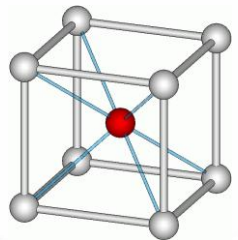


О роли взаимодействия Дзялошинского-Мория в мультиферроиках RMn_2O_5 .

И.А. Зобкало^{1,2}, С.В. Гаврилов¹

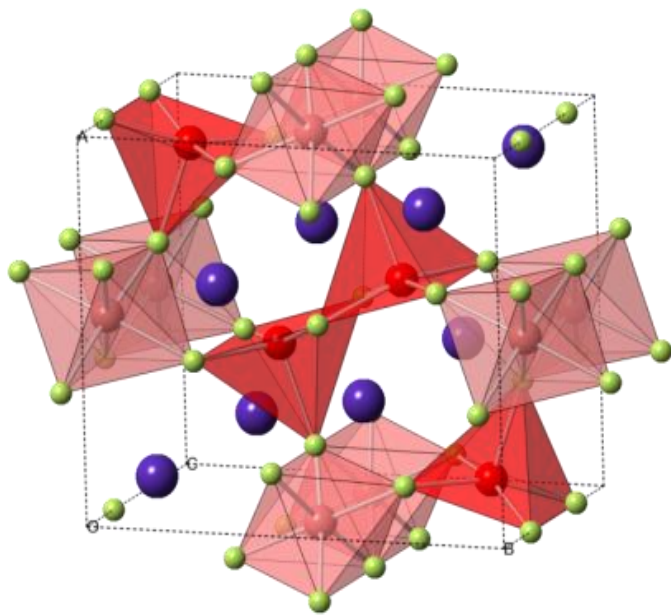
¹ Петербургский институт ядерной физики

² Санкт-Петербургский государственный университет

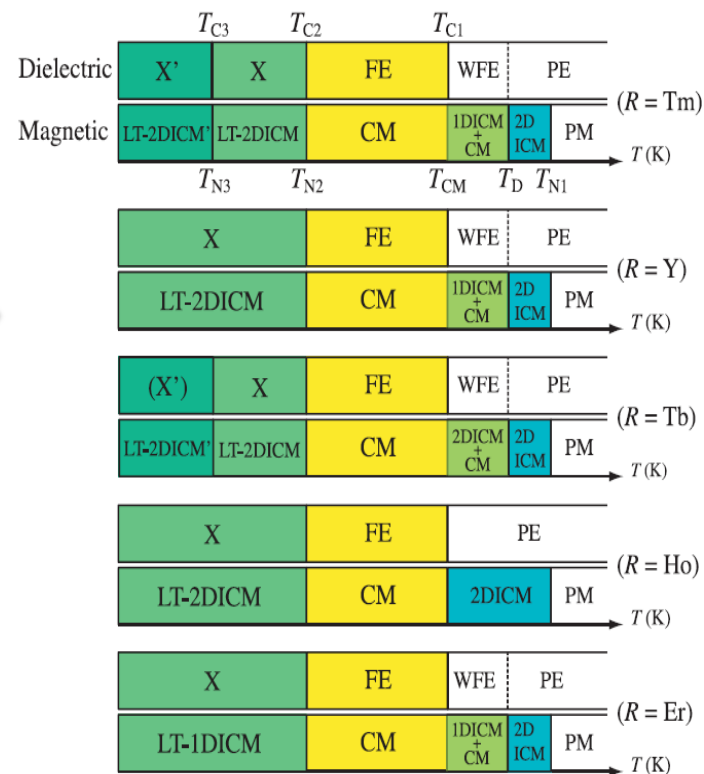


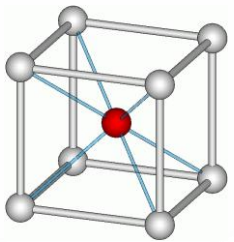
Магнитные мультиферроики RMn_2O_5 - $\text{R} = \text{Tb, Yb, Y, Dy, Er, Eu} \dots$

Пространственная группа - $P6_{3am}$



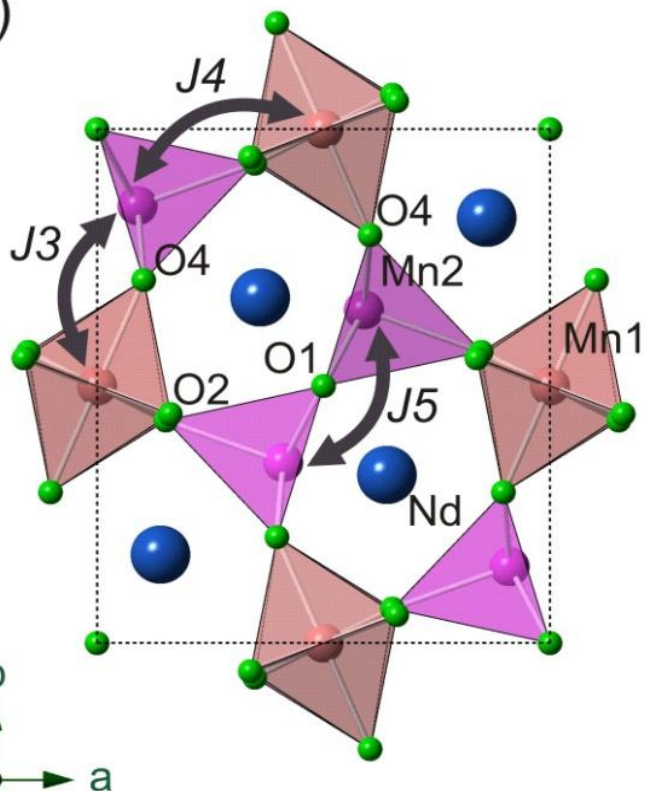
- Ионы Mn^{4+} и Mn^{3+} занимают позиции 4f и 4h;
 - Несколько вариантов формирования обменных связей;
 - Конкуренция обменных взаимодействий;
 - Сложная магнитная фазовая диаграмма.
- Характерный вектор магнитной структуры:
 $k = (0.5 - \delta_x, 0, 0.25 + \delta_z)$.





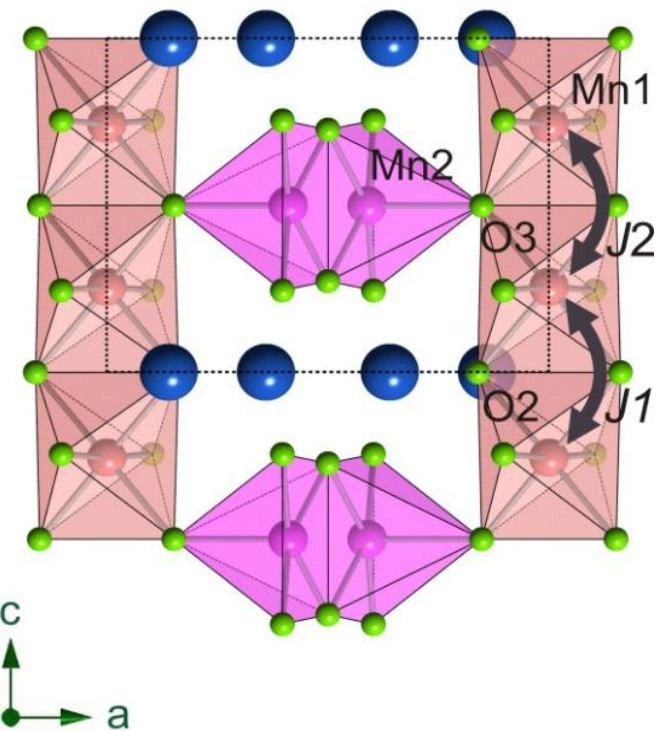
Магнитные мультиферроики RMn_2O_5

a)



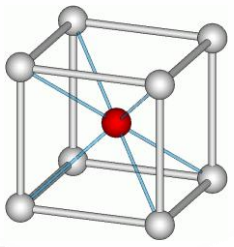
$J3, J4, J5$ – обмен в плоскости $ab \rightarrow k_x$.
 $J3, J4$ – между Mn^{4+} и Mn^{3+} ,
 $J5$ – взаимодействие между Mn^{3+} .

b)



$\text{Mn1} = \text{Mn}^{4+}$
 $\text{Mn2} = \text{Mn}^{3+}$

$J1$ and $J2$ – обмен $\text{Mn}^{4+} - \text{Mn}^{4+}$.
 $J1/J2 \rightarrow k_z$



Магнитные мультиферроики RMn_2O_5

Ферроэлектричество: Две основных модели

Обменно-стрикционная модель:

$$P \sim (S_1 \cdot S_2)$$

S_1, S_2 - спины на Mn^{4+} и Mn^{3+} ,
связанные обменом $J3$.

Эффект Дзялошинского-Мория

$$P \sim e_{12} [S_1 \ S_2]$$

S_1, S_2 - спины на соседних Mn^{4+}
вдоль оси c .

G.R. Blake, L.C. Chapon, et al. Phys.Rev. B
71, 214402 (2005) .

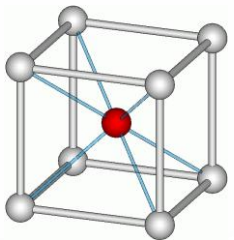
P.G. Radaelli L.C. Chapon et al. Phys. Rev.
Lett. **101**, 067205 (2008) .

C. Wilkinson, P.J. Brown et al. Phys. Rev. B
84, 224422 (2011).

Y. Noda, H. Kimura et al. J. Phys.: Condens.
Matter 20 , 434206 (2008)/

M. Fukunaga, Y. Noda, J. Phys. Soc. Jpn, 79,
054705 (2010).

H. Kimura, Y. Sakamoto et. al. Phys. Rev. B
87, 104414 (2013).

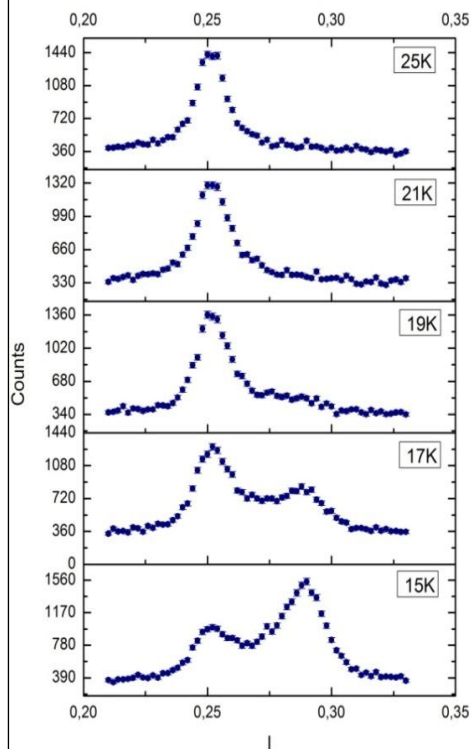


$\text{Tb}_{(1-x)}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ - «электронное» легирование



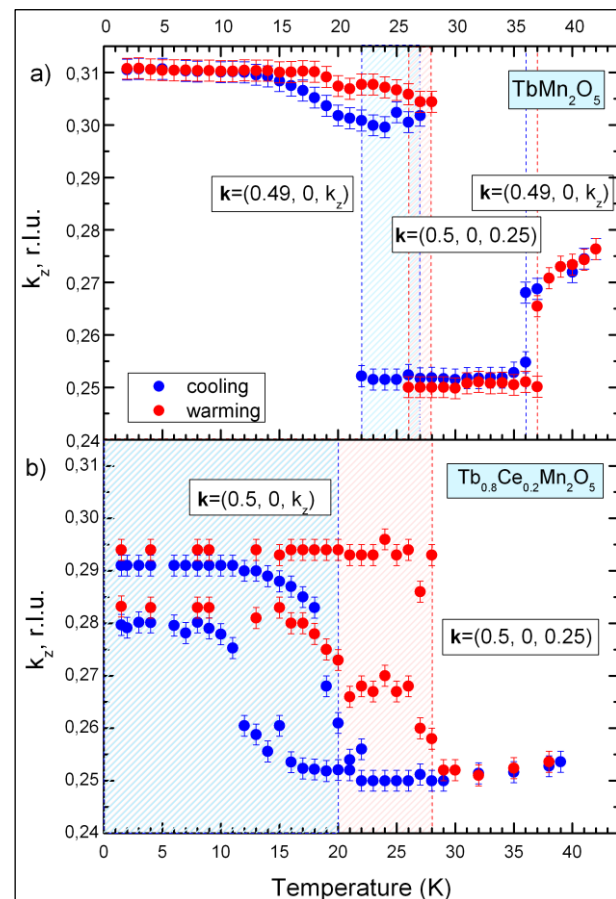
Электрон распространяется в подсистеме ионов марганца ($\text{Mn}^{4+} + e \leftrightarrow \text{Mn}^{3+}$).
Таким образом, легирование изменяет соотношение числа ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} ,
увеличивая концентрацию ионов Mn^{3+} в сравнении с Mn^{4+} .

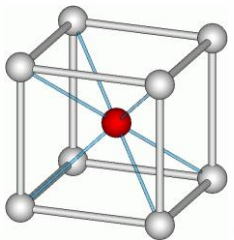
$(1\ 0\ 0)^+$



Температурный гистерезис

При повышении температуры – обратное изменение компонент k_{z1} и k_{z2} к первоначальным значениям, однако эти изменения происходят при температурах на 7 градусов выше, чем при понижении температуры.





Размерный эффект в NdMn_2O_5

R	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Ho	Er
$r(\text{R}^{3+})$	1.16	1.126	1.109	1.079	1.066	1.040	1.015	1.004
MO	$k = (0\ 0\ 0.5)$	$k_1 = (0\ 0\ 0.5)$ $k_2 = (0.5\ 0\ 0)$	$k = (0.5\ 0\ k_z)$	Определяется температурной эволюцией структуры с вектором $k = (0.5 - \delta_x, 0, 0.25 + \delta_z)$				
FE	нет			да				

Длина связи $\text{Mn}^{4+} - \text{O3}(\text{Mn})$ увеличивается при увеличении $r(\text{R}^{3+})$: 1.847Å (Tb) – 1.870Å (Nd).
 Длина связи $\text{Mn}^{4+} - \text{O2}(\text{R})$ *уменьшается* при увеличении $r(\text{R}^{3+})$: 1.954Å (Tb) – 1.942Å (Nd).



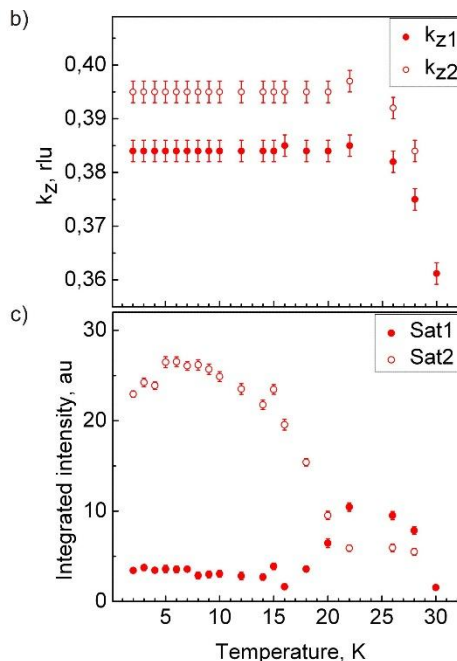
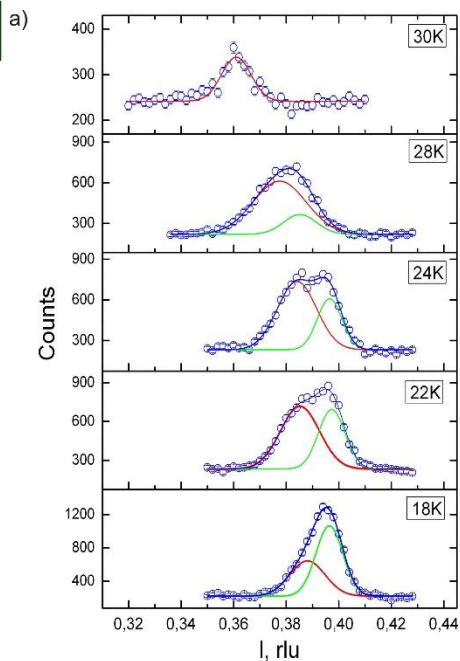
J_1/J_2

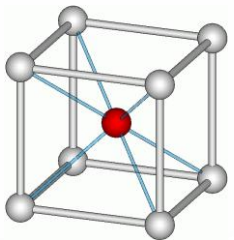
Длина связи $\text{Mn}^{3+} - \text{O2}$ увеличивается при увеличении $r(\text{R}^{3+})$: 2.021Å (Tb) – 2.076Å (Nd).



J_3/J_4

$(0\ 1\ 0)^+$





Рассеяние поляризованных нейтронов в RMn_2O_5

$$I(\mathbf{k}) \sim \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right)$$

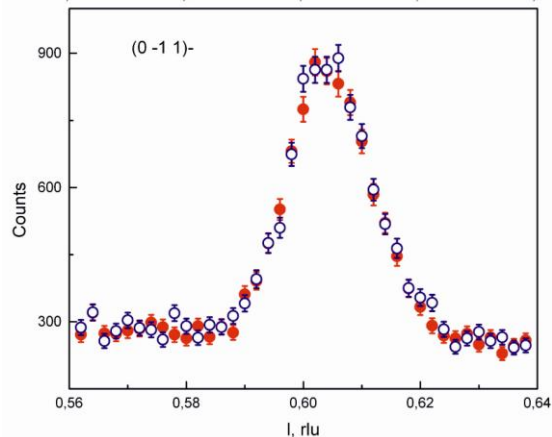
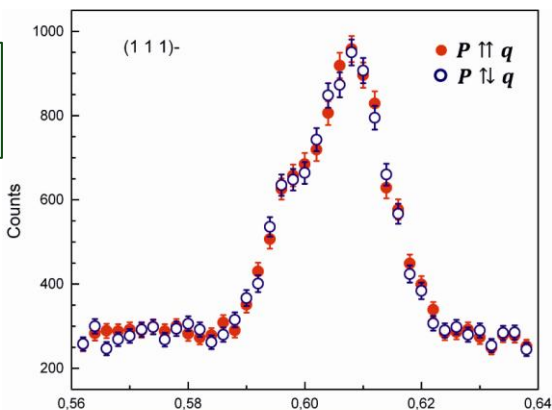
=

- число «правых» спиралей,
= 1 - число «левых» спиралей

$\mathbf{q}$ - вектор рассеяния, $\mathbf{e} = \mathbf{q}/|\mathbf{q}|$, $\mathbf{P}$ - вектор поляризации нейтронов

NdMn_2O_5

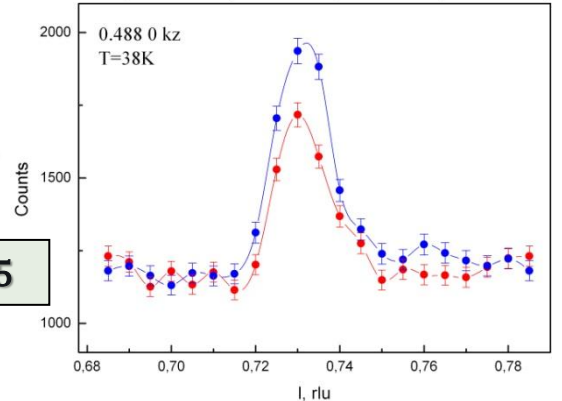
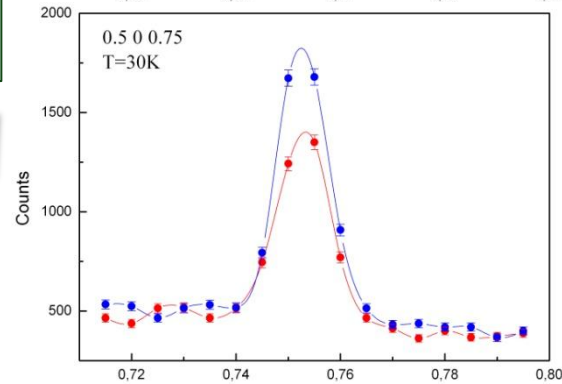
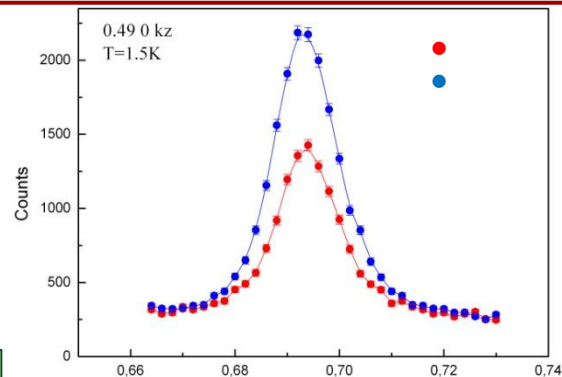
$\mathbf{k}_1(\mathbf{k}_2) = (0.5 \ 0 \ k_z)$



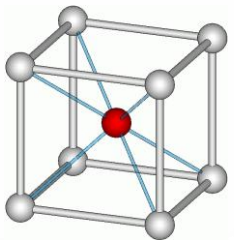
$n_r \approx n_l \approx 0.5$

TbMn_2O_5

$\mathbf{k} = (k_x \ 0 \ k_z)$



$n_r \approx 0.75, n_l \approx 0.25$

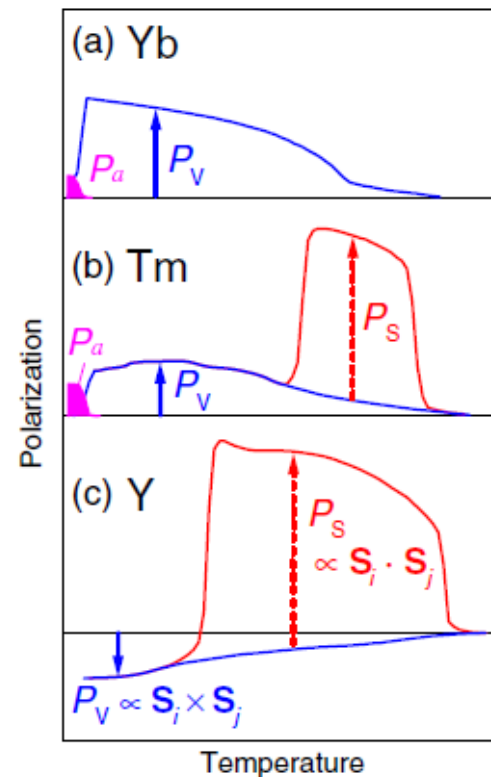


ВЫВОДЫ

1. В несегнетоэлектрической – немультiferроичной модификации RMn_2O_5 - кристалле NdMn_2O_5 эффект Дзялошинского-Мория не наблюдается.

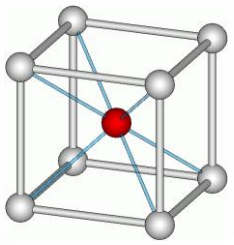
2. Взаимодействие Дзялошинского-Мория эффективно во всех магнитных фазах мультiferроиков $\text{Tb}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ ($x=0, 0.2$).

3. Наличие взаимодействия Дзялошинского-Мория является необходимым условием для возникновения сегнетоэлектричества в RMn_2O_5 . При этом в соразмерной фазе эффект ДМ может являться косвенной причиной появления электрической поляризации.



M. Fukunaga, Y. Noda, J. Phys. Soc. Jpn, 79, 054705 (2010).

H. Kimura, Y. Sakamoto et. al. Phys. Rev. B 87, 104414 (2013).



Е.И. Головенчиц, В.А. Санина
ФТИ им. Иоффе

С.Н. Барило, С.В. Ширяев
СПбГУ ИТМО
Спасибо за внимание!