



Квантование волн спиновой плотности в тонких пленках Cr

Е.А. Кравцов

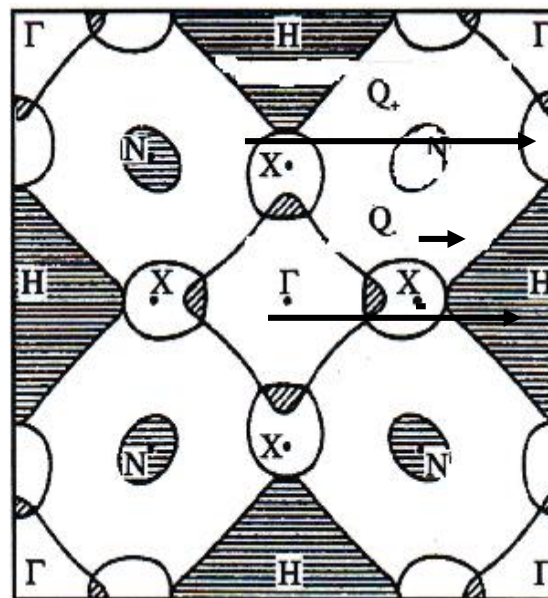
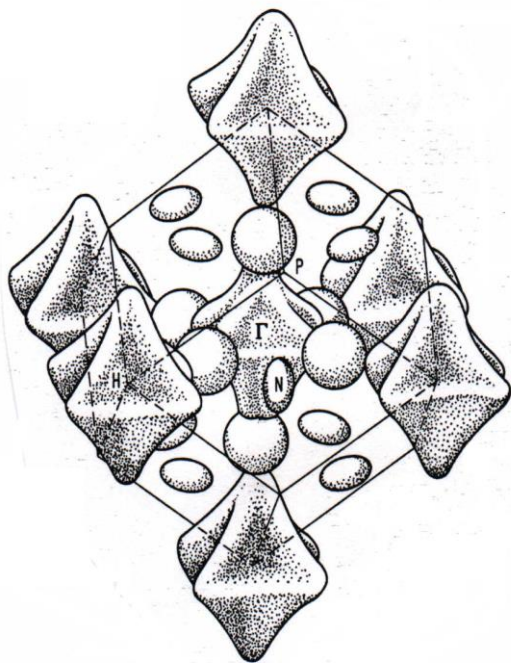
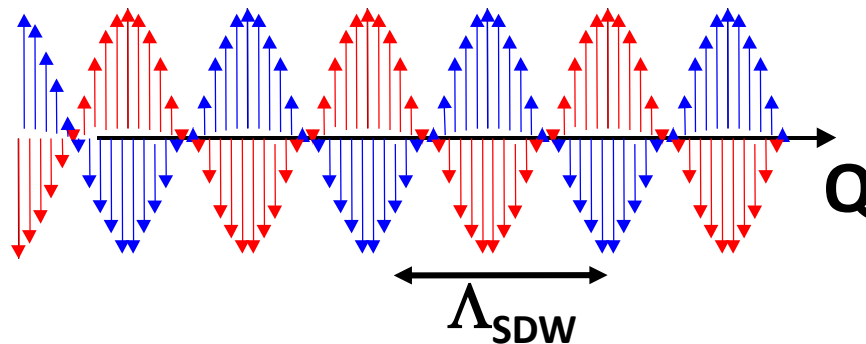
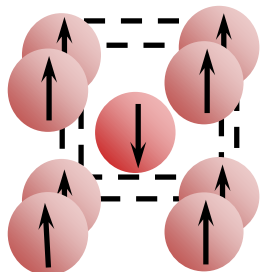
*Институт физики металлов
Уральского отделения Российской академии наук
Екатеринбург*



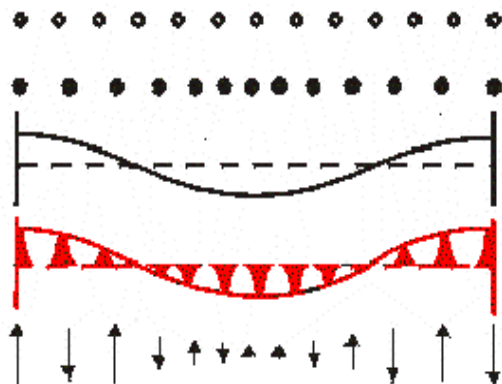
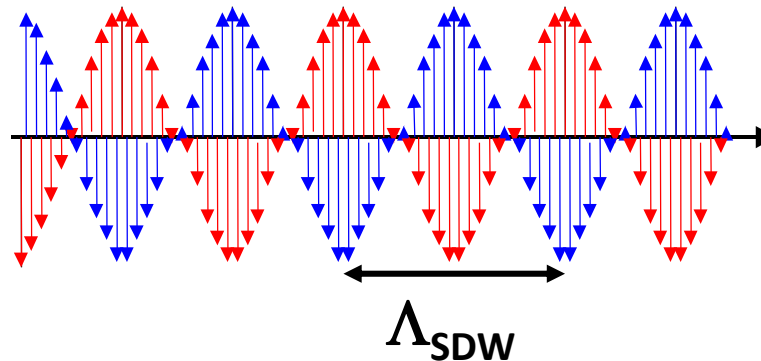
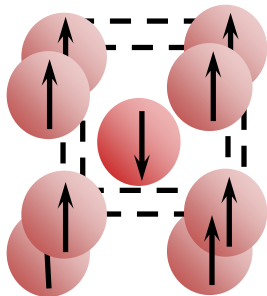
Совещание по использованию рассеяния нейтронов и синхротронного излучения в конденсированных средах

27-31 октября 2014, Санкт-Петербург, Старый Петергоф

Cr как зонный антиферромагнетик



Несоизмеримая волна спиновой плотности в Cr

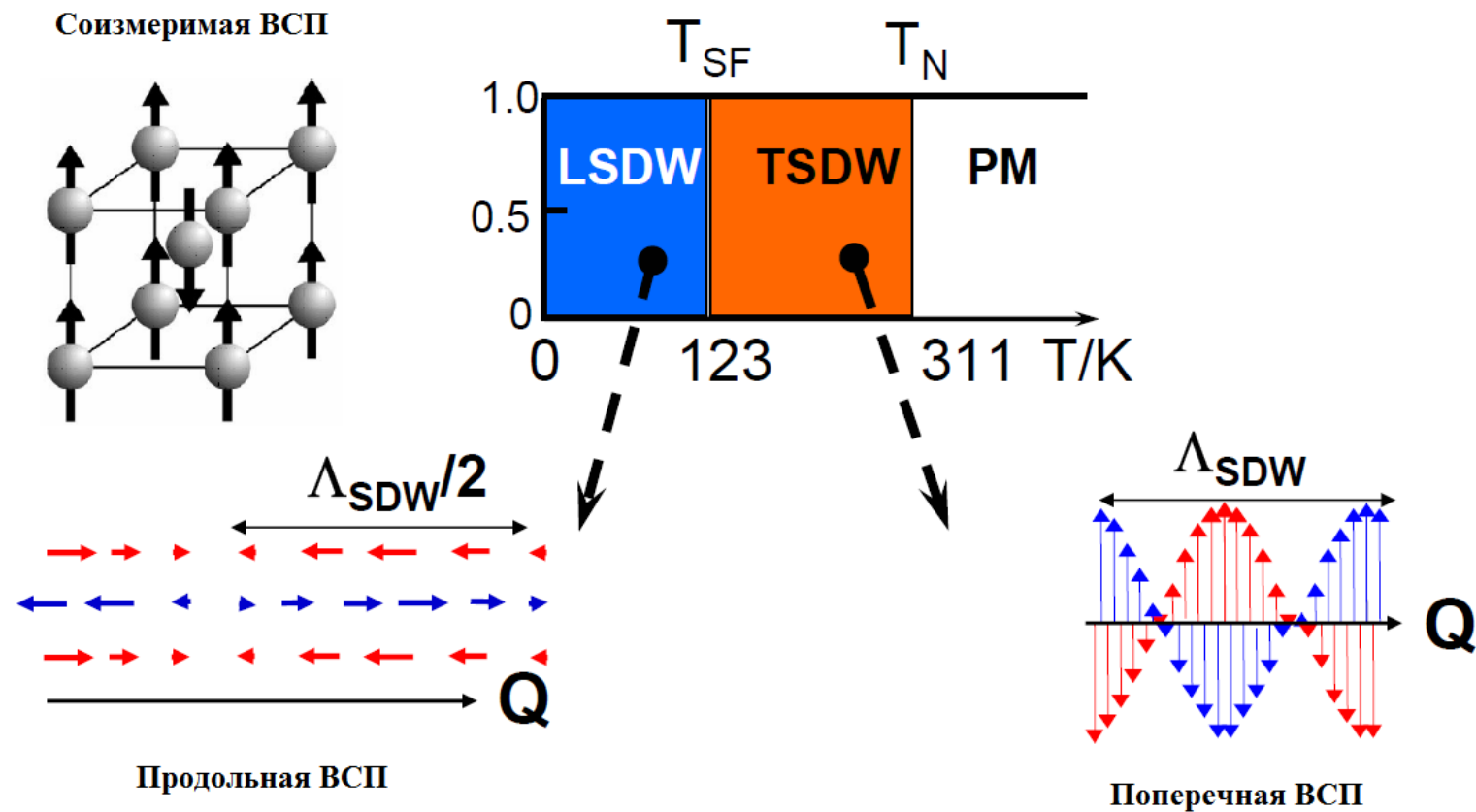


Волна упругих напряжений (ВУН) –
модуляция межатомного расстояния

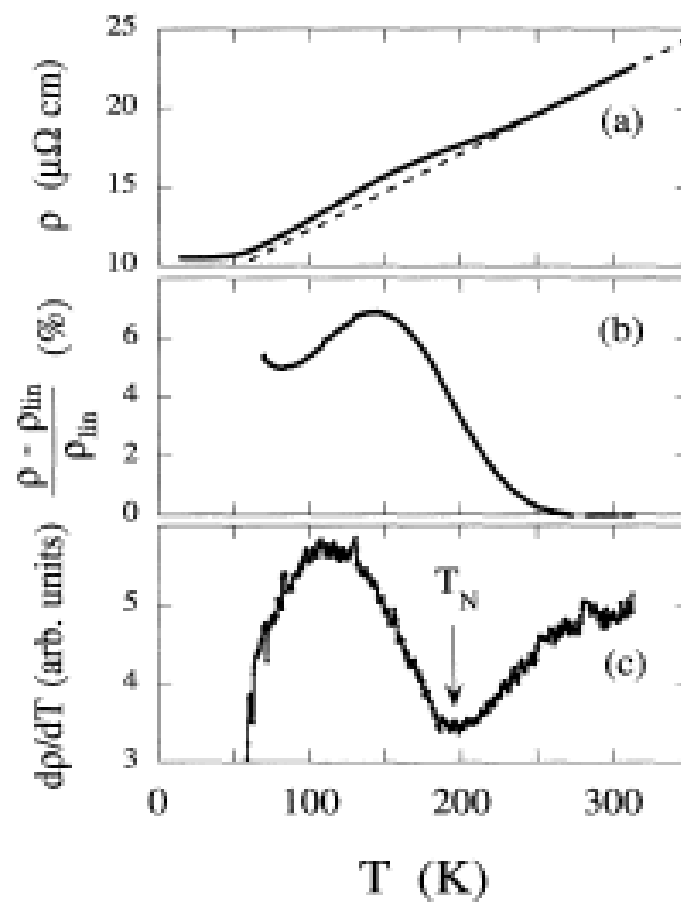
Волна зарядовой плотности (ВЗП) –
модуляция электронной плотности

Волна спиновой плотности (ВСП) –
модуляция величины магнитного
момента

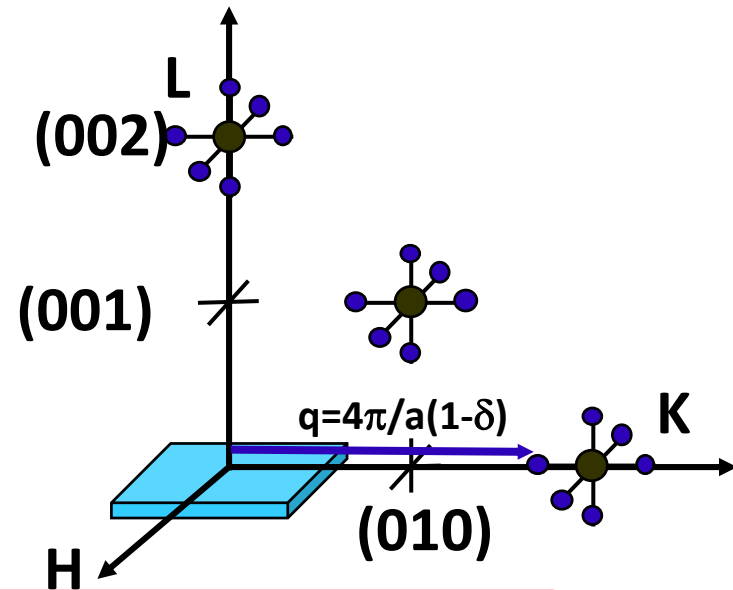
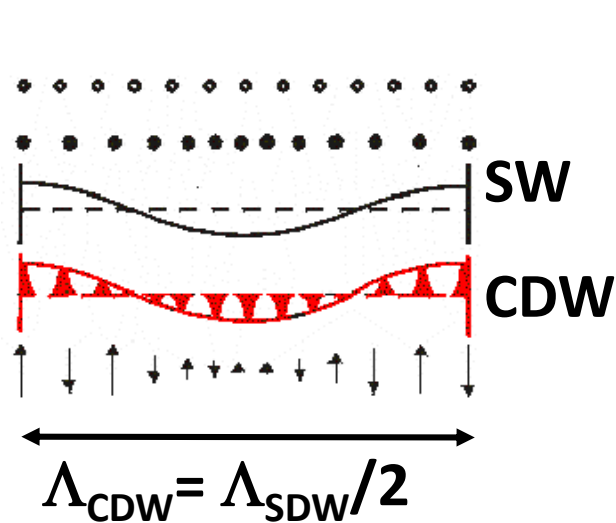
Магнитная фазовая диаграмма объемного Cr



Непрямые методы исследования ВСП: электросопротивление



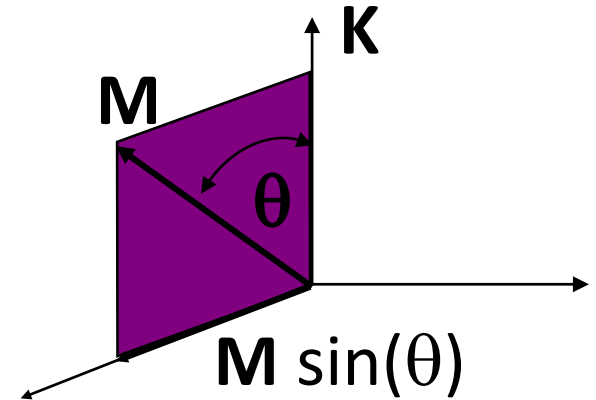
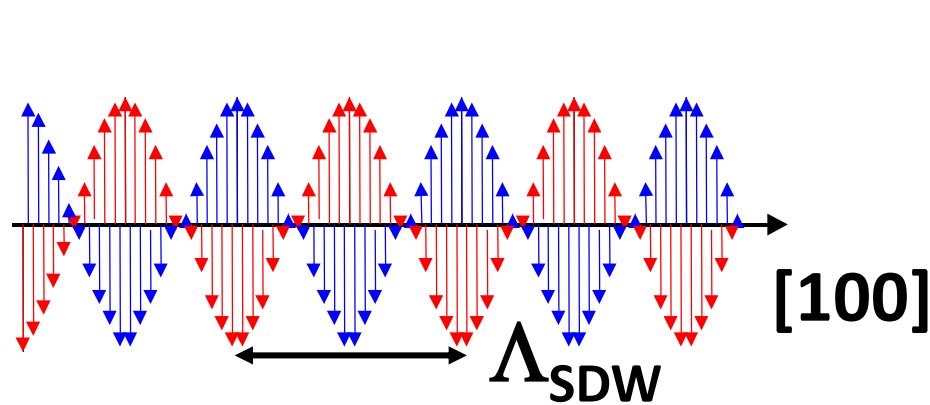
Рассеяние рентгеновского излучения на ВУН



$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{x-ray} = \frac{1}{4} \left| \rho_0(\vec{K}) \vec{K} \cdot \vec{\Delta} \pm \sigma \right|^2 \delta(\vec{K} \pm 2\vec{Q} - \vec{G})$$

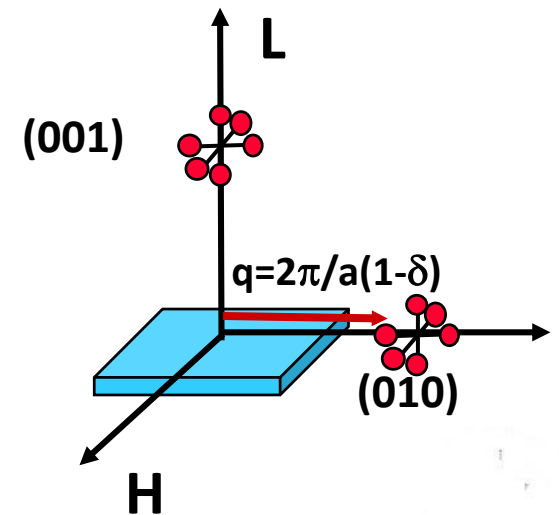
$$2Q = \frac{4\pi}{a_{Cr}} (1-\delta) = \frac{4\pi}{a_{Cr}} - \frac{4\pi}{\Lambda_{SDW}}, \Lambda_{CDW} = a/(2\delta)$$

Рассеяние нейтронов на ВСП

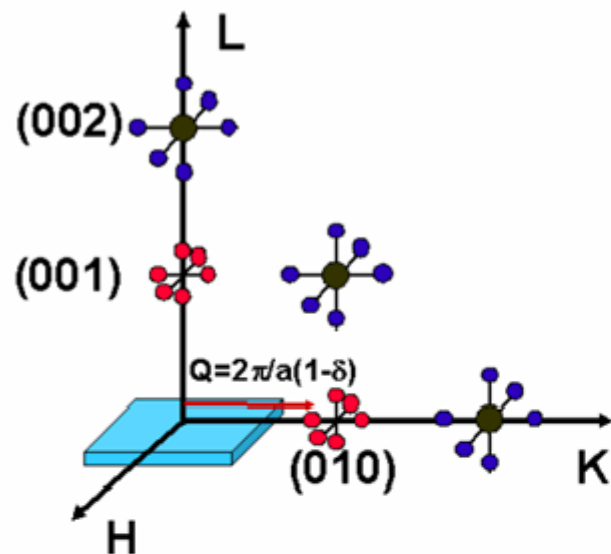


$$\frac{d\sigma}{d\Omega_{neutrons}} = \left| \vec{M}_{\vec{K}} \right|^2 \sin^2(\theta_{\vec{K}}) \times \delta(\vec{K} \pm Q - \vec{G})$$

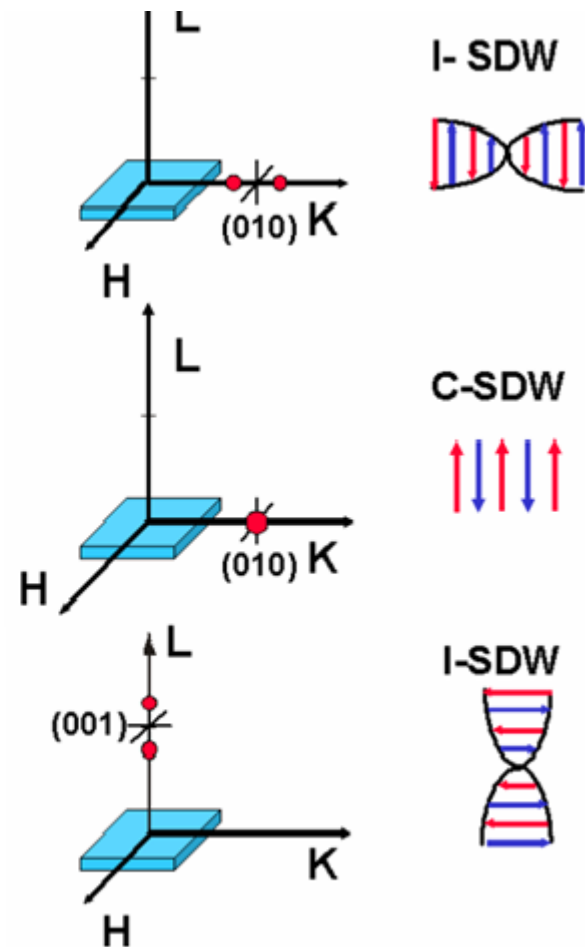
$$Q = \frac{2\pi}{a_{Cr}}(1-\delta) = \frac{2\pi}{a_{Cr}} - \frac{2\pi}{\Lambda_{SDW}}, \Lambda_{SDW} = a / \delta$$



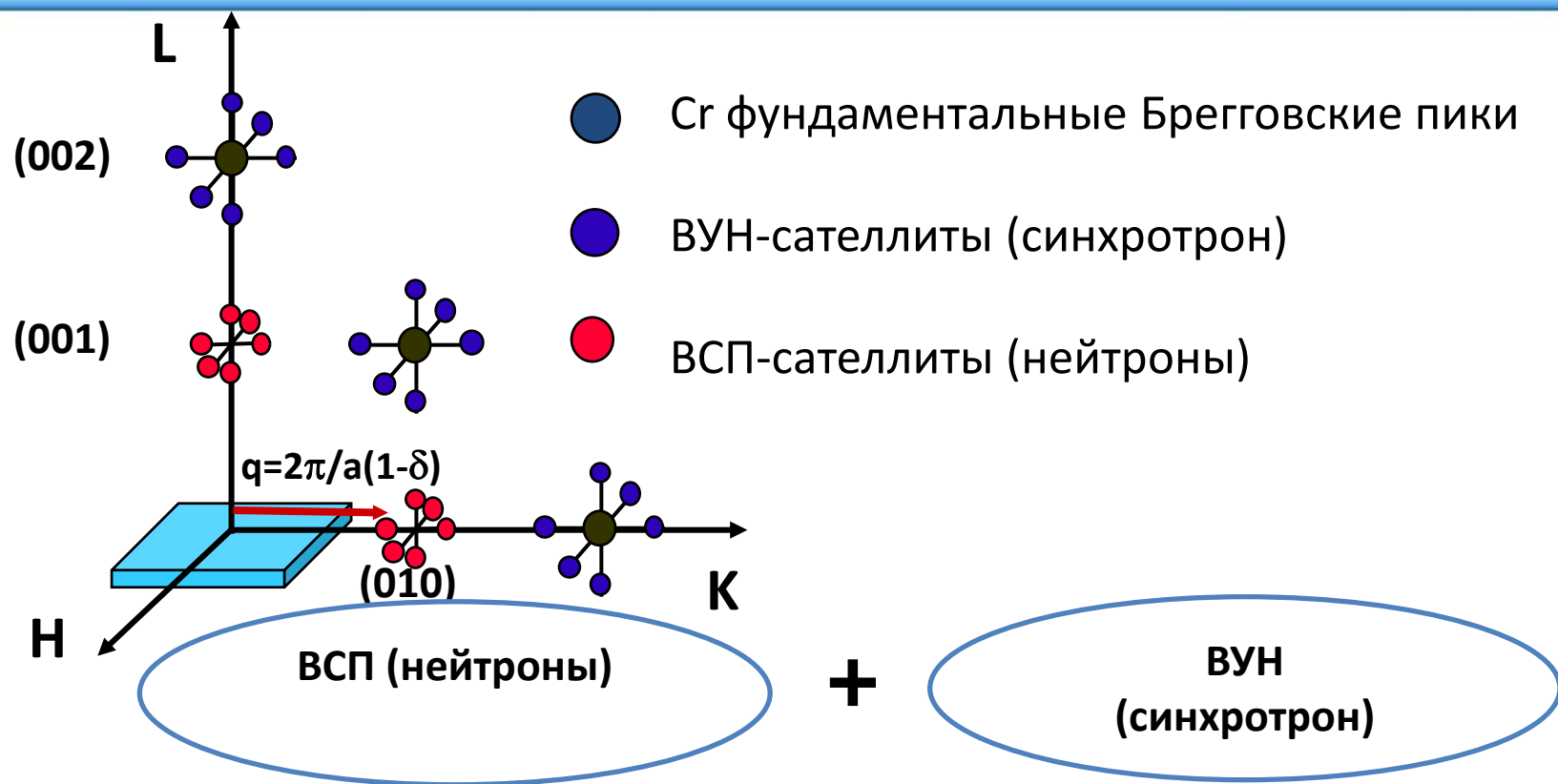
Определение направления распространения и поляризации ВСП



- Cr фундаментальные Брегговские пики
- ВУН-сателлиты (синхротрон)
- ВСП-сателлиты (нейтроны)



Методы прямого определения ВСП-состояния: рассеяние нейтронов и синхротронного рентгеновского излучения



Магнитная фазовая диаграмма высокого разрешения

Гигантское магнитосопротивление в сверхрешётках Fe/Cr : Нобелевская премия по физике - 2007



RAPID COMMUNICATIONS

PHYSICAL REVIEW B

VOLUME 39, NUMBER 7

1 MARCH 1989

Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange

G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, and W. Zinn

Institut für Festkörperforschung, Kernforschungsanlage Jülich G.m.b.H., Postfach 1913, D-5170 Jülich, West Germany

(Received 31 May 1988; revised manuscript received 12 December 1988)

The electrical resistivity of Fe-Cr-Fe layers with antiferromagnetic interlayer exchange increases when the magnetizations of the Fe layers are all stronger than the usual anisotropic magnetoresistance an more than two Fe layers. It can be explained in terms of trons caused by the antiparallel alignment of the magnetiz

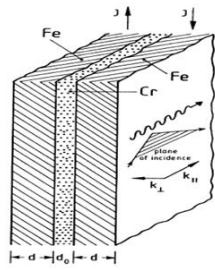
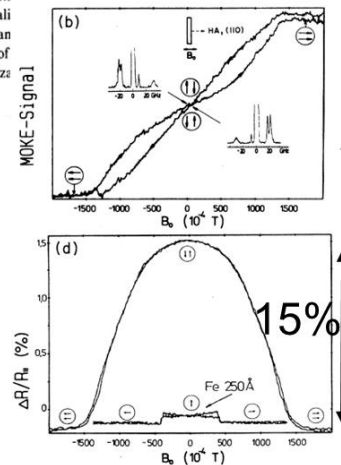


FIG. 1. Ferromagnetic double layer with antiparallel alignment of the magnetizations. Also indicated is the plane of incidence of the laser light for the observation of light scattering from spin waves and hysteresis curves via MOKE.



VOLUME 61, NUMBER 21

PHYSICAL REVIEW LETTERS

21 NOVEMBER 1988

Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices

M. N. Baibich,^(a) J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, and F. Petroff
Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, F-91405 Orsay, France

P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas
Laboratoire Central de Recherches, Thomson CSF, B.P. 10, F-91401 Orsay, France

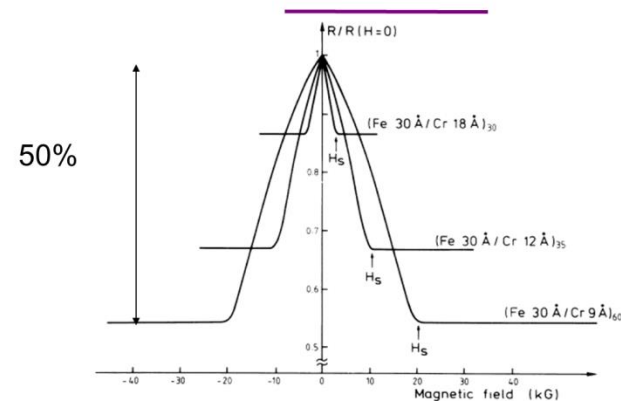
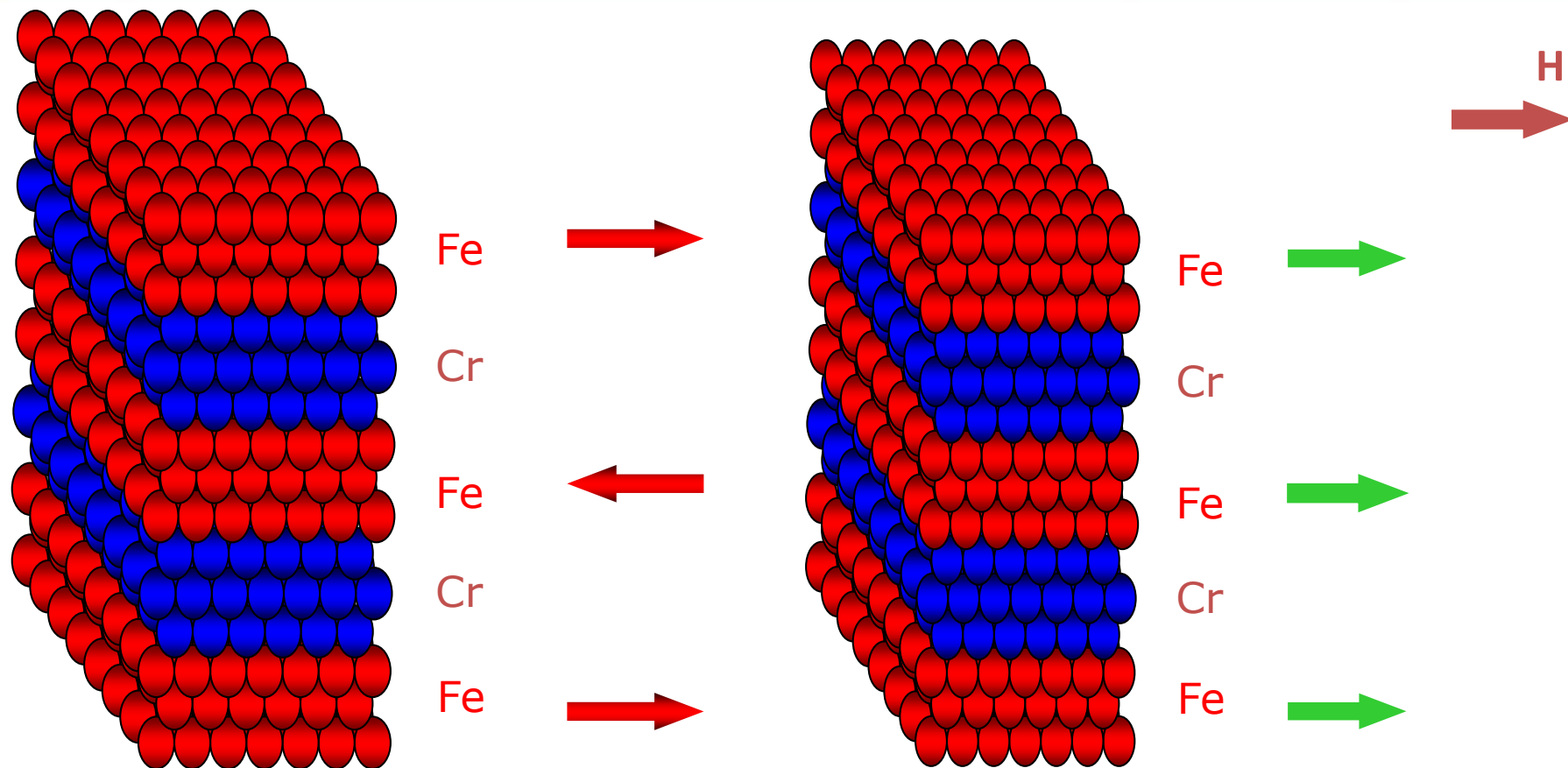


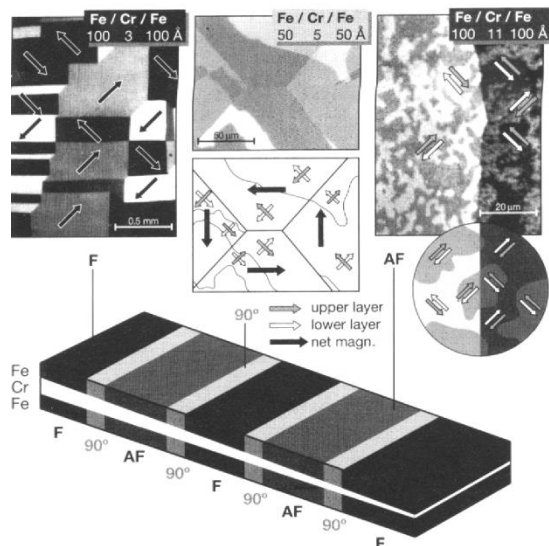
FIG. 3. Magnetoresistance of three Fe/Cr superlattices at 4.2 K. The current and the applied field are along the same [110] axis in the plane of the layers.

Причина ГМС – антиферромагнитное упорядочение в сверхрешетках Fe/Cr

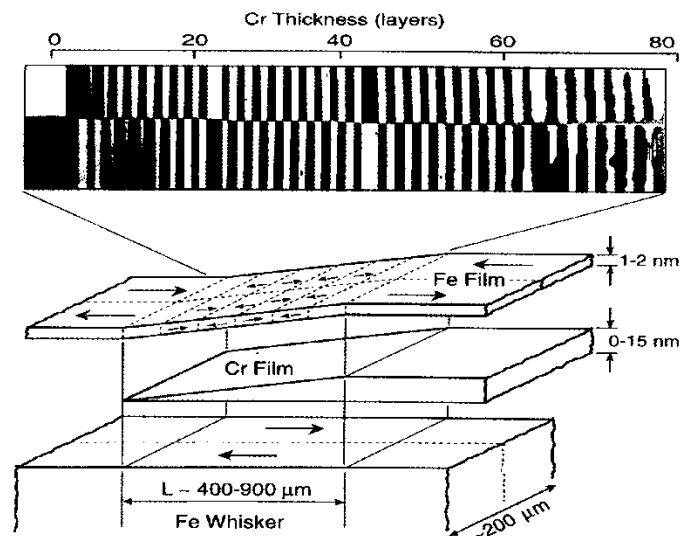


Осциллирующее межслойное взаимодействие в Fe/Cr сверхрешётках

Магнитооптика

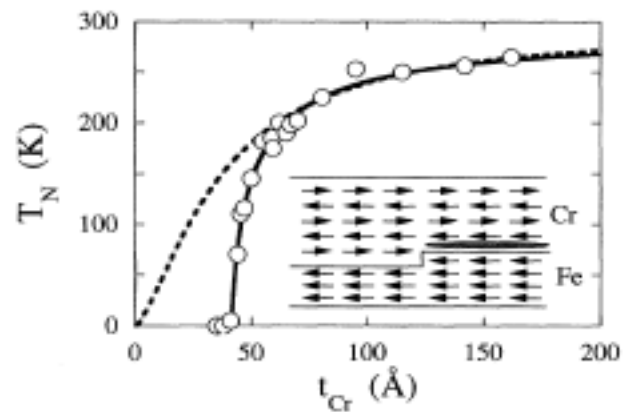
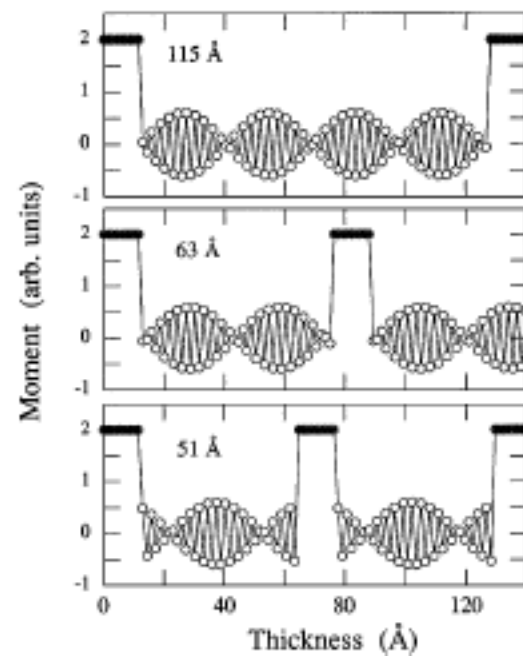
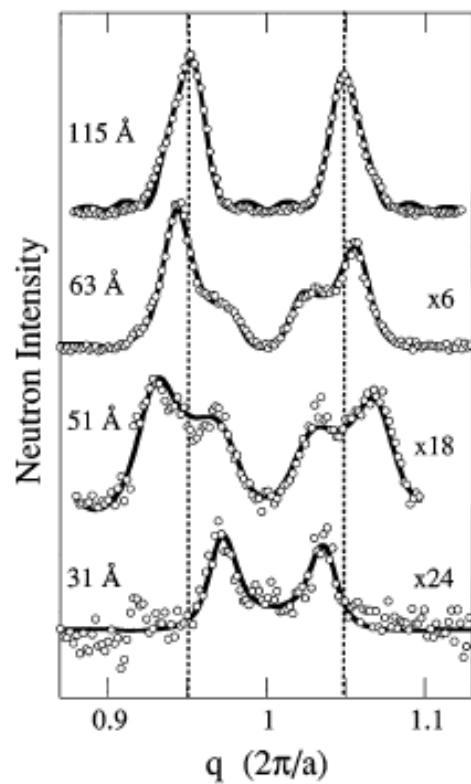


Спин-поляризованные электроны

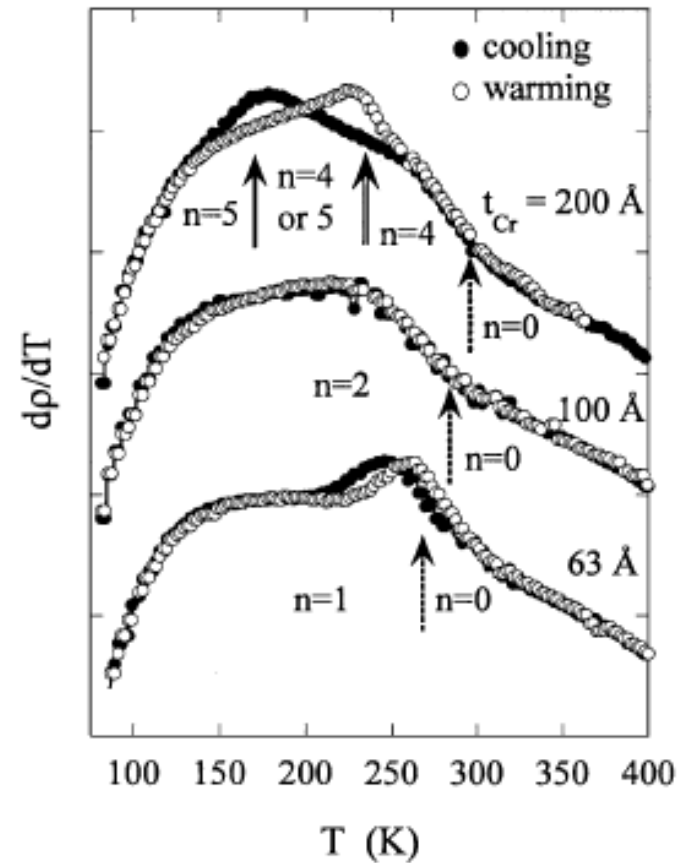
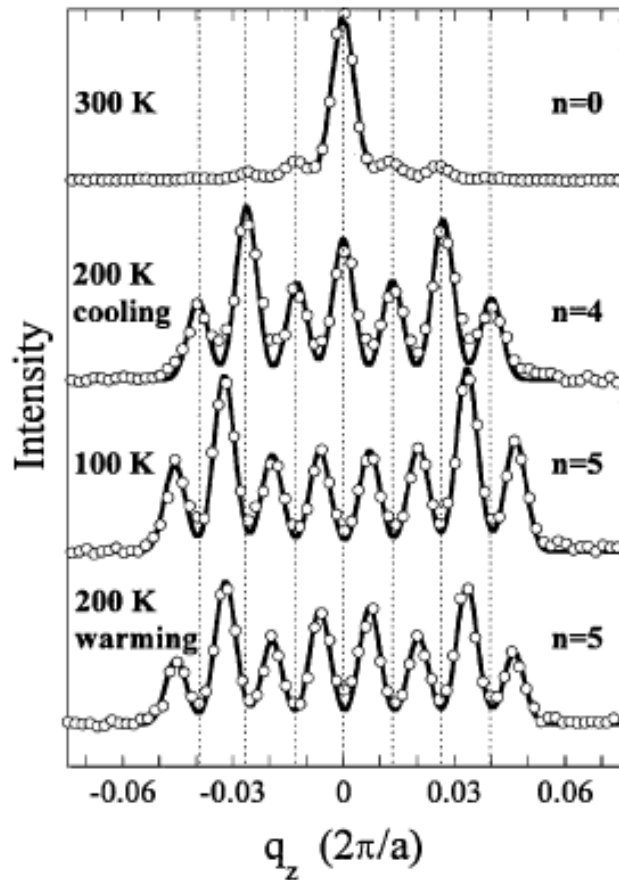


Магнитное упорядочение осциллирует между ферро- и антиферромагнитным с изменением толщины слоя хрома

ВСП в сверхрешетках Fe(14 Å)/Cr(t Å)



Температурный гистерезис: сверхрешетки Cr/CrMn



Число периодов ВСП на толщине слоя влияет на электросопротивление

Управление эффектом гигантского магнетосопротивления в Fe/Cr

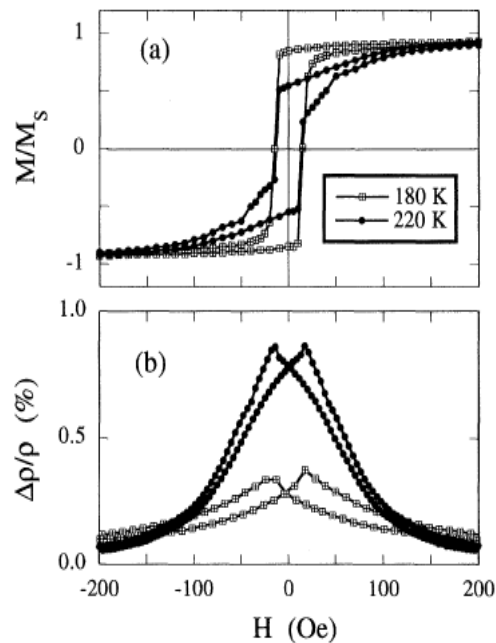


FIG. 2. (a) Magnetic and (b) magnetoresistance results for the $[\text{Fe}(14 \text{ \AA})/\text{Cr}(70 \text{ \AA})]_{13}$ superlattice in Fig. 1 measured above and below $T_N = 195 \text{ K}$. H is applied along the $\langle 100 \rangle$ easy axis.

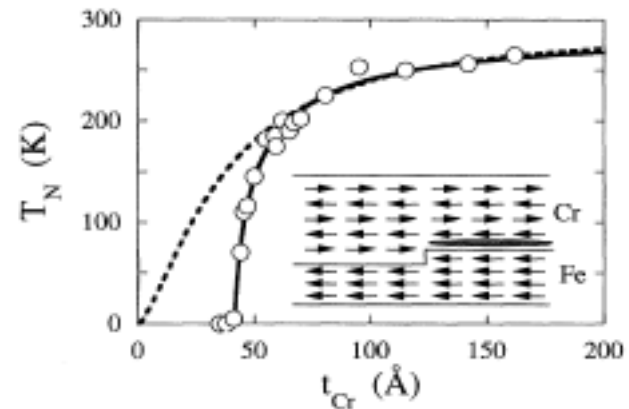
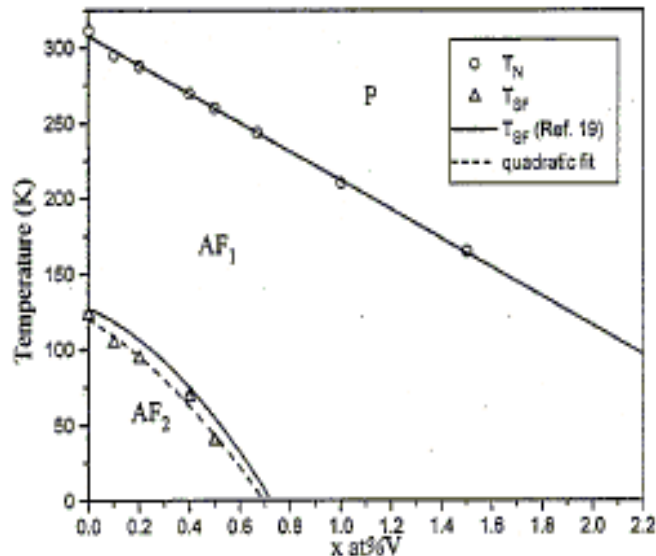


FIG. 4. T_N for a series of $[\text{Fe}(14 \text{ \AA})/\text{Cr}(70 \text{ \AA})]_{13}$ superlattices vs Cr thickness. The open circles are the measured values, and the dashed and solid curves are fitted by Eqs. (1) and (2), respectively. The measured T_N value for a $3000 \text{ \AA}$ Cr film (not shown) is 295 K . The inset shows a possible spin configuration of Cr on a stepped Fe surface in which the region of spin frustration at the Fe-Cr interface is shown schematically by the shaded ellipse to the right of the atomic step.

Для ГМС необходима соизмеримая ВСП.

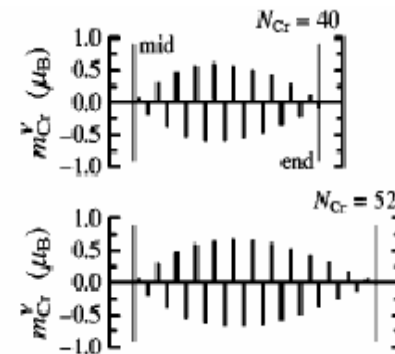
Cr/V как модельная система: эффект близости V

Концентрационная зависимость T_N в сплаве CrV



From de Oliveira et al. Solid State Comm. 96, 383 (1995)

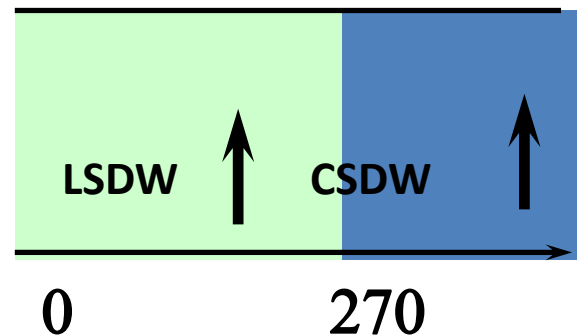
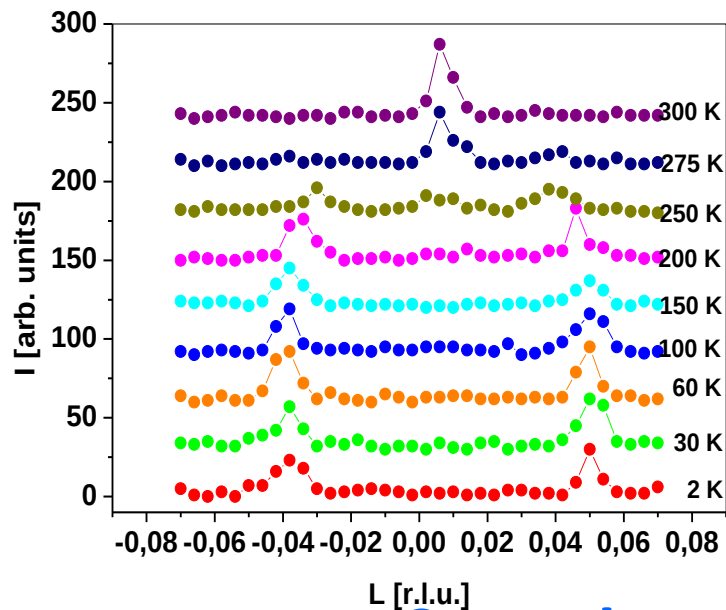
Расчет ВСП в Cr/V



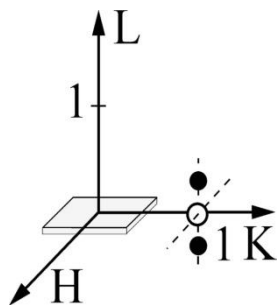
From Hirai PRB **66**, 132406 (2002)

4 % V полностью убивает магнетизм в сплаве CrV. Теория предсказывает пиннинг минимумов ВСП на границе Cr/V.

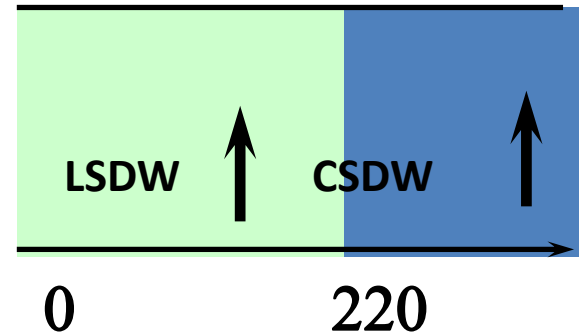
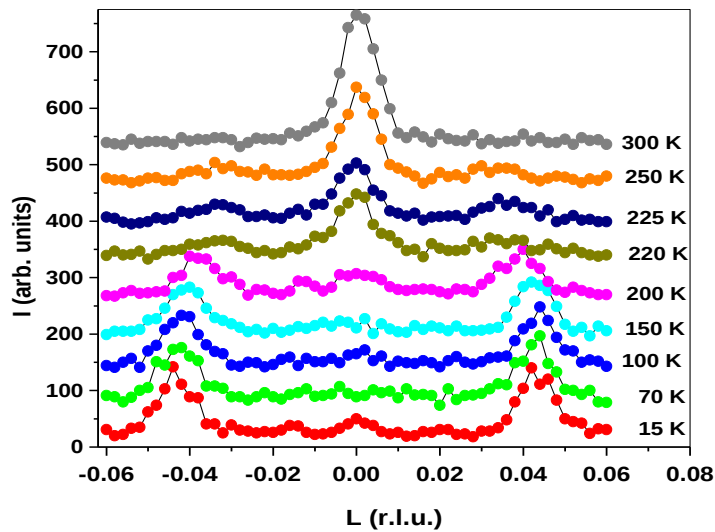
$[V(14 \text{ \AA})/Cr(1000 \text{ \AA})]_2$



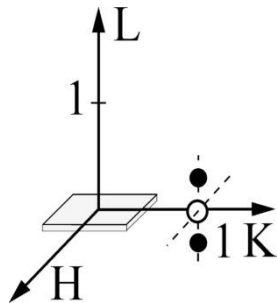
**Спин-флип перехода нет, продольная
ВСП распространяется
перпендикулярно поверхности**



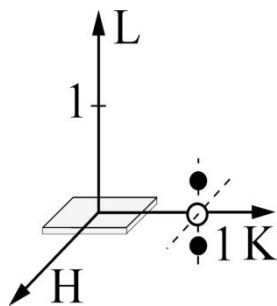
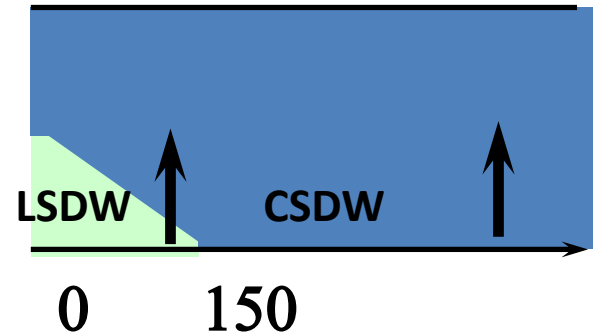
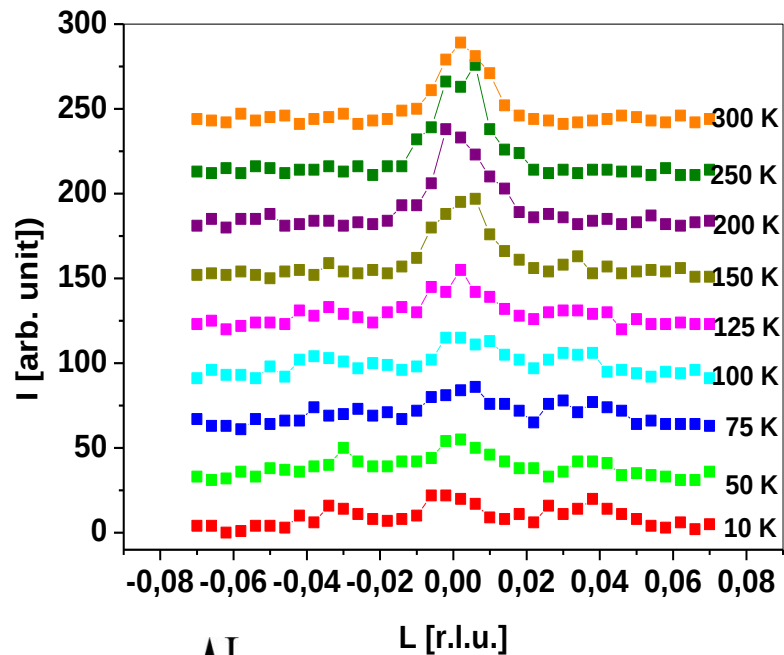
$[V(14 \text{ \AA})/Cr(500 \text{ \AA})]_4$



Спин-флип перехода нет, продольная
ВСП распространяется
перпендикулярно поверхности

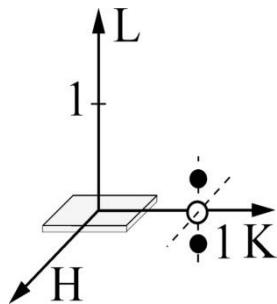
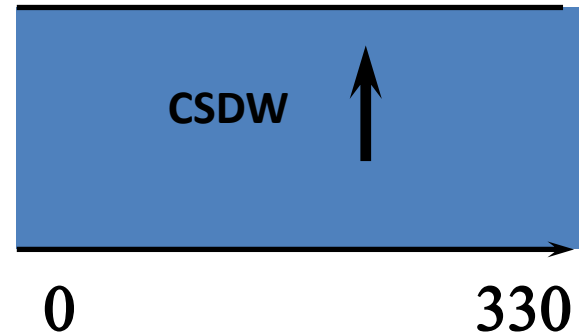
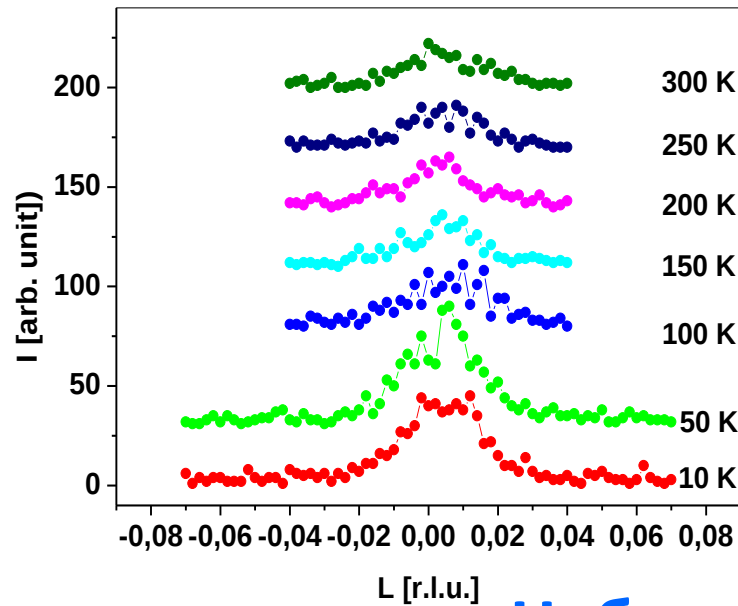


$[V(14 \text{ \AA})/Cr(250 \text{ \AA})]_8$



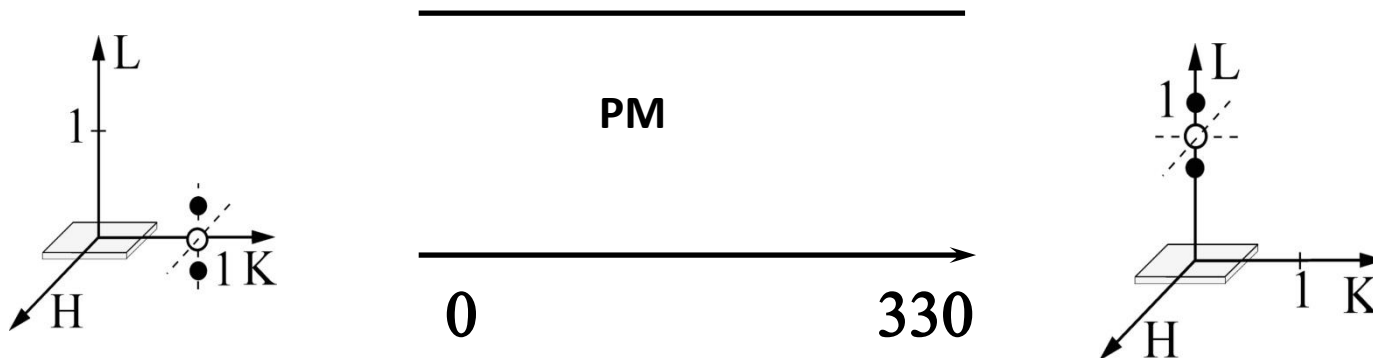
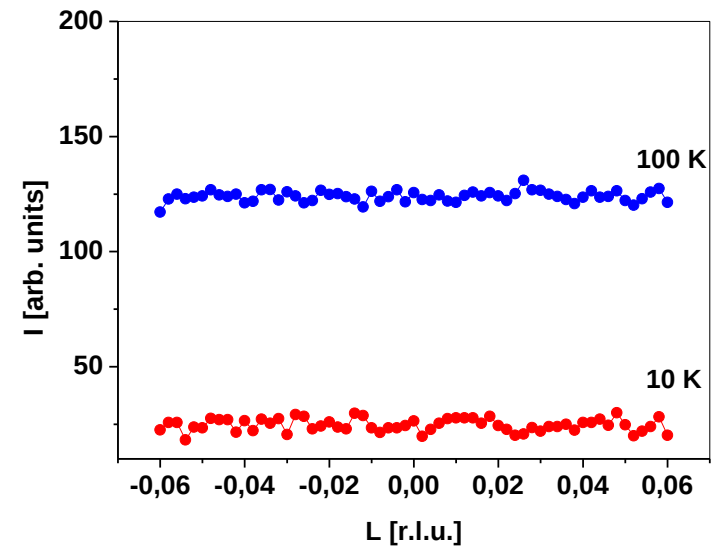
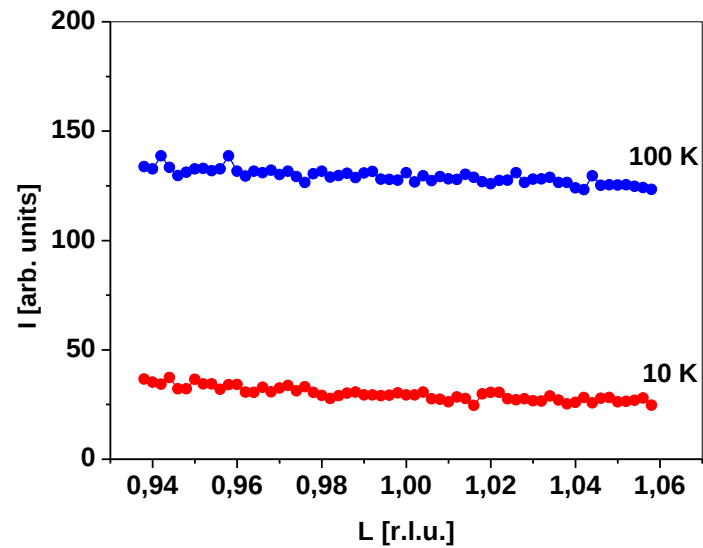
**Продольная ВСП сосуществует с
соизмеримой ВСП**

$[V(14 \text{ \AA})/Cr(125 \text{ \AA})]_{16}$

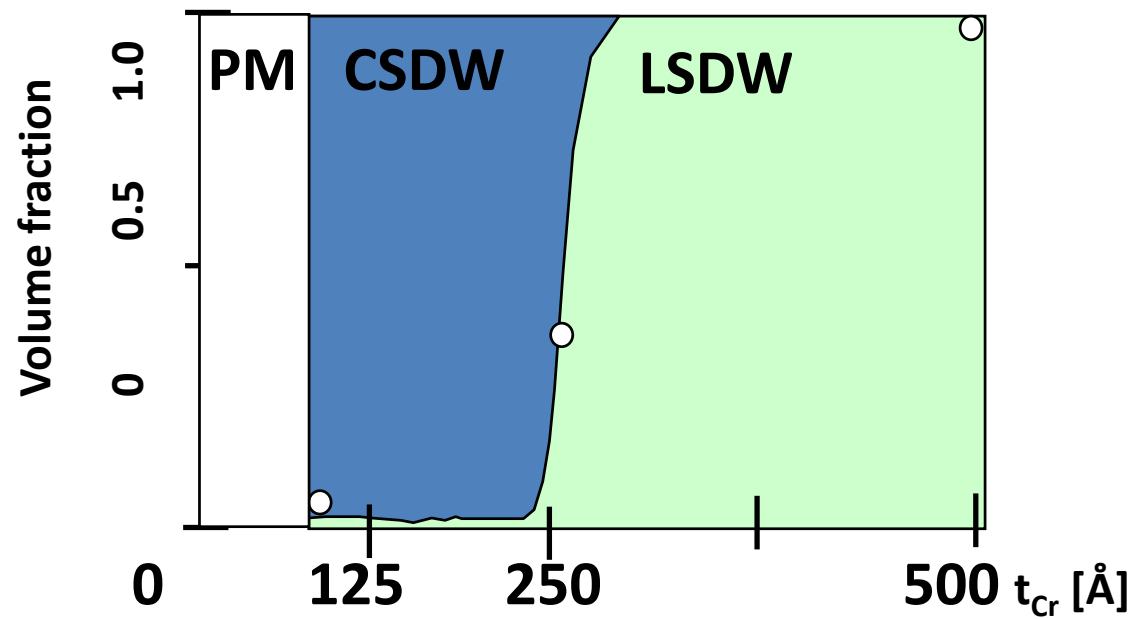


Наблюдается только соизмеримая ВСП.

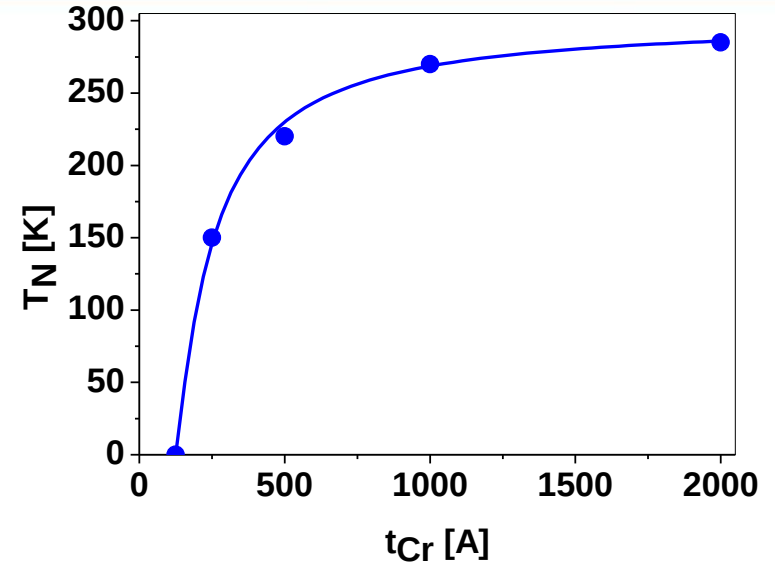
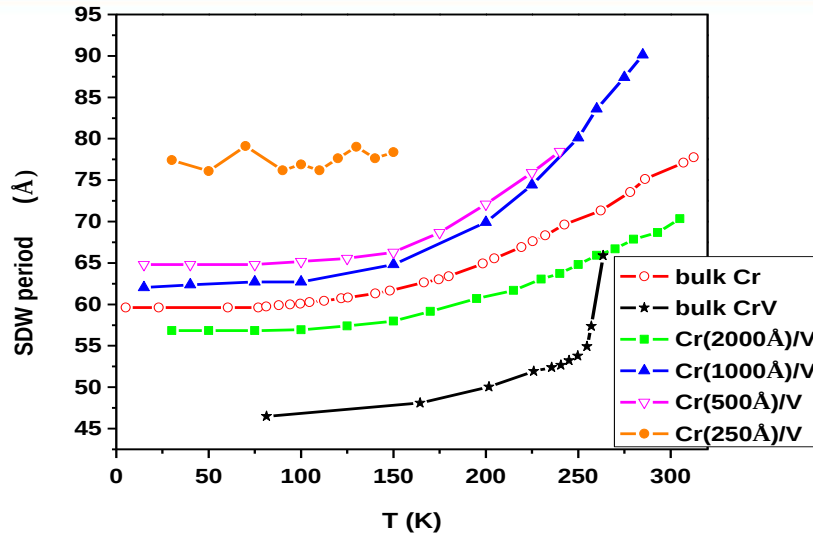
$[V(14 \text{ \AA})/Cr(62 \text{ \AA})]_{24}$



Магнитная фазовая диаграмма для $[V(14 \text{ \AA})/Cr(t \text{ \AA})]_N$ @ 10K



Период ВСП и температура Нейля в Cr/V



$$\frac{T_N(\infty) - T_N(t_{Cr})}{T_N(t_{Cr})} = b \cdot (t_{Cr} - t_0)^{-\lambda'}$$

$$t_0 = 100 \text{ Å}$$

$$\lambda' = 1.13$$

Магнитомертвый слой толщиной 50 Å, «запирание» ВСП в тонких слоях Cr

Странные электрические эффекты в тонких пленках Cr//MgO: квантование ВСП?

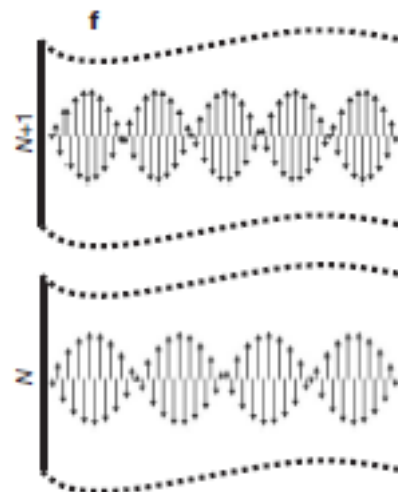
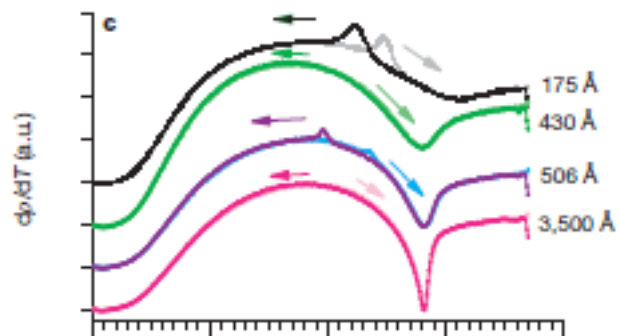
Vol 452 | 17 April 2008 | doi:10.1038/nature06826

nature

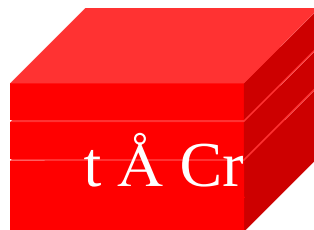
LETTERS

Electrical effects of spin density wave quantization and magnetic domain walls in chromium

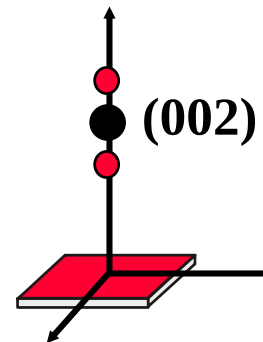
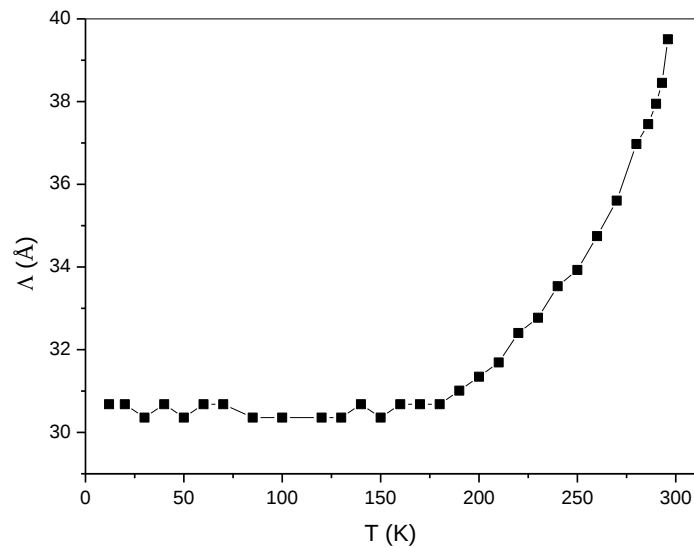
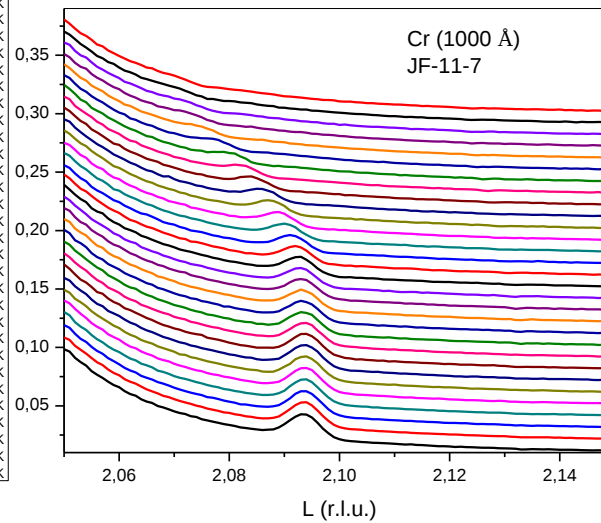
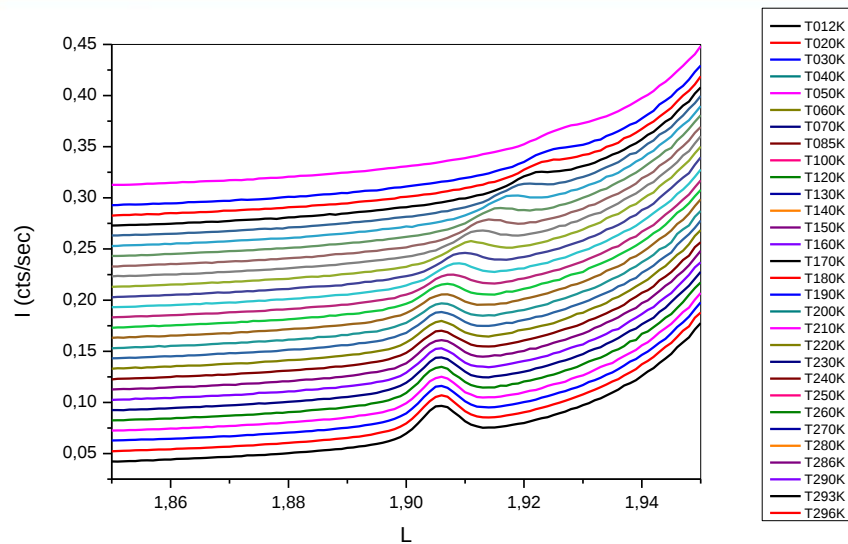
Ravi K. Kumamuru¹† & Yeong-Ah Soh¹



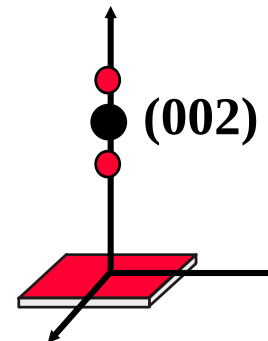
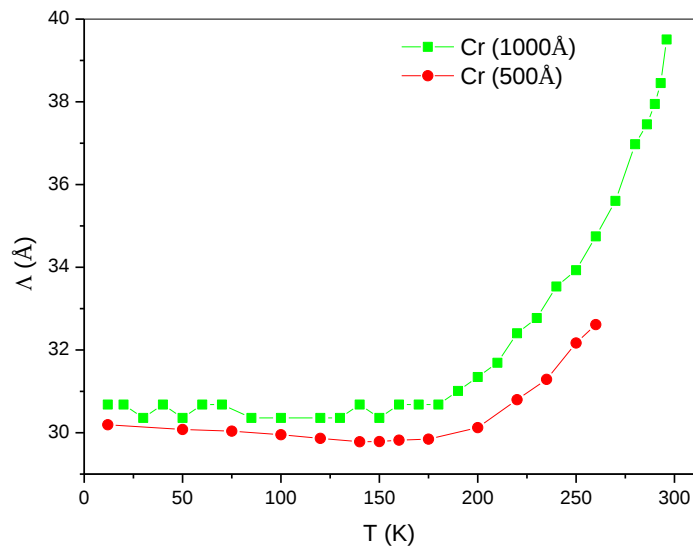
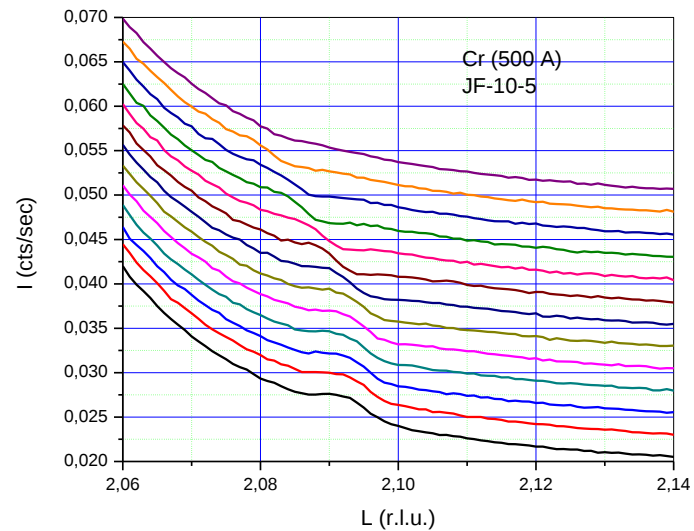
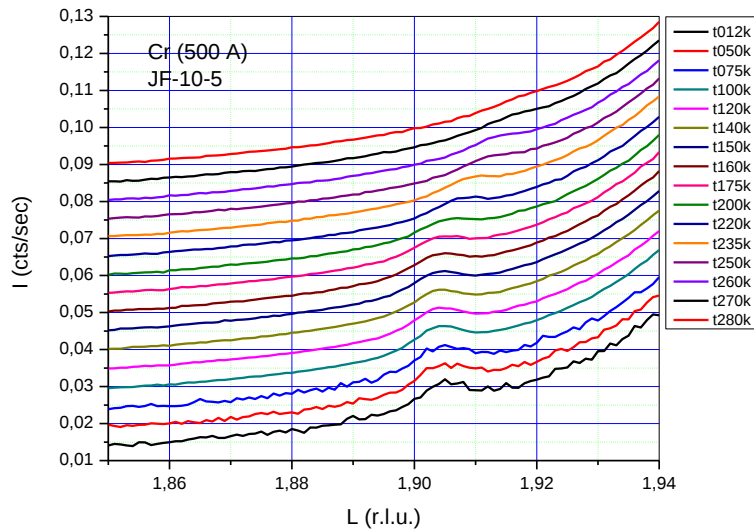
Тонкие пленки Cr(t)/MgO:
конкуренция спонтанного формирования ВСП и
размерных эффектов



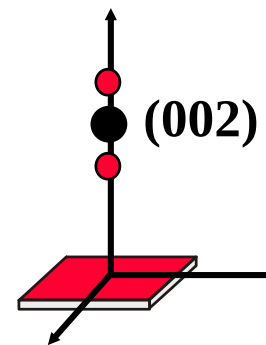
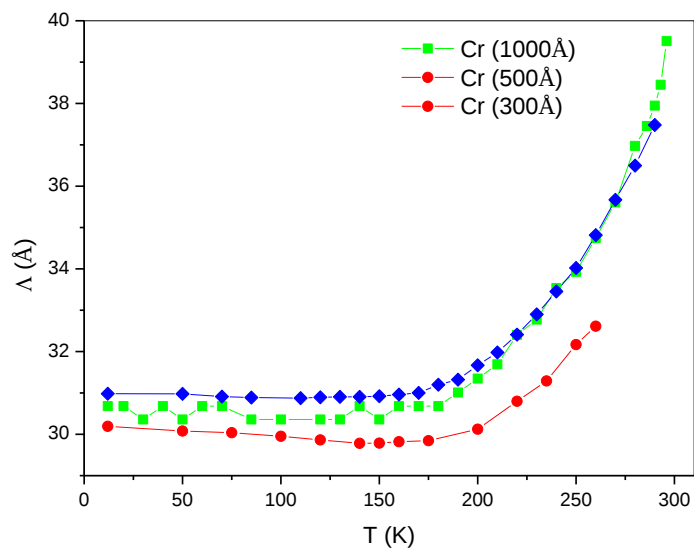
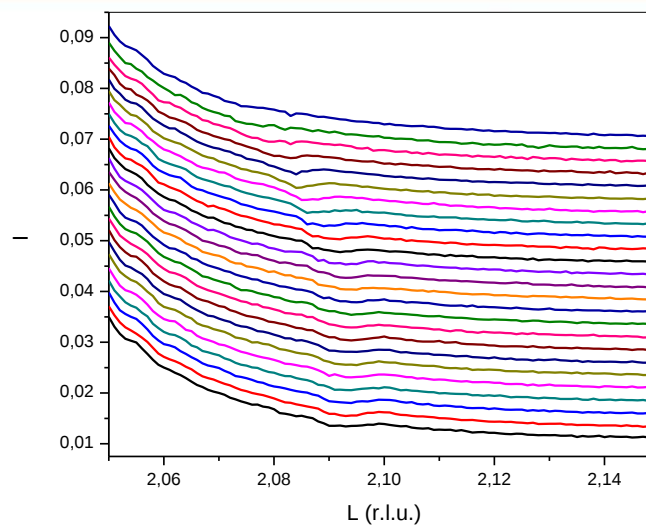
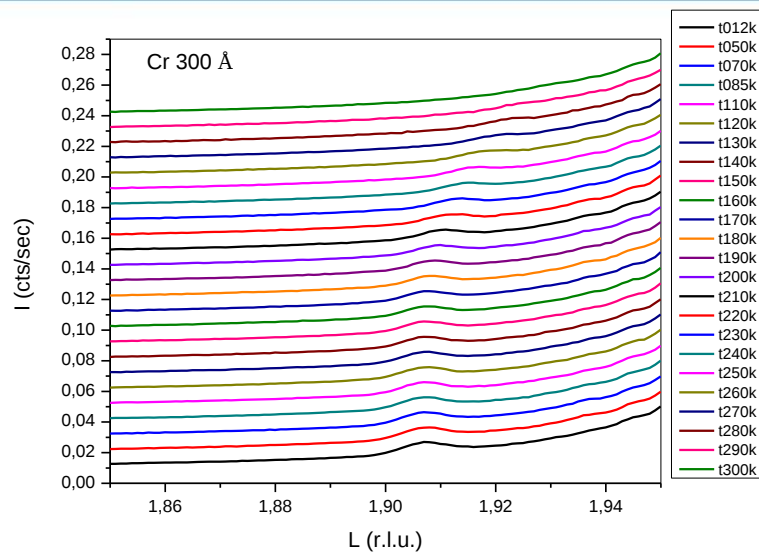
Тонкие пленки Cr(1000 Å)/MgO



Тонкие пленки Cr(500 Å)/MgO

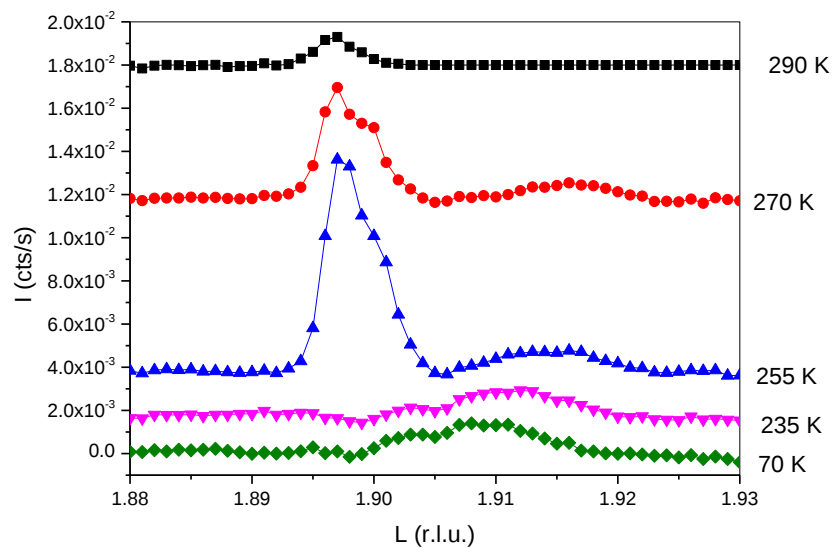


Тонкие пленки Cr(300 Å)/MgO

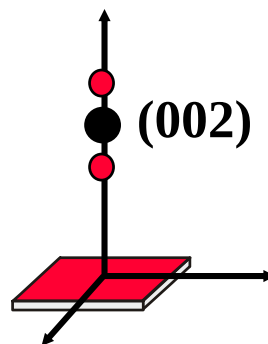
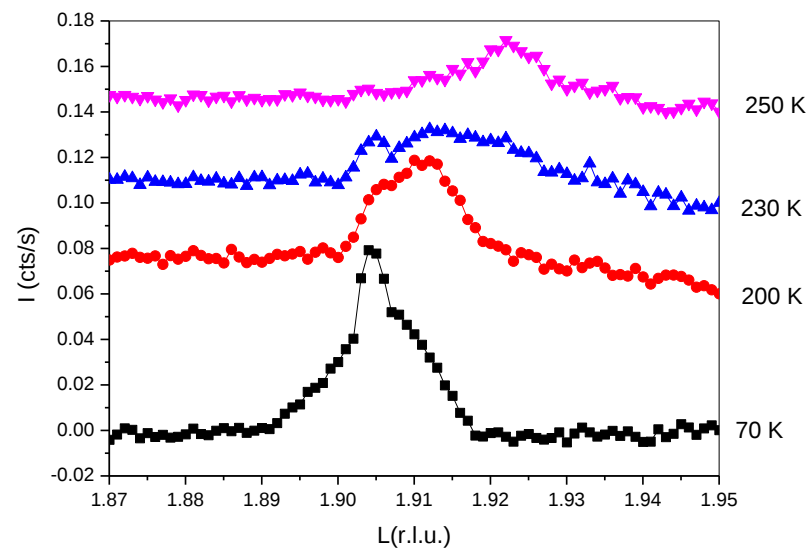


Тонкие пленки Cr(200 Å)/MgO:

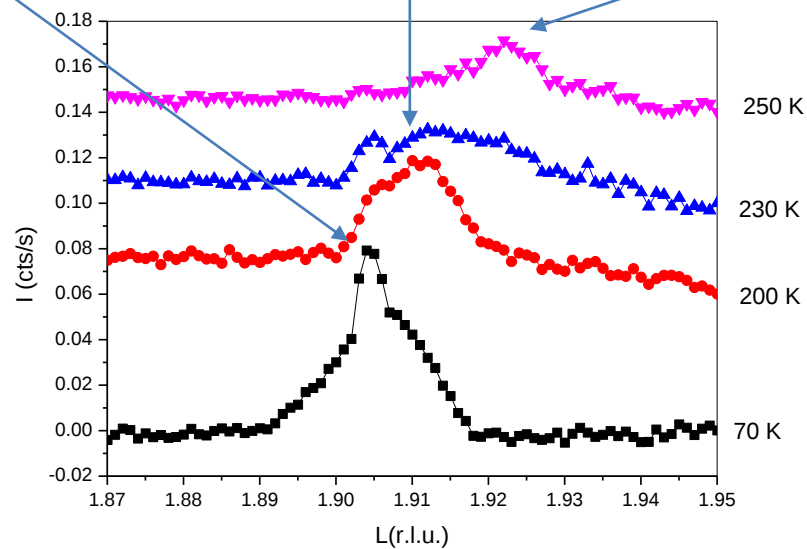
$H_{\text{perp}} = 7 \text{ T}$



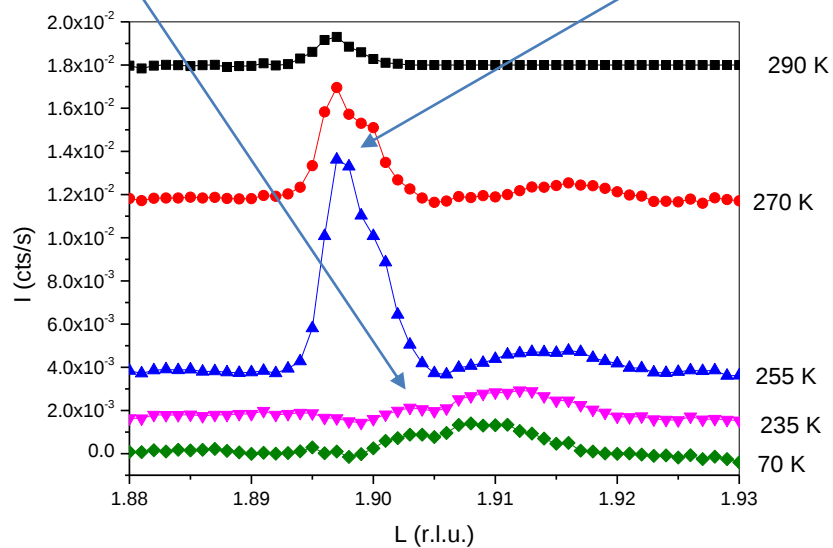
$H_{\text{par}} = 7 \text{ T}$



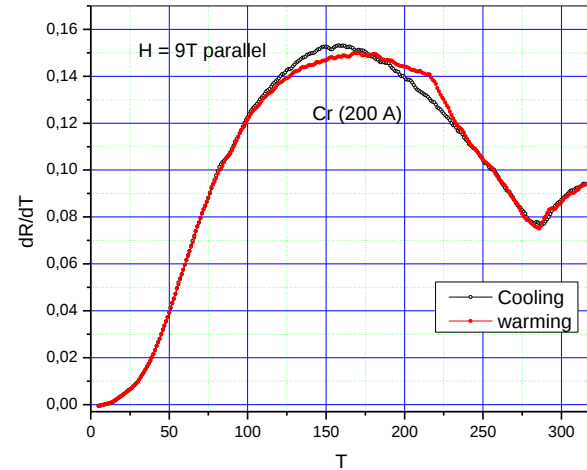
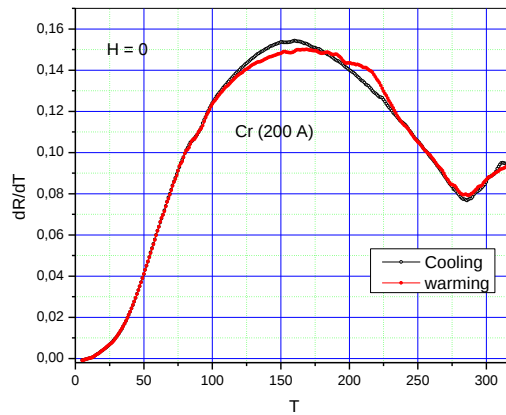
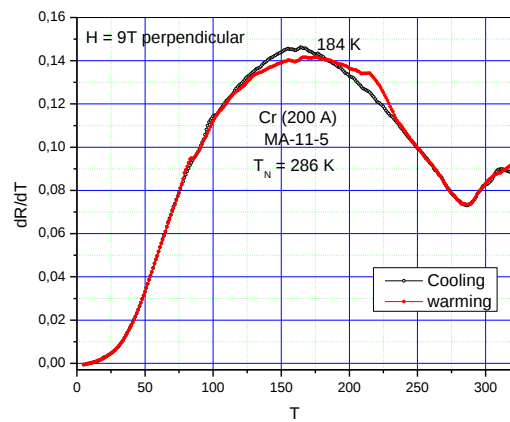
Тонкие пленки Cr(200 Å)/MgO: поле в плоскости



Тонкие пленки Cr(200 Å)/MgO: поле перпендикулярно поверхности



Тонкие пленки Cr(200 Å)/MgO: магнетосопротивление



Размерные эффекты в сверхтонких пленках Cr

- Изменение характера толщинной зависимости периода ВСП, возможно уменьшение периода с температурой
- Квантование периода ВСП в сверхтонких пленках: квант = $\frac{1}{2}$ периода ВУН = $\frac{1}{4}$ периода ВЗП
- Сильное влияние магнитного поля
- Эффекты могут быть использованы в спинтронных устройствах для управления магнитным состоянием наногетероструктур на основе Cr