PDF Compressor Free Version

بسم الله الرحمن الرحیم

ترمودینامیک

۱_۲

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

فهرست

عنوان	صفحه	عنوان	صفحه
مقدمه بر ترمودینامیک	۱		
فصل سوم (خواص مواد خالص)	۵		
نمودار T-v	۷		
نتایج تجربی	۱۹		
فصل چهارم (کار و گرما)	۲۲		
فصل پنجم (قانون اول ترمودینامیک)	۲۹		
فصل ششم (قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل)	۴۱		
فصل هفتم (قانون دوم ترمودینامیک)	۵۳		
فصل هشتم (استرلینگ)	۶۱		
دیاگرام T-s	۷۷		
فصل نهم (سیکلهای توانی)	۷۸		
فصل دهم (سیکلهای تبرید)	۱۰۰		
فصل یازدهم (سیکلهای هوایی)	۱۰۸		
فصل دوازدهم (مخلوطهای گازی)	۱۲۸		
فصل سیزدهم (واکنشهای شیمیایی و روابط ترمودینامیک)	۱۴۱		

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

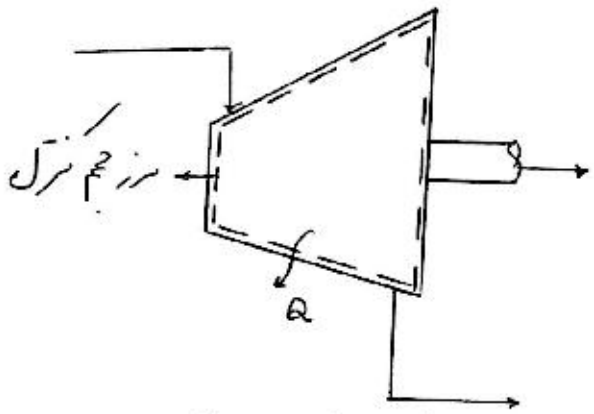
ترمودینامیک ۱

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

سیستم : فضای بسته که توجه خود را جهت بررسی به آن معطوف داریم این فضای توانه تبادل کار و گرما داشته باشد ولی تبادل جرمی ندارد.

حجم کنترل : فضای بسته که توجه خود را جهت بررسی به آن معطوف داریم این فضای توانه تبادل کار - گرما و جرم داشته باشد.

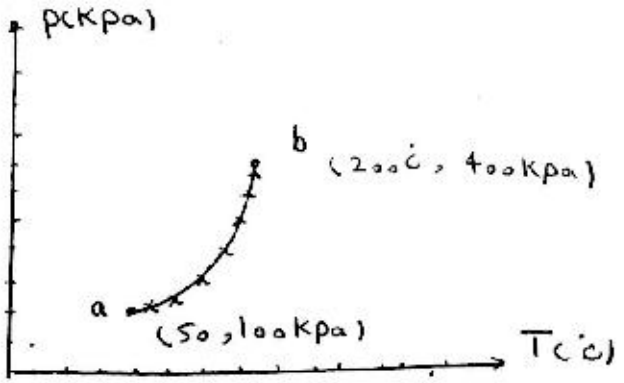


ترمودینامیک : { ۱- آماری : ذره را غیر پیوسته و اثر تک تک ذرات را در نظر می گیریم.
۲- کلاسیک : ذره را پیوسته و اثر مجموعه را در نظر می گیریم.

فاز : ماده در ۳ فاز جامد - مایع - گاز وجود دارد.

حالت : هر یک از وضعیت های مختلفی که یک ماده به خود می گیرد را یک حالت می نامند.

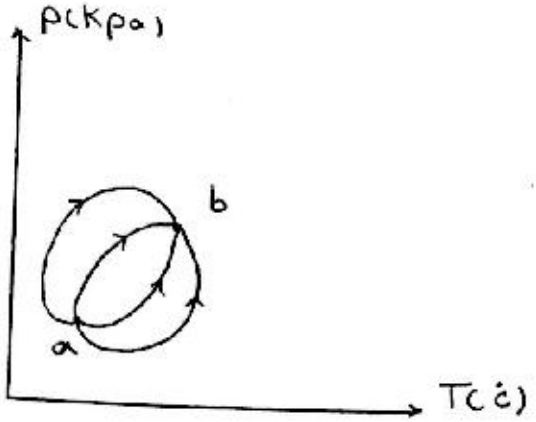
در مبحث ترمودینامیک برای اینکه سیستم از نقطه ای مانند a به نقطه b برسد مسیری را طی می کند که به آن مسیر ترمودینامیکی می گویند از این مسیر هر نقطه آن را یک حالت سیستم گوییم.



Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

برای رسیدن از a به b سیستم می‌تواند مسیرهای متفاوتی را طی نماید.

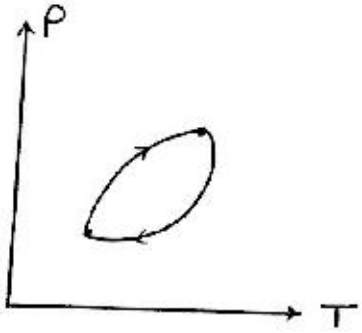


خاصیت : properties

کمیتی است که مستقل از مسیر بانند نقطه جایی

سیکل : cycle

اگر سیستمی از وضعیت اندایی خارج و سپس از طی وضعیت های مختلف مجدداً به نقطهٔ اندایی برگردد سیکل را طی نموده است.



حجم مخصوص : specific volume

$$v = \frac{dV}{dm}$$

$v = \frac{V}{m}$ اگر سیستم هلن باشد. $\Rightarrow \boxed{v = \frac{1}{\rho}}$

$$\rho = \frac{dm}{dv}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

فشار : pressure

نیروی عمودی وارده بر واحد سطح $P = \frac{dF_n}{dA}$

$dA = V$

فشار کمیتی برداری است.

واحد فشار در دستگاه SI نیوتن بر متر مربع است که به آن پاسکال گفته می‌شود.

$Pa = N/m^2$

تبدیل واحدهای فشار:

$1bar \simeq 1atm = 101.3kPa = 14.7psi = 10.3\ m_{H_2O} = 760\ mmHg = 1kg/cm^2$

فشار نسبی و مطلق:

$P_{abs} = P_{gage} + P_{atm}$

فشارسنج در ارتفاعی بالاتر از سطح دریا 95 kPa

(B)

فشار مطلق: 300kPa

فشار نسبی: 205kPa

فشارسنج در سطح دریا 100kPa

(A)

فشار مطلق: 300kPa

فشار نسبی: 200kPa

دما: کمیتی است که میزان گرم بودن ماده را مشخص می‌کند.

واحد دما: در واحد SI سانتی گراد یا سلسیوس می‌باشد.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

سلسیوس دمای آب یخ در حال تعادل در فشار 1 اتمسفر هوای اطراف را صفر و دمای
آب در حال جوش در همین شرایط را 100 انتخاب نمود و سپس فواصل بین این دو را 100 قسمت
مساوی کرد و هر قسمت 1 درجه می باشد.

درجه حرارت کلوین $K = C^\circ + 273$

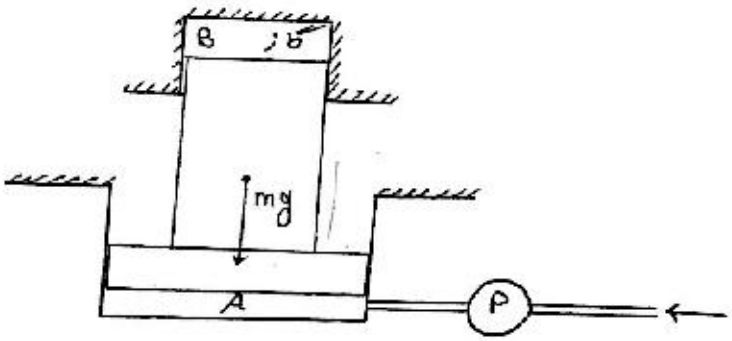
درجه حرارت فارنهایت $\frac{F-32}{180} = \frac{C}{100}$

درجه حرارت رانکین $R = F + 460$

قانون صفرم ترمودینامیک:

اگر جسم A با B هم دما و B با C هم دما باشد آنگاه A با C هم دما خواهد بود.

مسئله 36



صفحه روغن

$D = 100mm$

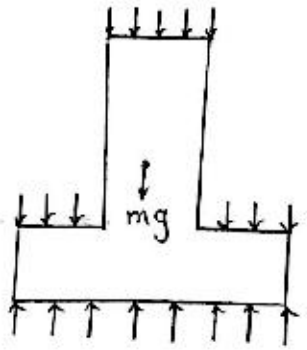
$d = 25mm$

$P_A = 500kpa$

$m_p = 15kg$ (جرم پیستون)

$P_B = ?$

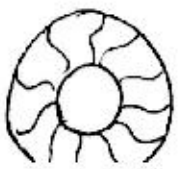
$\sum F_y = 0$



$$P_A A_A - m_p g - P_B A_B - P_{at} A_{at} = 0$$

$$(\frac{\pi D^2}{4}) - m_p g - P_B(\frac{\pi d^2}{4}) - P_{atm}(\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)) = 0$$

$$(500 \times 10^3)(\frac{\pi \times 0.1^2}{4}) - (15 \times 9.81) - P_B(\frac{\pi \times 0.25^2}{4}) - (100 \times 10^3)(\frac{\pi}{4}(0.1^2 - 0.25^2)) = 0$$



Scanned by CamScanner

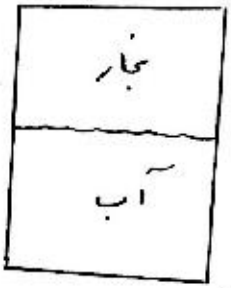
PDF Compressor Free Version

فصل سوم

ماده خالص : pure substances

ماده‌ای که دارای ترکیب شیمیایی یکسان و تک‌فاز همگن باشد.

یک فاز همگن



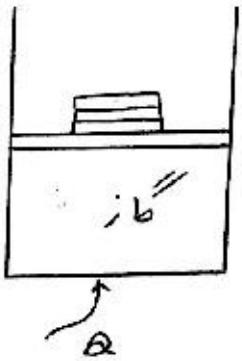
دو فاز همگن H_2O

ماده تراکم پذیر ساده : simple compressible substances

ماده خالص که اثرات کشش سطحی - مغناطیسی - الکتریکی در مورد آن ناچیز باشد.

فرایند فشار ثابت : constant pressure process

فرایندی که در طول انجام آن فشار ثابت بماند یعنی ستون که آزادانه در سیلندر بلغزد چنین فرایندی را ایجاد می‌کند.



$$P_{gas} = \frac{W}{A_P}$$

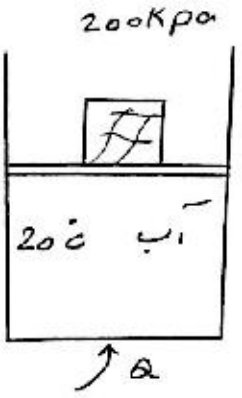
با ایجاد گرما ستون رو به بالا می‌رود.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

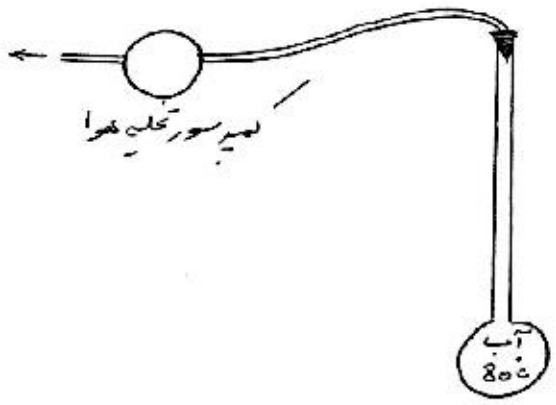
بخش مشتاق - بخار :

دمای آب تا 120.23 افزایش یابد تبخیر شروع می‌شود و دما ثابت می‌ماند.



P_{kPa}	$T_{°c}$
200	120.23
400	143.63
1000	179.91
↓	↓

عکس آزمایش فوق :



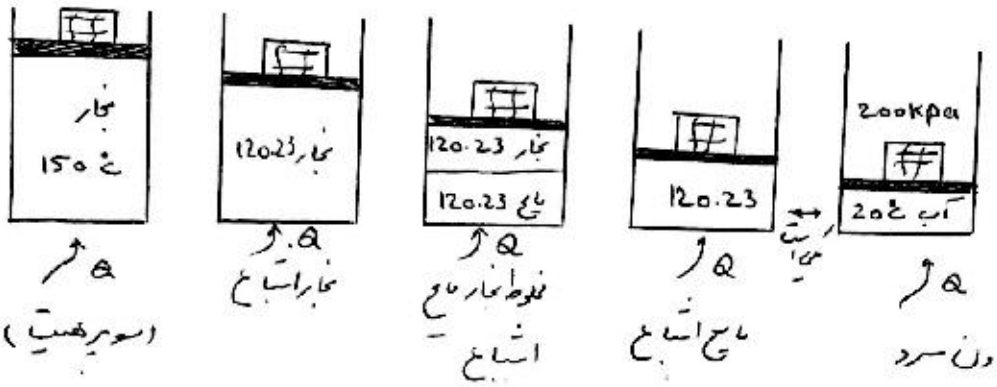
T	P_{kPa}
80	47.39
60	19.941
20	2.3385

به ازای هر دما فشاری وجود دارد و به ازای هر فشار دمایی وجود دارد که به ازای آن تبخیر می‌شود این دما و فشار اشباع مناظره هم گویند.

* این رفتار در مورد تمامی سیالات حاکم است.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version



تحت فشار 200kPa مایع در دمای 120.23 باشد مایع در حال بخار شدن است و دما تغییری نمی کند.

(مایع اشباع)

مایع مادون سرد: subcooled

اگر دمای سیال از دمای اشباع متناظر با فشار حاکم کمتر باشد سیال مادون سرد است.

(اگر فشار سیال از فشار اشباع متناظر با دمای حاکم بیشتر باشد سیال مادون سرد است)

مایع اشباع:

اگر مایع در دمای اشباع متناظر با فشار حاکم باشد سیال را مایع اشباع گویند.

مایع اشباع با کوچکترین گرا شدن تبخیر می شود.

بخار اشباع: اگر بخار در دمای اشباع متناظر با فشار حاکم باشد بخار اشباع گویند.

بخار اشباع با کوچکترین سرد شدن تقطیر می آید.

بخار سوپرهیت: super heat

اگر دمای سیال از دمای اشباع متناظر با فشار حاکم بیشتر باشد سیال سوپرهیت است. (اگر فشار از فشار اشباع متناظر با دمای حاکم کمتر باشد سیال super heat است.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

نقطهٔ بحرانی:

نقطه‌ای که تفاوتی بین بخار مایع و بخار از همدیگر وجود ندارد.

کل بحث انجام شده در این بحث برای همهٔ سیالات صادق است فقط برای تفهیم اولیه از آب استفاده شده است.

مثال: سیال آب تحت (500kpa و 300°c) را تعیین وضعیت کنید.

الف) از جدول استاع:

$$P_{sat}(300^\circ c) = 8581\ kpa$$

چون فشار حاکم از فشار اشباع متناظر با دمای حاکم کمتر است سیال سوپرهیت است.

ب) از جدول اشباع دوم:

$$T_{sat(500kpa)} = 151.86$$

چون دمای حاکم از دمای اشباع متناظر با فشار حاکم بیشتر است سوپرهیت است.

مثال: آب (2000kpa و 200°c) را تعیین وضعیت کنید.

$$P_{sat}(200^\circ c) = 1553\ kpa$$

$$P_{sys} = 2000 > P_{sat} \Rightarrow \text{مادون سرد}$$

یا

$$T_{sat}(2000\ kpa) = 212.42$$

$$T_{sys} = 200 < T_{sat} \Rightarrow \text{مادون سرد}$$

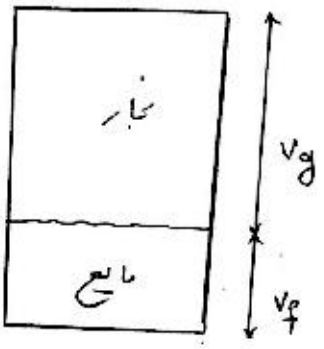
Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

ل: آمونیاک (515.9 kpa و 5°c) را نظیر وضعیت مایع.

حالت اشباع حکم است. $P_{sat}(5^\circ c) = 515.9\ kpa$

تعریف: quality (کیفیت)



$$x = \frac{m_g}{m} \quad \text{جرم بخار} \ / \ \text{جرم کل}$$

$$m_g = x \cdot m$$

$$m_f = m - m_g = m - xm = m(1-x)$$

حجم مخصوص متوسط v

حجم مخصوص مایع v_f

حجم مخصوص بخار v_g

$$V = V_f + V_g \quad \text{حجم مخزن}$$

$$mv = m_f v_f + m_g v_g$$

$$mv = (1-x)\, m v_f + x m v_g$$

$$\boxed{v = (1-x)\, v_f + x v_g}$$

مثال: برای یک مخلوط اشباع R-22 تحت (-20°c و $0.05\ m^3/kg$) مطلوبست درصد جرم بخار؟

از جدول اشباع R-22:

$$v_f = 0.000741$$

$$v_g = 0.09284$$

$$v = x v_g + (1-x) v_f$$

$$v = x v_g + v_f - x v_f \rightarrow v - v_f = x(v_g - v_f) \rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f}$$

$$\rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$$x = \frac{0.05 - 0.000741}{0.09284 - 0.000741} = 0.0531$$

مثال: مشار آب $(0.2\frac{m^3}{kg}$ و 150 ℃) را بدست آورید.

ابتدا با استفاده از جدول اشباع تعیین وضعیت می‌کنیم

150 ℃ ⟶ جدول اشباع $\begin{cases} v_f = 0.001090 \\ v_g = 0.39278 \end{cases}$

با تجسم سناریوی گفته شده:

if $v < v_f \rightarrow$ Subcooled

if $v_f < v < v_g \rightarrow$ Saturated

if $v > v_g \rightarrow$ superheat

در مثال حاضر حالت دوم یعنی اشباع است.

بنابراین فشار سیستم برابر فشار اشباع شاخص بخار است.

$$P_{sys} = P_{sat\,(150℃)} = 475.9\ kPa$$

مثال: حجم مخصوص آب (400 ℃ , 200kpa) را بدست آورید.

ابتدا تعیین وضعیت با جدول اشباع:

$T_{sat}(200kpa) = 120.23℃$

$T_{sys} = 400 > T_{sat} = 120.23 \Rightarrow$ superheat

از جدول سوپرهیت $v = 1.54930$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

مثال: دمای آب تحت ($0.001120 \frac{m^3}{kg}$ ، 10000kpa) را بدست آورید

ابتدا تعیین وضعیت

$$\begin{cases} v_f = 0.001127 \\ v_g = 0.19444 \end{cases}$$

چون $v_f > v$ است بنابراین سیال مادون سرد است و ما جدول مادون سرد مراجعه می‌کنیم.

مثال برای 10000 kpa حل شود:

$$10000\ kpa \begin{cases} v_f = 0.001452 \\ v_g = 0.01803 \end{cases}$$

چون $v < v_f$ است پس مادون سرد است.

$T = 180^\circ c$ مراجعه به جدول مادون سرد

مثال: دمای اشباع متناظر با فشار 123 kpa را برای آب بدست آورید.

100 $T_1 = 99.69$

125 $T_2 = 105.99$

$p = 123$ $T = ?$

$$\frac{T - T_1}{p - p_1} = \frac{T_2 - T_1}{p_2 - p_1}$$ (interpolation روش)

$$\frac{T - 99.69}{123 - 100} = \frac{105.99 - 99.69}{125 - 100}$$

$$T = 105.486^\circ c$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

مثال: حجم مخصوص آب در دمای 400 c و فشار 550 Kpa را بدست آورید.

ابتدا تعیین وضعیت:

$T_{sat}(550\,kpa) = 155.48\,^{\circ}c$

$T_{sys} > T_{sat}$ سوپرهیت است.

$T = 400\,^{\circ}c$

$P_1 = 500kpa \qquad v_1 = 0.61728$

$P_2 = 600kpa \qquad v_2 = 0.51372$

$P = 550kpa \qquad v = ?$

$$\frac{v - v_1}{P - P_1} = \frac{v_2 - v_1}{P_2 - P_1}$$

$$\frac{v - 0.61728}{550 - 500} = \frac{0.51372 - 0.61728}{600 - 550}$$

$v = 0.5655$ میانیابی

مثال: حجم مخصوص آب در فشار 20Mpa و دمای 142 c را بیابید.

ابتدا تعیین وضعیت:

$T_{sat}(20mpa) = 365.81\,^{\circ}c$

$T_{sys} = 142 < T_{sat}$ مادون سرد

20 MPa	
$T_1 = 140$	$v_1 = 0.001068$
$T_2 = 160$	$v_2 = 0.001089$
$T = 142$	$v = 0.0010701$

ل
مراجعه به جدول مادون سرد

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

ث: مشتر آب ($250^{\circ}C$ و $0.4\ m^3/kg$) را بدست آورید.

ابتدا تعیین وضعیت :

$$250^{\circ}C \Rightarrow \begin{cases} v_f = 0.001251 \\ v_g = 0.05013 \end{cases}$$

$v_{sys} > v_g$ ← سوپرهیت

$P_1 = 500$ $\quad v_1 = 0.47430$

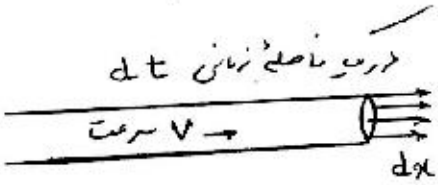
$P_2 = 600$ $\quad v_2 = 0.39383$

$P = ?$ $\quad v = 0.4$

با میانیابی $P = \ldots$

دبی : Flow

۱- دبی حجمی ۲- دبی جرمی ۳- دبی وزنی



دبی حجمی $Q = \frac{dV}{dt}$ ← حجم (نرخ حجم)

$V = Ax \rightarrow dV = A\,dx \Rightarrow \frac{A\,dx}{dt} = A\left(\frac{dx}{dt}\right) V$

$$Q = A \underset{\text{سرعت}}{V} \quad (m^3/s)$$

دبی جرمی $\dot{m} = \frac{dm}{dt}$ ← $\dot{m} = \frac{\rho\,dV}{dt}$ ، $\dot{m} = \rho Q$

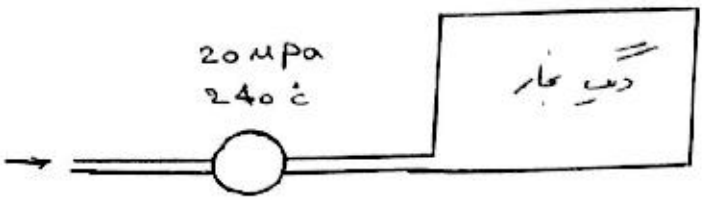
$$\dot{m} = \rho A V$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

دبی وزنی $\dot{W} = \frac{dW}{dt} = \frac{g\,dm}{dt} = \dot{m}g$

مسئله 43:



داده مسئله $Q = 0.05\ m^3/s$

$\dot{m} = ?$

$\dot{m} = \rho Q \Rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{v}$

$\rho = \frac{1}{v}$

$P_{sat}(240) = 3344.2\ kPa$

$P_{sys} > P_{sat} \longrightarrow$ subcooled

$v = 0.001205$

$\dot{m} = \frac{0.05}{0.001205} = 41.5\ kg/s$ ①

② اگر از خواص مایع اشباع هم دما استفاده کنیم خطا را بدست آورید.

$v_f(240) = 0.001229$

$\dot{m} = \frac{0.05}{0.001229}$

خطای نسبی $= \frac{41.5 - 40.7}{41.5} \times 100 \Rightarrow$ خطای نسبی $= 1.9\%$

③ اگر از خواص مایع اشباع هم فشار استفاده کنیم خطا چقدر است؟

$v_f(20\,MPa) = 0.002035$

$\dot{m} = \frac{0.05}{0.002035} = 24.6$

خطای نسبی $= \frac{41.5 - 24.6}{41.5} \times 100 \Rightarrow$ خطای نسبی $= 40.7\%$

Scanned by CamScanner

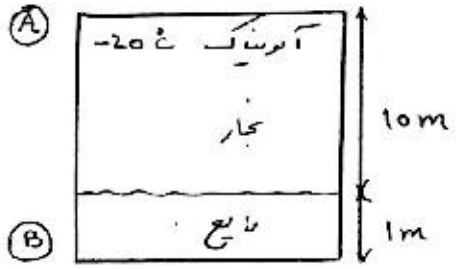
PDF Compressor Free Version

نسخه بری:

اگر سیال داخل سرد بوده و جدول در اختیار نیست خواص سیال را با خواص مایع اشباع هم دما تقریب میزنیم.

مشابها اگر سیال سوپر هیت بوده و جدول در اختیار نباشد خواص سیال را با خواص بخار اشباع هم دما تقریب میزنیم.

مثال: در شکل زیر مطلوبست کیفیت - فشارهای A و B اگر مساحت مخزن $1m^2$ باشد.



حالت اشباع است.

جدول اشباع $-20^\circ c$

$$\begin{cases} v_f = 0.001504 \\ v_g = 0.62334 \\ P_{sat} = 190.2\ kPa \end{cases}$$

$$x = \frac{m_g}{m} \qquad m_g = \frac{V_g}{0.62334} \xrightarrow{1\times 1} m_g = 16.04\ kg$$

$$, m_f = \frac{V_f}{v_f} \xrightarrow{1\times 1} \frac{1}{0.001504} \quad , m_f = 664.5\ kg$$

$$x = \frac{16.04}{16.04 + 664.5} = 0.023 \rightarrow x = 2.3\ \%$$

وقتی سیستم $P_{sat} = 190.2\ kPa$ یعنی در حالت مشترک مایع و بخار فشار این مقدار است.

برای ته مخزن $P_B = P_{sat} + \rho_f g h_f = P_{sat} + \frac{g h_f}{v_f}$ $\quad \rho_f = \frac{1}{v_f}$

$$P = 190.2 + \frac{(9.81)(1)}{0.001504} \times 10^{-3} = 196.72\ kPa$$

$$P_A = P_{sat} - \rho_g g h_g \Rightarrow P_A = P_{sat} - \frac{gh}{v_g}$$

$$P_A = 190.2 - \frac{(9.81)(10)}{0.62334} \times 10^{-3} = 190.04$$

تفاوت چندانی ندارد.

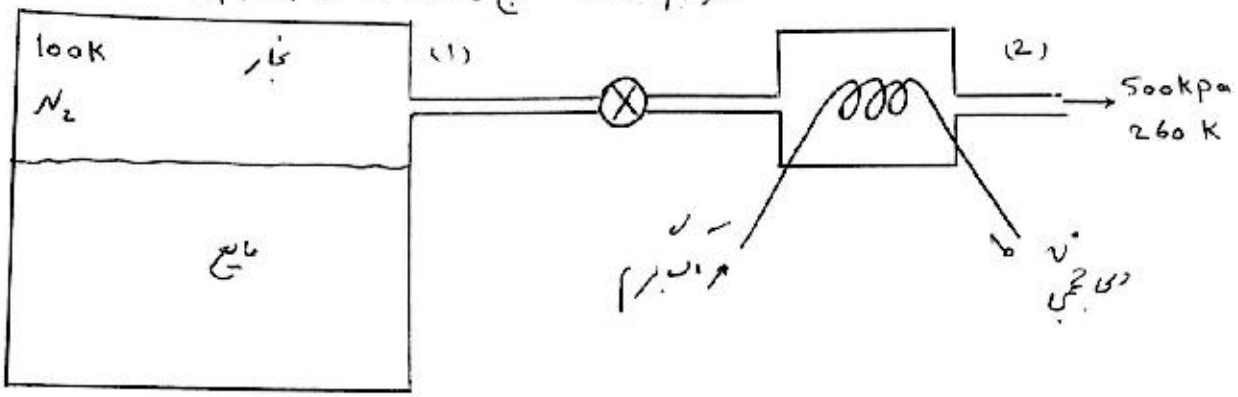
Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

نکته: مطلب کوچک بودن حجم‌های بخار (گاز) می‌توان فشار را در بالای مخزن صفر گرفت

مسئله:

اگر جرم با تند هان خارج می‌شود. (اصل بقای جرم)



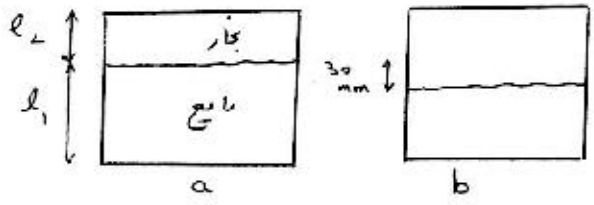
$A = 0.5 m^2$

در مدت ۱ ساعت 30 میلی‌متر ارتفاع مایع کم می‌شود.

دبی جرمی در نقاط ۱ و ۲ برابر است ولی دبی حجمی مساوی است.

دبی جرمی را در ۱ برابر آورده و با ۲ مساوی قرار می‌دهیم و با استفاده از فرمول ۲ و رابطه داده شده دبی حجمی به دست می‌آید.

ابتدا مشخص می‌کنیم که مقدار جرم در مدت ۱ ساعت از مخزن خارج شده است؟



$$m = \frac{V_g}{v_g} + \frac{V_f}{v_f}$$

$$m_a = \frac{AL_2}{v_g} + \frac{AL_1}{v_f}$$

$$m_b = \frac{A(l_2 + 0.03)}{v_g} + \frac{A(l_1 - 0.03)}{v_f}$$

$$\Delta m = m_a - m_b = -\frac{0.03A}{v_g} + \frac{0.03A}{v_f}$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$$100\,K \xrightarrow[\text{جدول}]{} \begin{cases} v_f = 0.001452 \\ v_g = 0.03120 \end{cases}$$

$$\Delta m = 0.03 \times 0.5 \left[\frac{1}{0.001452} - \frac{1}{0.03120} \right]$$

$$\Delta m = 9.85\,kg$$

دبی جرمی $\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{9.85}{3600} = 0.002736\ kg/s$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \Rightarrow \dot{m} = \rho Q = \frac{\dot{V}_2}{V_2} \rightarrow \dot{V}_2 = V_2 \dot{m}_2$$

$$\left.\begin{matrix} 500\,kpa \\ 260\,K \end{matrix}\right\} \xrightarrow[\text{سوپرهیت}]{\text{جدول}} V_2 = 0.15385$$

$$\dot{V}_2 = (0.002736)(0.15385) = 0.000420\ m^3/s$$

$$= 0.42\ lit/s$$

معادله حالت گاز کامل: prefect gas

n_1 مول گاز اکسیژن با دمای T_1 و فشار P_1 در حجم V_1 قرار می‌گیرد.

$$\frac{P V_1}{n_1 T_1} = C_1$$

n_2 مول گاز نیتروژن با دمای T_2 و فشار P_2 در حجم V_2 قرار می‌گیرد.

$$\frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} = C_2$$

آزمایش نشان می‌دهد:

$$C_1 = C_2 = \cdots$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

این ثابت را ثابت عمومی گازها نامند و با $\bar{R}$ نمایش می‌دهند.

$$\bar{R} = 8.31434 \ kJ/kmol.K$$

به طور کلی:

معادله گاز کامل

$$\boxed{pV = n\bar{R}T}$$

شکل دیگر معادله:

$$p\frac{V}{n} = \bar{R}T$$

$\bar{v} = \frac{V}{n}$ حجم مولی $\Rightarrow p\bar{v} = \bar{R}T$

$$pV = (nM)\left(\frac{\bar{R}}{M}\right)T$$

رابطه اول را در جرم مولکولی ضرب و تقسیم می‌کنیم

$m = nM$

$\frac{\bar{R}}{M} = R \rightarrow$ ثابت گاز

$$\boxed{pV = mRT}$$

$$p\frac{V}{m} = RT \rightarrow \boxed{pv = RT}$$

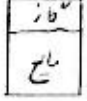
در شرایط غیر معمول (منطقه‌ای حلی بالا و دمای حلی پایین) رفتار گازها از معادله تبعیت نمی‌کند. و منحرف می‌شود و برای اصلاح این ضریب تصحیح در معادله گاز ضرب می‌شود که به آن ضریب تراکم پذیری گویند.

z: compressibity factor

$$pV = zRT$$

برای نیتروژن z در جدول ترسیم شده است.

کپسول گاز

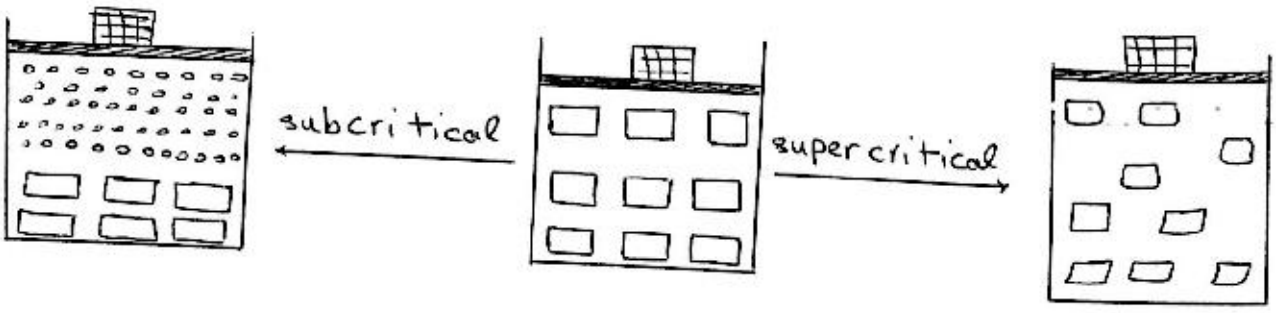


با مصرف شدن گاز، مایع تبخیر می‌شود و دمای کپسول کاهش می‌یابد.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

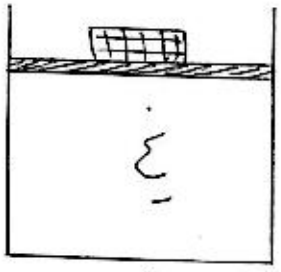
نقطهٔ بحرانی: مطرح شد که نقطه‌ای است که تفکیک دو فاز مایع و بخار در آن امکان‌پذیر نیست



نقطهٔ ۳ یا : triple point

اگر تحت فشار 0.26 kpa بخ 20 c- گرما دهیم در 10 c- بخار می‌شود. (تصعید می‌شود)

اگر تحت فشار 100 kpa بخ 20 c- گرما دهیم در 0 c مایع می‌شود. (ذوب می‌شود)



نتیجه اینکه باید فشاری بین این دو فشار وجود داشته باشد که نقطهٔ مرزی باشد اگر فشار بالاتر باشد عمل ذوب و اگر پایین‌تر باشد عمل تصعید صورت می‌گیرد.

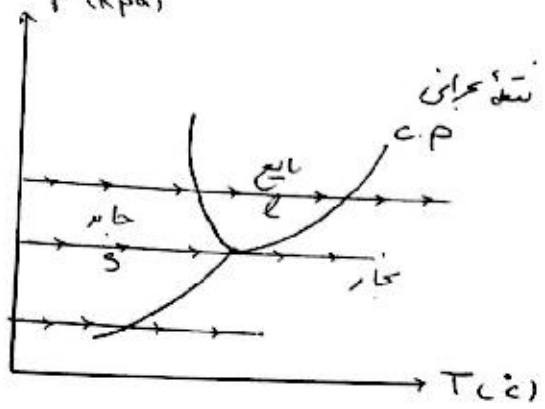
آزمایش نشان می‌دهد نقطهٔ مرزی فشار 0.6113 kpa است در این فشار بخشی از بخ بخار و بخشی دیگر مایع می‌شود.

دمای متناظر با این فشار 0.01 c است به آن دمای نقطهٔ ۳ گفته شود.

هر ماده‌ای یک نقطهٔ ۳ دارد که در جدول مربوط ارائه شده است.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version



مسئله 3-7 (

① $\begin{cases} 200\,kPa \\ 290\,K \end{cases}$ ⟶ منبع برداشته می‌شود ⟶ $\begin{cases} T_2 = 290\,K \\ \text{نیتروژن زیر پیستون، } 10MPa \text{ گاز مایع است.} \end{cases}$

$$P_{am} = P_{atm} + P_{pis} = P_{at} + \frac{m_{pis}\, g}{A_{(pis)}}$$

$$P_{am} = P_{at} + \frac{(\rho_{pis}\, V_{pis})\, g}{A_{pis}} = P_{at} + \frac{(\rho_{pis}\, A_{pis}\, l_{pis})\, g}{A_{pis}}$$

$$P_{am} = 101 + 8000 \times 0.1 \times 9.81 \times 10^{-3} = 108.845\ kPa$$

فرض می‌کنیم مایع نباشد در اینصورت پیستون به اندازه‌ای بالا می‌رود که $P_{am} = P_{CO_2}$

شود در این نقطه حجم برابر است با:

$$P_{CO_2} = 108.845$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow (200 \times A \times 0.1) = 108.845 \times A \times h_2$$

$$h_2 = 0.18374\,m \;\; \text{یا} \;\; 183.74\,mm$$

چون h_2 Max حداکثر می‌تواند 150mm باشد بنابراین به مایع می‌رسد و

متوقف می‌شود.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

(3-

① { 20 c سردی شود ⟶ ② { بخار روی شیشه وجود دارد: −20 c

$$v_2 = v_g(-20) = 0.09284$$

$$v_1 = v_2 = 0.09284$$

1) { 0.09284 m^3/kg ⟶ z = —
   { 20 c
مدول سوپرهیت

PDF Compressor Free Version

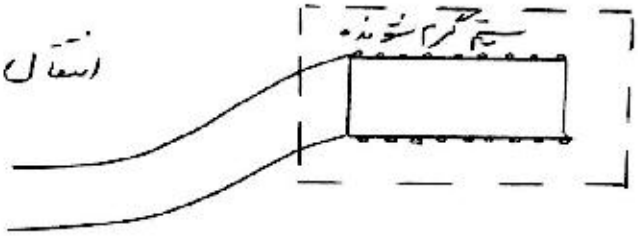
فصل چهارم — کار و گرما

انتقال انرژی:

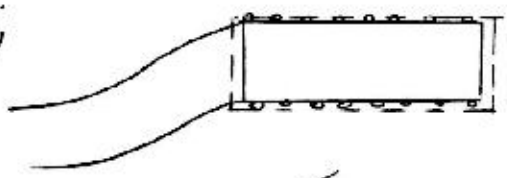
۱- اگر انتقال انرژی به‌ازای اختلاف دما روی مرز سیستم باشد گرما نامیده می‌شود.

۲- اگر انتقال انرژی به‌ازای اختلاف دما روی مرز سیستم نباشد کار نامیده می‌شود.

انتقال انرژی به‌خاطر اختلاف پتانسیل است و به‌وسیله کار



انتقال انرژی به‌خاطر اختلاف دماست و به‌وسیله گرما

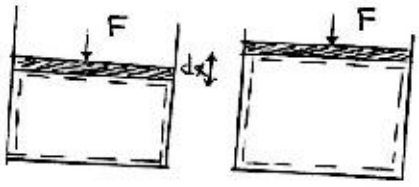


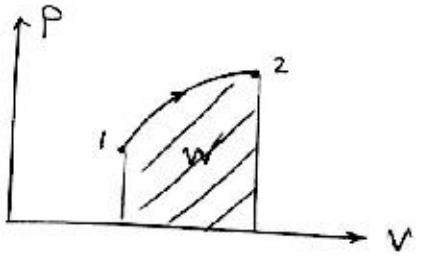
کار روی مرز متحرک:

$$W = \int F \cdot dx$$

$$\delta W = \int F \left(\frac{dv}{A_p} \right)$$

$$W = \int \frac{F}{A_p} dv \Rightarrow W = \int p\, dv$$ تعبیر هندسی

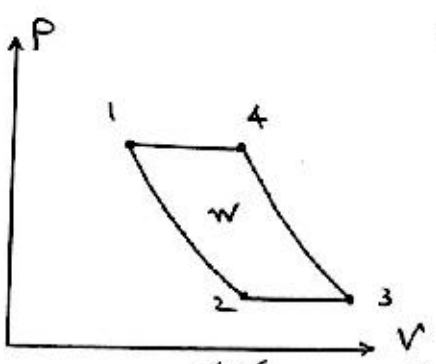




Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

عنوان نمونه



دیاگرام PV یک کمپرسور

* سطح داخل نمودار کار خالص مبادله شده است.

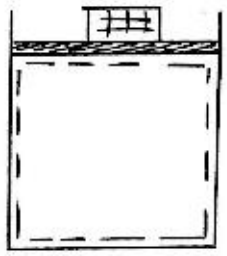
توان: سرعت انجام کار

$$P = \frac{dW}{dt}$$

واحد در SI $J/s = W$ (وات) watt

قرارداد: اگر به سیستمی گرما داده شود علامت گرما را مثبت و اگر از سیستم گرما بگیریم علامت گرما را منفی در نظر می‌گیریم و اگر به سیستمی کار داده شود علامت آن منفی است و برعکس.

مثال: (4-1)



سیستمی حاوی گاز در سیلندر را در نظر بگیرید که مقداری وزنه روی آن است

فشار اولیه 200kpa و $V = 0.04\ m^3$ که شامل زیر گاز فشاری دهم

تا حجم 0.1 انبساط یابد. کار را بیابید.

چون پیستون آزادانه حرکت می‌کند فشار فشار ثابت است.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV \rightarrow W = P\int_{V_1}^{V_2} dV \Rightarrow W = P\,\Delta V$$

$$W = 200\,(0.1 - 0.04) = 12\ kJ$$

ب) وزنه‌ها را به گونه‌ای بر می‌داریم تا فشار ثابت باشد.

P دیگر ثابت نیست و برحسب V است. با این فشار را به صورت تابعی از حجم در آورده.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

۱۴

راطبهٔ گاز کامل :

$$pV = \underbrace{mRT}_{\text{ثابت}}$$

چون ۳ کمیت m ، R و T ثابت هستند می‌توان گفت $pV=C$

این راطبه در همهٔ نقاط مسیر از جمله نقاط ابتدایی و انتهایی صادق است.

$$pV = 8 \longrightarrow p = 8/V$$

$$w = \int_{V_1=0.04}^{V_2=0.1} (8/V)\,dv \Rightarrow w = 8 \ln V \Big|_{0.04}^{0.1} = 7.33 kj$$

برای ترسیم دیاگرام pv نیاز به نمودار p_2 می‌باشد.

$$p_2 V_2 = 8 \rightarrow p_2 = 80 kpa$$

ج) به سلندر گرما داده موزنه را آنقدر جلو می‌راند که راطبهٔ $pV^{1.3}=C$ برقرار باشد.

$$p_{(v)} = C V^{-1.3}$$

نقطه را در حالت کلی $pV^n=C$ حل می‌کنیم.

$$p = C V^{-n}$$

$$w = \int_{V_1}^{V_2} (C V^{-n})\,dv \rightarrow w = \frac{C V^{-n+1}}{-n+1} \Big|_{V_1}^{V_2}$$

$$w = \frac{C}{1-n}\left[V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right]$$

راطبهٔ $pV^n=C$ در همهٔ نقاط از جمله نقطهٔ ۱ صادق است یعنی $p_1 V_1^n = C$

$$w = \frac{p_1 V_1^n}{1-n}\left[V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right]$$

با جایگذاری داریم

$$w = \frac{(200)(0.04)^{1.3}}{1-1.3}\left[(0.1)^{1-1.3} - (0.04)^{1-1.3}\right] \Rightarrow w = 6.40 kj$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

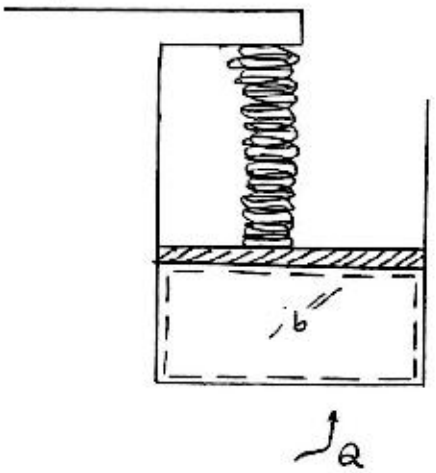
کار مرزی برای فرایندی از رابطه $pv^n = c$ محاسبه کنید که در آن فشار مرزی با حجم رابطه خطی دارد و n اندیس پلی تروپیک فرایند است.

ب) پیستون را با گیره ثابت نگه می‌داریم و از سطح گرما می‌دهیم تا فشار به 100kpa برسد. کار مرزی را بیابید.

$$W = \int p\,dV$$

$dV = 0$ چون حجم ثابت است $\rightarrow W = 0$

مسئله: در شکل نشان داده شده فنر بر پیستون مماس و خلاص است اگر به سطح گرما داده تا حجم گاز داخل آن 1 لیتر شود کار مرزی را بیابید.



$A_p = 0.1m^2$, $m_p = 10kg$, $P_{at} = 100kpa$

$K_s = 200KN/m$

$$W = \int p\,dV$$

$$P_{sys} = P_{at} + P_{mg} + P_{sp}$$

P_{at} و P_{mg} در طول سیر فرایند ثابت هستند تا اول دهم:

$$P_0 = P_{at} + P_{mg}$$

$$P_{sys} = P_0 + P_{sp}$$

$$P_{sys} = P_0 + \frac{F_{sp}}{A_p}$$

$$P_{sys} = P_0 + \frac{K\Delta x}{A_p}$$

$$(\Delta x) A_p = \Delta V$$

$$P_{sys} = P_0 + \frac{K\Delta V}{A_p^2}$$

$$P_{sys} = P_0 + (K/A_p^2)(V - V_0)$$

حجم ستم وقتی فنر خلاص و با پیستون ما س است.

فشار sys وقتی فنر خلاص است.

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$P = P_0 + \frac{K}{A_p}(V - V_0)$ می‌توان نوشت: چون K و A_p ثابت هستند.

برای سیلندر حاضر

$$P_0 = 100 + \frac{10 \times 9.81}{0.1 \times 1000} = 100.981 \text{ kPa}$$

$$P_{sys} = 100.981 - 200 + 2 \times 10^4 V$$

تابع فشار برحسب V

$$_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV \Rightarrow {}_1W_2 = \int_{0.01}^{0.02} \left[-99.019 + 2 \times 10^4 V\right] dV$$

$$_1W_2 = \left[-99.019V + 2 \times 10^4 \frac{V^2}{2}\right]_{0.01}^{0.02}$$

مسئله 4-13)

$$P = A + BV$$

① $\begin{cases} P = 150 \text{ kPa} \\ V = 1 \text{ lit} \end{cases}$ ② $\begin{cases} P = 800 \text{ kPa} \\ V = 1.5 \text{ lit} \end{cases}$

حل:

$$P = P_0 + C(V - V_0) \rightarrow P = P_0 + CV - CV_0$$

$$P = (P_0 - CV_0) + CV \rightarrow P = A + CV$$

نتایج استدا و انتها باید در معادله صدق کند.

$$\begin{cases} 1 & 150 = A + B(0.001) \\ 2 & 800 = A + B(0.0015) \end{cases}$$

از حل دو معادله A و B بدست می‌آید:

$$B = 13 \times 10^5 \quad , \quad A = -1150$$

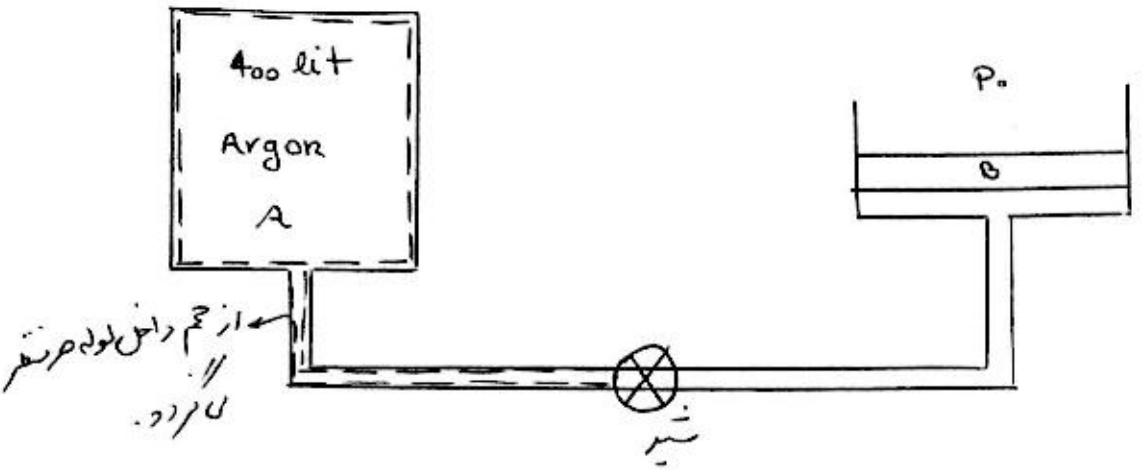
$$P = -1150 + 13 \times 10^5 (V)$$

$$V = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV \quad , \quad {}_1W_2 = \int_{0.001}^{0.0015} \left[-1150 + 13 \times 10^5 V\right] dV = \dots$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

مسئله 4_27



$A_1 \begin{cases} 250\,kpa \\ 30\,^\circ c \end{cases}$

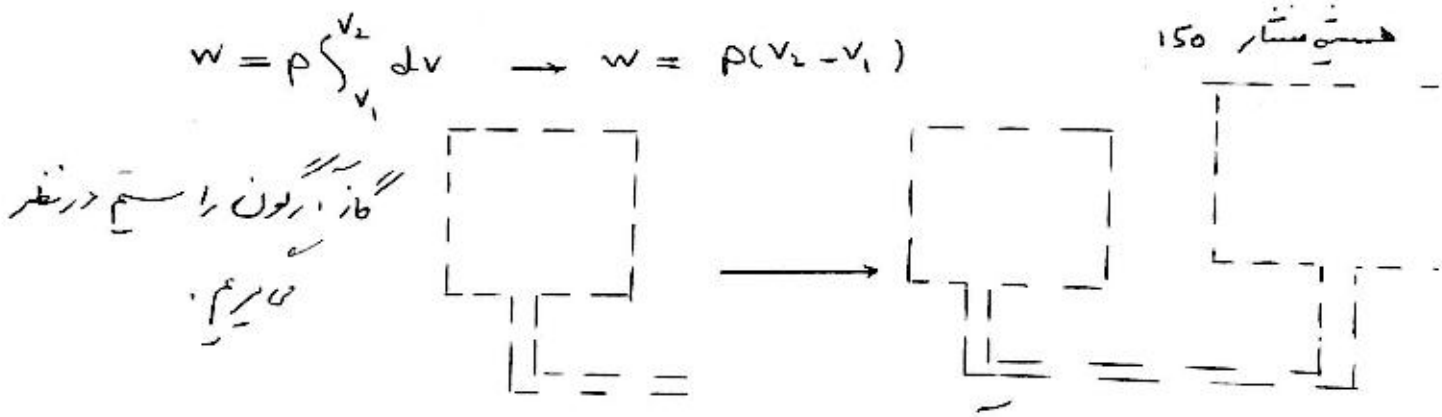
$P_{mg} = 150\,kPa$

$A_2 + B_2 \begin{cases} 150\,kpa \\ 30\,^\circ c \end{cases}$

چون پیستون آزادانه حرکت می‌کند فشار ثابت است.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p\,dv$$

$$W = p\int_{V_1}^{V_2} dv \longrightarrow W = p(V_2 - V_1)$$



$V_1 = V_A$

با حجم نهایی system را بدست آورد.

$V_2 = V_{A+B}$

Ar را گاز کامل در نظر می‌گیریم.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow 250 \times 0.4 = 150 \times V_2$$

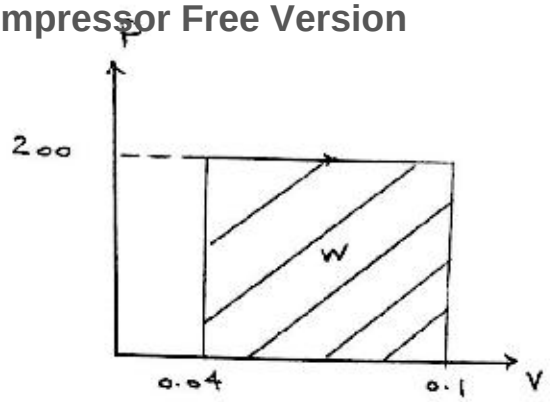
$$V_2 = 0.66\ m^3$$

$$W_2 = 150\,(0.66 - 0.4) = \cdots$$

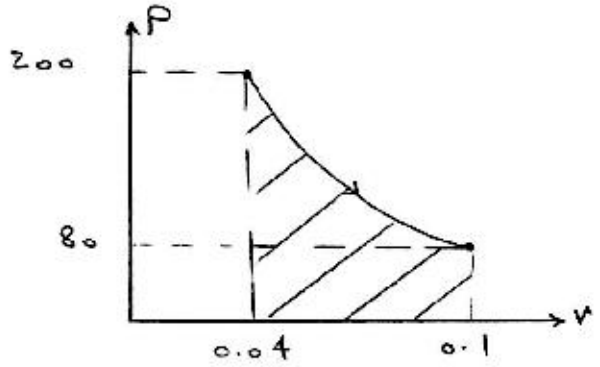
Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

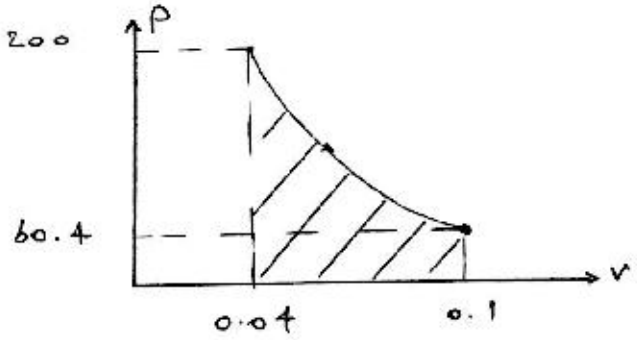
بحث دیاگرام P-V برای مثال 1-4



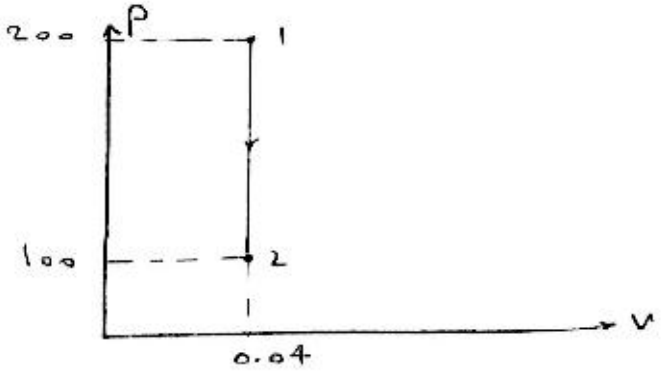
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

فصل پنجم

- قانون اول ترمودینامیک (قانون بقای انرژی)

بیان قانون اول: وقتی سیستمی یک سیکل را طی می‌کند انتگرال سیکلی گرما متناسب با انتگرال سیکلی کار است.

$$\oint \delta Q \propto \oint \delta W$$

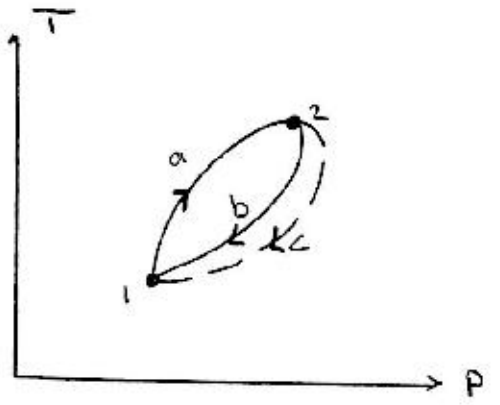
یا بعبارتی یک ضریب ثابت

$$\oint \delta Q = J \oint \delta W$$

در واحد SI مقدار $J=1$ بنابراین در SI

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

قانون اول برای مراحل (تحول)



$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

برای سیکل ab:

$$\int_{1a}^{2a} \delta Q + \int_{2b}^{1b} \delta Q = \int_{1a}^{2a} \delta W + \int_{2b}^{1b} \delta W$$

برای سیکل ac:

$$\int_{1a}^{2a} \delta Q + \int_{2c}^{1c} \delta Q = \int_{1a}^{2a} \delta W + \int_{2c}^{1c} \delta W$$

از تساوی دو رابطه داریم:

$$\int_{2b}^{1b} \delta Q - \int_{2c}^{1c} \delta Q = \int_{2b}^{1b} \delta W - \int_{2c}^{1c} \delta W$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

راسطه را ساده بی‌نیم.

$$\int_{2b}^{1b} \delta Q - \int_{2b}^{1b} \delta W = \int_{2c}^{1c} \delta Q - \int_{2c}^{1c} \delta W$$

$$\Rightarrow \int_{2b}^{1b} (\delta Q - \delta W) = \int_{2c}^{1c} (\delta Q - \delta W)$$

چون کمیت زیر انتگرال در ۲ سیر مختلف دلخواه انتگرال‌گیری شده برابر است می‌توان نتیجه گرفت مستقل از سیر است.

این عبارت می‌تواند به عنوان یک خاصیت تعریف می‌شود این خاصیت انرژی نامیده می‌شود.

$$(\delta Q - \delta W) = dE \quad *$$

انرژی سیستم می‌تواند در چند فرم باشد.

$$E = \frac{1}{2} mv^2 + mgz + U$$

U انرژی داخلی سیستم می‌باشد و در بر گیرنده انرژی ارتعاشی ذرات تشکیل دهنده و انرژی شیمیایی نهفته در سیستم است.

$u = U/m$ انرژی داخلی مخصوص.

می‌توان اثبات نمود برای یک مخلوط

$$u = x u_g + (1-x) u_f$$

if $u < u_f$ → مادون سرد

if $u_f < u < u_g$ → اشباع

if $u > u_g$ → سوپرهیت

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$$dE = mvdv + mgdz + dU$$

$$\delta Q - \delta W = mvdv + mgdz + dU$$

از دو طرف انتگرال می‌گیریم:

$$\int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W = \int_1^2 mvdv + \int_1^2 mgdz + \int_1^2 dU$$

$$_1Q_2 - {}_1W_2 = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1) + (U_2 - U_1)$$

$_1Q_2$ گرمایی که از ابتدا تا انتهای فرایند مبادله می‌شود.

$_1W_2$ کاری که از ابتدا تا انتهای فرایند مبادله می‌شود.

این رابطه بیانگر قانون اول ترمودینامیک برای یک فرایند.

قانون اول برای سیستم بصورت نرخ:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{dE}{dt}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE}{dt}$$

$\dot{Q}$ نرخ مبادله گرما

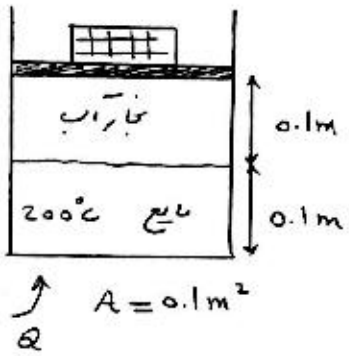
$\dot{W}$ نرخ انجام کار (توان)

$\frac{dE}{dt}$ نرخ (سرعت) تغییرات انرژی سیستم

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

مسئله: به سیستم شکل زیر گرما داده تا تمام بخار اشباع شود. مطلوبست محاسبه کار مرزی و تغییر انرژی داخلی



حل: قانون اول را برای سیستم بسته می‌نویسیم:

$$_1Q_2 - {}_1W_2 = (U_2 - U_1) + \tfrac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(Z_2 - Z_1)$$

$$_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1 \Rightarrow {}_1Q_2 - {}_1W_2 = m(u_2 - u_1)$$

از جدول 200°C:

$v_f = 0.001156$

$v_g = 0.12736$

$u_f = 850.64$

$u_g = 2595.29$

$P = 1553.8\ kpa$

$$m_f = \frac{V_f}{v_f} \Rightarrow m_f = \frac{0.1 \times 0.1}{0.001156} = 8.65\ kg$$

$$m_g = \frac{V_g}{v_g} \Rightarrow m_g = \frac{0.1 \times 0.1}{0.12736} = 0.078\ kg$$

$$m = m_f + m_g \rightarrow m = 8.728\ kg$$

$$x = \frac{m_g}{m} = 0.0089$$

$$u_1 = x u_g + (1 - x) u_f \rightarrow u_1 = 23.098 + 843.069 = 866.167$$

$$u_2 = u_g = 2595.29$$

$$W = P(V_2 - V_1) \qquad V_2 = m v_2 = m v_g = (8.728)(0.12736) = 1.1115$$

$$W = P\Delta V \Rightarrow W = 1553.8(1.1115 - 0.02) \Rightarrow W = 1696.12\ kj$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$$_1Q_2 - 1696.12 = 8.728\ (2595.29 - 866.16)$$

$$_1Q_2 = 16787.97\ kJ$$

حال در مورد تغیر انرژی پتانسیل ثقلی میله:

$$\Delta E_p = mg(z_2 - z_1) = mgz_2 - mgz_1$$

$$= \left[mgz_2\right] - \left[m_f g z_{1f} + m_g g z_{1g}\right]$$

انرژی ثقلی مایع — انرژی ثقلی بخار

$$z_{1f} = \frac{0.1}{2} = 0.05$$

$$v_2 = 1.1115 \quad \text{ارتفاع مرکز ثقل } z_2 = \frac{(v_2/A)}{2} = 5.55$$

$$\Delta E_p = g\left\{\left[8.728 \times 5.55\right] - \left[8.65 \times 0.05 + (0.078 \times 0.15)\right]\right\}$$

$$\Delta E_p = 470.36\ j = 0.47\ kJ$$

گرمای محاسبه شده در میله $_1Q_2 = 16787\ kJ$

خطای ناشی از عدم محاسبه ΔE_p

$$error = \frac{0.47}{16787} \times 100 = 0.002\ \%$$

Scanned by CamScanner

PDF Compressor Free Version

$$_1Q_2 - 1696.12 = 8.728\,(2595.29 - 866.16)$$

$$_1Q_2 = 16787.97\ kJ$$

ب) در مورد جمله تغیر انرژی پتانسیل نقلی نشده :

$$\Delta E_p = mg(z_2 - z_1) = mgz_2 - mgz_1$$

$$= \left[mgz_2\right] - \left[m_f g z_{1f} + m_g g z_{1g}\right]$$

انرژی نقلی بخار — انرژی نقلی مایع

$$z_{1f} = \frac{0.1}{2} = 0.05$$

$$v_2 = 1.1115 \quad \text{ارتفاع نقل} \quad z_2 = \frac{(v_2/A)}{2} = 5.55$$

$$\Delta E_p = g\left\{\left[8.728 \times 5.55\right] - \left[8.65 \times 0.05 + (0.078 \times 0.15)\right]\right\}$$

$$\Delta E_p = 470.36\ j = 0.47\ kJ$$

مقدار محاسبه شده در قسمت الف $\quad _1Q_2 = 16787\ kJ$

خطای نسبی ناشی از عدم محاسبه‌ی ΔE_p

$$error = \frac{0.47}{16787} \times 100 = 0.002\%$$

Scanned by CamScanner