



Эффекты близости в сверхрешетках Fe/Cr/Gd

Рябухина Марина

29.10.2014

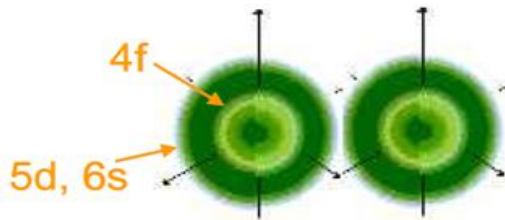
Магнитные элементы

Объект исследования – серия сверхрешеток **Fe/Cr(t)/Gd**

Принципиально различное поведение

- Редкоземельные металлы**

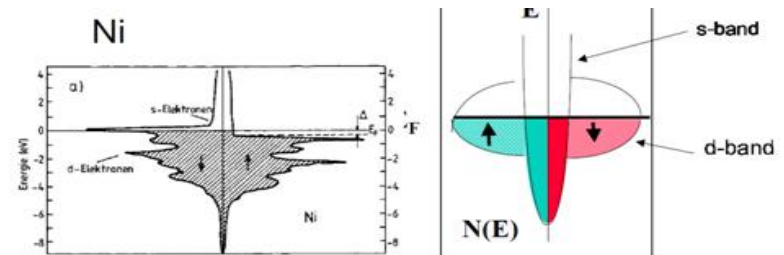
Обменное взаимодействие в РЗ



Магнитные 4f электроны локализованы.
5d и 6s электроны коллективизированы.
4f моменты связаны через косвенное
обменное взаимодействие (РККИ)

- Переходные металлы**

Прямое обменное коллективизированное
взаимодействие 3d – электронов



Fe/Gd как модель ферримагнитной системы

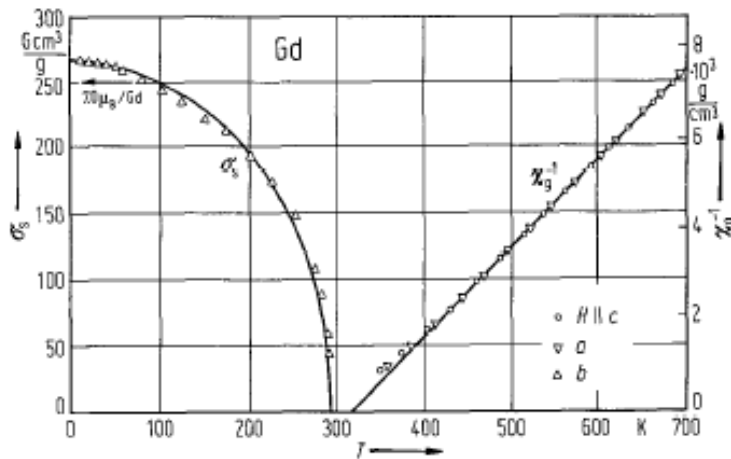
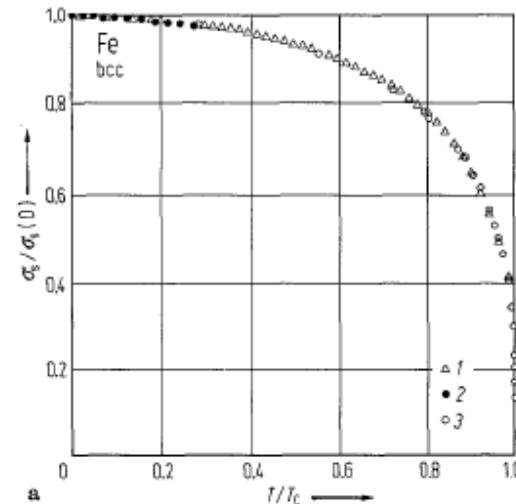


Fig. 144. Temperature dependence of the spontaneous magnetic moment and reciprocal magnetic susceptibility in Gd. $T_c = 293$ K, $\Theta = 317$ K. The solid curve is the $S = 7/2$ Brillouin function. Departures from the Curie-Weiss susceptibility near Θ result from short-range ordering [63 N 1, 65 B 1].



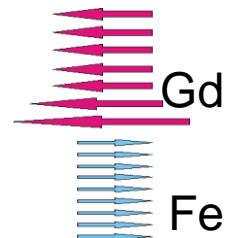
T_c (bulk Fe) = 1043 K
 T_c (bulk Gd) = 293 K

- Сильная температурная зависимость магнитного момента Gd
- Сильная внутрислойное обменное взаимодействие Fe
- Сильное антиферромагнитное взаимодействие Fe – Gd
- Слабое внутрислойное обменное взаимодействие Gd

$$J_{\text{Gd-Gd}} \sim 7.5 \text{ pJ/m}$$

$$J_{\text{Fe-Gd}} \sim -10 \text{ pJ/m}$$

$$J_{\text{Fe-Fe}} \sim 20.5 \text{ pJ/m}$$

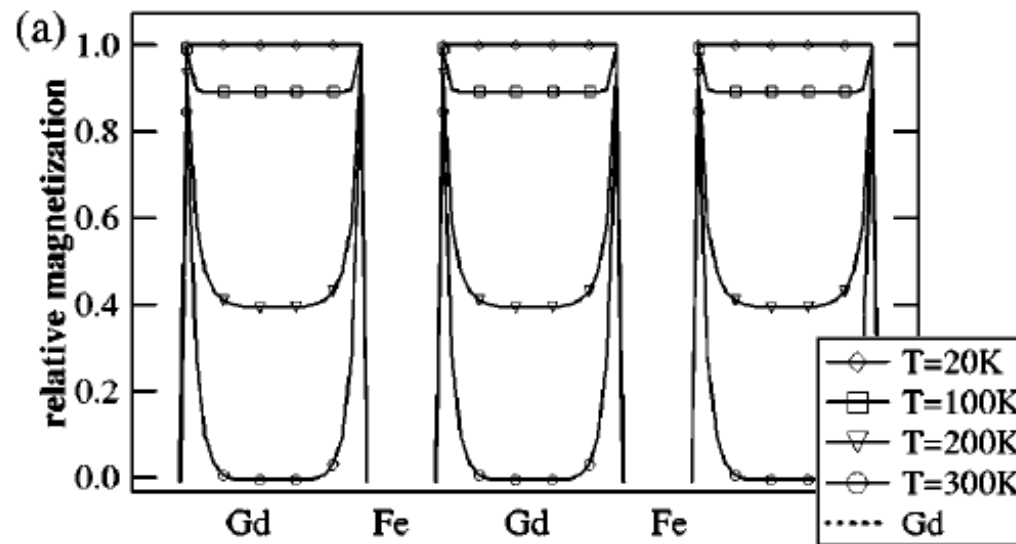


Зависимость магнитных моментов от температуры в сверхрешетках Fe/Gd

PHYSICAL REVIEW B 70, 134420 (2004)

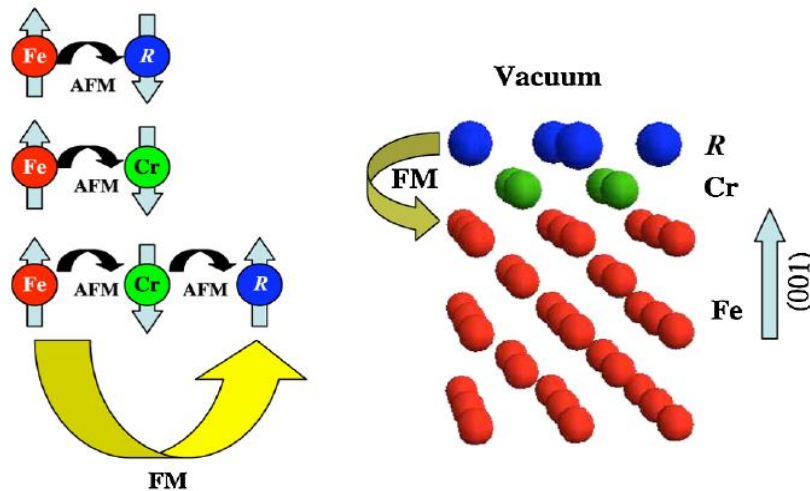
Temperature evolution of the Gd magnetization profile in strongly coupled Gd/Fe multilayers

Y. Choi,^{1,2} D. Haskel,² R. E. Camley,³ D. R. Lee,² J. C. Lang,² G. Srajer,² J. S. Jiang,⁴ and S. D. Bader⁴



T (K)	M_{int}	M_{mid}	$\sigma_{m,\text{GdFe}}$ (Å)	$\sigma_{m,\text{GdGd}}$ (Å)
300	1.00 ± 0.12	0.00 ± 0.00	4.21 ± 0.23	3.18 ± 0.06
200	1.00 ± 0.13	0.46 ± 0.04	3.89 ± 0.14	3.26 ± 0.13
100	1.00 ± 0.13	0.74 ± 0.04	3.76 ± 0.09	3.61 ± 0.23
20	1.00 ± 0.13	0.91 ± 0.03	3.66 ± 0.06	3.44 ± 0.31

Ферромагнитный эффект близости

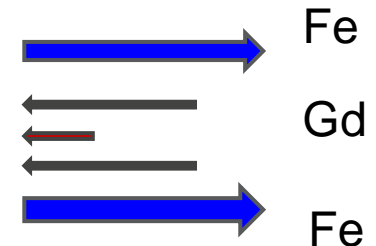


Проблема:

Как будут влиять поверхности соседних ферромагнитных слоев на величину магнитного момента?

Задачи:

- ▶ Исследовать магнитные свойства - определить взаимную ориентацию магнитных моментов отдельных слоёв и распределение намагниченности в отдельных слоях
- ▶ Определить элемент – чувствительные профили намагниченности в сверхрешетках Fe/Cr/Gd



Рост наноструктур

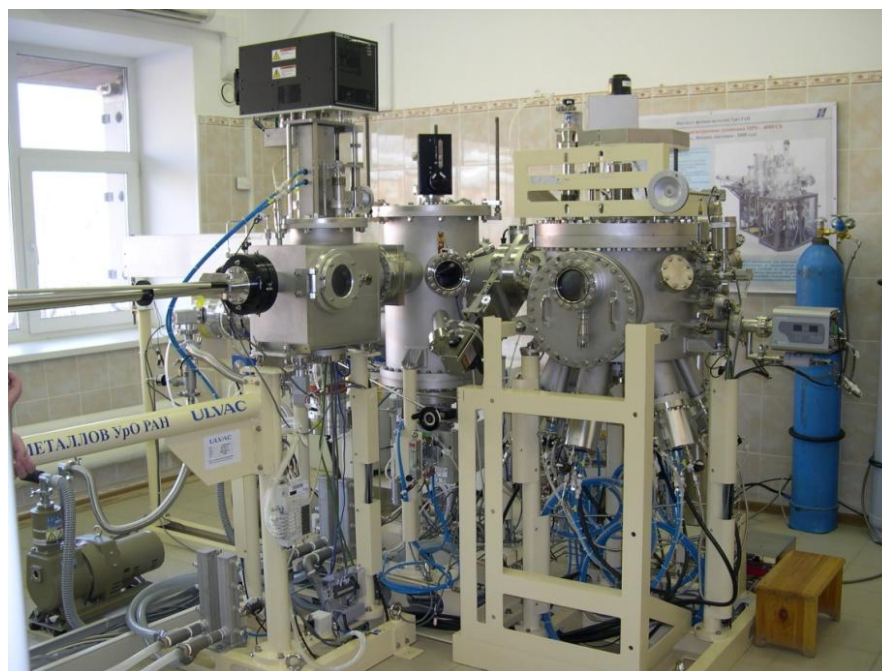
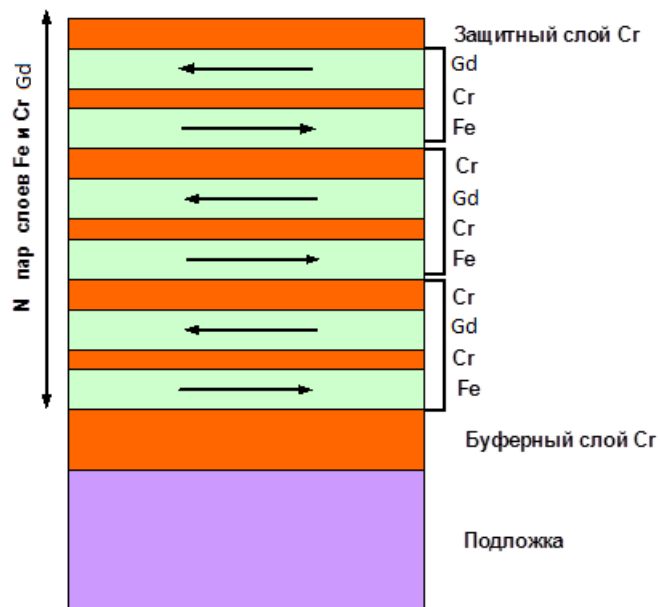
$\text{Si//Cr}(50\text{\AA})[\text{Fe}(35\text{\AA})/\text{Cr}(t)/\text{Gd}(50\text{\AA})/\text{Cr}(t)]_{12}\text{Cr}(30\text{\AA})$,
где $t=0-60\text{\AA}$

Высоковакуумное магнетронное распыление MPS-4000-C6 (Ulvac):

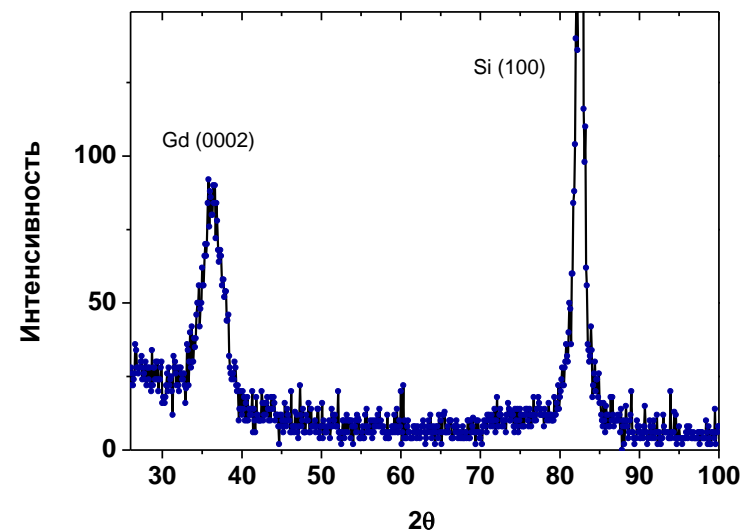
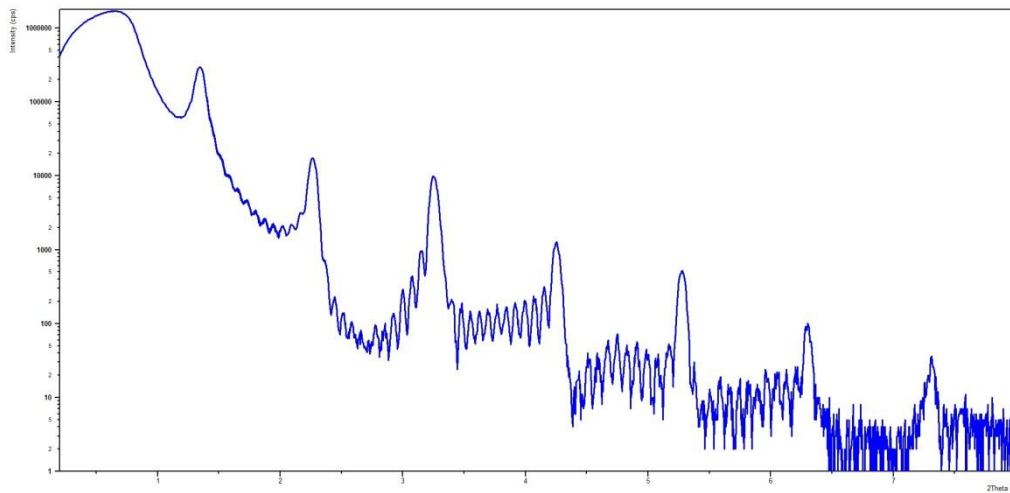
Базовое давление $6 \cdot 10^{-7}$

Давление аргона в камере 0,1 Па

Температура подложки $T=300\text{ K}$



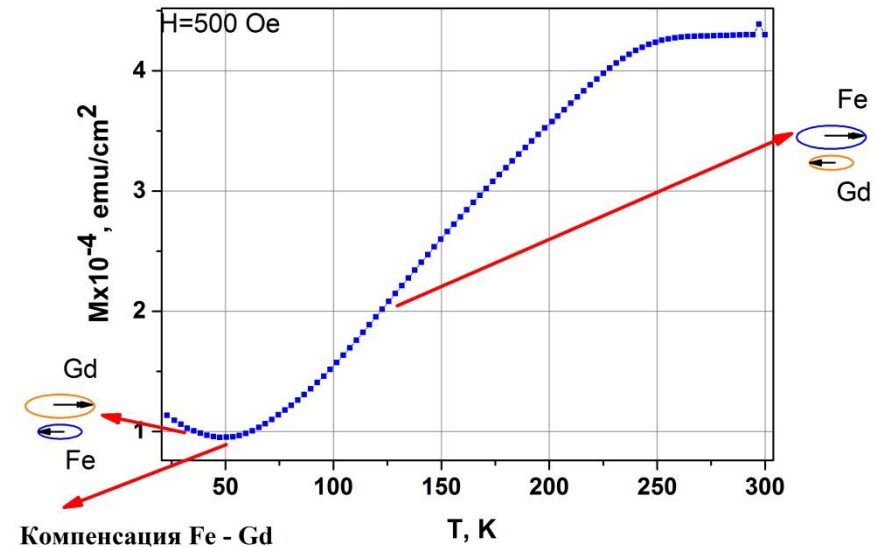
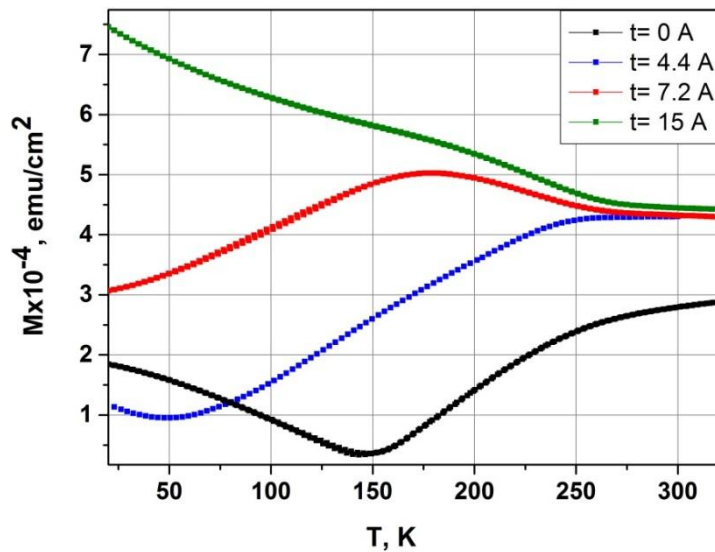
Структурная аттестация образцов



Рентгеновские спектры сверхрешеток Fe/Cr(4.4 Å)/Gd

- образец имеет хорошо определенную слоистую структуру;
- периодичность слоистой структуры строго выдерживается;
- резкие межслойные границы;
- среднеквадратичная шероховатость границ Cr/Fe > Fe/Cr;
- ГПУ структура внутри слоя Gd

Магнитная аттестация образцов



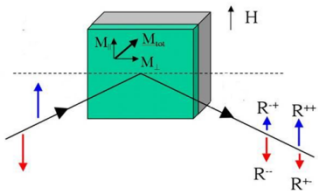
$$T_c^{gd} = 252 \text{ K} \quad T_c^{gd-bulk} > T_c^{gd}$$

Аномалия магнитных свойств

Существенная зависимость от t_{Cr}

Плюсы и минусы методик

• ПНР



$$R_{++} - R_{--} \propto M_{\parallel}$$

$$R_{+-} = R_{-+} \propto M_{\perp}^2$$

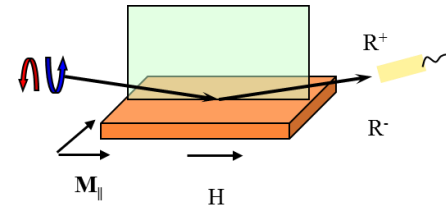


- Прямое взаимодействие с магнитными моментами
- Послойная векторная магнитометрия
- Самокалибрующийся метод



- Низкое пространственное разрешение ввиду низких интенсивностей
- Нет элементной чувствительности
- Неединственность решения для сложных магнитных систем

• РРМР

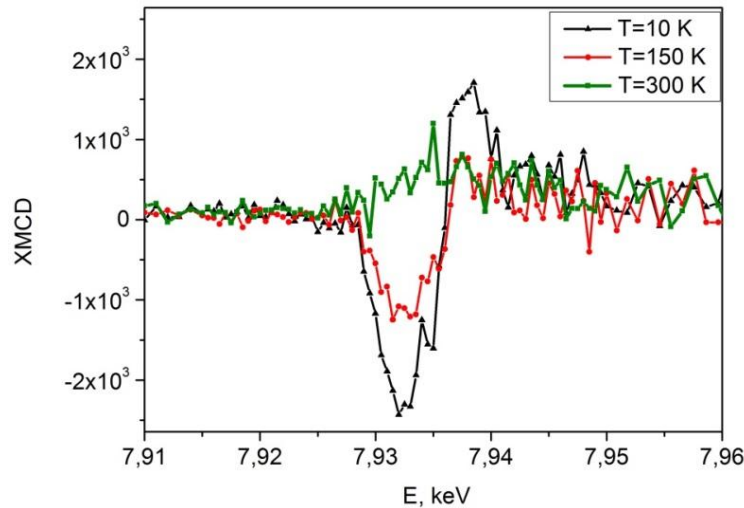


- Высокое пространственное разрешение ввиду высоких интенсивностей
- Элементная чувствительность
- Косвенное взаимодействие с магнитными моментами
- Определяется только одна компонента намагниченности
- Неединственность решения для сложных магнитных систем

Экспериментальные методы

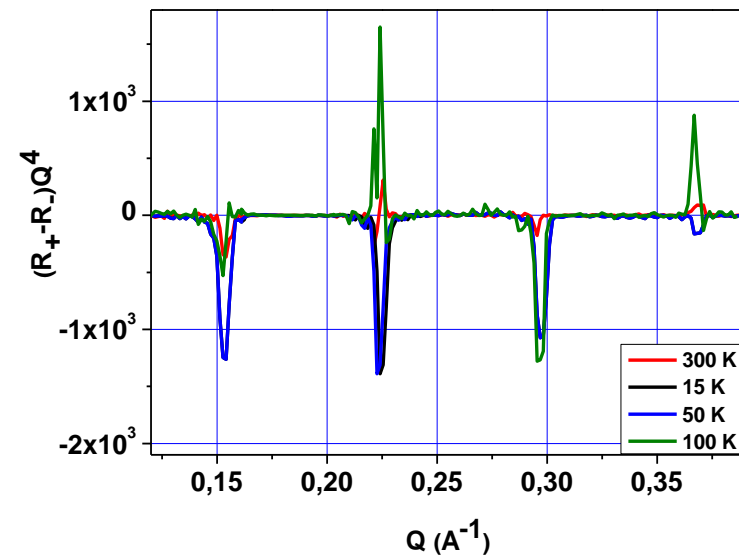
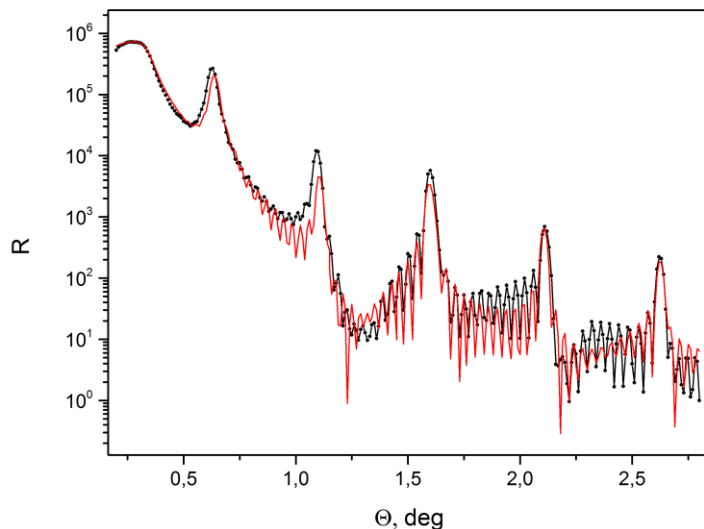
- Поляризационная нейтронная рефлектометрия (ПНР):
REMUR (ОИЯИ), **NREX** (FRM II)
- Резонансная рентгеновская магнитная рефлектометрия (PPMR):
4 – ID – D (APS)

XMCD и PPRM спектры сверхрешетки Fe/Cr(4.4 Å)/Gd

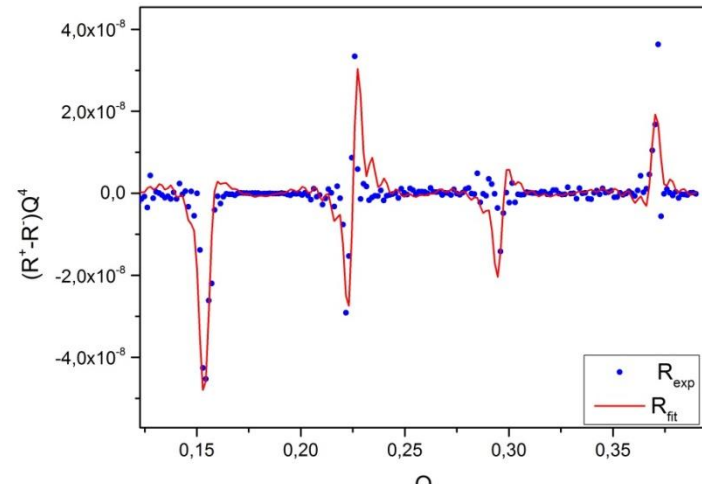
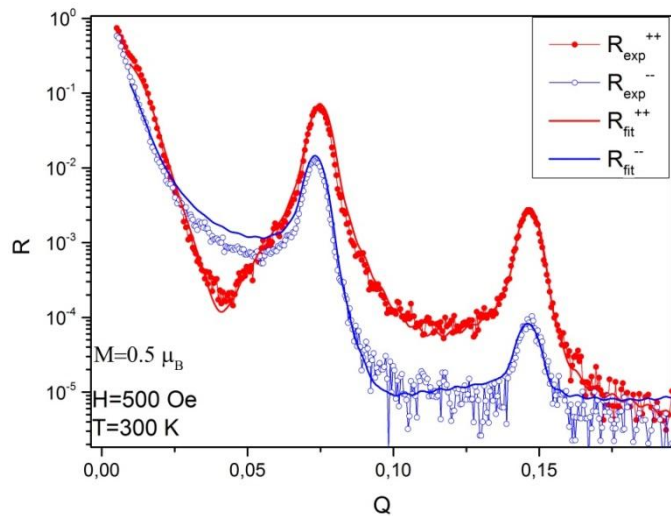


- Сильная температурная зависимость
- По мере уменьшения температуры магнитный момент Gd увеличивается, а при 300 K происходит переориентация его магнитного момента.
- При низких температурах момент Gd направлен по полю, при 300 K - против поля.

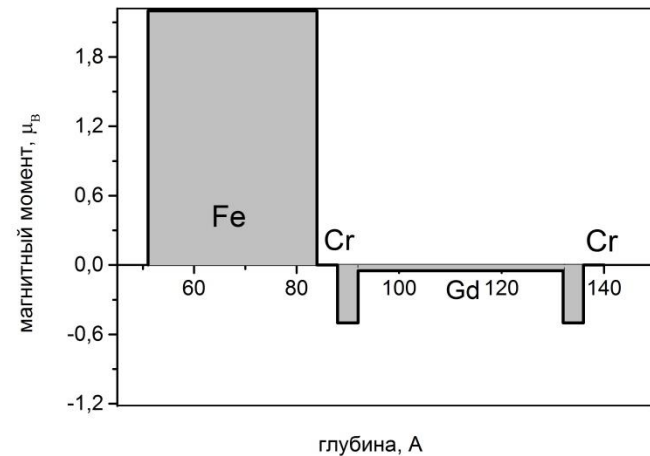
Измерения на L_2 -крае Gd



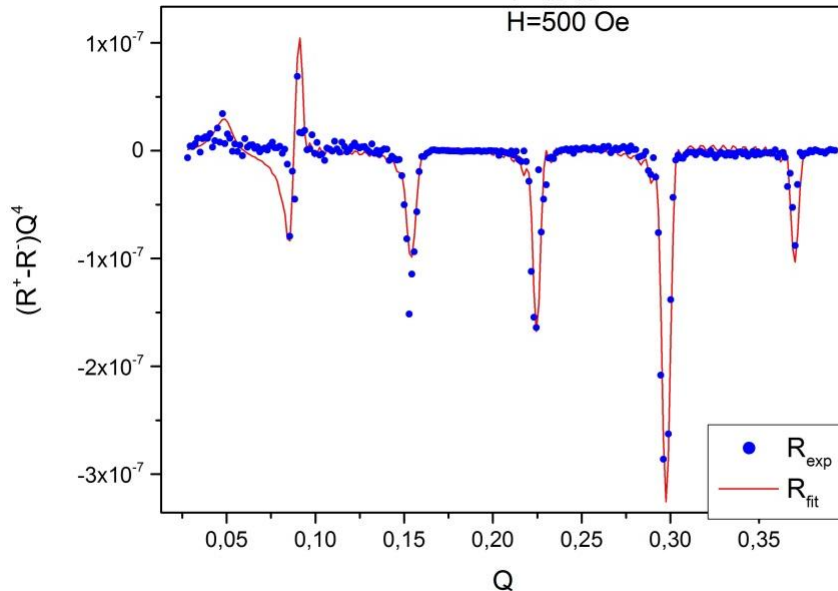
ПНР и РРМР спектры сверхрешеток Fe/Cr(4.4 Å)/Gd, при T=300 K, H=500 Oe



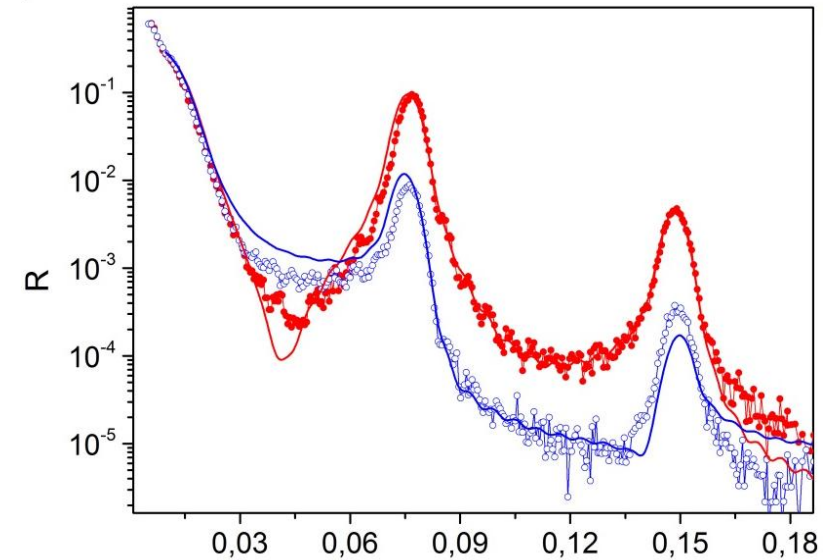
слой	$\sigma, \text{\AA}$	m_B, μ_B	m_T, μ_B	m_O, μ_B	$\tau, \text{\AA}$	$\theta, \text{град.}$
Cr ₂ O ₃	3					
Cr	2					
Cr	2	0	0	0	1	0
Gd	2	0.5	0.5	0	4	180
Cr	2	0	0	0	1	0
Fe	5	2.2	2.2	2.2	1	0
Cr	4					



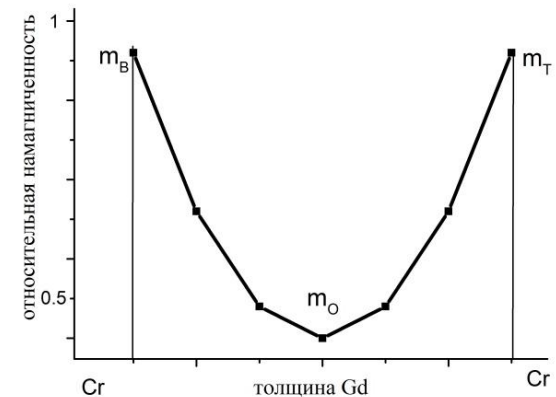
ПНР и РРМР спектры Fe/Cr(4.4 Å)/Gd, при T=15 K и H=500 Oe



4



слой	m_B, μ_B	m_T, μ_B	m_O, μ_B	$\tau, \text{\AA}$	θ , град.	
Cr ₂ O ₃						
Cr						
Cr	0	0	0	1	0	0
Gd	7	7	4	4	0	0
Cr	0	0	0	1	0	0
Fe	2.2	2.2	2.2	1	180	180



T (K)	$M_{\text{Gd}}(\text{PNR/RXMR}),$ 10^{-4} emu/cm^2	$M_{\text{Fe}}(\text{PNR/RXMR}),$ 10^{-4} emu/cm^2	$M(\text{PNR/RXMR}),$ 10^{-4} emu/cm^2	$M(\text{SQUID}),$ 10^{-4} emu/cm^2
15 K	5.24	5.86	0.62	1.13
300 K	0.26	5.17	4.91	4.5

Выводы:

- Согласно рентгеновским данным, образцы имеют хорошо определенную слоистую структуру
- Найдены величины магнитных моментов Gd
- Обнаружен эффект близости в слое Gd – на краях слоя образуется индуцированный момент
- Значительное уменьшение магнитного момента при низких температурах

Благодарности

- Кравцов Е.А., Наумова Л.И., Проглядо В. В., Устинов В.В.
(ИФМ)
- Никитенко Ю.В., (REMUR, ОИЯИ)
- Хайдуков Ю.Н. (NREX, FRM II)
- Хаскель Д. (4-ID-D, APS)

Спасибо за внимание

The slide features a dark gray background. A thick orange horizontal bar spans the width of the slide, positioned below the text. Below this bar, the background transitions to white. On the right side of the white area, there are several thin, overlapping horizontal lines in shades of orange and white, creating a layered, decorative effect.