

## ЗАТУХАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ГЕЛИИ

B. K. Ткаченко

Вычисляется затухание поперечных волн во вращающемся гелии при учете совместных колебаний сверхтекучей и нормальной компонент. Найдено, что при периоде колебаний  $\sim 1$  мин и угловой скорости вращения в несколько радиан в секунду затухание достаточно слабое и поперечные волны могут быть обнаружены экспериментально.

Известно, что в сверхтекучем гелии при вращении образуются квантованные вихри. Циркуляция скорости вокруг одного вихря равняется  $h/m$ , где  $h$  – постоянная Планка,  $m$  – масса атома гелия. Вычисления показывают, что эти вихри образуют треугольную решетку [1], обладающую упругостью [2] с некоторым модулем сдвига  $G$ . Это приводит к распространению во вращающемся гелии поперечных волн со скоростью  $s$ , удовлетворяющей в пренебрежении взаимодействием с нормальной компонентой равенству  $\rho_s s^2 = G$ . Здесь  $\rho_s$  – плотность сверхтекучей компоненты. Скорость  $s$  зависит от угловой скорости вращения  $\Omega$  по формуле [1]  $s = (1/2) \sqrt{\hbar \Omega / m}$ .

Рассмотрим затухание этих волн, происходящее в результате взаимодействия вихрей с нормальной компонентой гелия. Штауффер [3] уже вычислял это затухание, но в предположении, что нормальная компонента покоятся. Это привело его к выводу об очень сильном затухании поперечных волн при  $T > 1^\circ\text{K}$  за счет взаимного трения нормальной и сверхтекучей компонент. В действительности нормальная компонента гелия также участвует в колебаниях, и учет этого обстоятельства дает существенно меньшее их затухание, при котором поперечные волны становятся доступными экспериментальному наблюдению. При этом затухание определяется, в основном, не силой взаимного трения, а вязкостью нормальной компоненты.

Все рассмотрение производится во вращающейся системе отсчета. Пусть  $\zeta = \zeta(x, t)$  и  $\xi = \xi(x, t)$  – смещения сверхтекучей, соответственно нормальной компоненты при колебаниях. Сила взаимодействия между нормальной и сверхтекучей компонентами, обусловленная наличием вихрей, тогда будет [4]  $F[(\partial \xi / \partial t) - (\partial \zeta / \partial t)]$ , где  $F = B(\rho_s \rho_n / \rho) \Omega$ . Здесь  $B$  – коэффициент Холла – Вайнена,  $\rho_n$  – плотность нормальной компоненты,  $\rho = \rho_s + \rho_n$ . Волновое уравнение для решетки и уравнение Навье – Стокса для нормальной компоненты при учете этого взаимодействия принимают следующий вид

$$\rho_s \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + F \left( \frac{\partial \xi}{\partial t} - \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right),$$

$$\rho_n \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \eta \frac{\partial^3 \xi}{\partial t \partial x^2} - F \left( \frac{\partial \xi}{\partial t} - \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right).$$

Здесь  $\eta$  – вязкость нормальной компоненты.

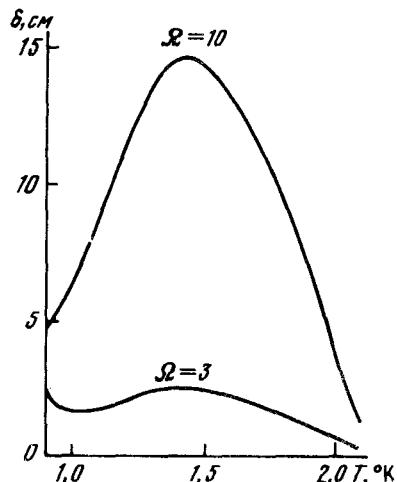
Полагая, как обычно, при решении линейной системы  $\zeta = \operatorname{Re} \zeta_0 e^{i(kx - \omega t)}$ ,  
 $\xi = \operatorname{Re} \xi_0 e^{i(kx - \omega t)}$ , получим систему

$$-\rho_s \omega^2 \zeta_0 = -Gk^2 \zeta_0 - iF\omega(\xi_0 - \zeta_0),$$

$$-\rho_n \omega^2 \xi_0 = i\eta\omega k^2 \xi_0 + iF\omega(\xi_0 - \zeta_0).$$

Отсюда следует алгебраическое уравнение для волнового вектора  
 $k = k_1 + ik_2$

$$\eta Gk^4 - (iG\rho_n\omega + \eta\omega^2\rho_s + iF\eta\omega - FG)k^2 + i\rho_s\rho_n\omega^3 - F\omega^2\rho = 0.$$



Глубина проникновения поперечной  
 волны при  $\omega = 0,1 \text{ rad/сек}$

На рисунке приведена зависимость глубины проникновения волны  $\delta = 1/k_2$  от температуры  $T$  при  $\omega = 0,1 \text{ rad/сек}$  (период колебания  $\sim 1 \text{ мин}$ ) для  $\Omega = 3 \text{ rad/сек}$  и  $\Omega = 10 \text{ rad/сек}$ . Длина волны при  $T < 2^\circ\text{K}$  хорошо (с точностью до нескольких процентов) описывается формулой  $\lambda = (2\pi s/\omega) \sqrt{\rho_s/\rho}$ , соответствующей полному увлечению нормальной компоненты. При достаточно низких температурах глубина проникновения будет возрастать, поскольку влияние нормальной компоненты на колебания будет становиться пренебрежимым. Заметим, что даже при абсолютном нуле температуры, согласно Реатто [5], колебания будут затухать, правда очень слабо, из-за конечности скорости распространения взаимодействия в гелии.

Институт физики твердого тела

Академии наук СССР

Литература

Поступила в редакцию  
 26 февраля 1973 г.

- [1] В.К.Ткаченко. ЖЭТФ, 50, 1573, 1966.
- [2] В.К.Ткаченко. ЖЭТФ, 56, 1763, 1969.
- [3] D.Stauffer. Phys. Lett., 24A, 72, 1967.
- [4] W.F.Vinen. Progr. in low temp. Phys., 3, 1, Amsterdam, 1961.
- [5] L.Reatto. Phys. Rev., 167, 191, 1978.