



Институт физики металлов имени М. Н. Михеева  
Уральского отделения Российской академии наук

# Роль антиферромагнитной прослойки в формировании магнитного упорядочения в сверхрешетках Fe/Cr/Gd

Кравцов Е. А., Рябухина М.В.

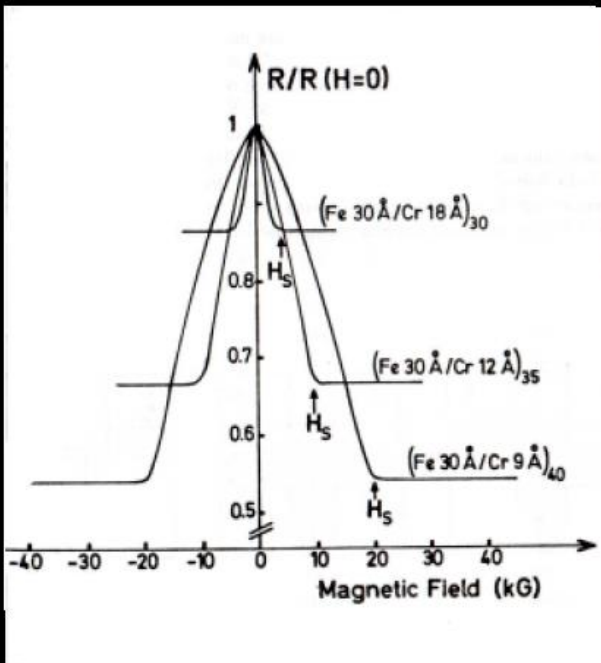
Совещание по Малоугловому  
Рассеянию Нейтронов  
«МУРомец-2016»,  
Гатчина, 28 сентября 2016 г.

# Гигантское магнетосопротивление в сверхрешетках Fe/Cr : Нобелевская премия - 2007



**Peter Grünberg**

Phys. Rev. B39, 4282  
(1989)



**Albert Fert**

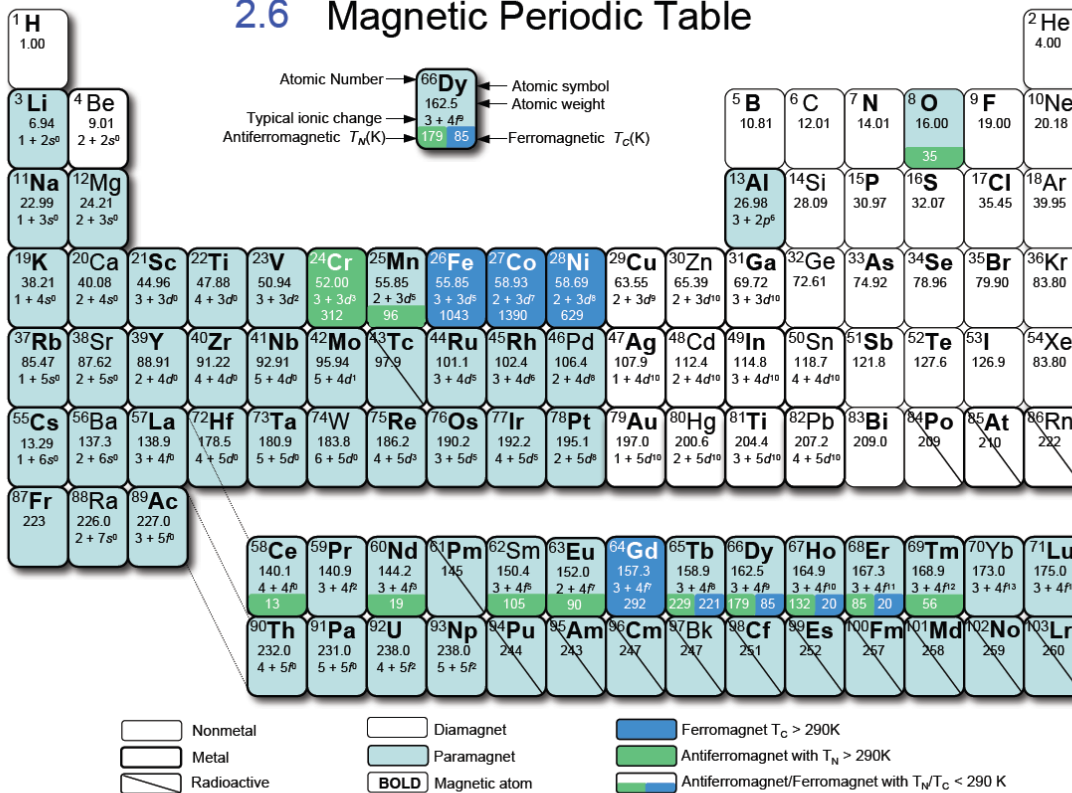
Phys. Rev. Lett. 61, 2472  
(1988)



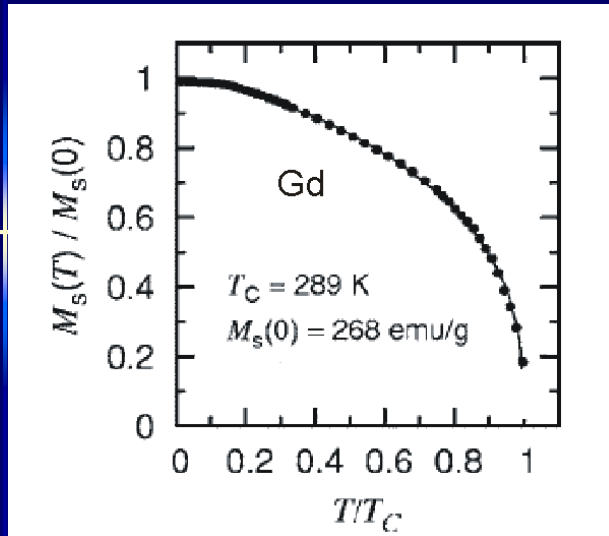


# Сверхрешетки РЗМ/ПМ

## 2.6 Magnetic Periodic Table



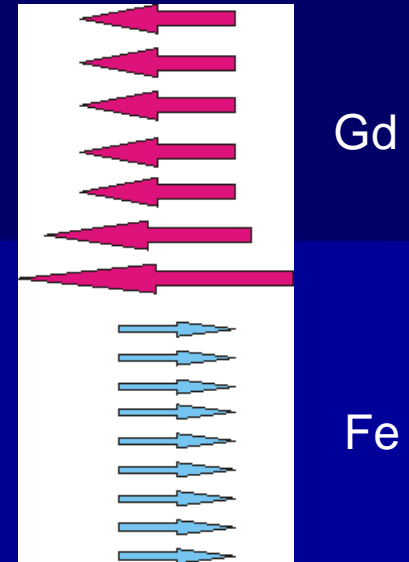
# Сверхрешетки Fe/Gd как модельная система



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

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

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



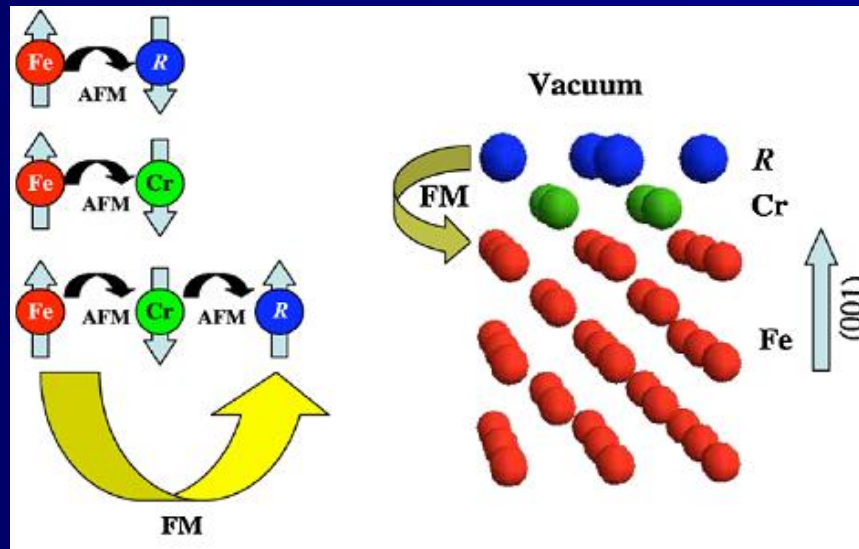
$T_c$  (bulk Fe) = 1043 K

$T_c$  (bulk Gd) = 289 K

- Сильная температурная зависимость намагниченности Gd
  - Сильное обменное взаимодействие внутри Fe
  - Сильное обменное взаимодействие Fe-Gd
  - Относительно слабый обмен внутри Gd
- Индуцированные магнитные моменты вблизи интерфейсов в Gd



# Новые идеи 1: управление обменным взаимодействием Fe-Gd с помощью антиферромагнитных прослоек



Роль антиферромагнитной прослойки:

- Индуцирует магнитный момент в Gd при комнатной температуре
- Изменение магнитного упорядочения Fe-Gd на ферромагнитное
- Система с большим магнитным моментом при комнатной температуре

# Further ideas: управление обменным взаимодействием Fe-Gd с помощью прослойки Cr

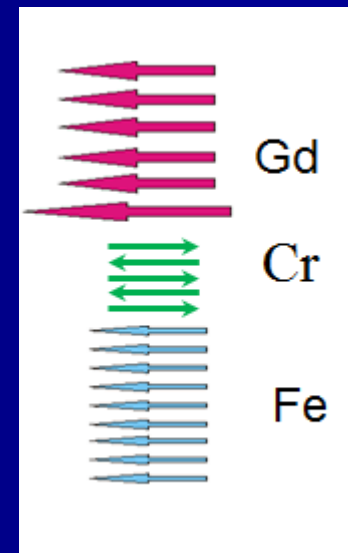
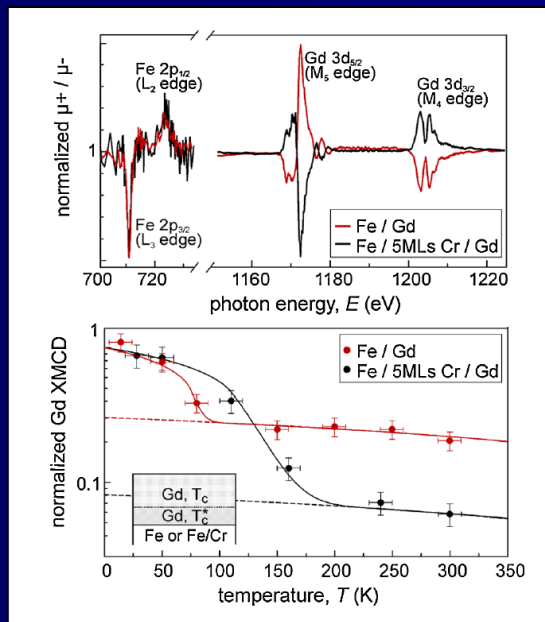


PRL 104, 156402 (2010) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 16 APRIL 2010

## Forcing Ferromagnetic Coupling Between Rare-Earth-Metal and 3d Ferromagnetic Films

Biplab Sanyal,<sup>1,\*</sup> Carolin Antoniak,<sup>2</sup> Till Burkert,<sup>1</sup> Bernhard Krumme,<sup>2</sup> Anne Warland,<sup>2</sup> Frank Stromberg,<sup>2</sup> Christian Praetorius,<sup>3</sup> Kai Fauth,<sup>3</sup> Heiko Wende,<sup>2</sup> and Olle Eriksson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Box 516, SE-751 20 Uppsala, Sweden  
<sup>2</sup>Faculty of Physics and Center for Nanointegration Duisburg-Essen (CeNIDE), University of Duisburg-Essen, Lotharstr. 1, 47048 Duisburg, Germany  
<sup>3</sup>Faculty of Physics and Astronomy, University of Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Germany  
(Received 6 December 2009; published 15 April 2010)



Fe-Gd магнитное упорядочение можно контролировать используя прослойку из антиферромагнитного Cr



PRL 104, 156402 (2010)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
16 APRIL 2010

## Forcing Ferromagnetic Coupling Between Rare-Earth-Metal and 3d Ferromagnetic Films

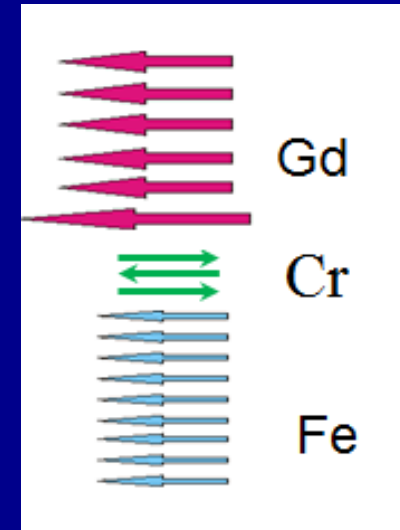
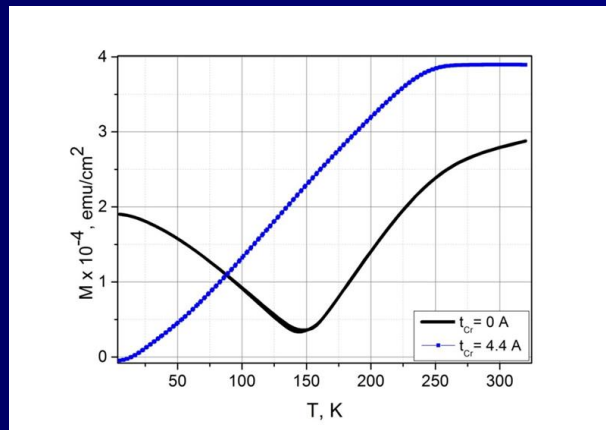
Biplab Sanyal,<sup>1,\*</sup> Carolin Antoniak,<sup>2</sup> Till Burkert,<sup>1</sup> Bernhard Krumme,<sup>2</sup> Anne Warland,<sup>2</sup> Frank Stromberg,<sup>2</sup>  
Christian Praetorius,<sup>3</sup> Kai Fauth,<sup>3</sup> Heiko Wende,<sup>2</sup> and Olle Eriksson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Box 516, SE-751 20 Uppsala, Sweden

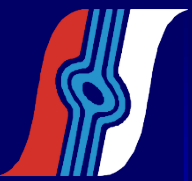
<sup>2</sup>Faculty of Physics and Center for Nanointegration Duisburg-Essen (CeNIDE), University of Duisburg-Essen,  
Lotharstr. 1, 47048 Duisburg, Germany

<sup>3</sup>Faculty of Physics and Astronomy, University of Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Germany

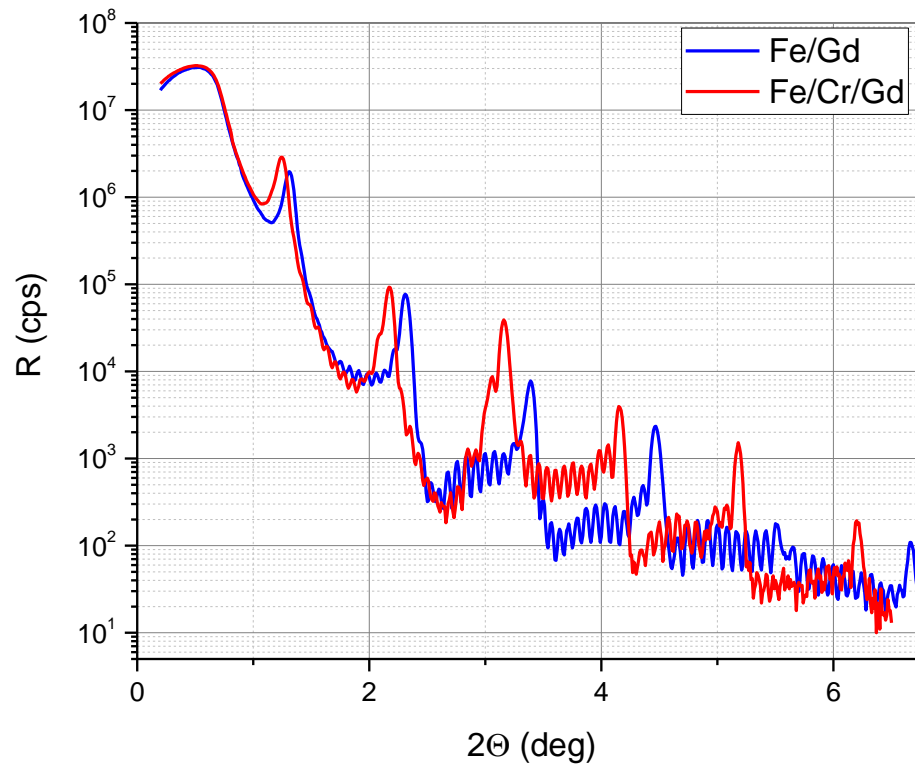
(Received 6 December 2009; published 15 April 2010)



**Введение прослойки в 3 ML Cr кардинально изменяет магнитное поведение**



## Рентгеновская рефлектометрия в Fe/Gd, Fe/Cr/Gd

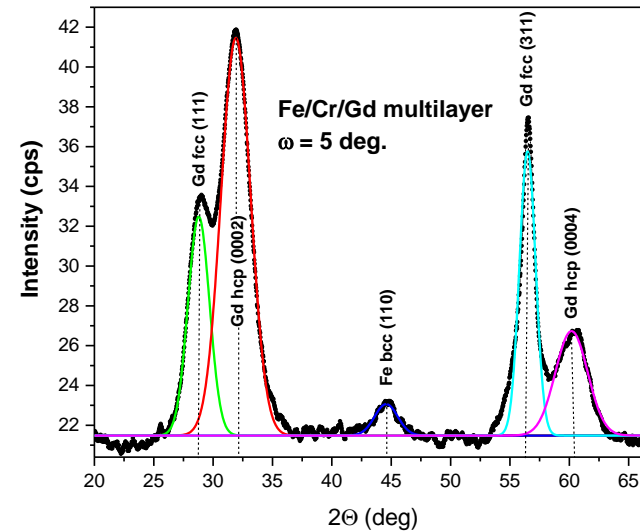
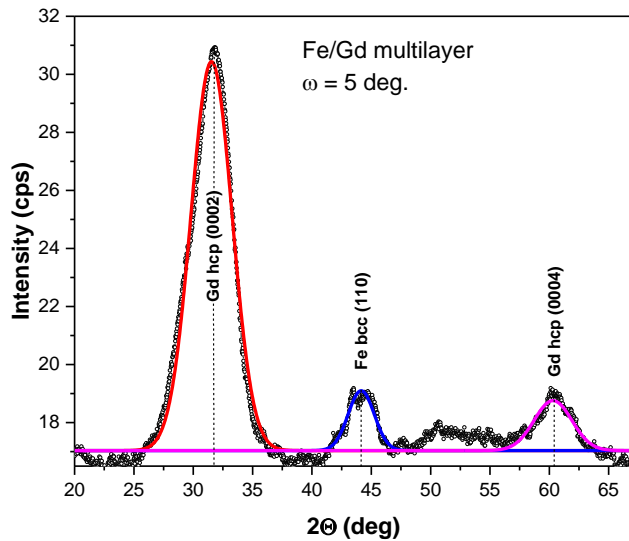


Хорошо определенная слоистая структура, rms ~ 1-3 Å



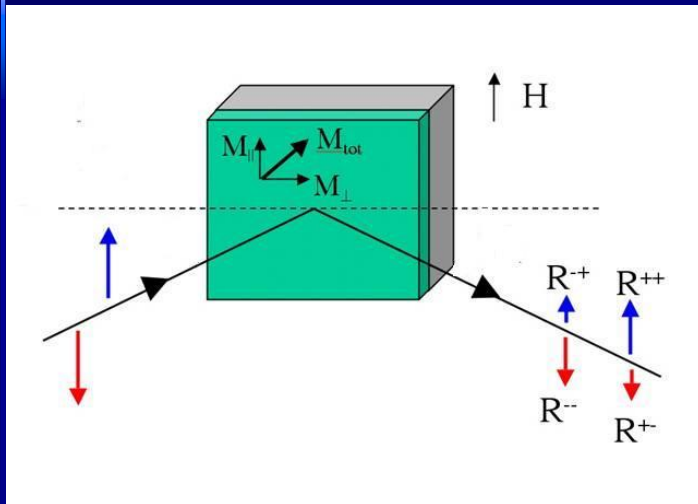


# Рентгеновская дифракция при скользящем падении



В Fe/Cr/Gd возникает новая фаза ГЦК Gd фаза с уменьшенным  
Магнитным моментом

# Рефлектометрия поляризованных нейтронов



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

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

# Проблема при работе с Gd



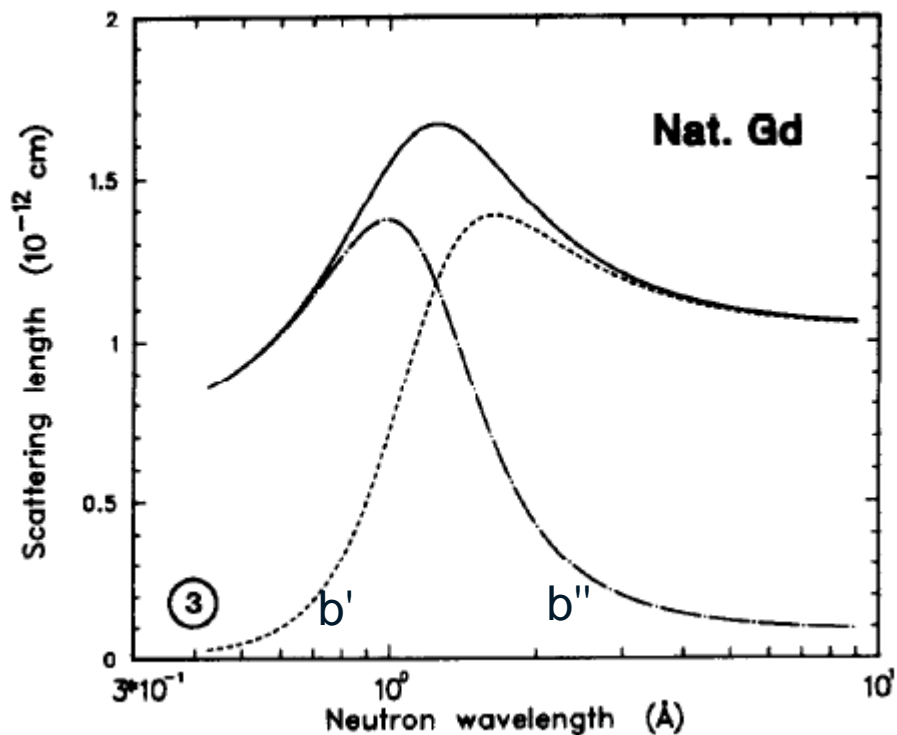
## RESONANCE EFFECTS IN NEUTRON SCATTERING LENGTHS OF RARE-EARTH NUCLIDES

J. E. LYNN\* and P. A. SEEGER

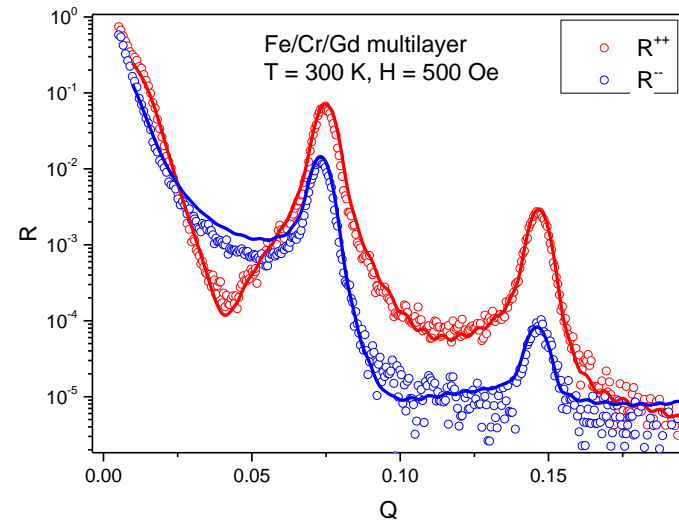
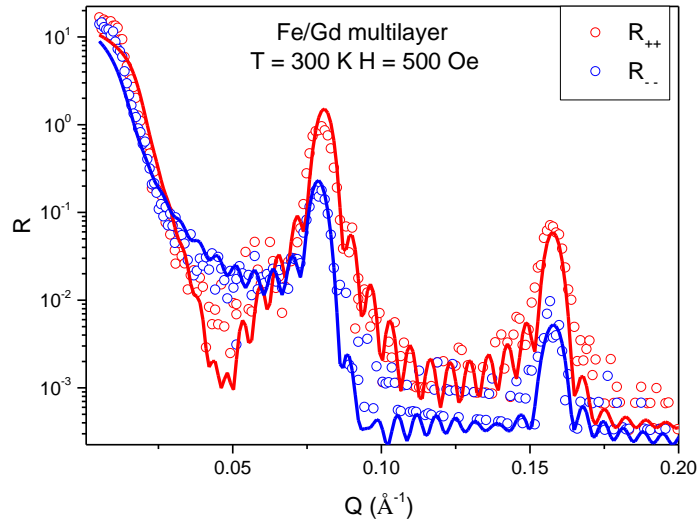
Los Alamos National Laboratory  
Los Alamos, New Mexico 87545

and

Argonne National Laboratory  
Argonne, Illinois 60439



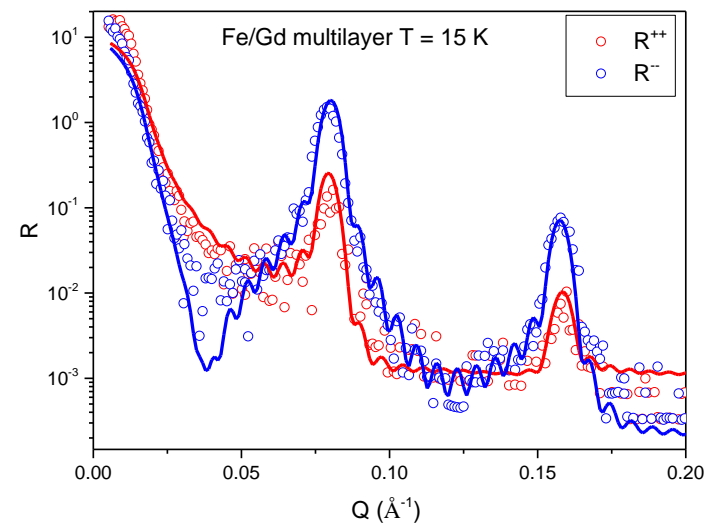
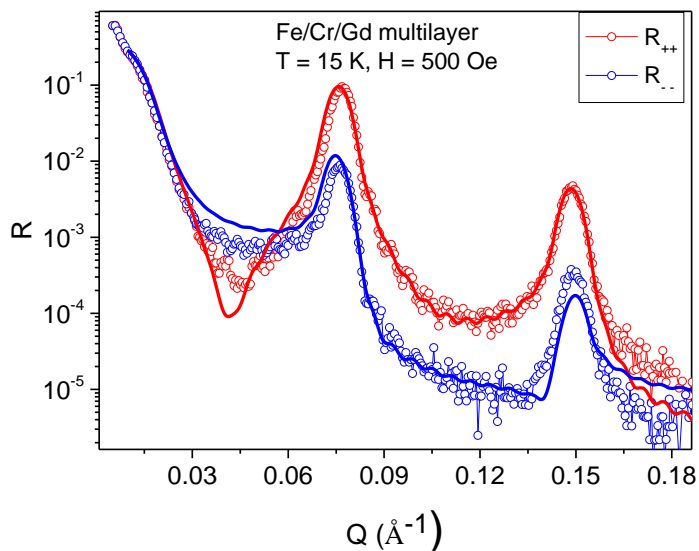
Gd SLD сильно зависит от длины волны в термальной области



Качественно магнитный порядок при комнатной температуре  
одинаков Fe/Gd и Fe/Cr/Gd

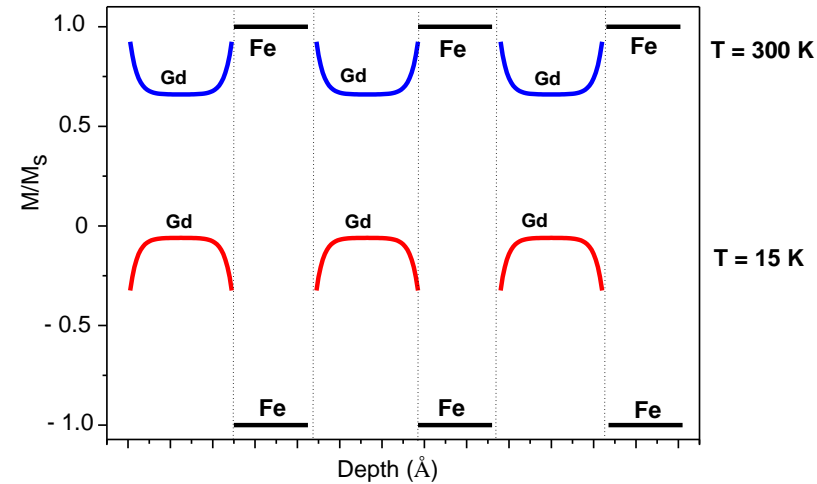
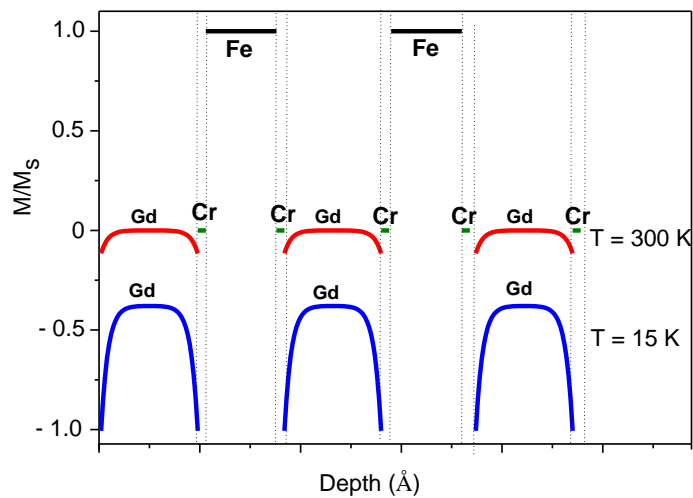


# PNR @ T=15 K



Принципиально разное магнитное упорядочение при низких температурах

# Профили намагниченности в Fe/Gd и Fe/Cr/Gd



	T, K	$m_{\text{Gd}}, \mu_B$			$m_{\text{Fe}}, \mu_B$		$\alpha_{\text{Gd}}$	$\alpha_{\text{Fe}}$
Fe/Cr/Gd	15	7	4	7	2.2	180	0	
	300	1	0	1	2.2	180	0	
Fe/Gd	15	7	4	7	2.2	180	0	
	300	3	0	3	2.2	0	180	

Введение только 3 ML Cr намного уменьшает магнитный момент Gd



## Выводы:

- Введение прослойки Cr приводит к возникновению ГЦК фазы Gd в Fe/Cr/Gd
- Для новой фазы характерно наличие уменьшенного магнитного момента
- Индуцированный момент вблизи интерфейсов в Gd возникает
- Система Fe/Cr/Gd - не лучший выбор для поиска наноматериалов с большим магнитным моментом