

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Некорректные задачи. Численные методы и приложения. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 200 с.
2. Морозов В.А. О регуляризации некоторых классов экспериментальных задач // Вычислительные методы и программирование. – Т.12. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. – с. 24 – 37.
3. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. М.: Наука, 1983. – 200 с.

**ВОЗМОЖНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ
БРИЗЕРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В
НАНОМАГНИТНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛАХ С
ЛОКАЛЬНОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ**

*Богдан М.М., *Чаркина О. В.*

Физико-технический институт низких температур
им. Б. И. Веркина НАН Украины, Харьков

В последнее десятилетие было экспериментально установлено, что новые наномангнитные метаматериалы в терагерцевом диапазоне могут демонстрировать уникальные свойства, в том числе отрицательную магнитную проницаемость. Теоретически было показано, что электромагнитные возбуждения в одно- или двумерных наносистемах индуктивно связанных расщепленных кольцевых резонаторов (РКР) с нелинейными элементами (типа диодов или нановключений керровских сред описываются дискретными уравнениями, которые обладают осциллирующими локализованными решениями – дискретными бризерами [1]. В частности, было численно обнаружено, что в малой области метаматериала (порядка нескольких постоянных решетки), где возбуждается дискретный бризер, магнитный отклик может быть отрицательным. К сожалению, аналитическое описание динамики таких нелинейных возбуждений в сильно дискретном случае сталкивается с трудностями не только математического, но и физического характера, поскольку антиконтинуальный предел существования обнаруженных дискретных бризеров не согласуется с макроскопическим континуальным определением магнитной проницаемости.

В данной работе предложено аналитическое описание и построена теория локальной отрицательной магнитной проницаемости в нелинейном метаматериале, содержащем магнитоиндуцированные бризеры. Предложена модификация магнитного метаматериала, в котором учитывается не только индуктивная, но и дополнительная емкостная связь между соседними РКР. Показано, что одномерная система таких связанных резонаторов в длинноволновом пределе может быть описана нелинейным регуляризованным

уравнением Клейна-Гордона (КГУ) [2] с четвертой смешанной производной для безразмерной зарядовой переменной $u(x,t)$, с дополнительными членами, описывающими затухание и внешнюю переменную силу:

$$u_{tt} + \lambda u_t - u_{xx} - \beta u_{xxtt} + u - \eta u^3 = e_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (1)$$

где t и x – время и координата, λ , β и η – соответственно коэффициенты диссипации, дисперсии и нелинейности, а правая часть отвечает индуцированной магнитным полем Е.Д.С. с амплитудой e_0 и частотой ω . С помощью асимптотической процедуры Косевича-Ковалева [2] получено аналитическое решение для резонансного бризерного возбуждения в виде ряда по малому параметру отщепления частоты от нижнего края

спектра $\varepsilon = \sqrt{1 - \omega^2} \ll 1$. Такое решение представляет собой солитон на «пьедестале» – бризер, осциллирующий в противофазе по отношению к фону однородных колебаний. Аналитически описан нелинейный отклик на высокочастотное магнитное поле метаматериала с возбужденным бризером, найдены частотные и пространственные зависимости магнитной восприимчивости и проницаемости и показано, что в области солитона обе они становятся отрицательными. С помощью численного моделирования исследована устойчивость таких вынужденных бризерных мод в рамках регуляризованного КГУ с внешней накачкой (рис.1). Определена область параметров высокочастотного поля, для которых наблюдаются устойчивые режимы нелинейного отклика системы с локальной отрицательной магнитной проницаемостью.

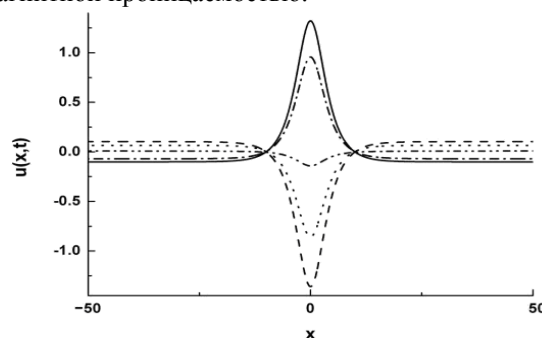


Рис.1. Устойчивые режимы вынужденных бризерных колебаний при значениях параметров дисперсии $\beta = 1/8$ и накачки $\omega = 0.95$, $e_0 = 0.01$.

Таким образом, найдено, что длинноволновые динамические свойства наномангнитных метаматериалов, состоящих из индуктивно и емкостно связанных расщепленных кольцевых резонаторов, описываются нелинейными регуляризованными уравнениями Клейна-Гордона. Показано, что в таких нелинейных системах происходит возбуждение бризеров – солитонов на «пьедестале» с отрицательной амплитудой в конечной области метаматериала, что реализует ситуацию с локальной отрицательной магнитной проницаемостью. Дополненная средой с

отрицательной диэлектрической проницаемостью такая система образует метаматериал, в котором области с брассерными возбуждениями обладают отрицательным показателем преломления и оказываются прозрачными для электромагнитного излучения, что делает возможным их экспериментальное наблюдение.

Работа выполнена в рамках проекта НАН Украины «Квантовые явления в наносистемах и наноматериалах при низких температурах» (№4/13–Н).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lazarides N., Eleftheriou M., Tsironis G.P. Discrete breathers in nonlinear magnetic metamaterials // Phys. Rev. Lett. – 2006. – V.97. – P.157406–1–157406–4.
2. Bogdan M.M., Charkina O.V. Dynamics of bound soliton states in regularized dispersive equations // Физиканских температур. – 2008. – т.34, № 7. – С.713–720.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ КОНВЕКЦИИ В МАГНИТНОЙ НАНОЖИДКОСТИ

*Божко А.А., *Краузина М.Т., Кудашкина В.С., Путин Г.Ф.*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия

При изучении конвекции магнитных наножидкостей необходимо учитывать многообразие действующих в них физических механизмов: термодиффузию, барометрические эффекты, вращательную вязкость. Например, диффузионные явления в магнитном коллоиде связаны как с движением частиц и агрегатов, так и с неоднородным составом жидкой фазы, включающей жидкость-носитель и свободные молекулы поверхностно-активного вещества. В этом случае особо ценными становятся экспериментальные данные. Проведенные в работе многосуточные непрерывные опыты моделируют работу датчиков с магнитными и другими нанонесителями при длительной эксплуатации, что является одной из актуальных задач теплообмена.

Эксперименты проводились в шаровой полости диаметром 16 мм, вырезанной в блоке из плексигласа. Блок зажимался между двумя алюминиевыми теплообменниками, через которые прокачивалась вода постоянной температуры. Для суждения о структуре и амплитуде течения использовалась система из четырех взаимно перпендикулярных термопар, расположенных в плоскости экватора.

В опытах использовался коллоид на основе трансформаторного масла, стабилизированный олеиновой кислотой, со средним размером частиц магнетита 10 нм, с плотностью $0.89 \cdot 10^3$ кг/м³, намагниченностью насыщения 44.9 кА/м и динамической вязкостью 0.069 Па·с.

В шаровой подогреваемой снизу полости, заполненной магнитной наножидкостью, вблизи

порога конвекции возникают перемежающиеся колебательные режимы, наблюдающиеся в течение нескольких недель. Колебания температурных сигналов, регистрируемых при помощи экваториальных термопар, связаны с движением оси конвективного вихря или вала в плоскости экватора.

Вблизи порога механического равновесия, после превышения критического перепада температур $\Delta T_c = 2.3$ К, был обнаружен режим конвекции, в котором наблюдались колебания, связанные с возникновением и затуханием конвекции. Период колебаний составил примерно 1 сутки.

При увеличении относительного перепада температур были найдены колебания температуры в фиксированной точке в экваториальной плоскости, связанные с поворотом оси вращения конвективного вала в экваториальной плоскости полости, чередующиеся с интервалами слабомодулированного температурного сигнала.

Автоколебания в магнитном коллоиде могут быть связаны с конкуренцией между градиентами плотности теплового, термодиффузионного и барометрического происхождения.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГОГО ТЕЛА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ТКАНЯМИ

^{1}Бойчук И.П., ²Коломийцев А.В., ³Сапелкин В.В.*

¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

²Харьковский НИИ судебных экспертиз им. М.С. Бокариуса, Украина,

³Харьковское областное бюро судебно-медицинской экспертизы, Украина

Решению диагностических задач, связанных с оценкой поражающих свойств пуль травматического действия и прогнозируемым ущербом, нанесенным тканям биологического объекта, уделяется большое внимание в судебной экспертизе и медицине. Исследования в данной области позволяют углубить знания в раневой баллистике и решать задачи диагностики поражающих свойств пуль травматического действия.

В решении данной проблемы существенным является подход, связанный с моделированием механики повреждений, которые возникают в теле человека при локальных ударах. Моделирование позволяет с определенной точностью рассчитать степень деформации и определить параметры биологической ткани при её повреждении.

Целью работы является разработка механико-математической модели и проведение численного расчета импульсного взаимодействия биологических тканей с упругим телом.

В качестве аналога мышц выбиралась модель вязкоупругого тела с механическими характеристиками, соответствующими биологическим тканям. Пуля моделировалась упругим