

## ОДНОИМПУЛЬСНОЕ ЭХО В СПИНОВЫХ СИСТЕМАХ

И. З. Рутковский, А. Д. Тарасевич, Г. Г. Федорук

В результате исследований отклика неоднородно-уширенных спиновых систем на воздействие одиночного радиочастотного импульса было

обнаружено и изучено осциллирующее поведение сигналов свободной индукции при площадях возбуждающих импульсов  $\Theta > 2\pi$  и ширине неоднородной линии, значительно большей амплитуды воздействующего радиочастотного поля  $H_1$  [1, 2]. Часть сигнала свободной индукции, формирующаяся после воздействия импульса через временной интервал, близкий к длительности импульса  $\tau$ , в ряде случаев принято называть сигналом одноимпульсного эха [3]. Несмотря на то что этот эффект известен более тридцати лет, до сих пор при его интерпретации существует неоднозначность [3], которая в значительной мере порождена отсутствием его количественных исследований. Только в последнее время удалось установить условия, в которых описание сигнала одноимпульсного эха стало возможным на основе численного решения уравнений Блоха [3]. Оказалось, что для этого требуется, чтобы ширина неоднородной линии была сопоставима с  $H_1$ , площадь возбуждающего импульса была значительно больше  $\pi$  и имела место расстройка между частотами центра линии спиновой системы и несущей частотой возбуждающего импульса.

В настоящей работе выполнена экспериментальная проверка предска-

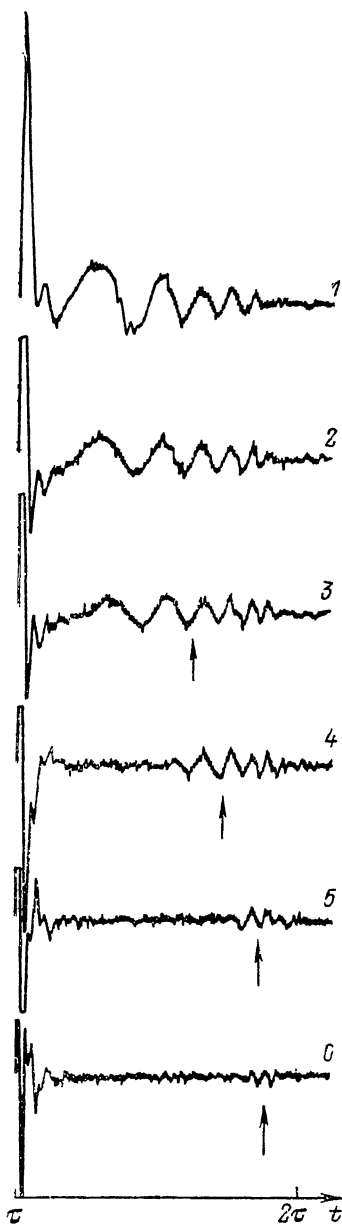


Рис. 1. Зависимость сигнала свободной индукции после одиночного радиочастотного импульса от величины расстройки от резонанса  $\Delta\omega$ .

$\Delta\omega/\gamma H_1$ : 1 — 0, 2 — 0.4, 3 — 0.8, 4 — 1.1, 5 — 1.5, 6 — 1.9.

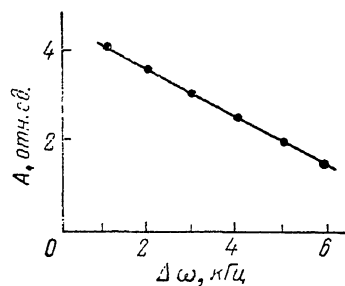


Рис. 2. Зависимость максимальной амплитуды одноимпульсного эха  $A$  от величины расстройки  $\Delta\omega$  при  $\gamma H_1 = 2.64$  кГц.

заний работы [3]. Чтобы исключить возможность возникновения побочных эффектов и облегчить создание условий эксперимента, экви-

валентных теоретической модели, типичное для твердых тел неоднородное уширение линии магнитного резонанса создавалось искусственно. Симметричная неоднородная линия формировалась путем создания в месте расположения образца из протонов в воде, являющихся чистой двухуровневой системой, градиента поляризуемого магнитного поля с помощью градиентных катушек. Эксперименты были осуществлены на спектрометре ЯМР частоты 14.44 МГц с фазочувствительным детектированием сигналов. Для улучшения отношения сигнал/шум использовалось когерентное цифровое суммирование сигналов с эффективной полосой регистрации до 50 кГц. Осциллограммы (рис. 1) являются результатом  $2^9$  усреднений. Времена нарастания и спада возбуждающего импульса составляли около 7 мкс, а его длительность — 3.8 мс. Площадь импульса  $\Theta = 20\pi$ ,  $\gamma H_1 = 2.64$  кГц, где  $\gamma$  — гиромагнитное отношение. Ширина неоднородной линии примерно равна  $H_1$  и значительно больше ширины однородной линии. При сравнении наблюдавшейся зависимости сигналов поглощения, возбуждаемых одиночным импульсом, от величины отстройки от резонанса с сигналами, рассчитанными в работе [3], необходимо учесть, что сигналы зарегистрированы фазовым детектором, а рассчитаны для амплитудного. Стрелками отмечено рассчитанное время наблюдения максимальной амплитуды эха. Для упрощения рисунка начальные амплитуды сигналов 2—6 ограничены.

В результате исследований мы пришли к выводу, что экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчетов [3] зависимости формы и времени появления одноимпульсного отклика спиновой системы от величины расстройки. При этом удалось зарегистрировать значительные (около  $0.5\tau$ ) отличия времени появления одноимпульсного эха от значения  $2\tau$ . В то же время наблюдавшаяся обратно пропорциональная зависимость максимальной амплитуды эха  $A$  от величины расстройки (рис. 2) существенно отличается от предсказываемой в работе [3] зависимости  $A \sim (\Delta\omega)^{-3}$ . Причина этого расхождения не установлена, однако следует отметить, что нам не удалось обнаружить существенных отличий реализованных в эксперименте условий от использованных в теоретической модели.

Авторы признательны В. С. Кузьмину за обсуждение полученных результатов.

#### Список литературы

- [1] Schenzle A., Wong N. C., Brewer R. G. // Phys. Rev. A. 1980. V. 21. N 3. P. 887—895.
- [2] Kumitomo M., Endo T., Nakanishi S., Hashi T. // Phys. Rev. A. 1982. V. 25. N 4. P. 2235—2246.
- [3] Чекмарев В. П., Мельшев В. Г. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 5. С. 1570—1572.

НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко  
Минск

Поступило в Редакцию  
4 августа 1988 г.  
В окончательной редакции  
2 января 1989 г.

## ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОКРИСТАЛЛОВ ПО РАЗМЕРАМ НА ПРОФИЛЬ ДИФРАКЦИОННОГО ОТРАЖЕНИЯ (110) СТЕКЛОВИДНОГО УГЛЕРОДА

Л. А. Песин, Е. Д. Серезенко

Стекловидный углерод (СУ) является мелкокристаллическим углеродным материалом. Микрокристаллы СУ представляют собой пачки узких графитоподобных слоев, хаотически ориентированных между со-