

# ИНВЕРТИРОВАНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ ЯДЕРНОЙ СПИН-СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОМ ПРИ АДИАБАТИЧЕСКОМ БЫСТРОМ ПРОХОЖДЕНИИ

*В.Ф.Тарасов, В.А.Голенищев-Кутузов*

С помощью адиабатического быстрого прохождения ультразвуком получена инверсия спиновых уровней ядер  $\text{Na}^{23}$  в  $\text{NaCl}$ . Максимальный коэффициент инверсии составляет 0,65. Метод позволяет оценить константы спин-фононной связи и, по-видимому, наиболее пригоден для изучения металлов.

В работе экспериментально исследовалась инверсия намагниченности ядерной спин-системы ядер  $\text{Na}^{23}$  в монокристалле  $\text{NaCl}$  с помощью адиабатического быстрого прохождения (АБП) ультразвуком. Этот эксперимент является акустическим аналогом электромагнитного АБП. Однако, только применение акустического воздействия позволяет нарушать больцмановское распределение заселенностей уровней и, тем самым, получать информацию о спин-спиновом взаимодействии в кубических кристаллах [1]. (Явление АБП может также послужить основой для создания акустического мазера на ядерных уровнях.

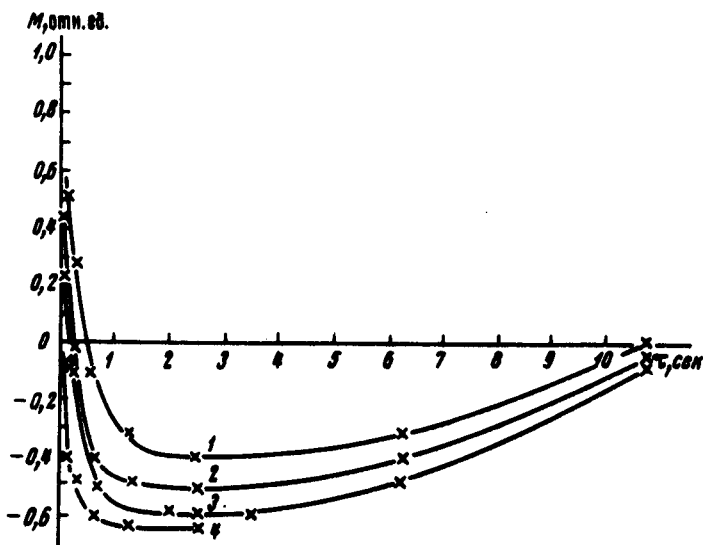


Рис 1 Зависимость намагниченности от времени прохождения при  $U_0 = 100$  е; 200 е; 300 е; 600 е (кривые 1, 2, 3, 4, соответственно)

Ранее о получении инверсной заселенности с помощью акустического АБП сообщалось в работе [2]. Однако этот эксперимент, в котором получена весьма малая инверсия (около 16%), не может служить основой для теоретической интерпретации и практического применения.

Наши исследования были выполнены на монокристалле  $\text{NaCl}$ , имевшем форму цилиндра диаметром 7 мм и длиной 23 мм; ось цилиндра

расположена вдоль оси [100]. В качестве источника ультразвука использовался кварц  $x$ -среза с резонансной частотой  $20 \text{ МГц}$ , который возбуждался от импульсного генератора мощностью  $50 \text{ вт}$ .

Величина и направление намагниченности ядерной спин-системы определялись по сигналу свободной индукции, возникающему после воздействия на образец  $90^\circ$  зондирующего электромагнитного импульса. При регистрации сигнала использовалось фазовое детектирование и запоминающее устройство. Акустическое прохождение осуществлялось свипированием частоты ультразвуковых колебаний от  $20294$  до  $20278 \text{ кГц}$  при резонансной частоте ядер  $\text{Na}^{23}$   $20286 \text{ кГц}$  в поле  $H_0 = 9007 \text{ э}$ , что соответствует переходу  $\Delta m = \pm 2$ .

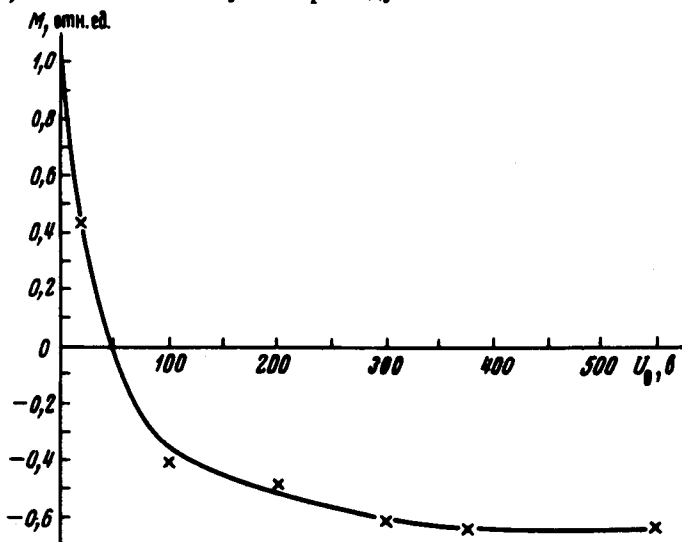


Рис.2. Зависимость намагниченности от амплитуды напряжения на пьезопреобразователе

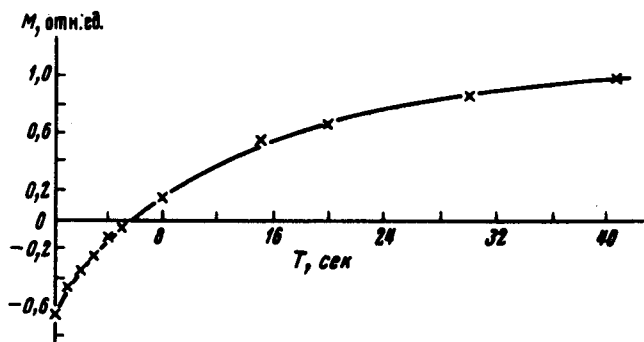


Рис.3. Восстановление намагниченности после окончания действия акустического импульса

Нами были исследованы зависимости намагниченности ядерной спин-системы от времени прохождения ( $\tau$ ) и от напряжения на преобразователе, причем сохранялась постоянная задержка между окончанием прохождения и подачей зондирующего импульса. Зависимость намагниченности от  $\tau$  при различных напряжениях на кварце ( $U_0$ ) приведена на рис 1. При постоянном  $\tau = 2 \text{ сек}$  и  $U_0 = 600 \text{ в}$  получено максимальное инвертированное значение намагниченности  $65\%$  от начальной (рис 2).

Подтверждением факта инверсной спиновой заселенности под действием ультразвука служит временная зависимость восстановления начальной намагниченности после окончания акустического прохождения (рис 3).

Как показал Гольдман [3], потери намагниченности в экспериментах по АБП определяются следующими причинами:

1) потери за счет недостаточной адиабатичности прохождения; они обратнопропорциональны вероятности переходов ( $W$ ) под действием возбуждающего поля;

2) потери намагниченности за счет спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ), или

$$l_n \left( \frac{|M_{\text{нач}}|}{|M_{\text{кон}}|} \right) = A W^{-1} \left( \frac{dH}{dt} \right) + B T_1^{-1} \left( \frac{dH}{dt} \right)^{-1},$$

где  $M$  — намагниченность спин-системы;  $A$  и  $B$  — постоянные для каждого вещества, независимые от метода возбуждения. При электромагнитном возбуждении  $W^{(\text{ЭМ})} \sim H_1^2$ , а акустическом  $W^{(A)} \sim G_{ij}^2 \epsilon_i^2$ , где  $H_1$  — напряженность электромагнитного поля;  $G_{ij}$  — элементы тензора спин-фононных взаимодействий;  $\epsilon_i$  — амплитуда ультразвуковой деформации. Элементы тензора  $G_{ij}$  можно оценить из условия одинаковой потери намагниченности при электромагнитном (ЭМ) и акустическом (А) возбуждении. Проведенные нами эксперименты по (ЭМ) и (А) возбуждениям дали значение  $G_{ij} \sim 10^{-15}$  ед. CGSE при использовании известных выражений для  $W^{(\text{ЭМ})}$  и  $W^{(A)}$  [4].

$$W_{m, m+2}^{(A)} = \frac{1}{64} g(\nu) \left( \frac{A}{\hbar} \right)^2 (l-m)(l-m-1)(l+m+1)(l+m+2) G_{11} \epsilon_1$$

$$W_{m, m+1}^{(\text{ЭМ})} = \frac{1}{4} \gamma_n^2 H_1^2 g(\nu) (l-m)(l+m+1).$$

По-видимому, примененный нами метод акустической инверсии ядерных спиновых уровней наиболее подходящ для использования в проводящих средах, где радиочастотное возбуждение ограничено глубиной скин-слоя.

Казанский  
физико-технический институт  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13 января 1975 г.

### Литература

- [1] А.Абрагам, Ядерный магнетизм, М., ИИЛ, 1963.
- [2] P.Averbuch, L.W.James, R.L.Mahler. Appl. Phys. Lett., 11, 339, 1967.
- [3] М.Гольдман, Спиновая температура и ЯМР в твердых телах, М., изд. Мир, 1972.
- [4] Д.Болеф. Сб. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, IY A, M., изд. Мир, 1969.