



Влияние поликристаллической структурь на магнитные свойства тонких пленок и nanoструктур на их основе

Аспирант 2-го года обучения Татарский
Д.А.



План семинара

- Метастабильные состояния в ферромагнитных наночастицах
- Приближение слабой случайной анизотропии
- Наноструктуры из поликристаллических пленок, получаемые в ИФМ РАН



- МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ
СОСТОЯНИЯ В
ФЕРРОМАГНИТНЫХ
НАНОЧАСТИЦАХ



Энергия ферромагнетика

$$E = \frac{1}{2} \int \left(\alpha \left(\frac{\partial \vec{M}}{\partial \vec{r}} \right)^2 - \beta (\vec{n} \cdot \vec{M}(\vec{r}))^2 \right) d\vec{r}$$

$$\alpha, \beta, \vec{n} = \text{const}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} - \text{ширина доменной стенки}$$

$$L_e = \sqrt{\frac{\alpha}{M_s^2}} - \text{обменная длина}$$

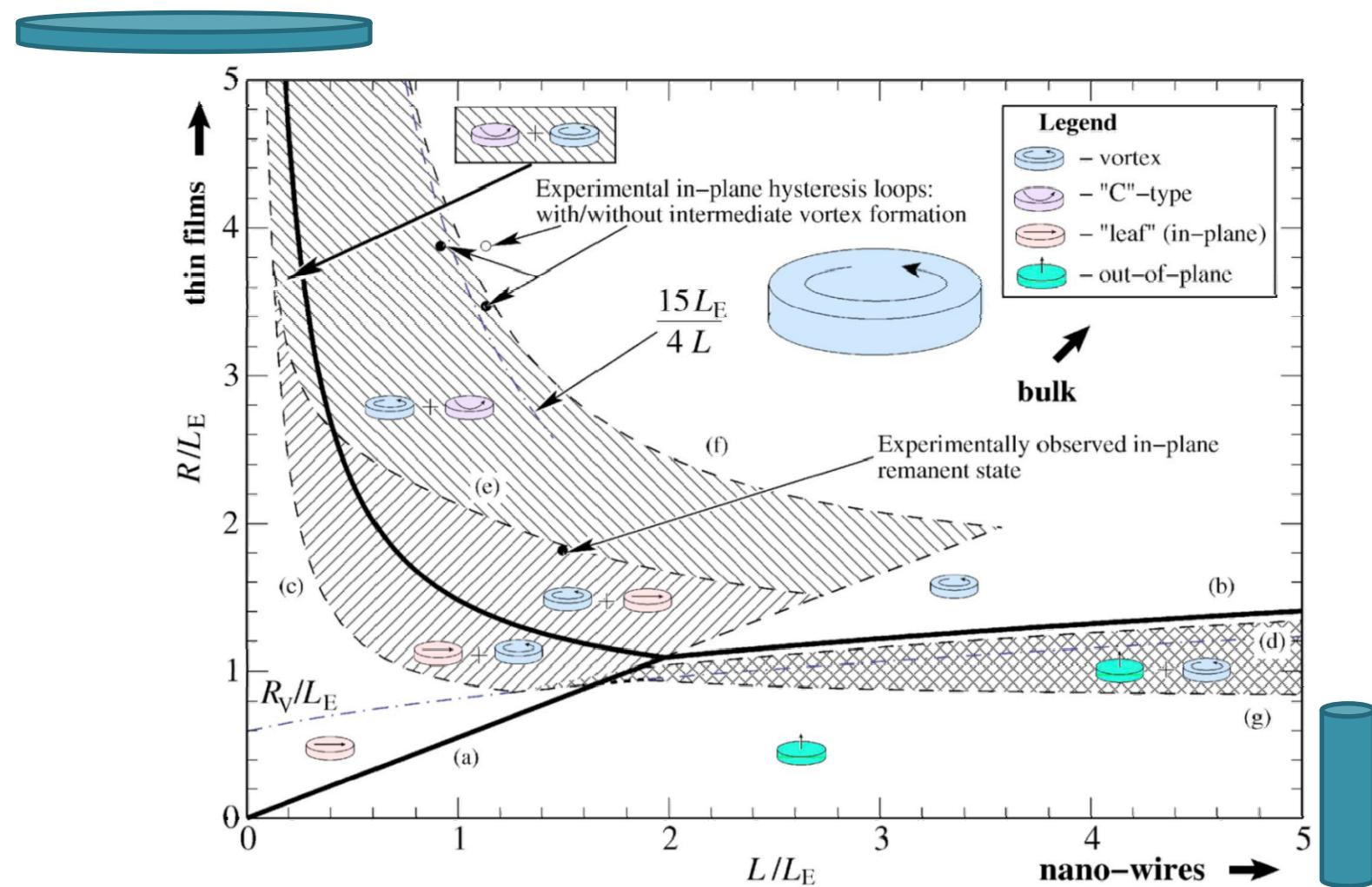
Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц, том VIII
Электродинамика сплошных сред



Характерные длины в некоторых ферромагнетиках

| Вещество | Обменная энергия, эрг/см | Константа анизотропии, эрг/см ³ | Намагченность насыщения, Э | Ширина доменной стенки, нм | Обменная длина, нм |
|----------|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Co | $30 \cdot 10^{-7}$ | $520 \cdot 10^4$ | 17 900 | 7,6 | 12,2 |
| Fe | $21 \cdot 10^{-7}$ | $48 \cdot 10^4$ | 21 580 | 20,9 | 8,4 |
| CoFe | $30 \cdot 10^{-7}$ | $6,8 \cdot 10^4$ | 18 850 | 66,4 | 11,5 |

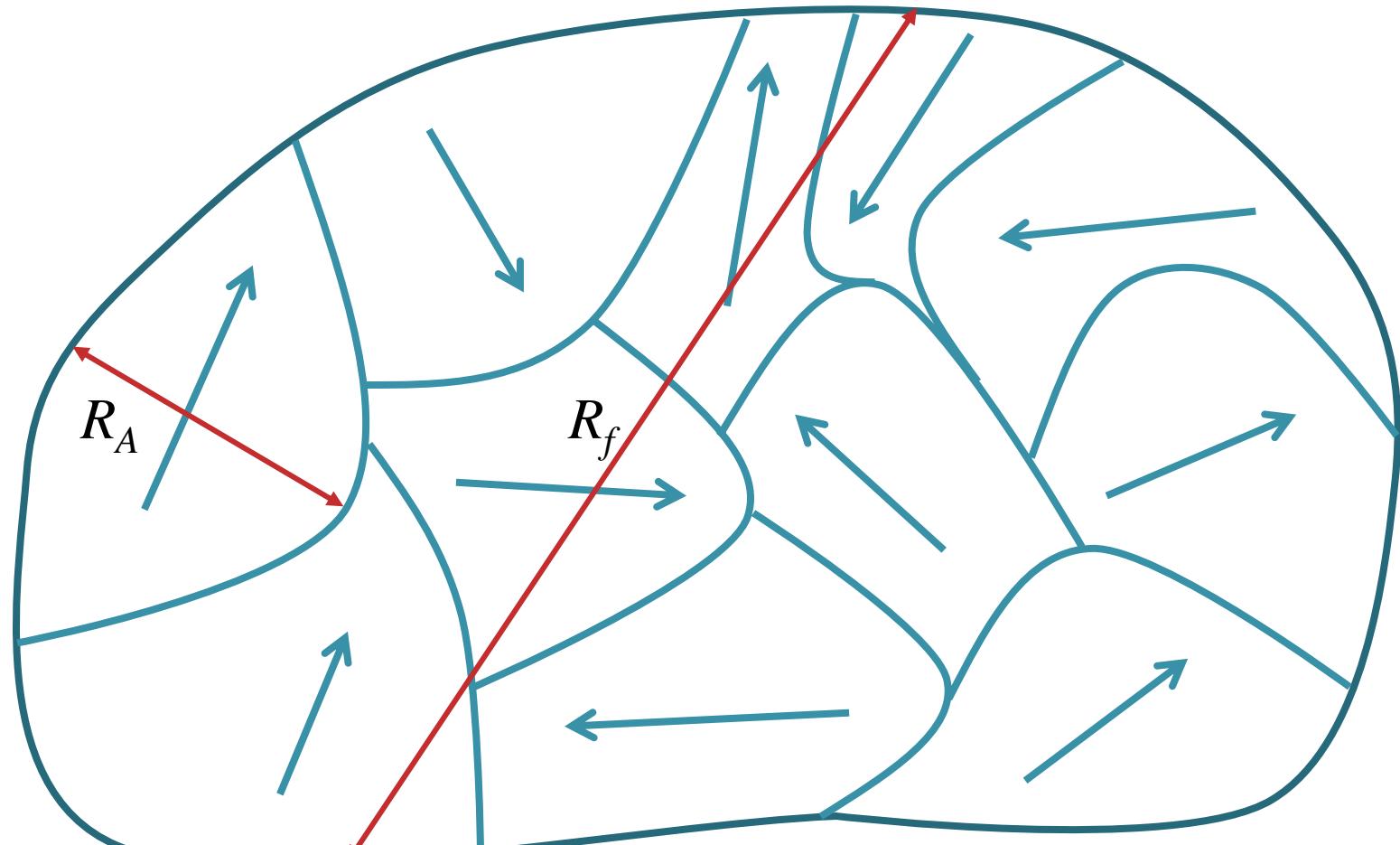
Фазовая диаграмма метастабильных состояний в цилиндрической частице





- **ПРИБЛИЖЕНИЕ
СЛАБОЙ СЛУЧАЙНОЙ
АНИЗОТРОПИИ**

Поликристалл



R_A – размер кристаллита



Слабая случайная анизотропия

$$E = \frac{1}{2} \int \left(\alpha \left(\frac{\partial \vec{M}}{\partial \vec{r}} \right)^2 - \beta (\vec{M}(\vec{r}) \cdot \vec{n}(\vec{r}))^2 \right) d^d \vec{r}$$

$$H_{ex} = \frac{\alpha M_0}{R_A^2} \quad H_r = \beta M_0$$

$H_{ex} > H_r \Rightarrow R_A < \delta$ – условие слабой анизотропии

R_F – длина ферромагнитной корреляции

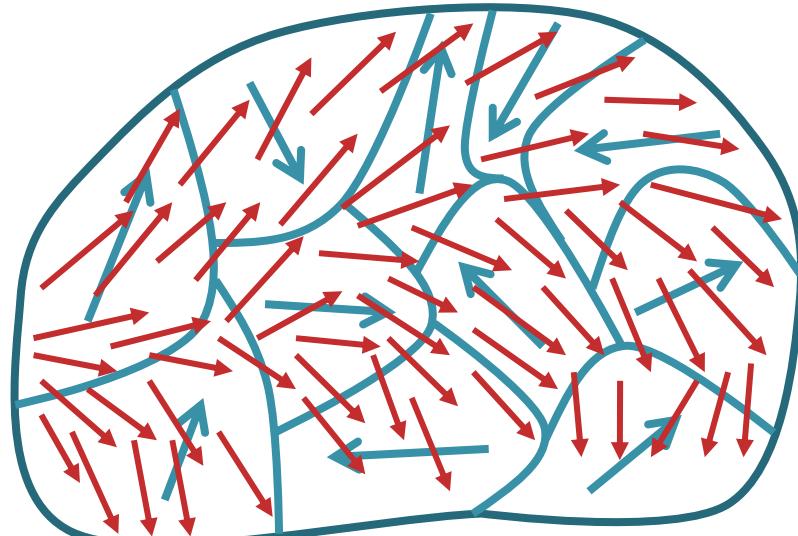
Phys.Rev.Lett. **35**, 1399 (1975)
J.Appl.Phys. **49**, 1653 (1978)
Phys.Rev.B **33**, 251 (1986)

Усреднение по объему поликристалла

Количество кристаллитов в одном «домене» – $N = \left(\frac{R_A}{R_F} \right)^d$

Средняя энергия анизотропии – $\bar{E}_r = -\frac{\beta M_0^2}{2\sqrt{N}}$

Средняя обменная энергия – $\bar{E}_{ex} = \frac{\alpha M_0^2}{R_F^2}$





Длина ферромагнитной корреляции

$$\bar{E} \sim \frac{\alpha}{R_F^2} - \frac{\beta R_A^{d/2}}{R_F^{d/2}}$$

$$\frac{\partial \bar{E}}{\partial R_F} = 0$$

↓

$$R_F^{2D} \sim \delta^2 / R_A$$

$$R_F^{3D} \sim \delta^4 / R_A^3$$

$$R_F \sim R_A \left(\frac{\delta}{R_A} \right)^{\frac{4}{4-d}} > R_A$$

J.Appl.Phys. **49**, 1653 (1978)
Phys.Rev.B **33**, 251 (1986)



Поле насыщения и коэрцитивная сила

$$E_{S,C} \sim \frac{\beta M_0^2 R_A^{d/2}}{2R_F^{d/2}}$$



$$E_{S,C} \sim R_A^{\frac{2d}{4-d}}$$

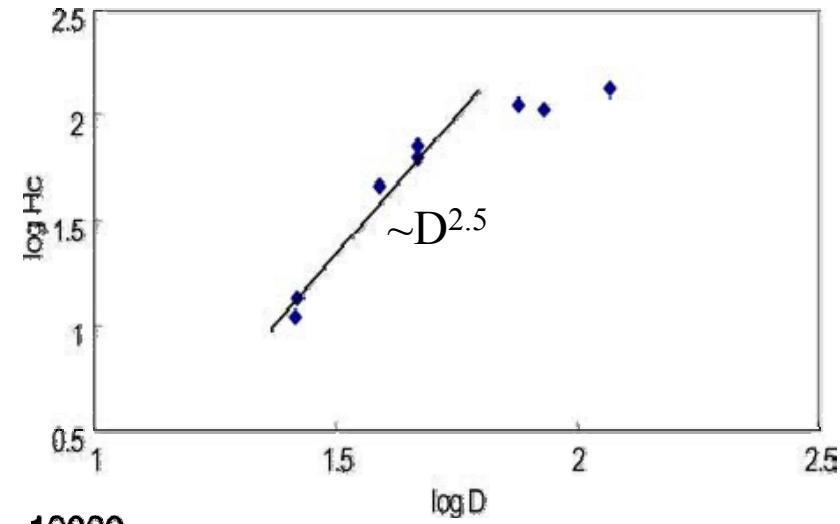
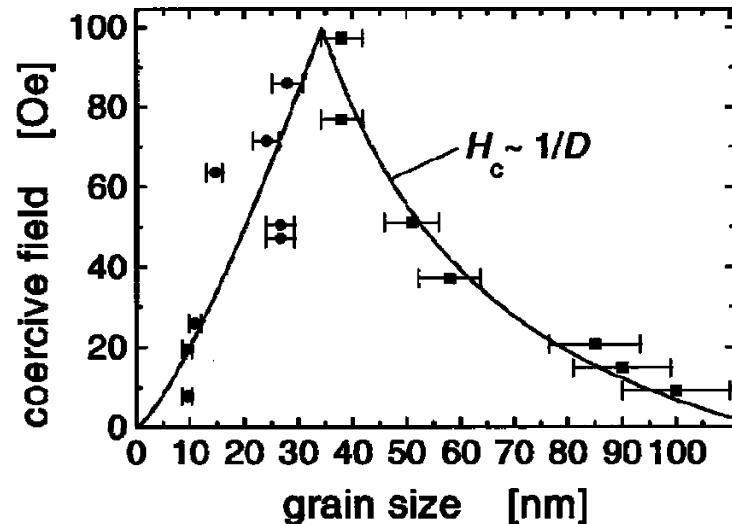
$$H_{S,C} \sim E_{S,C}/M_0$$

$$H_{S,C}^{2D} \sim R_A^2$$

$$H_{S,C}^{3D} \sim R_A^6$$

J.Appl.Phys. **49**, 1653 (1978)

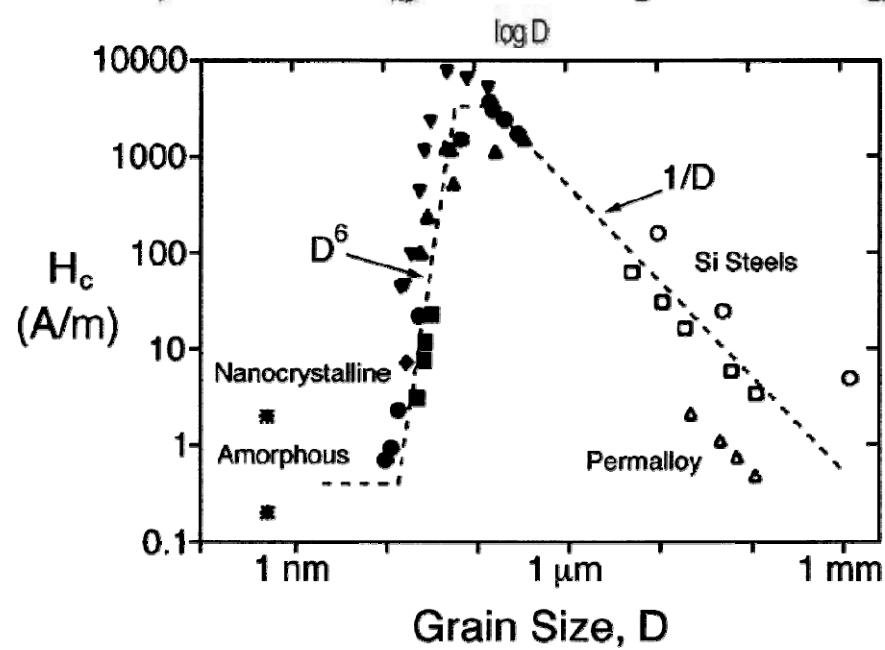
Коэрцитивность vs. размер зерен



Phys.Rev.B **57**, 2915 (1998)

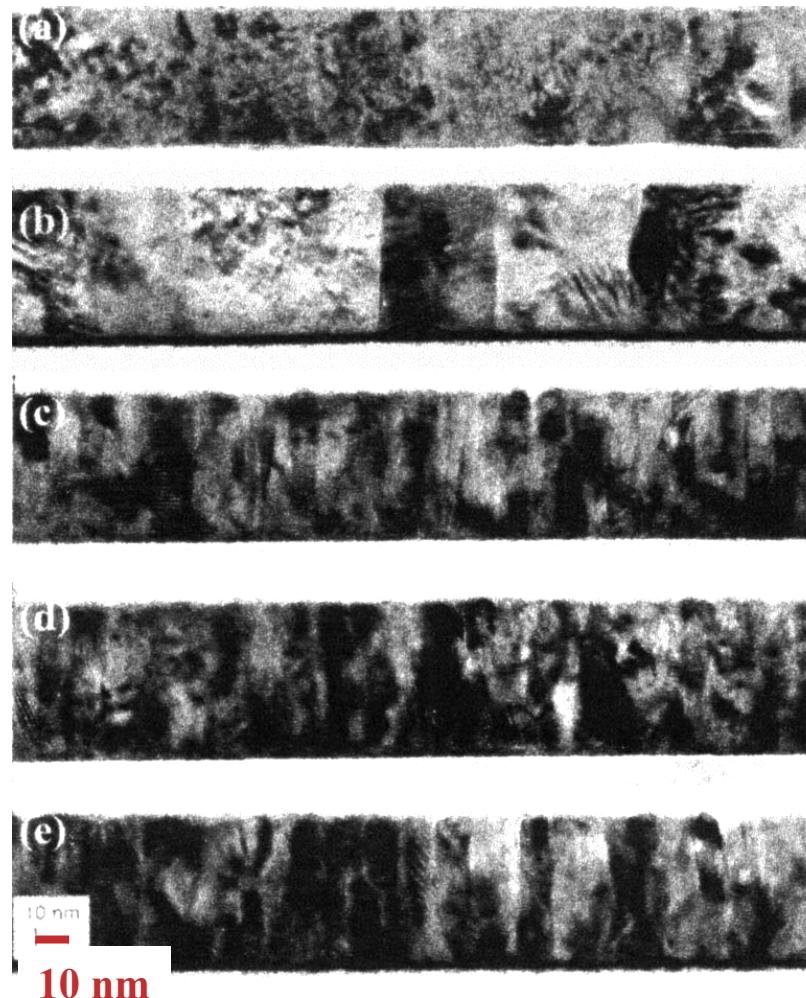
J.Mater.Sci. **40**, 3209 (2005)

Acta mater. **48**, 223 (2000)



Управление микрокристаллической структурой

Поперечный срез пленки CoFe 50 нм с различными подслоями



Подложка Si

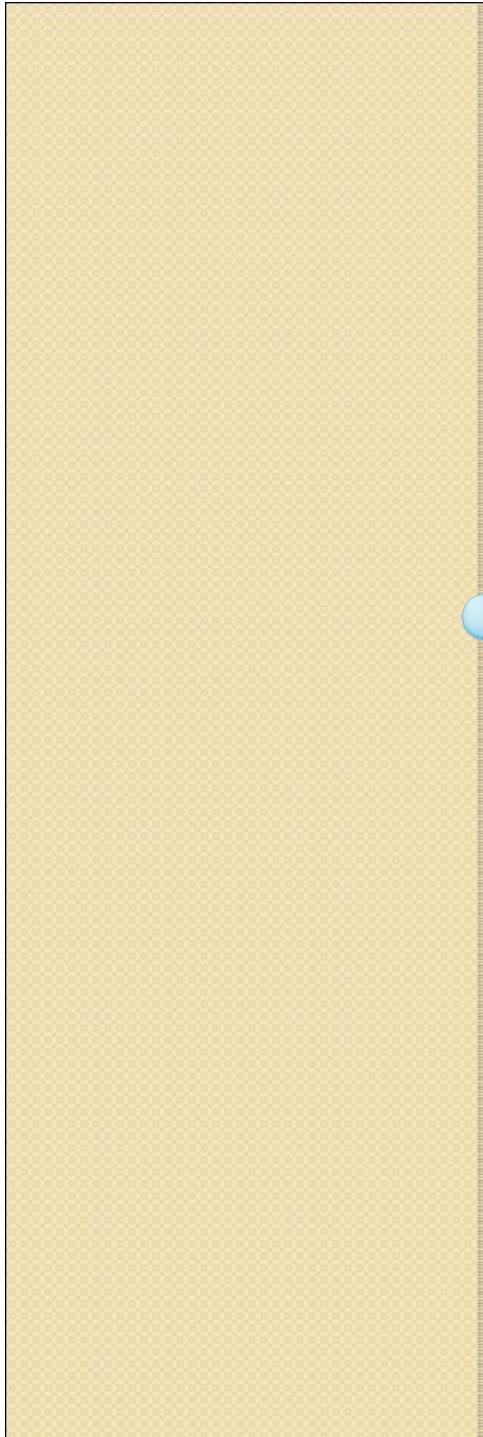
Подслой Ta

Подслой Cu

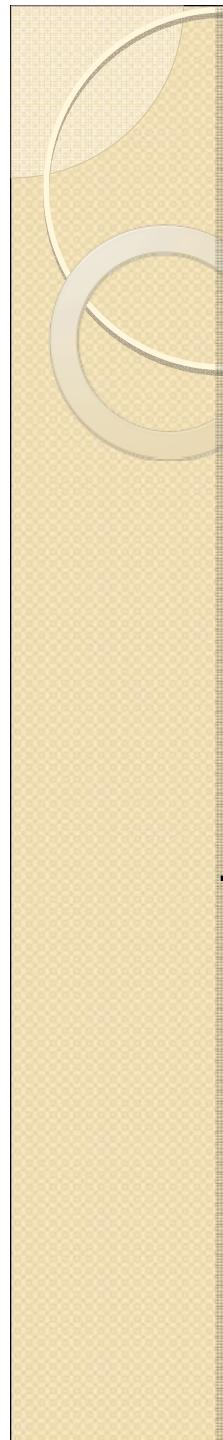
Подслой NiFe

Подслой Ru

J.Appl.Phys. 93, 6462 (2003)

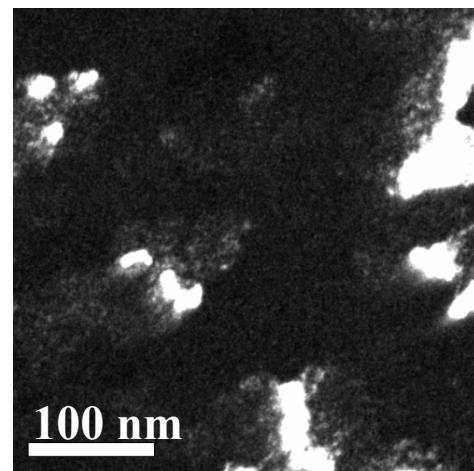


- **ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ
ФЕРРОМАГНИТНЫЕ
ПЛЕНКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ В
ИФМ РАН**



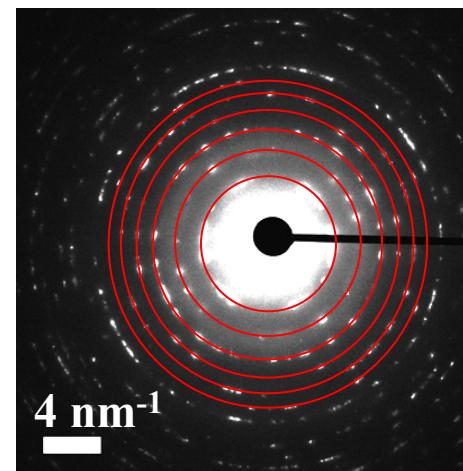
Микрокристаллическая структура плёнок $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{40}$ 30 нм

Тёмное поле

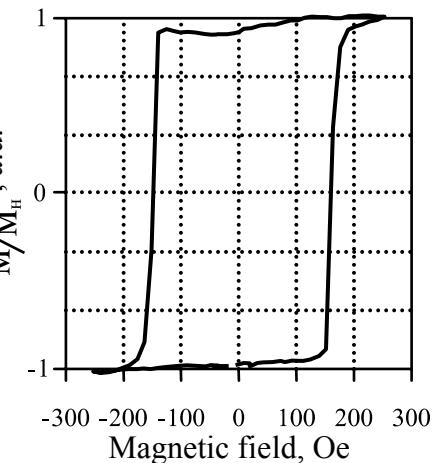


Подслой AlO_x

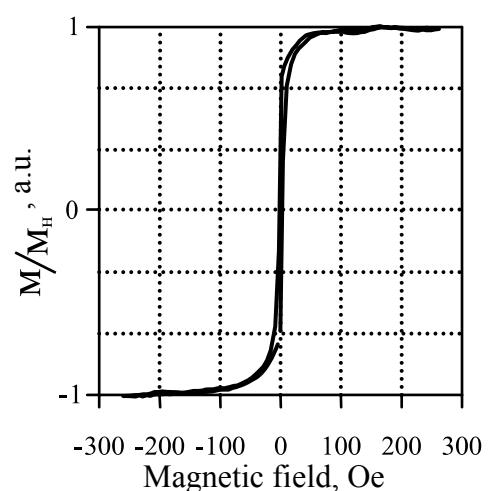
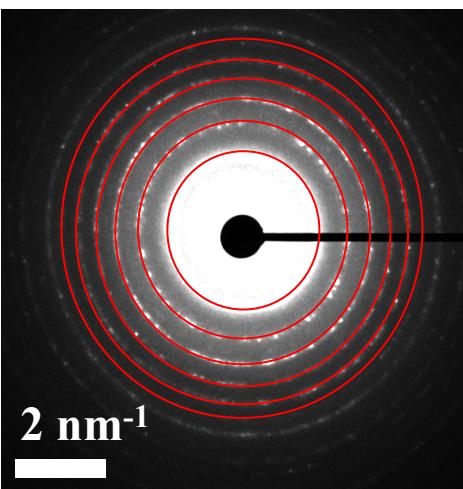
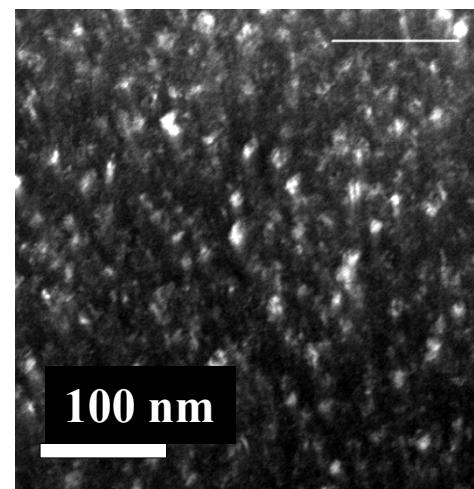
Микродифракция



Магнитооптика

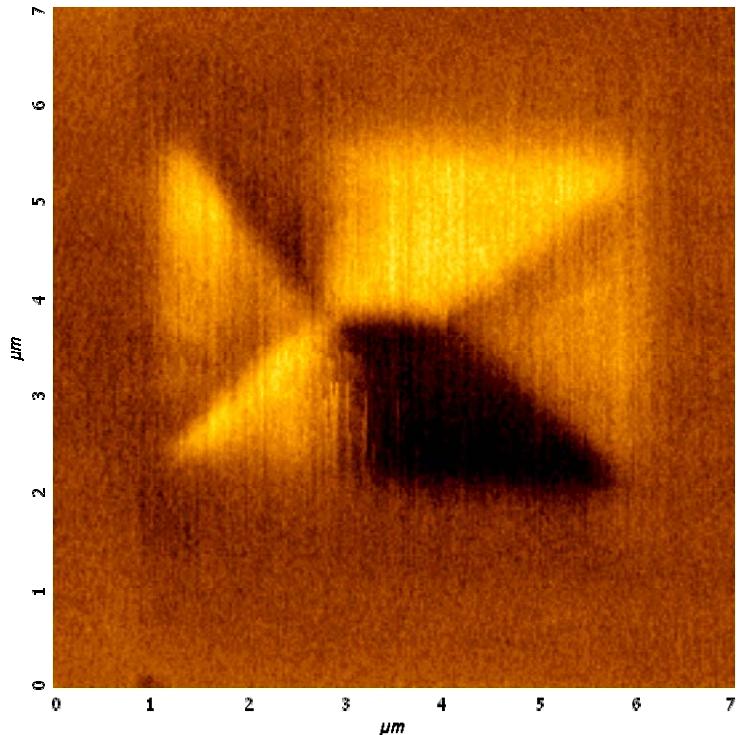


Послой Ni_3Fe

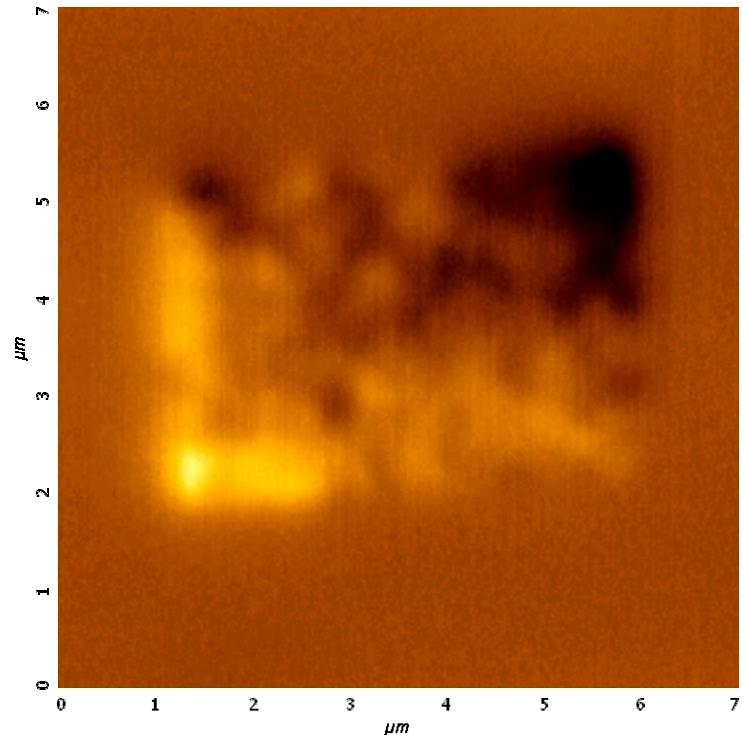


Прямоугольная частица

Подслой NiFe



Подслой AlO_x



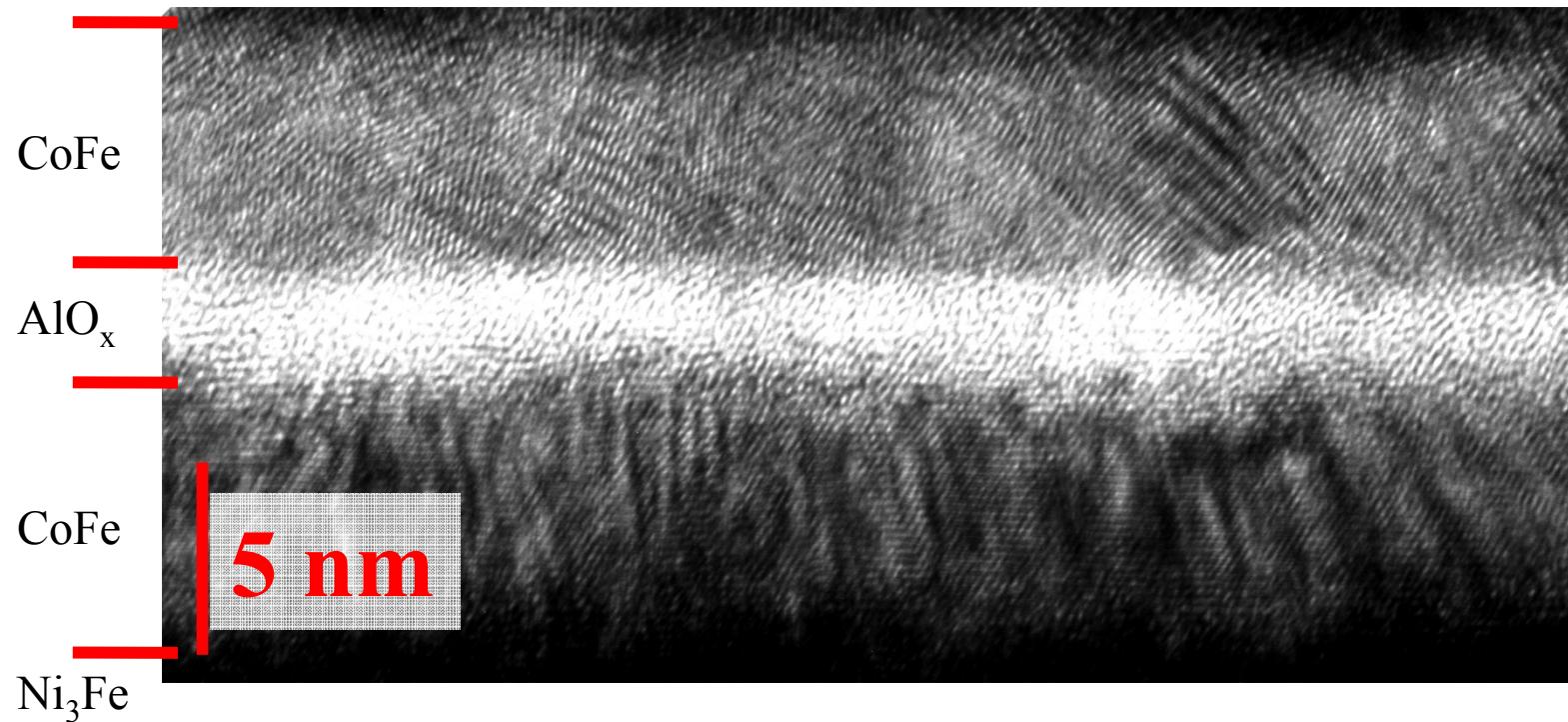
$$R_f \approx 200 \text{ нм}$$

Страйп-структура

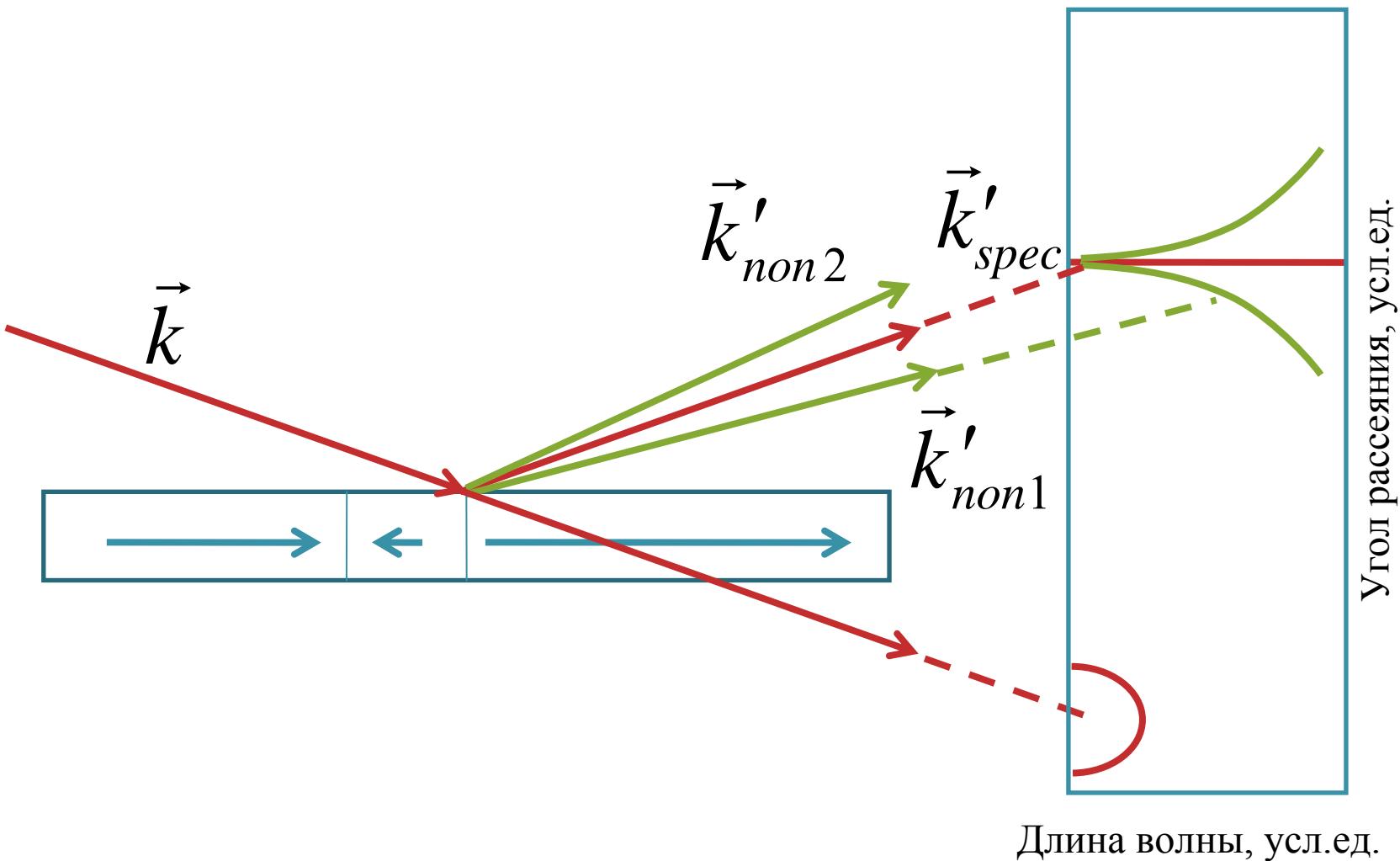
Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц, том VIII
Электродинамика сплошных сред



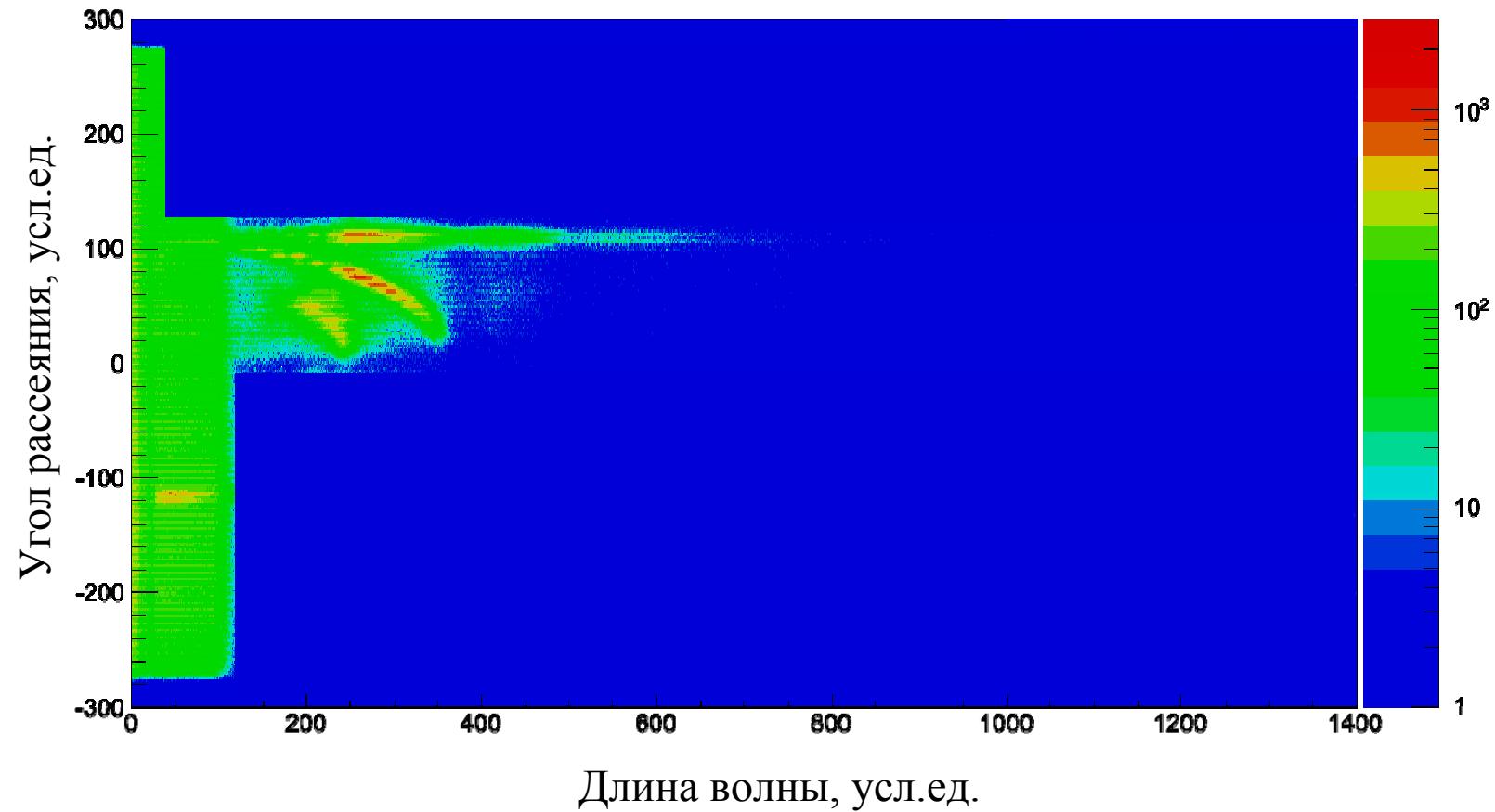
Поперечный срез ТМР-структуры

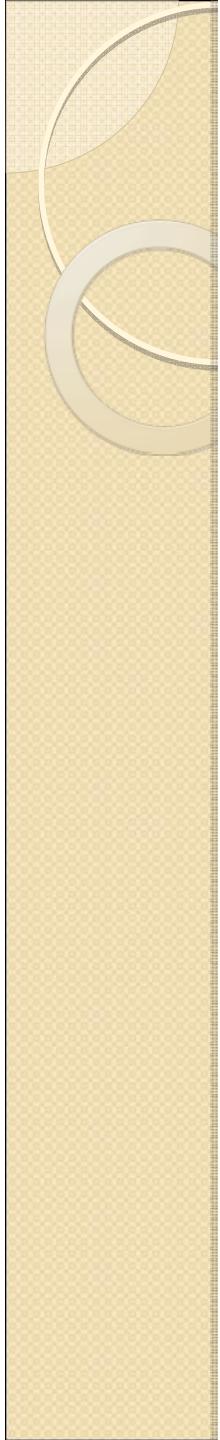


Рассеяние нейтронов на магнитной неоднородности в пленке

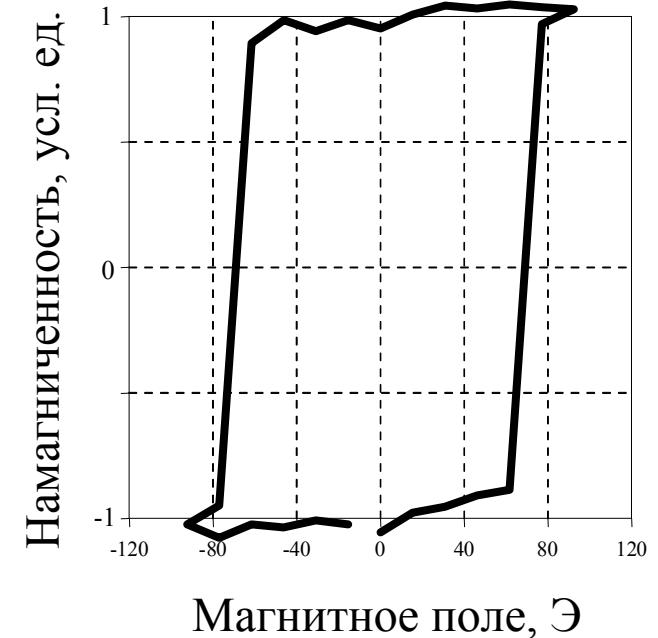
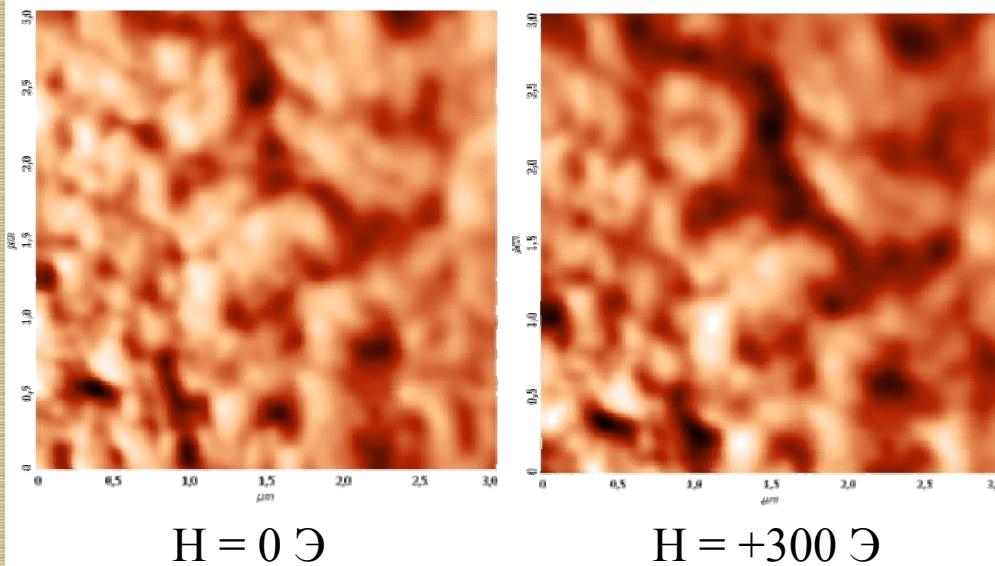


Диффузное рассеяние нейтронов



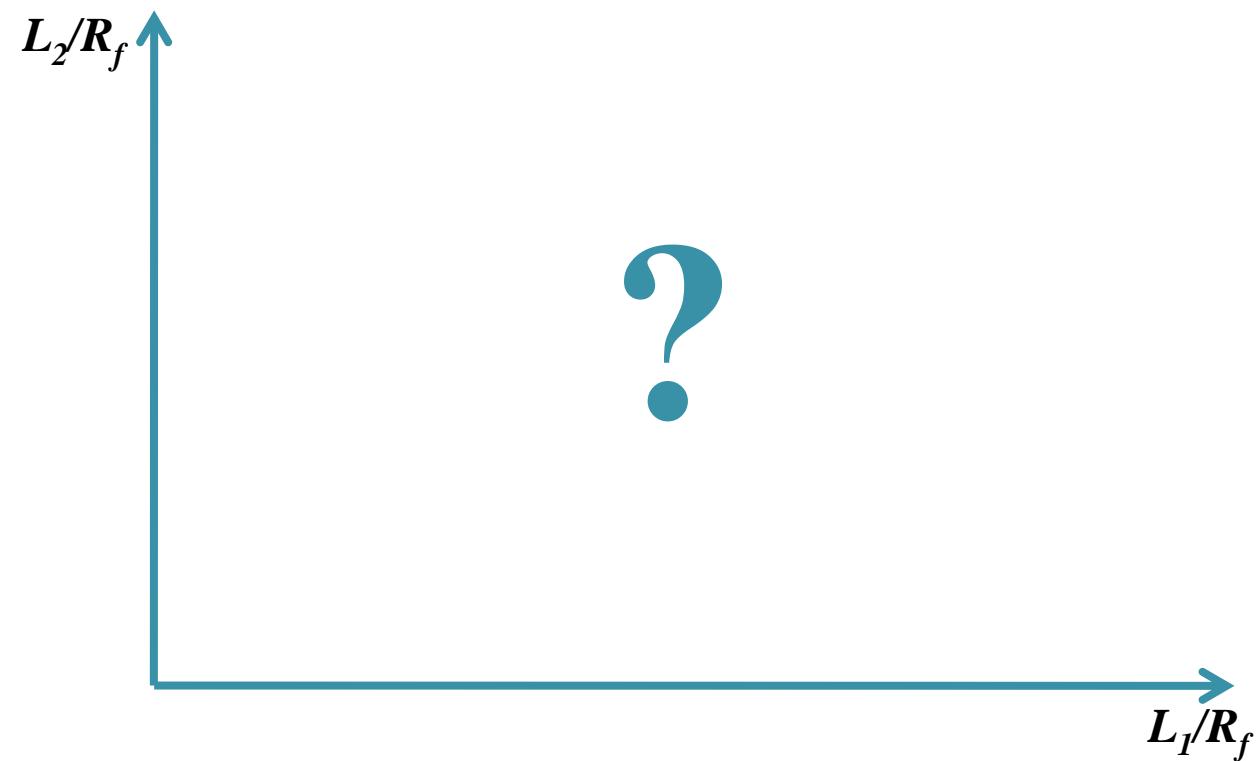


Рябь намагниченности в пленке $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{40}$ толщиной 100 нм (МФМ)





Фазовая диаграмма метастабильных состояний в частице





• СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!