

стиц, соответствующих квантованным капиллярным волнам на поверхности He II).

В тонких сверхтекучих гелиевых плёнках распространяется третий звук (ТЗ) — практически изотермич. поверхностные волны в плёнке He II. Распространение ТЗ сопровождается осцилляциями сверхтекучей компоненты параллельно подложке, а нормальная компонента при не очень толстой плёнке тормозится подложкой и в колебаниях не участвует. Сущест. особенностью ТЗ является значит. испарение и конденсация гелия при колебаниях, что сглаживает осцилляции темп-ры и приводит к почти изотермич. характеру распространения волны. Скорость изотермич. ТЗ $u_3^2 = (\rho_s/\rho)d(\partial E/\partial d)(1+TS/L)$, где относит. плотность сверхтекучей компоненты ρ_s/ρ усреднена по толщине плёнки d , E — потенциал сил ван-дер-ваальсовского притяжения гелиевого атома к подложке (см. *Межмолекулярное взаимодействие*), L — теплота испарения.

Четвёртый звук (ЧЗ) распространяется в He II, находящемся в узких капиллярах или в мелкопористой среде, когда длина свободного пробега квазичастиц He II сравнима или заметно превосходит характерный размер в системе. При этом нормальная компонента жидкости неподвижна и для определения скорости ЧЗ в ур-ниях гидродинамики следует положить $v_n=0$. В результате, если пренебречь коэф. теплового расширения, $u_4^2 = (\rho_s/\rho)u_1^2 + (\rho_n/\rho)u_2^2$. Как правило, в этом выражении второй член много меньше первого. При низких темп-рах скорость распространения ЧЗ как в чистом ^4He , так и в слабых растворах ^3He в He II близка к скорости ПЗ.

Пятый звук представляет собой тепловые (температурные) волны в сверхтекучих гелиевых плёнках в условиях, когда процессы испарения (конденсации) в плёнке подавлены. Волны пятого звука являются адиабатическими и распространяются со скоростью $u_5^2 = (\rho_n/\rho)u_2^2$.

При достаточно низких темп-рах примесная система ^3He в растворе ^3He в He II тоже должна перейти в сверхтекучее состояние. В таком растворе с двумя бозе-конденсатами ^3He и ^4He могут распространяться звуковые волны трёх типов: 1) колебания плотности (давления) со скоростью распространения, близкой к скорости ПЗ в чистом He II; 2) колебания в системе примесных квазичастиц ^3He , распространяющиеся со скоростью, близкой, в меру малой концентрации ^3He , к $v_F/\sqrt{3}$, где v_F — фермиевская скорость (см. *Ферми-жидкость*); 3) температурные колебания со скоростью распространения, экспоненциально убывающей с уменьшением концентрации ^3He . Волны второго и третьего типов соответствуют ПЗ и ВЗ в сверхтекучем ферми-газе примесных квазичастиц ^3He .

Лит.: Халатников И. М., Теория сверхтекучести, М., 1971; Паттерман С., Гидродинамика сверхтекучей жидкости, пер. с англ., М., 1978; Atkins K. R., Rudnick I., Third sound, в кн.: Progress in low temperature physics, v. 6, Amst.—L., 1970; Edwards D. O., Saam W. F., The free surface of liquid Helium, там же, v. 7a, Amst., 1978; Jellat G. J., Roth J. A., Maunard J. D., Observation of fifth sound in a planar superfluid ^4He Film, «Phys. Rev. Lett.», 1979, v. 42; Baskin E. P., Meyerovich A. E., ^3He — ^4He quantum solutions, «Adv. Phys.», 1981, v. 30, № 1.

А. Э. Мейерович.

ЗВУКА АНАЛИЗ — разложение сложного звукового сигнала на ряд простых составляющих. Чаще всего применяются частотный и временной З. а. При частотном З. а. звуковой сигнал представляется суммой синусоидальных составляющих, характеризующихся частотой, фазой и амплитудой. Частотный З. а. позволяет получить распределение амплитуд составляющих по частотам (т. н. амплитудно-частотные спектры) и распределение фаз составляющих по частотам (фазочастотные спектры). При временном З. а. сигнал представляется суммой коротких импульсов, характеризующихся временем появления и амплитудой.

Методы временного З. а. лежат в основе принципа действия гидролокаторов и эхолотов.

При частотном анализе звуковой сигнал $p(t)$ представляют суммой

$$p(t) = \sum_n a_n \cos(2\pi f_n t + \varphi_n),$$

где a_n — амплитуда, f_n — частота, φ_n — нач. фаза. Набор чисел a_n, f_n образует амплитудно-частотный спектр, а φ_n, f_n — фазочастотный. Если звуковой

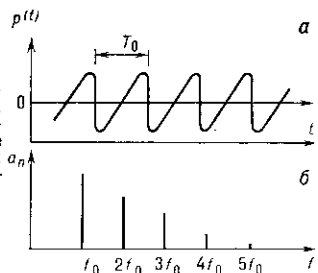


Рис. 1. Периодический звуковой сигнал (а) и его спектр (б). По осям ординат отложены соответственно звуковое давление $p(t)$ и амплитуды спектральных составляющих a_n , по осям абсцисс — время t и частота f .

сигнал $p(t)$ периодичен (рис. 1, а) (большинство музыкальных звуков, гласные звуки речи), то его представляют в виде ряда Фурье (рис. 1, б), в котором частоты f_n образуют гармонич. ряд $f_0, 2f_0, 3f_0$ и т. д., f_0 — низшая частота ряда, $T_0=1/f_0$ — период звуковой волны. Если же звуковой сигнал $p(t)$ непериодичен, напр. однократный щелчок (рис. 2), то его можно рассматривать как периодический с бесконечно большим периодом T_0 . Т. к. при этом частотные интервалы

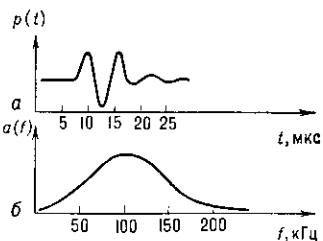


Рис. 2. Непериодический звуковой сигнал (а) и его спектральная плотность (б). По осям ординат отложены соответственно звуковое давление $p(t)$ и спектральная плотность $a(f)$, по осям абсцисс — время t и частота f .

между гармониками $f_0 \approx 1/T_0$ становятся бесконечно малыми, а число гармоник — бесконечно большим, такой сигнал представляют в виде интеграла Фурье:

$$p(t) = \int_{-\infty}^{\infty} a(f) \cos(2\pi f t + \varphi) df,$$

где $a(f)$ — амплитудно-частотный спектр.

В прошлом частотный З. а. проводили с помощью резонаторов акустических, напр. резонаторов Гельмгольца. Набор таких резонаторов с разл. резонансными частотами позволяет проводить частотный З. а., наблюдая, какие из резонаторов «откликаются» на звук и с какой громкостью. В настоящее время З. а. выполняют после преобразования звукового сигнала в электрический с помощью микрофона (в воздухе) или гидрофона (в воде). Применяют либо параллельный, либо последовательный З. а. В первом случае электрич. сигнал пропускают через набор полосных фильтров с шириной Δf_n , где n — номер фильтра, и получают частотный спектр. Наиб. употребительны анализаторы с постоянной относит. шириной полосы $\Delta f_n/f_{cp n}$ ($f_{cp n}$ — ср. частота фильтра), равной 1, $1/3$ или $1/6$ октавы. Совокупность напряжений на выходе фильтров представляет частотный спектр сигнала. В случае нестационарных сигналов спектр характеризуется накопленными за нек-рый интервал времени T среднеквадратичными напряжениями на выходе фильтров.