

# Чему нас учит MnSi

С.В.Малеев

ПИЯФ

MnSi первая подробно изученная магнитная  
система без центра инверсии

## ОТСУТСТВИЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

В настоящее время такие системы  
вызывают все больший интерес

Примеры: : Мультиферроики

Магнитные монослойки

Во а всех этих случаях новая физика  
возникает благодаря взаимодействию

Дзялошинского –Мория (ДМВ)

В оптике нецентро-симметричные кристаллы (сахар, кварц и т.д.) хорошо изучены (двойное лучепреломление)

А ЧТО В МАГНЕТИКАХ?

MnSi дает нам указания.

В центро-симметричных кристаллах ДМВ приводит к слабому ферро или антиферромагнетизму.

Структура остается соизмеримой

В нецентро-симметричных кристаллах ДМИ приводит к несоизмеримой магнитной спирали с периодом  $d = 2\pi / k \sim J / D$  большим по сравнению с периодом решетки

$J$  обмен,  $D$  ДМИ  
 $k$  волновой вектор спирали

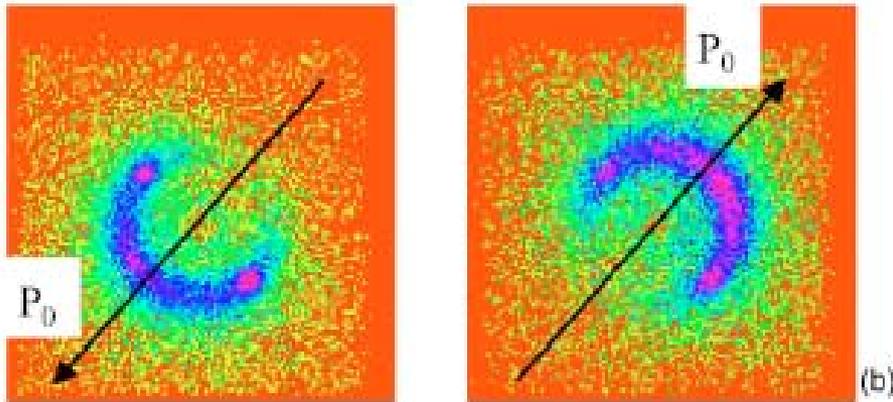
Для антиферромагнетиков  $k \rightarrow k + k_{AF}$

Магнито-стрикция модулирует решетку  $k_L = 2k$

# КРИТИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ

Обычно критические флуктуации в направлении  
будущего Брэгга

Зависят от поляризации нейтронов



$$I \sim 1 + (\mathbf{P} \cdot \mathbf{Q})/Q$$

среднего поля

Тоже должно быть и в мультиферроиках

НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ,

$$H = -(1/2) \sum J_{R,R'} S_R \cdot S_{R'} + \sum (D_{R,R'} \cdot [S_R \times S_{R'}]) + H \sum S_R, \quad D_{R,R'} = -D_{R',R},$$

Спираль дает минимум энергии

$$S_R = S(\hat{a} \cos kR$$

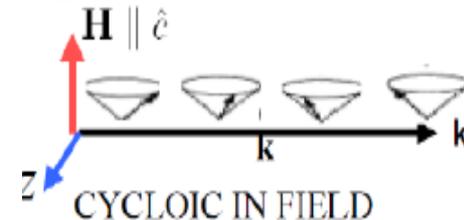
$$\hat{a} \perp \hat{b} \perp \hat{c}$$



MnSi

$$\alpha + S\hat{c} \sin \alpha$$

$$\parallel / H_c$$



Монослой,  
Мультиферроики

Классическая энергия зависит  
только от поля вдоль  $\hat{c}$

# ПЕРЕБРОСЫ

Малые колебания (спиновые волны) вокруг спинали

Спиновые волны в обычных магнетиках

$$H_2 = \sum [E_q a_q^+ a_q + B_q (a_q a_{-q} + a_{-q}^+ a_q^+)/2]$$

$$\epsilon_q = \sqrt{F_q^2 - B_q^2} \rightarrow Aq\sqrt{k^2 + q^2} \rightarrow Akq \ll k$$

ДМВ смешивает возбуждения с  $\mathbf{q}$  и  $\mathbf{q} \pm \mathbf{k}$

$$H_{U2} = iS \sum [(\mathbf{D}_q \cdot \mathbf{A})(-a_{q+k}^+ a_q - a_q^+ a_{q-k} + a_q a_{-q-k} + a_q^+ a_{-q+k}^+) + H.C.]$$

$$\mathbf{A} = (\hat{a} - i\hat{b})/2$$

Следствиеб Серия ветвей спектра

$$\epsilon(\mathbf{q} \pm n\mathbf{k}); \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$n = 0; \quad q \ll k \quad \epsilon_q = Ak \sqrt{q_{\parallel}^2 + 3q_{\perp}^4/8k^2}$$

$q_{\parallel}$ ;  $q_{\perp}$  Компоненты вдоль и поперек  $\mathbf{k}$

Без перебросов  $\epsilon_q = Aqk$

Это верно для MnSi и пленок.

Мультиферроики???

# МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Классическая энергия зависит только от  
поля вдоль  $\hat{C}$

Взаимодействие с перпендикулярным полем-  
квантовый эффект

$$V_{\perp} = (\mathbf{H} \cdot \mathbf{A}) \left[ \sqrt{S/2} (a_{-\mathbf{k}} - a_{\mathbf{k}}^{\dagger}) - \sum_{\mathbf{q}} a_{\mathbf{q}-\mathbf{k}}^{\dagger} a_{\mathbf{q}} \right] + h.c. :$$

Перое слагаемое-Бозе-конденсация.

Второе -опять перебросы

Конденсация  $E_{M0} = -\frac{SH_{\parallel}^2}{2H_C} - \frac{SH_{\perp}^2}{4H_C}.$

Перебросы  $\epsilon_q = \sqrt{(Ak)^2(q_{\parallel}^2 + 3q_{\perp}^4/8k^2) + \Delta^2 - 3H_{\perp}^2/8},$



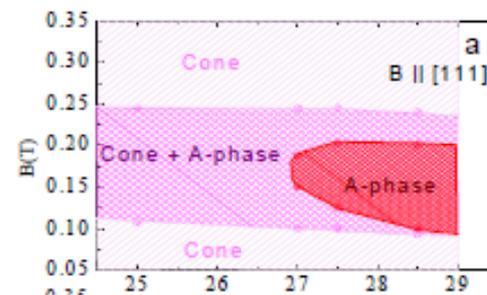
щель. Результат взаимодействия  
СПИНОВЫХ ВОЛН

- Следствия:
1. Анизотропия спектра.
  2. Стягчение:  $q_{|\perp}^2 \rightarrow q_{\perp}^4.$
  3. Спектр неустойчив, если

$$H_{\perp} > H_{A2} = \Delta\sqrt{8/3}.$$

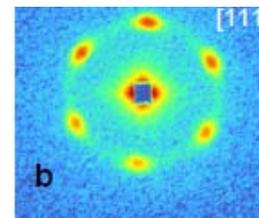
# A-ФАЗА

Неожиданный поворот оси спирали  
к перпендикулярно полю чуть ниже  
и обратный поворот с ростом поля



Гексагональная структура  
Бреэговских пиков в А-фазе.

СКИРМИОНЫ???



Верхняя граница А-фазы:  $H_{A2} = \Delta\sqrt{8/3}$

Нижняя граница-результат взаимодействия  
СПИНОВЫХ ВОЛН

$$E_M = -\frac{SH_{\parallel}^2}{2H_C} - \frac{SH_{\perp}^2}{4H_C} \left(1 - \frac{4H_C E_d}{SH_{A2}^2}\right)$$

Инфракрасные расходимости при

$$H_{A2} - H_{\perp} \rightarrow 0.$$

Полу количественное объяснение

Структура А-фазы???

# ЯВЛЕНИЯ ИЗУЧЕННЫЕ В В20 СПИРАЛЬНЫХ МАГНЕТИКАХ АНАЛОГИЧНЫ ТПМ, КОТОРЫЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ В ДРУГИХ СИСТЕМАХ БЕЗ ЦЕНТРА ИНВЕРСИИ

Критические флуктуации

Перебросы и аномальный  
спектр спиновых волн

Сложная зависимость от  
магнитного поля, связанная с  
квантовыми эффектами.

**Граф Григорий  
Григорьевич Орлов  
хозяин Орловой  
Рожи**

