



РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ

И.Н. Серов¹, В.И. Марголин^{1,2,4}, В.А. Жабрев^{3,4}, Н.А. Потсар^{2,4}, И.А. Солтовская¹,
В.А. Тупик^{2,4}, В.С. Фантиков^{2,4}

¹Научно-исследовательский центр Фонда развития новых медицинских технологий "Айрэс", Санкт-Петербург; e-mail foundation@aires.fund

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"; e-mail v.margolin@mail.ru

³Институт химии силикатов РАН им. И.В. Гребенщикова, Санкт-Петербург; e-mail ichsran2@mail.wplus.net

⁴Совместная межпрофильная научно-исследовательская лаборатория "Фрактальная нанотехнология".

Проанализированы вопросы, связанные с экспериментальными и теоретическими исследованиями в области взаимодействия слабых воздействий различных полей с физическими объектами в условиях, когда величина воздействия является малым и сверхмалым возмущением. Рассмотрены различные типы резонансных взаимодействий, связанных с этими процессами и перспективы применения их в нанотехнологии. Приведены результаты экспериментальных исследований в области фрактальной нанотехнологии.

Введение

В последнее время значительный интерес вызывают проблемы, связанные с освоением нанометрового диапазона размеров элементов техники различного назначения. Особенно это касается микро- и нано-электроники, материаловедения, химии наноразмерного состояния и ультрадисперсных частиц и ряда других областей научной деятельности. После изобретения туннельно-зондового и атомно-силового микроскопов открылась реальная возможность манипулировать отдельными атомами или наноразмерными частицами и даже выстраивать из них упорядоченные структуры на атомно-молекулярном уровне [1-3]. С точки зрения познания окружающего мира и физических законов микро- и наномира эти возможности трудно переоценить, но с точки зрения практического и тем более промышленного применения вопрос использования подобных технологий пока остается открытым, поскольку такие технологии принадлежат к индивидуальным методам обработки материалов, а массовое промышленное развитие технологий возможно только на основе групповых методов обработки [4], что вызывает эволюционный прогресс в развитии технологического оборудования, направленный на увеличение размера изделий, запускаемых в одном цикле на обработку. Поэтому просматривается необходимость и в области нанотехнологии и наноэлектроники каким-либо образом инициировать разработку и развитие групповых методов обработки. Вполне вероятно, что дальнейшая эволюция технологии микро и наноэлектроники пойдет по пути развития групповых методов обработки с использованием принципов самоорганизации и самокоррекции создаваемых элементов и на основе результатов экспериментальных исследований, связанных с резонансными методами создания организован-

ных и упорядоченных структур [5].

Слабые и сверхслабые воздействия и "проблема КТ"

К настоящему времени накоплен обширный научный материал по экспериментально обнаруженным эффектам, связанным со слабыми и сверхслабыми воздействиями различной природы на разнообразные физические и биологические объекты и процессы. Несмотря на то, что интенсивность этих воздействий исключительно мала, факты такого влияния однозначно зафиксированы для самых различных типов воздействий и разнообразных физических систем. Особый интерес эти явления представляют для нанотехнологии, поскольку соизмеримость размеров нанофазного материала с характерным размером для того или иного физического явления (дрейфовая длина, размер домена и т.д.) вызывает разнообразные размерные эффекты, а увеличенная поверхностная энергия наночастиц приводит к метастабильному состоянию материалов, находящихся в ультрадисперсном состоянии [6]. К примеру, для поверхностных структур с нанометрическими размерами, напряженности локальных электрических полей приближаются к внутриатомным полям ($E = 10^8 - 10^9$ В/см), при этом начинают проявляться эффекты изменения электронно-зонной структуры. Могут изменяться межатомные расстояния и происходить перестройка кристаллической структуры вплоть до перехода кристаллической структуры в аморфное состояние [7]. Для высокодисперсных частиц характерна структурная, фазовая и концентрационная неоднородность, в них реализуется особый тип структурного дальнего порядка, при котором межатомное расстояние закономерно изменяется при переходе от центра частицы к ее поверхности. Следствием этого является возбужденное состояние атомов в решетке, что служит главной причиной повышенной физико-химической активности высокодисперсных систем [8] и условия для возникновения различного рода резонансных явлений являются наиболее благоприятными.

В [9,10] при изучении влияния импульсных магнитных полей (ИМП) на конденсируемые среды установлено, что кратковременное воздействие слабых ИМП вызывает долговременное изменение структуры и физических свойств широкого класса немагнитных материалов, причем наблюдается запаздывание проявления эффектов после окончания воздействия и долговременный немонотонный характер кинетики этих процессов. В [11] показано, что под воздействием слабого ИМП (с амплитудой порядка 0,015 Тл, частоте 50 Гц, длительности импульса 500 мкс и общего времени воздействия 50 с) на модельный полимер меняются температура плавления, энергия активации и температура кристаллизации через 25 часов после снятия воздействия и остаются неизменными в течение 1500 часов.

Аналогичные результаты по воздействию слабых ИМП (0,4 Тл) на плоскопараллельные пластины монокристаллического кремния были получены в работе [12]. Уста-

новлено, что кратковременное воздействие ИМП приводит к долговременным немонотонным изменениям, на сей раз топологии поверхности. Зафиксированные изменения достигают максимума в районе 150 – 200 часов после снятия воздействия. Похожие эффекты наблюдаются в высокотемпературных сверхпроводниках [13] и пленках борида циркония, нанесенных на стальную подложку [14]. И хотя достаточно очевидно, что в данном случае при применении слабых и сверхслабых магнитных полей для воздействия на различные физические структуры мы имеем дело с одним и тем же физическим механизмом, для каждого конкретного случая обычно подбирается более или менее удобоприемлемое объяснение.

Аналогичные по сути явления наблюдались и в биологических системах, чему посвящена обзорная работа по магнитобиологии [15], в которой отмечается, что хотя магнитобиология развивается уже порядка 20 лет, до сих пор отсутствует теория и общие физические концепции магнитобиологии, нет даже предсказательных теоретических моделей. Магнитобиология изучает, в основном, биологические реакции и механизм действия очень слабых (менее 1 мТл) магнитных полей. Предполагается, что для биологических систем действия таких полей лежат ниже порога включения защитных биологических механизмов и способны накапливаться на субклеточном уровне - уровне генетических процессов. При этом делаются предположения об информационном характере действия слабых физико-химических факторов на биологические системы, полагая, что такие системы находятся в состоянии весьма далеком от равновесия, и достаточно слабого воздействия, чтобы система прошла точку бифуркации, реализовав биологическое усиление слабого сигнала магнитного поля. Вопрос о том, почему тепловые флуктуации, величина которых на десять порядков превосходит квант энергии магнитного поля, не разрушают магнитобиологический эффект, связывают с идеей когерентного воздействия внешнего фактора на фоне некогерентного теплового шума. Тогда за счет пространственной когерентности можно раскачать систему осцилляторов и высвободить квант энергии коллективного возбуждения, хотя и по этому поводу существуют различные воззрения [16]. При этом надо также иметь в виду, что само понятие "КТ" происходит из статистической физики и имеет смысл только для систем в состоянии, близком к равновесному. В системах, далеких от равновесия квант поля вызывает большое относительное изменение энергии некоторых степеней свободы и это характерно именно для биологических систем [15].

Для объяснения подобных эффектов можно привлекать и весьма сложные теоретические представления и построения. В [17] постулируется, что в любой системе часть атомов может находиться в "мягком" состоянии, а часть в "твердом" состоянии. Термин "мягкие" определяет структурные состояния, которые обладают дополнительной степенью свободы в конфигурационном пространстве и обусловлены пространственными

флуктуациями параметров ближнего порядка. Атомы в "мягких" состояниях обладают значительным уровнем статических смещений, ангармонизмом колебаний и, соответственно, возможностью пространственной перегруппировки. Формирование структуры в некристаллических твердых телах связано с самосогласованным созданием областей "мягких" состояний и такой эволюции температурного поведения среды, которая соответствует минимуму диссипации энергии при данных технологических режимах. При этом при переходе через точку бифуркации к некристаллическому состоянию увеличивается алгоритмическая сложность (информационная составляющая диссипативной структуры), что сопровождается возрастанием упорядоченности на уровне мезоскопического порядка диссипативной структуры. Можно сказать, что кинетика некристаллических тел действует как своего рода селектор, сохраняя только те случайные последовательности, которые совмещаются с физико-химическими законами неравновесной динамики и информацией и допускает существование асимптотически устойчивых и воссоздаваемых состояний [17].

Поскольку предполагается, что все наноструктуры являются твердотельными, то в них, как в упругой среде, могут возникать объемные и, особенно, поверхностные волны, локализованные вблизи границ зерен. Свойство поверхностных волн локализовать энергию возмущений, созданных на поверхности в узком приповерхностном слое приводит к резонансным явлениям, сопровождающим движение вдоль поверхности источников возмущений. Причем в упругой среде резонансные эффекты проявляются тогда, когда изначально там не было свободных поверхностей, появившихся потом в результате, например, возникновения и развития трещин [18], которые в подавляющем большинстве носят фрактальный характер. Естественно предположить, что большинство наблюдаемых эффектов воздействия слабых и сверхслабых возмущений на физические (а в широком представлении не только физические) системы связано с резонансными процессами.

Влияние процессов самоорганизации на образование наноструктур

При достижении некоторого критического значения внешнего воздействия на систему, при котором образуются пространственно-организованные структуры, система переходит в некий особый режим, что находится в полном согласии с принципами самоорганизации и физики открытых систем, начало которым положили работы Пригожина и Стенгерс [19]. Общим свойством самоорганизующихся систем является самосогласованность микрообъектов системы. Такое поведение называется когерентным и требует специфических динамических связей внутри системы. Самоорганизованные структуры возникают в открытых системах, то есть системах, подвергающихся воздействию извне притока вещества или энергии (а в общем случае и информации) через гра-

ницы системы, однако это условие является обязательным, но не достаточным [20]. Соответственно, можно утверждать, что процесс самоорганизации является переходом от беспорядочного движения, хаотического состояния через нарастание флуктуаций к новому порядку. Однако здесь имеются некоторые нюансы.

Безусловно, в системе возникает новый порядок, но он может быть как более совершенным (более упорядоченным, более высокоструктурированным и т.д.), так и менее совершенным, являясь тем не менее для системы *новым* порядком. Для повышения степени организованности системы необходимо привнести в нее некоторую мощность для инициации начала процесса структурной перестройки. Но при этом, как мы полагаем, необходимо параллельно ввести в систему также структурирующее организующее информационное начало, каковым, к примеру, в процессах кристаллизации является вносимая в расплав затравка. Понятно, что это вносимое информационное начало должно иметь уровень структурной организованности и информационной насыщенности существенно более высокий, чем сама система. При осмысленном и управляемом введении в систему информационной составляющей можно в определенной степени прогнозировать параметры нового организованного порядка. Из этого можно сделать вывод, что простое наращивание мощности, интегрируемой в систему, без информационной составляющей, хотя и приведет к созданию нового порядка, но порядок этот будет менее организованным. Ответ на вопрос, каким образом система накапливает необходимую энергию и переходит к когерентному поведению, требует специального исследования [21].

Когда характерные размеры системы оказываются сравнимыми с масштабом когерентности электронной волновой функции, что позволяет отнести такую систему к наноразмерной, проявляется квантовый размерный эффект: свойства системы становятся зависимыми от ее формы и размеров. Способность современной полупроводниковой технологии производить структуры, в которых реализуется квантовый размерный эффект, делает реальным исследование поведения подобных систем пониженной размерности (с почти двумерным, одномерным и даже нульмерным характером электронных состояний) и открывает широкие перспективы их использования в электронике, наноэлектронике и оптоэлектронике [22].

Анализ некоторых вопросов резонансного воздействия на структуру вещества

В связи с отсутствием общепринятого воззрения на механизмы поглощения энергии внешнего поля наноразмерными системами и, особенно с "проблемой КТ", авторы [23] предложили понятие диссипативного резонанса. Смысл этого явления заключается в возможности перехода энергии внешнего поля в энергию механических колебаний вязкоупругой распределенной среды, содержащей частицы - акцепторы электромагнит-

ного излучения. Взаимодействие внешнего поля и вязкоупругой среды может в результате привести к образованию в системе структуры порядка, в чем-то сопоставимой с фазированной решеткой. При этом индивидуальные колебания частиц акцепторов под действием внешнего поля складываются синфазно, что приводит к увеличению энергии колебательного процесса, существующего в среде до величин, превышающих порог теплового шума (КТ) [24]. Авторы этой идеи ввели и обосновали понятие диссипативного резонанса и пришли к выводу, что в данном случае имеет место новый важный класс физических явлений. Это может не только объяснить характер совместного воздействия слабых электромагнитных полей на различные физико-химические системы, в том числе и биологические, но и играет важную роль в структурной организации этих объектов. Явление диссипативного резонанса имеет определенное сходство с явлением стохастического резонанса [25-27], рассмотренного ниже. В отличие от мнения авторов этих работ, мы вводим новое понятие акцептора, включающее в себя не только тепловой шум, но, что особенно важно, и информационную составляющую кванта энергии. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен ниже.

В общем представлении диссипативный резонанс - это явление нарастания колебаний под действием внешних периодических сил за счет образования в системе структуры порядка. Это частный случай более общего класса процессов самоорганизации в диссипативных структурах, отличительной особенностью которого является квазипериодический характер изменения некоторых параметров системы. Диссипативный резонанс является принципиально новым классом физических явлений резонансного типа [28]. Одна из его характерных особенностей - отсутствие какой-либо выделенной резонансной частоты, поскольку система обладает способностью "настраиваться" на произвольную внешнюю частоту, при этом время нарастания колебаний определяется не временем установления колебаний, а именно временем настройки системы (временем возникновения структуры порядка). Однако явление диссипативного резонанса представляет собой лишь один из возможных кооперативных механизмов воздействия электромагнитных полей низкой интенсивности на биологические и физико-химические системы [28]. Весьма интересная задача - изучение систем, в которых одновременно наблюдается диссипативный и стохастический резонансы.

Явление стохастического резонанса, находящееся в некотором согласовании с явлением диссипативного резонанса, было обнаружено примерно двадцать лет назад и получило в радиотехнике название стохастической фильтрации. Было установлено, что наличие источников шума в нелинейных динамических системах может индуцировать принципиально новые режимы функционирования, которые не могут быть реализованы в отсутствие шумов [27]. Оказалось, что шум в таких системах может играть конструктивную роль, вызывая рост степени порядка. Эффект стохастического резонанса опре-

деляет группу явлений, при которых отклик нелинейной системы на слабый внешний сигнал заметно усиливается с ростом интенсивности шума в системе. При этом интегральные характеристики процесса на выходе системы (коэффициент усиления и соотношение сигнал/шум) имеют выраженный максимум при некотором, оптимальном уровне шума. Эффект стохастического резонанса представляет собой фундаментальное общее физическое явление, типичное для нелинейных систем, в которых с помощью шума можно контролировать один из характерных временных масштабов системы. Независимо от характеристик системы и структуры сигналов явлению стохастического резонанса присущи общие фундаментальные свойства, проявляющиеся в увеличении степени порядка в выходном сигнале при оптимальном уровне шума [25].

Для систем, демонстрирующих динамический хаос, типично сосуществование в фазовом пространстве аттракторов различного типа. В отсутствие внешнего шума фазовая траектория будет принадлежать тому или иному аттрактору в зависимости от начальных условий [26]. Воздействие внешнего шума приведет к возникновению случайных переключений между сосуществующими аттракторами системы, статистика которых будет определяться свойствами шума и динамической системы. Стохастическая динамика переключений может быть ассоциирована с информационным потоком через систему. Информация об амплитуде и фазе сигнала закодирована во временах между переключениями системы [25]. Есть основания полагать, что в процессе эволюции живые организмы приспособились использовать неустранимый внутренний шум и шум окружающей среды для оптимального выделения полезной информации, т.е. той составляющей, о которой мы упоминали выше.

При воздействии периодическим сигналом на стохастические системы имеет место стохастическая синхронизация, т.е. может происходить захват системой частоты внешнего сигнала и появляется возможность управлять параметрами системы, находящейся в состоянии стохастической нелинейной динамики, может иметь место также синхронизация ансамбля стохастических резонаторов слабым внешним периодическим сигналом. Этот случай особенно важен для исследования биологических систем. Новое обстоятельство связано с тем, что роль шумового колебания, необходимого для реализации стохастического резонанса, выполняет внутренний шум биологической системы [27].

Поскольку, как мы склонны полагать, большинство твердотельных структур в той или иной степени обладает фрактальными свойствами, то в принципе не обязательно обеспечивать резонансное взаимодействие с каждым конкретным узлом кристаллической решетки или конкретной наночастицей, т.к. фрактальная структура является акцептором информационной составляющей. Достаточно обеспечить его для достаточно большой локальной группы атомов, преобразующейся потом в кластер, который послу-

жит зародышем для распространения структуры на всю кристаллическую матрицу в соответствии с принципом самоподобия. Таким образом, может появиться возможность реализовать кристаллическую решетку в соответствии с ее базовыми принципами. В работе [29], являющейся обзором по вопросам нанотрибологии, отмечается, что при применении атомно-силового микроскопа для изучения трибологических проблем на нано-уровне получаемое изображение поверхности имеет периодичность, соответствующую постоянной решетки исследуемого материала, хотя контактная зона обычно включает в себя значительное количество атомов (от 10 до 10000). При этом отсутствует понимание физики этого эффекта, как признают сами авторы этой работы, поскольку неясно, каким образом такая большая группа атомов перемещается на межатомное расстояние в целом. Это говорит о том, что для достижения положительного эффекта во многих случаях совершенно необязательно воздействовать на каждый конкретный атом или узел решетки. Необходимо лишь подобрать для воздействия соответствующий физический агент – акцептор информационной составляющей. Возникает естественный вопрос, какой физический агент можно использовать для этих целей.

Структурный каркас кристаллической решетки можно представить как некую упорядоченную периодическую полевую структуру. Впервые эту мысль высказал Эрвин Шредингер – "Я склонен рассматривать все строение кристаллической решетки как нечто весьма родственное стоячей де-Бройлевской волне. По-видимому, решетка и может трактоваться подобным образом; однако такая задача необыкновенно сложна вследствие очень сильного взаимодействия между этими волнами" [30]. Для эффективного воздействия на такую структуру необходимо обеспечить информационное подобие топологии или структуры поля воздействующего агента и структуры кристаллической матрицы. Таким достаточно универсальным агентом представляется соответствующим образом структурированное электромагнитное поле. Тогда весь процесс взаимодействия можно представить как взаимодействие полевых структур или волновых функций. На этом пути, однако, возникают громадные трудности. Для расчета структур даже небольших молекул необходимо оперировать с числом параметров порядка 10^5 , что нереально и приходится прибегать к "химической и математической интуиции" и заниматься построением "догадок" [31].

Так как в большинстве случаев фронт кристаллизации вещества электрически активен, то он может быть источником дальнедействующего электрического поля, выходящего за пределы кристаллизующегося объекта. Поэтому при движении фронта кристаллизации в условиях морфологической неустойчивости роста, присущей фрактальным структурам, можно ожидать генерации импульсов электромагнитного поля, по своим характеристикам определенным образом связанных с соответствующими морфологическими элементами структуры. В работе [32] был обнаружен факт возникновения в

процессе кристаллизации дистиллированной воды дискретной электромагнитной эмиссии, имеющей импульсный характер и достаточно надежно идентифицирующей растущую структуру. При этом авторы [33] обоснованно полагают, что обнаруженная ими собственная электромагнитная эмиссия является новым физическим инструментом исследования эволюции мезоскопической структуры растущего из расплава кристалла.

Особый интерес представляют резонансные явления, при которых отклик системы реализуется на другой частоте, нежели опорный сигнал. К числу таких явлений относится электромагнитно-акустическое преобразование, наблюдающееся у поверхности металла при падении на него электромагнитной волны. Суть этого явления заключается в том, что в веществе, не обладающем ни пьезоэлектрическими, ни магнитострикционными свойствами, под действием электромагнитной волны возбуждаются ультразвуковые волны той же частоты (линейный отклик) или на кратных частотах (нелинейный отклик). Наличие границы металла, как места сосредоточения возбуждающей силы, имеет принципиальное значение. Нетривиальность этого явления в том, что электромагнитная волна, падающая на границу металла, возбуждает акустические колебания в электрически нейтральном теле, при этом приходится иметь дело с целым кругом явлений, поскольку число механизмов, обеспечивающих преобразование электромагнитных и акустических волн в металлах, достаточно обширно [34].

Наиболее исследованными являются механизмы линейной трансформации, ответственные за генерацию ультразвука в металле на частоте падающей на его поверхность электромагнитной волны. Источниками линейного преобразования волн являются индукционные и деформационные силы. В качестве источника линейного электромагнитно-акустического преобразования может также выступать инерционная сила (сила Стюарта - Толмена), а также неоднородные колебания температуры, обязанные термоэлектрическому эффекту. Цепочка трансформации при этом может выглядеть, например, таким образом: электромагнитная волна $\Rightarrow$ колебания температуры $\Rightarrow$ ультразвук. Мы полагаем возможным, кроме этого, и спонтанный процесс генерации звуковых колебаний под воздействием термодиффузии. В изотропном металле термоупругие напряжения служат источником генерации ультразвука на удвоенной частоте электромагнитной волны. Что касается нелинейных эффектов, то для индукционного и деформационного взаимодействия уровень их проявления в трансформации определяется степенью воздействия электромагнитного поля на динамику электронов проводимости в приповерхностном слое. Что касается тепловых механизмов электромагнитно-акустического преобразования, то основным представляется именно нелинейное взаимодействие. В этом случае также частота возбуждаемого ультразвука равна удвоенной частоте падающей электромагнитной волны (речь идет об источниках нелинейности, скрытых собственно в механизмах преобразования) [35].

Представления об электромагнитно-акустическом преобразовании легли в основу экспериментальных исследований воздействия слабых электромагнитных полей радиочастотного диапазона (порядка 15 ВА) на различные процессы, в частности, на твердение минеральных вяжущих [36]. При этом образующийся искусственный камень проходит через ряд структурных состояний, и некоторые из них могут представлять собой временные диссипативные структуры. В этих работах установлено, что на стадии твердения вяжущего система откликается на внешние низкочастотные возмущения, возможно, что это связано с согласованием существующих в области мезофазы колебательно-вращательных движений надмолекулярных структур. При этом зафиксировано повышение степени однородности гетерофазной структуры конечного продукта, снижение потери массы и увеличение остаточной прочности образцов, сокращение числа и объема пор, повышение однородности пористой структуры материала и сокращение удельной поверхности пор. Режим возбуждения электромагнитно-акустического преобразования позволяет предположить наличие только одного - индукционного механизма преобразования, с пренебрежением стюарт-толменовским и стрикционным механизмами. В качестве наиболее разумного объяснения высказывается предположение о структурирующем влиянии акустической волны на резонансной частоте одной из мод собственных колебаний или вращений структурных образований среды. Акустическая волна играет роль пространственно-динамической матрицы, организующей синхронные движения структурных образований (молекул, кластеров, решетки) среды. Весьма продуктивным также представляется подход, основанный на группе задач перколяции. При отверждении вяжущих в кластере-канале проводимости локальные свойства среды могут существенно отличаться от средних макроскопических, и граница раздела переходящих фаз выступает в роли аттрактора, притягивающего к себе траектории перколяционных каналов [36].

В развитие проведенных экспериментов авторы [37] исследовали воздействие слабого (15 ВА) электромагнитного поля радиочастотного диапазона на процессы кристаллизации цинка и алюминиевого сплава. При воздействии поля время существования переходной фазы и превращения жидкой фазы в твердую сокращается примерно в два раза, причем температуры ликвидуса и солидуса практически не изменяются. Объясняется это эффектом принудительного формирования в металле с помощью генератора электромагнитных импульсов тока нормальных волн механических колебаний в результате действия индукционного и магнитного механизмов электромагнитно-акустического преобразования. Волновые колебания синхронизируют колебательно-вращательные движения надмолекулярных структур расплавленного металла, создавая протяженные цепочки "бесконечных кластеров" перколяции и изменяя механизм теплопередачи [37].

В активных средах с внутренними источниками энергии возможны нелинейные процессы волновых взаимодействий, включая взрывную неустойчивость волн - самопроизвольное их нарастание, при котором их амплитуды неограниченно возрастают за конечное время. Из металлургии известно, что процессы конденсации металла из паровой фазы и затвердевания сопровождаются яркой вспышкой на частотах, существенно превышающих частоту максимума теплового излучения при температуре фазового перехода, причем было отмечено, что интенсивность надтемпературного излучения зависит от условий охлаждения расплава, а фронты нарастания и спада вспышки не обязательно совпадают с началом и окончанием кристаллизации. Существенно увеличить интенсивность выходящего из расплава излучения и ускорить процесс кристаллизации можно путем постановки расплава в оптический резонатор, что приводит к увеличению пиковой интенсивности и уменьшению времени задержки почти на порядок. Оптическое управление скоростью кристаллизации позволит получать не только материалы с заданными свойствами, но и с требуемым пространственным распределением размера кристаллических зерен [38]. Явление сверхизлучения (сверхизлучение Дике) было предсказано Дике в 1954 г., а впервые экспериментально зарегистрировано в 1985. Исходным представлением Дике о сверхизлучении, как аperiодической коллективной спонтанной релаксации возбужденных молекул с излучением из образца всей запасенной энергии, ближе всего соответствует одноимпульсный режим, порожденный диссипативной неустойчивостью волн поляризации [39]. Отличие сверхизлучения от других видов коллективных процессов состоит в том, что система сама, за счет внутренних взаимодействий составляющих ее частиц, приходит из некоррелированного состояния в коррелированное. Процесс любой генерации основан на взаимодействии двух подсистем: среды, которая вначале выступает в качестве аккумулятора энергии, и поля, которому среда передает запасенную энергию. Для получения когерентного излучения необходимо, чтобы, по крайней мере, одна из взаимодействующих подсистем была упорядочена и имела как можно меньше степеней свободы, по которым распределяется ее энергия. Другой особенностью сверхизлучения является возможность генерации его в радиодиапазоне [40]. Достаточно очевидно, что все эти явления имеют общую физическую базу, как в отношении макроскопических свойств мезофазы, так и общей энергоэнтропийной и кинетической теории физико-химических процессов. Геометрический размер такой мезофазы значительно превышает межатомные расстояния и достигает десятков нанометров [41].

Принцип фрактальности применительно к процессам самоорганизации

В современной литературе пока не найти абсолютно строгого определения фрактала. Под этим определением обычно понимается структура, возникающая, когда об-

ломки (части) целого соединяются друг с другом так, что возникает инвариантность (неизменность) по отношению к масштабу. Возможно также, что система тем или иным способом проецирует себя или какие-то свои характеристики во внешнюю среду, реализуя процесс клонирования. Поэтому иногда фракталом называют объект, состоящий из частей, подобных целому, то есть обладающий самоподобием [42]. Мы полагаем, что, процессы самоорганизации атомов твердого тела в упорядоченные структуры происходят за счет взаимодействия волновых структур валентных электронов и носят фрактальный характер, поскольку именно волновые структуры склонны к процессам самоорганизации и фрактализации. По нашему мнению, фрактал является минимальной или максимальной структурой, способной быть акцептором информационной составляющей кванта энергии.

Если под фрактальной структурой понимать любую сложно организованную на принципах самоподобия иерархическую систему, то любую твердотельную структуру можно рассматривать как фрактальную. Если фрактал представляет собой объект, для которого имманентная ему хаусдорфова мера одинакова при измерении в любых масштабах, то идентификация фракталов сводится к описанию объектов, возникающих в ходе превращения [43], что возможно получать и с помощью довольно простых модельных экспериментов [44]. Тем не менее, надо обязательно учитывать, что реальные физические объекты все же отличаются от умозрительных теоретических конструкций, какими бы красивыми они не казались. Поэтому надо иметь в виду, что в реальности любой фрактальный объект имеет некоторый минимальный и максимальный масштаб длины, при выходе за рамки которых самоподобие нарушается или вообще пропадает. Если в форме фрактала имеются элементы случайности, то имеет место "случайный фрактал". В этом случае также речь идет о самоподобии, но в статистическом смысле. При этом нельзя говорить о точных копиях, а только о совпадении статистических характеристик [45].

Интерес к фрактальным структурам связан также с тем, что, по мнению большинства исследователей, занимающихся этим вопросом, возникновение фрактальной структуры вещества должно сопровождаться изменением его (вещества), некоторых физических свойств, которое нельзя получить в твердых телах с обычной кристаллической или аморфной структурой. При этом твердотельную фрактальную структуру можно рассматривать как максимально емкую информационную среду, так как каждый ее элемент имеет наименьшее вырождение по ряду свойств [46]. Наиболее распространенный путь получения фрактальных материалов это получение их в неравновесных системах типа "физическое воздействие" – исходное вещество (прекурсор) – релаксационные физико-химические процессы преобразования прекурсоров – требуемый материал, при этом

управление процессом создания материала заключается в изменении параметров физического воздействия и состава прекурсоров [47].

Самой отличительной чертой фрактальных структур является наличие четко выраженной иерархии, заключающейся в формировании первоначальных фрактальных структур из атомов, молекул или кластеров вещества, а затем уже формирование из них фрактальных агрегатов более высокого уровня. Здесь имеется ярко выраженная аналогия с принципом формирования искусственно создаваемых штриховых голограмм, несущих информационную нагрузку. В последнее время появился значительный интерес к возможности использования фрактальных структур в нанотехнологии и нанoeлектронике, особенно получения упорядоченных структур с широким спектром применения [48]. Более совершенная структура сверхтонких наноразмерных пленок объясняется автором работы [49] именно более ярким проявлением их фрактальных свойств, перераспределением вклада в прочностные свойства материала в сторону поверхности по сравнению с объемом. Отсюда делается вывод о перспективности такого пути управления механическими, электрическими, магнитными и другими свойствами материала путем варьирования толщиной материала в диапазоне от 1 до 100 нм, его наноструктурой, числом слоев и другими параметрами, формируя таким образом нанокомпозитный материал.

Авторы работы [50] условно разделяют волновые процессы во фрактальных структурах на два типа: распространение волн во фрактальных структурах (фрактал является средой распространения) и рассеяние и излучение волн фрактальной структурой (волны распространяются в однородной среде с погруженными в нее фрактальными неоднородностями). При этом во фрактальной среде возникают так называемые фрактоны – локализованные на фракталах колебательные состояния, сменяющие обычные фононные состояния при частотах, превышающих некоторую частоту перехода, что подтверждает акцепторную сущность фрактала. Плотность распределения фрактонов по частотам имеет в силу масштабной инвариантности степенной вид. Показатель степени определяется так называемой фрактонной (спектральной) размерностью, которая в случае фрактонов выполняет роль размерности пространства в низкочастотной асимптотике плотности состояний. Фрактонные свойства, первоначально исследованные для материалов, имеющих фрактальную структуру в малых, не превышающих нескольких микрометров, масштабах, могут проявиться в естественных и искусственных фрактальных структурах на существенно больших масштабах [50].

Коррелированность фрактальных структур в широком диапазоне масштабов приводит при многократном рассеянии к возникновению спектра аналогичным фрактонам коллективных возбуждений рассеивателей. Поэтому картина рассеяния электромагнитного излучения на фракталах выглядит иной по сравнению со случаем независимо распределенных в пространстве рассеивателей. Если рассеиватели являются резонансными,

то форма резонансной кривой существенно меняется, также иной является зависимость интенсивности излучения фрактальной структуры от расстояния. Более тонкие проявления фрактальности излучающего центра связаны с эффектами коллективных возбуждений и ведут к увеличению эффективности теплового излучения фрактальных структур в расчете на одну частицу [51]. Фрактальная структура волн в случайной среде может приводить к фрактальным структурам, возникающим в результате воздействия волн на среду, поэтому фрактальный анализ результирующих полей может привести к новым результатам [50].

Электромагнитное поле как структурирующий физический агент

Если твердое тело рассматривать как волновую структуру, то целесообразно для воздействия на нее воспользоваться явлением резонанса с волновой структурой, обладающей сходными характеристиками, подобрав для этого соответствующий физический агент. Таким универсальным физическим агентом является электромагнитное (ЭМ) поле, охватывающее диапазон от сотен метров (радиоволны) до долей ангстрема (жесткие гамма - кванты). Резонансную частоту взаимодействия легко определить по пикам поглощения. Электромагнитное поле может иметь на поверхности подложки необходимое распределение таких своих характеристик, как амплитуда и фаза за счет явления квантовой телепортации, что позволит создать условия для формирования микрокристаллов и стимулировать синтез наноструктур на молекулярном уровне [52]. Теория КАМ занимается изучением воздействия резонансов на различные системы, в том числе и на траектории частиц. Она приводит к некоторым очень важным выводам. Поскольку частоты частиц зависят от значений динамических переменных, то в фазовом пространстве, характеризующем систему, в одних точках резонанс наступает, а в других нет. В случае хаоса резонансы порождают необычайно сложное поведение системы в фазовом пространстве [53].

Еще один важный результат теории КАМ заключается в том, что увеличивая значения энергии, мы увеличиваем области фазового пространства, в которых преобладает случайный характер траекторий. При некоторых критических значениях энергии на месте более или менее упорядоченной системы возникает турбулентность, провоцирующая хаос [54]. Поэтому для получения упорядоченных структур нет никакой необходимости стремиться к увеличению энергии воздействия. Изучением воздействия высокоупорядоченных (когерентных) электромагнитных полей малой интенсивности, но преимущественно миллиметрового диапазона (на частотах 30...300 ГГц), на биологические и физические объекты исключительно плодотворно и в течение длительного времени, с начала шестидесятых годов прошлого века, занимается научная школа Н.Д. Девяткова - М.Б. Голанта - Ю.В. Гуляева. Поскольку в физических и биологических системах в этом диа-

пазоне частот генерируются не только электромагнитные, но и акустические и акусто-электрические колебания и волны и все эти типы колебаний трансформируются друг в друга, то был введен термин: крайне высокочастотные (КВЧ) излучения и колебания [55, 56], который к настоящему времени является общепризнанным. Особенность миллиметровых волн заключается в том, что их воздействие проявляется при крайне низком, нетепловом уровне мощности. Поскольку очень высокочастотный диапазон может быть использован для обработки большого объема информации, то была предложена гипотеза об информационно-резонансном, а не энергетическом характере взаимодействия при невысоком уровне мощности управляющих сигналов. Так как мощность поступающего извне излучения достаточна для формирования сигналов управления, энергия которых в любых информационных системах на несколько порядков меньше энергии системы в целом, а действие КВЧ излучения по определенным параметрам не зависит от его интенсивности в широких пределах, что закономерно для информационных систем и определяется спецификой процесса управления, то авторами этих работ была обоснована гипотеза о том, что проникая в биологическую систему эти излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование определенными процессами в этой биологической системе [57].

Работами этой школы доказано, что информационное действие ЭМ полей на биологические объекты связаны с созданием материальных структур, а элементы для формирования таких структур не всегда имеются в наличии в нужной области биологического объекта (области, где формируется подструктура). Поэтому в некоторых случаях для реализации необходимого действия требуется весьма длительное облучение. При этом речь идет не о времени, необходимом для проявления результатов образования в биологической системе новой подструктуры, а о времени, необходимом для ее образования. В принципе нет никаких препятствий для того, чтобы распространить этот подход и на небиологические системы, введя понятие индукционного периода. Необходимо иметь в виду, что электромагнитные волны не могут сами оказать существенно различающихся воздействий на разные элементы биологической системы. Предварительно они должны трансформироваться в акустоэлектрические волны при наличии трансформирующей системы. Такой трансформирующей системой может являться периодическая решетка, элементы которой смещены друг относительно друга на малое расстояние, совпадающее с длиной акустоэлектрической волны [57].

Поскольку вода является существенной компонентой практически всех биологических объектов, и ее вследствие совершенно уникальных свойств можно рассматривать как некий мостик между миром живой природы и, условно говоря, миром минералов или миром чисто физических объектов, то исследователи этой школы провели очень

большую работу по изучению взаимодействия ММ-полей с водой и водосодержащими объектами. Им удалось обнаружить, что вода обладает новым, до сих пор скрытым глубинным свойством - резонансно-волновым состоянием и что система "водная компонента биообъекта - резонансные электромагнитные ММ-волны" играет особую роль в природе. Молекулярные осцилляторы водной компоненты биосреды биообъекта, самосинхронизируясь на резонансных частотах, могут представлять естественный внутренний источник и проводник резонансных ММ-волн. Система этих колебаний задает структуре биосреды пространственную и временную организацию [58].

Изучение различных эффектов, возникающих при воздействии на обыкновенную воду различных излучений принесло довольно интересные результаты. Воздействие на воду и биоткани низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 0,63 мкм приводит к генерации радиоизлучения, причем сразу после начала лазерного воздействия наблюдается крутой рост амплитуды принимаемого радиосигнала, который быстро достигает максимума и сохраняется до прекращения лазерного воздействия. Более того, имеет место длительная релаксация радиоотклика после прекращения воздействия, которая, по-видимому, является результатом сохранения возбужденного колебательного состояния воды. Аналогичные явления наблюдаются при воздействии лазерного излучения на биоткани [59]. При исследовании воздействия постоянного магнитного поля на водные структуры был обнаружен эффект сверхслабой генерации резонансных КВЧ-волн водой и биотканями на частотах вблизи 25 и 50 ГГц, хотя на этих частотах без магнитного поля нет радиоотклика при КВЧ-воздействии. Оказалось также, что вода обладает длительной ориентационно-магнитной памятью [60]. Воздействие переменного магнитного поля, в отличие от постоянного, может оказывать структурообразующее влияние на диэлектрические ассоциированные жидкости, провоцировать образование замкнутых или свернутых в спираль цепочек молекул. Пропусканием воды через переменное магнитное поле создаются условия для образования ассоциатов кольцевой (плоской или объемной) структуры, минимизирующих энергию взаимодействия с переменным во времени магнитным полем. Взаимодействие с переменным магнитным полем может осуществляться не только через электрические дипольные моменты молекул, но и за счет аксиального торoidalного момента макромолекулярных ассоциатов, электрический дипольный момент которых в целом может быть равен нулю. В случае воды образование такого рода ассоциатов понижает эффективную диэлектрическую проницаемость [61].

Эти исследования привели к необходимости более углубленно изучать структурные свойства воды. Обнаружено, что вода в жидком состоянии имеет сложную квазикристаллическую структуру, унаследованную от кристаллической структуры льда [62]. Молекулярную структуру воды составляет равновесная смесь гексагональных и трех-

атомных молекул, ассоциированных посредством слабых подвижных водородных связей в сложную трехмерную объемную конструкцию. Коллоидные частицы, находящиеся в воде, в соответствии со своими структурно-химическими свойствами ориентируют вокруг себя молекулы воды, образуя гидратную оболочку. Растворенные частицы при этом как бы заключены в своеобразный водный матрикс, образованный молекулами окружающей среды. В конденсированной фазе чистая вода является ассоциативной смесью гексагональных фрагментов и трехатомных молекул. Гексагональные фрагменты (кольца) в зависимости от условий могут объединяться в кластеры различного размера (по разным данным от единиц нанометров до единиц микрометров). Соотношение концентраций и размеров кластеров определяют исходное структурное состояние водного матрикса. Кластерные структуры находятся в колебательном состоянии и образуют систему осцилляторов, которые создают собственное слабое электромагнитное волновое поле. Водный матрикс, таким образом, имеет пространственную и временную организацию и может выполнять роль синхронизатора и эталона времени в биосистемах [63]. Авторы этих работ считают, что кластеры, состоящие из 12 молекул воды, являются основными структурными единицами, из которых строится непрерывная сеть объемной воды, имеющая регулярный характер по крайней мере в объемах - глобулах, соответствующих размерам монокристаллов льда, где число молекул воды находится в пределах 10^7 - 10^9 . Фактически сеть каждой глобулы состоит из двух одинаковых подрешеток, вложенных одна в другую и связанных в объеме слабыми водородными связями. Связь между подрешетками на свободных поверхностях глобул отличается от связи в объеме. Соответствующая ориентация глобул создает особое состояние - свободная поверхность воды [64].

Еще в шестидесятых годах прошлого столетия работами школы Г.И. Дистлера [65-68] была показана определяющая роль тонкой, порядка 5 ангстрем, пленки воды, образующейся на поверхности подложки даже при ее сколе (на ювенильной поверхности). Существование этой пленки определяет многие свойства структур, образующихся на поверхности подложки в результате технологических процессов, связанных с конденсацией материала. Дистлер первым же указал на информационно-организующие свойства такой тонкой водной пленки.

Понимание структурных особенностей воды дало новый импульс к исследованию влияния на ее свойства слабых воздействий. Обнаружено влияние фонового излучения и геомагнитного поля. С учетом того, что вода как конденсированная среда представляет собой сложную пространственную молекулярную конфигурацию, гексагональные фрагменты которой обладают элементарными магнитными моментами, ортогональными их плоскостям, которые взаимно скомпенсированы, то можно прийти к выводу, что вме-

сте с неорганическими ионами водный матрикс образует самоорганизующуюся, упорядоченную фрактальную структуру [69].

Работами исследователей школы Девяткова-Голанта-Гуляева было установлено также, что воздействие на физический или биологический объект ведется радиоволнами в мм-диапазоне, а радиоотклик объекта воспринимается в дециметровом диапазоне. Механизмом такого переноса радиоволн из ММ в ДМ диапазон служит диссипация энергии мм волн, которая и приводит к дополнительному шумовому фону в радиотепловом излучении среды в широком диапазоне частот, в том числе и в длинноволновой части спектра. В отношении водосодержащих сред резонансное взаимодействие ММ-волн проявляется не как резонансное поглощение, а как резонансная прозрачность. Радиоизлучение ДМ-диапазона обладает свойством послесвечения, которое сохраняется в течение длительного времени - от минут до часов для ММ- и лазерного возбуждения и в течение месяцев при магнитном и электростатическом возбуждении. Поскольку последствие заключается в сохранении в течение некоторого релаксационного времени неравновесного состояния пространственного и временного порядка в макроструктуре молекулярного осциллятора, то это позволило авторам обнаруженного эффекта утверждать, что налицо принципиально новый, энтропийный фактор возбуждения и дать обнаруженному явлению название ММ/ДМ-радиоволновой люминесценции, или СПЕ-эффект. Факт скачка энтропии в резонансе указывает на то, что переход в резонансное состояние среды является фазовым переходом второго рода, а само резонансное состояние представляет собой новую термодинамическую фазу. Но фаза эта метастабильна, и для ее поддержания необходимы соответствующие условия, обеспечивающие приток негэнтропии. Такие условия могут создавать пассивные или активные средства, например, самосинхронизация среды в поле резонатора или стабилизация фазы внешними синхронизирующими и ориентирующими полями [70]. Одним из интересных следствий СПЕ-эффекта является возникновение резонансной прозрачности водной среды на резонансных частотах. В рамках гипотетической двухструктурной модели воды показано, что за первую основную резонансную частоту ответственны колебания атомов гексагональных колец в продольном направлении (в плоскости колец), а за вторую основную частоту - колебания атомов колец в поперечном направлении. Можно постулировать, что эффект влияния слабых электромагнитных полей на воду и водосодержащие объекты имеет фундаментальное значение и открывает новые возможности в изучении механизма самоорганизации живой материи, а вода и электромагнитные поля выполняют роль универсального носителя информации в процессах жизнедеятельности [71]. Мы считаем, что организующее воздействие на водные структуры оказывают только те электромагнитные поля (даже и чрезвычайно слабые), которые высокоорганизованны и информационно структурированы. Если в случае мощных воздействий можно ожидать лишь

грубое, силовое влияние на систему, которое приводит, в основном, к тепловому разрушению системы, то в области слабых и сверхслабых воздействий можно ожидать проявления неожиданных эффектов и феноменов, вследствие неоднозначности результатов внешнего воздействия на множество неразрушаемых функциональных степеней свободы объектов воздействия. Можно даже предположить, что если мощность воздействия возрастает, то его точность и способность к структурным преобразованиям уменьшается, тогда чрезвычайно мощное воздействие неминуемо приведет систему к полному хаосу.

На поверхности объектов можно наблюдать вследствие ряда интерференционных эффектов "горячие" области и "горячие" точки, положение которых меняется при перестройке частоты излучения. Условно острые частотные зависимости (резонансы) можно разделить на "истинные" и "геометрические". К истинным можно отнести такие резонансы, которые могут в принципе возникнуть в каких-либо структурах. К геометрическим условно можно отнести такие резонансы, которые являются следствием сложных интерференционных явлений. Можно назвать как минимум три причины таких резонансов. В экспериментальной установке может появиться распределенный резонансный контур, возникающий между двумя сечениями, от которых происходит эффективное отражение электромагнитных волн. Во втором случае сложная частотная зависимость КВЧ-поля на облучаемой поверхности возникает при многократном переотражении электромагнитной волны от некоторого эффективного сечения в облучаемом образце и сечений антенны. В третьем случае неоднородности облучаемой структуры могут быть соизмеримы с длиной волны в ней (область резонансного рассеяния в теории дифракции). В этой структуре при переотражении волн от поверхности возникает спадающая в направлении от поверхности вглубь образца сложная картина стоячей волны. При изменении частоты КВЧ-генератора картина стоячей волны в направлении, перпендикулярном к поверхности образца, смещается [72].

В основу физической концепции воздействия КВЧ-радиоволн положено заключение об их информационном, а не энергетическом воздействии. Применение СВЧ-радиометрии позволило обосновать представление о диссипации вводимой в объект КВЧ-мощности и ее преобразовании в шумовую энергию собственного радиоизлучения объекта, т.е. его радиоотклика, в широкой полосе частот, от низких частот до СВЧ-диапазона. Это позволило создать предпосылки для разработки нового метода молекулярного анализа - резонансно трансмиссионной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии на основе сочетания КВЧ электромагнитного излучения с СВЧ-радиометрией. При этом резонансное взаимодействие должно трактоваться как резонансная прозрачность среды для КВЧ-радиоволн, а не как отсутствие поглощения в среде, соответствующее окнам прозрачности. В этом принципиальное отличие КВЧ/ СВЧ-радиоспектроскопии от других

видов радиоспектроскопии, основанных на резонансном поглощении [73]. Такой подход позволил разработать новые технические средства для исследований в области КВЧ - технологий [74 - 80]. Собственные волновые процессы в системе связанных тождественных осцилляторов могут самосинхронизироваться и перевести среду в возбужденное резонансное состояние. Теоретический анализ роли синхронизации в системе связанных осцилляторов показывает, что синхронизированное состояние представляется специфической термодинамической фазой, и переход в нее является фазовым переходом второго рода. Энтропия этого состояния минимальна, чему соответствует максимум информации о системе. Поэтому резонансное, синхронизированное состояние среды неустойчиво, метастабильно и для его поддержания необходимы определенные затраты [81]. Стационарный режим был обнаружен при потоке мощности около 1 мВт/см^2 , автоколебательный режим при потоке мощности порядка $1 \dots 10 \text{ мВт/см}^2$, стохастический режим при потоках более 10 мВт/см^2 . Следует учитывать, что во всех рассмотренных используются два понятия фазы - радиофизическое и термодинамическое и надо различать фазу колебаний и термодинамическую фазу состояний. Поскольку молекулярные системы не могут самостоятельно сохранять резонансное состояние, то им нужен внешний частотно-фазовый информационный стимул или "резонансная накачка". Однако это относится только к чисто физическим, а не биологическим системам, которые могут самопроизвольно поддерживать метастабильное резонансное состояние [82]. Показано, что для любого эффекта, если он протекает с увеличением свободной энергии при увеличении поглощения, обязательно возникнут условия, при которых начнется перераспределение энергии по двум механизмам: механизму преобразования в свободную энергию и механизму преобразования в тепло. В условиях линейности процесса доли энергии, идущих по одному и другому механизму строго фиксированы и их соотношение постоянно. Начало нелинейного процесса говорит о том, что механизм тепловых потерь забирает все большую долю поглощенной объектом энергии [83].

Однако обычное облучение любой системы ЭМ полем с резонансной частотой не приведет к самосогласованию и самокоррекции структуры, т.к. поле необходимо информационно структурировать. Частотное и временное структурирование ЭМ поля не позволяет добиться нужного результата, поэтому остается только возможность пространственного структурирования ЭМ поля. Однако обычная дифракционная решетка, представляющая собой систему плоскопараллельных линий или их комбинацию не позволит добиться нужного результата, поскольку охватывает только чрезвычайно ограниченный диапазон частот. Даже линейная комбинация (типа применяемой в метрологии миры) не даст результата по тем же соображениям, поскольку в силу наличия заранее заданных локальных неоднородностей не сможет создать требуемое распределение ЭМ поля в нужной плоскости или, в дальнейшем, в нужном объеме. Выход может быть

найден только на пути разработки и применения сложных криволинейных дифракционных решеток, представляющих собой регулярную и упорядоченную комбинацию замкнутых криволинейных структур кратных радиусов. Только в этом случае появляется реальная возможность перекрыть значительную часть диапазона ЭМ поля, поскольку в замкнутых криволинейных структурах всегда найдется участок решетки, кратный определенной длине волны [84].

При использовании подобной дифракционной решетки может возникнуть ряд очень интересных эффектов. Известно, что на границе раздела двух сред или фаз могут возникать поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся по поверхности. Как показано в работе [85], такие волны могут возникать в случае достаточно незначительного нагрева подложки, при этом, если поверхность подложки представляет собой периодическую структуру (дифракционная решетка), то имеет место превращение поверхностных электромагнитных волн в объемные на каждом элементе этой структуры, что создает потоки электромагнитных волн с постоянной разностью фаз и их интерференцию. Процессы отражения электромагнитного излучения от поверхности обычных плоскопараллельных решеток приводят к формированию целого комплекса объемных и поверхностных волн [86-88]. В случае криволинейной дифракционной решетки должны возникнуть совершенно новые феномены.

Необходимо обеспечить не только силовое, но и информационное воздействие электромагнитного поля. Согласно данным работы [89] информация и структура представляют собой единое целое, и процесс образования любой структуры есть процесс производства и материализации информации, причем информация рассматривается как конструкционная мера порядка. В нашем случае "информационная схема" представляет собой графически выраженную конструкцию порядка в виде конкретной топологической схемы [90]. Измеряя количество информации, можно судить об уровне структурной организации любой системы. При этом В.Б. Алесковский [89] полагает, что по мере формирования соответствующей структуры происходит процесс трансформации информации в вещество, поскольку вне вещества информации негде реализоваться. По мере реализации такой трансформации информация придает веществу структуру, форму и комплементарность, рассматриваемую как свойство хранить и транслировать информацию (например, каким образом и с какими ингредиентами соединяться данному веществу в химических реакциях). Вопрос только в том, каким образом и в каком виде хранить и транслировать информацию. И.Н. Пригожин полагает [53], что поскольку при взаимодействии любых объектов каждый из них вследствие такого взаимодействия претерпевает те или иные изменения, а при последующем взаимодействии изменения будут еще более глубокими (явление диссеминации), то, обеспечив постоянное взаимодействие и обмен информацией между любыми структурами (не исключая атомы и элементарные

частицы), можно добиться постепенного роста упорядоченности любой структуры. Мы полагаем, что при этом необходимо еще отсутствие принципиальных противоречий в такой структуре.

Существуют структуры, для которых форма играет ключевую роль. Форма определяет существование структуры и показывает, по каким законам простые структуры могут быть объединены в сложные. Замечательным является тот факт, что для создания сложной структуры, развивающейся во времени, надо верно угадать ее форму. Количество вложенной энергии при этом не играет здесь никакой роли [91]. Мы считаем необходимым отметить при этом, что структура определяет форму, а не наоборот. Высококлассная огранка алмаза позволяет выявить особенности его структуры и сделать его более совершенным, а огранка куса глины подобного результата не подразумевает.

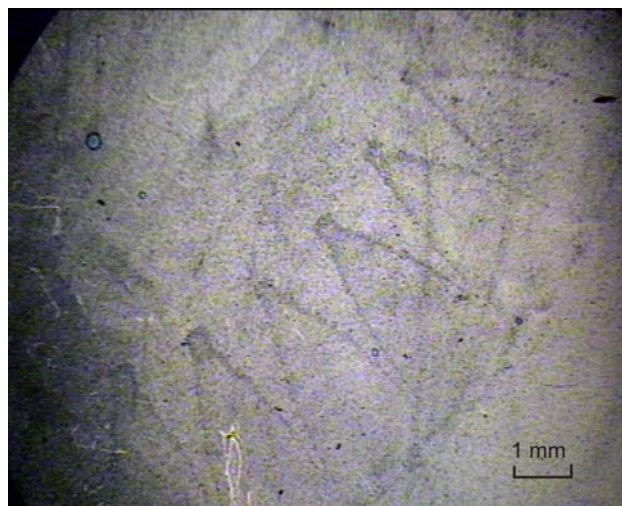
Мы предлагаем для информационного структурирования резонансного электромагнитного поля воспользоваться фрактально-матричными структуризаторами (ФМС), основой которых является кремниевый чип (AIRES01, AIRES02, AIRES03 ТУ 6339-029-07598199-2001), производимый заводом ОАО "Ангстрем" по технологии "Айрэс" и являющийся кремниевым кристаллом 7,5х7,5 мм с нанесенной на него фрактально-матричной топологией, представляющей собой, в свою очередь, искусственным образом геометрически синтезированную штриховую голограмму с размером штриха к настоящему времени порядка 1 мкм. Принципы, заложенные в алгоритм создания рисунка структуризатора, являются общими для всех структур, имеющих фрактальную основу и поэтому с помощью соответствующего физического агента (например, электромагнитного поля) могут директивно воздействовать на инициацию процессов самоорганизации и самокоррекции структур. Размещение ФМС соответствующим образом [92] при реализации процессов конденсации тонких наноразмерных пленок методами магнетронного или термического вакуумного напыления создает аналог резонаторной структуры между фрактально-матричной графикой ФМС и поверхностью подложки [93], что приводит к росту на подложке наноразмерной пленки с фрактальной структурой. Мы считаем, что именно комплекс резонансных явлений, возникающий в пространстве между фрактальной графикой структуризатора и локальной областью над поверхностью подложки, и определяет особенность процессов конденсации наноразмерных пленок с фрактальной структурой, и считаем возможным определять этот комплекс сложных резонансных взаимодействий термином "фрактальный резонанс".

Поверхность полученных образцов тонкопленочных структур исследовалась с помощью оптических микроскопов разного класса, растровых электронных микроскопов JSM-35CF (JEOL), CamScan MV 2300 SEM и HITACHI S-3500N и атомно-силовых микроскопах SOLVER 47, SOLVER 47P. На приведенных микрофотографиях представлены некоторые из полученных экспериментальных данных по анализу конденсированных

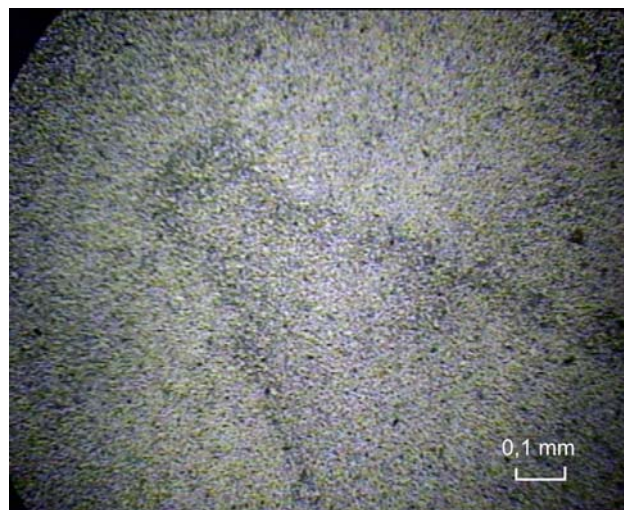
методом ионного магнетронного распыления тонких наноразмерных пленок меди с фрактальной структурой. На рис. 1 а показана такая структура, снятая при минимальном увеличении с помощью оптической микроскопии. Отчетливо просматривается структурное образование правильной формы, напоминающее топологию шестеренки. На рис. 1 б фрагмент этого же участка показан при большем увеличении – просматривается один "зубец" этой "шестеренки". На рис. 1 в показан локальный участок этой пленки при большем увеличении - возникает структура, имеющая звездообразный характер и определенное подобие со структурой типа "шестеренка", на рис. 1 г показан целый конгломерат таких структур, а на рис. 1 д приведена типичная структура фрактально-матричной топологии. Для изучения свойств поверхности и на основе сделанных предположений построена ее фрактальная модель, размерность которой составила величину $D_f = 2,3347\dots$. Расчеты размерности, выполненные для этой же поверхности по экспериментальным данным, дают значение $D_B = 2,1\dots 2,2$. Дальнейшее движение вглубь структуры осуществлялось с помощью растровой электронной микроскопии. На рис. 2 а – в показаны РЭМ изображения одного и того же локального участка исследуемой пленки при разном увеличении, а на рис. 3 а и 3 б изображения локального участка той же пленки в атомно-силовом микроскопе. Можно сделать вывод о наличии подобия и самоорганизации на представленных фрагментах.

Известны также работы [94], в которых исследуются процессы воздействия на атомные пучки (нейтральные атомы) стоячих световых волн, что используется практически для фокусировки атомных потоков. Поэтому можно заключить, что проблема не в мощности информационно-структурированного ЭМ поля, а в точности соответствия фрактально-матричной топологии, необходимой для структурирования твердого тела информации. А точность соответствия определяется прецизионностью графики топологии фрактально-матричного структуризатора и степенью соответствия ее элементов основным базовым принципам, а также алгоритмов, используемых при разработке топологии структуризатора.

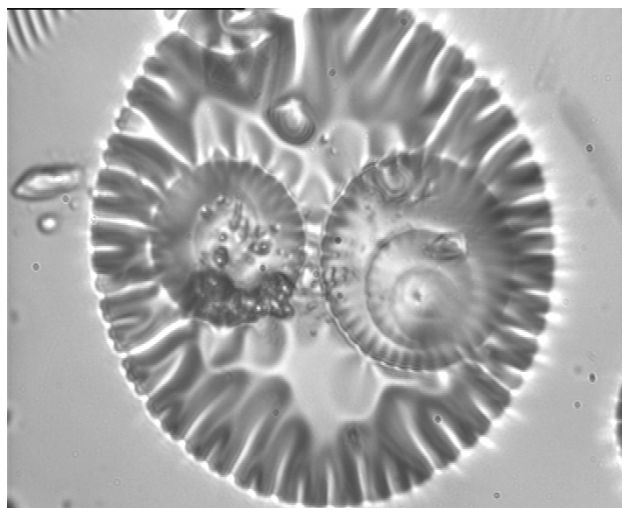
Эти предположения хорошо согласуются с высказанными в работе [95] идеями о принципиальной разнице между обычным евклидовым пространством и биологическим или физическим пространствами. При развитии эмбриона удастся наблюдать последовательные стадии организации биологического пространства, в котором каждый локальный процесс происходит тогда и там, где это позволяет координировать его со всем процессом в целом. Это функциональное, а не геометрическое пространство. Стандартное геометрическое пространство (евклидово) инвариантно относительно параллельных переносов или поворотов. Биологическое и физическое пространства лишены такой инвариантности, события, протекающие в них, представляют собой процессы, локализованные во времени и пространстве, а не только траектории [95].



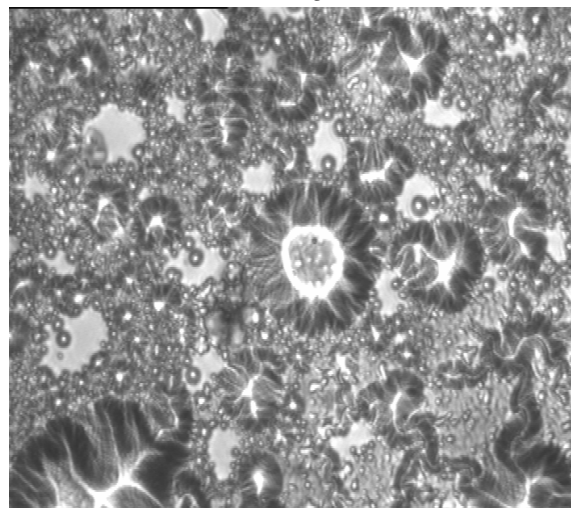
a



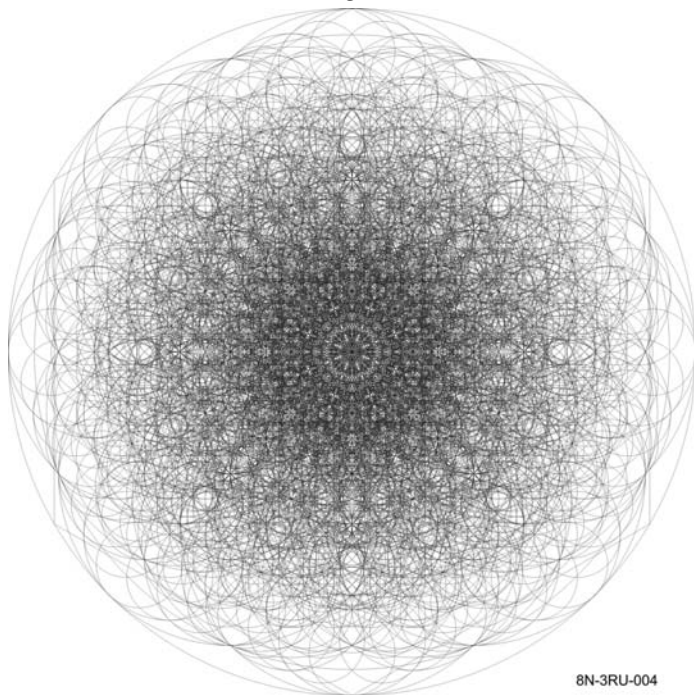
б



в



г

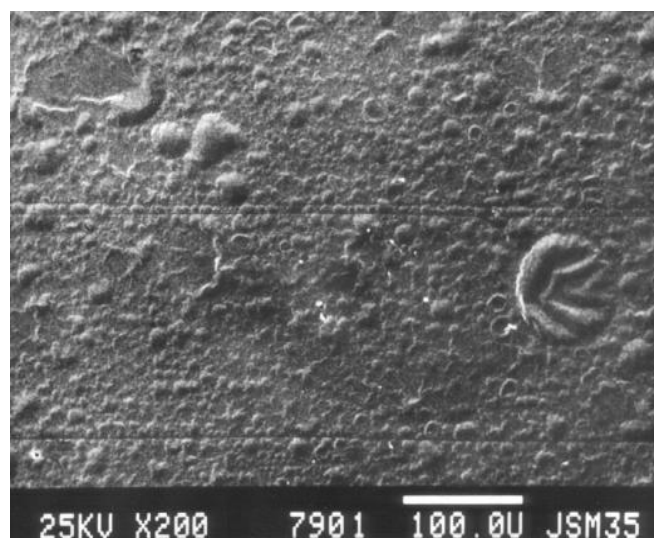


д

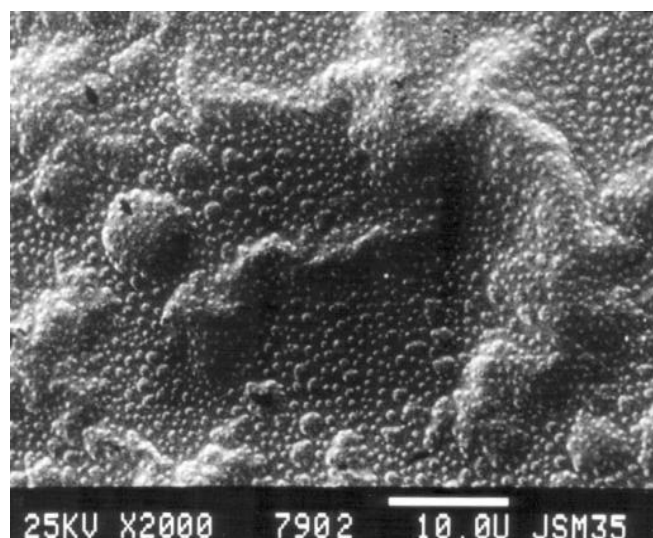
8N-3RU-004

Рис.1:

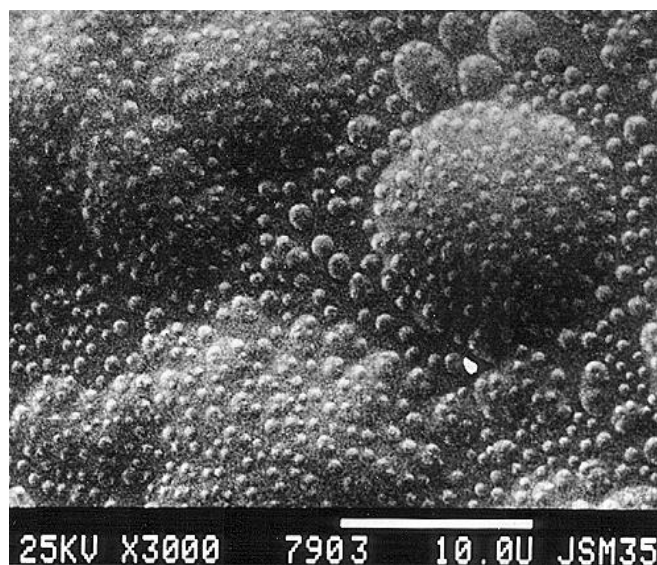
a - изображение локального участка медной пленки на Si подложке при минимальном увеличении, оптическая микроскопия;
б - изображение локального участка медной пленки на Si подложке при большем увеличении, оптическая микроскопия;
в - изображение локального участка медной пленки на Si подложке при 400* увеличении, оптическая микроскопия, марка – 20 мкм;
г - изображение локального участка медной пленки на Si подложке при 400* увеличении, оптическая микроскопия, марка – 20 мкм;
д - структура типичной фрактально-матричной графики



a



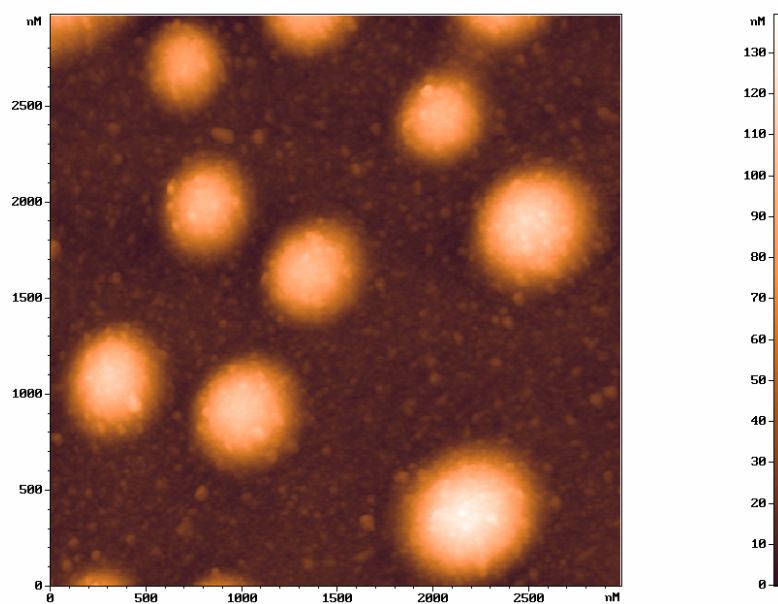
б



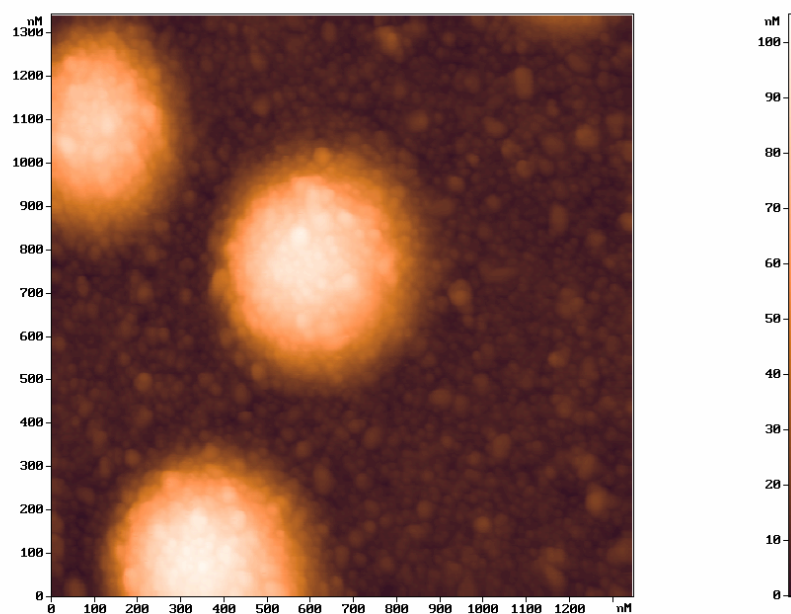
в

Рис.2:

- a* - РЭМ изображение локального участка медной пленки на Si подложке, первая ступень увеличения, фрактальная структура первого уровня
- б* - РЭМ изображение локального участка медной пленки на Si подложке, вторая ступень увеличения, фрактальная структура второго уровня
- в* - РЭМ изображение локального участка медной пленки на Si подложке, третья ступень увеличения, фрактальная структура третьего уровня



a



б

Рис. 3: *a* и *б* – изображение того же локального участка медной пленки на Si подложке в ACM.

Заключение

Можно утверждать, что по мере освоения нанометрового диапазона все более значительную роль станут играть ранее малозаметные на фоне больших энергозатрат резонансные эффекты и сопряженные с ними слабые и сверхслабые воздействия на наноразмерные системы. Процесс этот только недавно начался и уже принес интереснейшие результаты, которые имеют тенденцию к нарастанию, причем лавинообразному. На этом пути исследователя подстерегает множество опасностей, многие из которых связаны с человеческим фактором. Не очень легко новые идеи, принципы и парадигмы внедряются в сознание человека. Особую опасность, на наш (и не только на наш) взгляд представляет явление, названное Э. Шредингером "варварством специализации" и трактуемое узко и однобоко специализирующегося ученого как типичного представителя грубой невежественной толпы – "hombre masa" (массового человека), – который угрожает выживанию истинной цивилизации. Это человек, который из всего, что понастоящему образованная личность должна знать, знаком только с одной конкретной наукой, более того, лишь с той ее малой частью, исследованиями в области которой он сам занимается. Он достиг точки, в которой он объявляет достоинством не обращать внимание на все, что находится за пределами узкой области, которую он сам культивирует, и обвиняет в дилетантстве и антинаучности любопытство, стремящееся к синтезу всего знания [96].

Литература

1. Алферов Ж.И., Копьев, Петрунин В.Ф. Ультрадисперсные (нано-) материалы – основа научно-технического прогресса в XXI веке // Материалы научно-практ. конф. "Новые функциональные материалы и экология" // М.: 2002.- С. 65 – 69.
2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса // М.: Мир.- 2002. 292 с.
3. Серов И.Н., Марголин В.И. Применение фрактально-матричных резонаторов в процессах получения тонких наноразмерных пленок // Сборник докладов Международного научно-практ. симпозиума "Функциональные покрытия на стеклах".- Харьков: НИЦ ХФТИ, "Константа" 2003.- С. 29 – 50.
4. Серов И.Н., Марголин В.И. Фрактально-матричные топологии в нанотехнологии // Труды XIX Всероссийского совещания "Температуроустойчивые функциональные покрытия", С. Петербург, Янус, 2003.- С. 85 – 91.
5. Витязь П.А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования // Материалы семинара "Наноструктурные материалы. Получение и свойства. – 2000: Беларусь – Россия".- Минск; Беларусь. 2000 г. С. 8 – 12.

6. Ежовский Ю.К. Поверхностные наноструктуры – перспективы синтеза и использования // СОЖ, том 6, № 1. 2000.- С. 56 – 63.
7. Шкилько А.М., Борисов В.В. Эмиссионные свойства дисперсного никеля // Сб. докладов 6-й Межд. конференции "Вакуумные технологии и оборудование".- Харьков: ННЦ ХФТИ, "Константа", 2003.- С. 13 - 16.
8. Левин М.Н., Зон Б.А. Воздействие импульсных магнитных полей на кристаллы Cs – Si // ЖЭТФ .-1997. Т.111, № 4.- С. 1373 – 1397.
9. Романюк Б.Н., Попов В.Г., Литовченко В.Г., Мисиук А., Евтух А.А., Клюй Н.И., Мельник В.П. Механизмы геттерирования кислорода в пластинах кремния с неоднородным распределением механических напряжений // ФТП, 1995, № 1. С.- 166-170.
10. Матвеев Н.Н., Левин М.Н. Импульсное магнитное поле как способ изменения термодинамики процесса кристаллизации полимеров // Тез. докл. 3-го Всеросс. семинара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2000 г., Воронеж.- С. 125-127.
11. Левин М.Н., Татаринцев А.В., Косцова О.А. Модификация поверхности полупроводниковых кристаллов импульсными магнитными полями // Тез. докл. IV Межд. конф. Электроника и информатика., Зеленоград, 19 – 21 ноября 2002, М.:2002.- С. 237 – 238.
12. Постников В.В., Левин М.Н., Дронов М.А. Воздействие импульсных магнитных полей на фазовый переход высокотемпературного сверхпроводника // Материалы V международной конф. "Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов", 14 – 15 февр. 2003 г., Воронеж. С. 93 – 94.
13. Дацко О.И., Гончаров А.А., Ткачев А.И. Влияние импульсов слабого магнитного поля на кинетику микротвердости пленки борида циркония на стальной подложке // Материалы V международной конф. "Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов", 14 – 15 февр. 2003 г., Воронеж. С. 108.
14. В.Н. Бинги, А.В. Савин Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // УФН, 2003, Т. 173, № 3.- С. 265 - 300.
15. А.Ю. Гроссберг Несколько замечаний, навеянных обзором В.Н. Бинги и А.В. Савина о магнитобиологии // УФН, 2003, Т. 173, № 10.- С. 1145 - 1148.
16. Марьян М.И. Моделирование формирования диссипативных структур и алгоритмическая сложность некристаллических материалов // Сб. докладов Межд. научно-практического симпозиума "Функциональные покрытия на стеклах".- Харьков: ННЦ ХФТИ, "Константа" 2003.- С. 51 - 55.
17. Гольдштейн Р.В. Поверхностные волны и резонансные явления в упругих телах // СОЖ, 1996, вып. 11, ноябрь.- С. 123 - 127.

18. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 431 с.
19. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979, 512 с.
20. Серов И.Н. Общий курс ВПР. Санкт-Петербург.: Изд-во Акцидент.- 2002, 492 с.
21. Белявский В.И. Физические основы полупроводниковой нанотехнологии // Соросовский образовательный журнал, № 10, 1998. С. 92 –98.
22. Карнаухов А.В., Пономарев В.О. Диссипативный резонанс - новый класс физических явлений. Некоторые подходы к аналитическому описанию // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2001, № 8.- С. 23 - 31.
23. Ланда П.С., Заикин А.А. Неравновесные индуцированные шумом фазовые переходы в простых системах // ЖЭТФ, 1997. № 1, С. 358 -
24. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // УФН, 1999. т. 169. № 1.- С. 7 - 38.
25. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах М.: Наука. 1990, 312 с.
26. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Стохастический резонанс в медицине и биологии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003. № 1.- С. 3 - 9.
27. Карнаухов А.В. Диссипативный резонанс и его роль в механизмах действия электромагнитного излучения на биологические и физико-химические системы.- Биофизика, 1997, Т. 42, вып 4.- С. 971 - 979.
28. Дедков Г.В. Нанотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели // УФН, 2000, Т. 170, № 6.- С. 585 – 618.
29. Шредингер Э. Лекции по физике.- Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, 160 с.
30. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // УФН. Т. 172, № 3. 2002. С.336 – 348.
31. Головин Ю.И., Шибков А.А. Собственное электромагнитное излучение растущего льда. Взаимосвязь пространственной самоорганизации структур льда с временной самоорганизацией электромагнитных сигналов // Тез. докл. 3-го Всеросс. семинара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2000 г., Воронеж.- С. 33 - 35.
32. Кабанов В.В. Сферически симметричные структурные резонаторы, самолокализованные в нелинейной среде // Квантовая электроника. 1996. Т. 23, № 9, С. 841 - 842.
33. М.И. Каганов, А.Н. Васильев Электромагнитно-акустическое преобразование - результат действия поверхностной силы // УФН, 1993, Т. 163, № 10, С.- 67 - 80.

34. А.Н. Васильев, М.И. Каганов, Ф.М. Мааллави Термоупругие напряжения - один из механизмов электромагнитно-акустического преобразования // УФН, 1993, Т. 163, № 10, С.- 81 - 93.
35. В.И. Зарембо, О.Л. Киселева, А.А. Колесников, О.С. Алехин, К.А. Суворов Технология твердения минеральных вяжущих в режиме резонансного электромагнитно-акустического преобразования // Химическая промышленность, 2003, Т. 80, № 1, С.- 35 - 42.
36. В.И. Зарембо, Е.С. Подгородская, А.А. Колесников, Н.А. Бурнос, К.А. Суворов Гетерофазные превращения в реактивных конденсированных средах в режиме резонансного электромагнитно-акустического преобразования // Химическая промышленность, 2003, Т. 80, № 6, С.- 7 - 14.
37. С.А. Саль, А.П. Смирнов Фазово-переходное излучение и рост новой фазы // ЖТФ, 2000, Т. 70, № 7, С.- 35 - 39.
38. В.И. Железняков, В.В. Кочаровский, Вл. В. Кочаровский Волны поляризации и сверхизлучение в активных средах // УФН, 1989, Т. 159, № 3, С.- 193 - 260.
39. А.В. Андреев Оптическое сверхизлучение: новые идеи и новые эксперименты // УФН, 1990, Т. 160, № 12, С.- 1 - 46.
40. О.Л. Киселева, А.А. Колесников, В.И. Зарембо, Н.А. Бурнос, К.А. Суворов Увеличение скоростей гетерогенных физико-химических превращений в режиме резонансного электромагнитно-акустического преобразования // Химическая промышленность, 2003, Т. 80, № 5, С.- 12 - 24.
41. Третьяков Ю.Д. Дендриты, фракталы и материалы // СОЖ. 1998.- № 11. С. 96 – 102
42. Ключарев В.В. Основы фрактальной геометрии природы // Тез. докл. Межд. школы-семинара "Нелинейные процессы в дизайне материалов", 19 – 21 апр. 2002 г., Воронеж. С. 67-71.
43. Османов О.М. Наглядное моделирование фрактальных структур // УФН, 1995. Т. 165, № 9.- С. 1095 - 1097
44. Бецкий О.В., Лебедева Н.П. Фракталы в биологии и медицине // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002. № 10 - 11.- С. 49 - 59.
45. Золотухин И.В., Калинин Ю.В. Твердотельные фрактальные среды, методы получения, структура и свойства // Тез. докл. 3-го Всеросс. семинара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2000 г., Воронеж.- С. 18.
46. Аблесимов Н.Е. О релаксационном принципе управления выходом химических форм элементов и фазовым составом материалов // Тез. докл. 3-го Всеросс. семи-

- нара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2000 г., Воронеж.- С. 107-108.
47. Карпов С. В., Слабко В. В., Чиганова Г. А., Сайфуллина И. Р.. Фрактальные нанокластеры серебра - новая фотохромная среда для сверхплотной записи информации // Тез. докл. IV Межд. конф. Электроника и информатика., Зеленоград, 19 – 21 ноября 2002, М.:2002.- С. 226 – 227.
48. Панфилов Ю.В. Анализ технологии вакуумного формирования сверхтонких пленок // Микросистемн. техн. 2001, № 1. С. 22 – 25.
49. Зосимов В.В., Лямшев Л.М. Фракталы в волновых процессах // УФН, 1995. Т. 165, № 4.- С. 361 – 401
50. Смирнов Б.М. Кластеры с плотной упаковкой и заполненными оболочками // УФН, 1993, Т. 163, № 10.- С 30 - 56.
51. Илюшин Г.Д. Моделирование процессов самоорганизации атомарных систем // Тез. докл. 4-го Международного семинара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2002 г., Астрахань, изд-во Астраханского ГПУ, 2002.- С. 85 - 86.
52. Пригожин И. Конец неопределенности. Время, хаос и новые законы природы. Москва – Ижевск. НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика".- 2001. 208 с.:
53. Золотухин И.В., Грибанов С.А., Попов А.А., Железный В.С., Иевлев В.М. Получение и некоторые свойства твердотельных фрактальных структур В₄С и SiC // Тез. докл. 3-го Всеросс. семинара "Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении", 3 – 5 окт. 2000 г., Воронеж.- С. 121-122.
54. Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты / Сб статей под ред. Н.Д. Девяткова.- М.: ИРЭ АН СССР, 1983, С. 3 - 6.
55. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / Сб. статей под ред. Н.Д. Девяткова.- М.: ИРЭ АН СССР, 1985, С. 21 - 36.
56. Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности.- М.: Радио и связь, 1991.- 168 с.
57. В.И. Петросян, Н.И. Синицын, В.А. Елкин, Н.Д. Девятков, О.В. Бецкий Вода, парадоксы и величие малых величин // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 2, С.- 4 - 9.
58. В.И. Петросян, Н.И. Синицын, В.А. Елкин, Г.Е. Бриль, Д.А. Разумник Лазерно-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 2, С.- 52 - 57.

59. В.И. Петросян, Н.И. Сеницын, В.А. Елкин, О.В. Башкатов Взаимодействие водосодержащих сред с магнитными полями // // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 2, С.- 10 - 17.
60. А.Ф. Королев, С.С. Кротов, Н.Н. Сысоев, П.В. Лебедев-Степанов Влияние электромагнитных полей на теплофизические и термодинамические свойства диэлектрических жидкостей // // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 10, С.- 21 - 28.
61. С.С. Барер, Б.В. Дерягин, О.А. Киселева, С.И. Кладько, В.Д. Соболев, Н.В. Чураев Свойства тонких незамерзающих прослоек между льдом и поверхностью кварцевых капилляров // В Сборнике "Поверхностные силы в тонких пленках", М.: Наука, 1979, С. 215 – 297.
62. Г.Е. Бриль, В.И. Петросян, Н.И. Сеницын, В.А. Елкин Поддержание структуры водного матрикса - важнейший механизм гомеостатической регуляции в живых системах // // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 2, С.- 18 - 23.
63. Е.В. Богданов, Г.М. Мантрова Эквикластерная модель воды // // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 7, С.- 19 - 28.
64. Г.И. Дистлер Исследование структуры и свойств твердых тел методами декорирования // Изв. АН СССР, сер. физич., 1974, Т. 38, № 7, С. 1846 – 1859.
65. Г.И. Дистлер, В.П. Власов Сетчатая структура реальных кристаллов, определяющая ориентационные эффекты при эпитаксии // Изв. АН СССР, сер. физич., 1972, Т. 36, № 9, С. 1439 – 1442.
66. Г.И. Дистлер Дискуссионные вопросы эпитаксии // Изв. АН СССР, сер. физич., 1974, Т. 38, № 7, С. 1424 – 1429.
67. Г.И. Дистлер, В.Н. Лебедева, Е.В. Красильникова Исследование граничных слоев воды, образующихся на поверхности кристаллов-подложек // Изв. АН СССР, сер. физич., 1980, Т. 44, № 6, С. 1229 – 1234.
68. Н.И. Головин, М.В. Курик Влияние геомагнитного поля на питьевую воду // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2001, № 8, С.- 32 - 34.
69. В.И. Петросян, Н.И. Сеницын, В.А. Елкин Люминесцентная трактовка "СПЕ-эффекта" // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 1, С.- 28 - 38.
70. О.В. Бецкий, И.Н. Лебедева, Т.И. Котровская Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, № 1, С.- 37 - 44.
71. О.В. Бецкий Миллиметровые волны в биологии и медицине // Радиотехника и электроника, 1993, вып. 10, С.- 1760 - 1782.

72. В.И. Петросян, Ю.В. Гуляев, Э.А. Житенева, В.А. Елкин, Н.И. Сеницын Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона // Радиотехника и электроника, 1995, вып. 1, С. 127 - 134.
73. Ю.В. Гуляев Физические поля и излучения человека: новые методы ранней медицинской диагностики // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 12, С.- 3 - 10.
74. О.В. Бецкий, Н.Д. Девятков, Н.Н. Лебедева Лечение электромагнитными полями. Часть 1. // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 7, С.- 3 - 9.
75. О.В. Бецкий, Н.Д. Девятков, Н.Н. Лебедева Лечение электромагнитными полями. Часть 2. // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 10, С.- 3 - 13.
76. О.В. Бецкий, Н.Д. Девятков, Н.Н. Лебедева Лечение электромагнитными полями. Часть 3. // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 12, С.- 11 - 30.
77. О.В. Бецкий, Н.Н. Лебедева Электромагнитная биотехнология // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 10-11, С.- 42 - 48.
78. Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников Низкоинтенсивные микроволновые технологии (методы и аппаратура) // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 2, С.- 12 - 20.
79. Н.В. Чухраев, О.И. Писанко, И.З. Самосюк Биорезонансная КВЧ-терапия и аппаратура для ее реализации // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 10-11, С.- 60 - 65.
80. Н.И. Сеницын, В.И. Петросян, В.А. Елкин, Н.Д. Девятков, Ю.В. Гуляев, О.В. Бецкий Особая роль системы "миллиметровые волны - водная среда" в природе // Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, № 1, С.- 3 - 21.
81. В.И. Петросян, Н.И. Сеницын, В.А. Елкин, Н.Д. Девятков, Ю.В. Гуляев, О.В. Бецкий, Л.А. Лисенкова, А.И. Гуляев Роль резонансных молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем // Биомедицинская радиоэлектроника, 2001, № 5-6, С.- 62 - 129.
82. Ю.П. Чукова Общая концепция потерь энергии в биоэффектах электромагнитного поля // Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, № 1, С.- 22 - 30.
83. Серов И.Н., Жабров В.А., Марголин В.И. Проблемы нанотехнологии в современном материаловедении // Физика и химия стекла. 2003, Т. 29, № 4.- С. 242 – 256.
84. Латышев А.Н., Овчинников О.В., Селиванов В.Н. Излучение поверхностных электромагнитных волн металлической пластиной при нагреве // Материалы V международной конф. "Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов", 14 – 15 февр. 2003 г., Воронеж. С. 34 – 35.
85. Шестопалов В.П., Литвиненко Л.Н., Масалов С.А., Сологуб У.Б. Дифракция волн на решетках, Харьков, Изд-во харьковского университета, 1973, 287 с.

86. Шестопалов В.П., Сиренко Ю.К. Динамическая теория решеток, Киев, Наук. думка, 1989, 216 с.
87. Шестопалов В.П., Кириленко А.а., Рудь Л.А. Резонансное рассеяние волн, Т.2, Волноводные неоднородности, Киев: Наук. думка, 1986, 216 с.
88. Алесковский В.Б. Процессы структурной организации вещества // Тез. докл. VIII Всеросс. совещания по высокотемпературной химии силикатов и оксидов.- Санкт-Петербург.- Янус.- 2002.- С. 8 – 9.
89. Серов И.Н., Лукьянов Г.Н., Марголин В.И. Исследование процессов самоорганизации, инициируемых в наноразмерных пленках фрактально-матричными структуризаторами // Труды III Международного Конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине", С.Петербург, Изд-во Тускарора, 2003, Т. III.- С. 49 – 50.
90. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г Синергетика и прогнозы будущего. М.: Эдиториал УРСС. 2001. –288 с.
91. Патент № 2212375. Способ получения тонких пленок с фрактальной структурой. Серов И.Н., Марголин В.И. Приоритет от 04.11.2002.
92. И.Н. Серов, В.И. Марголин, В.А. Мошников, С.В. Кощев, А.И. Максимов, Н.А. Потсар, Д.Б. Чеснокова Влияние фрактально-матричных резонаторов на структуру пленок меди // Физика и химия обработки материалов. 2003, № 2.- С. 16 – 20
93. Th. Schuize, B. Brezger, R. Mertens, M. Pivk, T. Pfau_, J.Mlynek. Writing a superlattice with light forces. Appl. Phys. B 70, 671-674 (2000).
94. Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. –М.: Едиториал УРСС, 2002.- 288 с.
95. Шредингер Э. Наука и гуманизм. Физика в наше время. - Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, 64 с.