

XIV Школа – конференция молодых ученых
«Проблемы физики твердого тела и высоких давлений»
Сочи, 11-20 сентября 2015 г.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ
ПЕРЕХОДОВ В $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$



Д.А. Ерофеев^{1,2}, Е.П. Чукалина¹, М.Н. Попова¹

¹Институт спектроскопии Российской Академии Наук, Троицк, Москва

²Московский Физико-Технический Институт, Долгопрудный

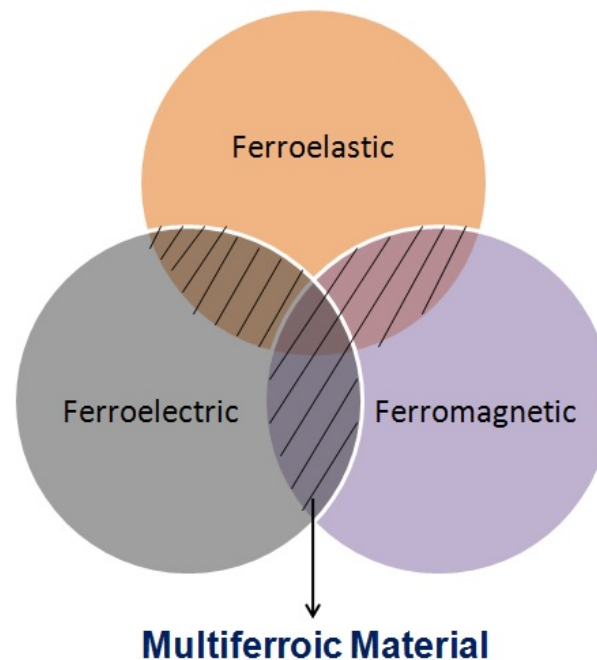


Редкоземельные ферробораты: $RFe_3(BO_3)_4$, $R = (Y, La-Lu)$

Мультиферроики

Применение в *спинтронике*:

- Энергонезависимость (M)
- Быстродействие (Э)



$R = Ho^{3+}$: 3 типа фазовых переходов:

1. Структурный, с понижением симметрии кристалла
2. Антиферромагнитное упорядочение
3. Спин-переориентационный фазовый переход

Поэтапное изучение $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$:

- Регистрация спектров высокого разрешения в области $f-f$ переходов в монокристалле $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$
- Изучение их изменения при фазовых переходах
- Регистрация инфракрасного колебательного спектра поглощения $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$

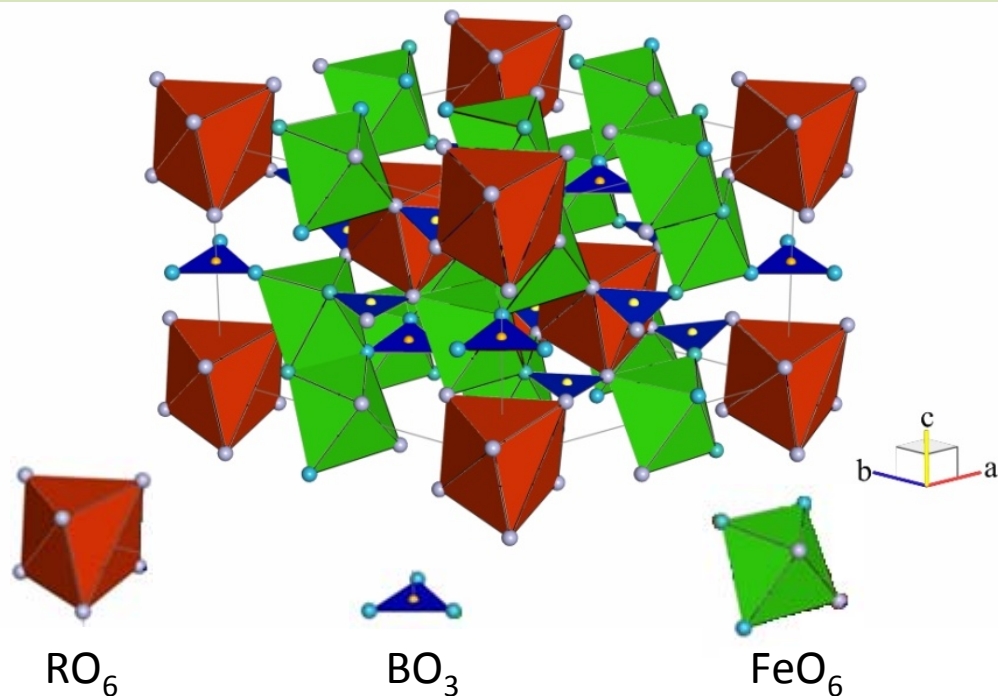


Исчерпывающее спектроскопическое исследование фазовых переходов

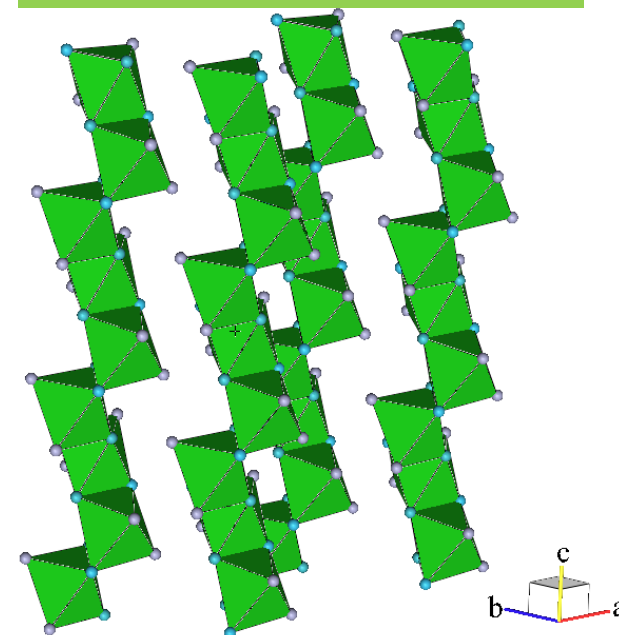


Понимание природы магнитных и магнитоэлектрических явлений

Кристаллическая структура $RFe_3(BO_3)_4$ ($R = Y, La - Lu$)

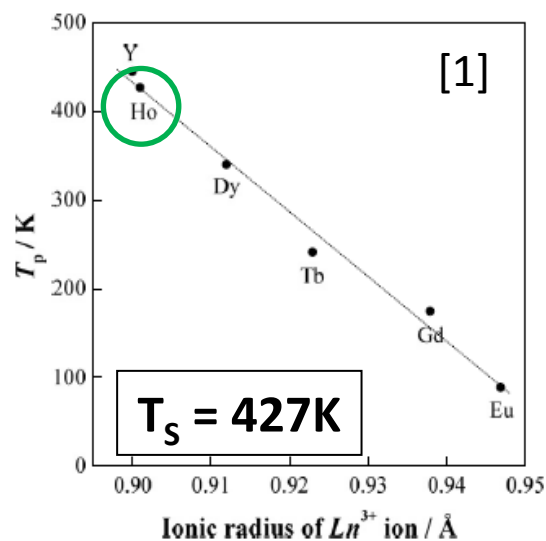


Цепочки октаэдров FeO₆



[J. Appl. Cryst. 1 (1968) 318]

Структурный фазовый переход



$HoFe_3(BO_3)_4$ [2]	$T > T_S = 366K$	$T < T_S = 366K$
Пространственная группа симметрии	R32	P3₁21
R^{3+} : Точечная группа симметрии	D₃	C₂

[1] J. Solid State Chemistry, 172, 438-455. (2003)

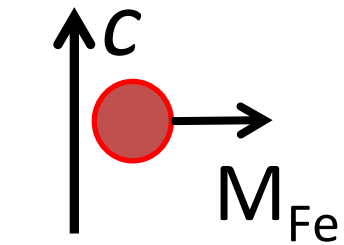
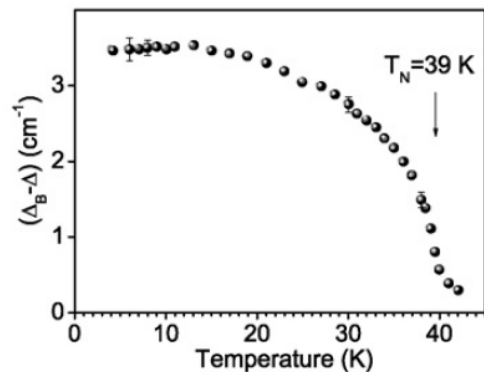
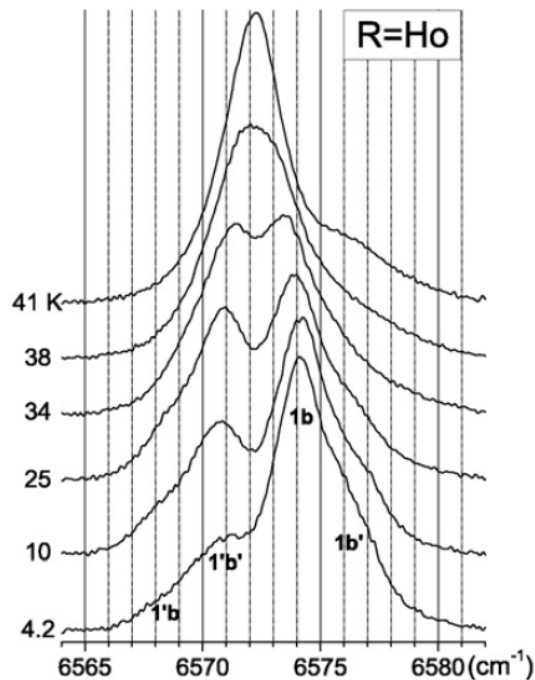
[2] ЖЭТФ, Т. 144, № 6 (12), С. 1174. (2013)

Магнитные процессы в $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$

[Physics Letters A 368 (2007) 408-411]

[J. Phys.: Condens. Matter 20 (2008) 365209 (9pp)]

$\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4 + 1\% \text{Er}^{3+}$:



$$T_N = 39 \text{ K}$$

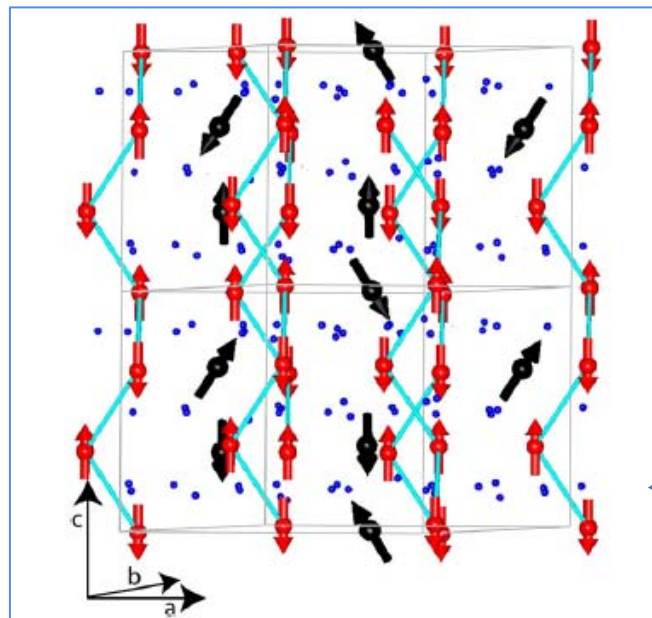


Figure 8. Magnetic structure of $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ at 2 K. Fe spins in red (grey) and Ho spins in black. The position of the oxygen atoms is represented by small blue (black) spheres.

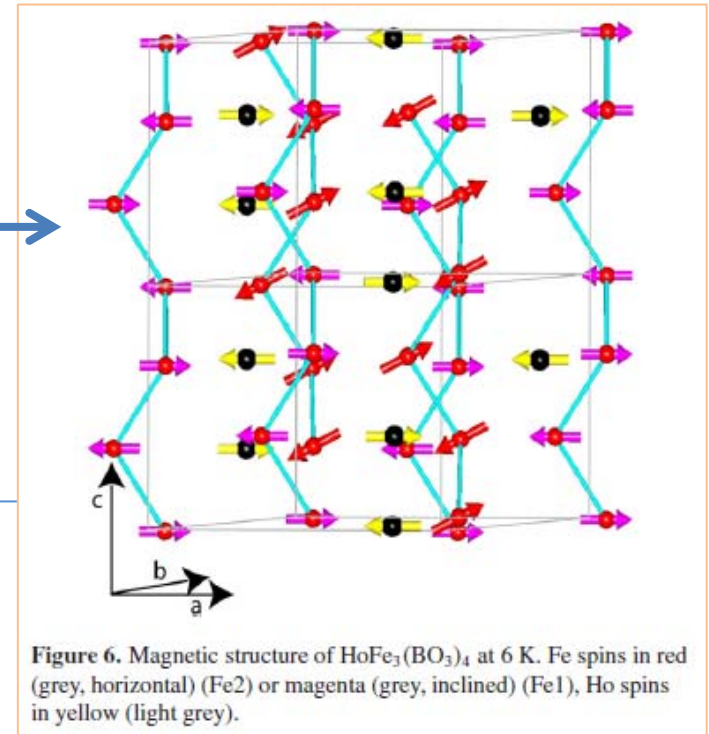
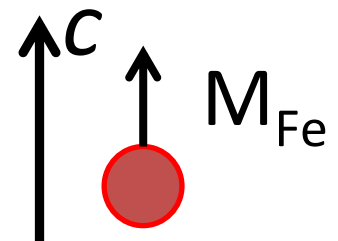
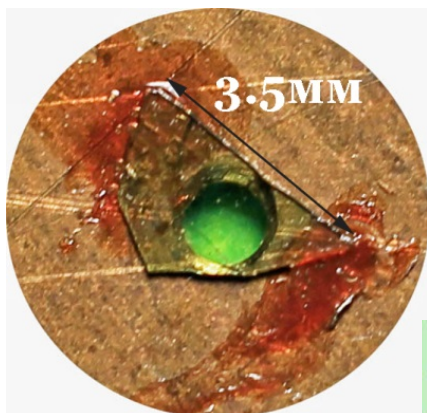


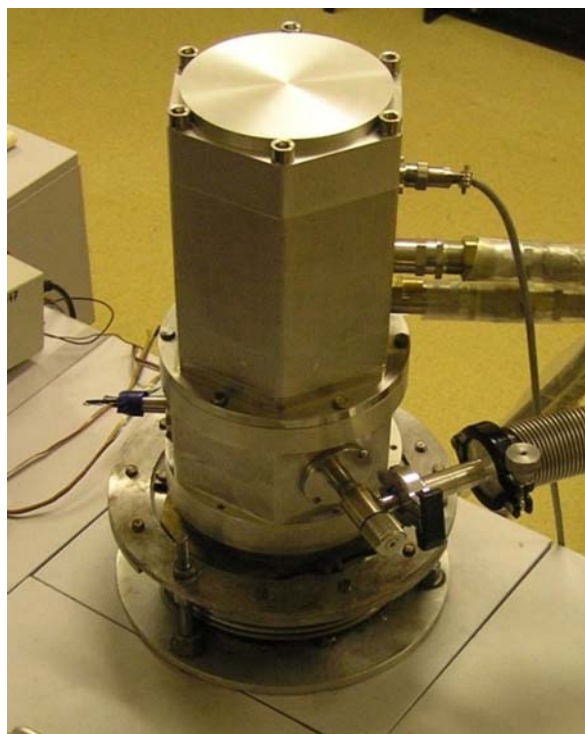
Figure 6. Magnetic structure of $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ at 6 K. Fe spins in red (grey, horizontal) (Fe2) or magenta (grey, inclined) (Fe1), Ho spins in yellow (light grey).

$$T_{\text{SR}} = 5 \text{ K}$$





Общий вид спектрометра Bruker IFS 125HR.



Криостат замкнутого цикла
CryoMech ST 403

Спектральная область:
 $500 - 12000 \text{ cm}^{-1}$

Разрешение:
до $0,1 \text{ cm}^{-1}$

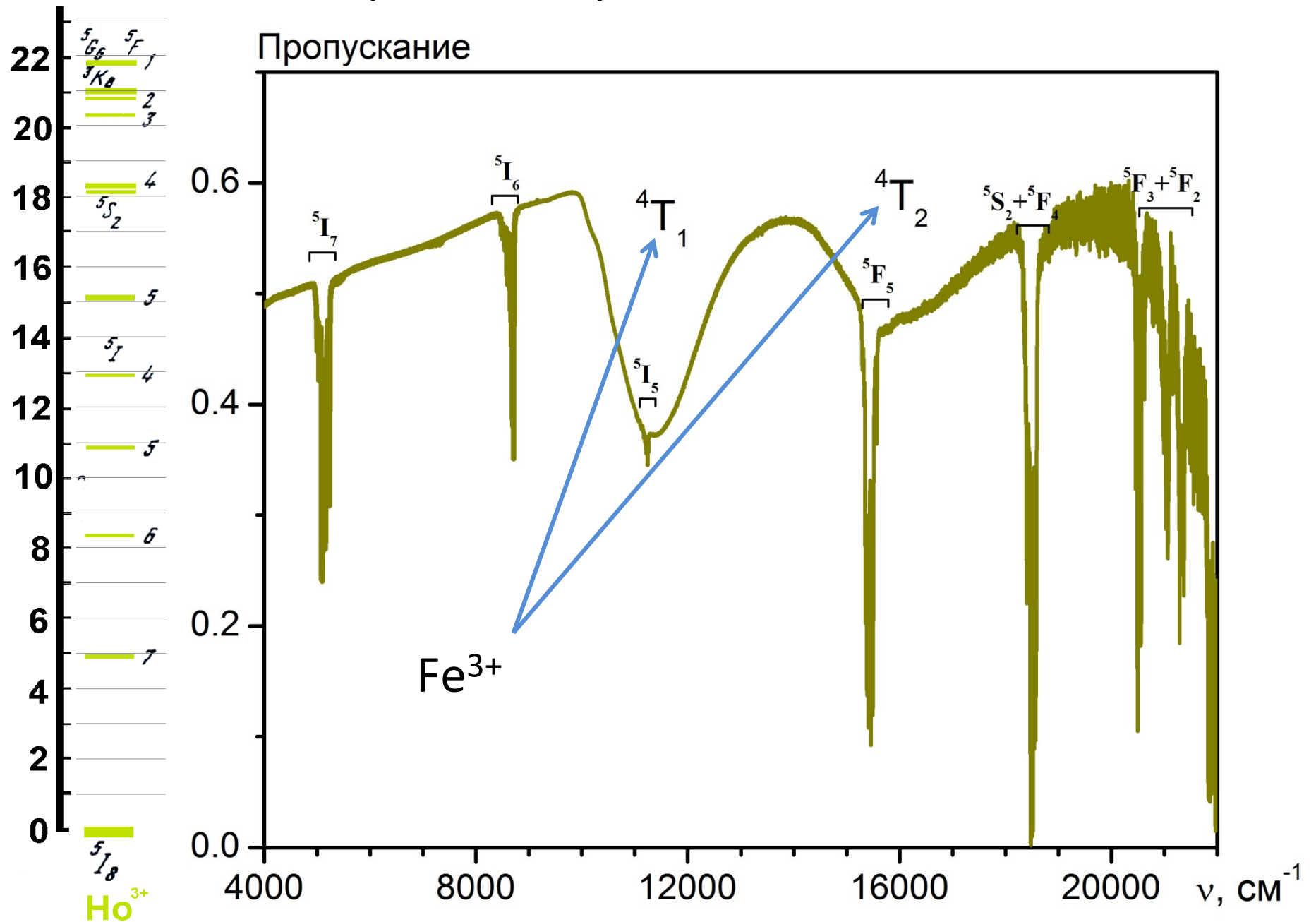
Температурный диапазон:
 $1,7 - 423 \text{ K}$



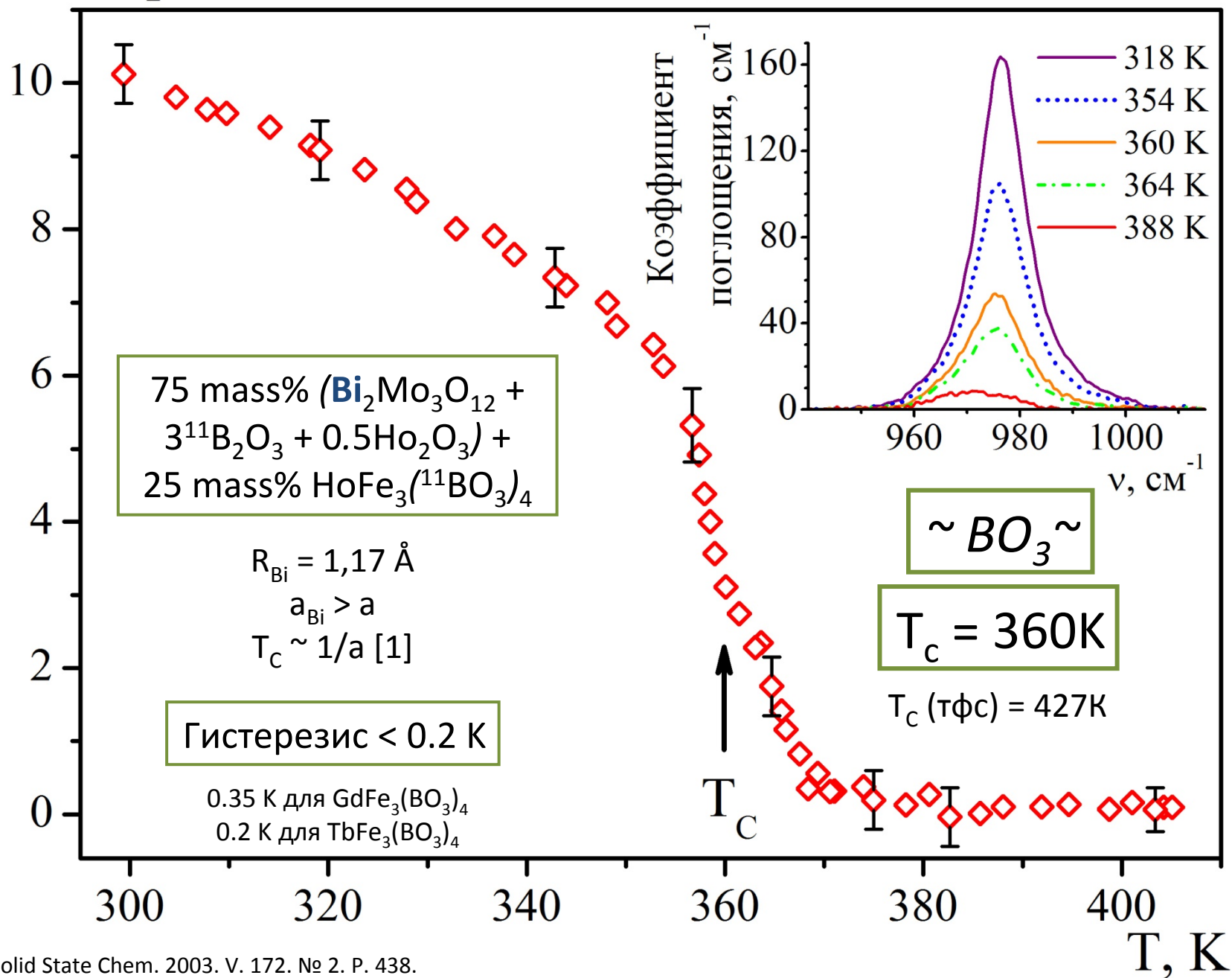
Поляризационный
Микроскоп Olympus SZX7

$E * 10^{-3}, \text{cm}^{-1}$

Уровни энергии иона Ho^{3+}

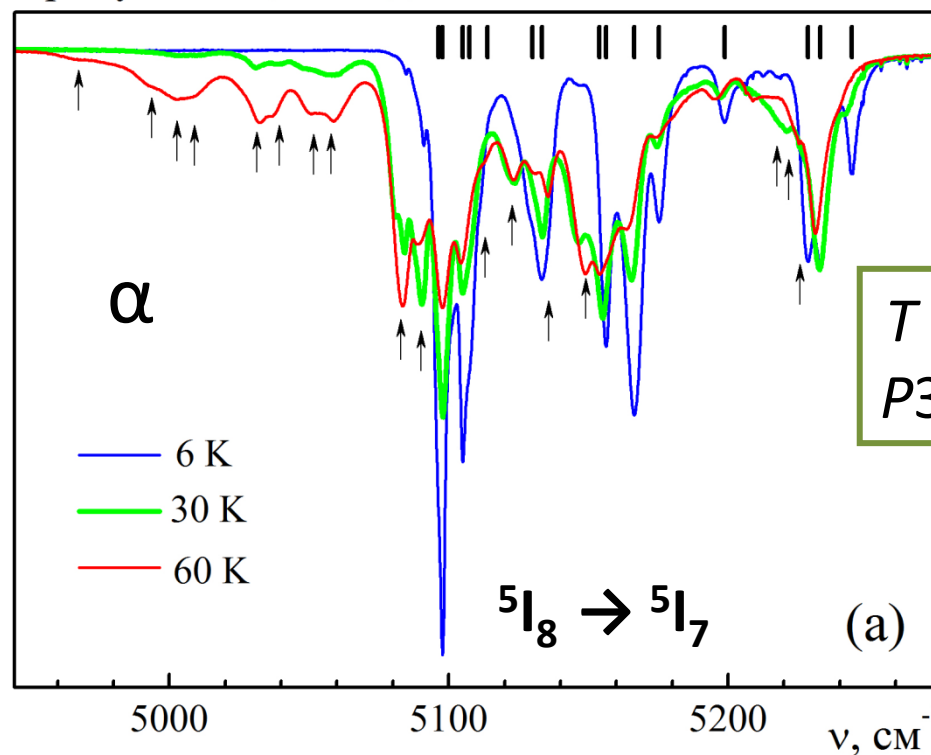


Интегральная интенсивность, отн.ед.

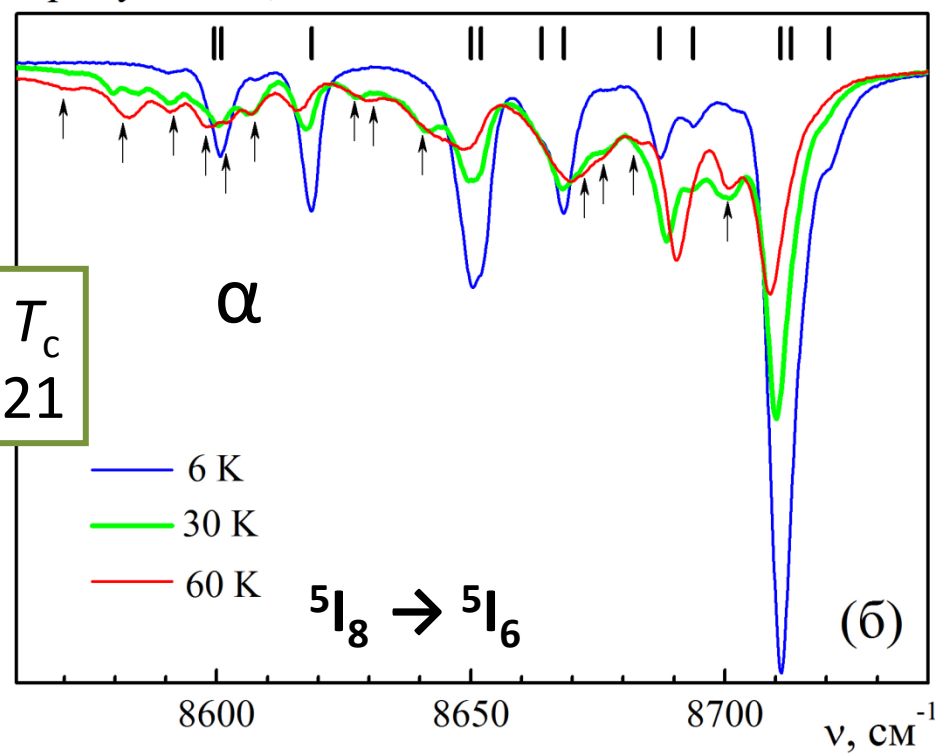


[1] J. Solid State Chem. 2003. V. 172. № 2. P. 438.

Пропускание, отн.ед.



Пропускание, отн.ед.



$T < T_c$
 $P3_21$

$R32: 5I_7 = 2\Gamma_1 + 3\Gamma_2 + 5\Gamma_3$

$R32: 5I_8 = 3\Gamma_1 + 2\Gamma_2 + 6\Gamma_3$

$R32: 5I_6 = 3\Gamma_1 + 2\Gamma_2 + 4\Gamma_3$

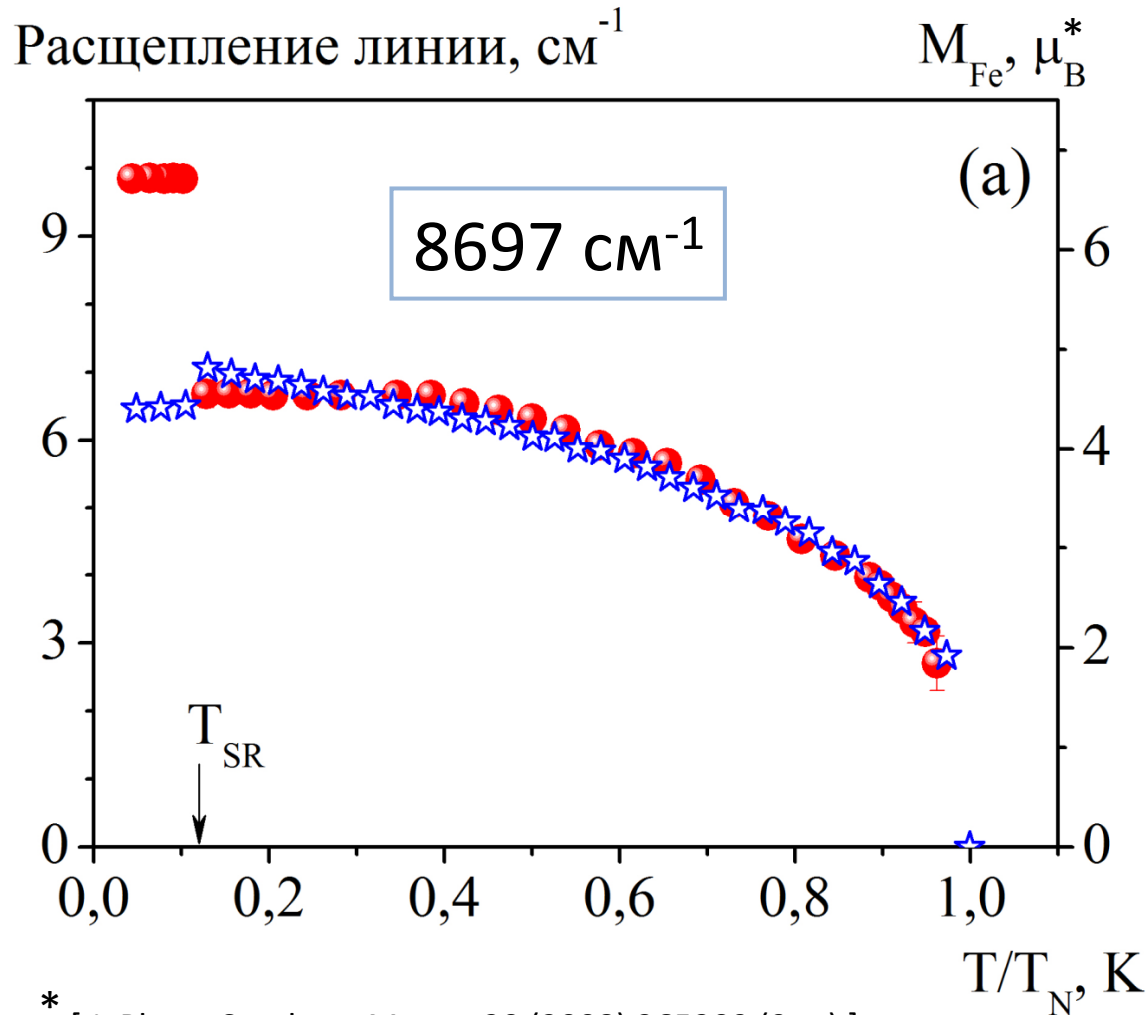
$N = 15$

$R32 \rightarrow P3_21: \Gamma_3 \rightarrow \Gamma_1 + \Gamma_2;$
 $N = 2J+1$

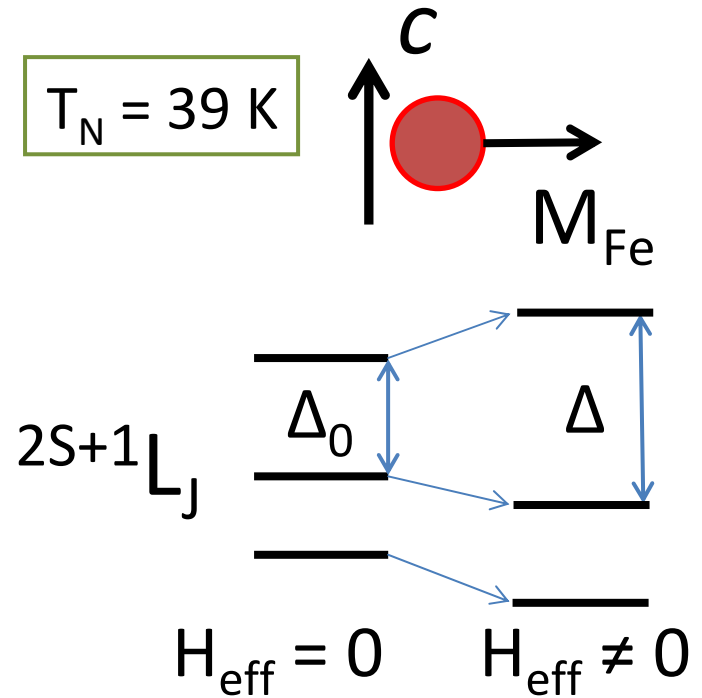
$N = 13$

Определены положения штарковских уровней в мультиплетах $5I_7$ и $5I_6$ при $T = 6 K$

Антиферромагнитное упорядочение



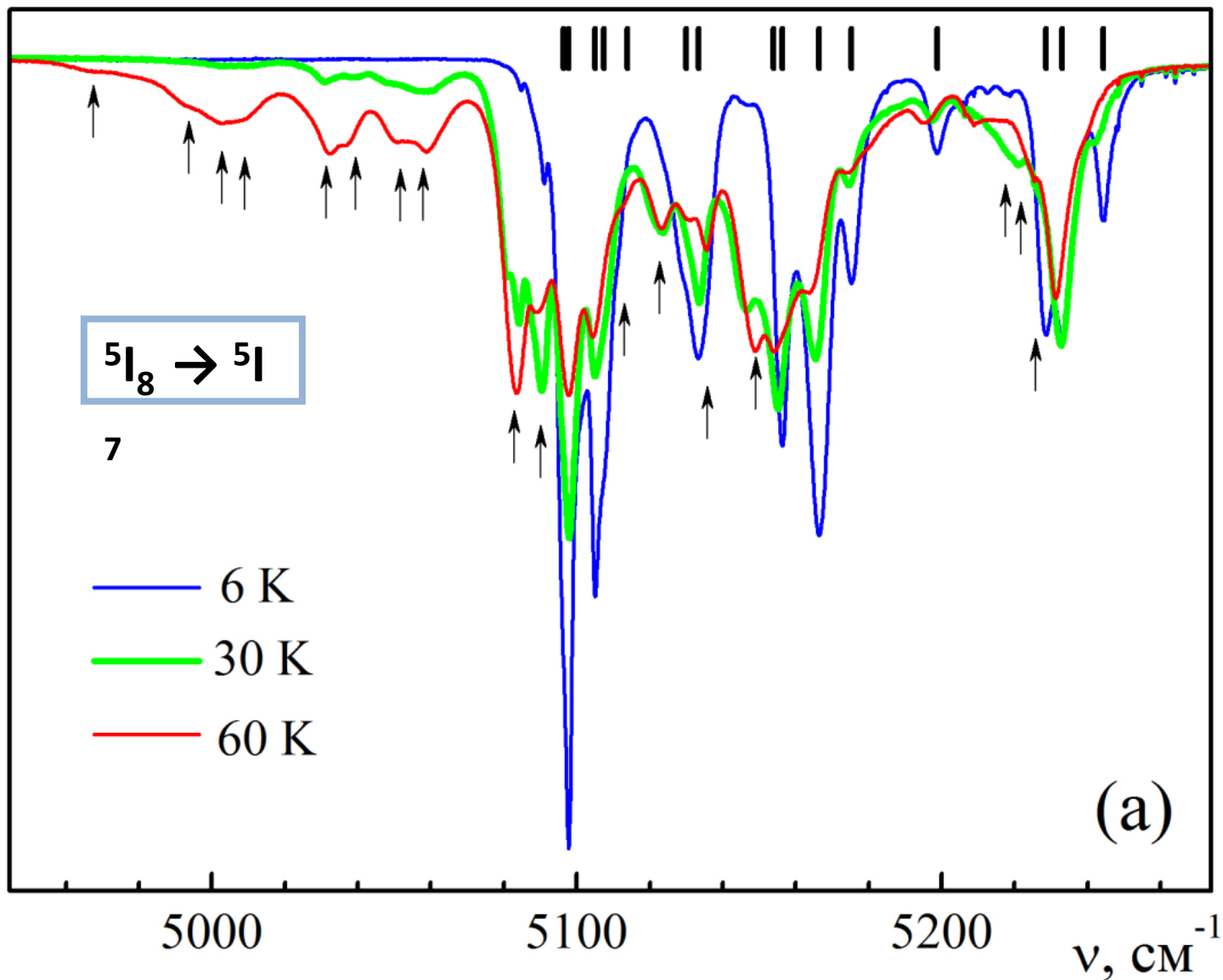
Ho^{3+} : некрамерсовский $4f^{10}$
 Er^{3+} : крамерсовский $4f^{11}$



* [J. Phys.: Condens. Matter 20 (2008) 365209 (9pp)]

Магнитный характер перехода

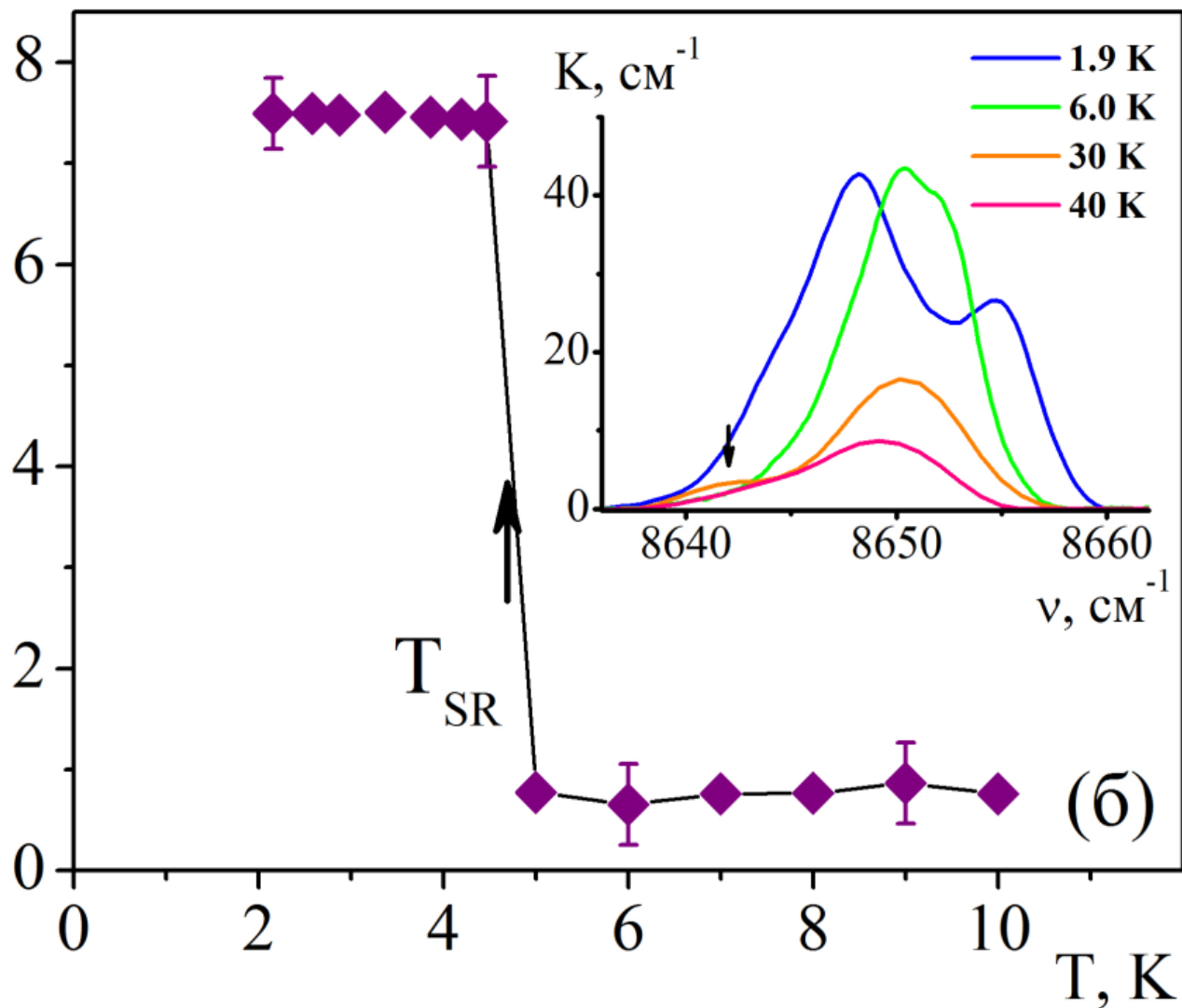
Пропускание, отн.ед.



Синглетное основное состояние иона Ho^{3+}

Спин-переориентационный фазовый переход

Расщепление, cm^{-1}

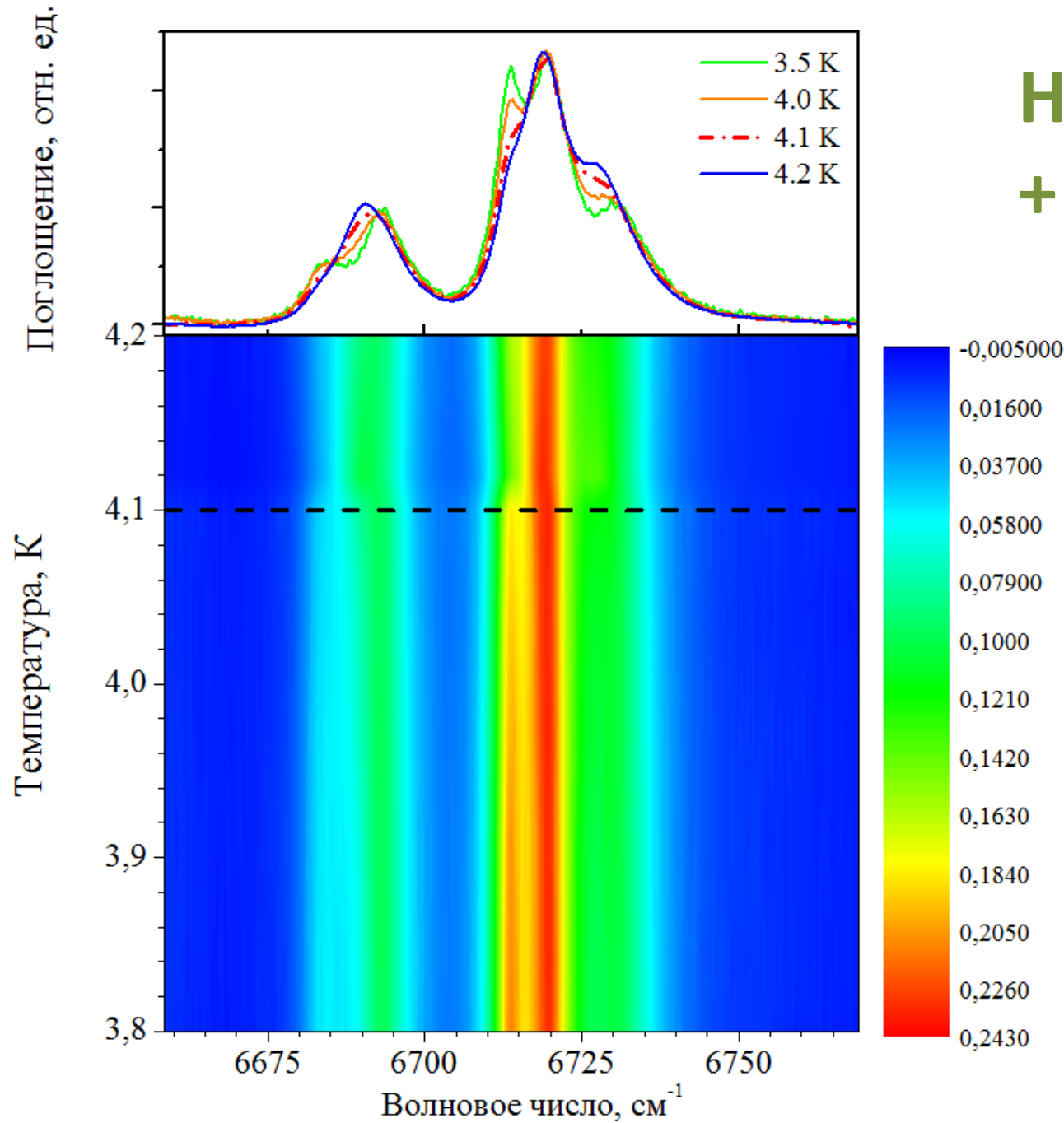


$$T_{SR} = 4,7 \text{ K}$$

Легкая плоскость
↓
Легкая ось

(б)

HoFe₃(BO₃)₄ + 1% Er³⁺:



$T_{SR} = 4,1 \text{ K}$

Одноионная
анизотропия Er³⁺
способствует
упорядочению
в *ab*-плоскости

Выводы:

- Впервые зарегистрированы спектры высокого разрешения (до 0.1 см^{-1}) монокристаллов мультиферроика $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ в области $f-f$ переходов в ионе Ho^{3+} , в широком диапазоне температур (1.7 – 423 K);
- Зарегистрированы два магнитных фазовых перехода: магнитное упорядочение в легкоплоскостную структуру как фазовый переход II рода при $T_N = 39 \text{ K}$ и спин-переориентационный от плоскости ab к оси c как фазовый переход I рода при $T_{SR} = 4.7 \pm 0.2 \text{ K}$;
- По изменению спектра в области внутренних колебаний BO_3 групп зарегистрирован структурный фазовый переход I рода, близкий к переходу II рода, при $T_C = 360 \text{ K}$;
- Дано естественное объяснение расхождения температур структурного перехода: причиной является вхождение примесей Vi из флюса в кристалл и при его росте.
- Проведена предварительная идентификация штарковских уровней в мультиплетах 5I_7 и 5I_6 , что является предпосылкой к полному спектроскопическому исследованию соединения.