

ترمودینامیک ۱

تحلیل انرژی برای سیستم های بسته

ترمودینامیک ۱

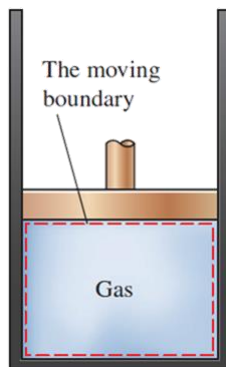
فهرست مطالب

- معرفی کار مرز متحرک
- بیان قانون اول ترمودینامیک برای سیستم های بسته (جرم ثابت)
- معرفی گرمای ویژه ثابت در حجم ثابت و فشار ثابت
- رابطه تغییرات انرژی داخلی و آنتالپی با گرمای ویژه برای گازهای ایده آل
- بیان تغییرات انرژی داخلی و آنتالپی برای مواد ساده تراکم ناپذیر

ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

- یک شکل متداول از کار مکانیکی، **انبساط یا تراکم گاز** در یک دستگاه سیلندر پیستون است.
- در طی این فرآیند، بخشی از مرز به بالا و پایین حرکت می کند. بنابراین، کار انبساط و تراکم اغلب به عنوان **کار مرز متحرک** یا به سادگی **کار مرزی** نامیده می شود.
- این نوع کار همچنین به نام کار **PdV** نیز شناخته می شود.
- کار مرزی شکل اصلی کار در موتورهای خودرو است. در کورس انبساط، گازهای احتراق پیستون را به حرکت در می آورد و این منجر به چرخش میل لنگ می شود.



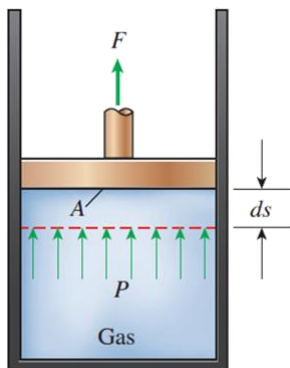
alipoor.alireza@gmail.com

3

ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

- برای یک **فرآیند شبه تعادلی**، کار خروجی **حداکثر** مقدار و کار ورودی **حداقل** مقدار است.
- گاز محصور شده در دستگاه سیلندر پیستون دارای **فشار اولیه P** و **حجم کل V** است و **سطح مقطع پیستون A** است. اگر پیستون بتواند **مسافت ds** را به صورت شبه تعادلی طی کند، کار دیفرانسیل انجام شده در طی این فرآیند برابر خواهد بود با:



$$\delta W_b = F ds = P A ds = P dV$$

alipoor.alireza@gmail.com

4

ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

- تغییر حجم در طی فرایند انبساط (افزایش حجم) **مثبت** و در طی یک فرآیند تراکم (کاهش حجم) **منفی** است. بنابراین، کار مرزی در طی یک فرآیند انبساط مثبت و در طی یک فرآیند فشرده سازی منفی است.
- کل کار مرزی انجام شده در طی کل فرآیند با حرکت پیستون با اضافه کردن کلیه کارهای دیفرانسیل از حالت اولیه به حالت نهایی بدست می آید:

$$W_b = \int_1^2 P dV \quad (\text{kJ})$$

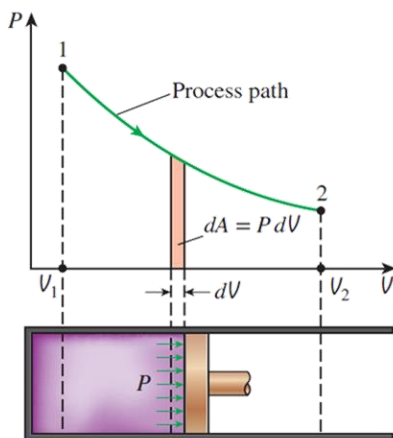
ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

- این انتگرال را زمانی می توان مورد ارزیابی قرار داد که رابطه بین P و V در طی فرآیند مشخص باشد.

$$P = f(V)$$

- در نمودار، ناحیه زیر فرآیند برابر با PdV است:



$$\text{Area} = A = \int_1^2 dA = \int_1^2 P dV$$

- ناحیه زیر منحنی فرآیند بر روی نمودار $P-V$ از نظر بزرگی برابر با مقدار کاری است که در طی یک فرایند انبساط یا تراکم شبه تعادلی در یک سیستم بسته انجام می شود.

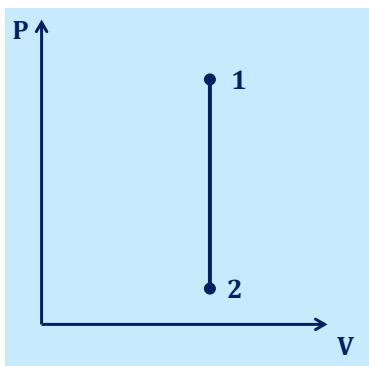
کار مرز متحرک

- محاسبه کار برای حالت های خاص
- حجم ثابت
- فشار ثابت
- همدمای
- پلی تروپیک

کار مرز متحرک

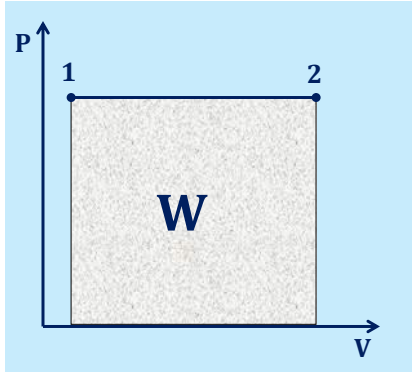
- فرآیند حجم ثابت

$$W_b = \int_1^2 P dV = 0$$



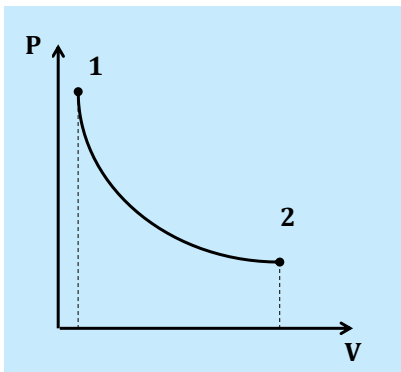
- فرآیند فشار ثابت

$$W_b = \int_1^2 P dV = P \int_1^2 dV = P(V_2 - V_1)$$



- فرآیند دما ثابت

$$W_b = \int_1^2 P dV \quad \text{برای گاز ایده آل} \quad P = \frac{mRT}{V} = \frac{Cons}{V}$$



$$W_b = \int_1^2 \frac{mRT}{V} dV$$

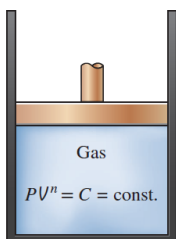
$$W_b = mRT \ln(V_2 / V_1)$$

$$W_b = PV \ln(V_2 / V_1)$$

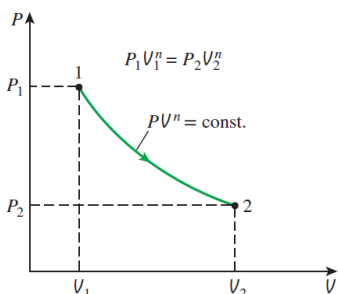
ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

فرآیند پلی تروپیک



- در طی فرآیندهای واقعی انبساط و تراکم گازها، فشار و حجم اغلب توسط $PV^n = C$ مرتبط است، که n و C در آنها ثابت است. فرآیندی از این نوع، فرآیند پلی تروپیک (Polytropic process) نامیده می شود.



$$PV^n = Constant$$

$$P = \frac{Const}{V^n}$$

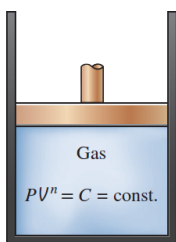
alipoor.alireza@gmail.com

15

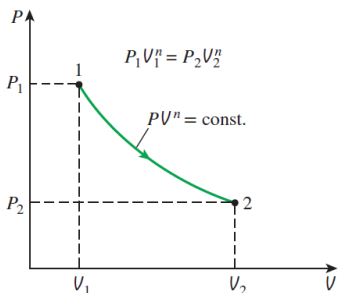
ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

فرآیند پلی تروپیک



$$W_b = \int_1^2 P dV = \int_1^2 Const \frac{dV}{V^n}$$



$$= \begin{cases} \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}, n \neq 1 \\ PV \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right), n = 1 \end{cases}$$

alipoor.alireza@gmail.com

16

ترمودینامیک ۱

کار مرز متحرک

$$W_b = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}$$

$$PV = m R T$$

با فرض گاز ایده آل

$$W_b = \frac{mRT_2 - mRT_1}{1 - n}$$

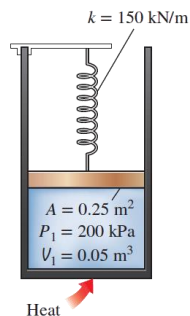
$$W_b = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1 - n}$$

گاز ایده آل در طی یک فرآیند پلی تروپیک

ترمودینامیک ۱

مثال

A piston-cylinder device contains 0.05 m^3 of a gas initially at 200 kPa . At this state, a linear spring that has a spring constant of 150 kN/m is touching the piston but exerting no force on it. Now heat is transferred to the gas, causing the piston to rise and to compress the spring until the volume inside the cylinder doubles. If the cross sectional area of the piston is 0.25 m^2 , determine (a) the final pressure inside the cylinder, (b) the total work done by the gas, and (c) the fraction of this work done against the spring to compress it.



ترمودینامیک ۱

قانون بقای انرژی برای سیستم بسته

- بر اساس مشاهدات تجربی، اصل بقا انرژی به شرح زیر بیان می شود:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Total Energy} \\ \text{Entering the System} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Total Energy} \\ \text{Leaving the System} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Change in the total} \\ \text{system energy} \end{array} \right)$$

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

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work and mass}} = \underbrace{\Delta \dot{E}_{sys}}_{\text{Rate of change in total energy of the system}}$$

بر پایه زمانی

ترمودینامیک ۱

قانون بقای انرژی برای سیستم بسته

$$\Delta E = \Delta U + \cancel{\Delta KE} + \cancel{\Delta PE}$$

معمولاً KE و PE قابل صرف نظر کردن هستند

$$\Delta E = \Delta U = m\Delta u$$

ترمودینامیک ۱

قانون بقای انرژی برای سیستم بسته

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

$$\overbrace{Q_{in} + W_{in} + \cancel{E_{mass,in}^0}}^{E_{in}} - \overbrace{(Q_{out} + W_{out} + \cancel{E_{mass,out}^0})}^{E_{out}} = \Delta E$$

 $E_{mass}=0$ for closed system

$$Q_{in} + W_{in} - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta E$$

If we rearrange, we get

$$Q_{in} - Q_{out} + W_{in} - W_{out} = \Delta E$$

ترمودینامیک ۱

قانون بقای انرژی برای سیستم بسته

$$Q_{in} - Q_{out} + W_{in} - W_{out} = \Delta E$$

با فرض $W_{out} > W_{in}$ و $Q_{in} > Q_{out}$

$$Q_{net,in} - W_{net,out} = \Delta E$$

$$Q - W = \Delta E$$

شکل کلی (KJ)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta \dot{E}$$

بر واحد زمان (به صورت نرخ) $KJ/s = Watt$

$$q - w = \Delta e$$

بر واحد جرم (KJ/kg)

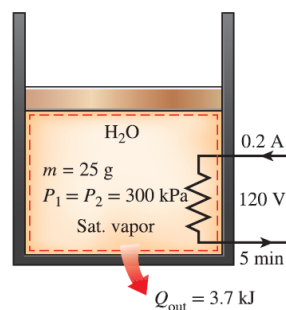
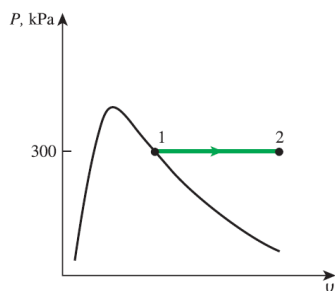
$$\delta q - \delta w = de$$

شکل دیفرانسیلی

ترمودینامیک ۱

مثال

A piston-cylinder device contains 25 g of saturated water vapor that is maintained at a constant pressure of 300 kPa. A resistance heater within the cylinder is turned on and passes a current of 0.2 A for 5 min from a 120-V source. At the same time, a heat loss of 3.7 kJ occurs. (a) Show that for a closed system the boundary work W_b and the change in internal energy ΔU in the first-law relation can be combined into one term, ΔH , for a constant-pressure process. (b) Determine the final temperature of the steam.



alipoor.alireza@gmail.com

35

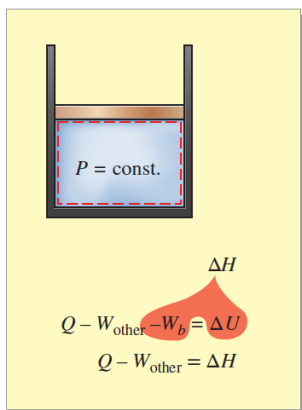
ترمودینامیک ۱

- برای یک سیستم بسته که یک فرآیند فشار ثابت شبه تعادلی را طی می کند.

$$P = \text{constant}$$

$$\Delta U + W_b = \Delta H$$

توجه شود که این رابطه برای سایر فرآیند اعتبار ندارد.



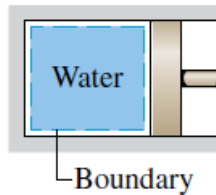
alipoor.alireza@gmail.com

39

ترمودینامیک ۱

Water contained in a piston-cylinder assembly undergoes two processes in series from an initial state where the pressure is 10 bar and the temperature is 400°C. Process 1-2 The water is cooled as it is compressed at a constant pressure of 10 bar to the saturated vapor state. Process 2-3 The water is cooled at constant volume to 150°C.

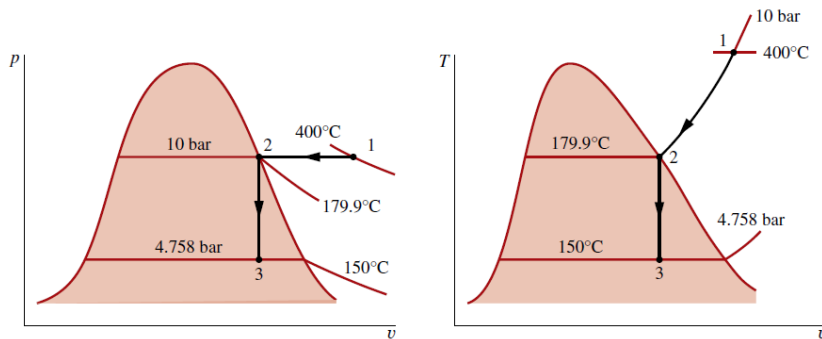
- Sketch both processes on T-v and p-v diagrams.
- For the overall process determine the work, in kJ/kg.
- For the overall process determine the heat transfer, in kJ/kg.



alipoor.alireza@gmail.com

42

ترمودینامیک ۱



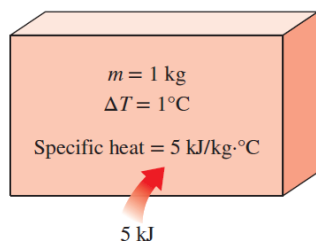
alipoor.alireza@gmail.com

43

ترمودینامیک ۱

گرمای ویژه (Specific heat)

- **تعریف:** انرژی مورد نیاز برای افزایش درجه حرارت جرم واحد از یک ماده تا یک درجه واحد ها:
- $\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ or $\text{kJ}/(\text{kg K})$
- $\text{cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ or $\text{cal}/(\text{g K})$
- $\text{Btu}/(\text{lb}_m ^\circ\text{F})$ or $\text{Btu}/(\text{lb}_m \text{ R})$
- **تعریف ساده ریاضیاتی:**



$$\Delta E = mC\Delta T$$

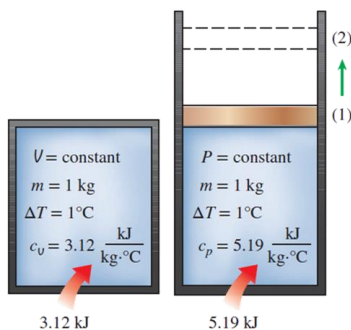
alipoor.alireza@gmail.com

53

ترمودینامیک ۱

گرمای ویژه (Specific heat)

- به طور کلی، مقدار این انرژی به نحوه **اجرای فرایند** بستگی دارد. در ترمودینامیک دو نوع گرمای تعریف می شود: گرمای ویژه در حجم ثابت C_v و گرمای ویژه در فشار ثابت C_p .
- **گرمای ویژه در حجم ثابت (C_v):** انرژی مورد نیاز برای بالا بردن دمای جرم واحد تا یک درجه، زمانی که حجم سیستم ثابت (فرایند حجم ثابت) نگه داشته می شود.
- **گرمای ویژه در فشار ثابت (C_p):** انرژی مورد نیاز برای بالا بردن دمای جرم واحد تا یک درجه، زمانی که فشار سیستم ثابت (فرایند فشار ثابت) نگه داشته می شود.



C_p همیشه بزرگتر از C_v است

زیرا در فشار ثابت سیستم اجازه گسترش دارد و انرژی لازم برای انبساط نیز باید برای سیستم تأمین شود.

$$C_p > C_v$$

alipoor.alireza@gmail.com

54

ترمودینامیک ۱

گرمای ویژه (Specific heat)

- یک جرم ثابت در یک سیستم بسته ثابت را در نظر بگیرید که تحت یک فرایند حجم ثابت قرار دارد (بنابراین کار انبساط یا تراکم وجود ندارد). دمای سیستم از T_1 به T_2 تبدیل می شود.

$$E = U + KE + PE$$

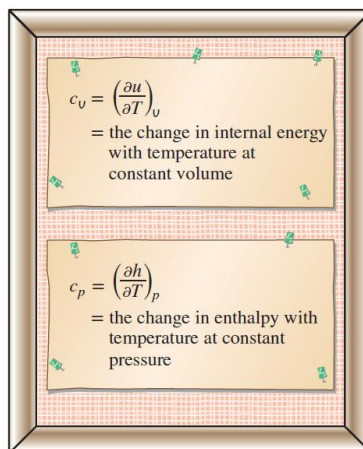
$$\Delta E = \Delta U$$

$$dE = dU$$

$$dE = mC_v dT$$

$$du = C_v dT$$

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$



ترمودینامیک ۱

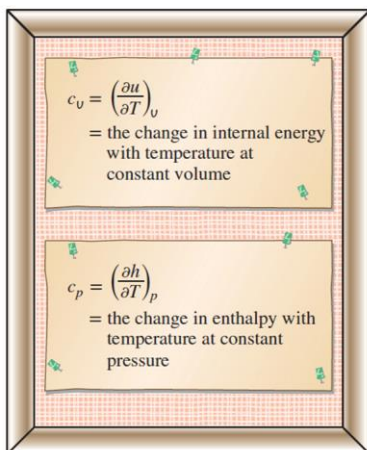
گرمای ویژه (Specific heat)

- به روش مشابه برای گرمای ویژه در فشار ثابت

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

- h شامل انرژی داخلی و کار مورد نیاز برای انبساط مرزهای سیستم می باشد.

$$h = u + Pv$$



ترمودینامیک ۱

گرمای ویژه (Specific heat)

- C_p همیشه بزرگتر از C_v است. زیرا انرژی مورد نیاز برای حرکت مرزهای سیستم در فرایند فشار ثابت بیشتر است.
- انرژی بیشتر لازم است تا :
 - انرژی داخلی افزایش یابد.
 - کار لازم برای جابجایی مرز سیستم انجام شود.

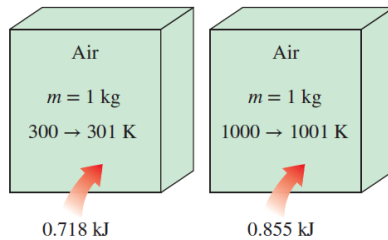
alipoor.alireza@gmail.com

57

ترمودینامیک ۱

گرمای ویژه (Specific heat)

- توجه داشته باشید:
- C_p و C_v در ترم های دما، انرژی داخلی و آنتروپی بیان می شوند؛ بنابراین، C_p و C_v جزو خواص هستند.
 - مانند هر خاصیت دیگر، گرمای ویژه یک ماده به حالت سیستم بستگی دارد که به طور کلی می تواند توسط دو خاصیت مستقل و شدتی بیان شود.



$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

alipoor.alireza@gmail.com

58

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- ژول (۱۸۴۳) به طور تجربی نشان داد که برای یک گاز ایده آل انرژی داخلی تنها تابعی از دما است

$$u = u(T)$$

- بنابراین، برای گازهای ایده آل CV تنها تابعی از دما است.

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

$$c_v = \frac{du}{dT}$$

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- بطور مشابه برای Cp

$$h = u + Pv$$

$$Pv = RT$$

$$h = u(T) + RT = h(T)$$

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

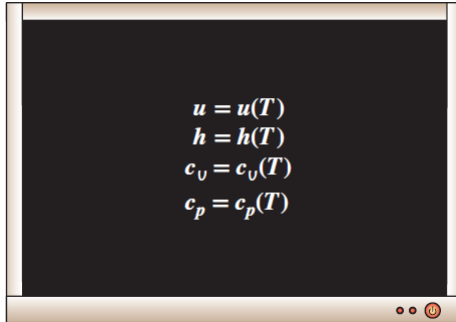
$$c_p = \frac{dh}{dT}$$

برای گازهای ایده آل Cp تنها تابعی از دما است.

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- از آنجا که u و h برای گاز ایده آل فقط به دما بستگی دارد، گرمای ویژه c_p و c_v نیز به دما بستگی دارد.



$$\begin{aligned}u &= u(T) \\ h &= h(T) \\ c_v &= c_v(T) \\ c_p &= c_p(T)\end{aligned}$$

$$du = c_v(T) dT$$

$$dh = c_p(T) dT$$

alipoor.alireza@gmail.com

63

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

$$du = C_v(T) dT$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v(T) dT$$

$$dh = C_p(T) dT$$

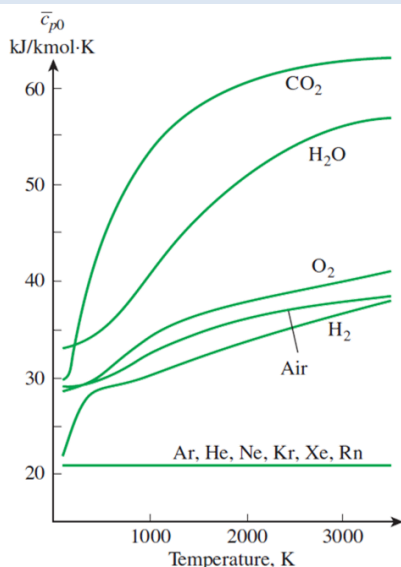
$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT$$

alipoor.alireza@gmail.com

64

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل



- در فشار کم، رفتار گازهای واقعی به رفتار گازهای ایده آل نزدیک می شوند و بنابراین گرمای ویژه آنها فقط به دما بستگی دارد.
- گرمای ویژه گازهای واقعی در فشارهای پایین **ideal-gas specific heats** یا **zero-pressure specific heats** نامیده می شوند و اغلب به صورت cv_0 و cp_0 بیان می شود.

alipoor.alireza@gmail.com

65

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- عبارتهای تحلیلی دقیقی برای گرمای ویژه گازهای ایده آل، بر اساس اندازه گیری یا محاسبات ناشی از رفتار آماری مولکول ها، در دسترس هستند و به عنوان چند جمله ای درجه سوم در پیوست (جدول A-2C) برای چندین گاز ارائه می شود.

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

- ثابت های a ، b ، c و d برای گازهای مختلف در جدول ارائه شده است.

alipoor.alireza@gmail.com

66

ترمودینامیک ۱

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases (Concluded)

(c) As a function of temperature

$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T in K, c_p in kJ/kmol·K)

Substance	Formula	a	b	c	d	Temperature range, K	% error	
							Max.	Avg.
Nitrogen	N ₂	28.90	-0.1571×10^{-2}	0.8081×10^{-5}	-2.873×10^{-9}	273–1800	0.59	0.34
Oxygen	O ₂	25.48	1.520×10^{-2}	-0.7155×10^{-5}	1.312×10^{-9}	273–1800	1.19	0.28
Air	—	28.11	0.1967×10^{-2}	0.4802×10^{-5}	-1.966×10^{-9}	273–1800	0.72	0.33
Hydrogen	H ₂	29.11	-0.1916×10^{-2}	0.4003×10^{-5}	-0.8704×10^{-9}	273–1800	1.01	0.26
Carbon monoxide	CO	28.16	0.1675×10^{-2}	0.5372×10^{-5}	-2.222×10^{-9}	273–1800	0.89	0.37
Carbon dioxide	CO ₂	22.26	5.981×10^{-2}	-3.501×10^{-5}	7.469×10^{-9}	273–1800	0.67	0.22
Water vapor	H ₂ O	32.24	0.1923×10^{-2}	1.055×10^{-5}	-3.595×10^{-9}	273–1800	0.53	0.24
Nitric oxide	NO	29.34	-0.09395×10^{-2}	0.9747×10^{-5}	-4.187×10^{-9}	273–1500	0.97	0.36
Nitrous oxide	N ₂ O	24.11	5.8632×10^{-2}	-3.562×10^{-5}	10.58×10^{-9}	273–1500	0.59	0.26
Nitrogen dioxide	NO ₂	22.9	5.715×10^{-2}	-3.52×10^{-5}	7.87×10^{-9}	273–1500	0.46	0.18
Ammonia	NH ₃	27.568	2.5630×10^{-2}	0.99072×10^{-5}	-6.6909×10^{-9}	273–1500	0.91	0.36
Sulfur	S	27.21	2.218×10^{-2}	-1.628×10^{-5}	3.986×10^{-9}	273–1800	0.99	0.38

alipoor.alireza@gmail.com

67

ترمودینامیک ۱

$$\Delta h = \int_1^2 c_p dT = \int_1^2 (a + bT + cT^2 + dT^3) dT$$

$$\Delta h = aT + \frac{b(T_2^2 - T_1^2)}{2} + \frac{c(T_2^3 - T_1^3)}{3} + \frac{d(T_2^4 - T_1^4)}{4}$$

انجام این فرآیند ممکن است زمان بر باشد.

یک راه ساده تر؟

alipoor.alireza@gmail.com

68

ترمودینامیک ۱

- برای جلوگیری از این نوع محاسبات، داده های u و h برای تعدادی از گازها در فواصل دمای کوچک انتگرال گیری و جدول بندی شده است.
- این جداول با انتخاب یک مرجع دلخواه و انجام انتگرال بدست آمده است. صفر کلوین به عنوان حالت مرجع انتخاب می شود و مقدار صفر به آنتالپی و انرژی داخلی اختصاص داده می شود.

Air			
T, K	$u, kJ/kg$	$h, kJ/kg$	
0	0	0	
.	.	.	
300	214.07	300.19	
310	221.25	310.24	
.	.	.	

$$u - u_o = \int_{T_0=0}^T c_v dT$$

$$h - h_o = \int_{T_0=0}^T c_p dT$$

- انتخاب حالت مرجع بر محاسبه Δu و Δh تاثیری ندارد.

alipoor.alireza@gmail.com

69

ترمودینامیک ۱

TABLE A-17

Ideal-gas properties of air

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg·K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865

اطلاعات u و h برای هوا در واحد kJ/kg ارائه شده است.

اطلاعات u و h برای سایر گازها در واحد $kJ/kmol$ ارائه شده است.

TABLE A-18

Ideal-gas properties of nitrogen, N_2

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol·K
0	0	0	0
220	6,391	4,562	182.639
230	6,683	4,770	183.938
240	6,975	4,979	185.180
250	7,266	5,188	186.370
260	7,558	5,396	187.514
270	7,849	5,604	188.614
280	8,141	5,813	189.673
290	8,432	6,021	190.695
298	8,669	6,190	191.502
300	8,723	6,229	191.682
310	9,014	6,437	192.638
320	9,306	6,645	193.562
330	9,597	6,853	194.459
340	9,888	7,061	195.328

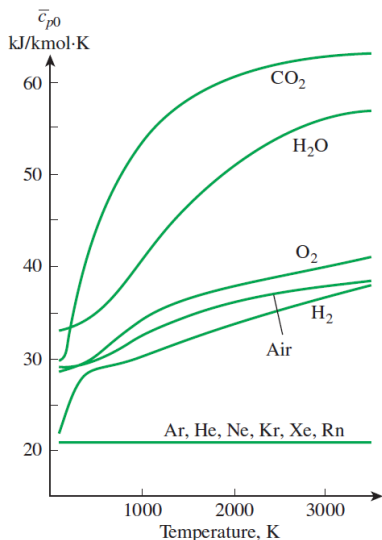
alipoor.alireza@gmail.com

70

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

برخی از مشاهدات



- تغییرات گرمای ویژه گازهای دارای مولکولهای پیچیده (مولکولهایی با دو یا چند اتم) بیشتر بوده و با دما افزایش می یابد.
- تغییرات گرماهای ویژه با دما هموار است و می تواند به صورت خطی در فواصل دمای کوچک (چند صد درجه یا کمتر) تقریب زده شود.
- گرمای ویژه گازهای ایده آل **تک اتمی** مانند آرگون، نئون و هلیوم در کل محدوده دما ثابت هستند.

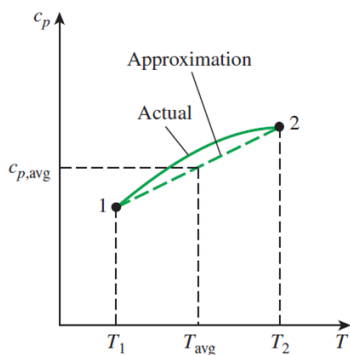
alipoor.alireza@gmail.com

72

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- گرمای ویژه در معادلات را می توان برای **محدوده دمایی کوچک ثابت** در نظر گرفت
- گرمای ویژه ثابت در **دمای میانگین $(T_1+T_2)/2$** محاسبه می شود.
- اگر دمای نهایی T_2 مشخص نباشد، می توان گرمای ویژه را در T_1 یا در دمای متوسط پیش بینی شده ارزیابی نمود. سپس T_2 را با استفاده از این مقدار ویژه فرضی تعیین و مقدار T_2 را اصلاح نمود.



$$u_2 - u_1 = c_{u,avg}(T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

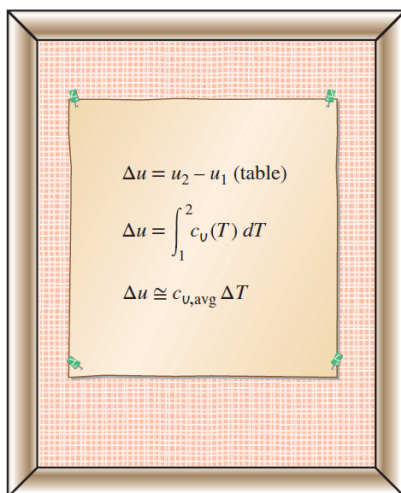
$$h_2 - h_1 = c_{p,avg}(T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

alipoor.alireza@gmail.com

73

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل



به طور خلاصه، سه روش برای تعیین انرژی داخلی و تغییرات آنتالپی گازهای ایده آل وجود دارد:

۱- استفاده از داده های موجود در جدول برای u و h .
(آسانترین و دقیق ترین روش در صورت دستیابی به جدول ها است.)

۲. استفاده از روابط cv یا cp به عنوان تابعی از دما و انجام انتگرال ها. (برای محاسبات دستی بسیار ناخوشایند است اما برای محاسبات رایانه ای کاملاً مطلوب است. نتایج به دست آمده بسیار دقیق است.)

۳. استفاده از گرمای ویژه متوسط. (در صورت عدم دسترسی به جداول خواص، این روش ساده و مطمئن است. اگر فاصله دما خیلی زیاد نباشد، نتایج به دست آمده منطقی است.)

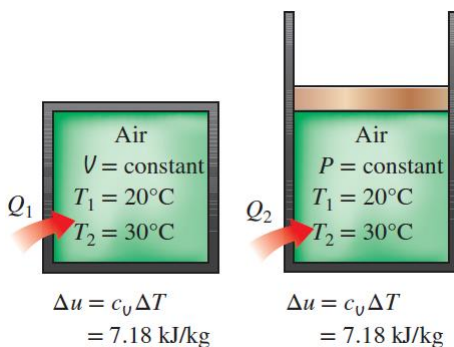
ترمودینامیک ۱

Air at 300 K and 200 kPa is heated at constant pressure to 600 K. Determine the change in internal energy of air per unit mass, using (a) data from the air table (Table A-17), (b) the functional form of the specific heat (Table A-2c), and (c) the average specific heat value (Table A-2b).

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- روابط ارائه شده برای Δu و Δh ، به هیچ نوع فرآیند محدود نمی شوند و برای کلیه فرایندها معتبر هستند.
- حضور C_v (گرمای ویژه در حجم ثابت) در یک معادله نباید تصور شود که این معادله فقط برای یک فرایند با حجم ثابت معتبر است.
- عنوان حجم ثابت یا فشار ثابت فقط نحوه اندازه گیری آنها برای هر ماده را مشخص می کند.



alipoor.alireza@gmail.com

80

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

- C_p در پیوست A-2 (c) به شکل تابعی از دما ارائه شده است. بنابراین می توان dh را محاسبه کنید، اما در رابطه با محاسبه du چطور؟ نیاز به جداول C_v می باشد که وجود ندارند.
- روابط گرمای ویژه برای گازهای ایده آل

$$h = u + RT$$

$$dh = du + R dT$$

$$C_p dT = C_v dT + R dT$$

$$C_p = C_v + R$$

این یک رابطه مناسب برای گازهای ایده آل می باشد که C_p و C_v را به یکدیگر مرتبط می کند.
 زمانی که گرمای ویژه بر واحد مولی ارائه شده باشد:

$$\bar{C}_p = \bar{C}_v + R_u$$

alipoor.alireza@gmail.com

81

ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه گازهای ایده آل

نسبت گرمای ویژه

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

مقدار k نیز با دما تغییر می کند، اما این تغییرات بسیار هموار تر می باشد.

$k = 1.4$ برای گازهای دو اتمی (مانند هوا)

$k = 1.667$ برای گازهای تک اتمی

Air at 300 K

$$\left. \begin{array}{l} c_v = 0.718 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \right\} c_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

or

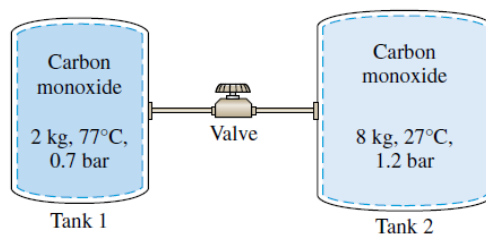
$$\left. \begin{array}{l} \bar{c}_v = 20.80 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K} \\ R_u = 8.314 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K} \end{array} \right\} \bar{c}_p = 29.114 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$$

alipoor.alireza@gmail.com

82

ترمودینامیک ۱

Two tanks are connected by a valve. One tank contains 2 kg of carbon monoxide gas at 77°C and 0.7 bar. The other tank holds 8 kg of the same gas at 27°C and 1.2 bar. The valve is opened and the gases are allowed to mix while receiving energy by heat transfer from the surroundings. The final equilibrium temperature is 42°C. Using the ideal gas model with constant c_v , determine (a) the final equilibrium pressure, in bar, (b) the heat transfer for the process, in kJ.



alipoor.alireza@gmail.com

88

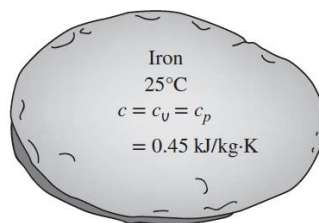
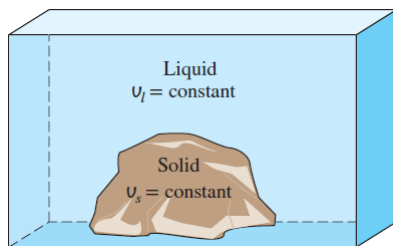
ترمودینامیک ۱

انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای ویژه جامدات و مایعات

- ماده ای که حجم مخصوص (یا چگالی) آن ثابت است، یک **ماده تراکم ناپذیر** نامیده می شود.
- حجم مخصوص مواد جامد و مایعات در طی یک فرآیند ثابت می ماند. بنابراین، مایعات و جامدات را می توان به عنوان مواد تراکم ناپذیر نامید.
- می توان نشان داد که **گرمای ویژه حجم ثابت و فشار ثابت برای مواد تراکم ناپذیر یکسان هستند**.

$$c_p = c_v = c$$

- مقادیر گرمای ویژه برای بعضی از مایعات و جامدات در **جدول A-3** ارائه شده است.



alipoor.alireza@gmail.com

92

ترمودینامیک ۱

تغییرات انرژی داخلی

- مانند گازهای ایده آل، گرمای ویژه مواد تراکم ناپذیر فقط به دما بستگی دارد.

$$du = c_v dT = c(T) dT$$

$$\Delta u = c \Delta T = c_{\text{avg}}(T_2 - T_1)$$

alipoor.alireza@gmail.com

93

ترمودینامیک ۱

تغییرات آنتالپی

$$h = u + Pv$$

$$dh = du + Pdv + v dP$$

- مقدار dv برای یک سیستم تراکم ناپذیر صفر است.

$$dv = 0 \rightarrow dh = du + v dP$$

با انتگرال گیری و جایگزینی

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P = c_{avg} \Delta T + v \Delta P$$

- مقدار $v \Delta P$ برای جامدات ناچیز است.

$$\Delta h \cong \Delta u \cong c_{avg} \Delta T$$

برای جامدات

ترمودینامیک ۱

تغییرات آنتالپی

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P = c_{avg} \Delta T + v \Delta P$$

- برای مایعات معمولاً دو حالت ویژه وجود دارد:

- فرآیند فشار ثابت: $\Delta P = 0$

$$\Delta h = \Delta u \cong c_{avg} \Delta T$$

- فرآیند دما ثابت: $\Delta T = 0$

$$\Delta h \cong v \Delta P$$

ترمودینامیک ۱

Carbon steel balls ($\rho = 7833 \text{ kg/m}^3$ and $c_p = 0.465 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$) 8 mm in diameter are annealed by heating them first to 900°C in a furnace, and then allowing them to cool slowly to 100°C in ambient air at 35°C . If 2500 balls are to be annealed per hour, determine the total rate of heat transfer from the balls to the ambient air.

