

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

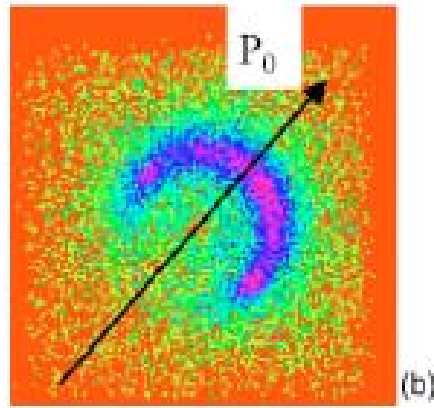
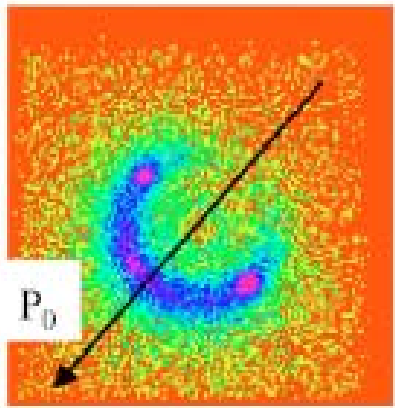
Для антиферромагнетиков $k \rightarrow k + k_{AF}$

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

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

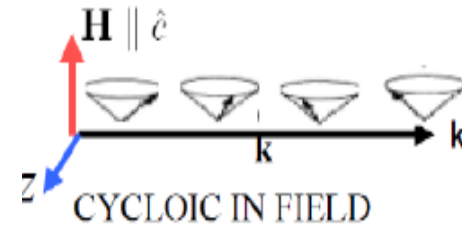
$$\hat{a} \perp \hat{b} \perp \hat{c}$$



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



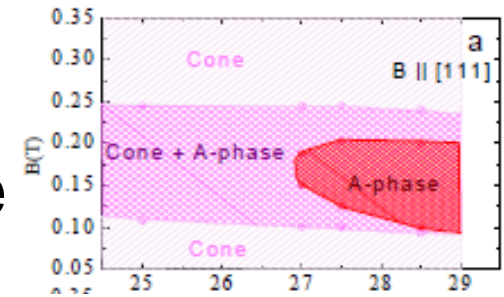
щель. Результат взаимодействия
СПИНОВЫХ ВОЛН

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

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

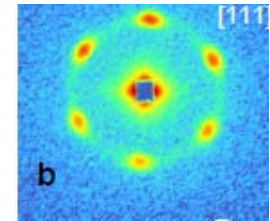
A-ФАЗА

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**

