

ПОИСКИ ГРАВИТАЦИОННОГО МОМЕНТА ПРОТОНА

Г.Е.Вельхов

1. Если предположить, что нарушение C - и P -инвариантности, каждой в отдельности, происходит в слабом взаимодействии из-за слабости последнего, то можно попытаться распространить потерю симметрии относительно левого и правого на взаимодействия микромира с гравитационным полем. Тогда в гамильтониан для протона, находящегося в поле тяготения, войдет псевдоскалярный член $\Delta U = (\vec{\xi}G)$, где G — напряженность этого поля (полярный вектор), $\vec{\xi}$ — назовем гравитационным моментом протона (аксиальный вектор). Его размерность $эрг/га$ в системе CGS.

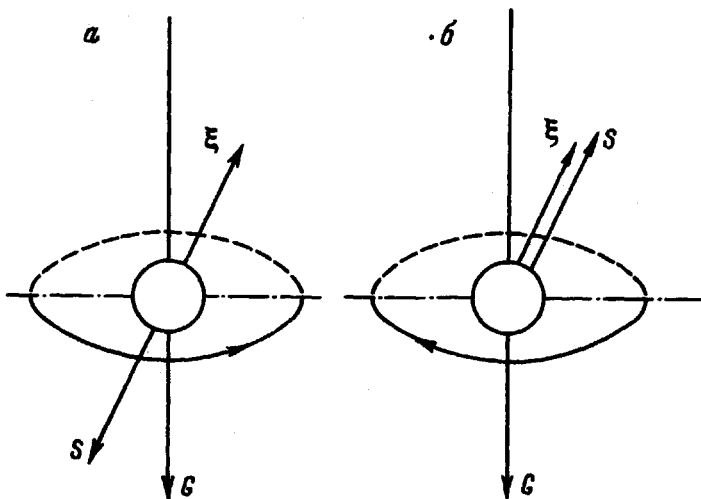


Рис.1. a — спиновая прецессия (круговые стрелки) и вектор G образуют левую систему координат; b — правая система координат

Выделенным направлением у протона является спин, следовательно, $\vec{\xi} = \xi_0 \vec{\sigma}$ (ξ_0 — проекция $\vec{\xi}$ на ось Z , $\vec{\sigma}$ — матрица Паули).

Нетрудно показать, что протон с ξ_0 в поле G будет процессировать с частотой $\omega' = \frac{\pm \xi_0 G}{\hbar}$, образуя правую (рис. 1, a) и левую систему координат (рис. 1, b). При этом последовательное рассмотрение показывает, что частоты ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при $H_0 \downarrow G$ и при $H_0 \uparrow G$ остаются неизменными, но при $H_0 \perp G$ положение ЯМР относительно двух первых случаев смещается либо в ббльшие, либо в

мёньшие частоты. Это дает возможность определить величину ξ_0 и его знак для соответствующей системы координат:

$$\Delta\nu = \nu_H - \nu_L = \frac{\pm \xi_0 G}{\pi \hbar}, \text{ или } \xi_0 = \pm \frac{\Delta\nu \pi \hbar}{G}.$$

При $\Delta\nu > 0$ следует принять $\xi_0 > 0$ в правой системе и $\xi_0 < 0$ в левой системе координат. Если $\Delta\nu < 0$, то $\xi_0 < 0$ в правой системе и $\xi_0 > 0$ в левой системе координат.

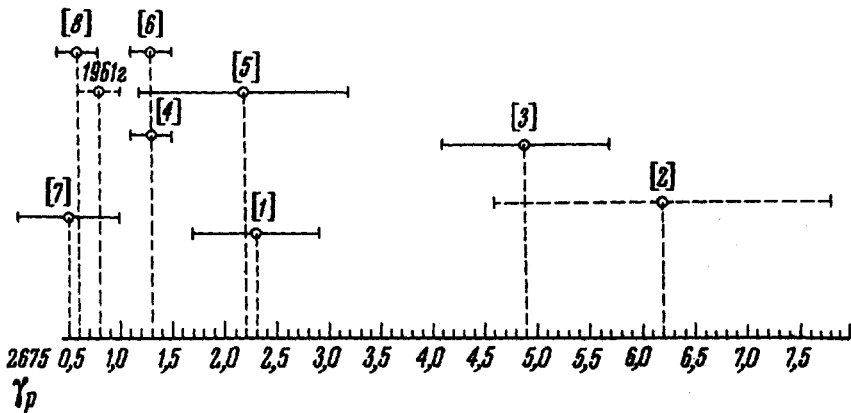


Рис.2. Сводка метрологических работ по измерению гиромагнитного отношения протона

2. На рис. 2 собраны известные автору метрологические работы [1 – 8] по измерению гиромагнитного отношения протона $\gamma_p = \omega/H_0$. Из них существенно выделяются завышенным результатом две работы [2, 3]. Оказалось, что во всех прочих работах измерения велись при $H_0 \perp G$, а в работах [2, 3] поле H_0 (~ 100 э) ориентировалось по H_3 (магнитное поле Земли) и переключением тока в соленоиде исключалось влияние последнего. Эти работы выполнены в Кёльне (ФРГ), где H_3 к полю G ориентировано под $\angle \alpha \approx 20^\circ$. Если в расчет γ_p работы [3] внести поправку на поле G , то $\gamma_p^w = \gamma_p + \Delta\gamma_p$, где

$$\Delta\gamma_p = \frac{2\xi_0 G}{\hbar H_0} \cos 20^\circ = \gamma_p^w - \gamma_p^T = 2,6 \pm 1$$

(γ_p^w – результат из [3], γ_p^T – результат из [1]). При расчете было принято: $\xi_0 > 0$ в правой системе, а $\xi_0 < 0$ в левой системе координат. Из полученного соотношения следует:

$$\xi_0 = \pm (1,4 \pm 0,7) \cdot 10^{-28} \text{ эрг/гал.}$$

3. Наша измерительная установка состояла из двух пар колец Гельмгольца (ϕ 120 и 140 см), которые компенсировали поле H_3 до 10^{-3} э. Это определялось магнитометром (ферромагнитный зонд) и баллистическим методом. В центр системы помещалось безжелезное устройство, дающее поле H_0 . Его можно было ориентировать вертикально и горизонтально. Схема детектора ЯМР взята из [3]. В катушку генератора помещалась ампула (ϕ 24 см) с раствором CuCl_2 в воде. Концентрация CuCl_2 подбиралась из условий отсутствия "захвата" и минимальной ширины линии поглощения. Отношение сигнала к шуму составляло 1:50.

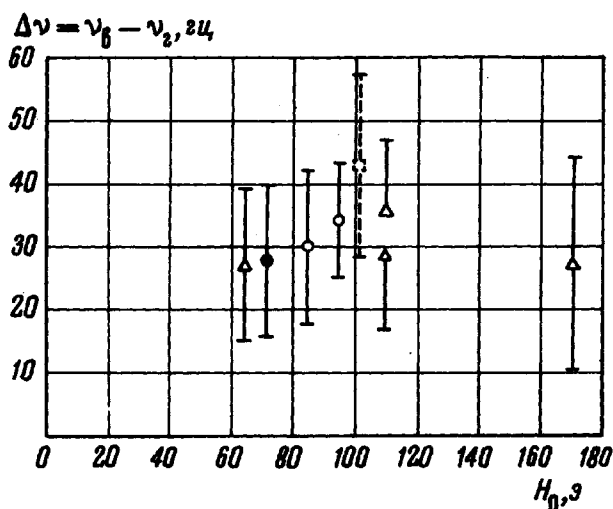


Рис.3. Наблюдаемый эффект относительного сдвига частот ЯМР протонов при вертикальной и горизонтальной ориентации поля H_0

Полная ширина линии на высоте $1/3$ составляла $\Delta\nu/\nu = 4 \cdot 10^{-4}$, что позволяло определить ЯМР по вершине с точностью $\Delta\nu/\nu = 3 \cdot 10^{-5}$. Многократными измерениями при вертикальном поле H_0 , когда переключением тока создающего H_0 получались условия $H_0 \downarrow G$ и $H_0 \uparrow G$, было установлено, что с точностью $\Delta\nu/\nu = 4 \cdot 10^{-5}$ положение ЯМР не изменяется.

На рис. 3 приведены разности частот резонанса ν_B — при вертикальном поле H_0 и $\nu_Г$ — при горизонтальном поле H_0 . Среднее значение $\Delta\nu = \nu_B - \nu_Г = 31 \pm 10$ гц. Большинство этих измерений проводилось в условиях, не требующих точной компенсации H_3 . Для этого резонанс измерялся дважды при взаимообратных токах, как при вертикальном H_0 , также дважды при горизонтальном поле H_0 . Результаты для каждого случая складывались и из двух сумм определялась $\Delta\nu$. Для исключения

возможной систематической ошибки проводились измерения на трех различных устройствах. На рис. 3 белые круглые точки получены на соленоиде с принудительным воздушным охлаждением, треугольные точки на системе Гельмгольца, черная точка на соленоиде с водяным охлаждением. Пунктирная точка получена из анализа метрологических работ (см. рис. 2). В интервале от 64 до 170 э нет заметной зависимости $\Delta\nu$ от H_0 .

Итак, измерения дают: $\xi_0 = \pm(1 \pm 0,4) \cdot 10^{-28}$ эрг/гал, где $\xi_0 > 0$ в правой системе координат, $\xi_0 < 0$ в левой системе координат.

В заключение автор благодарит Ю.И.Неронова за дискуссии по методике ЯМР.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
29 июля 1968 г.

Литература

- [1] H. A. Thomas, R. L. Driscoll, J. A. Hipple. J. Res. NBS, 44, 569, 1950.
- [2] F. Kirchner, W. Wilhelmy. Zs. Naturforsch., 10, 657, 1955.
- [3] W. Wilhelmy. Ann. Phys., 19, 329, 1957.
- [4] P. L. Bender, Driscoll. IRE Trans. Instr., 1-7, 176, 1958.
- [5] H. Capptuller. Zs. Instrumentenkunde, 69, 191, 1961.
- [6] P. Vigureux. Proc. Roy. Soc., A270, 72, 1962.
- [7] Б.П.Ягола, В.И.Зигерман, В.П.Сепетый. Измерительная техника, 5, 24, 1962.
- [8] Н.В.Студенцов, Б.М.Яновский. Измерительная техника, 6, 28, 1962.