

УДК 535.34;537.614

©1993

ЯДЕРНАЯ МАГНИТНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ЭЛЕКТРОДИПОЛЬНЫХ СТЕКЛАХ

Ф.С.Ваганова, Р.В.Сабурова

Изложена теория и предложен эксперимент по исследованию характера упорядочения параэлектрических центров (ПЭЦ) в щелочно-галлоидных кристаллах посредством изучения температурной и концентрационной зависимости магнитной релаксации ядер основной матрицы кристалла в дипольных стеклах типа KCl:OH^- , NaBr:F^- , RbCl:Ag^+ . Ранее одним из авторов [2] было показано, что при большой концентрации ПЭЦ с понижением температуры система ПЭЦ переходит из параэлектрической фазы в фазу электродипольного псевдоспинового стекла при некоторой хорошо определенной температуре T_f . В данной работе рассчитано одно из следствий этого перехода. Приведено критическое поведение скорости магнитной релаксации ядер калия T_1^{-1} вблизи температуры "стеклования" T_f примесных электрических диполей OH^- в KCl при различных концентрациях OH^- .

В данной работе исследуется характер ядерной магнитной релаксации, связанной с кооперативными эффектами в системе примесных туннелирующих электрических диполей так называемых параэлектрических центров — (ПЭЦ) в щелочно-галлоидном кристалле (ШГК). Считается, что при температурах порядка 0.1–1 К и высоких концентрациях с ПЭЦ ($c > 10^{-4}$) в ШГК происходит фазовый переход из параэлектрической фазы в фазу дипольного стекла [1,2]. Имеется альтернативная точка зрения, согласно которой в системе ПЭЦ с понижением температуры происходит постепенное "замораживание" диполей [3]. Поэтому изучение температурной зависимости ядерной магнитной релаксации в критической области представляет несомненный интерес.

Мы излагаем теорию и предлагаем эксперимент по исследованию характера упорядочения ПЭЦ в ШГК посредством изучения температурной релаксации ядер основной матрицы кристалла в дипольных стеклах типа KCl:OH^- , NaBr:F^- , RbCl:Ag^+ . Изучение продольной магнитной релаксации ядер (со спином $I > 1/2$) основной матрицы ШГК в случае небольшой концентрации ПЭЦ, как теоретическое (в KCl:OH^- [4]), так и экспериментальное (в RbCl:Ag^+ [5], NaBr:F^- [6]), показало, что времена ядерной релаксации укорачиваются на несколько порядков по сравнению с чистыми кристаллами. Это происходит по следующей причине.

При достаточно большой концентрации ПЭЦ значителен их вклад в градиент поля на ядре с квадрупольным моментом. Квадрупольное взаимодействие, модулированное туннельным движением примесных ПЭЦ, обеспечивает квадрупольный механизм ядерной релаксации, посредством которого и происходит преимущественно магнитная релакса-

пия ядер основной матрицы ШГК, при гелиевых (и ниже) температурах. При этом время ядерной магнитной релаксации значительно укорачивается, поскольку ПЭЦ являются быстрорелаксирующими центрами, а время корреляции τ ядерных спинов [7] принимается равным времени диполь-решеточной релаксации ПЭЦ $\tau_{\text{ПЭЦ}}$ ($\tau_{\text{ПЭЦ}} \sim T_1^{-1}$) [4].

Рассмотрим ядерную магнитную релаксацию ядер К в KCl:OH⁻. Уравнение вида

$$\frac{d\langle I_z \rangle}{dt} = -\frac{1}{T_1} (\langle I_z \rangle - I_0)$$

описывает продольную ядерную магнитную релаксацию, если время T_1 определяется следующим выражением [7]:

$$T_1^{-1} = \frac{3}{40} \left(\frac{2I+3}{2I-1} \right) \left(1 + \eta \frac{2}{3} \right) \left(\frac{e^2 Q}{\hbar} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)^2 \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (1)$$

где $\langle I_z \rangle$ — среднее значение оператора спинового момента ядра калия ($I = 3/2$); I_0 — равновесное значение момента; $\tau \sim T^{-1}$; η — параметр асимметрии ($0 \leq \eta \leq 1$); eQ — квадрупольный момент ядра калия; e — заряд электрона; v — потенциал, создаваемый на ядре К электрическими диполями OH⁻; ω — ларморовская частота ядер К. Величина градиента электрического поля, создаваемого диполями OH⁻ на ядре К, найдена в [4]. Ядерная спиновая диффузия в рассматриваемых системах подавляется [5,6,8].

Однако при больших концентрациях ($c > 10^{-4}$), когда величина взаимодействия между ПЭЦ больше $k_B T$, характер ядерной магнитной релаксации не исследовался. Мы полагаем, что при большой концентрации ПЭЦ с понижением с температуры система ПЭЦ переходит из параэлектрической фазы в фазу электродипольного псевдоспинового стекла при некоторой хорошо определенной температуре T_f . Ниже этой температуры “стеклования” формируются “замороженные” локальные поля, создаваемые диполями OH⁻. Среднее время релаксации параметра порядка запишем (аналогично спиновому и стеклу [9]) в виде

$$\tau_{\text{ср}}/\tau_0 = |(T - T_f) / T_f|^{-z\nu}, \quad (2)$$

где $z\nu = 1$, $\tau_0 \approx 10^{-8}$ с — микроскопическое время релаксации в дипольном стекле [10]. В KCl:OH⁻ температура $T_f \approx 1$ К ($T_f \sim c$) при концентрации $c = 10^{-3}$ [2].

Далее при расчете T_1^{-1} в формуле (1) примем время корреляции в системе ядерных спинов τ равным времени $\tau_{\text{ср}}$. Тогда скорость продольной магнитной релаксации ядер К равна

$$T_1^{-1} = \frac{3}{40} \left(\frac{2I+3}{2I-1} \right) \left(1 + \eta \frac{2}{3} \right) \left(\frac{e^2 Q}{\hbar} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)^2 \frac{\tau_{\text{ср}}}{1 + \omega^2 \tau_{\text{ср}}^2},$$

$$T_1^{-1} \sim \tau_0 \left| \frac{T_f}{T - T_f} \right|^{z\nu}. \quad (3)$$

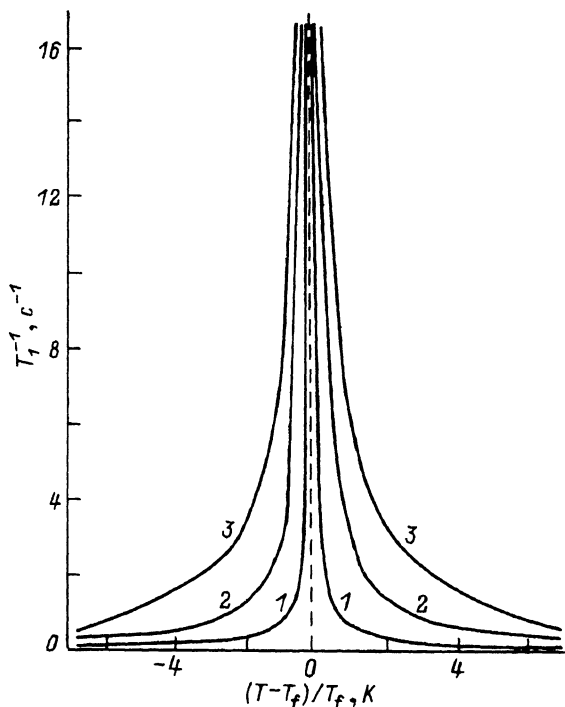


Рис. Аномальная температурная зависимость критической части скорости продольной магнитной релаксации ядер К в $\text{KCl}:\text{OH}^-$ при различных концентрациях OH^- :

1 — 10^{-3} , 2 — 2×10^{-3} , 3 — 3×10^{-3} .

Из (2) и (3) видно, что скорость при $\omega\tau_{\text{cp}} \ll 1$ ядерной релаксации меняется по сравнению с (1) и имеет сингулярность (расходимость) вблизи фазового перехода. Таким образом, в окрестности T_f скорость ядерной магнитной релаксации неограниченно возрастает, а примесная динамика взаимодействующих между собой ПЭЦ замедляется (см. рисунок). Отметим, что в непосредственной близости к T_f условие $\omega\tau_{\text{cp}} \ll 1$ не выполняется (аналогично сегнетоэлектрикам [11]).

При более высокой концентрации ПЭЦ эффективность релаксационного процесса ядерных спинов возрастает также вследствие роста T_f и величины градиента электрического поля. На рисунке приведено критическое поведение скорости магнитной релаксации ядер калия T_1^{-1} вблизи температуры “стеклования” T_f примесных электрических диполей OH^- в KCl при различных концентрациях OH^- .

Предлагаемый нами эксперимент по ядерной магнитной релаксации в электродипольных стеклах позволит, с одной стороны, получить информацию о механизмах релаксации и параметрах ядерной спин-системы, а с другой стороны, выяснить природу упорядочения ПЭЦ.

Список литературы

- [1] Fisher B., Klein M.W. // Phys. Rev. Lett. 1976. V. 37. N 12. P. 756-759.
- [2] Сабурова П.В. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 2. С. 606-607.
- [3] Saint-Paul M., Mesa M., Nava R. // Solid State Commun. 1983. V. 47. N 3. P. 183-185.
- [4] Копвиллем У.Х., Сабурова П.В. Параэлектрический резонанс. М., 1982. 224 с.
- [5] Kanert O., Mali M. // Phys. Lett. 1979. V. 69A. N 5. P. 344-346.
- [6] Kanert O., Kuchler R., Kuchler W. // Solid State Commun. 1985. V. 54. N. 11. P. 999-1002.

- [7] Абрагам А. Ядерный магнетизм. М., 1963. 551 с.
- [8] Stöckmann H.-J., Heitjans P. // J.Non-Cryst. Sol. 1984. V. 66. N 3. P. 501-509.
- [9] Binder K., Vung A.P. // Rev. Mod. Phys. 1986. V. 58. N 4. P. 801-976.
- [10] Ахмадуллин И.Ш., Сабурова Р.В. // ФНТ. 1984. Т. 10. № 9. С. 969-977.
- [11] Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М., 1981. 464 с.

Витебское отделение
Института физики твердого тела
и полупроводников
АН Беларуси

Поступило в Редакцию
14 сентября 1992 г.
В окончательной редакции
14 декабря 1992 г.

