

Резонансное возбуждение медленных ротоннов: ширина линии

Л. А. Мельниковский¹⁾

Институт физических проблем им. Капицы РАН, 119334 Москва, Россия

Поступила в редакцию 2 мая 2012 г.

После переработки 4 июня 2012 г.

Предложено объяснение anomalно узкой линии поглощения электромагнитного СВЧ-излучения в сверхтекучем ⁴He. Показано, что экспериментально наблюдаемая ширина резонанса согласуется с предположением о параметрическом возбуждении макроскопического когерентного ротонного состояния.

В экспериментальных исследованиях [1] взаимодействия электромагнитных волн со сверхтекучим ⁴He было обнаружено резонансное поглощение на ротонной частоте ($f_0 \sim 180$ ГГц). Поскольку импульс фотона гораздо меньше импульса ротона, процесс превращения одного в другой возможен только вблизи стенки, где единственной сохраняющейся величиной является энергия. Поглощение в таком случае имело бы место для любой частоты, большей ротонной щели, $f > f_0$. Оказалось, однако, что экспериментально наблюдаемая ширина линии поглощения anomalно мала (при низкой температуре разрешающей способности спектрометра недостаточно для измерения ширины $\delta f \lesssim 50$ кГц) и не может быть объяснена только особенностью в плотности состояний элементарных возбуждений вблизи ротонного минимума.

Для понимания природы этой линии поглощения необходимо учесть, что ротонны подчиняются статистике Бозе. Большая заселенность некоторого одночастичного состояния будет стимулировать дальнейшее испускание ротоннов в это же состояние. Ясно, что заселенность локализованного состояния тем больше, чем меньше скорость частиц, с которой они уходят из активного объема электромагнитного резонатора.

Попробуем количественно оценить ширину линии, основываясь на приведенных соображениях. В эксперименте используется погруженный в гелий дисковый диэлектрический резонатор радиуса $R \sim 1$ см, в котором возбуждаются волны “шепчущей галереи”, локализованные вблизи боковой цилиндрической поверхности диска и убывающие с характерным расстоянием $L \sim 1$ мм в объеме гелия. Напряженность электрического поля у поверхности меняется по гармоническому закону $E(t) = E \cos 2\pi ft$, причем амплитуда колебаний $E \sim 200$ В/мм. Эти колебания (модулирующие энергетический спектр ква-

зичастиц [2]) приводят к параметрическому рождению ротоннов.

Энергия ротона $\hbar\omega$ “осциллирует” с частотой $2f$:

$$\hbar\omega(t) \sim \hbar\omega + \frac{(\epsilon - 1)^2 E^2(t) p_0^2}{8\pi\hbar\rho\omega} \sim \hbar(\omega + \gamma \cos 4\pi ft),$$

где $\gamma = (\epsilon - 1)^2 E^2 p_0^2 / (16\pi\hbar^2 \rho\omega)$, $\epsilon \sim 1.05$ – диэлектрическая проницаемость гелия, $\rho = 0.15$ г/см³ – его плотность, а $p_0 = 2 \cdot 10^{-19}$ см · г/с – импульс ротона. Параметрический резонанс возникает [3], если

$$|4\pi f - 2\omega| < \sqrt{\gamma^2 - 4\lambda^2}. \quad (1)$$

Коэффициент затухания $\lambda \sim v/L$ в этой формуле определяется уходом ротоннов со скоростью v из области локализации электромагнитного поля. Подставим в (1) обычное выражение для энергии медленного ротона: $\hbar\omega = 2\pi\hbar f_0 + mv^2/2$, где эффективная масса $m \sim 0.16m_{\text{He}}$. Максимизируя по v , получаем

$$f - f_0 < \frac{\gamma^2 L^2 m}{16\pi\hbar} + \frac{\hbar}{4\pi mL^2} \approx 45 \text{ кГц}. \quad (2)$$

С повышением температуры ширина линии должна расти: кроме увеличения естественной неопределенности энергии, рассеяние ротоннов замедляет их уход из активного объема.

Резонанс обусловлен медленностью ротоннов. Аналогичный эффект мог бы наблюдаться в любой системе в окрестности нуля скорости квазичастиц: магнонов, магнонов, фотонов в метаматериале и т.д.

Автор признателен А.Ф. Андрееву и А.С. Рыбалко за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ # НШ-4889.2012.2.

1. А.С. Рыбалко, С.П. Рубец, Э.Я. Рудаковский и др., Физика низких температур **35**, 1073 (2009).
2. А.Ф. Андреев, Письма в ЖЭТФ **31**, 191 (1980).
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, *Механика*, М: Наука, 1988, § 27.

¹⁾ e-mail: leva@kapitza.ras.ru