

РЕЛАКСАЦИЯ СПИНА МЮНИЯ В ЛЬДЕ ОБЫЧНОЙ И ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ

*И. И. Гуревич, Е. А. Мелешко, И. А. Муратова,
Б. А. Никольский, В. С. Роганов, В. И. Селиванов*

Измерена скорость релаксации λ спина мюония в льде H_2O и D_2O при температуре 77°K : $\lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 5,7 \pm 0,9 \text{ мксек}$,
 $\lambda_{\text{D}_2\text{O}} = 2,9 \pm 0,2 \text{ мксек}$.

В работе [1] был предложен метод изучения магнитных дипольных взаимодействий и диффузии μ^+ -мезона в твердом теле. Метод основан на определении скорости затухания λ амплитуды прецессии σ μ^+ -мезона в данном веществе, помещенном в поперечное по отношению к спину μ^+ -мезона магнитное поле. Затухание прецессии или релаксация спина μ^+ -мезона происходит в результате действия на μ^+ -мезон локальных магнитных полей, которые создаются магнитными моментами ядер решетки. Благодаря действию этих магнитных полей μ^+ -мезоны, находящиеся в различных кристаллических ячейках, прецессируют с различной частотой, что приводит к затуханию наблюдаемой прецессии спина μ^+ -мезона. При диффузии μ^+ -мезона по решетке локальные дипольные магнитные поля на нем становятся переменными во времени и их влияние на прецессию μ^+ -мезона уменьшается, что приводит к уменьшению скорости затухания λ . Затухание амплитуды прецессии диффундирующего μ^+ -мезона может быть описано формулой [2]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left\{ -2\sigma^2 \tau^2 \left[\exp \left(-\frac{t}{\tau} \right) - 1 + \frac{t}{\tau} \right] \right\}. \quad (1)$$

Здесь σ_0 — амплитуда прецессии в начальный момент $t = 0$; τ — среднее время, которое диффундирующий μ^+ -мезон находится в одной кристаллической ячейке; σ характеризует скорость затухания амплитуды σ при отсутствии диффузии ($\tau = \infty$). Можно показать, что для данной кристаллической решетки

$$\sigma \sim \mu \sqrt{\frac{l+1}{l}}, \quad (2)$$

где l и μ — спин и магнитный момент ядер решетки. Из формулы (1) следует, что при отсутствии диффузии

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\sigma^2 t^2), \quad (3)$$

а при быстрой диффузии, когда время наблюдения $t \gg \tau$

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-2\sigma^2 \tau t). \quad (4)$$

Все сказанное о магнитных взаимодействиях и диффузии μ^+ -мезона в твердом теле справедливо также и для атома мюония (μ^+e^-) с той лишь разницей, что магнитный момент мюония в $m_\mu/m_e = 207$ раз превышает магнитный момент μ^+ -мезона, а частота ларморовской прецессии мюония $\omega = \frac{eB}{2m_e c}$ в 103 раза больше частоты прецессии μ^+ -мезона

на в том же поле B . Здесь m_e и m_μ — массы электрона и μ^+ -мезона.

В настоящей работе изучался изотопический эффект: различие скорости затухания амплитуды прецессии мюония в льде обычной и тяжелой воды. Эксперимент был выполнен на пучке поляризованных μ^+ -мезонов Объединенного Института Ядерных Исследований в г. Дубне. Постановка эксперимента описана ранее [1, 3]. Наблюдаемая затухающая прецессия мюония в льде H_2O и D_2O при температуре $77^\circ K$ показана на рисунке. Из рисунка видно, что скорость затухания амплитуды прецессии мюония λ в H_2O больше, чем в D_2O : $\lambda_{H_2O} = 5,7 \pm 0,9$ мксек, $\lambda_{D_2O} = 2,0 \pm 0,2$ мксек. Приведенные здесь значения λ определялись как $\lambda = 1/t_e$, где t_e — время затухания амплитуды прецессии в e раз. Различие величин λ_{H_2O} и λ_{D_2O} означает, что локальные магнитные поля на мюонии в H_2O и D_2O различны. Такими полями могут быть только дипольные магнитные поля магнитных моментов ядер водорода и дейтерия. Полученное на опыте отношение

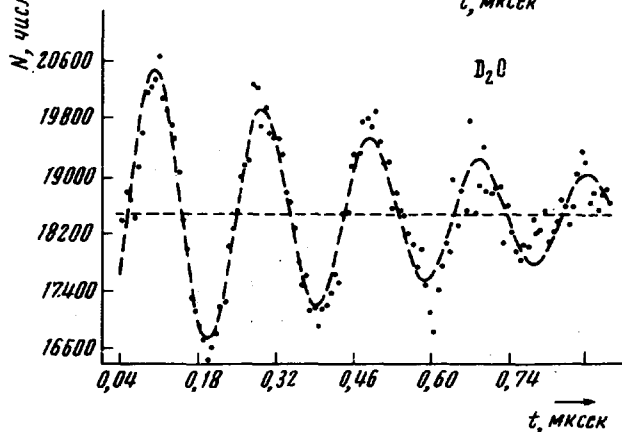
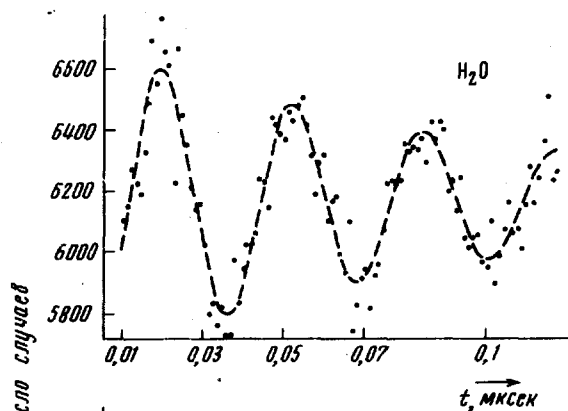
$$\frac{\lambda_{H_2O}}{\lambda_{D_2O}} = 2,9 \pm 0,5 \quad (5)$$

можно сравнить с теоретической величиной $(\lambda_{H_2O}/\lambda_{D_2O})_{\text{теор}} = 4 \div 16$, вычисленной на основании формул (1) и (2). Минимальное значение

$$\frac{\lambda_{H_2O}}{\lambda_{D_2O}} = \frac{\sigma_H}{\lambda_D} = \frac{\mu_H \sqrt{(l_H + 1)l_D}}{\mu_D \sqrt{(l_D + 1)l_H}} = 4 \text{ (см. (3))}$$

получается для недиффундирующего мюония, максимальное значение $(\lambda_{H_2O}/\lambda_{D_2O})_{\text{теор}} = (\sigma_H/\sigma_D)^2 = 16$

отвечает случаю (4) быстрой диффузии. Здесь принято, что $\tau_{\text{H}_2\text{O}} = \tau_{\text{D}_2\text{O}}$. Экспериментальное отношение (5) показывает таким образом, что примесный атом мюония в льде при температуре 77°K не диффундирует. Точнее говоря, время τ , которое мюоний находится в одной кристаллической ячейке, больше времени затухания $t_e = 1/\lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5 \text{ мксек}$ в льде. D_2O : $\tau > 0,5 \text{ мксек}$. Отсутствие диффузии мюония в льде можно было бы определить также из временной зависимости $a(t)$, которая в этом случае имеет гауссовский вид (3). Однако для экспериментального различия гауссовской (3) и экспоненциальной (4) зависимостей $a(t)$ требуется существенно большая статистическая точность.



Затухание прецессии спина мюония в льде H_2O и D_2O . Плавные кривые представляют собой расчетные зависимости $N(t)$, наилучшим образом удовлетворяющие экспериментальным результатам

Наряду с рассмотренной выше дипольной релаксацией возможны также другие причины затухания прецессии мюония в льде. Так например, мюоний может вступать в химическую реакцию, замещая водород с образованием диамагнитного соединения. Отношение $\lambda_{\text{H}_2\text{O}}/\lambda_{\text{D}_2\text{O}}$ скоростей затухания прецессии мюония во всех таких процессах равно единице. Возможность на дипольной релаксации спина мюония, естественно, усложняет интерпретацию полученных экспериментальных результатов. Дополнительная информация может быть получена при изучении температурной зависимости $\lambda(T)$.

Литература

- [1] I.I.Gurevich, E.A.Meleshko, L.A.Muratova, B.A.Nikolsky, V.S.Roganov, V.I.Selivanov, B.V.Sokolov. Phys. Lett., 40A, 143, 1972.
 - [2] А.Абрагам. Ядерный магнетизм. М., ИИЛ, 1963, стр. 407.
 - [3] И.И.Гуревич, И.Г.Ивантер, Е.А.Мелешко, Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.П.Смилга, Б.В.Соколов, В.Д.Шестаков. ЖЭТФ, 60, 471, 1971.
-