



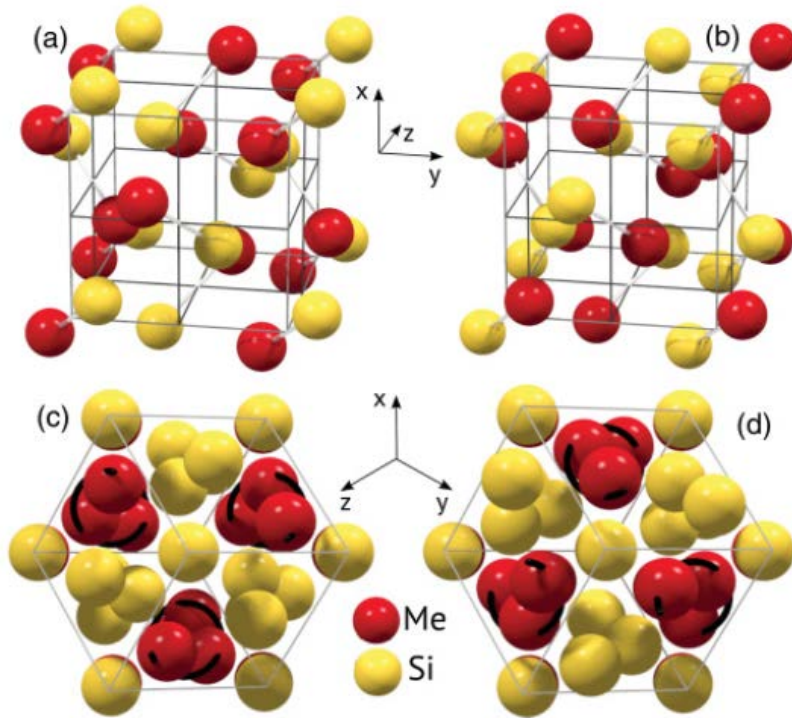
Спиновые волны в MnGe и допированных железом составах методом малоуглового рассеяния нейтронов

Е. В. Алтынбаев, С. В. Григорьев

Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б.П. Константинова
Санкт-Петербургский Государственный Университет, физический факультет



Б-20



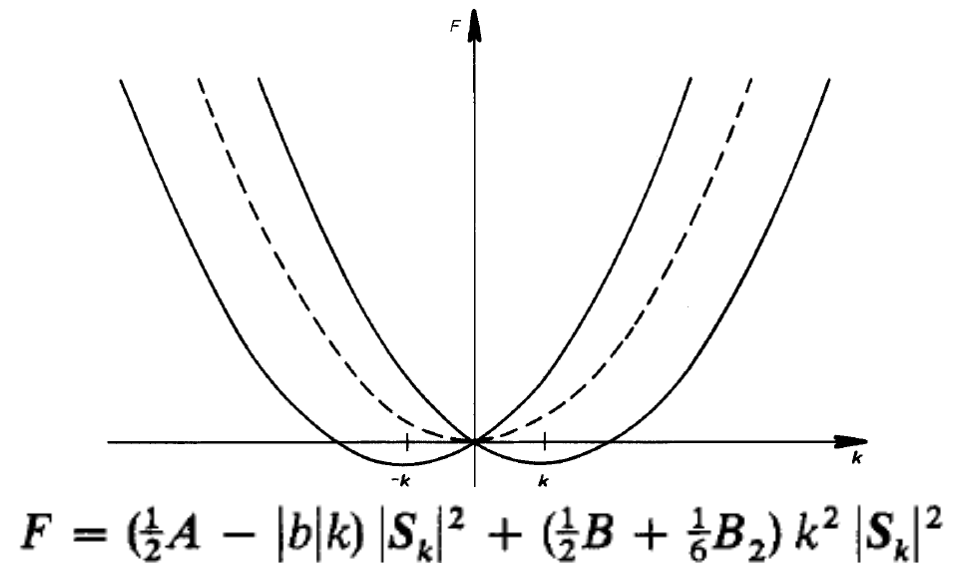
Позиции Уайкофа:

$$R_1 (u, u, u); R_2 (1/2+u, 1/2-u, -u);$$

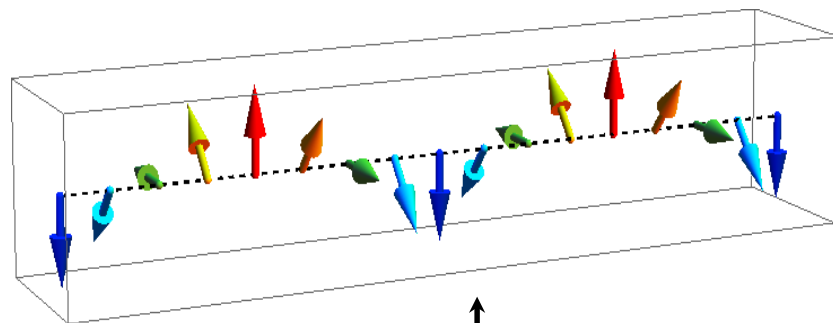
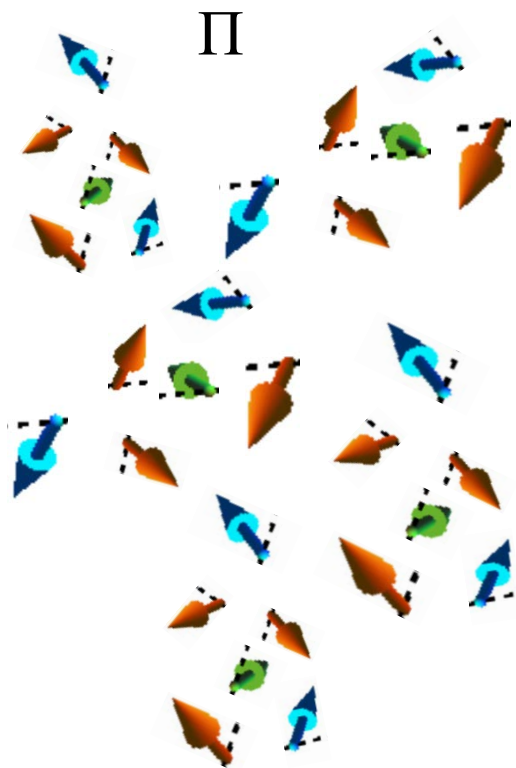
$$R_3 (-u, 1/2+u, 1/2-u); R_4 (1/2-u, -u, 1/2+u)$$

V. A. Dyadkin, S. V. Grigoriev, D. Menzel, D. Chernyshov,
V. Dmitriev, J. Schoenes, S. V. Maleyev, E. V. Moskvina, and
H. Eckerlebe, Phys. Rev. B **84**, 014435 (2011)

Свободная энергия



P.Bak, M.H.Jensen, J.Phys.C13, L881 (1980)

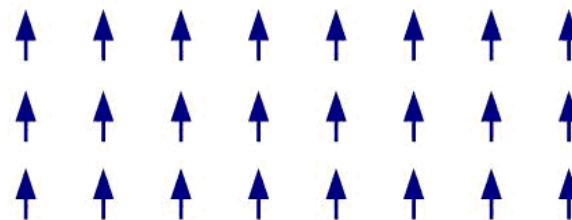


ГМ

$$J_1 (S_i \cdot S_{i+1})$$



$$J_2 \cdot (S_i \cdot S_{i+2}) \quad \Bigg| \quad D \cdot [S_i \times S_j]$$



ФМ

- 1) Изотропное ферромагнитное взаимодействие
- 2) Изотропное антисимметричное взаимодействие Дзялошинского-Мория (ДМ) или взаимодействие Рудермана-Киттеля-Касуя-Иошиды (РККИ)
- 3) Слабое анизотропное взаимодействие (АО)

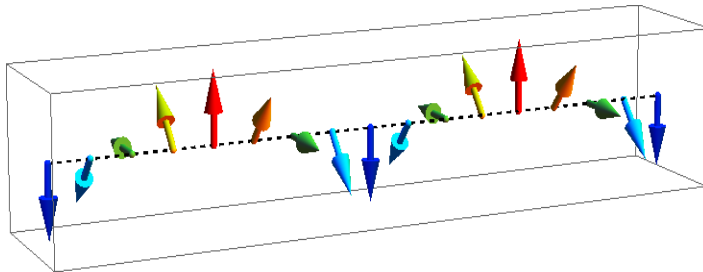
Основные взаимодействия:

[1] O. Nakanishi, A. Yanase, A. Hasegawa, M. Kataoka, Solid State Commun. 35 995 1980.

[2] P. Bak, M. H. Jensen, J Phys. C13 L881 1980.

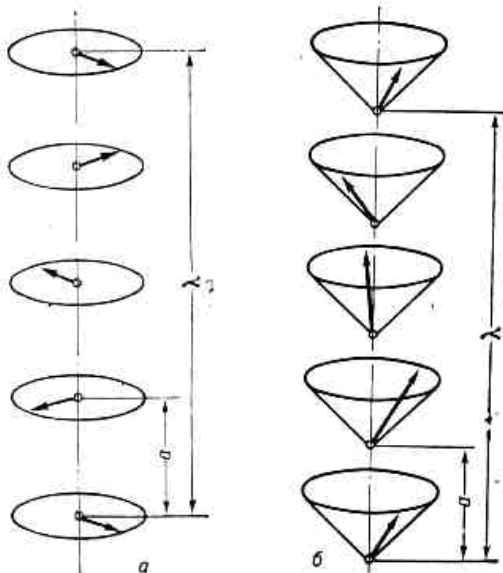


Магнитная спираль

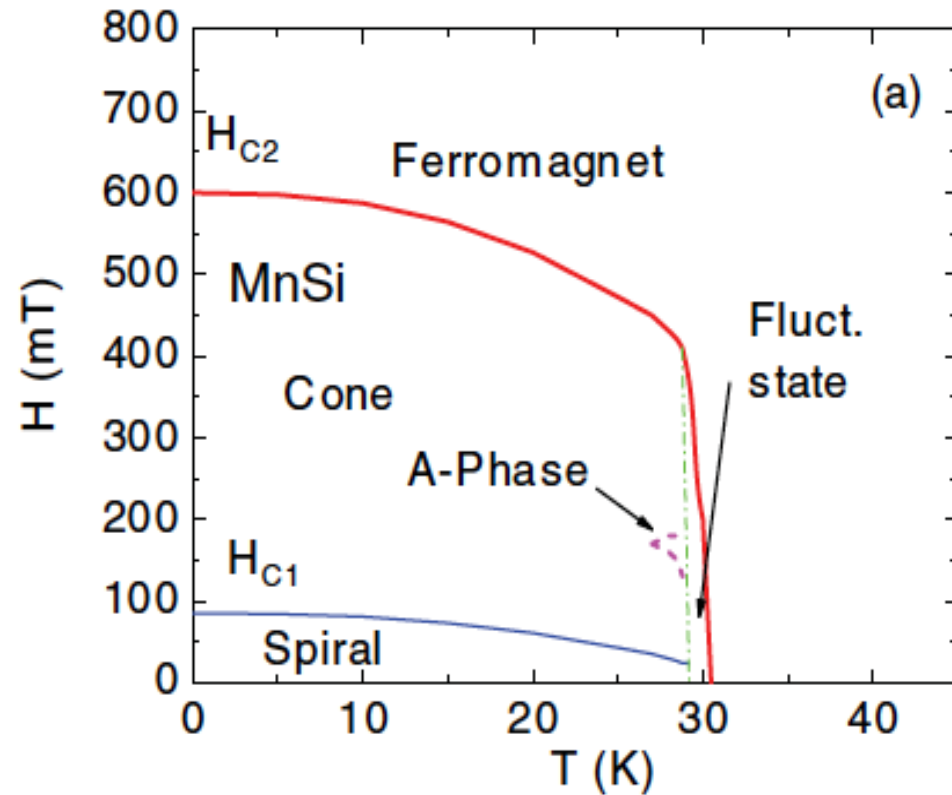


$$S(\mathbf{r}) = \alpha_k \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) - \beta_k \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$$

P.Bak, M.H.Jensen, J.Phys.C13, L881 (1980)



Фазовая диаграмма

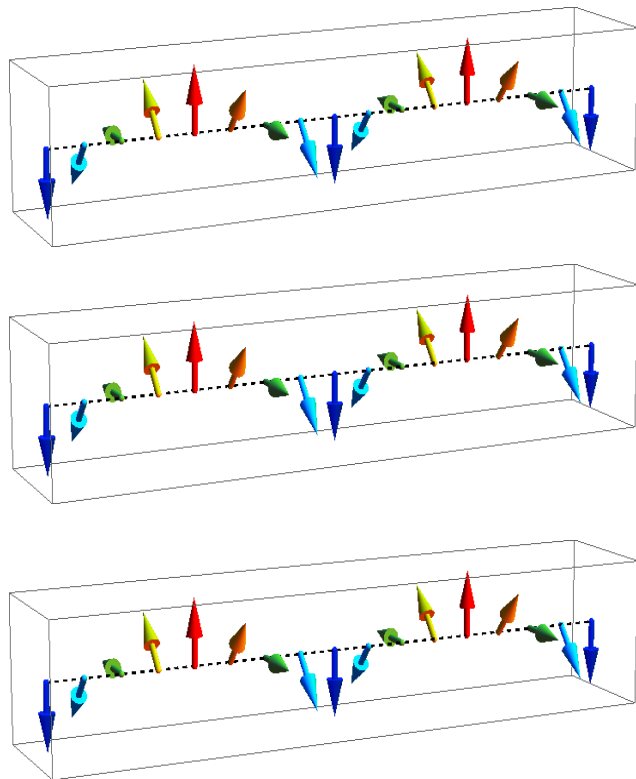


Potapova N., Dyadkin V., Moskvina E., Eckerlebe H., Menzel D., Grigoriev S. Phys. Rev. B 86, (2012) 060406

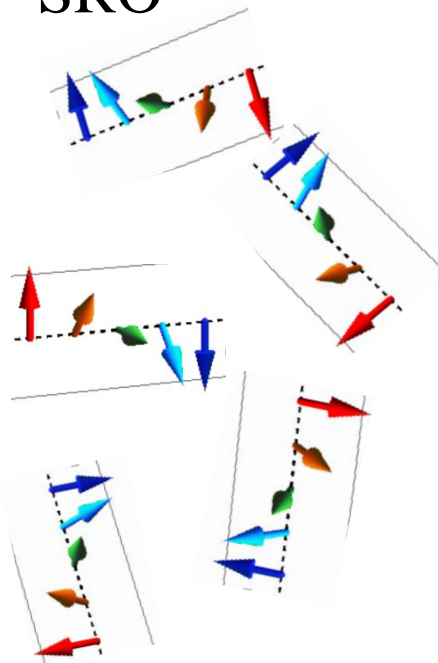


Фазовый переход в геликоидальном магнетике MnSi-типа

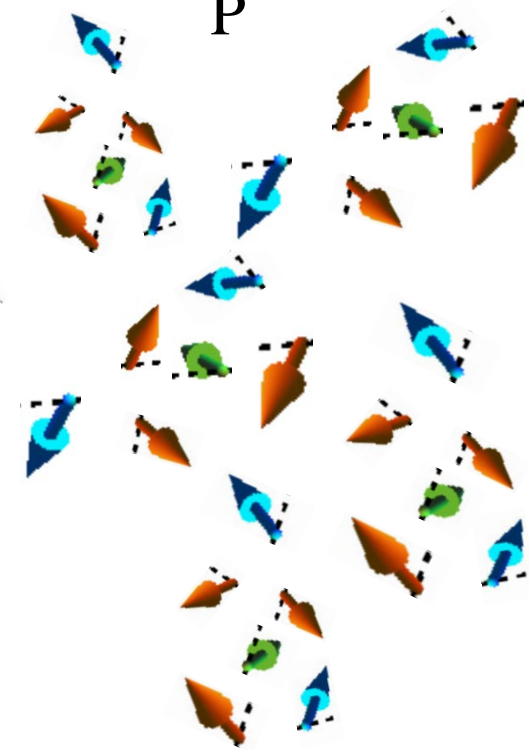
LRO



SRO



P



$T < T_C$

T_C

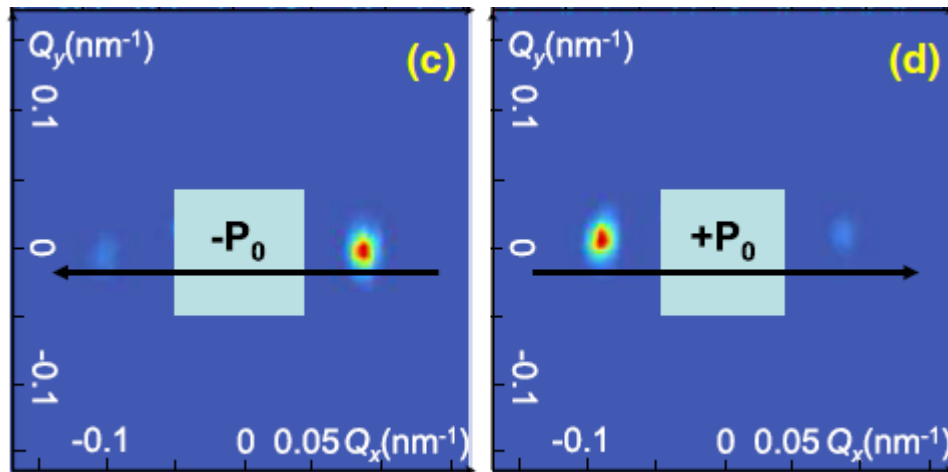
$T > T_C$

T

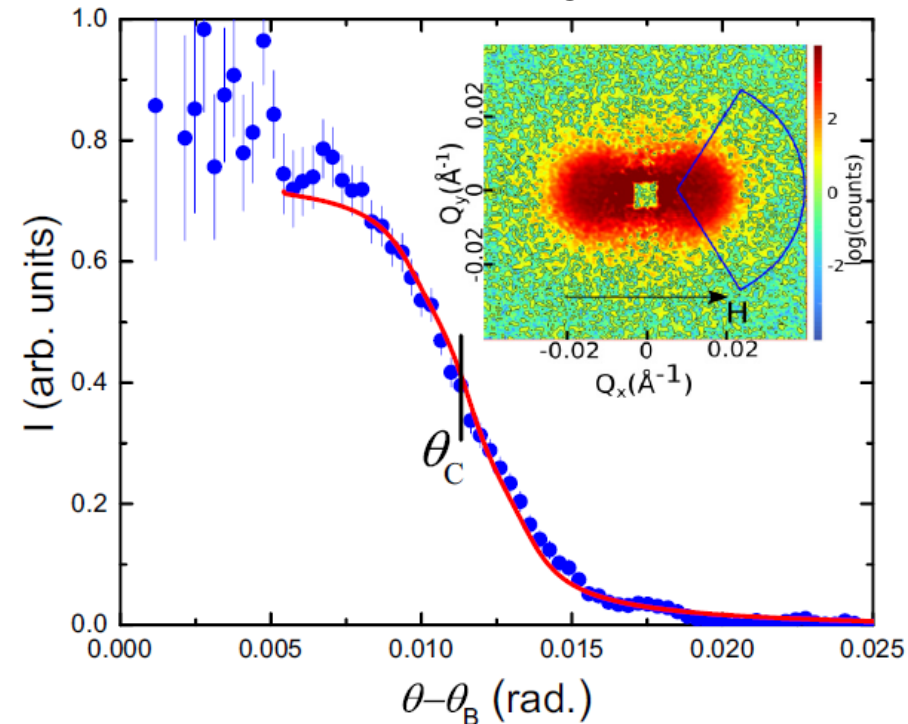


Малоугловое рассеяние нейтронов на образцах соединения FeGe

$H > H_{C1}$

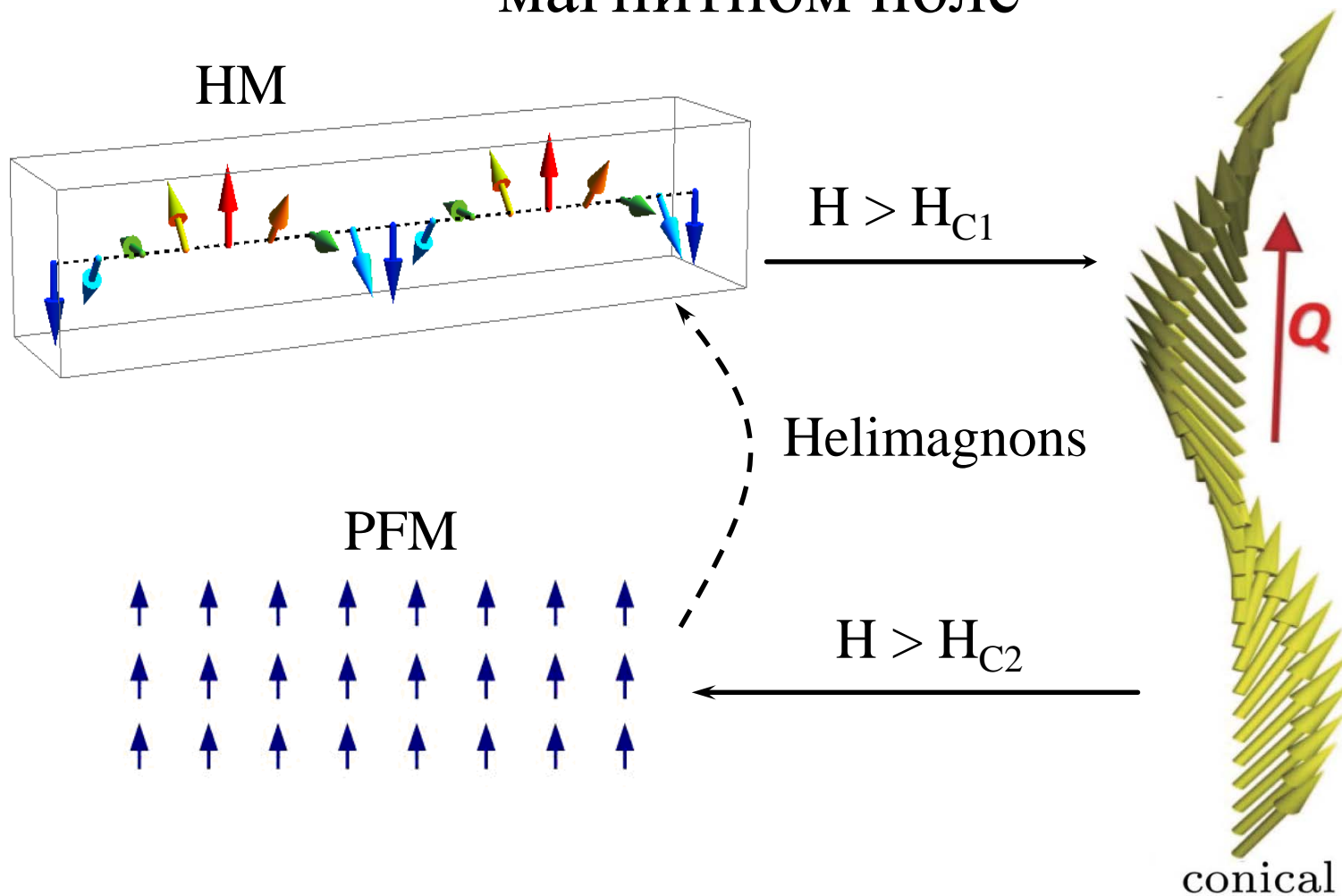


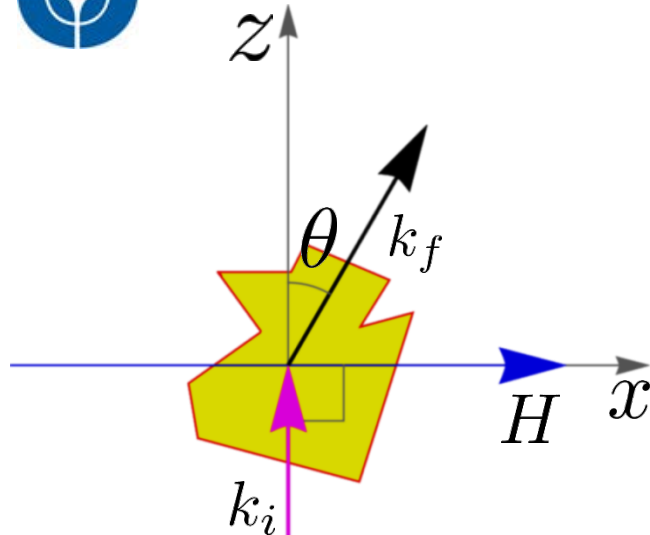
$H > H_{C2}$





Геликоидальная структура во внешнем магнитном поле





- 1) Поляризационно-зависящая часть сечения рассеяния (зависит от \mathbf{Q} и ω)

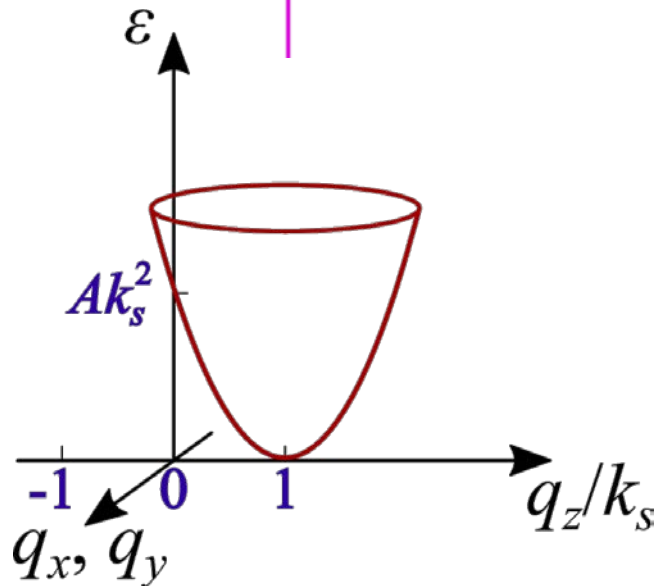
$$\sigma_{ch}(\mathbf{Q}, \omega)$$

- 2) Закон дисперсии

$$\epsilon_{\mathbf{q}} = A(\mathbf{q} - \mathbf{k}_s)^2 + (H - H_{C2})$$

- 3) Сечение, проинтегрированное по ω

$$\sigma_{ch}(\theta) \sim \int \sigma_{ch}(\mathbf{Q}, \omega) d\omega$$

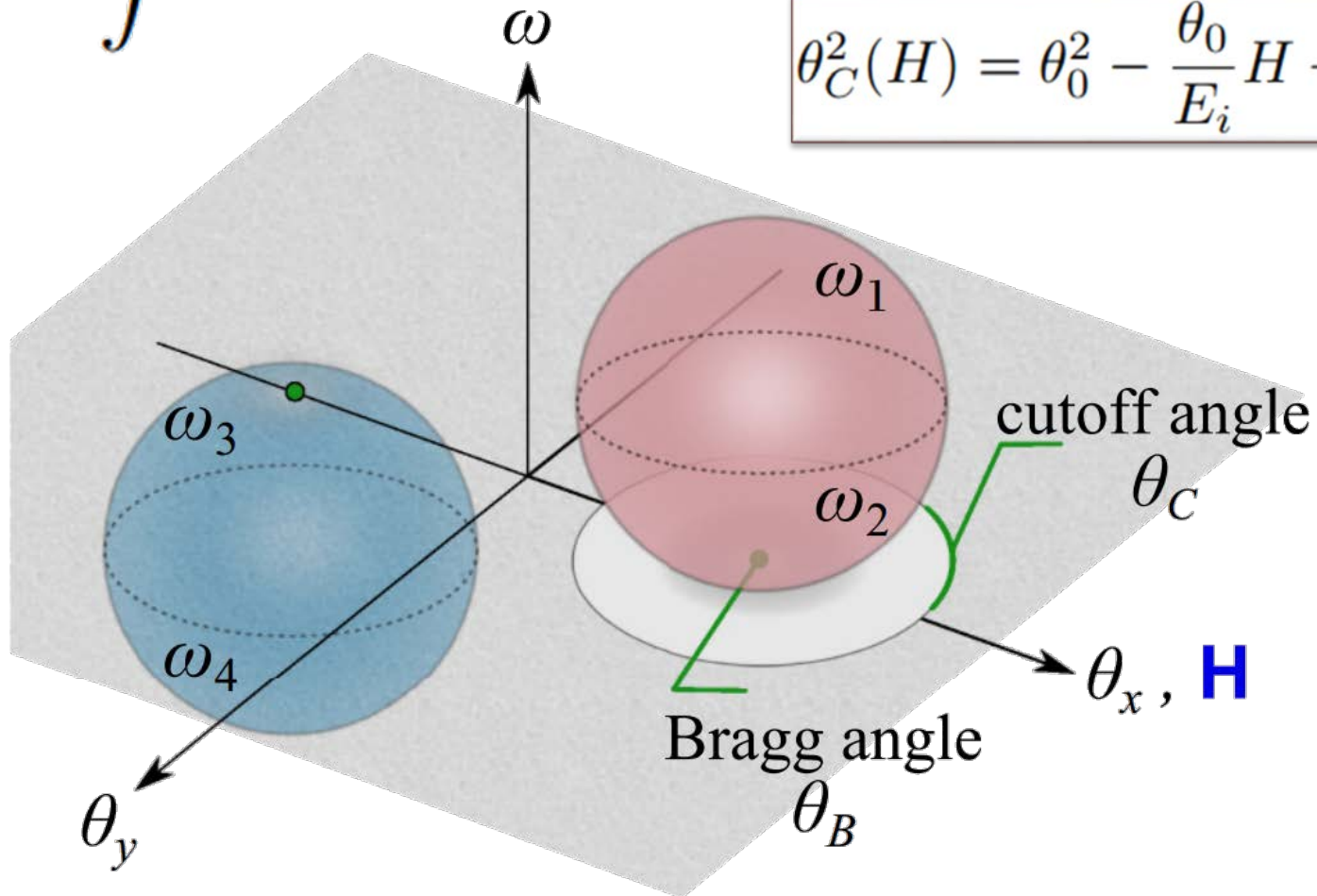




$$\sigma_{ch}(\theta) \sim \int \sigma_{ch}(\mathbf{Q}, \omega) d\omega$$

$$\theta_0 = (2Am_n)^{-1}$$

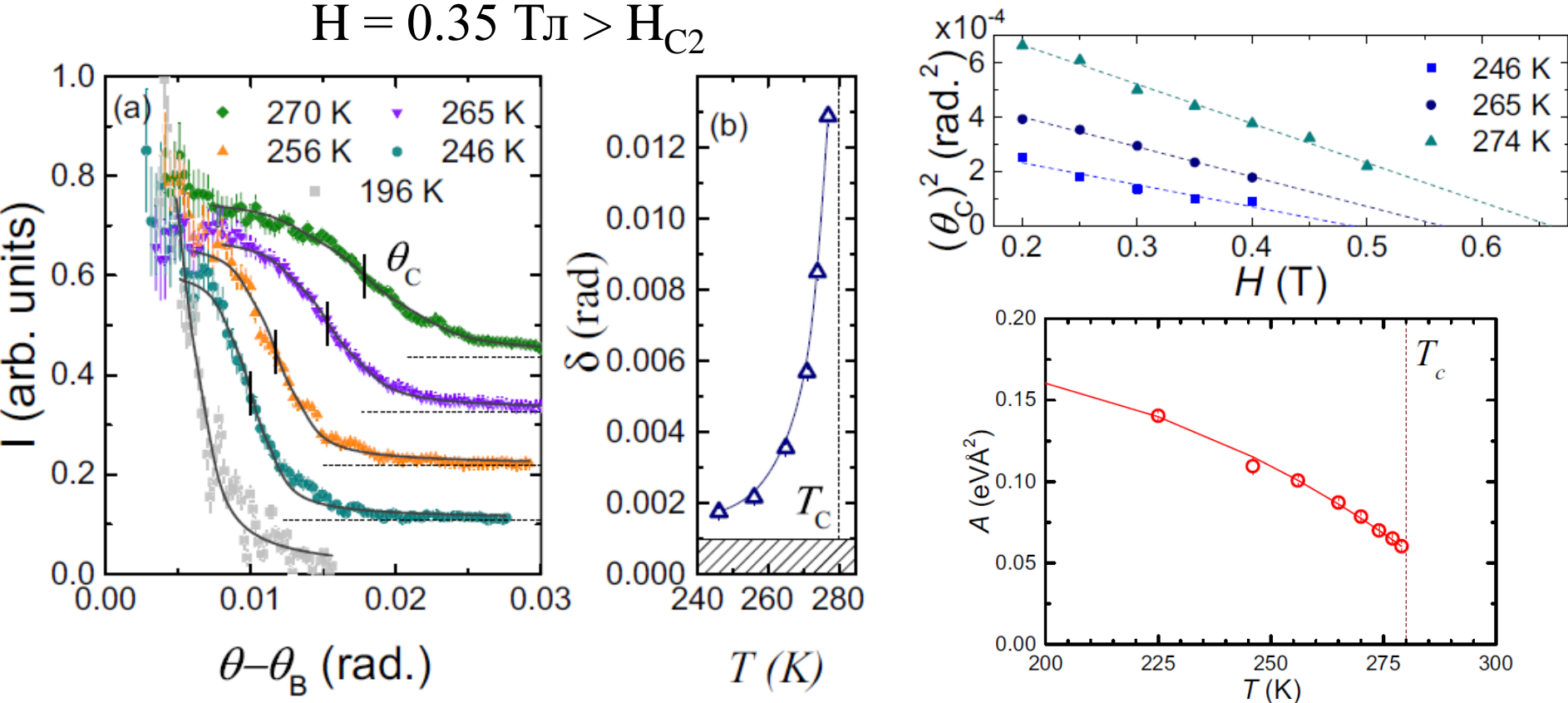
$$\theta_C^2(H) = \theta_0^2 - \frac{\theta_0}{E_i} H + \theta_B^2$$





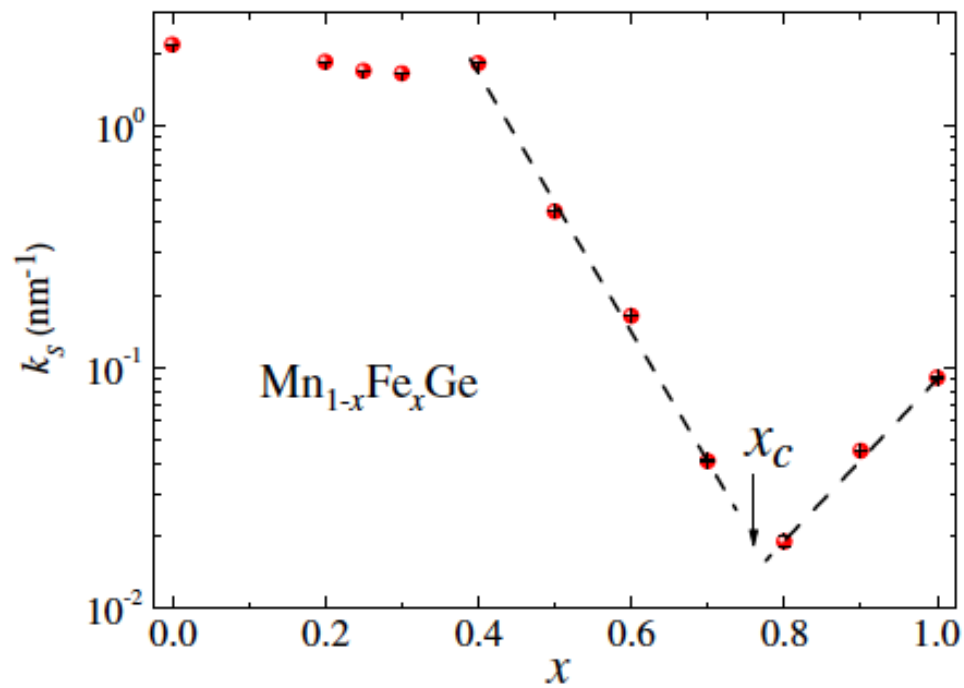
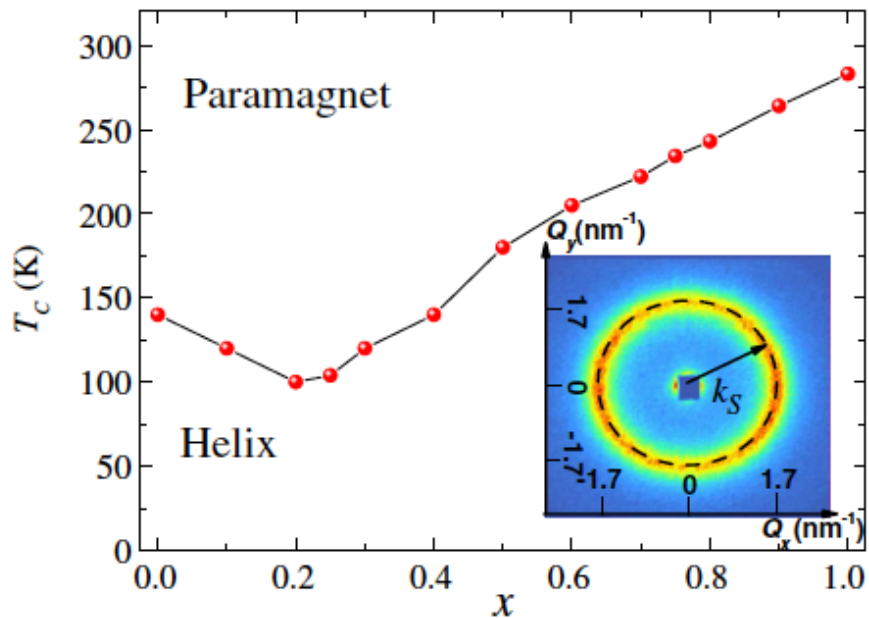
Рассеяние нейтронов на возбуждениях магнитной структуры FeGe

$H = 0.35 \text{ Тл} > H_{C2}$



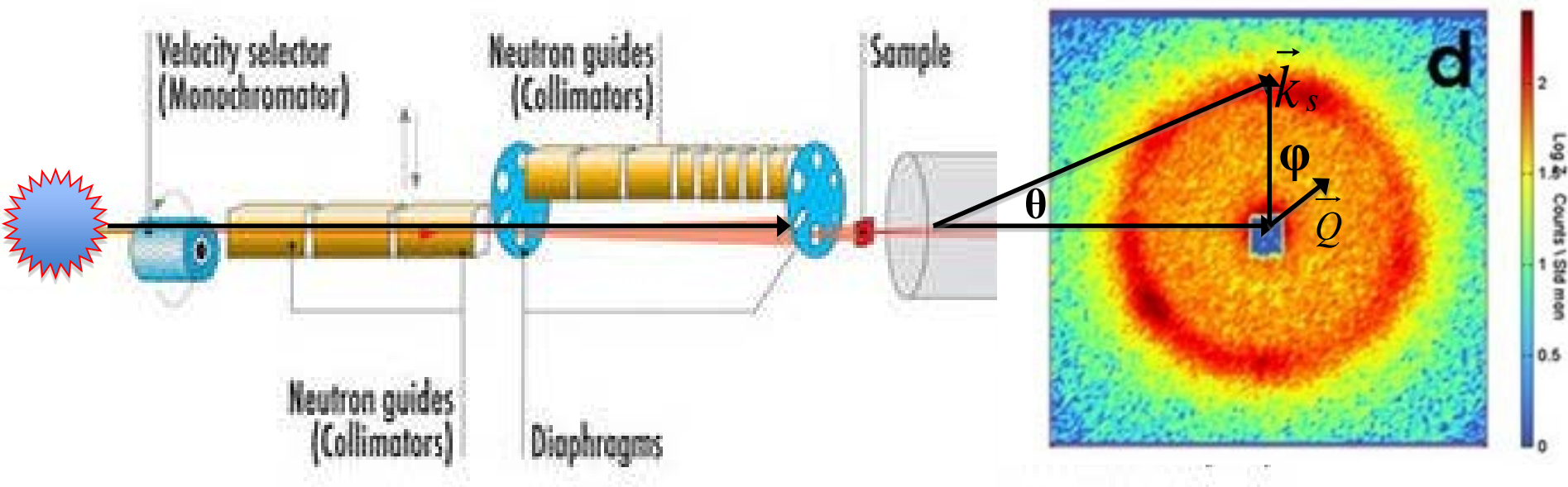


Магнитная структура соединений $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$



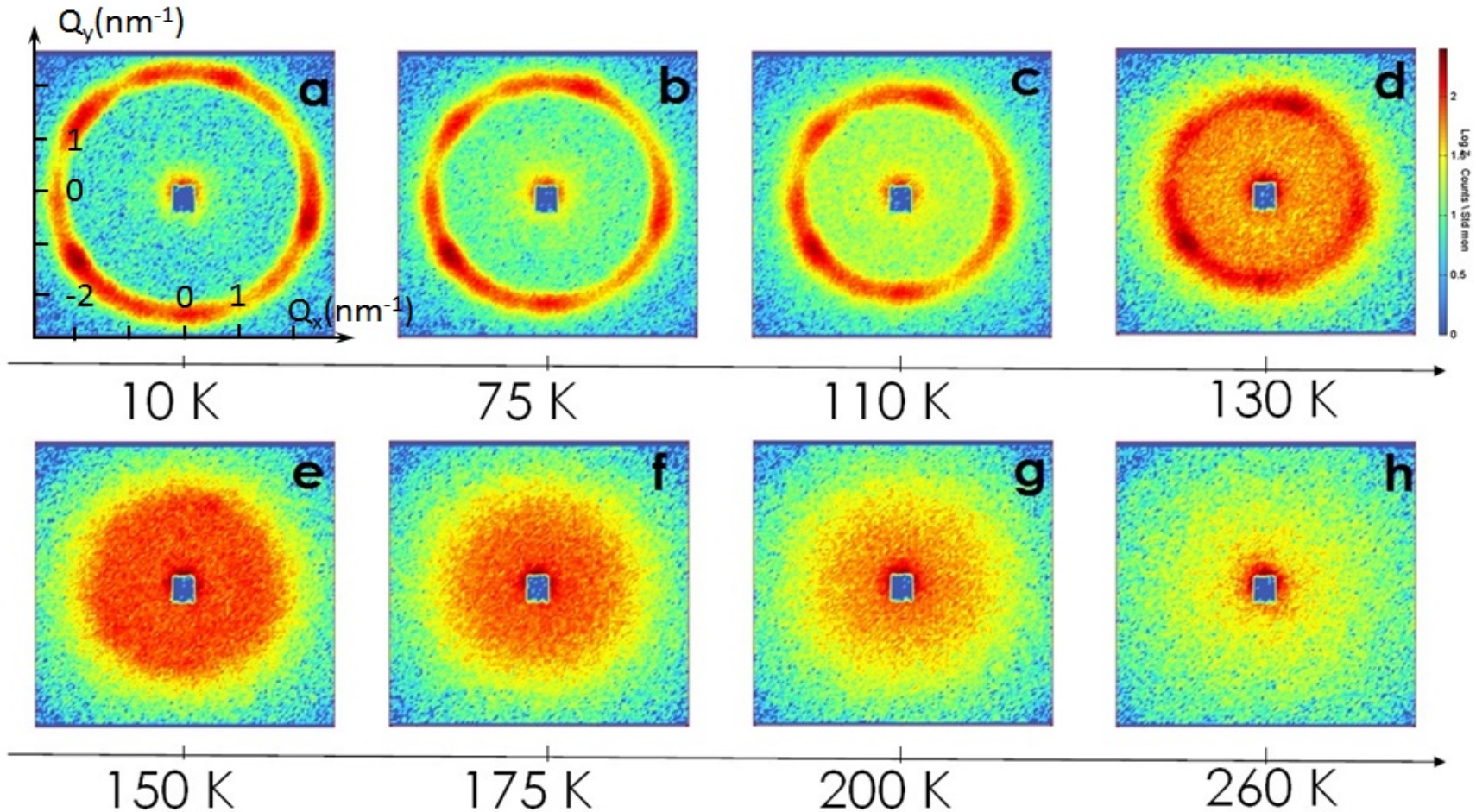


PA20@LLB, Сакле, Франция SANS-1@FRM-II, Мюнхен, Германия



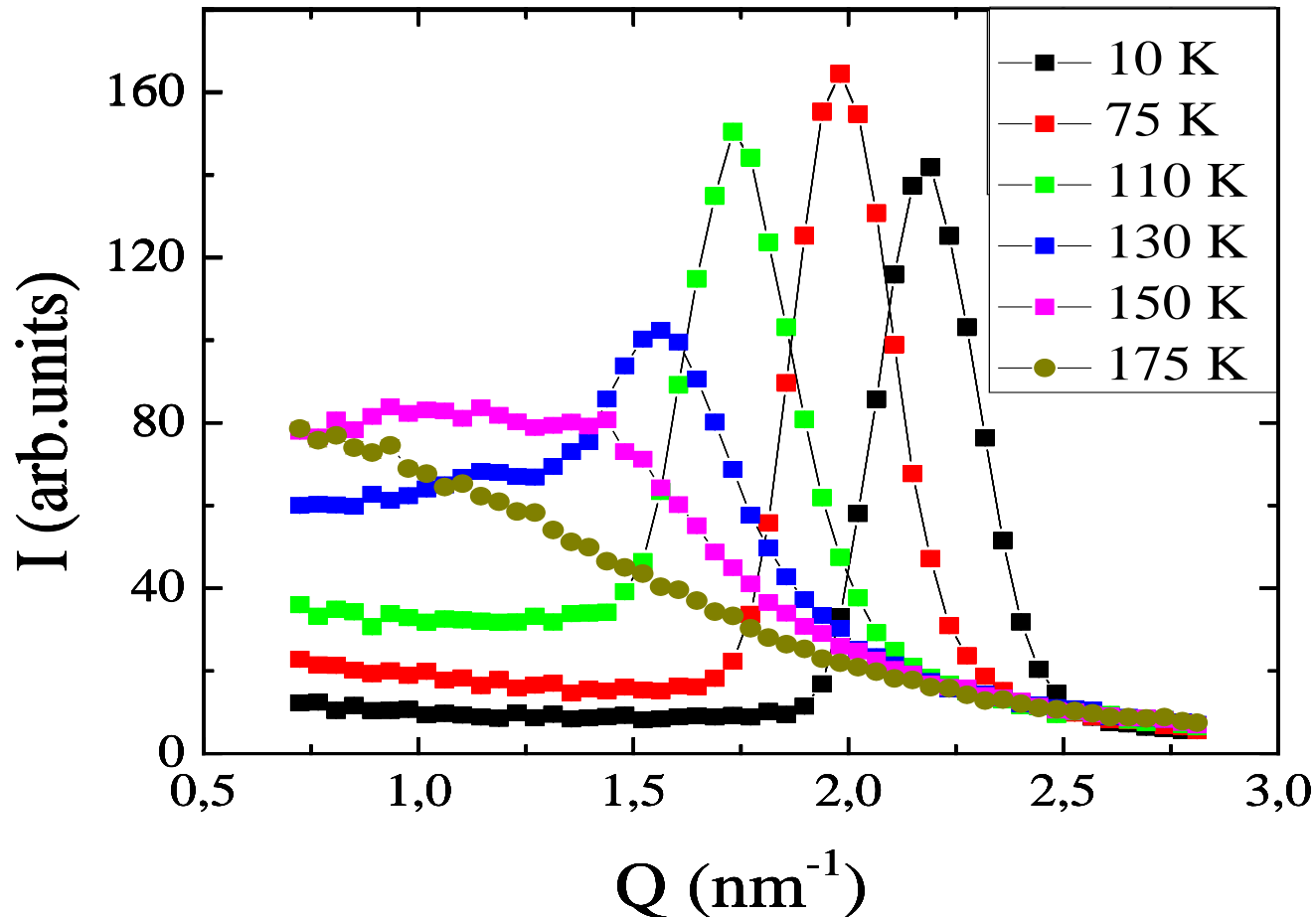


Карты МУРН для образца MnGe, $H = 0$ T





Экспериментальная зависимость $I(Q)$





Пример аппроксимации профиля рассеяния для образца MnGe, T = 130 К

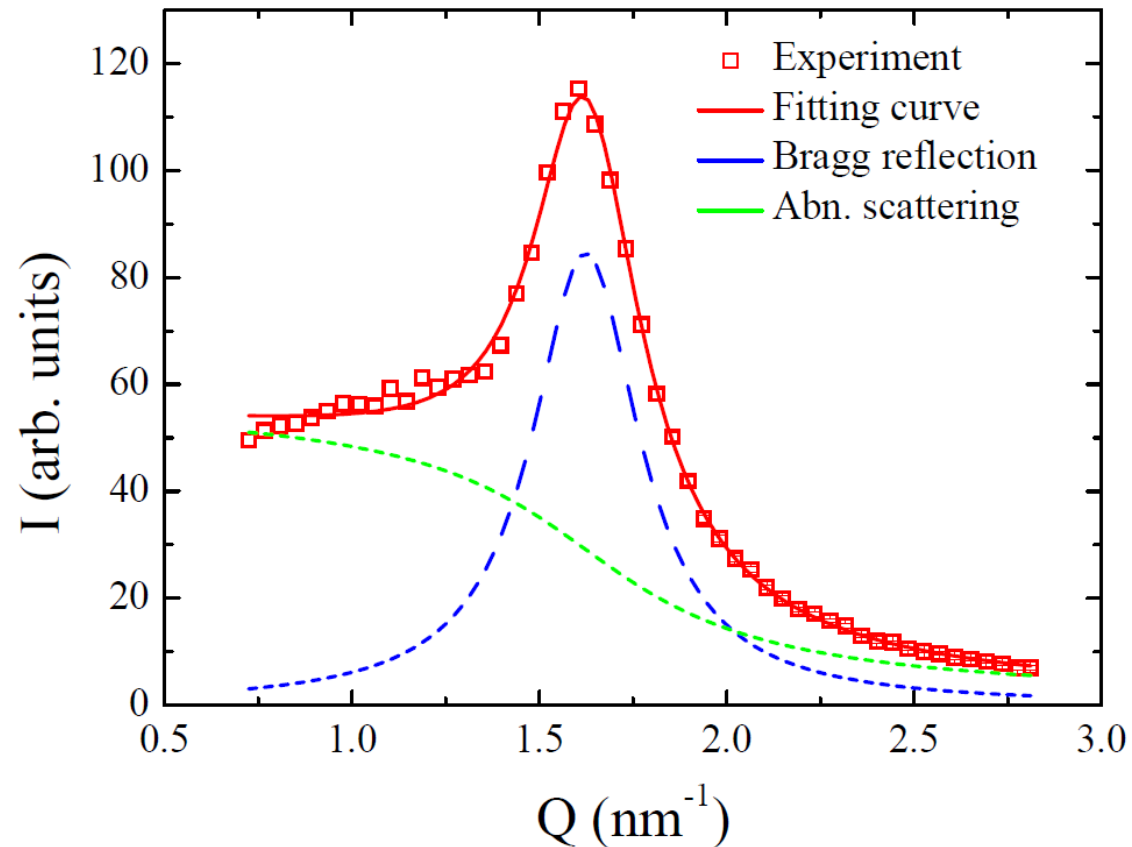
k — волновой вектор магнитной спирали;

$\kappa = 2\pi/\xi$ — полная ширина на половине высоты (ПШПВ) рефлекса, или обратная корреляционная длина магнитной структуры;

$I_0 = I(G) + I(L)$ — интегральная интенсивность рефлекса, которая является суммой интегральных интенсивностей вкладов от функций Гаусса $I(G)$ и Лоренца $I(L)$;

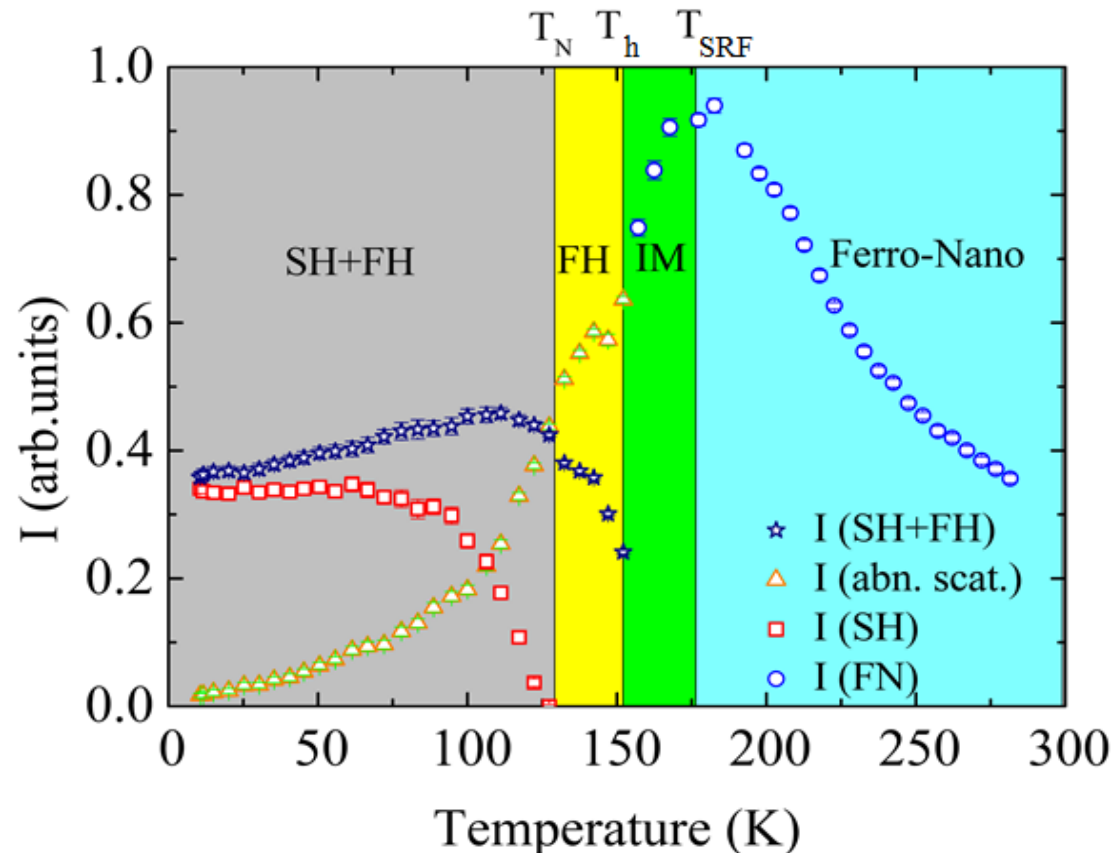
$\alpha = I(L)/(I(G) + I(L))$ — параметр, который позволяет оценить степень нестабильности магнитной структуры исследуемого соединения;

$I(ab)$ — интегральная интенсивность дополнительного к брэгговскому рассеяния.





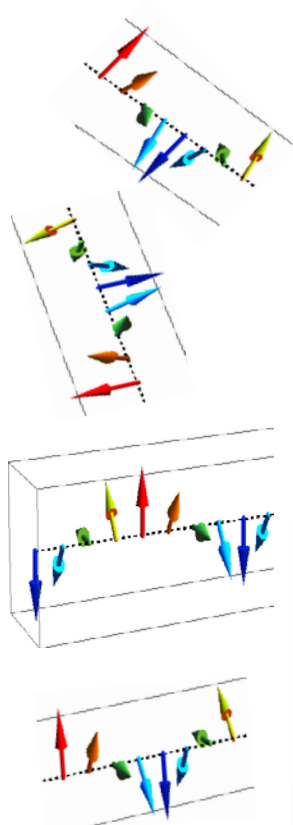
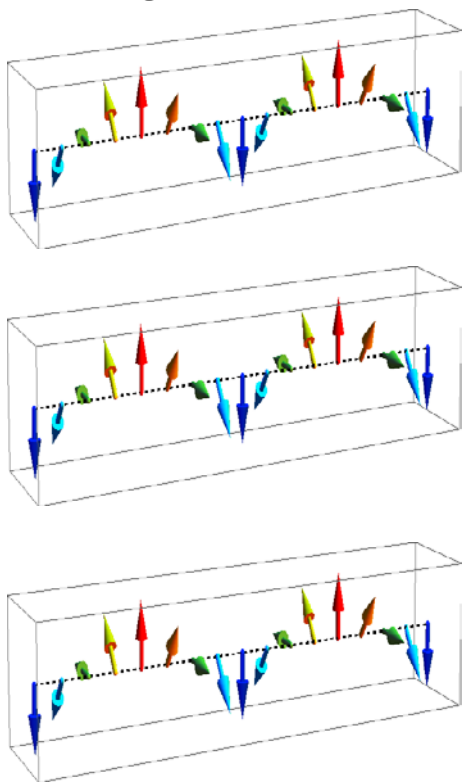
Температурная эволюция магнитной структуры MnGe



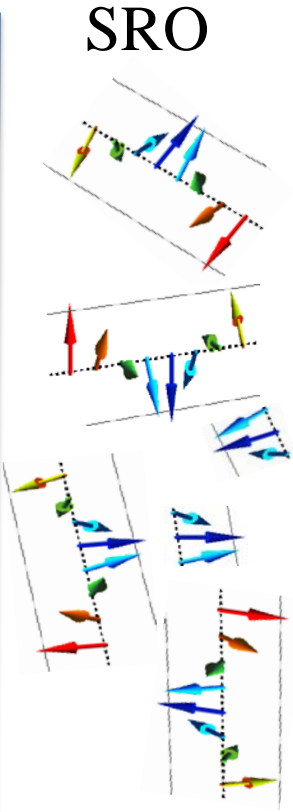


Фазовый переход в геликоидальном магнетике MnGe-типа

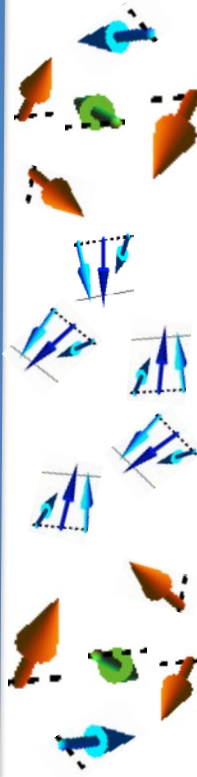
LRO



SRO



FM



P



$T < T_N$

T_N

T_h

T_{SRF}

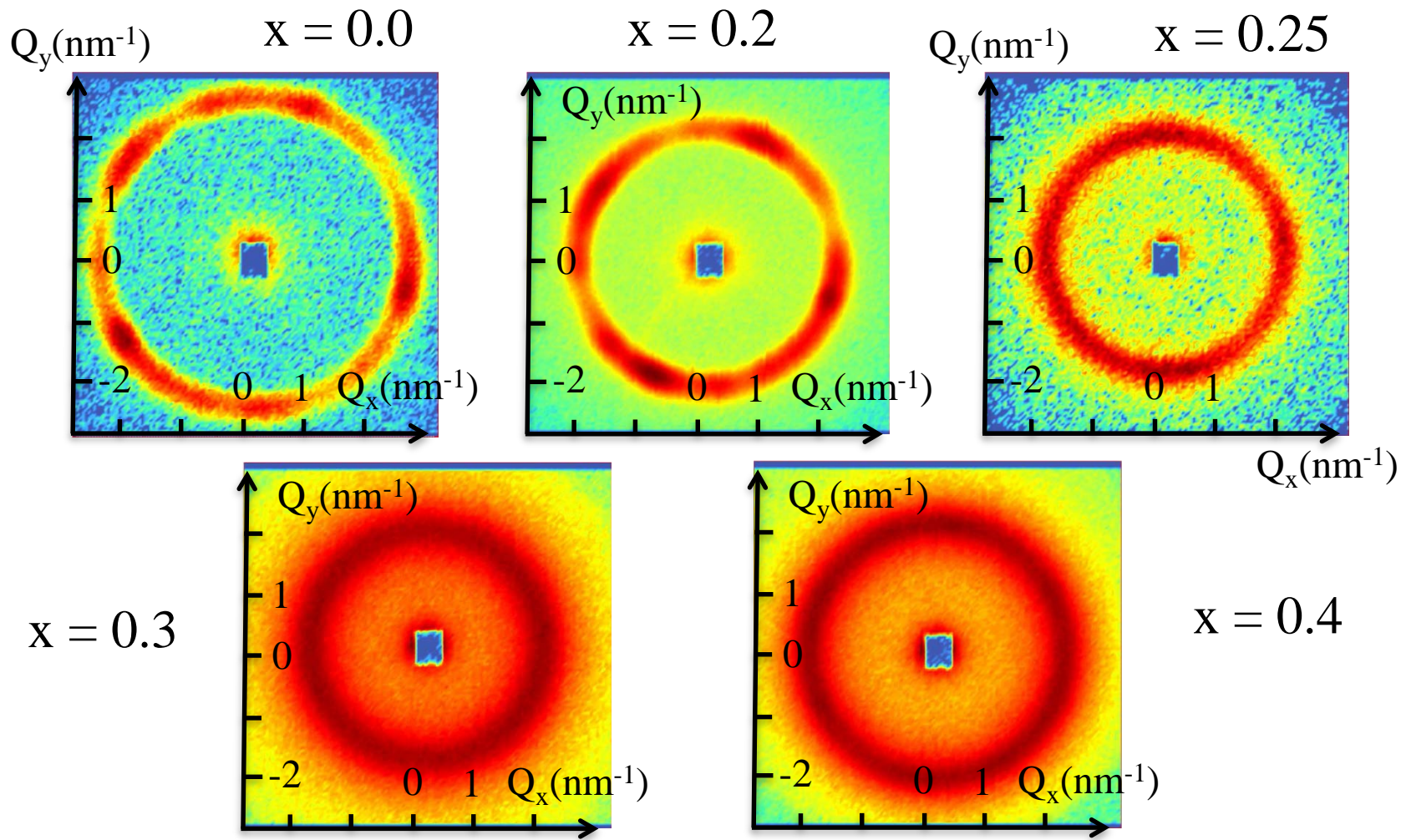
T_C

T



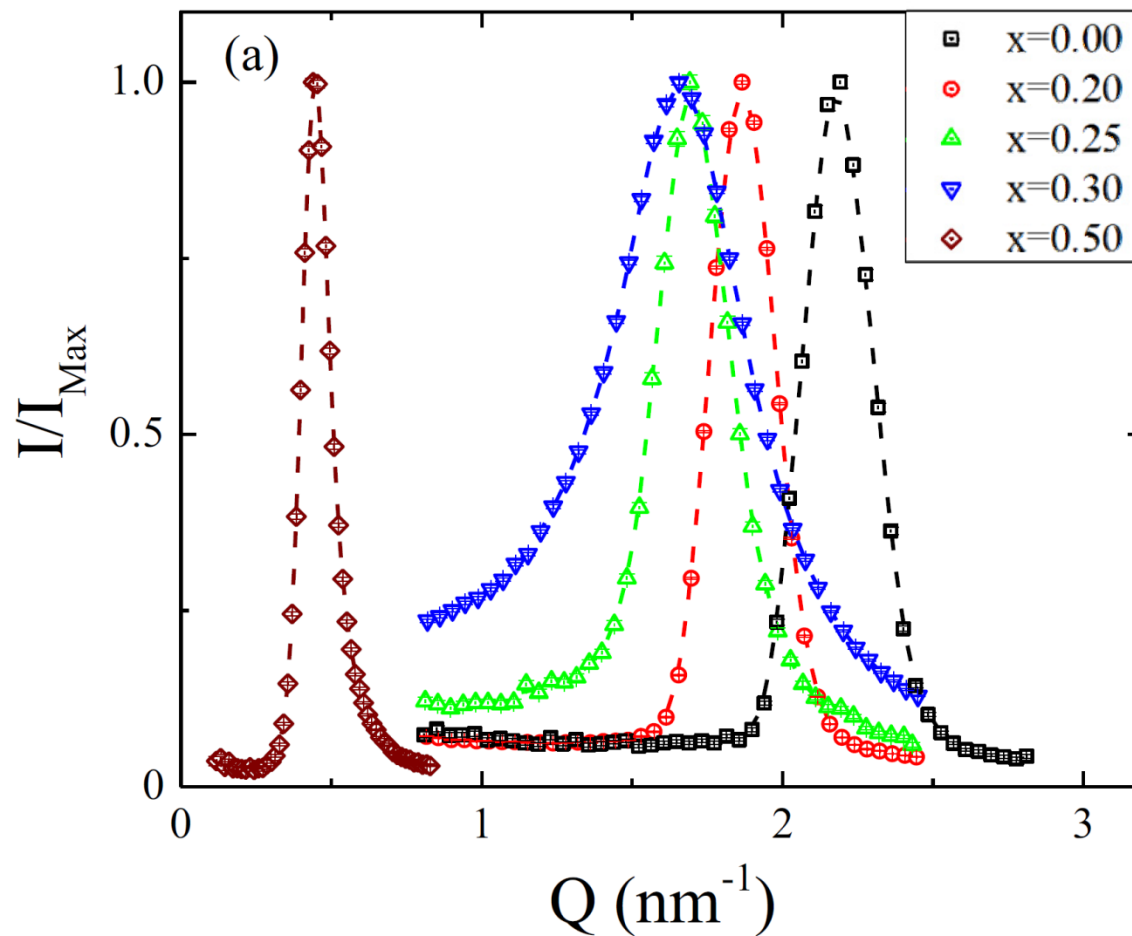
Карты МУРН для серии образцов

$\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, $T = 5 \text{ K}$



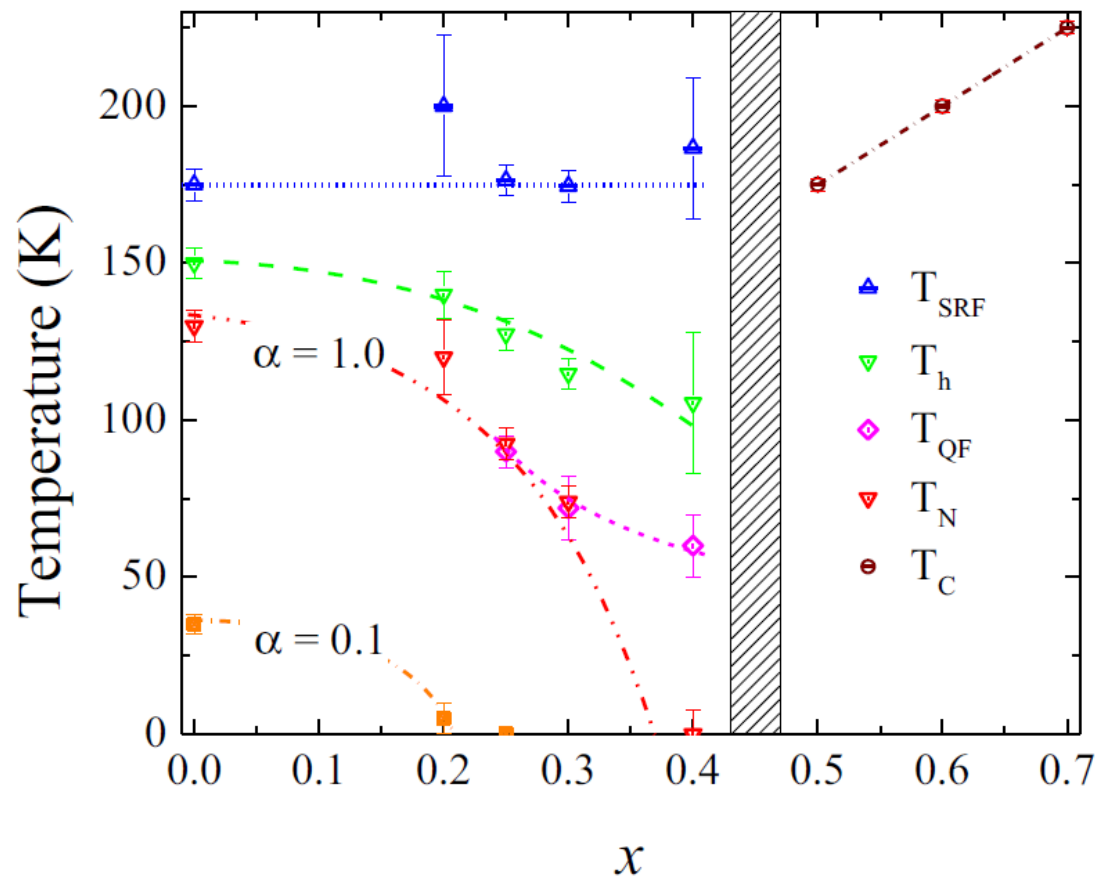


Зависимость I vs. Q для серии образцов $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, $T = 5$ К



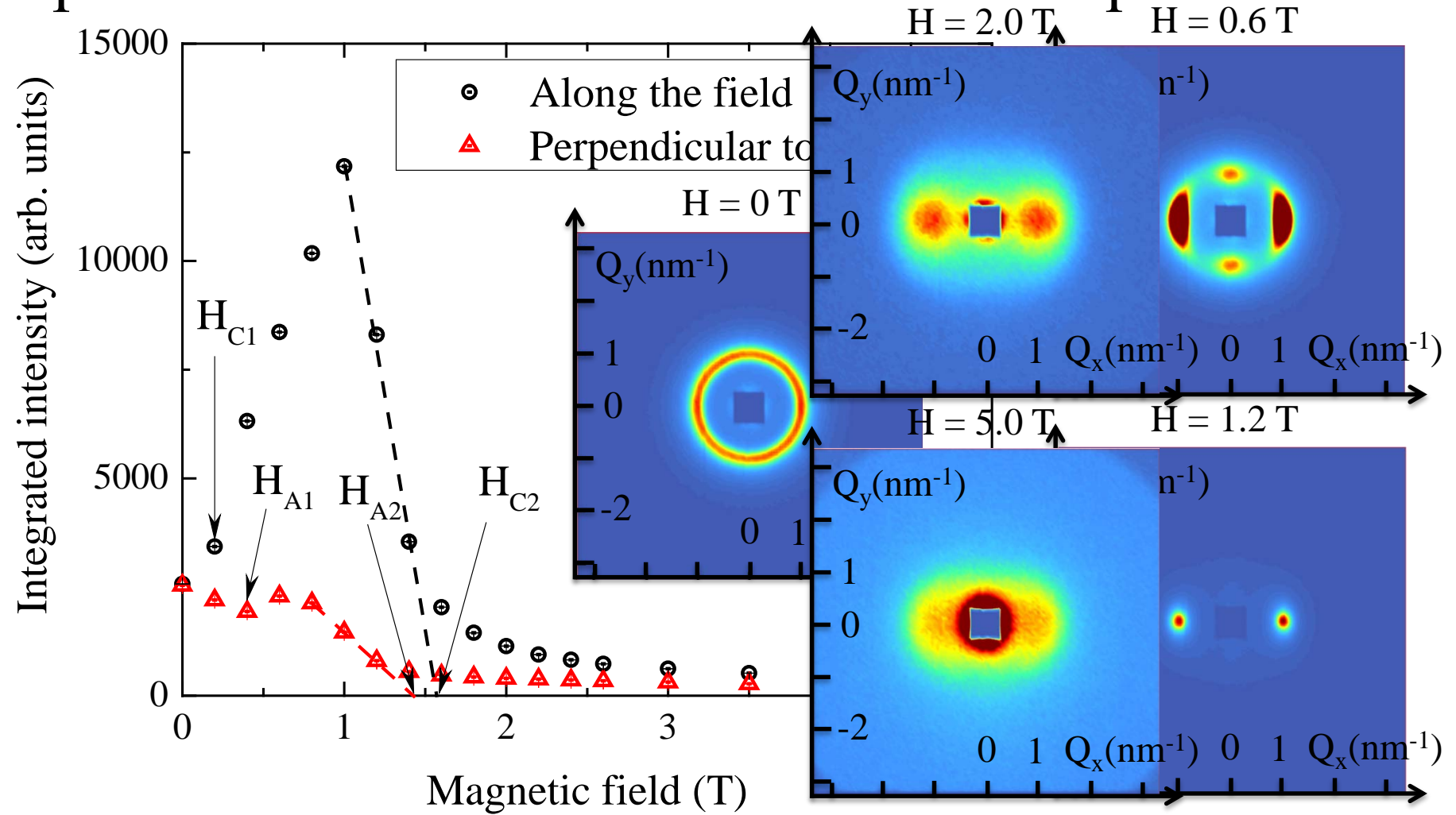


Эволюция магнитной структуры MnGe с ростом концентрации Fe



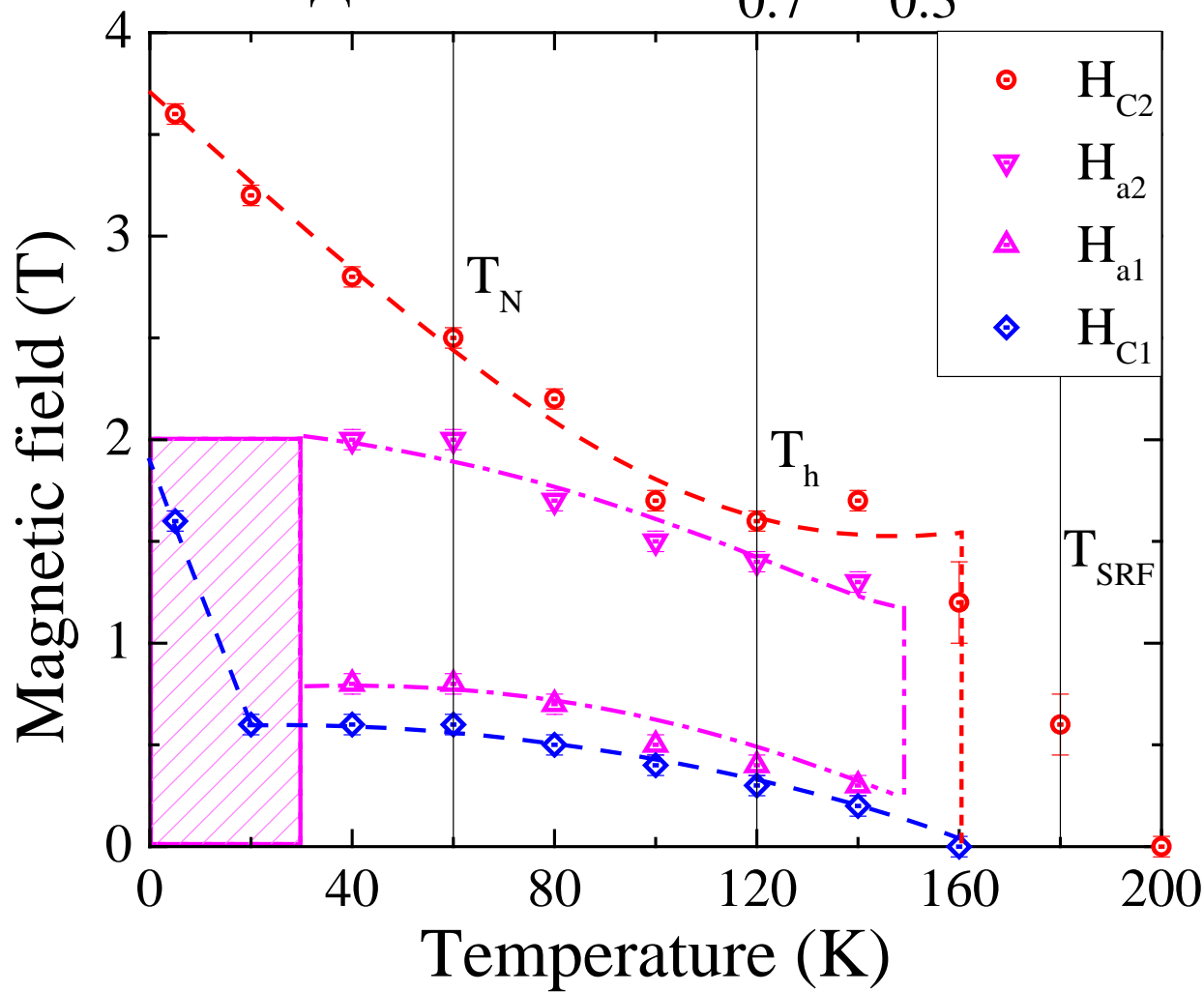


Эволюция магнитной структуры $\text{Mn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{Ge}$ с ростом внешнего магнитного поля при $T = 120 \text{ K}$



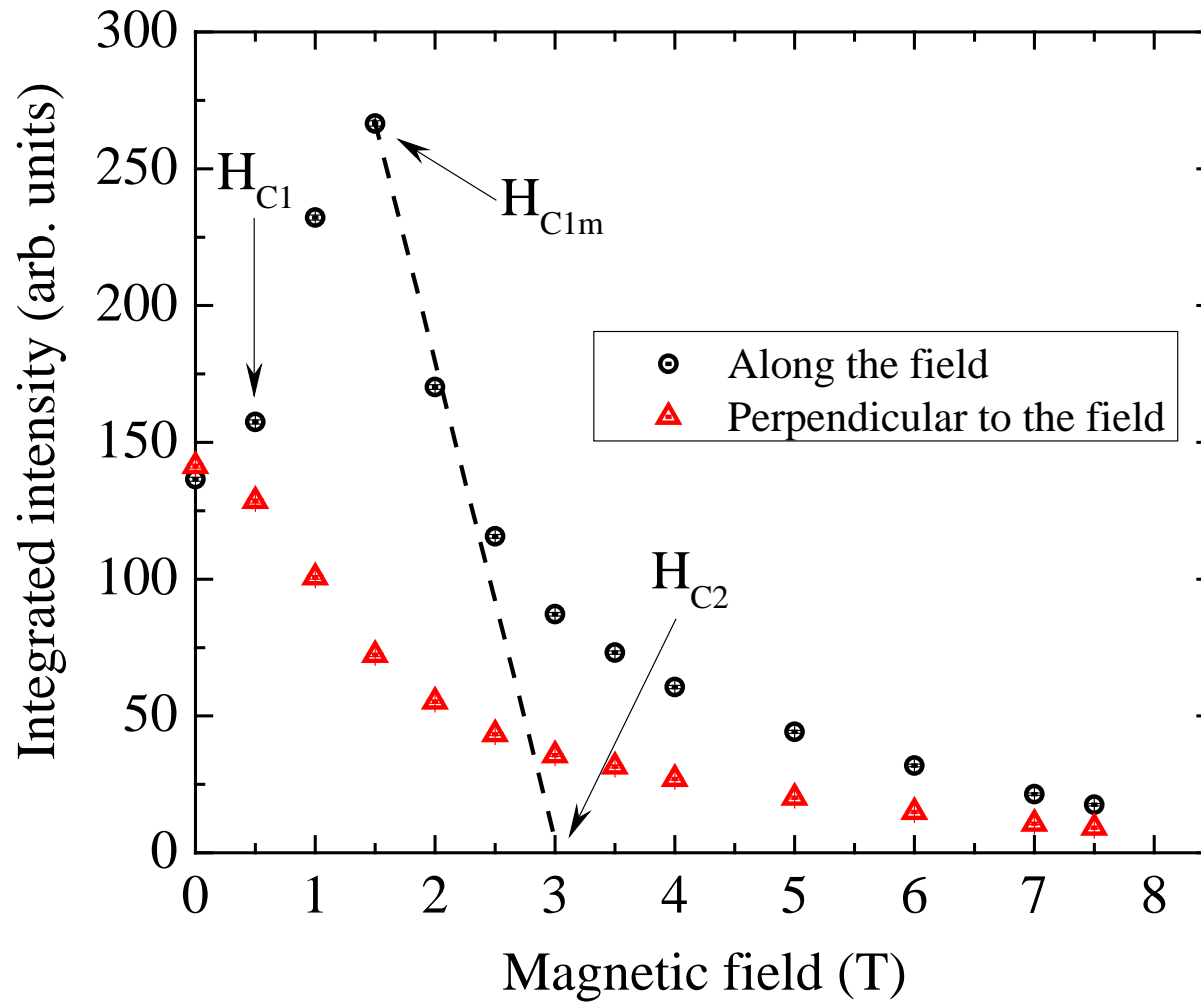


Фазовая диаграмма магнитной структуры соединения $\text{Mn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{Ge}$



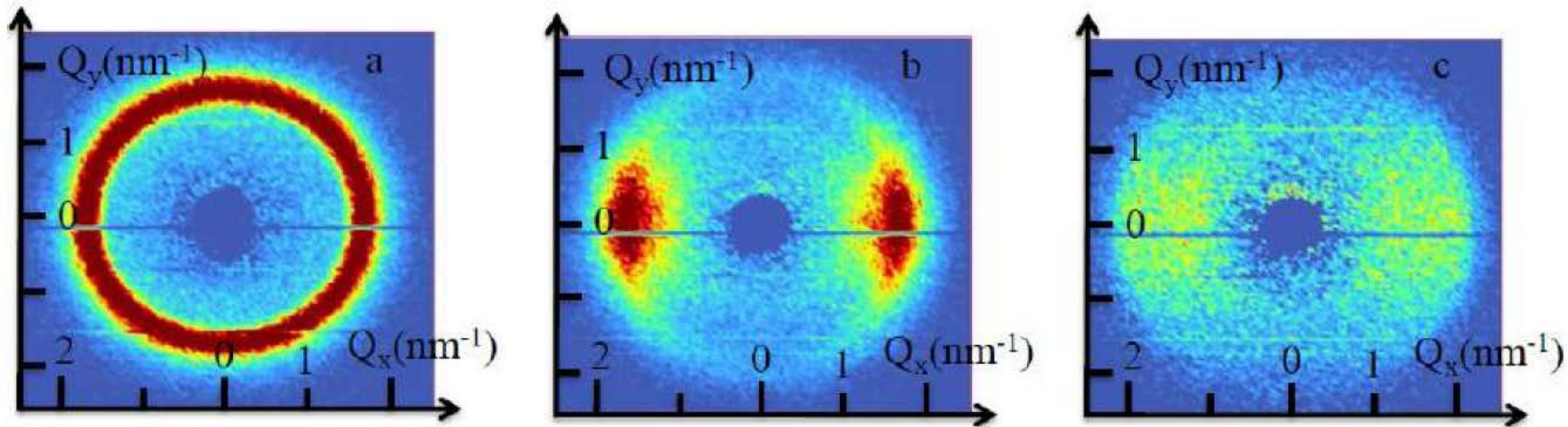


Эволюция магнитной структуры MnGe с ростом внешнего магнитного поля при $T = 150$ К





Карты МУРН для образца MnGe при $H = 0$ Тл, 2 Тл и 4 Тл, $T = 150$ К

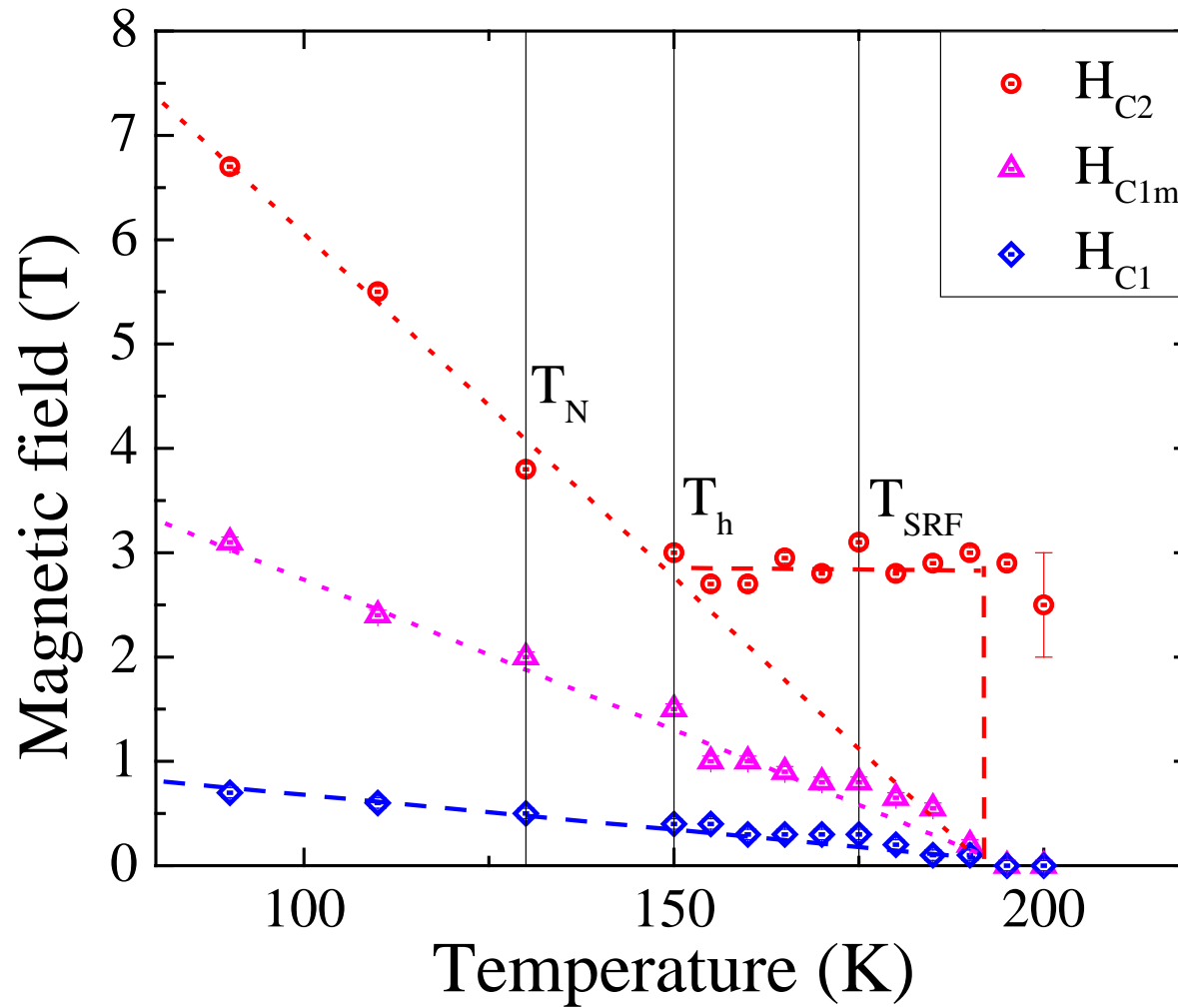


Закон дисперсии в случае симметричного обменного взаимодействия:

$$\hbar\omega_q = Sc|q - Q|^2 + (H - H_c)$$



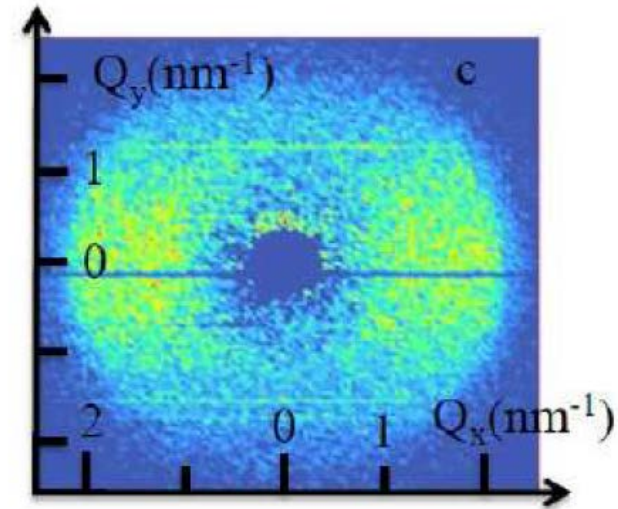
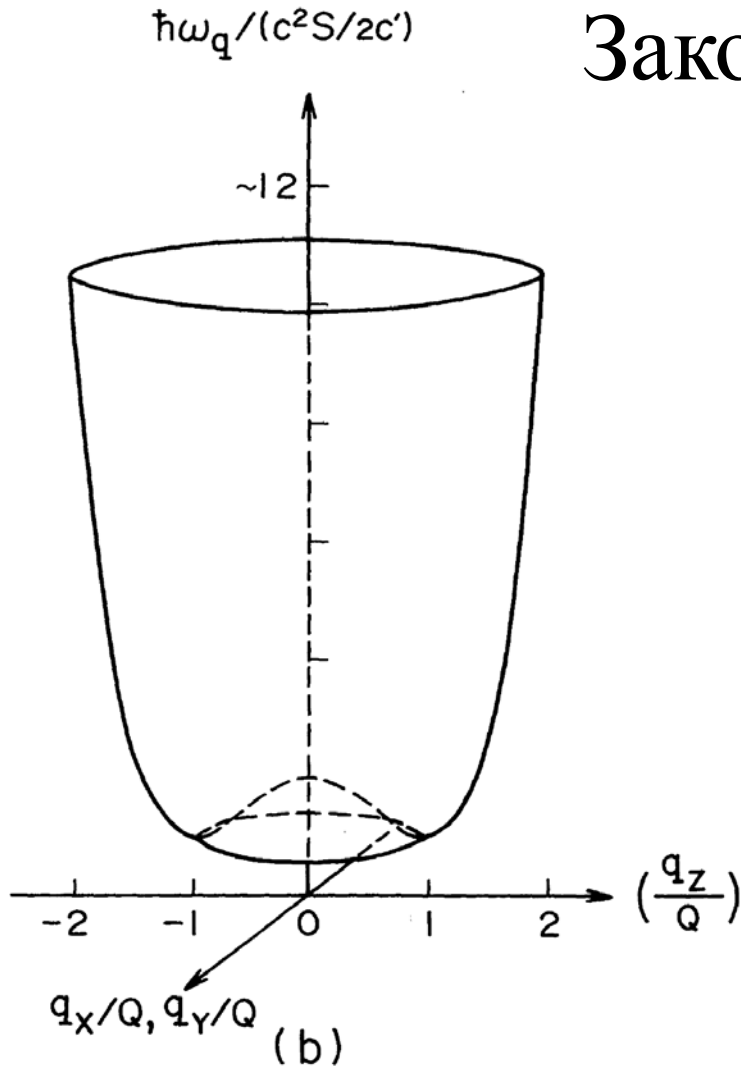
Фазовая диаграмма магнитной структуры соединения MnGe





Закон дисперсии

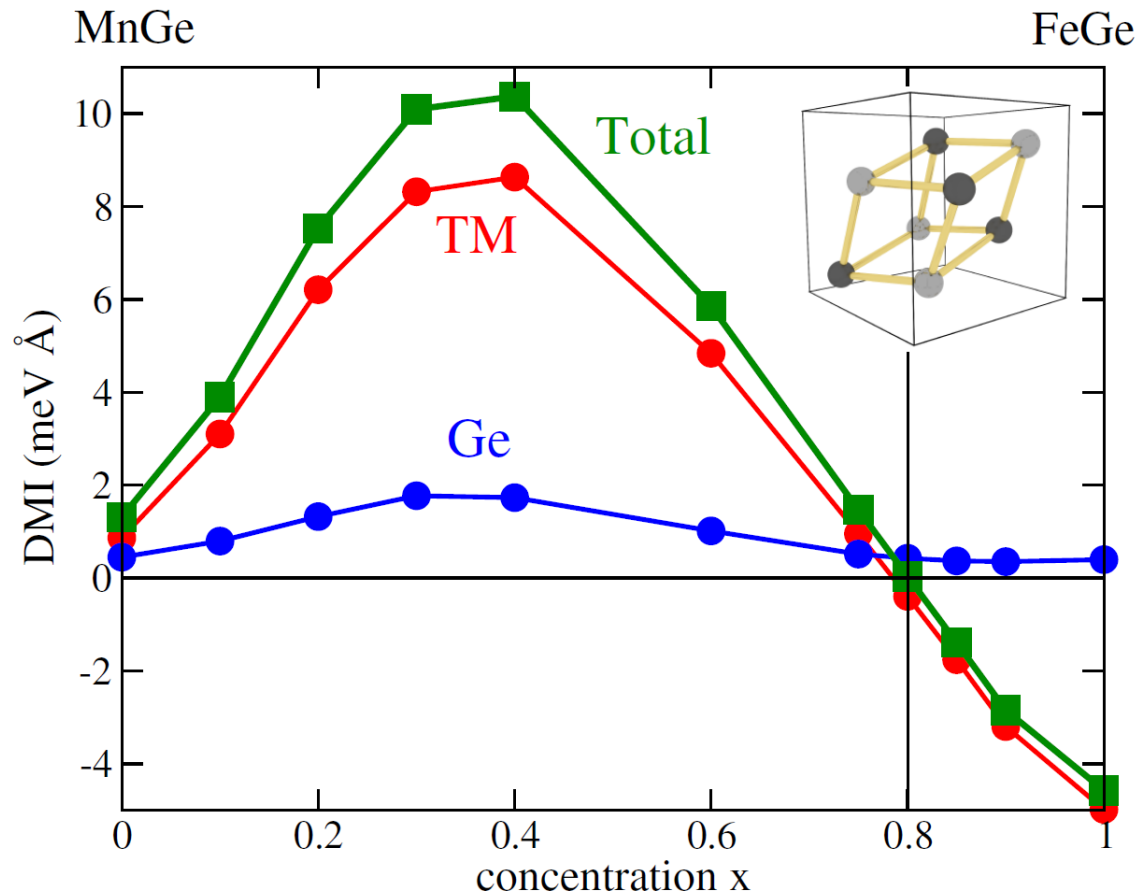
$$\hbar\omega_q = \frac{1}{2} Sc' (q^2 - Q^2)^2 + (H - H_c).$$



Профиль рассеяния нейтронов на образце MnGe в полях $H > H_{c2}$ совпадает со случаем геликоидального магнетика, основанного на симметричном знакопеременном обменном взаимодействии, в индуцированной ферромагнитной фазе.

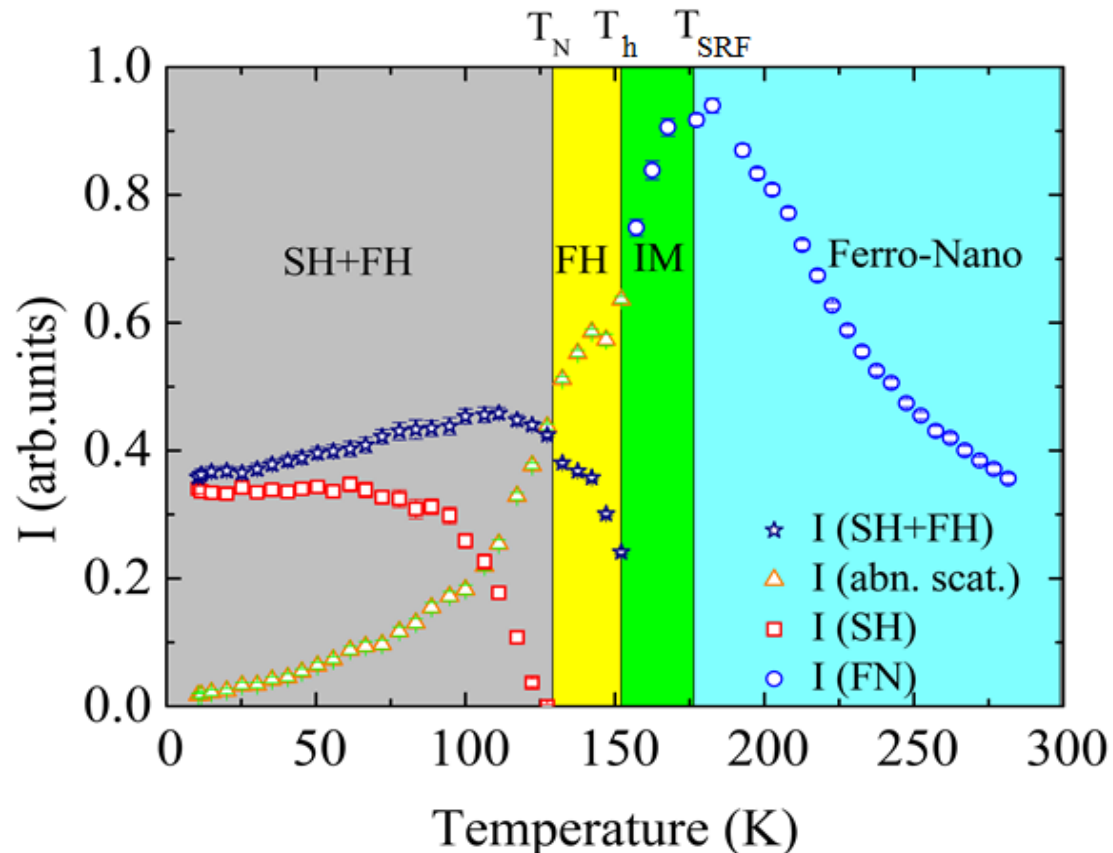


Эволюция силы взаимодействия ДМ в соединении $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$ с ростом концентрации Fe





Температурная эволюция магнитной структуры MnGe

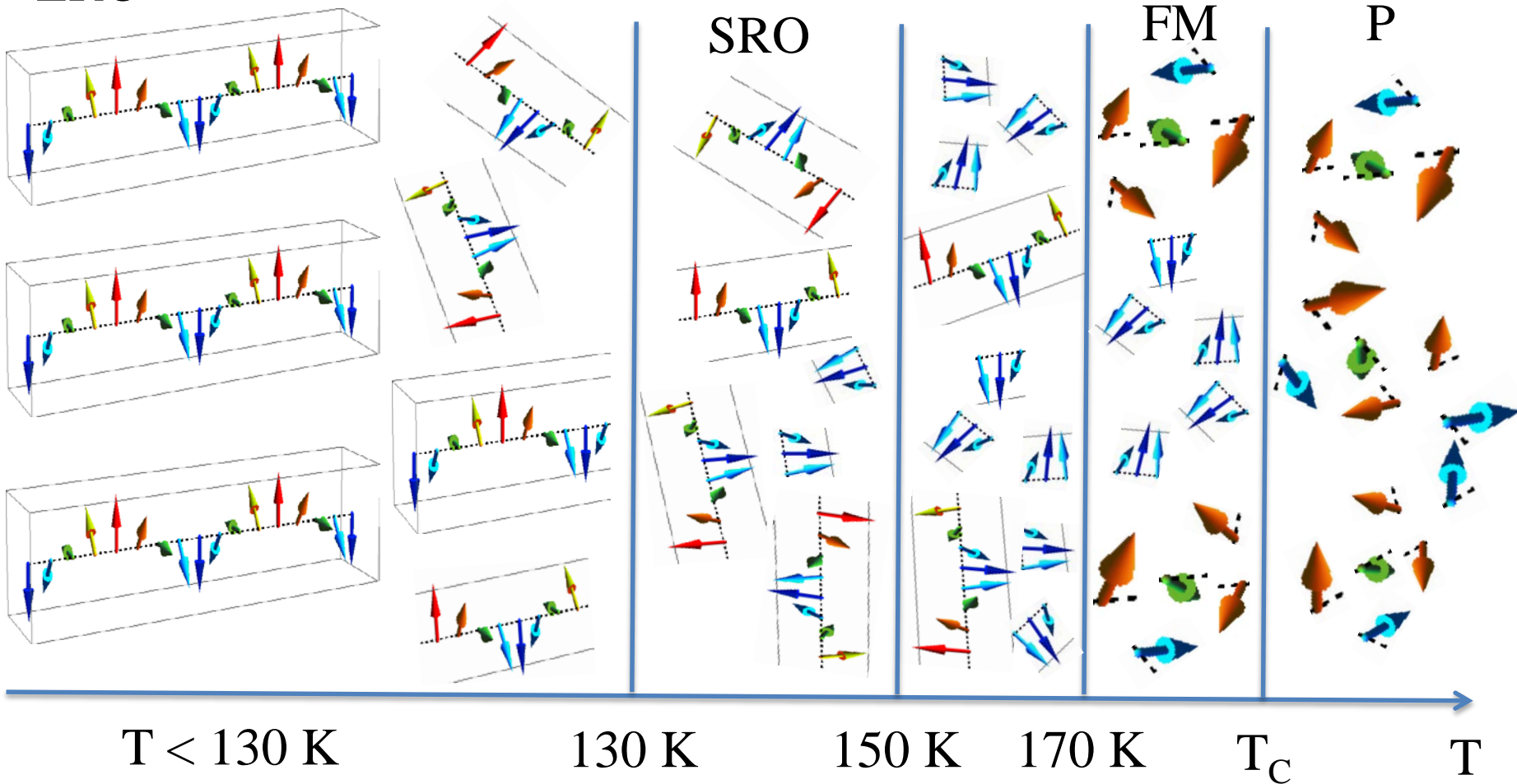




Фазовый переход в геликоидальном магнетике MnGe

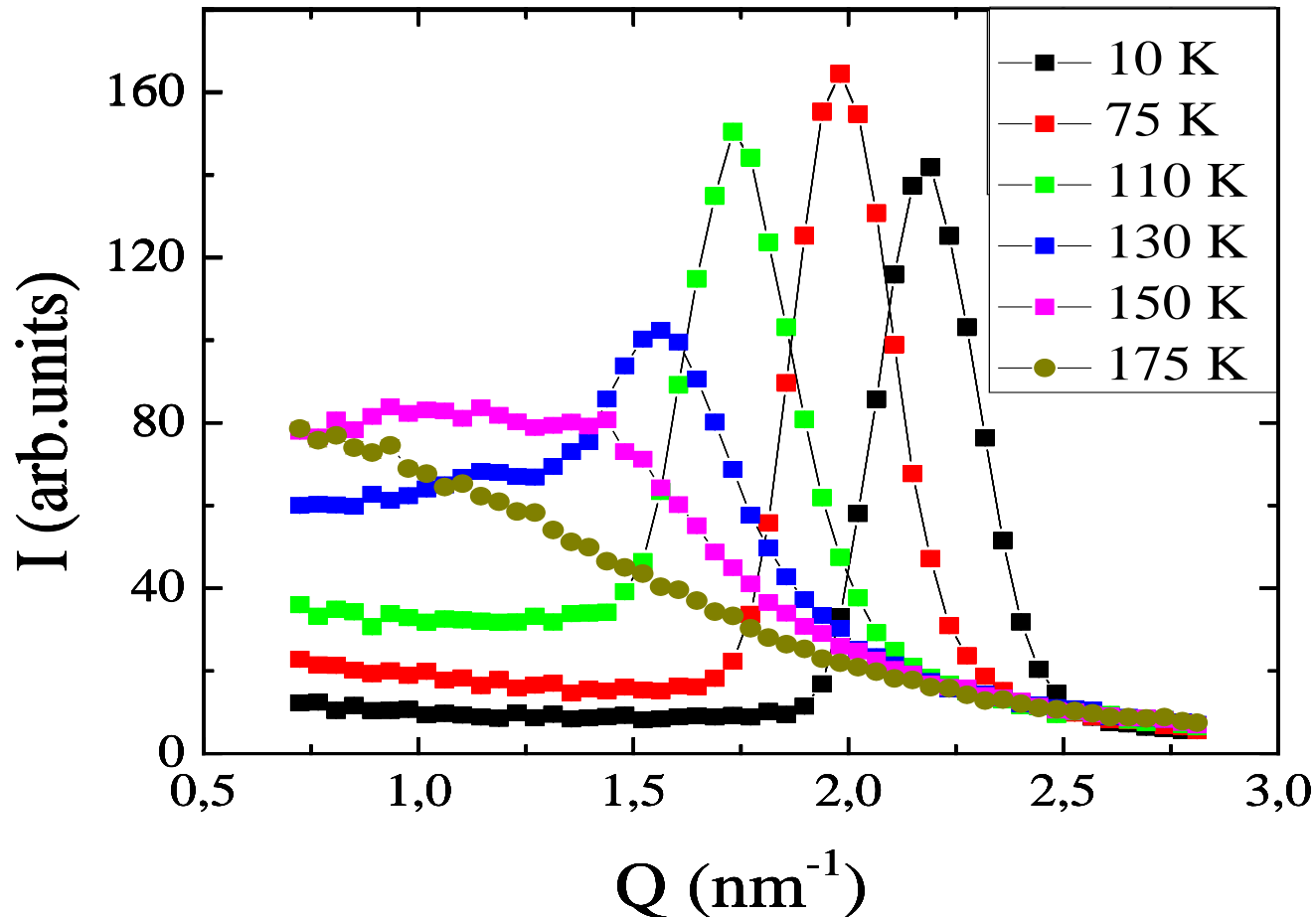
LRO

магнетике MnGe





Экспериментальная зависимость $I(Q)$



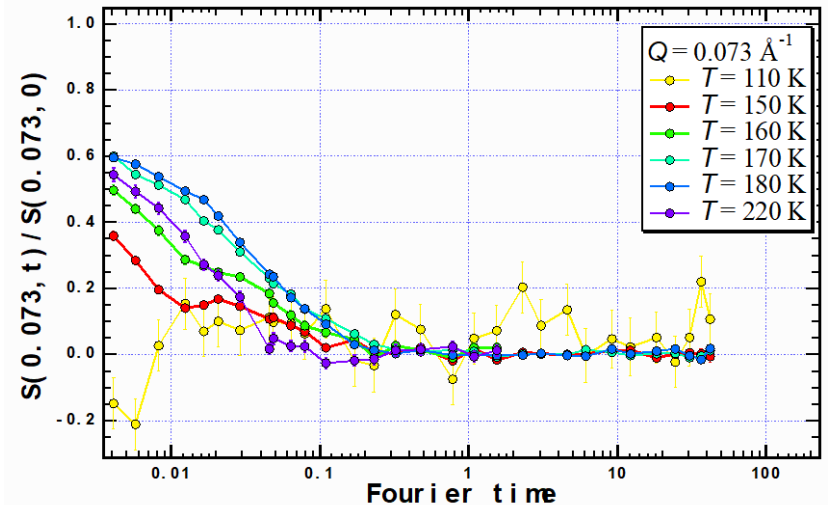
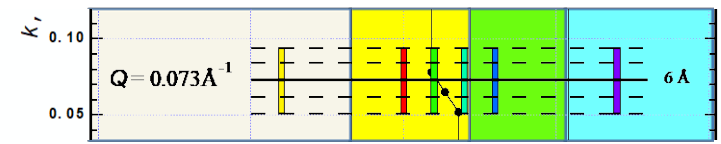
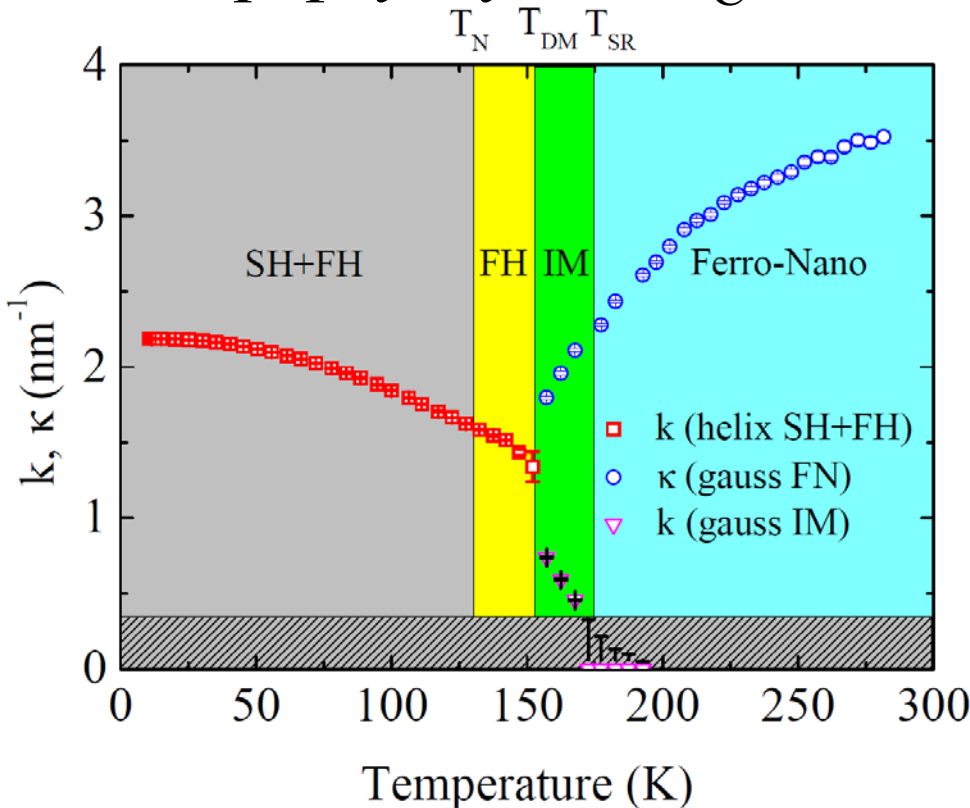


Релаксация критических флуктуаций в MnGe

МЕТОДОМ СПИН-ЭХО СПЕКТРОСКОПИИ

Размер флуктуации $r_C = 2\pi/\kappa$

$$Q = 0.73 \pm 0.15 \text{ nm}^{-1}$$

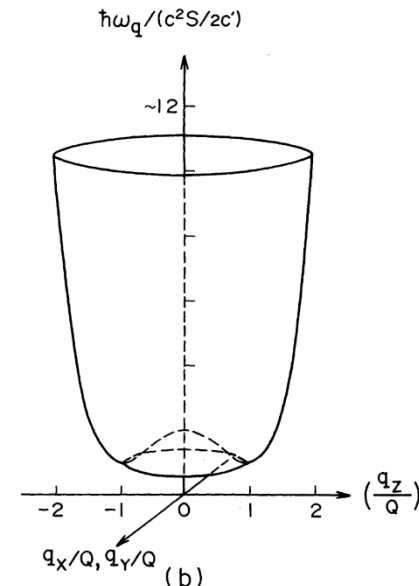
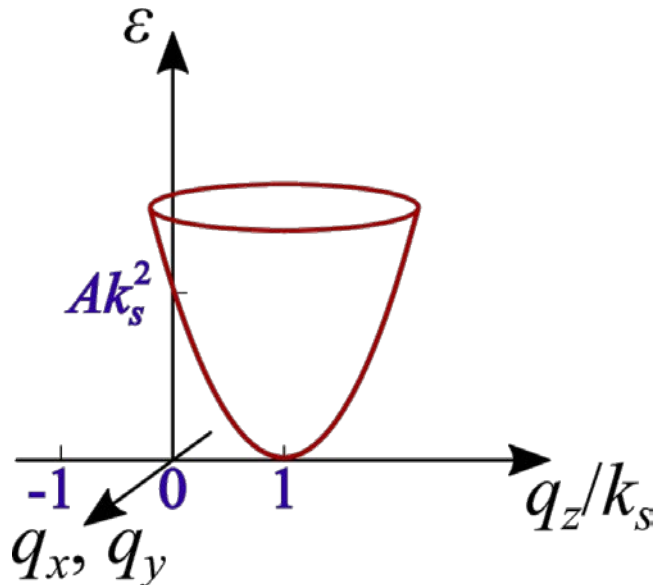




- На основании полученных данных сделан вывод о конкуренции эффективного РККИ взаимодействия, формирующего магнитную структуру соединения $Mn_{1-x}Fe_xGe$ при $x < 0.45$, и обменного взаимодействия ДМ, дестабилизирующего магнитную структуру $Mn_{1-x}Fe_xGe$ при $x < 0.45$, и формирующего магнитную структуру $Mn_{1-x}Fe_xGe$ при $x > 0.45$.

$$\epsilon_{\mathbf{q}} = A(\mathbf{q} - \mathbf{k}_s)^2 + (H - H_{C2})$$

$$\hbar\omega_{\mathbf{q}} = \frac{1}{2} Sc' (q^2 - Q^2)^2 + (H - H_c).$$





NATIONAL RESEARCH CENTRE
«KURCHATOV INSTITUTE»



PETERSBURG NUCLEAR PHYSICS INSTITUTE

Russia, 188300, Leningrad District, Gatchina, Orlova Roscha

Спасибо за внимание!