

1868

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1868



В.И. Лушиков, Ю.В. Таран

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ  
В МИШЕНИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1964

Динамическая поляризация протонов в мишени большого объема

Методом солид-эффекта в мишени объемом  $28 \text{ см}^3$ , составленной из монокристаллов лантан-магниевого нитрата с 0,4% примесью  $\text{Nd}^{142}$ , получено 500-кратное усиление поляризации протонов кристаллизационной воды в магнитном поле 9,9 кэ и при температуре  $1,5^\circ\text{K}$ , что соответствует поляризации протонов 35%.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна. 1964.

Lushchikov V.I., Taran Yu.V.

P-1868

Dynamic Proton Polarization in a Large-Volume Target

In a  $28 \text{ cm}^3$  target consisting of the lanthanum-magnesium nitrate monocrystals with a 0.4% admixture of  $\text{Nd}^{142}$ , a x 500 enhancement has been obtained for the proton polarization in the crystallization water. The magnetic field was 9,9 kOe and the temperature -  $1,5^\circ\text{K}$ . This corresponds to the proton polarization equal to 35%. The solid-effect method was used.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna. 1964.

P - 1868

В.И. Лушков, Ю.В. Таран

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ  
В МИШЕНИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Направлено в журнал "Ядерная физика"

В работе <sup>/1/</sup> был успешно подтвержден метод поляризации резонансных и тепловых нейтронов с помощью пропускания через поляризованную протонную мишень. Для получения высокоинтенсивных и высокополяризованных нейтронных пучков требуются поляризованные протонные мишени больших объемов (согласно <sup>/2/</sup>, поляризация нейтронов растет с увеличением толщины мишени и поляризации протонов, а соответствующее уменьшение интенсивности можно компенсировать увеличением площади мишени). В связи с этим нами были проведены эксперименты по поляризации протонов методом солид-эффекта <sup>/3/</sup> в мишенях объемом в несколько десятков кубических сантиметров.

В качестве образцов использовались монокристаллы двойного лантан-магниевого нитрата  $\text{La}_2\text{Mg}_8(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ , в которых 0,4% атомов лантана замещалось парамагнитными атомами Nd. Чтобы избежать сверхтонкого расщепления, Nd обогащался до 98% четным изотопом  $\text{Nd}^{142}$ . Использовался La, чистота которого 99,99%.

Мишень составлялась из двух монокристаллов размером  $42 \times 34 \times 11$  и  $42 \times 34 \times 9,2$  мм (общие размеры, объем и вес были соответственно  $a \times b \times c = 42 \times 34 \times 20$  мм,  $28 \text{ см}^3$ , 56 г) и помещалась в настраиваемый микроволновой прямоугольный резонатор объемом около  $60 \text{ см}^3$ . Резонатор возбуждался на частоте 37 Гц (длина волны 8,1 мм) с помощью 100-милливаттного источника микроволновой мощности. Волноводная линия с резонатором на конце помещалась в гелиевый криостат, в котором можно было получать температуру до  $1,3^\circ\text{K}$ . Криостат устанавливался в зазоре электромагнита, создающего магнитное поле до 17 кэ с абсолютной стабильностью не хуже 0,5 э. Однородность магнитного поля улучшалась благодаря применению кольцевой шиммы, так что значения магнитного поля на окружности радиусом 2 см, лежащей в медианной плоскости, отличались от поля в центре окружности не более чем на 1 э. Магнитное поле было направлено вдоль грани кристалла  $b$  и перпендикулярно гексагональной оси кристалла. В этом случае  $g$ -фактор иона  $\text{Nd}^{3+}$  равен  $g_{\perp} = 2,70$ , и электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) наблюдается в магнитном поле около 9,9 кэ.

Поляризация протонов при насыщении ЭПР "запрещенных" переходов  $\text{Nd}^{3+}$  определялась по усилению сигнала ядерного магнитного резонанса (ЯМР) протонов кристаллизационной воды (подробное описание этого метода содержится в <sup>/4/</sup>) и по величине магнитного поля, создаваемого мишенью в результате появления заметной макроскопической намагниченности  $M$  системы протонов (последний метод был предложен Абрагамом <sup>/5/</sup> и впервые применен Шапелъе <sup>/6/</sup>).

Первым методом получены следующие результаты при температуре  $1,5^{\circ}\text{K}$ : положительное усиление  $\eta_+ = 550 \pm 60$ , соответствующая поляризация протонов  $p_+ = 0,37 \pm 0,04$ ; отрицательное усиление  $\eta_- = 570 \pm 60$  и соответственно  $p_- = 0,38 \pm 0,04$ .

Методика измерения макроскопического магнитного момента (намагниченности  $M$ ) системы протонов была следующей. На окружности радиусом  $R = 35,5$  мм (вне криостата) устанавливалось два датчика ЯМР протонов с размерами  $4 \times 2$ ,  $5 \times 2,5$  мм, имеющих ширину сигнала около  $0,5$  э. Один датчик находился на радиусе, перпендикулярном магнитному полю и граням кристалла  $a$  и  $b$ , а второй — на радиусе, параллельном им. Оба датчика подключались последовательно к генератору, работающему на частоте  $42,5$  МГц. Были сделаны три серии измерений расстояния между сигналами  $H_1 - H_2$  при положительной, отрицательной и нулевой поляризациях. Результаты следующие:  $(H_1 - H_2)_+ = 1,105 \pm 0,019$  э,  $(H_1 - H_2)_- = 1,877 \pm 0,026$  э,  $(H_1 - H_2)_0 = 1,409 \pm 0,021$  э (первоначальная разница магнитных полей около  $3,5$  э, вызванная неоднородностью поля, частично компенсировалась магнитным полем соленоида, намотанного на один из датчиков). Соответствующая разница между значениями магнитного поля  $H_{||}$  и  $H_{\perp}$ , создаваемого мишенью в местах расположения датчиков, оказалась равной при положительной поляризации  $\Delta H_+ = H_{||} - H_{\perp} = (H_1 - H_2)_+ - (H_1 - H_2)_0 = 0,304 \pm 0,028$  э, при отрицательной поляризации  $\Delta H_- = H_{||} - H_{\perp} = (H_1 - H_2)_- - (H_1 - H_2)_0 = 0,268 \pm 0,034$  э.

Значения  $H_{||}$  и  $H_{\perp}$  могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$H_{||} = 4M \left\{ \arctg 2ac \frac{1}{(\ell_{||} + b) [a^2 + c^2 + 4(\ell_{||} + b)^2]^{-1}} + \arctg 2ca \frac{1}{(\ell_{||} + b) [a^2 + c^2 + 4(\ell_{||} + b)^2]^{-1}} - \arctg 2ac \frac{1}{\ell_{||} [a^2 + c^2 + 4\ell_{||}^2]^{-1}} - \arctg 2ca \frac{1}{\ell_{||} [a^2 + c^2 + 4\ell_{||}^2]^{-1}} \right\}, \quad (1)$$

$$H_{\perp} = 4M \left\{ \arctg 2a^{-1} b(\ell_{\perp} + c) [a^2 + b^2 + 4(\ell_{\perp} + c)^2]^{-1} + \arctg 2^{-1} ab(\ell_{\perp} + c) [a^2 + c^2 + 4(\ell_{\perp} + c)^2]^{-1} - \arctg 2a^{-1} b\ell_{\perp} [a^2 + b^2 + 4\ell_{\perp}^2]^{-1} - \arctg 2^{-1} ab\ell_{\perp} [a^2 + c^2 + 4\ell_{\perp}^2]^{-1} \right\}, \quad (2)$$

где  $\ell_{||} = R - 0,5b$ ;  $\ell_{\perp} = R - 0,5c$ ;  $M = n\mu_p p = 0,531p$ ,  
 $n$  — число протонов в 1 см мишени,  $\mu_p$  — магнитный момент протона. Подставляя в (1) и (2) экспериментальные значения  $H_{||}$  и  $H_{\perp}$ , получим  $p_+ = 0,35 \pm 0,033$  и  $p_- = 0,32 \pm 0,04$ . Надо отметить, что еще в 1937 году Лазарев

и Шубников<sup>/7/</sup> выполняли похожий эксперимент по измерению статической восприимчивости твердого водорода и впервые доказали существование ядерного парамагнетизма. Однако эффекты, измеренные на поляризованной протонной мишени, более чем на два порядка величины превосходят эффект, измеренный в<sup>/7/</sup>.

В этой же мишени наблюдалась значительная поляризация ядер  $\text{La}^{139}$  (спин  $I = 7/2$ ). При положительной поляризации отношение интенсивностей переходов  $-1/2 \rightarrow -3/2$  и  $3/2 \rightarrow 1/2$  оказалось равным  $k = 0,7$ . Отсюда следует заключение о положительном знаке константы квадрупольного взаимодействия ядра  $\text{La}$  с внутрискристаллическим полем, что согласуется с ранее сделанными экспериментами Абрагама и Шапелье<sup>/8/</sup>. Наличие нескольких резонансных линий  $\text{La}$  позволяет непосредственно определить поляризацию ядер без измерения неусиленного сигнала (на эксперименте он был ниже уровня шумов). Действительно, нетрудно показать, что  $k = \exp(-2\mu/kT_s)$ , где  $\mu$  — магнитный момент ядра лантана,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T_s$  — спиновая температура. Отсюда  $T_s = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{K}$  и  $p_s = 0,26$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. П. Драгическу, В.И. Лушиков, В.Г. Николенко, Ю.В. Таран, Ф.Л. Шапиро. Phys.Lett., (1964); препринт ОИЯИ, Р-1797, Дубна, 1964.
2. Ю.В. Таран, Ф.Л. Шапиро. ЖЭТФ, **44**, 2185 (1963).
3. A.Abragam, M.Borghini. Progress in Low Temperature Physics, **4**, 384 (1964).
4. П. Драгическу, М. Драгическу, В.И. Лушиков, Б.С. Неганов, Л.Б. Парфенов, Ю.В. Таран. Препринт ОИЯИ, Р- 1626, Дубна, 1964.
5. A.Abragam. Comptes Rendus, **258**, 1773 (1964).
6. M.Chapellier. Comptes Rendus, **259**, 112 (1964).
7. В.Е. Лазарев, Л.В. Шубников. Phys. Zs. Sowjet Union, **11**, 445 (1937).
8. A.Abragam, M.Chapellier. Phys. Lett., **11**, 205 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 ноября 1964 г.