

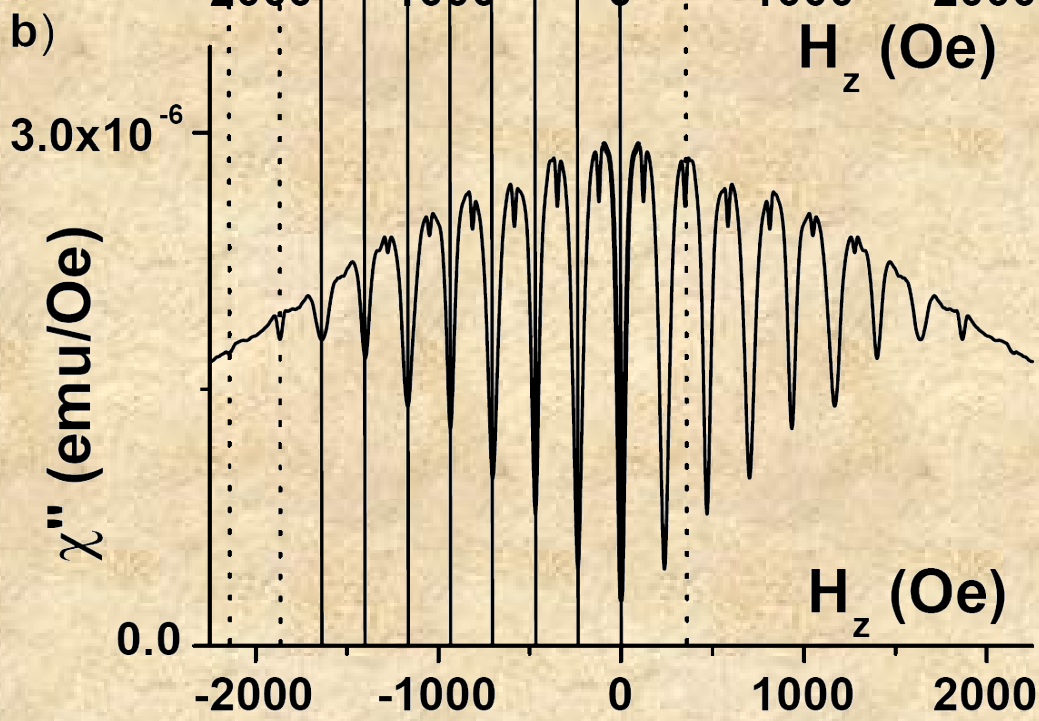
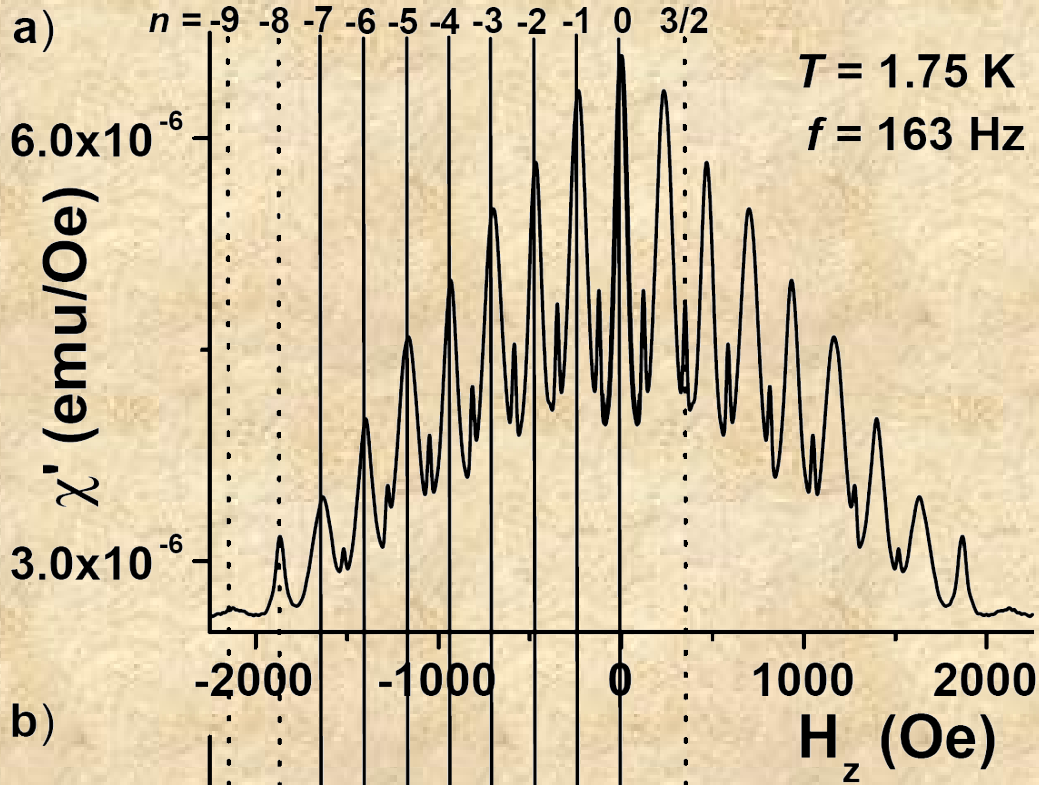
Кросс-релаксация и эффект
узкого фононного горла в
магнитной динамике кристалла
 $\text{LiYF}_4:\text{Ho}^{3+}$.

М.В. Ванюнин, Б.З. Малкин,

Казанский государственный университет

План доклада

- Цель исследования
- Энергетический спектр иона Ho^{3+} в кристалле LiYF_4
- Динамическая магнитная восприимчивость
 - Спин-решеточная релаксация и эффект фононного узкого горла
 - Кросс-релаксация
 - Сравнение теории с экспериментом
- Ядерная релаксация
- Заключение

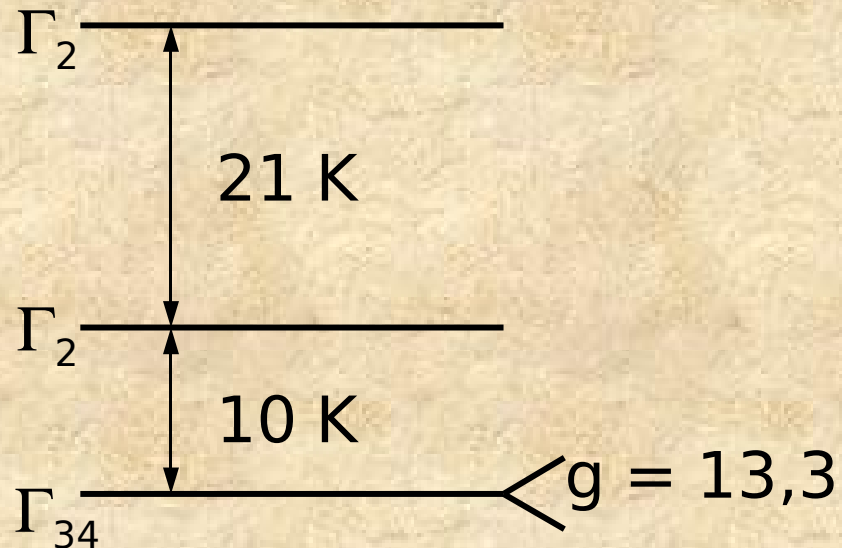


Ac magnetic susceptibility
in $\text{LiYF}_4:\text{Ho}^{3+}$
(R.Giraud, A.M.Tkachuk,
B.Barbara,
Phys. Rev. Lett. 91
(2003) 257204)

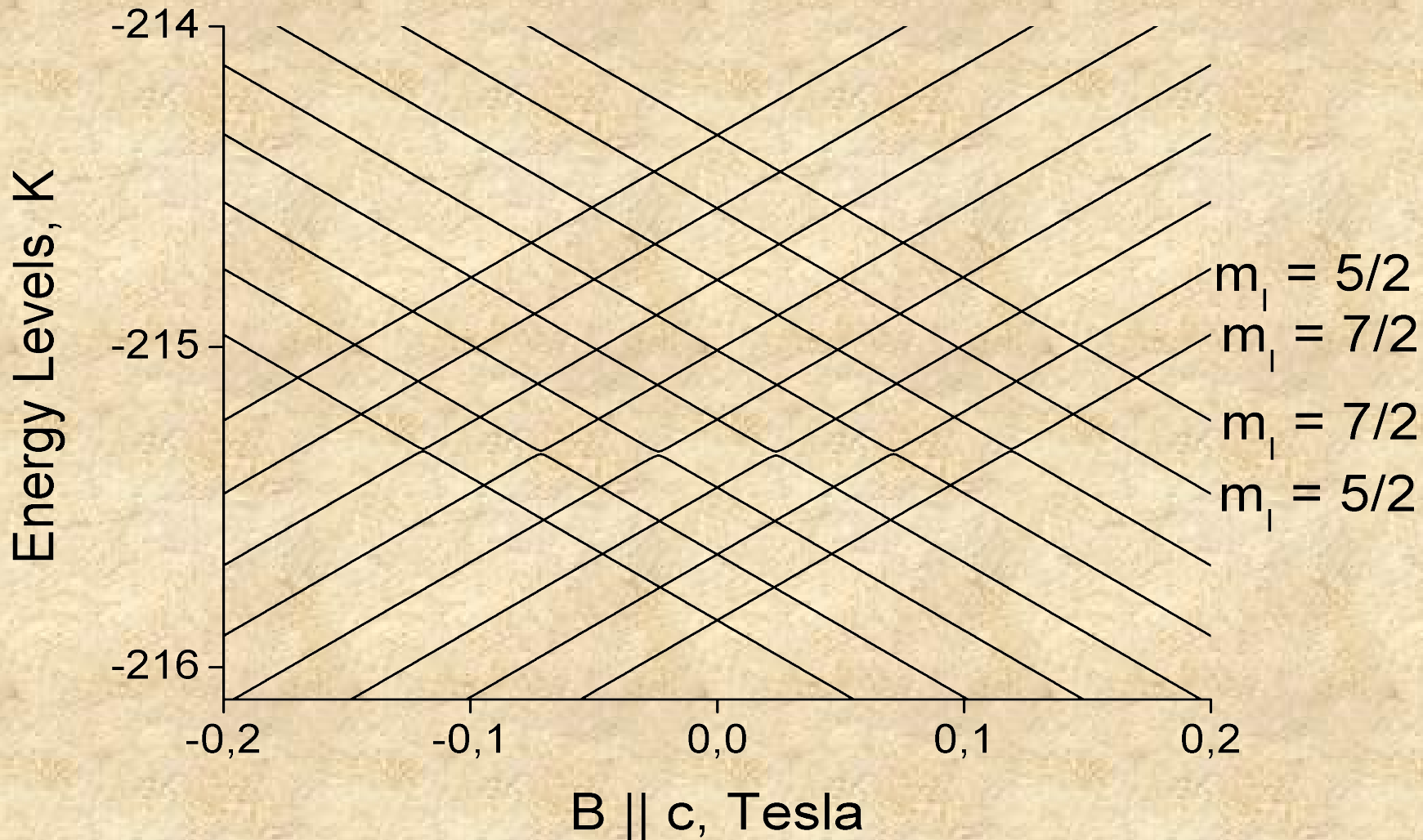
Энергетический спектр иона Ho^{3+} в кристалле LiYF_4

- Основное состояние 5I_8 электронной конфигурации $4f^{10}$ в кристаллическом поле симметрии S_4 дает низколежащий некрамеров дублет Γ_{34} и первый возбужденный синглет Γ_2
- Основной дублет характеризуется большим g-фактором вдоль тетрагональной оси симметрии.

- $H = H_{CF} + g_J m_B \mathbf{B} \mathbf{J} + A \mathbf{J} \mathbf{I}$,
($I = 7/2$ – ядерный спин Ho^{3+})



Сверхтонкая структура основного дублета Ho^{3+} в LiYF_4



Динамическая магнитная восприимчивость

$$\chi(\omega) = \chi_{VV} + \chi_{REL}(\omega)$$

$$\chi_{VV} = \sum_{n,m} \frac{\rho_n - \rho_m}{E_m - E_n} |M_{nm}|^2$$

$$\chi_{REL}(\omega) = \text{Tr} M \chi_{\text{diag}}(\omega)$$

Восприимчивость,
обусловленная
смешиванием волновых
функций

Вклад релаксационных
механизмов

$$\chi_{\text{diag}}(\omega) = \chi_{\text{diag}}^{SL}(\omega) + \chi_{\text{diag}}^{CR}(\omega)$$

Восприимчивость диагональных компонент матрицы плотности. Рассматриваются спин-решеточный и кросс-релаксационный механизмы.

Восприимчивость диагональных компонент матрицы плотности

$$\dot{\rho}_n = \sum_m W_{nm} \rho_m$$

$$-i\omega \Delta \rho_n = \sum_m \left\{ \Delta W_{nm} \rho_m + W_{nm} \Delta \rho_m \right\}$$

$$0 = \sum_m \left\{ \Delta W_{nm} \rho_m + W_{nm} \Delta \rho_m(0) \right\}$$

$$-i\omega \Delta \rho_n(\omega) = \sum_m W_{nm} \left\{ \Delta \rho_m(\omega) - \Delta \rho_m(0) \right\}$$

$$-i\omega \chi_{diag}(\omega) = W \left\{ \chi_{diag}(\omega) - \chi_{diag}(0) \right\}$$

Уравнение получено в приближении **низких частот**

Спин-решеточная релаксация

$$\dot{\rho}_n = \sum_m W_{nm}^{SL} \rho_m = \sum_m W_{nm} \left\{ n_{nm} + \Theta(\omega_{mn}) \right\} \rho_m$$

$$\dot{n}_{tb} = \frac{n_{tb}^0 - n_{tb}}{\tau_{ph}} + \frac{W_{tb}}{\Omega_{tb}} \left(\left\{ n_{tb} + 1 \right\} \rho_t - n_{tb} \rho_b \right)$$

$$\Omega_{tb} = P_{tb} \Delta\omega_{tb} / N$$

число фононных осцилляторов
приходящихся на один ион Ho^{3+}

$$P_{tb} = 3\omega_{tb}^2 / 2\pi^2 v^3$$

плотность фононных
осцилляторов на частоте ω_{tb}

N – концентрация ионов Ho^{3+} , $\Delta\omega_{tb}$ – ширина линии, v – скорость звука

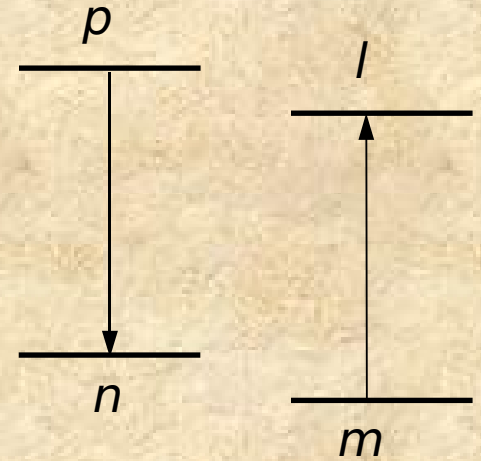
$$W_{nm}^{SL(R)} = W_{nm}^{SL} \left[1 + \frac{W_{nm} |\rho_n - \rho_m|}{\Omega_{nm} (1/\tau_{ph} - i\omega)} \right]^{-1}$$

Кросс-релаксация

$$\dot{\rho}_n = \sum_m W_{nm}^{SL} \rho_m + CR_n$$

$$CR_n = \sum_{m,p,l} (W_{np,lm}^{CR} \rho_p \rho_m - W_{pn,ml}^{CR} \rho_l \rho_n)$$

$$W_{np,lm}^{CR} = \frac{2\pi}{\hbar^2} \langle |\langle n, l | H_{12} | p, m \rangle|^2 \rangle_{Av} \delta(\omega_{pn} - \omega_{lm})$$



$$W_{np,lm}^{CR} = \sum_{\alpha, \beta, \gamma, \delta} k_{\alpha\beta\gamma\delta} g_{\alpha\beta\gamma\delta}^{CR} (\omega_{pn} - \omega_{lm}) \times$$

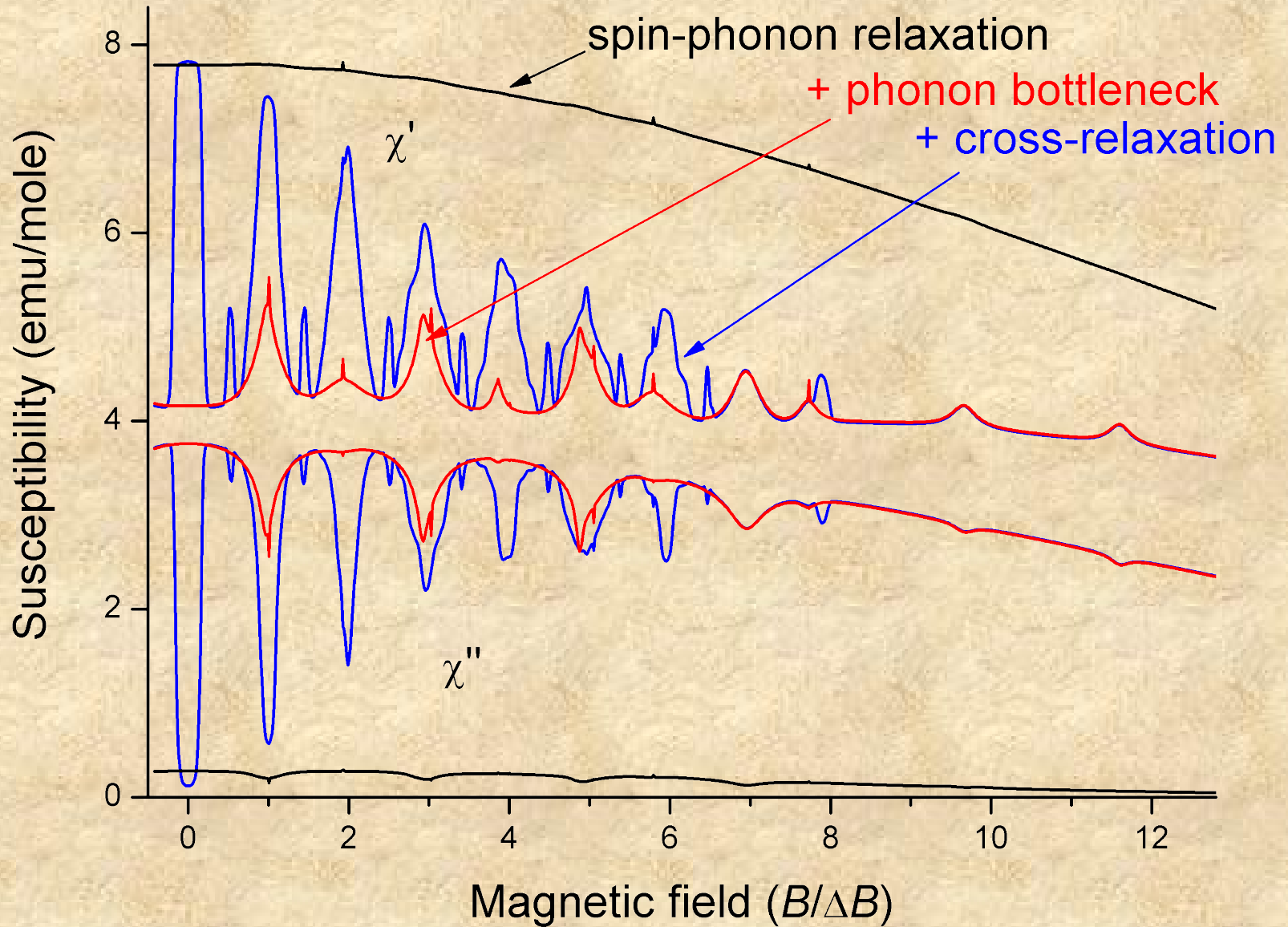
$$\{ \langle n | J_{1\alpha} | p \rangle \langle l | J_{1\beta} | m \rangle \langle p | J_{1\alpha} | n \rangle \langle m | J_{1\beta} | l \rangle + c.c. \}$$

$$\Delta \dot{\rho}_n = \sum_m (W_{nm}^{SL} + W_{nm}^{CR}) \Delta \rho_n$$

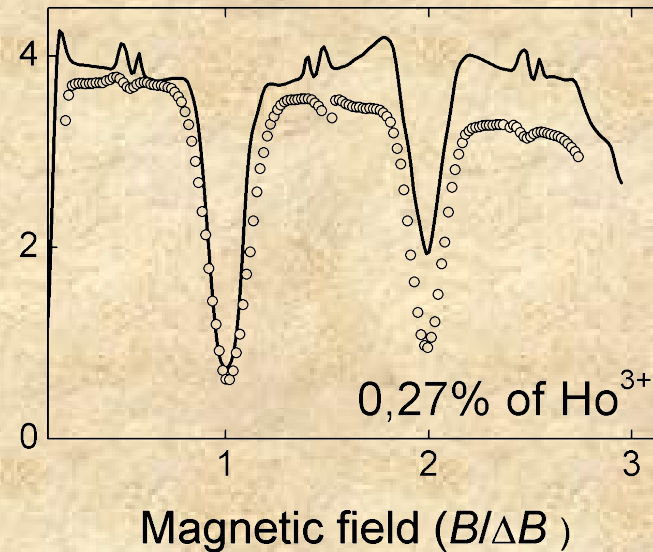
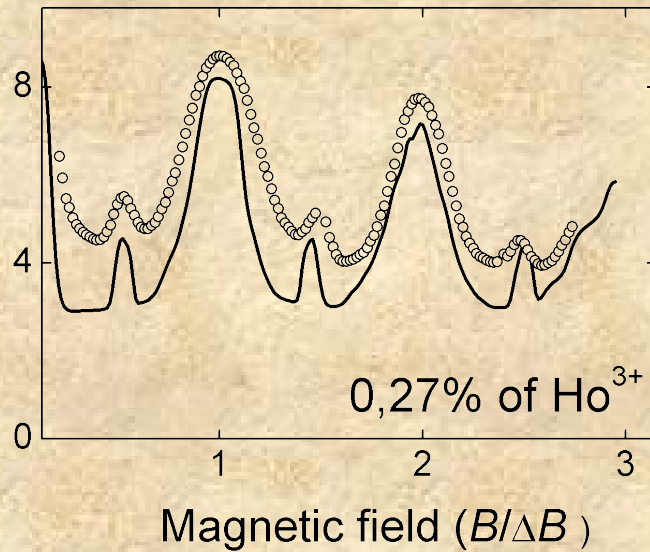
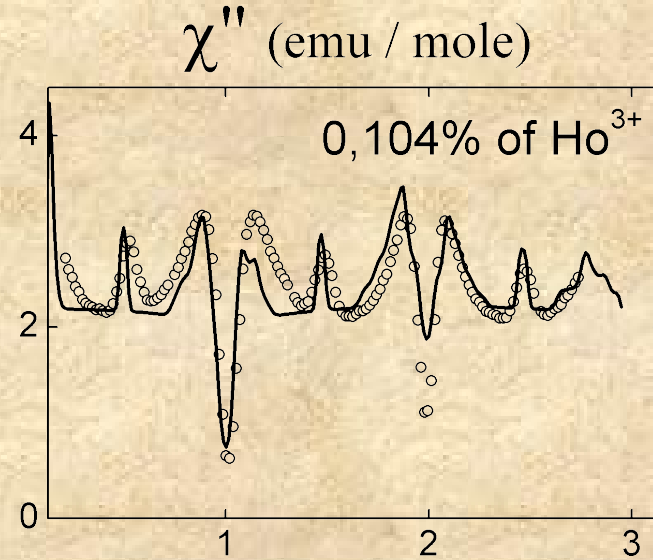
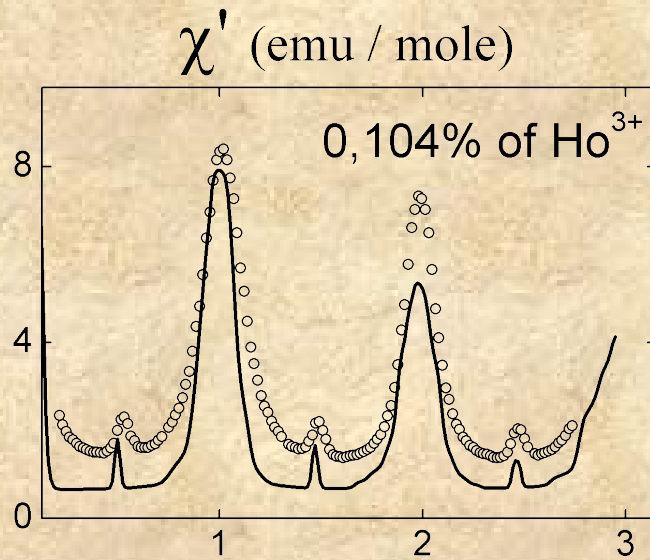
в постоянном поле вблизи
равновесия

$$W_{nm}^{CR} = \sum_{l,p} (W_{np,lm}^{CR} \rho_p + W_{nm,lp}^{CR} \rho_p - W_{pn,lm}^{CR} \rho_n)$$

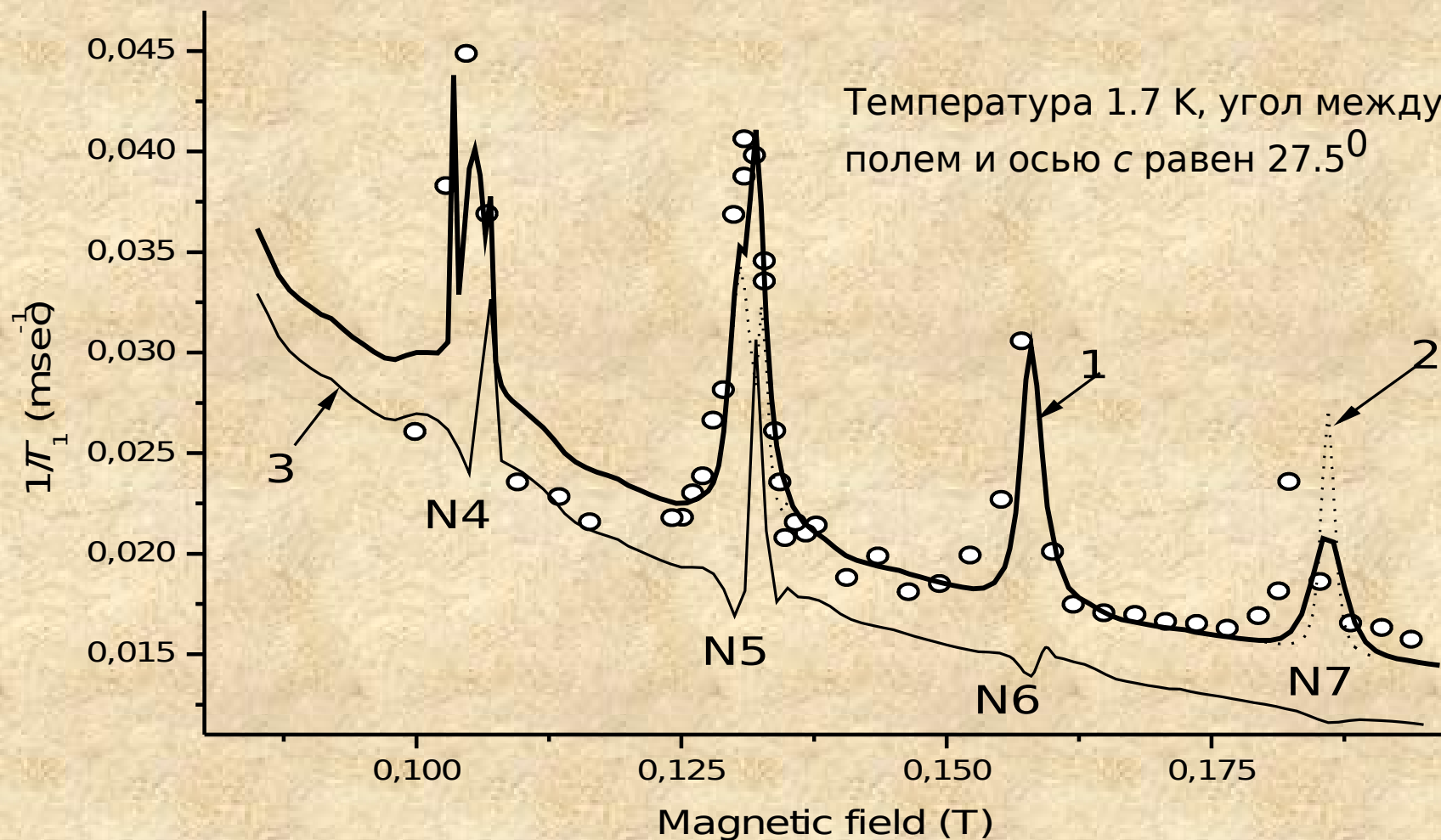
Пример расчета (0,27% 800 Гц 2 К)



Сравнение теории с экспериментом (1,75 К 800 Гц)



Измеренная скорость спин-решеточной релаксации намагниченности ядер ^{19}F (символы) сравнивается с результатами расчетов (линии) с учетом (1) и без учета (3) прямого обмена энергией ядер фтора с ионами гольмия (кривая 3 смещена вниз для наглядности), пунктирная кривая 2 получена в пренебрежении случайным кристаллическим полем.



Заключение

- Разработана микроскопическая теория динамической магнитной восприимчивости электронно-ядерной подсистемы разбавленного парамагнетика $\text{LiYF}_4:\text{Ho}^{3+}$.
- Рассчитанные полевые, температурные и частотные зависимости магнитной восприимчивости кристаллов $\text{LiYF}_4:\text{Ho}^{3+}$ при различных концентрациях ионов Ho^{3+} хорошо согласуются с данными измерений
- Показана важная роль эффекта узкого фононного горла при гелиевых температурах.
- Определены параметры взаимодействия между парамагнитными ионами, определяющие скорости кросс-релаксации.
- Объяснены особенности релаксации намагниченности ядер фторов.