



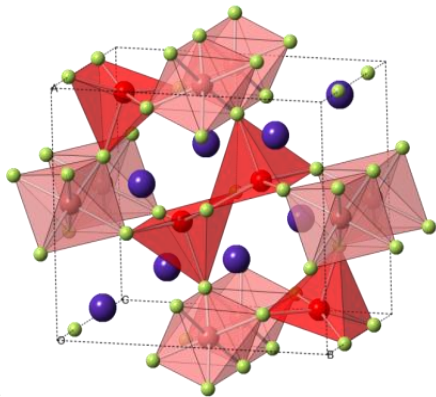
**Особенности магнитного упорядочения
в $\text{Nd}_{(1-x)}\text{Tb}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$
по данным дифракции поляризованных
нейтронов**

И. А. ЗОБКАЛО

*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
НИЦ «Курчатовский институт»*

Магнитные мультиферроики $TbMn_2O_5$, $NdMn_2O_5$

Space group $Pbam$, $Pb2_1m$, Pm



Exchange frustrated system

$J3, J4, J5$ – in plane ab

$J3, J4$ – $Mn^{4+} - Mn^{3+}$

$J5$ – $Mn^{3+} - Mn^{3+}$

$J1$ and $J2$ along c

$Mn^{4+} - Mn^{4+}$

$TbMn_2O_5$

FE	WFE		FE	WFE	WFE?
M	LTIC	CM+ LTIC	CM	HTIC	PM
		22 26	36	43	
					T, K

$$\mathbf{k} = (0.5 - \delta_x, 0, 0.25 + \delta_z)$$

$$T_{CE} \approx 36 \text{ K}, P = 400 \mu\text{C}/\text{m}^2$$

$NdMn_2O_5$

FE	WFE		PE
M	IC (k_1+k_2) + CM (k_3)	IC (k_1+k_2)	PM
	5	20	30
			T, K

$$\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2 = (0.5 \ 0 \ k_{z1,2})$$

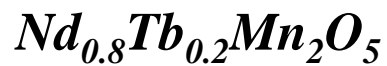
$$\mathbf{k}_3 = (0.5 \ 0 \ 0), T_{Nd} = 5 \text{ K}$$

$$T_{CE} \approx 19 \text{ K}, P = 2.5 \mu\text{C}/\text{m}^2$$

Мультиферроик 1 типа – $BiFeO_3$

$$T_{CE} = 1100\text{K}, T_N = 643\text{K}, P \sim 90 \mu\text{C}/\text{cm}^2$$

Кристаллическая структура $Nd_{0.8}Tb_{0.2}Mn_2O_5$



$$a = 7.5305 \text{ \AA}$$

$$b = 8.62 \text{ \AA}$$

$$c = 5.7195 \text{ \AA}$$



$$a = 7.4865 \text{ \AA}$$

$$b = 8.588 \text{ \AA}$$

$$c = 5.6946 \text{ \AA}$$

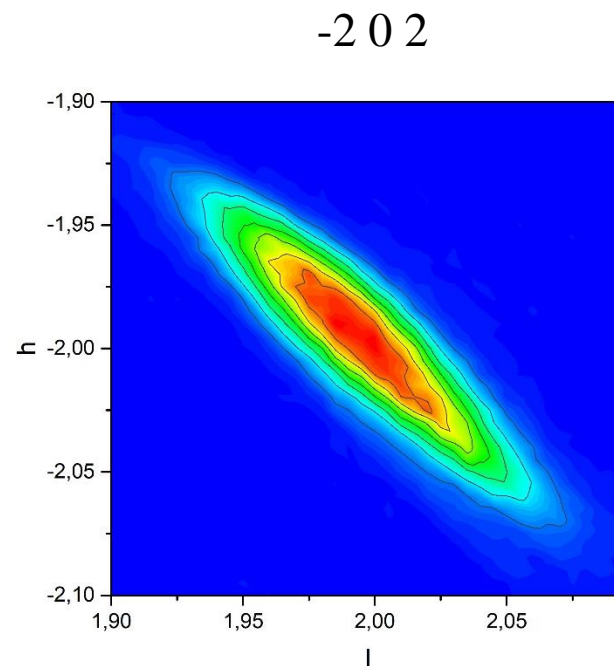
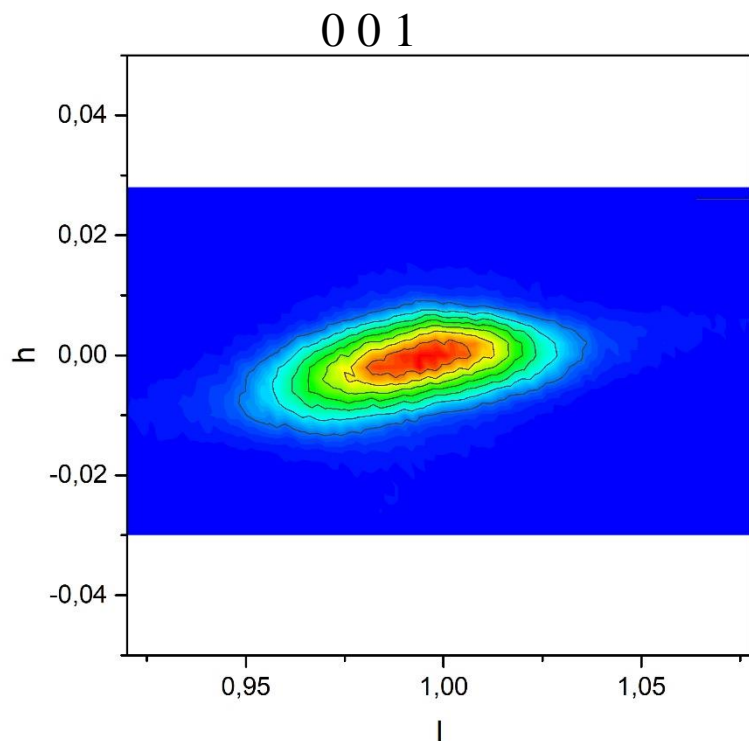


$$a = 7.3250 \text{ \AA}$$

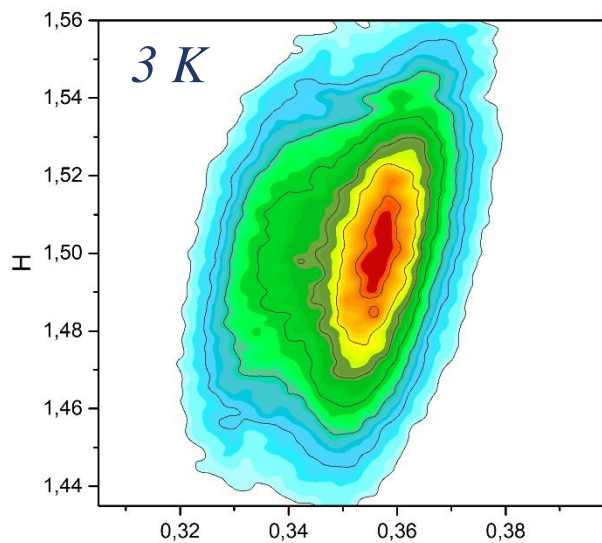
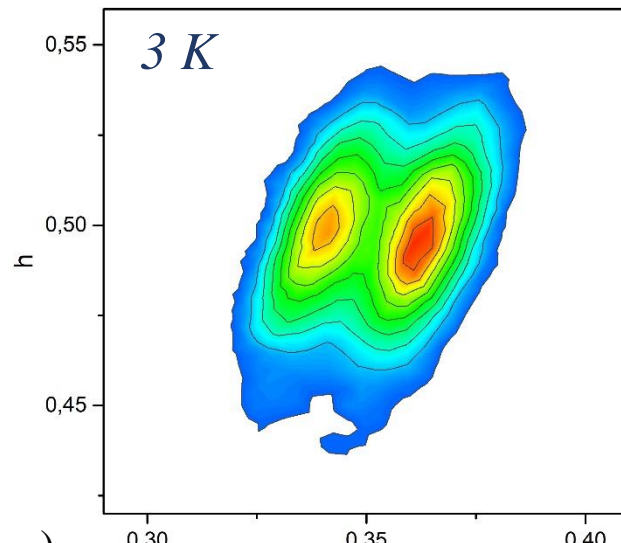
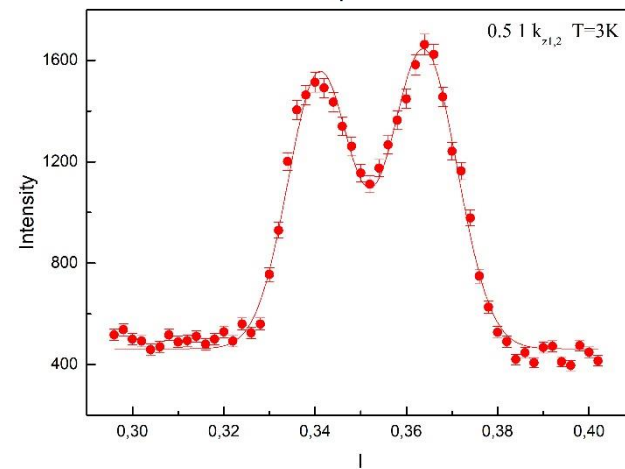
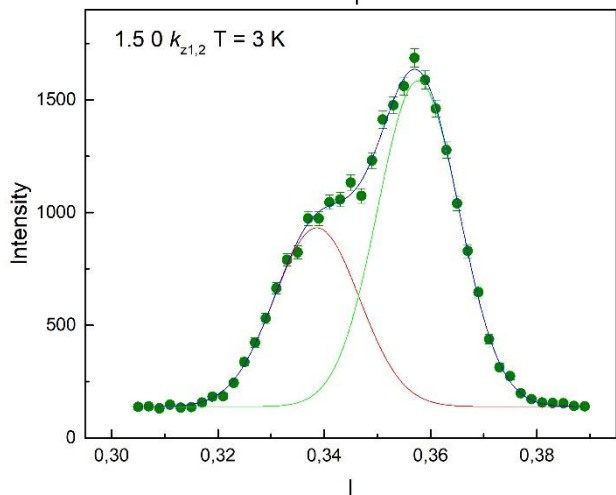
$$b = 8.5170 \text{ \AA}$$

$$c = 5.675 \text{ \AA}$$

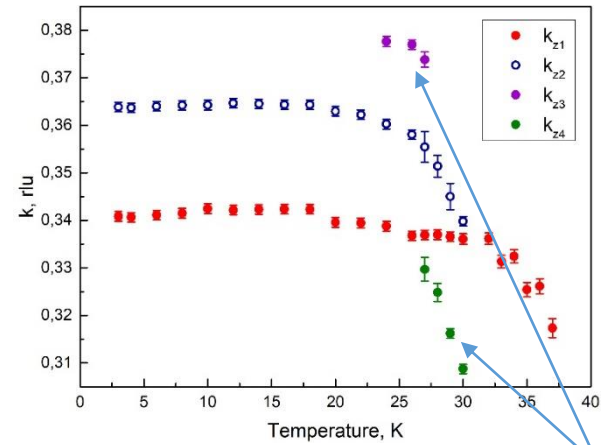
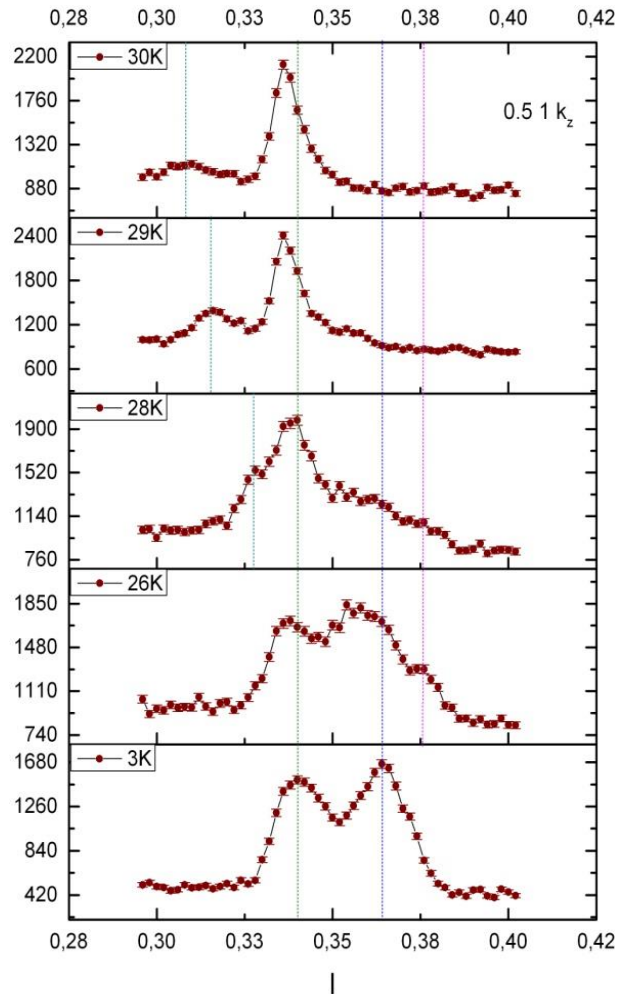
POLI, MLZ



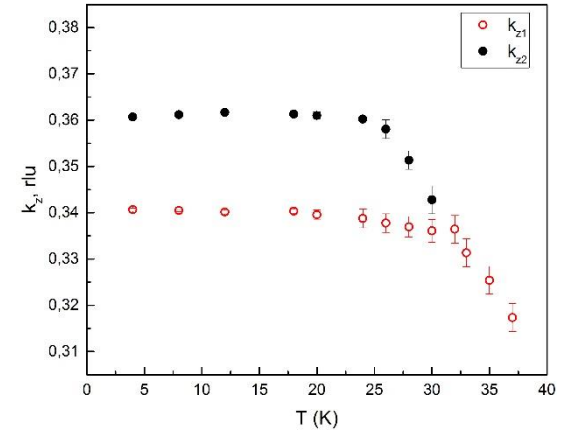
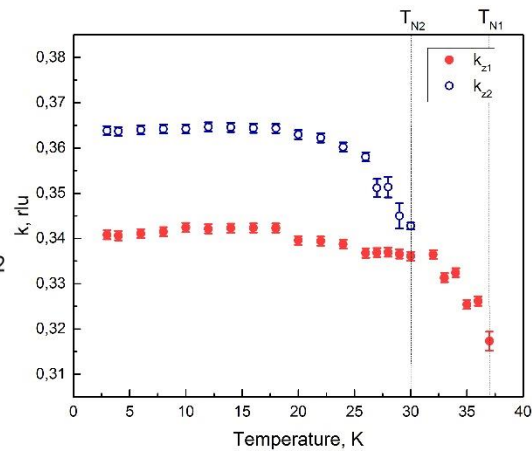
ДПН, ПИЯФ

Магнитная структура $\text{Nd}_{0.8}\text{Tb}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ $(h\ 0\ l)$  $(h\ 2k\ l)$  $k_1, k_2 = (0.5\ 0\ k_{z1,2})$ 

Температурная эволюция магнитной структуры



Две недолго живущие фазы!

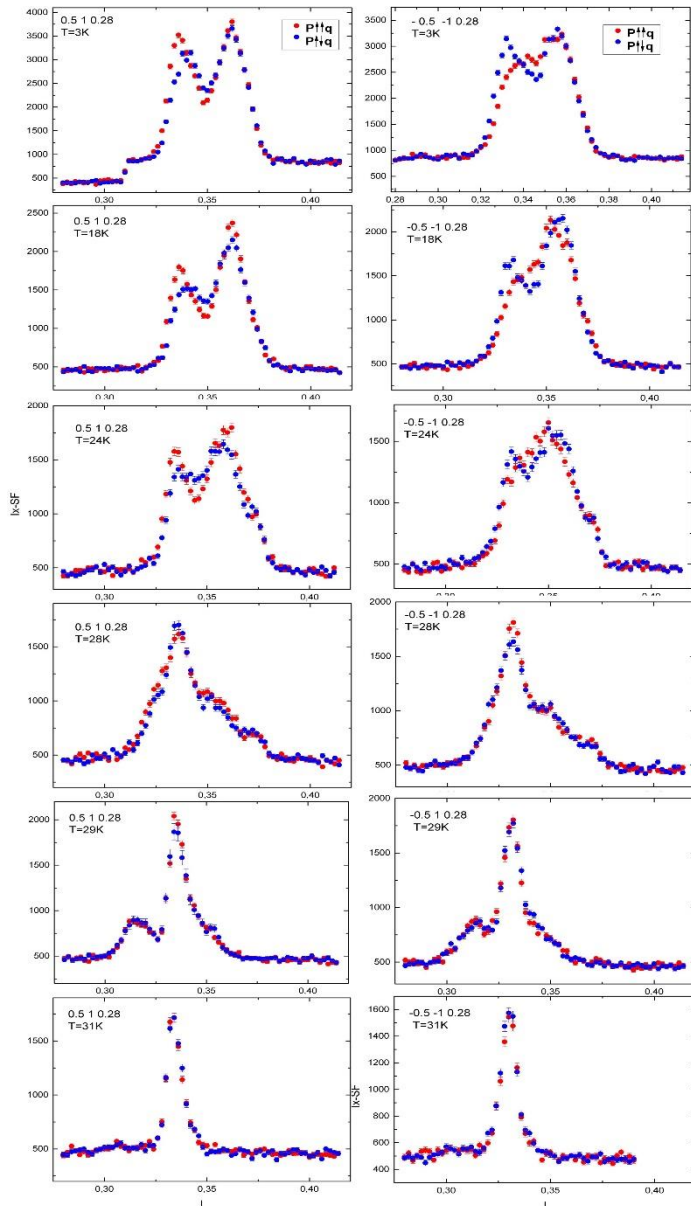


ДПН, ПИЯФ

POLI, MLZ

Дифракция поляризованных нейтронов

Плоскость (h 2k l)



Интенсивность магнитного рассеяния поляризованных нейтронов на спиральной несоизмеримой структуре:

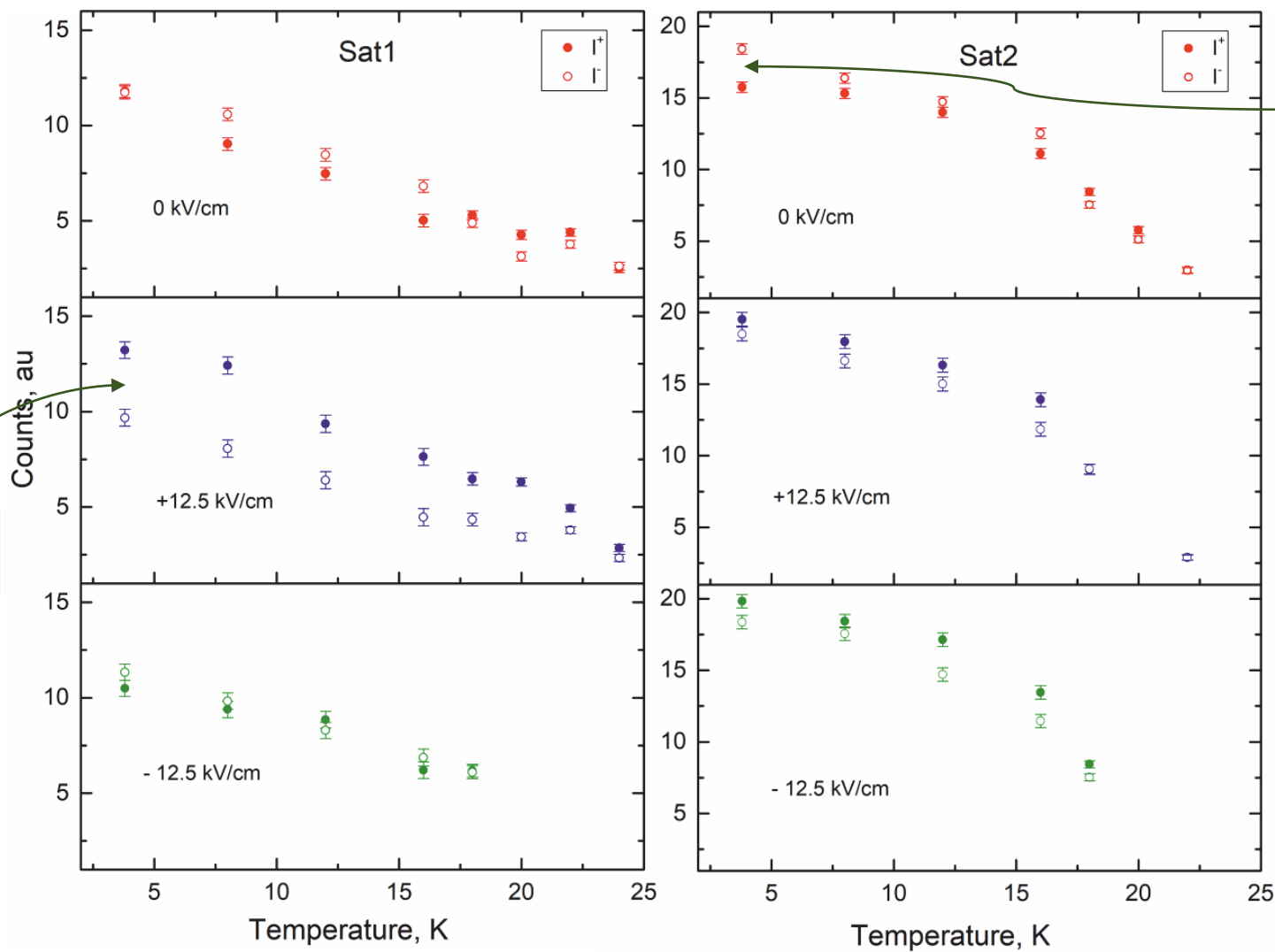
$$I_x^\pm \sim \underbrace{M_\perp M_\perp^*}_{I_M} \mp \underbrace{i(n_r - n_l)(M_\perp \times M_\perp^*)_x}_{I_{Ch}}$$

$$M_\perp = Q \times (M \times Q)$$

I_x^\pm - интенсивность рассеянных нейтронов при поляризации падающего пучка P вдоль x (+) или против x (-).

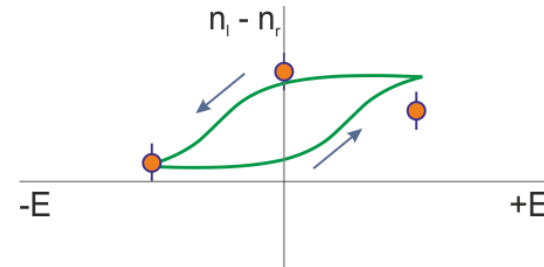
Эволюция кирального рассеяния во внешнем электрическом поле

SNP, POLI, MLZ

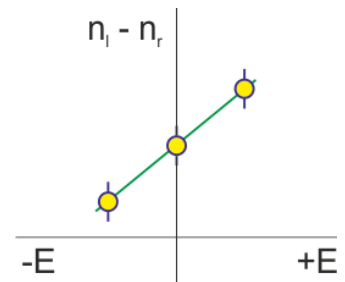


Эволюция кирального рассеяния во внешнем электрическом поле

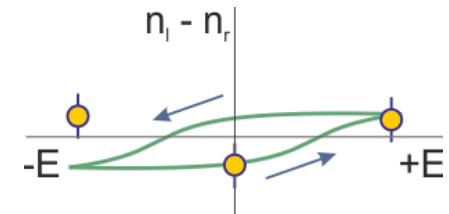
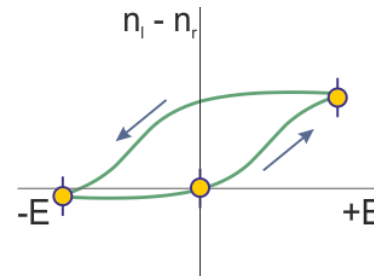
TbMn₂O₅			
	ZFC	-6kV/cm	+6kV/cm
$n_l - n_r$	0.24(2)	0.04(2)	0.16(3)



NdMn₂O₅			
	ZFC	+12.5kV/cm	-12.5kV/cm
$n_l - n_r$	0.20(2)	0.32(2)	0.08(2)



Nd_{0.8}Tb_{0.2}Mn₂O₅			
	ZFC	+12.5kV/cm	-12.5kV/cm
Phase 1 (TbMn ₂ O ₅ - type)			
$n_l - n_r$	0.00(2)	0.10(1)	-0.03(1)
Phase 2 (NdMn ₂ O ₅ - type)			
$n_l - n_r$	-0.06(1)	0.03(1)	0.04(1)

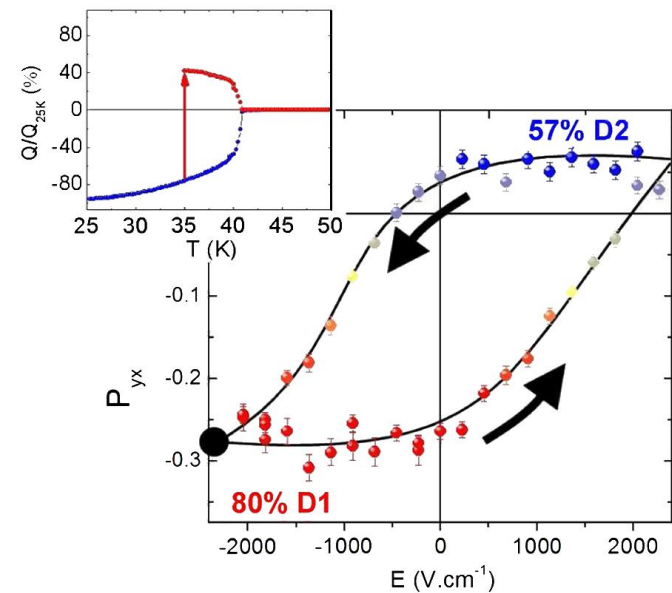
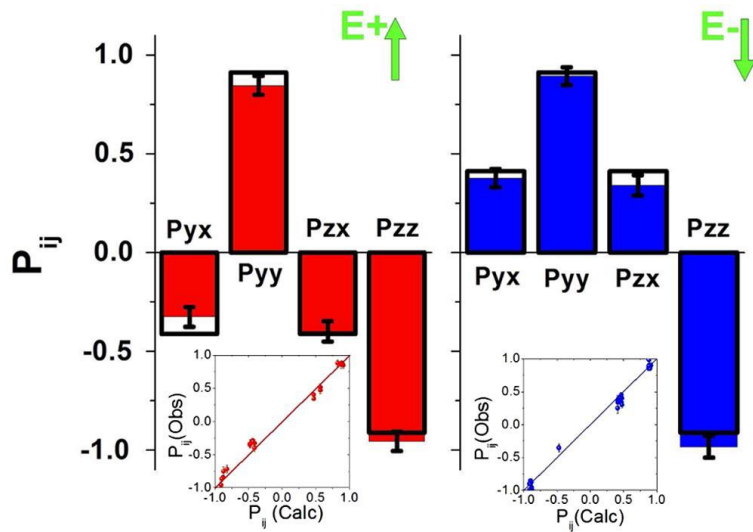


Приложение положительного электрического поля приводит к увеличению числа «левых» доменов!

Эволюция кирального рассеяния во внешнем электрическом поле



P. G. Radaelli, L. C. Chapon et al. PRL 101, 067205 (2008)



$$P_{yx} \sim (n_r - n_l)(\mathbf{M}_\perp \times \mathbf{M}_\perp^*)_x$$

Приложение положительного электрического поля приводит к увеличению числа «левых» доменов!

Антисимметричный обмен – взаимодействие Дзялошинского-Мория, DMI

$$V_{DM} = \mathbf{D}[\mathbf{S}_1 \times \mathbf{S}_2]$$

Антисимметричный суперобмен через анион

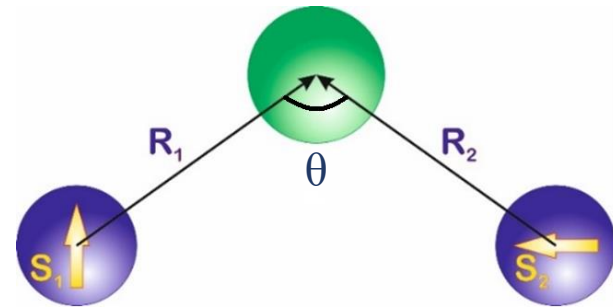
$$V_{DM} = d(\theta) [\mathbf{R}_1 \times \mathbf{R}_2] [\mathbf{S}_1 \times \mathbf{S}_2];$$

$$\mathbf{D} = d(\theta) [\mathbf{R}_1 \times \mathbf{R}_2]$$

$[\mathbf{R}_1 \times \mathbf{R}_2]$ - определяет *направление* вектора Дзялошинского

$d(\theta)$ определяет *знак* вектора Дзялошинского

Знак обменного параметра $d(\theta)$ очень чувствителен к углу связи вблизи некоторого критического угла θ_k !



F. Keffer, Phys.Rev. 126, 896, 1962

*A. S. Moskvin, I. G. Bostrem, Sov. Phys. Solid State 19
1532, 1977*

DMI в RMn_2O_5

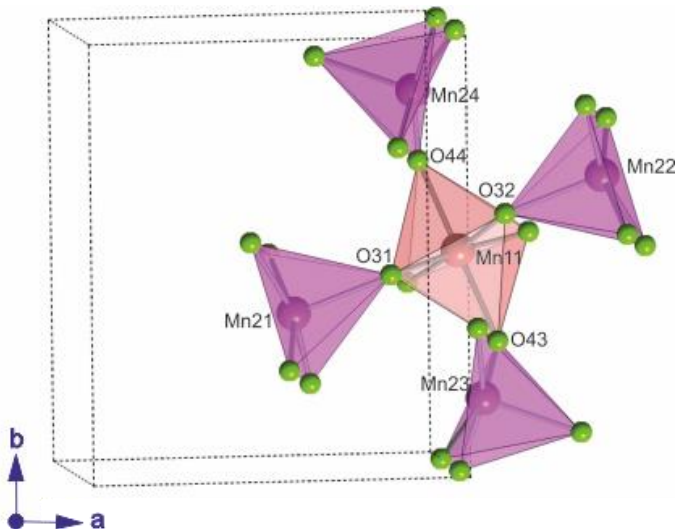
для $Pbam$ $\mathbf{D} = 0$

$Pbam \longrightarrow Pm, \gamma = 90^\circ$

V. Baledent et al, Phys.Rev.Lett. 114, 117601, 2015



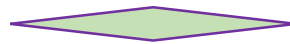
для Pm $\mathbf{D} \neq 0$!



ВЫВОДЫ

В соединении $\text{Nd}_{0.8}\text{Tb}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ наблюдаются две несоразмерные магнитные фазы, ни одна из которых не повторяет в полной мере магнитную фазу какого-либо из «родительских» соединений TbMn_2O_5 , NdMn_2O_5 . Обе магнитные фазы являются киральными.

По сравнению с NdMn_2O_5 система $\text{Nd}_{0.8}\text{Tb}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ проявляет еще большую способность порождать упорядоченные магнитные фазы одного типа. Так, в узком температурном диапазоне 25 К – 30 К наблюдались еще две магнитные несоразмерные фазы, что, возможно, связано с магнитной неоднородностью системы.



Приложение электрического поля положительной полярности приводит к увеличению количества доменов с, «левыми» спиралью в ряду мультиферроиков семейства RMn_2O_5 : TbMn_2O_5 , NdMn_2O_5 , $\text{Nd}_{0.8}\text{Tb}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$, Ym_2O_5 .

По-видимому, эффект связан с тем, что в этих соединениях углы связей Mn-O, участвующих в антисимметричном обмене, близки к критической величине θ_k , характерной для RMn_2O_5 . Внешнее электрическое поле положительной полярности приводит к смещениям ионов кислорода, что одинаковым для RMn_2O_5 образом меняет знак вектора \mathbf{D} – антисимметричного обмена.





Благодарности

Анна МАТВЕЕВА, Сергей ГАВРИЛОВ

*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
НИЦ «Курчатовский институт»*

Сергей БАРИЛО, Сергей ШИРЯЕВ

ИПЦ НАНБ по материаловедению

Andrey SAZONOV, Vladimir HUTANU

*Institute of Crystallography, RWTH Aachen University and Jülich Centre for
Neutron Science at Heinz Maier-Leibnitz Zentrum, Garching, Germany*

Спасибо за внимание!