

5.39.128.53

НУЛЕВОЙ ЗВУК В ЖИДКОМ  $\text{He}^3$ 

(К статье В. Р. Абеля, А. К. Андерсона и Дж. К. Уитли  
«Распространение нулевого звука в жидком  $\text{He}^3$  при низких  
температурах»)

*Л. П. Питаевский*

В публикуемой ниже статье Абеля, Андерсона и Уитли сообщается об открытии нулевого звука в жидком  $\text{He}^3$  — несверхтекучем изотопе жидкого гелия. Это интересное явление было предсказано в 1957 г. Л. Д. Ландау на основе созданной им общей теории ферми-жидкости — жидкости, состоящей из частиц, подчиняющихся статистике Ферми <sup>1</sup> \*). В УФН уже печатался обзор Абрикосова и Халатникова, посвященный этой теории <sup>3</sup>. Цель предлагаемой краткой заметки — напомнить некоторые теоретические положения, касающиеся распространения звука в жидком  $\text{He}^3$ .

В жидком  $\text{He}^3$ , как и в любой жидкости и газе, обыкновенный звук может распространяться лишь при условии

$$\lambda \gg l, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны звука,  $l$  — длина свободного пробега частиц жидкости. При таких условиях скорость распространения звука связана со сжимаемостью жидкости обычной формулой

$$c^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}. \quad (2)$$

Особенность ферми-жидкости состоит в том, что в ней длина свободного пробега элементарных возбуждений возрастает с понижением температуры по закону

$$l \sim \frac{1}{T^2}. \quad (3)$$

Поэтому для любой длины волны  $\lambda$  при достаточно низких температурах условие (1) перестает выполняться. Это приводит к затуханию обычного звука и к невозможности его распространения. При абсолютном нуле температур, когда столкновения отсутствуют, обычный звук в ферми-жидкости вообще не может распространяться. Ландау установил, однако, что при определенном характере взаимодействия между элементарными возбуждениями в ферми-жидкости могут распространяться колебания другого рода — нулевой звук. Условие существования этого звука определяется неравенством, обратным неравенству (3) — этот звук распространяется при достаточно низких температурах. Частота и волновой

\*) Рансе В. П. Силин установил теоретически, что колебания, соответствующие нулевому звуку, могут существовать в ферми-газе со слабым отталкиванием между атомами <sup>2</sup>.

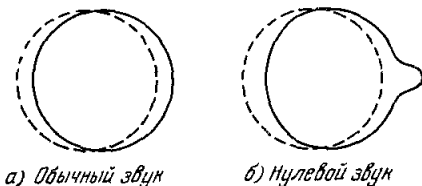
вектор нулевого звука связаны обычным соотношением

$$\omega = kc_0,$$

где скорость  $c_0$  не зависит от  $k$ . При этом  $c_0$  уже не определяется простой формулой (2). Величина  $c_0$  зависит от взаимодействия между элементарными возбуждениями в жидкости. Ее можно вычислить, исходя из экспериментальных данных по теплоемкости и сжимаемости жидкости. Расчеты показывают, что в жидком  $\text{He}^3$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{c_0 - c}{c} \approx 0,032. \quad (4)$$

Таким образом, общая картина распространения звука в  $\text{He}^3$  обладает следующими особенностями. При достаточно высоких температурах в жидкости распространяется обычный звук. Его затухание пропорционально  $\omega^2/T^2$  и возрастает при понижении температуры. При температурах настолько низких, что  $\lambda \sim l$ , затухание делается весьма большим, так что распространение звука фактически невозможно. При дальнейшем понижении



а) Обычный звук

б) Нулевой звук

температуры мы попадаем в область нулевого звука. Затухание звука вновь уменьшается, а скорость его меняется на величину  $\Delta c$ . Затухание нулевого звука пропорционально  $T^2$  и не зависит от частоты. Все описанные особенности распространения были обнаружены экспериментально в работе, перевод которой печатается ниже. Результаты не оставляют никаких сомнений в том, что теория ферми-жидкости находится в прекрасном количественном согласии с опытом.

Для того чтобы лучше понять разницу между обычным и нулевым звуком, полезно рассмотреть, каким образом меняется при распространении звука распределение по импульсам элементарных возбуждений в жидкости. В равновесии элементарные возбуждения в ферми-жидкости, подобно электронам в металле, заполняют в импульсном пространстве фермиевскую сферу, радиус которой  $p_0$  определяется плотностью жидкости. При распространении обычного звука в каждой точке жидкости существует термодинамическое равновесие. Плотность жидкости, однако, изменена, и все частицы движутся как целое с некоторой скоростью. Поэтому распределение частиц по импульсам можно изобразить ферми-сферой измененного радиуса, сдвинутой в импульсном пространстве на некоторое расстояние. В нулевом звуке картина гораздо сложнее. Термодинамическое равновесие не успевает установиться, ферми-поверхность перестает быть сферой. Она сложным образом деформируется, вытягиваясь в направлении распространения звука. Деформация ферми-сферы при распространении обычного и нулевого звука показана схематически на рисунке.

Институт физических  
проблем им. С. И. Вавилова АН СССР

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Ландау, ЖЭТФ 32, 59 (1957).
2. В. П. Силин, ЖЭТФ 23, 641 (1952).
3. А. А. Абрикосов, И. М. Халатников, УФН 66, 176 (1958).