

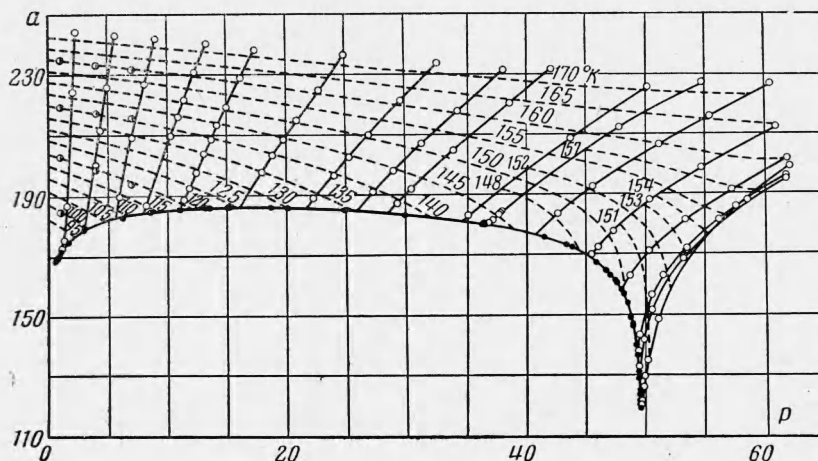
## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ АРГОНЕ

И. С. Радовский

(Москва)

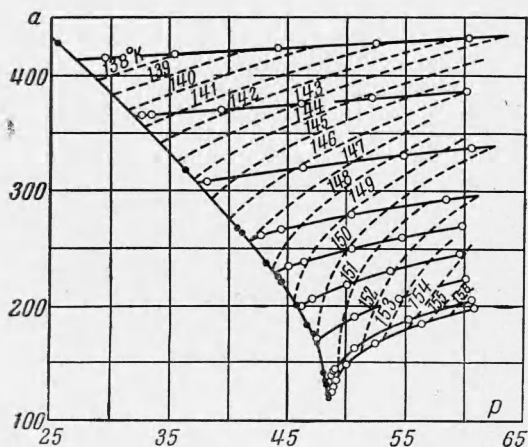
В работе [1] были приведены некоторые результаты измерений скорости звука в паровой и жидкой фазах аргона на кривой насыщения. Конструкция ультразвукового интерферометра, созданного для исследований при низких температурах, описана в работе [2].

Ниже приводятся результаты систематических измерений скорости звука в газообразном и жидком аргоне в диапазоне температур  $84\div 173^\circ\text{K}$  и давлений  $1\div 60\text{ бар}$ , включая критическую область.



Фиг. 1

Измерения проводились по изохорам, причем одновременно с измерением скорости звука определялась также плотность аргона — в тех же опытах и на той же установке без дополнительных усложнений ее конструкции. Строго говоря, из-за наличия «балластного» объема (вентили, соединительные капилляры и т. д.), а также из-за теплового расширения процесс изменения состояния газа в интерферометре несколько отличался от изохорического, т. е. являлся квазизохорическим.



Фиг. 2

Значение плотности для каждой экспериментальной точки определялось путем введения поправок на балластный объем и тепловое расширение интерферометра. Максимальное суммарное значение обеих поправок составляло 3%, а для большинства опытов не превышало  $1\div 2\%$ . Точность определения самих поправок была во всяком случае не хуже  $3\div 5\%$ . Следовательно, погрешность, вносимая поправками, не превышала 0.1%.

В результате проведенных измерений было снято более 30 изохор, получено около 200 экспериментальных значений скорости звука в газообразном и жидком аргоне и 100 значений плотности газообразного аргона.

Таблица 1

## Скорость звука в газообразном аргоне

$p$	$T = 90$	95	100	105	110	115	120	125	130
0	177.0	182.5	187.0	191.3	195.7	199.8	204.3	208.6	212.5
1	174.3	179.9	184.9	189.6	194.1	198.5	203.1	207.5	211.5
5	—	—	—	—	186.7	192.3	197.6	202.5	207.2
10	—	—	—	—	—	—	189.9	195.9	201.7
15	—	—	—	—	—	—	—	186.6	194.6
20	—	—	—	—	—	—	—	—	185.7
	$T = 135$	140	145	150	155	160	165	170	
0	216.0	220.0	223.9	227.8	231.4	235.4	239.3	243.1	
1	215.2	219.4	223.5	227.4	231.0	235.0	238.9	242.7	
5	212.0	216.6	221.1	225.4	229.4	233.3	237.2	241.1	
10	207.1	212.3	217.4	222.1	226.7	230.9	235.1	239.1	
15	201.5	207.6	213.0	218.2	223.4	228.2	232.8	237.2	
20	194.0	201.8	208.5	214.4	220.3	225.4	230.5	235.3	
25	185.0	194.8	203.3	210.4	216.8	222.6	228.1	233.3	
30	—	186.0	197.0	205.6	213.1	219.5	225.5	231.2	
35	—	—	188.6	200.0	208.9	216.3	222.9	229.0	
40	—	—	—	193.2	204.3	213.1	220.6	226.9	
45	—	—	—	182.8	199.5	209.9	218.2	225.3	
50	—	—	—	—	193.0	206.6	216.0	223.9	
55	—	—	—	—	183.5	202.8	214.2	222.7	
60	—	—	—	—	220.7	200.6	212.3	221.7	

Таблица 2

## Скорость звука в жидком аргоне

$p$	$T = 138$	140	142	144	146	148	150
30	400.3	—	—	—	—	—	—
35	416.3	385.0	346.7	—	—	—	—
40	—	403.3	370.1	331.0	—	—	—
45	—	419.6	390.2	356.5	316.2	256.4	—
50	—	—	407.4	376.7	343.6	304.5	248.2
55	—	—	423.8	394.2	365.7	335.0	295.8
60	—	—	—	409.5	384.5	—	326.5

Таблица 3

## Скорость звука в аргоне в критической области

$p$	$T = 150$	150.2	150.4	150.63	150.8	151	151.5	152	153	155	157
45	182.8	183.9	184.9	185.9	186.8	187.7	189.6	191.1	194.2	199.5	203.9
46	177.1	178.9	180.8	182.2	183.5	184.7	187.0	189.1	192.5	198.4	203.0
47	165.1	170.3	173.9	176.5	178.5	180.1	183.7	186.5	190.8	197.0	202.1
48	203.4	171.3	159.3	167.3	171.0	173.7	179.5	183.2	188.8	195.9	201.1
48.5	220.7	203.7	181.2	152.3	164.2	169.1	176.6	181.2	187.7	195.2	200.5
49	231.6	—	205.7	182.2	141.6	159.5	173.2	178.9	186.1	194.6	200.0
49.5	—	—	—	206.1	188.9	155.4	168.0	176.1	184.5	193.8	199.5
50	—	—	—	—	208.0	191.0	158.8	172.9	182.8	193.0	199.0
50.5	—	—	—	—	—	209.3	164.3	169.0	180.8	192.2	198.4
51	—	—	—	—	—	221.4	186.0	159.3	178.6	191.2	197.9
52	—	—	—	—	—	239.2	217.3	186.7	173.5	189.2	196.9
53	—	—	—	—	—	253.4	—	212.1	169.7	187.1	195.8
54	—	—	—	—	—	—	—	231.8	186.0	185.2	194.7
55	—	—	—	—	—	—	—	244.3	208.5	183.5	193.6

Путем экстраполяции изоход до пересечения с линией насыщения была определена также плотность насыщенных паров аргона в диапазоне температур  $87 \div 146^\circ \text{K}$ .

Полученные данные о скорости звука сравнивались с расчетными данными Гильсенрата [3], которые имеются лишь для газообразного аргона при низких давлениях (в исследованной области состояния экспериментальных данных о скорости звука в аргоне нет).

Расхождение с данными Гильсенрата составляет  $0.1 \div 0.2\%$ . Вблизи линии насыщения оно достигает  $0.45\%$ .

Результаты определения плотности аргона сравнивались с данными Мичельса [4] по линии насыщения (расхождение около  $0.5\%$ ) и изотермам  $133$  и  $153^\circ \text{K}$  (расхождение  $0.2 \div 0.3\%$ ).

На фиг. 1 представлены изоходы (сплошные линии) и изотермы (пунктир) скорости звука в газообразном аргоне, на фиг. 2 — в жидком аргоне; черные точки соответствуют кривой насыщения. Изотермы были получены путем графической обработки экспериментальных изоход. Кроме того, на фиг. 1 нанесены расчетные данные Гильсенрата по изотермам (точки, зачерненные наполовину).

Изотермы скорости звука были проэкстраполированы к давлению  $p = 0$ . Полученные значения скорости звука сравнивались с вычисленными по формуле для идеального газа

$$a_0 = \sqrt{\frac{5}{3} RT}$$

Расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями  $a_0$  находится в пределах  $\pm 0.2\%$ .

Результаты измерений скорости звука ( $\text{мсек}^{-1}$ ) приведены также в табл. 1 и 2 для целых значений температуры и давления.

В критической области, где скорость звука сильно зависит от

температуры и давления, были проведены наиболее подробные измерения. Изотермы скорости звука в критической области, в том числе критическая изотерма ( $150.63^\circ \text{K}$ ), представлены в табл. 3.

Результаты определения плотности ( $\rho$ ,  $\text{кгм}^{-3}$ ) аргона в диапазоне температур  $90 \div 170^\circ \text{K}$  и давлений  $1 \div 60 \text{ бар}$  представлены на фиг. 3.

Температура везде выражена в градусах абсолютной шкалы Кельвина, давление — в барах.

Возможная погрешность измерения скорости звука не превышает для большинства опытов  $0.2\%$ , погрешность определения плотности —  $0.2 \div 0.3\%$ . Действительный разброс экспериментальных точек, как правило, меньше этих величин.

Поступила 16.X 1963

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р а д о в с к и й И. С. Экспериментальное исследование скорости звука в аргоне на линии насыщения. ПМТФ, 1963, № 3.
2. Р а д о в с к и й И. С. Установка для исследования термодинамических свойств газов при низких температурах ультразвуковым методом. Передовой научнотехнический и производственный опыт, ГОСИНТИ, 1962, вып. 9.
3. H i l s e n r a t h J. a. O. Tables of thermodynamic and transport properties of air, argon. Oxford, 1960.
4. M i c h e l s A. a. O. Compressibility isotherms of argon of temperatures between  $-25^\circ$  and  $-155^\circ \text{C}$ , and at densities up to 640 amagat. Physica, 1958, 24, 8, 659.