобретает стационарное значение по отношению к любым возможным вариациям положения системы при ее фиксированных начальных и конечных положениях.

Таким образом, гипотеза о голономности связей, используемая при выводах канонических уравнений Лагранжа и Гамильтона, исключает возможность использования этих уравнений для описания необратимых процессов, так как для необратимых процессов имеют место неравенства $\delta\omega_l \neq 0$ для некоторых l.

В общем случае, когда гипотеза о голономности неприменима, вместо уравнения (7) будем иметь:

$$\delta A = A^d \qquad (8)$$

Здесь A^d - член, обусловленный неголономностью связей. Он определяется нелинейной трансформацией энергий различных степеней свободы. В простейшем случае A^d является билинейной функцией. Для СЧ A^d определяет трансформацию энергии ее движения во внутреннюю энергию. Чтобы понять природу A^d, поясним, как было получено уравнение движения СЧ, и каковы его основные особенности.

О механике структурированных частиц

Поскольку все тела в природе обладают структурой, будь то атом, или то, что раньше называли элементарными частицами, их динамика определяется как относительными движениями составных частей, так и движением тел как целого в поле внешних сил. Относительные движения частей тела определяются его симметриями и неоднородностями поля внешних сил. Движение тела как целого определяется симметриями пространства. Это два независимых типа движения. В общем случае работа поля внешних сил тратится как на движение тела, так и на изменение его внутренней энергии. Поэтому динамика тела определяется его внутренними симметриями и симметриями пространства. В этом суть ПДС.

Движение тела определено, если определены относительные движения элементов тела и движение его ЦМ в поле внешних сил. Инвариантом движения тела является дуальная энергия: энергия движения тела в пространстве и внутренняя энергия, определяемая относительными движениями его элементов. При условии несохранения каждой из этих энергий, сохраняется их сумма, т.е. уравнение движения тела должно удовлетворять условию сохранения суммы внутренней энергии и энергии движения.

В общем случае уравнение движения системы будет определяться ПДС, при условии, что каждая МТ системы подчиняется законам Ньютона. Отсюда понятно, что переменными, определяющими движение тела, должны быть координаты и скорости его ЦМ и координаты и скорости, определяющие движения МТ относительно ЦМ. Переменные, определяющие движения тела называют макропеременными, а определяющие движения МТ относительно ЦМ – микропеременными. Тогда уравнение движения тела, удовлетворяющее всем вышеперечисленным требованиям, получается дифференцированием дуальной энергии по времени с учетом ее сохранения. Оно имеет вид [7]:

$$M_N\dot{\vec{V}}_N = -\vec{F}^{env} - (\Phi^{env} + \dot{E}^{ins}_N)\vec{V}_N / V_N^2, \quad (9)$$

Здесь

$$\vec{V}_N = \bar{R}_N = (1/N)\sum_{i=1}^{N}\dot{\vec{r}}_i$$

– скорость ЦМ $i = 1,2,3...N$ - номера МТ, $M_n = Nm$;

$$F^{env} = \sum F_i^{env}(R_N, \tilde{r}_i),$$

$$\dot{E}^{ins}_N = \sum_{i=1}^{N} \tilde{v}_i(m\dot{\tilde{v}}_i + F(\tilde{r}_i)_i)$$ - изменение внутренней энергии системы,

$\Phi^{env} = \sum \tilde{v}_i F_i^{env}(R_N, \tilde{r}_i)$, $\vec{F}_i^{env}(R_N, \tilde{r}_i)$ - сила, действующая на i-ую МТ, со стороны внешнего поля, $r_i = R_N + \tilde{r}_i$, $\tilde{r}_i$ - координаты МТ относительно ЦМ.

Первый член в правой части (9) это потенциальная сила, приложенная к ЦМ и меняющая кинетическую энергию СЧ. Второй член нелинейный. Он зависит от микро - и от макропеременных и обуславливает изменение внутренней энергии СЧ.

При получении уравнения (9) не потребовалась гипотеза о голономности связей, которая необходима для вывода уравнения Лагранжа [13]. Как было показано в [14], эта гипотеза исключает из описания те случаи динамики тел, когда возможна трансформация энергии их движения во внутреннюю энергию. Такая трансформация в уравнении (9) определяется нелинейными членами, зависящими от микро - и макропеременных. Значит в отличие от канонического уравнения Лагранжа, уравнение движения (9) учитывает нелинейную трансформацию энергии движения во внутреннюю энергию, отвечающую за нарушение симметрии времени [6]. Величина изменения внутренней энергии СЧ пропорциональна величине градиентов сил внешнего поля [4]. Само уравнение движения СЧ является нелинейным. И хотя получение его аналитического решения практически невозможно, возможен анализ свойств этого уравнения и его получение численными методами [19].

Роль нелинейных членов, отвечающих за нарушение симметрии времени, наглядно показана на примере численных расчетов задачи о прохождении осциллятора через потенциальный барьер [7]. Оказалось, что только благодаря нелинейным членам, обеспечивающим обмен энергиями между различными степенями свободы системы, в частности, взаимной трансформации энергии движения и внутренней энергии осциллятора, возможно прохождение осциллятора через потенциальный барьер, даже если высоты барьера больше энергии движения осциллятора. Если же пренебречь неголономностью связей, этот эффект исчезает.

При движении СЧ в неоднородном поле внешних сил энергия движения может переходить во внутреннюю энергию, но не наоборот. Причина нарушения симметрии времени связана с тем, что СЧ состоит из достаточно большого числа МТ и в процессе движения в первом приближении ее можно считать равновесной. В этом случае невозможно возникновение результирующего импульса системы за счет сложения импульсов ее МТ.

Неопределенности динамики систем в классической механике и нарушение симметрии времени

Покажем, как найти величину A^d (см. уравнение (8)) для СЧ из уравнения движения.

К уравнению (8) можно прийти путем интегрирования, исходя из принципа Даламбера и уравнения движения СЧ [15]. Согласно принципу Даламбера, для систем МТ выполняется условие:

$$\delta\omega_i = \sum\left[\mathrm{F}_i - \frac{d}{dt}(m_i \mathrm{v}_i) \right] \cdot \delta r_i = 0 . \qquad (11)$$

Здесь индекс i пробегает все микро и макропеременные.

Умножим $\delta\omega_i$ на dt и проинтегрируем в интервале от $t = t_1$ до $t = t_2$. Будем иметь:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta\omega_i dt \equiv \int_{t_1}^{t_2} \sum\left[\mathrm{F}_i - \frac{d}{dt}(m_i \mathrm{v}_i) \right] \cdot \delta r_i dt. \qquad (12)$$

Согласно уравнению движения СЧ, силы, отвечающие за изменение внутренней энергии, зависят от скоростей и не могут быть определены через градиент от скалярной функции. Моногенный характер активных сил будет только для потенциальной составляющей силы, определяющей движение СЧ. Это означает, что силовая функция существует только для силы, ответственной за движение ЦМ СЧ. Согласно уравнению движения СЧ, ее можно записать так:

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{\mathrm{F}}_i^{env} \cdot \delta r_i dt = \int_{t_1}^{t_2} \delta U_N^{env} dt = -\delta \int_{t_1}^{t_2} U_N^{env} dt \qquad (13)$$

Выполняя стандартные преобразования, например, как это проделано в [15], учитывая, что $F_{dis}\Phi = (+ E^{env} \quad) \dot{V}_N^{ins} \quad \vec{V}_N / \quad {}^2_N$ - силы, ответственные за изменение внутренней энергии СЧ. И вводя обозначения: $L_N = T_N - U_N^{env}$, где $T_N = \sum (M_N V_N^2)/2$, запишем:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta\omega_i t = \delta \int_{t_1}^{t_2} L_N dt - \left[\sum m_i \mathrm{v}_i \cdot \delta r_i \right]_{t_1}^{t_2} + \delta \int_{t_1}^{t_2} F_{dis} dr_i dt$$

(15)

Если потребовать, чтобы δr_i *обращались в нуль на концах интервала* t_1 *и* t_2, то будем иметь:

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta\omega_i t = \delta A + \delta \int_{t_1}^{t_2} F_{dis} dr_i dt, \qquad (16)$$

где $A = \int_{t_1}^{t_2} L dt$.

Отсюда имеем: $A^d = -\delta\int_{t_1}^{t_2} F_{dis} dr_i dt$, т.е. интеграл (16) обращается в ноль, когда $\delta\int_{t_1}^{t_2} F_{dis} dr_i dt = 0$, но это возможно только тогда, когда внутренняя энергия не меняется вдоль траектории движения системы, то есть тогда, когда энергия движения СЧ является инвариантом. Таким образом, нарушение симметрии времени в классической механике связано с изменением внутренней энергии СЧ. Это эквивалентно диссипации энергии. Она возможна только благодаря структурности тела.

Пусть имеет место неравенство $R >> \tilde{r}_i$. Оно означает, что масштаб неоднородности внешних сил много больше характерных масштабов СЧ. Тогда силу F^{env} в (9) можно разложить по малому параметру. Сохраняя в разложении члены нулевого и первого порядка малости, запишем:

$$F_i^{env} \approx F_i^{env}\Big|_R + (\tilde{r}_i \cdot \nabla) F_i^{env}\Big|_R .$$

Принимая во внимание, что $\sum_{i=1}^N \tilde{v}_i = \sum_{i=1}^N \tilde{r}_i = 0$ и $\sum_{i=1}^N F_{i0}^{env} = NF_{i0}^{env} = F_0^{env}$, будем иметь [19]:

$$V_N(M_N\dot{V}_N) + \dot{E}_N^{ins} \approx -V_N F_0^{env} - \sum_{i=1}^N (\tilde{r}_i \cdot \nabla) F_i^{env}\Big|_R \tilde{v}_i . \qquad (17)$$

Второй член в правой части (17), определяет изменение внутренней энергии. Он нелинейный, зависит от микро и макропеременных и пропорционален разности сил, действующих на различные области системы. Его величина значительно меньше величины первого члена правой части. Тогда в соответствии с (17) будем иметь для СЧ:

$$A^d = \delta\int [V_N \{\sum_{i=1}^N (\tilde{r}_i \cdot \nabla) F_i^{env}\Big|_R \tilde{v}_i\} / V_N^2] dr_i dt \qquad (18)$$

Таким образом, при условии $R >> \tilde{r}_i$ диссипация пропорциональна градиенту внешних сил. Так как диссипация невозможна для взаимодействующих бесструктурных тел, а образование новых структур невозможно без диссипативных процессов, то отсюда приходим к выводу о бесконечной делимости материи. Следовательно, уже вследствие законов Ньютона и иерархии фундаментальных сил, материя должна представлять собой иерархию систем. Поэтому диссипативность и нарушение симметрии времени - неотъемлемые свойства материи. Этот вывод строго следует из ПДС и законов Ньютона.

Поскольку внутренняя энергия и энергия движения независимы, то положение системы в пространстве неоднозначно определяется значением поля сил в точке, в которой находится ЦМ системы. Это означает вырожденность фазовой траектории движения СЧ, и свидетельствует о нарушении симметрии времени.

Практически любой объект в природя является ***неравновесной системой (НС)***. Любую НС в приближении локального термодинамического равновесия можно представить совокупностью перемещающихся относительно друг друга СЧ [18]. Тогда состояние НС будет определяться 6R-1 координатами и скоростями каждой СЧ, где R - число СЧ. *Соответствующее* ***фазовое пространство*** *мы называем* ***S-пространством,*** *чтобы отличать его от обычного фазового пространства для совокупности МТ* [9]. S-пространство сжимаемо, так как энергия движения СЧ в результате взаимодействий между собой переходит необратимо в их внутреннюю энергию. Таким образом состояние НС задается двумя типами энергии, каждой из которой можно поставить в соответствие свое подпространство. Энергия движений СЧ соответствует подпространство макропеременных, а внутренней энергии соответствует подпространство всех микропеременных каждой СЧ. Это означает, что каждой точке S- пространства соответствует область подпространства микропеременных, которая определяется законом сохранения энергии из условия инвариантности сумма внутренней и энергии движения всех СЧ. То есть, между точкой обычного фазового пространства, определяемого координатами и импульсами СЧ, и состоянием НС нет взаимно однозначного соответствия из-за неоднозначности внутренней энергии. Если же изменением внутренних энергии каждой СЧ незначительно и им можно пренебречь, то уравнение (9) переходит в обратимое уравнение Ньютона. В этом случае S-пространство эквивалентно обычному фазовому пространству для НС.

Необратимость трансформации энергии движения каждой СЧ из НС в ее внутреннюю энергию, дает возможность ввести понятие динамической энтропии в классической механике. В качестве изменения этой энтропии можно взять относительное приращение внутренних энергий всех СЧ из НС. Динамическая энтропия определяется формулой [9]:

$$\Delta S^d = \sum_{L=1}^{R} \left\{ N_L \sum_{k=1}^{N_L} [\int \sum_s F_{ks}^L v_k dt] / E_L \right\} \tag{19}$$

E_L-внутренняя энергия L-СЧ; N_L- число частиц в L-СЧ; L=1,2,3… R - количество СЧ в НС; s - внешние МТ, взаимодействующие с k-й МТ L-СЧ; F_{ks}^L-сила, действующая на k-ю МТ СЧ со стороны s-ой МТ другой СЧ; v_k -скорость k-й МТ.

Из выражения (19) следует, что НС приходит в равновесие, когда вся энергия относительных движений СЧ перейдет в их внутреннюю энергию. Этот вывод находится в полном соответствии и со статистической природой установления равновесия. Он также следует из уравнения (17). Действительно, согласно (17) трансформация энергии движения во внутреннюю энергию СЧ возможна только тогда, когда внешнее поле для нее неоднородно. Таким полем по отношению каждой СЧ из НС является поле со стороны других СЧ. Так как скорость увеличения внутренней энергии СЧ, пропорциональна градиенту внешних к ней сил, то эта скорость уменьшается по мере уменьшения энергии относительных движений СЧ. Когда уменьшаются относительные скорости СЧ, НС приближается к равновесию. Равновесие соответствует однородности поля внутренних сил, создаваемых всеми СЧ. Такой сценарий установления равновесия согласуется с выражением (17), согласно которому увеличение внутренней энергии СЧ в однородном поле невозможно.

Отметим, что динамическая энтропия для системы из малого количества МТ в отличие от термодинамического определения энтропии, может быть и отрицательной. Это следует из того, что понятие равновесия системы применимо только для случая достаточно большого количества МТ в системе. И только для системы, которую можно считать равновесной по определению [18], справедливо утверждение о том, что внутренняя энергия неспособна трансформироваться в энергию движения.

Нарушение симметрии времени для элементарных частиц

Практически все основные уравнения квантовой механики, физики элементарных частиц, включая уравнения Шредингера, Паули, Дирака, получены на основе формализма Гамильтона [16, 17]. Но, как было показано выше, этот формализм неприемлем для анализа процессов нарушения симметрии времени, связанных с трансформацией энергии движения частиц в их внутреннюю энергию или во внутреннюю энергию продуктов их распада.

Рассмотрим взаимодействия частиц, для которых необходимо учитывать квантовые эффекты. Например, рассеяние потока электронов на нуклонах. Пусть при этом возникают новые частицы. Это означает, что может иметь место изменение внутренней энергии продуктов взаимодействия при условии сохранения полной энергии системы взаимодействующих частиц. Поскольку энергия движения системы уменьшается за счет ее перехода во внутреннюю энергию, то наблюдается нарушение симметрии времени. Т.е. будет иметь место условие (8). Это условие эквивалентно принципу неопределенности, но обусловленному трансформацией части энергии движения взаимодействующих частиц во внутреннюю энергию продуктов реакции. Тогда, согласно (8), будем иметь:

$$A^d \ge h, \quad (19)$$

где h - постоянная Планка.

Отсюда возникает вопрос, как это соотносится с принципом неопределенности Гейзенберга, природа которого обусловлена корпускулярно-волновым дуализмом? Не связанна ли природа h с тем, что согласно механике СЧ, даже самая малая частица должна быть структурной, т.е. обладать внутренней энергией с соответствующим фазовым объемом? Отметим, что если принцип неопределенности обусловлен структурой, то величина h будет определять параметры самой минимальной частицы, какая может существовать. Т.е. в этом случае принцип неопределенности можно трактовать тем, что точность определения динамики частицы не может превышать точности определения энергии движения в каждой точке фазового пространства, ограниченной величиной изменения внутренней энергии системы. В этой связи возникает вопрос об учете в основных уравнениях квантовой механики структурности описываемых ею элементов. В соответствии с этим вопросом может возникнуть необходимость расширения формализмов квантовой механики по аналогии с расширением классической механики на основе учета структурированности частиц [9].

Таким образом, проблемы механики многих тел, физики элементарных частиц, проблемы нарушения симметрии при взаимодействиях частиц и т.п. требуют анализа с позиций механики СЧ. Это следует из того, что все частицы, включая так называемые элементарные, обладают структурой. Поэтому точное описание характера взаимодействия тел, их динамики невозможно без учета трансформации энергии движения систем в их внутреннюю энергию. То есть требуется развитие такого формализма квантовой механики, который учитывает часть работы, уходящую на изменение внутренней энергии частиц рассматриваемой динамической системы.

Заключение

Для описания динамики систем в неоднородном пространстве необходимо исходить из ПДС. Согласно ПДС, динамика систем определяется энергией движения и внутренней энергией. Инвариантом движения является сумма этих энергий. Она задается в независимых микро и макропеременных. Причем микропеременные определяют внутреннюю структуру системы, а макропеременные определяют ее движение в пространстве.

Опираясь на ПДС, удается построить уравнение движения систем, позволяющее описывать необратимые процессы в рамках законов классической механики. Это связано с тем, что нарушение симметрии времени при движении систем в неоднородном поле сил обусловлено нелинейной трансформацией энергии движения во внутреннюю энергию.

Обратимость динамики гамильтоновых систем обусловлена тем, что их инвариантом является энергия движения. Только для этого случая справедлива гипотеза о голономности связей, используемая при выводах уравнения Лагранжа. То есть эта гипотеза исключает из рассмотрения все динамические процессы, которые сопровождаются нелинейной трансформацией энергии движения системы во внутреннюю энергию. А поскольку именно в таких процессах нарушается симметрия времени и возникает необратимость, то формализмы классической механики приемлемы только для описания адиабатических процессов вблизи равновесия.

Согласно уравнению движения СЧ, ее фазовая траектория вырождена. Вырождение обусловлено тем, что каждой точке фазовой траектории соответствует множество внутренних состояний СЧ, которыми реализуется соответствующая внутренняя энергия. То есть, каждая точка фазового пространства определена с точностью до величины A^d. A^d определяется нелинейной трансформацией энергий движения во внутреннюю энергию. В простейшем случае A^d является билинейной функцией.

A^d соответствует принципу неопределенности в квантовой механике. Поэтому возникает вопрос, не связан ли этот принцип с тем, что любые природные объекты, сколь малыми бы они не являлись, обладают внутренней структурой, которая и обуславливает неопределенность фазовой траектории при сильных взаимодействиях.

Детерминированная необратимость позволяет ввести в классическую механику динамическую энтропии, как относительное приращение внутренней энергии СЧ. Динамическая энтропия в пределе большого количества частиц соответствует энтропии Больцмана и Клаузиуса.

Список литературы:

1 Ковалев В.Ф., Ширков Д.В. Ренормгрупповые симметрии для решения краевых задач УФН. 2008, Том 178, вып.8, С.849-865.

2 Любарский Г.Я. Теория групп и ее приложения в физике. М. ГИФМЛ. 1958.

3 Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М. Наука, 1984, 273 с.

4 Пригожин И. От существующего к возникающему. М. Наука. 1980. 342 с.

5 Somsikov V.M. The equilibration of an hard-disks system. IJBC. 2004.V 14. 11. p. 4027-4033;

6 Somsikov V.M. Thermodynamics and classical mechanics, Journal of physics: Conference series. 23, 2005, p.7-16;

7 Somsikov V.M. The restrictions of classical mechanics in the description of dynamics of nonequilibrium systems and the way to get rid of them. New Adv. in Phys. Vol. 2. No 2. September. p. 125-140. 2008;

8 Somsikov V. M. Nonequilibrium systems and mechanics of the structured particles. Elsever. Chaos and Complex system. 2013, XV, 581 p. 31-40.

9 Сомсиков В.М. От механики Ньютона к физике эволюции. Алматы. 2014. 272 с.

10 Somsikov V.M. Why It Is Necessary to Construct the Mechanics of Structured Particles and How to do it. Open Access Library Journal, 2014, 1PP. 1-8, DOI: 10.4236/oalib.1100586

11 Генденштейн Л. Э., Криве И.В. Суперсимметрия в квантовой механике. УФН.1985 Том 146, вып. 4. с.553-590

12 Намбу Й. Спонтанное нарушение симметрии в физике элементарных частиц: примеры плодотворного обмена идеями. УФН. Т.179. №12. 2009. с. 1323-1326.

13 Голдстейн Г. Классическая механика. М. 1975;

14 Somsikov V. M, Mokhnatkin A. Non-Linear Forces and Irreversibility Problem in Classical Mechanics, *Journal of Modern Physics*, Vol. 5 No. 1, 2014, pp. 17-22.

15 Lanczos C. The variation principles of mechanics. University of Toronto press. 1962;

16 Schrödinger A. An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules. Physical Review, 28, 1049-1070. 1926 (December).

17 Гринштейн Дж., Зайонц А. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный. Интеллект, 2012, 432 с.

18 Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, Стат.Физ. и Кинематика. М, Наука, 1977.

19 Сомсиков В.М., Андреев А.Б. Особенности перехода к термодинамическому описанию от динамического описания структурированных частиц. ПЭОС т. 1. 2014. С.

Принято в печать 11.04.14

УДК 550.388.2

В.М. Сомсиков

Институт ионосферы, Алма-Ата, Казахстан

ПРИНЦИП ДУАЛИЗМА СИММЕТРИИ В ДИНАМИКЕ СИСТЕМ И НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ

vmsoms@rambler.ru

Аннотация. Обсуждается принцип дуализма симметрии (ПДС) в динамике систем. Он заключается в том, что их динамика определяется как симметриями пространства, так и симметриями самой системы. Показано, как в классической механике на основе ПДС возникает объяснение детерминированного механизма необратимости. Предложено объяснение природы обратимости канонических формализмов классической механики. Приведены сравнения известных механизмов нарушения симметрии в физике с детерминированным механизмом нарушения симметрии в классической механике. Рассмотрены аналогии между механизмами нарушения симметрии в механике и в физике элементарных частиц.

Ключевые слова: формализмы классической механики, нарушение симметрии, необратимость.

V.M. Somsikov
Institute of Ionosphere, Alma-Ata, Kazakhstan

THE PRINCIP OF THE DUALISM OF SYMMETRY IN THE DYNAMICS OF SYSTEMS AND SYMMETRY BREAKING

vmsoms@rambler.ru

We discuss the principle of duality symmetry (PDS) in the dynamics of systems. It consists of in the fact that their dynamics defined as the symmetry of space and symmetry of the system. Shown as in classical mechanics on the basis of the PDS appears deterministic explanation of the mechanism of irreversibility. The explanation of the nature of the reversibility of the canonical formalism of classical mechanics is submitted. The comparison of the known mechanisms of symmetry breaking in physics with a deterministic mechanism of symmetry breaking in classical mechanics is made. Consider an analogy between the mechanisms of symmetry breaking in the mechanics and physics of elementary particles.

В.М. Сомсиков,
Ионосфера институты, Алматы, 050020, Қазақстан
E-mail: vmsoms@rambler.ru

ЖҮЙЕЛЕР ДИНАМИКАСЫНДА СИММЕТРИЯ ДУАЛИЗМІНІҢ ҚАҒИДАСЫ ЖӘНЕ СИММЕТРИЯНЫҢ БҰЗЫЛУЫ.

Жүйелер динамикасының дискретті сипаттамасынан термодинамикалық сипаттамасына өтудің ерекшелігі зерттеледі. Жүйенің динамикалық параметрі ретінде ішкі энергиясы пайдаланылады. Оның потенциалды әрекеттесетін материалдық нүктелер жүйесімен потенциалды кедергіні өтуде өзгерісі олардың санымен, кедергінің биіктігімен және енімен байланысты қаралған. Екі сыни сан анықталған. Бірінші сан жүйенің қайтымсыз динамикасына өтуі үшін қажетті материалдық нүктелердің санын анықтайды, ал екінші сан термодинамикалық сипаттамаға өтуін анықтайы. Жүйелер динамикасын зерттеуінің теориялық нәтижелеріне және энтропия ұғымдарына сандық есептеулер нәтижелерінің сәйкестікті талқыланады.

Маңызды сөздер: сызықсыздық, классикалық механика, энергия, термодинамика, Лагранж формализмдері, голономдық емес байланыстар, қайтымсыздық.