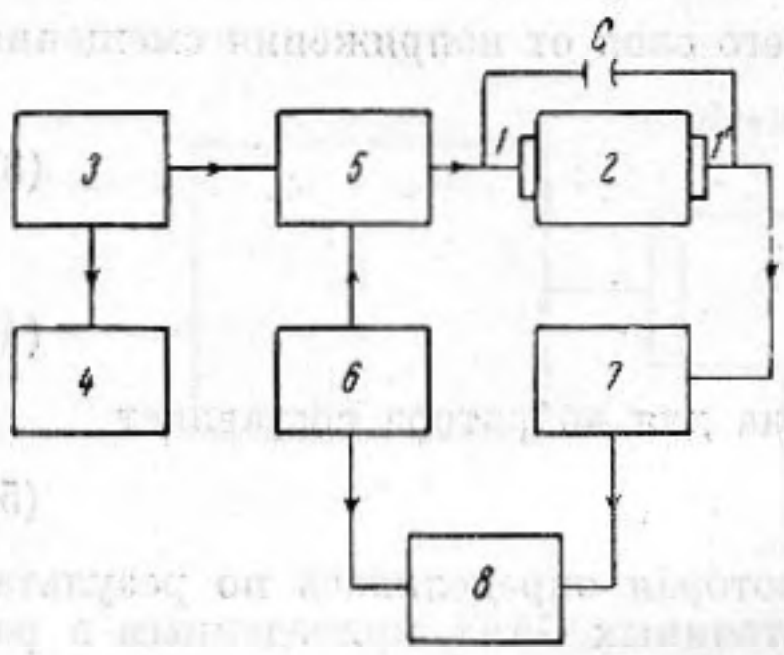
УДК 534.22 : 547.361

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ЗВУКА В ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНЕ

В. М. Кравцов

Полимер политетрафторэтилен обладает двумя фазовыми переходами: при 20° и 30°. Этими переходам посвящено большое число исследований (см., например, [1]). Переход при 20° характеризуется λ-кривой для теплоемкости [2], что характерно для фазовых переходов 1-го рода с развитыми процессами разупорядоченности [3]. В данной работе проводилось исследование температурной зависимости скорости звука вблизи указанных переходов.

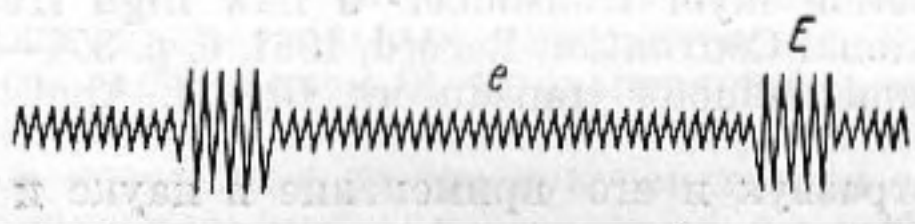
Для измерения скорости использовалось видоизменение метода, предложенного в работе [4]. Блок-схема установки представлена на фиг. 1. Здесь *1* и *1'* — излучающий и приемный кристаллы (кварцы), *2* — исследуемый образец, *3* — высокочастотный генератор, *4* — волномер, *5* — модулятор, *6* — генератор прямоугольных импульсов, *7* — усилитель, *8* — электронный осциллограф. Использованная аппаратура в основном та же, что в работе [4]. С помощью импульсов положительной полярности, поступающих на модулятор *5* от генератора прямоугольных импульсов *6*, из непрерывного высокочастотного напряжения в модуляторе формируются радиоимпульсы *E*, промежутки между которыми заполнены «непрерывным» небольшой величины высокочастотным напряжением — «фоном» *e* (фиг. 2). Модулированное напряжение поступает на излучатель *1*. Это же напряжение через слабую связь, осуществляемую емкостью *c*, подается и на приемный кристалл *1*. При прохождении ультразвукового сигнала через образец *2* вследствие большого поглощения сохранится только «импульс» *E*; «фон» *e* полностью поглощается.



Фиг. 1

Принятый кристаллом *1'* акустический импульс преобразуется в электрический, последний «ложится» на «фон», поступающий через емкость *c* и интерферирует с ним. От кристалла *1'* высокочастотное напряжение через усилитель *7* поступает на вход осциллографа, работающего в режиме ждущей развертки. С помощью осциллографа и наблюдается интерференция.

Измерение осуществляется при изменении несущей частоты высокочастотного напряжения. В отличие от работы [4] для определения скорости по данному методу



Фиг. 2

лучше использовать не максимумы, а минимумы результирующего колебания. В этом нетрудно убедиться, рассмотрев сложение двух колебаний $x_1 = a \sin \omega t$ и $x_2 = a \sin(\omega t - \varphi)$ с равными амплитудами a и частотами ω, но имеющими разность фаз φ.

Результирующее колебание $x = x_1 + x_2 = 2a \cos \varphi / 2 \sin(\omega t - \varphi / 2)$ имеет амплитуду $A = 2a \cos \varphi / 2$. Разности фаз $\varphi = \pi(2k + 1)$ (k — целое число) соответствуют минимумы амплитуды результирующего колебания, разности фаз $\varphi = \pi 2k$ — максимумы.

При изменении разности фаз φ скорость изменения амплитуды выражается производной $dA / d\varphi = -a \sin \varphi / 2$. При значении $\varphi = 2\pi k$ производная $dA / d\varphi = 0$, поэтому приближение разности фаз к этому значению сопровождается плавным приближением амплитуды A к своему максимальному значению. При значении $\varphi = \pi(2k + 1)$ абсолютное значение $dA / d\varphi$ имеет максимум, т. е. приближение разности фаз к значению $\varphi = \pi(2k + 1)$ сопровождается резким спаданием амплитуды результирующего колебания до нуля.

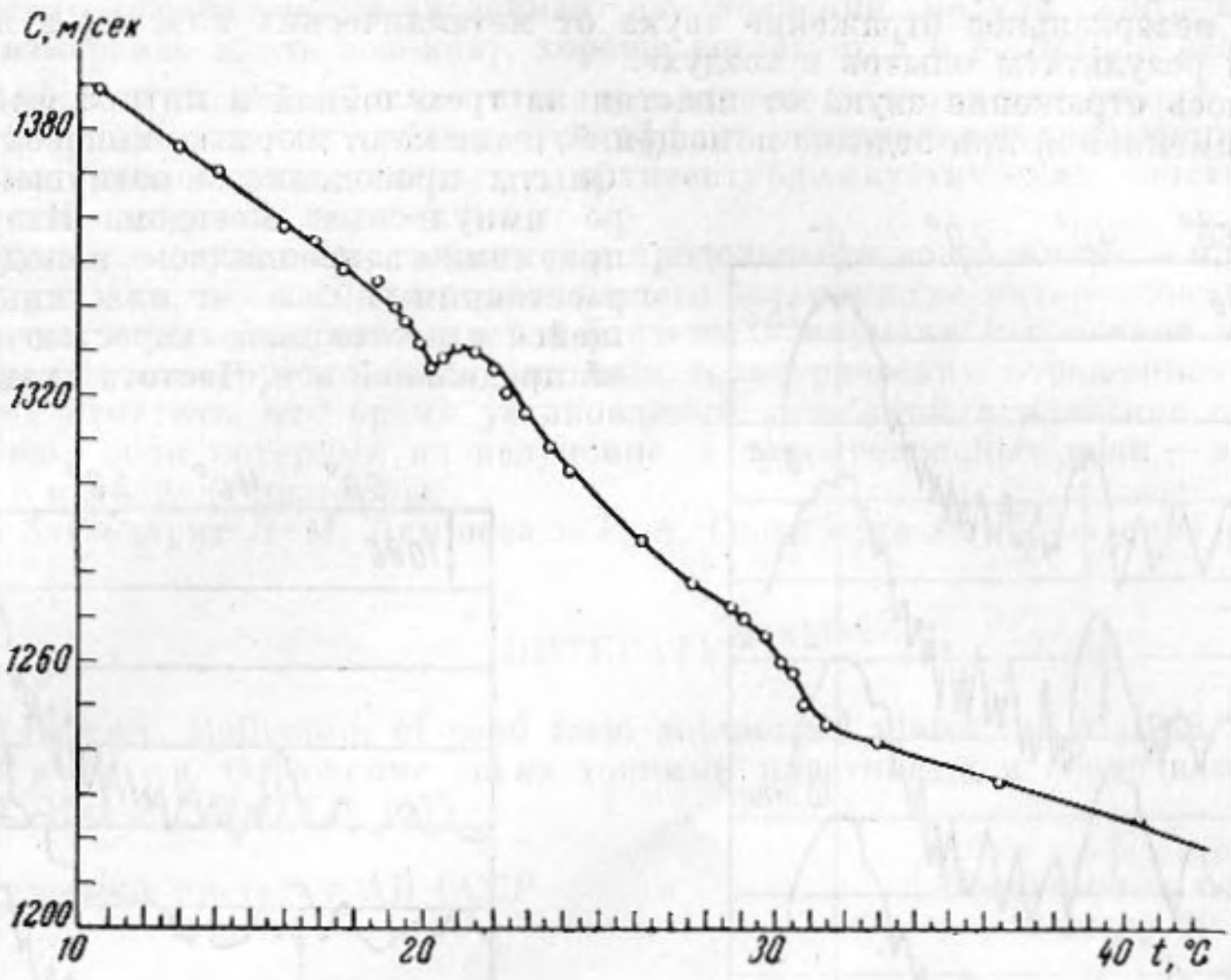
При использовании описанного метода формула для определения скорости имеет вид

$$c = l(f_2 - f_1) / n,$$

где n равно разности номеров наблюдаемых минимумов, f_2 и f_1 — частоты, соответствующие этим минимумам, l — длина образца. Относительная погрешность определяется погрешностями, допускаемыми при измерении длины образца (Δl) и частоты (Δf):

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta f}{f_2 - f_1}.$$

При наших измерениях скорости звука в политетрафторэтилене изменение частоты производилось от 3 до 4 *мггц*. При $l \sim 15$ *мм* длина образца измерялась с точно-



Фиг. 3

стью до $\pm 0{,}01$ *мм*, а частоты минимумов определялись с точностью ± 1 *кгц*. Для получения температурных зависимостей применялся ультратермостат, обеспечивающий точность термостатирования $\pm 0{,}02°$.

Полученная в результате опытов температурная зависимость скорости звука приведена на фиг. 3. Мы видим, что в области фазового перехода при 20° наблюдается небольшой минимум скорости. Фазовый переход при 30° проявляется в виде изменения температурного коэффициента скорости.

В работе [5] приведены результаты измерения поглощения и скорости звука в политетрафторэтилене при комнатной температуре. В этой работе получен отчетливый максимум для величины α/ν (α — коэффициент поглощения, ν — частота) на частоте 700 *кгц* при измерениях в диапазоне от 250 до 1000 *кгц*. Для этого же интервала частот была получена дисперсия скорости звука порядка 3,5% (при точности измерения 2%). Так как условия термостатирования образца в работе [5] нельзя считать удовлетворительными, нами была проведена проверка результатов этой работы в части скорости. Для этого производилось измерение скорости по методу, аналогичному использованному в работе [5], на частоте 500 *кгц*. Погрешность измерения не превышала 1,5%. Во всем температурном интервале наших измерений наблюдалось совпадение результатов для 500 *кгц* и для диапазона 3—4 *мггц*.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Klug, R. E. Franklin. Order-disorder transitions in structures containing helical molecules. Disk. Faraday Soc., 1958, 25, 106—110.
2. P. Marx, M. Dole. Specific Heat of synthetic high polymers. A study of the order-disorder transition in polytetrafluo — oroethylene. J. Am. Chem. Soc., 1955, 77, 4771—4773.
3. Г. М. Бартенев. Фазовые переходы второго рода и λ-кривые. Ж. физ. хим., 1960, 34, 618—622.
4. П. П. Первушин, Л. П. Филиппов. Способ измерения скорости ультразвука в твердых телах и жидкостях. Акуст. ж., 1961, 7, 3, 385—386.
5. M. Auberger, J. S. Rinehart. Ultrasonic attenuation of Congitudinal waves in plastics. J. Appl. Phys., 1961, 32, 219—222.

Московский областной педагогический институт им. Н. К. Крупской

Поступило в редакцию 26 февраля 1964 г.