

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ СПИНОВЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ – ЭЛЕКТРОМАГНОНОВ В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ

А.А. Мухин, В.Д. Травкин, В.Ю. Иванов

отдел субмиллиметровой спектроскопии ИОФ РАН

В последнее время значительно возрос интерес к мультиферроикам - веществам в которых сосуществуют магнитное и сегнетоэлектрическое упорядочения. Это связано с обнаружением новых классов мультиферроиков, в которых сегнетоэлектрическая поляризация **P** индуцируется при возникновении определенного типа магнитного упорядочения, а проявление магнитоэлектрической связи в них существенно сильнее, чем в известных ранее сегнетомангнетиках.

В представленном цикле работ впервые обнаружены и исследованы в терагерцовом диапазоне волн электроактивные спиновые возбуждения - электромагноны в монокристаллах таких мультиферроиков (TbMnO_3 , GdMnO_3 , ...), обладающих пространственно модулированной (циклоидальной) магнитной структурой. Используя различные геометрии (поляризации) при квазиоптических измерениях спектров пропускания ($3\text{-}37\text{ см}^{-1}$) удалось разделить электроактивные возбуждения (электромагноны) от магнитоактивных, представляющих собой моды антиферромагнитного резонанса. Установлено, что электромагноны в поляризации $e\parallel a$ -оси орторомбического кристалла являются наиболее интенсивными модами и дают значительный вклад ($\Delta\epsilon \approx 1\div 5$) в диэлектрическую проницаемость. Обнаружено, что при подавлении модулированной структуры магнитным полем и переходе в обычную слабоферромагнитную фазу электромагноны исчезают, что сопровождается значительными изменениями диэлектрической проницаемости, т.е. показатель преломления может управляться магнитным полем на частотах вплоть до терагерцового диапазона. При этом подавление электромагнонов сопровождается переносом их спектрального

веса на низколежащую фононную моду, что указывает на сильную связь электромагнонов с фононами и позволяет рассматривать их как связанные (гибридные) спин-решеточные моды.

При низких температурах ($T < 25$ К) обнаружена тонкая структура электромагнонов в $TbMnO_3$, свидетельствующая о сложном (многомодовом) характере спиновых колебаний в сегнетоэлектрической циклоидальной фазе. При этом частоты электромагнонов совпадают с частотами мод АФМР в поляризации $h \parallel c$ и $h \parallel b$ -оси, что свидетельствует об их принадлежности к одному и тому же типу магнито- и электроактивных спиновых колебаний. В магнитном поле $H \parallel a$ и $H \parallel b$, которое вызывает переориентацию электрической поляризации \mathbf{P} от c к a -оси и смену плоскости вращения спинов Mn^{3+} ($bc \rightarrow ab$), обнаружено дополнительное расщепление электромагнонов. Установлено, что при смене плоскости вращения спинов интенсивный электромагنون в поляризации $e \parallel a$ сохраняется, а при $e \parallel c$ появляется новая более слабая электромагنونная мода. Показано, что последняя определяется собственными электроактивными колебаниями плоскости спиновой циклоиды, для которых магнитоэлектрическая связь обусловлена обратным взаимодействием Дзялошинского – Мория $\sim \mathbf{P}[\mathbf{e}_{i,j} [\mathbf{S}_i \mathbf{S}_j]]$, где $\mathbf{S}_{i,j}$ спины ионов Mn^{3+} . Происхождение же интенсивного электромагнона при $e \parallel a$ связано с более сильным магнитоэлектрическими взаимодействиям обменного типа пропорциональными $(\mathbf{S}_i \mathbf{S}_j)$.

Таким образом, проведенные исследования впервые позволили выявить существование новых (электроактивных) фундаментальных спиновых возбуждений в мультиферроиках и продемонстрировали разнообразные проявления магнитоэлектрической связи в области высоких частот. Эти работы имеют приоритетный характер, они опубликованы в ведущих научных журналах (Nature Physics., Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, УФН) и получили подтверждение в исследованиях других авторитетных научных групп мира.

Работы выполнены совместно с группами

A.Loidl (Augsburg University, Germany),

А. Пименова (Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology, Austria) и

А.М. Балбашова (Московский энергетический институт).

Избранные публикации

1. A. Pimenov, A.A. Mukhin, V.Yu. Ivanov, V.D. Travkin, A.M. Balbashov, and A. Loidl. Possible evidence for electromagnons in multiferroic manganites. *Nature Physics*, 2, 97 (2006).
2. A. Pimenov, A. Loidl, A.A. Mukhin, V.D. Travkin, V.Yu. Ivanov, and A.M. Balbashov. Terahertz spectroscopy of electromagnons in $\text{Eu}_{1-x}\text{Y}_x\text{MnO}_3$. *Phys. Rev. B* 77, 014438 (2008).
3. А.А. Мухин, В.Ю. Иванов, В.Д. Травкин, А.С. Прохоров, А.А. Волков, А.В. Пименов, А.М. Шуваев, А. Лойдл. Терагерцевая спектроскопия и магнитоэлектрические свойства мультиферроиков на основе манганитов. *УФН* т.178, №8, с. 904-909 (2009).
4. Pimenov, A. Shuvaev, A. Loidl, F. Schrettle, A. A. Mukhin, V. D. Travkin, V.Yu. Ivanov, and A. M. Balbashov, Magnetic and Magnetoelectric Excitations in TbMnO_3 , *Phys. Rev. Lett.* **102**, 107203 (2009).
5. A.M. Shuvaev, V.D. Travkin, V.Yu. Ivanov, A.A. Mukhin, and A. Pimenov. Evidence for Electroactive Excitation of the Spin Cycloid in TbMnO_3 . *Phys. Rev. Lett.* **104**, 097202 (2010).