

**ИМПУЛЬСНЫЙ ЯМР
В ^3He -В ДЛЯ НЕЛЕГГЕТТОВСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ.**

В.Л.Голо, А.А.Леман, И.А.Фомин

Предложено объяснение порогового эффекта, наблюдавшегося в условиях импульсного ЯМР в ^3He -В, помещенном между плоско-параллельными пластинами.

В недавно опубликованной работе ¹ сообщается о новом явлении, обнаруженном при исследовании ^3He -В импульсным методом ЯМР, а именно, сигнал индукции наблюдался толь-

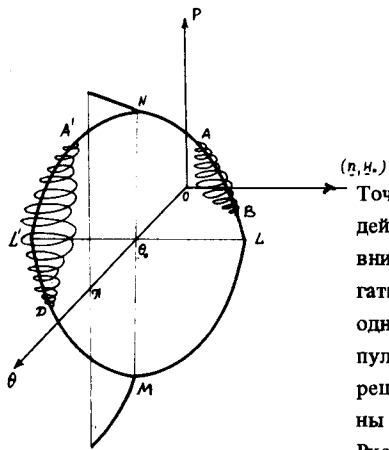
ко при отклонении намагниченности на угол, больший некоторого порогового, причем в тех случаях, когда сигнал индукции наблюдался, он имел ларморовскую частоту. Главным отличием эксперимента ¹ от производившихся ранее импульсных ЯМР экспериментов с ³He-B^{2,3} является то, что гелий помещался в зазор между параллельными пластинами, ориентированными в начальный момент времени ось n матрицы параметра порядка $R(n, \theta)$ (θ — угол поворота) под углом $\varphi = \arccos(1/\sqrt{5})$ к постоянному магнитному полю H_0 , т. е. исходная конфигурация не была леггеттовской.

Еще одним отличием эксперимента ¹ было то, что ларморовская частота $\omega_L = gH_0$ (g — гиромагнитное отношение) была одного порядка с частотой продольных колебаний Ω . Это обстоятельство не позволяет использовать для описания движения намагниченности в условиях эксперимента ¹ асимптотические методы.

В настоящей работе произведен анализ движения намагниченности в условиях эксперимента ¹, использующий найденные ранее точные стационарные решения уравнений Леггетта ^{4,5} в сочетании с численным решением уравнений Леггетта и Такаги ⁶, позволяющим проследить движение намагниченности и параметра порядка во время действия высокочастотного отклоняющего импульса и в ходе последующей релаксации к одному из стационарных решений. Такой анализ позволяет дать теоретическую интерпретацию эксперимента ¹.

Результаты произведенного анализа удобно представить графически, изображая траектории движения системы в координатах θ , (n, H_0) и $P = S_Z - S_\xi$, где S_Z — проекция S на ось OZ , ориентированную вдоль начального равновесного направления S , а S_ξ — проекция S на подвижную ось $O\xi$, получающуюся из OZ действием матрицы $R(n, \theta)$, соответствующей мгновенной конфигурации параметра порядка. Ранее было показано ^{7,8}, что P в отсутствие ВЧ поля является интегралом движения уравнений Леггетта для ³He-B

Стационарные решения уравнений Леггетта для ³He-B задаются уравнениями на переменные θ , (n, H_0) , P , которые эквивалентны уравнениям, полученным для других наборов переменных в работах ^{4,5}. Устойчивые ветви стационарных решений изображены на рисунке



Точки A и A' соответствуют возможным начальным состояниям. Под действием высокочастотного импульса изображающая точка движется вниз по спирали. После выключения импульса точка продолжает двигаться по спирали, но из-за наличия диссипации спираль стягивается к одному из стационарных решений. При допороговой длительности импульса — к статическому решению (точка B), при послепороговой — к решению БС (точка D). Начальные состояния для этих случаев выбраны на рисунке разными для удобства изображения. $\theta_0 = \arccos(-1/4)$. Рисунок схематический

жирными линиями. Точки L, L' отвечают леггеттовской конфигурации. Эта конфигурация выделена тем, что находится на пересечении двух ветвей стационарных решений — статической ветви (дуга $L'NL$ на рисунке) и ветви решений Бринкмана и Смита ⁹ (дуга LML' , в дальнейшем БС), описывающих стационарную прецессию намагниченности с ларморовской частотой. Остальные точки дуги $L'NL$ соответствуют различным нелеггеттовским конфигурациям. При возбуждении системы из леггеттовской конфигурации L ВЧ импульсом не слишком большой амплитуды намагниченность и параметр порядка во время действия импульса двигаются вдоль дуги LM (см. ⁸) и после выключения ВЧ поля оказываются вблизи одного из решений БС. Для нелеггеттовских же конфигураций ВЧ импульс переводит систему в состояния, находящиеся, вообще говоря, вдали от всех стационарных решений. Числен-

ное решение уравнений Леггетта и Такаги показало, что в условиях эксперимента ¹ в зависимости от длительности ВЧ импульса релаксация происходит либо к одному из статических решений, либо к решению БС (см. рисунок). Оба эти решения в рамках теории Леггетта и Такаги дальше не релаксируют. Существует некоторая длительность импульса, при которой система релаксирует к граничному состоянию — леггеттовской конфигурации. Это значение длительности импульса и следует считать пороговым. Для такого отождествления имеются следующие основания. После завершения релаксации сигнал индукции должен отсутствовать, если релаксация произошла к статическому решению и иметь ларморовскую частоту, если к решению БС. Именно такое поведение наблюдалось в эксперименте ¹. Вычисленная длительность порогового импульса для $\omega_L = 2\pi \cdot 500$ кГц и $\Omega = 2\pi \cdot 200$ кГц при амплитуде ВЧ поля $H_1 = 2$ Э была 22 мкс, что хорошо согласуется с наблюдавшейся экспериментально длительностью для тех же условий.

Дополнительного разъяснения требует лишь вопрос, почему в эксперименте при допороговой длительности импульса сигнал индукции не наблюдался также и в ходе приближения к статическому решению. Это обстоятельство связано, по-видимому, с отклонением реальных условий эксперимента от той идеализации, которую мы здесь рассматриваем. Из-за пространственной неоднородности поля ВЧ импульса и неидеальной параллельности пластин траектории движения намагниченности и параметра порядка будут слегка различными для разных частей исследуемого объема гелия. Численный анализ показывает, что для условий эксперимента ¹, если считать, что в уравнениях Леггетта и Такаги $\Gamma_{\parallel} = 0,2\Omega$, то уже за время ~ 100 мкс траектории выходят в окрестность одного из стационарных решений. Если это решение БС, то начальный разброс траекторий практически не сказывается на сигнале индукции, поскольку в окрестности решения БС все точки описывают прецессию намагниченности с одной и той же частотой ω_L . В окрестности же статических решений ситуация иная. Здесь частота прецессии около разных статических решений различна (см. формулу (2) в работе ¹). В силу этого обстоятельства разброс, вызванный начальными данными должен возрастать. При 10%-ном разбросе начальных данных по объему гелия за время ≈ 200 мкс (мертвое время электроники в эксперименте ¹) наступает полная расфазировка намагниченности, т. е. сигнал индукции должен исчезнуть.

Таким образом, произведенный здесь анализ находится в согласии с выводами работы ¹. Если в качестве исходной для импульсных ЯМР экспериментов берется нелеггеттовская конфигурация, то в зависимости от длительности и амплитуды отклоняющего ВЧ импульса релаксация намагниченности может идти двумя качественно различающимися путями.

В заключение авторы пользуются возможностью поблагодарить А.С.Боровика-Романова, Ю.М.Бунькова, В.В.Дмитриева и Ю.М.Мухарского за сообщение результатов их экспериментов до опубликования и за полезные дискуссии.

Литература

1. Боровик-Романов А.С., Буньков Ю.М., Дмитриев В.В., Мухарский Ю.М. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 600.
2. Corruccini L.R., Osheroff D.D. Phys. Rev., 1978, В17, 126.
3. Giannetta R.W., Smith E.N., Lee D.M. Journ. of Low Temp. Phys., 1981, 45, 295.
4. Фомин И.А. ЖЭТФ, 1983, 84, 2109.
5. Голо В.Л., Леман А.А. ЖЭТФ, 1983, 85, 9.
6. Leggett A.J., Takagi S. Ann. Phys. (N.Y.), 1977, 106, 79.
7. Brinkman W.F., Smith H. Phys. Lett., 1975, 53A, 43.
8. Фомин И.А. ЖЭТФ, 1976, 71, 791.
9. Maki K., Ebitwa H. Phys. Rev., 1976, В13, 2924.

Институт теоретической физики
им. Л.Д.Ландау
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 июня 1983 г.