

539.128.53

НУЛЕВОЙ ЗВУК В ЖИДКОМ He^3

(К статье В. Р. Абеля, А. К. Андерсона и Дж. К. Уитли
 «Распространение нулевого звука в жидким He^3 при низких температурах»)

Л. П. Питаевский

В публикуемой ниже статье Абеля, Андерсона и Уитли сообщается об открытии нулевого звука в жидким 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 Ферми¹.*). В УФН уже печатался обзор Абрикосова и Халатникова, посвященный этой теории³. Цель предлагаемой краткой заметки — напомнить некоторые теоретические положения, касающиеся распространения звука в жидким He^3 .

В жидким He^3 , как и в любой жидкости и газе, обыкновенный звук может распространяться лишь при условии

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

где λ — 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 λ 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

*) Ранее В. П. Силин установил теоретически, что колебания, соответствующие нулевому звуку, могут существовать в ферми-газе со слабым отталкиванием между атомами².

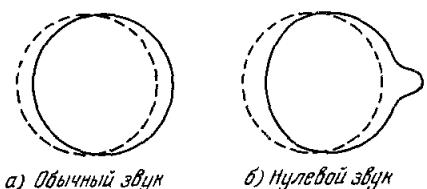
вектор нулевого звука связаны обычным соотношением

$$\omega = kc_0,$$

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 He^3

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

Таким образом, общая картина распространения звука в He^3 обладает следующими особенностями. При достаточно высоких температурах



а) Обычный звук б) Нулевой звук

в жидкости распространяется обычный звук. Его затухание пропорционально ω^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

температуры мы попадаем в область нулевого звука. Затухание звука вновь уменьшается, а скорость его меняется на величину Δc . 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 r_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).