

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.635.539.14

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ ПРОТОННЫХ МАГНИТОМЕТРОВ

© В.С.Баранов, Н.М.Вечерухин, О.В.Крылов, А.М.Селиванов

*Научно-исследовательский институт физики
Санкт-Петербургского государственного университета*

Поступила в редакцию 19 февраля 1997г. Переработана 8 апреля 1997г.

Дано краткое описание аппаратуры для исследования времен релаксации и динамической протонной поляризации рабочих веществ магнитометров. Исследован ряд новых рабочих веществ, расширяющих эксплуатационные характеристики магнитометров. Впервые экспериментально определены коэффициенты поляризации протонов растворителя при насыщении σ - и π -переходов.

Многие задачи геофизики, инженерной геологии и археологии решаются методами квантовой магнитометрии. В НИИ Физики СПбГУ создан и модернизируется протонный магнитометр с динамической поляризацией ядер, работающий в непрерывном режиме [1], позволяющий проводить как полевую, так и морскую высокочувствительную магнитную съемку [2]. Испытания магнитометра выявили проблемы, требующие ближайшего рассмотрения; одна из них — выбор оптимального типа рабочего вещества магнитометра.

Исследованию рабочих веществ посвящено

большое количество работ, которые охватывают широкий спектр методов — от ЭПР до спектрального анализа, однако, для использования полученных данных на практике, приходится пересчитывать и экспериментально уточнять магнитометрические характеристики рабочего вещества.

Для исследования магнитометрических характеристик рабочих веществ в реальных условиях — магнитном поле Земли, авторами создана аппаратура, объединившая два магниторезонансных метода, которые позволяют наблюдать как сигналы свободной ядерной прецессии [3], так и непрерывный сигнал спинового фильтра/генератора [4]. На рис.1 приведена функциональная схема установки, состоящая из датчика, релаксометра ЯМР в слабых магнитных полях, блока динамической поляризации, контроллера и персонального компьютера.

Датчик, рабочим объемом 120 см³, служит для получения сигнала свободной прецессии при статической и/или динамической поляризации ядер или для работы в непрерывном режиме спинового фильтра/генератора с динамической поляризацией ядер.

Релаксометр ЯМР для слабых магнитных полей позволяет измерять времена продольной (T_1) и поперечной (T_2) релаксации, применяя одну из импульсных методик (Паккарда-Вариана, 90°–180° и др.). В его состав входят: блок коммутации, поляризации и формирователь радиочастотных импульсов, предварительный усилитель (уровень шумов, приведенных ко входу $U_{ш} = 1\text{мкВ}$), аналого-цифровой преобразователь.

Блок динамической поляризации создает в исследуемом образце протонную поляризацию и состоит из: генератора динамической поляризации с перестраиваемой частотой (10–100) МГц, измерителя частоты и мощности ВЧ-поля, блока формирования сигнала спинового фильтра/генератора при работе в непрерывном режи-

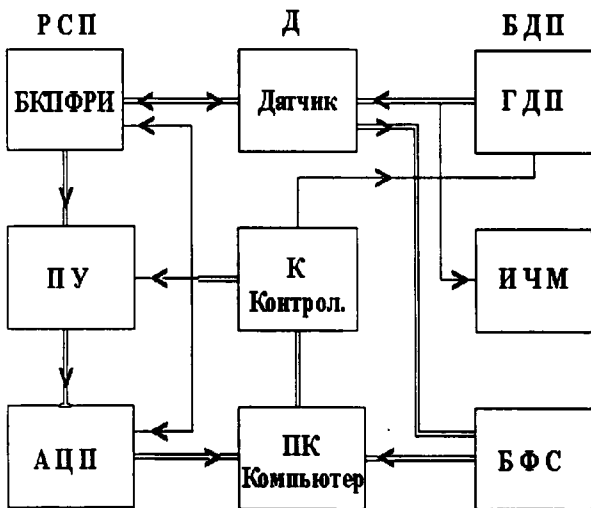


Рис.1 Функциональная схема установки для наблюдения времен релаксации и динамической поляризации протонов. РСП — релаксометр ЯМР в слабых магнитных полях; Д — датчик; БДП — блок динамической поляризации; К — контроллер; ПК — персональный компьютер; ПУ — пред-усилитель; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ГДП — генератор динамической поляризации; БФС — блок формирования сигнала; БКПФРИ — блок коммутации, поляризации и формирователь радиочастотных импульсов.

Таблица. Параметры соли Фреми.

Вещество	с о л ь Ф р е м и			
	0,005	0,01	0,005	0,0025
Концентрация (М)	0,005	0,01	0,005	0,0025
Растворитель	H ₂ O	ДМСО+ H ₂ O	ДМСО+ H ₂ O	ДМСО+ H ₂ O
Соотношение объемов		1:3	1:1	1:3
Время релаксации T ₂ (сек)	0,38±0,04	0,13±0,03	0,38±0,05	0,77±0,04
Переход 1-6 (МГц)	55,7	55,4	55,4	55,5
Переход 4-5 (МГц)	53,9	53,7	53,7	53,8
Амплитуда сигнала (В)	5,9	9,2	9,6	11,6

ме.

Персональный компьютер и контроллер управляют работой всей аппаратуры, осуществляют сбор и накопление экспериментальных данных, обработку и хранение информации.

Первоначальные исследования и калибровка аппаратуры проводились на хорошо изученных водных растворах пироксилamina дисульфоната калия K₂ (O₃S)₂ NO (соль Фреми). Растворы соли Фреми к настоящему времени являются лучшими рабочими веществами ядерно-резонансных магнитометров из-за относительно малой ширины линий ЭПР переходов, насыщение которых создает ядерную поляризацию, и слабого перекрытия линий ЭПР переходов, создающих поляризацию разных знаков. Это позволяет получить при сравнительно малой мощности "накачки" необходимую для работы магнитометра поляризацию ядер растворителя. Количество растворителей соли Фреми весьма

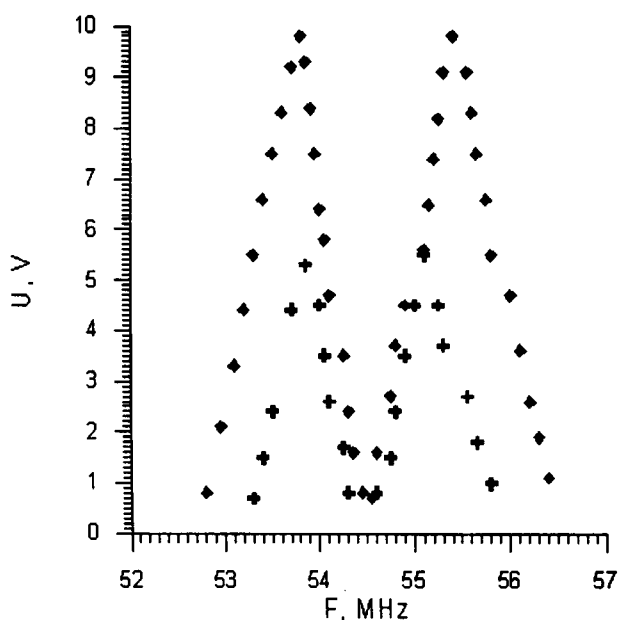


Рис.2. Зависимость величины динамической поляризации протонов от частоты поляризуемого поля для σ - (+++) и π - (***) переходов.

ограничено — это жидкости, диэлектрическая проницаемость которых больше 45. Все они имеют температуру замерзания $t \geq 0^\circ\text{C}$, что накладывает ограничения на работу в диапазоне отрицательных температур.

В качестве растворителей авторами использованы смеси диметилсульфоксид (ДМСО) — вода в соотношениях 1:1 и 1:3 по объему, которые в отличие от их компонент замерзают, соответственно, при температурах -61°C и -35°C .

Измерены времена протонной релаксации растворов, частоты переходов 1-6 и 4-5 [5] и коэффициенты поляризации σ - и π -переходов. Определены перекрытие линий, соответствующих переходам ЭПР различной по знаку поляризации, и оптимальная концентрация соли Фреми в растворе. Полученные результаты приведены в таблице, из которой следует, что оптимальная концентрация соли Фреми в растворе, соответствующая максимальной поляризации протонов растворителя, оказалась в 2-3 раза меньше обычно применяемой и равна (0,002-0,003) М.

Для поляризации ядер растворителя также можно использовать насыщение σ -переходов [5], которое эффективно при параллельной ориентации магнитной компоненты радиочастотного поля "накачки" и магнитного поля Земли. Создаваемая поляризация оказалась лишь в 2 раза меньше, чем при использовании π -переходов, смотри рис.2, что важно для разработки изотропного датчика магнитометра. При этом необходим выбор такой частоты "накачки", при которой одинаково насыщаются как σ -, так и π -переходы.

Следует также отметить, что стабильность исследованных растворов существенно выше, чем обычно применяемых водных растворов соли Фреми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов А.А. Ядерно-резонансный генератор в поле Земли. Авторское свидетельство. 1962. №1447226.
2. Egorov V.A., Korzinin V.N., Medvedev D.S.,

- Selivanov A.M.* //VII Nordic conference on the application of scientific methods in archeology. 1996. Finland.
3. *Бородин П.М., Вечерухин Н.М., Мельников А.В.* //Вестник СПбГУ. 1996. Сер. 4, Вып.3 (№ 18). С.11–16.
4. *Селиванов А.М., Куперов К.Л.* // Ядерный магнитный резонанс. Л. 1988. С.146–151.
5. *Баранов В.С.* //Ядерный магнитный резонанс, Л. 1969. Вып. 3. С.7–14.

INVESTIGATION OF WORKING SUBSTANCES OF PROTON MAGNETOMETERS

V.S.Baranov, N.M.Vecherukhin, O.V.Krylov, A.M.Selivanov

Research Institute of Physics of St.-Petersburg State University, Russia.

A brief description of equipment for investigation of relaxation times and dynamic proton polarization of magnetometers working substances is given. A series of new working substances expanding operating characteristics of magnetometers is studied. For the first time polarization factors of solvent protons have been experimentally determined at saturation of σ - and π -transitions.