



## Линейные и нелинейные спиновые волны в магнонных структурах и сетях

к.ф.-м.н. Александр Владимирович Садовников

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов*

и Е.Н. Бегинин<sup>†</sup>, С.А. Никитов<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> *Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов*

<sup>‡</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва*

В последнее время большой интерес представляет исследование свойств спиновых волн (СВ) при их распространении в магнитных волноведущих структурах микронных и нанометровых размеров. При этом основное внимание уделяется использованию СВ в качестве носителей информационных сигналов, поскольку в этом случае удастся реализовать целый ряд устройств обработки сигнала на принципах магноники, управляемых электрическим полем, лазерным излучением, локальным нагревом магнитной структуры и вариацией направления поля подмагничивания. Магнонные структуры при этом могут быть аналогом фотонных и плазмонных систем, дополнительно обеспечивая возможность перестройки длин волн и частот в широком диапазоне. Так, длины волн магнонов составляют величины от единиц нанометров до единиц миллиметров, а их характерные частоты зависят от величины внешних магнитных полей и могут находиться вплоть до терагерцевого диапазона (в случае использования антиферромагнитных (АФМ) материалов).

Объединяя магнонные структуры для расширения функциональности в задачах обработки сигналов, мы приходим к рассмотрению магнонных сетей, являющихся не просто блоками, соединенными последовательно или параллельно, а демонстрирующими коллективную динамику спиновых волн, основанную на методах и подходах нелинейной физики волновых явлений в гиротропных средах. При этом в магнонике проявляются такие интересные эффекты из физики мира нелинейных явлений как, например, формирование темных и светлых дискретных солитонов, нелинейный резонанс Фано. Важно отметить, что в последнее время была развита технология наблюдения или фотографии спин-волновых возбуждений в микронном и субмикронном масштабах, основанная на Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии (МБС) света. Основной феномен данного метода заключается в явлении неупругого



рассеяния фотона магноном, квантом спиновой волны. При этом метод позволяет исследовать СВ с частотами от 100 МГц до 1500 ГГц, что и явилось значительным преимуществом при использовании данного метода для визуализации динамики СВ в магнонных сетях. В докладе будут рассмотрены методы исследования СВ и показано, как МБС применяется для исследования линейных и нелинейных режимов распространения СВ в магнонных структурах. На основе экспериментальных исследований эффектов дискретной дифракции СВ в решетке спиновых волноводов, будут показаны возможные модели для описания нелинейной спин-волновой динамики на основе уравнений связанных волн и численных расчетов уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта совместно с системой уравнений Максвелла.

Во второй части лекции будут рассмотрены процессы распространения СВ в многомерных топологиях магнонной сети. При этом переход от двухмерной архитектуры магнонных сетей к трехмерной в настоящее время представляет большой интерес ввиду развития концепций обработки и хранения данных на принципах магноники. Одним из методов управления свойствами СВ является нарушение трансляционной симметрии в волноведущей магнитной структуре, сформированной, например, путем изгиба (поворота) магнонного микроволновода или создания магнонных структур меандрового типа. При этом волна, распространяясь по такой структуре, может менять пространственные профили распределения амплитуд СВ с поверхностного на объемное и наоборот. На основе данного подхода удалось реализовать целый ряд функциональных устройств магноники для демультимплексирования сигналов в частотной и пространственной областях и линейного и нелинейного переключения в системах магнитных микроволноводов. В электронике трехмерные схемы требуют эффективного отвода джоулева тепла от вычислительных элементов, что представляет собой технологическую проблему. Для сравнения, магноника позволяет передавать информационный сигнал, закодированный в амплитуду и фазу СВ, что не сопровождается нагревом. Стоит отметить два важных преимущества при использовании СВ в качестве носителей информационного сигнала: отсутствие омических потерь при распространении СВ и миниатюризация до нанометровых размеров структур, поддерживающих передачу спин-волнового сигнала. При этом свойства распространяющихся СВ определяются как дипольным, так и обменным взаимодействием, что позволяет разделить область управления свойствами СВ как электрическим, так и магнитным полем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№20-79-10191).