

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В., Крупников К. К., Бражник М. И. Динамическая сжимаемость металлов при давлениях от четырехсот тысяч до четырех миллионов атмосфер. Ж. эксперим. и теор. физ., 1958, т. 34, стр. 886.
2. Дремин А. Н. и Ададуров Г. А. Ударная адиабата мрамора. Докл. АН СССР, 1959, т. 128, № 2.
3. Дремин А. Н., Карпухин И. А. Метод определения ударных адиабат дисперсных веществ. ПМТФ, 1960, № 3, стр. 184.
4. Ададуров Г. А., Дремин А. Н., Першин С. В., Родионов В. Н., Рябинин Ю. Н. Ударное сжатие кварца. ПМТФ, 1962, № 4, стр. 81.
5. Зельдович Я. Б. и Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. ГИФМЛ, М. 1963.
6. Дремин А. Н., Ададуров Г. А. Поведение стекла при динамическом нагружении. Физ. тверд. тела, 1964, т. 6, стр. 1757.
7. Дремин А. Н., Шведов К. К., Колдунов С. А. Иницирование детонации ударной волной в литом тротиле. ПМТФ, 1963, № 6, стр. 131.
8. Гальперин Л. Н., Шведов К. К. Метод и установка для исследования переходных детонационных процессов. Ж. физ. химии, 1963, т. 37, стр. 1183.
9. Иванов А. Г., Новиков С. А., Синицын В. А. Исследование упруго-пластических волн в железе и стали при взрывном нагружении. Физ. тверд. тела, 1963, т. 5, стр. 269.
10. Bancroft D., Peterson E., Minshall S. Polymorphism of Iron at High Pressure. J. Appl. Phys., 1956, vol. 27, p. 291.
11. Wackerle J. Shock Wave Compression of Quartz. J. Appl. Phys., 1962, vol. 33, p. 922.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА
В НАСЫЩЕННЫХ ПАРАХ БЕНЗОЛА, ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО УГЛЕРОДА,
ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРА**

И. И. Новиков, Е. П. Шелудяков

(Новосибирск)

Данные о скорости распространения звука в насыщенных парах позволяют по результатам измерения скорости звука на кривой насыщения и вблизи ее осуществить построение энтропийных диаграмм [1] и уточнение имеющихся диаграмм и таблиц термодинамических свойств в области, которая обычно характеризуется наибольшей погрешностью определения термодинамических свойств.

В настоящее время состояние вопроса о распространении звука в насыщенных парах жидкостей представляется следующим.

Установлено [2], что при переходе через кривую насыщения из двухфазной области в область парового состояния, или обратно — из области перегретого пара в область двухфазного состояния вещества — скорость звука претерпевает конечный скачок. Найдена [3] аналитическая зависимость для скорости распространения звука на кривой насыщения при подходе к последней со стороны двухфазной области. Эта теоретическая зависимость сопоставлена с измерениями скорости звука в водяных парах и углекислоте [4–6]. Оказалось, что при температурах, не очень близких к критической, когда аналитическая зависимость для скорости звука на кривой насыщения приобретает особенно простой вид, теоретическая формула находится в хорошем согласии с экспериментальными данными в том смысле, что отклонение вычисленных и измеренных значений скорости звука не превышает 4–5%. Однако значения скорости звука, вычисленные по теоретической формуле

$$c = \sqrt{gRT} \left[1 - \frac{RT}{r} \left(2 - \frac{c_p''}{r} \right) \right]^{-1/2} \quad (1)$$

в случае воды и углекислоты оказываются всегда меньшими, чем полученные из опыта.

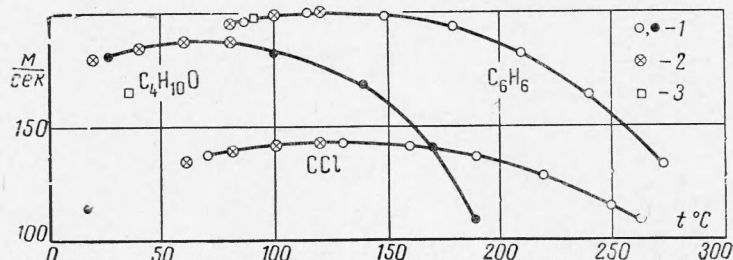
Этот результат следовало ожидать: в опытах значение скорости звука $c = c''$ измерялось на кривой насыщения при подходе к ней из паровой области, а теоретическая формула дает значение скорости звука $c = c'$ на кривой насыщения при подходе к ней из двухфазной области; обе эти скорости отличаются на конечную величину, равную скачку скорости звука на кривой насыщения. Именно поэтому и наблюдается всегда один и тот же знак разности $c'' - c'$. Таким образом, сравнение измеренных на опыте и вычисленных по теоретической формуле значений скорости звука

имеет смысл не только для проверки теоретических положений, на которых основывается формула для c , но и определения численной величины скачка скорости звука на кривой насыщения.

Из того факта, что эта разность составляет не более 4—5%, следует, что у исследованных веществ величина скачка скорости звука при сравнительно невысоких температурах мала и составляет менее одной десятой доли скорости звука.

Следует далее учитывать возможность перехода насыщенного пара при прохождении в нем звуковых волн в пересыщенное состояние.

Теоретическая формула (1), определяющая скорость звука на внутренней границе двухфазной области, естественно, этой возможности не учитывает, так как по



Фиг. 1

самому смыслу двухфазной области процессы адиабатического сжатия и расширения внутри этой области сопровождаются равновесным испарением жидкости и конденсацией пара. Между тем, в опытах по измерению скорости звука, когда осуществляют постепенный переход из области перегретого пара на линию насыщения, явления пересыщения в тех участках, где при прохождении звуковой волны происходит разрежение, теоретически возможны, вследствие чего появится дополнительная причина расхождения между теоретической формулой и данными опыта. Впрочем, из того факта, что указанное расхождение составляет всего лишь несколько процентов, вытекает, что влияние пересыщения в общем незначительно. Можно ожидать, что это влияние еще более уменьшится, если амплитуда звуковых волн будет настолько велика, что вызываемая звуковой волной степень разрежения превысит предельную степень пересыщения.

Предельная степень пересыщения имеет разное значение для разных веществ; с уменьшением поверхностного натяжения она резко падает. Равным образом и величина скачка скорости звука при переходе через кривую насыщения для разных веществ различна; она также, хотя и не столь сильно и отнюдь не пропорционально, убывает с уменьшением поверхностного натяжения. Поэтому представлялось интересным провести измерения скорости звука в насыщенных парах жидкостей, обладающих малой величиной поверхностного натяжения, и сравнить измеренные значения скорости звука с вычисленными по теоретической формуле. Из сказанного выше должно быть ясно, что отклонение от теоретической формулы (1) должно было бы быть в этом случае наименьшим; и если бы опыт обнаружил это, то тем самым и формула (1) и теоретические соображения, на которых она основывается, получили бы убедительное подтверждение. Кроме того, получение систематических данных о скорости распространения звука в насыщенных парах подобного рода жидкостей представляло и самостоятельный интерес.

В качестве объектов исследования были выбраны бензол (C_6H_6 , $\sigma = 28,88$, $t_* = 289,45$), четыреххлористый углерод (CCl_4 , $\sigma = 26,9$, $t_* = 283,2$), диэтиловый эфир ($C_4H_{10}O$, $\sigma = 17,0$, $t_* = 193,8$); здесь σ — поверхностное натяжение в $эрг/см^2$ при $t = 20^\circ C$, а t_* — критическая температура в $^\circ C$.

Бензол и четыреххлористый углерод были химически чистыми, диэтиловый эфир — медицинский.

Измерения производились по методу стоячих волн на установке, описанной в [6], которая была несколько усовершенствована. В частности, для более точного измерения частоты было использовано пересчетное устройство типа ПСТ-100. Число используемых для анализа резонансов было увеличено; это повысило точность измерения; ошибка в определении скорости звука не превышала 0,5%.

Измерения скорости звука в насыщенных парах бензола были осуществлены в интервале температур от 90 до $273^\circ C$, четыреххлористого углерода — от 70 до $262^\circ C$, диэтилового эфира — от 25 до $190^\circ C$. Результаты измерений для различных температур приведены ниже в таблице и на фиг. 1. На графиках отмечены также расчетные значения скорости звука по приведенной выше теоретической формуле (1).

Известно [7] значение скорости звука в насыщенных парах бензола при $90^\circ C$ и диэтилового эфира при $35^\circ C$; данных для других температур не имеется.

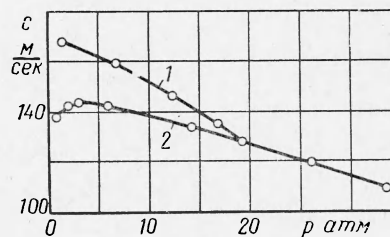
Величина скорости звука, полученная в [7], для паров бензола удовлетворительно согласуется с нашими данными; в случае диэтилового эфира расхождение составляет 8%, что, по-видимому, обусловлено разной степенью чистоты эфира.

Как видно из фиг. 1, вычисленные по теоретической формуле значения скорости звука в насыщенных парах бензола, диэтилового эфира и четыреххлористого углерода весьма хорошо согласуются с измеренными на опыте; отклонение вычисленных и измеренных значений скорости звука лежит в пределах ошибки опыта.

Из этого следует, что теоретическая формула (1) для скорости звука в насыщенных парах жидкостей обладает высокой точностью и может быть рекомендована для различных расчетов.

В соответствии со сказанным выше можно также сделать вывод, что указанная формула (1) убедительно подтверждена опытом.

Приводим также результаты измерения скорости звука в перегретых парах CCl_4 на кривой насыщения при 215.4°C для различных давлений (фиг. 2).



Фиг. 2

p	16.96	13.95	12.34	8.92	6.8	1.45	[кг/см ²]
c	136.0	124.3	146.3	154.1	159.8	168.4	[м/сек]

Скорость звука c [м/сек] в насыщенных парах для $t^\circ\text{C}$

t	c	t	c	t	c	t	c	t	c	t	c
87	197.3	150	198.2	220	177.0	110	142.9	180	138.9	250	115.0
90	198.0	160	196.8	230	170.5	120	143.1	190	136.6	260	109.4
100	199.5	170	195.0	240	163.6	130	143.2	200	134.4	262	108.0
115	201.0	180	193.4	250	155.3	25	181.3	90	185.5	160	152.6
120	200.8	190	189.6	260	146.0	30	183.0	100	184.0	165	147.5
130	199.8	200	186.4	270	135.0	40	185.6	110	182.0	170	141.8
140	199.1	210	182.4	272	132.0	50	187.8	120	179.6	175	135.0
70	138.6	140	143.1	210	131.7	60	188.2	130	175.1	180	127.0
80	140.3	150	142.5	220	128.4	70	187.8	140	169.0	185	119.6
90	141.6	160	141.7	230	124.8	80	187.0	150	163.3	190	109.8
100	142.5	170	140.4	240	120.3						

(Заметим, что приведенное выше сравнение с опытом производилось при температурах, достаточно удаленных от критической, так как именно для этой области формула (1) строго справедлива. Тем не менее, хорошее согласие сохраняется и при более высоких температурах, не отмеченных на фиг. 1—3).

Поступила 20 VI 1964

ЛИТЕРАТУРА

- Новиков И. И., Трелин Ю. С. Построение энтропийных диаграмм по экспериментальным данным о скорости звука. Атомная энергия, 1961, т. 10, № 5.
- Новиков И. И. О существовании скачка скорости звука в критической точке. ПМТФ, 1961, № 1.
- Новиков И. И. Показатель адиабаты насыщенного водяного пара. Докл. АН СССР, 1948, т. 49, № 8.
- Авдони В. И., Новиков И. И. Скорость звука на кривой фазового равновесия пар — жидкость (скорость звука в насыщенном водяном паре). ПМТФ, 1960, № 1.
- Новиков И. И., Трелин Ю. С. Скорость звука на кривой фазового равновесия пар — жидкость (скорость звука в насыщенных парах двуокиси углерода). ПМТФ, 1960, № 2.
- Авдони В. И., Новиков И. И., Шелудяков Е. П. Экспериментальное определение скорости распространения звуковых волн в насыщенном водяном паре при высоких давлениях. ПМТФ, 1964, № 5.
- Matta K., Mokhtar M. The Velocity of Sound in Vapors. J. Acoust. Soc. America, 1944, vol. 16, October, p. 120.