

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 1 (2015), 61 –67

**THERMAL ENERGY AS A MEASURE  
OF CHAOTIZATION OF SUBSTANCE**

**V.P. Malyshev, A.M. Makasheva, Y.A. Fedorovich**

**Key words:** thermal energy, the Boltzmann distribution, barriers of randomization, crystal-mobile particle, liquid- mobile particles, vapor- mobile particles.

**Abstract.** The authors consider in more detail the thermal energy as a measure of chaotization of substance, introducing its graduation on thermal barrier of melting and boiling for three class virtual (exchange) of existing particles - crystal-mobile, liquid- mobile and vapor- mobile . This allows to treat in a new way three basic states of matter - solid, liquid and the gaseous, which, being composed of the same material particles differ only by the ratio of share content of the various energy particles. Thereby it is reached a more generalized understanding and mapping of these three states, which constitutes the dignity of such an approach to the analysis of thermal energy.

Also practical application of the new approach for the description of plasticity, diffusion, fragility, volatility, viscosity and density of the substances is important.

УДК 541.1

**ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ КАК МЕРА ХАОТИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА**

Малышев В.П., Макашева А.М., Федорович Я.А.  
eia\_hmi@mail.ru

**Ключевые слова:** тепловая энергия, распределение Больцмана, барьеры хаотизации, кристаллоподвижные частицы, жидкокомпонентные частицы, пароподвижные частицы.

**Аннотация.** Авторы более детально рассматривают тепловую энергию в качестве меры хаотизации вещества, градацию ее по тепловым барьерам плавления и кипения на три класса виртуально (обменно) существующих частиц – кристаллоподвижных, жидкокомпонентных и пароподвижных. Это позволяет по – новому трактовать три основные состояния вещества – твердое, жидкое и газообразное, которые, будучи состоящими из одних и тех же материальных частиц, отличаются только по соотношению долевого содержания энергетически различных частиц. Тем самым достигается более обобщенное понимание и отображение этих трех состояний, в чем и состоит достоинство подобного подхода к анализу тепловой энергии.

Является важным и практическое применение нового подхода для описания пластичности, диффузии, хрупкости, испаряемости, вязкости и плотности веществ.

**Введение**

Вполне очевидно, что основные состояния вещества – твердое, жидкое и газообразное – отличаются степенью хаотизации входящих в них частиц. Переход из одного состояния в другое сопровождается преодолением энергетического барьера. В то же время температура в точках плавления и кипения остается неизменной, и система обладает в этих точках тепловой энергией соответственно  $RT_m$  и  $RT_b$  для обеих фаз, находящихся в равновесии.

Вообще, обладание системы тепловой энергией при любой температуре на уровне  $RT$  непосредственно следует из распределения (энергетического спектра) Больцмана и является среднеинтегральной величиной этого распределения. Сама же тепловая энергия распределяется при любой температуре и в любом состоянии по частицам в диапазоне от  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon \rightarrow \infty$ . Поэтому всегда существуют частицы, способные или неспособные преодолеть тот или иной барьер, например, барьеры плавления и кипения,  $RT_m$  и  $RT_b$ .

### Учет барьеров хаотизации

Эти доли поддаются непосредственному определению на основе всеобщей формулы, также выводимой из распределения Больцмана по отношению к любому заданному барьеру активации  $E_a$  (Дж/моль) и для доли сверхбарьерных частиц равной

$$P_> = \exp[-E_a/(RT)]. \quad (1)$$

Соответственно, для доли подбарьерных частиц эта формула примет вид

$$P_< = 1 - \exp[-E_a/(RT)], \quad (2)$$

поскольку сумма долей всех частиц строго равна единице:

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1, \quad (3)$$

где  $P_i$  – доля частиц, обладающих энергией  $\varepsilon_i$  (или в пересчете на моль  $E_i = N_A \varepsilon_i$ ), и подчиненная распределению Больцмана

$$P_i = N_i/N = \exp[-\varepsilon_i/(kT)] / \sum_{i=1}^m \exp[-\varepsilon_i/(kT)]. \quad (4)$$

Здесь  $N_i$  – число частиц со средней энергией  $\varepsilon_i$ ;  $N$  – общее число частиц;  $k$  – постоянная Больцмана;  $m$  – число учитываемых уровней энергии. Величину  $P_i$  можно трактовать и как вероятность обнаружения частиц с энергией  $\varepsilon_i$ .

Судя по зависимостям (1) и (2), доля сверхбарьерных частиц в диапазоне температур от 0 до  $T \rightarrow \infty$  будет увеличиваться от 0 до 1, а подбарьерных – уменьшаться от 1 до 0.

Весьма интересно, каково же соотношение тех или других частиц в точках плавления и кипения?

Так, с учетом теплового барьера плавления  $RT_m$  выражения (1) и (2) приобретут вид

$$P_> = \exp[-RT_m/(RT)] = \exp(-T_m/T), \quad (5)$$

$$P_< = 1 - \exp(-T_m/T). \quad (6)$$

В самой же точке плавления эти доли будут соответственно равны:

$$P_{m>} = \exp(-T_m/T) = \exp(-1) \approx 0,37, \quad (7)$$

$$P_{m<} = 1 - \exp(-1) \approx 0,63. \quad (8)$$

При этом большая доля частиц относится к подбарьерным, а меньшая – к надбарьерным. Это наводит на мысль о том, что существует какая-то критическая доля частиц, способная удерживать вещество в дальнем порядке связи, т.е. в виде кристалла, и эта критическая доля реализуется частицами, остающимися в узлах кристаллической решетки виду недостаточной своей энергии. Другие же, сверхбарьерные частицы, способные перейти в междуузельное положение, создавая виртуальные точечные дефекты и ослабляя дальний порядок связи в целом по всему веществу, остающемуся в твердом состоянии.

Другими словами, в точке плавления создается наиболее дефектная равновесная решетка. В этой решетке каждая элементарная ячейка имеет занятые частицами узлы в примерном соотношении к вакантным как 0,63:0,37.

Это соотношение может быть осмысленно в нескольких аспектах. Во-первых, по необходимости простого большинства удерживающих, структурообразующих частиц в решетке по отношению к разрушающим ее. Во-вторых, по близости к пропорции золотого сечения,  $\sim 0,62:0,38$ , характерной для наиболее гармоничной взаимосвязи определяющей структурной и дополнительной к ней подгоночной хаотизированной составляющей широкого класса систем и обоснованной с помощью информационной энтропии Шеннона [1, 2]. В-третьих, по геометрическим соображениям сохранения объемной конфигурации и связности решетки. На примере простейшей кубической решетки из восьми узлов вполне очевидно, что подобное сохранение возможно при числе частиц в решетке более четырех (находящихся только в одной грани), т.е. начиная с пяти, и тогда в самой рыхлой кристаллической решетке доля занятых

частицами узлов составит  $5/8 = 0,625$ , что соответствует пропорции золотого сечения и доле подбарьерных частиц (8).

### **Использование барьера хаотизации для новой трактовки твердого, жидкого и газообразного состояний вещества**

Новое понимание плавления вполне согласуется с теорией твердого тела Эйнштейна, по которой разрушение решетки происходит тогда, когда средняя амплитуда колебаний частиц становится равной среднему расстоянию между ними. Оперирование средними величинами подразумевает подчинение амплитуд колебаний и расстояний между частицами своим распределениям, согласно которым есть частицы, обладающие вышесредней амплитудой и находящиеся на вышесреднем расстоянии между собой при любой температуре. Колебательным же характером движения определяется виртуальность присутствия частиц с вышесредними величинами амплитуд и расстояний в узлах кристаллической решетки. В нашем случае для описания этого процесса используется более обобщенная характеристика – кинетическая энергия хаотического движения частиц, поэтому подобный подход может рассматриваться как соответствующий принципу дополнительности. Этот подход позволяет количественно оценить состояние кристаллической решетки в точке плавления по доле виртуально вакантных и виртуально занятых в ней узлов, так как подбарьерные частицы также являются виртуальными ввиду участия в обменных соударениях.

Можно оценить и саму виртуальность решетки в этом состоянии. Так, если в кубической решетке 5 из 8 узлов должны быть занятыми, то это можно реализовать неповторяющимся числом сочетаний из 8 по 5:

$$C_8^5 = \frac{8!}{5!(8-5)!} = 56.$$

Именно столько различных конфигураций может принимать в среднем самая рыхлая кубическая решетка, оставаясь целостной и в то же время виртуальной и сохраняя возможность отражения лучей по виртуально устойчивым плоскостям. Тем самым и весь кристалл является виртуальным, хотя и четко выраженным, подобно радуге на небе. При этом незанятые узлы необходимо рассматривать так же, т.е. как виртуально вакантные, и в этом случае динамически неустойчивые, подчиненные равновесно обменному распределению Больцмана.

Таким образом, в соответствии с изложенным, доля подбарьерных частиц в диапазоне от 0 до  $T_m$  для преодоления барьера  $RT_m$  изменяется от 1 до  $\sim 0,63$ , оставаясь наибольшей в сравнении с долей надбарьерных частиц, составляющей в этом диапазоне от 0 до  $\sim 0,37$ . Имея в виду ответственность подбарьерных частиц за сохранение кристаллического состояния и их виртуальность, они были названы нами *кристаллоподвижными* (crystal-mobile), и их доля обозначена с индексом  $crm$  в рамках единой концепции хаотизированных частиц [3-7]:

$$P_{crm} = 1 - \exp[-T_m/T]. \quad (9)$$

Что касается надбарьерных частиц, то, имея в виду переход вещества из твердого состояния не только в жидкое, но и в газообразное, их доли следует дифференцировать по преодолению и непреодолению теплового барьера кипения. Так, доля надбарьерных по величине  $RT_b$  частиц составит

$$P_> = \exp[-RT_b/(RT)] = \exp(-T_b/T) = P_{vm} \quad (10)$$

и характеризует их содержание при любой температуре в любом состоянии вещества, так как, согласно распределению Больцмана, высокоэнергетические частицы способны образовываться при любой температуре, за исключением абсолютного нуля. Эти частицы не участвуют ни в дальнем, ни в ближнем порядках связи, виртуально выходя из узлов кристаллической решетки в междуузлия и создавая над твердым и жидким веществом равновесный с ними пар, чем подтверждается реальность их существования. Такие частицы названы нами *пароподвижными* (vapor-mobile), а их доля обозначена как  $P_{vm}$ .

Наряду с кристаллоподвижными и пароподвижными частицами должно существовать и такие, энергия которых больше барьера плавления, но меньше – кипения, и которые по своему

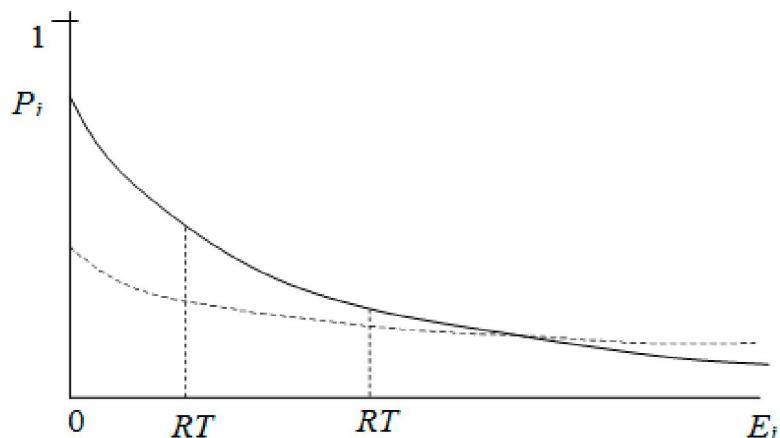
энергетическому положению отвечают за близкий квазиструктурный (не дальний) порядок связи, присущий жидкостям. Поэтому они названы нами *жидкоподвижными* (liquid-mobile), а их доля определена по разности между единицей и долями  $P_{crm}$  (9) и  $P_{vm}$  (10):

$$P_{lqm} = 1 - P_{crm} - P_{vm} = \exp(-T_m/T) - \exp(-T_b/T). \quad (11)$$

Общее представление о распределении Больцмана (4) при температуре плавления и кипения по энергетическим уровням (при пересчете на моль) схематически представлено на рисунке 1, а температурные зависимости долей хаотизированных частиц трех энергетических классов – на рисунке 2 (на примере бария с  $T_m = 1000$  К,  $T_b = 2170$  К).

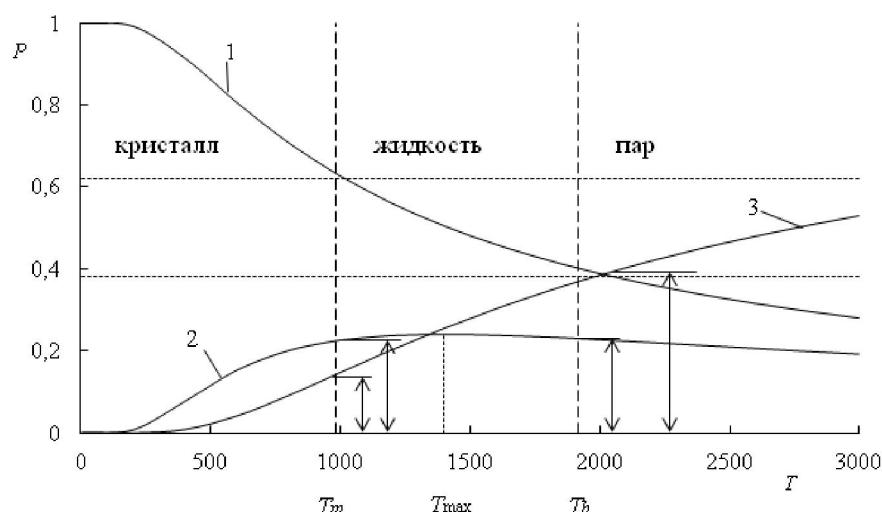
Жидкоподвижные частицы вместе с другими должны присутствовать в каждом из состояний и участвовать в виртуальных обменных процессах. Но если для твердого вещества виртуальность кристаллоподвижных частиц не мешает сохранению и восприятию (через зрение и осязание) целостности кристаллической решетки, а виртуальность пароподвижных – образованию и экспериментальной регистрации равновесного с кристаллом пара (а также с помощью обоняния и зрения), то в чем же выражается присутствие в твердом веществе виртуальность жидкоподвижных частиц?

К сожалению, нет непосредственного восприятия в твердом теле таких частиц. Возможно, именно поэтому единство трех ипостасей вещества в каждом из них не было очевидным и не стало предметом специального анализа. Но, тем не менее, есть такие свойства твердого вещества, которые могут быть наиболее просто объяснены присутствием именно жидкоподвижных частиц [8].



$P_i$  – доля частиц, имеющих энергию  $E_i$  (в пересчете на моль);  $E_i$  – средняя тепловая энергия частицы на  $i$ -том уровне энергии. Сплошная линия – при  $T_m$ , пунктирная – при  $T_b$ .  $RT_m$  и  $RT_b$  – энергетические барьеры при температурах плавления и кипения

Рисунок 1 – Распределение (энергетический спектр) Больцмана при плавлении и кипении



$P$  – долевое содержание хаотизированных частиц,  $T$  – температура. Температурные зависимости доли: 1 – кристаллоподвижных, 2 – жидкокомпактных, 3 – пароподвижных частиц. Горизонтальные линии – значения пропорции золотого сечения ( $\sim 0,62$  и  $\sim 0,38$ ), вертикальные – по точкам плавления и кипения. Стрелками отмечены доли жидкокомпактных частиц, находящихся в пропорции золотого сечения. Выделена температура максимума жидкокомпактных частиц

Рисунок 2 – Зависимость долей хаотизированных частиц от температуры для бария

Прежде всего, это пластичность. Она увеличивается с ростом температуры, как и доля жидкокомпактных частиц, и при температуре плавления тело не «вдруг» становится жидким, а благодаря постепенному увеличению жидкокомпактных частиц до критического соотношения с кристаллоподвижными. При этом запас тепловой энергии при любой температуре  $RT$  будет тем меньше, чем он дальше от барьера в точке плавления  $RT_m$ , и для достижения этого барьера требуется дополнительный подвод энергии, например, механической при пластической деформации, в количестве

$$E_{mec} = RT_m - RT = R(T_m - T). \quad (12)$$

Так как это выражение основано на равновесном распределении тепловой энергии, оно характеризует минимально необходимую, полезную энергию для перевода тела в жидкотекущее состояние. Поэтому формула (12) была использована впервые для расчета ранее неизвестного энергетического КПД пластической деформации с учетом ее полноты на примере работы девятиклетевого прокатного стана для получения медной катанки [8] с сопоставлением расчетных и фактических затрат энергии. При этом значения энергетического КПД оказались вполне реалистичными и дифференцированными по черновым и чистовым клетям в соответствии с характером их работы. Этим же определяется улучшение ковкости металлов при повышенных температурах.

Понимаемая таким образом пластичность дает независимое объяснение и ползучести – свойству твердого тела под воздействием даже небольшой, но постоянной нагрузки вести себя подобно жидкости, что проявляется, например, в движении ледников и постепенной деформации металлоконструкций.

Непосредственно же сверхбарьерные виртуальные микрочастицы не могут быть зафиксированы в кристалле как таковые и выдают свое присутствие лишь в создании помех, например, в пониженной интенсивности и увеличенной ширине линий в спектрах, а в кинетических условиях деформации служат энергетическим резервуаром для формирования фиксируемых дефектов, что выражается в отнесении энергии активации самодиффузии, определяемой экспериментально, к диапазону между тепловыми барьерами плавления и кипения, то есть к области энергетической реализации жидкокомпактных частиц [9].

В целом же по применению концепции хаотизированных частиц к твердому состоянию можно

сделать вывод о вполне определенной взаимосвязи доли кристаллоподвижных частиц с сохранностью дальнего порядка связи в виртуальной кристаллической решетке вплоть до нарушения этой связи в точке плавления, а также за ответственность кристаллоподвижных частиц за твердость и хрупкость вещества, как это следует из прямого сопоставления доли этих частиц с хрупкостью вещества при различных температурах [10]. Собственно, именно кристаллоподвижные частицы позволяют говорить о том, что есть твердого в твердом состоянии вещества. В свою очередь, доля жидкогоподвижных частиц, определяющая пластичность, может быть мерилом того, что есть жидкого в твердом. Пароподвижные же частицы выдают свое присутствие в твердом состоянии в виде наиболее энергичных частиц, находящихся в равновесии с той же самой их долей в газе над твердым веществом, что приводит к выводу о существовании виртуальной газовой фазы в твердом веществе.

Подробное рассмотрение жидкого состояния с точки зрения концепции хаотизированных частиц представлено в нашей монографии [11]. В ней показано, что вязкость и плотность жидкости и их зависимость от температуры определяется долей кристаллоподвижных частиц, упакованных в кластеры и ассоциаты, представляющих собой виртуальную твердую фазу в жидком состоянии. Текучесть же, будучи не обратной, а противоположной величиной вязкости, находится в прямой связи с долей одиночных не связанных в кластеры частиц, в первую очередь жидкогоподвижных и пароподвижных, что дает новое представление об этой характеристике жидкости. В свою очередь, температурная зависимость плотности жидкости оказывается в непосредственной связи с долей кристаллоподвижных частиц, упакованных в более плотные кластеры и ассоциаты. Наконец, и газообразное состояние проанализировано в рамках концепции хаотизированных частиц. Здесь помимо установления взаимосвязи вязкости газов с долей пароподвижных частиц, повышающих вязкость за счет большей частоты вязкоупругих соударений самых высокоскоростных (высокоскоростных) частиц [11], выявлена прямая зависимость испаряемости веществ в твердом и жидком состояниях от доли частиц, преодолевших тепловой барьер кипения, то есть пароподвижных частиц [12]. На этом основании обработаны существующие экспериментальные данные по давлению насыщенного пара простых веществ и представлены в виде аналитически выраженных температурных зависимостей во всем диапазоне существования конденсированного состояния этих веществ.

### Выводы

Таким образом, тепловая энергия, сама по себе являющаяся мерой хаотического движения частиц и подчиненная распределению Больцмана, которое распространяется не только на газообразное, но и конденсированное состояние вещества [13], может служить аналитическим инструментом для выявления единой природы твердого, жидкого и газообразного состояний на основе введения новых понятий виртуально существующих кристаллоподвижных, жидкогоподвижных и пароподвижных частиц.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сороко Э.М. Структурная гармония систем. – Минск: Наука и техника, 1984. – 264 с.
- [2] Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное отображение. - Алматы-Караганда: Гылым, 1994. – 376 с.
- [3] Малышев В.П., Нурмагамбетова (Макашева) А.М. Концепция хаотизированных частиц как основа единого отображения твердого, жидкого и газообразного состояний вещества // Вестник КазНУ, Сер. хим. – 2004. – № 3(35). – С. 53-67.
- [4] Malyshev V.P., Nurmagambetova A.M. United interpretation of aggregate substance conditions by degree of its chaotization // Eurasian Physical technical journal. – 2004. – Vol. 1. – № 2. – P. 10-14.
- [5] Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Нурмагамбетова А.М., Сулейменов Т. Разработка единой теории хаотизированных частиц для твердого, жидкого и газообразного состояний и ее применение для совершенствования технологии, увеличения производства и повышения качества черновой меди и медной катанки // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. – 2007. – № 2(46). – С. 55-66.
- [6] Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукужаева (Макашева) А.М., Сулейменов Т. Основные понятия и зависимости в концепции хаотизированных частиц // Вестник Национальной инженерной академии. – 2009. – № 1. – С. 71-85.
- [7] Малышев В.П., Турдукужаева А.М., Сулейменов Т. Виртуальность твердого, жидкого и газообразного состояний вещества // Энциклопедия инженера-химика. – 2009. – № 12. – С. 13-23.
- [8] Малышев В.П., Абдрахманов Б.Т., Нурмагамбетова А.М. Плавкость и пластичность металлов. – М.: Научный мир, 2004. – 148 с.

- [9] Малышев В.П., Макашева А.М. Связь энергии активации самодиффузии с концепцией хаотизированных частиц // Доклады Национальной академии наук РК. – 2014. – № 2. – С. 15-21.
- [10] Малышев В.П., Турдукожаева А.М. Деформация и разрушение материалов как процесс их хаотизации // Deformation & Fracture of Materials and Nanomaterials – DFMN 2011 / Book of articles, ed. by O.A. Bannykh et. al. – Moscow: Interkontakt Nauka, 2011. – С. 73-74.
- [11] Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукожаева А.М. Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М.: Научный мир, 2012. – 288 с.
- [12] Малышев В.П., Турдукожаева А.М., Оспанов Е.А., Сарсенов Б. Испаряемость и кипение простых веществ. – М.: Научный мир, 2010. – 304 с.
- [13] Леонович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. – М.: Высш. школа, 1983. – 416 с.

## REFERENCES

- [1] Soroko E.M. Structural harmony of systems. - Minsk: Nauka i tehnika, 1984. 264 p. (in Russ.).
- [2] Malyshev V.P. Probabilistic and deterministic mapping. - Almaty, Karaganda Gylym, 1994. - 376 p. (in Russ.).
- [3] Malyshev V.P., Nurmagambetova (Makasheva) A.M. The concept of randomized particles as the basis of a single display of solid, liquid and gaseous substances states. Bulletin of KazNU, Ser. chem. 2004. № 3 (35). p. 53-67. (in Russ.).
- [4] Malyshev V.P., Nurmagambetova A.M. United interpretation of aggregate substance conditions by degree of its chaotization. Eurasian Physical technical journal. - 2004. - Vol. 1. № 2. p. 10-14.
- [5] Malyshev V.P., Bekturgenov N.S., Nurmagambetova A.M., Suleimenov T. Development of a unified theory of randomized particles for solid, liquid and gaseous states and its application to improve technology, increase production and improve the quality of blister copper and copper rods. Bulletin of KazNU. Al-Farabi. - 2007. № 2 (46). p. 55-66. (in Russ.).
- [6] Malyshev V.P., Bekturgenov N.S., Turdukozhayeva (Makasheva) A.M., Suleimenov T. Basic notions and dependences in conception of randomized particles. Bulletin of the National Academy of Engineering. - 2009. - № 1. - p. 71-85. (in Russ.).
- [7] Malyshev V.P., Turdukozhayeva A.M., Suleimenov T. Virtuality of solid, liquid and gaseous states of substance. Encyclopedia of chemical engineering. - 2009. - № 12. - p. 13-23. (in Russ.).
- [8] Malyshev V.P., Abdrakhmanov B.T., Nurmagambetova A.M. Fusibility and plasticity of metals. M.: Scientific World, 2004. 148 p. (in Russ.).
- [9] Malyshev V.P., Makasheva A.M. Bond activation energy of self-diffusion of particles with the concept of randomized particles. Reports of NAS RK - 2014. - № 2. - p. 15-21. (in Russ.).
- [10] Malyshev V.P., Turdukozhayeva A.M. Deformation and fracture of materials as a process of randomization. Deformation & Fracture of Materials and Nanomaterials - DFMN 2011. Book of articles, ed. by O.A. Bannykh et. al. - Moscow: Interkontakt Nauka, 2011. - p. 73-74. (in Russ.).
- [11] Malyshev V.P., Bekturgenov N.S., Turdukozhayeva A.M. Viscosity, fluidity and density of the substance as a measure of their randomization. - M.: Scientific World, 2012. - 288 p. (in Russ.).
- [12] Malyshev V.P., Turdukozhayeva A.M., Ospanov Ye.A., Sarkenov B. Evaporation and boiling of simple substances. - M.: Scientific World, 2010. - 304 p. (in Russ.).
- [13] Leontovich M.A. Introduction to Thermodynamics. Statistical physics. - M.: Higher. School, 1983. - 416 p. (in Russ.).

## ЗАТЫҢ ХАОТИЗАЦИЯ ШАМАСЫ РЕТИНДЕГІ ЖЫЛУ ҚУАТЫ

**В.П.Малышев, А.М.Макашева, Я.А.Федорович**  
eia\_hmi@mail.ru

**Кілт сөздер:** жылу қуаты, Больцман болінісі, хаотизация тосқауылдары, кристаллды қозғалмалы бөлшектер, сүйік қозғалмалы бөлшектер, булы қозғалмалы бөлшектер.

**Т Y C I H I K T E M E** Авторлар жылу қуатын заттың хаотизация шамасы ретінде, балқу және кайнаудың жылу тосқауылдары бойынша оның кристаллды қозғалмалы, сүйік қозғалмалы және булы қозғалмалы сияқты виртуалды (ауыстырмалы) түрдегі уш тәжелімге бөлінуін саралай қарастырады. Бұл заттың уш негізгі қалпын жаңа деңгейде талқылауға мүмкіндік береді - қатты, сүйік және газды. Заттың аталған уш калпы бір материалды бөлшектерден құралып, энергетикалық тұрғыдан эр түрлі бөлшектер үлесінің аракатынасы бойынша ғана өзгешеленеді. Осылайша бұл уш қалыптың едәуір жалпыланған түсінігін қалыптастыру мүмкіндігіне қол жеткізуге болады.

Заттардың созылымдылығын, араласуын, сынғыштығын, булануын, тұтқырлығы мен тығыздығын сипаттау тұрғысынан жаңа қатынастың тәжірибеде қолданылуы да маңызды болып табылады.