www.Endbook.net

تهیه و تنظیم جواد سوارانی

« ترمودینامیک »

خواص ترمودینامیکی را می توان به دو گروه کلی تقسیم کرد : ۱- خواص شدتی ۲- خواص مقداری

خاصیت شدتی مستقل از مقدار جرم است ولی مقدار خاصیت مقداری مستقیماً با تغییر جرم تغییر می کند.

فرآیند : مسیری از حالات متوالی که پی در پی را که سیستم از آن می گذرد را فرآیند می نامند.

حجم مخصوص : یک ماده به صورت حجم به ازای واحد جرم تعریف می شود. $v = \frac{V}{m}$

نکته : در یک سیستم حجم مخصوص با ارتفاع تغییر می کند.

نکته : اصطلاح درجه حرارت اشباع (Saturation temperature) یا همان درجه حرارتی است که در آن تغییر فاز ماده‌ای معین صورت می گیرد و این فشار را فشار اشباع برای آن درجه حرارت می نامیم. پس برای آب در $99.6^{\circ}C$ ، فشار اشباع $100\,kPa$ است و در فشار $100\,kPa$ درجه حرارت اشباع معادل $99.6^{\circ}C$ می باشد.

نکته : اگر ماده‌ای به صورت مایع از درجه حرارت و فشار اشباع باشد آن را مایع اشباع می نامیم (Saturation liquid). اگر درجه حرارت مایع کمتر از درجه حرارت اشباع برای یک فشار معین باشد آن مایع را مایع sat. cap می نامیم

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

if $25^{\circ}C$ → $100^{\circ}C$ → $100^{\circ}C$ → $150^{\circ}C$

Liq. (Subcooled liquid) | Liq. (Sat. liq.) | Vap (Sat. vap) | Vap. (Superheated vap.)

اگر مخلوطی از مایع و بخار آبش در یک سیستم داشته باشیم می‌توانیم روابط زیر

را برای آن بنویسیم — Specif volume system:

$$v_t = \frac{V_t}{m_t} \quad , \quad V_t = v_t \cdot m_t$$

$$V_t = V_f + V_g$$

$$\begin{cases} \text{spe. vol. vap} : v_g = \dfrac{V_g}{m_g} \\ \text{Spe. vol. liq} : v_f = \dfrac{V_f}{m_f} \end{cases}$$

$$\Rightarrow v_t \cdot m_t = v_f \cdot m_f + v_g \cdot m_g \xrightarrow{\times \frac{1}{m_t}} v_t = v_f \frac{m_f}{m_t} + v_g \frac{m_g}{m_t} \quad (1)$$

نکته: وقتی درجه حرارت آبش، قسمتی از آن به صورت بخار، قسمتی به شکل مایع باشد، کیفیت را به صورت نسبت جرم بخار به جرم کل تعریف می‌کنیم و با x نشان می‌دهیم.

$$\frac{m_g}{m_t} = x = \text{Quality} \xrightarrow{(1)} v_t = v_f(1-x) + x v_g \quad (*)$$

مثال) مخلوط مایع و بخار آبش آب در دمای $200^{\circ}C$ در دسترس است اگر کیفیت آن ۲۵٪ باشد و کل جرم دو فازی $5\,kg$ باشد حجم بخار چقدر است؟

حالم بر سیستم: حجم مخصوص (spec. vol) سیستم ؛ حجم کل سیستم، جرم و حجم فاز

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

حل: می دانیم که سیستم دارای مخلوط مایع و بخار اشباع در دمای $200^{\circ}C$ است پس با استفاده از جدول B.1.1 مقدار فشار، v_f و v_g را بدست می آوریم

State 1: $T = 200^{\circ}C$, Sat. vap and liq, $x = 0.3$, $m_t = 5\,kg$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = 1553.8\ kPa \\ v_f = 0.001156\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.12736\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}, \quad \begin{cases} m_g = x m_t = 0.3 \times 5 = 1.5\,kg \\ m_f = (1-x) m_t = 0.7 \times 5 = 3.5\,kg \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_f = v_f \cdot m_f = 3.5 \times 0.001156 = 0.004046\ m^3 \\ V_g = v_g \cdot m_g = 1.5 \times 0.12736 = 0.19104\ m^3 \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_t = V_f + V_g = 0.004046 + 0.19104 = 0.195086\ m^3, \quad v_t = \frac{V_t}{m_t}$$

مثال: بخار اشباع آب در دمای $250^{\circ}C$ مفروض است در دمای ثابت، حجم

30٪ کاهش می یابد. الف) شرایط جدید را تعیین کنید

ب) اگر حجم 40٪ افزایش یابد شرایط جدید را تعیین کنید

نکته: از این به بعد برای حل مسائل ترمودینامیک مرحله به مرحله (state by state) پیش می رویم. پس ابتدا نقطه شروع فرآیند را مشخص می کنیم، تمام مشخصات ارائه داده شده و بدست آمده از جدول آخر کتاب را یادداشت می کنیم اجازه می دهیم فرآیند انجام شود و به نقطه جدید برسد و وقتی به نقطه جدید می رسیم اطلاعاتی را که مسئله در مورد نقطه جدید داده است را مشخص می کنیم یا از متغیرهایی که در انتقال از نقطه اولیه به نقطه جدید ثابت مانده اند را انتقال می دهیم، شروع می کنیم به تحلیل مسئله.

حل ۵: در صورت مسئله گفته شده است که ما داریم Sat. vap در دمای $250^{\circ}C$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

سیستم پس به جدول B.1.1 مراجعه می‌شود و مقدار فشار، v_g به v سیستم است را بازداشت می‌شود.

State 1: $T = 25^{\circ}C$, sat.vap $\xrightarrow[B.1.1]{Table}$ $\begin{cases} P = 3973\ kPa \\ v_g = 0.05013\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$

پس نقطه اول برای ما مشخص شد اجازه می‌دهیم عرایند انجام شود و به نقطه جدید برسد در نقطه جدید حجم 30٪ کاهش یافته پس v سیستم تغییر می‌کند

State 2: $V_2 = (1-0.3)V_1$, $T_1 = T_2$, $m_1 = m_2 = m$

$$\Rightarrow V_2 = 0.7 V_1 \xrightarrow{\times \frac{1}{m}} \frac{V_2}{m} = 0.7 \frac{V_1}{m} \Rightarrow v_2 = 0.7 v_1 = 0.7 \times 0.05013$$
$$\Rightarrow v_2 = 0.035091\ \frac{m^3}{kg}$$

v_2 سیستم برابر با 0.035091 شده است، همچنین دما ثابت مانده و برابر با $25^{\circ}C$ می‌باشد. طبق جدول B.1.1 ، v_2 بین v_g و v_f است. پس مقداری از بخار به مایع تبدیل شده است پس دارای مخلوط مایع و بخار هستیم. پس باید کیفیت (x) را حساب کنیم

at the table B.1.1 $\begin{cases} v_f = 0.001251\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.05013\ " \\ v_{system} = 0.035091\ " \end{cases}$

$$\Rightarrow v = (1-x)v_f + x v_g \Rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.035091 - 0.001251}{0.05013 - 0.001251}$$

$$\Rightarrow x = 69.23\%$$

قسمت ب، هم مانند قسمت الف، حل می‌شود با این تفاوت که حجم سیستم 40٪ افزایش می‌یابد.

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

3.60) یک مخزن صلب بسته به حجم $2m^3$ حاوی مخلوط اشباع مایع و بخار R-134a در دمای $10^{\circ}C$ است. اگر مخزن را تا $50^{\circ}C$ گرم کنیم بازهم مایع از بین خواهد رفت. فشار در دمای $50^{\circ}C$ و حجم اولیه مایع را حساب کنید.

State 1:

$$\left.\begin{array}{l} v = 2m^3 \\ T_1 = +10^{\circ}C \\ \text{sat. vap and liq} \end{array}\right\} \xrightarrow[B.5.1]{\text{Table}} \left\{\begin{array}{l} v_f = 0.000794 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.0495 \ " \\ P = 415.8 \ kPa \end{array}\right.$$

State 2:

$$\left.\begin{array}{l} T = 50^{\circ}C \\ \text{sat. vap} \end{array}\right\} \xrightarrow[B.5.1]{\text{Table}} \left\{\begin{array}{l} v_g = v = 0.01512 \ \frac{m^3}{kg} \\ P = 1318.1 \ kPa \end{array}\right.$$

$$\Rightarrow v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{V}{v} = \frac{2}{0.01512} \Rightarrow m = 132.275 kg$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.01512 - 0.000794}{0.0495 - 0.000794} \Rightarrow x = 0.2945$$

$$m_{liq} = (1 - 0.2945) \times 132.275 \Rightarrow m_{liq} = 93.335 kg$$

3.63) آمونیاک در $10^{\circ}C$ با جرم $10 kg$ در یک سیلندر و پیستون با حجم اولیه $1m^3$ قرار دارد. پیستون که ابتدائاً روی موانع متوقف شده قرار دارد دارای جرمی است که با فشار $900 kPa$ سازگار می‌شود. حال آمونیاک را به آرامی تا $50^{\circ}C$ گرم می‌کنیم.

حجم نهایی چقدر است؟

State 1:

$$\left.\begin{array}{l} m = 10 kg \\ V = 1m^3 \end{array}\right\} \Rightarrow v = \frac{V}{m} \Rightarrow v = 0.1 m^3$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$\begin{cases} T = 10\ ^{\circ}C \\ v = 0.1\ \frac{m^3}{kg} \end{cases} \xrightarrow[B.2.1]{\text{Table}} \begin{cases} P = 615.2\ kPa \\ v_f = 0.001600\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.20541\ \text{"} \end{cases}$$

State 2:

$$\begin{cases} P = 900\ kPa \\ v = 0.1\ m^3 \end{cases} \xrightarrow[B.2.1]{\text{Table}} \begin{cases} \text{interpol} \Rightarrow T = 22.5\ ^{\circ}C \end{cases}$$

State 3

$$\begin{cases} P = 900\ kPa \\ T = 50\ ^{\circ}C \end{cases} \xrightarrow[B.2.1]{\text{Table}} \text{Super. heated} \xrightarrow[B.2.2]{T} \begin{cases} v = \frac{0.18965 + 0.14499}{2} \\ v = 0.16482\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_2 = v \cdot m = 0.16482 \times 10 = 1.6482\ m^3$$

4.63) یک سیلندر و پیستون حاوی 1kg از R-134a در حالت 1 با شرایط $110\ ^{\circ}C$ و 600 kPa است. سپس مجموعه عدلور به دلیل سرد کردن در حال نه پیستون توسط یک منبع نگهدارنده ثابت راه‌اندازی می‌شود به حالت 2 می‌رسد. الفول توزان با اعمال نیروی خارجی برقرار شده و منبع نگهدارنده خارج می‌شود، سپس گرمای را آزاد می‌دهیم تا به حالت 3 برسیم که R-134a به طور آسان تبدیل می‌شود. تا را تعیین کنید.

State 1:

$$\begin{cases} m = 1\ kg \\ T = 110\ ^{\circ}C \\ P = 600\ kPa \end{cases} \xrightarrow[B.5.2]{\text{Table}} \begin{cases} v = 0.04943\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$$

$$V = m \cdot v \Rightarrow V = 0.04943\ m^3$$

www.Endbook.net

state 2:

$\left\{ v = 0.04943 \right. \xrightarrow[B.5.1]{\text{Table}} \left\{ \begin{array}{l} P = 415.8 \\ T = 10^{\circ}C \end{array} \right.$

state 3:

Table B.5.1 $\longrightarrow v_f = 0.00\,0794 \ \frac{m^3}{kg}$

$v = v.m \Rightarrow v = 0.00\,0794 \ \frac{m^3}{kg}$

$w = P\Delta v = 415.8\,(0.00\,0794 - 0.04943) = -20.22\,kg$

4.64) R-22 در یک سیلندر و پیستون مانند شکل زیر قرار دارد که در فشار برخورد

پیستون با موانع حجم آن 11 L می‌شود. حالت اولیه $-30^{\circ}C$ و حجم 10 L با 150 kPa

است. سیستم $15^{\circ}C$ گرم می‌شود. آیا در حالت نهایی پیستون به موانع می‌رسد؟ دلایل

State 1:

$\left\{ \begin{array}{l} T = -30^{\circ}C \\ P = 150\ kPa \\ V = 10\,L = 0.01\,m^3 \end{array} \right. \xrightarrow[B.4]{\text{Table}} \text{super. heat} \xrightarrow[B.4.2]{\text{Table}} \text{interpol}$

$\left\{ \begin{array}{l} T = -32.02 \\ v = 0.14727 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} T = -20 \\ v = 0.1558 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} T = -30 \\ v = ? \end{array} \right.$

$\Rightarrow v = 0.148712 \ \frac{m^3}{kg}, \quad m = \frac{V}{v} = \frac{0.01}{0.148712} \Rightarrow m = 0.0672\,kg$

State 2:

$\left\{ \begin{array}{l} P = 150\ kPa \\ m = 0.0672\,kg \\ V = 11\,L = 0.011\,m^3 \end{array} \right. \longrightarrow v = \frac{V}{m} = \frac{0.011}{0.0672} \Rightarrow v = 0.16369 \ \frac{m^3}{kg}$

$\left\{ \begin{array}{l} v = 0.16369 \ \frac{m^3}{kg} \\ P = 150\ kPa \end{array} \right. \xrightarrow{T} T = -10.0$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

State 3 :

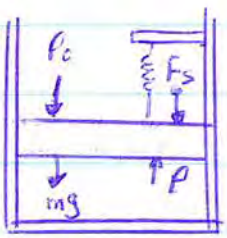
$\begin{cases} v = 0.16369 \\ T = 15^{\circ}C \end{cases}$ $\xrightarrow[B.4.2]{\text{Table}}$ interpol $\Rightarrow P = 167.717$

$w = \int P\,dv = P\Delta v = P(v_2 - v_1) = 150(0.011 - 0.01) \Rightarrow w = 0.15\,kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

4.42) یک مجموعه سیلندر و پیستون حاوی 1kg آب در 20°C است و فشار 300 kPa است. در ابتدا پیستون به کف سیلندر تکیه دارد و حجم آب 0.1 m³ است. گرما به سیستم داده می‌شود و فشار به 3 MPa می‌رسد. دمای نهایی و حجم را محاسبه کنید.



State 1:

$$\begin{cases} m = 1\,kg \\ T = 20^\circ C \xrightarrow[B.1.1]{Table} \text{Com. liq} \rightarrow v_1 = v_f = 0.001002 \frac{m^3}{kg} \\ P = 300\,kPa \end{cases}$$

$V_1 = v_1 m \Rightarrow V_1 = 0.001002\ m^3$

$$PA = P_0 A + mg + F_s \Rightarrow P = P_0 + \frac{mg}{A} + \frac{k(x - x_0)}{A} \times \left(\frac{A}{A}\right)$$

$$\Rightarrow P = \underbrace{\left(P_0 + \frac{mg}{A} + \left(-\frac{kv_0}{A^2}\right)\right)}_{\text{ثابت} = C_1} + \underbrace{\left(\frac{k}{A^2}\right)}_{\text{ثابت}} V$$

$$\Rightarrow P = C_1 + C_2 V \Rightarrow \begin{cases} 300 = C_1 + C_2 V_1 = C_1 + C_2 \times 0.001002 \\ 3000 = C_1 + C_2 V_2 = C_1 + C_2 \times 0.1 \end{cases}$$

State 2:

$$\begin{cases} V = 0.1\ m^3 \Rightarrow v = \frac{V}{m} \Rightarrow v = 0.1 \frac{m^3}{kg} \\ P = 3000\,kPa \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{Table} \text{Sup. heat} \xrightarrow[B.1.3]{Table} \text{interpol for T}$$

1) $T = 400^\circ C$, $v = 0.02053 \frac{m^3}{kg}$ — 2) $T = 450^\circ C$, $v = 0.10787 \frac{m^3}{kg}$ — $T = ?$, $v = 0.1$

$$\Rightarrow \frac{450 - 400}{0.10787 - 0.02053} = \frac{T - 400}{0.1 - 0.02053} \Rightarrow T = 427.30^\circ C$$

مهندسان شیمی تهران

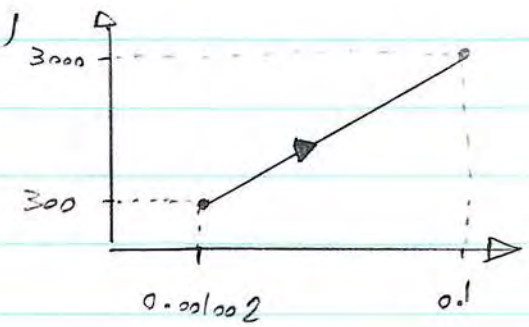
www.Endbook.net

$$\begin{cases} 3000 = C_1 + C_2 \times 0.1 \\ 300 = C_1 + C_2 \times 0.001002 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_2 = 27273.28 \ \frac{kPa}{m^3} \\ C_1 = 272.68 \ kPa \end{cases}$$

$$W = \int P dv = \int_{v_1}^{v_2} C_1 + C_2 v \, dv = C_1 v \Big]_{0.001002}^{0.1} - \frac{C_2}{2} v^2 \Big]_{0.001002}^{0.1}$$

$$\Rightarrow W = 26.994 + 136.3669 \Rightarrow W = 163.36 \ kJ$$

(فشار بر حسب kPa)



4.62، یک سیلندر پیستون دارای 1.5kg آب در فشار 200 kPa و دمای 150°C می‌باشد. در این سیستم تغییرات فشار و حجم به صورت خطی است. این سیستم را تا جایی سرد می‌کنیم تا به فشار 600kPa و دمای 350°C برسد. حجم نهایی و کار را حساب کنید.

State 1:

$$\begin{cases} m = 1.5 \ kg \\ P = 200 \ kPa \\ T = 150^{\circ}C \end{cases} \xrightarrow[B.1.1]{Table} Sup.heat \xrightarrow[B.1.3]{Table} v_1 = 0.95964 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_1 = m \cdot v_1 \Rightarrow V_1 = 1.439 \ m^3$$

State 2:

$$\begin{cases} P = 600 \ kPa \\ T = 350^{\circ}C \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{Table} v_2 = 0.47424 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_2 = m \cdot v_2 \Rightarrow V_2 = 0.71136 \ m^3$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$P = C_1 + C_2 v \Rightarrow \begin{cases} 600 = C_1 + 0.71136 C_2 \\ 200 = C_1 + 1.439 C_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 991.05 \text{ kPa} \\ C_2 = -549.792 \frac{\text{kPa}}{\text{m}^3/\text{kg}} \end{cases}$$

$$W = \int P dv = \int_{v_1}^{v_2} C_1 + C_2 v \, dv = C_1 v \Big|_{1.439}^{0.71136} + \frac{C_2}{2} v^2 \Big|_{1.439}^{0.71136}$$

$$W = -721.127 + 430.127 \Rightarrow W = -290.99 \text{ kJ}$$

(4.41) یک سیلندر و پیستون حاوی 1 kg آب مایع در 20°C حجم کل $0.1\ m^3$ می‌باشد. مشخص است که پیستون روی دو گیر قرار دارد و اگر را متوقف می‌کنند در حالی که به یک حرارت می‌دهیم تا بخار اشباع تبدیل شود درجه حرارت و حجم نهایی و کار را پیدا کنید.

State 1:

$$\begin{cases} m = 1 \text{ kg} \\ v_1 = 0.1 \ m^3 \\ v_1 = \frac{v_1}{m} = 0.1 \frac{m^3}{kg} \\ T = 20^\circ C \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{\text{Table}} \text{mixture} \longrightarrow \begin{cases} v_f = 0.001002 \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 57.7887 \ " \end{cases}$$

$$x = ? \Rightarrow x = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.1 - 0.001002}{57.7887 - 0.001002} \Rightarrow x = 0.001713$$

State 2:

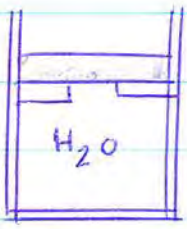
$$\begin{cases} v_1 = v_2 \Rightarrow v_2 = v_1 \Rightarrow v_2 = 0.1 \\ \text{Sat. vap} \end{cases} \xrightarrow[B.1.1]{\text{Table}} \text{interpol} \quad T = 212^\circ C$$

$$W = ? \quad \Delta v = 0 \Rightarrow W = 0$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

4.68 ، 10 kg آب در یک مجموعه سیلندر و پیستون در حالت بخار و فاقد اشباع در فشار 100 kPa و کیفیت 50٪ قرار دارد. آنقدر آن را گرم می‌کنیم تا حجم آن سه برابر شود. جرم پیستون به گونه‌ای است که وقتی فشار سیلندر 200 kPa باشد متعادل می‌شود. حجم و درجه حرارت نهایی بخار را بدست آورید.



State 1:

$m = 10\ kg$, $P = 100\ kPa$, Sat. vap and Liq, $x = 0.5$ $\xrightarrow[B.1.2]{Table}$ $T = 99.62^{\circ}C$, $v_f = 0.001043\ \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.694\ "$

$$v = (1-x)v_f + x v_g = (1-0.5)\times 0.001043 + 0.5\times 1.694$$

$$\Rightarrow v_1 = 0.8475$$

$$V_1 = m \cdot v_1 \Rightarrow V_1 = 8.475\ m^3$$

State 2:

$$V_2 = 3V_1 \Rightarrow v_2 = 3v_1 \Rightarrow v_2 = 2.5425\ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_2 = 3V_1 \Rightarrow V_2 = 25.425\ m^3$$

$P = 200\ kPa$

$$w = \int P\,dv = P\Delta v = P(v_2 - v_1) = 200(25.425 - 8.475)$$

$$\Rightarrow w = 3390\ kJ$$

$P = 200\ kPa$, $v = 2.5425$ $\xrightarrow[B.1.2]{Table}$ $T = ?$ ⟵ interpolate

1) $T = 800^{\circ}C$, $v = 2.47537\ \frac{m^3}{kg}$ 2) $T = 900^{\circ}C$, $v = 2.70643\ \frac{m^3}{kg}$ 3) $T = ?$, $v = 2.5425\ \frac{m^3}{kg}$

$$\frac{900-800}{2.70643-2.47537} = \frac{T-800}{2.5425-2.47537} \Rightarrow T = 829^{\circ}C$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

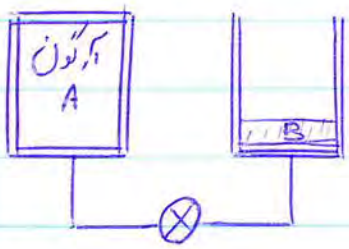
4.43) مخزن A به حجم 400 L حاوی گاز آرگون در فشار 250 kPa و دمای 30°C است

سیلندر B دارای پیستونی بدون اصطکاک است که دارای جرمی می باشد به فشار 150 kPa

آن را نگه داشته می شود و در ابتدا خالی است. شیر باز می شود و آرگون وارد B می شود و تا

نهایتاً به حالت تعادل با فشار 150 kPa و دمای 30°C برسد. فشار نهایی و کار انجام شده

در فرایند؟



State 1:

$$\begin{cases} V_1 = 0.4\ m^3 \\ T_1 = 30^\circ C \\ P_1 = 250\ kPa \end{cases} \Rightarrow P_1 V_1 = n_{A_1} R T_1 \Rightarrow n_{A_1} = \frac{P_1 V}{R T_1}$$

$$\Rightarrow n_{A_1} = \frac{250 \times 0.4}{8.314 \times (30 + 273.15)} \Rightarrow n_{A_1} = 0.039696\ kmol$$

State 2

$$P_2 = 150\ kPa$$
$$T_2 = 30^\circ C \Rightarrow P_2 V = n_{A_2} R T \Rightarrow n_{A_2} = \frac{P_2 V}{R T_2} \Rightarrow$$
$$V = 0.4\ m^3$$

$$n_{A_2} = \frac{0.4 \times 150}{8.314 \times (30 + 273.15)} \Rightarrow n_{A_2} = 0.0238\ kmol$$

$$n_B = n_{A_1} - n_{A_2} = 0.039696 - 0.0238 \Rightarrow n_B = 0.015896\ kmol$$

$$\begin{cases} P = 150\ kPa \\ n_B = 0.015896\ kmol \\ T = 30^\circ C \\ V_2 = ? \end{cases} \Rightarrow PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{0.015896 \times 8.314 \times 303.15}{150}$$

$$\Rightarrow V_2 = 0.267\ m^3$$

$$W = \int P dV = P(V_2 - V_1) = 150 \times 0.267 \Rightarrow W = 40.05\ kJ$$

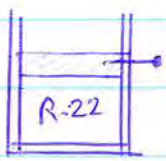
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

4.106) یک سیلندر عمودی دارای پیستون 61.18 kg است که توسط یک بن بلوکارنده 10 L از مبرد R-22 در 10° و کیفیت 90٪ درون آن نگه داشته شده است.

اگر فشار اتمسفر 100 kPa است و سطح مقطع سیلندر 0.006 m² می باشد.

حال بن بلوکارنده برداشته می شود و پیستون حرکت می کند تا درجه حرارت نهایی برای R-22 در دمای 10° متوقف گردد. فشار و حجم نهایی را بدست آورید.



حالت نهایی

$$PA = mg + P_0 A \Rightarrow P = \frac{mg}{A} + P_0 = 101.9 + 100 = 201.9\ kPa$$

State 1:

$$\begin{cases} v = 0.01\ m^3 \\ T = 10^{\circ}C \\ x = 0.9 \end{cases} \xrightarrow[B.4.1]{\text{Table}} \begin{cases} P = 680.7\ kPa \\ v_f = 0.0008\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.03471 \end{cases} \Rightarrow v = (1-x)v_f + x v_g$$

$$\Rightarrow v = (1-0.9)\times 0.0008 \times 0.9 \times 0.03471$$

$$\Rightarrow v = 0.031319\ \frac{m^3}{kg}, \quad m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.01}{0.031319} \Rightarrow m = 0.31929\ kg$$

State 2:

$$\begin{cases} P = 201.9\ kPa \\ T = 10^{\circ}C \end{cases} \xrightarrow[B.4.2]{\text{Table}} v_2 = 0.13129\ \frac{m^3}{kg}$$

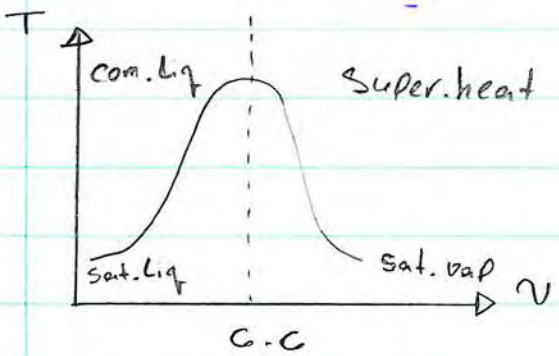
$$v_2 = V_2 \cdot m \Rightarrow V_2 = 0.0419\ m^3$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P\,dv = P(v_2 - v_1) = 201.9(0.0419 - 0.01) \Rightarrow W = 6.38\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

3.58) یک مخزن فولادی به حجم $0.015\ m^3$ حاوی $6\ kg$ مخلوطی از مایع و بخار در درجه حرارت $20^\circ C$ است. اگر این مخزن را به آرامی گرم کنیم آیا سطح مایع درون مخزن تا بالای مخزن صعود خواهد کرد و یا تمام مخزن بخار خواهد شد؟ اگر جرم اولیه $1\ kg$ بود چه اتفاقی می‌افتاد؟



$$\begin{cases} T_c = 369.8\ k \\ v_c = 0.0045\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$$

$$\begin{cases} m = 6\ kg \\ V = 0.015 \end{cases} \Rightarrow v = \frac{V}{m} = \frac{0.015}{6} \Rightarrow \begin{cases} v = 0.0025\ \frac{m^3}{kg} \\ T = 293.15\ k \end{cases}$$

در حالت اول چون $v_{sys} < v_c$ است در نتیجه Sat. liq داریم و سطح مایع افزایش می‌یابد.

$$\begin{cases} m = 1 \\ V = 0.015 \end{cases} \Rightarrow v = \frac{V}{m} = \frac{0.015}{1} \Rightarrow \begin{cases} v = 0.015 \\ T = 293.15\ k \end{cases}$$

در حالت دوم چون $v_{sys} > v_c$ است در نتیجه Sat. vap داریم و سطح مایع افت می‌کند.

نکته: بالاترین دما و فشاری که مایع و بخار می‌توانند در تعادل باشند نقطه بحرانی است.

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال: مخزن A به حجم $1\,m^3$ فرض است که در آن هوا در فشار $1500\,kPa$ و دمای $300\,k$ وجود دارد. از طریق یک شیر به سیلندر و پیستون B مربوط شده است. سطح مقطع پیستون $0.1\,m^2$ و برای $250\,kPa$ فشار لازم است که 2 متر بالا برود. در این حالت شیر را می‌بندیم. دما در این مراحل ثابت و $300\,k$ می‌ماند. مقدار هوای داخل A را حساب کنید.

State 1:

$$\begin{cases} P_1 = 1500\,kPa \\ T_1 = 300\,k \\ V_A = 1\,m^3 \end{cases} \Rightarrow P_1 V_A = n_{A_1} RT \Rightarrow n_{A_1} = \frac{P_1 V_A}{RT}$$

$$\Rightarrow n_{A_1} = \frac{1500 \times 1}{8.314 \times 300} \Rightarrow n_{A_1} = 0.60139\,kmol$$

State 2:

$$\begin{cases} P_B = 250\,kPa \\ V_B = 2 \times 0.1 = 0.2\,m^3 \\ T = 300 \end{cases} \Rightarrow n_B = \frac{P_B V_B}{RT} = \frac{250 \times 0.2}{8.314 \times 300}$$

$$\Rightarrow n_B = 0.02004\,kmol$$

$$n_{A_2} = n_A - n_B = 0.60139 - 0.02004 \Rightarrow n_{A_2} = 0.58135\,kmol$$

$$\Rightarrow P_2 V_A = n_{A_2} RT \Rightarrow P_2 = \frac{n_{A_2} \times RT}{V_A} = \frac{0.58135 \times 8.314 \times 300}{1}$$

$$\Rightarrow P_2 = 1449.7\,kPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

4.112) هوا، $200\,kPa$ و $30^{\circ}C$ درون سیلندر پیستون با حجم اولیه $0.1\,m^3$ قرار دارد. فشار داخل با فشار محیط $100\,kPa$ تفاوت یک فنر بیرونی متناسب با $V^{0.5}$ متعادل می‌شود. حال به سیستم حرارت می‌دهیم تا P به $225\,kPa$ برسد. درجه حرارت نهایی چقدر شده؟

State 1:

$P = 200\,kPa$

$T = 30 + 273.15 = 303.15\,K$

$V = 0.1$

$$\Rightarrow PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{200 \times 0.1}{8.314 \times 303.15}$$

$$\Rightarrow n = 0.0079\,kmol$$

$$P = 100 + AV^{0.5} \Rightarrow 200 = 100 + A \times (0.1)^{1/2} \Rightarrow A = 316.23\ \frac{kPa}{(m^3)^{1/2}}$$

State 2:

$P = 225 \Rightarrow 225 = 100 + 316.23 \times \sqrt{V} \Rightarrow V = 0.15625\,m^3$

$$PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR} = \frac{225 \times 0.15625}{0.0079 \times 8.314} \Rightarrow T = 535.260\,K$$

$$w = \int P\,dV = \int_{V_1}^{V_2} 100 + A\sqrt{V}\,dV \Rightarrow w = 11.979\,kJ$$

4.114) یک سیلندر پیستون حاوی $1\,kg$ آب در دمای $20^{\circ}C$، حجم $0.1\,m^3$ قرار دارد. ابتدا پیستون روی دو مانع قرار گرفته است و سطح بالایی آن به اتمسفر متصل است (P_0). وزنه آن چنان است که با فشار $400\,kPa$ آب را متعادل می‌کند. درجه حرارت آب تا چه مقدار باید گرم شود تا پیستون بلند شود. اگر حرارت تا حد بخار اشباع بالا برود

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

State 1:

$$\begin{cases} m = 1\ kg \\ v = 0.1\ m^3 \\ v = 0.1\ m^3 \\ T = 20^{\circ}C \end{cases} \xrightarrow[B.1.1]{\text{Table}} \text{mixture} \longrightarrow \begin{cases} P = 2.339\ kPa \\ v_f = 0.001002 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 57.7897 \ \text{"} \end{cases}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.1 - 0.001002}{57.7897 - 0.001002} \Rightarrow x = 0.0017$$

State 2:

$$\begin{cases} P = 400 \\ v = 0.1\ m^3 \end{cases} \xrightarrow[B.12]{\text{Table}} \begin{cases} T = 143.63 \\ v_f = 0.001084 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.46246 \ \text{"} \end{cases}$$

$$\text{if } v = v_g = 0.46246 \frac{m^3}{kg} \Rightarrow V = 0.46246\ m^3$$

$$\Rightarrow w = \int P dv = \int_{v_1}^{v_2} P dv = P(v_2 - v_1) = 400(0.46246 - 0.1)$$

$$w = 144.984\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 5-44) یک مخلوط سیلندر - پیستون شامل مقدار ثابت بخار آب 0.2kg به فشار اولیه 400kPa است حال آن را سردی میدهند به طوری که نیمی از حجم را اشغال می کند. انتقال حرارت در این فرآیند را محاسبه کنید.

State 1: $m = 0.2\ kg$, $P = 400\ kPa$

Table B.1.2 → sat. vap, $P = 400\ kPa$ ⇒ $T = 143.6^{\circ}C$, $v_1 = 0.46246\ \frac{m^3}{kg}$, $u_1 = 2553.55\ \frac{kJ}{kg}$

$V_1 = V.m = 0.2 \times 0.46246 \Rightarrow V = 0.092492\ m^3$

State 2: $V_2 = \frac{1}{2} V_1 = 0.046246\ m^3$

$v_2 = \frac{1}{2} v_2 \Rightarrow v_2 = 0.46246 \times \frac{1}{2} = 0.23123\ \frac{m^3}{kg}$

Table B.1.2 → $P = 400\ kPa$, $v_2 = 0.23123\ \frac{m^3}{kg}$ → mix → $v_f = 0.001084\ \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.46246$ ", $u_f = 604.29\ \frac{kJ}{kg}$, $u_g = 2553.55$ "

$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.23123 - 0.001084}{0.46246 - 0.001084} = 0.4988$

$u_2 = (1-x)u_f + x u_g = 0.5012 \times 604.29 + 0.4988 \times 2553.55$

$u_2 = 1576.5808\ \frac{kJ}{kg}$

$w = \int P dv = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P\Delta v = 400 \times (0.46246 - 0.092492)$

$w = -18.498\ kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$\Delta U = U_2 - U_1 = (1576.5808 - 2553.55) \times 0.2 = -195.39384$$

$$Q - W = \Delta U \quad \Rightarrow Q = -213.8718\ kJ$$

مثال) یک سیلندر با پیستون آزادی در فشار 200kPa و دمای $-10^{\circ}C$ در سیلندر وجود دارد. فشار به صورت خطی با حجم تغییر می‌کند این سیستم را تا دمای $120^{\circ}C$ و فشار 300 kPa گرم می‌کنیم. میزان انتقال حرارت را حساب کنید.

State 1: $m = 0.5\ kg \quad P = 200\ kPa \quad T = -10^{\circ}C$

Table B.2.1 ⟹ Superheated ⟶ Table B.2.2 $\begin{cases} v_1 = 0.6193 \frac{m^3}{kg} \\ u_1 = 1316.9 \frac{kJ}{kg} \end{cases}$

$$V_1 = v_1 \cdot m = 0.6193 \times 0.5 = 0.30965\ m^3$$

State 2: $T = 120^{\circ}C$, $P = 300\ kPa$

Table B.2.2 $\xrightarrow{\text{super.h}}$ $\begin{cases} v_2 = 0.63276 \frac{m^3}{kg} \\ u_2 = 1542 \frac{kJ}{kg} \end{cases}$

$$V_2 = v_2 \cdot m = 0.63276 \times 0.5 = 0.31638\ m^3$$

$$P = C_1 + C_2 v \quad \begin{cases} 200 = C_1 + C_2 (0.30965) \\ 300 = C_1 + C_2 (0.31638) \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} C_1 = -4401.04\ kPa \\ C_2 = 14858.84 \frac{kPa}{m^3} \end{matrix}$$

$$W = \int P dv = \int_{v_1}^{v_2} C_1 + C_2 v = 1,742\ kJ$$

$$\Delta U(m) = (u_2 - u_1) m = (1542 - 1316.9) \times 0.5 = 112.55\ kJ$$

$$Q = W + \Delta U$$

$$Q = 114.292\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 5-58) ظرف صلبی به حجم 1 m³ توسط دیافراگمی به دو محفظه که هر دو دارای آب می باشند تقسیم شده است. محفظه A دارای حجم $V_A = 1\ m^3$، حجم مخصوص $v = 0.5\ \frac{m^3}{kg}$، و فشار 200 kPa است. محفظه B حاوی 3.5 kg آب در فشار 0.5 MPa و درجه حرارت 400 °C است. دیافراگم پاره می شود و حرارت به میزان اندکی انتقال می یابد به طوری که دما در نهایت یکسان و درجه حرارت 100 °C می رسد. مقدار انتقال حرارت در طی فرایند را محاسبه کنید.

State 1:

A: $P = 200\ kPa$, $V_A = 1\ m^3$, $v_A = 0.5\ \frac{m^3}{kg}$, $m_A = \frac{V}{v} = 2\ kg$

Table B.1.2 (m.x) ⇒ $v_f = 0.001061\ \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.88573$ ", $u_f = 504.47\ \frac{kJ}{kg}$, $u_g = 2529.49$ "

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.5 - 0.001061}{0.88573 - 0.001061} = 0.564$$

$$u_A = u_f(1 - x) + x u_g = 1646.6\ \frac{kJ}{kg}$$

B: $P = 500\ kPa$, $m_B = 3.5\ kg$, $T = 400\ ^\circ C$

Table B.1.1 super Table B.1.3 ⇒ $v_B = 0.61728\ \frac{m^3}{kg}$, $u_B = 2963.19\ \frac{kJ}{kg}$

$$V_2 = m_2 \cdot v_2 = 3.5 \times 0.61728 = 2.16048\ m^3$$

State 2: $m_2 = m_A + m_B = 2 + 3.5 = 5.5\ kg$

$$V_2 = V_A + V_B = 1\ m^3 + 2.16048\ m^3 = 3.16048\ m^3$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{3.16048}{5.5} = 0.57463\ \frac{m^3}{kg}$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$v_t = 0.57463 \frac{m^3}{kg}$, $T = 100^\circ C$ $\Rightarrow$ Table B.1.1 $\xrightarrow{\text{mix}}$ $P = 101.3$ kPa

$v_f = 0.001044 \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.6727$ "

$u_f = 418.91 \frac{kJ}{kg}$, $u_g = 2506.5$ "

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.57463 - 0.001044}{1.6727 - 0.001044} = 0.343$$

$$u = (1-x)u_f + x u_g = 0.657 \times 418.91 + 0.343 \times 2506.5$$

$$u_2 = 1134.95 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = w + \Delta U \qquad \Delta U = U_2 m_2 - (U_A m_A + U_B m_B), \quad w = 0$$

$$\Delta U = 1134.95 \times 5.5 - (2 \times 1646.6 + 2963.19 \times 3.5)$$

$$Q = \Delta U = -7421 \text{ kJ}$$

مثال 4.133E) سیلندر پیستون مثال داده شده در مثل زیر حاوی دی اکسیدکربن در

$5 ft^3$ با جرم $5 lb$ با $200 F$, $50 lbf/in^2$ است. حرم را با جریان برق به آن اضافه می‌شود

به طوری که رابطه $PV^{1.2} = C$ برقرار شده، دما در حرارت نهایی $350 F$ می‌رسد.

state 1:

$P = 50 lbf/in^2$, $T = 200 F$, $V = 5 ft^3$ با استفاده از جدول زیر را حساب نیز

$R = F + 460$

$R = 200 + 460 = 660^\circ R$

دی‌اکسید کربن CO_2 $\begin{cases} T_c = 147.4^\circ R \\ P_c = 1070 lbf/in^2 \end{cases}$

$\Rightarrow T_{system} > T_c$ پس غیر ممکن است به تعادل دائمی باشیم، پس باز داریم

$$PV = nRT \Rightarrow 50 \times 5 = n \times 10.73 \times 660 \Rightarrow n = 0.0353 \text{ lbmol}$$

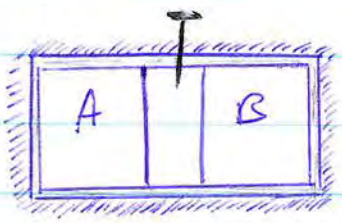
$$PV^{1.2} = C \Rightarrow C = 50 \times 5^{1.2} \Rightarrow C = 344.932$$

$$w = \int P dV = \int_{V_1}^{V_2} C V^{-1.2} dV$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

5.95 یک سیلندر عایق مطابق شکل زیر توسط یک پیستون که در ابتدا قفل شده است به دو بخش با حجم‌های $1\,m^3$ تقسیم شده است. بخش A دارای هوا در $1000\,K$, $0.1\,MPa$ و بخش B دارای هوا در $300\,K$, $200\,kPa$ می‌باشد. اگر قفل باز شود و پیستون آزادانه حرکت کند و مقدار انتقال حرارت به گونه‌ای است که هوا به دمای حرارت یکسان $T_A = T_B$ می‌رسد. جرم موجود در A, B و مقادیر نهایی T, P را بیابید.



State 1:

$$A:\begin{cases} T = 300\,k \Rightarrow PV = mRT \Rightarrow m = \dfrac{PV}{RT} \\ P = 200 \Rightarrow m = \dfrac{200 \times 1}{0.287 \times 300} = 2.323\,kg \\ V = 1\,m^3 \\ \text{Table A7.1} \Rightarrow u_A = 214.36\ \dfrac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$B:\begin{cases} T = 1000\,k \Rightarrow PV = mRT \Rightarrow m = \dfrac{PV}{RT} \\ P = 100\,kPa \Rightarrow m = \dfrac{100 \times 1}{0.287 \times 1000} = 3.48\,kg \\ V = 1\,m^3 \\ \text{Table A7.1} \Rightarrow u_B = 759.19\ \dfrac{kJ}{kg} \end{cases}$$

State 2

$$Q = 0,\ W = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow U_2 = U_1 \quad (m_A + m_B)u_2 = u_A m_A + u_B m_B$$

$$\Rightarrow u_2 = \frac{u_A m_A + u_B m_B}{m_A + m_B} = \frac{214.36 \times 2.323 + 759.19 \times 3.48}{2.323 + 3.48}$$

$$\Rightarrow u_2 = 541.24\ \frac{kJ}{kg} \xrightarrow[A7.1]{\text{Table}} T = 736\,K$$

$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{(m_A + m_B)RT}{V} = \frac{(2.323 + 3.48) \times 0.287 \times 736}{2}$$

$$P = 613\,kPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Enbook.net

مهندسان شیمی تهران

www.ChemEng.ir

مشاوره و پشتیبانی

مشاوره پشتیبانی ۲۴ ساعته
از طریق سایت و تلگرام

دوره های آموزشی

برگزاری دوره های
تخصصی مهندسی شیمی
به صورت حضوری و مجازی

فایل های تصویری

تولید محتوای تصویری
آموزشی مهندسی

جزوات و کتاب های اختصاصی

ارائه جزوات،کتاب ها و نرم افزارهای
تخصصی مهندسی شیمی

info@ChemEng.ir

021-36601980 , 0935-5930404

https://telegram.me/chemicalengineering

https://www.instagram.com/chemeng.ir

www.Endbook.net

5.93) یک سیلندر به ارتفاع 1m با سطح مقطع $0.1m^2$ دارای پیستون جرم است که در ابتدا قرار گرفته است و مقداری آب $20^{\circ}C$ روی آن قرار دارد. هوا در 300k با حجم $0.3m^3$ در زیر پیستون قرار دارد. شیر پیستون باز می‌شود تا پیستون حرکت کرده و آب را بیرون بریزد. اگر حرارت هوا را آنقدر بدهیم که آب به بیرون ریخته شود چه مقدار حرارت باید بدهیم؟

State 1:

water $\begin{cases} T = 20^{\circ}C \\ P = 100\ kPa \\ v = 0.7m^3 \end{cases}$ $\xrightarrow[B.1.1]{T}$ $v_f = 0.001002\ \frac{m^3}{kg}$

$\Rightarrow m = \frac{v}{v} = \frac{0.7}{0.001002} = 698.602\ kg$

پیستون $PA = P_0A + mg \Rightarrow P = P_0 + \frac{mg}{A} = 101.325 + \frac{698.602 \times 9.81}{0.1} \Rightarrow$

$P = 168.84\ kPa$

Air $\begin{cases} T = 300\ k \\ P = 168.84\ kPa \\ v = 0.3 \end{cases}$ $\Rightarrow Pv = mRT \Rightarrow m = \frac{Pv}{RT} = \frac{168.84 \times 0.3}{0.287 \times 300}$

$\Rightarrow m = 0.5882\ kg$

state 2: $P = P_0$

$Pv = mRT \Rightarrow T = \frac{Pv}{mR} = \frac{101.325 \times 1}{0.5882 \times 0.287} \Rightarrow T = 600\ k$

$w = \int P dv = P_{Average}(v_2 - v_1) = 135.08 \times 0.7 \Rightarrow w = 94.55\ kJ$

Air $\begin{cases} T_1 = 300\ k \longrightarrow u_1 = 214.36\ kJ/kg \\ T_2 = 600k \longrightarrow u_2 = 435.1\ " \end{cases}$

$\Delta u = u_2 - u_1 = (435.1 - 214.36) \times 0.5882$

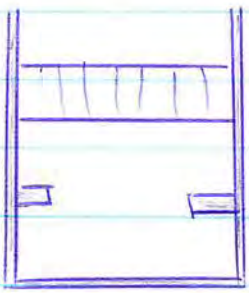
$\Rightarrow \Delta u = 129.83\ kJ$

$Q = \Delta u + w = 129.83 + 94.55 \Rightarrow Q = 224.38\ kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

5.19) یک سیلندر و پیستون دارای 0.5kg هوا در 2000kPa و 1000K است سیلندر دارای موانعی است به طوری که $V_{min} = 0.03m^3$ خواهد بود حال هوا را تا 400K سرد می‌کنیم و اتصال حرارت به محیط صورت می‌گیرد. تغییر فشار نهایی هوا را حساب کنید (آیا به موانع برخورد می‌کند) کار انجام شده و انتقال حرارت در طی فرایند را بیابید



state1:

Air $\begin{cases} m = 0.5kg \\ P = 2000\ kPa \\ T = 1000\ K \\ u_1 = 759.19\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$ $\Rightarrow PV = mRT \Rightarrow v = \frac{mRT}{P}$

$v = \frac{0.5 \times 0.287 \times 1000}{2000} = 0.0717 m^3$

State 2:

$\begin{cases} T = 400\ K \\ v = 0.03 m^3 \\ m = 0.5 kg \\ u_2 = 286.49\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$ $PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{v} = \frac{0.5 \times 0.287 \times 400}{0.03}$

$\Rightarrow P = 1913.33\ kPa$

$w = \int P dv = P_{Average} (v_2 - v_1) = 2000(0.03 - 0.0717) = -83.4 kJ$

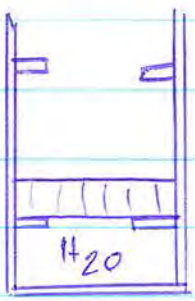
$\Delta u = (u_2 - u_1)m = (286.49 - 759.19) \times 0.5 = -292.7\ kJ$

$Q = \Delta u + w = -83.4 - 472.7 \Rightarrow Q = -376.1\ kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

5.132) سیلندر زیر که در آن پیستون بدون اصطکاک می‌تواند آزادانه بین توقف‌ها حرکت کند را در نظر بگیرید. هنگامی که پیستون روی توقف‌ها قرار دارد حجم محدود شده 400 L و وقتی پیستون به توقف‌های بالا می‌رسد حجم محدود شده 600 L خواهد بود. در ابتدا سیلندر حاوی آب با 100 kPa، کیفیت 20٪ است. سیستم را حرارت می‌دهیم تا آب به حالت بخار اشباع درآید. اگر نیروی حرکت پیستون در مقابل فشار محیط و وزن آب نیاز به فشار 300 kPa باشد، فشار و انتقال حرارت در کار را بیابید.



State 1:

$v = 0.4\ m^3$, $P = 100\ kPa$, $x = 0.2$ $\xrightarrow[B.1.2]{Table}$ $v_f = 0.001043\ m^3/kg$, $v_g = 1.694$ "; $u_f = 417.33\ kJ/kg$, $u_g = 2506.06$ "

$$v = (1-x)v_f + x v_g = 0.8 \times 0.001043 + 0.2 \times 1.694$$

$$\Rightarrow v_1 = 0.33883\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u = (1-x)u_f + x u_g = 0.8 \times 417.33 + 0.2 \times 2506.06$$

$$u_1 = 835.076\ \frac{kJ}{kg}$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0.4}{0.33883} \Rightarrow m = 1.18053\ kg$$

State 2:

$P = 300$, $m = 1.18053\ kg$, $V = 0.6\ m^3$ $\xrightarrow[B.1.2]{Table}$ $v = 0.50824\ \frac{m^3}{kg}$

$$v_2 = \frac{0.6}{1.18053} = 0.50824\ m^3/kg \xrightarrow[B.1.2]{Table}$$

Sat. vap

1) $P = 350\ kPa$, $v = 0.52425\ m^3/kg$

2) $P = 375\ kPa$, $v = 0.49137\ \frac{m^3}{kg}$

$P = ?$, $v = 0.50824$ $\Rightarrow P_2 = 362.17$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

state 2 :

$T_2 = 350\ ^\circ F = 810\ ^\circ R$

$Pv = nRT \Rightarrow \begin{cases} P_2 v_2 = 0.0353 \times 10.73 \times 810 \\ P_2 v_2^{1.2} = 344.932 \end{cases}$

برای تقسیم می کنیم

$v_2^{0.2} = \dfrac{344.932}{0.0353 \times 10.73 \times 810} = 1.124\ ft^3 \Rightarrow v_2 = (1.124)^5$

$v = 1.794\ ft^3$

$W = c\left(\dfrac{v^{-0.2}}{-0.2}\Big|_5^{1.794}\right) = \dfrac{c}{0.2}\left(5^{-0.2} - 1.794^{-0.2}\right)$

مثال) مثال فرض کنید به جای آب در این سیستم هوا وجود داشته باشد بسیار

حجم اولیه به ترتیب 150 kPa ، 1 Liter و در حالت نهایی به ترتیب 800 kPa حجم

1.5 Liter شد. کار این سیستم را حساب کنید.

$P = C_1 + C_2 v \Rightarrow \begin{cases} 150 = C_1 + 10^{-3} C_2 \\ 800 = C_1 + 1.5 \times 10^{-3} C_2 \end{cases}$

$C_2 = \dfrac{650}{0.5 \times 10^{-3}} = 13 \times 10^5\ kPa/m^3$, $C_1 = -1150\ kPa$

$W = \int P\,dv = \int_{v_1}^{v_2} C_1 + C_2 v\,dv = C_1 \Delta v + C_2\left(\dfrac{1}{2} v^2\Big|_{v_1}^{v_2}\right)$

$W = -575 \times 10^{-3} + \dfrac{13 \times 10^5}{2}\left(2.25 - 1\right) \times 10^{-6} = 0.2375\ kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

www.Endbook.net

$u_2 = ?$ | 1) $2548.92 \frac{kJ}{kg}$, $P = 350\ kPa$ | 2) $u = 2551.31 \frac{kJ}{kg}$, $P = 375\ kPa$ | $u = ?$, $P = 362.17\ kPa$

$$\Rightarrow \frac{2551.31 - 2548.92}{375 - 350} = \frac{u - 2548.92}{362.12 - 350} \Rightarrow u = 2550.083$$

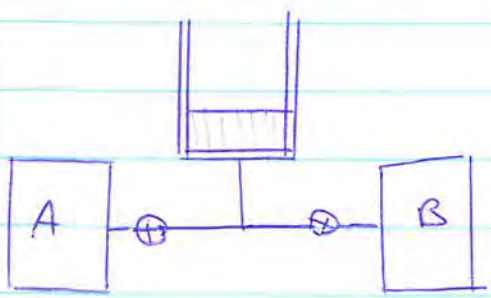
$$w = \int P dv = 300 \times (0.6 - 0.4) = 60\ kJ$$

$$\Delta U = (U_2 - U_1)\, m = (2550.08 - 835.076) \times 1.1805$$

$$\Delta U = 2024.6136\ kJ$$

$$Q = \Delta U + w = 2024.6136 + 60 \Rightarrow Q = 2084.6136\ kJ$$

۵.۷۰) یک مخزن صلب A با حجم $0.6\ m^3$ حاوی $3\ kg$ آب در دمای $120^{\circ}C$، مخزن صلب B با حجم $0.4\ m^3$ حاوی آب در $600\ kPa$ و $200^{\circ}C$ است. این دو مخزن به یک سیلندر پیستون که در ابتدا خالی است توسط شیرهای به صورت شکل زیر متصل شده‌اند. حال که سیلندر با $800\ kPa$ باشد پیستون شناور می‌شود. حال که این شیرها را باز می‌کنیم تا دمای آب به $250^{\circ}C$ برسد، شیرها را بسته، حجم نهایی و کار و انتقال حرارت را بیابید.



State 1: A

$$\begin{cases} v = 0.6\ m^3 \\ m = 3\ kg \\ v = \frac{v}{m} = 0.2 \frac{m^3}{kg} \\ T = 120 \end{cases} \xrightarrow[B.1.1]{T} \begin{cases} v_f = 0.001060 \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.89186 \ " \\ u_f = 503.48 \frac{kJ}{kg} \\ u_g = 2529.24 \ " \\ P = 198 \end{cases}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.2 - 0.001060}{0.89186 - 0.001060} \Rightarrow x = 0.223$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$u = (1-x)u_f + xu_g = (1-0.223)\times 503.48 + 2529.44 \times 0.223$

$u_A = 955.269 \ kJ/kg$

B $\begin{cases} v = 0.4\ m^3 \\ P = 600\ kPa \\ T = 200^\circ C \end{cases}$ $\xrightarrow[B.1.1]{Table}$ Supr. heat $\xrightarrow[B.1.3]{Table}$ $\begin{cases} v = 0.35202 \ m^3/kg \\ u = 2638.91 \ kJ/kg \end{cases}$

$m_B = \frac{V}{v} = \frac{0.4}{0.35202} = 1.1363 \ kg$

$U_1 = m_A u_A + m_B u_B = 1.1363 \times 2638.91 + 3 \times 955.269$

$\Rightarrow U_1 = 5864.4 \ kJ$

State 2:

$\begin{cases} P = 800\ kPa \\ T = 250^\circ C \end{cases}$ $\xrightarrow{B.1.3}$ $\begin{cases} u_2 = 2715.46 \ \frac{kJ}{kg} \\ v_2 = 0.29314 \ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$

$\Rightarrow U_2 = (m_A + m_B) u_2 = (3 + 1.1363) 2715.46 = 11231.957 \ kJ$

$v_2 = \frac{V_2}{(m_A + m_B)} \Rightarrow V_2 = 0.29314 \times 4.1363 = 1.2125$

$w = \int P dv = P\Delta V = 800(1.2125 - 0) = 970 \ kJ$

$Q = \Delta u + w = (U_2 - U_1) + 970 = 6337.557 \ kJ$

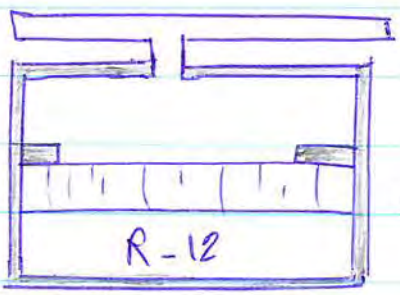
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

5.66 R-12 در درون یک سیلندر در فشار و درجه حرارت 2MPa و 150°C قرار دارد.

پیستون روی لوله دیدرک متوقف قرار دارد و در این لحظه حجم آن $V=0.5m^3$ می باشد

مطابق شکل طرف بالای پیستون از طریق یک شیر باز به خط هوا با 450kPa و 10°C متصل است. اگر تمام مجموعه را تا درجه حرارت 10°C خنک کنیم. مقدار انتقال حرارت را بیابید.



State 1:

$$R-12 \begin{cases} P=2000\ kPa \\ T=150^{\circ}C \\ V=0.5m^3 \end{cases} \xrightarrow{T} \begin{cases} v=0.01265\ \frac{m^3}{kg} \\ u_R=252.1\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow m=\frac{V}{v}=\frac{0.5}{0.01265} \Rightarrow m=39.523\ kg$$

$$Air \begin{cases} T=10^{\circ}C \\ P=450 \end{cases} \xrightarrow[\text{interpol}]{A7} u_A=202.2648$$

State 2:

$$R-12 \begin{cases} T=10^{\circ}C \\ m_R=39.523\ kg \\ Liq \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P=423.3 \\ v=0.000733\ \frac{m^3}{kg} \\ u_{R'}=45.06\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$V=v.m=0.02897\ m^3$$

$$Air \begin{cases} T=10^{\circ}C \\ P=450\ kPa \end{cases} \longrightarrow u_{A'}=202.2648$$

$$w=\int P dv = P(V_2-V_1)=450(0.02897-0.5)=-212\ kJ$$

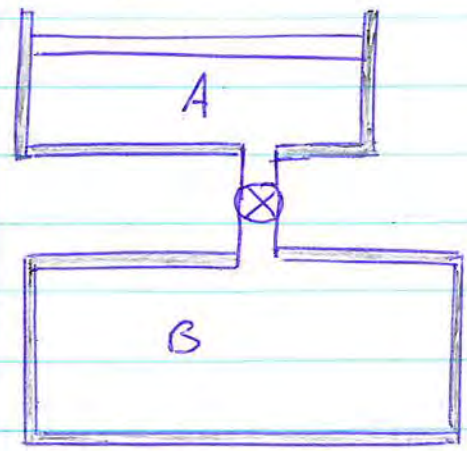
$$\Delta u=u_2-u_1=m_R u_{R'}+m_A u_{A'}-m_R u_R-m_A u_{A'}=-8182.842\ kJ$$

$$Q=\Delta u+w \Rightarrow Q=-8394.842\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

5.69) حجم سیلندر در شکل پیستون بارگذاری شده دارای دو قسمت (A, B) که توسط یک شیر نگه داشته شده است. قسمت A دارای 0.5kg آب در 200kPa و 150°C و قسمت B در 400kPa با کیفیت 50% است. حجم آن $0.1\ m^3$ می‌باشد. شیر باز می‌شود و حرارت انتقال می‌یابد به طوری که آب به حالت یکنواخت و حجم کل $1.006\ m^3$ می‌رسد. الف) جرم کل آب ب) حجم اولیه‌ی B ج) انتقال حرارت



State 1

$$A\begin{cases} P = 200\ kPa \\ T = 150^{\circ}C \\ m = 0.5\ kg \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{T} \begin{cases} v_A = 0.95964\ \frac{m^3}{kg} \\ u_A = 2576.87\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V = v \cdot m \Rightarrow V_A = 0.47982\ m^3$$

$$B\begin{cases} P = 400\ kPa \\ x = 0.5 \\ V = 0.1\ m^3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_f = 0.001084\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.46246\ " \\ u_f = 604.27\ \frac{kJ}{kg} \\ u_g = 2553.55\ " \\ T = 143^{\circ}C \end{cases}$$

$$v = (1-x)v_f + x v_g \Rightarrow v_B = 0.231772\ \frac{m^3}{kg},\ m_B = 0.43145\ kg$$

$$u = (1-x)u_f + x u_g \Rightarrow u_B = 1578.92\ kJ/kg$$

State 2:

$$\begin{cases} V = 1.006\ m^3 \\ m_T = 0.93145\ kg \end{cases} \Rightarrow v = \frac{V}{m} = 1.08003\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\Rightarrow T, B.1.3 \Rightarrow \begin{cases} u_2 = 2654.39\ \frac{kJ}{kg} \\ T = 200^{\circ}C \end{cases}$$

$$w = \int P\,dv = 200\,(1.006 - 0.5798) = 85.24\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$\Delta u = u_2 - u_1 = m_T u_2 - (m_A u_A + m_B u_B) \Rightarrow \Delta u = 502.771$$

$$Q = \Delta u + W = 588.011 \text{ kJ}$$

5.133) سیلندر پیستون نشان داده شده در شکل حاوی مبرد R-12 در $-30^\circ C$ است. کیفیت مخلوط شده در فشار و حجم پیستون به ترتیب $x = 20\%$ و $0.2 m^3$ می باشد. مخلوط شده تا فشار و حجم پیستون به ترتیب $V_{stop} = 0.4 m^3$ است، وقتی پیستون درگیر سیلندر قرار دارد نیروی فنر با سایر نیروهای وارد بر پیستون برابر است. اگر سیلندر تا $20^\circ C$ گرم شود مقادیر کار، حرارت مبادله شده، حجم نهایی را بیابید.

State1:

R-12 $\begin{cases} T = -30^\circ C \\ x = 0.2 \\ V = 0.2 m^3 \end{cases} \Rightarrow$ $\begin{cases} v_f = 0.000677 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.15737 \ " \\ u_f = 8.79 \ \frac{kJ}{kg} \\ u_g = 158.19 \ " \\ P = 100 kPa \end{cases}$

$$v = (1-x) v_f + x v_g \Rightarrow v = 0.0324 \ \frac{m^3}{kg}, \ m = 6.17 kg$$

$$u = (1-x) u_f + x u_g \Rightarrow u = 38.67 \ \frac{kJ}{kg}$$

State2:

$\begin{cases} T = 20 \\ V = 0.4 \\ m = 6.17 \\ v = \frac{0.4}{6.17} = 0.06482 \end{cases} \Rightarrow$ $\begin{cases} P = 324.95 kPa \\ u = 180.769 \ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

www.Endbook.net

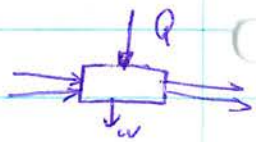
سیستم های باز (open system) :

در سیستم های باز امکان ورود و خروج ماده وجود دارد .

سطح انرژی اولیه (u) — سطح انرژی جدید (h)

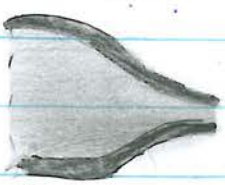
انرژی داده شده + u = سطح انرژی جدید $\qquad H = u + Pv$

انرژی هر جریان سیال = $h + \frac{v_i^2}{2} + g z_i$ (سرعت سیال، ارتفاع)



$$\sum m_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) + Q = W + \sum m_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right)$$

مثال 6.31) بخار آب با دبی $0.1\ kg/s$ و فشار $1MPa$ در شرایط $400^{\circ}C$ وارد یک نازل می شود . خروجی در $500kPa$ و $350^{\circ}C$ است و جریان با انرژی جنبشی ناچیز وارد می شود . آیا نازل (یا دیفیوزر) مناسب است ؟ سرعت در خروجی نازل و سطح مقطع نازل را بیابید .



فرآیندی در آن است پس $Q=0$ ، کار هم برابر $0 = W$ است .

نازل : وسیله ای است که هدف آن ایجاد جریان سیال با سرعت بالا با تغییر در فشار آن است . از این وسیله برای انبساط سیال در حال جریان ناشی از پایین در نتیجه افزایش سرعت است . ($\frac{dP}{dv} < 0$ تغییرات فشار به تغییرات سرعت منفی است)

معادله انرژی $\Rightarrow \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 \right) = \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \right) \dot{m}_2$

و $z_1 = z_2$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

State 1 : $v_1 = 0$ Table B.1.3 $\begin{cases} P_1 = 1000\ kPa \\ T_1 = 400\ ^\circ C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_1 = 3263.88\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$

State 2 : Table B.1.3 $\begin{cases} P_2 = 500\ kPa \\ T_2 = 350\ ^\circ C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_2 = 3167.65\ \frac{kJ}{kg} \\ v_2 = 0.57012 \end{cases}$

از معادله انرژی داریم : $h_1 = h_2 + \frac{v_2^2}{2000} \Rightarrow v_2 = \sqrt{(h_1 - h_2)2000}$

$$\Rightarrow v_2 = \sqrt{(3263.88 - 3167.65)2000} = 438.7\ \frac{m}{s}$$

نکته : عبارتهای gz_i ، gz_e ، $\frac{1}{2}v_i^2$ ، $\frac{1}{2}v_e^2$ در سیستم SI باید به صورت تقسیم شوند تا بتوان آنها را با h با واحد $\frac{kJ}{kg}$ جمع و تفریق کرد.

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

$$\dot{m} = \dot{m}_2 = \rho A v = \frac{Av}{v} \Rightarrow A = \frac{\dot{m} v}{v} = \frac{0.1 \times 0.57012}{438.7} \Rightarrow A = 0.00013\ m^2$$

مثال 6.36) پخش کننده‌های (diffuer) حالت پایدار برای ماشین سرعت و فشار سیال طراحی می‌شوند. پخش کننده‌ای را در نظر بگیرید که هوا در $300^\circ k$ ، $100\ kPa$ با سرعت $200\ \frac{m}{s}$ وارد آن می‌شود. سطح مقطع ورودی پخش کننده $100\ mm^2$ و خروجی آن $860\ mm^2$ است. اگر سرعت خروج از پخش کننده $20\ \frac{m}{s}$ باشد، دمای خروج هوا در خروج از پخش کننده‌ها را بیابید.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad , \quad Z_1 = Z_2 \quad , \quad w, Q = 0$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

input: $A = 100\ mm^2$, $v_1 = 200\ \frac{m}{s}$, $P = 100\ kPa$, $T = 300\ ^\circ k$

output: $A = 800\ mm^2$, $v = 20\ m/s$, $P = ?$, $T = ?$

معادله انرژی: $\dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 \right) = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \right)$

$$\Rightarrow h_1 - h_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

آنتالپی گاز ایده‌آل: الف) c_p ثابت و ظرفیت حرارتی ویژه در T ثابت

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} c_p \, dT = c_p (T_2 - T_1)$$

طبق جدول A.5 ظرفیت حرارتی ویژه هوا (c_p) برابر است با $c_p = 1.004\ \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ k}$

$$\Rightarrow h_1 - h_2 = c_p (T_1 - T_2) = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \Rightarrow 1.004 (300 - T_2) = \frac{(20)^2 - (200)^2}{2}$$

$$\Rightarrow T_2 = 319.72\ ^\circ k$$

راه دوم:

ب) استفاده از جدول A.7.1 (خواص هوا به عنوان گاز ایده‌آل)

Table A.7.1 $\left| T = 300\ ^\circ k \Rightarrow h_1 = 300.47\ \frac{kJ}{kg} \right.$

$$\Rightarrow h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2} \Rightarrow h_2 = h_1 - \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = 300.47 + \frac{(200)^2 - (20)^2}{2000}$$

$$h_2 = 320.27\ \frac{kJ}{kg} \quad \text{from Table A.7.1} \Rightarrow T = 320\ ^\circ k$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow A_1 v_1 \rho_1 = A_2 v_2 \rho_2 \Rightarrow A_1 \times v_1 \times \frac{P_1 m}{R T_1} = A_2 \times v_2 \times \frac{P_2 m}{R T_2}$$

$$\Rightarrow P_2 = 123.92\ kPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6.46) R-134a در یک خط لوله در شرایط 25°C و 75.0 kPa جریان دارد. یک مبدل حرارتی را طراحی کنید که به شما 165 kPa در خروجی (انرژی جنبشی ناچیز است) و حداقل حرارت خروجی را برای بدست آوردن ($\frac{De}{Di}$) را به نحوی بدست آورید که سرعت ثابت باقی بماند.

State 1:

input: $T = 25^{\circ}C$, $P = 750\ kPa$ — Table B.5.1 (Subcooled) → $v_f = 0.000829\ \frac{m^3}{kg}$, $h_f = 234.59\ \frac{kJ}{kg}$

$\dot{m}_1\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1\right) = \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2\right)$; $z_1 = z_2$, $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$, $v_1 = v_2$

$\Rightarrow h_1 = h_2$

output: $h = 234.59\ \frac{kJ}{kg}$, $P = 165\ kPa$ — Table → $h_f = 180.19\ \frac{kJ}{kg}$, $h_g = 389.2$, $T = -15^{\circ}C$, $v_f = 0.000746$, $v_g = 0.12007$

$h = (1-x)h_f + x h_g \Rightarrow x = \frac{h - h_f}{h_g - h_f}$

$\Rightarrow x = \frac{234.59 - 180.19}{389.2 - 180.19} \Rightarrow x = 0.26$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \frac{A_1 v_1}{v_1} = \frac{A_2 v_2}{v_2} \Rightarrow \frac{\pi D_1^2 v_1}{4 v_1} = \frac{\pi D_2^2 v_2}{4 v_2}$

$\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right) \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \frac{\sqrt{0.03177}}{0.000829} = 6.1905$

$v_2 = (1-x)v_f + x v_g = (1-0.26)0.000746 + 0.26(0.12007)$

$v_2 = 0.03177\ \frac{m^3}{kg}$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6-109 : یک مخزن صلب دارای 5 m³ حجم با 150 kg بخار آب اشباع در دمای 25°C و فشار 6 MPa جریان داری متصل است. شیر را باز می‌کنیم و هوا تا زمانی که فشار داخل مخزن به 6 MPa برسد وارد آن می‌شود. فرآیند پر شدن بسیار سریع بوده و می‌توان آنرا آدیاباتیک در نظر گرفت. پس از پر شدن مخزن دمای بخار آب داخل مخزن چقدر است؟

حل: $\dot{m}_1 = \dot{m}_e = v_1 = v_2 = v_e = v_i = Q = W = 0$

$$\sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i\right) + Q = W + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e\right) + \dot{m}_2 \left(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2\right) - \dot{m}_1 \left(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1\right)$$

$i \rightarrow$ جرم ورودی
$e \rightarrow$ جرم خروجی
$1 \rightarrow$ قبل از ورود
$2 \rightarrow$ باقی مانده

$$\Rightarrow \dot{m}_2 u_2 = \dot{m}_i h_i \xrightarrow{\dot{m}_2 = \dot{m}_i} u_2 = h_i$$

$$T_i = 25 + 273.15 = 298.15\ K \xrightarrow[A7.1]{\text{Table}} h_i = 298.62 \frac{kJ}{kg}$$

$$\xrightarrow{h_i = u_2} u_2 = 298.62 \frac{kJ}{kg} \xrightarrow[A7.1]{\text{Table}} \text{interpolation}$$

1)	2)	?
$T = 400$	$T = 420$	$T = ?$
$u = 286.49$	$u = 301.04$	$u = 298.62$

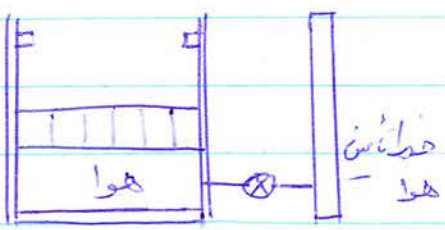
$$\frac{420 - 400}{301.04 - 286.49} = \frac{T - 400}{298.62 - 286.49} \Rightarrow T = 416.67\ K$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = \frac{T_2}{T_1} \times P_1 = 6 \times \frac{298.15}{416.67} = 4.29\ MPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6.133) حجم سیلندر و پیستون شکل زیر در ابتدا روی موانع قرار دارد و برابر $V=1m^3$ است. این سیلندر حاوی هوا با حجم $0.25m^3$ و درجه حرارت و فشار $17^\circ C$ و $300kPa$ می باشد. یک خط لوله حاوی هوا در $600K$ و $500kPa$ توسط شیر به این سیلندر متصل است. شیر را باز می کنیم تا فشار داخل سیلندر به $400kPa$ برسد و در این لحظه $T=350K$ حواله بود. جرم هوای ورودی را بدست آورید. انتقال حرارت



می باشد.

$$PV = n\bar{R}T \Rightarrow PV = mRT$$

$$\Rightarrow 300 \times 0.25 = m \times 0.287 \times 290.15$$

$$\Rightarrow m_1 = 0.9\ kg$$

$$m_2 = \frac{PV}{RT} = \frac{400 \times 1}{350 \times 0.287} \Rightarrow m_2 = 3.982\ kg$$

$$m_i = m_2 - m_1 \Rightarrow m_i = 3.982 - 0.9 = 3.082\ kg$$

$$w = P\Delta V = 300(1 - 0.25) = 225\ kJ$$

$$m_i h_i + Q = w + m_2 u_2 - m_1 u_1 \Rightarrow Q = -836.457 kJ$$

1) $T = 290.15 \Rightarrow$ Table A7.1 $\Rightarrow u_1 = 207.19\ \frac{kJ}{kg}$
$P = 500$
$u = ?$

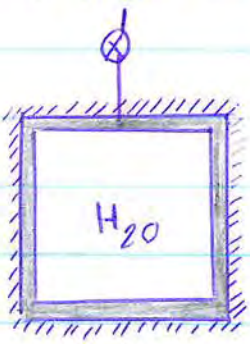
2) $T = 350 \Rightarrow$ Table A7.1 $\Rightarrow u_2 = 250.32\ \frac{kJ}{kg}$
$P = 400$
$u = ?$

$i = 3$ $T = 600 \Rightarrow$ " $\Rightarrow h_1 = 607.32\ \frac{kJ}{kg}$
$P = 500$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6.121، مخزن خاتی بسکال داده شده دارای حجم $2\,m^3$ و حاوی بخار آب اشباع در دمای 4 MPa است. شیر روی مخزن را باز می‌کنیم تا بخار آب خارج شود. در طی فرآیند تعادلات تشکیل شده‌ی درون مخزن در لحظه مخزن خالی می‌شود به گونه‌ای که فقط بخار اشباع از مخزن خارج می‌شود. هنگامی که از مخزن را در دمای دمای داخل به 1 MPa برسد بدست آورید.



$$\dot{m}_i = Q = W = 0$$

$$\left.\begin{matrix} P = 4000\,kPa \\ \text{Sat. vap} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \text{Table B.1.2} \Rightarrow \begin{matrix} v_g = 0.04978\ \frac{m^3}{kg} \\ u_1 = 2602.27\ \frac{kJ}{kg} \end{matrix}$$

$$\Rightarrow m = \frac{V}{v} = \frac{2}{0.04978} \Rightarrow m_1 = 40.176\,kg$$

$$0 = m_e + m_2 - m_1 \Rightarrow m_e = m_1 - m_2$$

$$P = 4000\,kPa,\ \text{Sat. vap} \xrightarrow[B.1.2]{T} h = 2801.38\ kJ/kg$$

$$P = 1000\,kPa,\ \text{Sat. vap} \xrightarrow[B.1.2]{T} h = 2778.08\ "$$

$$h_e = \frac{2801.38 + 2778.08}{2} \Rightarrow h_e = 2789.73\ \frac{kJ}{kg}$$

$$0 = h_e m_e + u_2 m_2 - u_1 m_1 \Rightarrow 0 = 2789.73 \times m_e + u_2 m_2 - 2602.27 \times 40.176$$

$$\xrightarrow{m_e = m_1 - m_2} 0 = 2789.73\,(40.176 - m_2) + u_2 m_2 - 2602.27 \times 40.176$$

$$m_2\,(2789.73 - u_2) = 7531.39 \qquad v_2 = \frac{V_2}{m_2}$$

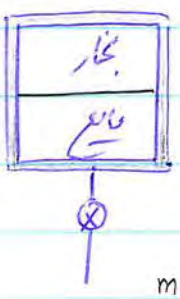
$$\Rightarrow \frac{2}{v_2}$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$v_2 = \frac{V}{m_2} = v_f + x v_g \quad \Rightarrow \quad m_2 = \frac{2}{v_f + x v_{fg}} \qquad (1)$$

مثال 6.122) یک مخزن صلب به حجم 75L در ابتدا حاوی آب $250^{\circ}C$ است که 50٪ حجم بخار است. سپس یک مخزن باز می‌شود و اجازه می‌دهد که بخار به آرامی بیرون کشیده می‌شود. انتقال حرارت صورت می‌گیرد به طوری که دما در حد حرارت ثابت باقی می‌ماند. مقدار انتقال حرارت را برای رسیدن به حالتی که نصف جرم اولیه بیرون کشیده شود محاسبه کنید.



$$m_1 = w = 0 \qquad u_f = 1080.37 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{State 1:} \begin{cases} T = 250^{\circ}C \\ \text{mix} \end{cases} \xrightarrow[\text{B.1.1}]{T} \begin{cases} v_f = 0.001251 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.05013 \ " \\ u_g = 2602.37 \ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$m_{liq} = \frac{V_{liq}}{v_f} = \frac{0.375}{0.001251} \quad \Rightarrow \quad m_{liq} = 299.601 \ kg$$

$$m_{vap} = \frac{V_{vap}}{v_g} = \frac{0.375}{0.05013} \quad \Rightarrow \quad m_{vap} = 7.4855 \ kg$$

$$m_1 = m_{liq} + m_{vap} \quad \Rightarrow \quad m_1 = 307.240 \ kg$$

$$m_2 - m_1 + m_e = 0, \quad m_e = \frac{m_1}{2} = \frac{307.240}{2} \quad \Rightarrow \quad m_e = 153.620 \ kg$$

$$\Rightarrow m_2 = 153.62 \ kg$$

$$Q = m_2 u_2 - m_1 u_1 + m_e h_e$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$v_1 = \frac{V}{m_1} = \frac{0.75}{307.240} = 0.002441 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$x_1 = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.002441 - 0.001251}{0.05013 - 0.001251} = 0.0243$$

$$u_1 = (1 - x_1) u_f + x u_g = (1 - 0.0243) 1080.37 + 0.0243 \times 2602.37$$

$$u_1 = 1117.3546 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_2 = \frac{V}{m_2} = \frac{0.75}{153.62} \Rightarrow v_2 = 0.004882 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$x_2 = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.004882 - 0.001251}{0.05013 - 0.001251} = 0.0742$$

$$u_2 = (1 - x_2) u_f + x u_g = (1 - 0.0742) \times 1080.37 + 0.0742 \times 2602.37$$

$$u_2 = 1193.3024$$

Exite state: $h_e = h_f = 1085.34$ kJ/kg

$$Q = 153.62 \times 1193.3024 - 307.24 \times 1117.3546 + 153.62 \times 1085.3$$

$$\Rightarrow Q = 6749.34 \text{ kJ}$$

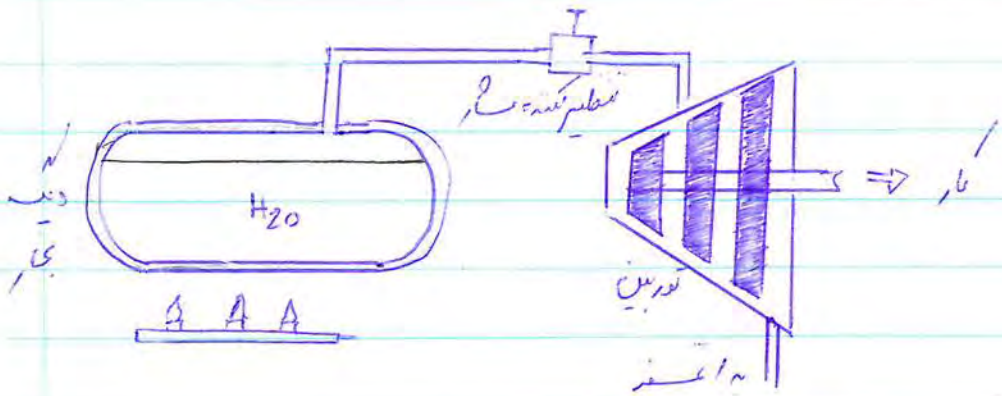
مثال 6.131) یک مخزن بخار توربینی از مثال زیر مثال داده شده است. دیگ بخار دارای حجم ۱۰۰ L است و ابتدا حاوی مایع اشباع با انرژی بخار در ۱۰۰ kPa می باشد. شیر تنظیم فشار موجود روی دیگ بخار در ۲۰۰ kPa عمل می کند. اگر مثال را روشن می کنیم بخار اشباع در ۲۰۰ kPa دارد توربین شده از آن در فشار ۱۰۰ kPa

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

خارج شده وارد توربین می شود. وقتی مایع به حجمان در دیگ بخار برسد عمل جوشش آن شروع می شود

مقدار بار کل توربین و انتقال حرارت به دیگ بخار در این فرآیند را بیابید.



System: Boiler tank $\quad \begin{cases} m_e + m_2 - m_1 = 0 \\ Q = m_e h_e + m_2 u_2 - m_1 u_1 \end{cases}$, $W = 0$

State 1: $v = 100\,L$

$$\begin{cases} P = 100\ kPa \\ \text{Sat. L.q} \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{\text{Table}} \begin{cases} v_f = v_1 = 0.001043\ \frac{m^3}{kg} \\ u_1 = 417.33\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow m_1 = \frac{v}{v_1} = \frac{0.1}{0.001043} \Rightarrow m_1 = 95.877\ kg$$

State 2:

$$\begin{cases} P = 700\ kPa \\ \text{Sat. vap} \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{\text{Table}} \begin{cases} v_g = v_2 = 0.27286\ \frac{m^3}{kg} \\ u_2 = 2572.49\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

$$\Rightarrow m_2 = \frac{v}{v_2} = \frac{0.1}{0.27286} \Rightarrow m_2 = 0.36649\ kg$$

$$\Rightarrow m_e = m_1 - m_2 = 95.877 - 0.36649 = 95.51\ kg$$

Exit state:

$$\begin{cases} P = 700\ kPa \\ \text{Sat. vap} \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{\text{Table}} h_e = 2763.5\ kg$$

$$Q = 95.51 \times 2763.5 + 0.36649 \times 2572.49 - 95.877 \times 417.33$$

$$Q = 174871.37\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

system turben : $m_1 = m_2 = Q = 0$, $m_i = m_e$

$m_i h_i = m_e h_e + w \Rightarrow w = m_e (h_i - h_e)$

از $\begin{cases} P = 100\ kPa \\ \text{sat. vap} \end{cases} \Rightarrow h_e = 2675.46\ \frac{kJ}{kg}$

$\Rightarrow w = 95.51 \times (2763.5 - 2675.46) = 8408.7\ kJ$

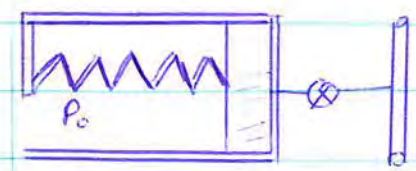
مثال 6.132) یک سیلندر پیستون عمودی محاط شده در شکل زیر نشان داده شده است

این سیلندر از طریق یک شیر به خط جریان هوای متصل است که در آن فشار 600 kPa

و 200 k جریان دارد. در ابتدا سیلندر خالی است و نیروی عمل بر پیستون صعود است شیر باز

می شود تا سیلندر به 300 kPa برسد. با توجه به اینکه $u_2 = u_{line} + C_v (T_2 - T_{line})$

و با داشتن T_2 عبارتی برای $h_{line} - u_{line} = RT_{line}$ ، T ، P_0 ، P_2 بیابید.



خط ناشی از هوا $m_e = m_i = Q = 0$

T_2 را بیابید ، $P = 100\ kPa$

$m_2 - m_1 = m_i \Rightarrow m_2 = m_i$ ، $m_i h_i = m_2 u_2 + w$ $\Big| \Rightarrow \begin{cases} T = 200 \\ u = 512.64 \\ h = 713.56 \end{cases}$

$\Rightarrow m_2 h_i = m_2 u_2 + w \Rightarrow w = m_2 (h_i - u_2) \Rightarrow \frac{1}{2}(P_0 + P) m_2 v_2 = m_2 (h_2 - u_2)$

$\Rightarrow \frac{1}{2}(P_0 + P_2) v_2 = h_i - u_2 \Rightarrow \frac{1}{2}(P_0 + P_2) v_2 = h_i - u_{line} - C_v (T_2 - T_{line})$

$\Rightarrow \frac{1}{2}(P_0 + P_2) v_2 + C_v (T_2 - T_{line}) = RT_{line}$

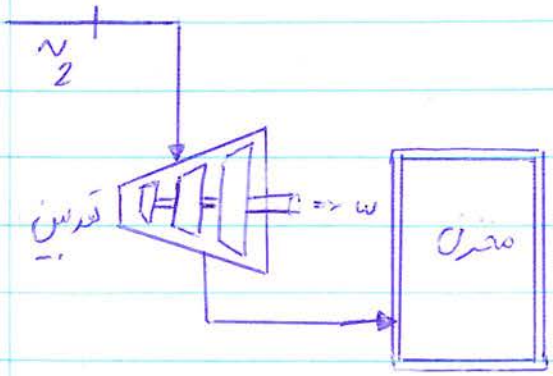
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$\frac{1}{2}(P_0 + P_2)\frac{RT_2}{P_2} + C_v(T_2 - T_{line}) = RT_{line}$$

$$\Rightarrow T_2\left(C_v + \frac{1}{2}\left(\frac{P_0+P_2}{P_2}\right)R\right) = T_{line}(R + C_v)$$

مثال 6.119) یک خط لوله بتن در 0.5 MPa، 300 k به دستگاه زیر نشان داده شده است. یک توربین متصل می باشد به خروجی آن وارد مخزن به حجم $a\,m^3$ می شود که در ابتدا خالی است. توربین تا فشار مخزن یعنی 0.5 MPa کار می کند که در این لحظه دمای حرارت 250 k حفظ بود. فرض کنید گاز ایده آل دیاتمیک است، کار توربین را محاسبه کنید.



$$m_i = m_e = m_2$$

$$m_i h_i = m_2 u_2 + W$$

$$\Rightarrow W = m_2(h_i - u_2)$$

$$\Rightarrow W = 324.691(310.28 - 183.89) = 41037.64$$

$$i\begin{cases} T = 300\ k \\ P = 500\ kPa \end{cases} \xrightarrow[B.6.2]{\text{Table}} h_i = 310.28\ kJ$$

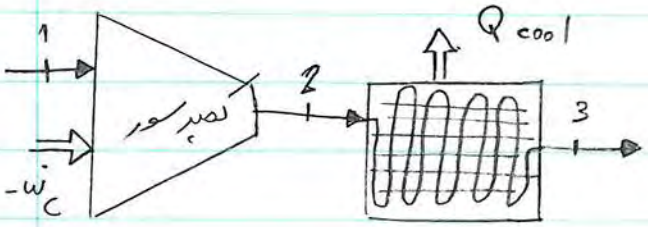
$$2_1\begin{cases} P = 500\ kPa \\ T = 250\ k \end{cases} \xrightarrow[B.6.2]{\text{Table}} \begin{cases} v_2 = 0.1539225\ \frac{m^3}{kg} \\ u_2 = 183.89\ kJ/kg \end{cases}$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2} = \frac{50}{0.1539225} = 324.691$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6.59) یک کمپرسور هوا، هوا را در 100 kPa و 17°C دریافت و در 1MPa و 600 K به یک سردکننده‌ی هوا تحویل می‌دهد. سپس از سردکننده با دمای 300 K خارج می‌شود. توان مخصوص کمپرسور و انتقال حرارت مخصوص "بین کمپرسور" و "بین سردکننده" را بیابید.



system:

۱) $T_1 = 17 + 273 = 290\ K$, $P_1 = 100\ kPa \xrightarrow{\text{Table A7.1}} h_1 = 290.43\ \frac{kJ}{kg}$

۲) $T_2 = 600\ K$, $P_2 = 1000\ kPa \xrightarrow{A7.1} h_2 = 607.32\ \frac{kJ}{kg}$

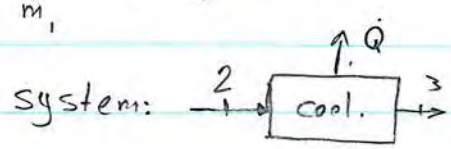
$$\dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1\right) + Q = W + \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2\right)$$

$Q=0,\ V_1, V_2 = 0,\ z_1, z_2 = 0$

$$\dot{m}_1 h_1 = W + \dot{m}_2 h_2 \xrightarrow{\dot{m}_1 = \dot{m}_2} W = \dot{m}_1(h_1 - h_2)$$

$$\frac{W}{\dot{m}_1} = h_1 - h_2 \Rightarrow w = 290.43 - 607.32 \Rightarrow w = -316.85\ \frac{kJ}{kg}$$

system:



۳) $T = 300\ K$, $P = 1000\ kPa \xrightarrow{\text{Table A.7.1}} h_3 = 300.47\ \frac{kJ}{kg}$

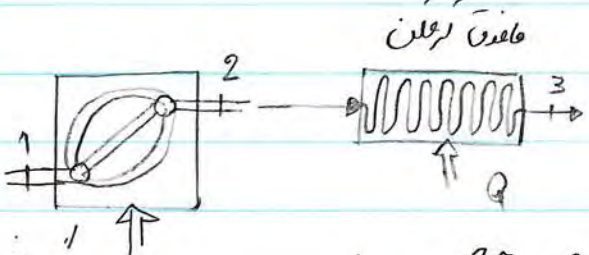
$$\dot{m}_2 h_2 + Q = \dot{m}_3 h_3 \xrightarrow{\dot{m}_2 = \dot{m}_3} Q = \dot{m}_2(h_3 - h_2) \Rightarrow \frac{Q}{\dot{m}_2} = h_3 - h_2$$

$$q = h_3 - h_2 = 300.47 - 607.32 = -306.85\ \frac{kJ}{kg}$$

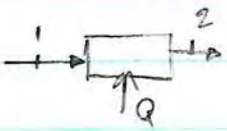
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 6.66) بخار اشباع در فشار 500 kPa وارد یک بویلر می‌شود. دبی جریان $0.005 \frac{kg}{s}$ است، در حالت بخار اشباع خارج می‌شود. سپس این جریان وارد یک طاقوف گرفتن شده و در شرایط 500 kPa, 275 K خارج می‌گردد. نرخ انتقال حرارت در بویلر و طاقوف گرفتن را تعیین کنید.

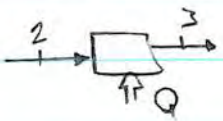


$$\left.\begin{array}{l} P = 500\,kPa \\ \dot{m} = 0.005 \frac{kg}{s} \end{array}\right\} \xrightarrow[\text{interpol}]{\text{Table B.6.1}} \left.\begin{array}{l} h_1 = -87.095 \frac{kJ}{kg} \\ h_2 = 86.15 \end{array}\right\}$$

system: 

$$\Rightarrow \dot{m}_1 h_1 + Q = \dot{m}_2 h_2 \xrightarrow{\dot{m}_1 = \dot{m}_2} Q = \dot{m}_1 (h_2 - h_1) = 0.005(86.15 - (-87.095$$

$$\Rightarrow Q = 0.866\ kw$$

system: 

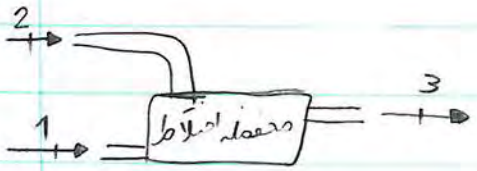
$$3) \left.\begin{array}{l} P = 500\,kPa \\ T = 275\,k \end{array}\right\} \xrightarrow[B.6.2]{\text{Table}} h_3 = 284.06 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_2 h_2 + Q = \dot{m}_3 h_3 \xrightarrow{\dot{m}_2 = \dot{m}_3} Q = \dot{m}_2 (h_3 - h_2) = 0.005(284.06 - 86.15)$$

$$Q = 0.99\ kw$$

مثال 6.71) کندانسور یک نیروگاه بخار در یک مسیر $4 \frac{kg}{s}$ آب $45^\circ C$ را به صورت اشباع با بخار خروجی از یک توربین 100 kPa و $25^\circ C$ تولید می‌کند. برج خنک‌کن جریان خروجی آب اشباع در یک فشار مشخص است. دبی جرمی ورودی

www.Endbook.net



از توربین را بدست آورید.

$\dot{m}_1 = 4\ kg/s$

1) $T_1 = 45^\circ C$, $P_1 = 100\ kPa \xrightarrow[B.1.1]{Table} h_1 = h_f = 188.42\ \frac{kJ}{kg}$

2) $T_2 = 25^\circ C$, $P_1 = 100\ kPa \xrightarrow[B.1.3]{Table} h_2 = +2974.33\ \frac{kJ}{kg}$

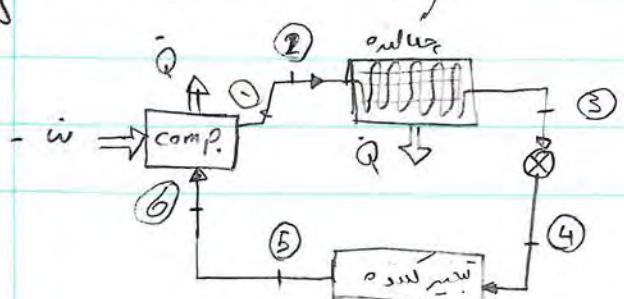
3) $P = 100 \xrightarrow[B.1.2]{Table} h_3 = h_f = 417.44\ \frac{kJ}{kg}$

$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_3 h_3 \xrightarrow{\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2} \dot{m}_2 = \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \dot{m}_1$

$\dot{m}_2 = \frac{188.42 - 417.44}{417.44 - 2974.33} \times 4 \Rightarrow \dot{m}_2 = 0.358\ \frac{kg}{s}$

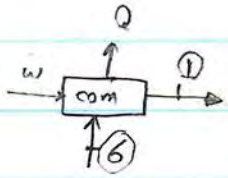
مثال 6.106) در یک سیکل تبرید تراکمی بخار استاندارد از مبرد R-12 که در شکل داده شده است. مقدار 0.5 kg/s مبرد جریان دارد. توان ورودی به کمپرسور 4 kw بوده است. مطلوب است تعیین انتقال حرارت از کمپرسور، مقدار انتقال حرارت از مبرد R-12 در چگالنده، مقدار انتقال حرارت به مبرد R-12 در تبخیرکننده.

حالت	1	2	3	4	5	6
P (kPa)	1250	1230	1200	320	300	290
T (°C)	120	110	45		0	5
h ($\frac{kJ}{kg}$)	260	253	79.7		188	191



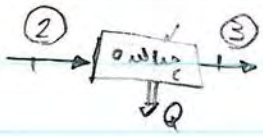
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

system: 

$\dot{m}_6 h_6 + Q = W + \dot{m}_1 h_1 \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_6 \Rightarrow$

$\Rightarrow \underset{COMP}{Q} = -4 + \dot{m}_6 (h_1 - h_6) = -4 + 0.05(260 - 191) \Rightarrow Q = -0.55\,kw$

system 

$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 = \dot{m}_1, \quad \dot{m}_2 h_2 + Q = \dot{m}_3 h_3$

$\Rightarrow \underset{COND}{Q} = \dot{m}_2 (h_3 - h_2) = 0.05(79.7 - 253) \Rightarrow Q = -8.665\,kw$

system

$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_3, \quad \dot{m}_4 h_4 + Q = \dot{m}_5 h_5$

$h_4 = h_3$

$\Rightarrow \underset{EVAP}{Q} = \dot{m}_4 (h_5 - h_4) = 0.05(188 - 79.7) \Rightarrow Q = +5.415\,kw$

مثال

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.41) یک استوانه 200kPa فرآیند 500 kPa در R-134a احتمالی را طی می کند و به فشار می رسد. انرژی جنبشی در ورودی و خروجی یکسان است. دمای خروجی؟

فرآیند احتمالی حالت پایدار تقریباً با فشار در آنتالپی ثابت است. در این فرآیند انتالپی تغییر نمی کند.

State1.

$P = 500\ kPa \xrightarrow{Table} \begin{cases} h_i = h_g = 407.07 \\ T \simeq 15^\circ C \end{cases}$

State 2: $h_i = h_e$

$P = 200$

$h_e = 407.07 \Rightarrow T \simeq 10^\circ C$

Superheated

6.44) آب مایع در $180^\circ C$، 2000kPa در یک مخزن تحت فشار قرار دارد. فشار آن 500 kPa است. فرآیند احتمالی را طی می کند. با صرف نظر از تغییر انرژی جنبشی سر مایع و بخار

State 1:

$T = 180^\circ C$

$P = 2000\ kPa \xrightarrow[B.1.1]{Table} \begin{cases} v = v_f = 0.001127 \ \frac{m^3}{kg} \\ h = 763.21 \ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$

در مخزن چقدر است؟

State 2:

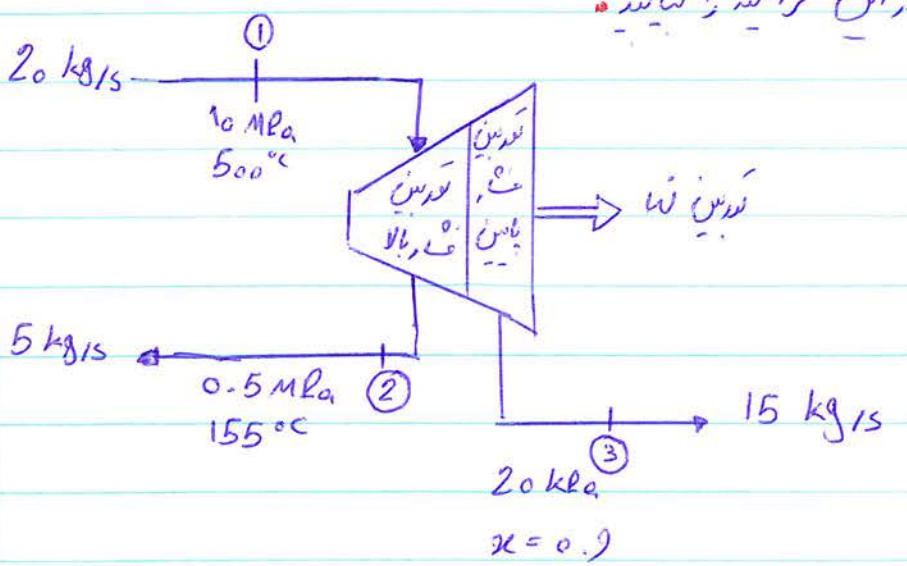
$P = 500\ kPa$

صرف نظر از مقادیر فشار دمای سیال را با دمای اشباع برابر قرار داده و خواص مایع اشباع را به جای خواص مایع فشرده بیابیم.

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.82) سیستم های تولید هم زمان الکتریسیته و بخار در کوره ای استفاده می شوند تا تأمین انرژی لازم فرآیند های صنعتی از طریق بخار به صورت مؤثر انجام گیرد. تصور کنید مطابق شکل مقدار 5 kg/s بخار اشباع در فشار 0.5 MPa از توربین فشار بالا برای مصارف صنعتی برداشت می شود. انرژی لازم توسط دیگ بخار تأمین می شود. مقدار توان الکتریکی تولیدی توربین در این فرآیند را بیابید.



① $\begin{cases} P = 10\ MPa \\ T = 500^\circ C \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{T} h_1 = 3373.63\ \frac{kJ}{kg}$

② $\begin{cases} P = 0.5\ MPa \\ T = 155^\circ C \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{T} h_2 = 2755.9\ \frac{kJ}{kg}$

③ $\begin{cases} P = 20\ kPa \\ x = 0.9 \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{T} \begin{cases} h_f = 251.38\ \frac{kJ}{kg} \\ h_g = 2609.7\ \frac{kJ}{kg} \end{cases}$ $h_3 = (1-x)h_f + x h_g$ $\Rightarrow \cdots$

$\Rightarrow h_3 = 2373.9\ \frac{kJ}{kg}$

$\Rightarrow m_1 h_1 = m_2 h_2 + m_3 h_3 + W \Rightarrow W = 20 \times 3373.63 - 5 \times 2755.9 - 15 \times 2373.9$

$\Rightarrow W = 18.084\ MW$

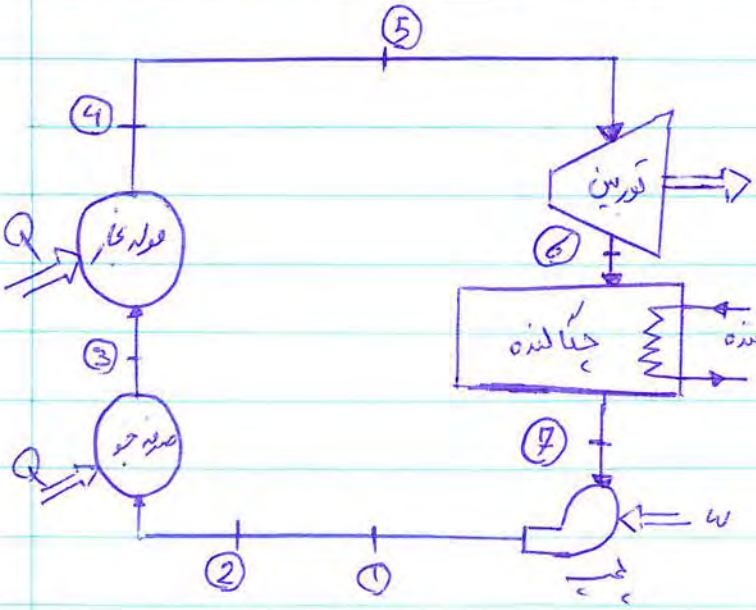
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.99 اطلاعات زیر مربوط به نیروگاه ساده بخار شان داده شده است.

حالت 6 دارای $x_6 = 0.92$ و سرعت 200 m/s است. دبی جریان بخار 25 kg/s و توان ورودی به یک پمپ 300 kw است. قطر لوله بین دیگ بخار و توربین 200mm و بین جداکننده و صرفه جو و دیگ بخار 75mm است. مقدار سرعت در حالت 5 و توان خروجی توربین را تعیین نمایید.

حالت	1	2	3	4	5	6	7
P, kPa	6200	6100	5700	5700	5500	10	9
T, °C		45	175	500	490		40
h, kJ/kg		194	744	3426	3404		168



⑤ $P = 5500\ kPa$, $T = 490$ $\xrightarrow[B.1.3]{T}$ $v = 0.06163\ m^3/kg$

⑥ $P = 10$, mix $\xrightarrow[B.1.1]{T}$ $h_f = 191.81\ kJ/kg$, $h_g = 2584.63$

$h = (1-x)h_f + x h_g \Rightarrow \dots$

$\Rightarrow h = 2393.2\ kJ/kg$

$$\dot{m} = \rho A V = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{v}{v} \Rightarrow 25 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{200}{1000}\right)^2 \times \frac{v}{0.06163} \Rightarrow v = 49\ m/s$$

$$m_i\left(h_i + \frac{v_i^2}{2000}\right) = w + m_e\left(h_e + \frac{v_e^2}{2000}\right)$$

$$w = m_e\left(h_5 - h_6 + \frac{1}{2}(v_5^2 - v_6^2)\right) = 3404 - 2393.2 + \frac{(49^2 - 200^2)}{200}$$

$$w = 24800\ kw$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.138) جریان 1000k 100kPa هوا با دبی 0.5 kg/s در لوله از روی صفحه‌ای با دمای 400k عبور می‌کند. جریان به نحوی است که ضریب انتقال حرارت جابجایی $h = 125 \frac{W}{m^2 k}$ است. هوا روی چه سطحی باید جریان یابد تا دمای خروجی 800k باشد؟ برای 600k این مساحت چقدر است؟

انتقال حرارت $Q = hA\Delta T$

Inlet $\Delta T_i = 1000 - 400 = 600\,k$

Exit $\Delta T_e = 800 - 400 = 400\,k$

$\Delta T_{Average} = 500\,k$

$T = 1000 \xrightarrow[AF]{T} h_i = 1046.22$

$T = 800 \xrightarrow[AF]{T} h_e = 822.2$

$\Rightarrow Q = m_a(h_i - h_e) = 0.5(1046.22 - 822.2)$

$\Rightarrow Q = 112\ kw$

$A = \frac{Q}{h\Delta T} = \frac{112}{500 \times 125} = 1.79\,m^2$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.48) یک توربین بخار دارای ورودی 2 kg/s آب 1000 kPa و 350°C با سرعت 15 m/s است. خروجی در 100 kPa، $x=1$، سرعت بسیار کم است. بازه مخصوص توان را به دست آورید.

State 1

$$\begin{cases} P = 1000\ kPa \\ T = 350^{\circ}C \\ \dot{m}_i = 2\ kg/s \\ v_i = 15\ m/s \end{cases} \xrightarrow[B.1.3]{} h_i = 3161.68\ \frac{kJ}{kg}$$

State 2

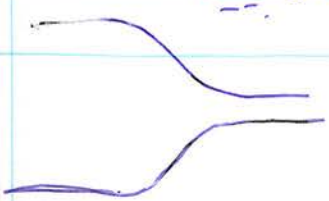
$$\begin{cases} P = 100\ kPa \\ x = 1 \end{cases} \xrightarrow[B.1.2]{Table} h_e = 2675.46$$

$$\dot{m}_i\left(h_i + \frac{v_i^2}{2000}\right) = \dot{W} + \dot{m}_e h_e \quad , \quad \dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}, \ w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}$$

$$w = h_i - h_e + \frac{v_i^2}{2000} = 3161.68 - 2675.46 + \frac{(15)^2}{200}$$

$$w = 481.71\ kJ/kg$$

6.32) هدف به تاریخی شیپوره‌ی نشان داده شده در شکل تولید جریان سیال با سرعت زیاد به اتمسفر خارجی است. بخار اشباع آمونیاک در 20°C و 800 kPa با سرعت کم وارد شیپوره می‌شود. جریان جرمی ثابت در 20°C و 800 kPa، 0.01 kg است. آمونیاک در 300 kPa، سرعت 450 m/s از شیپوره خارج خواهد شد. درجه حرارت (بالقوه) در صورت اشباع بودن در سطح مقطع خروجی از شیپوره را بیابید.



مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$i\begin{cases} P = 800\ kPa \\ T = 20^{\circ}C \\ \dot{m}_i = 0.01\ kg \\ v_i = 0 \end{cases} \xrightarrow[B.2.2]{T} h_i = 1464.9\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_i\left(h_i + \frac{v_i^2}{2000}\right) = \dot{m}_e\left(h_e + \frac{v_e^2}{2000}\right)$$

$$e\begin{cases} P = 300\ kPa \\ v = 450\ m/s \end{cases}$$

$$h_e = h_i - \frac{v_e^2}{2000} = 1464.9 - \frac{(450)^2}{2000}$$

$$\Rightarrow h_e = 1363.65\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = 300\ kPa \\ h_e = 1363.65 \end{cases} \xrightarrow[B.2.1]{T} \begin{cases} T = -9.2^{\circ}C \\ h_f = 138\ kJ/kg \\ h_g = 1431.8\ " \\ v = 0.3864\ \frac{m^3}{kg} \end{cases} \qquad h = (1-x)h_f + x h_g$$

$$\Rightarrow x = \frac{h - h_f}{h_g - h_f} = \frac{1363.65 - 138}{1431.8 - 138} = 0.942$$

$$\dot{m} = \frac{AV}{v} \Rightarrow A = \frac{\dot{m}v}{V} = \frac{0.01 \times 0.3864}{450} = 8.56 \times 10^{-6}$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

« ضریب تراکم پذیری »

نکته ۱ : در صورت عدم وجود نیروهای بین مولکولی گاز ایده آل است.

نکته ۲ : از حجم مولکولها در مقابل حجم ظرف صرف نظر می شود.

نیروی پیستون را در نظر بگیرید با افزایش فشار داخل حجم کاهش یافته، فاصله بین مولکولها کم می شود در نتیجه نیروی بین مولکولی تشدید می شود.

نکته ۳ : رابطه گاز غیر ایده آل در صورت وجود نیروهای جاذبه بیشتر از گاز ایده آل است.

ضریب تراکم پذیری : (Z)

- $Z = 1$ گاز ایده آل
- $Z < 1$ گاز غیر ایده آل و نیروی بین مولکول جاذبه
- $Z > 1$ گاز غیر ایده آل و نیروی بین مولکول دافعه

تعیین و محاسبه Z :

۱) استفاده از نمودار D.I :

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad , \quad P_r = \frac{P}{P_c}$$

ابتدا P_r و T_r محاسبه را به دست آورید Z^0 , Z^1 را مشخص کنید.

مثال : ضریب تراکم پذیری متان را در دما و فشار $T = 100^\circ C$, $P = 2 bar$ به دست آورید.

$T = 373.15\ k$

$P = 1 + 2 = 3 = 3000\ kPa$

$T_c = 190.4\ k$

$P_c = 4600\ kPa$

$$T_r = \frac{373.15}{190.4} = 1.96$$

$$P_r = \frac{3000}{4600} = 0.065$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

۲) معادله حالت : معادله‌ای که ارتباط حجم، فشار و دما را بیان می‌کند

ideal gas : $PV = nRT$

Real gas → $PV = ZnRT \Rightarrow Z = \frac{PV}{RT}$

$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$ van der Waals

$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = RT$

$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \Rightarrow \frac{PV}{RT} = \frac{V}{V-b} - \frac{a}{VRT} \Rightarrow Z = \frac{1}{1-\frac{b}{V}} - \frac{a}{VRT}$

$Z = 1 + \frac{b}{V} + \left(\frac{b}{V}\right)^2 + \left(\frac{b}{V}\right)^3 + \cdots + \frac{a}{VRT}$

$\Rightarrow Z = 1 + \left(b - \frac{a}{RT}\right)\frac{1}{V} + \frac{b^2}{V^2} + \frac{b^3}{V^3}$

$a = \frac{27}{64} \times \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$

$b = \frac{1}{8} \frac{RT_c}{P_c}$

معادله حالت ویریال حجمی

$Z = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \cdots$ ①

ضریب دوم ویریال B

معادله حالت ویریال فشاری

$Z = 1 + B'P + C'P^2 + D'P^3$ ②

معادله‌ای که تا به حال خواندیم:

③ $a = \frac{27}{64} \times \frac{R^2 T_c^2}{P}$

$b = \frac{1}{8} \times \frac{RT_c}{P_c}$

④ $B = b - \frac{a}{RT}$

$B' = \frac{B}{RT}$

www.Endbook.net

مثال: ناز متان در فشار 6 MPa و دمای $-10^{\circ}C$ وجود دارد، با استفاده از معادله حالت ویریال، ضریب دوم محاسبه شده از معادله حالت وان‌در‌والس مقدار Z را محاسبه کنید.

$$\begin{cases} T = 263.15 \\ T_c = 190.4 \\ P = 6000\ kPa \\ P_c = 4600\ kPa \end{cases} \qquad a = \frac{27}{64} \times \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

$$\Rightarrow a = \frac{27}{64} \times \frac{(8.314)^2 \times (190.4)^2}{4600} \Rightarrow a = 229.81581$$

$$b = \frac{1}{8} \times \frac{RT_c}{P_c} = \frac{1}{8} \times \frac{8.314 \times 190.4}{4600} \Rightarrow b = 0.043015$$

$$B = b - \frac{a}{RT} = 0.043 - 0.105042 = -0.062269$$

$$B' = \frac{B}{RT} = \frac{-0.062269}{8.314 \times 263.15} \Rightarrow B' = -0.00002835$$

$$Z = 1 + B'P = 1 + (-0.00002835) \times 4600 \Rightarrow Z = 0.8695$$

محاسبه حجم از روی معادله درجه سوم:

$$v^3 - \left(b + \frac{RT}{P}\right) v^2 + \frac{a}{P} v - \frac{ab}{P} = 0$$

۱) تمام متغیرها (معلومات، مجهولات) را به فرم ساده معادله منتقل می‌کنیم تا داشته باشیم $f(x) = 0$

۲) براساس قواعد ضریبی حدس اولیه از جواب را در نظر می‌گیریم

۳) مشتق معادله را تعیین می‌کنیم

۴) با توجه به معلوم بودن x مقادیر $f(x)$ و $f'(x)$ را محاسبه می‌کنیم

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

a) مقدار اصلاح شده حدس اولیه را از رابطه نیوتن بدست می‌آوریم.

$$x_{جدید} = x_{قدیم} - \frac{f(x)_{قدیم}}{f'(x)_{قدیم}}$$

b) به مرحله 4 بازمی‌گردیم.

$$A = \frac{aP}{(RT)^2}, \quad B = \frac{bP}{RT}$$

$$\Rightarrow Z^3 - (1+B)Z^2 + AZ - AB = 0$$

مثال) مقدار Z را برای متان گاز را با استفاده از معادله حالت وان‌در‌والس محاسبه کنید.

از مثل قبل: $a = 229.81581$, $b = 0.0430159$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} = \frac{229.81581 \times 6000}{(8.314 \times 263.15)^2} = 0.288074$$

$$B = \frac{bP}{RT} = \frac{0.0430159 \times 6000}{8.314 \times 263.15} = 0.11797$$

$$f(z) = z^3 - 1.11797z^2 + 0.288074z - 0.033983$$

مرحله اول: $z = 1$

$$f'(z) = 3z^2 - 2.23594z + 0.288074$$

مرحله دوم:

مرحله چهارم:

z	$f(z)$	$f'(z)$
1	0.136121	1.052134
0.870623	0.029335	0.615366
0.822949	0.0032886	0.4796
0.816	6.326×10^{-5}	0.4612
0.811588	2.5×10^{-8}	0.4087
0.81588	0	0

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

3.80) آمونیاک در مخزن صلبی به حجم $5\ m^3$ در $-30\ ^\circ C$ و فشار $3\ MPa$ نگهداری می‌شود. جرم آن را با استفاده از ضریب تراکم‌پذیری تعیین کنید. درصد خطای این مقدار را نسبت به مقدار واقعی محاسبه کنید.

$$\begin{cases} T = 243.15\ K \\ T_c = 150.8\ K \end{cases} \Rightarrow T_r = \frac{T}{T_c} = 1.6124$$

$$\begin{cases} P = 3000\ kPa \\ P_c = 4870\ kPa \end{cases} \Rightarrow P_r = \frac{P}{P_c} = 0.616$$

استفاده از جدول ضریب تراکم‌پذیری چقدر است؟ با استفاده از جدول Z را تعیین کنیم

$$a = \frac{27}{64}\frac{R^2T_c^2}{P_c} = \frac{27}{64} \times \frac{(8.314)^2 (150.8)^2}{(4870)} \Rightarrow a = 136.16879$$

$$b = \frac{1}{8}\frac{RT_c}{P_c} = \frac{1}{8} \times \frac{8.314 \times 150.8}{4870} \Rightarrow b = 0.032184$$

$$B = b - \frac{a}{RT} = -0.035178 \quad , \quad B' = \frac{B}{RT} = -0.000017401682$$

$$Z = 1 + B'P \Rightarrow Z = 0.947795$$

$$PV = ZmRT \Rightarrow m = \frac{3000 \times 5}{1.047795 \times 0.2081 \times 243.15} \Rightarrow m = 312.77$$

اگر $Z = 1$

$$PV = mRT \Rightarrow m = 296.44$$

3.87) مبرد R-32 در $-10\ ^\circ C$ و کیفیت 15 درصد قرار دارد. مقدار بسیار و حجم مخصوص را بیابید.

www.Endbook.net

مثال: پروپان خالص در دمای $100^{\circ}F$ در حالتی وجود دارد که در این دما فشار بخار پروپان $185\ psia$ است. حجم ویژه‌ی فاز گازی مایع را محاسبه کنید. Z_c, Z_g

$T_c = 665.6\ R$

$P_c = 616\ psia$

$T_F = T_R - 459.67 \Rightarrow T_R = 559.67\ R$

$P = 185\ psia$

$$Z^3 - (1+B)Z^2 + AZ - AB = 0$$

$$A = \frac{a_1 P}{(RT)^2} \qquad a_1 = \frac{27}{64} \times \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

$$B = \frac{bP}{RT} \qquad b = \frac{1}{8}\frac{RT_c}{P_c}$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{27}{64} \times \frac{(10.73)^2 \times (666)^2}{64 \times 616.3} = 34957.432$$

$$b = \frac{1}{8} \times \frac{10.73 \times 666}{8 \times 616} = 1.45 \Rightarrow A = \frac{34957.432 \times 185}{(10.73 \times 559.67)^2} = 0.179$$

$$B = \frac{1.45 \times 185}{10.73 \times 559.67} = 4.462 \times 10^{-2}$$

$$f(z) = z^3 - 1.04462\,z^2 + 0.179z - 0.07986 = 0$$

$$f'(z) = 3z^2 - 2.08924\,z + 0.179 = 0$$

z_g	$f(z)$	$f'(z)$
1	0.05451	1.08976
0.94998	0.004778	2.7819

$$PV_g = z_g RT$$

z_L	$f(z)$	$f'(z)$
0	-0.07986	0.179
...	...	...

$$PV_L = z_L RT$$

www.Endbook.net

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$$

((تغییر آنتالپی گازهای ایده آل))

مثال: آنتالپی از دمای 150°C تا 300°C گرم شود این فرآیند به صورت فشار ثابت انجام شود میزان انرژی داده شده را با فرض فشار بودن c_p می سنجیم.

برای حل این تیپ مسائل از جدول A.6 استفاده می کنیم

$$c_p = c_0 + c_1\theta + c_2\theta^2 + c_3\theta^3$$

$$\theta = \frac{T}{1000} \Rightarrow dT = 1000\, d\theta$$

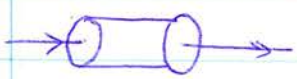
$$\Longrightarrow \Delta H = \int_{\theta_1}^{\theta_2} 1000\, c_p\, d\theta$$

$$\theta_1 = \frac{150 + 273.15}{1000} = 0.57315$$

$$\theta_2 = \frac{300 + 273.15}{1000} = 0.42315$$

$$\Rightarrow \Delta H = 1000 \int_{0.42315}^{0.57315} (0.18 + 5.92\theta - 2.31\theta^2 + 0.2\theta^3)\, d\theta$$

فرآیند برگشت پذیر: به فرآیندی گفته می شود که اتلاف انرژی ندارد. یعنی سطح



انرژی ورودی و خروجی برابر است. (Reversible)

برگشت پذیری دو نوع: فرآیندی که اتلاف انرژی ندارد و همچنین انتقال گرما با محیط هم

ندارد، سطح انرژی ورودی و خروجی برابر است (Adiabatic Reversible)

فرآیند دما ثابت: فرآیندی که با محیط تبادل انرژی گرمایی دارد ولی دما ورودی و خروجی

با هم برابر است (isotherm)

فرآیند پلی تروپیک: فرآیندی که اتلاف انرژی ندارد ولی انتقال حرارت با محیط

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

Reversible Aduabatic $\Rightarrow PV^k = C_1$, $k = \frac{C_p}{C_v}$ (A.5)

iso therm $\Rightarrow PV = C_2$

Poly tropic $\Rightarrow PV = C$ (n) توان بلی تروپیک

4.49) یک گاز ابتدائا در 1MPa و 500°C درون سیلندر پیستونی قرار دارد که در ابتدا حجم $0.1\,m^3$ دارد. گاز به آرامی با رابطه PV = ثابت، منبسط می‌شود تا به فشار نهایی 100kPa برسد. کار انجام شده در طی فرایند را بیابید.

1) $\begin{cases} P_1 = 1000\,Pa \\ T = 773.15\,K \\ V = 0.1\,m^3 \end{cases}$ $PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT}$

$\Rightarrow n = \frac{1000 \times 0.1}{8.314 \times 773.15}$

$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 1000 \times 0.1 = 100 \times V_2 \Rightarrow V_2 = 1\,m^3$

$PV = C \Rightarrow P = \frac{C}{V}$

$$w = \int P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} dV = C \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow w = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$w = 1000 \times 0.1 * \ln \frac{1}{0.1} \Rightarrow w = 230.259\,kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

4.50) یک سیلندر از 0.25 m³ و 350 k و 125 kPa و 100 kPa به طور بی دررو فشرده می شود. چه مقدار کار لازم می شود؟

$$\begin{cases} P_1 = 125\ kPa \\ V_1 = 0.25\ m^3 \end{cases} \quad \begin{cases} P_2 = 100 \\ V_2 = ? \end{cases} \quad n = 1.667 \quad PV^n = C$$

$$\Rightarrow P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \Rightarrow 125 \times (0.25)^{1.667} = 100 \times V_2^{1.667}$$

$$\Rightarrow V_2 = 0.28581\ m^3 \quad , \quad PV^n = C \Rightarrow P = \frac{C}{V^n}$$

$$W = \int P\,dV = \int \frac{C}{V^n} dV = C \left. \frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right|_{V_1}^{V_2} = C\left(\frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} \right)$$

$$= \frac{CV_2^{1-n} + CV_1^{1-n}}{1-n} \Rightarrow \boxed{W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}} = \frac{100 \times 0.28581 - 125 \times 0.25}{1 - 1.667}$$

$$\Rightarrow W = 4.09\ kJ$$

4.55) یک سیلندر پیستون دار حاوی 0.5 kg بخار اشباع R-134a در $-10^{\circ}C$ است را در نظر گیرید. حال محتویات سیلندر و پیستون را تا فشار 500 kPa در طی فرآیند بی دررو تراکمی شبه تعادلی با $n = 1.5$ فشرده می کنیم. حجم و درجه حرارت نهایی را بیابید و کار لازم شده در طی فرآیند را تعیین کنید.

$$\begin{cases} T = -10^{\circ}C \\ \text{Sat. vap} \end{cases} \xrightarrow{\text{Table}} \begin{cases} P_1 = 201.7 \\ v_g = 0.09921 \end{cases}$$

$$\Rightarrow V = V.m = 0.09921 \times 0.5 \Rightarrow V = 0.049605\ m^3$$

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \Rightarrow 201.7 \times (0.049605)^{1.5} = 500 \times V_2^{1.5}$$

v_g

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$w = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} = \frac{500 \times 0.02703 - 201.7 \times 0.049605}{1-1.5}$$

$$w = -7.0193$$

$$v_2 = \frac{v_2}{m} = \frac{0.02703}{0.5} \Rightarrow \begin{cases} v_2 = 0.05406 \ \frac{m^3}{kg} \\ P = 500 \ kPa \end{cases} \Rightarrow \text{Superheat}$$

interpol $\quad 1) \ T_1 = 70, \ v = 0.05247 \quad 2) \ T_2 = 80, \ v = 0.05435 \quad T = ?, \ v = 0.05406 \quad \Rightarrow T = 79^\circ C$

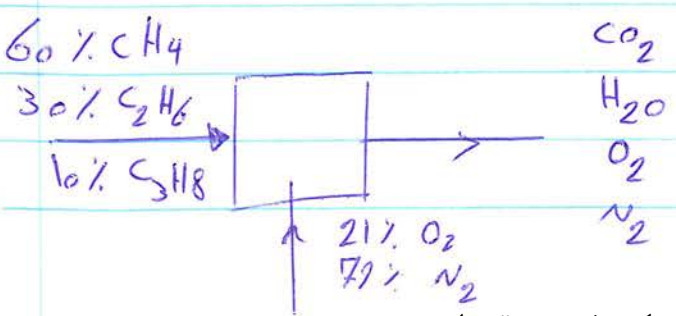
مثال) ۱۰ مول از یک آلکان زیر با ۲۰٪ هوای اضافی می‌سوزد، موارد زیر را حساب کنید.

الف) موازنه جرم را انجام دهید، مقدار هوای ورودی و مول مواد خروجی را حساب کنید

ب) اگر دمای جریان‌های ورودی و خروجی $25^\circ C$ باشد، مقدار انرژی آزاد شده

ج) اگر سرعت در دمای $500 K$، هوا در دمای $600^\circ C$ وارد محفظه احتراق شود، محصولات در دمای $700^\circ C$ از محفظه احتراق خارج می‌شوند، مقدار گرمای تبادل شده با محیط

د) اگر محفظه احتراق را به خوبی عایق نکنیم به طوری که با بیرون تبادل حرارت نداشته باشد و دمای جریان‌های ورودی همان دماهای مسئله ج، باشد، دمای جریان خروجی (دمای شعله) را حساب کنید



مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.113 یک مخزن صلب به ظرفیت 1m³ حاوی هوا در 200°C و 1MPa می‌باشد. شیری روی مخزن قرار دارد باز می‌شود و هوا خارج می‌گردد تا وقتی که فشار تا 100kPa کاهش می‌یابد. درجا فرآیند انتقال حرارت از یک منبع حرارت 200°C صورت می‌گیرد به طوری که وقتی شیر بسته می‌شود درجه حرارت درون مخزن 50°C است. مقدار انتقال حرارت چقدر است؟

$V = 0.1\ m^3$

1) $\begin{cases} P = 1000kPa \\ T = 200 + 273.15 \\ \Rightarrow T = 473.15\ K \end{cases} \xrightarrow{A.7} \begin{cases} u_1 = 339.8845\ \frac{kJ}{kg} \\ h_e = 475.15\ " \end{cases}$

$\Rightarrow PV = mRT \Rightarrow m_1 = \frac{1000 \times 0.1}{0.287 \times 473.15} \Rightarrow m_1 = 0.7364\ kg$

2) $\begin{cases} P = 100kPa \\ T = 323.15 \end{cases} \xrightarrow{A.7} \begin{cases} u_2 = 230.887\ \frac{kJ}{kg} \\ h_e = 323.15\ " \end{cases} \Rightarrow m_2 = 0.1078\ kg$

$\Rightarrow h_e = \frac{475.15 + 399.075}{2} \Rightarrow h_e = 399.075$ $\quad m_e = m_1 - m_2$

$\Rightarrow m_e = 0.6286$

$\Rightarrow Q = m_e h_e + m_2 u_2 - m_1 u_1 \Rightarrow$

$Q = 0.6286 \times 399.075 + 0.1078 \times 230.887 - 0.7364 \times 339.8845$

$\Rightarrow Q = +25.457\ kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

6.112) هلیم درون یک مخزن فولادی در 250kPa و 300 k و حجم $0.1 m^3$ وجود دارد و از آن برای پر کردن یک بالون استفاده می‌شود. وقتی فشار مخزن به 150kPa می‌رسد هریال هلیم به صورت خود کار متوقف می‌شود. اگر مقدار هلیم هنوز در دمای 300k باشد بالون تا چه حد بزرگ می‌شود؟ فرض کنید فشار داخل بالون با حجم به صورت خطی از (V=0 , 100 kPa) تا 150 kPa تغییر می‌کند. انتقال حرارت را حساب کنید.

1) $P = 250\ kPa \Rightarrow PV = m_1 RT \Rightarrow m_1 = \frac{250 \times 0.1}{300 \times 2.0771} \Rightarrow m_1 = 0.04012\ kg$

$T = 300\ k$

$V = 0.1 m^3$

2) $V = 0.1 m^3 \Rightarrow PV = m_2 RT \Rightarrow m_2 = \frac{150 \times 0.1}{300 \times 2.0771} \Rightarrow m_2 = 0.02407$

$P = 150\ kPa$

$T = 300$

$\Rightarrow m_e = m_1 - m_2 \Rightarrow m_e = 0.01604$

e) $m_e = 0.01604 \Rightarrow PV = mRT \Rightarrow V_{Ball} = \frac{0.01604 \times 2.0771 \times 300}{150}$

$P = 150$

$T = 300$

$\Rightarrow V_{Ball} = 0.06667\ m^3$

$P = C_1 + C_2 V$ $\begin{cases} 100 = C_1 + 0 \\ 150 = C_2 + C_2 V \end{cases} \Rightarrow C_2 = 749.96\ \frac{kPa}{m^3}$

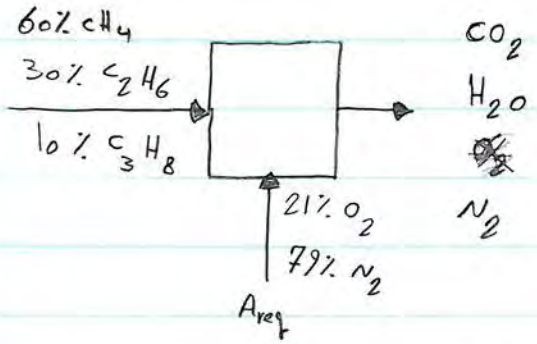
$W = \int P dV = \int_0^{0.06667} 100 + 749.96 V \Rightarrow W = 8.3319$

$\Delta U = 0 \Rightarrow Q = W \Rightarrow Q = 8.3319$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

برای بدست آوردن هوای لازم به 20٪ اضافی نیاز مورد فرآیند فرضی زیر را در نظر می‌گیریم



$$C: \frac{60}{100}\times 10\times 1 + \frac{30}{100}\times 10\times 2 + \frac{10}{100}\times 10\times 3 = n_{CO_2}$$

$$\Rightarrow n_{CO_2} = 15\ mol$$

$$H: \frac{60}{100}\times 10\times 4 + \frac{30}{100}\times 10\times 6 + \frac{10}{100}\times 10\times 8 = 2n_{H_2O}$$

$$\Rightarrow n_{H_2O} = 25\ mol$$

$$O: \frac{21}{100}\times 2\times A = 2n_{CO_2} + n_{H_2O} \Rightarrow A_{req} = 130.952\ mol$$

$$A = (1+0.2)\times 130.952 \Rightarrow A = 157.142$$

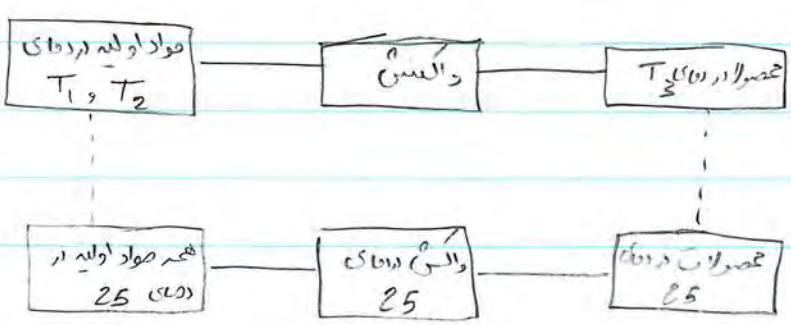
$$O: 157.142\times\frac{21}{100}\times 2 = 2n_{CO_2} + 2n_{O_2} + n_{H_2O} \Rightarrow n_{O_2} = 5.5\ mol$$

$$N: \frac{79}{100}\times 157.142\times 2 = 2n_{N_2} \Rightarrow n_{N_2} = 124.142\ mol$$

$$\Delta H_{rxn} = \left(\sum \Delta H^{P}_{f,25^\circ C}\right)_{P} - \left(\sum \Delta H^{f}_{25^\circ C}\right)_{React} \xrightarrow[A.10]{T}$$

$$\left[15\times(-393.522) + 25\times(-285.83) + 0 + 0\right] - \left[\frac{60}{100}\times 10\times(-74.87) + \frac{30}{100}\times 10\times(-84.74) + \frac{10}{100}\times 10\times(-103.9) + 0 + 0\right]$$

۲.۱



مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

	$\frac{kJ}{gmol}$	$\frac{kJ}{gmol}$	$\frac{kJ}{gmol}$		$\frac{kJ}{gmol}$
درصد	300	400	700	25	ΔH_f
CH_4	0.950	—	—	0.879	-74.873
C_2H_6	1.383	—	—	1.277	-87.703
C_3H_8	1.919	—	—	1.771	-103.9
O_2	—	3.752	13.225	0.732	—
N_2	—	3.695	12.652	0.728	—
H_2O	—	—	15.016	0.837	-241.826
CO_2	—	—	18.656	0.912	-393.522

$$\Delta H_p = \sum n_i [H_i(T) - H_i(25^\circ C) + \Delta H_i^f(25^\circ C)]$$

$$\Delta H_{React} = \sum n_i [H_i(T) - H_i(25^\circ C) + \Delta H_i^f(25^{oc})]$$

$$\Delta H_p = 15(18.656 - 0.912 + (-393.522)) + 25(15.016 - 0.837 + (-241.826)) + 5.5(13.225 - 0.732) + 124.142(12.656 - 0.728)$$

$$\Delta H_{React} = \frac{60}{100} \times 10 \times (0.95 - 0.879 - 74.873) + \frac{30}{100} \times 10(1.383 - 1.277 - 87.703) + \frac{10}{100} \times 10(1.919 - 1.771 - 103.9) + \frac{21}{100} \times 157.142(3.752 - 0.732) + \frac{79}{100} \times 157.142(3.695 - 0.728)$$

$$Q = \Delta H_p - \Delta H_{React}$$

یا

$$\Delta H_p = 15(h_{CO_2} - 0.912 + (-393.522)) + \cdots$$

مهندسان شیمی تهران

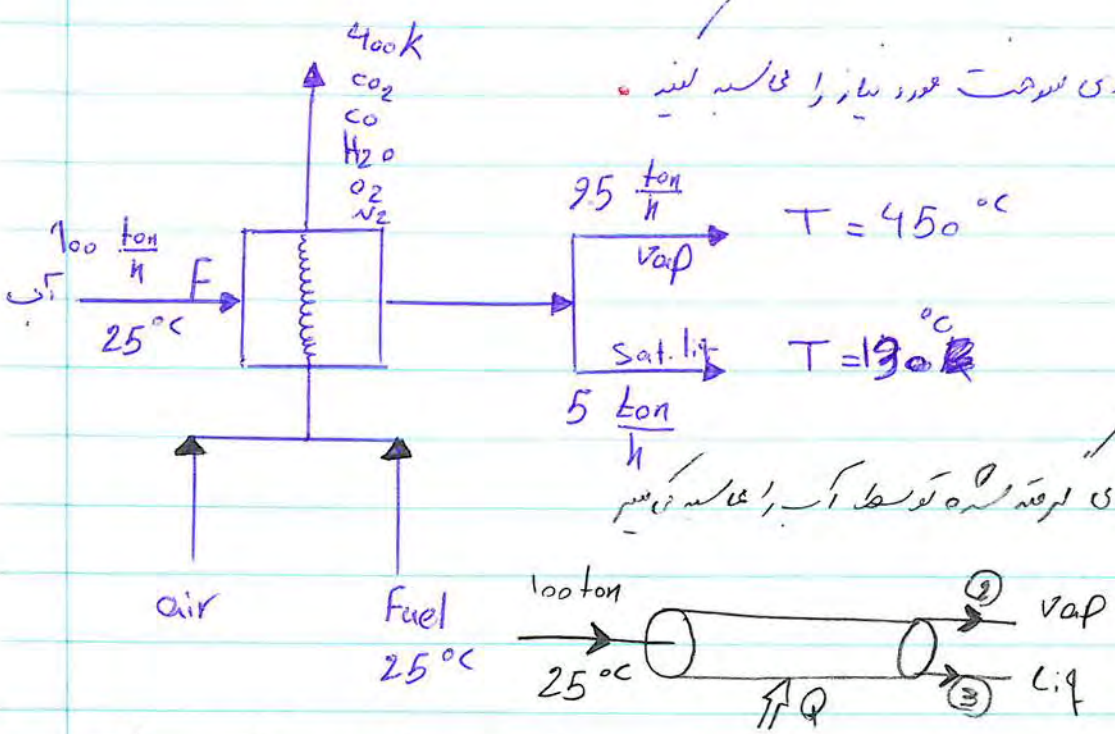
www.Endbook.net

سوال) در یک بویلر نیروگاه احتراق اغلب با پدیده ذرات تولید شده برای تبدیل آب

مایع به بخار آب استفاده می شود. سوخت مورد مصرف مشابل 80٪ متان و 20٪ اتان

می باشد که با 30٪ هوای اضافی می سوزد. فرآیند ناقص انجام می شود و نسبت مولی CO_2 به CO

$\frac{20}{1}$ می باشد دبی سوخت مورد نیاز را محاسبه کنید.



حل: ابتدا انرژی گرفته شده توسط آب را محاسبه می کنیم

$$m_i h_i + Q = m_2 h_2 + m_3 h_3$$

$$100000 \times 104.87 + Q = 95000 \times 333.23 + 5000 \times 546.29$$

① $P = 100\ kPa$, $T = 25^\circ C \Rightarrow h_f = 104.87\ \frac{kJ}{kg}$

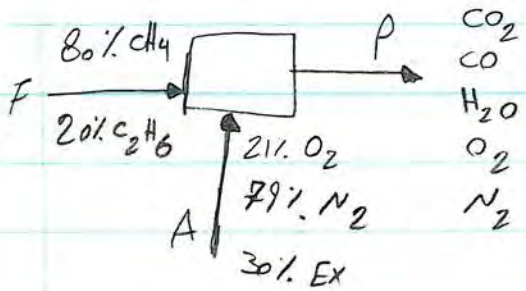
② $P = 100\ kPa$, $T = 130^\circ C \Rightarrow h_f = 546.29\ \frac{kJ}{kg}$

③ $P = 100\ kPa$, $T = 450^\circ C$, $h_g = 333.23\ \frac{kJ}{kg}$

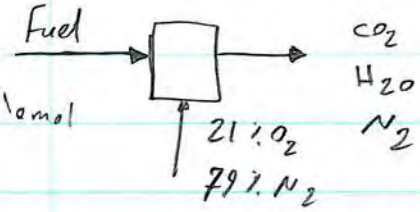
$$Q = 23901300\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net



مرکب روبه رو را در نظر می گیریم.



مرکب فرضی زیر را در نظر می گیریم.
۱۰ مول ورودی سوخت در نظر می گیریم

$$C: 10 \times \frac{80}{100} + \frac{20}{100} \times 10 \times 2 = n_{CO_2} \Rightarrow n_{CO_2} = 12\ mol$$

$$H: \frac{80}{100} \times 10 \times 4 + \frac{20}{100} \times 10 \times 6 = 2 n_{H_2O} \Rightarrow n_{H_2O} = 22\ mol$$

$$O: \frac{21}{100} \times 2 \times A_{req} = 2 n_{CO_2} + n_{H_2O} \Rightarrow A_{req} = 109.52\ mol$$

$$A = (1 + 0.3) \times 109.52 \Rightarrow A = 142.38\ mol$$

$$\frac{n_{CO_2}}{n_{CO}} = 20 \Rightarrow n_{CO} = \frac{n_{CO_2}}{20} = \frac{12}{20} \Rightarrow n_{CO} = 0.6\ mol$$

$$O: \frac{21}{100} \times 2 \times 142.38 = 2 n_{CO_2} + n_{CO} + n_{H_2O} + 2 n_{O_2} \Rightarrow n_{O_2} = 6.5998\ mol$$

$$N: \frac{79}{100} \times 2 \times 142.38 = 2 n_{N_2} \Rightarrow n_{N_2} = 112.4802$$

$$\Rightarrow n_{N_2} + n_{O_2} + n_{H_2O} + n_{CO} + n_{CO_2} = 153.67$$

$$\Rightarrow y_{CO_2} = 7.8\%, \quad CO = 0.39\%, \quad H_2O = 14.31\%$$

$$N_2 = 73.19\%, \quad O_2 = 4.29\%$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$Q = \Delta H_{rxn} = \left(\sum \Delta H^{f}_{(25°)}\right)_{P} - \left(\sum \Delta H^{f}_{(25°)}\right)_{React}$$

$$= \left[\frac{7.8}{100} \times P(-393522) + \frac{0.39}{100} \times P(-110527) + \frac{14.31}{100} \times P(-241.826)\right.$$

$$\left. + \frac{73.19}{100} \times P(0) + 0\right] - \left[\frac{80}{100} \times F(-74873) + \frac{20}{100} \times F(-84740)\right] =$$

$$-65731.072P - (-76846.4F) = 23901300\ kJ$$

$$\Rightarrow 76846.4F - 65731.072P = 23901300 \quad (1)$$

$$C: \frac{80}{100} \times F + \frac{20}{100} \times 2 \times F = \frac{7.8}{100} \times P + \frac{0.39}{100} \times P \Rightarrow 120F = 8.19P$$

$$\Rightarrow P = 14.652F \quad (2) \xrightarrow{(1),(2)} \begin{cases} F = 323.559\ kmol \\ P = 4740.79\ kmol \\ A = 4417.23\ kmol \end{cases}$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

www.Endbook.net

نکته : مسائل ترمودینامیک به صورت فرایندی هستند یعنی مجموعه اقداماتی که انجام می‌شود تا از یک نقطه به نقطه دیگر برسد. وقتی از یک نقطه به نقطه دیگر می‌رویم باید بعضی از پارامترها ثابت باشند.

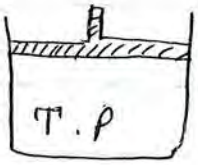
نکته : نیروی خارجی برای سیال باعث افزایش فشار می‌شود (ماهش حجم) اما وقتی به حجم خاصه شیر وارد می‌شود باعث افزایش تنش خواهد شد.

نکته : برای حل مسائل ترمودینامیک ابتدا باید نقطه شروع فرایند را مشخص کنیم سپس باید بدانیم در طول فرایند چه مشخصاتی ثابت می‌ماند سپس تمام مشخصات اولیه را یادداشت می‌کنیم. اجازه می‌دهیم فرایند انجام شود، فرایند به نقطه جدید می‌رسد وقتی به نقطه جدید می‌رسیم اطلاعاتی که مسئله درمورد نقطه جدید داده است را مشخص می‌کنیم، پارامترهای را که در نقطه ابتدا ثابت مانده‌اند را به نقطه جدید انتقال می‌دهیم و شروع می‌کنیم به حل مسئله.

مثال) بخار اشباع آب در دمای $250^{\circ}C$ فرض است اگر در دمای ثابت حجم 30٪ ماهش یابد شرایط جدید را تعیین کنید. ب) اگر حجم 40٪ افزایش یابد شرایط جدید را تعیین کنید.

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net



At the first point: $T_1 = 25^\circ C$ $m_1 = m_2 = m$

$T_1 = T_2$ $V_2 = 0.7 V_1$

$25^\circ C$ در جدول اشباع $\Rightarrow$ فشار $P = 3793$ kPa (Sat. vap)

$25^\circ C$ در جدول، فشار $= 3793$ kPa $\Rightarrow$ Spe. val $\rightarrow v_g = 0.05013 \frac{m^3}{kg}$

می‌دانیم $V_2 = 0.7 V_1 \xrightarrow{\times \frac{1}{m}} \frac{V_2}{m} = 0.7 \frac{V_1}{m} \xrightarrow{\frac{V}{m} = v} v_2 = 0.7 v_1$

$$v_2 = 0.7 \times 0.05013 = 0.035091 \frac{m^3}{kg}$$

با داشتن فشار، مقداری از بخار به مایع تبدیل شده است در نتیجه باید درصد وزنی مایع و بخار را تعیین کنیم

T	P	v_f	v_g
$25^\circ C$	3793	0.001251	0.05013

(سیستم بین v_f و v_g است پس mix و مخلوط بخار داریم) Spec. val

$$v = (1-x) v_f + x v_g \Rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.035091 - 0.001251}{0.05013 - 0.001251}$$

$$x \simeq 0.6923$$

دوم $T_1 = 25^\circ C$، $T_1 = T_2$، $m_1 = m_2 = m$، $V_2 = 1.4 V_1$

$25^\circ C$ در جدول اشباع $\Rightarrow$ فشار $P = 3793$ kPa (Sat. vap)

Spe. val $v_g = 0.05013 \frac{m^3}{kg}$

$$V_2 = 1.4 V_1 \Rightarrow v_2 = 1.4 v_1 \Rightarrow v_2 = 0.070182 \frac{m^3}{kg}$$

$x =$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 3.60) یک مخزن صلب بسته به حجم $2m^3$ حاوی مخلوط اشباع مایع، بخار هیدرو R-134a در دمای $10^\circ C$ است. اگر مخزن را تا $50^\circ C$ گرم کنیم مایع از بین خواهد رفت. مقدار مخار در دمای $50^\circ C$ چند درصد جرم اولیه مایع است.

حل: طبق اطلاعات مسئله در حالت اول مخلوط اشباع مایع و بخار ماده R-134a در دمای $10^\circ C$ هستیم. پس باید از جدول B.5.1 ، v_f ، v_g و P_{sat} را یادداشت کنیم

State 1: $v = 2m^3$, $T_1 = 10^\circ C$, sat. vap and liq

Table B.5.1 $\begin{cases} v_f = 0.000794 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.04945 \ " \\ P = 415.8 \ kPa \end{cases}$

در حالت دوم اجازه می دهیم مخزن آنقدر گرم شود، به دمای $50^\circ C$ برسد

State 2 . $T_2 = 50^\circ C$ Table B.5.1 $\begin{cases} P = 1318.1 \ kPa \\ v_g = 0.01512 \ \frac{m^3}{kg} \\ v_f = \ldots \end{cases}$

v_f در حالت دوم صفر است چون در مسئله گفته شده است مایع از بین می رود پس فقط درون مخزن بخار ماده R-134a هستیم پس v سیستم برابر با v_g است و چون در حالت دوم حجم و جرم ثابت کرده است v سیستم در حالت دوم برابر با v سیستم در حالت اول است

$$v = (1-x) v_f + x v_g \Rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.01512 - 0.000794}{0.04945 - 0.000794} \Rightarrow x = 29.45\%$$

$$m_t = \frac{V_t}{v_t} = \frac{2}{0.1512} = 132.275 \ kg$$

$$m_g = x m_t = \frac{29.45}{100} \times 132.275 = 38.94 \ kg$$

$$m_f = (1-x) m_t = \ldots 275 = 93.335 \ kg$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال (3.63): آمونیاک در $10^{\circ}C$ با جرم $10\ kg$ درون سیلندر پیستون با حجم اولیه $1\ m^3$ قرار دارد. پیستون در ابتدا روی موانع متوقف شده قرار دارد و برای این است که با فشار $900\ kPa$ شناور می‌شود. حال آمونیاک را به آرامی تا $50^{\circ}C$ گرم می‌کنیم. فشار و حجم نهایی چقدر است؟

حل: طبق اطلاعات مسئله ما از آمونیاک با جرم $10\ kg$ و در دمای $10^{\circ}C$ و حجم اولیه $1\ m^3$ می‌باشیم پس می‌توانیم v سیستم را با استفاده از m و V در حالت اول به دست آوریم

State 1: $m = 10\ kg$, $V = 1\ m^3$, $T = 10^{\circ}C$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{10} = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$$

حالا باید مشخص حالت بدهیم

طبق جدول در دمای $10^{\circ}C$ ، v سیستم بین v_f و v_g است پس دارای مخلوط مایع و بخار هستیم. پس باید مقدار x را تعیین کنیم

Table B.2.1
$P = 615.2\ kPa$
$v_f = 0.001600\ \frac{m^3}{kg}$
$v_g = 0.20541$ "

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.1 - 0.0016}{0.2054 - 0.0016} \Rightarrow x = 48.28\%$$

$$m_f = (1 - x)m_t = 5.172\ kg \ , \quad m_g = x \cdot m_t = 4.828\ kg$$

می‌خواهیم بدانیم در چه دمایی در فشار $900\ kPa$ پیستون شناور خواهد شد. پس حالا $900\ kPa$ را در جدول B.2.1 جستجو می‌کنیم. مشاهده

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

ما باید ببینیم دمای سیاره ی سرد مساوی ۲۰°C و فشار 85.5 kPa
و همچنین در دمای 25°C و فشار 1003.2 kPa چه فازی دارد. سپس این دو حالت را با حالت
سوم که ناشناخته از میانگین دمای آن را بدست می آوریم

1) $T = 20^{\circ}C$, $P = 85.5\ kPa$, $v = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$	2) $T = 25^{\circ}C$, $P = 1003.2\ kPa$, $v = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$	$T = ?$, $P = 900$, $v = 0.1$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{20 + 25}{2} \Rightarrow T = 22.5^{\circ}C$$

پس در دمای 22.5°C سیاره ی سرد، پس باید حرارت وارد را از راه دهیم تا به دمای
50°C برسیم، در نتیجه در این دما فشار داریم و در نتیجه فشار ثابت و
حجم متغیر می شود پس به جدول B.2.2 مراجعه می کنیم تا v جدید را بدست آوریم

state 2: $T = 50^{\circ}C$, Superheated vapor

Table B.2.2 ؛

$P = 800\ kPa$, $v = 0.18465$, $T = 50^{\circ}C$	$P = 1000$, $v = 0.14499$, $T = 50^{\circ}C$	$P = 900$, $v = ?$, $T = 50^{\circ}C$

چون در جدول فشار 900 نداریم در نتیجه interpol انجام می دهیم و به دلیل اینکه دقیقاً
بین فشار 1000 و 800 است میانگین می گیریم

$$v = \frac{0.18465 + 0.14499}{2} \Rightarrow v = 0.16482\ \frac{m^3}{kg}$$

$$V = v \cdot m = 0.16482 \times 10 = 1.6482$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال (4.6) یک سیلندر پیستون حاوی 1 kg از R-134a در حالت 1 با

کیفیت $110^{\circ}C$ و 600 kPa است. سپس مجموعه مذکور به داخل سردخانه در حالی که

پیستون توسط یک میخ نگهدارنده ثابت نگه داشته می‌شود به حالت 2 می‌رسد. انتقال

حرارت با اعمال نیروی خارجی برقرار شده و میخ نگه دارنده خارج می‌شود. سرد کردن

را ادامه می‌دهیم تا به حالت 3 برسیم که R-134a به مایع اشباع تبدیل می‌شود.

مرحله‌ی اولیه‌ی نمودار حالت‌شان داده شده را اجرا کنید.

State 1: $m = 1\,kg$, $T = 110^{\circ}C$, $P = 600\,kPa$

Tabel B.5.2: $v_g = 0.04943 \frac{m^3}{kg}$, $V_1 = V.m = 0.04943\ m^3$

نکته: بالاترین دما، فشاری که مایع، بخار می‌تواند در حال تعادل با هم باشند

نقطه بحرانی نام دارد که در آن $v_{fg} = 0$, $h_{fg} = 0$, $s_{fg} = 0$. در نتیجه دمای بالاتر از

نقطه بحرانی superheated است.

State 2: $m_1 = m_2 = m$, $v_1 = v_2 = v$ $V_1 = V_2$

$V = 0.04943 \frac{m^3}{kg}$ Table B.5.1 $\Rightarrow \begin{cases} P = 415\,8 \\ T = 15^{\circ}C \end{cases}$

State 3: Table B.5.1 $\begin{cases} v_f = 0.000794 \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.04945 \end{cases}$

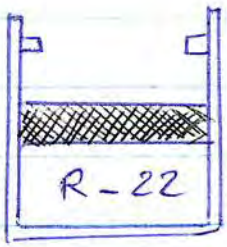
$v = V.m = 0.000794\ m^3$

$w = P\Delta v = 415.8(0.000794 - 0.04943) = -20.22\,kJ$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 4.64) مبرد R-22 در یک سیلندر و پیستون مانند شکل زیر قرار دارد که در ابتدا مجموعه پیستون با موانع حجم 11 لیتر است. حالت اولیه سیستم 150 kPa، -30°C با حجم 10 لیتر است. سیستم تا 15°C گرم می‌شود. برای رسیدن پیستون به موانع چه کار انجام شده؟



حل: State 1:

در حالت اول داریم دما -30°C، فشار 150 kPa، حجم 10 لیتر

پس با استفاده از جدول B.4.1 تشخیص حالت می‌دهیم. طبق جدول در دمای -30°C فشار 163.5 است اما فشار ما در داخل پیستون 150 kPa است پس فشار کمتری دارد، ماده superheated است پس به جدول B.4.2 مراجعه می‌کنیم اما در جدول دمای -30°C نداریم (در فشار 150) دمای -30°C بین دمای -32°C و -20°C است پس باید interpol انجام دهیم.

1) $P = 150\ kPa$, $T = -32\ ^\circ C$, $v = 0.1427\ \frac{m^3}{kg}$

2) $P = 150\ kPa$, $T = -20\ ^\circ C$, $v = 0.15585$

$P = 150\ kPa$, $T = -30$, $v = ?$

$$\Rightarrow \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \Rightarrow \frac{0.15585 - 0.1427}{-20 - (-32)} = \frac{v - 0.1422}{-30 - (-32)}$$

$$\Rightarrow v = 0.148712\ m^3/kg \quad , \quad m = \frac{V}{v} = \frac{10 \times 10^{-3}}{0.148712}$$

$$\Rightarrow m = 0.0672\ kg$$

State 2:

v سیستم در حالت دوم را داریم چون حجم برابر 11 می‌شود و جرم را هم داریم

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

پس v حساب می‌شود . در حقیقت گفته است که با حرارت می‌دهیم تا به دمای 150°C برسد پس وقتی گرما می‌دهیم مولکول‌ها شروع به حرکت با سرعت بیشتری می‌کنند و دوست دارند فشار را بالا ببرند مثلاً 150.1 کیلوپاسکال . پس دورشان 0.1 زیاد می‌شود . در نتیجه این 0.1 را صرف بالا بردن پیستون می‌کنند پس در کل این مسیر فشار ثابت است و حجم متغیر . فرض می‌کنیم در دمای 15°C به ضایع رسیده باشد گرم کردن را ادامه می‌دهیم پس حالا حجم ثابت و فشار افزایش می‌یابد .

در لحظه رسیدن فشار به 150 kPa است v را هم داریم پس می‌رویم دما را پیدا کنیم

$$v = \frac{V}{m} = \frac{11 \times 10^{-3}}{0.06722} = 0.16369 \ \frac{m^3}{kg}$$

طبق جدول B.4.2 در فشار 150 kPa ، v سیستر به $0.16369 \frac{m^3}{kg}$ است بین دماهای 100 و 150 است پس حرارت دادن را باید ادامه بدهیم در نتیجه فشار متغیر و حجم ثابت است . در جدول v سیستر بین فشارهای 200 و 150 کیلوپاسکال در دماهای 150 است

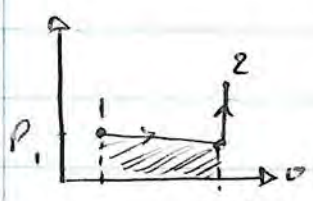
1	2	
$P = 150 \ kPa$	$P = 200 \ kPa$	$P = ?$
$v = 0.18011 \ \frac{m^3}{kg}$	$v = 0.1338 \ \frac{m^3}{kg}$	$v = 0.16369 \ \frac{m^3}{kg}$
$T = 150°C$	$T = 150°C$	$T = 150°$

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \Rightarrow \frac{200 - 150}{0.1338 - 0.18011} = \frac{P - 150}{0.16369 - 0.18011}$$

$$\Rightarrow P = 167.717 \ kPa$$

محاسبه کار انجام شده

کار انجام شده در فرآیند کامل از تغییر حجم داریم



$$w = \int P dv = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P(v_2 - v_1) = 150(0.011 - 0.01)$$

$$\Rightarrow w = 0.15 \ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

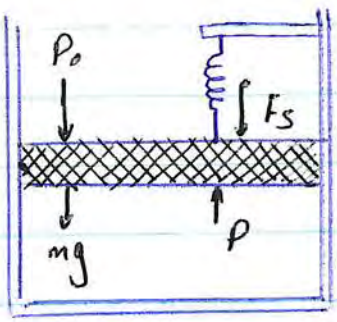
www.Endbook.net

4.42 مثال: یک مجموعه سیلندر و پیستون حاوی 1kg آب در $20^{\circ}C$ است و فشار 300kPa در روی پیستون یک فنر خطی بار نشده است به گونه‌ای که وقتی آب گرم، حجم $0.1\,m^3$ می‌شود فشار به 3MPa خواهد رسید

الف) درجه حرارت نهایی

ب) کار انجام شده

ج) نمودار P-v



حل: ما داریم 1kg آب در دمای $20^{\circ}C$ و فشار 300kPa

می‌توانیم مراجعه کنیم به جدول B.1.1 تا تشخیص حالت بدهیم. در جدول در دمای $20^{\circ}C$ فشار 2.33kPa می‌باشد اما فشار داخل پیستون 300kPa است پس comp.liq است، در نتیجه حجم را حساب می‌کنیم.

State 1: $m = 1kg$, $T = 20^{\circ}C$, $P = 300kPa$

Table B.1.1 $\Rightarrow v_f = 0.001002 \frac{m^3}{kg}$

$$V_1 = v.m = 0.001002 \times 1 = 0.001002\,m^3$$

$$PA = P_0A + mg + \underbrace{F_s}_{k(x-x_0)}$$

$$\Rightarrow P = P_0 + \frac{mg}{A} + \frac{k(x-x_0)}{A} \times \frac{A}{A} = P_0 + \frac{mg}{A} + \frac{kv}{A^2} - \frac{kv_0}{A^2}$$ داریم

$$P = \underbrace{\left(P_0 + \frac{mg}{A} + \left(-\frac{kv_0}{A}\right)\right)}_{\text{ثابت} = C_1} + \underbrace{\left(\frac{k}{A^2}\right)}_{\text{ثابت} = C_2} v$$

$$\Rightarrow P = C_1 + C_2 v \quad \Rightarrow \quad 300 = C_1 + C_2 \times 0.001002 \quad (1)$$

پس برای به دست آوردن C_1، C_2 به دو معادله احتیاج داریم.

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

State 2: $V = 0.1\ m^3$, $P = 3000\ kPa$

$$v_2 = \frac{V}{m} = \frac{0.1}{1} = 0.1\ m^3$$

$$\Rightarrow \quad P = C_1 + C_2 v \quad \Rightarrow \quad 3000 = C_1 + C_2 \times 0.1 \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(1),(2)} \begin{cases} 300 = C_1 + C_2 \times 0.001002 \\ 3000 = C_1 + 0.1\, C_2 \end{cases} \qquad C_1 = \frac{P_2 - P_1}{v_2 - v_1}$$

$$\Rightarrow C_2 = 27273.28 \ , \ C_1 = 272.68$$

برای حالت دوم، مشخصات وضعیت را در جدول B.1.1 مراجعه می‌کنیم با $3000\ kPa$ را پیدا می‌کنیم v سیستم که 0.1 است را با v_f و v_g مقایسه می‌کنیم که دیده می‌شود که v سیستم از v_g هم بیشتر است یعنی Superheated است به جدول B.1.3 در فشار $3000\ kPa$ مراجعه می‌کنیم، $v = 0.1$ را پیدا می‌کنیم و دمای آن را، دمای سیستم است

Table B.1.3 $\Rightarrow$

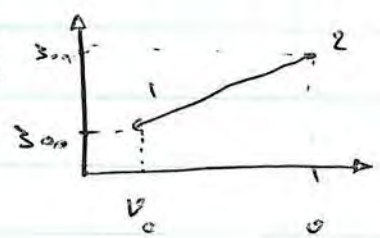
1: $P = 300\ kPa$, $T = 400^{\circ}C$, $v = 0.09953$

2: $P = 300\ kPa$, $T = 45,^{\circ}C$, $v = 0.10782$

$P = 3000\ kPa$, $T = ?$, $v =$

interpolate $\Rightarrow T = 404^{\circ}C$

نمودار P-v



مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

(4.62 مثال) یک سیلندر پیستون دار حاوی 1.5 kg آب در فشار 200 kPa و دمای 150°C است. این سیستم را آنقدر گرم می‌کنیم تا به فشار 600 kPa و دمای 350°C برسد. حجم نهایی و کار را حساب کنید.

State 1 : $m = 1.5\ kg$, $P = 200\ kPa$, $T = 150^{\circ}C$

Table B.1.1 : $\begin{cases} T = 150^{\circ}C \\ P = 200\ kPa \end{cases}$ => Superheated

=> Table B.1.3 : $\begin{cases} P = 200\ kPa \\ T = 150^{\circ}C \end{cases}$ => $v_1 = 0.95964\ \frac{m^3}{kg}$

$V_1 = v_1 m = 0.95964 \times 1.5 = 1.439\ m^3$

$P = C_1 + C_2 V$ => (1) : $P = 200 = C_1 + 1.439 C_2$

State 2 : Table B.1.1 $\begin{cases} T = 350^{\circ}C \\ P = 600\ kPa \end{cases}$ => Superheated

=> Table B.1.3 : $\begin{cases} P = 600\ kPa \\ T = 350^{\circ}C \end{cases}$ => $v_2 = 0.47424\ \frac{m^3}{kg}$

$V_2 = v_2 \cdot m = 0.47424 \times 1.5 = 0.71136\ m^3$

(2) $600 = C_1 + 0.71136 C_2$ $\quad C_1 = +991.04\ kPa$

(1) $200 = C_1 + 1.439 C_2$ $\quad C_2 = -549.722\ \frac{kPa}{m^3}$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$W = \int P dv = \int_{v_1}^{v_2} (991.04 - 549.722v)\, dv$$

مثال 4.9 یک سیلندر پیستون دار 1 kg آب مایع در $20^{\circ}C$ است $300\ kPa$ حجم آن $0.1\ m^3$ می باشد. شخصی اشتباهاً پیستون را الله رها کرد. آن را صدمه می کند در حالی که به آب حرارت می دهیم تا به بخار اشباع تبدیل شود درجه حرارت، حجم نهایی، کار مرزی را بدست آورید.

State 1: $m = 1\ kg$, $T = 20^{\circ}C$ $\quad v = \frac{V}{m} = \frac{0.1}{1} = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$

Table B.1.1 $\Rightarrow$ $\begin{cases} T = 20^{\circ}C \\ v = 0.1\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$ $\Rightarrow$ mixture $\begin{cases} v_f = 0.001002\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 57.7887 \end{cases}$

$x = ? \Rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.1 - 0.001002}{57.7887 - 0.001002} = 0.001713 \Rightarrow x = 0.17\%$

$m_g = 0.001713 \times 1 = 0.001713\ kg$

$m_f = (1 - x)\, m = 0.998287\ kg$

State 2: $v_2 = v_1 \Rightarrow v_2 = v_1 = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$

Table B.1.1 $\begin{cases} v_g = 0.1 \\ T = ? \end{cases}$ $\Rightarrow T = 212^{\circ}C$

$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 4.68 یک kg 10 در یک مجموعه سیلندر و پیستون به حالت بخار اشباع در 100 kPa و کیفیت 50 قرار دارد. اکنون آن را گرما می‌دهیم تا حجم آن سه برابر شود. جرم پیستون به گونه‌ای است که وقتی جسم، سیلندر 200 kPa باشد شناور می‌شود. حجم و درجه حرارت نهایی بخار را حساب کنید.

State 1 : $m = 10\,kg$, $P = 100\,kPa$, $x = 50\,\%$

Table B.1.1 $\Rightarrow$ $P = 100\,kPa$ $\begin{cases} T \simeq 100^{\circ}C \\ v_f = 0.001044 \\ v_g = 1.6729 \end{cases}$

$x = \dfrac{v - v_f}{v_g - v_f} \Rightarrow v = x(v_g - v_f) + v_f$

$\Rightarrow v = 0.5(1.6729 - 0.001044) + 0.001044$

$\Rightarrow v_1 = 0.8475 \dfrac{m^3}{kg}$ $\quad v = \dfrac{v_1}{m} \Rightarrow V_1 = 8.475\,m^3$

$m_g = 5\,kg$, $m_f = 5\,kg$ $\quad v_g = 5 \times 1.6729 =$

$v_f = 5 \times 0.001044 =$

State 2:

$v_2 = v_1$ و $P_2 = P_1$ و $P_2 = 200\,kPa$ پیستون شناور می‌شود. پس حجم ثابت است در نتیجه $V_2 = V_1$ پس با مراجعه به جدول B.1.2 ... v_2 را به دست می‌آوریم و x را حساب می‌کنیم

$v_2 = v_1$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

Table B.1.2 : $v_2 = 0.8475$, $P = 200\ kPa$ { $T = 120^{\circ}C$; $v_f = 0.001061\ \frac{m^3}{kg}$; $v_g = 0.88573$ "

$$x = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.8475 - 0.001061}{0.88573 - 0.001061} = 95\%$$

State 3 :

حرارت دادن را ادامه می دهیم تا حجم ۳ برابر شود

$$V_3 = 3V_1 = 3 \times 8.475 = 25.425\ m^3$$

$$v_3 = 3v_1 = 3 \times 0.8475 = 2.5425\ m^3$$

Table B.1.3 : $P = 200\ kPa$, $v = 2.5425\ \frac{m^3}{kg}$ $T = ?$

1)	2)	
$P = 200\ kPa$	$P = 200\ kPa$	$P = 200\ kPa$
$T = 800^{\circ}C$	$T = 900^{\circ}C$	$T = ?$
$v = 2.47539\ \frac{m^3}{kg}$	$v = 2.70643\ \frac{m^3}{kg}$	$v = 2.5425\ \frac{m^3}{kg}$

$$\frac{900 - 800}{2.70643 - 2.47539} = \frac{T - 800}{2.5425 - 2.47539} \Rightarrow T = 829^{\circ}C$$

$$w = \int P dv = P_{avg} \times (V_2 - V_1) = 200 \times (2.5425 - 0.8475) \times 10$$

$$w = 3390\ kJ$$

مهندسان شیمی تهران

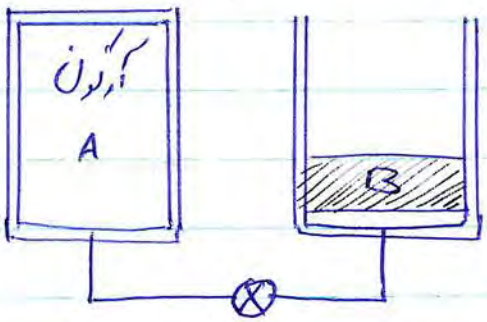
www.Endbook.net

مسأله (4.93) مخزن A به حجم 400 L حاوی نیتروژن در 250 kPa و 30 °C است.

سیلندر B دارای پیستون بدون اصطکاک است که دارای جرمی می‌باشد که فشار 150 kPa

آن را نگه می‌دارد و در ابتدا خالی است. شیر باز می‌شود و نیتروژن وارد B می‌شود تا تعادل

به حالت 150 kPa و 30 °C برسد. فشار نهایی و مقدار انجام شده چقدر است؟!



State 1: $V = 400$ liter, $T = 30^{\circ}C$, $P_1 = 250$ kPa

$$P_1 V = n_{A_1} R T \Rightarrow n = \frac{P_1 V}{RT}$$

$$n = \frac{250 \times 400 \times 10^{-3}}{8.314 \times 303.15} \Rightarrow n_{A_1} = 0.037696 \text{ kmol}$$

State 2: $P_2 = 150$ kPa, $V = 400$ liter, $T = 30^{\circ}C$

$$P_2 V = n_{A_2} R T \Rightarrow n_{A_2} = \frac{P_2 V}{RT} = \frac{150 \times 400 \times 10^{-3}}{8.314 \times 303.15} \Rightarrow$$

$n_{A_2} = 0.02378$ kmol $\quad n_B = n_{A_1} - n_{A_2} \Rightarrow n_B = 0.015896$ kmol

n_{A_1} = مقدار مول داخل مخزن A قبل از باز شدن شیر

n_{A_2} = " " " " بعد از باز شدن شیر

n_B = مخزن B بعد از باز شدن شیر

$$\begin{cases} W = \int P\,dV = P\int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1) = PV_2 \\ V_2 = \dfrac{n \times RT}{P} \end{cases}$$

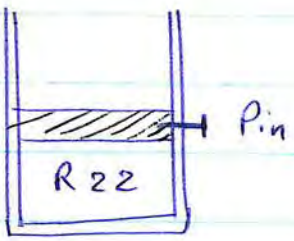
مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$$\Rightarrow W = P_x\left(\frac{nRT}{P}\right) = nRT = 0.015896 \times 8.314 \times 303.15$$

$$\Rightarrow \boxed{W = 40\ kJ}$$

مثال 4.106) یک سیلندر عمودی دارای پیستون 61.18 kg است که توسط یک فنر نگهدارنده 10 L از جنس R-22 در 10°C و کیفیت 90٪ درون آن نگه داشته شده است. فشار اتمسفر 100 kPa است و سطح مقطع سیلندر $0.006\ m^2$ می باشد. حال فنر نگهدارنده برداشته می شود و پیستون حرکت می کند تا دوباره تعادل حرارتی برای R-22 برای 10°C حاصل شود. فشار و حجم نهایی را بیابید.



State 1: $v_1 = 10\ L$, $T = 10^{\circ}C$, $x = 90\%$

Table B.4.1 $\left\{\begin{matrix} T = 10^{\circ}C \\ \text{mixture} \end{matrix}\right. \Rightarrow \left\{\begin{matrix} P = 680.7\ kPa \\ v_f = 0.0008\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.03471\ \frac{m^3}{kg} \end{matrix}\right.$

$$v_1 = (1-x)v_f + x v_g = (1-0.9)0.0008 + 0.9 \times 0.03471$$

$$\Rightarrow v_1 = 0.031319\ \frac{m^3}{kg} \qquad \Rightarrow m = \frac{V}{v} = \frac{10 \times 10^{-3}}{0.031319} = 0.31929\ kg$$

State 2: $A = 0.006\ m^2$, $P_o = 100\ kPa$

$$PA = P_o A + mg \Rightarrow P = P_o + \frac{mg}{A} = 100 + \frac{61.18 \times 9.81}{0.006} \times 10^{-3}$$

$$P = 100 + 100 = 200\ kPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

Superheated => B.4.2 => $\begin{cases} P = 200kPa \\ T = 10^{\circ}C \end{cases}$ => $v_2 = 0.13129 \frac{m^3}{kg}$

$v_2 = \frac{V_2}{m}$ => $V_2 = v \cdot m = 0.0841 \, m^3$ (0.46246) (1451 J)

$w = \int_{v_1}^{v_2} P dv = P(v_2 - v_1) = 400 (0.0419 - 10 \times 10^{-3}) = 6.38 \, kJ$

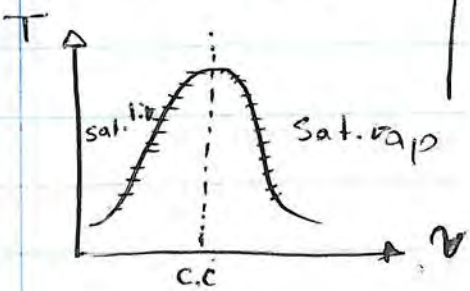
مثال 3.58) یک مخزن فولادی به حجم $0.015 \, m^3$ حاوی 6kg مخلوط دوفازی (مایع + بخار) در دمای $20^{\circ}C$ است. اگر آب سطح مایع درون مخزن تا بالای مخزن صعود خواهد کرد یا تا ته مخزن پایین خواهد آمد؟ انرژی درونی اولیه 1kg بود چه انتظاری می‌رود؟

حل: در انتهای کتاب جدول بخار وجود دارد، وقتی بخار داخل مایع تبدیل به بخار می‌شود، سطح مایع پایین می‌آید.

نکته: بالاترین دمای که مایع و بخار می‌توانند در تعادل باشند نقطه بحرانی می‌باشد.

طبق جدول A.2 در دمای $647.3 \, K$ (دمای کلوین) بخار در نقطه بحرانی قرار دارد که $v_{c.c} = 0.00345 \frac{m^3}{kg}$ در آن دما می‌باشد.

$\begin{cases} m = 6 \, kg \\ V = 0.015 \, m^3 \end{cases}$ => $\begin{cases} v = \frac{0.015}{6} = 0.0025 \frac{m^3}{kg} \\ v_{c.c} = 0.003154 \end{cases}$



در حالت اول چون $v < v_{c.c}$ است در نتیجه با sat. liq داریم سطح مایع افزایش می‌یابد

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

$V_2 = \frac{0.015}{1} = 0.015$

در حالت دوم چون $V_{sys} > V_{c.c}$ است در نتیجه Sat.vap دارای سطح مایع است می شد

مثال: مخزن A به حجم $1\,m^3$ مفروض است که در آن هوا در فشار $1500\,kPa$ و دمای $300^\circ k$ وجود دارد و از طریق یک شیر به سیلندر و پیستون B مربوط شده است

سطح مقطع پیستون $0.1\,m^3$ و فشار $250\,kPa$ برای 2 متر بالا رود در این حالت شیر را می بندیم و در این فرآیند ثابت و $300^\circ k$ می ماند. حل: مسئله

در ثانیه را حساب نمی.

State 1: $P_1 = 1500\,kPa$, $V_A = 1\,m^3$, $T = 300^\circ k$

$$PV_A = n_A RT \Rightarrow n_A = \frac{P V_A}{RT} = \frac{1500 \times 1}{8.318 \times 300} = 0.60139\ kmol$$

State 2: $P_2 = 250\,kPa$, $V_B = 2 \times 0.1 = 0.2\,m^3$, $T = 300^\circ k$

$$P_2 V_B = n_B RT \Rightarrow n_B = \frac{P V_B}{RT} = \frac{250 \times 0.2}{8.314 \times 300} = 0.020041\ kmol$$

$n_{A'}$ (مقدار باقی مانده در A) $= n_A - n_B = 0.60139 - 0.020041 = 0.58135\ kmol$

$$P_2 V_A = n_{A'} RT \Rightarrow P_2 = \frac{n_{A'} RT}{V_A} = \frac{0.58135 \times 8.314 \times 300}{1}$$

$$P_2 = 1447.7\ kPa$$

مهندسان شیمی تهران

www.Endbook.net

مثال 4.112) هوا در 200kPa و 30°C در یک سلندر پیستون با حجم اولیه 0.1 m³ قرار دارد. فشار داخل با فشار خیطی 100kPa بعلاوه یک فنر بیرون بیرون متناسب با $V^{0.5}$ با فشار در تعادل می‌باشد. حال به سیستم حرارت می‌دهیم تا فشار به 225kPa برسد. درجه حرارت نهایی و کار انجام شده را بیابید!!

State 1: $P = 200\ kPa$, $T = 30 + 273.15 = 303.15\ K$

$V = 0.1\ m^3$

$$\Rightarrow PV = n\bar{R}T \Rightarrow n = \frac{PV}{\bar{R}T} = \frac{200 \times 0.1}{8.314 \times 303.15} = 0.0079\ kmol$$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = 0.0079 \times 29 = 0.2291\ kg$$

State 2: $P = 100 + A V^{0.5}$, $P_1 = 200\ kPa$

$$\Rightarrow 200 = 100 \times A \times 0.1^{0.5} \Rightarrow A = \frac{100}{\sqrt{0.1}} \Rightarrow A = 316.23\ \frac{kPa}{(m^3)^{0.5}}$$

$$P_2 = 225\ kPa \Rightarrow 225 = 100 + 316.23\, V^{0.5}$$

$$\Rightarrow V = \left(\frac{125}{316.23}\right)^2 = 0.15625\ m^3$$

State 2: $P_2 = 225\ kPa$, $V_2 = 0.15625\ m^3$

$n_1 = n_2 = 0.0079\ kmol$

$$P_2 V_2 = nRT_2 \Rightarrow T_2 = \frac{225 \times 0.15625}{8.314 \times 0.0079} = 535.26^\circ K$$

$$W = \int P dV$$

مهندسان شیمی تهران