

Vendredi 30 janvier 2015

- Durée 1h45 - Polycopiés de cours autorisés exclusivement.
- Documents joints : Tables de saturation de l'eau et de l'ammoniac, table de la vapeur surchauffée de l'ammoniac, Diagramme enthalpique de l'ammoniac, Diagramme de l'air humide à pression atmosphérique.

1 Chambre froide :

Pour un projet de construction d'un entrepôt frigorifique on étudie l'équipement d'une chambre froide destinée à contenir des produits surgelés. On envisage d'installer une machine frigorifique fonctionnant avec de l'ammoniac (NH_3 ou R717) comme fluide frigorigène. On suppose que le cycle thermodynamique est un cycle de Rankine inversé fonctionnant en régime sec. Nous allons analyser le fonctionnement de la machine en régime permanent dans des conditions de fonctionnement nominal. On supposera tous les écoulements en régime permanent et on négligera toutes les variations d'énergie cinétique du fluide. de plus, la compression sera considérée comme adiabatique et les évolutions dans les deux échangeurs comme isobares. Afin de maintenir une température intérieure de -18°C dans la chambre froide, on estime que la température d'évaporation doit être de -25°C . Le condenseur sera refroidi par une circulation d'eau et la température de condensation sera estimée à 15°C . On supposera que le fluide frigorigène sortant du condenseur est un liquide saturé et que le fluide sort de l'évaporateur à l'état de vapeur saturée. La mesure de la température à la sortie du compresseur donne 90°C . Le débit du fluide frigorigène est de $0,243\text{ Kg/s}$.

1. Donnez une estimation des pressions d'évaporation et de condensation. expliquez.
2. Tracer le cycle sur le diagramme enthalpique fourni. Numéroté les 4 points remarquables du cycle en partant de la sortie de l'évaporateur et en suivant le fluide dans son sens de parcours.
3. Estimez l'enthalpie massique en sortie de l'évaporateur et du condenseur à l'aide des tables fournies.
4. Calculer le titre de vapeur à l'entrée de l'évaporateur.
5. Calculer la puissance frigorifique de la machine dans ces conditions de fonctionnement.
6. Calculer la puissance mécanique absorbée par le fluide dans le compresseur.
7. Calculer la puissance calorifique rejetée au condenseur.
8. Le débit d'eau de refroidissement est de $1,5\text{ Kg/mn}$ et la température d'entrée de l'eau est de 8°C . En déduire la température de sortie de l'eau.

9. La compression est-elle isentropique ? Justifiez votre réponse.
10. Calculer l'efficacité frigorifique de la machine.
— On donne : Chaleur massique de l'eau : $c_p = 4185 \text{ J/K}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$

2 Climatisation économique

Dans les pays au climat chaud et sec, il peut être avantageux de refroidir l'air par humidification. Nous prendrons par exemple le cas d'un air extérieur dont la température extérieure est de 30°C et le degré hygrométrique 10%. Cet air extérieur est aspiré puis dirigé vers un dispositif d'humidification constitué de toiles sur lesquelles on fait ruisseler de l'eau. À la sortie de ce dispositif, l'air s'est chargé en humidité et se trouve saturé en vapeur d'eau. On mélange ensuite cet air humidifié avec de l'air provenant de l'extérieur dans des proportions convenables pour obtenir en sortie une température de 18°C .

On rappelle que lorsque l'humidification se fait par contact avec de l'eau liquide, on peut négliger l'apport d'enthalpie dû à l'eau liquide.

1. Calculer la pression partielle de la vapeur d'eau puis l'humidité absolue pour le flux d'air aspiré initialement.
2. Calculer l'enthalpie de l'unité d'air humide (par kg d'air sec) pour le flux d'air aspiré à l'extérieur.
3. Déterminer graphiquement la température de sortie de l'air sortant de l'humidificateur en utilisant l'approximation suggérée plus haut. On arrondira la valeur de la température à l'unité la plus proche. Expliquer la procédure utilisée.
4. Calculer la pression partielle de la vapeur d'eau puis l'humidité absolue pour le flux d'air sortant de l'humidificateur.
5. On désire que le flux d'air résultant du mélange soit à la température de 18°C . Quelle sera l'enthalpie du mélange. En déduire l'humidité absolue de ce mélange.
6. On suppose que le débit d'air sec passant dans l'humidificateur est de $1000 \text{ m}^3/\text{h}$. Calculer le débit de l'autre flux d'air aspiré à l'extérieur.
7. Calculer le débit d'eau rajoutée dans l'humidificateur.

Saturation Properties for Ammonia — Temperature Increments

Liquid Phase Data

Data on Saturation Curve

Temperature (C)	Pressure (bar)	Density (kg/m3)	Volume (m3/kg)	Internal Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (J/g*K)	Cv (J/g*K)	Cp (J/g*K)	Sound Spd. (m/s)	Joule-Thomson (K/bar)	Viscosity (uPa*s)	Therm. Cond. (W/m*K)	Surf. Tension (N/m)	Phase
-40.000	0.71692	690.15	0.0014490	162.22	162.32	0.75832	2.8662	4.4137	1816.2	-0.019356	281.24	0.68811	0.047262	liquid
-35.000	0.93098	684.04	0.0014619	184.34	184.48	0.85219	2.8577	4.4394	1780.2	-0.018779	261.56	0.67127	0.045378	liquid
-30.000	1.1943	677.83	0.0014753	206.58	206.76	0.94462	2.8492	4.4645	1744.4	-0.018184	244.07	0.65463	0.043519	liquid
-25.000	1.5147	671.53	0.0014891	228.94	229.17	1.0357	2.8408	4.4892	1708.8	-0.017564	228.45	0.63819	0.041686	liquid
-20.000	1.9008	665.14	0.0015035	251.42	251.71	1.1253	2.8325	4.5138	1673.2	-0.016914	214.41	0.62196	0.039879	liquid
-15.000	2.3617	658.65	0.0015183	274.01	274.37	1.2137	2.8243	4.5385	1637.7	-0.016228	201.73	0.60594	0.038097	liquid
-10.000	2.9071	652.06	0.0015336	296.72	297.16	1.3009	2.8162	4.5636	1602.1	-0.015498	190.22	0.59014	0.036342	liquid
-5.0000	3.5476	645.37	0.0015495	319.54	320.09	1.3868	2.8082	4.5895	1566.4	-0.014718	179.72	0.57456	0.034614	liquid
0.0000	4.2938	638.57	0.0015660	342.48	343.15	1.4716	2.8003	4.6165	1530.5	-0.013878	170.09	0.55920	0.032912	liquid
5.0000	5.1575	631.66	0.0015831	365.55	366.36	1.5553	2.7926	4.6451	1494.4	-0.012968	161.23	0.54406	0.031237	liquid
10.000	6.1505	624.64	0.0016009	388.74	389.72	1.6380	2.7851	4.6757	1458.1	-0.011978	153.03	0.52912	0.029589	liquid
15.000	7.2852	617.49	0.0016195	412.06	413.24	1.7197	2.7780	4.7088	1421.5	-0.010896	145.42	0.51439	0.027969	liquid
20.000	8.5748	610.20	0.0016388	435.53	436.94	1.8005	2.7711	4.7448	1384.5	-0.0097083	138.32	0.49986	0.026376	liquid
25.000	10.032	602.76	0.0016590	459.16	460.82	1.8804	2.7647	4.7844	1347.1	-0.0083982	131.68	0.48551	0.024812	liquid
30.000	11.672	595.17	0.0016802	482.95	484.91	1.9597	2.7587	4.8282	1309.3	-0.0069477	125.45	0.47135	0.023276	liquid
35.000	13.508	587.40	0.0017024	506.93	509.23	2.0382	2.7532	4.8771	1271.0	-0.0053350	119.58	0.45737	0.021769	liquid
40.000	15.554	579.44	0.0017258	531.11	533.79	2.1161	2.7484	4.9318	1232.1	-0.0035347	114.04	0.44354	0.020292	liquid

Vapor Phase Data

Data on Saturation Curve

Temperature (C)	Pressure (bar)	Density (kg/m3)	Volume (m3/kg)	Internal Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (J/g*K)	Cv (J/g*K)	Cp (J/g*K)	Sound Spd. (m/s)	Joule-Thomson (K/bar)	Viscosity (uPa*s)	Therm. Cond. (W/m*K)	Phase
-40.000	0.71692	0.64380	1.5533	1439.6	1550.9	6.7141	1.6724	2.2441	382.19	7.3766	7.8588	0.020641	vapor
-35.000	0.93098	0.82184	1.2168	1445.6	1558.8	6.6232	1.6961	2.2830	385.23	6.7108	8.0045	0.020882	vapor
-30.000	1.1943	1.0374	0.96396	1451.3	1566.5	6.5367	1.7218	2.3259	388.08	6.1242	8.1516	0.021149	vapor
-25.000	1.5147	1.2959	0.77167	1456.9	1573.8	6.4543	1.7495	2.3730	390.73	5.6050	8.3000	0.021444	vapor
-20.000	1.9008	1.6033	0.62373	1462.3	1580.8	6.3757	1.7793	2.4245	393.18	5.1435	8.4495	0.021768	vapor
-15.000	2.3617	1.9659	0.50868	1467.4	1587.5	6.3005	1.8110	2.4807	395.42	4.7317	8.5999	0.022120	vapor
-10.000	2.9071	2.3906	0.41830	1472.3	1593.9	6.2285	1.8446	2.5419	397.45	4.3629	8.7511	0.022503	vapor
-5.0000	3.5476	2.8849	0.34664	1476.9	1599.8	6.1592	1.8802	2.6082	399.25	4.0315	8.9031	0.022918	vapor
0.0000	4.2938	3.4567	0.28930	1481.2	1605.4	6.0926	1.9176	2.6799	400.82	3.7330	9.0558	0.023365	vapor
5.0000	5.1575	4.1146	0.24304	1485.2	1610.5	6.0284	1.9569	2.7575	402.16	3.4633	9.2094	0.023847	vapor
10.000	6.1505	4.8679	0.20543	1488.9	1615.3	5.9662	1.9979	2.8413	403.24	3.2191	9.3638	0.024365	vapor
15.000	7.2852	5.7269	0.17461	1492.3	1619.5	5.9060	2.0406	2.9318	404.07	2.9975	9.5193	0.024922	vapor
20.000	8.5748	6.7025	0.14920	1495.4	1623.3	5.8475	2.0849	3.0296	404.63	2.7960	9.6761	0.025519	vapor
25.000	10.032	7.8069	0.12809	1498.1	1626.6	5.7904	2.1308	3.1353	404.92	2.6126	9.8346	0.026159	vapor
30.000	11.672	9.0533	0.11046	1500.4	1629.3	5.7347	2.1782	3.2500	404.92	2.4453	9.9953	0.026846	vapor
35.000	13.508	10.457	0.095632	1502.3	1631.5	5.6801	2.2272	3.3745	404.63	2.2924	10.159	0.027585	vapor
40.000	15.554	12.034	0.083101	1503.8	1633.1	5.6265	2.2776	3.5104	404.03	2.1524	10.325	0.028379	vapor

Auxiliary Data

© 2011 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved.

Copyright for NIST Standard Reference Data is governed by the [Standard Reference Data Act](#).

Isobaric Properties for Ammonia

Fluid Data

Isobaric Data for P = 7.2852 bar

Temperature (C)	Pressure (bar)	Density (kg/m3)	Volume (m3/kg)	Internal Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (J/g*K)	Cv (J/g*K)	Cp (J/g*K)	Sound Spd. (m/s)	Joule-Thomson (K/bar)	Viscosity (uPa*s)	Therm. Cond. (W/m*K)	Phase
20.000	7.2852	5.5834	0.17910	1503.5	1633.9	5.9556	1.9921	2.8344	409.37	2.8297	9.7175	0.025321	vapor
30.000	7.2852	5.3267	0.18773	1524.7	1661.5	6.0481	1.9205	2.6893	419.29	2.5303	10.113	0.026177	vapor
40.000	7.2852	5.1017	0.19601	1545.1	1687.9	6.1336	1.8727	2.5895	428.46	2.2729	10.507	0.027108	vapor
50.000	7.2852	4.9011	0.20403	1564.8	1713.4	6.2139	1.8414	2.5199	437.05	2.0508	10.901	0.028110	vapor
60.000	7.2852	4.7202	0.21186	1584.0	1738.3	6.2899	1.8219	2.4712	445.16	1.8584	11.295	0.029178	vapor
70.000	7.2852	4.5554	0.21952	1602.9	1762.9	6.3624	1.8109	2.4374	452.89	1.6910	11.690	0.030310	vapor
80.000	7.2852	4.4041	0.22706	1621.7	1787.1	6.4321	1.8064	2.4148	460.29	1.5445	12.085	0.031503	vapor
90.000	7.2852	4.2644	0.23450	1640.4	1811.2	6.4993	1.8068	2.4004	467.40	1.4158	12.480	0.032752	vapor
100.00	7.2852	4.1347	0.24185	1659.0	1835.2	6.5644	1.8111	2.3925	474.27	1.3021	12.876	0.034056	vapor
110.00	7.2852	4.0139	0.24914	1677.6	1859.1	6.6276	1.8183	2.3896	480.92	1.2011	13.272	0.035410	vapor
120.00	7.2852	3.9008	0.25636	1696.2	1883.0	6.6892	1.8280	2.3906	487.38	1.1111	13.668	0.036812	vapor
130.00	7.2852	3.7946	0.26353	1714.9	1906.9	6.7493	1.8396	2.3949	493.67	1.0305	14.063	0.038267	vapor
140.00	7.2852	3.6947	0.27066	1733.7	1930.9	6.8081	1.8528	2.4019	499.80	0.95808	14.459	0.039731	vapor
150.00	7.2852	3.6004	0.27775	1752.6	1954.9	6.8656	1.8674	2.4110	505.78	0.89269	14.854	0.041234	vapor

Auxiliary Data

Reference States

Internal energy	U = 0 at 273.16 K for saturated liquid.
Entropy	S = 0 at 273.16 K for saturated liquid.

Additional fluid properties

Critical temperature (T _c)	132.25 C
Critical pressure (P _c)	113.330 bar
Critical density (D _c)	225.000 kg/m3
Acentric factor	0.25601
Normal boiling point	-33.327 C
Dipole moment	1.470 Debye

Copyright for NIST Standard Reference Data is governed by the [Standard Reference Data Act](#).

Saturation Properties for Water — Temperature Increments

Liquid Phase Data

Data on Saturation Curve

Temperature (C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Volume (m ³ /kg)	Internal Energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (J/g*K)	Cv (J/g*K)	Cp (J/g*K)	Sound Spd. (m/s)	Joule- Thomson (K/bar)	Viscosity (uPa*s)	Therm. Cond. (W/m*K)	Surf. Tension (N/m)	Phase
5.0000	0.0087258	999.92	0.0010001	21.019	21.020	0.076254	4.2053	4.2055	1426.0	-0.023676	1518.3	0.57052	0.074942	liquid
6.0000	0.0093536	999.89	0.0010001	25.223	25.224	0.091342	4.2026	4.2032	1430.4	-0.023588	1471.6	0.57242	0.074799	liquid
7.0000	0.010021	999.86	0.0010001	29.425	29.426	0.10637	4.1998	4.2010	1434.8	-0.023502	1427.2	0.57432	0.074655	liquid
8.0000	0.010730	999.80	0.0010002	33.626	33.627	0.12133	4.1970	4.1991	1439.0	-0.023417	1384.8	0.57622	0.074511	liquid
9.0000	0.011483	999.74	0.0010003	37.824	37.825	0.13624	4.1940	4.1972	1443.1	-0.023333	1344.5	0.57811	0.074366	liquid
10.000	0.012282	999.65	0.0010003	42.020	42.021	0.15109	4.1910	4.1955	1447.1	-0.023251	1306.0	0.58000	0.074221	liquid
11.000	0.013130	999.56	0.0010004	46.215	46.216	0.16587	4.1879	4.1940	1451.0	-0.023170	1269.2	0.58188	0.074075	liquid
12.000	0.014028	999.45	0.0010005	50.408	50.409	0.18061	4.1847	4.1925	1454.9	-0.023090	1234.1	0.58376	0.073929	liquid
13.000	0.014981	999.33	0.0010007	54.600	54.601	0.19528	4.1815	4.1912	1458.6	-0.023012	1200.5	0.58562	0.073782	liquid
14.000	0.015990	999.20	0.0010008	58.790	58.792	0.20990	4.1782	4.1899	1462.2	-0.022935	1168.4	0.58748	0.073634	liquid
15.000	0.017058	999.06	0.0010009	62.980	62.981	0.22446	4.1748	4.1888	1465.8	-0.022858	1137.6	0.58933	0.073486	liquid
16.000	0.018188	998.90	0.0010011	67.168	67.170	0.23897	4.1714	4.1878	1469.2	-0.022783	1108.1	0.59117	0.073337	liquid
17.000	0.019384	998.73	0.0010013	71.355	71.357	0.25343	4.1679	4.1868	1472.6	-0.022709	1079.9	0.59300	0.073188	liquid
18.000	0.020647	998.55	0.0010014	75.542	75.544	0.26783	4.1643	4.1859	1475.9	-0.022636	1052.7	0.59482	0.073038	liquid
19.000	0.021983	998.36	0.0010016	79.727	79.729	0.28218	4.1607	4.1851	1479.1	-0.022563	1026.7	0.59663	0.072887	liquid
20.000	0.023393	998.16	0.0010018	83.912	83.914	0.29648	4.1570	4.1844	1482.2	-0.022492	1001.6	0.59842	0.072736	liquid
21.000	0.024882	997.95	0.0010021	88.096	88.098	0.31073	4.1533	4.1837	1485.2	-0.022421	977.59	0.60019	0.072584	liquid
22.000	0.026453	997.73	0.0010023	92.279	92.282	0.32493	4.1495	4.1831	1488.2	-0.022352	954.46	0.60196	0.072432	liquid
23.000	0.028111	997.50	0.0010025	96.462	96.465	0.33908	4.1457	4.1825	1491.0	-0.022283	932.19	0.60370	0.072279	liquid
24.000	0.029858	997.25	0.0010028	100.64	100.65	0.35318	4.1418	4.1820	1493.8	-0.022214	910.76	0.60544	0.072126	liquid
25.000	0.031699	997.00	0.0010030	104.83	104.83	0.36722	4.1379	4.1816	1496.5	-0.022147	890.11	0.60715	0.071972	liquid
26.000	0.033639	996.74	0.0010033	109.01	109.01	0.38123	4.1339	4.1812	1499.2	-0.022080	870.20	0.60885	0.071818	liquid
27.000	0.035681	996.47	0.0010035	113.19	113.19	0.39518	4.1299	4.1809	1501.7	-0.022014	851.01	0.61053	0.071663	liquid
28.000	0.037831	996.19	0.0010038	117.37	117.37	0.40908	4.1258	4.1806	1504.2	-0.021948	832.49	0.61219	0.071507	liquid
29.000	0.040092	995.90	0.0010041	121.55	121.55	0.42294	4.1217	4.1803	1506.6	-0.021884	814.62	0.61383	0.071351	liquid
30.000	0.042470	995.61	0.0010044	125.73	125.73	0.43675	4.1175	4.1801	1509.0	-0.021819	797.36	0.61546	0.071194	liquid
31.000	0.044969	995.30	0.0010047	129.91	129.91	0.45052	4.1133	4.1799	1511.3	-0.021755	780.68	0.61706	0.071037	liquid
32.000	0.047596	994.99	0.0010050	134.09	134.09	0.46424	4.1091	4.1798	1513.5	-0.021692	764.56	0.61865	0.070879	liquid
33.000	0.050354	994.66	0.0010054	138.27	138.27	0.47792	4.1048	4.1796	1515.6	-0.021630	748.98	0.62021	0.070721	liquid
34.000	0.053251	994.33	0.0010057	142.45	142.45	0.49155	4.1005	4.1796	1517.7	-0.021567	733.90	0.62176	0.070562	liquid
35.000	0.056290	993.99	0.0010060	146.63	146.63	0.50513	4.0961	4.1795	1519.7	-0.021506	719.31	0.62328	0.070402	liquid

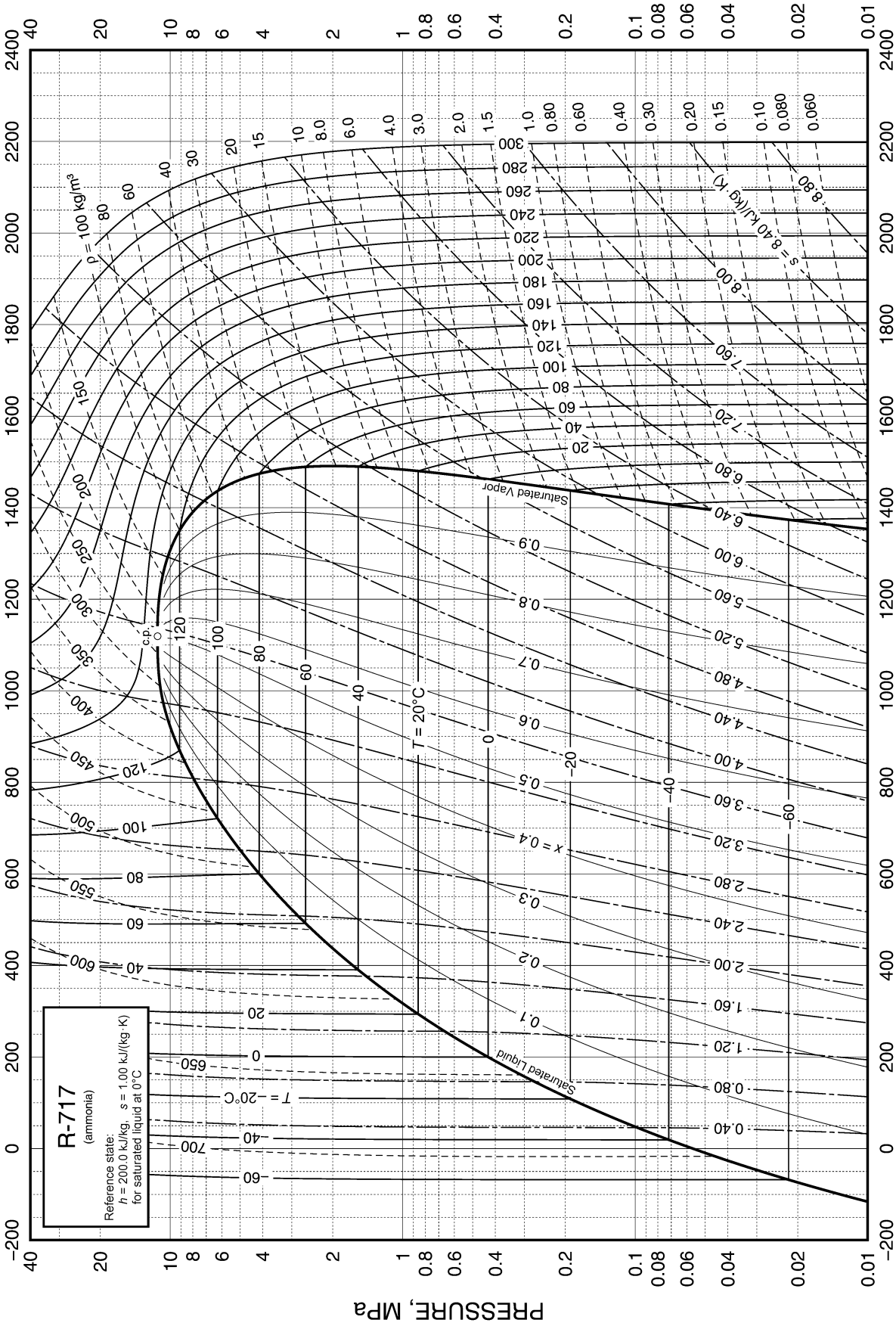
Reference States

Internal energy	U = 0 at 273.16 K for saturated liquid.
Entropy	S = 0 at 273.16 K for saturated liquid.

© 2011 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved.

Copyright for NIST Standard Reference Data is governed by the [Standard Reference Data Act](#).

Licensed for single user. © 2009 ASHRAE, Inc.



Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0

Based on formulation of Tillner-Roth et al. (1993)

Fig. 16 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 717 (Ammonia)

Diagramme de l'air humide

Pression atmosphérique : 101 325 [Pa] Altitude : 0 [m]

