از منزل کفر تا به دین یک قدم است
وز عالم شک تا یقین یک نفس است
این یک نفس عزیز را خوش میدار
از حاصل عمر ما همین یک نفس است

فصل هفتم: آنتروپی-معیاری برای بی نظمی

Entropy – A measure of Disorder

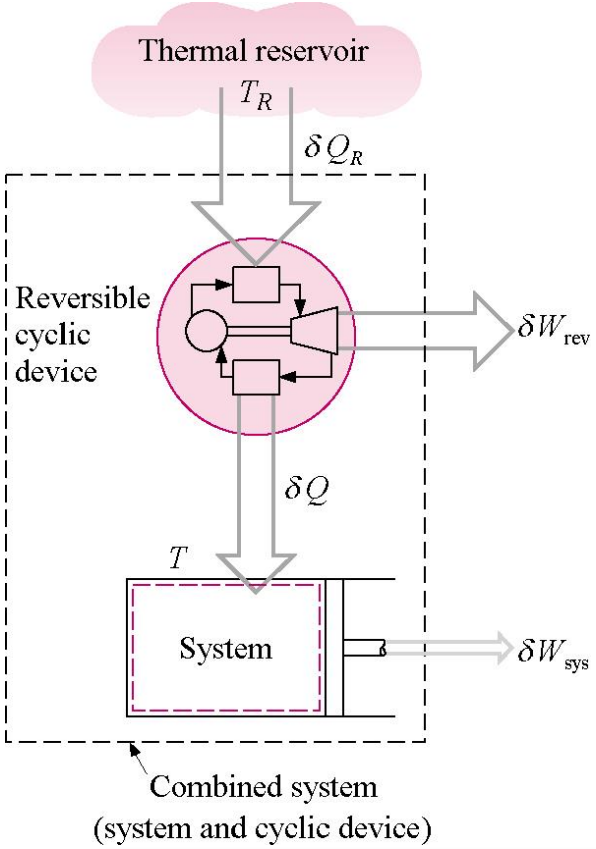
اکبر اقبالی

WWW.AEGHBALI.BLOG.IR
EGHBALI.D@GMAIL.COM

1393

آنتروپی و نابرابری کلازیوس

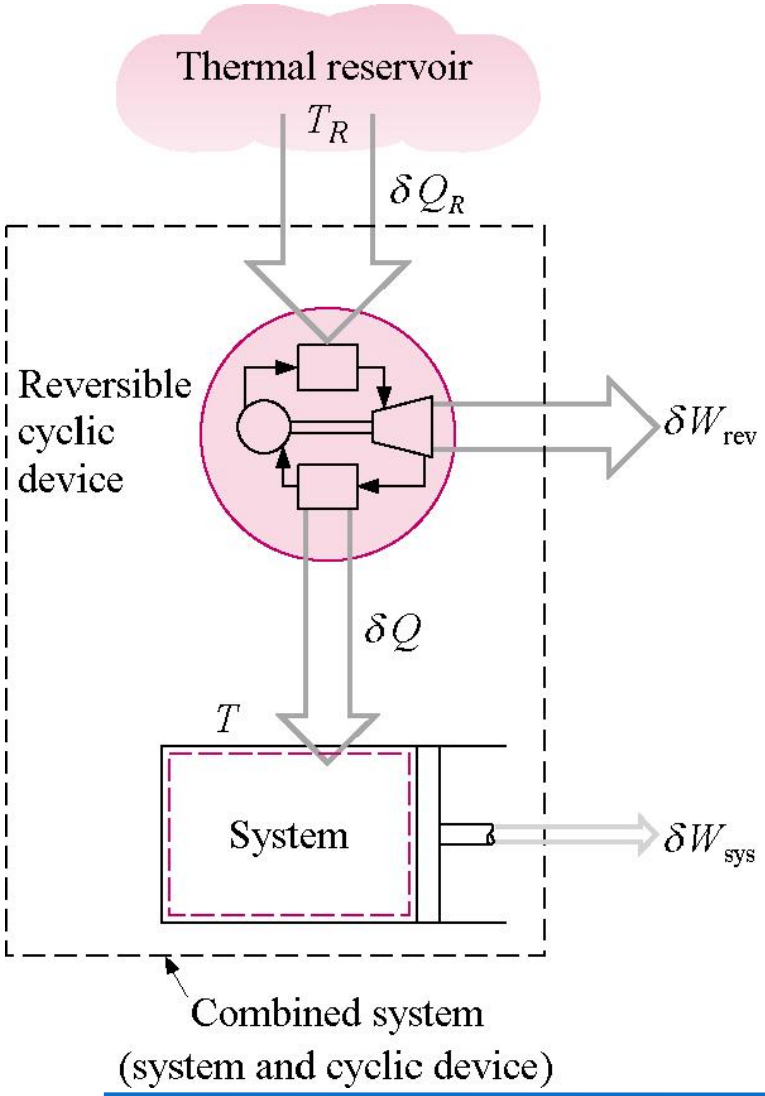
- قانون دوم منجر به تعریف خاصیتی بنام آنتروپی برای ماده می شود.
- آنتروپی یک معیار عددی از بی نظمی میکروسکوپیک سیستم است.
- آنتروپی میزان انرژی ای است که بیشتر از این برای انجام کار مفید در محیط حاضر در دسترس نیست.



- یک موتور حرارتی برگشت پذیر را در نظر بگیرید که از یک منبع حرارتی، حرارت می گیرد و به یک سیستم سیلندر پیستون حرارت می دهد.

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

آنتروپی و نابرابری کلازیوس



$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_c$$

$$\delta Q_R - (\delta W_{rev} + \delta W_{sys}) = dE_c$$

$$\delta W_c = \delta W_{rev} + \delta W_{sys}$$

$$\delta Q_R - \delta W_c = dE_c$$

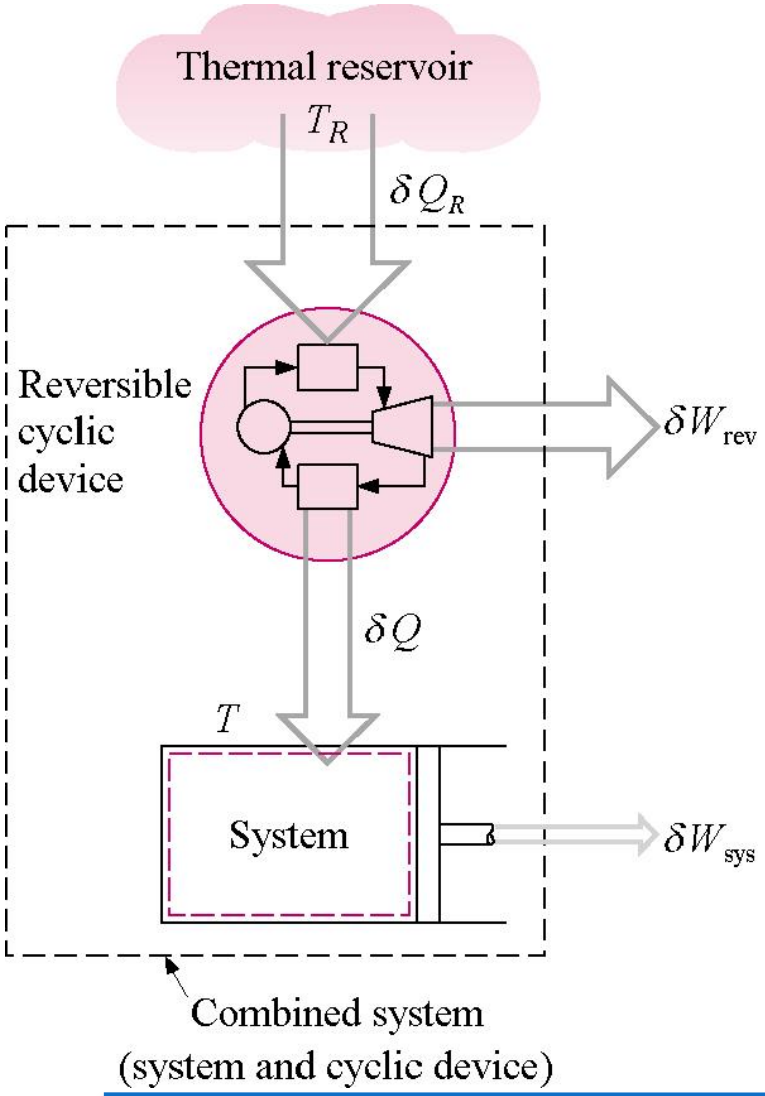
$$\frac{\delta Q_R}{T_R} = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta Q_R = T_R \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta W_c = T_R \frac{\delta Q}{T} - dE_c$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

آنتروپی و نابرابری کلازیوس



$$W_c = T_R \oint \frac{\delta Q}{T} - \oint dE_c$$

$$\oint dE_c = 0$$

$$W_c = T_R \oint \frac{\delta Q}{T}$$

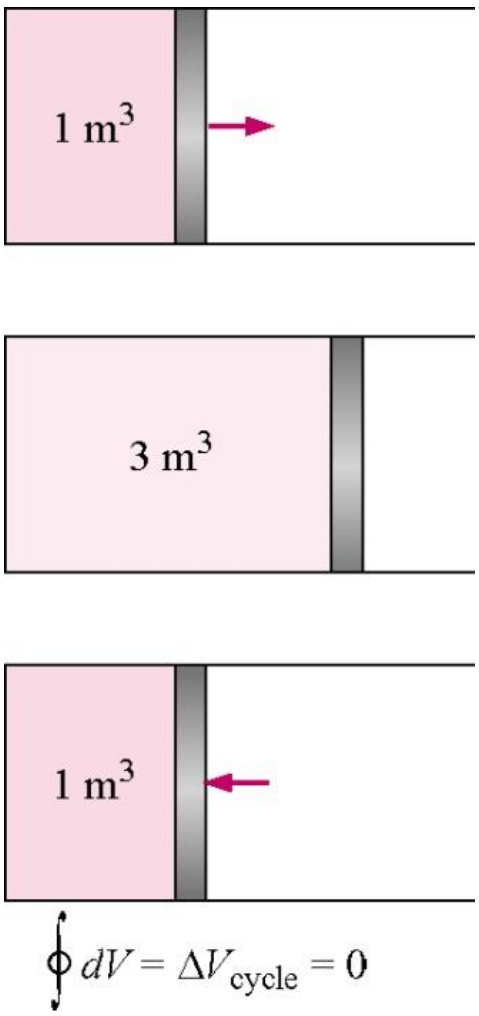
$$W_c = T_R \oint \frac{\delta Q}{T} \le 0$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \le 0$$

$$\oint \frac{\delta Q_{net}}{T} \le 0$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

تعریف آنتروپی

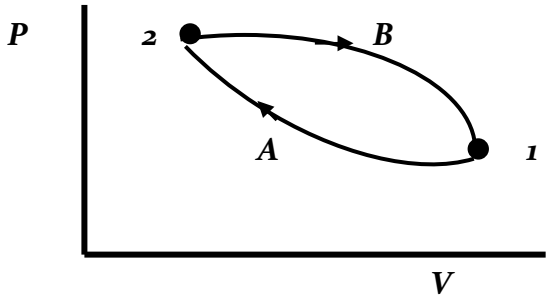


- اگر در یک سیستم مانند سیستم های برگشت پذیر، هیچگونه برگشت ناپذیری ای رخ ندهد، آنگاه سیستم ترکیبی به صورت داخلی برگشت پذیر خواهد بود. آنگاه خواص در سیکل معکوس قرینه اند.
- لذا کار در سیکل اول نمی تواند علامت مثبت داشته باشد و در سیکل معکوس نمی تواند علامت منفی داشته باشد.
- لذا علامت در نابرابری کلازیوس تنها برای فرآیندهای برگشت پذیر داخلی یا کاملا برگشت پذیر به تساوی تبدیل می شود.

$$\oint (dV) = 0$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

تعریف آنتروپی



A cycle composed of two reversible processes.

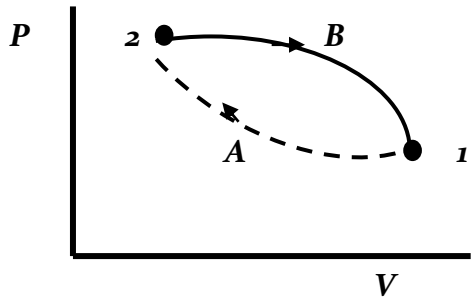
$$\underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}}}_{\text{along path } A} \quad \text{and} \quad \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}}}_{\text{along path } B}$$

$$\oint \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}} = 0$$

$$\underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}}}_{\text{along path } A} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}}}_{\text{along path } B}$$

$$dS = \left.\frac{\delta Q_{net}}{T}\right|_{\text{int rev}}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left.\frac{\delta Q_{net}}{T}\right|_{\text{int rev}}$$



$$\oint \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}} \le 0$$

$$\underbrace{\int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T}}_{\text{along } A} + \underbrace{\int_2^1 \left(\frac{\delta Q_{net}}{T}\right)_{\text{int rev}}}_{\text{along } B} \le 0$$

A cycle composed of reversible and irreversible processes.

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

تعریف آنتروپی

$$\int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} + S_1 - S_2 \le 0 \qquad S_2 - S_1 \ge \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} \qquad dS \ge \frac{\delta Q_{net}}{T}$$

$$\delta Q_{net} > 0, \quad then \quad dS > 0$$
$$\delta Q_{net} = 0, \quad then \quad dS = 0$$
$$\delta Q_{net} < 0, \quad then \quad dS < 0$$

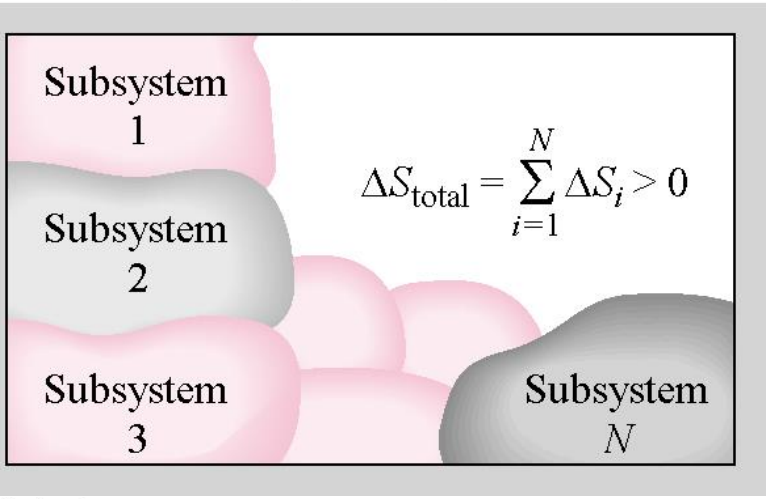
$$\Delta S_{sys} = S_2 - S_1 \ge \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} \qquad \left(\frac{kJ}{K}\right)$$

$$\Delta S_{sys} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} + S_{gen} \qquad \left(\frac{kJ}{K}\right)$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

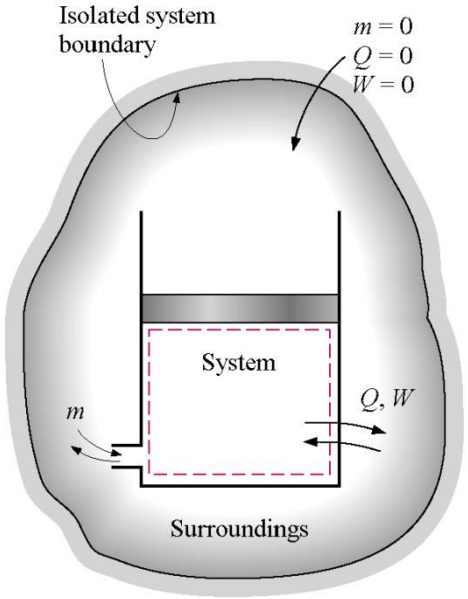
تعریف قانون دوم ترمودینامیک

(Isolated)



$$\Delta S_{isolated} \geq \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} \quad \text{0, adiabatic}$$

$$\Delta S_{isolated} \geq 0$$

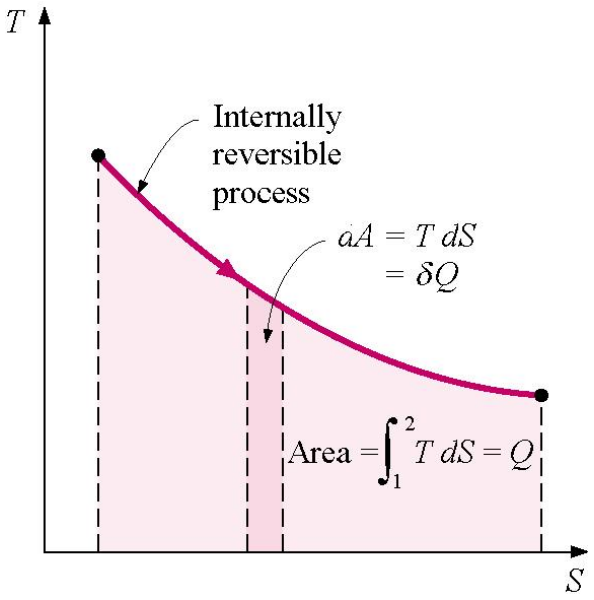


- تغییرات آنتروپی کل در یک سیستم عایق و طی یک فرآیند، همواره یا افزایش می یابد و یا برای فرآیند برگشت پذیر ثابت است.

$$S_{gen} = \Delta S_{total} = \Delta S_{sys} + \sum \Delta S_{surr} \geq 0$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

نمودار T-s



- برای فرآیند برگشت پذیر خواهیم داشت:

$$dS = \frac{\delta Q_{net}}{T} \qquad Q_{net} = \int_1^2 T dS$$

$$\delta Q_{net} = TdS$$

Isothermal, Reversible Process

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T} = \frac{Q_{net}}{T_o}$$

Adiabatic, Reversible (Isentropic) Process

$$\Delta S = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T}$$

0, adiabatic

$$\Delta S = S_2 - S_1 \geq 0$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 0, \qquad S_2 = S_1, \qquad s = \frac{S}{m}, \qquad s_2 = s_1$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

نمودار T-s

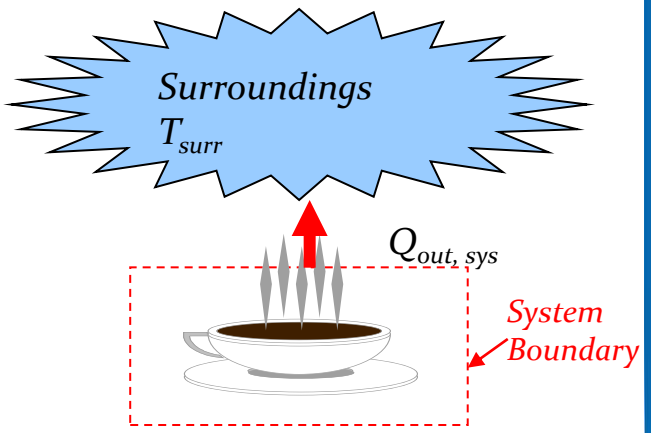
- فرآیند آدیاباتیک برگشت پذیر را فرآیند آیزنتروپیک گویند.
- فرآیند آیزنتروپیک معادل فرآیند پلی تروپیک با $n = k = C_p / C_v$ است.

$$S_{gen} = \Delta S_{total} = \Delta S_{sys} + \sum \Delta S_{surr} \geq 0$$

$$\Delta S_{sys} = (S_2 - S_1)_{sys}$$

$$\sum \Delta S_{surr} = \frac{Q_{net,\,surr}}{T_{surr}}$$

A general closed system (a cup of coffee) exchanging heat with its surroundings



$$S_{gen} = \Delta S_{total} = m(s_2 - s_1)_{sys} + \frac{Q_{net,\,surr}}{T_{surr}} \geq 0$$

$$Q_{net,\,surr} = -Q_{net,\,sys} = -(0 - Q_{out,\,sys}) = Q_{out,\,sys}$$

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

اثر انتقال حرارت بر آنتروپی

$$S_{gen} = \Delta S_{total} = \Delta S_{sys} + \sum \Delta S_{surr} \geq 0$$

$$S_{gen} = \Delta S_{total} = \Delta S_{HR@T} + \Delta S_{HR@T-\Delta T}$$

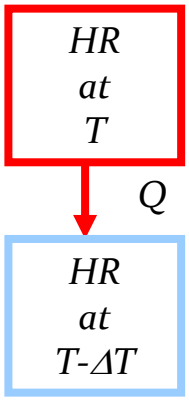
$$\Delta S_{sys} = \int_1^2 \frac{\delta Q_{net}}{T}$$

$$\Delta S_{HR@T} = \frac{-Q}{T}$$

$$\Delta S_{HR@T-\Delta T} = \frac{+Q}{T-\Delta T}$$

$$S_{gen} = \Delta S_{Total} = \frac{-Q}{T} + \frac{+Q}{T-\Delta T}$$

$$S_{gen} = \Delta S_{Total} = \frac{Q}{T}\left[\frac{\Delta T}{(T-\Delta T)}\right]$$



Two heat reservoirs exchanging heat over a finite temperature difference

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

قانون سوم ترمودینامیک

- طبق قانون سوم ترمودینامیک، آنتروپی جسم کریستالی با دمای صفر کلوین برابر با صفر است.
- قانون سوم یک نقطه مرجع برای آنتروپی مشخص می کند.
- به مقدار آنتروپی ای که نسبت به این نقطه محاسبه می شود، آنتروپی مطلق می گویند.

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

آنتروپی: یک خاصیت برای ماده

- آنتروپی مانند فشار، دما و حجم کنترل، یک خاصیت برای ماده است.
- این خاصیت از بررسی سیستم بسته برگشت پذیری حاصل می شود که در مرز آن جابجایی کار و حرارت وجود دارد.
- از قانون اول داریم:

$$\delta Q_{\text{intrev}} - \delta W_{\text{intrev, out}} = dU$$

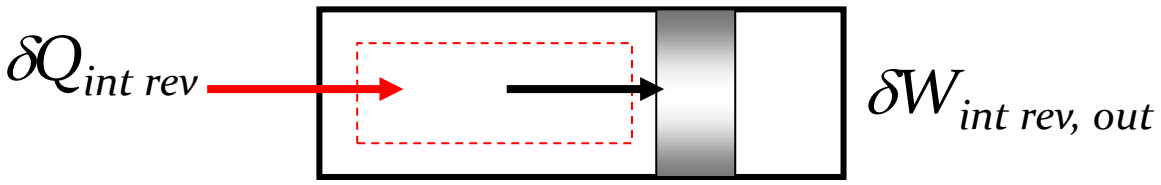
$$\delta Q_{\text{intrev}} = T\,dS$$

$$\delta W_{\text{intrev, out}} = P\,dV$$

$$T\,dS - P\,dV = dU$$

$$Tds = du + Pdv$$

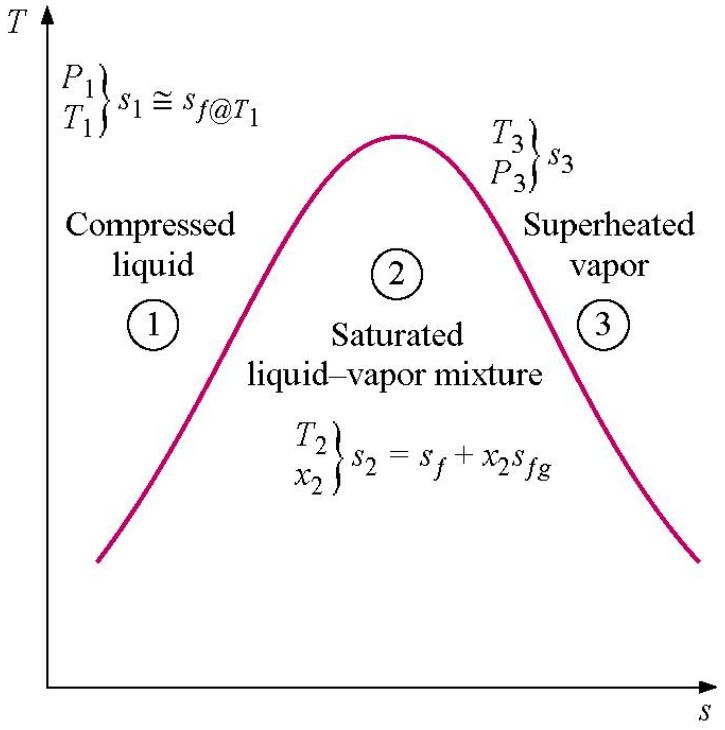
$$T\,ds = dh - v\,dP$$

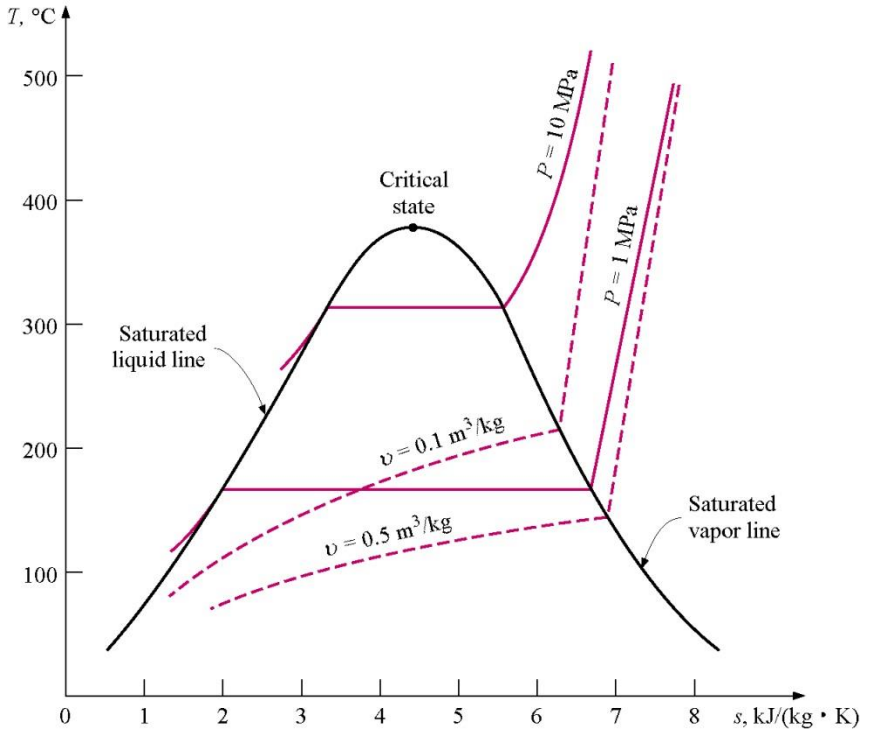


System used to find expressions for ds

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

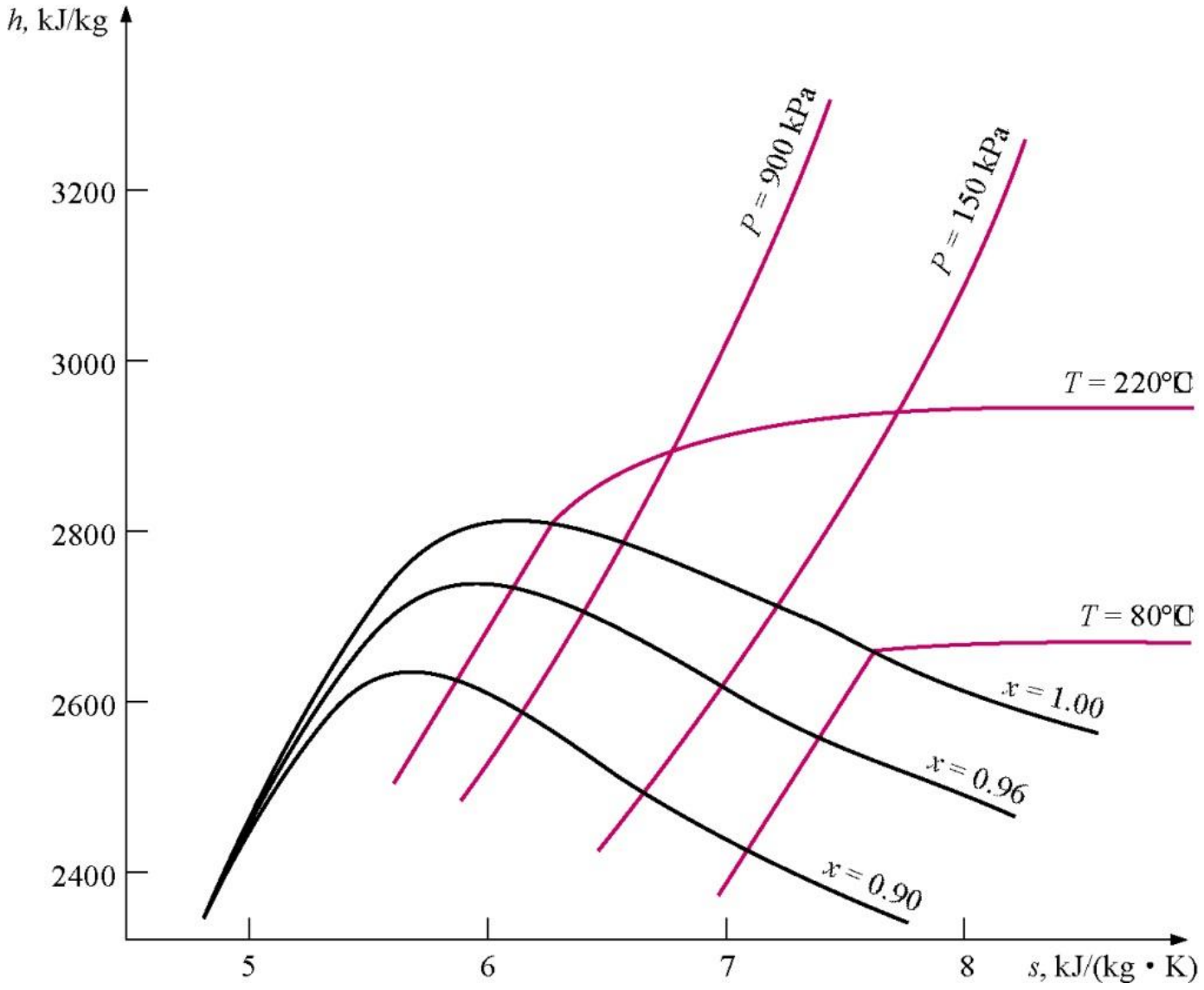
آنتروپی: یک خاصیت برای ماده





مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

آنتروپی: یک خاصیت برای ماده



مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

تغییر آنتروپی و فرآیندهای ایزنتروپیک

1.Pure substances:

Any process: $\Delta s = s_2 - s_1 \ (kJ/kg\cdot K)$

Isentropic process: $s_2 = s_1$

2.Incompressible substances (Liquids and Solids): $ds = \frac{du}{T} + \frac{P}{T}dv$

$du = C\,dT$

$dv \cong 0$

$$ds = \frac{C\,dT}{T} + 0$$

$$\Delta s = \int_1^2 \frac{C(T)\,dT}{T}$$

If the specific heat for the incompressible substance is constant, then the entropy change is

Any process: $s_2 - s_1 = C_{av} \ln \frac{T_2}{T_1} \ (kJ/kg\cdot K)$

Isentropic process: $T_2 = T_1$

3. Ideal gases (?)

مفهوم آنتروپی
تعریف آنتروپی
قانون دوم
نمودار T-s
اثر حرارت
قانون سوم
یک خاصیت
آیزنتروپیک

آنکه خود را تعلیم و تربیت می کند

بیشتر شایسته احترام است

تا کسی که

مردم را تعلیم و تربیت می کند.

امیر مؤمنان، امام علی علیه السلام