УДК 530.1 (075.8)

В.М. Сомсиков
Институт ионосферы, Алматы, Казахстан
vmsoms@rambler.ru

О ПРИРОДЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭНТРОПИИ

Аннотация. Обсуждается понятие динамической энтропии (Д-энтропия), предложенное в механике структурированных частиц. Д-энтропия определяется, как относительное приращение внутренней энергии системы за счет ее энергии движения. Описывается механизм нарушения симметрии в механике систем, который определяет детерминированную необратимость. Выполняется сопоставление Д-энтропии с термодинамической энтропией Клаузиуса, энтропией Больцмана и энтропией Колмогорова - Синая. Приводятся численные результаты расчетов изменений D-энтропии систем, состоящих из различного числа элементов в процессе их движения в неоднородном пространстве. Определяется возможности использования Д- энтропии для анализа динамических систем.

Ключевые слова: энтропия, необратимость, симметрия, динамические системы.

Введение

Энтропия является одним из важнейших параметров, характеризующих вещество. Возникшее в физике понятие энтропии используется практически во всех областях науки, что свидетельствует о его фундаментальном значении [1]. В своей современной форме ее понятие впервые появилось в термодинамике как функция состояния вещества. Оказалось, что каждое состояние материи связано с определенным значением энтропии, которое характеризует это состояние.

Само понятие энтропии в термодинамику было введено немецким физиком Р. Клаузиуса в 1865 году. Он определил его как относительное приращение тепла равновесной системы [1, 2]:

$$dS^c = dQ / T\Big|_{N\to\infty} \qquad (1)$$

Здесь S^c - энтропия Клаузиуса, Q - тепло, T - температура вещества, N -число частиц.

Энтропия Клаузиуса, как и энергия, аддитивная величина. Если отклонения от термодинамического равновесия невелики и применимо условие *локального термодинамического равновесия* [1-3], то *энтропия* такой системы, поставленной в соответствие к заданному веществу, равна сумме *энтропий* еѐ равновесных частей.

Оказалось, что изменение энтропии вещества подчиняется так называемому второму началу термодинамики, согласно которому она может только увеличиваться, то есть $dS^c / dt \geq 0$ [1]. Второе начала термодинамики получено эмпирическим образом.

Вопрос о физическом смысле энтропии и возможности ее обоснования в рамках строгих законов физики долгое время оставался открытым. Будучи глубоким сторонником атомно-молекулярной теории строения вещества, Больцман был первым, кто попытался найти его обоснование в рамках законов классической механики, которым должны подчиняться движения молекул вещества. В рамках молекулярно - кинетической теории им была получена, так называемая, H – теорема, согласно которой энтропия вещества, представляющего собой систему взаимодействующих атомов или молекул, должна нарастать. Но в основах доказательства Н-теоремы Больцман использовал статистические законы [1]. Поэтому, как было указано Пуанкаре, ее доказательство нельзя считать достаточно обоснованным [4]. Более того, Пуанкаре показал, что выводы H – теоремы противоречат формализмам классической механики, согласно которым системы должны быть обратимыми. Кстати, это противоречие между физикой и реальной природой было отнесено к первой из трех основных проблем физики [5]. Тем не менее, как показала практика, H – теорема прекрасно выполняется для всех систем, достаточно близких к равновесию [2].

Используя статистические законы, Больцману в рамках молекулярно-кинетической теории удалось получить выражение для энтропии, которое определяется через число микросостояний, реализующих соответствующее макросостояние системы [1, 2]:

$$S^{B} = \kappa \ln W \qquad (2)$$

Здесь S^B - энтропия Больцмана, κ - постоянная Больцмана, W - число микросостояний, которыми реализуется данное состояние вещества.

Идеи, которые использовал Больцман при получении формулы (2), в частности, равновероятность прицельных параметров, эквивалентность усреднения по времени усреднению по пространству, послужили отправной точкой для очень важной в статистической физике эргодической теории [6, 7]. Именно в соответствие с формулой (2) со временем под энтропией стали понимать меру неупорядоченности системы.

В целом, эмпирическая формула (1) и статистическая формула (2) не связаны с динамическими характеристиками элементов системы. То есть связь между динамическими параметрами систем и вероятностными гипотезами, которые легли в основу доказательства формулы (2), осталасьнераскрытойитребующей доказательства. А ведь именно динамические процессы, связанные с движениями молекул вещества, лежат в основе всех эволюционных процессов, определяющих его состояние.

Пожалуй, очень серьезным шагом на пути решения проблем обоснования термодинамики, теории динамического хаоса в рамках законов классической механики следует считать формулу энтропии, полученную Синаем [6-9]:

$$S^{KS} = \lim_{d(0)\to 0, t\to\infty} \frac{\ln[\, d(t) / d(0)]}{t} \qquad (3)$$

Здесь $d(0)$ - вектор начального смещения фазовой траектории, $d(t)$ - смещение фазовой траектории, которое возникает с течением времени. Величина S^{KS} называется энтропией Колмогорова-Синая или KS-энтропией. KS - энтропия определяется динамическим параметром системы - экспоненциальным показателем неустойчивости Ляпунова для гамильтоновых систем.

KS - энтропия оказалась незаменимой при изучении проблем динамического хаоса в гамильтоновых системах. Например, используя KS-энтропию, можно определить, каким является исследуемый режим - стохастическим или детерминированным хаосом [8, 9]. Однако KS – энтропия характеризует систему в целом. Она не дает ответа, как система эволюционирует со временем к тому или иному состоянию в зависимости от граничных и начальных условий, наложенных на систему.

В целом можно сказать, что в основах трех приведенных здесь формул энтропии лежаттриразныхподхода.Так, эмпирическаяэнтропияКлаузиуса определяетсяцеликомврамках термодинамическихзаконовчерез соответствующие термодинамические параметры. Поэтому область использования этой формулы энтропии ограничена областью использования термодинамики. Физическая природа энтропии Клаузиуса состоит в том, что при совершении механической работы часть энергии уходит вовнутрь тела на их нагрев.

Энтропия Больцмана построена, отталкиваясь от понятий вероятности. Поэтомуееобластьиспользования ограничена областью применимости соответствующих вероятностных законов и принципов. Например, должно выполняться условие, что все микросостояния, определяющие любое возможное макросостояние системы, равновероятны. То есть, энтропия Больцмана применима в рамках используемых вероятностных законов, что и определяет ее ограничения. Она может быть использована для анализа, как равновесных, так и неравновесных систем. К вероятностным определениям энтропии также относится энтропия Гиббса [3]. Она применима для равновесных систем. На вероятностных принципах строится и информационная энтропия Шенона [8]. Идея о том, что энтропия является мерой хаоса и должна быть его критерием, легла в основу определения S-энтропии для открытых неравновесных систем [10].

Энтропия Колмогорова - Синая вводится на основе инвариантов движения, к которым относятся экспоненциальные показатели Ляпунова. Эти показатели определяют общие динамические характеристики практически любых систем. Но энтропию Колмогорова - Синая сложно использовать для изучения процессов эволюции систем во времени.

Приведенные выше определения энтропии практически охватывают все известные типы, хотя при этом каждое из существующих определений энтропии имеет свою область применения. Но всем им присуще общее ограничение. Таким ограничением является то, что с их помощью нельзя ответить на вопрос, как изменяется энтропия со временем при эволюции систем в соответствии с изменениями внешних ограничений. Их также трудно использовать и для анализа самого процесса эволюции системы. Кроме того, использование статистических закономерностей и усреднений при выводах формул (2-3), существенно затрудняет возможность обоснования реально наблюдаемой в природе необратимой динамики в рамках законов механики.

Здесь предлагается определение еще одного типа энтропии и дается соответствующая ему формула. Эта формула непосредственно следует из уравнения движения структурированной частицы [11]. Она следует из этого уравнения благодаря тому, что один из его членов определяет величину изменения внутренней энергии за счет работы внешних сил. Поэтому она названа динамической энтропией (Д-энтропия). В отличие от существующих на сегодня определений энтропии, Д-энтропия полностью задается динамическими параметрами системы и параметрами, определяющими внешние ограничения на систему. Это позволяет рассчитывать энтропию неравновесных систем в любой момент времени без использования каких-либо статистических гипотез. Более того, появляется возможность связать понятие энтропии с параметрами, характеризующими динамику систем.

Цель работы показать, в чем сущность Д - энтропии, каковы ее отличительные свойства, и как она может быть использована при изучении динамики систем.

Динамическая энтропия

Определение Д-энтропии, как величины относительного изменения внутренней энергии системы при действии на нее неоднородных внешних сил, было предложено в работах, посвященных развитию механики структурированных частиц (СЧ) [11, 12]. СЧ – это равновесная система достаточно большого количества потенциально взаимодействующих материальных точек (МТ). Кратко поясним суть механики СЧ.

Классическая механика построена, исходя из модели тел в виде совокупности МТ. В ней уравнения движения определяются только симметриями пространства [13].

Механика СЧ строится, опираясь на модели тел в виде совокупности СЧ. Ее уравнения движения строится исходя из принципа дуализма симметрии. Суть принципа в том, что движение системы определяется двумя типами симметрии: симметрией пространства, в котором движутся системы, и их внутренними симметриями. Уравнение движения системы находится из дуального выражения энергии, заданной в виде суммы двух энергий: энергии движения системы и ее внутренней энергии. Это делается путем представления энергии системы в микро и макропеременных. Внутренняя энергия задается микропеременными, которыми являются координаты и скорости движения МТ относительно центра масс системы. А энергия движения задается в макропеременных, которые определяют движение системы. Микро и макропеременные образуют две группы независимых переменных: группу трансляции, и группу переменных, определяющих движение МТ относительно центра масс системы [14,15]. Следовательно, группа трансляции определяет движение системы как целого, а микропеременные определяют хаотические внутренние движения МТ. Группу микропеременных не имеет пока своего названия. Поэтому, исходя из хаотического характера внутренних движений МТ, назовем ее *группой хаотического движения.*

При движении системы в неоднородном поле внешних сил микро и макропеременные зацепляются. Возникает нарушение симметрии каждой из этих групп. Оно проявляется во взаимной трансформации двух типов энергии. Следует подчеркнуть, что только в независимых микро и макропеременных появляется возможность описать процесс нарушение симметрии. Он определяется билинейными членами в разложении внешних сил, зависящих одновременно от микро и макропеременных.

Таким образом, принципиальное отличие классической механики от механики СЧ состоит в том, что классическая механика строится на основе только симметрии пространства. Поэтому в ней сложно описать процесс нарушения инвариантности энергии движения. Также сложно определить меру этого процесса, которая фактически определяется энтропией. В механике СЧ инвариантом является сумма энергий движения и внутренней энергии. Поэтому механика СЧ позволяет описывать процессы диссипации, связанные с нарушением инвариантности энергии движения из-за ее трансформации во внутреннюю энергию при движении тела в неоднородном поле внешних сил.

Механика СЧ строится на основе уравнения движения СЧ. Оно имеет вид [12, 14]:

$M_N \dot{V}_N = -F$ [redacted] $-(\Phi + E)V/V_N$, (4)

Здесь $V_N = \dot{R}_N = (\sum_{i=1}^{N} \dot{r}_i)/N$ -скорость ЦМ, $i = 1, 2, 3 \ldots N$ -номера МТ, $M_N = Nm$;

$F^{env} = \sum_{i=1}^{N} F_i^{env}(R_N, r_i)$,

$\dot{E}_N^{ins} = \sum_i^N$ [redacted] изменение внутренней энергии системы,

$\Phi^{env} = \sum_i^N$ [redacted] , $F_i^{env} = \partial U^{env} / \partial r_i$ - сила, действующая на i -ую МТ, со стороны внешнего поля, $r_i = R_N +$ [redacted]ординаты МТ относительно ЦМ.

Уравнение (4) получено не так, как было получено уравнение Лагранжа, не так, как это делается традиционным образом в классической механике [13], а путем дифференцирования энергии СЧ, представленной через микро и макропеременные суммой внутренней энергии СЧ и ее энергии движения [11]. Такой вывод уравнения движения позволил учесть неголономные связи, существующие при движении СЧ в неоднородном поле внешних сил и определяющие трансформацию энергии движения СЧ во внутреннюю энергию. Отметим, что гипотеза о голономности связей, используемая для получения уравнения Лагранжа, исключает в нем нелинейные члены, определяющие установление равновесия [14]. Поэтому оно применимо для описания только обратимых процессов.

Нарушение каждой из двух групп симметрии для СЧ в неоднородном поле внешних сил можно определить путем разложения правой части уравнения (4) по параметру R^s / R^{inv}, когда $R^s \ll R^{inv}$. Здесь R^s характерный масштаб системы, R^{inv} - характерный масштаб неоднородности внешнего поля сил. Из этого разложения видно, что нарушение инвариантности энергии движения и внутренней энергии при условии инвариантности их суммы, определяется билинейными членами разложения, зависящими от микро и макро переменных. Скорость увеличения внутренней энергии СЧ, пропорциональна градиенту внешних к ней сил [12].

Кратко поясним природу нарушения симметрии в динамике СЧ и сопутствующую этому природу необратимости.

Как было отмечено, динамика системы определяется двумя группами независимых переменных. Это микро и макропеременные. В неоднородном пространстве в уравнении движения системы появляются билинейные члены с зацеплением этих независимых переменных. Это приводит к нарушению групповых симметрий трансляции СЧ и симметрии хаотических движений МТ относительно центра масс СЧ. Энергия движения перестает быть инвариантом в результате ее преобразования во внутреннюю энергию. Подчеркнем, что механизм нарушения симметрии может быть описан только при дуальном представлении энергии в микро и макропеременных.

Преобразование энергии движения во внутреннюю энергию определяется билинейными членами в разложении внешних сил. Эти члены отличны от нуля, когда характерные масштабы неоднородности поля внешних сил соизмеримы или меньше масштабов системы. То есть, это нелинейное преобразование. Подчеркнем, что возможность учета такого нелинейного преобразования была исключена при выводах уравнения Лагранжа в классической механике из-за использования гипотезы о голономности связей.

Для динамики СЧ нарушение трансляционной симметрии необратимо. Причина необратимости достаточно проста. Если трансформация энергии движения во внутреннюю энергию пропорциональна квадратичной нелинейности, то обратное преобразование внутренней энергии системы в энергию движения будет описываться членами не ниже четвертого порядка малости. Удивительно, но именно в соответствии с такой закономерностью Ландау определил эмпирические уравнения для описания фазовых переходов [20]. Впоследствии эти уравнения легли в основу описания спонтанного нарушения симметрии. Здесь же они следуют строго из уравнения движения СЧ. Это подтверждает необходимость использования в механике принципа дуализма симметрии.

Поскольку СЧ является равновесной системой, то при достаточно слабых воздействиях на нее в уравнении (4) стандартным путем можно прийти к термодинамическим переменным [1]. В этом случае получим первый закон термодинамики [11, 14].

Все тела в общем случае представляют собой неравновесные системы. В приближении локального термодинамического равновесия их можно задать совокупностью перемещающихся СЧ [1, 3]. Тогда для замкнутой неравновесной системы изменение внутренней энергии можно определить, как суммарную величину изменения внутренних энергий всех СЧ за счет энергии их относительных движений. Это изменение можно найти с помощью уравнений движения СЧ.

В замкнутой неравновесной системе внешним полем по отношению к каждой СЧ, входящей в неравновесную систему, является поле со стороны других СЧ. Согласно (4) энергия относительных движений СЧ уменьшается за счет ее преобразования во внутреннюю энергию этих СЧ. В результате уменьшения относительных скоростей СЧ, неравновесная система приближается к равновесию. Равновесное состояние системы определяется отсутствием относительных движения СЧ, что эквивалентно отсутствию внутренних коллективных движений в системе [3]. Отсюда следует, что приближение системы к равновесию определяется отношением изменения суммы внутренних энергий всех СЧ, входящих в неравновесную систему, к суммарной величине их внутренних энергий. Вот это отношение и было названо динамической энтропией, то есть Д – энтропией.

Благодаря тому, что уравнение (4) было построено в микро и макропеременных, выражение энтропии напрямую следует из этого уравнения. Д - энтропию можно записать следующим образом [11,12]:

$$\Delta S^{d} = \sum_{L=1}^{R} \left\{ N_L \sum_{k=1}^{N_L} \left[\int \sum_s F_{ks}^{L} v_k \, dt \right] / E_L \right\} \qquad (5)$$

E_L -внутренняя энергия L -СЧ; N_L - число частиц в L -СЧ; L =1,2,3… R - количество СЧ в неравновесной системе; s - внешние МТ, взаимодействующие с k -й МТ из L -СЧ; F_{ks}^{L} -составляющая силы, меняющая скорость движения k -й МТ относительно центра масс L -СЧ. Эта сила действует со стороны s -ой МТ другой СЧ; v_k -скорость k -й МТ относительно центра масс СЧ.

Формула (5) определяет относительное изменение внутренних энергий всех СЧ, входящих в неравновесную систему, за счет работы сил, действующих между ними. То есть, эта формула определяет часть энергии относительных движений СЧ, которая уходит в их внутреннюю энергию.

Так как Д-энтропия (5) определяется в рамках законов классической механики с помощью уравнений движения СЧ, то ее следует называть динамической.

Для равновесных, а, значит, для достаточно больших систем Д-энтропия соответствует термодинамической энтропии (см. формулу (1)). Это следует из того, что только для равновесных систем тепловая энергия эквивалентна внутренней энергии [1]. А то, что для равновесных систем внутренняя энергия необратимо возрастает за счет энергии движения, соответствует второму закону термодинамики.

Д - энтропия обладает большой универсальностью, так как она определяется через уравнения движения систем, полученные на основе детерминированных законов классической механики. Поэтому ее можно использовать для анализа как равновесных, так и неравновесных систем. Более того, поскольку она выводится из строгих законов классической механики, она в принципе может быть использована для определенияобластейприменения феноменологической термодинамической энтропии, а также вероятностных энтропий. В соответствии с определением Д-энтропии, она применима не только для систем с большим количеством МТ. Она также может быть использована для систем с малым количеством МТ, движущихся в неоднородных полях внешних сил. Но в этом случае она может быть и отрицательной.

Таким образом, Д – энтропия характеризует изменение внутренней энергии системы при совершении над ней работы по ее перемещению. Она находится в согласии со всеми тремя приведенными выше определениями энтропии, а также в полном соответствии и со статистической природой установления равновесия [1, 3]. Ниже приведем примеры модельных численных расчетов, подтверждающих эти утверждения [18, 19].

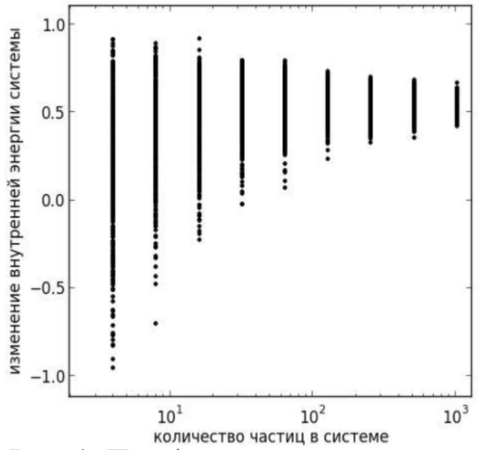

Рис. 1. Поведение величины флуктуации внутренней энергии системы в зависимости от числа МТ [19].

О возможностях применения Д-энтропии для анализа динамических систем

Одним из важнейших вопросов физики, является вопрос о границах справедливости термодинамического описания систем [16,17]. Д-энтропия позволяет ответить на этот вопрос, поскольку она дает возможность прямым образом найти величину изменения внутренней энергии системы. Чтобы ответить на этот вопрос, были выполнены модельные численные расчеты изменения Д-энтропии при движении системы потенциально взаимодействующих МТ в неоднородном поле внешних сил. Расчеты строились на основе закона сохранения энергии системы в неоднородном поле сил. Согласно этому закону инвариантом движения является сумма энергии движения и внутренней энергии при условии, что каждая из составляющих энергии может изменяться.

Проводились численные расчеты изменения внутренней энергии системы при прохождении потенциального барьера в зависимости от числа МТ. В результате было получено, что Д - энтропия для системы из малого количества МТ может быть, как положительной, так и отрицательной [18]. Это означает, например, что для системы из нескольких частиц внутренняя энергия может трансформироваться в энергию движения системы.

На рис. 1 приведены результаты расчетов изменения внутренней энергии для разного числа частиц системы [19]. При этом для заданного количества частиц расчеты проводились 400 раз при различных начальных состояниях системы, но при одной и той же энергии и заданном количестве частиц. Это позволило определить флуктуации изменения внутренней энергии для разных состояний системы при заданной величине ее энергии движения и заданном числе МТ.

Оказалось, что в целом для различных начальных условий флуктуации внутренней энергии уменьшаются с ростом числа частиц в системе.

При количестве числа МТ $N \leq 64$ Д-энтропия может быть как положительной, так и отрицательной. Но при $N \geq 64$, изменения внутренней энергии только положительные. Т.е. при $N \geq 64$ ни один из 400 проведенных численных экспериментов не дал отрицательного значения изменения внутренней энергии. Это означает, что при $N \geq 10^2$ динамика системы становится необратимой. Поэтому число $N \geq 10^2$ можно назвать **первым** критическим числом системы, при превышении которого система становится необратимой. Очевидно, что в общем случае это критическое число будет зависеть от параметров задачи, например, от ширины и высоты барьера.

При $N \geq 10^3$ дисперсия внутренней энергии достигает минимума. При дальнейшем увеличении числа МТ в системе величина приращения внутренней энергии не изменяется. Это число можно назвать **вторым критическим числом**. Начиная с этого числа частиц в системе для нее справедливо термодинамическое описание.

Убедительным подтверждением возможности обоснования статистических законов, опираясь на Д-энтропию, служат результаты численных расчетов амплитуд флуктуаций внутренней энергии, возникающих при прохождении системой барьера, в зависимости от числа МТ и функции их распределения. Оказалось, что поведение этих флуктуаций соответствует закону статистических флуктуаций ее средней квадратичной величины [3].

Напомним, как на основе статистических закономерностей доказывается, что относительная флуктуация какого-либо аддитивного параметра системы обратно пропорциональна $\sqrt{N}$, где N - количество элементов системы [3].

Внутренняя энергия системы E^{ins} является аддитивной величиной. Если систему разбить на N частей, то среднее значение ее внутренней энергии будет равно сумме средних значений внутренних энергий подсистем. Т.е. $\langle E_{ins} \rangle = \sum_{i=1}^{N} \langle E_i \rangle$, где E_i -энергия i -й подсистемы. Будем исходить из того, что внутренняя энергия растет пропорционально увеличению числа МТ системы. Тогда для средней квадратичной величины флуктуации внутренней энергии будем равна: $\langle (\Delta E)^2 \rangle = \langle (\sum_{i=1}^{N} \Delta E_i)^2 \rangle$. Если флуктуации в подсистемах считать независимыми, то получим: $\langle (\Delta E)^2 \rangle = \sum_{i=1}^{N} \langle (\Delta E_i)^2 \rangle$. Отсюда приходим к известному закону: $\langle (\Delta E)^2 \rangle^{1/2} \sim 1/N^{1/2}$ [3].

Таким образом, если рассчитываемая величина относительных флуктуаций E^{int}, возникающих при прохождении системы через барьер, с ростом числа МТ изменяется обратно пропорционально $\sqrt{N}$, то это будет служить, как подтверждением закона о флуктуациях, так и подтверждением возможности обоснования этого закона с помощью законов классической механики. Оказалось, что аппроксимирующая пунктирная линия, заданная уравнением $f = p + r / N^{1/2}$, где $p = 3{,}5$; $r = 110$ соответствует рассчитанным точкам.

Как видим из рисунка (2), точки, соответствующие амплитудам флуктуации изменения внутренней энергии, ложатся достаточно близко к кривой, соответствующей статистическому закону убывания флуктуаций в системе с ростом числа ее элементов. Незначительное расхождение результатов расчета флуктуации ΔE^{ins} от статистической формулы зависимости квадратичных флуктуаций можно объяснить тем, что добавление МТ к системе меняет другие ее параметры, от которых зависит величина ΔE^{ins}, например, размер системы. Кроме того, определенное отклонение от статистического закона может быть связано и с тем, что для заданного числа МТ нельзя строго считать систему равновесной.

Все это означает, что, во-первых, численные расчеты прохождения системы черезбарьерверны,во-вторых, необходимость представления энергии системы в виде суммы энергии движения и внутренней энергии отображается в статистических законах, в-третьих, законы классической механики применимы, как для обоснования статистических законов, так и для определения области их применения.

В целом, изучение поведения Д - энтропии в зависимости от всевозможных динамическихфакторовпозволяет определить область применимости статистических законов для конкретных задач динамики.

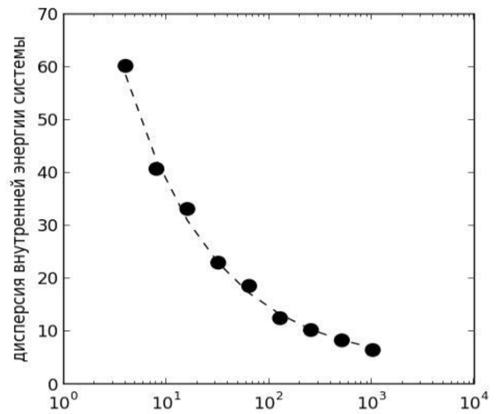

Рис. 2. Зависимость максимальной амплитуды флуктуации ΔE_{ins} (точки) от чисел МТ

Заключение

Принцип дуализма в динамике систем проявляется в том, что состояния любых систем, их изменения, связаны с динамическими процессами внутри систем и процессами их взаимодействия с внешним пространством. Эти процессы можно однозначно определить микро и макро переменными. Состояние внутри системы, определяемое внутренней энергией, задается микропеременными. Они определяют движение элементов системы относительно ее центра масс. Динамика системы как целого, определяемая энергией движения системы в пространстве, задается макропеременными. В соответствии с принципом дуализма симметрии динамика систем полностью определяется двумя скалярными функциями: внутренней энергией и энергией ее движения. Сумма внутренней энергии и энергии движения, при возможном изменении каждого из ее членов, сохраняется. Это представляет собой закон сохранения энергии открытой системы.

В неоднородномпространстве возможна взаимная нелинейная трансформация энергии движения и внутренней энергии тел. Эта трансформация однозначно определяется билинейными членами разложения поля внешних сил только в системе координат дуального представления энергии в виде суммы внутренней энергии и энергии движения. Поэтому такую систему координат логично называть "естественной системы координат" описания динамики систем. Само существование термодинамики, в частности, ее первый закон, служит основанием для выбора естественной системы координат, определяемой дуализмом симметрии, в соответствии с которым энергия приобретает дуальный вид.

Величина, характеризующая трансформацию энергии движения во внутреннюю энергию, характеризуется Д – энтропией. Д – энтропия определяет, какова отношение приращения внутренней энергии системы к ее величине и выражается через микро и макропеременные. Д - энтропия является детерминированной, поскольку она следует из уравнения движения системы. Величина Д-энтропии находится путем суммирования той части работы внешних сил по перемещению элементов системы, которая идет на изменение ее внутренней энергии.

Для малых систем Д-энтропия, в отличие от энтропии Клаузиуса, может быть как положительной, так и отрицательной. Для равновесных систем Д-энтропия с точностью до численного коэффициента совпадает с энтропией Клаузиуса и может быть выражена через температуру и функцию тепла.

Простота численных расчетов Д-энтропии, делает ее удобной для оценок области применения вероятностных законов, используемых при описании процессов эволюции систем. Ее также удобно использовать для определения критериев применимости различных статистических методов описания систем. Это подтверждается численными модельными расчетами изменения внутренней энергии системы в зависимости от числа элементов при движении системы в неоднородном поле внешних сил.

Расчеты Д - энтропии показали, что с ее помощью можно определить области применимости термодинамического описания систем, а также границы применимости вероятностных статистических законов.

Основным достоинством Д-энтропии можно, пожалуй, назвать то, что она полностью следует из динамических характеристик системы. Из выражения Д - энтропии, уравнения движения системы и законов классической механики следует, что второй закон термодинамики связан с невозможностью трансформации энергии хаотического движения частиц системы в энергию ее движения как целого.

Действительно, переход хаотического движения в энергию организованного движения запрещен законом сохранения импульса.

Список литературы

1. Rumer Yu.B., Rivkin M.Sh. Thermodynamics, Stat. physics and Kinematics. Moscow. Nauka. 1977. 532 p;
2. Lebowitz J.L. Boltzmann's entropy and time's arrow. Phys. Today. 1999. p. 32-38;
3. Landau L.D., Lifshitz E.M. Statistical physics. Moscow.1976.583 p;
4. Zaslavsky G.M. Stochasticity of dynamic systems. Moscow. Nauka.1984, 273p;
5. Ginzburg V.L. Special session of Editorial board of the Journal of Physics-Uspekhi, honoring the 90th anniversary of VL Ginzburg. Advance Physics of Sci. 2007. 177 (4). p. 345-346;
6. Sinai Y.G. Modern problems of ergodic theory. M,: FIZMATLIT, 1995. 208 p;
7. Sinai Ya. G. Introduction to Ergodic Theory, Princeton University Press, Princeton, New Jersey USA, 1976, 144 p;
8. Loskutov A.Y., Mikhailov A.S. Introduction to Synergetics. Nauka, Moscow.1990. 272 p;
9. Loskutov A.Y. The charm of chaos. Phys. 2010.V.150. № 12. p. 1305-1329;
10. Klimontovich Y.L. The statistical theory of open systems. Moscow. Janus. 1995. 292 p;
11. Somsikov V.M. Thermodynamics and classical mechanics, Journal of physics: Conference series. 23. 2005. p.7-16;
12. Somsikov V.M. From the Newton's mechanics to the physics of the evolution. Almaty. 2014. 272 p;
13. Goldstein G. Classical Mechanics. Moscow.1975. 416 p;
14. 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;
15. Lyubarskii GY Group theory and its applications in physics, Nauka, Moscow 1958, p.354;
16. Smoluchowski M. Boundaries of validity of the second law of thermodynamics. Uspehi Fizicheskih Nauk. 1967. v.93. iss. 4, p. 724-737;
17. Haytun SD Mechanics and irreversibility, (1996), Janus, Moscow, 448 p;
18. Somsikov V.M., Denisenya M.I. Features of the oscillator passing through potential barrier. Proceedings of the universities. Series Physics. №. 3. March. 2013. p. 95–103;
19. Somsikov V.M., Andreyev A.B., Mokhnatkin A.I. Relation between classical mechanics and physics of condensed medium International Journal of Physical Sciences. Vol. 10(3), pp. 112-122, 16 February, 2015, DOI: 10.5897/IJPS2014.4246, Article Number: E27944E50296, ISSN 1992 - 1950 ;
20. Ландау. Л.Д., Лифшиц Е.М. Физическая кинетика. М. Наука. 1979. 528с.

Принято в печать 21 марта 2015

УДК 530.1 (075.8)

В.М. Сомсиков
Институт ионосферы, Алматы, Казахстан
vmsoms@rambler.ru

О ПРИРОДЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭНТРОПИИ

Аннотация. Обсуждается понятие динамической энтропии (Д-энтропия), предложенное в механике структурированных частиц. Д-энтропия определяется, как относительное приращение внутренней энергии системы за счет ее энергии движения. Описывается механизм нарушения симметрии в механике систем, который определяет детерминированную необратимость. Выполняется сопоставление Д-энтропии с термодинамической энтропией Клаузиуса, энтропией Больцмана и энтропией Колмогорова - Синая. Приводятся численные результаты расчетов изменений D-энтропии систем, состоящих из различного числа элементов в процессе их движения в неоднородном пространстве. Определяется возможности использования Д- энтропии для анализа динамических систем.

Ключевые слова: энтропия, необратимость, симметрия, динамические системы.

V.M. Somsikov
Institute of Ionosphere, Alma-Ata, Kazakhstan, 050020.
vmsoms@rambler.ru

ON THE NATURE OF THE DYNAMIC ENTROPY

Abstract. We discuss the concept of dynamic entropy (D-entropy), proposed in the mechanics of structured particles. D-entropy is defined as the relative increase in the internal energy of the system due to its energy of motion. The mechanism of symmetry breaking in the mechanics of systems, which defines a deterministic non-reversibility is describes. The D-entropy and thermodynamic entropy of Clausius, Boltzmann's entropy and Kolmogorov entropy - Sinai is mapped. Shows the number of calculations, results were changes in D-entropy systems consisting of a variable number of elements in the process of their movement in a heterogeneous space. By the scope of the D- entropy and the possibility of its use for the analysis of dynamic systems is determined.

Keywords: entropy, irreversibility, symmetry breaking, dynamic systems.

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

ДИНАМИКАЛЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ ТАБИҒАТЫ ТУРАЛЫ

Аннотация. Жіктелген бөлшектер механикасында ұсынылған динамикалық энтропиялар Д-(Энтропия) ұғымы талқыланады. Д-энтропиясы жүйелердің ішкі энергиялары оның қозғалыс энергиялардың есебінде салыстырмалы артатындығын анықтайды. Детерминделген қайтымсыздықты анықтайтын жүйелер механикасының симметрияларының бұзулушылық механизмі сипатталады. Д-Энтропияларын термодинамикалық Клаузиус энтропиясымен, Больцман энтропиясы және Колмогорова - Синая энтропиясымен салыстырулар жүргізіледі. D-энтропиялар жүйелерінің өзгерістерінің әртүрлі элемент

сандарынан құралған және олардың біртекті емес кеңістіктегі қозғалыстарынан тұратын есептеудің сандақ нәтижелері жүргізіледі.

Кілті сөздер: энтропия, қайтымсыздық, симметрияның бұзушылығы, динамикалық жүйелер.