



Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

СПИНОВАЯ СТРУКТУРА В $MnSi$ ВБЛИЗИ T_C В МАГНИТНОМ ПОЛЕ: ОТ КРИТИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ СПИРАЛИ К КОНУСНОЙ СПИРАЛИ И СКИРМИОННОЙ РЕШЕТКЕ



Н.М. ЧУБОВА,
В.А. ДЯДЬКИН, Е.В. МОСКВИН,
С.В. МАЛЕЕВ, С.В. ГРИГОРЬЕВ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

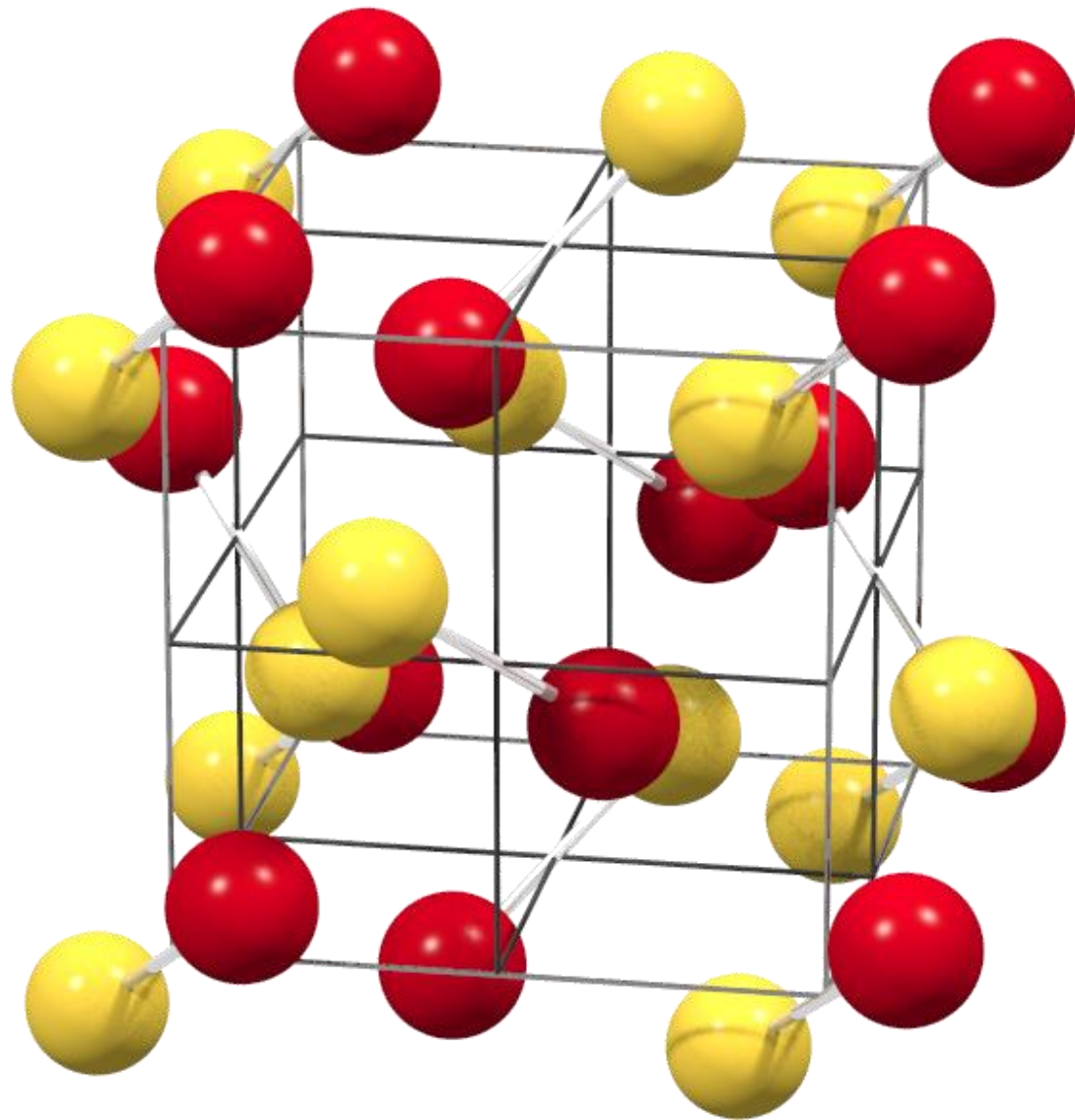
Задача: рассмотреть Н-Т фазовую диаграмму, появление А-фазы (переключение вектора k и скирмионная решётка):

Главный вопрос:

**Плотная упаковка скирмионных
квазичастиц
или**

**двумерно-модулированная гексагональная
сверхструктура?**

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА



MnSi, FeSi, CoSi,
 $\text{Mn}_{1-y}\text{Fe}_y\text{Si}$, $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Si}$,
 $\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{Si}$,

FeGe, MnGe, $\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Ge}$

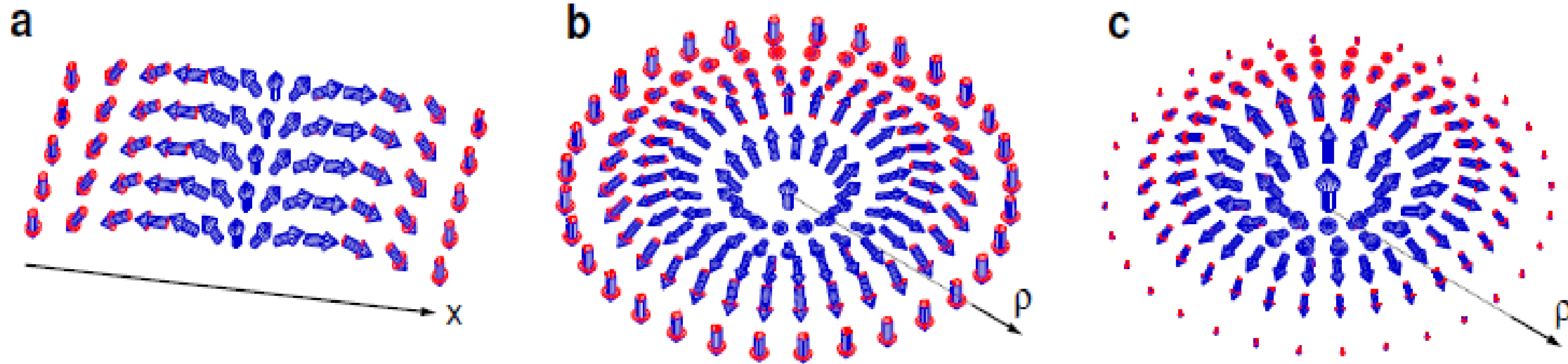


- Пространственная структура типа B20
- Пространственная группа $P2_13$
- $a = 4.55 \text{ \AA}$
- 4 Me-атома и 4 Si атома с координатами (u, u, u) , $(1/2+u, 1/2-u, u)$, $(1/2-u, -u, 1/2+u)$ $(-u, 1/2+u, 1/2+u)$, где $u_{\text{Me}} = 0.138$ и $u_{\text{Si}} = 0.845$.

Скирмион- это узел, завязанный из векторного поля.

Теоретически можно представить себе различные виды скирмионов...

Простой случай:



а) текстура распространяется вдоль оси x

б) Скирмионы с $|m| = \text{const}$

в) Скирмионы с $|m(\rho \rightarrow \infty)| \rightarrow 0$

ВОПРОС!

**Это реальные скирмионные решетки или
просто наложение текстур с различными
векторами распространения??**

1. Что такое киральный скирмион?

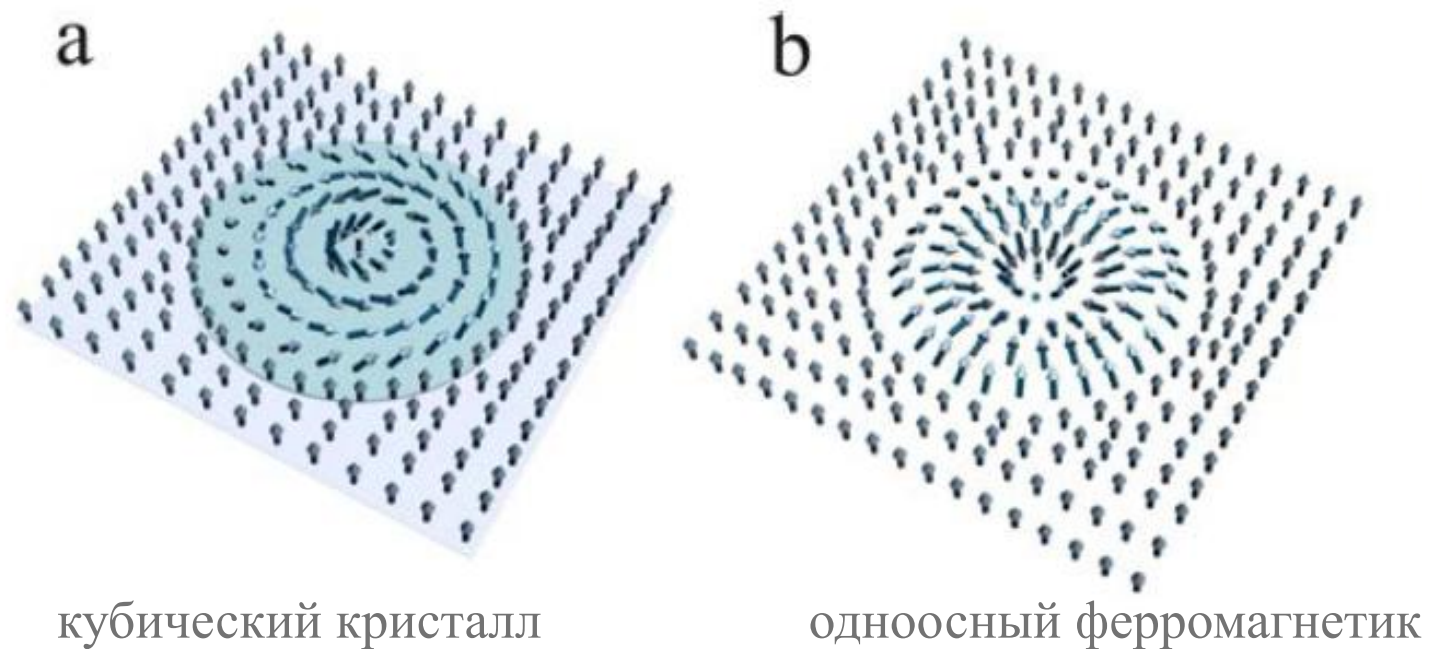
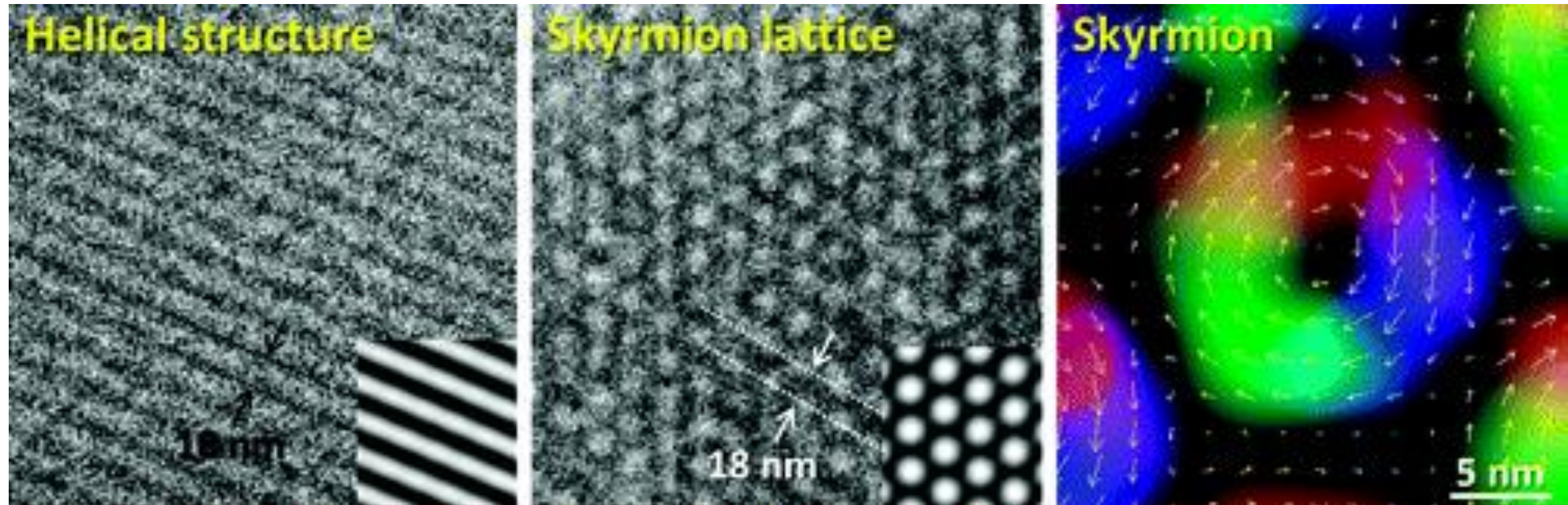


Рис. 1 Уединенные киральные скирмионы.

ках. Итак, киральный скирмион есть особый тип двумерных магнитных топологических солитонов и представляет собой локализованную, аксисимметричную структуру с фиксированным направлением вращения вектора намагниченности (Рис.1). Внутренняя структура скирмионов

MnSi thin films obtained from single crystal + Lorentz TEM

A. Tonomura et al., Nano Lett., 12, 1673 (2012).



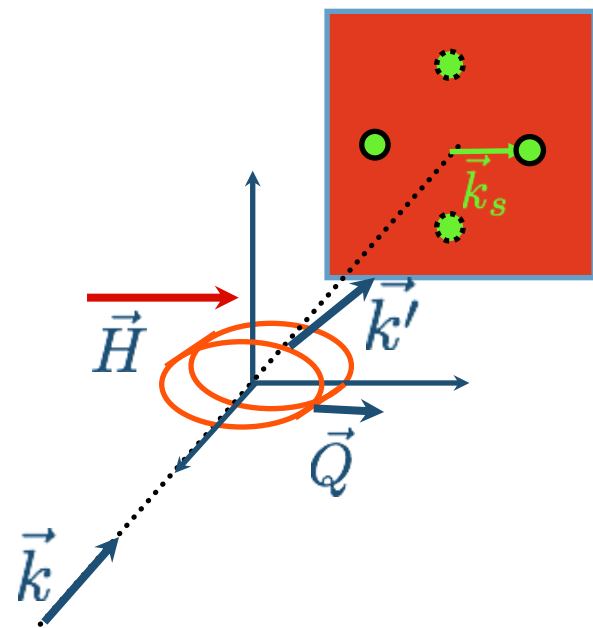
Скирмионная решетка, наблюдаемая в А-фазе.

Нет прямых доказательств для одиноких скирмионов.

НЕЙТРОННОЕ РАССЕЯНИЕ В MnSi

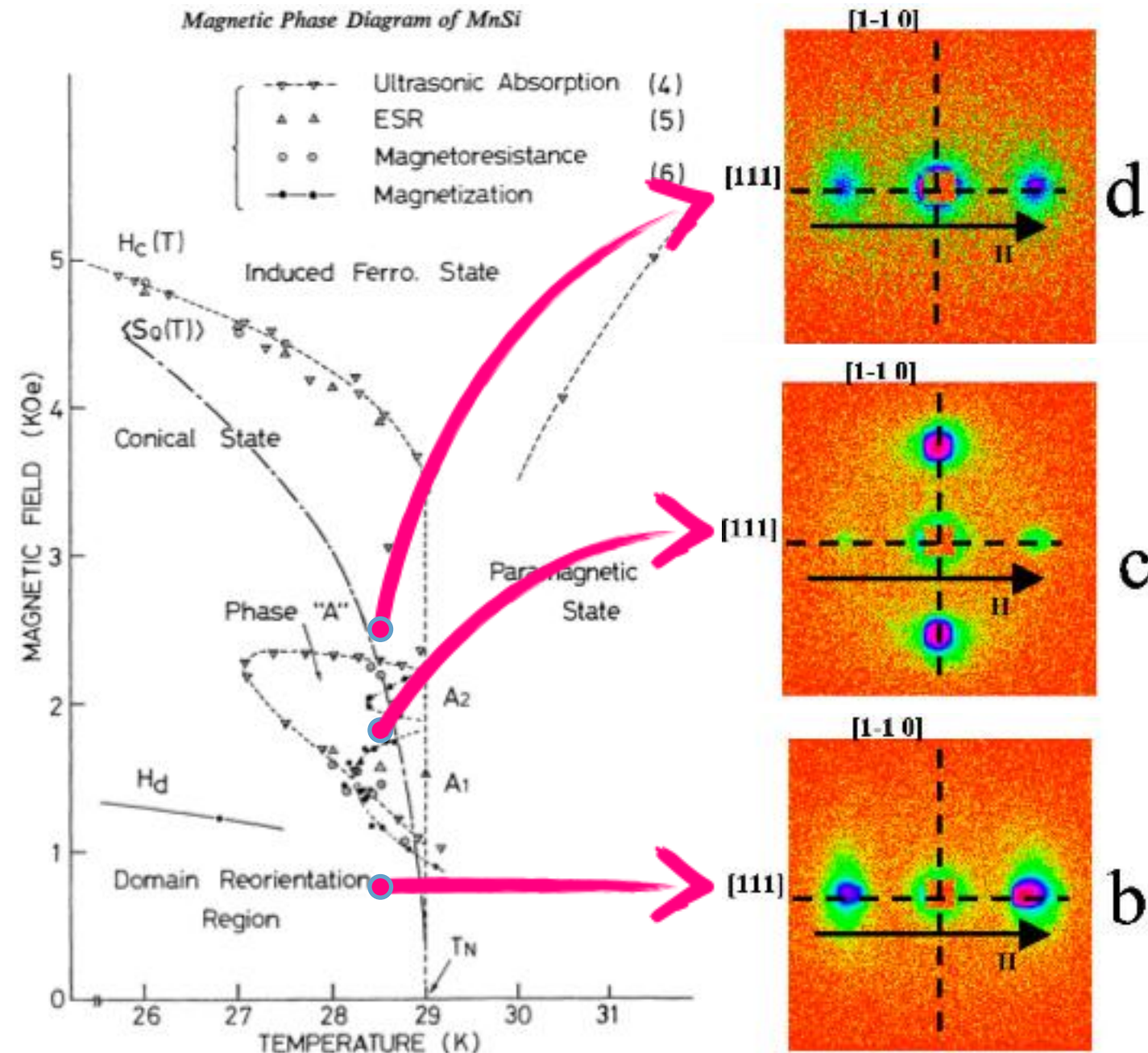
B. Lebech, et al (1996)

S.V. Grigoriev et al. Phys. Rev. B
73 (2006) 224440

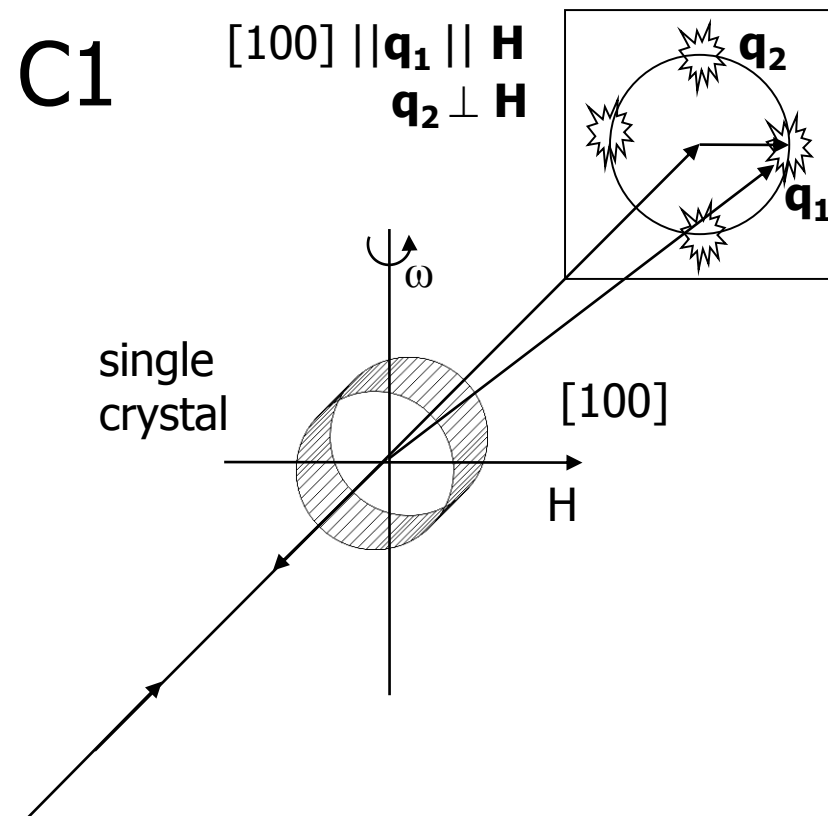


transverse geometry

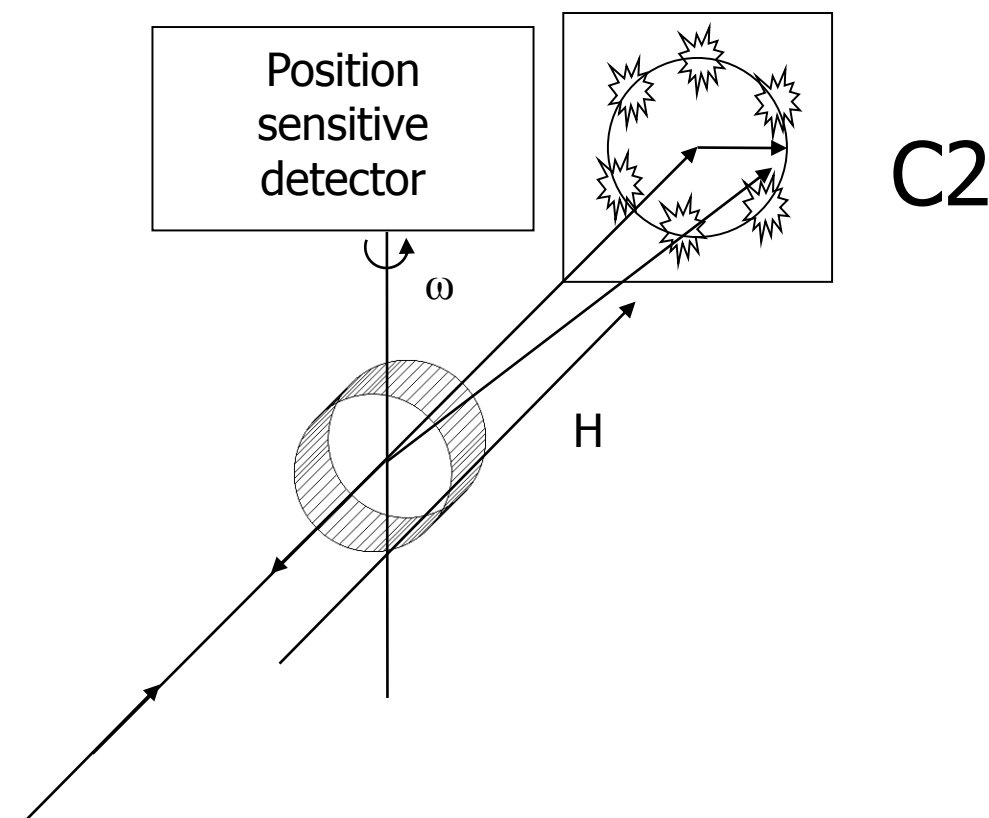
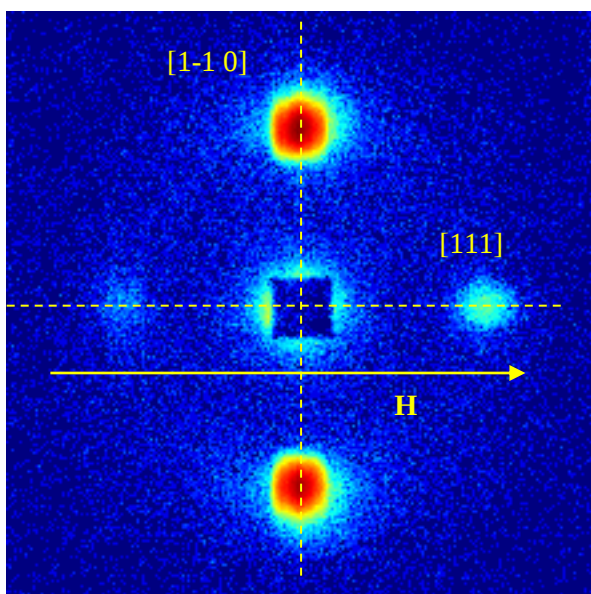
$$\vec{k} \perp \vec{H}$$



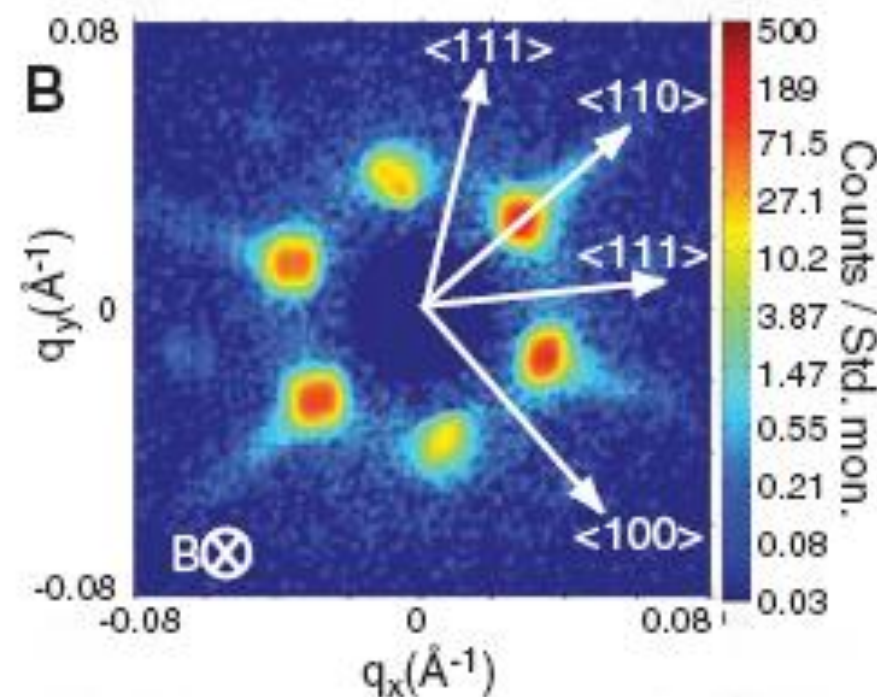
СКИРМИОННАЯ РЕШЁТКА?



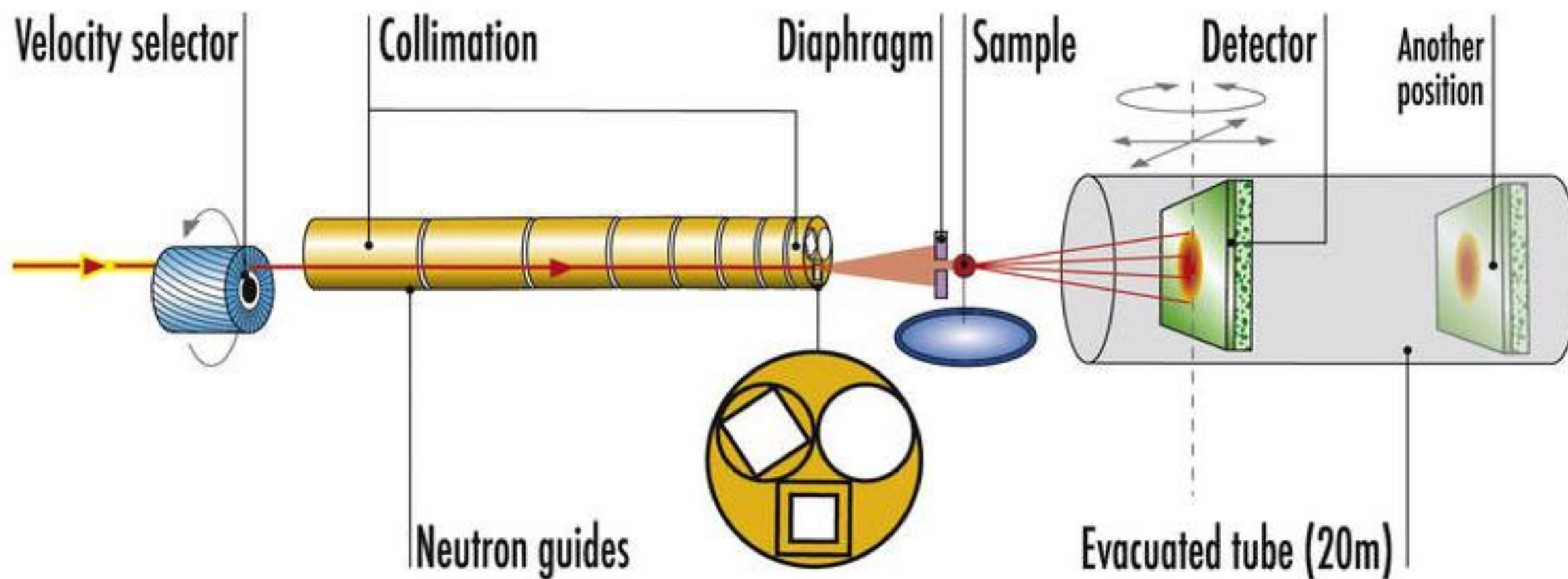
S.V. Grigoriev, S.V. Maleyev, A.I. Okorokov,
 Yu.O. Chetverikov, H. Eckerlebe,
 Phys.Rev.B **73** (2006) 224440.



S. Mühlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C.
 Pfleiderer, A. Rosch, A. Neubauer, R. Georgii,
 P. Böni. Science 323 (2009) 915.



Experimental setup D22 (ILL)



HEXAGON LATTICE

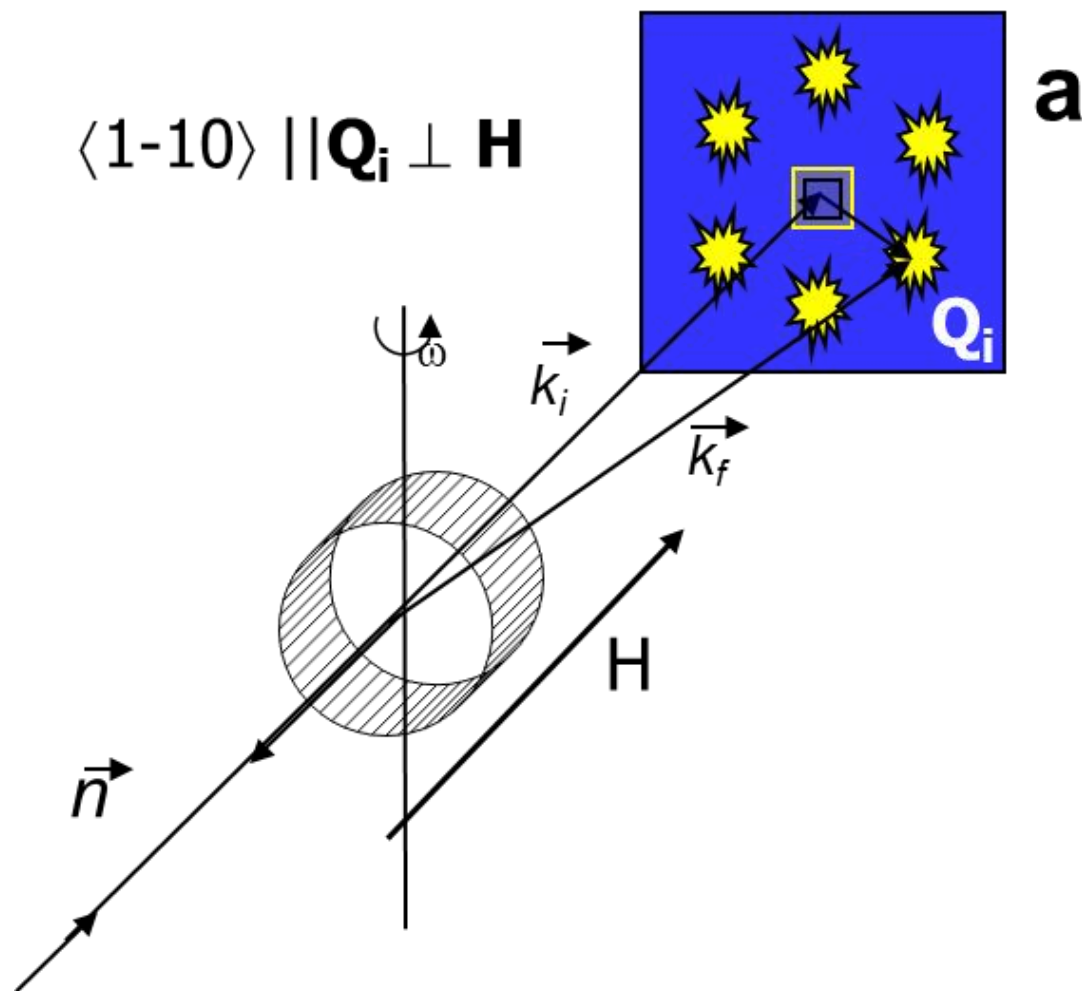
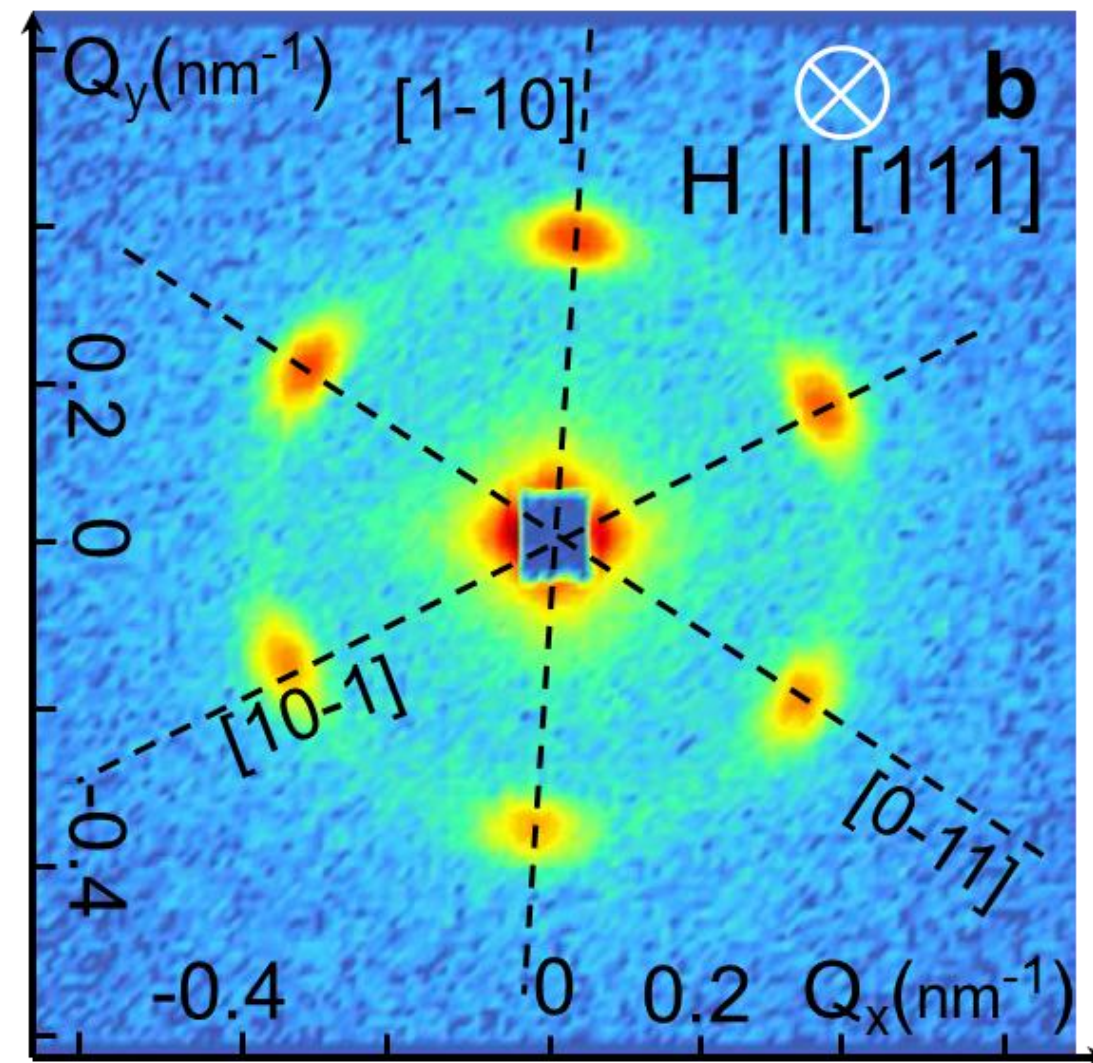
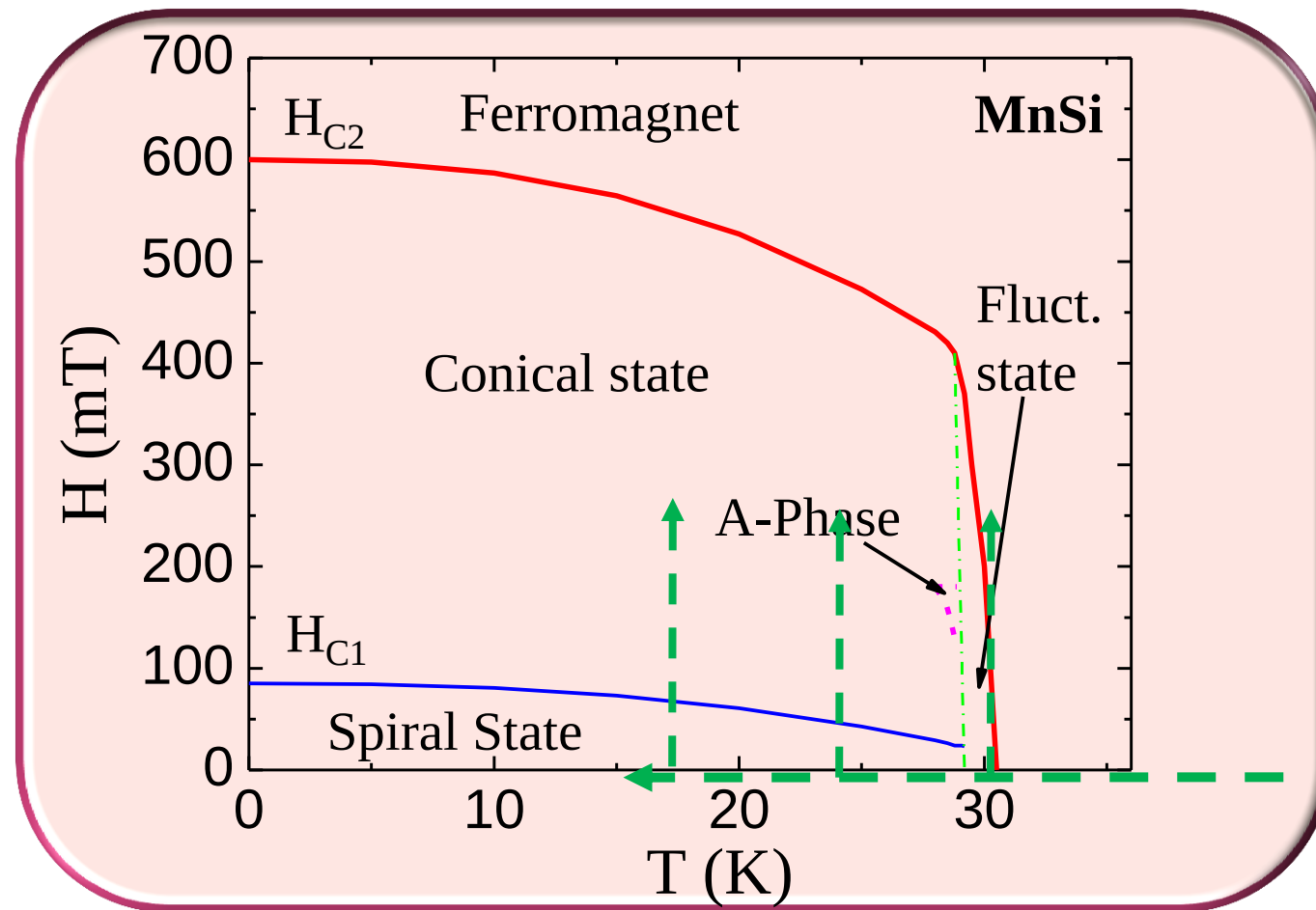


Схема эксперимента рассеяния
с полем $\mathbf{H}$, направленным
параллельно пучку нейтронов

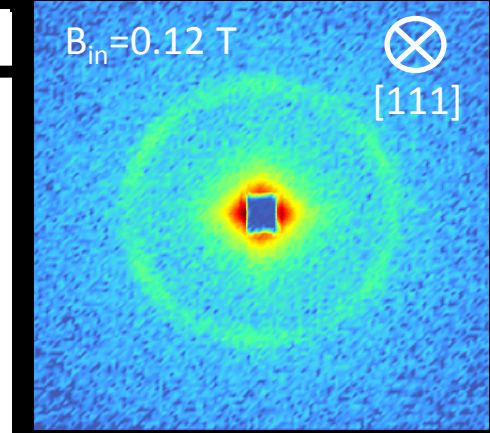
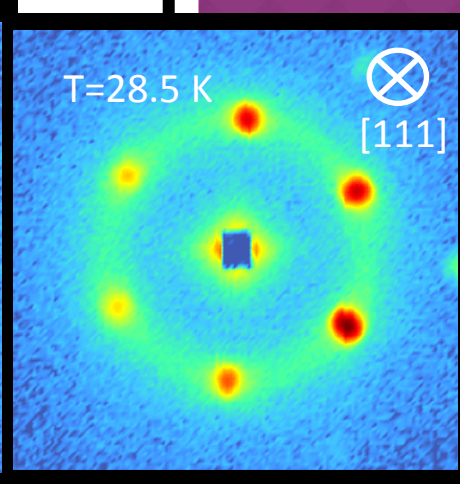
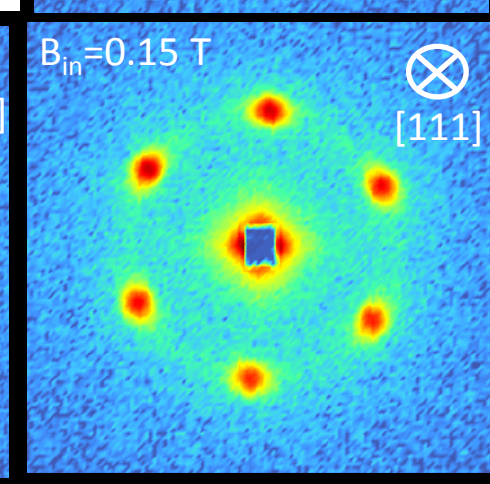
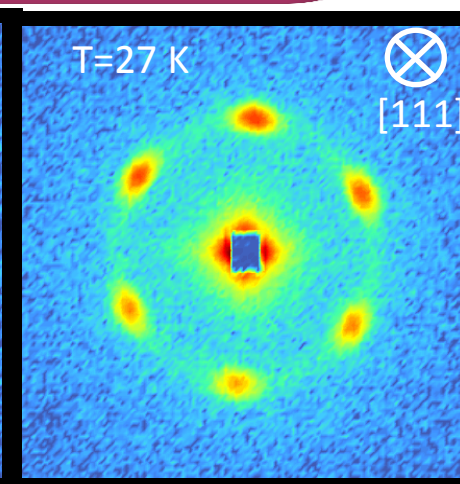
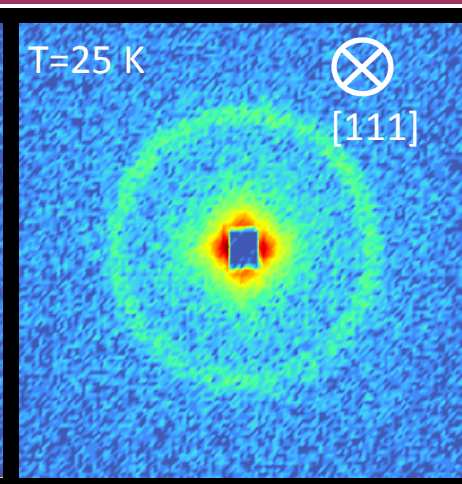
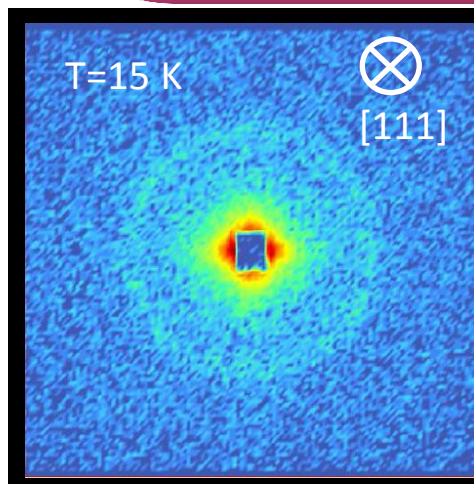
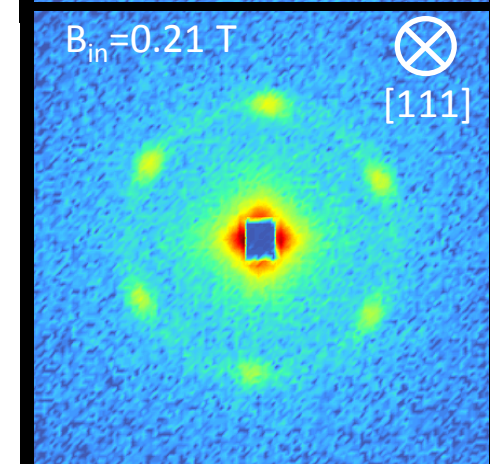
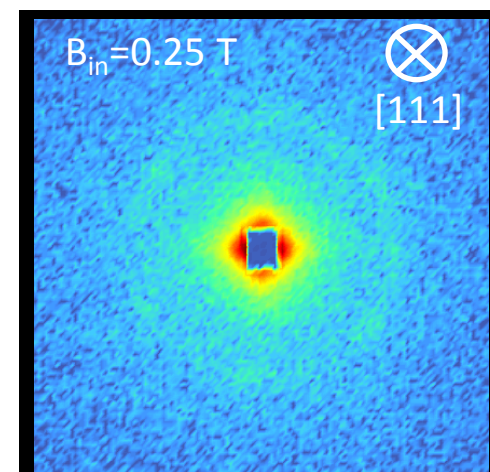


Карта рассеяния в магнитном поле
при ориентации кристалла $\mathbf{H} \parallel \mathbf{k} \parallel$
[111] при $T = 27.5 \text{ K}$ и $B_{\text{int}} = 0.17 \text{ T}$.

H - T EVOLUTION



$T = 28.0 \text{ K}$



H

T

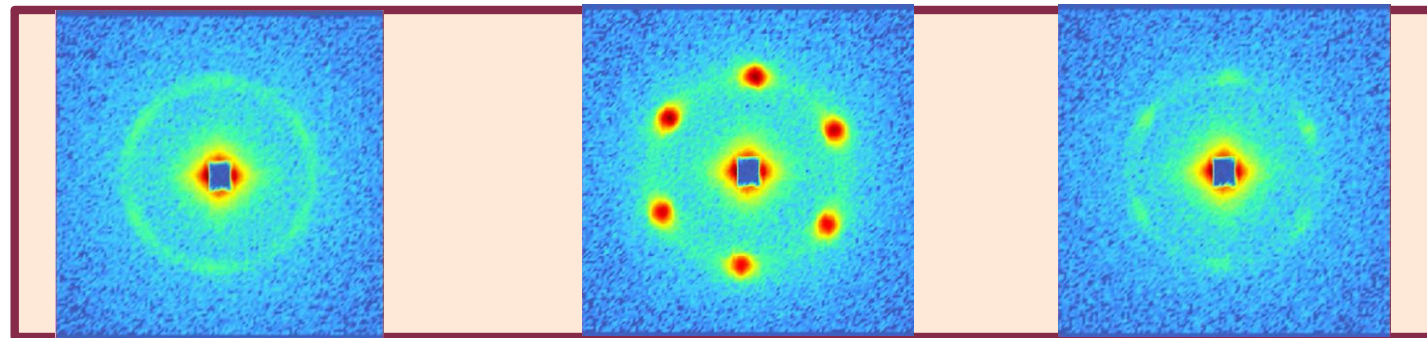
$B = 0.15 \text{ T}$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Функция Гаусса

$$y = y_0 + \frac{A}{\omega\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-x_c}{\omega}\right)^2\right) + \frac{A}{\pi} \frac{\omega}{4(x-x_c)^2 + \omega^2}$$

Функция Лоренца



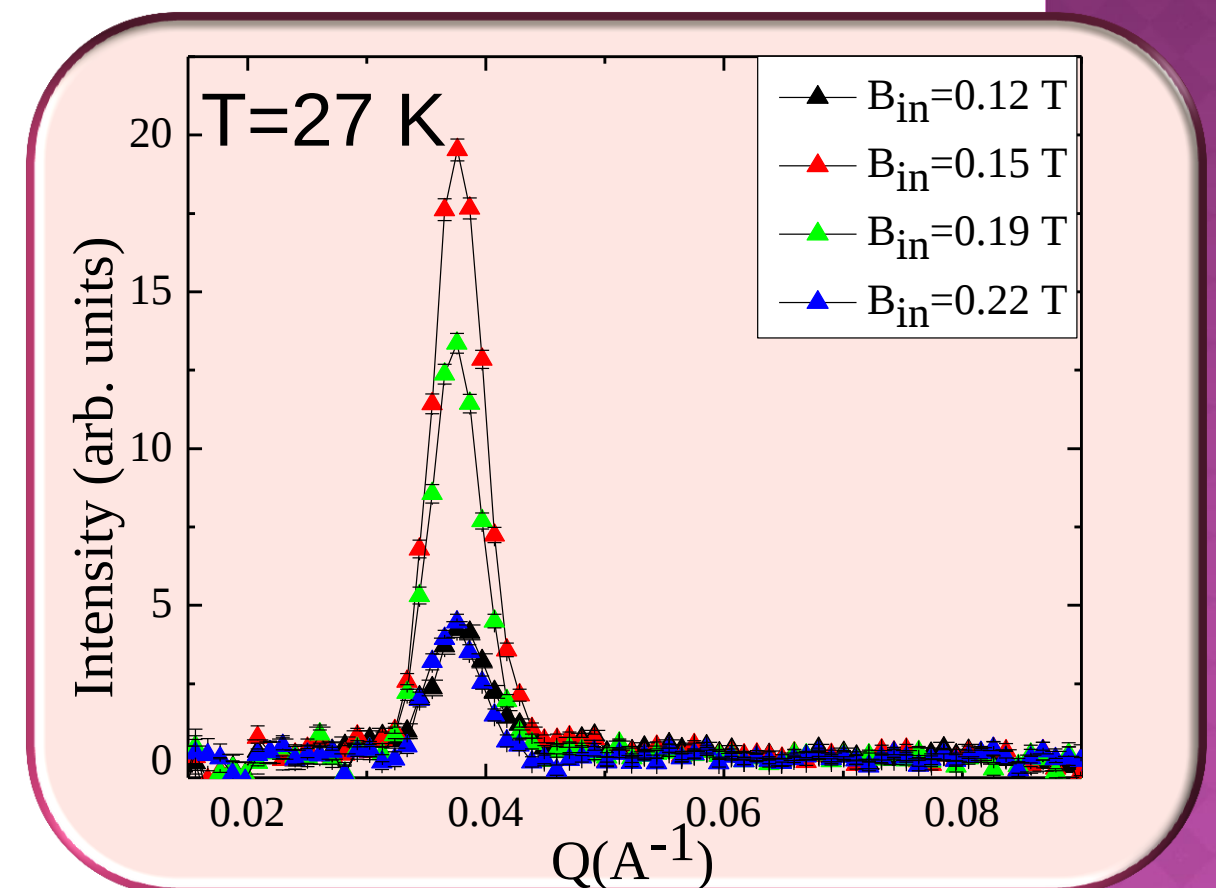
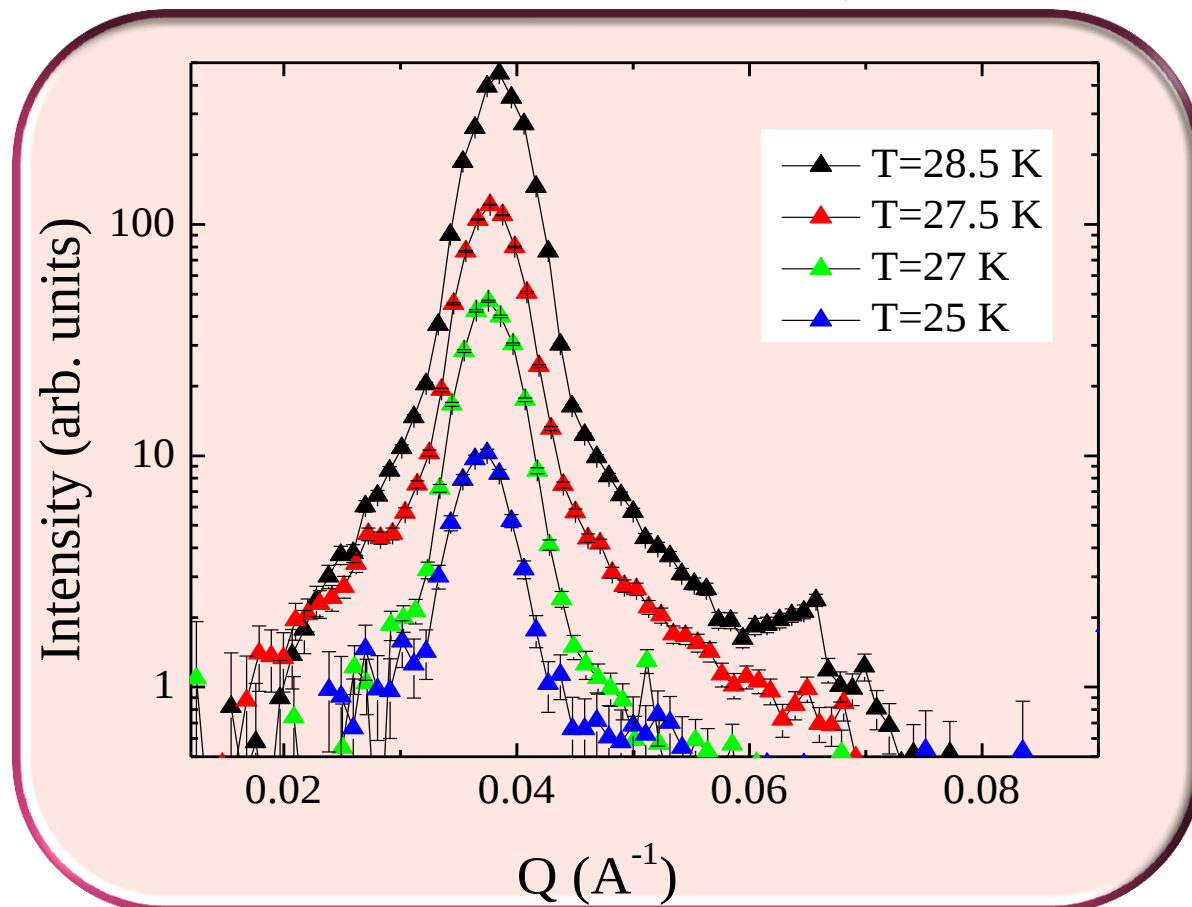
H = 0.12 T

H = 0.15 T

H = 0.25 T

(i) $k_A = k_C = k_S$

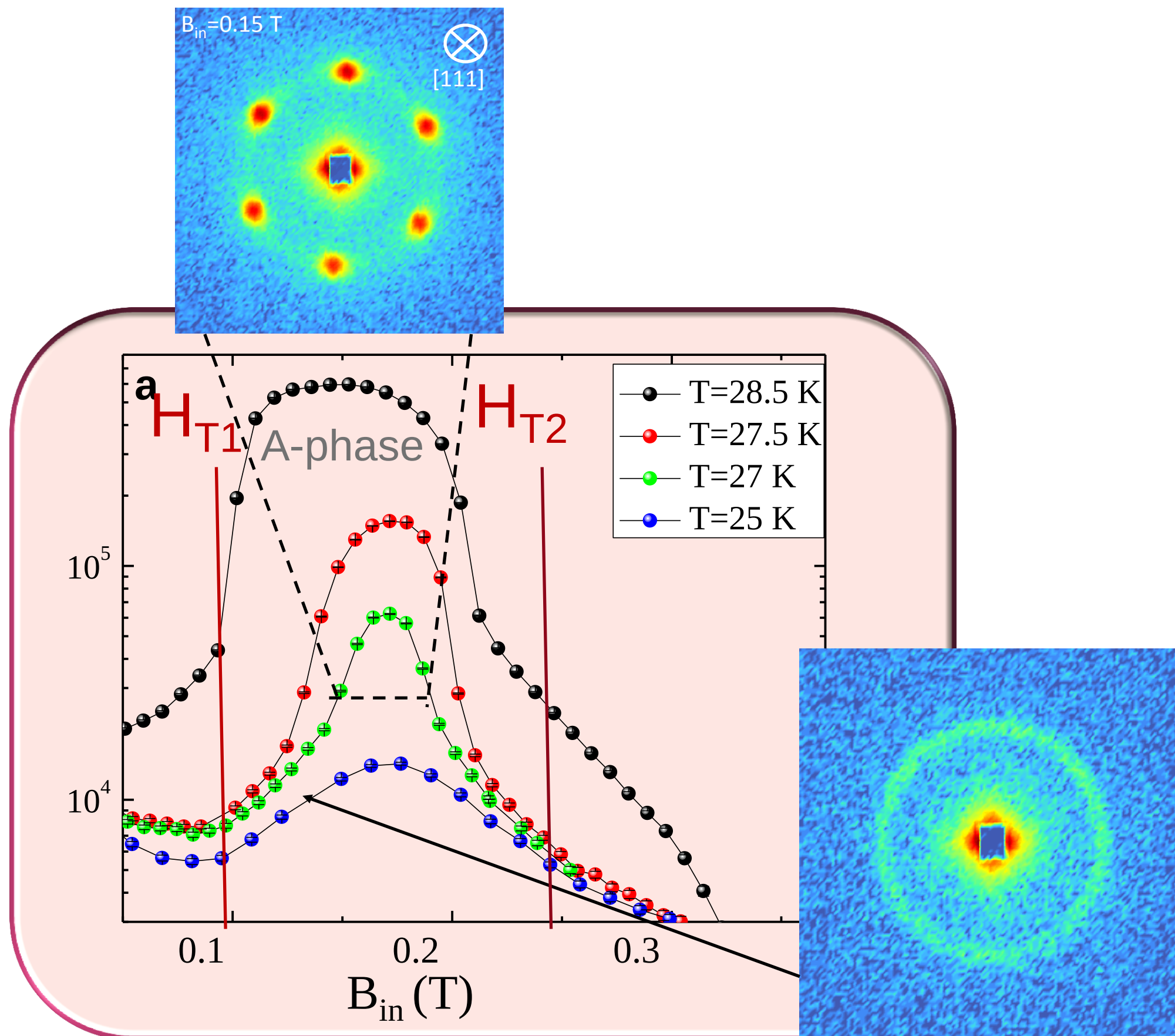
(ii) ΔQ_A is resolution limited



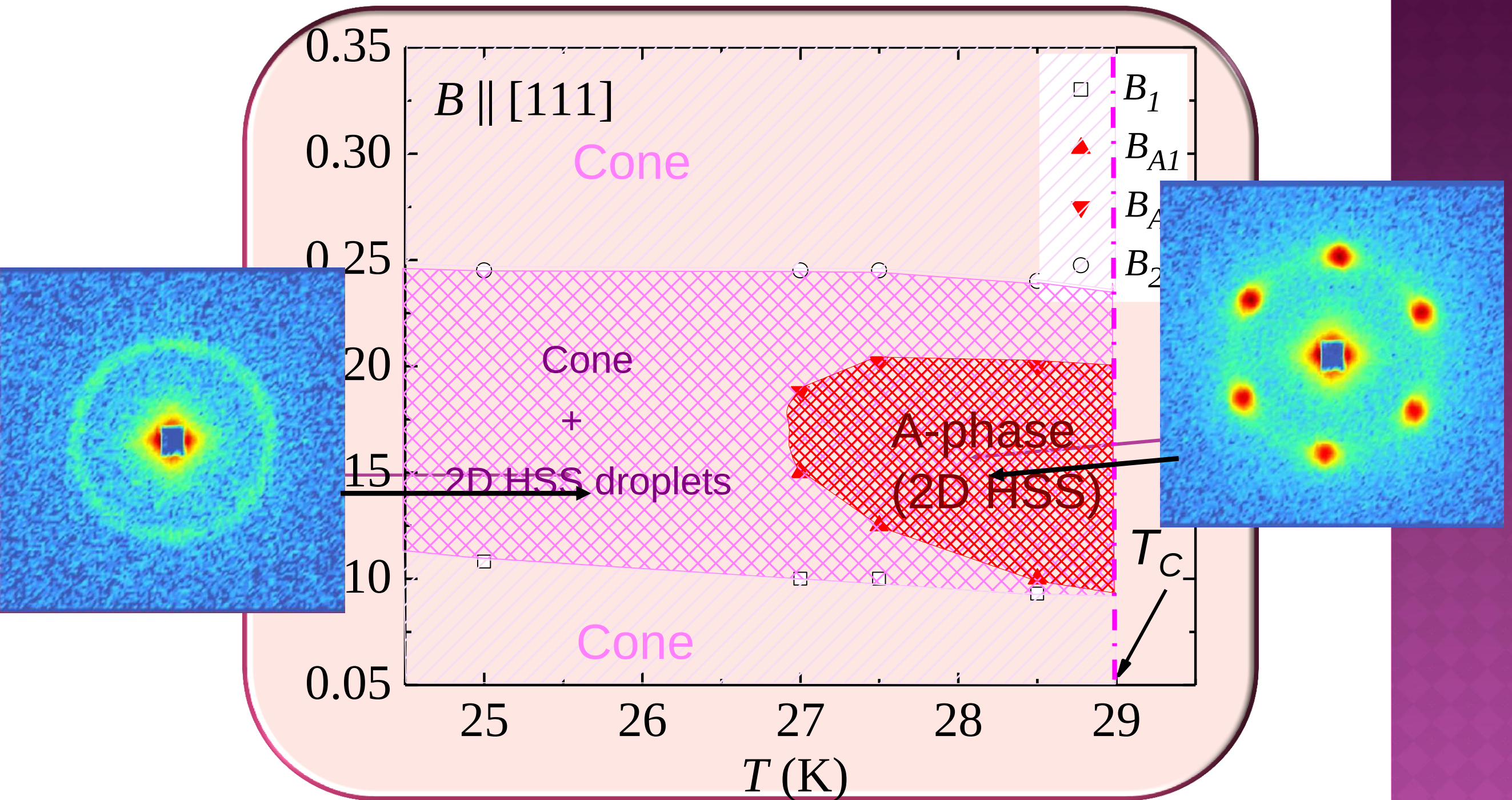
ZFC для разных температур в H = 0.17 T

Полевой скан при T = 27.0 K

ПОЛЕВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

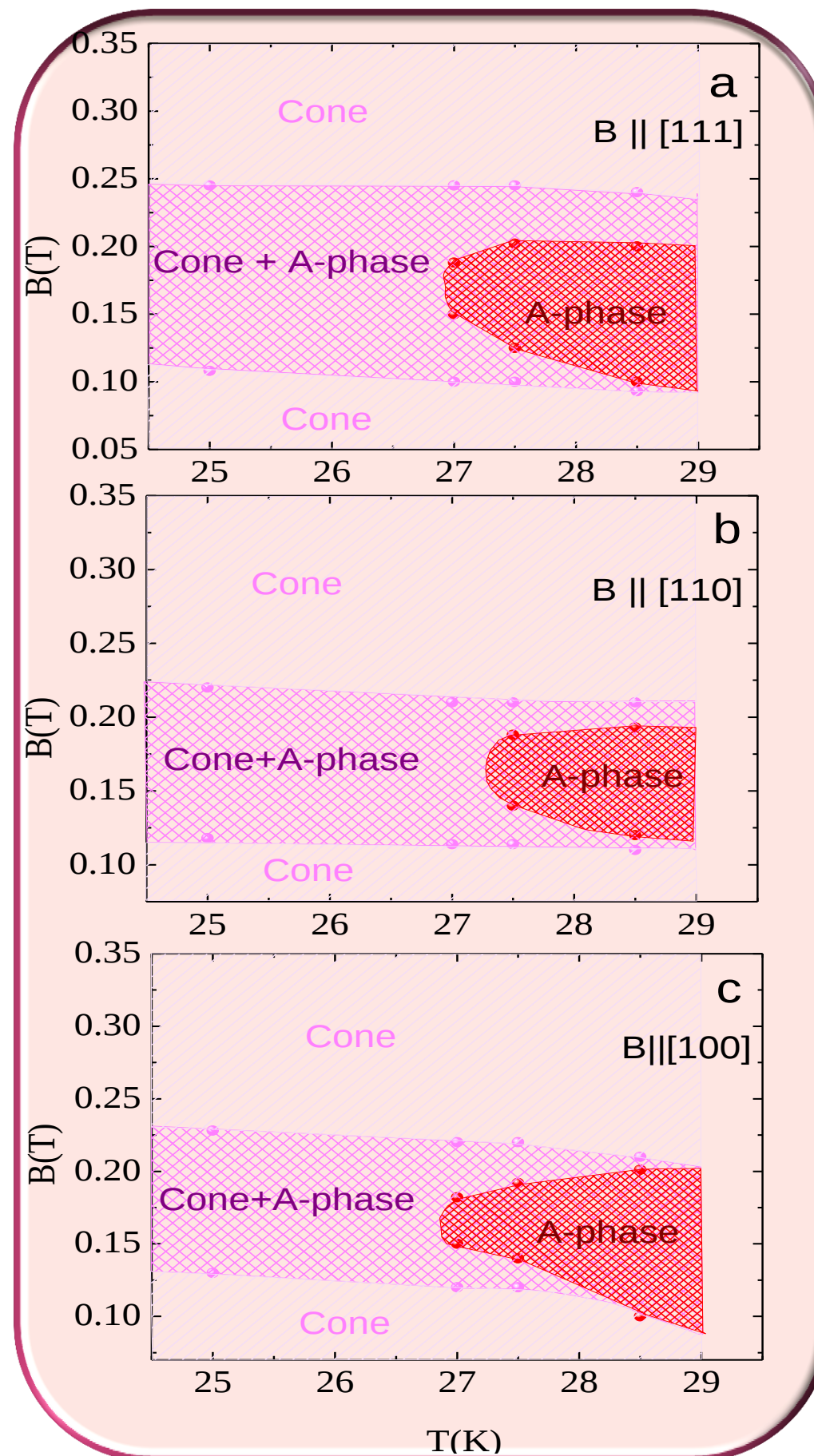
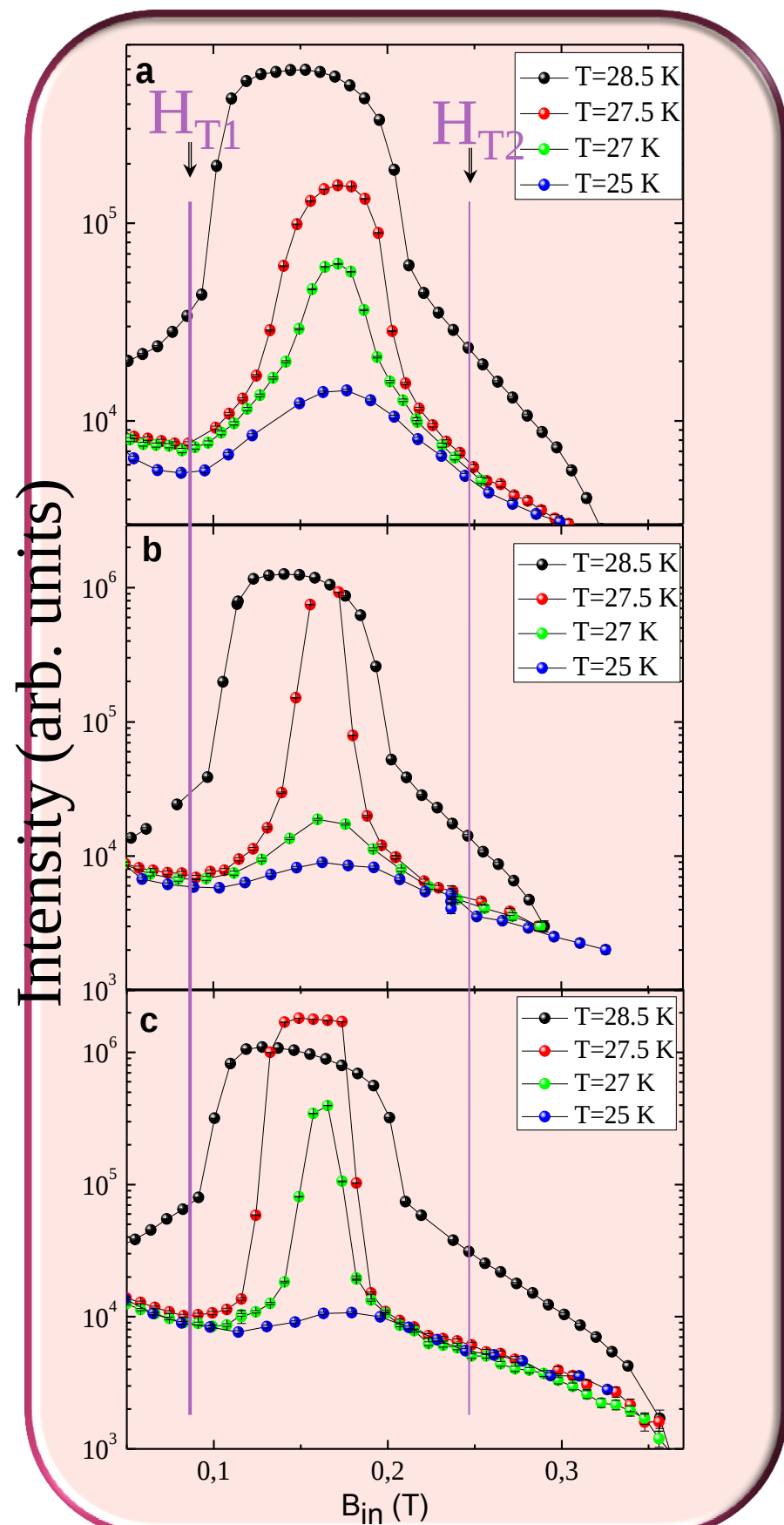


H-T ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА



Гексагональную структуру относящуюся только к А-фазе можно "проследить" до низких температур (i) $k_A = k_C = k_S$ (ii) когерентность А-фазы ΔQ_A ограниченной разрешением установки

H-T ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом малоуглового рассеяния нейтронов детально изучена магнитная структура кубического спирального магнетика MnSi в небольшой области (H - T)-фазовой диаграммы (А-фаза). Магнитная структура А-фазы характеризуется в пространстве импульсов двумерной гексагональной картиной из 6 брэгговских пиков с $\mathbf{k}$, перпендикулярными приложенному магнитному полю $\mathbf{H}$. В современной литературе эта структура получила название скирмионной решетки.

В нашей работе мы приводим аргументы в пользу того, что наблюдаемая структура является двумерной гексагональной спиновой сверхрешеткой, образующейся из-за конкуренции двух взаимодействий (ферромагнитного обмена и взаимодействия Дзялошинского-Мория), подобно одномерным модуляциям спиновой структуры (плоская спираль, коническая спираль).

Pis'ma v ZhETF, vol. 100, iss. 3, pp. 238 – 243

© 2014 August 10

Hexagonal spin structure of A-phase in MnSi: densely packed skyrmion quasiparticles or two-dimensionally modulated spin superlattice?

S. V. Grigoriev^{+*1)}, N. M. Potapova⁺, E. V. Moskvina⁺⁺, V. A. Dyadkin^{+×}, Ch. Dewhurst[°], S. V. Maleyev⁺

⁺Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute, 188300 Gatchina, Russia

^{*}S.-Petersburg State University, 198504 S.-Petersburg, Russia

[×]Swiss-Norwegian Beamlines at the European Synchrotron Radiation Facility, 38000 Grenoble, France

[°]Institute Laue-Langevin, F-38042 Grenoble Cedex 9, France

Submitted 16 June 2014

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

