

УДК 537.811.57

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ¹

Васильев Н. С.², Кашаев Д. В.³

STUDY OF WATER RELAXATION PROCESSES UNDER THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS

Vasilyev N. S., Kashaev D. V.

The study considered the water spin-lattice relaxation time ^2D и ^{17}O nuclear with magnetic field influence. There were found differences in the T_1 temperature dependence when compared with the control sample.

Keywords: spin-lattice relaxation, low frequency magnetic field

В настоящее время проблема воздействия электромагнитного поля на различные биологические и физико-химические системы находится на новом этапе развития. Разработан и математически оформлен ряд теорий, объясняющих механизм данного воздействия и указывающих первичные мишени электромагнитного излучения [1–3]. Прежде всего, это жизненно важные для любой живой системы ионы кальция, калия, натрия и др. В качестве первичных мишеней, например, для низкочастотного магнитного поля могут выступать также протон и дейтерий. В работе [4] авторы показали, что наблюдается корреляция между временем спин-решеточной релаксации воды на ядрах ^{17}O природного содержания и выживаемостью микроорганизмов. Однако, несмотря на очевидный прогресс в изучении механизмов электромагнитного воздействия, необходимы исследования процессов, происходящих при целенаправленном действии электромагнитного поля на модельную систему.

Цель работы заключается в исследовании времени спин-решеточной релаксации воды на ядрах ^2D и ^{17}O природного содержания под воздействием низкочастотного магнитного поля в диапазоне 1–20 Гц.

Для проведения экспериментов использовали дистиллированную воду с удельным со-

противлением 300 кОм/см. Обработку образцов воды производили в стеклянной емкости при помощи генератора низкочастотных сигналов ГЗ-118, к которому подсоединяли катушку индуктивности с 2500 витков, в экранированной камере. Напряженность магнитного поля составляла 0,01 А/м. Напряженность электрического поля была пренебрежимо мала. Нестабильность частоты в диапазоне от 1 Гц до 20 Гц составляла 0,2%. Исследования ЯМР (ядерный магнитный резонанс) проводились на импульсном спектрометре JNM-ECA400. Спин-решеточная релаксация (T_1) определялась с помощью метода «инверсии восстановления», состоящего из импульсной последовательности ($180^\circ - \tau - 90^\circ - \text{Acq}$). Погрешность при измерении времени спин-решеточной релаксации не превышала 2%.

На рис. 1 представлена температурная зависимость времени спин-решеточной релаксации контрольной серии образцов (кривая 1) и образцов, обработанных низкочастотным магнитным полем (кривая 2). Видно, что температурная зависимость T_1 обработанных магнитным полем образцов существенно отличалась от контроля (рис. 1), т.е. от прямолинейного вида. Кроме того, в интервалах температур 35–40 и 50–55°C время спин-решеточной релаксации практиче-

¹Работа выполнена при поддержке гранта РНПВШ 2.1.1./3179.

²Васильев Николай Сергеевич, канд. биол. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологии Кубанского государственного университета; e-mail: nikolasvs@mail.ru

³Кашаев Денис Владимирович, инженер 2-й категории ЦКП НОЦ «Центр нанотехнологии» Кубанского государственного университета; e-mail: den_kashaev@mail.ru

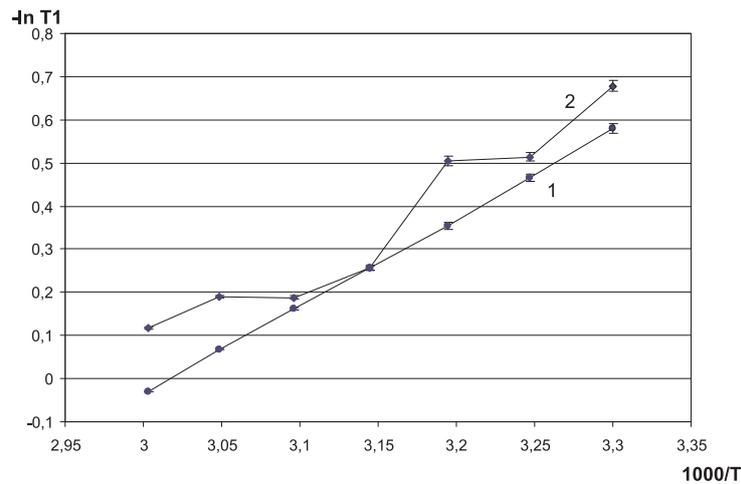


Рис. 1. Температурная зависимость времени T_1 , обработанного низкочастотным магнитным полем (2) и контрольного (1) образца

Энергия активации и время корреляции контрольного и обработанного образцов

Серия образцов	Энергия активации, ккал/моль	Время корреляции $\times 10^{-12}$, (1/с)
Контрольная	$3,93 \pm 0,08$	4,58
Обработанная магнитным полем	$3,92 \pm 0,05$	5,06

ски не изменялось при изменении температуры ($T_1 = \text{const}$). Используя материалы работ [6, 7], были рассчитаны энергия активации и время корреляции (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что энергии активации контрольной и обработанной низкочастотным магнитным полем серии образцов одинаковы, время корреляции, рассчитанное для температуры 30°C , также практически не изменяется.

Известно, что отклонение аррениусовой зависимости от прямой линии обусловлено тем, что изменение энергии взаимодействующих частиц (например, при химической реакции) больше тепловой энергии кТ. Однако, рассматривая полученные результаты, сложно установить процессы релаксации, удовлетворяющие данному условию. Например, равновесные и кинетические механизмы, предложенные для описания спин-решеточной релаксации [6] и основанные на связанном и свободном состоянии молекул, содержащих дейтерий, в рассматриваемом случае не очевидны. Измерения проводились на ядрах дейтерия природного содержания (0,015%). Вероятность того, что низкочастотное магнитное поле индуцировало переход дейтерированных молекул воды из связанного в свободное состояние с энергией, большей кТ, чрезвычайно мала. Учитывая

результаты работ [5–7] и достаточно низкую температуру, при которой проводились исследования, анизотропию также можно исключить. Вероятно, процессы, удовлетворяющие условию отклонения аррениусовой зависимости от линейного вида, связаны с механизмами движения дейтерия относительно всей молекулы (например, DHO), с межато́мным расстоянием DO и перераспределением электронной плотности.

На рис. 2 представлена температурная зависимость времени спин-решеточной релаксации дистиллированной воды на ядрах ^{17}O природного содержания. Проведена аппроксимация данной зависимости экспоненциальной функцией, результаты и точность аппроксимации отражены на рис. 2. Значение энергии активации, рассчитанное на основе температурной зависимости времени спин-решеточной релаксации дистиллированной воды на ядрах ^{17}O природного содержания, составляла $3,85 \pm 0,05$ ккал/моль. Этот результат незначительно отличается от энергии активации, рассчитанной для ядер ^2D , следовательно, для ядер ^2D и ^{17}O механизмы активации движения, как и механизмы релаксации в воде, идентичны. Это очевидно, так как оба ядра обладают квадрупольным моментом. Несмотря на это, отклонение температурной зависимости време-

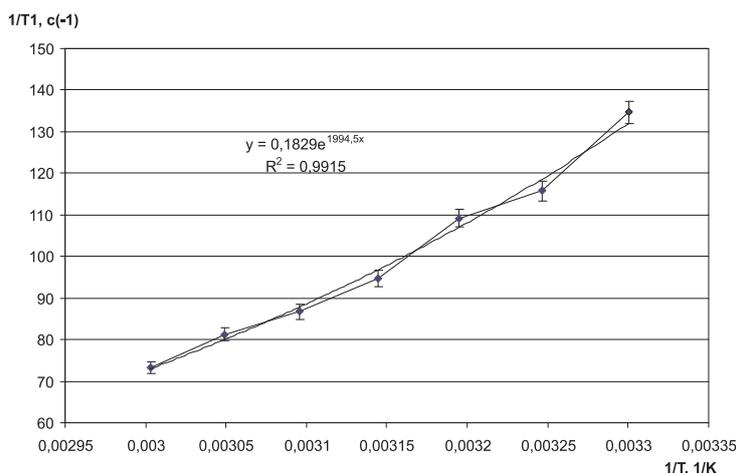


Рис. 2. Время спин-решеточной релаксации дистиллированной воды на ядрах ^{17}O природного содержания

ни спин-решеточной релаксации дистиллированной воды от прямой линии на ядрах ^{2}D существенно больше по сравнению с ^{17}O под воздействием низкочастотного магнитного поля (рис. 1 и 2).

На рис. 3 приведены результаты изменения времени спин-решеточной релаксации на ядрах ^{2}D природного содержания дистиллированной воды в зависимости от частоты воздействующего магнитного поля. Наблюдались экстремумы, вероятно, резонансного характера, свидетельствующие о структурных перестройках ближнего порядка молекул, содержащих ^{2}D . Необходимо отметить, что для контрольного образца величина времени T_1 составляла ≈ 559 мс. Максимальная эффективность электромагнитного воздействия наблюдалась на частоте 4 и 6 Гц.

Аналогичная зависимость, обладающая несколькими экстремумами (рис. 3) при изменении частоты воздействующего электромагнитного поля, была получена при работе с различными биологическими объектами [12–14]. Подобные полиэкстремумные характеристики были установлены и в работах других авторов [15–17]. Распределение максимумов и минимумов в частотном диапазоне 1–20 Гц (рис. 3), их амплитуда, взаимное расположение указывают на один общий процесс (или несколько процессов), лежащий в основе воздействия низкочастотного электромагнитного поля на конденсированные системы и биологические объекты.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Низкочастотное магнитное воздействие приводит к изменению процессов спин-решеточной релаксации ^{2}D дистиллированной воды в результате активизации нескольких механизмов релаксации.

2. Согласно частотной зависимости времени спин-решеточной релаксации на ядрах ^{2}D воздействие низкочастотного магнитного поля носит резонансный характер, что свойственно процессам низкоинтенсивного воздействия различной природы, в том числе и электромагнитной [8, 10, 11].

Литература

1. Белова Н. А., Панчелюга В. А. Модель В. В. Леднева: теория и эксперимент // Биофизика. 2010. Т. 55. Вып. 4. С. 750–766.
2. Захаров С. Д. О возможном фундаментальном единстве магнитобиологических «резонансов» // Биофизика. 2010. Т. 55. Вып. 4. С. 626–630.
3. Дроздов А. В., Нагорская Т. П., Масюкевич С. В., Горшков Э. С. Квантово-механические аспекты эффектов слабых магнитных полей на биологические объекты // Биофизика. 2010. Т. 55. Вып. 4. С. 740–749.
4. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джумаев С. С. О корреляции между временем спин-спиновой релаксации магнитообработанной воды и выживаемостью // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2010. № 1. С. 26–31.
5. Мельниченко Н. А., Чижик В. И. О «температурной зависимости» энергии активации молекулярных движений в воде по данным импульсного метода ЯМР // Журнал структурной химии. 1981. Т. 22. № 6. С. 76–80.

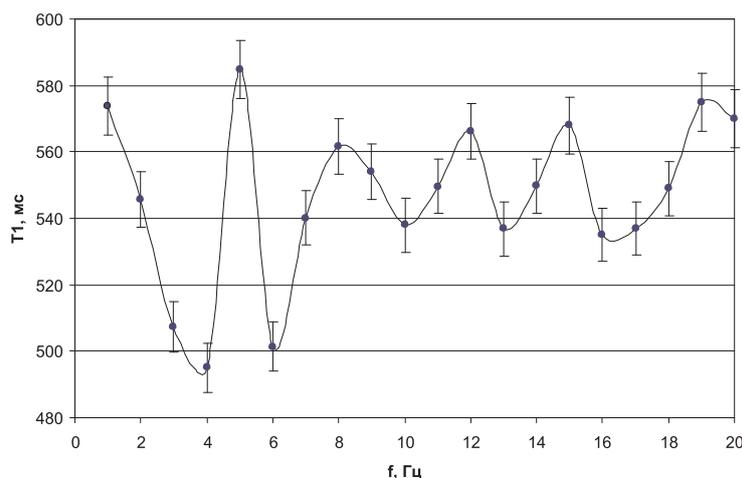


Рис. 3. Изменение времени спин-решеточной релаксации на ядрах ^2D природного содержания дистиллированной воды при температуре 30°C , обработанной электромагнитным полем

6. Hindman J. C., Zielen A. J., Svirmicks A., Wood M. Relaxation processes in Water. The Spin-Lattice Relaxation of the Deuteron in D_2O and Oxygen-17 in H_2^{17}O // J. Chem. Phys. 1971. Vol. 54. No. 2. P. 621–634.
7. Hindman J. C., Svirmicks A., Wood M. Relaxation processes in water. A study of the proton spin-lattice relaxation time // J. Chem. Phys. 1973. Vol. 59. No. 3. P. 1517–1522.
8. Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В. Основы физики воды. Киев: Наукова думка, 1991. 672 с.
9. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
10. Зацепина Г. Н. Свойства и структура воды. М.: Изд-во МГУ, 1974. 168 с.
11. Классен В. И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
12. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Куликова Н. Н., Джимаж С. С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. 288 с.
13. Барышев М. Г., Джимаж С. С., Кадамша А. М. Исследование влияния магнитообработанной воды на биологические объекты // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. №2. С. 69–74.
14. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джимаж С. С. Влияние воды, обработанной ЭМП КНЧ на микроорганизмы *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. №2. С. 22–25.
15. Бурлакова Е. Б., Конрадов А. А., Мальцева Е. Л. Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы // Биофизика. 2004. Т. 49. Вып. 3. С. 551–564.
16. Дронина Т. В., Попова Л. Ю. Действие миллиметровых электромагнитных волн на люминесценцию бактерий // Биофизика. 1998. Т. 43. Вып. 3. С. 522–525.
17. Дорфман Я. Г. Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971. 512 с.

Ключевые слова: спин-решеточная релаксация, низкочастотное магнитное поле