

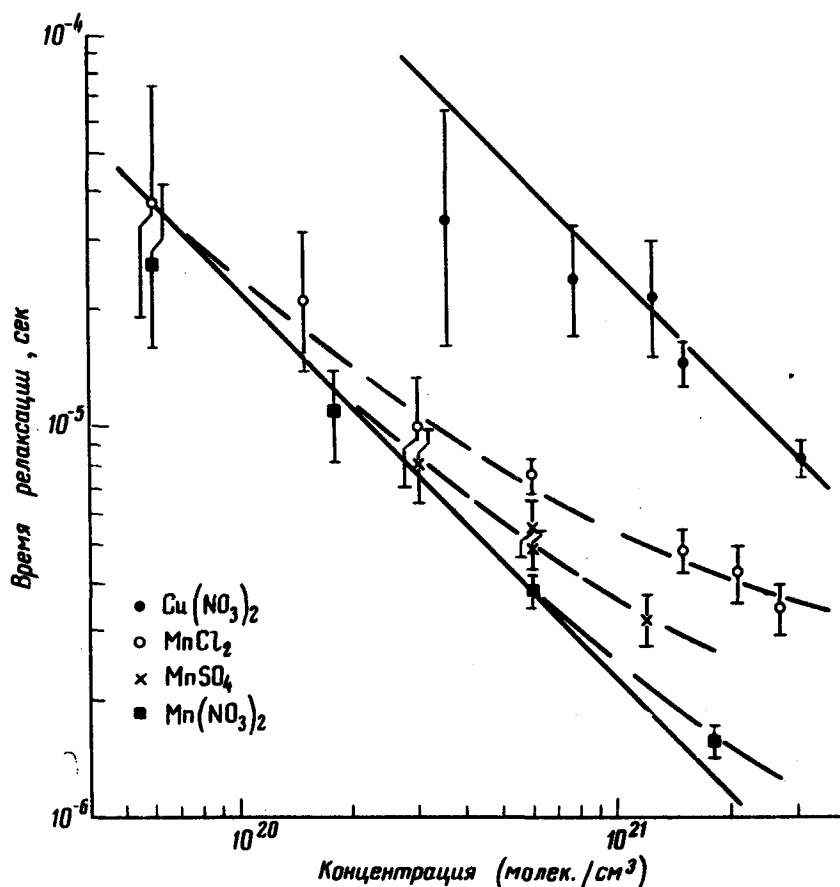
ПРОЦЕССЫ "МЕДЛЕННОЙ" ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ μ^+ -МЕЗОНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПАРАМАГНИТНЫХ ИОНОВ

*Е.В. Минайчев, Г.Г. Мясничева, Ю.В. Обухов,
В.С. Рогонов, Г.И. Савельев, В.Г. Фирсов*

Измерены времена релаксации спина μ^+ -мезона в растворах с различной концентрацией ряда парамагнитных ионов $[A_c]$. Полученные результаты показывают глубокую аналогию с данными по временам спин-спиновой релаксации (T_2) протона, полученными методом ядерного магнитного резонанса (при учете разницы в магнитных моментах протона и μ^+ -мезона). Отклонения от прямолинейной зависимости (в координатах $\lg T_2 - \lg [A_c]$) в области высоких концентраций ионов в растворе интерпретированы как изменение степени диссоциации солей, зависящее от природы аниона.

При замедлении μ^+ -мезонов в среде происходит образование атомной системы — мюония ($M\mu$), являющегося как бы легким

изотопом атомарного водорода. Мюоний может вступать в химические реакции аналогично атому H [1, 2]. Деполяризация спина μ^+ -мезона в составе мюония может происходить также в результате обменных взаимодействий со средой [3]. Явление "медленной" (масштаба микросекунд) деполяризации μ^+ -мезонов рассмотрено экспериментально нами ранее на примере ряда кристаллических решеток с различным типом химической связи [4, 5]. Ряд важных результатов, свидетельствующих о необходимости учета спин-обменных взаимодействий мюония со средой, получен в работах [6 - 9].



Зависимость времени релаксации спина μ^+ -мезона от концентрации солей парамагнитных ионов в водных растворах. Прямые линии – экстраполяция данных ЯМР (см. текст)

Представляют значительный интерес данные о деполяризации спина μ^+ -мезона в условиях, сопоставимых с подробно исследованной методом ЯМР релаксацией спина протона (см., например [10, 11]), как в кристаллах [8], так и в жидкой фазе [12, 13]. Нами исследована зави-

симось скорости деполяризации μ^+ -мезонов в водных растворах от концентрации (вплоть до предела насыщения при комнатной температуре) солей, содержащих парамагнитные катионы. Использовались соли Mn^{++} с различными анионами, что выполнено с целью проверки влияния последних на спин-обменные взаимодействия.

Экспериментальные исследования проводились на μ^+ -пучке жестко-фокусирующего мезонного канала синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ. Аппаратура, методика проведения измерений и обработка результатов изложены ранее [2, 4]. Полученные для различных солей результаты представлены на рисунке.

Теория релаксационных процессов протонного магнитного резонанса в жидкостях (и, в частности, в растворах парамагнитных ионов) подробно развита в работах Бломбергера, Парселла и Паунда [14, 15]. Согласно этим представлениям, спин-спиновая релаксация обусловлена взаимодействием магнитных моментов парамагнитного иона и протонов молекул воды, входящих в сольватную оболочку иона. Теоретически показано и экспериментально подтверждено: 1) в разбавленных растворах (при полной диссоциации, т. е. в условиях, когда концентрация ионов, образующих аквакомплексы, стехиометрически эквивалентна концентрации вводимой соли) связь времени спин-спиновой релаксации T_2 и концентрации соли $[A_c]$ выражается прямолинейной зависимостью в координатах $\lg T_2 - \lg [A_c]$; 2) при изменении магнитного момента (β) иона указанная зависимость смещается на величину, обратно пропорциональную квадрату отношения соответствующих магнитных моментов. Следовательно, при замещении протона в молекуле воды μ^+ -мезоном должно выполняться соотношение

$$\frac{T_2^\mu}{T_2^p} = \left(\frac{\beta_p}{\beta_\mu} \right)^2 \approx 0,1.$$

Прямые линии на рисунке получены экстраполяцией (с учетом приведенного соотношения) данных по измерениям T_2 методом ЯМР в водных растворах солей Cu^{++} и Mn^{++} с различными анионами [16 – 18]. Как видно при малых концентрациях солей (для нитратов – практически во всем интервале концентраций) наблюдается хорошее согласие времен релаксации протона и μ^+ -мезона, но при повышении концентрации для хлорида и сульфата марганца возникают явные отклонения от теоретической зависимости. Последний результат естественно трактовать как уменьшение степени диссоциации солей с ростом их концентрации, зависящее от природы аниона. В этом случае экранирующее влияние анионов существенно ослабляет взаимодействие магнитных моментов парамагнитного иона и μ^+ -мезона.

Таким образом, появляется независимый метод изучения диссоциативных процессов в растворах высокой концентрации; возможна проверка выводов теории сильных электролитов (см., например, [19]). Соответствие времен релаксации протона и μ^+ -мезона (при учете разницы магнитных моментов) указывает на вхождение мюония в состав молекул воды сольватной оболочки. Одним из возможных объяснений этого

процесса может являться повышение скорости изотопного обмена в ак-
вокомплексе иона.

Поступила в редакцию
27 ноября 1973 г.

Литература

- [1] В.Г.Фирсов, В.М.Бяков. ЖЭТФ, 47, 1074, 1964.
- [2] Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 53, 451, 1967.
- [3] И.Г.Ивантер, В.П.Смилга. ЖЭТФ, 54, 559, 1968; 55, 1521, 1968.
- [4] Е.В.Минайчев, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, Г.И.Савельев, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 57, 421, 1969.
- [5] Д.Г.Андрианов, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, В.Г.Фирсов, В.И.Фистуль. ЖЭТФ, 56, 1195, 1969.
- [6] И.И.Гуревич, Л.А.Макарьина, Е.А.Мелешко, Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, Б.В.Соколов. ЖЭТФ, 54, 432, 1968.
- [7] И.Г.Ивантер, Е.В.Минайчев, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, Г.И.Савельев, В.П.Смилга, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 62, 14, 1972.
- [8] A.Schenck, K.M.Crowe. Phys. Rev. Lett., 26, 57, 1971.
- [9] И.И.Гуревич, Е.А.Мелешко, И.А.Муратова, Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, Б.В.Соколов. Препринт ОИЯИ Р14-6118, 1971. Дубна.
- [10] А.Лёше. Ядерная индукция, М., ИИЛ, 1963.
- [11] А.Керрингтон. Э.Мак-Лечлан. Магнитный резонанс и его применение в химии М., изд. Мир, 1970.
- [12] A.Schenck. Phys. Lett., 32A, 19, 1970.
- [13] A.Schenck, D.L.Williams, J.H.Brewer, K.M.Crowe, R.F.Johnson. Chem. Phys. Lett., 12, 544, 1972.
- [14] N.Bloembergen, E.M.Purcell, R.V.Pound. Nature, 160, 475, 1947.
- [15] N.Bloembergen, E.M.Purcell, R.V.Pound. Phys. Rev., 73, 679, 1948.
- [16] G.Laukien, J.Schlüter. Z. Phys. 146, 113, 1956.
- [17] R.A.Bernheim, T.H.Brown, H.S.Gutowsky, D.E.Woessner. J.Chem. Phys., 30, 950, 1959.
- [18] L.O.Morgan, A.W.Nolle. J.Chem. Phys., 31, 365, 1959.
- [19] Э.А.Мелвин-Хьюз. Физическая химия, М., ИИЛ., 1962.