

НЕЛИНЕЙНАЯ СПИНОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В СВЕРХТЕКУЧЕМ $^3\text{He-B}$ В ОТСУТСТВИИ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В.Л.Голо, А.А.Леман

Показано, что спиновая релаксация в $^3\text{He-B}$ в режиме выключенного внешнего поля характеризуется поляризацией движения вектора спина и параметра порядка. Для значения константы $\Gamma_{\parallel}/\Omega_L$ равной 0,1 выключаемое поле должно быть порядка $\gtrsim 19$ Гс.

Предлагаемая статья посвящена изучению спиновой динамики в сверхтекучем $^3\text{He-B}$ в рамках внутреннего механизма релаксации Леггетта и Такаги^{1,4}. Предполагается, что система пространственно однородна и магнитное поле выключено за время много меньшее, чем время релаксации. Тогда уравнения ЛТ в отсутствии внешнего поля имеют вид

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = - \frac{dU}{d\theta} \mathbf{c}$$

$$\frac{d\mathbf{c}}{dt} = - \frac{1}{2} \gamma^2 \chi^{-1} \text{ctg} \frac{\theta}{2} (\mathbf{S} \cdot \mathbf{c}) \mathbf{c} + \frac{1}{2} \gamma^2 \chi^{-1} \text{ctg} \frac{\theta}{2} \mathbf{S} + \frac{1}{2} \gamma^2 \chi^{-1} (\mathbf{S} \times \mathbf{c})$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \gamma^2 \chi^{-1} (\mathbf{S} \cdot \mathbf{c}) - \mu \frac{dU}{d\theta}$$

Здесь θ, c — угол и ось поворота матрицы параметра порядка. При $\mu = 0$ получаются бездиссипативные уравнения Леггетта,¹ соответствующие частотам ω , таким что $\omega \tau \ll 1$, где τ — время релаксации квазичастиц, 10^{-7} сек.

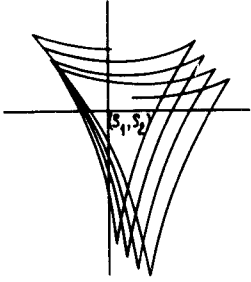


Рис. 1. Движение вектора спина в координатах S_1, S_2 в области большой намагниченности

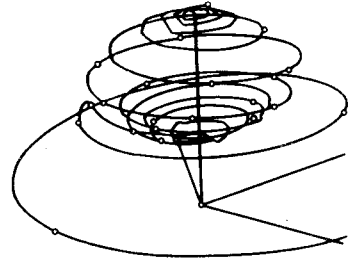


Рис. 2.

Рис. 2. Осредненное движение вектора спина в пространстве S_1, S_2, S_3 . Верхняя кривая соответствует выходу из области $\theta > \pi/2$, нижняя кривая — из области $\theta < \pi/2$. Среднее значение вектора L практически совпадает с осью OS_3 . Изломы на кривой вызваны малым числом точек, выводимых на графопостроитель

Проведенное изучение системы уравнений ЛТ базируется на последовательном применении компьютерного анализа и асимптотических методов. Численное интегрирование производилось на ЭВМ с помощью алгоритма Рунге — Кутты четвертого порядка. Для устранения ошибок вычислений применялись режимы двойной точности и переменный шаг разностной схемы. Результаты вычислений согласуются с характеристиками, полученными из осредненных уравнений ЛТ в режиме больших значений намагниченности. Вычисления проводились в предположении, что леггеттовская частота Ω_L имеет порядок 10^5 рад/сек и что режиму D -моды соответствует частота ω_0 порядка 10^6 рад/сек или магнитные поля порядка 100 Гс. Диссипативная константа продольного ЯМР, Γ_{\parallel} , бралась порядка 10^{-4} и 10^{-3} сек $^{-1}$, что соответствует значениям константы $a = \Gamma_{\parallel} / \Omega_L^2$,¹ равным 0,1 и 0,01. Было обнаружено, что аттракторный режим, указанный в работе², характеризуется поляризацией параметра порядка и вектора спина: для характерных интервалов времени порядка $1/\omega_0$ вектор с оси поворота параметра порядка вращается в плоскости, координаты единичной нормали которой, L_i , задаются значениями интегралов бездиссипативных уравнений Леггетта (см. обзор Бринкмана и Кросса в³)

$$L_i = \sin \frac{\theta}{2} \left[\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} (\mathbf{S} \times \mathbf{c})_i - S_i + (\mathbf{S} \cdot \mathbf{c}) c_i \right] / (\mathbf{S}^2 - (\mathbf{S} \cdot \mathbf{c})^2)^{1/2}.$$

В это же время вектор \mathbf{S} описывает в плоскости, параллельной плоскости c , кривую (см. рис. 1) с характерным размером $0, 3\gamma^{-2} \chi \Omega_L^2 / (\omega_0 S)$. При этом частоты для движения векторов \mathbf{S}, c и угла θ удовлетворяют соотношению $2\omega_S = \omega_C = \omega_{\theta}$ и имеют порядок ω_0 . За время одного периода вектора с нормаль L отклоняется под влиянием диссипации не более чем на $\delta(L) = 0,005$ рад. Время жизни на аттракторе, оцениваемое условием $\delta(L) \leq 0,005$ линейно зависит от квадрата намагниченности и достигает нескольких 0,1 сек при $a = 0,1$, причем угол прецессии нормали, за все время жизни на аттракторе, не превышает 0,05 рад. Время выхода системы на аттрактор, τ_B , оцениваемое из условия выполнения критерия $\delta(L) \leq 0,005$ в течение одного периода, составляет несколько мсек; например, при $a = 0,1$, начального поля 100 Гс и угла $\theta_0 = 0,1$, вычисленное τ_B равнялось 2 мсек.

На рис. 2 представлено движение вектора спина в масштабе порядка $|\mathbf{S}|$, т. е. много больше, чем размер треугольника на рис. 1. При выходе на аттрактор из области значений динамических переменных, характеризующихся углом θ , меньшим, чем $\pi/2$, направление вращения осредненного вектора спина \mathbf{S} меняется на противоположное. При выходе на аттрактор из области с $\theta > \pi/2$ направление вращения не меняется. Аттракторный режим соответствует углу $\pi/4$ между векторами L и \mathbf{S} (с точностью до 0,04 рад.). Для $a = 0,1$ аттракторный

режим продолжается вплоть до значений намагниченности, соответствующих полям 19 Гс, причем он остается устойчивым по отношению к возмущению начальных данных.

Частота вращения вектора s на всем протяжении режима релаксации из области больших значений намагниченности до самых малых монотонно убывает, в отличие от частот ω_S , ω_a , имеющих завал для полей порядка 10 Гс.

Из результатов данной работы следует, что аттракторный режим, характеризующийся поляризацией вектора спина и параметра порядка, реализуется уже при небольших значениях выключаемых магнитных полей. Сходные экспериментальные условия успешно создавались в работах по идентификации сверхтекучих фаз ^3He в состоянии P -спаривания,⁵ и WP -моды,^{3, 6}. Можно предположить, что описанная в этой работе специфика аттракторного режима делает доступным его экспериментальное наблюдение.

Авторы благодарят Л.П.Питаевского и И.А.Фомина за полезную дискуссию.

Литература

1. Leggett A.J., Takagi S. Ann. Phys., 1978, 110, 353.
2. Голо В.Л. ЖЭТФ, 1981, 81, 492.
3. Progress in Low Temperature Physics, 1978, 7 (a, b).
4. Фомин И.А. ЖЭТФ, 1980, 78, 2393.
5. Питаевский Л.П. ЖЭТФ, 1959, 37, 1794.
6. Webb R.A., Sager R.E., Wheatley J.C. J. Low Temp. Phys., 1977, 26, 439.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
22 декабря 1981 г.