

10  
H-41  
1308



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

---

Б.С. Неганов, Л.Б. Парфенов, В.И. Лушиков, Ю.В. Тарай

P-1308

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ  
ПРОТОНОВ ПРИ  $0,5^{\circ}\text{K}$

ис.э.т.ф., 1963, т.45, в.2, с. 394-398

Дубна 1963

2026/2 у.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ  
ПРОТОНОВ ПРИ  $0,5^{\circ}\text{K}$

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

В последнее время проведен ряд успешных экспериментов по динамической поляризации протонов (ДПП) в кристаллах  $La_2Mg_3(NO_3)_{12} \cdot 24H_2O$  с парамагнитными примесями церия  $^{1,2,3/}$  и неодима  $^{4/}$  при температурах 1,4–1,7°К. Наибольшая поляризация протонов (51%) была достигнута в работе  $^{4/}$  за счет использования высокого магнитного поля ( $\approx 20$  кэ) и высокой частоты насыщения электронного парамагнитного резонанса – ЭПР ( $\approx 50$  Гц). Дальнейшее увеличение магнитного поля и частоты ЭПР составляет серьезную техническую трудность, особенно при поляризации больших мяшеней ( $\approx 10$  см<sup>3</sup>). В то же время увеличения поляризации можно было бы достигнуть, используя успехи в получении стационарных температур 0,3–0,5°К, если, конечно, при этом не произойдет резкого падения коэффициента динамического усиления.

В настоящей заметке сообщаются результаты предварительных экспериментов по ДПП в кристалле двойного нитрата с концентрацией церия 0,8% (по лантану) при температуре  $\approx 0,5^\circ\text{K}$ . Исследуемый образец с размерами  $6 \times 6 \times 2$  мм<sup>3</sup> помещался в кварцевую ампулу и через отверстие в поршне вводился внутрь резонатора, находящегося при температуре 4,2°К. Ампула заполнялась жидким He<sup>4</sup>, осуществлявшим тепловой контакт образца с ванной жидкого He<sup>3</sup>. Температура He<sup>3</sup> регулировалась скоростью откачки его паров.

Исследуемый образец располагался в резонаторе так, что гексагональная ось кристалла была перпендикулярна внешнему магнитному полю  $H$ . В этом случае  $g$ -фактор иона Ce<sup>3+</sup> равен  $g_{\perp} = 1,83$ . В резонаторе возбуждались колебания типа  $H_{102}$  с частотой  $\nu = 9000$  Мгц. Частота клистронного генератора сверхвысокой частоты стабилизировалась относительно собственной частоты резонатора.

Увеличение поляризации протонов в кристалле при насыщении ЭПР определялось по усилению сигнала ядерного магнитного резонанса протонов (ЯМР). Детектором сигнала ЯМР служила автодинная схема с автоматической подстройкой уровня генерации.

В области температур 0,5–1,7°К нами наблюдалось значительное увеличение протонной поляризации, и были изучены: 1) зависимость коэффициента усиления протонной поляризации от величины внешнего магнитного поля  $H$  при фиксированной частоте ЭПР; 2) зависимость коэффициента усиления от мощности, насыщающей ЭПР, при фиксированном значении  $H$ ; 3) зависимость времени протонной спин-решеточной релаксации  $T_1$  от температуры.

Увеличение поляризации протонов характеризуется коэффициентом динамического усиления  $\eta$ , равного отношению сигнала ЯМР при наличии насыщения ЭПР ионов Ce<sup>3+</sup> к сигналу ЯМР в отсутствие микроволновой мощности, насыщающей ЭПР. Экспериментальная зависимость коэффициента усиления  $\eta$  от поля  $H$  при фиксированной частоте клистрона представляет собой типичную картину, наблюдаемую при динамической поляризации: усиление имеет максимальное отрицательное значение  $\eta_-$  при  $H_- = H_0 - \frac{\Delta H}{2}$  (соответствует "запрещенному" переходу с частотой  $\nu + \nu'$ ), равно нулю при  $H = H_0$  (разрешенный переход с частотой  $\nu$ ) и имеет максимальное положительное значение  $\eta_+$  при  $H_+ = H_0 + \frac{\Delta H}{2}$  (соответствует "запрещенному" переходу с частотой  $\nu - \nu'$ ).

При температуре образца  $(0,55 \pm 0,05)^\circ\text{K}$  были получены следующие значения коэффициента усиления:  $\eta_+ = 129 \pm 10$  и  $\eta_- = 118 \pm 10$ , что в поле  $H = 3500$  э соответствует поляризации протонов  $p = \eta p_0 = (8 \pm 0,5)\%$ . На рис. 1 приведена запись производных сигнала ЯМР при включенной и выключенной мощности СВЧ, насыщающей ЭПР. Расстояние между экстремумами коэффициента усиления  $\eta_+$  и  $\eta_-$  равно  $\Delta H = H_+ - H_- = (21 \pm 2)\text{э}$  по сравнению с шириной линии ЭПР между точками с максимальным значением производной поглощения  $\Delta_{pp} = (16 \pm 1)\text{э}$ .

Измерение зависимости коэффициента усиления от мощности СВЧ, насыщающей ЭПР, показало, что для достижения максимального значения коэффициента усиления достаточно 1 мвт (при добротности резонатора  $Q \approx 1000$ ).

Измерение времени протонной спиновой решеточной релаксации производилось методом импульсного насыщения ЯМР. Восстановление сигнала ЯМР до равновесного значения с хорошей точностью описывается одной экспонентой со временем  $T_1$ , зависимость которого от температуры представлена на рис. 2. В области температур  $0,3 - 1,7^\circ\text{K}$  указанная зависимость выражается в виде  $T_1^{-1} = T^{1.65 \pm 0.15}$ . В опытах по ДПП зависимость  $T_1$  от  $T$  служила дополнительным термометром, имеющим вполне удовлетворительную точность.

Эксперименты, выполненные с аналогичным образцом при температуре  $1,8^\circ\text{K}$ , дали усиление  $\eta = 124 \pm 12^{3/4}$ . Резкое понижение температуры образца не привело к падению коэффициента усиления. Дальнейшее увеличение магнитного поля и частоты позволит достичь поляризации протонов, близкой к 100%. В настоящее время готовится аналогичный эксперимент на частоте ЭПР 37 Гц.

Нами также были проведены эксперименты по ДПП с высокомолекулярным полиэтиленом низкого давления, облученным быстрыми нейтронами на реакторе дозой  $7 \cdot 10^{17}$  нейтр./см<sup>2</sup>. При температуре  $0,5^\circ\text{K}$  был получен коэффициент усиления  $\eta = 20$  по сравнению с  $\eta = 30$  при  $T = 1,6^\circ\text{K}^{5/4}$ .

В заключение авторы пользуются случаем выразить благодарность Ф.Л.Шапиро за постоянное внимание и интерес к работе.

#### Л и т е р а т у р а

1. M. Borghini, A. Abragam. *Helv. Phys. Acta, Suppl.* VI, 143 (1960).
2. O.S. Leifson, C.D. Jeffries. *Phys. Rev.* 122, 1781 (1961).
3. В.И. Лушиков, А.А. Маненков, Ю.В. Таран. *ФТТ*, 5, 233 (1983).
4. T.J. Schmugge, C.D. Jeffries. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 7, 450 (1962).
5. А.В. Кессених, В.И. Лушиков, А.А. Маненков, Ю.В. Таран. *ФТТ*, 5, 443 (1983).

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 мая 1983 г.

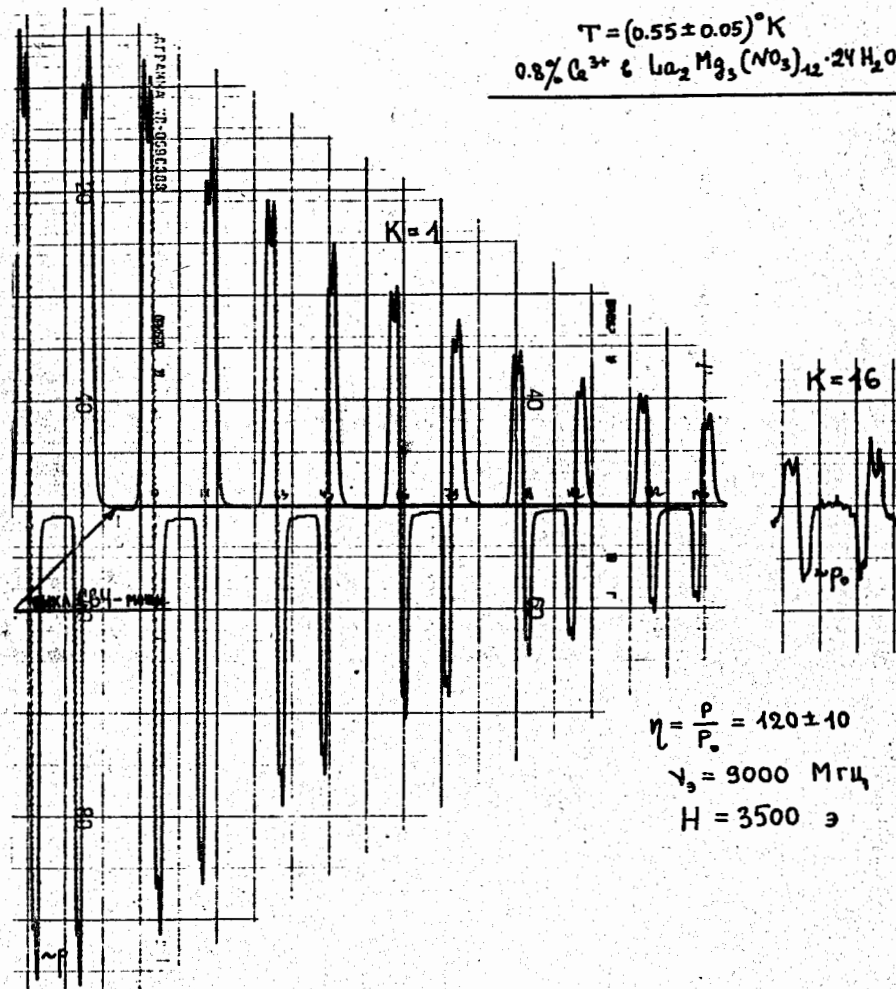


Рис. 1. Усиление сигнала ЯМР при  $0,55^\circ\text{K}$  ( $K$  - относительный коэффициент усиления измерительного тракта).

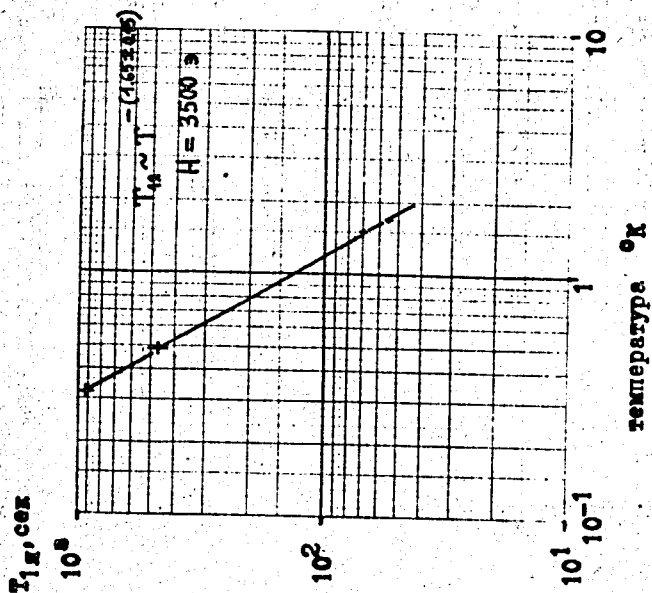


Рис. 2. Зависимость времени протонной спин-решеточной релаксации  $T_1$  от температуры для кристалла с концентрацией  $\text{Ce}$  0,8%.