



ТАБЛИЦЫ
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ
И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГЕЛИЯ, НЕОНА,
АРГОНА, КРИПТОНА И КСЕНОНА
ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ
В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР
ОТ НОРМАЛЬНЫХ ТОЧЕК КИПЕНИЯ
ДО 2500 К**

ГСССД 17—81

Издание официальное

Цена 10 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
(ГСССД)

ТАБЛИЦЫ
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ
И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГЕЛИЯ, НЕОНА,
АРГОНА, КРИПТОНА И КСЕНОНА
ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ
В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР
ОТ НОРМАЛЬНЫХ ТОЧЕК КИПЕНИЯ
ДО 2500 К

ГСССД 17—81

Издание официальное

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ

1982

РАЗРАБОТАНЫ Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы, Одесским институтом инженеров морского флота, Московским институтом инженеров транспорта

Авторы: д-р техн. наук Рабинович В. А., д-р техн. наук Вассерман А. А., канд. физ.-мат. наук Зими́на Н. Х.

РЕКОМЕНДОВАНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ Советским национальным комитетом по сбору и оценке численных данных в области науки и техники Президиума АН СССР; Секцией теплофизических свойств веществ Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Теплофизика»; Всесоюзным научно-исследовательским центром Государственной службы стандартных справочных данных

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией ГСССД в составе: д-ра техн. наук Голубева И. Ф., канд. техн. наук Люстерника В. Е., канд. техн. наук Мамонова Ю. В., д-ра техн. наук Сироты А. М., д-ра техн. наук Улыбина С. А.

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ Всесоюзным научно-исследовательским центром Государственной службы стандартных справочных данных
УТВЕРЖДЕНЫ Государственным комитетом СССР по стандартам 1 апреля 1981 г. [протокол № 44].

Настоящие таблицы стандартных справочных данных содержат значения коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности газообразных гелия, неона, аргона, криптона и ксенона при атмосферном давлении в интервалах температур от нормальных точек кипения до 2500 К.

В основу расчета таблиц положены уравнения, рекомендуемые молекулярно-кинетической теорией разреженных газов [1]¹:

$$\eta_T = 2,6693 \cdot 10^{-6} \frac{\sqrt{TM}}{\sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} f_{\eta}^{(k)}; \quad (1)$$

$$\lambda_T = 83,226 \cdot 10^{-6} \frac{\sqrt{T/M}}{\sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} f_{\lambda}^{(k)}, \quad (2)$$

где размерности η_T — Па·с, λ_T — кВт/(м·К); M — молекулярная масса, г/моль; σ — диаметр столкновений, 10^{-10} м; $\Omega^{(2,2)*}$ — приведенный интеграл столкновений, зависящий от приведенной температуры $T = kT/\varepsilon$; $f_{\eta}^{(k)}$ и $f_{\lambda}^{(k)}$ — функции от T^* , близкие к единице и в дальнейшем приняты равными 1.

В связи с несовершенством модельных потенциалов, для которых табулированы значения $\Omega^{(2,2)*}$, при расчете настоящих таблиц значения интеграла столкновений определялись на основании экспериментальных данных о вязкости и теплопроводности. Такая методика позволила получить реальный интеграл столкновений, учитывающий особенности межмолекулярного взаимодействия и пригодный для вычисления переносных свойств группы родственных веществ в широком интервале приведенных температур.

По экспериментальным данным о вязкости и теплопроводности одноатомных газов определялись значения комплекса $y = \sigma^2 \Omega^{(2,2)*}$ на основании (1) и (2). В принципе, значения y , найденные по данным о вязкости и теплопроводности газа, должны обобщаться в зависимости от температуры с помощью единой кривой. Данные обрабатывались в координатах $\lg y$, $\lg T$, что позволяло совме-

¹ При использовании указанных в [30] значений универсальной газовой постоянной $R = 8,31441$ Дж/(моль·К) и постоянной Авогадро $N_A = 6,022045$ моль⁻¹ в формулах (1) и (2) получаются значения коэффициентов 2,6696 и 83,236. Однако в работе использованы те же значения коэффициентов, которые были приняты в [1] при определении приведенного интеграла столкновений по экспериментальным данным. Новые значения коэффициентов отличаются от принятых в [1] на 0,01 %, что существенно меньше погрешности данных о коэффициентах переноса.

шать кривые $y=f(T)$ для разных газов путем параллельного переноса осей координат и уточнять конфигурацию обобщающей кривой. Для перехода от координат y, T к безразмерным координатам $\Omega^{(2,2)*}$, T^* в качестве параметров приведения использованы величины T_B и $v_0^{2/3}$, где T_B — температура Бойля, а v_0 — значение удельного объема на продолжении кривой идеального газа при $T=0$. Как показано в [2], значения T_B и v_0 связаны с величинами ε/k и σ и надежно определяются по p, v, T — данным.

Уравнение $y=f(T)$, хорошо отображающее экспериментальные данные о переносных свойствах наиболее исследованного одноатомного газа — аргона, имеет вид [2]:

$$y = a \lg T + \sum b_i \left(\frac{100}{T}\right)^i \quad (3)$$

Коэффициенты уравнения (3) для аргона равны:

$$\begin{aligned} a &= -2,78751; & b_3 &= -48,82650; \\ b_0 &= 17,67484; & b_4 &= 39,38774; \\ b_1 &= 0; & b_5 &= -16,54629; \\ b_2 &= 31,14987; & b_6 &= 2,86561. \end{aligned}$$

В области высоких температур логарифмический член уравнения не только надежно описывает экспериментальные значения вязкости [3] вплоть до температуры 2150 К, но и с приемлемой точностью отображает данные [4, 5] до $T=5000$ К, не использованные при определении коэффициентов уравнения.

Располагая значениями параметров приведения, можно вычислить множители преобразования уравнения (3)

$$\mu = \frac{T_{B_2}}{T_{B_1}}, \quad \nu = \left(\frac{v_{0_2} M_2}{v_{0_1} M_1}\right), \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 относятся к базисному (аргону) и исследуемому веществам. Значения $\lg \mu$ и $\lg \nu$ определяют сдвиг осей координат при совмещении кривых $\lg y=f(\lg T)$ для двух газов. Значения молекулярной массы, температуры T_B , плотности ρ_0 и множителей преобразования для одноатомных газов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Значения молекулярной массы M , параметров T_B, ρ_0 и множителей преобразования для одноатомных газов

Газ	M	T_B, K	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	μ	ν
Неон	20,179	122,1	1673	0,29944	0,68312
Аргон	39,948	407,76	1870	1	1
Криптон	83,8	567,5	3210	1,39175	1,14303
Ксенон	131,3	791,0	3890	1,93987	1,35657

Уравнение (3) и множители преобразования использовались для расчета взаимно согласованных значений коэффициентов вязкости и теплопроводности четырех одноатомных газов в широком интервале температур. Результаты для неона при $T < 125$ К [2] и для гелия во всем интервале температур [6] обобщались графически, так как расчетная кривая систематически отклоняется от экспериментальных данных, что, по-видимому, вызвано квантово-механическими эффектами.

Стандартные справочные данные о динамической вязкости и теплопроводности одноатомных газов при атмосферном давлении согласованы между собой и приведены в табл. 2—6. Они относятся к химически чистым газам (чистотой не менее 99,97 %). В таблицах представлены также допуски расчетных значений указанных свойств, полученные в итоге анализа исходных экспериментальных работ и сопоставления этих значений с многочисленными опытными и расчетными данными различных авторов [2, 6], включая результаты сопоставления, приведенные в приложении.

Таблица 2

Динамическая вязкость и теплопроводность
гелия при атмосферном давлении

$T, \text{ К}$	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
5	1,28	0,04	10,0	0,30
6	1,49	0,04	11,6	0,34
7	1,68	0,05	13,1	0,37
8	1,85	0,05	14,5	0,39
9	2,01	0,05	15,8	0,41
10	2,17	0,05	17,0	0,42
12	2,45	0,06	19,1	0,48
14	2,71	0,06	21,1	0,51
16	2,94	0,07	22,9	0,55
18	3,14	0,07	24,5	0,59
20	3,33	0,08	26,0	0,60
25	3,80	0,09	29,7	0,68
30	4,24	0,10	33,1	0,76
35	4,67	0,11	36,5	0,84
40	5,09	0,11	39,8	0,87
45	5,50	0,12	43,0	0,95
50	5,89	0,13	46,0	1,01
60	6,66	0,14	52,1	1,09
70	7,42	0,15	58,0	1,22
80	8,16	0,16	63,8	1,28
90	8,86	0,18	69,3	1,39
100	9,52	0,19	74,5	1,49

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
110	10,14	0,20	79,4	1,59
120	10,74	0,20	84,0	1,60
130	11,32	0,21	88,4	1,68
140	11,88	0,22	92,7	1,76
150	12,43	0,24	97,0	1,84
160,0	12,98	0,23	101,3	1,82
170,0	13,52	0,24	105,6	1,90
180,0	14,06	0,25	109,9	1,98
190,0	14,60	0,26	114,2	2,05
200,0	15,12	0,26	118,4	2,01
210,0	15,63	0,25	122,5	1,96
220,0	16,14	0,26	126,5	2,02
230,0	16,65	0,25	130,4	1,96
240,0	17,15	0,24	134,2	1,88
250,0	17,65	0,23	138,0	1,79
260,0	18,14	0,22	141,7	1,70
270,0	18,61	0,22	145,4	1,74
280,0	19,07	0,23	149,0	1,79
290,0	19,52	0,21	152,6	1,68
300,0	19,98	0,20	156,1	1,56
320,0	20,91	0,21	163,4	1,63
340,0	21,79	0,22	170,4	1,70
360,0	22,65	0,23	177,2	1,77
380,0	23,50	0,23	183,8	1,84
400,0	24,35	0,24	190,4	1,90
420,0	25,20	0,25	197,0	1,97
440,0	26,05	0,26	203,6	2,04
460,0	26,89	0,27	210,2	2,10
480,0	27,72	0,28	216,7	2,17
500,0	28,54	0,28	223,1	2,23
550,0	30,47	0,33	238,1	2,62
600,0	32,39	0,36	253,0	2,78
650,0	34,30	0,38	267,8	2,94
700,0	36,19	0,43	282,4	3,39
750,0	37,96	0,45	296,6	3,56
800	39,70	0,48	310,5	3,73
850	41,50	0,50	324,2	3,89
900	43,25	0,52	337,7	4,05
950	44,95	0,54	350,9	4,21
1000	46,59	0,56	363,9	4,37
1050	48,20	0,63	376,6	4,89
1100	49,80	0,65	389,1	5,06
1150	51,40	0,67	401,6	5,22
1200	52,99	0,69	413,9	5,38
1250	54,53	0,71	426,0	5,54

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
1300	56,02	0,73	437,6	5,69
1350	57,45	0,75	448,8	5,83
1400	58,82	0,76	459,6	5,97
1450	60,18	0,78	470,2	6,11
1500	61,54	0,80	480,8	6,25
1550	62,90	0,82	491,4	6,39
1600	64,25	0,83	502,0	6,53
1650	65,61	0,85	512,6	6,66
1700	66,99	0,87	523,3	6,80
1750	68,37	0,89	534,1	6,94
1800	69,76	0,91	544,9	7,08
1850	71,12	0,92	555,6	7,22
1900	72,44	0,94	565,9	7,36
1950	73,73	0,96	576,0	7,49
2000	75,01	0,97	586,0	7,62
2050	76,29	1,07	596,0	8,34
2100	77,57	1,16	606,0	9,09
2150	78,85	1,26	616,0	9,86
2200	80,13	1,36	626,0	10,64
2250	81,40	1,46	635,9	11,45
2300	82,68	1,57	645,9	12,27
2350	83,96	1,68	656,0	13,12
2400	85,25	1,79	666,0	13,99
2450	86,53	1,99	676,0	15,55
2500	87,81	2,02	686,0	15,78

Таблица 3

**Динамическая вязкость и теплопроводность неона при
атмосферном давлении**

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
27,09	4,62	0,07	7,14	0,11
28	4,76	0,07	7,36	0,11
30	5,07	0,08	7,83	0,12
32	5,37	0,08	8,30	0,12
34	5,67	0,09	8,76	0,13
36	5,97	0,09	9,22	0,14
38	6,26	0,09	9,67	0,15
40	6,55	0,10	10,12	0,15

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
42	6,84	0,10	10,57	0,16
44	7,13	0,11	11,01	0,17
46	7,41	0,11	11,45	0,17
48	7,70	0,12	11,89	0,18
50	7,98	0,12	12,33	0,18
55	8,68	0,13	13,42	0,20
60	9,37	0,14	14,48	0,22
65	10,04	0,15	15,52	0,23
70	10,70	0,16	16,54	0,25
75	11,35	0,17	17,54	0,26
80	11,98	0,18	18,51	0,28
85	12,59	0,19	19,46	0,29
90	13,19	0,20	20,38	0,31
95	13,77	0,21	21,28	0,32
100	14,34	0,22	22,16	0,33
110	15,41	0,23	23,83	0,36
120	16,43	0,25	25,41	0,38
130	17,43	0,26	26,94	0,40
140	18,45	0,28	28,51	0,43
150	19,44	0,29	30,03	0,45
160	20,39	0,29	31,51	0,44
170	21,32	0,26	32,95	0,40
180	22,23	0,24	34,35	0,38
190	23,11	0,21	35,72	0,32
200	23,98	0,19	37,04	0,30
210	24,82	0,20	38,35	0,31
220	25,64	0,20	39,62	0,31
230	26,45	0,20	40,88	0,31
240	27,25	0,20	42,10	0,31
250	28,03	0,20	43,31	0,30
260	28,80	0,19	44,50	0,29
270	29,55	0,18	45,66	0,28
280	30,30	0,18	46,81	0,28
290	31,03	0,19	47,94	0,29
300	31,75	0,19	49,06	0,29
320	33,17	0,20	51,24	0,31
340	34,55	0,21	53,38	0,32
360	35,89	0,22	55,46	0,34
380	37,21	0,24	57,50	0,37
400	38,51	0,26	59,50	0,40
420	39,77	0,28	61,46	0,43
440	41,02	0,30	63,38	0,46
460	42,24	0,32	65,27	0,49
480	43,45	0,34	67,13	0,52
500	44,64	0,36	68,97	0,55

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
550	47,53	0,38	73,44	0,59
600	50,33	0,40	77,77	0,62
650	53,05	0,42	81,97	0,66
700	55,70	0,45	86,06	0,69
750	58,29	0,47	90,06	0,72
800	60,81	0,49	93,96	0,75
850	63,29	0,51	97,79	0,78
900	65,72	0,53	101,5	0,81
950	68,10	0,54	105,2	0,84
1000	70,45	0,56	108,9	0,87
1050	72,76	0,73	112,4	1,12
1100	75,03	0,90	115,9	1,39
1150	77,27	1,00	119,4	1,55
1200	79,48	1,19	122,8	1,84
1250	81,66	1,22	126,2	1,89
1300	83,82	1,26	129,5	1,94
1350	85,95	1,29	132,8	1,99
1400	88,05	1,32	136,1	2,04
1450	90,13	1,44	139,3	2,23
1500	92,20	1,57	142,5	2,42
1550	94,24	1,70	145,6	2,62
1600	96,26	1,83	148,7	2,83
1650	98,26	1,97	151,8	3,04
1700	100,2	2,10	154,9	3,25
1750	102,2	2,25	157,9	3,47
1800	104,2	2,40	160,9	3,70
1850	106,1	2,55	163,9	3,93
1900	108,0	2,70	166,9	4,17
1950	109,9	2,75	169,9	4,25
2000	111,8	2,80	172,8	4,32
2050	113,7	2,84	175,7	4,39
2100	115,6	2,89	178,6	4,47
2150	117,4	2,94	181,4	4,54
2200	119,3	2,98	184,3	4,61
2250	121,1	3,03	187,1	4,68
2300	122,9	3,07	189,9	4,75
2350	124,7	3,12	192,7	4,82
2400	126,5	3,16	195,5	4,89
2450	128,3	3,21	198,2	4,96
2500	130,1	3,25	201,0	5,03

Динамическая вязкость и теплопроводность аргона при
атмосферном давлении

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па·с	$\pm\Delta\eta, 10^{-6}$ Па·с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м·К)	$\pm\Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м·К)
87,28	7,36	0,11	5,75	0,09
90	7,58	0,11	5,92	0,09
100	8,38	0,13	6,54	0,10
110	9,17	0,12	7,16	0,09
120	9,96	0,12	7,77	0,09
130	10,74	0,11	8,38	0,08
140	11,51	0,12	8,98	0,09
150	12,27	0,12	9,58	0,10
160	13,03	0,13	10,17	0,10
170	13,78	0,14	10,75	0,11
180	14,52	0,15	11,33	0,11
190	15,25	0,15	11,90	0,12
200	15,98	0,16	12,47	0,12
210	16,69	0,15	13,03	0,12
220	17,40	0,14	13,58	0,11
230	18,10	0,13	14,13	0,10
240	18,79	0,12	14,66	0,09
250	19,47	0,12	15,20	0,09
260	20,14	0,11	15,72	0,09
270	20,81	0,11	16,24	0,09
280	21,46	0,10	16,75	0,08
290	22,11	0,10	17,26	0,08
300	22,75	0,09	17,76	0,07
320	24,00	0,10	18,74	0,08
340	25,23	0,11	19,69	0,09
360	26,42	0,12	20,62	0,09
380	27,57	0,13	21,52	0,10
400	28,73	0,14	22,42	0,11
420	29,85	0,16	23,30	0,12
440	30,94	0,18	24,15	0,14
460	32,01	0,20	24,99	0,16
480	33,06	0,22	25,81	0,17
500	34,09	0,24	26,61	0,19
550	36,59	0,26	28,56	0,20
600	38,99	0,27	30,43	0,21
650	41,30	0,29	32,24	0,23
700	43,54	0,30	33,98	0,24
750	45,70	0,32	35,67	0,25
800	47,80	0,33	37,31	0,26
850	49,85	0,35	38,90	0,27
900	51,84	0,36	40,46	0,28
950	53,79	0,40	41,98	0,31
1000	55,70	0,45	43,47	0,35

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
1050	57,57	0,46	44,93	0,36
1100	59,40	0,48	46,36	0,37
1150	61,20	0,49	47,76	0,38
1200	62,97	0,50	49,15	0,39
1250	64,71	0,52	50,50	0,40
1300	66,42	0,53	51,84	0,41
1350	68,11	0,54	53,16	0,43
1400	69,77	0,56	54,46	0,44
1450	71,42	0,57	55,74	0,45
1500	73,04	0,58	57,01	0,46
1550	74,64	0,60	58,26	0,47
1600	76,22	0,61	59,49	0,48
1650	77,79	0,62	60,71	0,49
1700	79,33	0,63	61,92	0,50
1750	80,86	0,73	63,11	0,57
1800	82,38	0,82	64,30	0,64
1850	83,88	0,84	65,47	0,65
1900	85,36	0,85	66,63	0,67
1950	86,84	0,87	67,78	0,68
2000	88,30	0,88	68,91	0,69
2050	89,74	0,99	70,04	0,77
2100	91,17	1,09	71,16	0,85
2150	92,60	1,30	72,27	1,01
2200	94,01	1,41	73,37	1,10
2250	95,41	1,43	74,46	1,12
2300	96,80	1,45	75,55	1,13
2350	98,17	1,47	76,62	1,15
2400	99,54	1,49	77,69	1,17
2450	100,9	1,51	78,75	1,18
2500	102,3	1,53	79,81	1,20

Таблица 5

Динамическая вязкость и теплопроводность криптона при
атмосферном давлении

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
119,78	10,86	0,27	4,04	0,10

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta \eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta \lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
120	10,88	0,27	4,05	0,10
130	11,74	0,29	4,37	0,11
140	12,60	0,32	4,69	0,12
150	13,45	0,34	5,00	0,13
160	14,30	0,33	5,32	0,12
170	15,14	0,33	5,63	0,12
180	15,97	0,32	5,94	0,12
190	16,80	0,32	6,25	0,12
200	17,63	0,32	6,56	0,12
210	18,44	0,30	6,86	0,11
220	19,26	0,29	7,16	0,11
230	20,00	0,26	7,46	0,10
240	20,87	0,25	7,76	0,09
250	21,66	0,22	8,06	0,08
260	22,45	0,20	8,35	0,08
270	23,23	0,19	8,64	0,09
280	24,01	0,17	8,93	0,09
290	24,78	0,16	9,22	0,09
300	25,54	0,15	9,50	0,10
320	27,05	0,17	10,06	0,10
340	28,53	0,20	10,61	0,10
360	29,98	0,24	11,15	0,10
380	31,40	0,27	11,68	0,11
400	32,80	0,30	12,20	0,11
420	34,18	0,31	12,72	0,11
440	35,53	0,32	13,22	0,12
460	36,85	0,33	13,71	0,12
480	38,15	0,34	14,20	0,13
500	39,43	0,35	14,67	0,13
550	42,54	0,38	15,83	0,14
600	45,53	0,36	16,94	0,14
650	48,41	0,39	18,01	0,14
700	51,19	0,41	19,05	0,15
750	53,89	0,43	20,05	0,16
800	56,50	0,45	21,02	0,17
850	59,04	0,47	21,97	0,18
900	61,52	0,49	22,89	0,18
950	63,93	0,51	23,79	0,19
1000	66,29	0,53	24,66	0,20
1050	68,60	0,55	25,52	0,20
1100	70,86	0,57	26,36	0,21
1150	73,07	0,58	27,19	0,22
1200	75,25	0,60	28,00	0,22
1250	77,39	0,70	28,79	0,26

Продолжение

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm\Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm\Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
1300	79,49	0,79	29,57	0,30
1350	81,56	0,82	30,34	0,30
1400	83,59	0,92	31,10	0,34
1450	85,60	1,03	31,85	0,38
1500	87,58	1,14	32,59	0,42
1550	89,53	1,16	33,31	0,43
1600	91,46	1,28	34,03	0,48
1650	93,37	1,40	34,74	0,52
1700	95,25	1,52	35,44	0,57
1750	97,11	1,55	36,13	0,58
1800	98,95	1,68	36,82	0,63
1850	100,8	1,81	37,49	0,67
1900	102,6	1,95	38,16	0,73
1950	104,4	1,98	38,83	0,74
2000	106,1	2,12	39,49	0,79
2050	107,9	2,16	40,14	0,80
2100	109,6	2,19	40,78	0,82
2150	111,3	2,23	41,42	0,83
2200	113,0	2,26	42,06	0,84
2250	114,7	2,29	42,68	0,85
2300	116,4	2,33	43,31	0,87
2350	118,1	2,36	43,93	0,88
2400	119,7	2,39	44,54	0,89
2450	121,4	2,43	45,15	0,90
2500	123,0	2,46	45,76	0,92

Таблица 6

Динамическая вязкость и теплопроводность ксенона при
атмосферном давлении

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm\Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm\Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
165,03	13,37	0,33	3,18	0,08
170	13,76	0,34	3,27	0,08
180	14,53	0,35	3,45	0,08
190	15,30	0,35	3,63	0,08
200	16,06	0,35	3,81	0,08
210	16,82	0,35	3,99	0,08
220	17,57	0,35	4,17	0,08
230	18,32	0,35	4,35	0,08
240	19,07	0,34	4,53	0,08
250	19,82	0,34	4,70	0,08

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
260	20,56	0,33	4,88	0,08
270	21,30	0,34	5,06	0,08
280	22,04	0,33	5,23	0,08
290	22,77	0,32	5,41	0,08
300	23,50	0,31	5,58	0,07
310	24,22	0,29	5,75	0,07
320	24,94	0,27	5,92	0,07
330	25,66	0,26	6,09	0,06
340	26,37	0,24	6,26	0,06
350	27,08	0,22	6,43	0,05
360	27,79	0,22	6,60	0,05
370	28,49	0,23	6,76	0,05
380	29,18	0,23	6,93	0,06
390	29,88	0,24	7,09	0,06
400	30,57	0,24	7,26	0,06
420	31,93	0,26	7,58	0,06
440	33,28	0,27	7,90	0,06
460	34,61	0,28	8,22	0,07
480	35,92	0,29	8,53	0,07
500	37,21	0,30	8,84	0,07
550	40,38	0,32	9,59	0,08
600	43,44	0,35	10,32	0,08
650	46,40	0,37	11,02	0,09
700	49,28	0,39	11,70	0,09
750	52,06	0,42	12,36	0,10
800	54,77	0,44	13,01	0,10
850	57,41	0,46	13,63	0,11
900	59,97	0,48	14,24	0,11
950	62,48	0,50	14,84	0,12
1000	64,92	0,52	15,42	0,12
1050	67,32	0,54	15,99	0,13
1100	69,65	0,56	16,54	0,13
1150	71,95	0,58	17,09	0,14
1200	74,20	0,59	17,62	0,14
1250	76,40	0,61	18,14	0,15
1300	78,57	0,63	18,66	0,15
1350	80,70	0,65	19,16	0,15
1400	82,80	0,66	19,66	0,16
1450	84,86	0,68	20,15	0,16
1500	86,89	0,70	20,63	0,17
1550	88,90	0,80	21,11	0,19
1600	90,87	0,91	21,58	0,22
1650	92,82	1,11	22,04	0,26
1700	94,75	1,23	22,50	0,29
1750	96,65	1,35	22,95	0,32

T, K	$\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\pm \Delta\eta, 10^{-6}$ Па · с	$\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)	$\pm \Delta\lambda, 10^{-6}$ кВт/(м · К)
1800	98,53	1,48	23,40	0,35
1850	100,4	1,61	23,84	0,38
1900	102,2	1,74	24,28	0,41
1950	104,0	1,98	24,71	0,47
2000	105,8	2,12	25,13	0,50
2050	107,6	2,15	25,55	0,51
2100	109,4	2,19	25,97	0,52
2150	111,1	2,22	26,39	0,53
2200	112,9	2,26	26,80	0,54
2250	114,6	2,29	27,21	0,54
2300	116,3	2,33	27,61	0,55
2350	117,9	2,36	28,01	0,56
2400	119,6	2,39	28,41	0,57
2450	121,3	2,43	28,80	0,58
2500	122,9	2,46	29,19	0,58

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчетные значения коэффициентов переноса неона, аргона, криптона и ксенона сопоставлены с большинством многочисленных экспериментальных данных, опубликованных по 1973 г., в [2]. Для гелия аналогичное сопоставление данных преимущественно о теплопроводности выполнено в [6]. При подготовке настоящих таблиц расчетные значения η_T и λ_T дополнительно сопоставлены с экспериментальными данными, опубликованными в последние годы, а также с расчетными данными ряда авторов.

Вязкость и теплопроводность гелия исследованы достаточно полно. Однако результаты различных авторов существенно расходятся, особенно при температурах ниже комнатной. В [6] показано, что основной причиной расхождений данных о теплопроводности гелия является неучет или неправильный учет эффектов термической аккомодации. После внесения соответствующей поправки различные группы исходных данных удалось согласовать в координатах $\lg y$, $\lg T$ с погрешностью, приближающейся к указанной авторами погрешности независимых измерений.

В табл. П1* представлены отклонения стандартных значений вязкости гелия от экспериментальных данных [7, 8], погрешность которых, по оценке авторов, составляет 0,1 % при температурах 298,15—373,15 К; 0,15 % при $T=473,15-673,15$ К и 0,3 % при 973,15 К. Из таблицы видно, что стандартные значения с высокой точностью согласуются с результатами эксперимента в широком интервале температур.

*В этой и в последующих таблицах отклонения, %, рассчитаны как

$$\delta\eta = \frac{\eta_{\text{эксп}} - \eta_{\text{расч}}}{\eta_{\text{расч}}} \cdot 100;$$

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_{\text{эксп}} - \lambda_{\text{расч}}}{\lambda_{\text{расч}}} \cdot 100.$$

Таблица П1

Отклонения $\delta\eta$, %, стандартных справочных данных
о вязкости гелия от экспериментальных данных [7, 8]

T, K	от [7]	от [8]
298,15	-0,18	-0,18
373,15	-0,20	-0,12
473,15	-0,33	-0,16
573,15	-0,26	—
673,15	-0,38	-0,05
773,15	-0,42	—
873,15	-0,43	-0,30
973,15	-0,21	-0,14
$\delta\eta_{\max}$, %	-0,43	-0,30
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	0,32	0,18

В табл. П2 приведены отклонения стандартных значений теплопроводности гелия от экспериментальных данных четырех авторов [9—12]. Видно, что в криогенной области расхождения с данными [9] находятся в пределах экспериментальной погрешности. При более высоких температурах (91—274 К) отклонения от данных [10] в основном не превышают $\pm 2\%$. Лишь по мере приближения к предельным для [10] температурам отклонения выходят за указанные рамки. Такой же нарастающий характер наблюдается и для отклонений от данных [11] вплоть до температуры 500 К. Однако, если учесть результаты по вязкости и обобщения других авторов (табл. П3), то следует признать, что в интервале температур 400—1300 К эти данные, как и данные [12], занижены. Возможная причина этого объясняется в [6].

Таблица П2

Отклонения $\delta\lambda$, %, стандартных справочных данных о
теплопроводности гелия от экспериментальных данных
[9—12]

T, K	от [9]	T, K	от [10]	T, K	от [11]	от [12]
5	+4,50	91,50	+1,18	400	-4,94	
6	+1,98	92,16	+0,84	500	-4,53	
7	+0,15	97,21	+0,01	700	-2,97	
8	-0,28	98,28	-0,27	900	-1,69	-4,44
10	-0,76	100,24	-0,72	1100	-0,80	-3,62
12	-0,16	110,04	-1,95	1300	-0,13	-2,81
14	-0,19	112,33	+0,39	1500	+0,87	-1,52
16	-0,87	131,94	-0,96	1700	+1,28	-0,63
18	+0,53	135,97	+2,11	1900	+1,25	-0,26
20	+1,92	159,79	-1,75	2100	+0,99	+0,17
		175,10	-1,11	2300	+0,48	
		206,17	-1,74	2400	0	
		227,11	-1,88	2500	-0,44	
		253,71	-2,27			
		274,19	-2,76			
$\delta\lambda_{\max}$, %	4,50		-2,76		-4,94	-4,44
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %	1,72		1,54		-2,19	2,49

В табл. ПЗ приведены отклонения стандартных данных о вязкости и теплопроводности гелия от результатов обобщений других авторов [13—18], обращают на себя внимание существенные отклонения от результатов [13, 14] при криогенных температурах. Это обстоятельство потребовало дополнительной проверки. Как известно, отношение вязкости к теплопроводности для каждого одноатомного газа при атмосферном давлении остается постоянным. В нашем случае для каждого из пяти исследованных газов это условие выполняется. В частности, для гелия по результатам обобщений [15, 18] и нашим $\eta/\lambda = 0,128$. Однако по данным [13, 14] это условие не выполняется.

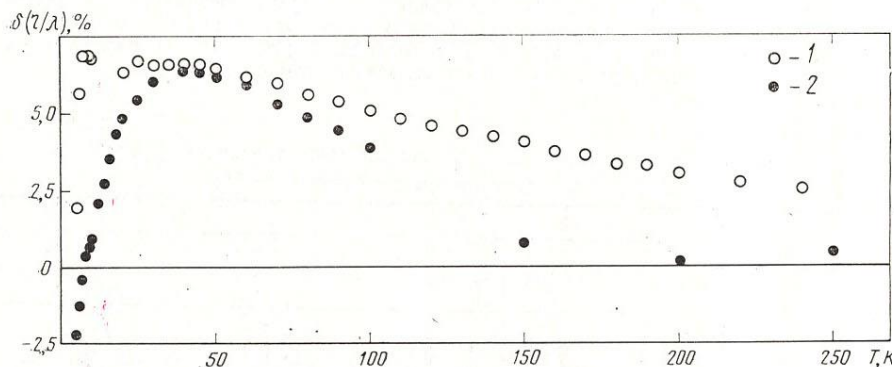
Таблица ПЗ

Отклонения $\delta\eta$, %, и $\delta\lambda$, %, стандартных справочных данных для гелия от расчетных результатов [13—18]

T, К	$\delta\eta$			$\delta\lambda$				
	от [13]	от [14]	от [15]	от [13]	от [16]	от [14]	от [17]	от [18]
5	+14,84	+8,59	—	+12,50	-3,80	+11,00	-1,00	—
10	+11,52	+4,14	—	+4,11	-3,53	+2,94	+0,59	—
20	+7,21	+7,50	—	+0,85	-0,77	+2,69	0	—
40	+8,84	+8,84	—	+2,01	+0,50	+2,26	+0,25	—
60	+7,66	+6,90	—	+1,25	0	+0,77	+1,15	—
80	+5,51	+4,16	—	-0,16	-1,09	-0,63	+0,94	—
100	+4,41	+2,66	—	-0,80	-2,00	-1,21	-1,61	—
150	+3,78	+0,56	—	-0,10	-2,00	-0,10	-1,96	—
200	+2,64	+0,13	—	-0,59	-2,78	-0,33	-2,03	—
250	—	-0,28	—	—	-3,04	-0,72	-2,90	—
300	—	-0,40	0	—	-2,62	-0,70	-2,63	-0,19
400	—	-0,20	-0,42	—	-1,78	-0,73	-3,89	+0,52
500	—	-0,49	-0,60	—	-1,29	-0,94	-4,08	-0,49
600	—	-0,59	-0,74	—	-1,02	-0,79	-3,56	-0,55
700	—	-0,80	-1,16	—	-0,49	-0,85	-3,33	-0,88
800	—	-0,76	-1,05	—	-0,81	-1,13	-3,06	-1,03
900	—	-1,04	-1,32	—	-1,68	-1,10	-2,87	-1,12
1000	—	-0,84	-1,29	—	-1,89	-1,07	-2,44	-1,13
1200	—	-0,92	-1,19	—	-2,63	-0,94	-2,15	-1,01
1400	—	-0,37	-0,68	—	-2,74	-0,57	-1,44	-0,54
1600	—	—	-0,06	—	-2,78	—	-0,80	+0,60
1800	—	—	-0,43	—	-3,10	—	-0,90	+0,13
2000	—	—	-0,03	—	-3,41	—	-0,85	+0,17
2200	—	—	—	—	-3,67	—	—	—
2400	—	—	—	—	-3,90	—	—	—
2500	—	—	—	—	-4,22	—	—	—
$\delta\eta_{\max}$, %	+14,84	+8,84	-1,32					
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	8,25	3,88	0,83					
$\delta\lambda_{\max}$, %				+12,60	-4,22	+11,00	-4,08	-1,13
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %				4,51	2,51	2,77	2,26	0,73

Отклонения отношений по данным [13, 14] от этого значения показаны на рисунке. Видно, что максимальные отклонения по данным [13] достигают ~7% при 10 К и уменьшаются до 2% при 260 К. Примерно такой же характер отклонений отмечается и по данным [14], однако уже при 150 К и более высоких температурах (вплоть до 1500 К) эти расхождения становятся едва заметными.

Таким образом, в области криогенных температур стандартные значения опираются на наиболее надежные экспериментальные данные [9] и результаты обобщений [16, 17], которые хорошо коррелируют с данными о вязкости гелия.



Отклонения отношения η/λ от значения 0.128 для гелия:
1 — [13]; 2 — [14]

В табл. П4 представлены отклонения стандартных значений вязкости четырех одноатомных газов от экспериментальных данных [7, 8, 19, 20], а в табл. П5 — отклонения значений вязкости аргона от данных [21]. Результаты сопоставления свидетельствуют о вполне удовлетворительном согласии стандартных значений вязкости с экспериментальными данными в широком интервале температур.

Таблица П4

Отклонения $\delta\eta$, %, полученных результатов по вязкости неона, аргона, криптона и ксенона от экспериментальных данных [7, 8, 19, 20]

T, K	Неон		Аргон	Криптон	Ксенон
	от [7]	от [8]	от [7]	от [7]	от [7]
298,15	0,44	0,51	-0,06	-0,05	-1,19
373,15	0,81	0,84	0,48	0,97	0,47
473,15	1,00	1,16	0,42	0,91	1,23
573,15	1,35	—	0,30	0,77	1,36
673,15	1,32	1,38	0	0,57	1,20
773,15	1,23	—	-0,11	0,42	0,96
873,15	1,13	1,39	-0,39	0,30	0,30
973,15	0,96	1,66	-0,28	0,26	0,23
$\delta\eta_{\max}$, %	1,35	1,66	0,48	0,97	1,36
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	1,07	1,22	0,30	0,61	0,97

Т, К	Аргон	Криптон	Т, К	Криптон	Т, К	Криптон
	от [19]	от [19]		от [20]		от [20]
298,15	-0,06	0	298,15	-0,09	483,15	1,33
367,15	0,67	1,29	328,15	0,90	568,15	1,06
467,15	0,76	1,34	333,15	0,93	573,15	1,09
571,15	0,77	1,18	373,15	1,01	668,15	0,60
673,15	0,23	0,91	423,15	0,75	698,15	0,51
767,15	-0,05	0,83	473,15	1,34	773,15	0,42
$\delta\eta_{\max}, \%$	0,77	1,34	$\delta\eta_{\max}, \%$	—	—	1,34
$\delta\eta_{\text{ср}}, \%$	0,53	1,02	$\delta\eta_{\text{ср}}, \%$	—	—	0,91

Таблица П5

Отклонения $\delta\eta, \%$, стандартных справочных данных о вязкости аргона от экспериментальных данных [21]

Т, К	$\delta\eta, \%$	Т, К	$\delta\eta, \%$	Т, К	$\delta\eta, \%$
403	0,24	1023	-1,96	1400	-1,29
436	0,03	1028	-1,89	1423	-1,35
456	-0,13	1073	-1,88	1423	-0,74
478	-0,21	1073	-1,99	1473	-0,68
528	0,08	1078	-1,62	1523	-0,92
573	-0,19	1123	-1,63	1550	-1,03
576	-0,03	1123	-2,04	1573	-0,93
625	-0,37	1123	-1,58	1600	-0,70
673	-0,64	1173	-1,29	1650	-0,76
732	-0,22	1177	-1,58	1664	-0,87
778	-0,83	1223	-1,32	1700	-0,67
823	-1,48	1224	-1,50	1750	-0,58
826	-1,23	1273	-1,51	1800	-0,40
873	-1,63	1273	-1,31	1850	-0,69
877	-1,39	1323	-1,29	1900	-0,28
920	-1,37	1373	-0,94	1950	-0,23
970	-1,61				
$\delta\eta_{\max}, \%$	—		—		-2,04
$\delta\eta_{\text{ср}}, \%$	—		—		1,16

В табл. П6 приведены отклонения стандартных данных о теплопроводности четырех одноатомных газов от результатов [10, 22]. Видно, что данные в основном согласуются между собой в пределах указанной авторами [10, 22] погрешности эксперимента ($\pm 1,5\%$).

Таблица П6

Отклонения $\delta\lambda$, %, стандартных справочных данных о теплопроводности неона, аргона, криптона, ксенона от экспериментальных данных [10, 22] при низких температурах

От [10]				От [22]		
Т, К	Аргон	Т, К	Ксенон	Т, К	Неон	Криптон
93,59	1,14	194,71	0,27	90	0,15	
96,25	2,22	205,87	3,32	100	0,36	
117,44	-0,52	222,53	0,71	110	0,67	
123,20	0,25	241,43	0,22	120	1,02	2,47
128,82	-0,48	260,53	0	130	1,34	1,83
143,38	0,11	265,87	-0,60	140	1,23	1,49
170,02	0,28	271,56	0	150	1,17	1,20
194,09	0			160	1,05	0,75
215,27	0,15			170	0,91	0,53
228,23	-0,71			180	0,79	0,51
231,99	0,49			190	0,64	0,32
251,58	-0,59			200	0,57	0,15
271,37	-0,43			210	0,44	0,15
				220	0,35	0,28
				230	0,22	0,27
				240	0,17	0,26
				250	0,09	0,37
				260	0,04	0,48
				270	0,07	0,58
				273,15	0,04	0,34
$\delta\lambda_{\max}$, %	+2,22		+3,32		+1,34	+2,47
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %	0,79		1,31		0,71	0,95

Табл. П7 иллюстрирует отклонения стандартных значений теплопроводности неона, аргона, криптона, ксенона от экспериментальных данных для интервала температур 900—2500 К, полученных в [23, 24].

В табл. П8 приведены отклонения стандартных значений теплопроводности неона, аргона и криптона от экспериментальных данных [25] для интервала температур 400—2500 К. Видно, что средние квадратические и максимальные отклонения соизмеримы с погрешностями эксперимента. Результаты сопоставления свидетельствуют о надежности стандартных данных в области высоких температур.

Из табл. П9 видно, что стандартные значения вязкости и теплопроводности этих газов при температуре 300,65 К хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными в [26].

В табл. П10—П13 показаны отклонения стандартных данных от результатов расчетов вязкости и теплопроводности неона, аргона, криптона и ксенона, выполненных другими авторами.

Отметим, что значения коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности четырех одноатомных газов для интервала температур 270—2100 К, полученные в [15, 18] в итоге обработки наиболее надежных экспериментальных данных, согласуются со стандартными значениями в основном с погрешностью $\pm 0,8$ %. Только в одной точке для неона и в одной для ксенона расхождения достигают 1,6 %.

Таблица П7

Отклонения $\delta\lambda$, %, стандартных справочных данных о теплопроводности неона, аргона, криптона, ксенона от экспериментальных данных [23, 24] при высоких температурах

Т, К	Неон [24]	Аргон		Криптон [23]	Ксенон [24]
		[23]	[24]		
900	0,69	1,31	1,43	2,45	0,21
1100	1,21	0,88	0,80	1,67	-0,54
1300	1,54	0,79	0,50	1,42	-0,70
1500	1,82	0,74	0,30	1,38	-0,58
1700	2,07	0,61	0,18	1,38	-0,40
1900	2,22	0,33	0,09	1,34	-0,12
2100	2,30	-0,08	0,03	1,18	0,27
2300	2,37		-0,04		0,62
2500	2,44		-0,10		0,96
$\delta\lambda_{\max}$, %	+2,44	+1,31	+1,43	+2,45	+0,96
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %	1,93	0,77	0,58	1,59	0,55

Таблица П8

Отклонения $\delta\lambda$, %, стандартных справочных данных о теплопроводности неона, аргона и криптона от экспериментальных данных [25]

Т, К	Неон	Аргон	Криптон
400	0,17	1,34	-1,64
600	0,77	-0,66	0
800	1,81	-0,80	0
1000	2,20	-0,46	0,81
1200	1,87	-0,20	1,07
1400	1,03	-0,37	-0,96
1600	0,13	-0,50	-0,29
1800	-0,68	-0,62	0,82
2000	-1,27	-0,73	2,03
2200	-1,68	-0,82	3,33
2400	-2,10	-0,77	4,27
2500	-2,44	-0,63	4,15
$\delta\lambda_{\max}$, %	-2,44	1,34	4,27
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %	1,54	0,71	2,18

Таблица П9

Отклонения стандартных справочных данных о вязкости $\delta\eta$, %, и теплопроводности $\delta\lambda$, %, одноатомных газов от экспериментальных данных [26] при температуре 300, 65 К

Газ	$\delta\eta$	$\delta\lambda$
Гелий	-0,20	-0,31
Неон	0,41	0,65
Аргон	-0,13	-0,28
Криптон	-0,12	-0,27
Ксенон	-1,23	-1,47

Таблица П10

Отклонения стандартных справочных данных для неона от расчетных результатов [15, 17, 18]

T, К	$\delta\eta$, %, от [15]	$\delta\lambda$, %, от	
		[17]	[18]
100	—	1,08	—
120	—	1,14	—
140	—	0,67	—
160	—	-0,03	—
180	—	-0,44	—
200	—	-0,38	—
220	—	-0,56	—
240	—	-0,48	—
260	—	-0,45	—
280	0,03	-0,23	0,41
300	0,31	-0,12	0,67
400	0,62	0,34	1,03
500	0,36	1,49	0,77
600	0,14	2,48	0,55
700	0	2,95	0,43
800	-0,07	3,13	0,37
900	-0,11	3,45	0,39
1000	-0,14	2,85	0,28
1100	-0,17	2,67	0,26
1300	-0,32	1,16	0,08
1500	-0,55	0,35	-0,14
1700	-0,80	-0,58	-0,45
1900	-1,20	-1,14	-0,78
2100	-1,64	-1,46	-1,23
2300		-1,00	

$\delta\eta_{\max}$, % -1,64

$\delta\eta_{\text{ср}}$, % 0,62

$\delta\lambda_{\max}$, % 3,45 -1,23

$\delta\lambda_{\text{ср}}$, % 1,61 0,61

Отклонения стандартных справочных данных для аргона
от расчетных результатов [15, 17, 18, 27]

T, K	$\delta\eta$, %, от:		$\delta\lambda$, %, от:		
	[15]	[27]	[17]	[18]	[27]
90	—	—2,37	1,35	—	—2,36
100	—	—2,39	0,92	—	—2,45
120	—	—1,91	0,39	—	—1,80
150	—	—1,06	0,21	—	—1,15
170	—	—0,65	1,40	—	—0,56
200	—	—0,13	1,04	—	—0,08
220	—	0,11	0,15	—	0,15
250	—	0,41	0	—	0,39
270	—0,05	—	—0,25	0,06	—
300	—0,04	0,57	—0,34	0,11	0,62
400	0,42	0,59	—0,98	0,67	0,80
500	0,21	0,50	—0,04	0,45	0,71
600	—0,15	0,36	0,89	0,13	0,66
700	—0,46	0,23	0,35	—0,12	0,56
800	—0,61	0,10	0,24	—0,27	0,46
900	—0,70	0	0,35	—0,32	0,37
1000	—0,74	—0,10	0,30	—0,32	0,28
1100	—0,72	—0,19	—0,13	—0,32	0,19
1200	—0,73	—0,27	—0,51	—0,31	0,12
1300	—0,71	—0,35	—0,85	—0,29	0,06
1400	—0,70	—0,43	—1,40	—0,28	—0,04
1500	—0,71	—0,51	—1,77	—0,28	—0,09
1600	—0,73	—0,56	—2,00	—0,30	—0,15
1700	—0,76	—0,63	—2,29	—0,32	—0,23
1800	—0,81	—0,70	—2,64	—0,37	—0,28
1900	—0,86	—0,75	—2,90	—0,42	—0,35
2000	—0,94	—0,83	—3,21	—0,48	—0,39
2100	—1,00	—	—	—0,56	—
$\delta\eta_{\max}$, %	—1,00	—2,39			
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	0,66	0,90			
$\delta\lambda_{\max}$, %			—3,21	—0,67	—2,45
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %			1,35	0,35	0,87

Отклонения стандартных справочных данных для криптона
от расчетных результатов [15, 17, 18, 27]

Т, К	$\delta\eta$, %, от:		$\delta\lambda$, %, от:		
	[15]	[27]	[17]	[18]	[27]
120	—	—2,30	0,49	—	—2,47
140	—	—	0,43	—	—
160	—	—	0,56	—	—
180	—	—	0,67	—	—
200	—	—1,30	0,61	—	—1,37
220	—	—0,88	0,70	—	—0,84
240	—	—	0,77	—	—
260	—	—	0,60	—	—
280	—0,25	—	0,78	—0,07	—
300	0	0,20	0,84	0,21	0,21
400	0,91	0,73	1,64	1,23	0,82
500	0,86	0,86	2,25	1,16	0,95
600	0,55	0,88	2,72	0,89	1,06
700	0,27	0,82	2,89	0,63	1,05
800	0,05	0,74	3,71	0,48	1,00
900	—0,10	0,67	3,54	0,35	0,96
1000	—0,18	0,60	3,81	0,28	0,93
1100	—0,25	0,52	3,57	0,23	0,87
1200	—0,32	0,45	3,21	0,14	0,79
1300	—0,36	0,39	2,81	0,14	0,78
1400	—0,42	0,33	2,89	0,10	0,71
1500	—0,48	0,27	2,49	0	0,64
1600	—0,55	0,22	1,97	—0,03	0,59
1700	—0,63	0,16	1,58	—0,11	0,54
1800	—0,72	0,10	1,03	—0,19	0,49
1900	—0,88	0,05	0,89	—0,26	0,47
2000	—0,85	0	0,79	—0,38	0,41

$\delta\eta_{\max}$, %	0,91	—2,30			
$\delta\eta_{\text{ср}}$, %	0,54	0,78			
$\delta\lambda_{\max}$, %			3,81	1,23	—2,47
$\delta\lambda_{\text{ср}}$, %			2,13	0,51	0,96

Отклонения стандартных справочных данных для ксенона
от расчетных результатов [15, 17, 18, 27]

Т. К	δη, %, от:		δλ, %, от:		
	[15]	[27]	[17]	[18]	[27]
170	—	—2,11	—	—	—2,14
200	—	—2,18	0,52	—	—2,10
220	—	—1,76	0,96	—	—1,68
250	—	—1,46	1,28	—	—1,28
270	—1,55	—1,17	1,19	—1,52	—1,19
300	—0,94	—0,72	1,97	—0,88	—0,72
350	0	—0,15	2,18	0,05	—0,16
400	0,46	0,20	1,79	0,56	0,28
450	—	0,44	—	—	0,37
500	0,70	0,64	1,92	0,81	0,68
600	0,51	0,74	2,71	0,58	0,77
700	0,30	0,75	3,42	0,51	0,94
800	0,15	0,73	4,53	0,31	0,85
900	0,05	0,67	5,34	0,28	0,91
1000	—0,02	0,59	5,71	0,26	0,78
1100	—0,04	0,50	5,80	0,24	0,79
1200	—0,07	0,41	5,56	0,23	0,68
1300	—0,08	0,34	5,04	0,21	0,64
1400	—0,08	0,26	4,27	0,25	0,61
1500	—0,09	0,22	3,25	0,24	0,58
1600	—0,12	0,15	—	0,23	0,51
1700	—0,16	0,08	—	0,22	0,44
1800	—0,19	0,02	—	0,17	0,38
1900	—0,20	—0,03	—	0,12	0,33
2000	—0,28	—0,08	—	0,12	0,32
δη _{max} , %	—1,55	—2,18			
δη _{ср} , %	0,48	0,90			
δλ _{max} , %			5,80	—1,52	—2,14
δλ _{ср} , %			3,65	0,51	0,95

С табличными данными [27] о вязкости и теплопроводности аргона, криптона и ксенона в интервалах температур 170—2000 К, 220—2000 К и 300—2000 К соответственно расхождения не превышают 1 % (табл. П11—П13). При более низких температурах вплоть до нормальных температур кипения расхождения возрастают до 2—2,5 %, причем стандартные данные систематически выше данных [27].

Стандартные значения теплопроводности неона, аргона, криптона согласуются со справочными данными [17] для интервалов температур 100—2300 К, 90—2000 К и 120—2000 К соответственно в пределах от $-1,5$ до $+3,4$; от $-3,2$ до $+1,4$; от 0,5 до 3,8 %, т. е. в пределах суммы погрешностей, указанных в [17] и здесь (табл. П10—П12). Для ксенона в интервале 200—600 К расхождения лежат в пределах 0,5—2,7 %, но при более высоких температурах (до 1500 К) возрастают до 5,8 % (табл. П13), так как для этого газа при $T > 700$ К авторы [17] опирались на экспериментальные данные [28, 29], которые недостаточно согласованы с данными о вязкости, как это показано в [2].

Выполненное сопоставление подтвердило надежность стандартных данных о динамической вязкости и теплопроводности одноатомных газов и позволило обоснованно оценить интервал их доверительной погрешности при различных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиршфельдер Д., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИИЛ, 1961.
2. Теплофизические свойства неона, аргона, криптона и ксенона/Рабинович В. А., Вассерман А. А., Недоступ В. И., Векслер Л. С. — М.: Изд-во стандартов, 1976
3. Guevara F. A., McInteer B. B., Wageman W. E. High-temperature viscosity ratios for hydrogen, helium, argon and nitrogen. — *Phys. Fluids*, 1969, vol. 12, No 12, p. 2493—2505.
4. Collins D., Greif R., Bryson A. E. Measurements of thermal conductivity of helium in temperature range 1600 to 6700 K. — *J. Heat Mass Transfer*, 1965, vol. 8, No 9, p. 1209—1216.
5. Collins D., Menard W. Measurements of thermal conductivity of noble gases in temperature range 1500 to 5000 K. — *ASME Paper* 65-HT-3 for meeting Aug. 8—11, 1965, 4 p.
6. Зимина Н. Х. Обобщение и уточнение экспериментальных данных о теплопроводности гелия при атмосферном давлении. — *Теплофизические свойства веществ и материалов/ГСССД*, 1980, вып. 15, с. 5—52. — (Физ. константы и св-ва веществ).
7. Kestin J., Ro S. T., Wakeham W. A. Viscosity of the noble gases in the temperature range 25—700°C. — *J. Chem. Phys.*, 1972, vol. 56, No 8, p. 4119—4124.
8. Kestin J., Ro S. T., Wakeham W. A. Viscosity of the binary gaseous mixtures He—Ne and Ne—N₂ in the temperature range 25—700°C. — *J. Chem. Phys.*, 1972, vol. 56, No 12, p. 5837—5842.
9. Acton A., Keller K. The low temperature thermal conductivity of He⁴. I. Measurements between 3,3 and 20 K on the dilute gas, the dense gas and the liquid. — *Physica*. 1974. vol. 90 B+C, p. 192—204.
10. Экспериментальное исследование теплопроводности инертных газов при низких температурах/Шашков А. Г., Нестеров Н. А., Судник В. М., Алейникова В. И. — *ИФЖ*, 1976, т. 30, № 4, с. 671—679.
11. Thermal conductivity of helium: A probe for the repulsive wall of the interatomic potential/Jody B. J., Saxeena S. C., Nain V.P.S., Aziz R. A. — *J. Chem. Phys.*, 1977, vol. 22, p. 53—58.
12. Faubert F. M., Springer G. S. Measurements of the thermal conductivity of helium up to 2100 K by the column method. — *J. Chem. Phys.*, 1973, vol. 58, No 10, p. 4080—4083.
13. Angerhofer P. E., Hanley H. J. M. The viscosity and thermal conductivity coefficients of nine fluids: Preliminary values. — In: U.S. Dep. of commerce. NBS Rep. 10700. Washington, 1971, p. 1—42.
14. McCarty R. D. Thermophysical properties of helium — 4 from 2 to 1500 K with pressures to 1000 atmospheres. — Washington: Gov. print. off., 1972. — 155 p. — (U.S. Dep. of commerce. NBS. Techn. Note 631).
15. Watson J.T.R. Viscosity of gases in metric units/National Engineering Laboratory; Her Majesty's Stationery Office. — Edinburgh, 1972. — 47 p.
16. Ho C. Y., Powell R. W., Liley P. E. Thermal conductivity of the elements. — *J. Phys. and Chem. Ref. Data*, 1972, vol. 1, No 2, p. 279—421.
17. Теплопроводность жидкостей и газов/Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П., Тарзиманов А. А., Тонкий Е. Е. — М.: Изд-во стандартов, 1978.
18. Watson J.T.R. Thermal conductivity of gases in metric units/National Engineering Laboratory; Her Majesty's Stationery Office. — Edinburgh, 1973. — 25 p.
19. Hellemans J. M., Kestin J., Ro S. T. Viscosity of the binary gaseous mixtures of nitrogen with argon and krypton. — *J. Chem. Phys.*, 1972, vol. 57, N 9, p. 4038—4042.
20. Kestin J., Khalifa H. E., Wakeham W. A. The viscosity of gaseous mixtures containing krypton. — *J. Chem. Phys.*, 1977, vol. 67, No 9, p. 4254—4259.
21. Люстерник В. Е., Лавуцев А. В. Обзор и экспериментальное уточнение данных о вязкости воздуха и аргона при температуре до 2000 К и атмосферном давлении. — *Теплофизические свойства веществ и материалов/ГСССД*.

- М.: Изд-во стандартов, 1978, вып. 12, с. 27—58. — (Физ. константы и св-ва веществ).
22. Неслеров Н. А., Судник В. М. К вопросу о теплопроводности газообразного неона и криптона при пониженных температурах и атмосферном давлении— ИФЖ, 1976, т 30, № 5, с. 863—867.
 23. Faubert F. M., Springer G. S., Measurement of the thermal conductivity of argon, krypton, and nitrogen in the range 800—2000 K. — J. Chem. Phys., 1972, vol. 57, No 6, p. 2333—2340.
 24. Springer G. S., Wingeier E. W. Thermal conductivity of neon, argon and xenon at high temperatures. — J. Chem. Phys., 1973, vol. 59, No 5, p. 2747—2750.
 25. Nain V.P.S., Aziz R. A., Jain P. C., Saxena S. C. Interatomic potentials and transport properties for neon, argon, and krypton. — J. Chem. Phys., 1976, vol. 65, No 8, p. 3242—3249.
 26. Kestin J., Paul R., Clifford A. A., Wakeham W. A., Absolute determination of the thermal conductivity of the noble gases at room temperature up to 35 MPa. — Physica, 1980, vol. 100 A, p. 349—369.
 27. Hanley H.J.M. The viscosity and thermal conductivity coefficients of dilute argon, krypton, and xenon. — J. Phys. Chem. Ref. Data, 1973, vol. 2, No 3/4 p. 619—642.
 28. Saxena V. K., Saxena S. C. Thermal conductivity of krypton and xenon in the temperature range 350—1500 K. — J. Chem. Phys., 1969, vol. 51, No 8 p. 3361—3368.
 29. Варгафтик Н. Б., Якуш Л. В. Экспериментальное исследование теплопроводности неона, криптона, ксенона в широком диапазоне температур, — ИФЖ, 1971, т. 21, № 3, с. 491—499.
 30. ГСССД 1—76 Фундаментальные физические константы. — (Таблицы стандарт. справоч. данных).

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
ГЕЛИЯ, НЕОНА, АРГОНА, КРИПТОНА И КСЕНОНА ПРИ
АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ В ИНТЕРВАЛАХ ТЕМПЕРАТУР
ОТ НОРМАЛЬНЫХ ТОЧЕК КИПЕНИЯ ДО 2500 К**

ГСССД 17—81

Редактор *Т. Ф. Писарева*
Технический редактор *А. Г. Каширин*
Корректор *А. В. Прокофьева*

Н/К

Сдано в наб. 18.08.81 Подп. к печ. 18.01.82 1,75 п. л. 2,12 уч.-изд. л. Тир. 3000 Бумага тип. № 1 Ф. 60×90^{1/16} Гарнитура литературная. Печать высокая. Зак. № 2102 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256.