



**Соразмерные спиновые
сверхструктуры и спиновая
киральность в $D_{\infty h}$ многослойной
системе**

Докладчик: Владислав Тарнавич (ПИЯФ)

Спиновая киральность

Спиновая киральность присуща материалам, в которых цепочки спинов образуют спираль, или винт.

Спиновая киральность, в случае гелимагнетиков, включена в магнитный параметр порядка наряду с обычной спиновой переменной S_R :

$$\vec{C}_{i,i+1} = [\vec{S}_i \times \vec{S}_{i+1}]$$

(Ho, Dy, Tb) (MnSi, FeGe) (ZnCr₂Se₄) - магнетики с геликоидальной спиновой структурой:

- обладают кристаллографическим центром инверсии;
- как результат: право- и левозакрученные спирали энергетически эквивалентны.

Вырождение можно снять: деформацией кручения (как в монокристалле Ho (*)),
одновременное воздействие электрического и магнитного полей (как в ZnCr₂Se₄(**))

(*) V.P.Plakhty, W.Schweika, Th. Bruckel, J. Kulda, S.V.Gavrilov, L.-P.Regnauld, D. Visser, Phys.Rev.B **64** (2001) 100402(R);

(**) K. Siratory, J.Akimitsu, E.Kita, M.Nishi, J.Phys.Soc.Jpn. **48** (1980) 1111.

Field Induced Chirality in the Helix Structure of Dy/Y Multilayer Films and Experimental Evidence for Dzyaloshinskii-Moriya Interaction on the Interfaces

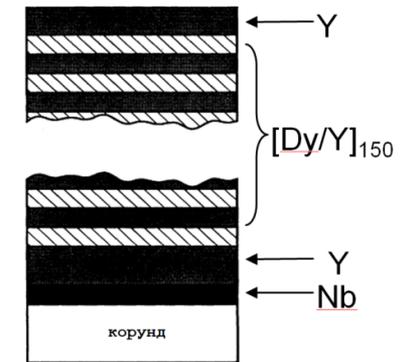
S. V. Grigoriev,^{1,*} Yu. O. Chetverikov,¹ D. Lott,² and A. Schreyer²
¹Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, St. Petersburg 188300, Russia
²GKSS Forschungszentrum, 21502 Geesthacht, Germany
 (Received 23 December 2007; published 16 May 2008)

Interplay of RKKY, Zeeman, and Dzyaloshinskii-Moriya interactions and the nonzero average spin chirality in Dy/Y multilayer structures

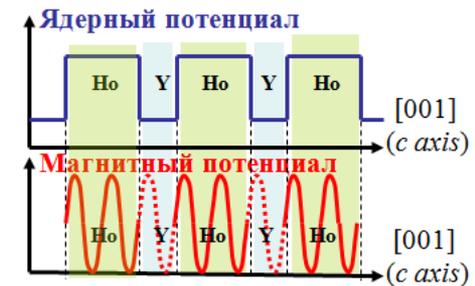
S. V. Grigoriev,^{1,*} D. Lott,² Yu. O. Chetverikov,¹ A. T. D. Grünwald,² R. C. C. Ward,³ and A. Schreyer²
¹Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, St. Petersburg 188300, Russia
²GKSS Research Centre, 21502 Geesthacht, Germany
³Oxford Physics, Clarendon Laboratory, Parks Road, Oxford OX1 3PU, United Kingdom
 (Received 13 July 2010; published 16 November 2010)



Образцы выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии



Предполагается, что когерентная спиновая спираль проникает сквозь парамагнитные слои Y благодаря волне зарядовой плотности электронов проводимости, проходя сквозь слои Dy и Y вдоль оси c.
 [M.B.Salamon et al., Phys.Rev.Lett. 56 (1986) 259]



Рассеяние поляризованных нейтронов

В случае упругого рассеяния на магнитной спирали (*)

$$d\sigma \sim \{S^2(1 + (\hat{\mathbf{q}}\hat{\mathbf{c}})^2 + 2\langle C \rangle(\hat{\mathbf{q}}\mathbf{P}_0)(\hat{\mathbf{q}}\hat{\mathbf{c}})(n_L - n_R)\} \delta(\mathbf{q} - \mathbf{k})$$

$\hat{\mathbf{c}} = [\mathbf{S}_1 \times \mathbf{S}_2] / \langle C \rangle$ - единичный вектор киральности,

$$\hat{\mathbf{q}} = \mathbf{q} / q$$

n_L, n_R - уровни заселённости лево- и правосторонней спирали ($n_L + n_R = 1$)

поляризационно-независимая часть рассеяния

$$\Sigma\sigma(\mathbf{q}) = \sigma(\mathbf{q}, \mathbf{P}_0) + \sigma(\mathbf{q}, -\mathbf{P}_0) \sim S^2(1 + (\hat{\mathbf{q}}\hat{\mathbf{c}})^2)$$

поляризационно-зависимая часть рассеяния

$$\Delta\sigma(\mathbf{q}) = \sigma(\mathbf{q}, \mathbf{P}_0) - \sigma(\mathbf{q}, -\mathbf{P}_0) \sim \langle C \rangle(\hat{\mathbf{q}}\mathbf{P}_0)(n_L - n_R)$$

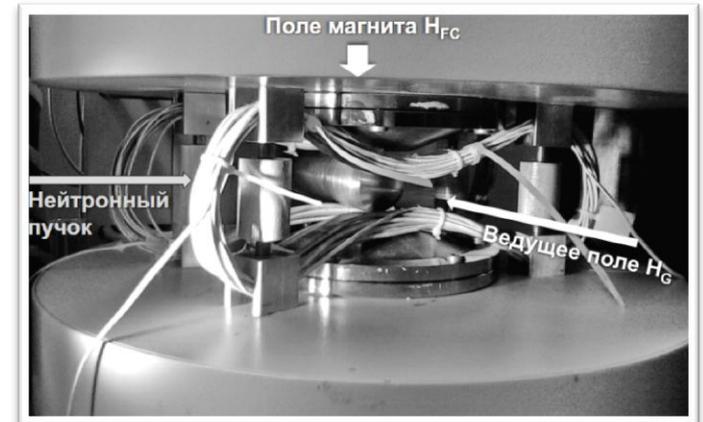
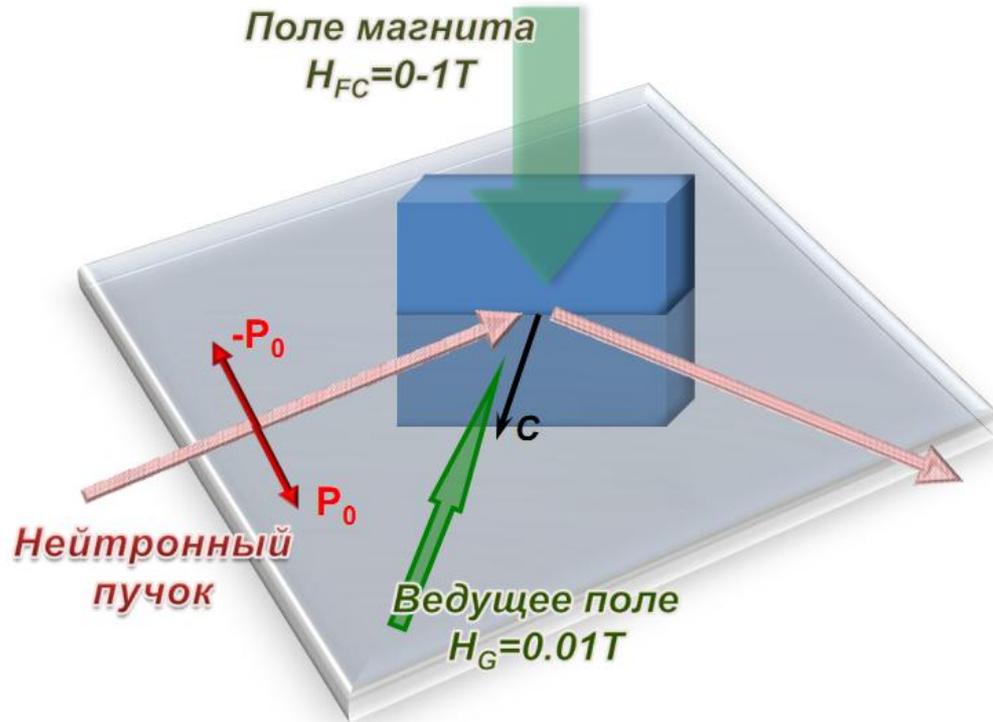
Для удобства сопоставления вкладов в рассеяние вводится γ - отношение

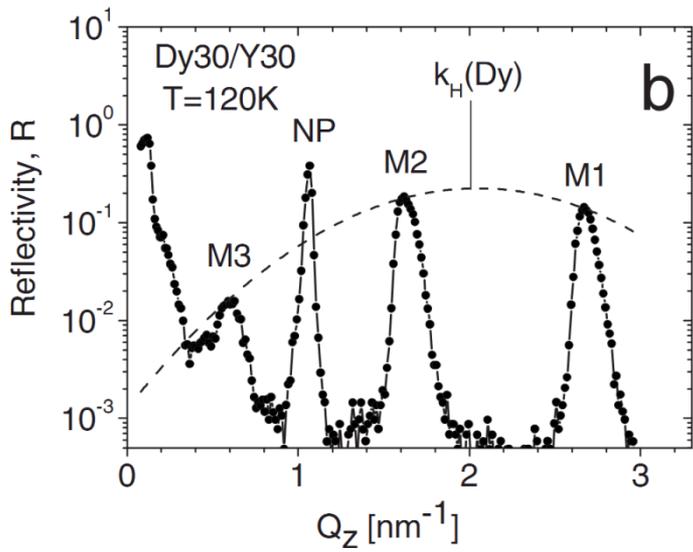
$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\sigma(P_0+) - \sigma(P_0-)}{\sigma(P_0+) + \sigma(P_0-)} \\ &= \frac{I(P_0+) - I(P_0-)}{I(P_0+) + I(P_0-)} \end{aligned}$$

(*) S. V. Maleev, V. G. Bar'yakhtar, and R. A. Suris, *Fiz. Tverd. Tela* 4, 3461 (1962)

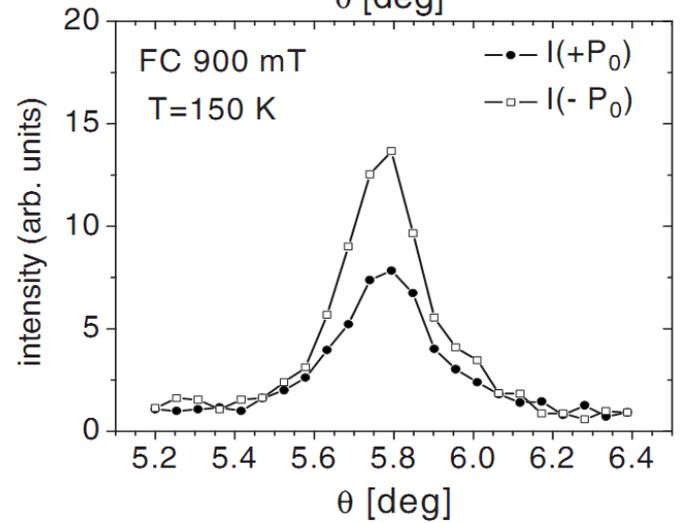
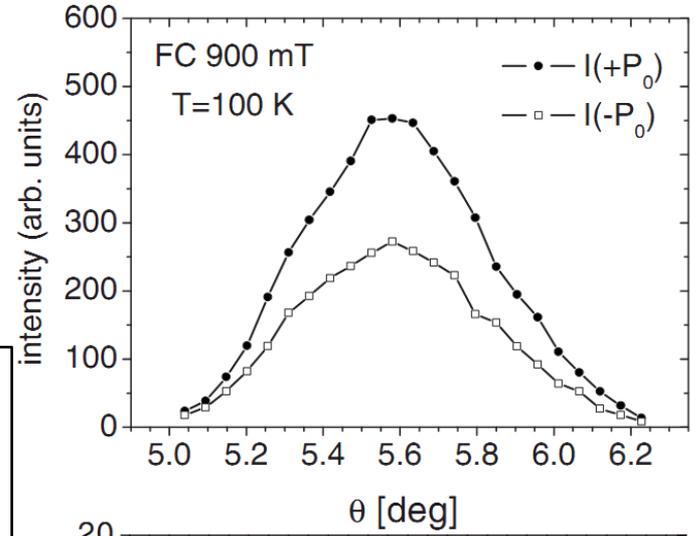
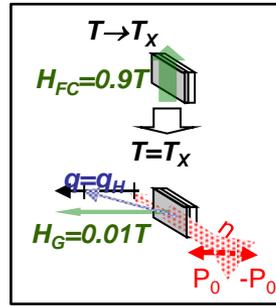
Постановка ПНР эксперимента

ПНР рефлектометр NERO, GKSS,
($P_0 = 0.96$, $\lambda = 4.35 \text{ \AA}$ и $\Delta\lambda/\lambda = 0.02$)





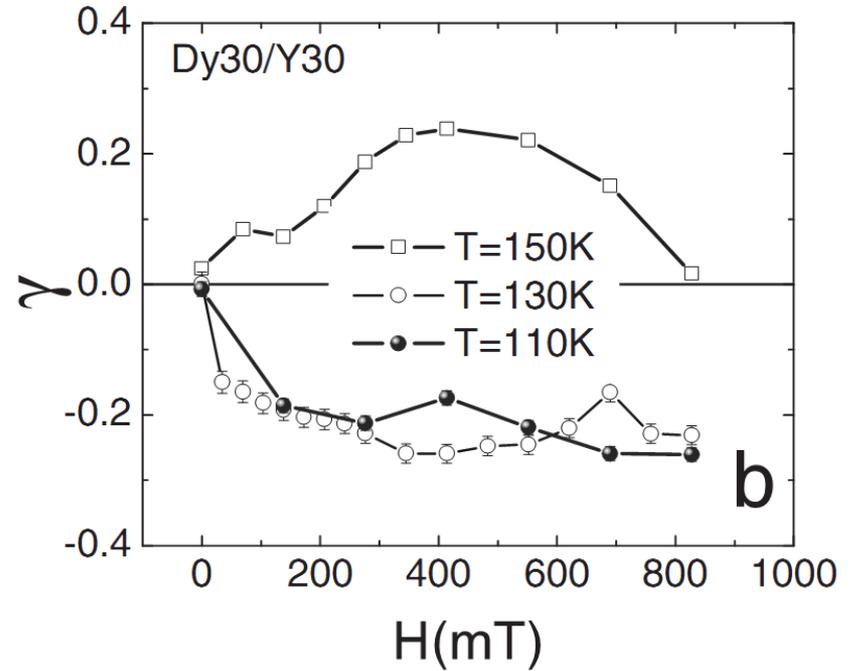
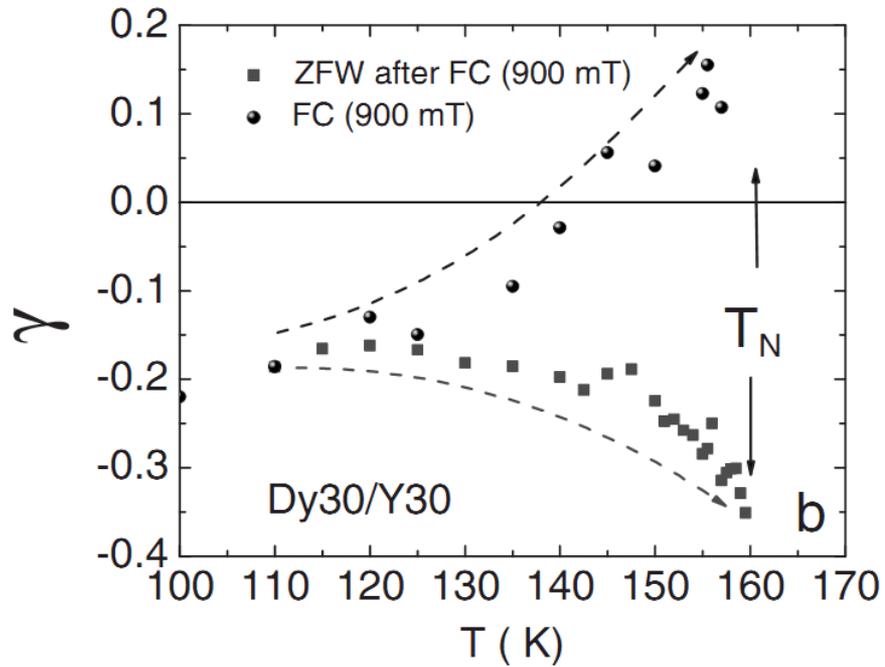
Профиль кривой зеркального отражения для образца Dy30Y30 в нулевом поле



Кривая качания (пик M2) для двух противоположных значениях поляризации ($H \parallel P_0 \parallel q$)

$$\gamma = \frac{I(P_0+) - I(P_0-)}{I(P_0+) + I(P_0-)}$$

Dy30Y30



Field-induced chirality in the helix structure of Ho/Y multilayers

 V. V. Tamavich,^{1,*} D. Lott,² S. Mattauich,³ A. Oleshkevych,⁴ V. Kapaklis,⁴ and S. V. Grigoriev^{1,5}
¹Petersburg Nuclear Physics Institute NRC KI, 188300 Gatchina, Russia

²Helmholtz-Zentrum Geesthacht, 21502 Geesthacht, Germany

³Jülich Centre for Neutron Science (JCNS), 85747 Garching, Germany

⁴Uppsala University, Uppsala, Sweden

⁵Saint Petersburg State University, Ulyanovskaya 1, 198504 Saint Petersburg, Russia

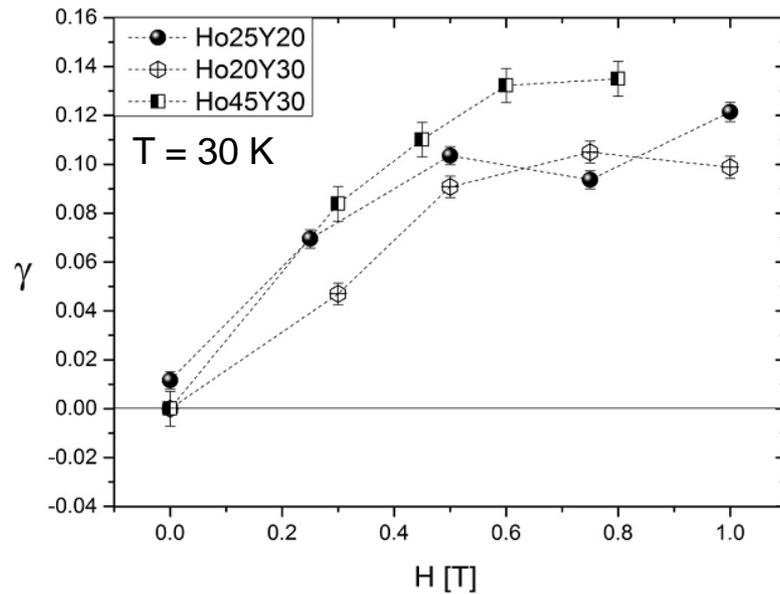
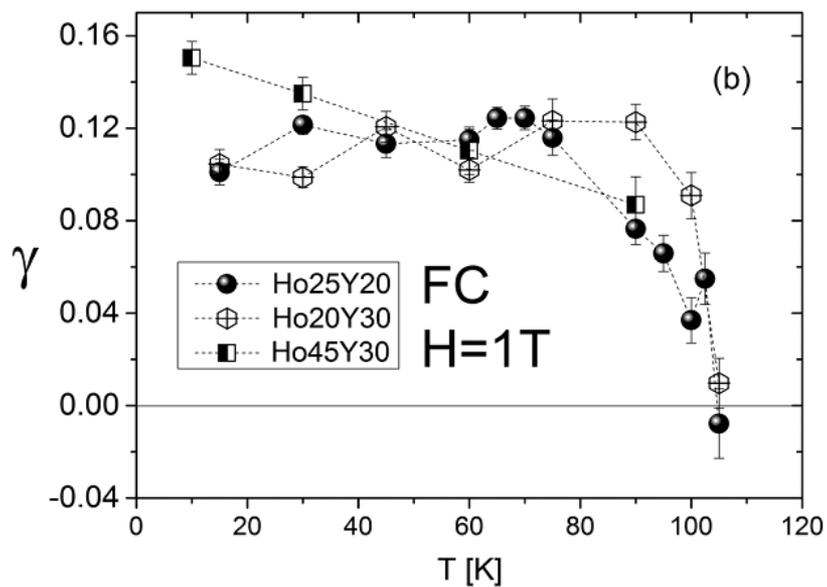
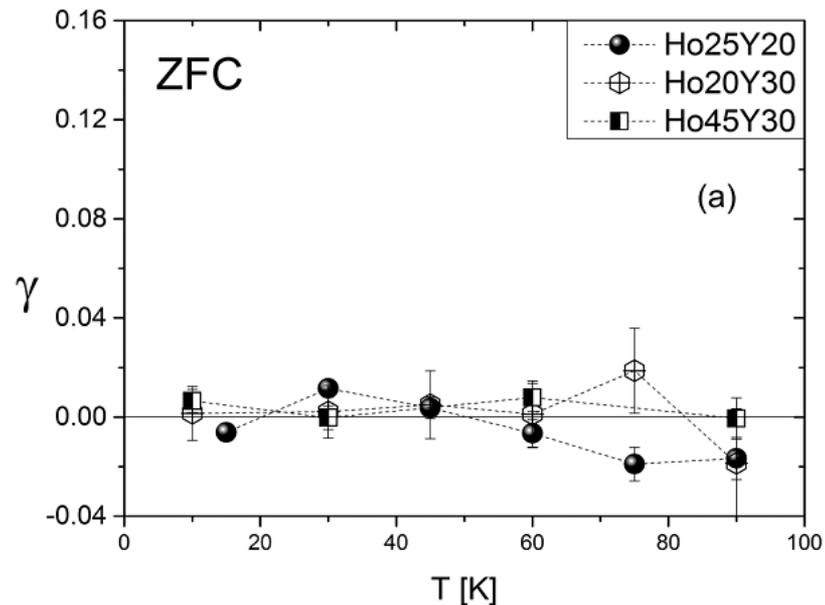
(Received 9 September 2013; revised manuscript received 19 December 2013; published 7 February 2014)

$$\text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / [\text{Ho}_{25 \text{ \AA}} / \text{Y}_{20 \text{ \AA}}]_{20} / \text{Y}_{200 \text{ \AA}} / \text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / [\text{Ho}_{20 \text{ \AA}} / \text{Y}_{30 \text{ \AA}}]_{30} / \text{Y}_{200 \text{ \AA}} / \text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / [\text{Ho}_{45 \text{ \AA}} / \text{Y}_{30 \text{ \AA}}]_{20} / \text{Y}_{200 \text{ \AA}} / \text{Nb}_{50 \text{ \AA}} / \text{Al}_2\text{O}_3$$

ПНР MARIA, FRM II, JCNS ($\lambda=4.5$ – 8 Å, $\Delta\lambda/\lambda=10\%$)
 SuperADAM, ILL ($\lambda=4.4$ Å, $\Delta\lambda/\lambda=0.4\%$) .



Control of chirality normal to the interface of hexagonal magnetic and nonmagnetic layers

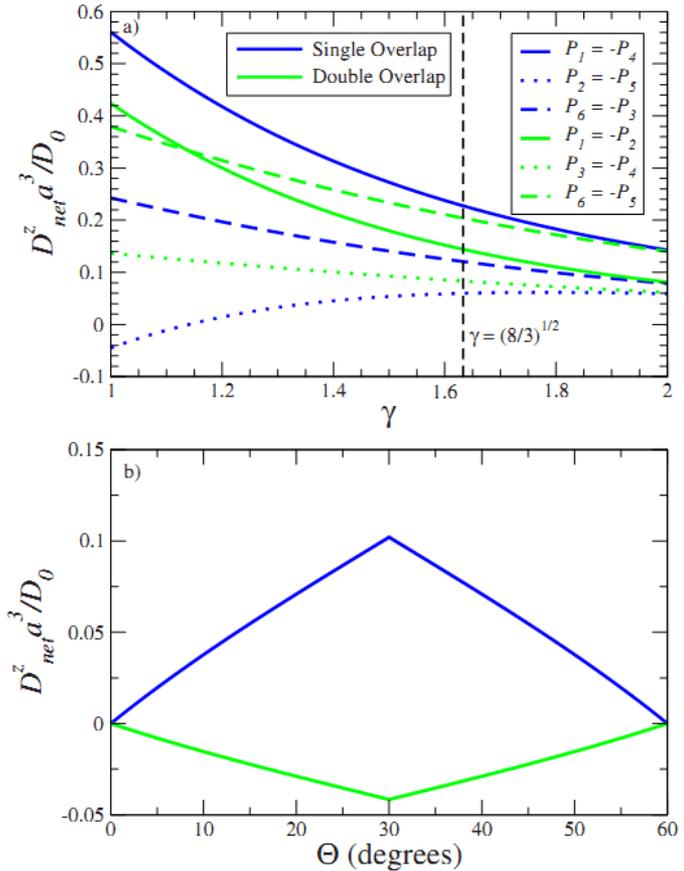
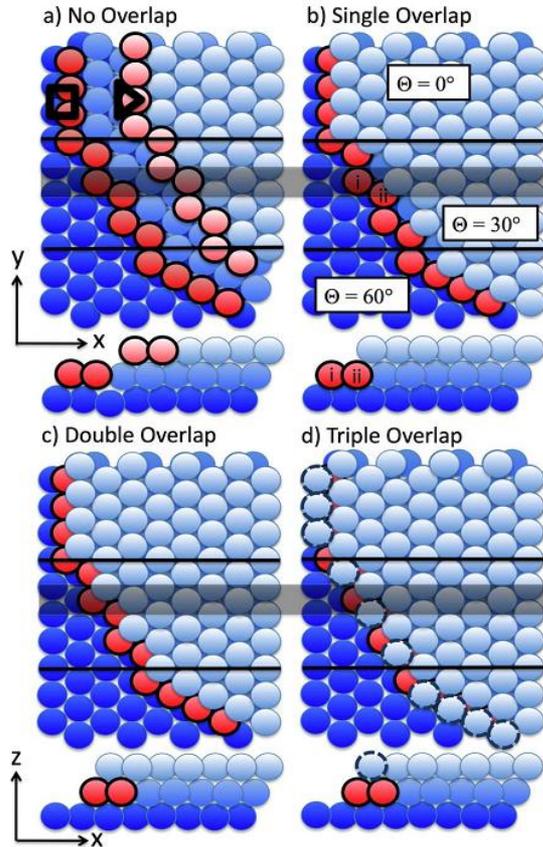
Jason T. Haraldsen and Randy S. Fishman

Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831, USA

(Received 2 November 2009; revised manuscript received 11 December 2009; published 8 January 2010)

$$\mathbf{D}_{ij} = \frac{D_0}{R_{ij}} \sum_n \frac{\mathbf{R}_{in} \cdot \mathbf{R}_{jn} (\mathbf{R}_{in} \times \mathbf{R}_{jn})}{(R_{in} R_{jn})^3}$$

where D_0 is proportional to the spin-orbit coupling and $\mathbf{R}_{in} = \mathbf{R}_i - \mathbf{R}_n$ is the vector connecting magnetic site (i) to the nonmagnetic site (n)



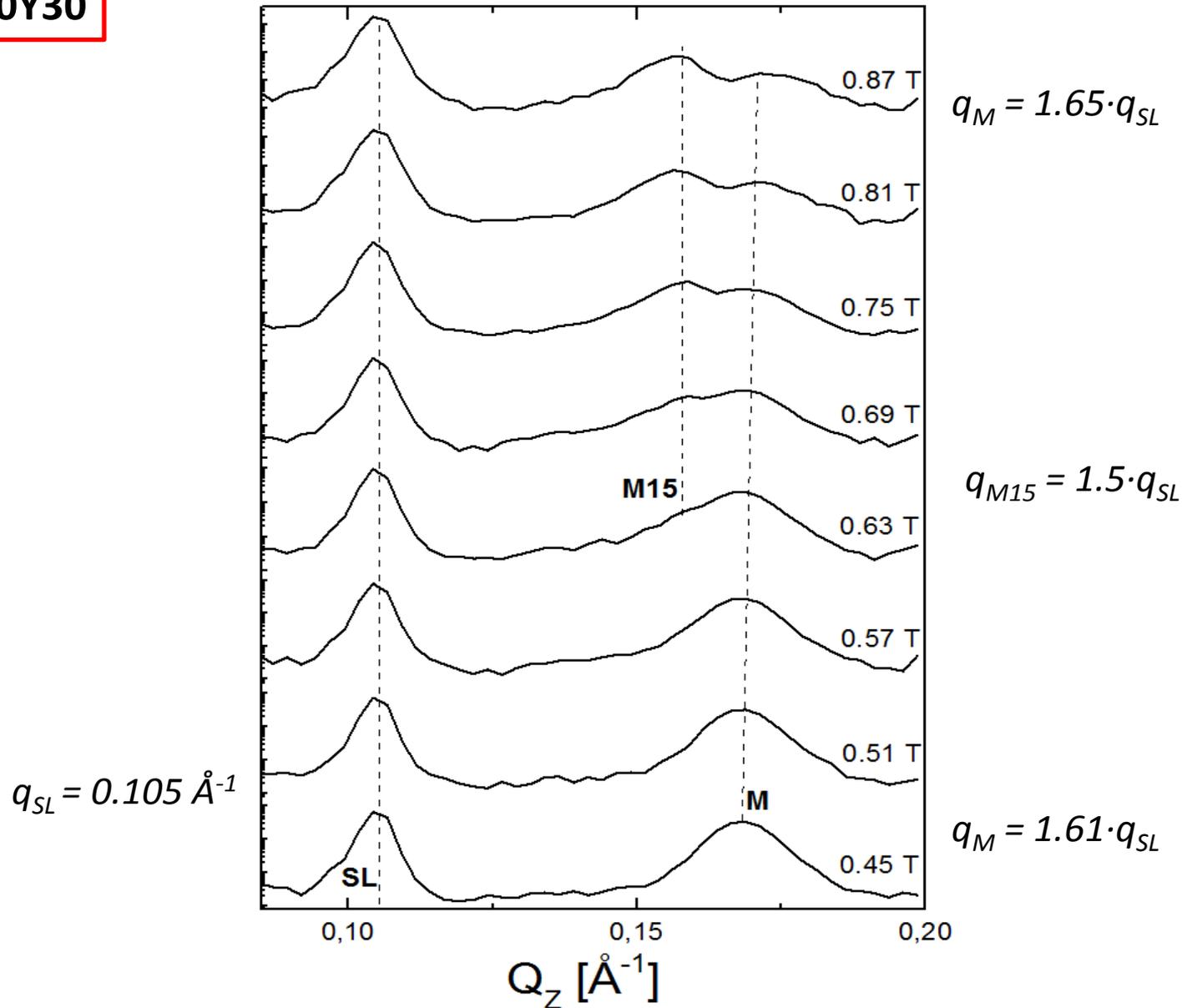
$$|\mathbf{D}_{ij}|_{\text{HCP}} = \frac{12\sqrt{3}D_0(\gamma + 2\sqrt{1 + \gamma^2})}{a^3\sqrt{1 + \gamma^2}(4 + 3\gamma^2)}$$

with $\gamma = c/a$

За счёт перекрытия магнитных и немагнитных атомов, «ступеньки» на границе раздела слоёв способны привести к появлению взаимодействия Дзялошинского-Мория, ориентированного по направлению нормали к интерфейсу в магнитной гетероструктуре.

Dy30Y30

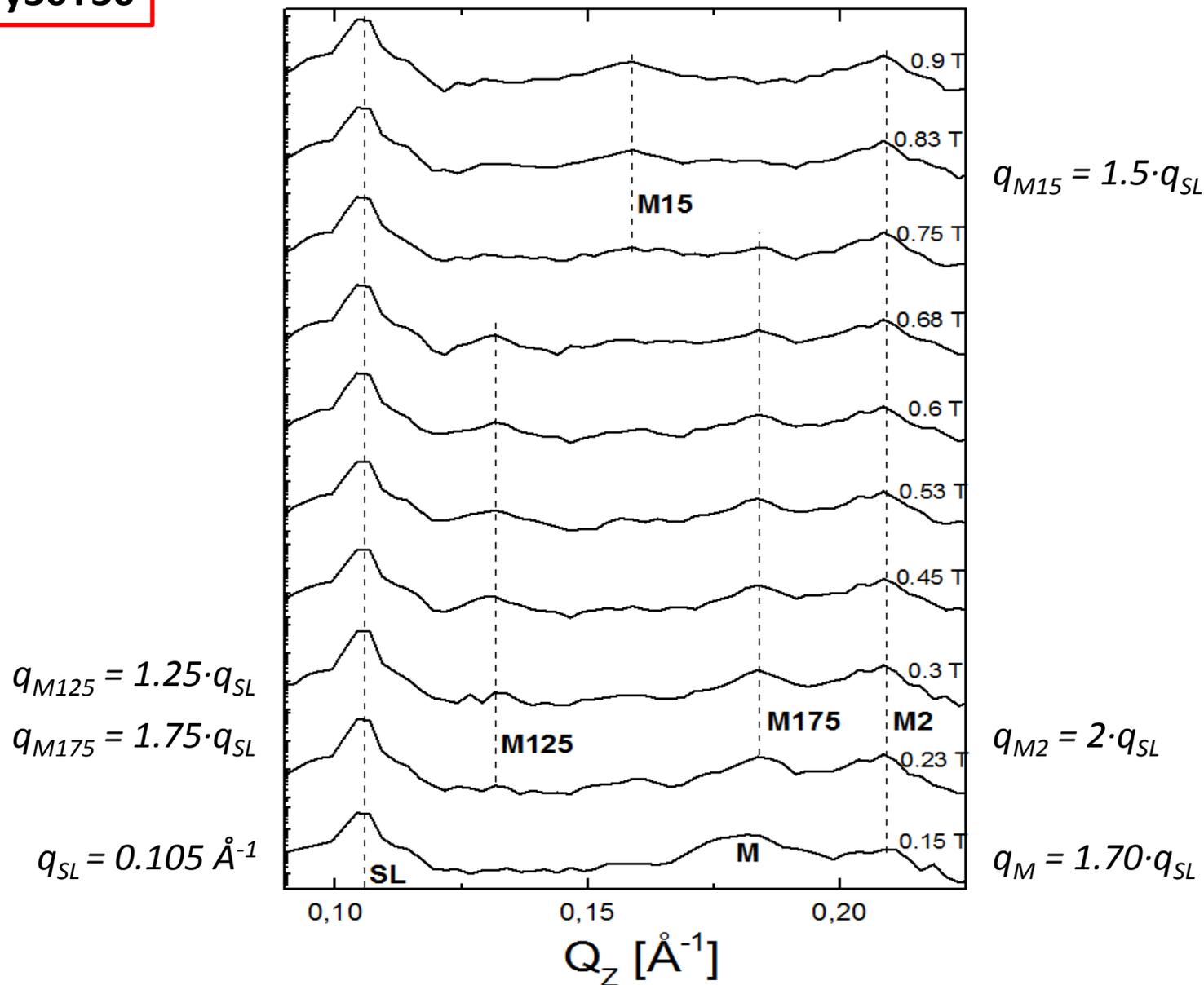
T = 130 K



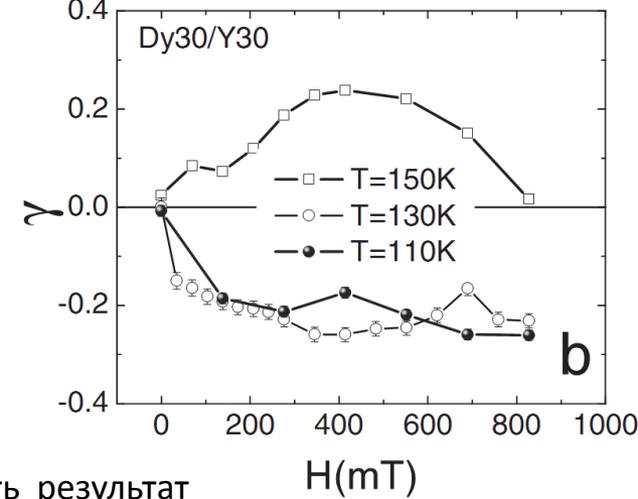
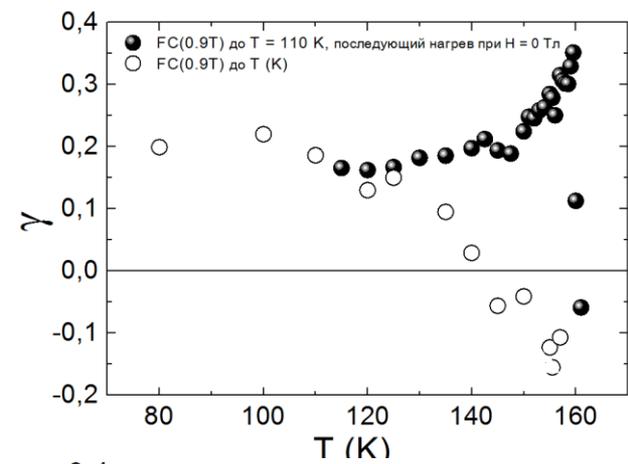
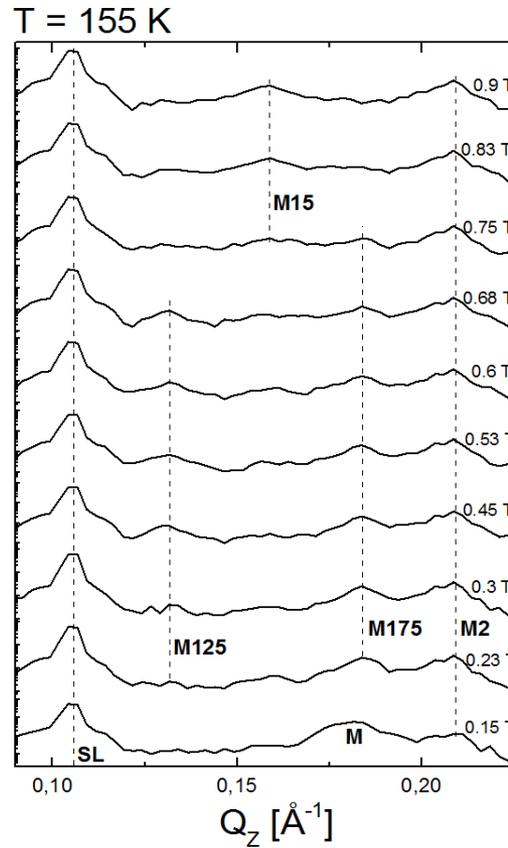
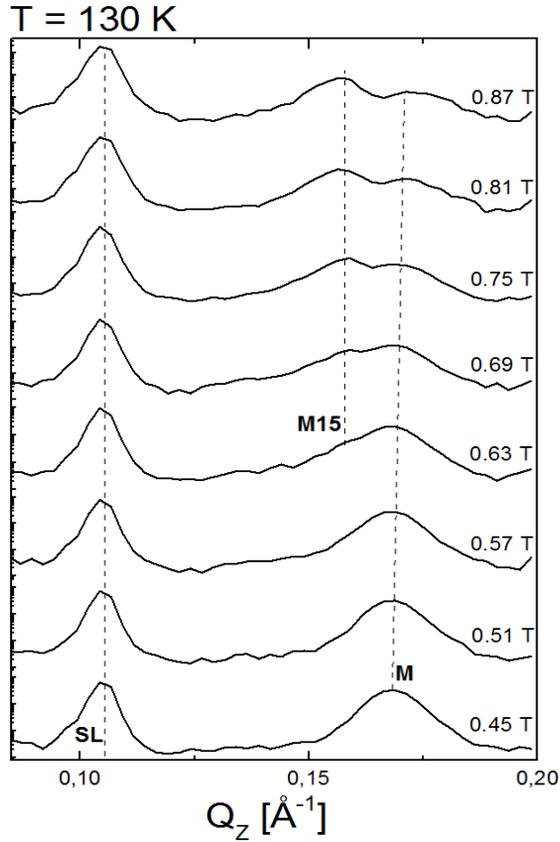
Профиль экспериментальных кривых зеркального отражения для образца Dy30Y30, полученные при T=130 с приложением внешнего магнитного поля

Dy30Y30

T = 155 K



Профиль экспериментальных кривых зеркального отражения для образца Dy30Y30, полученные при T=155 с приложением внешнего магнитного поля



$q_{M2} = 2 \cdot q_{SL} \rightarrow$ ФМ упорядочение (рост интенсивности пика SL есть результат интерференции рассеяния от ФМ и ядерной структуры)

$q_{M125} = 1.25 \cdot q_{SL} \rightarrow : (1/4)q_{SL}$ 90 - упорядочение (период соразмерной структуры 4 бислоя)

$q_{M175} = 1.75 \cdot q_{SL}$

$q_{M15} = 1.5 \cdot q_{SL} \rightarrow : (1/2)q_{SL}$ 180 - упорядочение (период соразмерной структуры 2 бислоя)

Заключение

- 1) ПНР эксперименты позволили обнаружить снятие вырождения киральной симметрии в Ho/Y и Dy/Y сверхрешётках, индуцированное внешним магнитным полем;
- 2) Возможной причиной наблюдаемого эффекта может являться возникновение взаимодействия ДМ на границе раздела в следствие граничных дефектов;
- 3) В Dy/Y сверхрешётке под воздействием внешнего магнитного поля происходит переход из несоразмерной в соразмерные (четырёхосную и двуосную) фазы.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

