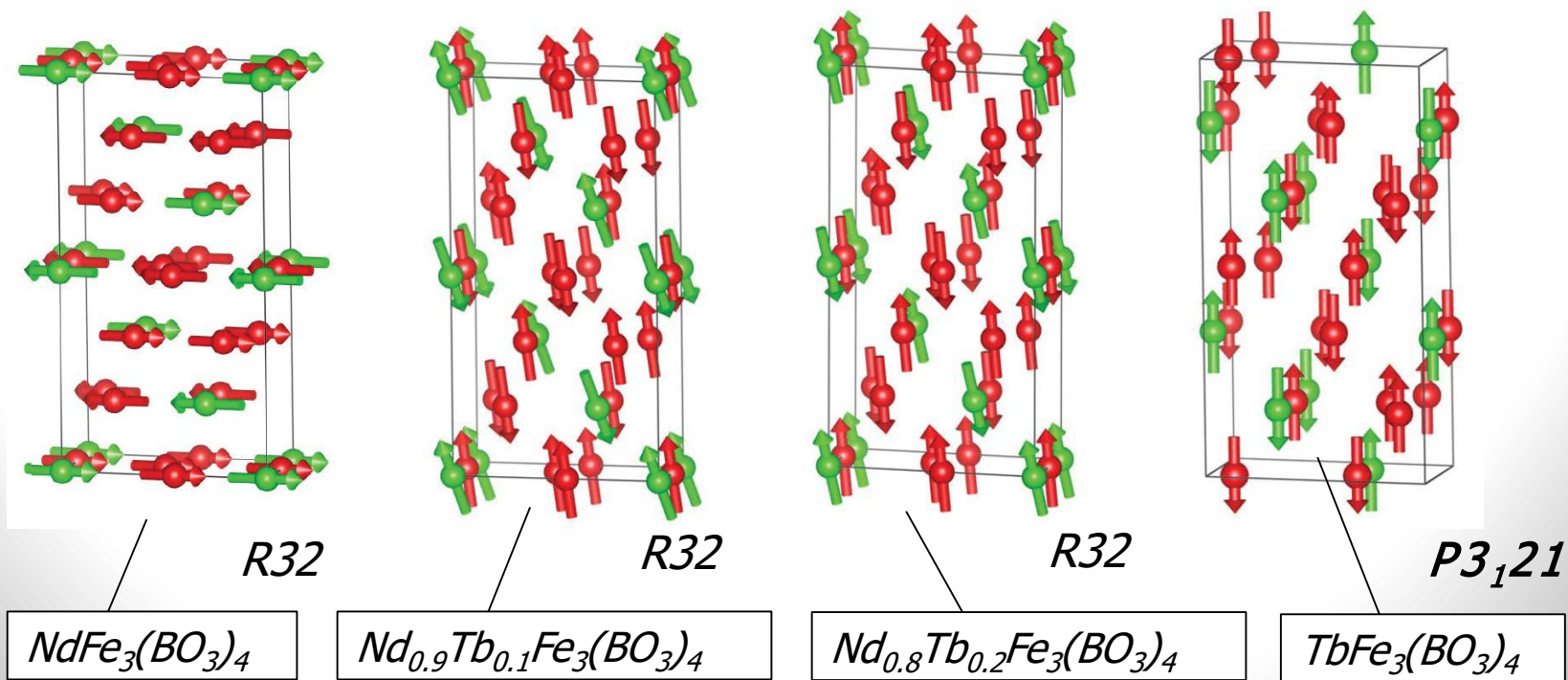




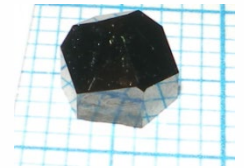
Асимметрия формы магنونной линии в ферроборатах. Артефакт или физика?

Голосовский И. В., Аристов Д. Н. (ПИЯФ)

- Мы исследовали систему замещенных ферроборатов-мультиферроиков $(Nd, Tb)Fe_3(BO_3)_4$ методом неупругого рассеяния нейтронов*).
- Эти соединения кристаллизуются в нецентросимметричной группе группы $R32$ or $P3_121$ и интересны как мультиферроики с большой магнито-электрической связью.



*) I. V. Golosovsky A. A. Mukhin, V. Skumryev, M. Boehm, W. Schmidt, L.-P. Regnault, I. A. Gudim, "Magnetic excitations and exchange interactions in the substituted multiferroics $(Nd, Tb)Fe_3(BO_3)_4$ revealed by inelastic neutron scattering", PRB, **103**, 214412, 2021.



- Измерения были выполнены на трехосных спектрометрах *ThALES* and *IN12* в *ILL* для двух направлений.

NdFe₃(BO₃)₄ *) и *Nd_{0.9}Tb_{0.1}Fe₃(BO₃)₄* (*ThALES*) вдоль $[\xi 0 1.5]$, сканирование при постоянной энергии (*constant-E scans*) до 5 meV . Разрешение ~ 0.13 meV.

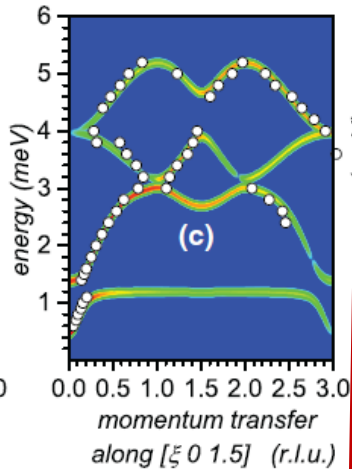
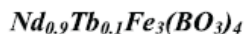
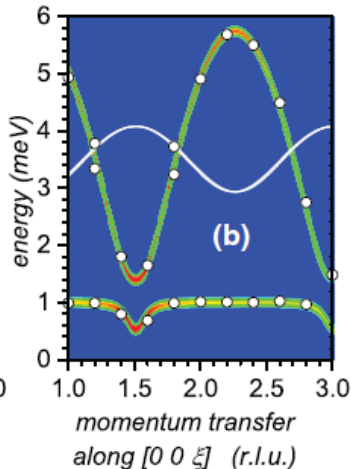
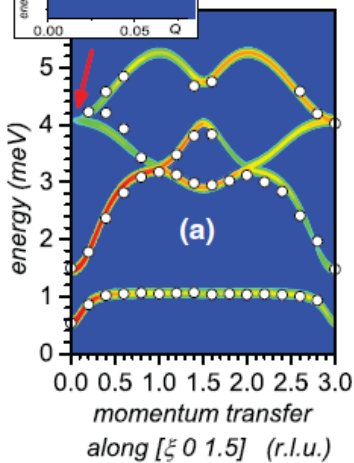
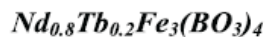
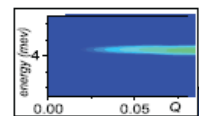
Nd_{0.8}Tb_{0.2}Fe₃(BO₃)₄ (*IN12*) вдоль направлений $[\xi 0 1.5]$ and $[0 0 \xi]$, сканирование при постоянном переданном импульсе (*constant-Q scans*) along the directions.

TbFe₃(BO₃)₄ (*IN12*), $T = 1.5$ K, вдоль направлений $[\xi 0 0.5]$ and $[2 0 \xi]$, сканирование при постоянном переданном импульсе (*constant-Q scans*). Разрешение ~ 0.08 meV.

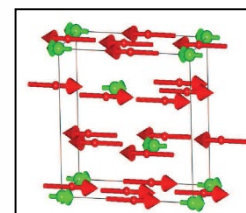
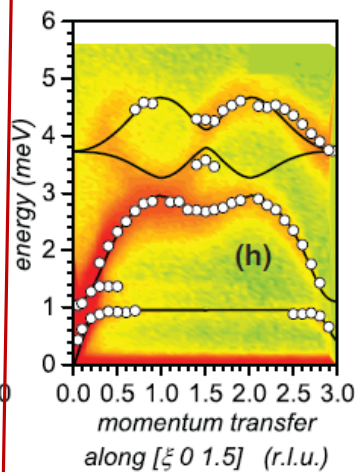
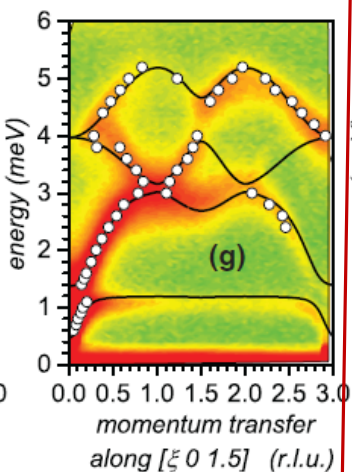
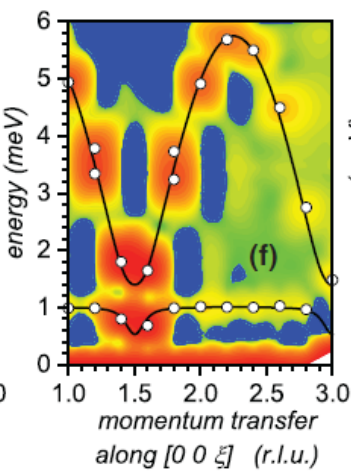
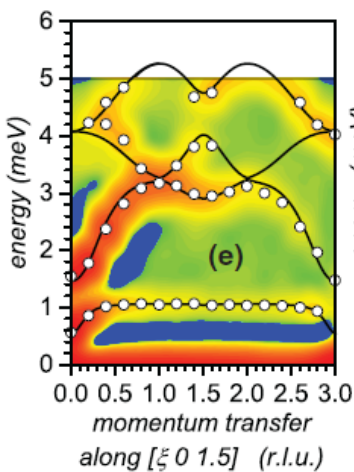
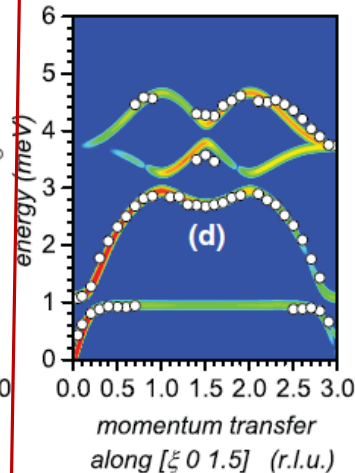
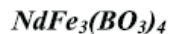
*) I. V. Golosovsky et al., *JMMM*, 451, 443, 2018.

Спектры были анализированы в рамках линейной модели спиновых волн с помощью стандартной программы SpinW. SG R32

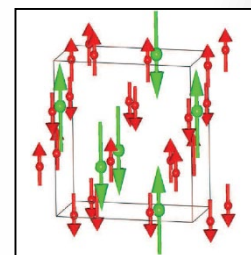
"Easy-axis"



"Easy-plane"

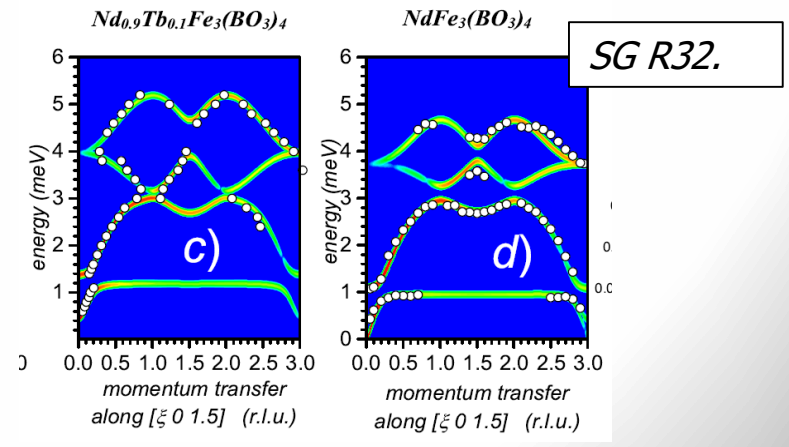
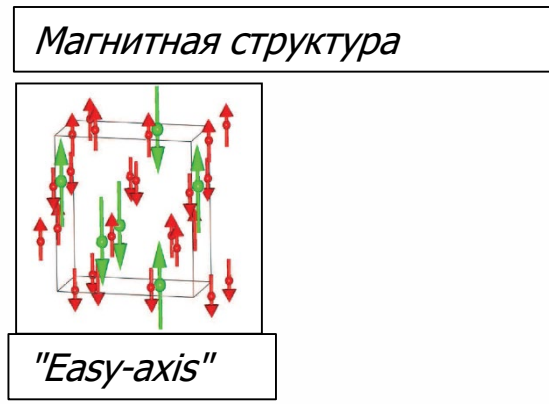
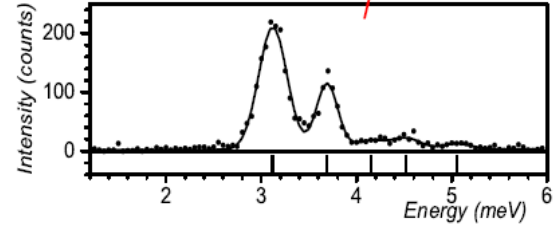
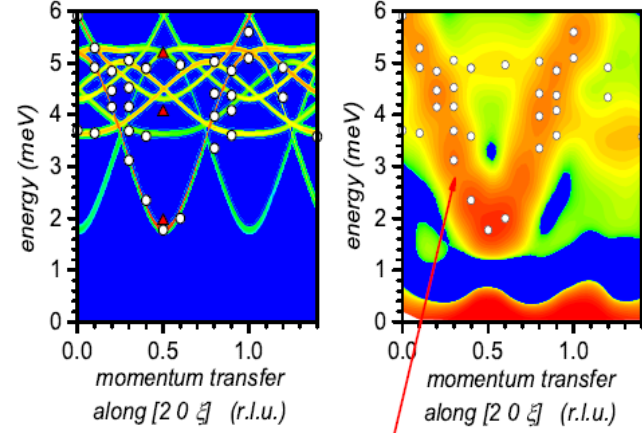
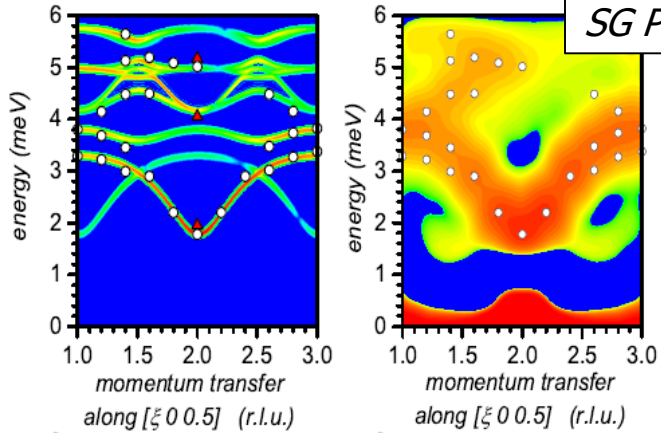


"Easy-plane"



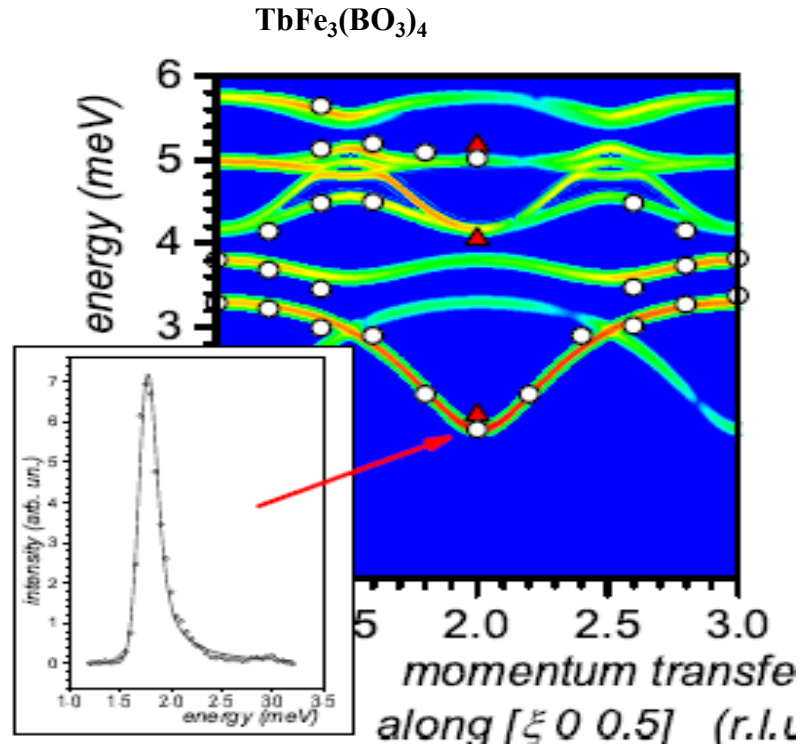
"Easy-axis"

Спектры для соединения $TbFe_3(BO_3)_4$, SG P3₁21.

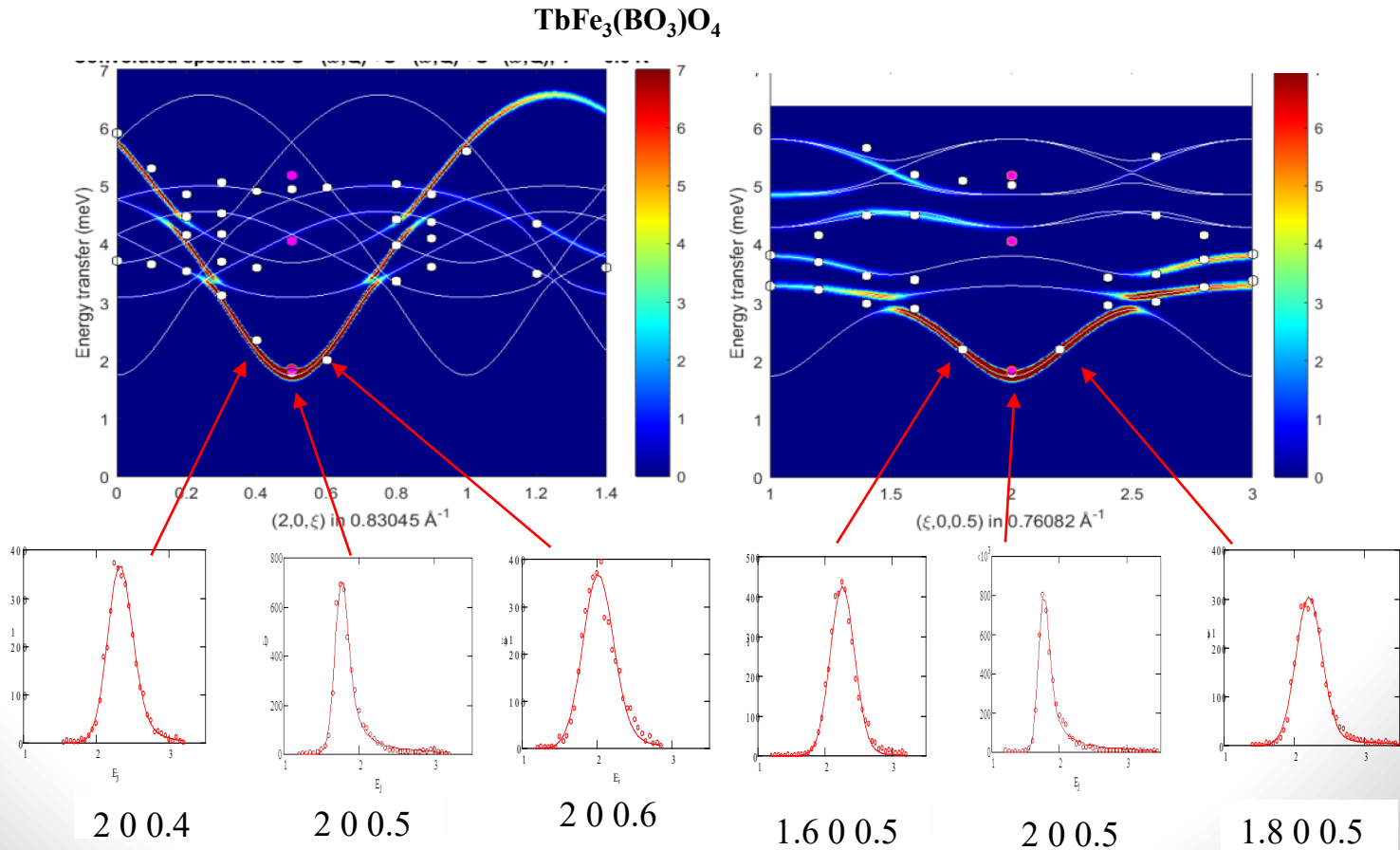


Спин-волновая дисперсия в составах $Nd_{1-x}Tb_xFe_3(BO_3)_4$ и $TbFe_3(BO_3)_4$ с одинаковой магнитной структурой, но разной кристаллической структурой, сильно отличается.

Наблюдаемый профиль магنونной линии оказался сильно асимметричным. Почему?

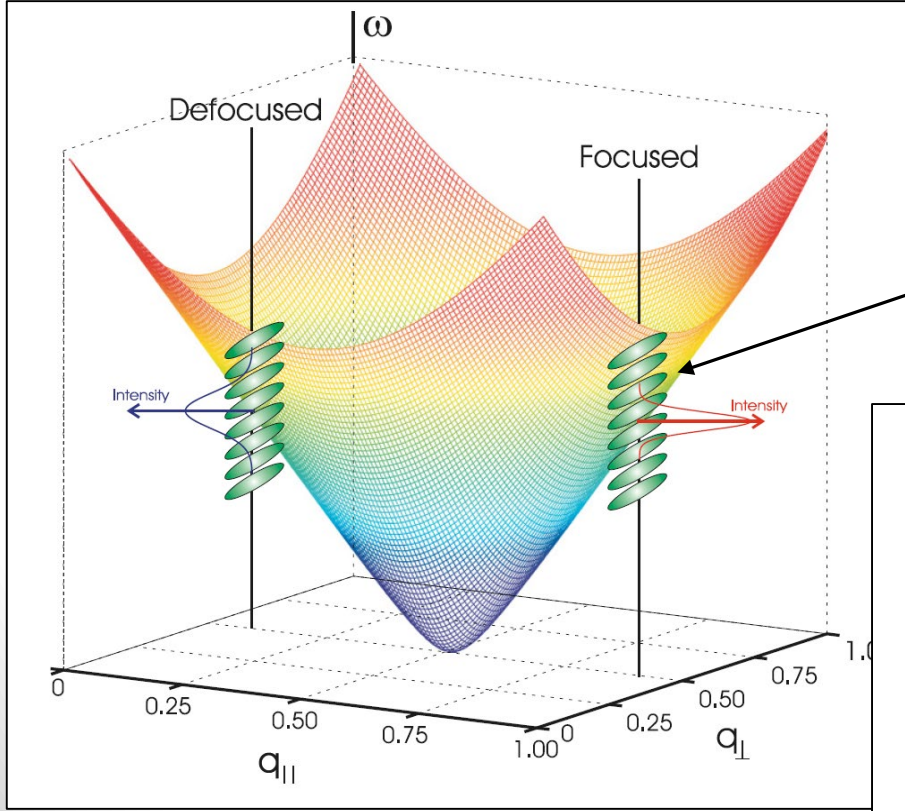


Форма магнойной линии в разных точках зоны Бриллюэна для $TbFe_3(BO_3)O_4$.



Асимметричная форма линии с "затянутым" правым "хвостом" отчетливо видна вблизи центра зоны. Асимметрия тем больше, чем ближе к центру.

Разрешение, фокусирующая и дефокусирующая позиции.



Форма линии определяется ориентацией и размерами эллипсоида разрешения и как этот эллипсоид пересекает дисперсионную поверхность.

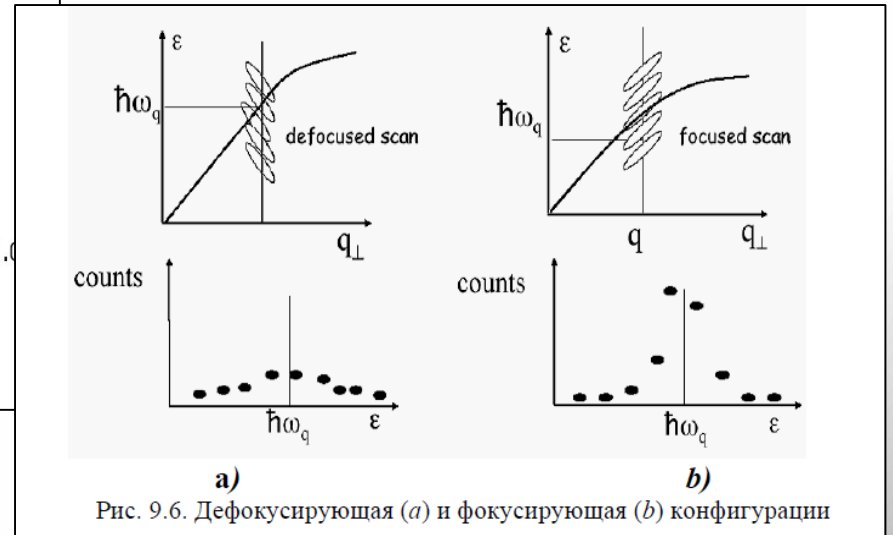
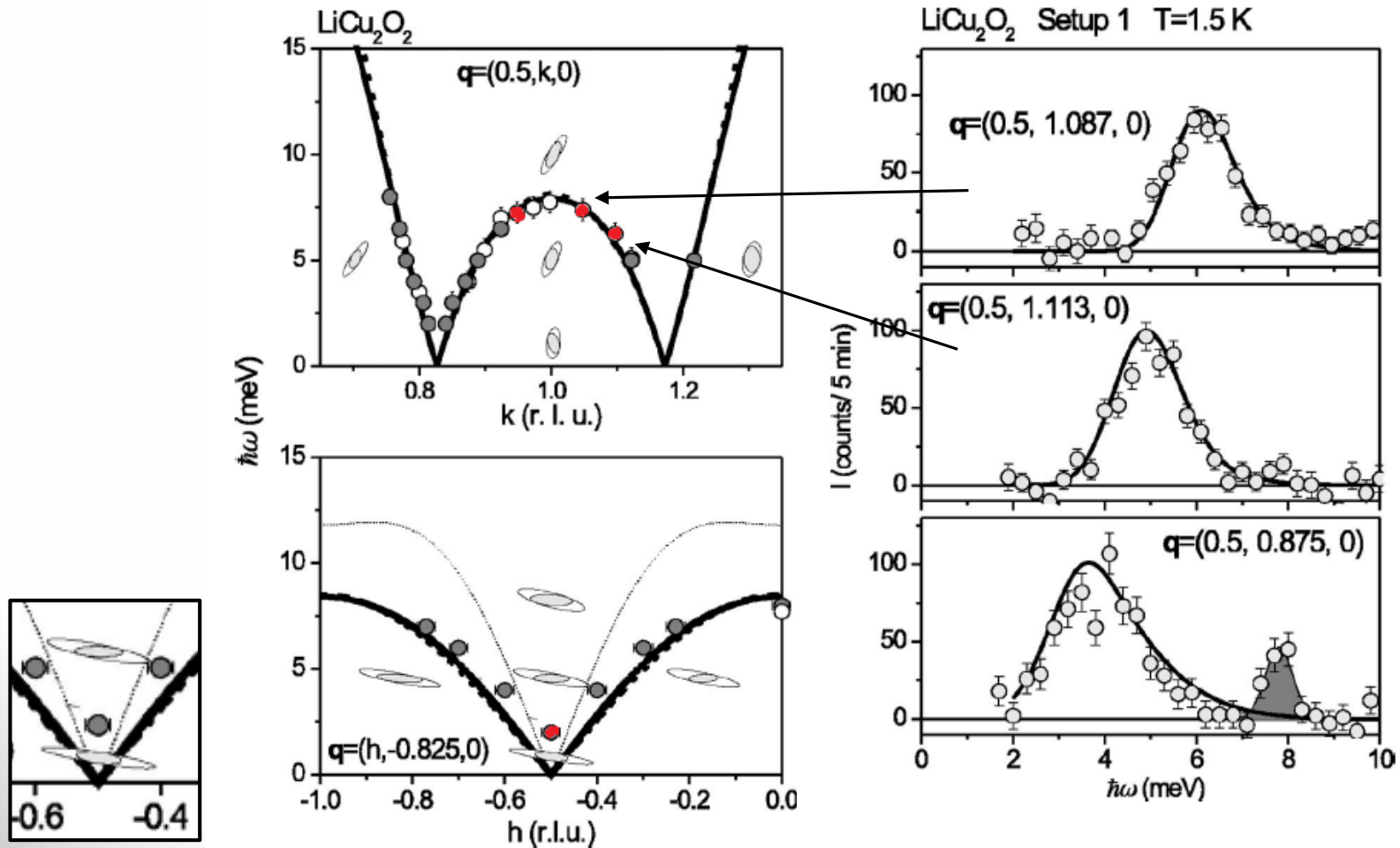


Рис. 9.6. Дефокусирующая (a) и фокусирующая (b) конфигурации

Обычно линия имеет гауссову (или лоренцову) форму. Однако, возможно, что при пересечении форма линии становится асимметричной. Такое характерно для спектрометров с фокусирующими кристаллами-анализаторами. Возможны и другие специфические случаи.

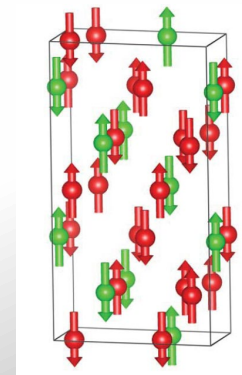
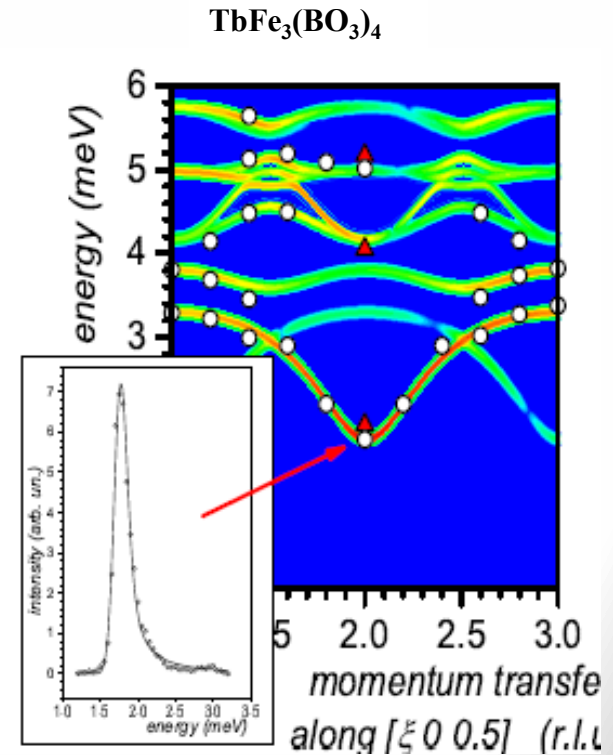


Асимметричная линия при пересечении (E-скан) двух ветвей вблизи центра зоны.

Асимметрию линии обычно объясняют континуумом спиновых возбуждений («спионных возбуждений»), которые доминируют вокруг центра зоны в одномерной магнитной структуре.

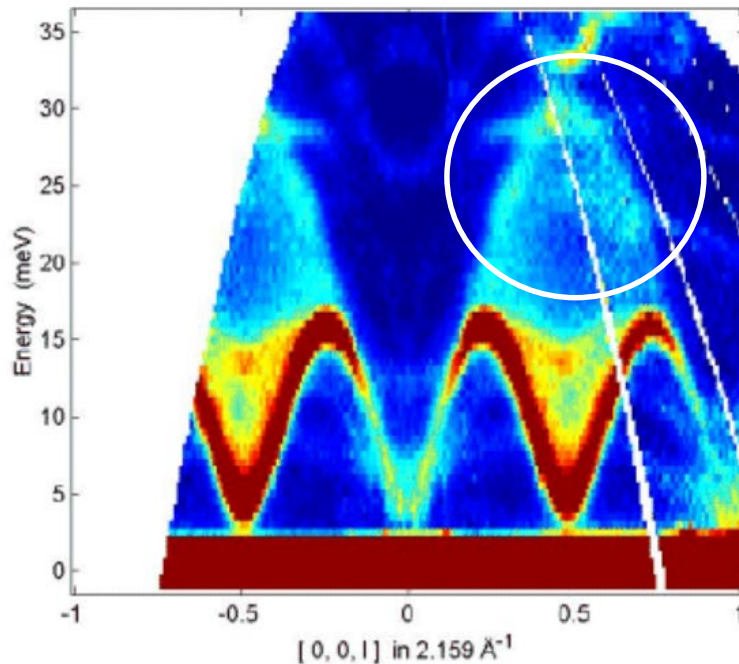
В наших случаях взаимодействие антиферромагнитных моментов вдоль цепочек всего в четыре раза сильнее, чем в перпендикулярном направлении, поэтому исследуемую магнитную структуру трудно считать квази-одномерной.

Более того, мы не наблюдали следов диффузного рассеяния, ожидаемого для континуума спиновых возбуждений, хотя возможно этот континуум выше по энергии.



Возбуждения в одномерном антиферромагнетике с $S = 1/2$

Instrument: MAPS (ISIS)



CuGeO_3

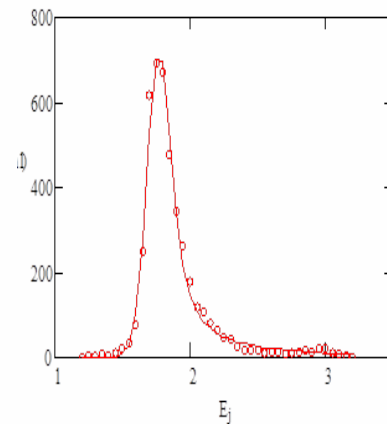
для квази-одномерного гайзенберговского антиферромагнетика со спином 1/2 возбуждениями являются не спиновые волны, а спионы, которые являются фермионами и следовательно, рождаются только парами. Это верно только для полуцелых спинов. Если спины целые, то возбуждениями являются моды типа спиновых волн с Haldane' целью.

Для расчетов асимметрии линии использовали формулу Mikeska*)

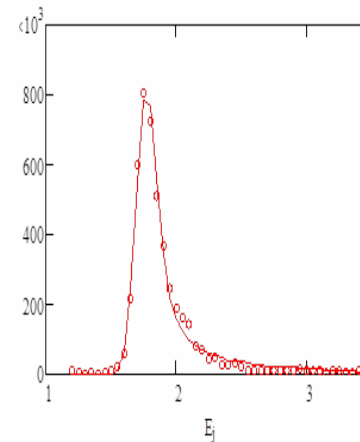
$$I(\omega) \propto \frac{1}{(\omega^2 - \omega_0^2)^\alpha} \cdot \theta(\omega - \omega_0)$$

Здесь $\theta(\omega - \omega_0)$ — ступенчатая функция Хэвисайда, ω — энергия, а ω_0 — положение магнона. α — коэффициент, связанный с эффективным спином S , а именно:

$$\alpha = 1 - 1/\pi\sqrt{S(S + 1)}$$



[2 0 ξ]



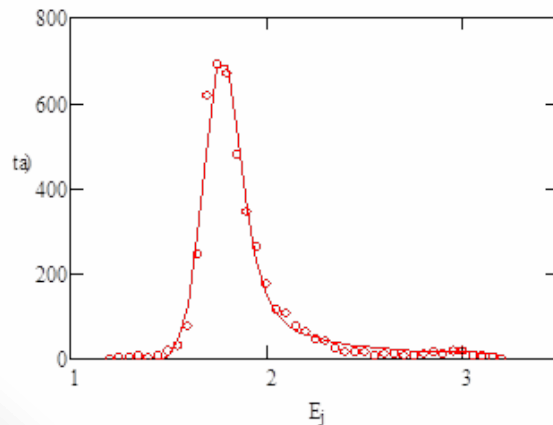
[ξ 0 0.5]

Экспериментальный профиль свернут с разрешением спектрометра IN12.

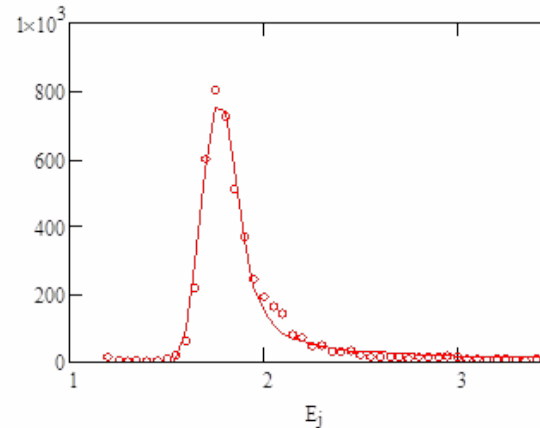
Существует альтернативный подход, предложенный Д. Н. Аристовым. В этой модели, связанной с релаксацией магнонов, предлагается использовать следующую формулу для формы линии.

$$I(\omega) = \frac{\Gamma + (\omega - \omega_0)\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma + (\omega - \omega_0)\gamma)^2}$$

Здесь Γ и γ — некоторые параметры, ω_0 — энергия магнонов. Соответствующий расчет с учетом разрешения спектрометра показывает, что такое простое приближение работает очень хорошо.



2 0 0.5 along h



2 0 0.5 along l

1. *Форма линии может дать интересную физическую информацию.*
2. *Для этого необходимо знать функцию разрешения. Можно рассчитать, но лучше измерить на стандартном образце.*

Спасибо за внимание