Appendix C
Properties of liquids
(a) Saturated water

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	β (1/K)	Pr
0	999.8	4217	0.562	1.792×10^{-3}	1.792×10^{-6}	-0.085×10^{-3}	13.5
5	999.9	4205	0.572	1.519×10^{-3}	1.519×10^{-6}	0.005×10^{-3}	11.2
10	999.7	4194	0.582	1.307×10^{-3}	1.307×10^{-6}	0.082×10^{-3}	9.45
15	999.1	4186	0.591	1.138×10^{-3}	1.139×10^{-6}	0.148×10^{-3}	8.09
20	998.0	4182	0.600	1.002×10^{-3}	1.004×10^{-6}	0.207×10^{-3}	7.01
25	997.0	4180	0.608	0.891×10^{-3}	0.894×10^{-6}	0.259×10^{-3}	6.14
30	996.0	4178	0.615	0.798×10^{-3}	0.801×10^{-6}	0.306×10^{-3}	5.42
35	994.0	4178	0.622	0.720×10^{-3}	0.724×10^{-6}	0.349×10^{-3}	4.83
40	992.1	4179	0.629	0.653×10^{-3}	0.658×10^{-6}	0.389×10^{-3}	4.32
45	990.1	4180	0.635	0.596×10^{-3}	0.602×10^{-6}	0.427×10^{-3}	3.91
50	988.1	4181	0.641	0.547×10^{-3}	0.554×10^{-6}	0.462×10^{-3}	3.55
55	985.2	4183	0.646	0.504×10^{-3}	0.512×10^{-6}	0.496×10^{-3}	3.25
60	983.3	4185	0.651	0.467×10^{-3}	0.475×10^{-6}	0.529×10^{-3}	2.99
65	980.4	4187	0.655	0.433×10^{-3}	0.442×10^{-6}	0.560×10^{-3}	2.75
70	977.5	4190	0.659	0.404×10^{-3}	0.413×10^{-6}	0.590×10^{-3}	2.55
75	974.7	4193	0.663	0.378×10^{-3}	0.388×10^{-6}	0.619×10^{-3}	2.38
80	971.8	4197	0.667	0.355×10^{-3}	0.365×10^{-6}	0.647×10^{-3}	2.22
85	968.1	4201	0.670	0.333×10^{-3}	0.344×10^{-6}	0.675×10^{-3}	2.08
90	965.3	4206	0.673	0.315×10^{-3}	0.326×10^{-6}	0.702×10^{-3}	1.96
95	961.5	4212	0.675	0.297×10^{-3}	0.309×10^{-6}	0.728×10^{-3}	1.85
100	957.9	4217	0.678	0.282×10^{-3}	0.294×10^{-6}	0.755×10^{-3}	1.75
120	943.4	4244	0.683	0.232×10^{-3}	0.246×10^{-6}	0.859×10^{-3}	1.44
140	921.7	4286	0.685	0.197×10^{-3}	0.214×10^{-6}	0.966×10^{-3}	1.24
160	907.4	4340	0.682	0.170×10^{-3}	0.187×10^{-6}	1.084×10^{-3}	1.09
180	887.3	4410	0.675	0.150×10^{-3}	0.169×10^{-6}	1.216×10^{-3}	0.98
200	864.3	4500	0.663	0.134×10^{-3}	0.155×10^{-6}	1.350×10^{-3}	0.91

(b) Ethylene glycol

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
0	1132	2295	0.254	65.1×10^{-3}	57.5×10^{-6}	588
10	1123	2341	0.255	36.5×10^{-3}	32.5×10^{-6}	335

20	1115	2386	0.257	21.4×10^{-3}	19.2×10^{-6}	199
30	1108	2431	0.258	13.7×10^{-3}	12.4×10^{-6}	129
40	1102	2476	0.259	9.57×10^{-3}	8.68×10^{-6}	91
50	1096	2520	0.261	7.02×10^{-3}	6.41×10^{-6}	68
60	1090	2565	0.262	5.17×10^{-3}	4.74×10^{-6}	51
70	1083	2610	0.263	3.87×10^{-3}	3.57×10^{-6}	39
80	1076	2656	0.265	3.19×10^{-3}	2.96×10^{-6}	32
90	1068	2702	0.266	2.94×10^{-3}	2.75×10^{-6}	29
100	1060	2750	0.267	2.11×10^{-3}	1.99×10^{-6}	22

(c) Unused engine oil

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
0	899	1797	0.147	3850×10^{-3}	4280×10^{-6}	47100
10	894	1838	0.146	1826×10^{-3}	2043×10^{-6}	23600
20	888	1879	0.145	800×10^{-3}	901×10^{-6}	10400
30	882	1921	0.144	363×10^{-3}	412×10^{-6}	4450
40	876	1963	0.143	212×10^{-3}	242×10^{-6}	2870
50	870	2005	0.142	123×10^{-3}	141×10^{-6}	1720
60	864	2047	0.141	72.9×10^{-3}	84.4×10^{-6}	1050
70	858	2090	0.140	46.0×10^{-3}	53.6×10^{-6}	680
80	852	2113	0.139	31.8×10^{-3}	37.3×10^{-6}	480
90	846	2176	0.138	23.8×10^{-3}	28.1×10^{-6}	360
100	840	2219	0.137	18.3×10^{-3}	21.8×10^{-6}	277
110	834	2262	0.136	13.9×10^{-3}	16.7×10^{-6}	210
120	829	2306	0.135	10.3×10^{-3}	12.4×10^{-6}	175
130	823	2350	0.134	8.2×10^{-3}	10.0×10^{-6}	141
140	817	2394	0.133	6.5×10^{-3}	8.0×10^{-6}	116
150	812	2439	0.133	5.5×10^{-3}	6.8×10^{-6}	98
160	806	2484	0.132	4.5×10^{-3}	5.6×10^{-6}	84

Appendix D

Properties of gases

(a) Gases at 20 C and 1 atm (101.325 kPa)

Gas	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
Air	1.204	1007	0.0251	18.20×10^{-6}	15.11×10^{-6}	0.730
Argon	1.682	521	0.0174	22.27×10^{-6}	13.24×10^{-6}	0.668
Carbon dioxide	1.853	847	0.0161	14.69×10^{-6}	7.93×10^{-6}	0.773
Helium	0.1685	5200	0.146	19.56×10^{-6}	116.0×10^{-6}	0.695
Hydrogen	0.0849	14280	0.178	8.78×10^{-6}	103.4×10^{-6}	0.706
Nitrogen	1.164	1041	0.0253	17.50×10^{-6}	15.03×10^{-6}	0.719
Oxygen	1.331	919	0.256	20.32×10^{-6}	15.27×10^{-6}	0.729

(b) Dry air at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−30	1.451	1004	0.0214	15.51×10^{-6}	10.69×10^{-6}	0.748
−20	1.394	1005	0.0221	16.08×10^{-6}	11.54×10^{-6}	0.744
−10	1.341	1006	0.0229	16.63×10^{-6}	12.40×10^{-6}	0.741
0	1.292	1006	0.0236	17.17×10^{-6}	13.29×10^{-6}	0.737
10	1.246	1006	0.0244	17.69×10^{-6}	14.19×10^{-6}	0.734
20	1.204	1007	0.0251	18.20×10^{-6}	15.11×10^{-6}	0.730
30	1.164	1007	0.0259	18.69×10^{-6}	16.05×10^{-6}	0.728
40	1.127	1007	0.0266	19.17×10^{-6}	17.01×10^{-6}	0.725
50	1.092	1007	0.0273	19.64×10^{-6}	17.98×10^{-6}	0.722
60	1.059	1007	0.0281	20.09×10^{-6}	18.97×10^{-6}	0.720
70	1.028	1007	0.0288	20.54×10^{-6}	19.98×10^{-6}	0.717
80	1.000	1008	0.0295	21.01×10^{-6}	21.01×10^{-6}	0.715
90	0.9718	1008	0.0302	21.43×10^{-6}	22.02×10^{-6}	0.713
100	0.9458	1009	0.0309	21.85×10^{-6}	23.11×10^{-6}	0.711
120	0.8977	1011	0.0323	22.69×10^{-6}	25.27×10^{-6}	0.708
140	0.8542	1013	0.0337	23.49×10^{-6}	27.50×10^{-6}	0.704
160	0.8148	1016	0.0350	24.28×10^{-6}	29.80×10^{-6}	0.702
180	0.7788	1019	0.0364	25.05×10^{-6}	32.16×10^{-6}	0.700
200	0.7459	1023	0.0377	25.80×10^{-6}	34.59×10^{-6}	0.698
250	0.6746	1033	0.0409	27.61×10^{-6}	40.92×10^{-6}	0.695

300	0.6158	1045	0.0441	29.33×10^{-6}	47.63×10^{-6}	0.693
350	0.5664	1055	0.0471	30.99×10^{-6}	54.71×10^{-6}	0.693
400	0.5243	1066	0.0500	32.58×10^{-6}	62.14×10^{-6}	0.694
450	0.4880	1077	0.0528	34.11×10^{-6}	69.91×10^{-6}	0.696
500	0.4565	1088	0.0555	35.61×10^{-6}	78.00×10^{-6}	0.699
550	0.4282	1100	0.0581	37.00×10^{-6}	86.41×10^{-6}	0.701
600	0.4042	1111	0.0607	38.45×10^{-6}	95.12×10^{-6}	0.704
650	0.3824	1122	0.0631	39.81×10^{-6}	104.1×10^{-6}	0.707
700	0.3627	1133	0.0655	41.12×10^{-6}	113.4×10^{-6}	0.710
750	0.3450	1144	0.0678	42.41×10^{-6}	122.9×10^{-6}	0.712
800	0.3289	1154	0.0700	43.64×10^{-6}	132.7×10^{-6}	0.715
850	0.3142	1163	0.0722	44.84×10^{-6}	142.7×10^{-6}	0.717
900	0.3008	1171	0.0743	46.01×10^{-6}	153.0×10^{-6}	0.720
950	0.2886	1178	0.0763	47.16×10^{-6}	163.4×10^{-6}	0.723
1000	0.2772	1183	0.0782	48.24×10^{-6}	174.0×10^{-6}	0.726

(c) Argon at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	2.197	521	0.0137	17.64×10^{-6}	8.03×10^{-6}	0.670
0	1.810	521	0.0164	20.99×10^{-6}	11.60×10^{-6}	0.669
50	1.516	521	0.0188	24.11×10^{-6}	15.91×10^{-6}	0.668
100	1.297	521	0.0211	27.03×10^{-6}	20.84×10^{-6}	0.667
150	1.136	521	0.0233	29.76×10^{-6}	26.21×10^{-6}	0.666
200	1.016	521	0.0253	32.34×10^{-6}	31.82×10^{-6}	0.665
250	0.926	521	0.0273	34.77×10^{-6}	37.53×10^{-6}	0.664
300	0.856	521	0.0292	37.08×10^{-6}	43.33×10^{-6}	0.665
350	0.796	521	0.0309	39.29×10^{-6}	49.34×10^{-6}	0.661
400	0.742	521	0.0327	41.40×10^{-6}	55.81×10^{-6}	0.660
450	0.689	521	0.0344	43.43×10^{-6}	63.01×10^{-6}	0.659
500	0.637	521	0.0360	45.39×10^{-6}	71.22×10^{-6}	0.657
550	0.587	521	0.0376	47.28×10^{-6}	80.55×10^{-6}	0.656
600	0.542	521	0.0391	49.11×10^{-6}	90.66×10^{-6}	0.655
650	0.507	521	0.0405	50.89×10^{-6}	100.3×10^{-6}	0.654
700	0.492	521	0.0419	52.60×10^{-6}	107.0×10^{-6}	0.653

(d) Carbon dioxide at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	2.421	781	0.0111	11.32×10^{-6}	4.68×10^{-6}	0.799
0	1.994	828	0.0146	13.75×10^{-6}	6.90×10^{-6}	0.779
50	1.670	874	0.0183	16.06×10^{-6}	9.62×10^{-6}	0.766
100	1.429	917	0.0222	18.27×10^{-6}	12.79×10^{-6}	0.756
150	1.251	958	0.0261	20.39×10^{-6}	16.30×10^{-6}	0.747
200	1.119	996	0.0302	22.42×10^{-6}	20.03×10^{-6}	0.740
250	1.020	1030	0.0342	24.36×10^{-6}	23.87×10^{-6}	0.733
300	0.943	1062	0.0383	26.23×10^{-6}	22.82×10^{-6}	0.727
350	0.877	1090	0.0423	28.02×10^{-6}	31.95×10^{-6}	0.722
400	0.817	1116	0.0463	29.75×10^{-6}	36.40×10^{-6}	0.717
450	0.759	1139	0.0502	31.42×10^{-6}	41.37×10^{-6}	0.713
500	0.702	1159	0.0539	33.03×10^{-6}	47.04×10^{-6}	0.710
550	0.647	1177	0.0574	34.58×10^{-6}	53.47×10^{-6}	0.709
600	0.597	1194	0.0607	36.09×10^{-6}	60.44×10^{-6}	0.710
650	0.559	1210	0.0638	37.55×10^{-6}	67.13×10^{-6}	0.713
700	0.542	1227	0.0665	38.96×10^{-6}	71.85×10^{-6}	0.718

(e) Helium at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	0.2202	5200	0.124	16.17×10^{-6}	73.44×10^{-6}	0.679
0	0.1813	5200	0.140	18.62×10^{-6}	102.7×10^{-6}	0.692
50	0.1519	5200	0.156	20.93×10^{-6}	137.8×10^{-6}	0.698
100	0.1300	5200	0.172	23.13×10^{-6}	178.0×10^{-6}	0.700
150	0.1138	5200	0.188	25.23×10^{-6}	221.8×10^{-6}	0.698
200	0.1018	5200	0.204	27.25×10^{-6}	267.7×10^{-6}	0.694
250	0.0928	5200	0.220	29.20×10^{-6}	314.6×10^{-6}	0.689
300	0.0857	5200	0.236	31.08×10^{-6}	362.6×10^{-6}	0.684
350	0.0797	5200	0.252	32.91×10^{-6}	412.7×10^{-6}	0.678
400	0.0743	5200	0.268	34.69×10^{-6}	467.0×10^{-6}	0.673
450	0.0690	5200	0.284	36.44×10^{-6}	527.9×10^{-6}	0.668
500	0.0638	5200	0.299	38.16×10^{-6}	597.9×10^{-6}	0.663
550	0.0588	5200	0.314	39.86×10^{-6}	677.9×10^{-6}	0.660
600	0.0543	5200	0.329	41.53×10^{-6}	765.1×10^{-6}	0.657
650	0.0508	5200	0.343	43.18×10^{-6}	849.3×10^{-6}	0.656
700	0.0493	5200	0.356	44.82×10^{-6}	909.2×10^{-6}	0.655

(f) Hydrogen at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	0.1109	13810	0.142	7.32×10^{-6}	66.00×10^{-6}	0.713
0	0.0913	14190	0.168	8.37×10^{-6}	91.6×10^{-6}	0.707
50	0.0765	14390	0.191	9.37×10^{-6}	122.6×10^{-6}	0.706
100	0.0654	14470	0.211	10.34×10^{-6}	158.0×10^{-6}	0.708
150	0.0573	14500	0.230	11.26×10^{-6}	196.5×10^{-6}	0.709
200	0.0513	14500	0.248	12.14×10^{-6}	236.8×10^{-6}	0.711
250	0.0468	14500	0.265	12.99×10^{-6}	277.9×10^{-6}	0.712
300	0.0432	14520	0.281	13.81×10^{-6}	319.8×10^{-6}	0.712
350	0.0402	14540	0.298	14.60×10^{-6}	363.3×10^{-6}	0.712
400	0.0374	14590	0.315	15.37×10^{-6}	410.4×10^{-6}	0.711
450	0.0348	14640	0.332	16.11×10^{-6}	463.2×10^{-6}	0.710
500	0.0322	14700	0.350	16.84×10^{-6}	523.8×10^{-6}	0.707
550	0.0296	14750	0.368	17.56×10^{-6}	593.3×10^{-6}	0.704
600	0.0273	14800	0.386	18.28×10^{-6}	669.1×10^{-6}	0.702
650	0.0256	14840	0.403	19.00×10^{-6}	742.3×10^{-6}	0.700
700	0.0248	14880	0.419	19.72×10^{-6}	794.3×10^{-6}	0.700

(g) Nitrogen at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	1.523	1042	0.0201	14.12×10^{-6}	9.28×10^{-6}	0.732
0	1.253	1041	0.0239	16.57×10^{-6}	13.23×10^{-6}	0.722
50	1.049	1041	0.0275	18.85×10^{-6}	17.97×10^{-6}	0.714
100	0.897	1043	0.0309	20.96×10^{-6}	23.37×10^{-6}	0.708
150	0.785	1047	0.0342	22.94×10^{-6}	29.22×10^{-6}	0.704
200	0.703	1053	0.0373	24.80×10^{-6}	35.30×10^{-6}	0.701
250	0.641	1060	0.0402	26.56×10^{-6}	41.45×10^{-6}	0.700
300	0.592	1069	0.0431	28.22×10^{-6}	47.67×10^{-6}	0.701
350	0.551	1080	0.0458	29.80×10^{-6}	54.10×10^{-6}	0.702
400	0.513	1091	0.0484	31.31×10^{-6}	61.01×10^{-6}	0.705
450	0.477	1103	0.0510	32.77×10^{-6}	68.71×10^{-6}	0.709
500	0.441	1115	0.0535	34.17×10^{-6}	72.51×10^{-6}	0.712
550	0.406	1128	0.0560	35.53×10^{-6}	87.52×10^{-6}	0.716
600	0.375	1140	0.0584	36.84×10^{-6}	98.35×10^{-6}	0.719
650	0.351	1152	0.0609	38.11×10^{-6}	108.7×10^{-6}	0.721
700	0.340	1162	0.0633	39.34×10^{-6}	115.7×10^{-6}	0.722

(h) Oxygen at 1 atm (101.325 kPa)

T (C)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg C)	k (W/mC)	μ (kg/m s)	ν (m^2/s)	Pr
−50	1.740	914	0.0203	16.21×10^{-6}	9.32×10^{-6}	0.729
0	1.432	917	0.0241	19.19×10^{-6}	13.40×10^{-6}	0.730
50	1.199	924	0.0278	21.95×10^{-6}	18.31×10^{-6}	0.728
100	1.025	935	0.0315	24.51×10^{-6}	23.92×10^{-6}	0.726
150	0.897	948	0.0352	26.91×10^{-6}	30.00×10^{-6}	0.726
200	0.803	963	0.0387	29.16×10^{-6}	36.33×10^{-6}	0.727
250	0.732	979	0.0421	31.29×10^{-6}	42.76×10^{-6}	0.728
300	0.676	995	0.0453	33.32×10^{-6}	49.27×10^{-6}	0.731
350	0.629	1010	0.0485	35.25×10^{-6}	56.02×10^{-6}	0.734
400	0.586	1024	0.0515	37.10×10^{-6}	63.28×10^{-6}	0.737
450	0.545	1037	0.0545	38.89×10^{-6}	71.38×10^{-6}	0.740
500	0.504	1049	0.0574	40.61×10^{-6}	80.64×10^{-6}	0.742
550	0.464	1059	0.0603	42.28×10^{-6}	91.16×10^{-6}	0.743
600	0.428	1069	0.0632	43.88×10^{-6}	102.6×10^{-6}	0.742
650	0.401	1077	0.0662	45.43×10^{-6}	113.4×10^{-6}	0.740
700	0.389	1086	0.0693	46.92×10^{-6}	120.7×10^{-6}	0.735