

*На правах рукописи*

ЖИЦКИЙ Семен Григорьевич

**ДИССИПАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СИНХРОНИЗАЦИИ  
ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ  
РЕШЕТКИ**

01.04.07 - Физика конденсированного состояния

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени кандидата  
физико-математических наук

ВОРОНЕЖ 2006

Работа выполнена в Воронежском государственном университете

Научный руководитель: кандидат химических наук, доцент  
**Бигюцкая Лариса Александровна**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Юраков Юрий Алексеевич**

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
**Смирнов Дмитрий Алексеевич**

Ведущая организация: Воронежский государственный  
технический университет

Защита состоится «28» декабря 2006 г. в 17 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д.212.038.06 при Воронежском государственном университете по адресу: 394006, г. Воронеж, Университетская площадь 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Воронежского государственного университета

Автореферат разослан «27» ноября 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Дрождин С.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Хаотическое движение в детерминированных нелинейных системах интенсивно изучается в последнее время. Интерес к этой проблеме вызван тем, что детерминированный хаос носит междисциплинарный характер и позволяет применить качественно иные подходы к решению проблем физики нелинейных явлений. Особое внимание вызывает концепция детерминированного хаоса в приложении к рассмотрению неравновесных фазовых переходов, наблюдаемых в конденсированных средах. При исследовании фазовых переходов в конденсированных системах, таких как плавление, разрушение, пластические деформации, наблюдаются переходные процессы, которые сопровождаются термодинамическими неустойчивостями и с позиций неравновесной термодинамики рассматриваются как неравновесные фазовые переходы.

Особую важность в трактовке этих явлений приобретает хаотическая синхронизация как возможный механизм возникновения коллективного коррелированного поведения кристаллической решетки, приводящего к диссипации тепловой, акустической и электромагнитной энергии и образованию наноструктурированных диссипативных систем.

Решение фундаментальных задач механизмов образования диссипативных структур тесно связано с бурно развивающимся наукоемким направлением – индустрией наносистем. Фундаментальной проблемой нанотехнологий является изучение термодинамики и кинетики наносистем. Исследование этой проблемы позволит решить актуальные задачи наноматериаловедения – получение самоорганизованных динамических систем, сформированные в неравновесных условиях, и осуществить переход от изолированных консервативных наносистем к открытым кооперативным.

Работа является частью комплексных исследований, проводимых в рамках гранта РФФИ № 03-03-96027-р2003зчр\_а «Получение, идентификация и параметризация самоорганизованных нанокластеров».

Целью работы являлось исследование динамики тепловых колебаний кристаллической решетки в условиях сильного ангармонизма на основе модели пространственно-распределенных связанных нелинейных осцилляторов.

Задачи, решаемые в диссертационной работе:

1. Построение модели переходных процессов при плавлении на основе пространственно-распределенной системы связанных нелинейных осцилляторов.
2. Исследование условий возникновения эффекта хаотической синхронизации в изотропном и анизотропном случаях.
3. Исследование диссипативных процессов в условиях синхронизации тепловых колебаний.



### Научная новизна:

1. Предложена модель синхронизации пространственно-распределенной системы связанных нелинейных осцилляторов Ресслера для описания динамических эффектов фаз предплавления кристаллических веществ.
2. Определены условия возникновения эффектов синхронизации и кластерообразования в одномерных и двумерных моделях связанных осцилляторов для изотропных и анизотропных систем.
3. Обнаружен эффект диссипации энергии при синхронизации тепловых колебаний в модельной кристаллической решетке.

### Основные положения, выносимые на защиту

1. Описание коллективных эффектов в кристаллической решетке на этапе предплавления в рамках модели связанных нелинейных осцилляторов Ресслера.
2. Динамическое наноструктурирование в изотропных и анизотропных средах как результат синхронизации тепловых колебаний.
3. Диссипация энергии за счет перераспределения кинетической и потенциальной энергии при возрастании ангармонизма тепловых колебаний

### Практическая ценность работы

Предложен подход по исследованию динамики тепловых колебаний кристаллической решетки с помощью методов нелинейной динамики, который может быть использован при моделировании возбужденных состояний с образованием наносистем.

Разработанные модели и программы могут быть использованы при планировании, постановке эксперимента и интерпретации экспериментальных данных по формированию динамических наноструктурированных систем.

### Апробация работы и публикации.

Основные положения и результаты диссертации составили содержание докладов на конференциях международного уровня «16-th European frequency and time forum» (Санкт-Петербург, 2002 г.), «Physics and control» (Санкт-Петербург, 2003г.), «Chaotic oscillations and pattern formation» (Саратов, 2001г.), «Synchro-2002» (Саратов, 2002г.), «5-th international congress of mathematical modeling» (Дубна, 2002г.), «7th International Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter» (Польша, 2003г.), и на конференциях внутрисосийского уровня «ФиПС-2003» (Москва, 2003), «Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах» (Москва, 2004), «Полимеры-2003» (Москва, 2003).

По теме диссертации опубликовано и принято к печати 14 работ (2 статьи в журналах, 12 статей в сборниках трудов научных конференций).

### Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти содержательных глав, заключения, и списка литературы. Общий объем диссертации – 177 страниц. В том числе, 136 страниц текста, 153 рисунков, 4 таблицы, библиография из 151 наименования.

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, основные задачи, научная новизна и практическая значимость результатов, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 проведен обзор литературных данных коллективных явлений вблизи фазового перехода и синхронизации в нелинейных хаотических системах.

Представления о кооперативных переходных процессах при плавлении рассматриваются начиная с классических теоретических и экспериментальных работ Я. И. Френкеля, А. Уббелоде и Н.Мотта. Особое внимание в обзоре уделено микроскопическим моделям Хайта (Khai Y.L.), М.И. Кацнельсона. В работах Хайта переходные процессы при плавлении рассматривались как результат корреляций в фоновой подсистеме. В работах М.И. Кацнельсона был впервые предложен нелинейный подход к динамике кристаллической решетки вблизи фазовых переходов и указано на механизм синхронизации как причину возникновения коллективных явлений. Однако все рассмотренные модели не дают удовлетворительного объяснения экспериментально наблюдаемой эмиссии тепла в области предплавления.

Условия возникновения синхронизации в хаотических системах показаны в работах В.С. Анищенко, А. С. Пиковского и Н. Белых. Это фундаментальное нелинейное явление, которое является тем общим механизмом, который позволяет описывать поведение динамических систем различной природы (физических, биологических, химических). Показано, что в случае систем пространственно-распределенных связанных нелинейных осцилляторов возникает кластеризация. Вместе с тем, несмотря на широкое распространение, явление хаотической синхронизации до сих пор не находило применения в физике конденсированного состояния, хотя феноменологически принято, что синхронизация и стохастический резонанс являются основными механизмами образования диссипативных структур.

Во второй главе проводится построение модели тепловых колебаний кристаллической решетки в условиях сильного ангармонизма вблизи фазового перехода при высоких температурах для объяснения экспериментально наблюдаемой в данной области диссипации тепловой энергии.

Рассматриваемая модель основана на классических моделях кристаллической решетки как системы связанных гармонических осцилляторов (Эйнштейн,

Дебай), которые использовались для расчета термодинамических свойств и энергии кристаллической решетки при низких и средних температурах в условиях термодинамического равновесия. Для моделирования нелинейных динамических эффектов в решетке связанных осцилляторов был выбран нелинейный хаотический осциллятор Ресслера. Осциллятор Ресслера является хорошо изученной системой, применяющийся для описания диссипативных процессов.

Для моделирования динамического поведения идеализированной монокристаллической решетки рассматривалась одномерная и двумерная системы связанных осцилляторов Ресслера. В качестве исходной модели рассмотрим цепочку  $n$  связанных осцилляторов. Задавая в качестве взаимодействия между осцилляторами упругий потенциал  $U(r) = \frac{1}{2}kr^2$ , получим, что уравнение  $i$ -го единичного осциллятора в такой цепочке имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= -\omega_i y_i - z_i \\ \dot{y}_i &= \omega_i x_i + a y_i + k(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}) \\ \dot{z}_i &= b + z_i (x_i - c) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\omega$  — частота рассогласования, индивидуальная для каждого осциллятора,  $a$  — параметр, определяющий режим хаотичности осциллятора,  $b$ ,  $c$  — параметры осциллятора,  $k$  — коэффициент упругой силы (жесткости связи).

Изменение амплитуды колебаний хаотического осциллятора Ресслера, связанное с изменением параметра  $b$ , ведет одновременно к перестройке его хаотического аттрактора, нарушая соответствие приближению твердого тела. Поэтому усиление ангармонизма колебаний при возрастании температуры моделировалось увеличением параметра жесткости связи  $k$  при неизменной амплитуде колебаний модельных осцилляторов. Такая инверсия параметров является адекватной увеличению амплитуды (а следовательно и ангармонизма) тепловых колебаний.

Параметр  $a$  в модели позволяет управлять величиной ангармонизма при данной амплитуде колебаний (что в эксперименте соответствует температуре).

Адекватность выбранной модели динамике колебаний атомов твердого тела проверялась методом молекулярной динамики. При параметрах модели  $0.15 \leq a \leq 0.33$ ,  $0 < k \leq 0.8$ ,  $b = 0.4$  и  $c = 8.5$  траектории движения осцилляторов обладают наилучшим соответствием с траекториями тепловых колебаний атомов.

В качестве параметра порядка (критерия наступления синхронизации в системе) выбрана средняя разность фаз колебаний между соседними осцилляторами модели  $\Phi_{\text{ср}}$ .

Условия возникновения эффекта синхронизации изучались в зависимости от режимов хаоса (слабый хаос при значениях параметра  $a \leq 0.21$  и сильный хаос при  $0.21 \leq a \leq 0.3$ ), параметра жесткости связи  $k$  и длины цепочки.

Получено численное решение системы уравнений модели (1) для цепочек из 5 и 50 осцилляторов с различными  $k$ .

На рис. 1 представлена зависимость средней разности фаз колебаний  $\Phi_{cp}$  цепочки осцилляторов от времени. При  $\Phi_{cp} \approx 0$  колебания синхронны (моменты времени 1,2 для цепочки из 5 сильносвязанных осцилляторов). Таким образом, в связанных цепочках хаотических осцилляторов при значениях параметра жесткости связи  $0.5 \leq k \leq 0.8$  возможна синхронизация как в условиях слабого, так и сильного хаоса ( $0.21 \leq a \leq 0.3$ ).

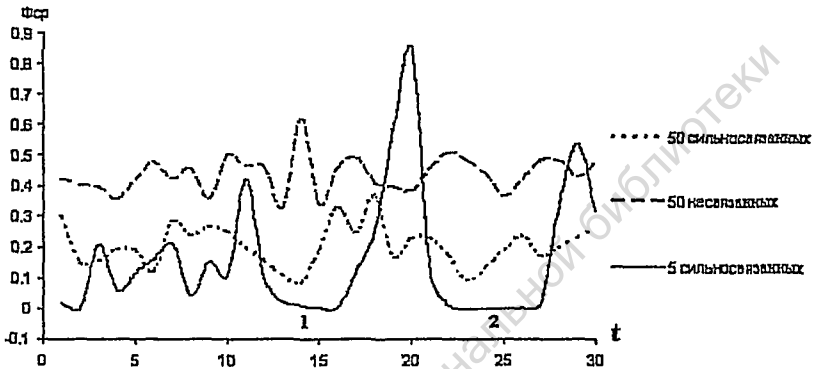


Рис. 1. Синхронизация в цепочках из 5 и 50 осцилляторов с различной жесткостью связи 1,2-моменты полной синхронизации ( $\Phi_{cp} \approx 0$ ).

При изменении размеров цепочки от 5 до 50 осцилляторов происходит увеличение  $\Phi_{cp}$ . Синхронизация имеет динамический характер и в зависимости от параметров системы может иметь 3 режима: полная синхронизация, локальная синхронизация и рассинхронизация.

В третьей главе проводится изучение коллективных эффектов при синхронизации в изотропной двумерной решетке связанных нелинейных осцилляторов ( $k_x = k_y$ ) размером  $n \times n$  (рис. 2).

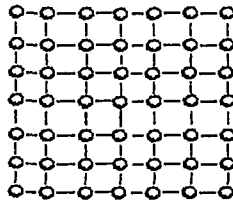


Рис. 2. Модель двумерной решетки связанных осцилляторов.

Уравнения движения  $i,j$ -го осциллятора изотропной системы имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{i,j} &= -\omega_{i,j} y_{i,j} - z_{i,j} + k(x_{i,j-1} - 2x_{i,j} + x_{i,j+1}) \\ \dot{y}_{i,j} &= \omega_{i,j} x_{i,j} + a y_{i,j} + k(y_{i-1,j} - 2y_{i,j} + y_{i+1,j}) \\ \dot{z}_{i,j} &= b + z_{i,j} (x_{i,j} - c) \end{aligned} \quad (2)$$

При численном моделировании использовались периодические граничные условия.

Для двумерной модели исследовалась возможность возникновения синхронизации при различных режимах хаотичности осцилляторов решетки, параметра жесткости связи между осцилляторами, зависимость степени синхронности колебаний от размера матрицы осцилляторов (числа  $n$ ). Был предложен критерий определения степени синхронности осцилляторов решетки с помощью трехмерного графика (рис 3), где каждый заданный интервал разности фаз между осцилляторами отображается соответствующим цветом.

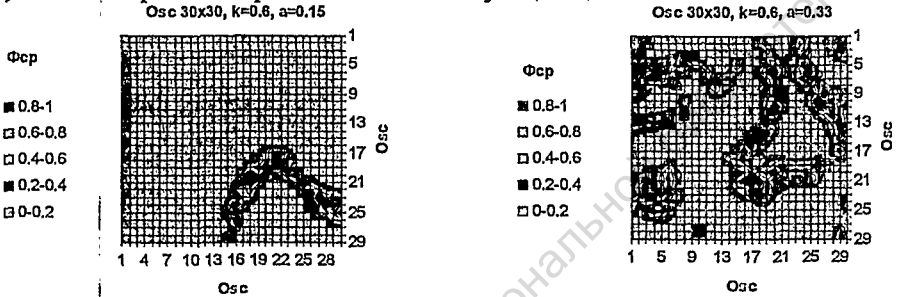


Рис. 3. Мгновенные значения разностей фаз колебаний осцилляторов в решетке  $30 \times 30$  осцилляторов при  $k = 0.6, a = 0.15$  (слабый хаос, сильная связь) и  $k = 0.6, a = 0.33$  (сильный хаос, сильная связь).

Такое представление диаграммы разностей фаз в решетке связанных осцилляторов позволяет визуально идентифицировать наступление синхронизации в системе по преобладанию того или иного цвета на диаграмме в данный момент времени.

При изучении динамики хаотических осцилляторов в двумерной решетке размером от  $10 \times 10$  до  $500 \times 500$  осцилляторов в интервале параметров  $0.21 \leq a \leq 0.33, 0.5 \leq k \leq 0.8$  также наблюдается динамическая синхронизация, которая, в отличие от одномерной модели, носит только локальный характер. Такие локальные области содержат не более нескольких десятков осцилляторов, поэтому применительно к кристаллической решетке можно считать их наноразмерными. Увеличение параметра хаотичности  $a$  заметно снижает общую площадь локально синхронизированных областей – динамических синхронизированных нанокластеров.

Для количественного изучения процесса синхронизации в двумерной системе связанных осцилляторов Ресслера производилась идентификация моментов синхронизации и рассинхронизации для каждого осциллятора.

Было обнаружено, что характер зависимости доли синхронизированных кластеров от степени хаотичности и параметра связи носит пороговый характер (рис. 4).



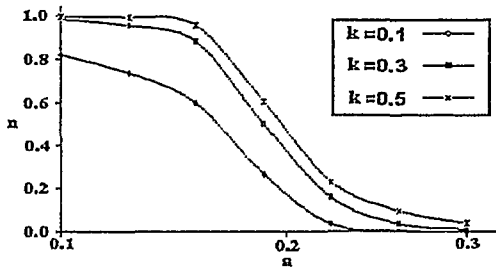


Рис. 4. Зависимость доли синхронизированных осцилляторов  $n$  от параметра хаотичности  $a$  при различных значениях жесткости связи  $k$ .

При этом доля синхронизированных осцилляторов даже в условиях сильной хаотичности достигает 5 % и более (рис. 5).

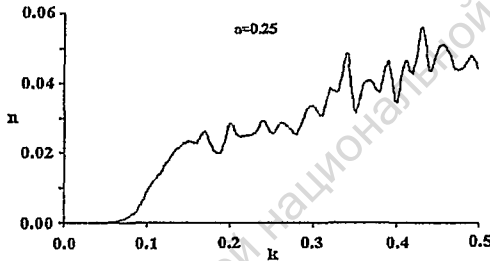


Рис. 5. Зависимость доли синхронизированных осцилляторов  $n$  от жесткости связи  $k$ , параметр хаотичности  $a=0.25$

Было найдено распределение нанокластеров по времени жизни, которое оценивалось в средних периодах колебаний осциллятора Ресслера (рис. 6). Достаточно долгоживущие нанокластеры включают в себя минимальное число осцилляторов, не превышающее 2-3, максимальное время жизни синхронизированного нанокластера составляет  $\sim 200$ -250 периодов колебаний.

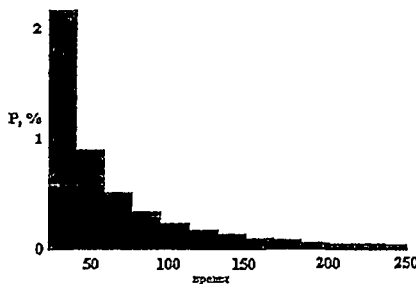


Рис. 6. Плотность вероятности нахождения единичного осциллятора в синхронизированном состоянии в зависимости от времени (в средних периодах колебаний).

Таким образом, в двумерной решетке связанных нелинейных осцилляторов в отличие от одномерной решетки наблюдаются 2 режима: локальная синхронизация и рассинхронизация. Локальная синхронизация в решетке имеет пороговый характер и определяется величиной жесткости связи  $k$ . Начиная с размера  $50 \times 50$  осцилляторов качественных изменений в динамике исследуемой системы не происходит. Для кристаллической решетки образование локальных синхронизированных областей тепловых колебаний рассматриваются как процесс упорядочения, а области упорядочения — как динамические нанокластеры.

В четвертой главе проводится изучение коллективных эффектов при синхронизации в анизотропной ( $k_x < k_y$ ) двумерной решетке связанных нелинейных осцилляторов Ресслера.

Для анизотропной решетки уравнения движения  $i, j$ -го осциллятора системы имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{i,j} &= -\omega_{i,j} y_{i,j} - z_{i,j} + k_x (x_{i,j-1} - 2x_{i,j} + x_{i,j+1}) \\ \dot{y}_{i,j} &= \omega_{i,j} x_{i,j} + \alpha y_{i,j} + k_y (y_{i-1,j} - 2y_{i,j} + y_{i+1,j}) \\ \dot{z}_{i,j} &= b + z_{i,j} (x_{i,j} - c) \end{aligned} \quad (3)$$

При изучении динамики хаотических осцилляторов в двумерной анизотропной решетке размером от  $10 \times 10$  до  $500 \times 500$  осцилляторов в интервале параметров  $0.21 \leq a \leq 0.33$ ,  $0.5 \leq k \leq 0.8$  методом визуализации синхронизированных областей наблюдалась локальная динамическая синхронизация, как и в изотропном случае. Влияние параметра хаотичности  $a$  так же аналогично изотропному случаю — понижение параметра порядка  $\Phi_{cp}$  с ростом  $a$ . Вместе с тем, наличие анизотропии приводит к принципиальным особенностям. Если в изотропных средах синхронизация имеет статистический неупорядоченный характер, то в анизотропных средах появляется направленный характер синхронизации. Степень упорядочения синхронизированных кластеров зависит от величины коэффициента анизотропии.

Направленный характер синхронизации в анизотропной решетке приводит к перераспределению количества синхронизированных осцилляторов по выбранным направлениям. С возрастанием жесткости связи  $k$  количество синхронизированных осцилляторов по данному направлению так же возрастает (рис. 7).

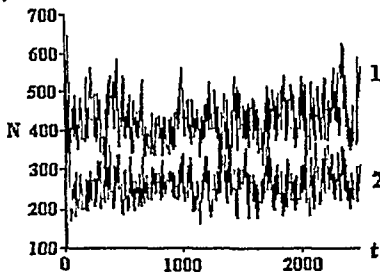


Рис. 7. Влияние анизотропии решетки ( $k_x=0.3$ ,  $k_y=0.5$ ) на количество синхронизированных осцилляторов (1- ось  $y$  2- ось  $x$ ) в системе  $50 \times 50$  связанных осцилляторов Ресслера при  $a=0.3$ .

Различие в количестве синхронизированных осцилляторов по осям  $x$  и  $y$  решетки соответствует анизотропии параметра порядка  $\Phi_{cp}$ .

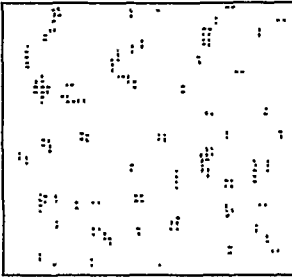


Рис. 8. Влияние анизотропии решетки ( $k_x=0.3$ ,  $k_y=0.5$ ) на процесс нанокластеризации в системе  $50 \times 50$  связанных осцилляторов Рёсслера при  $a=0.3$ .

Возникновение направленности синхронизации в анизотропной решетке приводит к образованию упорядоченных динамических структур вдоль выделенных направлений, степень упорядочения зависит от коэффициента анизотропии (рис. 8).

В пятой главе проводится расчет изменения кинетической и потенциальной энергии пространственно-распределенной модели с учетом различных типов взаимодействия связанных осцилляторов решетки.

Для изучения особенностей влияния вида потенциала взаимодействия между осцилляторами, расчет энергетических соотношений проводился с учетом гармонического потенциала взаимодействия и с потенциалом взаимодействия Леннарда-Джонса.

С учетом потенциала взаимодействия Леннарда-Джонса уравнение (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{i,j} &= -\omega_{i,j} y_{i,j} - z_{i,j} + k(x_{i-1,j} - 2x_{i,j} + x_{i+1,j}) + \gamma(x_{i-1,j}^2 + 2x_{i,j}(x_{i+1,j} - x_{i-1,j}) - x_{i+1,j}^2) \\ \dot{y}_{i,j} &= \omega_{i,j} x_{i,j} + a y_{i,j} + k(x_{i,j-1} - 2x_{i,j} + x_{i,j+1}) + \gamma(x_{i,j-1}^2 + 2x_{i,j}(x_{i,j+1} - x_{i,j-1}) - x_{i,j+1}^2) \\ \dot{z}_{i,j} &= b + z_{i,j}(x_{i,j} - c) \end{aligned} \quad (3)$$

В результате моделирования было получено, что вид потенциала взаимодействия не оказывает заметного влияния на режимы локальной синхронизации (рис. 9).

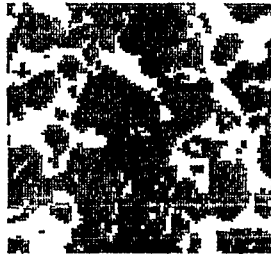


Рис. 9. Синхронизация в решетке связанных осцилляторов размером  $100 \times 100$  осцилляторов с потенциалом взаимодействия Леннарда-Джонса. Режим сильного хаоса.

При оценке изменения потенциальной энергии системы в области синхронизации для различных режимов хаоса показано, что переход системы в синхронизированное состояние сопровождается уменьшением потенциальной энергии системы вне зависимости от вида потенциала взаимодействия. На рис. 10 приведен пример уменьшения потенциальной энергии системы при увеличении жесткости связи в пределах  $0.15 \leq k \leq 0.75$  в режиме сильного хаоса  $\alpha=0.3$  в решетке размером  $100 \times 100$  связанных осцилляторов.

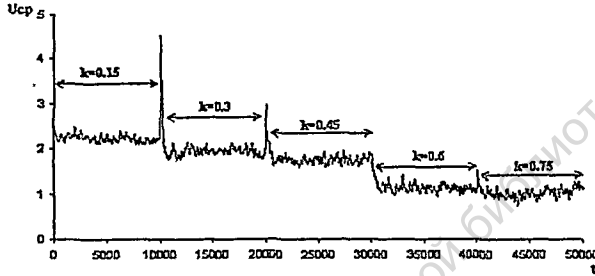


Рис. 10. Изменение средней потенциальной энергии системы  $100 \times 100$  в режиме сильного хаоса при возрастании жесткости связи между осцилляторами.

Уменьшение потенциальной энергии при синхронизации свидетельствует о наличии диссипации энергии в системе. В случае, если высвободившаяся потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию движения атомов, должна происходить эмиссия тепла. Для оценки кинетической энергии рассчитывался квадрат скорости движения осцилляторов модели.

В результате расчетов показано, что соотношение между потенциальной и кинетической энергией системы при росте ангармонизма системы, контролируемого параметром жесткости связи  $k$ , характеризуется 3 областями (рис. 11).

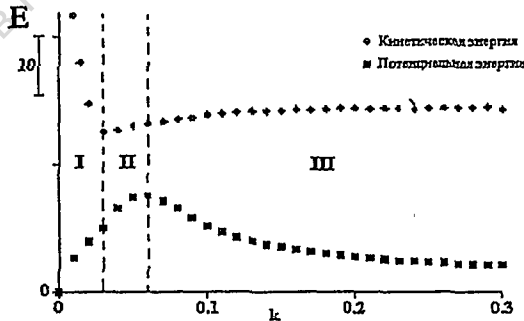


Рис. 11. Перераспределение энергии при фазовой синхронизации в системе  $50 \times 50$  связанных осцилляторов Рёсслера-эффект перехода потенциальной энергию в кинетическую при увеличении жесткости связи  $k$ .

В классической теории с ростом температуры (что соответствует увеличению жесткости связи в модели) в твердом теле происходит рост как кинетической, так и потенциальной энергии. В области I модельной системы происходит уменьшение кинетической энергии и рост потенциальной энергии. Следовательно, область I является нерабочим интервалом жесткости связи  $k$  для модели. В области II возрастание с ростом температуры кинетической и потенциальной энергии соответствует классическому случаю. Область III (уменьшение потенциальной энергии, сопровождающееся ростом кинетической энергии) является неклассическим случаем, соответствующим представлениям о неравновесных диссипативных системах. Уменьшение потенциальной энергии за счет эффекта хаотической синхронизации приводит к дополнительной диссипации энергии в системе.

При описании динамики тепловых колебаний кристаллической решетки с помощью модели пространственно-распределенных связанных хаотических осцилляторов выявлено, что в условиях сильного ангармонизма в результате синхронизации наблюдаются признаки самоорганизации системы:

- пороговый характер нелинейных динамических эффектов
- коллективность микроскопических процессов с образованием динамических нанокластеров
- многозначность сценариев возникновения возбужденных состояний
- дополнительная диссипация энергии за счет уменьшения потенциальной энергии

Результаты моделирования позволяют классифицировать большое количество нелинейных динамических явлений в конденсированных средах (предплавление и другие фазовопереходные процессы в динамических условиях, пластическая деформация, разрушение) как эффекты самоорганизации и рассматривать эти системы как технологические среды для нанотехнологий.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Для описания тепловых колебаний в кристаллической решетке в условиях ангармонизма, возникающего на этапе предплавления, использована модель решетки связанных нелинейных осцилляторов Ресслера с параметром порядка средней разностью фаз  $\Phi_{sp}$  системы, параметром хаотичности  $a$  в пределах  $0.15 \leq a \leq 0.33$ , параметром жесткости связи  $k$  в пределах  $0 \leq k \leq 0.8$  и периодическими граничными условиями. Адекватность модели проверялась на примере одномерной цепочки связанных осцилляторов и методами молекулярной динамики.
2. Для двумерной изотропной модели решетки связанных нелинейных осцилляторов показано, что при пороговых значениях параметра жесткости связи возникает динамическая локальная синхронизация тепловых колебаний, приводящая к нанокластеризации системы.

3. Установлена зависимость времени жизни и размеров нанокластеров от параметров модели.
4. При исследовании влияния параметров изотропной модели на условия формирования динамических нанокластерных систем показано определяющее влияние жесткости связи между осцилляторами модели при хаотичности единичного осциллятора в пределах  $0.15 < a < 0.33$ .
5. При исследовании влияния параметров анизотропной модели на условия формирования динамических нанокластерных систем показана анизотропия параметра порядка, приводящая к анизотропии динамической наноструктуры.
6. Показано, что в условиях сильного ангармонизма в синхронизированной решетке происходит перераспределение между потенциальной и кинетической энергией тепловых колебаний, что приводит к диссипации тепловой энергии и рассматривается как механизм эмиссии тепла в области предплавления.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Жицкий С.Г. Моделирование кооперативных эффектов предплавления с позиций теории детерминированного хаоса / Жицкий С.Г. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. - 2004. - Т.12, № 3. - С. 65-73.
2. Жицкий С.Г. Нелинейно-динамическая модель эффекта предплавления / Битюцкая Л.А., Жицкий С.Г., Богатиков Е.В., Шебанов А.Н. // Конденсированные среды и межфазные границы. - 2006. - Т.8, № 2. - С.89-94.
3. Zhitskey S.G. Modelling of excited states of a crystal basing on the frequency-phase synchronization of vibrations of a crystal site lattice/ Bityutskaya L.A., Zhitskey S.G.// 16-th European frequency and time forum: Proceedings of Int. Conference. - St. Petersburg. - 2002. - V.2. - P. 134.
4. Zhitskey S.G. Modeling of excited states of a crystal basing on the frequency-phase synchronization of vibrations of crystal site lattice / Bityutskaya L.A., Zhitskey S.G. // Physics and control: Proceedings of Int. Conference. - St. Petersburg. - 2003. - V. 3. - P. 333-334.
5. Жицкий С.Г. Моделирование кооперативных эффектов предплавления с позиций теории детерминированного хаоса / Битюцкая Л.А., Жицкий С.Г. // Chaotic oscillations and pattern formation: Тезисы Междунар. конф. - Саратов. - 2001. - С. 54.
6. Zhitskey S.G. Synchronization and cluster formation during phase-transient processes based on model of lattice coupled oscillators / Bityutskaya L.A., Zhitskey S.G.// Synchro-2002: Abstr. of Int. Conference. - Saratov. - 2002. - P. 47-48.
7. Zhitskey S.G. Synchronization effect at phase-transient processes / Bityutskaya L.A., Zhitskey S.G. // 5-th international congress of mathematical modeling: Abstr. of Int. Conference. - Dubna. - 2002. - P.104.
8. Zhitskey S.G. Modeling of excited states of a crystal basing on the two-dimensional lattice coupled chaotic oscillators / Bityutskaya L.A., Zhitskey

- S.G. // 7th International Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter: Abstr of Int. Conference. – Poland. – 2003.
9. Жицкий С.Г. Реконструкция временных рядов переходных процессов при плавлении теллура / М.Ю. Хухрянский, С.Г. Жицкий, Л.А. Битюцкая, Е.С. Машкина // Фракталы и прикладная синергетика: Тр. Международ. междисциплинар. симп. - Москва. - 2001. - С. 23-25.
  10. Жицкий С.Г. Моделирование кооперативных эффектов предплавления с позиций теории детерминированного хаоса / Л.А. Битюцкая, С.Г. Жицкий // ФиПС-01: Материалы Междунар. междисциплинарного симп. – Москва. - 2001. - С. 68-70.
  11. Жицкий С.Г. Моделирование кооперативных эффектов предплавления с позиции теории детерминированного хаоса / Л.А. Битюцкая, С.Г. Жицкий // Нелинейные процессы в дизайне материалов: Тезисы Межд. школы-семинара. – Воронеж. - 2002. - С. 165-168.
  12. Жицкий С.Г. Моделирование кооперативных процессов при фазовых переходах / Л.А. Битюцкая, С.Г. Жицкий // Полиматериалы-2003: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Москва. - 2003. - С. 73-80.
  13. Жицкий С.Г. Эффект синхронизации и наноструктурирование при фазовых переходах / Л.А. Битюцкая, С.Г. Жицкий // ФиПС-03: Тр. Международ. междисциплинар. симпозиума. – Москва. - 2003. – С.259-264.
  14. Жицкий С.Г. Моделирование динамической неустойчивости фазово-переходных процессов / С.Г. Жицкий // Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах: Материалы Международ. науч.-техн. семинара. – Москва. - 2004 г. - С. 104-108.

Публикация [1] размещена в рецензируемом журнале, входящем в список журналов, рекомендованных ВАК РФ.

2006A  
27811

№27811

Из фондов Российской национальной библиотеки