

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДЕЙТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ
ЛАНТАН-МАГНИЕВОГО НИТРАТА

В.И.Лушиков, Ю.В.Таран, А.И.Франк

Нами была сделана попытка применить динамический метод поляризации ядер дейтерия (см. [1-7]). В качестве образца использовался монокристалл двойного лантан-магниевого нитрата $La_2Mg_3(NO_3)_{12} \cdot 24(H_2O + D_2O)$ с 1%-ной примесью Nd^{I42} , в котором часть обычной кристаллизационной воды замещалась тяжелой водой. Кристалл объемом около 1 см^3 выращивался из раствора частично обезвоженных азотнокислых

солей лантана, магния и неодима в тяжелой воде. Степень дейтерированности раствора составляла более 90%. Однако, как показал масс-спектроскопический анализ, содержание дейтерия в кристалле равнялось 42%.

Динамическая поляризация осуществлялась методом со-
лид-эффекта [8] на установке, описанной в [9, 10]. Экспери-

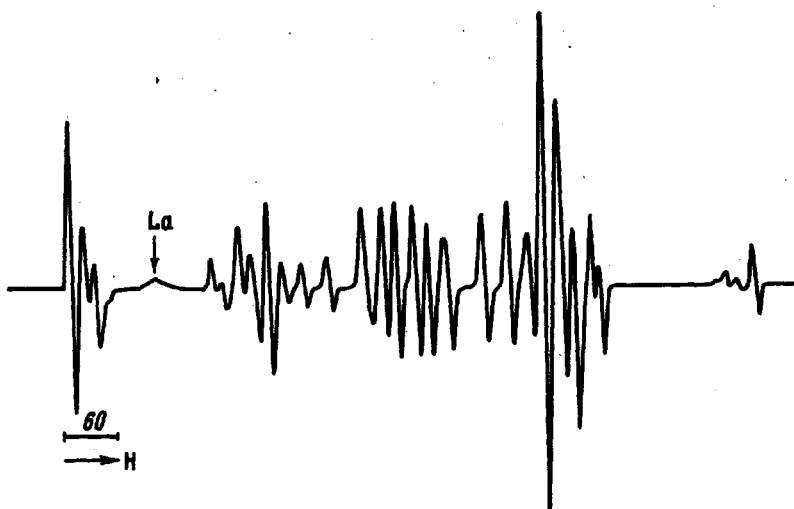


Рис. I. Типичный спектр сигнала ЯМР дейтерия
в кристалле $(0,99 \text{ La}; 0,01 \text{ Nd})_2 \text{ Mg}_3 (\text{NO}_3)_{12}$
 $\cdot 12 \text{ H}_2\text{O} \cdot 12 \text{ D}_2\text{O}$ на частоте 6,5 Мгц и при
температуре $1,4^\circ\text{K}$

менты проводились на частоте 37 Ггц (магнитное поле 10 кэ) и при температуре $1,4^\circ\text{K}$. Неусиленный сигнал ядерного магнитного резонанса (ЯМР) дейтерия был ниже уровня шумов использованного нами автодинного спектрометра. После включения микроволновой мощности наблюдался интенсивный сигнал ЯМР (см. рис. I).

Спектр ЯМР дейтерия состоит из ряда частично неразрешенных линий, симметрично расположенных относительно центра. Такая структура наблюдаемых спектров обусловлена квадрупольным расщеплением зеемановских уровней и неэквивалентностью положений атомов дейтерия в кристаллической решетке.

Разные интенсивности симметричных относительно центра компонент спектра можно было бы объяснить значительной поляризацией отдельных групп атомов дейтерия и использовать для определения достигнутой поляризации, как это было сделано в [11]. Действительно, спиновую температуру T_s системы дейтронов можно определить из отношения интенсивностей симметричных компонент спектра

$$\mathcal{X} = \frac{n_{-1} - n_{-2}}{n_1 - n_0} = \exp(-2\mu_d H / k T_s),$$

где n_{-1} , n_0 , n_1 - населенности зеемановских уровней с проекцией спина дейтрона - 1, 0, 1 соответственно; μ_d - магнитный момент дейтрона, поляризация принята положительной. Это выражение справедливо, когда распределение населенностей зеемановских уровней является бoльцмановским. Однако наблюдавшееся различие интенсивностей симметричных линий носило нерегулярный характер как в одном эксперименте, так и в разных сериях его. В некоторых случаях \mathcal{X} достигала значений 0,15-0,20, что соответствовало бы поляризации $P = 77 \pm 84\%$, значительно превышающей теоретическое значение - 68%. В то же время суммы интенсивностей любых двух

симметричных линий, пропорциональные поляризации данной группы дейтронов $(\rho \sim n_1 - n_{-1} = (n_1 - n_0) + (n_0 - n_{-1}))$, в разные моменты эксперимента сохраняли почти постоянное значение, хотя \mathcal{H} сильно флуктуировала в интервале значений 0,15-1,1. Эти факты указывают на неприменимость понятия спиновой температуры к ядерной системе сразу после динамической поляризации, что, по-видимому, связано с неэквидистантностью зеемановских уровней дейтрона из-за наличия квадрупольного расщепления. Установление равновесия внутри ядерной системы за счет спин-спинового взаимодействия, на первый взгляд, должно сказаться на релаксации усиленных сигналов ЯМР дейтерия к тепловому равновесию, из которой можно определить время установления единой спиновой температуры.

На рис.2 показаны расчетные релаксационные кривые для пары симметричных сигналов в двух крайних предположениях: 1) время установления спиновой температуры значительно меньше времени спин-решеточной релаксации дейтронов T_{1n} и 2) значительно больше T_{1n} . Экспериментальные точки в пределах своих ошибок одинаково хорошо могут быть описаны в любом из этих случаев при $T_{1n} \approx 50$ мин. Следует указать на то, что спиновая температура, по-видимому, может быть установлена путем поворота кристалла после динамической поляризации вокруг оси, перпендикулярной магнитному полю.

Таким образом, измерение поляризации не может быть выполнено путем сравнения интенсивностей двух симметрич-

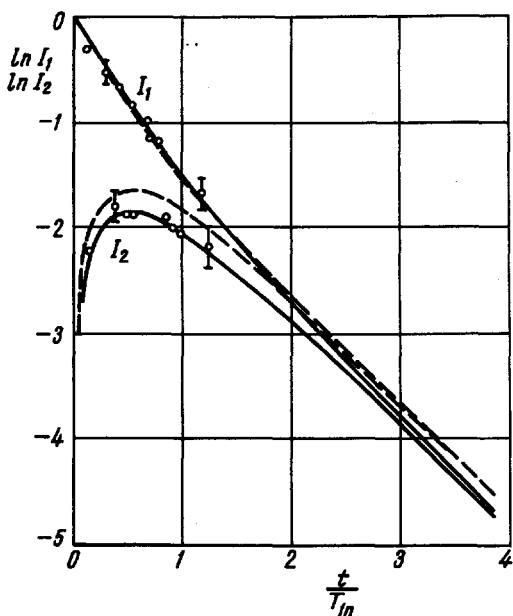


Рис.2. Релаксационные кривые сигналов ЯМР дейтерия при температуре $1,4^{\circ}\text{K}$. I_1 и I_2 обозначают амплитуды линий, входящих в симметричную пару, нормированных к единице. Сплошные кривые вычислены в предположении $T_3 \gg T_{1n}$, пунктирные — $T_3 \ll T_{1n}$

ных сигналов ЯМР дейтерия. Нижняя граница достигнутой поляризации (около 4,5%) может быть определена из того, что усиленный сигнал более чем в 300 раз превышал уровень шумов. По-видимому, поляризация больше 10% может быть получена в магнитном поле 20 кэ и температуре 1°K , что значи-

тельно превышает значение поляризации (около 1,2%), полученное в твердом дейтерии [12].

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступило в редакцию
3 марта 1965 г.

Литература

- [1] C.D.Jeffries. Dynamic nuclear orientation, Interscience, 1963.
- [2] O.Chamberlain, C.D.Jeffries, C.H.Schultz, G.Shapiro, V.van Rossum. Phys. Lett., 7, 298, 1963.
- [3] H.Steiner, J.Arens, F.Betz, O.Chamberlain, B.Deeterle, P.Grannis, M.Hansroul, G.Schultz, G.Shapiro, V.van Rossum, D.Weldon. Bull. Amer. Phys. Soc., 9, 95, 1964.
- [4] M.Borghini, M.Odehnal, R.Roubeau, C.Rytyr, G.Coignet, L.Dick, L.di Lella. Proc. of the 1964 Int. Conf. on High Energy Physics, Dubna, USSR.
- [5] A.Abragam, M.Borghini, P.Catillon, J.Coustham, R.Roubeau, J.Thirion. Phys. Lett., 2, 310, 1962.
- [6] P.Dragicesku, V.I.Lushchikov, V.G.Nikolenko, Yu.V.Taran, F.L.Shapiro. Phys. Lett., 12, 334, 1964.
- [7] R.Aaron, R.D.Amado, Y.Y.Yam. Phys. Rev. Lett. 13, 574, 1964.
- [8] A.Abragam, M.Borghini. Prog. in Low Temp. Physics., 4, 384, 1964.
- [9] П.Драгическу, М.Драгическу, В.И.Луциков, Б.С.Неганов, Л.Б.Парфенов, Ю.В.Таран. Препринт ОИЯИ Р-1626, Дубна, 1964.

- [10] В.И.Лушиков, Ю.В.Таран.Препринт ОИЯИ Р-1868, Дубна, 1964.
- [11] A.Abragam, M.Chapellier. Phys. Lett., II,205,1964.
- [12] C.A.Rebka. National Science Foundation Progress Report NSFG-22819, 1963.