

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ НОВОГО МЕХАНИЗМА МАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ В $^3\text{He}$ -В.

Я.Неки<sup>×</sup>\*, П.Скиба<sup>×</sup>, А.Фегер<sup>+</sup>, Ю.М.Буньков\*

<sup>×</sup> Институт экспериментальной САН  
04353 Кошице, Словакия

<sup>\*</sup> Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН  
117334 Москва, Россия

<sup>+</sup> Университет П.Й.Шафарика  
040 01 Кошице, Словакия

Поступила в редакцию 21 июня 1993 г.

Проведены исследования сверхтекучего  $^3\text{He}$ -В ниже температуры "катастрофической" релаксации методом непрерывного ЯМР. При давлении 0 бар был обнаружен новый механизм магнитной релаксации, не имеющий теоретического объяснения.

Аналогично другим сверхтекучим жидкостям -  $^4\text{He}$  и электронной жидкости в сверхпроводниках - сверхтекучий  $^3\text{He}$  можно представить в виде смеси сверхтекучей и нормальной компонент жидкости. При этом, если при массовой кинетике эти две компоненты жидкости не взаимодействуют друг с другом, во всяком случае на малых скоростях, в случае спиновой кинетики существует сильный механизм взаимодействия, приводящий к тому, что намагниченность сверхтекучей и нормальной компонент жидкости направлена параллельно (см. обзор Леггетта и Такаги [1]). В результате бездиссипативная спиновая кинетика сверхтекучей компоненты сопровождается процессами диссипации в жестко с ней связанной нормальной компоненте жидкости.

В  $^3\text{He}$ -В известны и хорошо подтверждены в экспериментах [2] два механизма релаксации. Один из них, называемый обычно именами Леггетта и Такаги, возникает при отклонении намагниченности сверхтекучей компоненты от намагниченности нормальной компоненты в случае, когда частота прецессии отличается от ларморовской. Другой является результатом спиновой диффузии нормальной компоненты жидкости в случае пространственной неоднородности намагниченности. Как было показано в [2], оба эти механизма релаксации эффективно вымерзают при понижении температуры и, соответственно, уменьшении удельного веса нормальной компоненты жидкости.

При температурах  $\sim 0,4 T_c$  ( $T_c$  - температура перехода  $^3\text{He}$  в сверхтекучее состояние) возникает так называемая "катастрофическая" релаксация. Недавние экспериментальные исследования [3] показали, что эта релаксация связана с пересечением обычной моды ларморовской прецессии во внешнем поле с модой разностной прецессии сверхтекучей и нормальной компонент намагниченности в молекулярном ферми-жидкостном поле (магнитный аналог второго звука). При дальнейшем понижении температуры следует ожидать дальнейшего вымерзания процессов релаксации, разъединения спиновой кинетики сверхтекучей и нормальной компонент жидкости и, как следствие этого, наблюдения бездиссипативной прецессии намагниченности сверхтекучей компоненты [4].

Как показали экспериментальные исследования, публикуемые в этой статье, процессы релаксации при температурах ниже  $0,4 T_c$  выглядят значительно сложнее. Мы обнаружили наличие сильной магнитной релаксации при непрерывном ЯМР, которую мы можем связать либо с новым механизмом релаксации, либо с новой модой когерентной прецессии.

Исследования проводились методом непрерывной ОПД спектроскопии. Этот метод разработан в ИФП РАН [5] и основывается на уникальных свойствах сверхтекучего  $^3\text{He-B}$  образовывать домен с когерентной прецессией намагниченности (Однородно Прецессирующий Домен - ОПД). В условиях непрерывной накачки РЧ поля на частоте  $\omega_{rf}$  в неоднородном магнитном поле равновесное состояние намагниченности  $^3\text{He-B}$  соответствует разбиению на два домена. В одном домене, расположенном в полях больших чем  $\omega_{rf}/\gamma$ , намагниченность стационарна, а в другом, расположенном в поле, меньшем чем  $\omega_{rf}/\gamma$ , намагниченность отклонена на угол  $\geq 104^\circ$  и прецессирует пространственно-однородно даже в сильно неоднородном поле ( $\gamma$  - гиромагнитное отношение для  $^3\text{He}$ ). Соответственно сигнал поглощения  $I_a$  непрерывного ЯМР соответствует суммарному поглощению внутри ОПД, а  $\sqrt{I_a^2 + I_d^2}$  соответствует объему ОПД ( $I_d$  - величина сигнала дисперсии). В поле с однородным градиентом, меняя  $\omega_{rf}$ , можно сканировать положение междоменной границы в камере и исследовать сигналы поглощения и дисперсии.

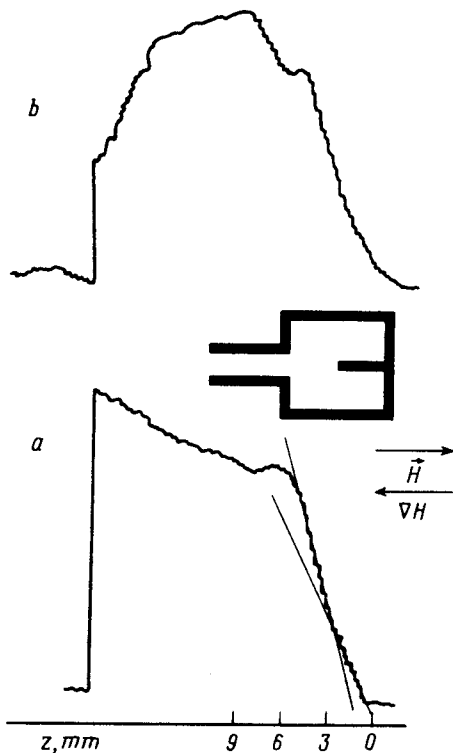
Описываемые далее эксперименты были выполнены на криостате ядерного размагничивания в совместной лаборатории Института экспериментальной физики САН и Университета им. Шафарика в г. Кошице. Ступень ядерного размагничивания оригинальной конструкции [6] этого криостата была изготовлена в Институте физических проблем им. Капицы РАН.

Данные эксперименты выполнены в  $^3\text{He-B}$  при нулевом давлении и при температуре  $0,31 T_c$ , что соответствует  $\sim 290$  мК. Схема формы экспериментальной ячейки представлена на вставке рисунка. Особенностью данной ячейки является наличие в центре вертикального стержня, доходящего до середины ячейки. Именно наличие этого стержня позволило в дальнейшем выявить существенную особенность релаксационного механизма. К ячейке было приложено постоянное магнитное поле с градиентом  $0,33 \div 0,9 \text{ Э/см}$  и поперечное РЧ поле  $h$  на частоте  $462 \text{ кГц}$ . Однородная компонента внешнего магнитного поля сканировалась вниз ступеньками по  $8,35 \cdot 10^{-3} \text{ Э}$ , получаемыми из-за цифровой схемы развертки магнитного поля [7]. При входе в магнитный резонанс верхней части камеры в ней образовывался ОПД, который плавно заполнял всю камеру при дальнейшем сканировании поля.

На рисунке показана форма сигналов дисперсии и поглощения. Настройка фаз фазочувствительной приемной системы проводилась в области  $\sim 0,6 T_c$  по типичным сигналам в этой области температур [5], а также по изменению интенсивности сигнала поглощения при уменьшении амплитуды РЧ поля. Мощность, поглощаемая ОПД из РЧ поля, равна

$$\dot{W} = \omega h M_{\perp} \sin(\alpha - \varphi),$$

где  $(\alpha - \varphi)$  - угол между РЧ полем и поперечной намагниченностью  $M_{\perp}$ , а сигналы в двухканальной приемной системе равны соответственно  $M_{\perp} \sin \varphi$  и  $M_{\perp} \cos \varphi$ , где  $\varphi$  - фаза фазочувствительного усилителя. Таким образом, при  $\alpha = \varphi$  в одном из каналов мы имеем сигнал поглощения, а в другом - дисперсии.



Сигнал поглощения (а) и дисперсии (б) ОПД.  $T = 0,31 T_c$ ,  $P = 0$  бар,  $\nabla H = 0,5 \text{ Э/см}$ . Показана также форма экспериментальной ячейки. Величина магнитного поля дана в единицах  $z = (H_a - H)/\nabla H$ , соответствующих длине ОПД ( $H_a$  - поле, при котором выполняется ларморовское условие в начале ячейки)

Форма сигнала поглощения при  $0,31 T_c$  принципиально отличается от той, что имеет место при температурах, выше температуры "катастрофической" релаксации. Сигнал поглощения растет линейно при заполнении камеры ОПД, и в дальнейшем его рост сильно замедляется. Кроме того, непосредственно после заполнения камеры ОПД, происходит некоторая перестройка структуры ОПД, приводящая к дальнейшему росту сигнала дисперсии при одновременном уменьшении в сигнале поглощения.

Рост сигнала поглощения мог бы быть связан с механизмом релаксации на боковых стенках камеры [8], который в отличие от леггет-такагиевского механизма и спиновой диффузии не вымерзает при понижении температуры [4]. Однако полученные сигналы заставляют говорить о наличии объемного механизма релаксации: наличие стержня в верхней части камеры приводит к тому, что в ней соответственно на единицу длины ОПД приходится большая боковая поверхность и меньший объем. На сигнале поглощения отчетливо виден перегиб, соответствующий концу вертикального стержня. Уменьшение наклона в области стержня говорит в пользу объемного механизма релаксации. Количественная оценка величины этой релаксации, полученная из характеристик спектрометра, дает величину  $\sim 3 \text{ нВт/см}^3$ .

Таким образом, из предоставленных в данной работе данных следует, что основным механизмом магнитной релаксации в области температур  $0,3 T_c$ , то есть ниже температуры "катастрофической" релаксации, и при малых давлениях является неизвестный ранее объемный механизм релаксации. Возможно, данный механизм ответствен за ограничение длительности долгоживущего сигнала индукции при температурах ниже  $0,3 T_c$ . Другим вероятным объяс-

нением полученных результатов может быть формирование неизвестной новой структуры когерентной прецессии [9].

Работа выполнена при поддержке Словацкого грантового агентства в рамках проектов грант No. 53 и грант No. 1/990 145/93. Авторы также признательны Восточнословацкому металлургическому комбинату (VSŽ a.s.) за спонсорство проекта.

- 
1. A.J.Leggett and S.Takagi, *Annals of Phys.* **106**, 79 (1977).
  2. Yu.M.Bunkov, V.V.Dmitriev, A.V.Markelov et al., *Phys.Rev.Lett.* **65**, 867 (1990).
  3. Yu.M.Bunkov, S.N.Fisher, A.M.Guènault et al., *Phys.Rev.Lett.* **68**, 600 (1992).
  4. Yu.M.Bunkov, S.N.Fisher, A.M.Guènault, and G.R.Pickett, *Phys.Rev.Lett.* **69**, 3092 (1992).
  5. А.С.Боровик-Романов, Ю.М.Буньков, и др., *ЖЭТФ* **96**, 956 (1989).
  6. Yu.M.Bunkov, V.V.Dmitriev, D.A.Sergatskov. et al. *Physica B165&166* 53 (1990).
  7. Skyba P., *Rev.Sci.Instrum.* **62**, 2666 (1991).
  8. T.Ohmi, M.Tsubota, and T.Tsuneto, *Jpn.J.Appl.Phys.* **26**, 169 (1987).
  9. G.E.Volovik, *J.Phys.: Condens. Matter* **5**, 1759 (1993).