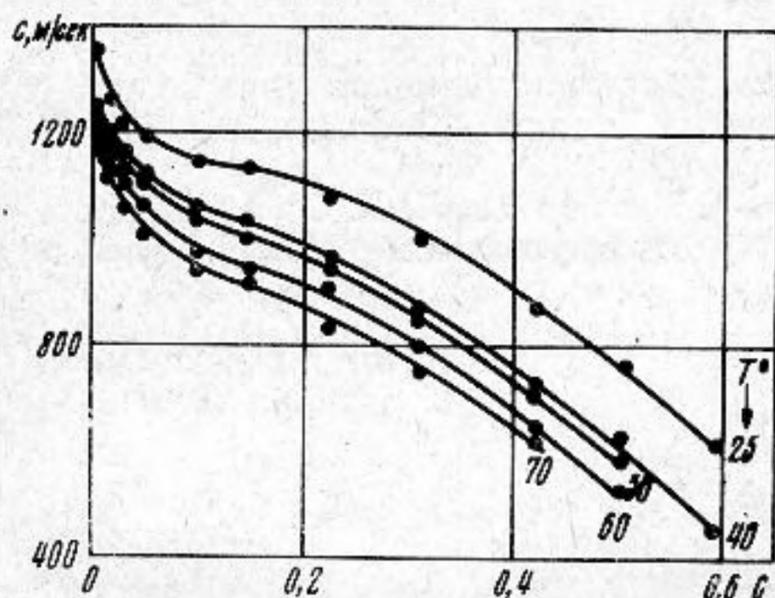


СКОРОСТЬ ЗВУКА В РАСТВОРАХ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, НАСЫЩАЮЩИХ ПОРИСТУЮ СРЕДУ

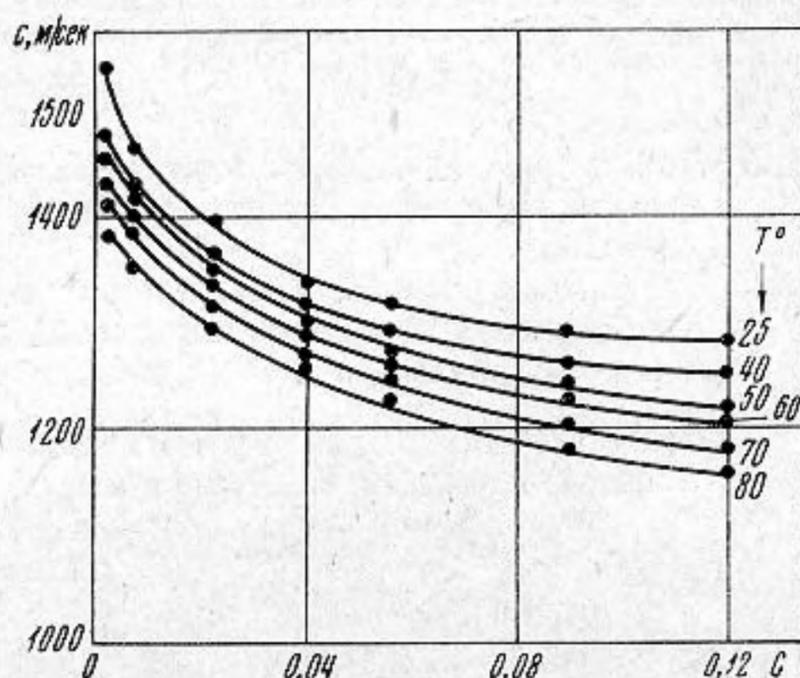
Б. А. Белинский, А. А. Болотов, В. Ф. Ноздрев

Изучение акустических свойств газожидкостных систем, насыщающих поровое пространство дискретной среды, может служить одним из методов исследования влияния развитой поверхности твердой фазы пористой среды на кинетические процессы, протекающие в наполнителе пор [1, 2].

Ниже представлены результаты измерения скорости звука *м/сек* в растворах $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$ — CO_2 и H_2O — CO_2 в пористой среде и вне ее. Дискретная среда была образована зернами кварцевого песка со средним диаметром 0,01 см, уплотненного до



Фиг. 1



Фиг. 2

пористости 34%, измерения проведены в интервале концентраций CO_2 (0,1—10,9 моль/л) и температур (25—80°) на частоте 1,15 Мгц.

На фиг. 1 и в табл. 1 приведены результаты измерения скорости звука в растворе $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$ — CO_2 , соответственно, в пористой среде (фиг. 1) и вне ее при давлении 100 кг/см² (табл. 1), в функции концентрации CO_2 в мольных долях *С*.

На фиг. 2 и в табл. 2 показана зависимость скорости в водных растворах CO_2 от концентрации газа и температуры, соответственно в присутствии твердой фазы (фиг. 2) и без нее (табл. 2) при давлении $p = 200$ кг/см².

Таблица 1

Т° С	Концентрация CO_2 (в мольн. долях), <i>С</i>									
	0	0,03	0,048	0,1	0,142	0,225	0,31	0,42	0,5	0,59
25	1190	1170	1160	1120	1100	1030	970	800	650	450
40	1110	1090	1060	1030	1000	950	860	720	550	350
50	1060	1040	1030	1000	980	910	820	680	540	300
60	1020	1010	1000	950	940	860	780	630	490	270
70	980	970	960	920	850	820	740	600	450	250

Таблица 2

Т° С	Концентрация CO_2 (в мольн. долях), <i>С</i>						Т° С	Концентрация CO_2 (в мольн. долях), <i>С</i>					
	0,002	0,007	0,04	0,056	0,09	0,122		0,002	0,007	0,04	0,056	0,09	0,122
25	1450	1420	1325	1300	1240	1220	70	1500	1485	1400	1345	1310	1260
40	1470	1440	1350	1315	1260	1230	80	1490	1455	1370	1325	1290	1245
50	1485	1450	1365	1340	1275	1240	90	1440	1430	1330	1300	1275	1220
60	1500	1475	1330	1240	1290	1255							

Из фиг. 1 и 2 можно видеть, что в области малых газосодержаний скорость звука (c) резко уменьшается.

Можно предполагать, что наблюдаемое изменение скорости звука в области малых концентраций обусловлено тем, что растворенный газ, адсорбируясь в приконтактных участках зерен твердой фазы, которые являются наиболее активными в отношении сорбции, заметным образом изменяет условия распространения звука в жидконасыщенной пористой среде. Точка перегиба зависимости скорости (c) звука от концентрации (n) растворенного газа в системе $n\text{-C}_6\text{H}_{14} - \text{CO}_2$ (фиг. 1) по всей вероятности свидетельствует о насыщении сил адсорбции, так как при дальнейшем росте газосодержания зависимости $C \sim f(n)$ в гетерогенной и гомогенной системах подобны (табл. 1). В системах вне пористой среды (табл. 1 и 2) резкого уменьшения скорости звука в области небольших концентраций не наблюдается.

В водных растворах CO_2 зависимость $c \sim f(T)$ имеет максимум при $T = 70^\circ$ (табл. 2). В гетерогенной системе скорость звука монотонно убывает с ростом температуры (фиг. 2). Приведенные результаты показывают, что пористая среда значительно влияет на акустические свойства бинарных растворов CO_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Л. Синий, Б. А. Белинский. О возможности применения ультразвука для изучения процессов сорбции газов в пористых средах. *Ж. физ. хим.*, 1965, **39**, 5, 1263—1265.
2. Б. И. Бахмарин, Б. А. Белинский, А. А. Болотов, Л. Л. Синий. Исследование фазовых переходов в пористой среде ультразвуковым методом. VI Всес. акустич. конференция. МД IV, 4, 1968.

Московский областной педагогический институт им. Н. К. Крупской

Поступило в редакцию
15 октября 1969 г.

УДК 534.26

ПРИНЦИП ВЗАИМНОСТИ В АКУСТИКЕ ДЛЯ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ

Ю. И. Белоусов, А. В. Римский-Корсаков

В настоящее время известны формулировки принципа взаимности в акустике только для установившихся гармонических колебаний [1—6]. Вывод этого принципа для неуставившихся процессов в акустических системах, в состав которых входят звуковые поля и колеблющиеся твердые тела, как и в случае гармонических колебаний можно провести с использованием волнового уравнения и формулы Грина. Рассмотрим два акустических поля $p^{(1)}(\mathbf{r}, t)$ — давление в среде, имеющей объемную плотность источников $q^{(1)}(\mathbf{r}, t)$, $\xi^{(1)}(\mathbf{r}, t)$ — нормальные смещения поверхности оболочки S_i , $f_i^{(1)}(\mathbf{r}, t)$ — сторонние механические силы, действующие на оболочку в направлении нормали n , соответственно, $p^{(2)}(\mathbf{r}, t)$, $q^{(2)}(\mathbf{r}, t)$, $\xi^{(2)}(\mathbf{r}, t)$, $f_i^{(2)}(\mathbf{r}, t)$, удовлетворяющих волновым уравнениям

$$\Delta \begin{bmatrix} p^{(1)}(\mathbf{r}, t) \\ p^{(2)}(\mathbf{r}, t) \end{bmatrix} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \begin{bmatrix} p^{(1)}(\mathbf{r}, t) \\ p^{(2)}(\mathbf{r}, t) \end{bmatrix} = -\rho \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} q^{(1)}(\mathbf{r}, t) \\ q^{(2)}(\mathbf{r}, t) \end{bmatrix}, \quad (1a)$$

(1b)

где c — скорость звука, ρ — плотность среды, и граничным условиям

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} p^{(1)}(\mathbf{r}) \\ p^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix} \rightarrow 0; \quad \frac{\partial}{\partial n} \begin{bmatrix} p^{(1)}(\mathbf{r}) \\ p^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix} = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \begin{bmatrix} \xi^{(1)}(\mathbf{r}) \\ \xi^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix};$$

$$L_i \begin{bmatrix} \xi^{(1)}(\mathbf{r}) \\ \xi^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_i^{(1)}(\mathbf{r}) \\ f_i^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p^{(1)}(\mathbf{r}) \\ p^{(2)}(\mathbf{r}) \end{bmatrix} \Big|_{S_i} \quad (2)$$

при следующих начальных условиях:

$$\begin{bmatrix} p^{(1)} \\ p^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q^{(1)} \\ q^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_i^{(1)} \\ f_i^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi^{(1)} \\ \xi^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_n^{(1)} \\ v_n^{(2)} \end{bmatrix} = 0 \quad t \leq 0, \quad (3)$$

где n — внешняя нормаль к поверхности S_i , v_n — нормальная скорость поверхности оболочки, L_i — самосопряженный дифференциальный оператор. Искомое соотношение взаимности проще всего получить, используя операционный метод. Для этого