

## Локализованные возбуждения, дефекты и «узоры» в магнитных и нелинейно-упругих системах

Киселёв В.В.



*Развиты методы, с помощью которых предсказаны и аналитически описаны существенно нелинейные возбуждения, топологические дефекты и «узоры» в широком классе магнитных, упругих и магнитоупругих систем.*

Прогресс нелинейной физики, достигнутый в последние десятилетия, связан со всплеском и конкуренцией достижений сразу в нескольких областях: в физике твердого тела, математике, статистической физике, квантовой теории твердого тела. Выяснилось, что в нелинейной теории кроме волн, являющихся аналогами квазичастиц линейной физики, важную роль играют особые «частицеподобные» волны – солитоны. В условиях сильного внешнего воздействия на среду без выявления и анализа этих нелинейных состояний невозможна полная интерпретация экспериментальных данных.

Формирование солитонов определяется общими свойствами среды: балансом эффектов дисперсии и нелинейного сжатия волновых пакетов. По этой причине оказалось возможным теоретическое описание нелинейных систем различной физической природы в рамках универсальных моделей. Для эффективных моделей удалось найти мощные аналитические методы (различные модификации метода обратной задачи рассеяния). С их помощью открылась возможность исследования сильно нелинейных состояний среды. Свойства таких состояний необычны и не могут быть получены ни в каком конечном порядке традиционной теории возмущений.

При сильных внешних воздействиях физические свойства конденсированных сред определяются не только солитонами, но и нелинейными дефектами. Нелинейные дефекты в конденсированных средах, в отличие от дефектов линейной теории упругости, богаче по своей внутренней структуре, обладают специфическими особенностями взаимодействия.

Совместно с А.Б.Борисовым выполнены исследования нелинейной динамики много-подрешеточных магнетиков. Теоретическое описа-

ние таких систем представляет сложную задачу из-за большого числа полевых переменных, значительной физической и геометрической нелинейности среды. Для решения задачи в рамках теоретико-группового подхода Андреева–Волкова–Марченко–Желтухина нами выявлены новые интегрируемые нелинейные модели, типичные для неколлинеарных ферри- и антиферромагнетиков. Это позволило предсказать новые типы «многоподрешеточных» солитонов, детально исследовать изменение их внутренней структуры и «разрушение» при взаимодействии с нелинейными волнами намагниченности.

На основе модификации метода обратной задачи рассеяния для решения нелинейных краевых задач нами получены пионерские результаты по аналитическому описанию нелинейных топологических дефектов в несоизмеримых (полосовых доменных) магнитных и кристаллических структурах. Наличие нетривиального основного состояния типа полосовой доменной структуры делает невозможным анализ таких дефектов какими-либо другими методами. Были предсказаны и впервые аналитически описаны различные солитоноподобные дефекты (включая решетки из солитонных вихрей), а также не принадлежащие солитонному сектору нелинейные двумерные дефекты в полосовой доменной структуре, являющиеся прообразами блоховских линий, магнитных дислокационных и дисклинационных диполей, гантелевидных доменов.

Интерес к средам со сложной структурой стимулируется уникальным сочетанием их физических характеристик: магнитных, упругих, электрических, оптических и других. Последнее делает эти материалы весьма перспективными с точки зрения практического использования в вычислительной технике и микроэлектронике, различ-

ных приборах и устройствах. Теоретическое описание нелинейных явлений в реальных системах может быть получено посредством построения в каждой области характерных пространственно-временных масштабов своих эффективных моделей, корректно учитывающих основные взаимодействия и в то же время допускающих точные решения.

Для построения упрощенных нелинейных моделей нами развиты различные варианты редуцированной теории возмущений. С помощью эффективных моделей предсказаны новые типы солитонов, исследованы связанные с ними явления и процессы в целом ряде магнитных, упругих и магнитоупругих сред, теоретическое описание которых вызывает затруднения из-за наличия сверхструктур, нелокальных магнитоэлектронных взаимодействий, спонтанных деформаций, процессов резонансного обмена энергией между различными ветвями спектра линейных мод.

В последние годы совместно с Д.В.Долгих развиваются методы, пригодные для анализа начально-краевых задач нелинейной теории упругости, в которых конечная форма деформируемого тела заранее неизвестна, а находится в процессе решения задачи. Эти методы автоматически отбирают в уравнениях нелинейной теории упругости инварианты тензора деформаций и вклады от них, необходимые для решения конкретной задачи. Посредством введения иерархии переменных для описания разных масштабных уровней деформации исходную сложную задачу удается редуцировать к анализу более простой модели.

На основе предложенных моделей впервые аналитически описаны начальные стадии формоизменения наиболее сильно нагруженных слоев среды, продольно сжатых и гидростатически сжатых оболочек вблизи порогов устойчивости указанных систем. На этой стадии нелинейно-упругие взаимодействия близких неустойчивых мод деформации и дисперсионные эффекты начинают конкурировать между собой, результатом чего является ограничение роста амплитуды волн и образование узоров из вмятин на поверхности оболочки (в слоях среды).

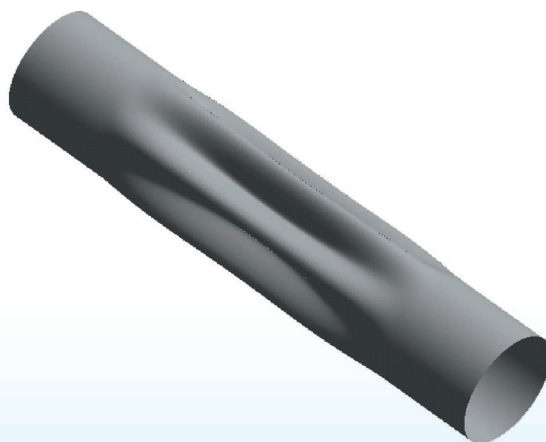
Аналитически описаны нелинейно-упругие структуры, характеризующие солитоноподобную гофрировку наиболее сильно нагруженного

слоя среды при сдерживающем влиянии соседних слабо нагруженных и потому устойчивых слоев материала. Эффект локализации изгибов существенно отличает нелинейную задачу от линейной эйлеровой задачи о неустойчивости упругих систем.

Теоретически описаны сценарии начальной стадии формоизменения продольно сжатой цилиндрической оболочки, связанные с образованием кольцевых складок и пространственно локализованных узоров из ромбовидных вмятин на ее поверхности. В частности, показано, что двумерные узоры из неподвижных ромбовидных вмятин образуются на поверхностях оболочек при нагрузках, на десятки процентов меньших по величине в сравнении с «верхней» критической нагрузкой линейной теории.

Поскольку оболочка с вмятинами сохраняет форму только в определенном интервале нагрузок, ее пространственно-локализованные нелинейно-упругие деформации можно считать «предвестниками» пластического течения материала, которое произойдет при дальнейшем повышении внешней нагрузки.

Кроме того, модели позволили предсказать и аналитически описать «светлые», «серые», «темные» солитоны и компактоны (рис. 1), распространяющиеся подобно частицам вдоль образующей деформированной оболочки со складками и вмятинами, а также вдоль гофрированного слоя нагруженного материала. Такие солитоны образуются только на начальной стадии формоизменения перечисленных систем, и потому могут быть использованы для выявления и диагностики их предкритического напряженного состояния.



**Рис. 1**  
Компактон на поверхности гидростатически сжатой оболочки.