

**СЖИМАЕМОСТЬ ВЕЩЕСТВ**

Кoeffициент сжимаемости есть доля уменьшения объема тела при увеличении давления на 1 атм (760 мм рт. ст.):

$$\chi = (1/V) (\delta V/\delta P),$$

где  $\delta V$  — изменение объема  $V$  при изменении давления на  $\delta P$ ; температура при этом предполагается постоянной. Кoeffициент сжимаемости изменяется с уменьшением температуры тела, а также с изменением давления, под которым оно находится:

$$\chi = \frac{A}{V(P + P_T)},$$

где  $A$  — функция, возрастающая с температурой;  $P$  — внешнее давление;  $P_T$  — давление Ван-дер-Ваальса при температуре  $T$ . Для твердых тел  $\chi = 1/M$ , где  $M = E/[\rho(1 - 2\mu)]$  — модуль объемной деформации;  $E$  — модуль Юнга;  $\rho$  — плотность;  $\mu$  — коэффициент Пуассона.

**6.1. ГАЗЫ**

В табл. 6.1 приведен относительный объем воздуха при различных давлениях и температурах. Объем при 0°C и 760 мм рт. ст. принят за  $10^6$  [1].

В табл. 6.2—6.15 приведены значения произведений  $PV$ , отнесенные к  $P_0V_0$  при нормальных условиях [2].

Таблица 6.1

Упругие свойства воздуха

$P, атм$	0°C	99,4°C	200,4°C	$P, атм$	0°C	99,4°C	200,4°C
100	9730	—	—	600	2450	3180	3883
205	5050	7360	9430	700	2288	2904	3502
300	3658	5170	6622	800	2168	2699	3219
400	3036	4170	5240	900	2070	2544	3000
500	2680	3565	4422	1000	1992	2415	2828

Таблица 6.2

Отношение  $PV/P_0V_0$  для азота  $N_2$

$P, атм$	Температура, °C									
	-130	-100	-50	0	50	100	150	200	300	400
0	0,5243	0,6342	0,8173	1,0005	1,1836	1,3667	1,5499	1,7330	2,0993	2,4655
1	0,5208	0,6319	0,8162	1,0000	1,1836	1,3670	1,5503	1,7336	2,1000	2,4664
10	0,4873	0,6109	0,8059	0,9961	1,1837	1,3698	1,5551	1,7398	2,1084	2,4759
20	0,4466	0,5879	0,7951	0,9924	1,1842	1,3732	1,5606	1,7470	2,1177	2,4865
40	0,3487	0,5406	0,7757	0,9840	1,1866	1,3810	1,5724	1,7618	2,1367	2,5080
60	0,2482	0,4970	0,7596	0,9840	1,1908	1,3901	1,5851	1,7773	2,1560	2,5300
80	—	0,4631	0,7476	0,9838	1,1967	1,4005	1,5989	1,7935	2,1756	2,5523
100	—	0,4471	0,7407	0,9866	1,2044	1,4123	1,6136	1,8105	2,1956	2,5748
200	—	—	0,785	1,036	1,2692	1,990	1,700	1,912	2,313	2,697
400	—	—	1,033	1,237	1,483	1,704	1,920	2,146	2,551	2,945
600	—	—	1,316	1,525	1,741	1,957	2,171	2,396	2,804	3,198
800	—	—	1,593	1,799	2,009	2,221	2,432	2,656	3,062	3,459
1000	—	—	1,857	2,068	2,276	2,486	2,696	2,921	3,317	3,722

Таблица 6.3

Отношение  $PV/P_0V_0$  для аммиака  $NH_3$

$P, атм$	Температура, °C					$P, атм$	Температура, °C				
	100	150	200	250	300		100	150	200	250	300
0	1,3886	1,5747	1,7608	1,9468	2,1329	50	0,997	1,329	1,587	1,819	2,034
1	1,3805	1,5679	1,7546	1,9420	2,1276	60	—	1,274	1,551	1,793	2,016
10	1,323	1,527	1,725	1,919	2,110	70	—	1,215	1,514	1,768	1,997
20	1,254	1,481	1,691	1,892	2,091	80	—	—	1,477	1,742	1,978
30	1,179	1,433	1,657	1,869	2,071	90	—	—	1,438	1,716	1,960
40	1,005	1,383	1,622	1,843	2,053	100	—	—	—	1,690	1,942

Отношение  $PV/P_0V_0$  для аргона Ar

P, атм	Температура, °C							
	-100	-50	0	50	100	200	300	400
0	0,6345	0,8178	1,0010	1,1842	1,3674	1,7339	2,1003	2,4668
1	0,6316	0,8116	1,0000	1,1837	1,3673	1,7341	2,1008	2,4675
10	0,6048	0,8010	0,9914	1,1795	1,3658	1,7361	2,1054	2,4736
20	0,5730	0,7843	0,9823	1,1651	1,3644	1,7385	2,1105	2,4804
40	0,5029	0,7518	0,9653	1,1634	1,3625	1,7440	2,1211	2,4941
60	0,4237	0,7206	0,9503	1,1611	1,3619	1,7504	2,1321	2,5078
80	0,3340	0,6919	0,9327	1,1563	1,3625	1,7517	2,1434	2,5214
100	—	0,6669	0,9262	1,1529	1,3648	1,7659	2,1550	2,5351
150	—	—	—	—	1,3741	—	—	—
200	—	—	—	—	1,3915	—	—	—

Таблица 6.5

Отношение  $PV/P_0V_0$  для водорода H<sub>2</sub>

P, атм	Температура, °C										
	-207,9	-183	-150	-100	-50	0	50	100	200	300	400
0	0,2388	0,3299	0,4506	0,6335	0,8164	0,9994	1,1823	1,3652	1,7311	2,097	2,463
1	0,2373	0,3296	0,4507	0,6339	0,8170	1,0000	1,1830	1,3659	1,7318	2,097	2,463
10	0,2308	0,3278	0,4521	0,6377	0,8219	1,0056	1,1891	1,3721	1,7381	2,104	2,468
20	0,2238	0,3264	0,4540	0,6420	0,8274	1,0119	1,1959	1,3791	1,7451	2,111	2,473
40	0,2134	0,3261	0,4591	0,6513	0,8388	1,0247	1,2094	1,3930	1,7591	2,126	2,484
60	0,2126	0,3238	0,4657	0,6612	0,8506	1,0376	1,2229	1,4069	1,7731	2,141	2,495
80	0,2186	0,3345	0,4739	0,6719	0,8628	1,0508	1,2364	1,4210	1,7872	2,156	2,505
100	—	0,3433	0,4938	0,6833	0,8754	1,0641	1,2500	1,4352	1,8012	2,171	2,516
200	—	—	—	—	0,941	1,133	1,320	1,507	1,885	2,251	2,608
400	—	—	—	—	1,083	1,276	1,464	1,651	2,034	2,398	2,765
600	—	—	—	—	1,230	1,422	1,608	1,796	2,177	2,540	—
800	—	—	—	—	1,376	1,567	1,751	1,938	2,320	2,677	—
1000	—	—	—	—	1,519	1,709	1,892	2,078	2,461	2,813	—

Таблица 6.6

Отношение  $PV/P_0V_0$  для гелия He

P, атм	Температура, °C								
	-252,8	-208	-183	-150	-100	-50	0	50	100
0	0,0745	0,2384	0,3299	0,4506	0,6336	0,8165	0,9995	1,1824	1,3654
1	0,0745	0,2389	0,3305	0,4512	0,6342	0,8171	1,0000	1,1829	1,3658
10	0,0744	0,2428	0,3348	0,4558	0,6390	0,8219	1,0047	1,1876	1,3704
50	0,0891	0,2621	0,3547	0,4768	0,6606	0,8434	1,0257	1,2086	1,3907
100	0,1206	0,2880	0,3816	0,5042	0,6884	0,8707	1,0519	1,2348	1,4161

Продолжение табл. 6.6

P, атм	Температура, °C									
	200	300	400	P, атм	-70	-35	0	50	100	200
0	1,7313	2,0972	2,4631	200	0,8490	0,9759	1,1036	1,2859	1,4660	1,8283
1	1,7317	2,0975	2,4633	400	0,9491	1,0769	1,2026	1,3848	1,5635	1,9179
10	1,7361	2,1017	2,4674	600	1,0481	1,1744	1,3003	1,4768	1,6553	2,0152
50	1,7559	2,1204	2,4855	800	1,1417	1,2682	1,3924	1,5706	1,7481	2,0983
100	1,7805	2,1439	2,5081	1000	—	—	1,4838	1,6602	1,8359	2,1880

Отношение  $PV/P_0V_0$  для двуокиси углерода  $CO_2$ 

$P, \text{ атм}$	Температура, °C											
	0	10	20	30	40	50	60	80	100	137	198	258
0	1,0068	1,0437	1,0805	1,1174	1,1543	1,1911	1,2280	1,3017	1,3754	1,5118	1,7366	1,9758
50	0,105	0,115	0,120	0,125	0,130	0,135	0,140	0,145	0,150	0,155	0,160	0,165
75	0,153	0,163	0,170	0,178	0,185	0,192	0,198	0,205	0,212	0,218	0,225	0,232
100	0,202	0,213	0,222	0,230	0,238	0,245	0,252	0,260	0,268	0,275	0,282	0,290
150	0,295	0,309	0,326	0,346	0,377	0,419	0,485	0,681	0,878	1,158	1,530	1,818
200	0,385	0,401	0,419	0,440	0,468	0,500	0,543	0,660	0,815	1,096	1,496	1,804
300	0,560	0,578	0,599	0,623	0,649	0,677	0,710	0,790	0,890	1,108	1,494	1,820
400	0,728	0,748	0,771	0,795	0,823	0,852	0,884	0,956	1,039	1,218	1,563	1,883
500	0,991	0,913	0,938	0,963	0,990	1,021	1,054	1,124	1,200	1,362	1,678	—
600	1,050	1,073	1,100	1,128	1,157	1,187	1,219	1,290	1,366	1,518	1,812	—
700	1,206	1,232	1,259	1,289	1,319	1,350	1,383	1,454	1,528	1,676	1,956	—
800	1,358	1,387	1,417	1,448	1,479	1,510	1,544	1,614	1,689	1,836	2,108	—
900	1,509	1,539	1,569	1,633	1,633	1,665	1,700	1,771	1,846	1,994	2,260	—
1000	1,656	1,685	1,716	1,780	1,780	1,814	1,848	1,921	1,999	—	—	—

Таблица 6.8

Отношение  $PV/P_0V_0$  для кислорода  $O_2$ 

$P, \text{ атм}$	Температура, °C						$P, \text{ атм}$	Температура, °C					
	0	15,6	50	100	199,5	200		0	15,6	50	100	199,5	200
0	1,0010	—	1,1842	1,3674	—	—	700	1,39	1,4515	—	1,83	2,2415	2,24
1	1,0000	—	1,1837	1,3672	—	—	800	1,50	1,566	—	1,93	2,343	2,34
10	0,991	—	1,180	1,366	—	—	1000	1,74	1,798	—	2,15	—	—
20	0,982	—	1,175	1,365	—	—	1200	1,9629	2,0268	—	—	—	—
40	0,965	—	1,167	1,363	—	—	1400	2,1798	2,247	—	—	—	—
60	0,949	—	1,161	1,363	—	—	1600	2,396	2,464	—	—	—	—
80	0,936	—	1,156	1,363	—	—	1800	2,6073	2,6793	—	—	—	—
100	0,923	1,0045	1,152	1,365	—	—	2000	2,816	2,888	—	—	—	—
200	0,91	0,9945	—	1,40	1,189	1,82	2200	3,0217	3,0932	—	—	—	—
300	0,96	1,042	—	1,45	1,885	1,89	2400	3,2244	3,2976	—	—	—	—
400	1,05	1,125	—	1,53	1,961	1,96	2600	3,4229	3,4996	—	—	—	—
500	1,16	1,227	—	1,62	2,05	2,05	2800	3,6176	3,6946	—	—	—	—
600	1,27	1,337	—	1,72	2,142	2,14	3000	—	3,888	—	—	—	—

Таблица 6.9

Отношение  $PV/P_0V_0$  для криптона Kr

$P, \text{ атм}$	При температуре 11,2°C	$P, \text{ атм}$	При температуре 11,2°C	$P, \text{ атм}$	При температуре 273,3°C
25,88	1,012	53,72	0,937	50,93	1,882
27,91	1,008	57,81	0,918	54,82	1,880
30,31	1,000	63,07	0,901	59,36	1,874
33,15	0,993	69,46	0,884	65,12	1,868
36,60	0,980	72,10	0,863	71,20	1,862
40,89	0,968	87,39	0,841	79,25	1,859
46,29	0,953	101,74	0,821	89,53	1,856
49,58	0,940	—	—	104,09	1,877

Таблица 6.10

Отношение  $PV/P_0V_0$  для ксенона Xe

$P, \text{ атм}$	При температуре 11,2°C	$P, \text{ атм}$	При температуре 11,2°C	$P, \text{ атм}$	При температуре 237,3°C
25,65	0,697	36,39	0,628	53,53	1,397
26,62	0,691	38,42	0,612	57,97	1,389
27,68	0,685	40,69	0,598	63,21	1,377
28,79	0,677	43,24	0,576	69,62	1,375
30,07	0,670	46,22	0,552	77,54	1,359
31,40	0,659	49,39	0,522	88,15	1,354
32,92	0,650	53,20	0,537	102,55	1,357
34,57	0,640	—	—	—	—

Отношение  $PV/P_0V_0$  для иона Ne

P, атм	Температура, °C										
	-207,9	-182,5	-150	-100	-50	0	50	100	200	300	400
0	0,2388	0,3317	0,4506	0,6336	0,8166	0,9995	1,1825	1,3654	1,7313	2,0973	2,4632
1	0,2380	0,3315	0,4507	0,6340	0,8170	1,0000	1,1830	1,3659	1,7318	2,0977	2,4636
10	0,2300	0,328	0,451	0,637	0,821	1,0044	1,1879	1,3710	1,7371	2,1033	2,4691
50	0,196	0,319	0,454	0,649	0,838	1,024	1,209	1,394	1,761	2,128	2,494
100	0,185	0,318	0,465	0,667	0,861	1,050	1,236	1,422	1,791	2,158	2,524
150	—	—	—	—	—	1,077	1,264	1,452	—	—	—
200	—	—	—	—	—	1,105	1,293	1,481	—	—	—

Таблица 6.12

Отношение  $PV/P_0V_0$  для окиси азота NO

P, атм	Температура, °C									
	-70	-50	-25	0	25	50	100	150	200	
0	0,744	0,817	0,909	1,0007	1,092	1,184	1,367	1,550	1,733	
1	0,743	0,816	0,908	1,000	1,092	1,184	1,367	1,550	1,734	
25	0,703	0,790	0,894	0,989	1,087	1,182	1,375	1,570	1,758	
50	0,664	0,762	0,877	0,979	1,083	1,183	1,384	1,582	1,776	
75	0,632	0,739	0,863	0,973	1,083	1,188	1,395	1,598	1,795	
100	0,615	0,726	0,859	0,972	1,084	1,195	1,406	1,615	1,815	
150	0,619	0,730	0,866	0,987	1,108	1,219	1,439	1,654	1,860	
200	0,663	0,766	0,902	1,015	1,138	1,256	1,479	1,699	1,909	
300	0,796	0,877	1,009	1,113	1,234	1,352	1,580	1,805	2,018	
400	0,943	1,028	1,140	1,242	1,356	1,472	1,696	1,918	2,138	
600	1,239	1,322	1,428	1,524	1,625	1,738	1,956	2,176	2,392	
800	1,524	1,610	1,715	1,806	1,990	2,014	2,224	2,444	2,660	
1000	1,799	1,687	1,994	2,083	2,186	2,283	2,494	2,714	2,926	

Таблица 6.13

Отношение  $PV/P_0V_0$  для метана CH<sub>4</sub>

P, атм	Температура, °C									
	-70	-50	-25	0	25	50	100	150	200	
0	0,7455	0,8189	0,9106	1,0024	1,0942	1,1859	1,3694	1,5529	1,7365	
1	0,7410	0,8150	0,9075	1,0000	1,0922	1,1845	1,3686	1,5525	1,7363	
20	0,647	0,740	0,849	0,954	1,056	1,156	1,351	1,543	—	
40	0,524	0,655	0,787	0,907	1,020	1,128	1,335	1,536	—	
60	0,337	0,555	0,724	0,861	0,986	1,102	1,321	1,530	—	
80	0,256	0,460	0,665	0,819	0,955	1,080	1,310	1,526	—	
100	0,281	0,409	0,617	0,784	0,930	1,062	1,302	1,524	—	
120	0,318	0,410	0,588	0,758	0,910	1,048	1,296	1,525	—	
140	0,354	0,430	0,580	0,743	0,898	1,039	1,294	1,527	—	
160	0,392	0,460	0,589	0,740	0,893	1,035	1,295	1,532	—	
180	0,429	0,429	0,608	0,746	0,894	1,036	1,298	1,539	—	
200	0,466	0,527	0,632	0,761	0,903	1,043	1,305	1,548	—	
300	0,646	0,703	0,788	0,889	1,006	1,129	1,379	1,623	—	
400	0,819	0,875	0,956	1,049	1,150	1,261	1,493	1,727	—	
500	0,987	1,043	1,122	1,209	1,306	1,411	1,628	1,854	—	
600	1,149	1,207	1,286	1,371	1,466	1,565	1,773	1,994	—	
800	1,463	1,525	1,605	1,689	1,780	1,878	2,074	2,283	—	
1000	1,766	1,829	1,911	2,000	2,089	2,185	2,376	2,580	—	

Отношение  $PV/P_0V_0$  для этана  $C_2H_6$ 

$P, атм$	Температура, °C					
	25	50	100	150	200	250
0	1,1044	1,1970	1,3822	1,5674	1,7526	1,9378
10	1,012	1,118	1,325	1,524	1,713	1,911
20	0,909	1,040	1,269	1,482	1,682	1,885
30	0,784	0,950	1,214	1,444	1,656	1,864
40	0,586	0,848	1,158	1,406	1,633	1,843
60	—	0,557	1,040	1,334	1,583	1,809
80	—	—	0,926	1,267	1,541	1,782
100	—	—	—	1,209	1,505	1,760

Таблица 6.15

Отношение  $PV/P_0V_0$  для этилена  $C_2H_4$ 

$P, атм$	Температура, °C							
	0	20	40	60	80	100	137,5	198,5
0	1,0073	1,081	1,155	1,229	1,302	1,376	1,514	1,739
50	0,176	0,629	0,814	0,954	1,077	1,192	1,374	1,652
100	0,310	0,360	0,470	0,668	0,846	1,005	1,247	1,580
150	0,441	0,485	0,550	0,649	0,776	0,924	1,178	1,540
200	0,565	0,610	0,669	0,744	0,838	0,946	1,174	1,537
300	0,806	0,852	0,908	0,972	1,048	1,133	1,310	1,628
400	1,036	1,084	1,140	1,202	1,272	1,356	1,510	1,790
500	1,255	1,307	1,367	1,431	1,500	1,577	1,721	1,985
600	1,472	1,525	1,586	1,652	1,721	1,795	1,938	2,191
700	1,683	1,737	1,799	1,867	1,936	2,011	2,153	2,399
800	1,888	1,946	2,010	2,077	2,179	2,294	2,368	2,606
900	2,090	2,153	2,217	2,286	2,359	2,434	2,585	2,810
1000	2,289	2,356	2,421	2,492	2,566	2,642	2,798	—