

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ОДНОРОДНОЙ СПИНОВОЙ ПРЕЦЕССИИ В СВЕРХТЕКУЧЕМ $^3\text{He-A}$

А.С.Боровик-Романов, Ю.М.Буньков, В.В.Дмитриев
Ю.М.Мухарский

Исследовано поведение сигнала магнитной индукции $^3\text{He-A}$ в однородном магнитном поле. Показано, что сигнал индукции спадает по закону $I = I_0(1 - A \exp t/T_\phi)$, что видимо, связано с неустойчивостью однородной прецессии. Проведено сравнение с теорией неустойчивости, предложенной И.А.Фоминим.

Одной из нерешенных проблем физики сверхтекучего гелия 3-A являются процессы магнитной релаксации в этой системе. Проведенные различными методами экспериментальные работы по исследованию восстановления продольной намагниченности после возбуждения системы мощным радиочастотным импульсом $^{1-4}$ показали, что процесс релаксации происходит на порядок быстрее чем это следует из теории релаксации, предложенной Леггеттом и Такаги 5 . С другой стороны, эта теория хорошо описывает уширение линий непрерывного ЯМР, т.е. случай, когда отклонения системы от равновесия малы. В теории Леггетта и Такаги рассмотрен только пространственно однородный процесс релаксации. Фомин 6 теоретически показал, что в $^3\text{He-A}$ однородная прецессия неустойчива и может распадаться на спиновые волны большой амплитуды. Образующаяся при этом пространственная неоднородность должна приводить к расфазировке сигнала индукции после возбуждающего радиочастотного импульса и включать более быстрые, чем механизм Леггетта – Такаги, механизмы продольной релаксации. Согласно 7 в линейном приближении сигнал индукции должен спадать по закону $I = I_0(1 - \frac{A \exp t/T_\phi}{\sqrt{t/T_\phi}})$, где A – некоторая малая затравочная величина неоднородности. В данной работе представлено экспериментальное исследование процесса спада сигнала индукции в $^3\text{He-A}$.

Эксперименты проводились в кристате ядерного размагничивания меди при температурах $2,1 \pm 2,7$ мК. Экспериментальная камера имела вид цилиндра ϕ 5 мм и длиной 13 мм. Постоянное магнитное поле было перпендикулярно оси цилиндра и имело однородность на его размерах $\sim 5 \cdot 10^{-5}$. Катушка радиочастотного (РЧ) поля была намотана по поверхности цилиндра из нескольких секций, так что однородность радиочастотного поля была в основном объеме не хуже 10^{-2} . Давление ^3He в камере 29,3 бар. Эксперименты проводились в магнитном поле ~ 77 и ~ 154 Э, что соответствует частотам ЯМР 250 и 500 кГц. Величина отклонения спиновой системы РЧ импульсом определялась амплитудой РЧ поля и колебровалась по сигналу индукции в нормальной фазе ^3He . Длительность РЧ импульсов составляла 8 периодов на частоте 500 кГц и 4 периода на частоте 250 кГц. При столь короткой длительности импульсов углы отклонения спинов в нормальном гелии-3 и в гелии-3-A отличаются при минимальных температурах не более чем на 2% 1). Сигнал свободной индукции ^3He усиливался, фильтровался и записывался в 1024 точках цифровым запоминающим устройством „Datalab-905”, а затем передавался на ЭВМ. На рис.1 показана зависимость интенсивности сигнала индукции от времени для различных углов отклонения. При малых углах отклонения сигнал индукции спадает по закону $I = I_0 \exp(-t/T_0)$. Затем, при больших углах спад сигнала индукции качественно меняется. Отчетливо видно изменение знака кривизны спада сигнала.

Для получения более точной количественной информации о процессах расфазирования в экспериментальные кривые, приведенные на рис.1 были введены поправки на неоднородность

1) Численный расчет был проведен на ЭВМ А.А.Леманом, за что авторы ему благодарны.

внешнего и радиочастотного поля. Получившиеся в результате кривые спада сигнала индукции для углов отклонения $\leq 30^\circ$ хорошо количественно согласуются с теорией Леггетта — Такаги во всем диапазоне температур и экспериментальных полей.

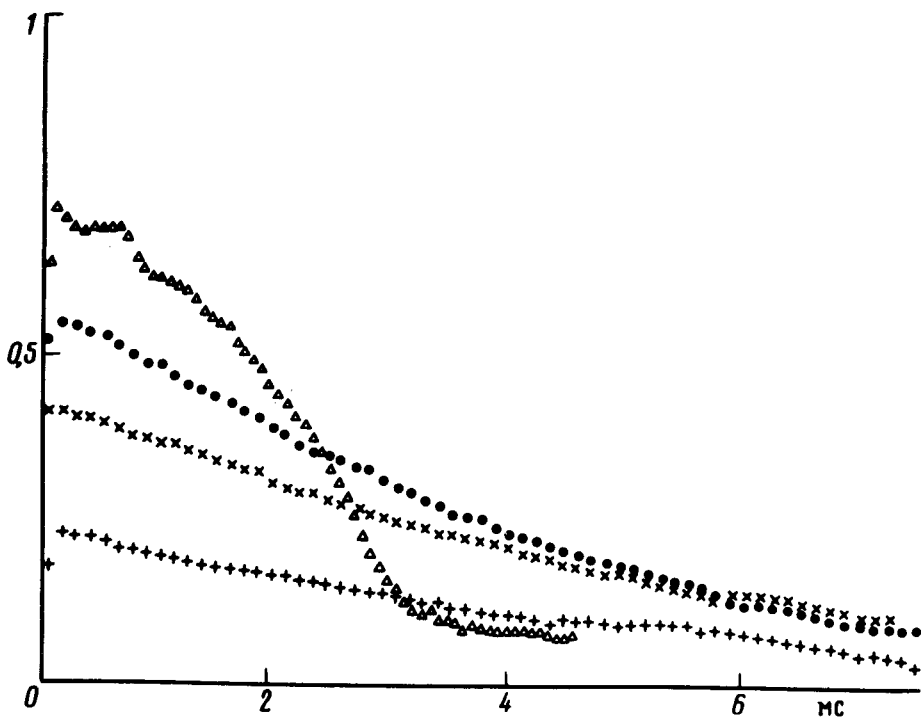
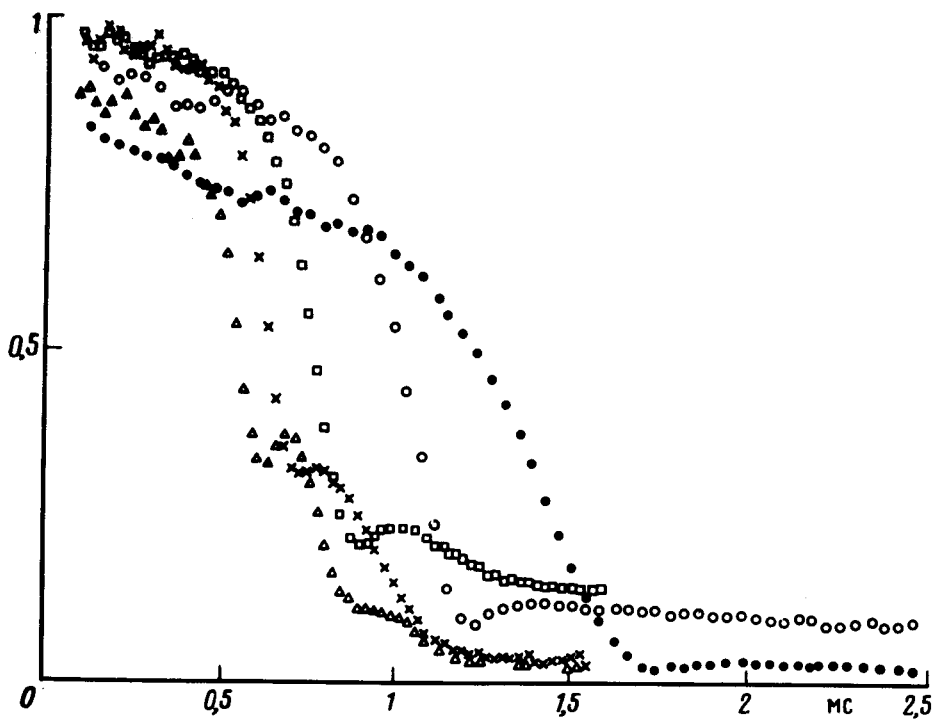


Рис.1. Зависимость интенсивности сигнала свободной индукции $^3\text{He-A}$ от времени на частоте 500 кГц при $T = 0,82 T_c$ и углах отклонения $+ - 15^\circ$; $\times - 23^\circ$; $\bullet - 31^\circ$; $\Delta - 41^\circ$ (нижний рисунок); $\bullet - 52^\circ$; $\circ - 61^\circ$; $\square - 73^\circ$; $\times - 82^\circ$; $\Delta - 100^\circ$ (верхний рисунок)

Для количественного сравнения экспериментального закона спада сигнала индукции при больших углах отклонения с теорией Фомина ⁷ на рис.2 полученные данные построены в координатах $\lg(1 - I/I_0)$, где за I_0 принималась величина сигнала в первых экспериментальных точках (для угла отклонения $\phi = 52^\circ$ за I_0 была принята величина при $t = 0,3$ мс так как явно виден дополнительный спад сигнала типа $\exp(-t/T)$). Данные координаты выбраны потому, что в области $t \gg 3 T_\phi$ корневой зависимостью, входящей в предэкспоненциальный множитель, можно пренебречь. Как видно из рис.2, экспериментальные данные соответствуют закону спада сигнала индукции при развитии неустойчивости для интервала изменения I от 5 до 50%. В области значений $\Delta I/I_0 < 5\%$ разброс экспериментальных точек в данных координатах становится очень большой. Процесс развития неустойчивости должен быть ограничен ростом градиентной энергии. Видимо это ограничение мы наблюдаем в конечной части сигнала индукции. В этой области сигнал индукции спадает медленно и обычно видны характерные биения сигнала, которые возникают при $I/I_0 \ll 0,2$.

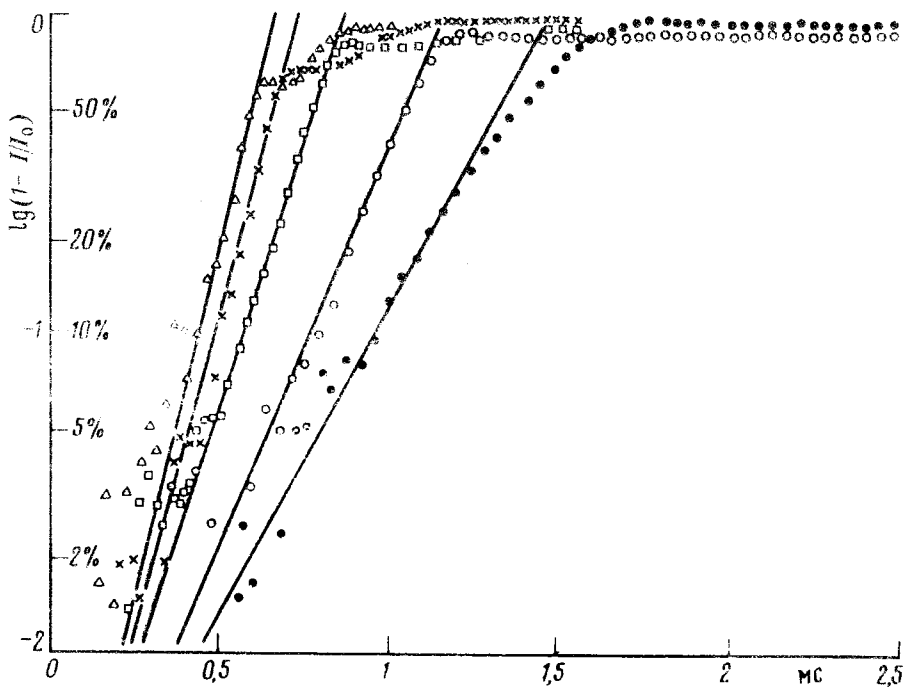


Рис.2. Зависимость интенсивности сигнала свободной индукции в $^3\text{He-A}$ от времени в координатах $\lg(1 - I/I_0)$. Обозначения соответствуют верхней части рис.1

Таким образом основную часть спада сигнала индукции можно характеризовать законом $I = I_0(1 - A \exp^t/T_\phi)$. Нами были исследованы зависимости величин A и $1/T_\phi$ от внешнего магнитного поля, температуры и угла отклонения спиновой системы. Величина A определяется с плохой точностью и лежит в пределах $10^{-3} \div 10^{-5}$. Зависимость $1/T_\phi$ от угла отклонения спинов РЧ импульсом представлена на рис.3. Сплошной кривой на этом рисунке показана зависимость пропорциональная формуле (6) работы ⁷. Инкремент нарастания неустойчивости $1/T_\phi$ пропорционален Ω_A^2 и обратно пропорционален ω , где Ω_A — частота продольной моды колебаний в $^3\text{He-A}$, определяемая температурой, а ω — ларморовс-

кая частота. Эти зависимости проверялись в области температур $0,94 \div 0,76 T_c$ на частотах ЯМР $250 \div 500$ кГц. Таким образом величина инкремента нарастания неустойчивости зависит от угла отклонения спинов, температуры и магнитного поля также, как следует из теории Фомина. Однако она в несколько раз меньше, чем следует из этой теории. Несоответствие может быть связано с тем, что величина начальной неоднородности A в реальной камере сильно зависит от волнового вектора K из-за граничных условий. В результате развитие неустойчивости с меньшим инкрементом нарастания, но существенно большей величиной A , может дать основной вклад в спад сигнала индукции. Следует также отметить, что теория Фомина развита для начального этапа неустойчивости, в то время как экспериментальные данные получены для области, когда неустойчивость привела к существенной расфазировке сигнала индукции.

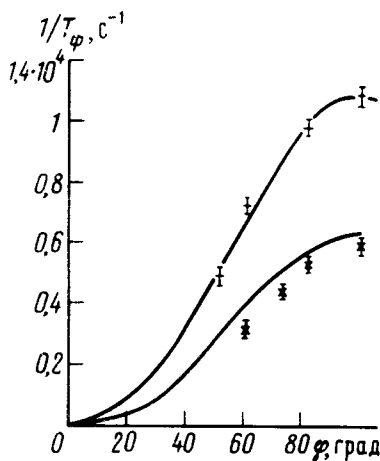


Рис.3. Угловая зависимость инкремента нарастания неустойчивости от угла отклонения спинов на частоте 500 кГц при $T = 0,88 T_c$ — \uparrow и $T = 0,9 T_c$ — \downarrow

Обнаруженное поведение расфазировки сигнала индукции указывает на наличие неустойчивости однородной прецессии в $^3\text{He-A}$ и развитие пространственной текстуры, которая в свою очередь должна ускорять процесс продольной релаксации в $^3\text{He-A}$.

Авторы выражают глубокую благодарность П.Л.Капице за поддержку и постоянный интерес к работе, И.А.Фомину за тесное сотрудничество, С.М.Елагину за помощь в проведении экспериментов, В.Н.Кириллову за разработку интерфейса между экспериментальной установкой и ЭВМ, а также Ю.В.Карпушину за изготовление части нестандартного радиотехнического оборудования,

Литература

1. *Corruccini L.R., Osheroff D.D.*, Phys. Rev. B, 1978, 17, 126.
2. *Webb R.A.* Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 883.
3. *Sager R.E., Kleinberg R.L., Workentin P.A., Wheatley J.C.* J. Low Temp. Phys., 1978, 32, 263.
4. *Gianuetta R.W., Smith E.N., Lee D.M.* J. Low Temp. Phys., 1981, 45, 295.
5. *Leggett A.J., Takagi S.* Ann. of Phys., 1977, 106, 79.
6. *Фомин И.А.* Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 179.
7. *Фомин И.А.* Письма в ЖЭТФ, данный выпуск, стр. 387.