

ME 307: Heat Transfer Equipment Design

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Properties of saturated water

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$		Enthalpy of Vaporization $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$		Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$		Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta, 1/\text{K}$
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-6}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-6}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-6}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-6}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-6}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	891×10^{-4}	0.987×10^{-6}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	798×10^{-4}	1.001×10^{-6}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	720×10^{-4}	1.016×10^{-6}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	653×10^{-4}	1.031×10^{-6}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	596×10^{-4}	1.046×10^{-6}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	547×10^{-4}	1.062×10^{-6}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	504×10^{-4}	1.077×10^{-6}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	467×10^{-4}	1.093×10^{-6}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	433×10^{-4}	1.110×10^{-6}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	404×10^{-4}	1.126×10^{-6}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	378×10^{-4}	1.142×10^{-6}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	355×10^{-4}	1.159×10^{-6}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	333×10^{-4}	1.176×10^{-6}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	315×10^{-4}	1.193×10^{-6}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	297×10^{-4}	1.210×10^{-6}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	282×10^{-4}	1.227×10^{-6}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	255×10^{-4}	1.261×10^{-6}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	232×10^{-4}	1.296×10^{-6}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	213×10^{-4}	1.330×10^{-6}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	197×10^{-4}	1.365×10^{-6}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	183×10^{-4}	1.399×10^{-6}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	170×10^{-4}	1.434×10^{-6}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	160×10^{-4}	1.468×10^{-6}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	150×10^{-4}	1.502×10^{-6}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	142×10^{-4}	1.537×10^{-6}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	134×10^{-4}	1.571×10^{-6}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	122×10^{-4}	1.641×10^{-6}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	111×10^{-4}	1.712×10^{-6}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	102×10^{-4}	1.788×10^{-6}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.94×10^{-3}	1.870×10^{-6}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.86×10^{-3}	1.965×10^{-6}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.78×10^{-3}	2.084×10^{-6}	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.70×10^{-3}	2.255×10^{-6}	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.60×10^{-3}	2.571×10^{-6}	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-6}	</		

ME 307: Heat Transfer Equipment Design

Saturated Liquids

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^2$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^7$ (m ² /s)	Pr	$\beta \cdot 10^3$ (K ⁻¹)
Engine Oil (Unused)								
273	899.1	1.796	385	4280	147	0.910	47,000	0.70
280	895.3	1.827	217	2430	144	0.880	27,500	0.70
290	890.0	1.868	99.9	1120	145	0.872	12,900	0.70
300	884.1	1.909	48.6	550	145	0.859	6400	0.70
310	877.9	1.951	25.3	288	145	0.847	3400	0.70
320	871.8	1.993	14.1	161	143	0.823	1965	0.70
330	865.8	2.035	8.36	96.6	141	0.800	1205	0.70
340	859.9	2.076	5.31	61.7	139	0.779	793	0.70
350	853.9	2.118	3.56	41.7	138	0.763	546	0.70
360	847.8	2.161	2.52	29.7	138	0.753	395	0.70
370	841.8	2.206	1.86	22.0	137	0.738	300	0.70
380	836.0	2.250	1.41	16.9	136	0.723	233	0.70
390	830.6	2.294	1.10	13.3	135	0.709	187	0.70
400	825.1	2.337	0.874	10.6	134	0.695	152	0.70
410	818.9	2.381	0.698	8.52	133	0.682	125	0.70
420	812.1	2.427	0.564	6.94	133	0.675	103	0.70
430	806.5	2.471	0.470	5.83	132	0.662	88	0.70
Ethylene Glycol [C₂H₄(OH)₂]								
273	1130.8	2.294	6.51	57.6	242	0.933	617	0.65
280	1125.8	2.323	4.20	37.3	244	0.933	400	0.65
290	1118.8	2.368	2.47	22.1	248	0.936	236	0.65
300	1114.4	2.415	1.57	14.1	252	0.939	151	0.65
310	1103.7	2.460	1.07	9.65	255	0.939	103	0.65
320	1096.2	2.505	0.757	6.91	258	0.940	73.5	0.65
330	1089.5	2.549	0.561	5.15	260	0.936	55.0	0.65
340	1083.8	2.592	0.431	3.98	261	0.929	42.8	0.65
350	1079.0	2.637	0.342	3.17	261	0.917	34.6	0.65
360	1074.0	2.682	0.278	2.59	261	0.906	28.6	0.65
370	1066.7	2.728	0.228	2.14	262	0.900	23.7	0.65
373	1058.5	2.742	0.215	2.03	263	0.906	22.4	0.65
Glycerin [C₃H₅(OH)₃]								
273	1276.0	2.261	1060	8310	282	0.977	85,000	0.47
280	1271.9	2.298	534	4200	284	0.972	43,200	0.47
290	1265.8	2.367	185	1460	286	0.955	15,300	0.48
300	1259.9	2.427	79.9	634	286	0.935	6780	0.48
310	1253.9	2.490	35.2	281	286	0.916	3060	0.49
320	1247.2	2.564	21.0	168	287	0.897	1870	0.50
Refrigerant-134a (C₂H₂F₄)								
230	1426.8	1.249	0.04912	0.3443	112.1	0.629	5.5	2.02
240	1397.7	1.267	0.04202	0.3006	107.3	0.606	5.0	2.11
250	1367.9	1.287	0.03633	0.2656	102.5	0.583	4.6	2.23
260	1337.1	1.308	0.03166	0.2368	97.9	0.560	4.2	2.36
270	1305.1	1.333	0.02775	0.2127	93.4	0.537	4.0	2.53
280	1271.8	1.361	0.02443	0.1921	89.0	0.514	3.7	2.73
290	1236.8	1.393	0.02156	0.1744	84.6	0.491	3.5	2.98
300	1199.7	1.432	0.01905	0.1588	80.3	0.468	3.4	3.30
310	1159.9	1.481	0.01680	0.1449	76.1	0.443	3.3	3.73
320	1116.8	1.543	0.01478	0.1323	71.8	0.417	3.2	4.33
330	1069.1	1.627	0.01292	0.1209	67.5	0.388	3.1	5.19
340	1015.0	1.751	0.01118	0.1102	63.1	0.355	3.1	6.57
350	951.3	1.961	0.00951	0.1000	58.6	0.314	3.2	9.10
360	870.1	2.437	0.00781	0.0898	54.1	0.255	3.5	15.39
370	740.3	5.105	0.00580	0.0783	51.8	0.137	5.7	55.24

ME 307: Heat Transfer Equipment Design

Properties of gases at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
<i>Carbon Dioxide, CO₂</i>							
-50	2.4035	746	0.01051	5.860×10^{-6}	1.129×10^{-5}	4.699×10^{-6}	0.8019
0	1.9635	811	0.01456	9.141×10^{-6}	1.375×10^{-5}	7.003×10^{-6}	0.7661
50	1.6597	866.6	0.01858	1.291×10^{-5}	1.612×10^{-5}	9.714×10^{-6}	0.7520
100	1.4373	914.8	0.02257	1.716×10^{-5}	1.841×10^{-5}	1.281×10^{-5}	0.7464
150	1.2675	957.4	0.02652	2.186×10^{-5}	2.063×10^{-5}	1.627×10^{-5}	0.7445
200	1.1336	995.2	0.03044	2.698×10^{-5}	2.276×10^{-5}	2.008×10^{-5}	0.7442
300	0.9358	1060	0.03814	3.847×10^{-5}	2.682×10^{-5}	2.866×10^{-5}	0.7450
400	0.7968	1112	0.04565	5.151×10^{-5}	3.061×10^{-5}	3.842×10^{-5}	0.7458
500	0.6937	1156	0.05293	6.600×10^{-5}	3.416×10^{-5}	4.924×10^{-5}	0.7460
1000	0.4213	1292	0.08491	1.560×10^{-4}	4.898×10^{-5}	1.162×10^{-4}	0.7455
1500	0.3025	1356	0.10688	2.606×10^{-4}	6.106×10^{-5}	2.019×10^{-4}	0.7745
2000	0.2359	1387	0.11522	3.521×10^{-4}	7.322×10^{-5}	3.103×10^{-4}	0.8815
<i>Carbon Monoxide, CO</i>							
-50	1.5297	1081	0.01901	1.149×10^{-5}	1.378×10^{-5}	9.012×10^{-6}	0.7840
0	1.2497	1048	0.02278	1.739×10^{-5}	1.629×10^{-5}	1.303×10^{-5}	0.7499
50	1.0563	1039	0.02641	2.407×10^{-5}	1.863×10^{-5}	1.764×10^{-5}	0.7328
100	0.9148	1041	0.02992	3.142×10^{-5}	2.080×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0.7239
150	0.8067	1049	0.03330	3.936×10^{-5}	2.283×10^{-5}	2.830×10^{-5}	0.7191
200	0.7214	1060	0.03656	4.782×10^{-5}	2.472×10^{-5}	3.426×10^{-5}	0.7164
300	0.5956	1085	0.04277	6.619×10^{-5}	2.812×10^{-5}	4.722×10^{-5}	0.7134
400	0.5071	1111	0.04860	8.628×10^{-5}	3.111×10^{-5}	6.136×10^{-5}	0.7111
500	0.4415	1135	0.05412	1.079×10^{-4}	3.379×10^{-5}	7.653×10^{-5}	0.7087
1000	0.2681	1226	0.07894	2.401×10^{-4}	4.557×10^{-5}	1.700×10^{-4}	0.7080
1500	0.1925	1279	0.10458	4.246×10^{-4}	6.321×10^{-5}	3.284×10^{-4}	0.7733
2000	0.1502	1309	0.13833	7.034×10^{-4}	9.826×10^{-5}	6.543×10^{-4}	0.9302
<i>Methane, CH₄</i>							
-50	0.8761	2243	0.02367	1.204×10^{-5}	8.564×10^{-6}	9.774×10^{-6}	0.8116
0	0.7158	2217	0.03042	1.917×10^{-5}	1.028×10^{-5}	1.436×10^{-5}	0.7494
50	0.6050	2302	0.03766	2.704×10^{-5}	1.191×10^{-5}	1.969×10^{-5}	0.7282
100	0.5240	2443	0.04534	3.543×10^{-5}	1.345×10^{-5}	2.567×10^{-5}	0.7247
150	0.4620	2611	0.05344	4.431×10^{-5}	1.491×10^{-5}	3.227×10^{-5}	0.7284
200	0.4132	2791	0.06194	5.370×10^{-5}	1.630×10^{-5}	3.944×10^{-5}	0.7344
300	0.3411	3158	0.07996	7.422×10^{-5}	1.886×10^{-5}	5.529×10^{-5}	0.7450
400	0.2904	3510	0.09918	9.727×10^{-5}	2.119×10^{-5}	7.297×10^{-5}	0.7501
500	0.2529	3836	0.11933	1.230×10^{-4}	2.334×10^{-5}	9.228×10^{-5}	0.7502
1000	0.1536	5042	0.22562	2.914×10^{-4}	3.281×10^{-5}	2.136×10^{-4}	0.7331
1500	0.1103	5701	0.31857	5.068×10^{-4}	4.434×10^{-5}	4.022×10^{-4}	0.7936
2000	0.0860	6001	0.36750	7.120×10^{-4}	6.360×10^{-5}	7.395×10^{-4}	1.0386
<i>Hydrogen, H₂</i>							
-50	0.11010	12635	0.1404	1.009×10^{-4}	7.293×10^{-6}	6.624×10^{-5}	0.6562
0	0.08995	13920	0.1652	1.319×10^{-4}	8.391×10^{-6}	9.329×10^{-5}	0.7071
50	0.07603	14349	0.1881	1.724×10^{-4}	9.427×10^{-6}	1.240×10^{-4}	0.7191
100	0.06584	14473	0.2095	2.199×10^{-4}	1.041×10^{-5}	1.582×10^{-4}	0.7196
150	0.05806	14492	0.2296	2.729×10^{-4}	1.136×10^{-5}	1.957×10^{-4}	0.7174
200	0.05193	14482	0.2486	3.306×10^{-4}	1.228×10^{-5}	2.365×10^{-4}	0.7155

ME 307: Heat Transfer Equipment Design

Properties of gases at 1 atm pressure (Concluded)

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
300	0.04287	14481	0.2843	4.580×10^{-4}	1.403×10^{-5}	3.274×10^{-4}	0.7149
400	0.03650	14540	0.3180	5.992×10^{-4}	1.570×10^{-5}	4.302×10^{-4}	0.7179
500	0.03178	14653	0.3509	7.535×10^{-4}	1.730×10^{-5}	5.443×10^{-4}	0.7224
1000	0.01930	15577	0.5206	1.732×10^{-3}	2.455×10^{-5}	1.272×10^{-3}	0.7345
1500	0.01386	16553	0.6581	2.869×10^{-3}	3.099×10^{-5}	2.237×10^{-3}	0.7795
2000	0.01081	17400	0.5480	2.914×10^{-3}	3.690×10^{-5}	3.414×10^{-3}	1.1717
<i>Nitrogen, N₂</i>							
-50	1.5299	957.3	0.02001	1.366×10^{-5}	1.390×10^{-5}	9.091×10^{-6}	0.6655
0	1.2498	1035	0.02384	1.843×10^{-5}	1.640×10^{-5}	1.312×10^{-5}	0.7121
50	1.0564	1042	0.02746	2.494×10^{-5}	1.874×10^{-5}	1.774×10^{-5}	0.7114
100	0.9149	1041	0.03090	3.244×10^{-5}	2.094×10^{-5}	2.289×10^{-5}	0.7056
150	0.8068	1043	0.03416	4.058×10^{-5}	2.300×10^{-5}	2.851×10^{-5}	0.7025
200	0.7215	1050	0.03727	4.921×10^{-5}	2.494×10^{-5}	3.457×10^{-5}	0.7025
300	0.5956	1070	0.04309	6.758×10^{-5}	2.849×10^{-5}	4.783×10^{-5}	0.7078
400	0.5072	1095	0.04848	8.727×10^{-5}	3.166×10^{-5}	6.242×10^{-5}	0.7153
500	0.4416	1120	0.05358	1.083×10^{-4}	3.451×10^{-5}	7.816×10^{-5}	0.7215
1000	0.2681	1213	0.07938	2.440×10^{-4}	4.594×10^{-5}	1.713×10^{-4}	0.7022
1500	0.1925	1266	0.11793	4.839×10^{-4}	5.562×10^{-5}	2.889×10^{-4}	0.5969
2000	0.1502	1297	0.18590	9.543×10^{-4}	6.426×10^{-5}	4.278×10^{-4}	0.4483
<i>Oxygen, O₂</i>							
-50	1.7475	984.4	0.02067	1.201×10^{-5}	1.616×10^{-5}	9.246×10^{-6}	0.7694
0	1.4277	928.7	0.02472	1.865×10^{-5}	1.916×10^{-5}	1.342×10^{-5}	0.7198
50	1.2068	921.7	0.02867	2.577×10^{-5}	2.194×10^{-5}	1.818×10^{-5}	0.7053
100	1.0451	931.8	0.03254	3.342×10^{-5}	2.451×10^{-5}	2.346×10^{-5}	0.7019
150	0.9216	947.6	0.03637	4.164×10^{-5}	2.694×10^{-5}	2.923×10^{-5}	0.7019
200	0.8242	964.7	0.04014	5.048×10^{-5}	2.923×10^{-5}	3.546×10^{-5}	0.7025
300	0.6804	997.1	0.04751	7.003×10^{-5}	3.350×10^{-5}	4.923×10^{-5}	0.7030
400	0.5793	1025	0.05463	9.204×10^{-5}	3.744×10^{-5}	6.463×10^{-5}	0.7023
500	0.5044	1048	0.06148	1.163×10^{-4}	4.114×10^{-5}	8.156×10^{-5}	0.7010
1000	0.3063	1121	0.09198	2.678×10^{-4}	5.732×10^{-5}	1.871×10^{-4}	0.6986
1500	0.2199	1165	0.11901	4.643×10^{-4}	7.133×10^{-5}	3.243×10^{-4}	0.6985
2000	0.1716	1201	0.14705	7.139×10^{-4}	8.417×10^{-5}	4.907×10^{-4}	0.6873
<i>Water Vapor, H₂O</i>							
-50	0.9839	1892	0.01353	7.271×10^{-6}	7.187×10^{-6}	7.305×10^{-6}	1.0047
0	0.8038	1874	0.01673	1.110×10^{-5}	8.956×10^{-6}	1.114×10^{-5}	1.0033
50	0.6794	1874	0.02032	1.596×10^{-5}	1.078×10^{-5}	1.587×10^{-5}	0.9944
100	0.5884	1887	0.02429	2.187×10^{-5}	1.265×10^{-5}	2.150×10^{-5}	0.9830
150	0.5189	1908	0.02861	2.890×10^{-5}	1.456×10^{-5}	2.806×10^{-5}	0.9712
200	0.4640	1935	0.03326	3.705×10^{-5}	1.650×10^{-5}	3.556×10^{-5}	0.9599
300	0.3831	1997	0.04345	5.680×10^{-5}	2.045×10^{-5}	5.340×10^{-5}	0.9401
400	0.3262	2066	0.05467	8.114×10^{-5}	2.446×10^{-5}	7.498×10^{-5}	0.9240
500	0.2840	2137	0.06677	1.100×10^{-4}	2.847×10^{-5}	1.002×10^{-4}	0.9108
1000	0.1725	2471	0.13623	3.196×10^{-4}	4.762×10^{-5}	2.761×10^{-4}	0.8639
1500	0.1238	2736	0.21301	6.288×10^{-4}	6.411×10^{-5}	5.177×10^{-4}	0.8233
2000	0.0966	2928	0.29183	1.032×10^{-3}	7.808×10^{-5}	8.084×10^{-4}	0.7833

Properties of Metals and Alloys

T (°C)	ρ (kg/ m ³)	c (kJ/ kg·K)	k (W/ m·K)	ρ (kg/ m ³)	c (kJ/ kg·K)	k (W/ m·K)	ρ (kg/ m ³)	c (kJ/ kg·K)	k (W/ m·K)	T (°C)
Aluminum			Brass			Bronze				
30	2701	0.9044	236.1	8530	0.3781	116.7	8799	0.4213	52.00	30
90	2690	0.9320	238.5	8530	0.3886	129.3	8771	0.4453	52.00	90
150	2678	0.9587	239.1	8544	0.3985	138.4	8742	0.4698	52.81	150
210	2665	0.9839	236.7	8581	0.4075	142.0	8712	0.4953	54.91	210
270	2652	1.0090	234.3	8618	0.4165	145.6	8682	0.5208	57.01	270
330	2640	1.0350	231.8	8655	0.4255	149.2	8652	0.5463	59.11	330
Chromium			Copper			Iron				
30	7160	0.4501	93.61	8932	0.3854	400.7	7869	0.4484	79.86	30
90	7151	0.4711	91.93	8904	0.3926	395.9	7851	0.4742	73.44	90
150	7141	0.4907	89.72	8876	0.3993	391.4	7833	0.4966	67.79	150
210	7129	0.5081	86.66	8847	0.4053	387.2	7813	0.5137	63.35	210
270	7118	0.5255	83.60	8818	0.4113	383.0	7793	0.5308	58.91	270
330	7106	0.5426	80.55	8789	0.4173	378.8	7772	0.5491	54.52	330
Iron-Armco			AISI 1010 Carbon Steel			AISI 302 Stainless Steel				
30	7867	0.4484	72.48	7831	0.4354	63.74	8052	0.4825	15.27	30
90	7815	0.4742	68.28	7814	0.4618	60.62	8031	0.5008	16.53	90
150	7782	0.4966	64.24	7797	0.4874	57.55	8008	0.5174	17.61	150
210	7782	0.5137	60.46	7777	0.5117	54.58	7983	0.5315	18.42	210
270	7781	0.5308	56.68	7757	0.5360	51.61	7958	0.5456	19.23	270
330	7779	0.5491	52.93	7737	0.5610	48.65	7932	0.5594	20.04	330
AISI 304 Stainless Steel			AISI 316 Stainless Steel			AISI 347 Stainless Steel				
30	7899	0.4782	14.95	8237	0.4691	13.46	7975	0.4826	14.32	30
90	7877	0.5010	15.97	8214	0.4907	14.54	7954	0.5014	15.24	90
150	7854	0.5199	16.97	8190	0.5093	15.56	7931	0.5183	16.16	150
210	7829	0.5325	17.93	8164	0.5231	16.49	7907	0.5321	17.09	210
270	7805	0.5451	18.89	8139	0.5369	17.42	7882	0.5459	18.02	270
330	7780	0.5574	19.84	8113	0.5504	18.35	7857	0.5594	18.95	330
Lead			Nickel			Inconel X-750				
30	11,337	0.1291	35.26	8899	0.4453	90.37	8509	0.4401	11.76	30
90	11,277	0.1309	34.48	8876	0.4699	84.07	8490	0.4605	12.84	90
150	11,214	0.1332	33.70	8853	0.4974	78.51	8470	0.4773	13.91	150
210	11,147	0.1362	32.92	8829	0.5295	74.13	8448	0.4884	14.96	210
270	11,081	0.1392	32.14	8805	0.5616	69.75	8426	0.4995	16.01	270
330	11,014	0.1422	31.36	8781	0.5910	65.63	8405	0.5106	17.06	330
Silver			Titanium			Zirconium				
30	10,498	0.2351	428.9	4500	0.5229	21.85	6570	0.2787	22.67	30
90	10,462	0.2375	426.5	4492	0.5403	20.95	6563	0.2919	22.01	90
150	10,424	0.2403	423.5	4485	0.5556	20.28	6556	0.3025	21.50	150
210	10,386	0.2436	419.6	4477	0.5676	19.98	6548	0.3091	21.23	210
270	10,348	0.2469	415.7	4469	0.5796	19.68	6540	0.3157	20.96	270
330	10,309	0.2502	411.7	4461	0.5917	19.40	6533	0.3223	20.71	330

Economic fluid velocity (m/s)

Fluid	Min	Max
Water	1.40	3.00
Engine oil	1.40	2.80
Acetone, alcohols	1.55	3.29
Ammonia	1.68	3.60
Benzene, toluene	1.46	3.17
Octane	1.55	3.38
R-134a	1.37	2.90
NaCl sol. (20%)	1.31	2.86
Ethylene glycol sol.	1.37	2.96

Fouling factor (m²K/W)

Engine oil	0.00088
Engine exhaust gas	0.00176
Steam	0.00088
Refrigerant (liq)	0.00176
Refrigerant (gas)	0.00035
Air, CO, CO ₂ , NH ₃	0.00176
Ethylene glycol sol.	0.00035
Hydraulic fluid	0.00176
Water (city, well)	0.00035
Water (distilled)	0.00009

Approximate Overall Heat Transfer Coefficient (U_o)

Fluids	U_o (W /m ² K)
Water to water	1300-2500
Gases to water	10-250
Water to lub. oil	110-300
Steam to water	2200-3500
Steam to gases	25-240
Evaporators: steam/water	1500-6000
Evaporators: steam/other fluids	300-2000
Evaporators of refrigerants	300-1000
Condenser: steam/water	1000-4000
Condenser: steam/other fluid	300-1000
Plate heat exchanger: water to water	3000-4000

BWG Specification for Tubes in a STHX

OD (inch)	BWG	ID (inch)	ID (centimeter)	OD (inch)	BWG	ID (inch)	ID (centimeter)
¾	10	0.482	1.224	1¼	7	0.890	2.261
	11	0.510	1.295		8	0.920	2.337
	12	0.532	1.351		10	0.982	2.494
	13	0.560	1.422		11	1.010	2.565
	14	0.584	1.483		12	1.032	2.621
	15	0.606	1.539		13	1.060	2.692
	16	0.620	1.575		14	1.084	2.753
	17	0.634	1.610		16	1.120	2.845
	18	0.652	1.656		18	1.152	2.926
	20	0.680	1.727		20	1.180	2.997
1	8	0.670	1.702	1½	10	1.232	3.129
	10	0.732	1.859		12	1.282	3.256
	11	0.760	1.930		14	1.334	3.388
	12	0.782	1.986		16	1.370	3.480
	13	0.810	2.057				
	14	0.834	2.118				
	15	0.856	2.174				
	16	0.870	2.210				
	18	0.902	2.291				
	20	0.930	2.362				

Dimensions and Weights of Types K, L, M⁽¹⁾ and DWV⁽²⁾ Seamless Copper Tubing

Nominal or Standard Size, in.	Outside Diameter, in. All Types	Inside Diameter, in.				Wall Thickness, in.				Theoretical Weight Pounds per Linear Foot			
		K	L	M	DWV	K	L	M	DWV	K	L	M	DWV
1/4	0.375	0.305	0.315	*	*	0.035	0.030	*	*	0.145	0.126	*	*
3/8	0.500	0.402	0.430	0.450	*	0.049	0.035	0.025	*	0.269	0.198	0.145	*
1/2	0.625	0.527	0.545	0.569	*	0.049	0.040	0.028	*	0.344	0.285	0.204	*
5/8	0.750	0.652	0.666	*	*	0.049	0.042	*	*	0.418	0.362	*	*
3/4	0.875	0.745	0.785	0.811	*	0.065	0.045	0.032	*	0.641	0.455	0.328	*
1	1.125	0.995	1.025	1.055	*	0.065	0.050	0.035	*	0.839	0.655	0.465	*
1-1/4	1.375	1.245	1.265	1.291	1.295	0.065	0.055	0.042	0.040	1.04	0.884	0.682	0.650
1-1/2	1.625	1.481	1.505	1.527	1.541	0.072	0.060	0.049	0.042	1.36	1.14	0.940	0.809
2	2.125	1.959	1.985	2.009	2.041	0.083	0.070	0.058	0.042	2.06	1.75	1.46	1.07
2-1/2	2.625	2.435	2.465	2.495	*	0.095	0.080	0.065	*	2.93	2.48	2.03	*
3	3.125	2.907	2.945	2.981	3.030	0.109	0.090	0.072	0.045	4.00	3.33	2.68	1.69
3-1/2	3.625	3.385	3.425	3.459	*	0.120	0.100	0.083	*	5.12	4.29	3.58	*
4	4.125	3.857	3.905	3.935	4.009	0.134	0.110	0.095	0.058	6.51	5.38	4.66	2.87
5	5.125	4.805	4.875	4.907	4.981	0.160	0.125	0.109	0.072	9.67	7.61	6.66	4.43
6	6.125	5.741	5.845	5.881	5.959	0.192	0.140	0.122	0.083	13.9	10.2	8.92	6.10
8	8.125	7.583	7.725	7.785	7.907	0.271	0.200	0.170	0.109	25.9	19.3	16.5	10.6
10	10.125	9.449	9.625	9.701	*	0.338	0.250	0.212	*	40.3	30.1	25.6	*
12	12.125	11.315	11.565	11.617	*	0.405	0.280	0.254	*	57.8	40.4	36.7	*

⁽¹⁾ ASTM B 88-96⁽²⁾ ASTM B 306-96

Standard Wrought Steel & Wrought Iron Pipe

Nominal Size		Outside Diameter mm (inch)	Wall Thickness mm	Inside Diameter mm	Plain End Mass kg/m	Identification	
☆ NPS	⊕ DN					Standard (STD) X-Strong (XS) XX-Strong (XXS)	Schedule Number
1/8	6	10.3 (0.405)	1.73 2.41	6.8 5.5	0.37 0.47	STD XS	40 80
1/4	8	13.7 (0.540)	2.24 3.02	9.2 7.7	0.63 0.80	STD XS	40 80
3/8	10	17.1 (0.675)	2.31 3.20	12.5 10.7	0.84 1.10	STD XS	40 80
1/2	15	21.3 (0.840)	2.77	15.8	1.27	STD	40
			3.73	13.9	1.62	XS	80
			4.78	11.8	1.95	-	160
3/4	20	26.7 (1.050)	7.47	6.4	2.55	XXS	-
			2.87	20.9	1.69	STD	40
			3.91	18.9	2.20	XS	80
1	25	33.4 (1.315)	5.56	15.5	2.90	-	160
			7.82	11.0	3.64	XXS	-
			3.38	26.6	2.50	STD	40
1 1/4	32	42.2 (1.660)	4.55	24.3	3.24	XS	80
			6.35	20.7	4.24	-	160
			9.09	15.2	5.45	XXS	-
1 1/2	40	48.3 (1.900)	3.56	35.1	3.39	STD	40
			4.85	32.5	4.47	XS	80
			6.35	29.5	5.61	-	160
2	50	60.3 (2.375)	9.70	22.8	7.77	XXS	-
			3.68	40.9	4.05	STD	40
			5.08	38.1	5.41	XS	80
2 1/2	65	73.0 (2.875)	7.14	34.0	7.25	-	160
			10.15	27.9	9.55	XXS	-
			5.16	62.7	8.63	STD	40
3	80	88.9 (3.500)	7.01	59.0	11.41	XS	80
			9.53	54.0	14.92	-	160
			14.02	45.0	20.39	XXS	-

Nominal Size		Outside Diameter mm (inch)	Wall Thickness mm	Inside Diameter mm	Plain End Mass kg/m	Identification	
☆ NPS	⊕ DN					Standard (STD) X-Strong (XS) XX-Strong (XXS)	Schedule Number
3	80	88.9 (3.500)	5.49	77.9	11.29	STD	40
			7.62	73.7	15.27	XS	80
			11.13	66.7	21.35	-	160
3 1/2	90	101.6 (4.000)	15.24	58.4	27.68	XXS	-
			5.74	90.1	13.57	STD	40
			8.08	85.4	18.64	XS	80
4	100	114.3 (4.500)	6.02	102.3	16.08	STD	40
			8.56	97.2	22.32	XS	80
			11.13	92.1	28.32	-	120
			13.49	87.3	33.54	-	160
5	125	141.3 (5.563)	17.12	80.1	41.03	XXS	-
			6.55	128.2	21.77	STD	40
			9.53	122.3	30.97	XS	80
			12.70	115.9	40.28	-	120
6	150	168.3 (6.625)	15.88	109.6	49.12	-	160
			19.05	103.2	57.43	XXS	-
			7.11	154.1	28.26	STD	40
			10.97	146.3	42.56	XS	80
8	200	219.1 (8.625)	14.27	139.7	54.21	-	120
			18.26	131.8	67.57	-	160
			21.95	124.4	79.22	XXS	-
			6.35	206.4	33.32	-	20
			7.04	205.0	36.82	-	30
			8.18	202.7	42.55	STD	40
			10.31	198.5	53.09	-	60
			12.70	193.7	64.64	XS	80
10	250	273.1 (10.75)	15.09	188.9	75.92	-	100
			18.26	182.6	90.44	-	120
			20.62	177.8	100.93	-	140
			22.23	174.6	107.93	XXS	-
			23.01	173.1	111.27	-	160
			6.35	260.3	41.76	-	20
			7.80	257.5	51.01	-	30
			9.27	254.5	60.29	STD	40
10	250	273.1 (10.75)	12.70	247.7	81.53	XS	60
			15.09	242.9	95.98	-	80
			18.26	236.5	114.71	-	100
			21.44	230.2	133.01	-	120
			25.40	222.3	155.10	XXS	140
28.58	215.9	172.27	-	160			

☆ NPS: ASME term.

⊕ DN: SI Metric term.

All dimensions are nominal

Standard Wrought Steel & Wrought Iron Pipe ... contd.

Nominal Size		Outside Diameter mm (inch)	Wall Thickness mm	Inside Diameter mm	Plain End Mass kg/m	Identification	
☆ NPS	⊕ DN					Standard (STD) X-Strong (XS) XX-Strong (XXS)	Schedule Number
12	300	323.9 (12.75)	6.35	311.1	49.71	-	20
			8.38	307.1	65.19	-	30
			9.53	304.8	73.86	STD	-
			10.31	303.2	79.71	-	40
			12.70	298.5	97.44	XS	-
			14.27	295.3	108.93	-	60
			17.48	288.9	132.05	-	80
			21.44	281.0	159.87	-	100
			25.40	273.1	186.92	XXS	120
			28.58	266.7	208.08	-	140
			33.32	257.2	238.69	-	160
14	350	355.6 (14.00)	6.35	342.9	54.69	-	10
			7.92	339.8	67.91	-	20
			9.53	336.6	81.33	STD	30
			11.13	333.3	94.55	-	40
			11.91	331.8	100.95	-	-
			12.70	330.2	107.40	XS	-
			15.09	325.4	126.72	-	60
			19.05	317.5	158.11	-	80
			23.83	307.9	194.98	-	100
			27.79	300.0	224.66	-	120
			31.75	292.1	253.58	-	140
35.71	284.2	281.72	-	160			
16	400	406.4 (16.00)	6.35	393.7	62.65	-	10
			7.92	390.6	77.83	-	20
			9.53	387.4	93.27	STD	30
			12.70	381.0	123.31	XS	40
			16.66	373.1	160.13	-	60
			21.44	363.5	203.54	-	80
			26.19	354.0	245.57	-	100
			30.96	344.5	286.66	-	120
			36.53	333.3	333.21	-	140
			40.49	325.4	365.38	-	160
			18	450	457 (18.00)	6.35	444.5
7.92	441.4	87.71				-	20
9.53	438.2	105.17				STD	-
11.13	434.9	122.38				-	30
12.70	431.8	139.16				XS	-
14.27	428.7	155.81				-	40
19.05	419.1	205.75				-	60
23.83	409.5	254.57				-	80
29.36	398.5	309.64				-	100
34.93	387.4	363.58				-	120
39.67	377.9	408.28				-	140
45.24	366.7	459.39	-	160			

Nominal Size		Outside Diameter mm (inch)	Wall Thickness mm	Inside Diameter mm	Plain End Mass kg/m	Identification				
☆ NPS	⊕ DN					Standard (STD) X-Strong (XS) XX-Strong (XXS)	Schedule Number			
20	500	508 (20.00)	6.35	495.3	78.56	-	10			
			9.53	489.0	117.15	STD	20			
			12.70	482.6	155.13	XS	30			
			15.09	477.8	183.43	-	40			
			20.62	466.8	247.84	-	60			
			26.19	455.6	311.19	-	80			
			32.54	442.9	381.55	-	100			
			38.10	431.8	441.52	-	120			
			44.45	419.1	508.15	-	140			
			50.01	408.0	564.85	-	160			
			22	550	559 (22.00)	6.35	546.1	86.55	-	10
9.53	539.8	129.14				STD	20			
12.70	533.4	171.10				XS	30			
22.23	514.4	294.27				-	60			
28.58	501.7	373.85				-	80			
34.93	489.0	451.45				-	100			
41.28	476.2	527.05				-	120			
47.63	463.5	600.67				-	140			
53.98	450.8	672.30				-	160			
24	600	610 (24.00)				6.35	596.9	94.53	-	10
						9.53	590.6	141.12	STD	20
			12.70	584.2	187.07	XS	-			
			14.27	581.1	209.65	-	30			
			17.48	574.6	255.43	-	40			
			24.61	560.4	355.28	-	60			
			30.96	547.7	442.11	-	80			
			38.89	531.8	547.74	-	100			
			46.02	517.6	640.07	-	120			
			52.37	504.9	720.19	-	140			
			59.54	490.5	808.27	-	160			
26	650	660 (26.00)	7.92	644.6	127.36	-	10			
			9.53	641.4	152.88	STD	-			
			12.70	635.0	202.74	XS	20			
28	700	711 (28.00)	7.92	695.4	137.32	-	10			
			9.53	692.2	164.86	STD	-			
			12.70	685.8	218.71	XS	20			
30	750	762 (30.00)	15.88	679.5	271.23	-	30			
			7.92	746.2	147.29	-	10			
			9.53	743.0	176.85	STD	-			
36	900	914 (36.00)	12.70	736.6	234.68	XS	20			
			15.88	730.2	292.20	-	30			
			7.92	898.6	176.97	-	10			
42	1050	1067 (42.00)	9.53	895.4	212.57	STD	-			
			12.70	889.0	282.29	XS	20			
			15.88	882.6	351.73	-	30			
			19.05	876.3	420.45	-	40			
			9.53	1047.8	248.53	STD	-			
			12.70	1041.4	330.21	XS	-			

☆ NPS: ASME term.

⊕ DN: SI Metric term.

All dimensions are nominal