

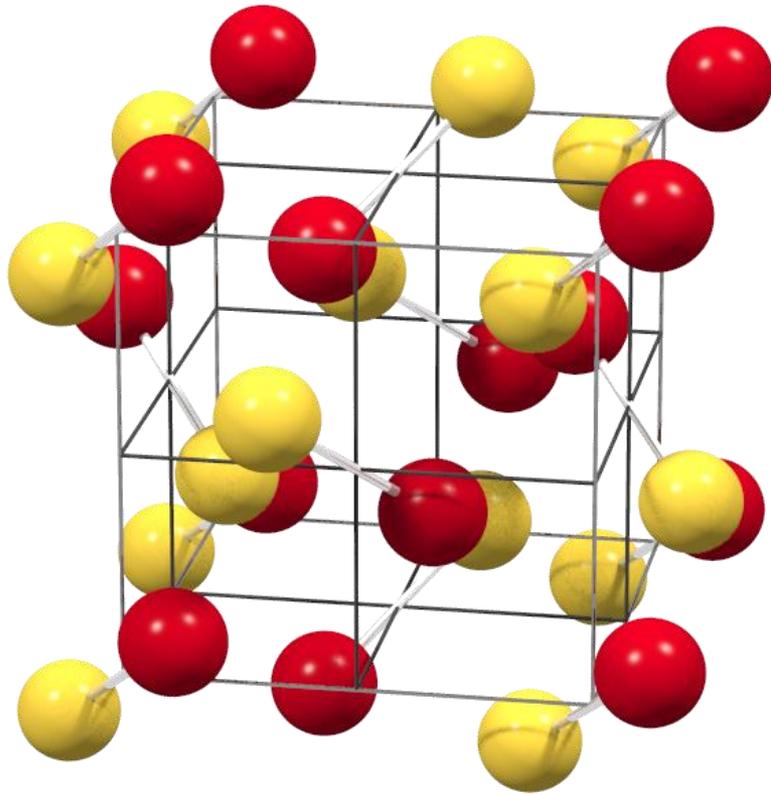


Чубова Надежда Михайловна

# Скирмионная решетка в свете малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов



# MnSi: Кристаллографическая структура



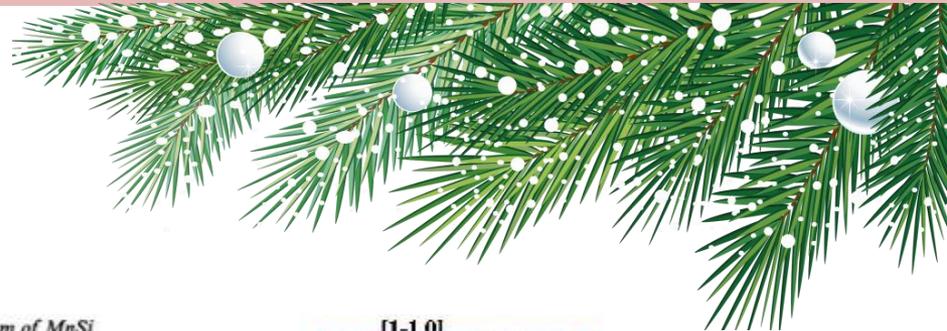
MnSi, FeSi, CoSi,  
 $Mn_{1-y}Fe_ySi$ ,  $Fe_{1-x}Co_xSi$ ,  
 $Mn_{1-y}Co_ySi$ ,

FeGe, MnGe,  $Fe_{1-x}Mn_xGe$

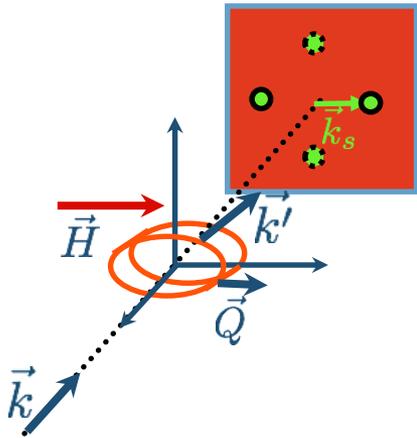


- Структура типа B20
- Пространственная группа  $P2_13$
- $a = 4.55 \text{ \AA}$
- 4 Me-атома и 4 Si атома с координатами  $(u, u, u)$ ,  $(1/2+u, 1/2-u, u)$ ,  $(1/2-u, -u, 1/2+u)$   $(-u, 1/2+u, 1/2+u)$ , где  $u_{Me} = 0.138$  и  $u_{Si} = 0.845$ .

# Нейтронное рассеяние в MnSi

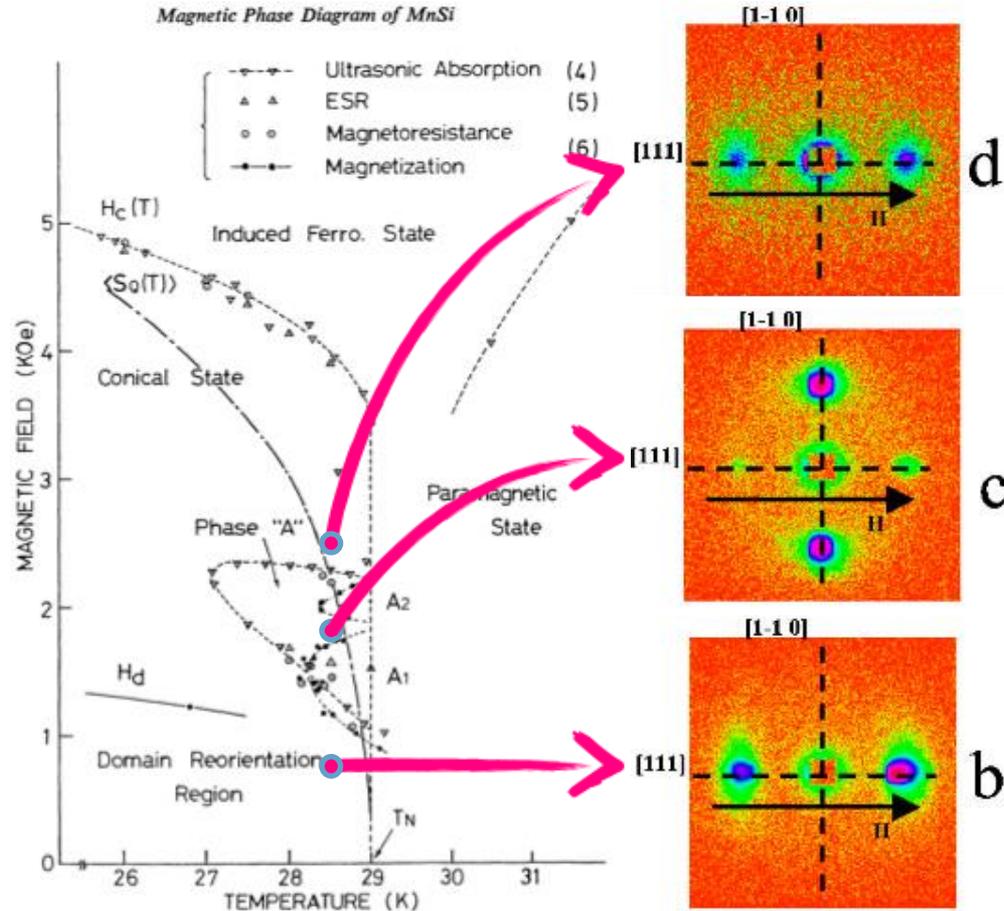


B. Lebech, et al (1996)  
 S.V. Grigoriev et al. Phys. Rev. B  
**73** (2006) 224440



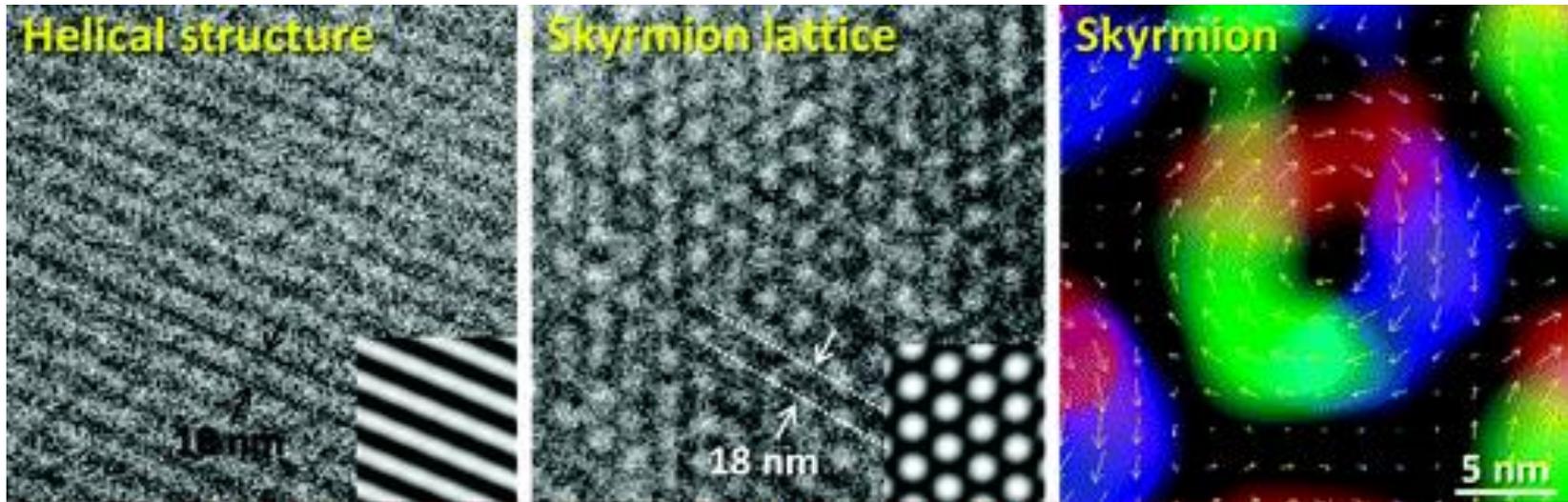
transverse geometry

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



## *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 единичных скирмионов.



**Цель исследования:** детальное изучение магнитной структуры кубического нецентросимметричного геликоидального магнетика  $\text{MnSi}$  вблизи  $T_C$  методом малоуглового рассеяния нейтронов.

**Поставленные задачи:**

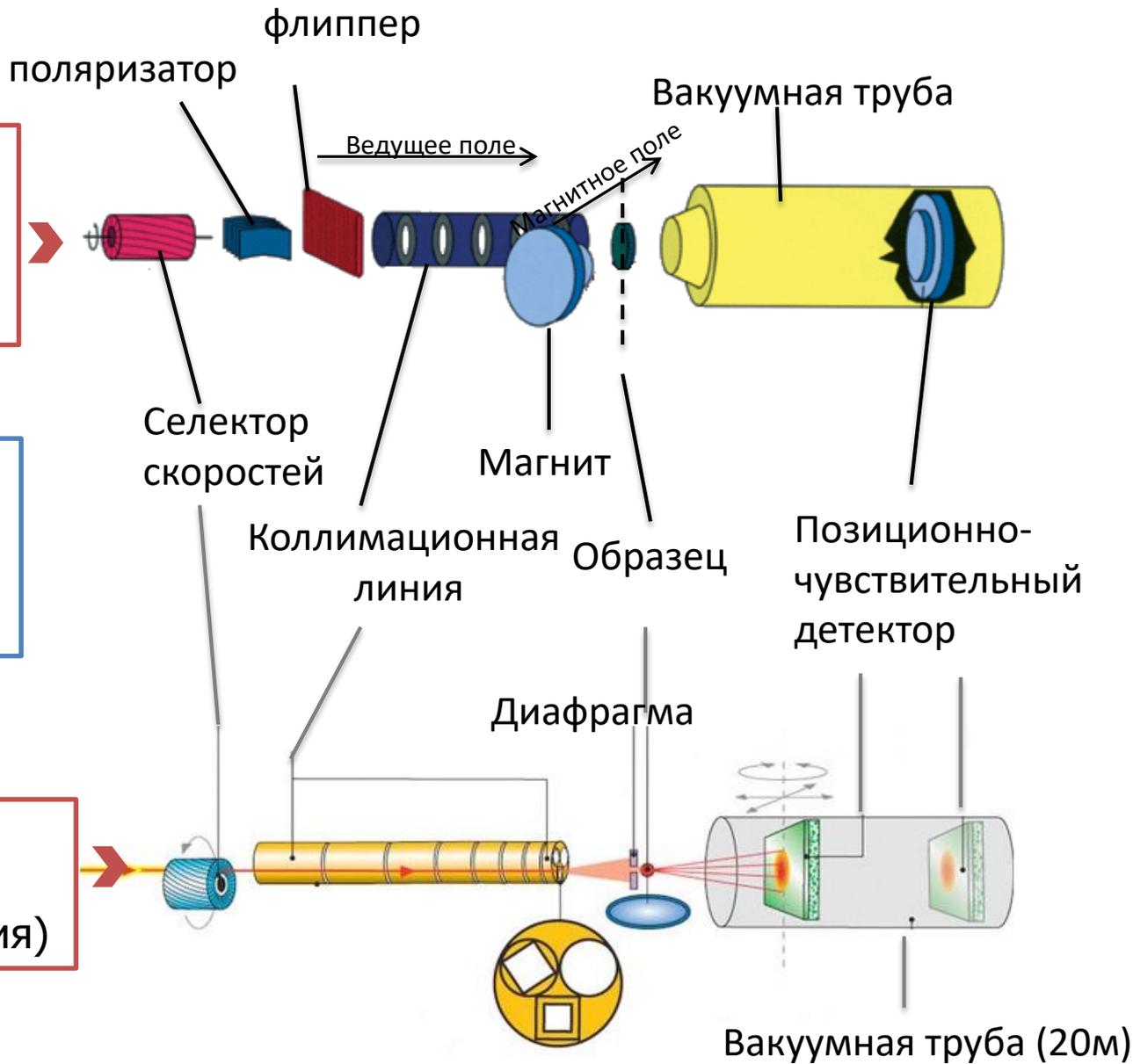
- 1) Изучить структуру и граница А-фазы (скирмионной решётки) в объёмном образце моносилицида марганца  $\text{MnSi}$  вблизи  $T_C$ .
- 2) Оценить роль критических флуктуаций геликоидальной структуры в образовании скирмионной решётки.

# Экспериментальные установки: МУРН

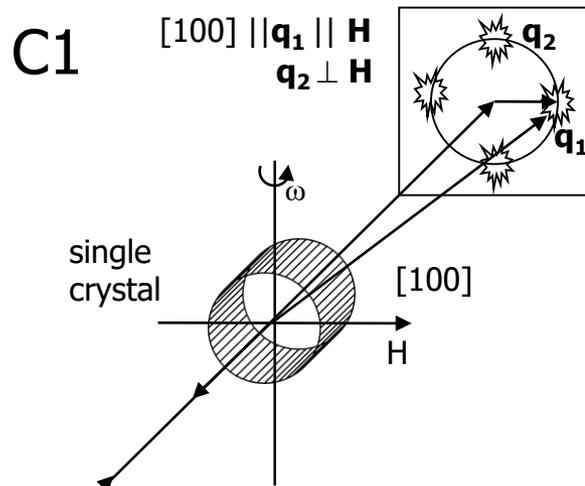
Установка SANS-2  
центра GKSS в  
Гестхахте  
(Германия)

$P_0=0.95,$   
 $\lambda=0.58 \text{ nm}$   
 $(\Delta\lambda/\lambda=0.1)$

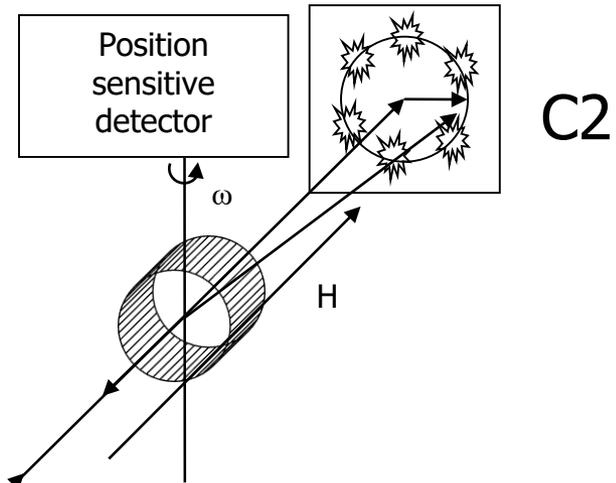
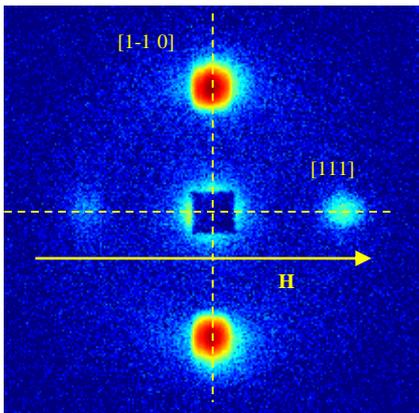
Установка D22  
центра ILL в  
Гренобле (Франция)



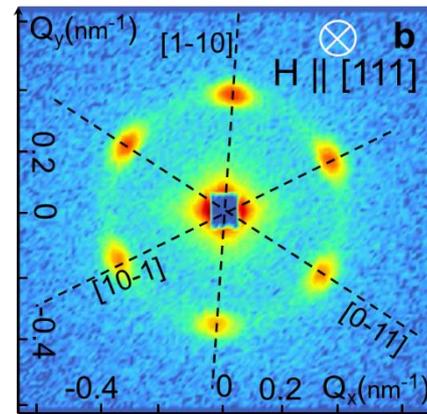
# Геометрия эксперимента



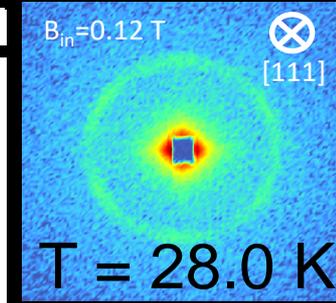
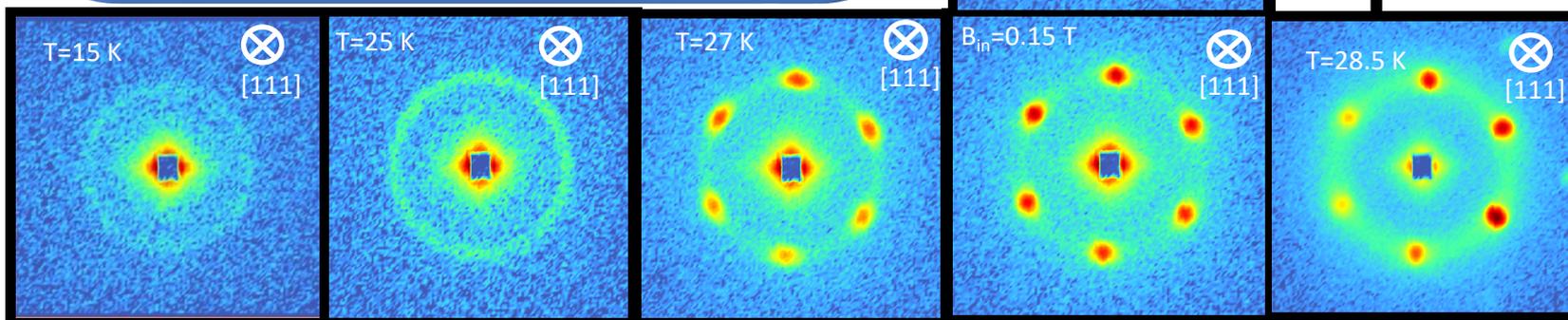
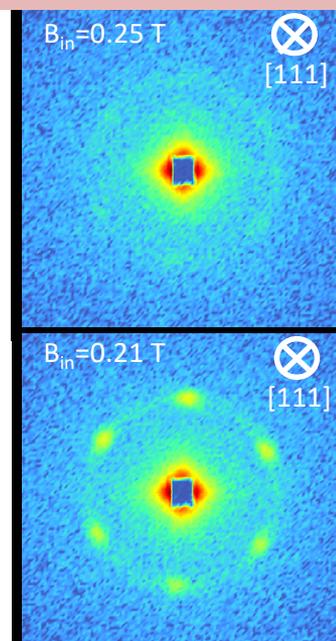
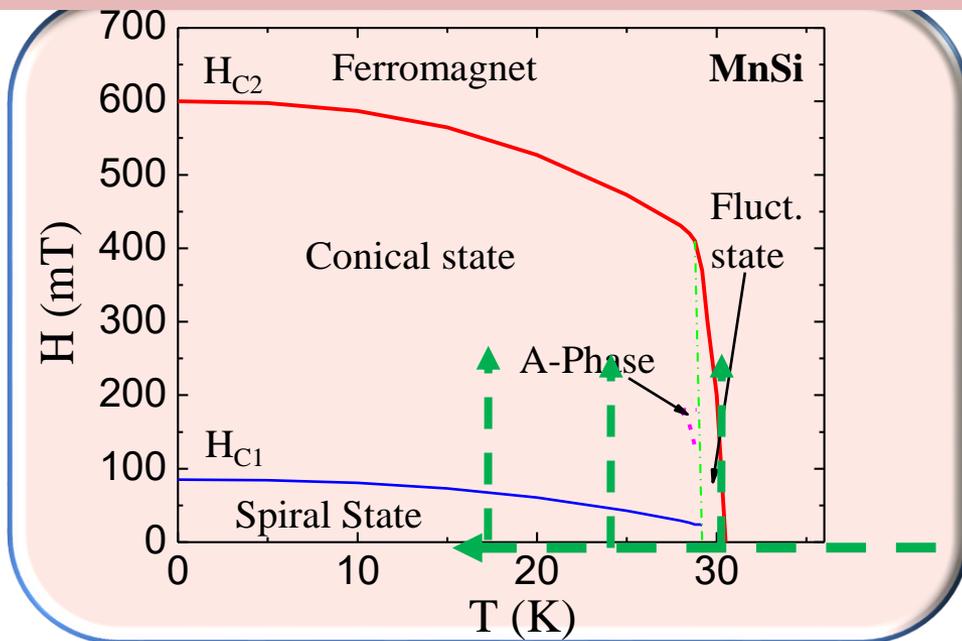
S.V. Grigoriev, S.V. Maleyev, A.I. Okorokov,  
 Yu.O. Chetverikov, H. Eckerlebe,  
 Phys.Rev.B **73** (2006) 224440.



S.V. Grigoriev, N.M. Potapova, E.V. Moskvina  
 et al, JETP Letters **100** (2014) 216.



# Скирмионная решётка в MnSi

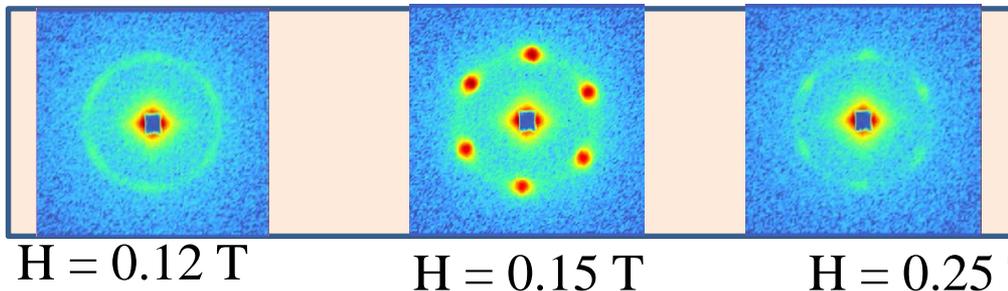


$B = 0.15$  T

# Скирмионная решётка в MnSi

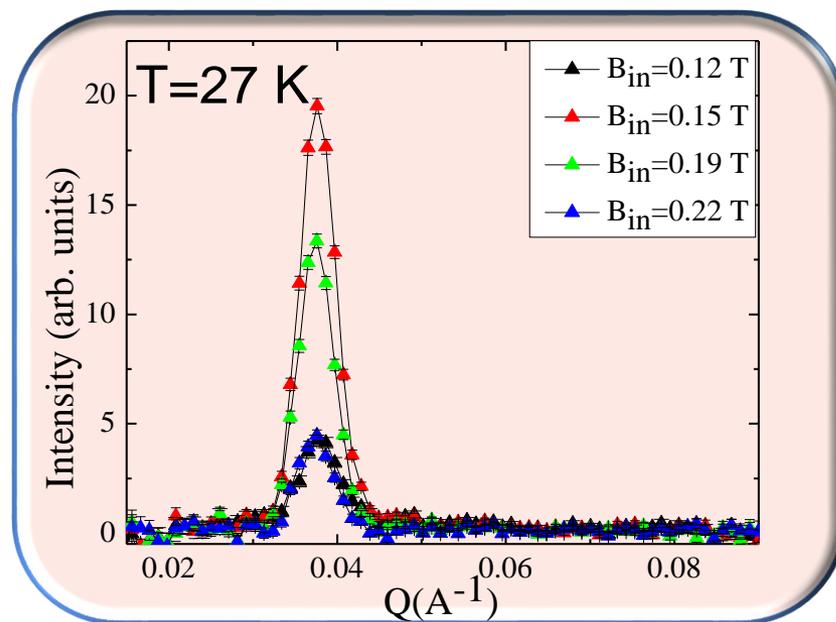
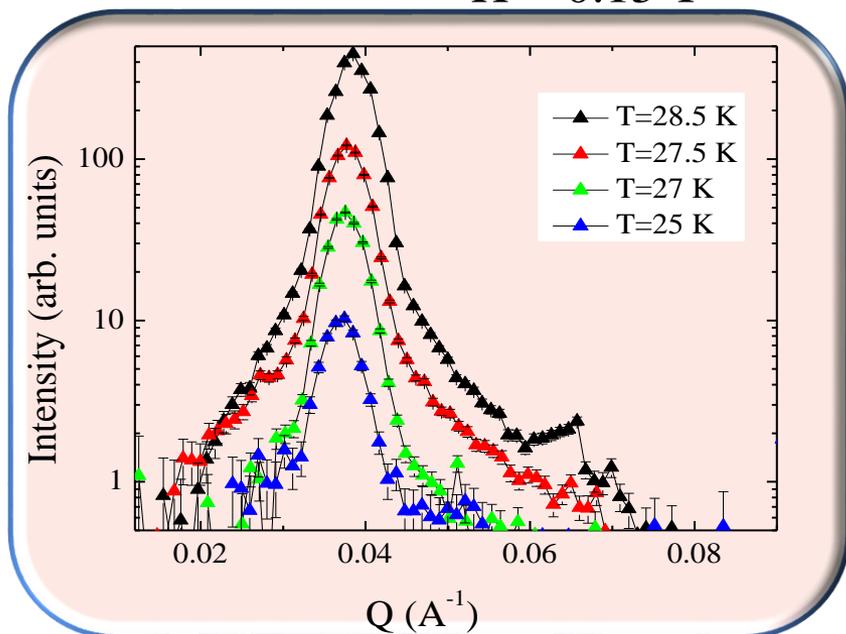
$$y = y_0 + \frac{A_1}{\omega\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-x_c}{\omega}\right)^2\right) + \frac{A_2}{\pi} \frac{\omega}{4(x-x_c)^2 + \omega^2}$$

Функция Гаусса                      Функция Лоренца



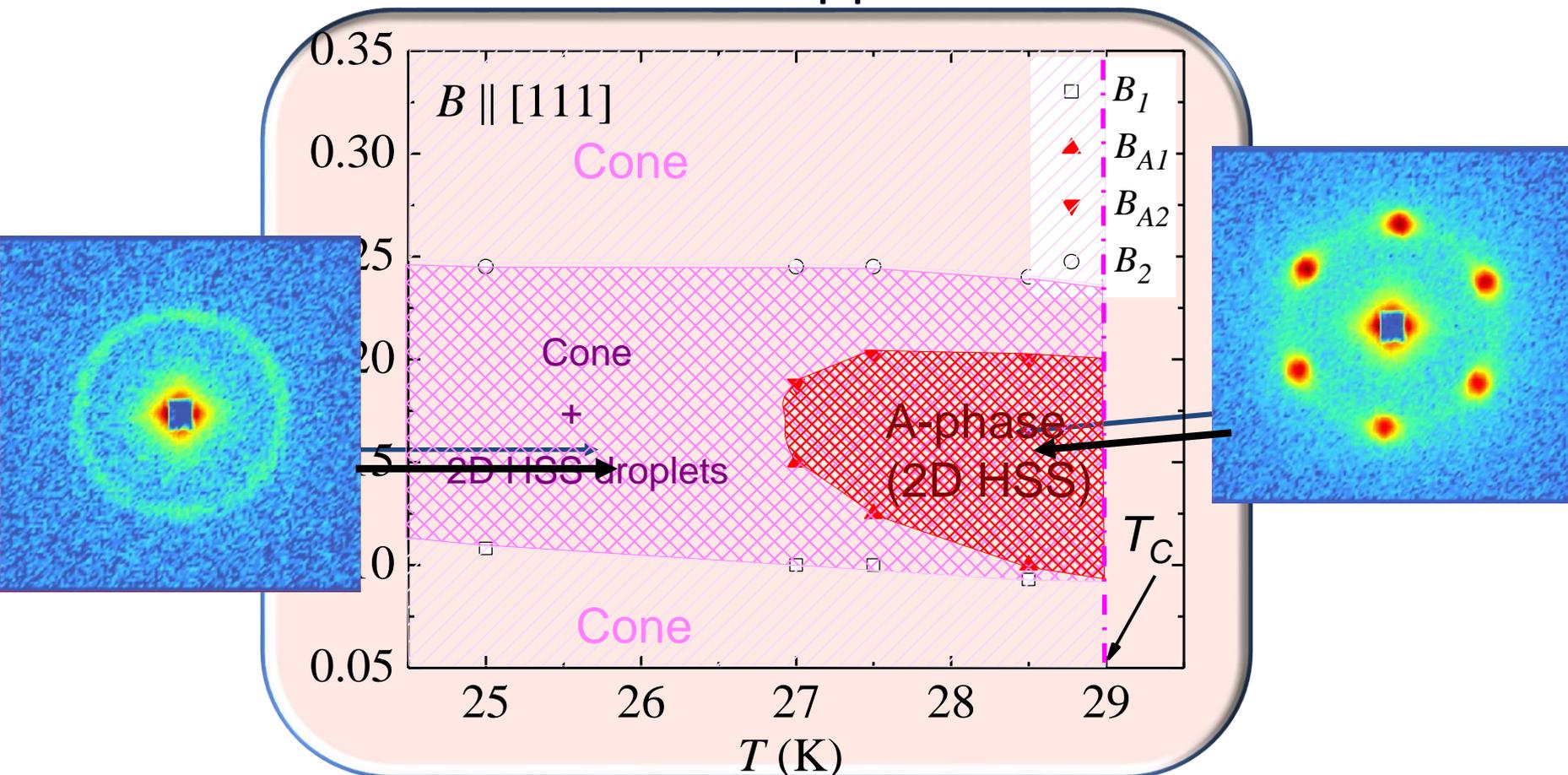
(i)  $k_A = k_C = k_S$

(ii)  $\Delta Q_A$  разрешение установки



# Скирмионная решётка в MnSi

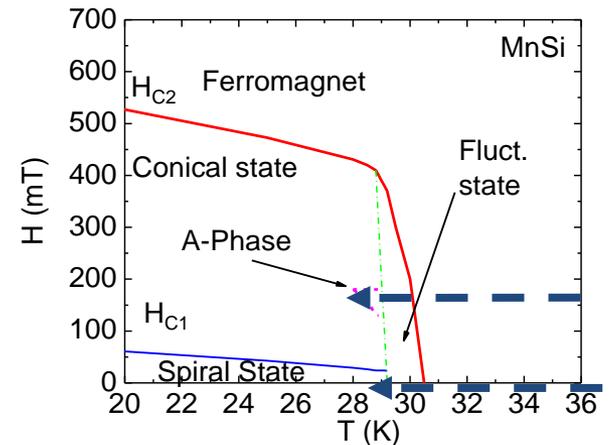
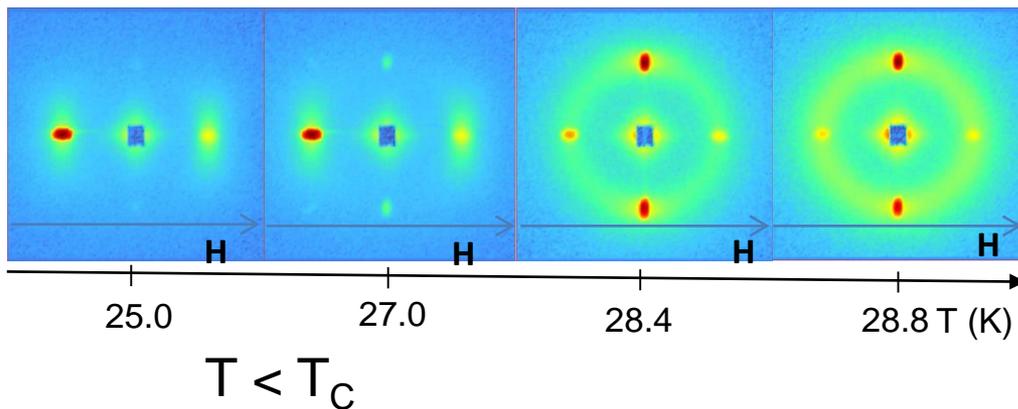
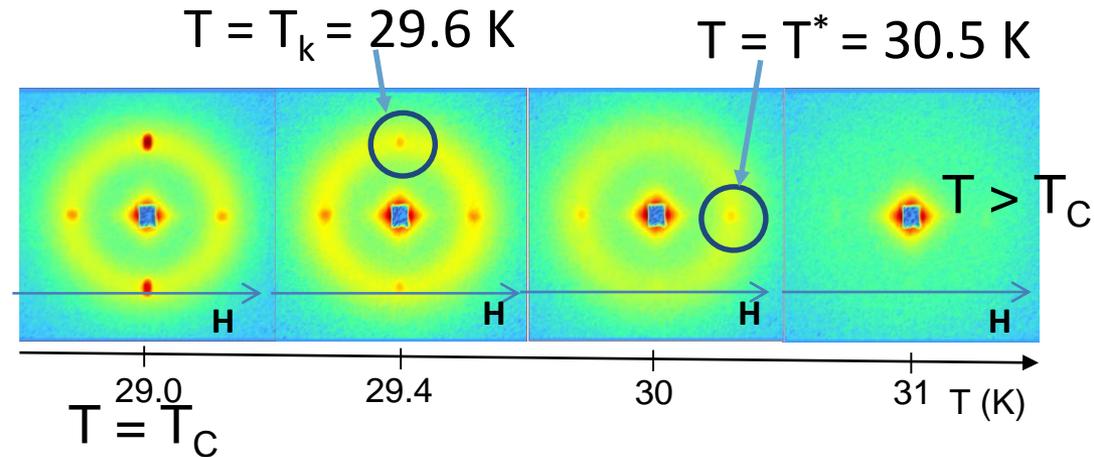
## Н-Т ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА



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

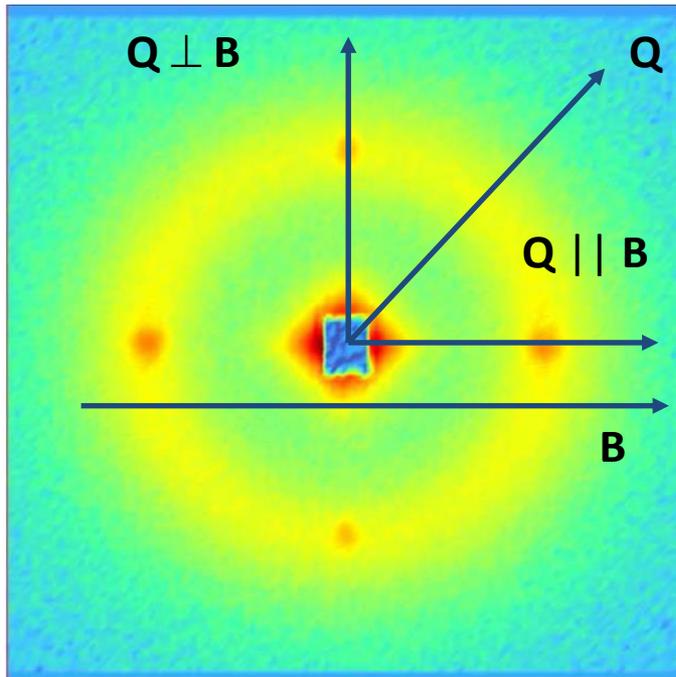
# Соотношение между критическими флуктуациями и структурой А-фазы: экспериментальные данные

Карты рассеяния демонстрирующие эволюцию магнитной системы MnSi по температуре в ориентации магнитного поля  $H \parallel [111]$  и  $B=0.16$  Тл

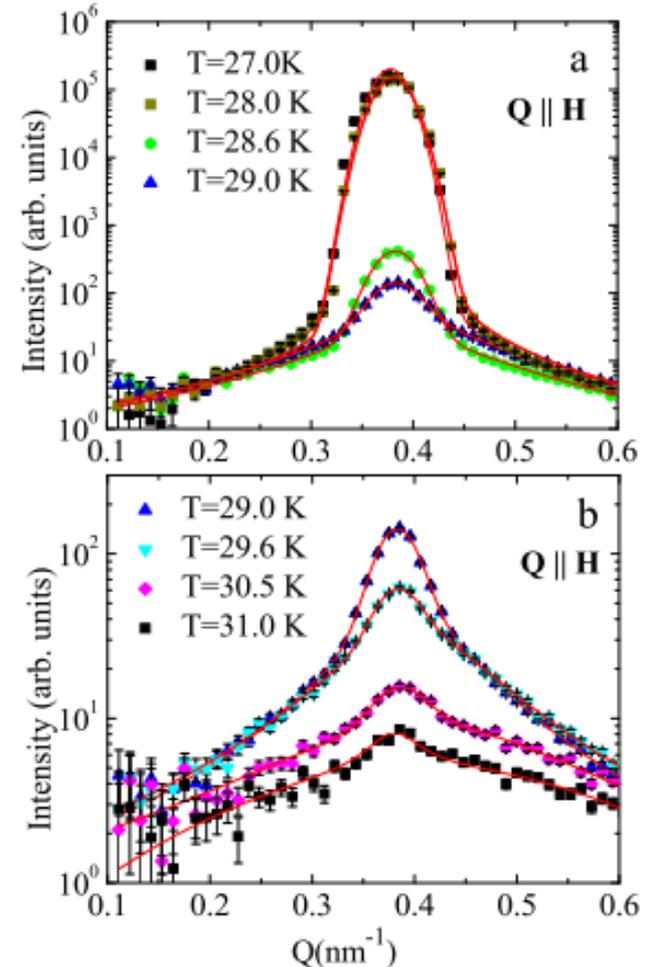


# Соотношение между критическими флуктуациями и структурой А-фазы: Q-зависимость интенсивности

$Q \parallel B$

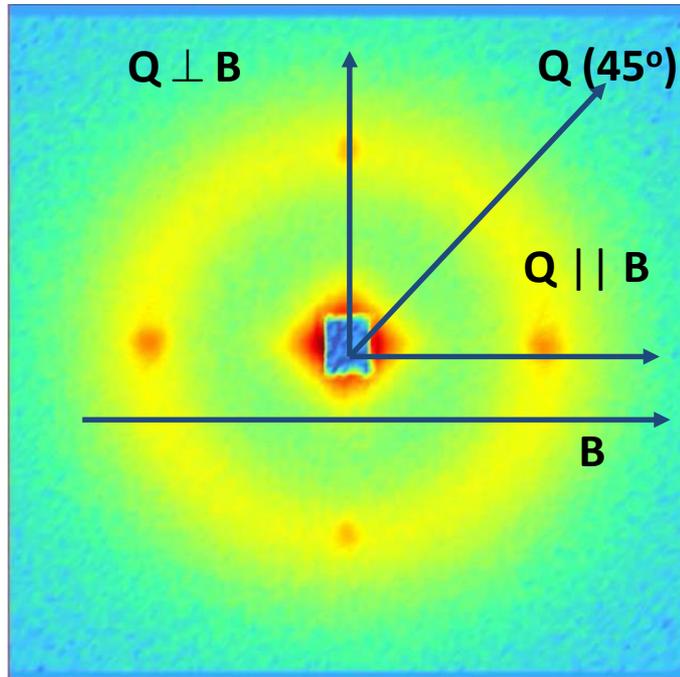


Q-зависимость интенсивности рассеяния для ориентации  $Q \parallel H$  (a) при  $T < T_C$  и (b)  $T_C < T$  в  $B = 0,16$  Т.

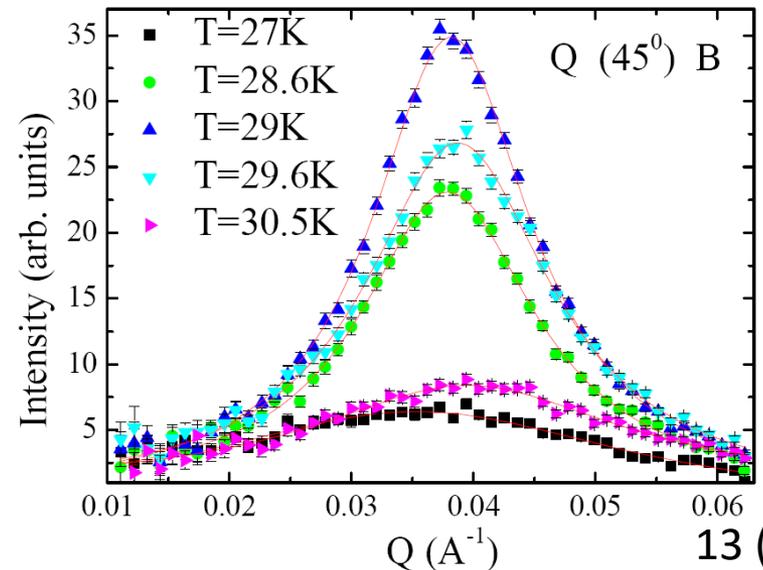
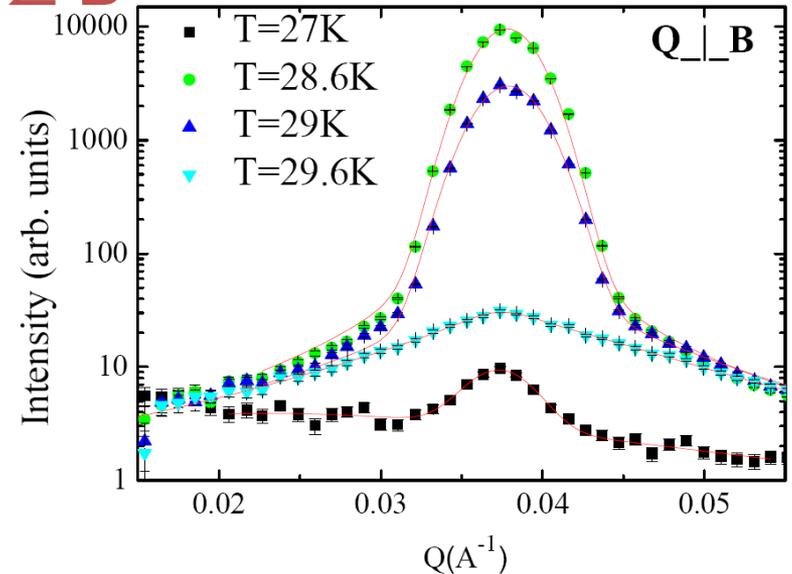


# Соотношение между критическими флуктуациями и структурой А-фазы: Q-зависимость интенсивности

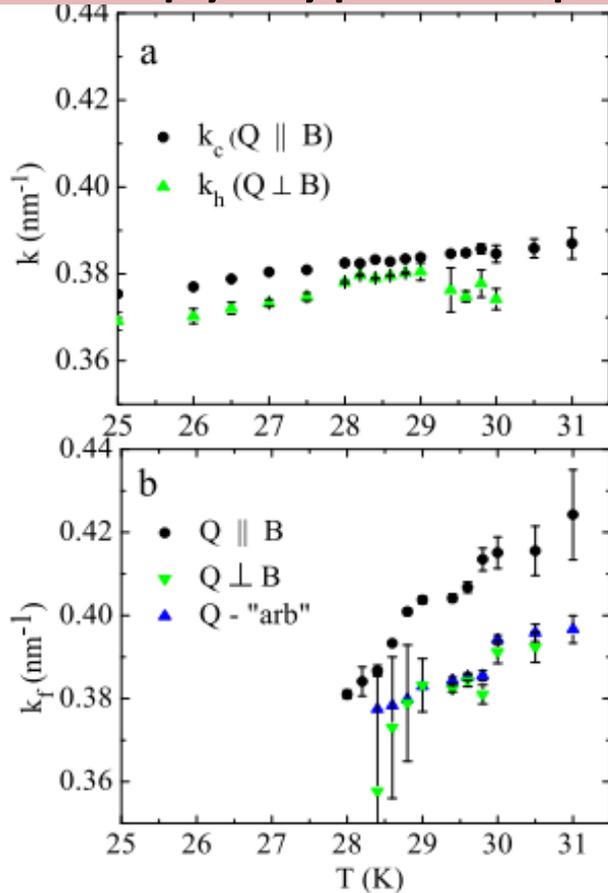
$Q \perp B, Q \angle B$



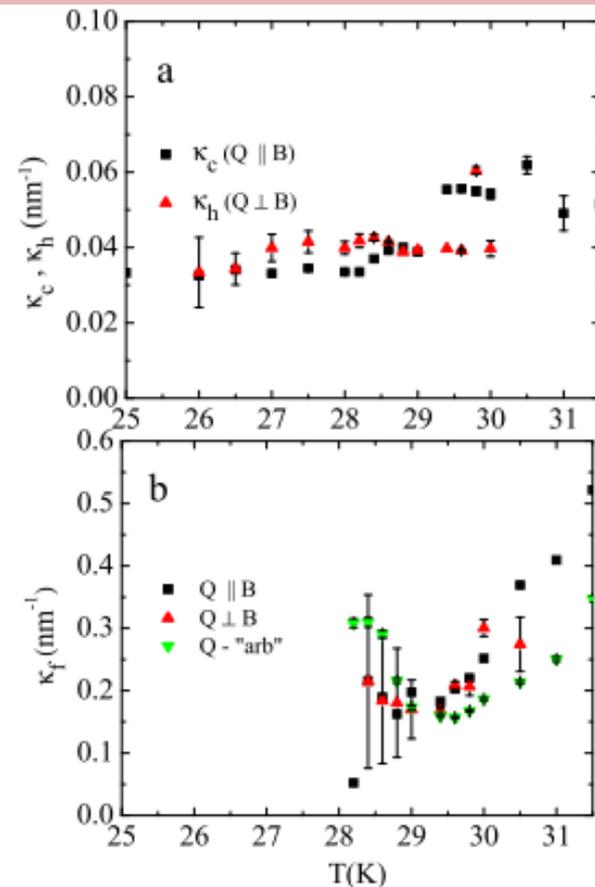
Q-зависимость интенсивности рассеяния для ориентации  $Q \perp H$  и для случайной ориентации  $Q$  (наклон в  $45^\circ$  по направлению к полю) в  $B_{int} = 0,16$  Т.



# Соотношение между критическими флуктуациями и структурой А-фазы: Т-зависимость положения $k$ и $\kappa$

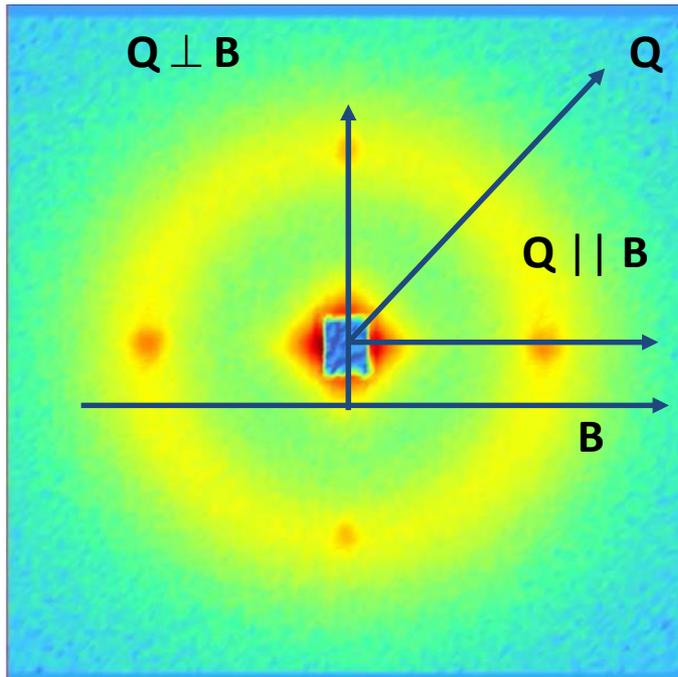


Температурная зависимость положения центра пика (а) для конической структуры ( $Q \parallel H$ ) и скирмионной решётки ( $Q \perp H$ ) и (b) для критических флуктуаций при ( $Q \parallel H$ ), при ( $Q \perp H$ ), и «среднего» направления  $Q$  ( $Q$  наклонено под  $45^\circ$  к  $H$ ).

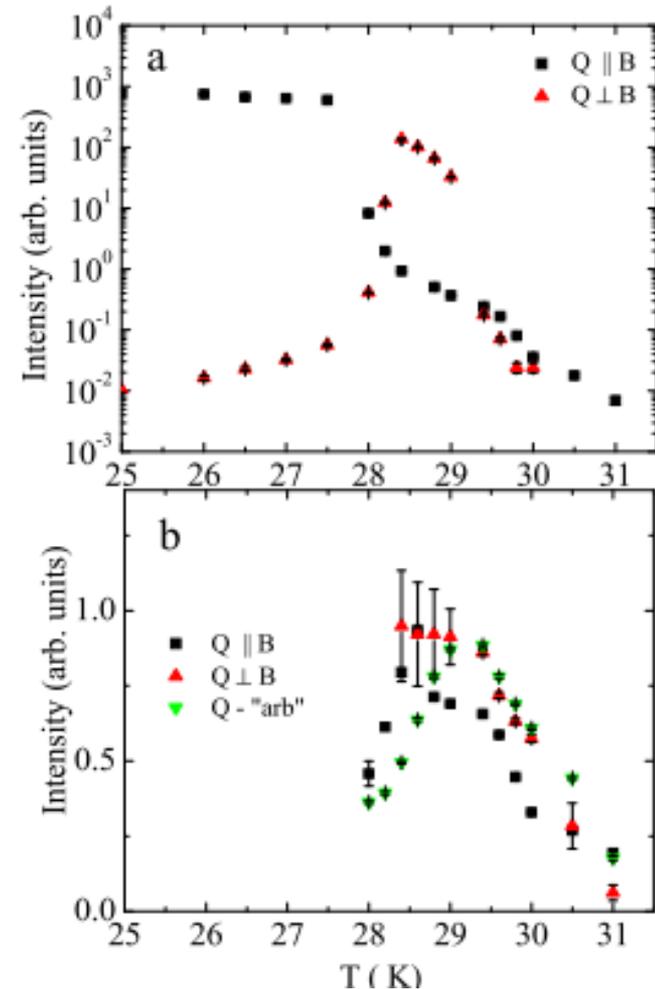


Температурная зависимость ширины пика (а) для конической структуры ( $Q \parallel H$ ) и скирмионной решётки ( $Q \perp H$ ) и (b) для критических флуктуаций при ( $Q \parallel H$ ), при ( $Q \perp H$ ), и «среднего» направления  $Q$  ( $Q$  наклонено под  $45^\circ$  к  $H$ ).

# Соотношение между критическими флуктуациями и структурой А-фазы: Т-зависимость интенсивности



Температурная зависимость интенсивности пика (а) для конической структуры ( $Q || H$ ) и скирмионной решётки ( $Q \perp H$ ) и (б) для критических флуктуаций при ( $Q || H$ ), при ( $Q \perp H$ ), и «среднего» направления  $Q$  ( $Q$  наклонено под  $45^\circ$  к  $H$ ).



# Заключение



- Спиновые флуктуации не связаны со структурой скирмионной решётки.
- Скирмионная решётка – это двумерно модулированная гексагональная спиновая структура, которая похожа на одномерно модулированную спиновую структуру спинового конуса.
- Скирмионная решётка имеет более низкую энергию, чем коническая структура при температурах чуть выше  $T_C$ .
- Существование скирмионной решетки выше  $T_C$  коррелирует с наличием киральных флуктуаций спирали с корреляционной длиной  $\xi$  вдвое превышающих один шаг спирали  $d_s$ . Флуктуации превышающие один шаг спирали коррелируют с появлением конической фазы. Флуктуации, короче чем  $d$  имеют ферромагнитную природу.
- Показано, что коническая фаза является более стабильной в отношении критических флуктуаций, чем скирмионная решётка, что напрямую связано с различной геометрией двух структур.

The image features a festive Christmas-themed background. On the left side, there are three large, ornate gold Christmas ornaments hanging from a string. The ornaments are decorated with intricate patterns, including snowflakes and swirls. The background is filled with green pine branches, gold stars, and a soft, glowing light. The text "Спасибо за внимание!" is written in a black, cursive font in the center of the image.

*Спасибо за внимание!*