

***Ферромагнитные металлические
нанокластеры в допированных манганитах:
причины возникновения и роль в
транспортных и магнитных свойствах***

В.А. Рыжов, А.В. Лазута, П.Л. Молканов, В.П. Хавронин
ПИЯФ

Я.М. Муковский, Д.А. Шулятев
Московский государственный институт стали и сплавов

ПРОБЛЕМА

Ф кластеры в допированных дырками манганитах при $T^ > T_C$.*

Наблюдаются с образования ФИ основного состояния. Концентрация как правило, растет с допированием. Приводят к И-М переход при $T_{IM} > (<) T_C$.

Причины образования.

1) Фаза Гриффитца. Разбавленный Ф Изинг.

Особенная структура функции распределения.

Ф кластеры при $T < T_C(1) \rightarrow M(H) \propto \exp(-cT/H)$

$cT/H \gg 1$. Ненаблюдаемый эффект.

2) Ф Изинг + коррелированный беспорядок ($R/a \gg 1$).

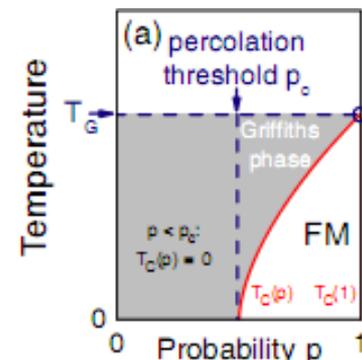
$J_0 \gg J_d \gg (a/R)^{1/\nu}$. Разброс $\tau(r)$, формирование Ф кластеров ($\tau(r) < 0$)

при $T^* > T_{PC} (= T_C(J_0) + J_d/J_0)$ (размер $\sim R$), перколяционный сценарий перехода.

3) Гейзенберг? Переход на протекательном кластере невозможен.

4) Манганиты. И-М переход при $T_{IM} > T_C$. Фазовое сосуществование кластеры металлические.

Эксперимент. **$La_{1-x}Sr_xMnO_3$** .



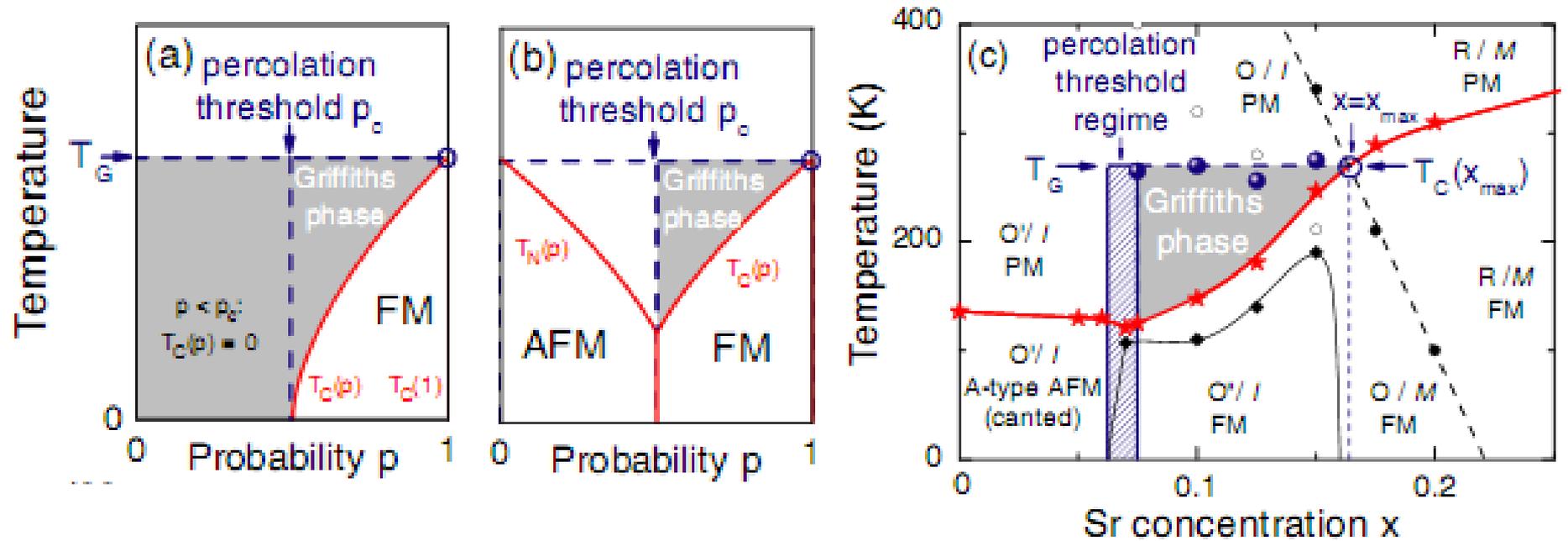
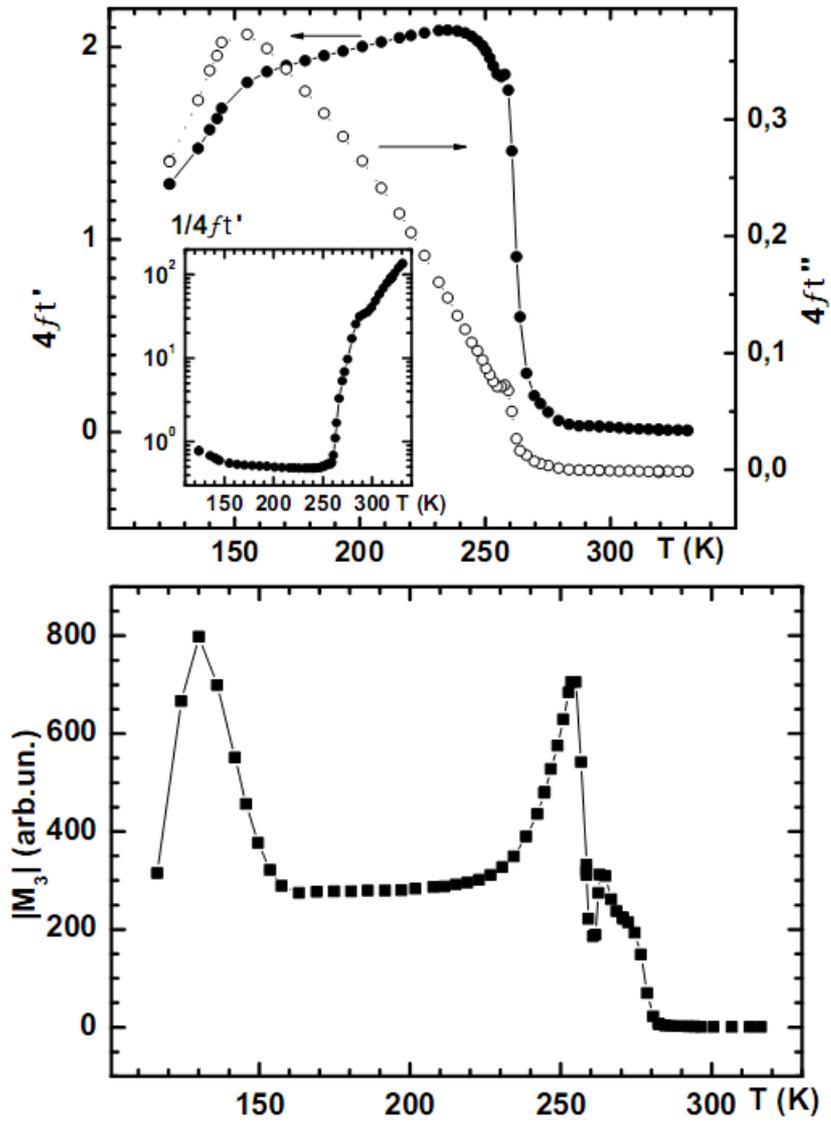
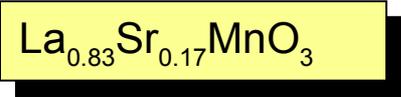
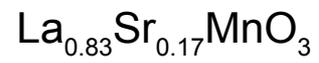
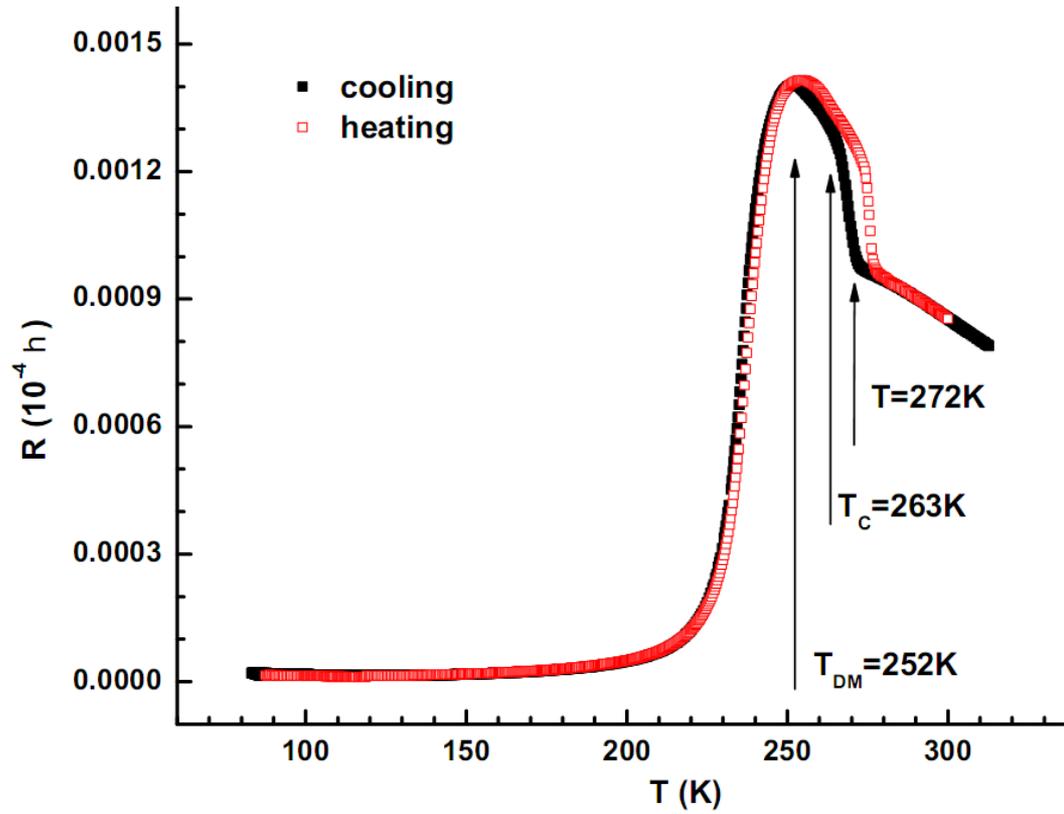


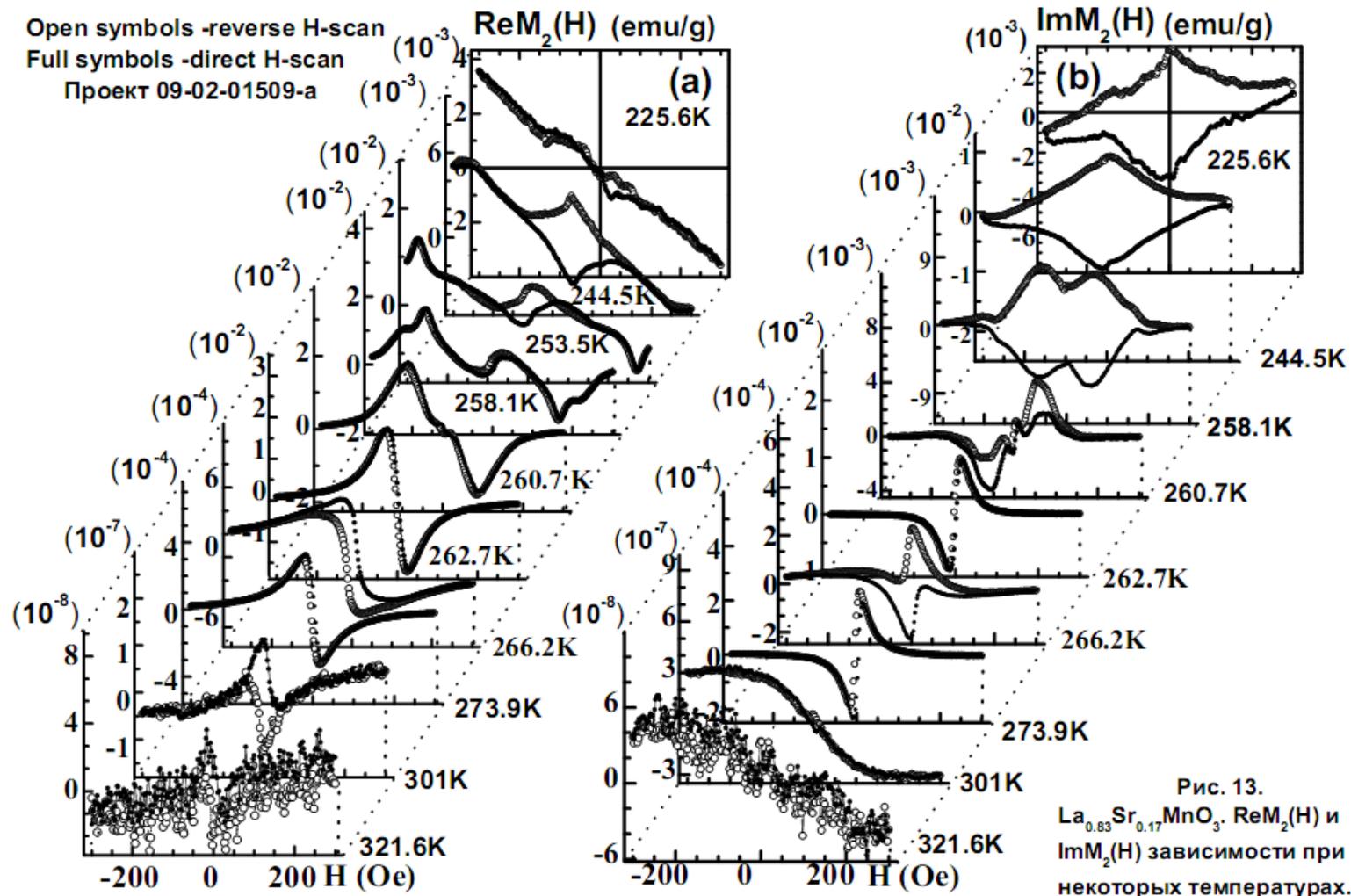
FIG. 4 (color online). (a) T - p diagram for the dilute FM Ising model [5]. (b) Conjectured schematic T - p diagram of the GP arising in a $\pm J$ random Ising model due to the competition of FM/AFM clusters; (c) observed Griffiths-phase boundaries within the established T - x phase diagram of LSMO [21]. The intersection (open circle) of T_G (spheres) with the magnetic boundary T_C (stars) coincides with the phase transition from the orthorhombic (O) to rhombohedral (R) structure (I = insulator, M = metal). Data for $x = 0.06$ and 0.07 were taken from Refs. [27,28], respectively. Lines are drawn to guide the eye.



The temperature dependencies of the linear susceptibility ($\nu = 95$ kHz) and amplitude of the third harmonic of magnetization ($\nu=20$ kHz) at $h = 1\text{Oe}$. Insert in the panel shows the T - dependence of $1/4\pi\chi'$. $T_C = 263$ K. $T_{DM} = 252$ K. $T_S = 280$ K (R-O structural transition).

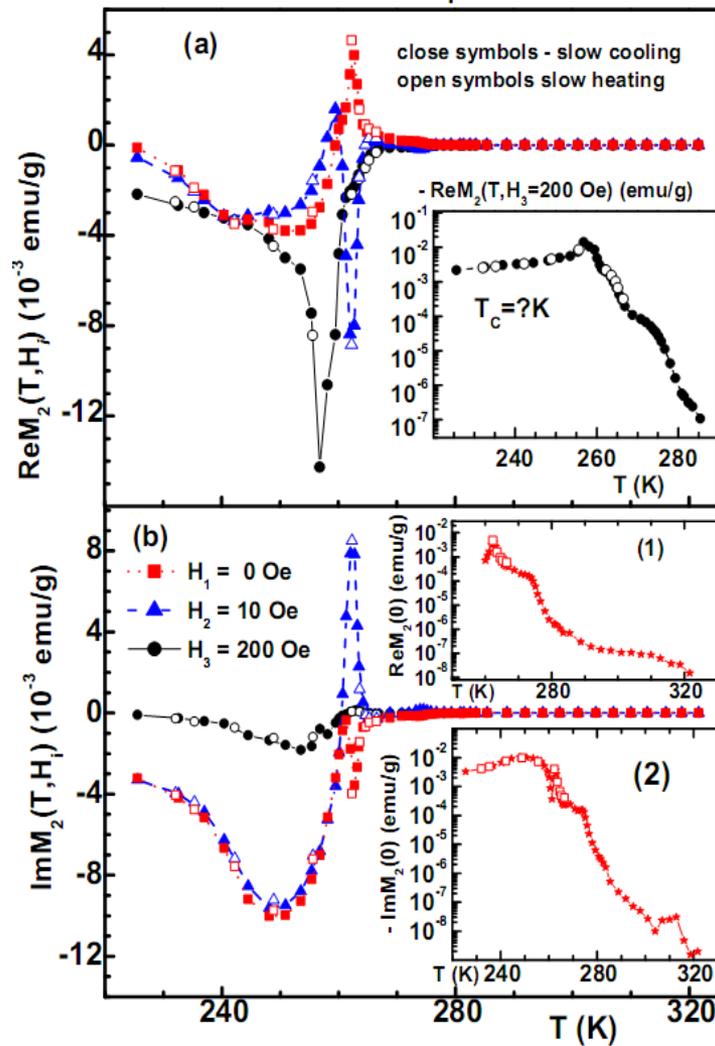


The plot of the $R(T)$.



Two phase components of the second harmonic of magnetization as the functions of the steady magnetic field H at some temperatures. $T^* \approx 310$ K $>$ $T_s = 280$ K. $T_C = 263$ K. $T_s = 280$ K. $T_{DM} = 252$ K. $\text{Im}M_2(H, T)$ at $T = 301$ K \Leftrightarrow 3D isotropic F. At $T^* > T > T_C$ - anomalous response in weak H ($H_m \sim 10$ Oe). Anomalous and normal signals coexist down to $T_C \rightarrow$ inhomogeneous magnetic state. The clusters appear in the R phase.

Transformation of the signal from 260.7 K down to 225.6 K (D – M transition).



La_{0.83}Sr_{0.17}MnO₃

$\text{Re}M_2(H, T)$ и $\text{Im}M_2(H, T)$ при разных значениях H . На вставках приведены зависимости $\text{Re}M_2(H = 0, T)$ и $\text{Im}M_2(H = 0, T)$.

И-М переход → **зарядовая степень свободы.**

Кластерное состояние ниже T_C .

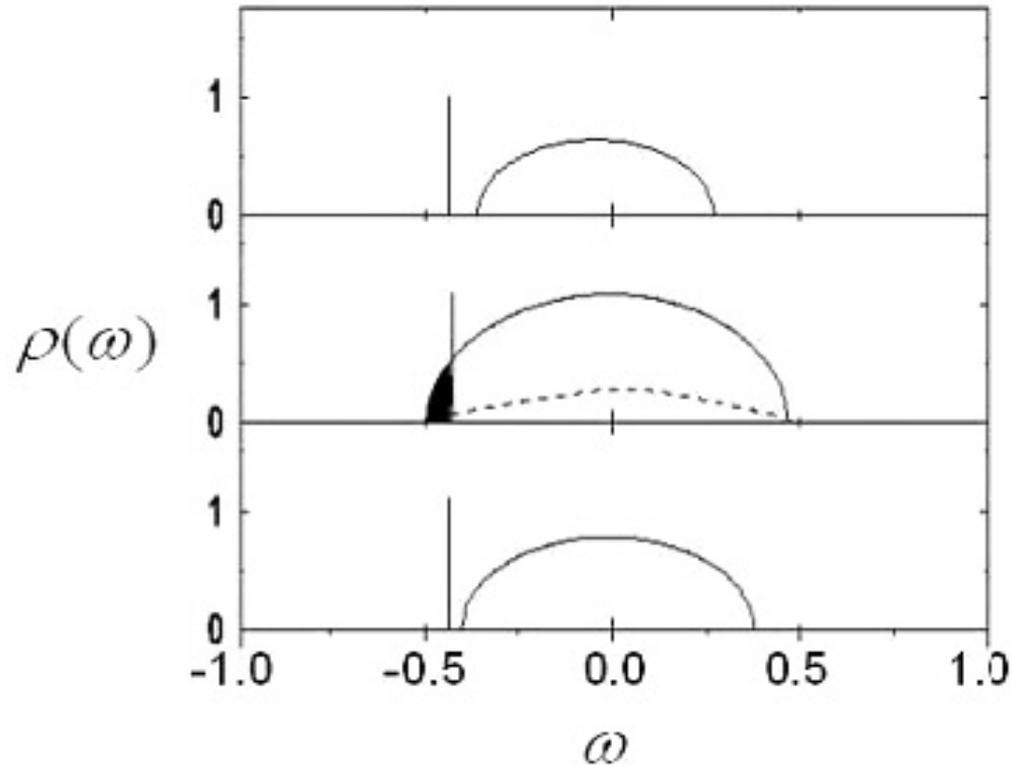
Двухзонная модель.

Перескок (t) (металлизация), Хунд (Φ), Ян – Теллер (J_{JT}) (локализация), сильное одноузельное отталкивание электронов (тенденция к фазовому разделению + ...). Зонная структура: локализованные состояния (поляроны, один уровень) + зона носителей (щель $\Delta \sim J_{JT}$).

1) ДМФ → ФИ основное состояние, Φ обмен (виртуальный перескок локализованные состояния – зона и обратно $J \propto t^2 / J_{JT}$). И-М переход при $T \approx T_C$. **Возможен и при $T \neq T_C$.**

2) Численный счет на 3D решетке с дальнедействующим кулоном. Сосуществование М и И областей в Φ основном состоянии (М кластеры в И матрице). Причины: сильное одноузельное отталкивание (фазовое разделение) + дальнедействующий кулон (деление на нанокластеры). Беспорядок не принципиален. Размер М кластеров - 8 – 10 постоянных решетки. С ростом допирования происходит перколяционный И-М переход.

Возможная модель для анализа T эволюции кластерного состояния.



Two band model.

Spectral density ($E_{JT} = -0.5$ eV, $D = 1.2$ eV, $U = 5$ eV, $J_F = 2$ meV) : (a) $x = 0.1$, $T = 0$ (FI), (b) $x = 0.3$, $T = 180$ K ($< T_C = 240$ K) (FM), occupied band states are shown shaded, (c) $T = 350$ K (PI). Vertical line is the l polaron level.

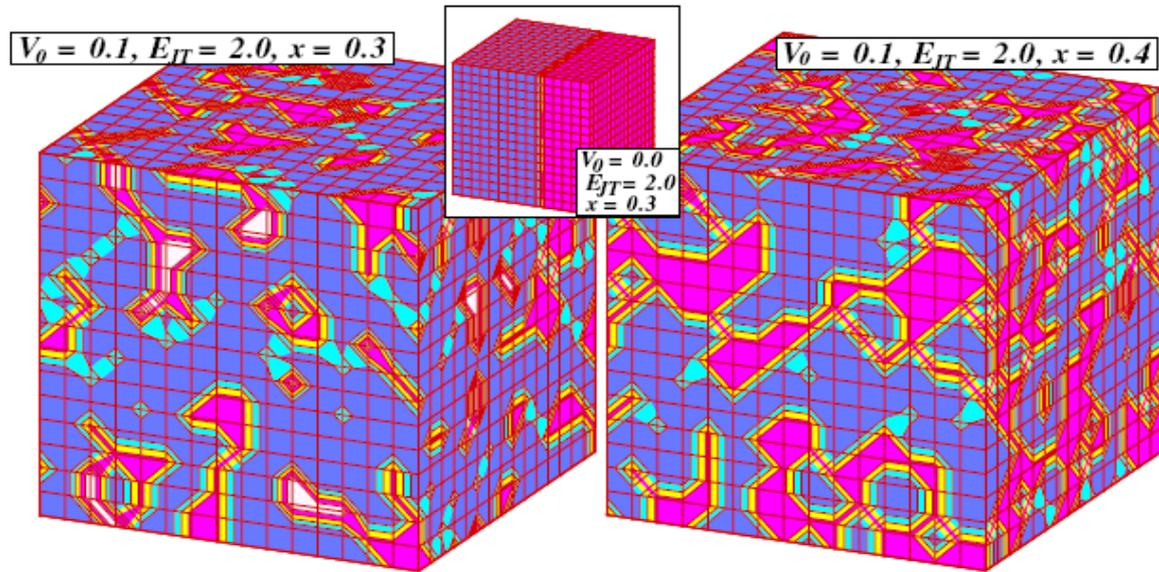
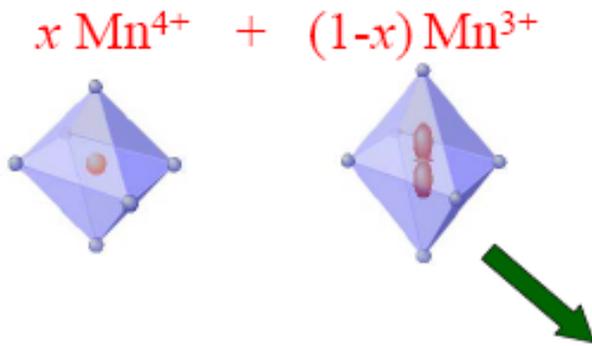


FIG. 1 (color online). Real space electronic distribution obtained from simulations on a 16^3 cube. Magenta (darkest) denotes hole clumps with occupied b electrons, white (lightest) denotes hole clumps with no b electrons, cyan (2nd lightest) denote singleton holes, and light blue (2nd darkest) represents regions with ℓ polarons. Left: Isolated clumps with occupied b electrons (b -electron puddles). Right: Larger doping; percolating clumps. Inset: “macroscopic phase separation” absence of long range Coulomb interaction ($V_0 = 0.0$).

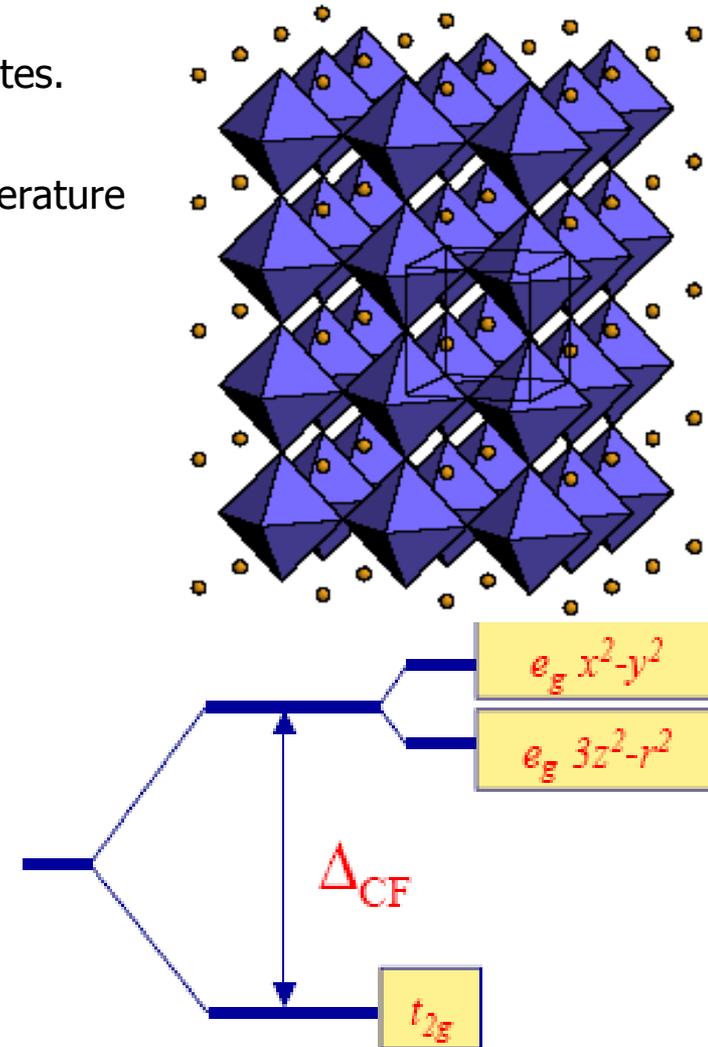
THE END

Colossal Magnetoresistance (CMR) in mixed-valence manganites

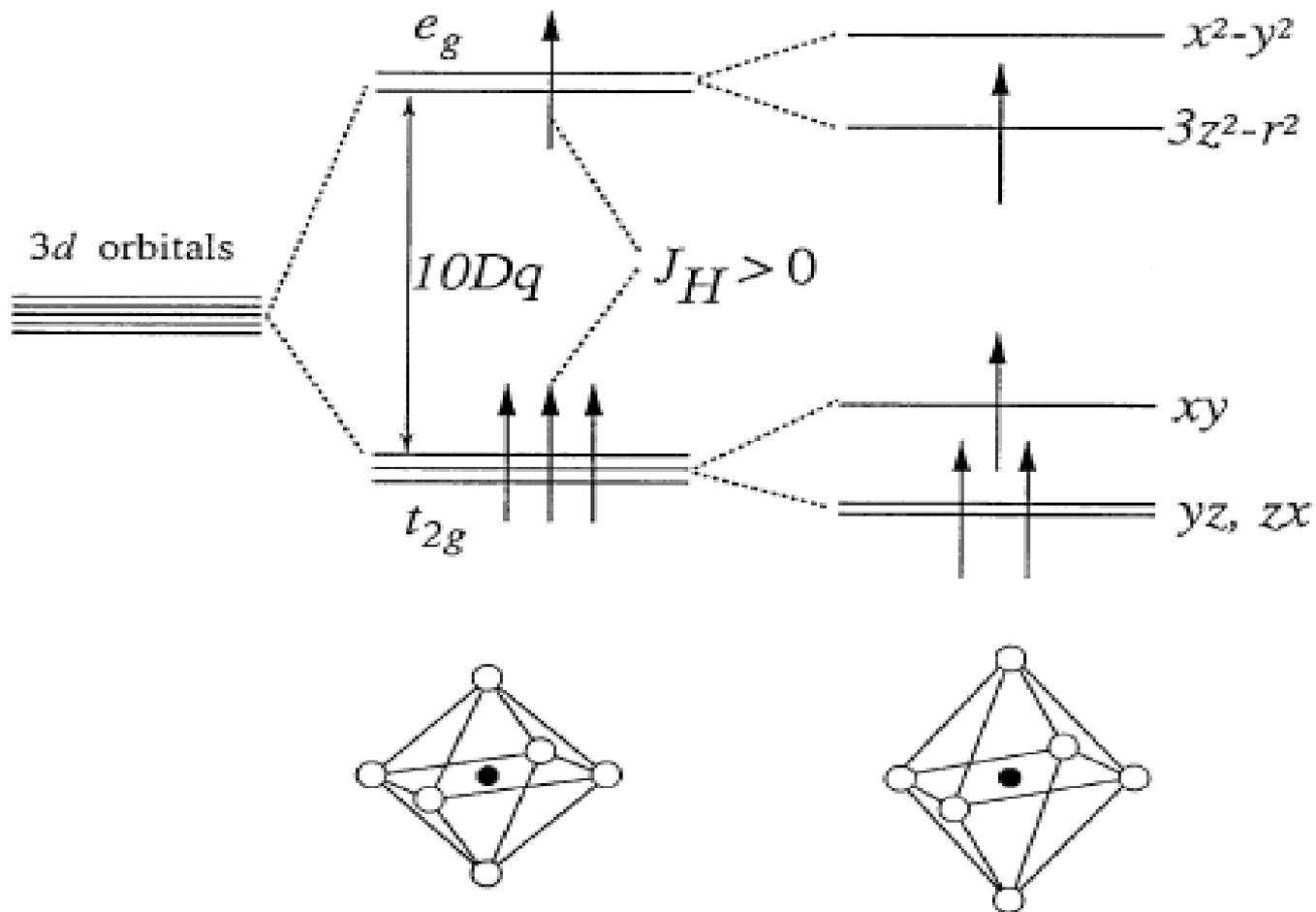
- The largest CMR effects are observed in mixed-valence manganites.
 - e.g. $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$, $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$
- The CMR is largest just above the ferromagnetic transition temperature



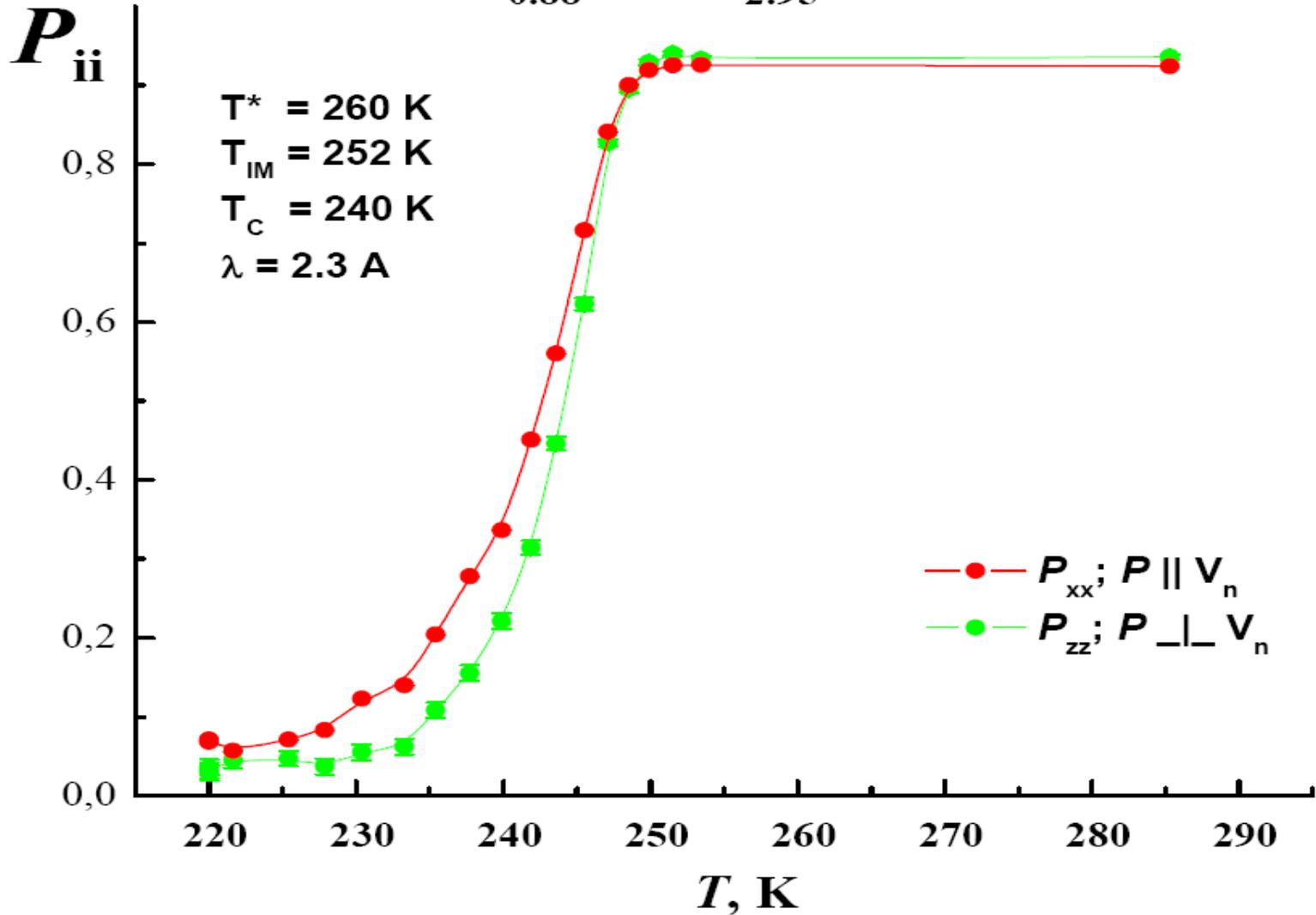
Jahn-Teller Polarons



Электронная структура ионов Mn



Field splitting of the five-fold degenerate atomic 3d levels into lower t and higher e levels. The particular Jahn-Teller distortion sketched in the figure further lifts each degeneracy as shown. $J_{CF} \sim 2$ eV, $J_H \sim 2 - 3$ eV, $J_{JT} \sim 0.5$ eV, $t \sim 0.3$ eV.



Температурная зависимость поляризации проходящих через образец нейтронов.

$$P = P_0 \cdot \exp(-1/3(\mu B/E)^2 k^2 R c^{1/3} L)$$