Sirousmehr

فصل ۵
ترمودینامیک

تهیه و تنظیم:

سعید سیروس مهر

Sirousmehr

ترمودینامیک:

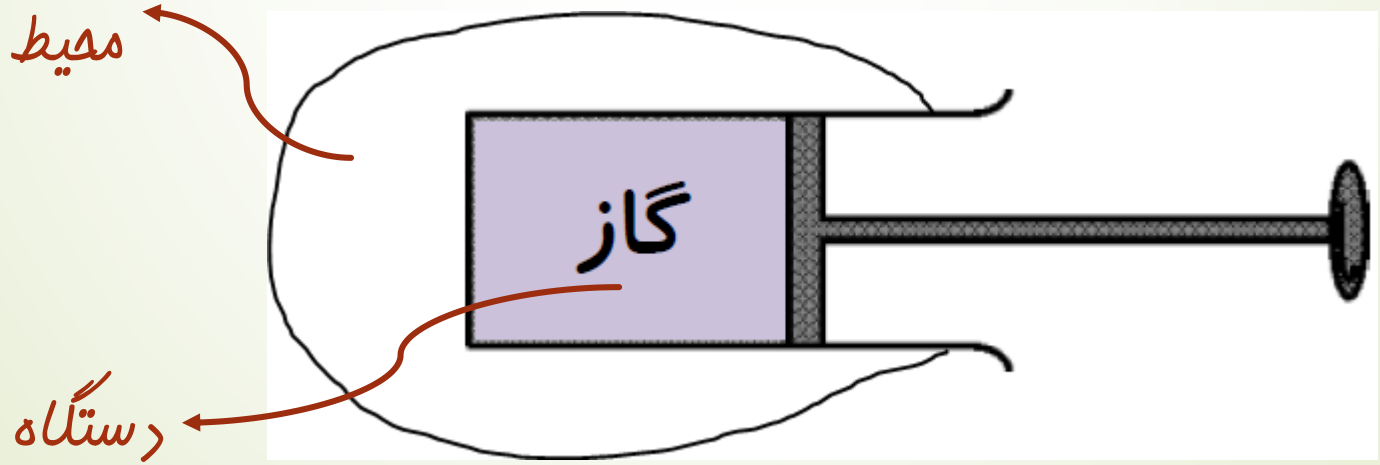
شاخه‌ای از علم فیزیک که رابطهٔ بین گرما وکار وتبدیل گرما به کار مکانیکی را مورد مطالعه قرار می‌دهد، ترمودینامیک نام دارد.

دستگاه:

به گاز یا مایعی که درون استوانه یا سیلندر وجود دارد دستگاه گویند.

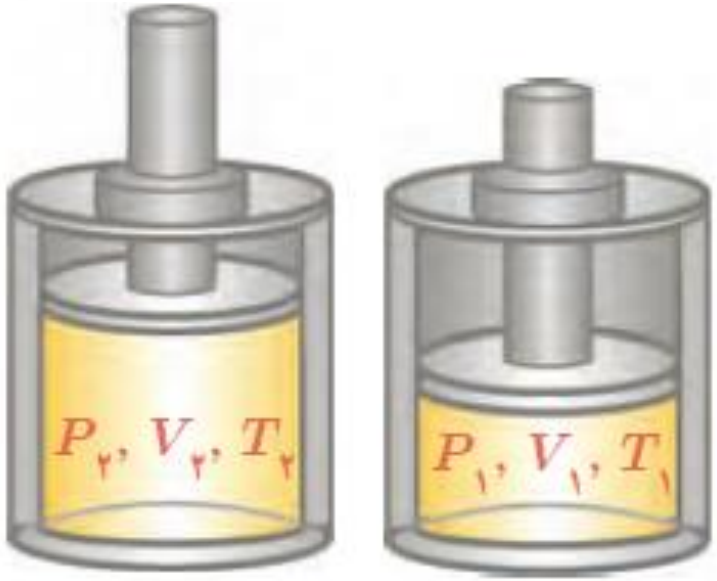
محیط:

به فضای اطراف دستگاه که میتواند با آن تبادل انرژی انجام دهد محیط گویند.



Sirousmehr

تعادل ترمودینامیکی: اگر پیستون برای مدتی طولانی در وضعیت ۱ (با حجم V_1) نگه داشته شده باشد، دما و فشار آن در همهٔ نقاط گاز یکسان خواهد بود؛ مثلاً برابر با T_1 و P_1. در چنین وضعیت‌هایی می‌گوییم گاز در حالت تعادل ترمودینامیکی است.



متغیرهای ترمودینامیکی:

به کمیت های ماکروسکوپی P ، T و V که حالت تعادلدستگاه با آنها توصیف میشود، متغیرهای ترمودینامیکی گویند.

اگر دما را تغییر دهیم و یا پیستون را جابجا کنیم دستگاه به حالت P_2 ، V_2 و T_2 می رود و پس از مدتی به تعادل جدید می رسد.

نکته:

یک دستگاه ترمودینامیکی زمانی در حالت تعادل ترمودینامیکی است که متغیرهای ترمودینامیکی آن به خودی خود تغییر نکنند.

معادله حالت:

متغیرهای ترمودینامیکی مستقل ازهم نیستند به رابطه بین متغیرهای ترمودینامیکی، معادله ی حالت گویند. اگر گاز آرمانی باشد خواهیم داشت:

$$PV = nRT$$

P: P_a — V: m^3 — n: moL — T: K

$$R = ۸/۳۱۴ \ \mathrm{J/mol.K}$$

Sirousmehr

مثال:

۱- حجمی که ۲ مول گاز کامل در فشار ۲ اتمسفر و دمای ۲۷ درجه سلسیوس اشغال می کند چه قدر است؟

$R = ۸ j/mol\ k$

$۱\ atm = ۱۰^{۵} pa$

۲- جرم ۸/۳ لیتر هلیوم در فشار $۱۰^{۵}$ و در دمای $۲۷^{\circ}C$ چند گرم است؟

$R = ۸/۳\ \ j/mol\ k$

۳- سیلندری به حجم ۴۱/۵۷ لیتر حاوی گاز هلیوم در فشار ۱۵۰ جو و دمای ۳۰۰ درجه کلوین است.

الف) مقدار گاز هلیوم موجود را بر حسب مول پیدا کنید.

ب) جرم گاز هلیوم موجود را محاسبه کنید.

پ) اگر گاز موجود تبدیل به مایع شود، چند لیتر مایع هلیوم به دست می آید؟

$R = ۸/۳۱۴\ {}^{j}/_{mol\ k}$

$\rho = ۱۲۵\ {}^{kg}/_{m^3}$

$M_{He} = ۴\ {}^{g}/_{mol}$

Sirousmehr

تبادل انرژی:

تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق گرما و کار صورت می‌گیرد و معمولاً فرض می‌شود که دستگاه در حین تبادل گرما، در تماس با یک منبع گرما[۲] است.

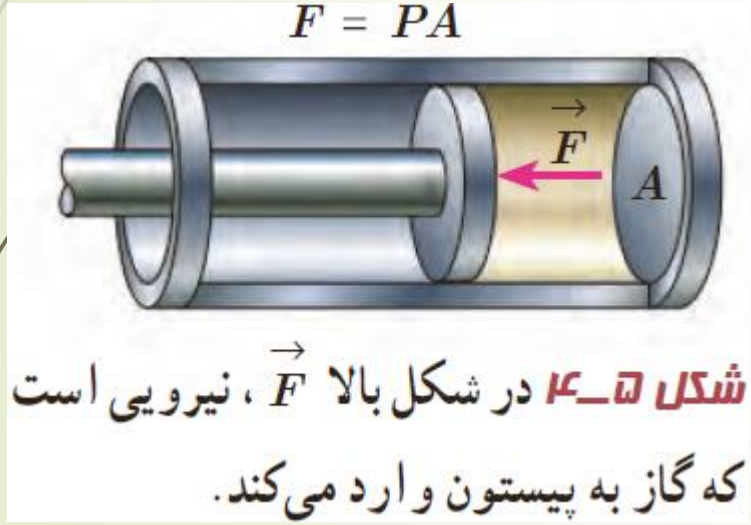
الف) گرما: همانطور که میدانیم، گرما انرژی‌ای است که به سبب اختلاف دما، بین دو جسم مبادله می‌شود. محیط و دستگاه نیز هنگامی مبادلهٔ گرما دارند که با هم اختلاف دما داشته باشند. بنا به قرارداد، گرمایی را که دستگاه می‌گیرد، با علامت مثبت، و گرمایی را که دستگاه از دست می‌دهد، با علامت منفی نشان میدهیم.

منبع گرما:

عبارت از جسمی است که بعلت داشتن جرم بسیار بزرگ در مقابل جرم یک دستگاه، اگر گرما بگیرد و یا گرما ازدست بدهد دمای آن تغییر محسوسی نکند. مانند یک استکان چای داغ و یا یک تکه یخ که اگر با هوای داخل اتاق تبادل گرما داشته باشند پس از مدتی چای خنک شده و یخ ذوب میشود بی آنکه دمای اتاق تغییر محسوسی داشته باشد.

Sirousmehr

کار: شکل ۵ــ۴ گازی را درون یک استوانه نشان می‌دهد. اگر گاز را کمی گرم کنیم، گاز منبسط می‌شود و پیستون که اصطکاک ناچیزی دارد به سمت چپ جابه‌جا می‌گردد. در این جابه‌جایی نیروی $\vec{F}$ که گاز به پیستون وارد می‌کند، کار انجام می‌دهد. مقدار این کار برابر با حاصل ضرب بزرگی نیروی $\vec{F}$ در اندازهٔ جابه‌جایی پیستون است. در این فرایند پیستون نیز روی گاز کار انجام می‌دهد.



شکل ۵ــ۴ در شکل بالا $\vec{F}$، نیرویی است که گاز به پیستون وارد می‌کند.

$$W = F\,d$$

انرژی درونی:

انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن ماده برابر است.

انرژی درونی را با نماد U نشان میدهیم،که بامجموع انرژی های جنشی و پتانسیل ذرات تشکیل دهنده آن ماده برابر است.

نکته:

انرژی درونی گازآرمانی فقط تابع دمای مطلق گاز است وبا افزایش دما، انرژی درونی گازافزایش می یابد.

تغییر انرژی درونی:

هرگاه دمای گاز تغییر کند انرژی درونی گاز نیز تغییر می کند که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

قانون اول ترمودینامیک:

تغییر انرژی درونی یک دستگاه، برابر مجموع گرمای گرفته شده توسط دستگاه و کار انجام شده روی دستگاه است.یعنی:

$$\Delta U = Q + W$$

تغییر انرژی درونی
j

گرما
j

کار
j

Sirousmehr

مثال ۵ــ ۱

در یک فرایند ترمودینامیکی دستگاه ۴۲۰J گرما از محیط می‌گیرد و انبساط می‌یابد. اگر کاری که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد ۱۰۰J باشد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

پاسخ : چون دستگاه از محیط گرما گرفته است $Q = +۴۲۰\,J$ و چون کار دستگاه روی محیط ۱۰۰J است پس کار محیط روی دستگاه $W = -۱۰۰\,J$ می‌شود. با استفاده از قانون اوّل ترمودینامیک داریم :

$$\Delta U = Q + W = ۴۲۰\,J + (-۱۰۰\,J) = ۳۲۰\,J$$

فرآیندهای ترمودینامیکی:

چهار فرآیند ترمودینامیکی خاص عبارتند از:
فرآیند هم حجم، فرآیند هم فشار، فرآیند هم دما و فرآیند بی دررو.

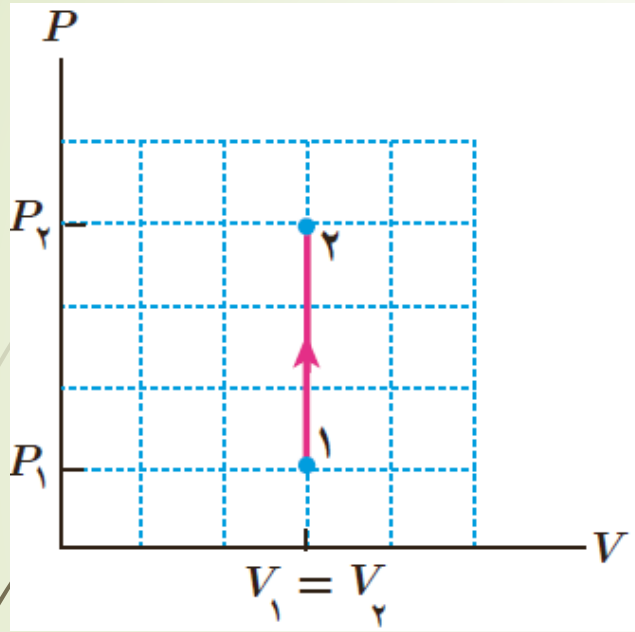
الف) فرایند هم‌حجم : حجم گاز طی این فرایند ثابت می‌ماند و بنابراین کاری انجام نمی‌شود. در این فرایند، گاز با محیط فقط تبادل گرما می‌کند و تغییر انرژی درونی گاز برابر با گرمایی است که با محیط(منبع گرما) مبادله می‌کند.

$$\Delta U = Q + W = Q + ۰ = Q$$

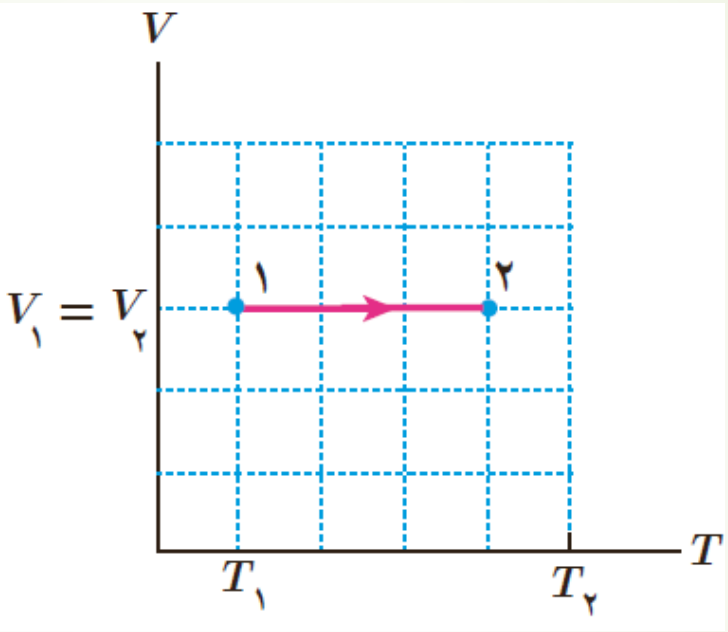
Sirousmehr

رسم نمودارهای P-V ، V-T و P-T در فرایند هم حجم:

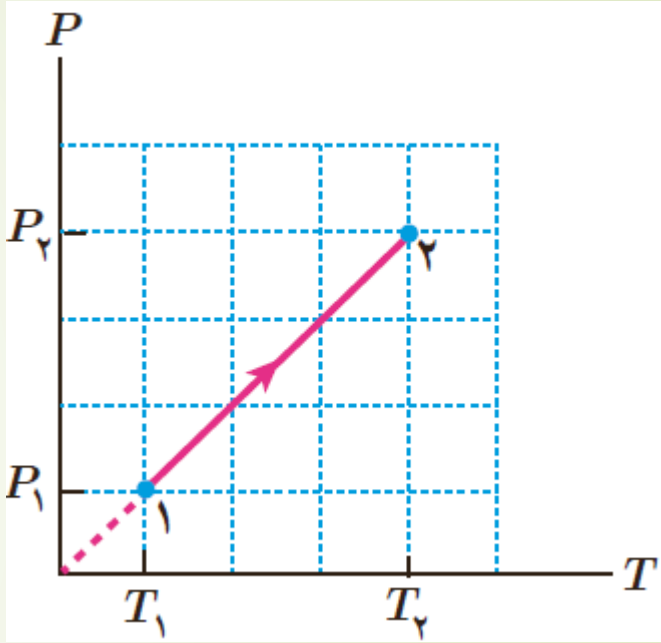
اگر دستگاه گرما بگیرد دمای آن افزایش می یابد در این صورت نمودارها بصورت زیر رسم میشوند:



P-V



V-T



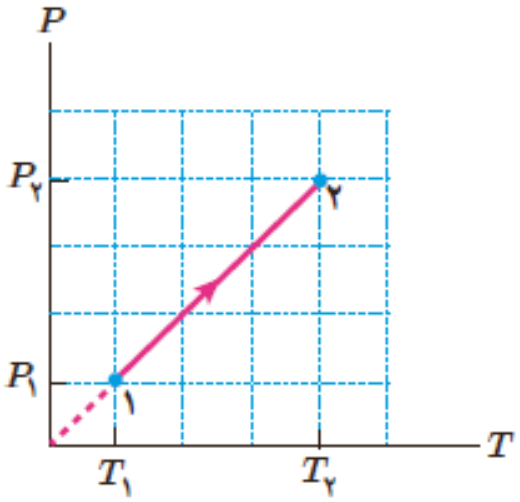
P-T

توجه:

در نمودار P-T، زمانی فرآیند هم حجم است که امتداد نمودار،یعنی خط شیبدار از مبداء مختصات بگذرد.

Sirousmehr

مثال ۵ــ ۲

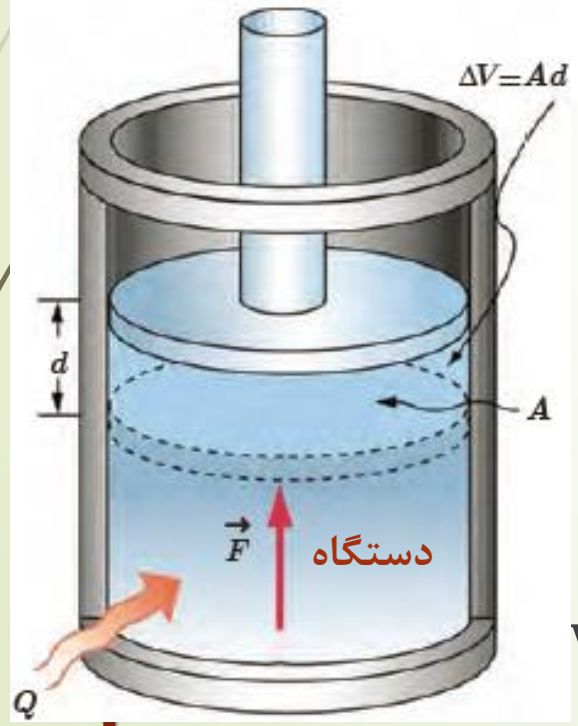


نشان دهید نمودار PــT برای فرایند هم‌حجم یک گاز آرمانی خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات صفحهٔ PــT می‌گذرد.

پاسخ: چون گاز آرمانی است با استفاده از معادلهٔ حالت گاز آرمانی داریم:

$$P = \left(\frac{nR}{V}\right) T$$

چون (nR/V) ثابت است، رابطهٔ بالا معادلهٔ یک خط راست است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد (شبیه خط $y = ax$ در صفحه $y-x$). با نقطه‌گذاری نیز می‌توان نمودار را رسم کرد.



فرآیند هم فشار:

دراین فرآیند،فشار ثابت بوده و تبادل انرژی بین دستگاه ومحیط هم بصورت گرما وهم بصورت کار انجام میگیرد زیرا با تغییر دما حجم گاز نیز تغییر کرده و پیستون جابجا میشود. بنابراین کار دستگاه روی محیط برابر است با :

$$P = \frac{F}{A}$$

$$W = F\,d$$

$$\longrightarrow \quad W = P \,.\, Ad \quad \text{و} \quad \Delta V = Ad \quad \longrightarrow \quad W = P.\,\Delta V$$

Sirousmehr

نکته:

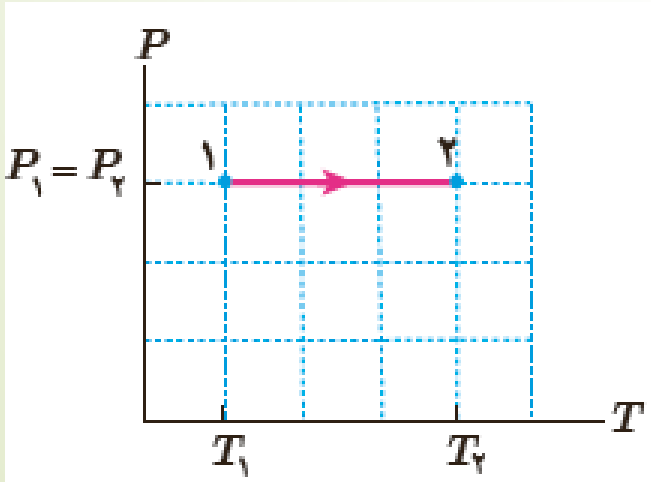
چون جهت نیرویی که دستگاه به پیستون وارد میکند در خلاف جهت نیرویی است که پیستون به دستگاه وارد می کند بنابراین کار محیط بر روی دستگاه برابر منفی کار دستگاه روی محیط خواهد بود. لازم به ذکر است که در این کتاب ما کار محیط بر روی دستگاه (کار پیستون روی گاز) را حساب خواهیم کرد بنابراین کار در فرآیند هم فشار از رابطه زیر بدست می آید:

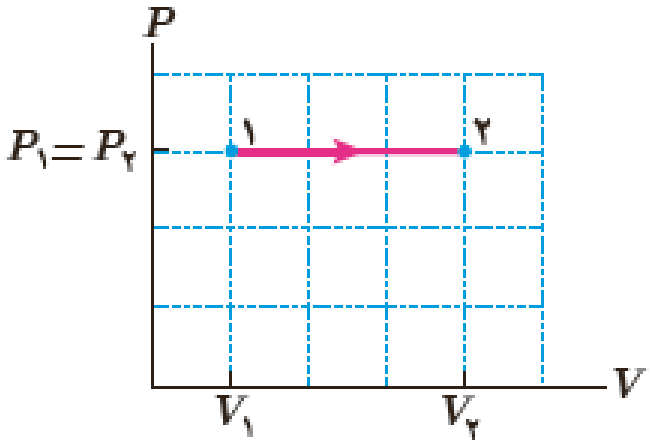
$$W = -P\,\Delta V$$

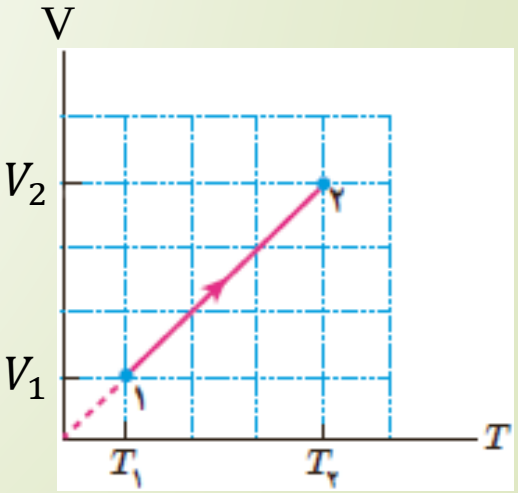
بنا به رابطهٔ فوق اگر گاز منبسط شود ($\Delta V > 0$) کار محیط روی دستگاه (W) منفی و اگر گاز متراکم شود($\Delta V < 0$) کار محیط روی دستگاه (W) مثبت است.

رسم نمودارهای P-V ، P-T و V-T در فرآیند هم فشار:

اگر دستگاه گرما بگیرد نمودارها بصورت زیر خواهد بود:







Sirousmehr

مثال: گازی آرمانی به حجم ۱/۰۰ لیتر در فشار ثابت $1/00\times10^{5}\,Pa$ مقداری گرما به محیط می‌دهد و حجم آن به ۰/۹۰۰ لیتر می‌رسد. اگر دمای اولیهٔ گاز ۳۰۰K باشد، الف) دمای نهایی گاز و ب) کار انجام شده روی آن چقدر است؟

پاسخ : چون گاز، آرمانی است و حجم آن به‌طور هم‌فشار کاهش یافته است، داریم :

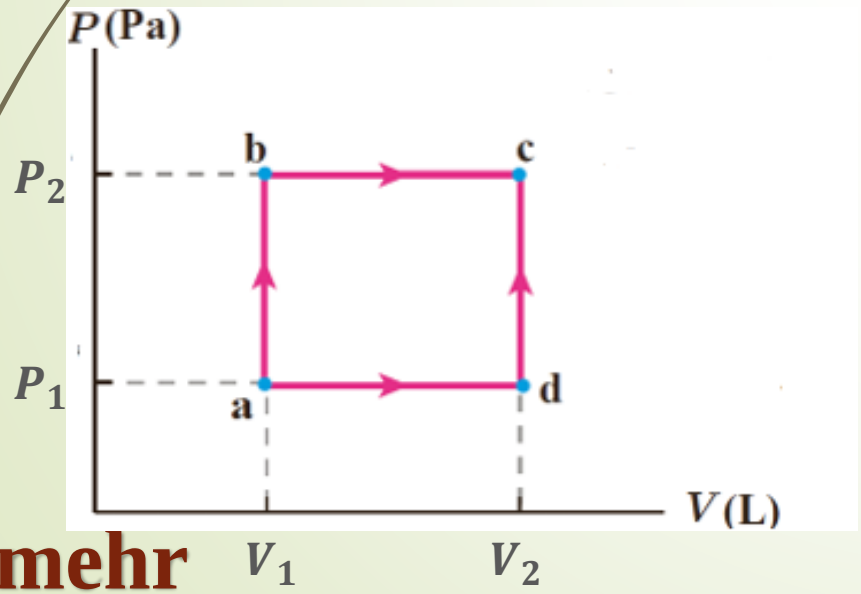
$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$$

در نتیجه

$$T_2=T_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right)=(300\,K)(0/900)=2/70\times10^{2}\,K=270\,K$$

کار انجام شدهٔ محیط روی گاز برابر است با

$$W=-P\,\Delta V=-(1/00\times10^{5}\,N/m^{2})(0/900-1/00)\times10^{-3}\,m^{3}=10\,J$$



نکته:

برای محاسبه کل کار انجام شده و کل گرما برای چند فرایند، کارو گرمای تک تک فرآیندها را حساب کرده و سپس آنها را با هم جمع میکنیم.

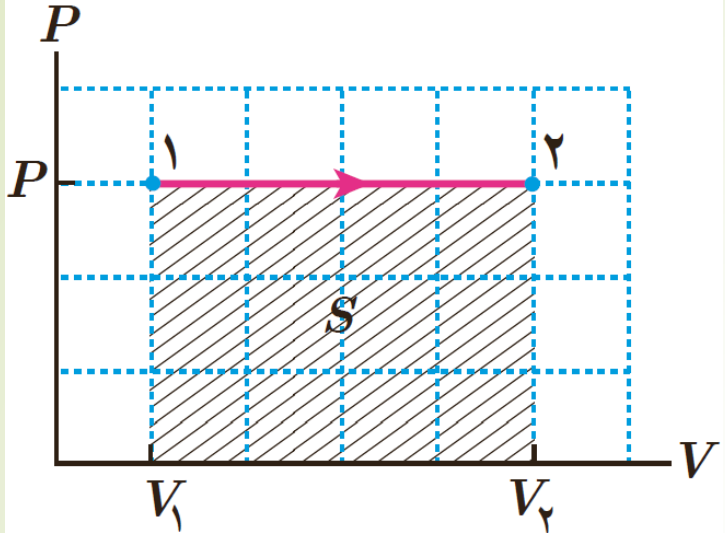
$$\mathbf{W}=\boldsymbol{W_{ab}}+\boldsymbol{W_{bc}}+\boldsymbol{W_{cd}}+\boldsymbol{W_{da}}$$

$$\mathbf{Q}=\boldsymbol{Q_{ab}}+\boldsymbol{Q_{bc}}+\boldsymbol{Q_{cd}}+\boldsymbol{Q_{da}}$$

Sirousmehr

نکته:

مساحت زیر نمودار P-V در فرآیند هم فشار، برابر کار محیط بر روی دستگاه است.



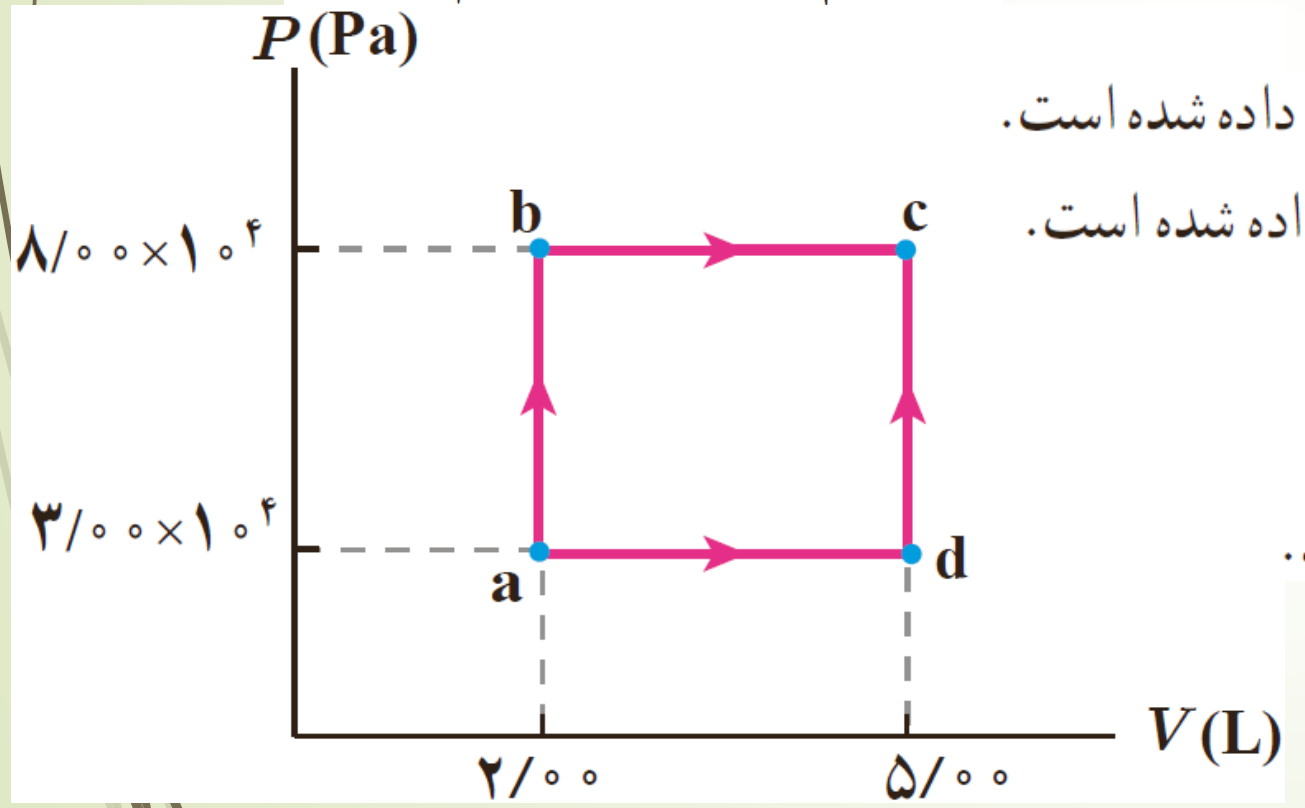
مثال:

در شکل روبه‌رو، نمودار PـV برای یک گاز آرمانی نشان داده شده است. در فرایند ab، ۱۵۰ J و در فرایند bc، ۶۰۰ J گرما به دستگاه داده شده است.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در فرایند ab چقدر است؟

ب) تغییر انرژی درونی گاز در فرایند abc چقدر است؟

پ) گرمای داده شده به گاز در فرایند adc را محاسبه کنید.



Sirousmehr

جواب مثال :

پاسخ : الف) چون در فرایند ab هیچ تغییر حجمی نداریم، $W_{ab}=0$ و در نتیجه

$$\Delta U_{ab}= Q_{ab}=150\,J$$

ب) فرایند bc در فشار ثابت رخ می‌دهد و بنابراین، کار انجام شده روی دستگاه برابر است با

$$W_{bc}=-P\Delta V=-P(V_c-V_b)=-(8/00\times10^{4}Pa)(3/00\times10^{-3}m^{3})=-240\,J$$

در نتیجه کل کار انجام شده در فرایند abc برابر است با

$$W_{abc}= W_{ab}+ W_{bc}= 0-240\,J=-240\,J$$

و از طرفی گرمای کل داده شده به دستگاه در فرایند abc برابر است با

$$Q_{abc}= Q_{ab}+ Q_{bc}=150\,J+600\,J=750\,J$$

با استفاده از قانون اوّل ترمودینامیک داریم :

$$\Delta U_{abc}= Q_{abc}+W_{abc}=750\,J-240\,J=510\,J$$

Sirousmehr

جواب مثال پ :

پ) می‌دانیم در فرایندهای مختلفی که از حالت اولیهٔ یکسان آغاز می‌شوند و به حالت نهایی یکسان می‌رسند، تغییر انرژی درونی گاز یکسان است. بنابراین :

$$\Delta U_{adc} = \Delta U_{abc} = ۵۱۰\,J$$

از طرفی کل کار انجام شده در فرایند adc برابر است با :

$$W_{adc} = W_{ad} + W_{dc} = -P(V_d - V_a) + ۰ = -(۳/۰۰\times۱۰^{۴}Pa)(۳/۰۰\times۱۰^{-۳}m^{۳}) = -۹۰/۰\,J$$

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم :

$$\Delta U_{adc} = Q_{adc} + W_{adc}$$

و در نتیجه

$$Q_{adc} = \Delta U_{adc} - W_{adc} = (۵۱۰\,J) - (-۹۰/۰\,J) = ۶۰۰\,J$$

Sirousmehr

فرآیند همدما:

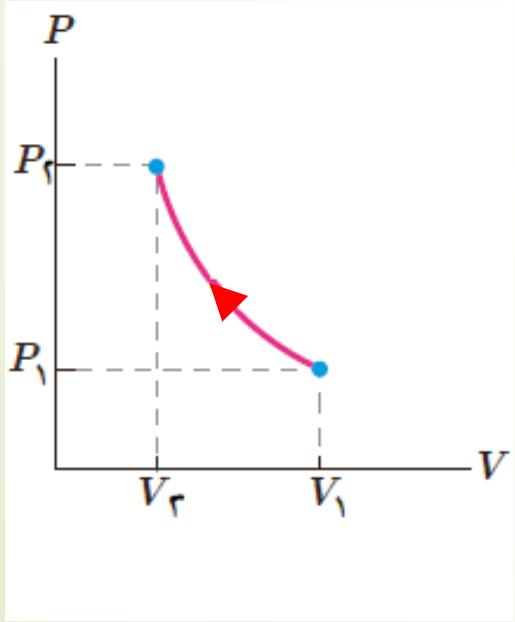
در فرایند هم‌دما، دمای گاز تغییر نمی‌کند. بنابراین، برای گاز آرمانی که انرژی درونی آن فقط تابعی از دماست، تغییر انرژی درونی صفر است و با استفاده از قانون اوّل ترمودینامیک می‌توانیم بنویسیم :

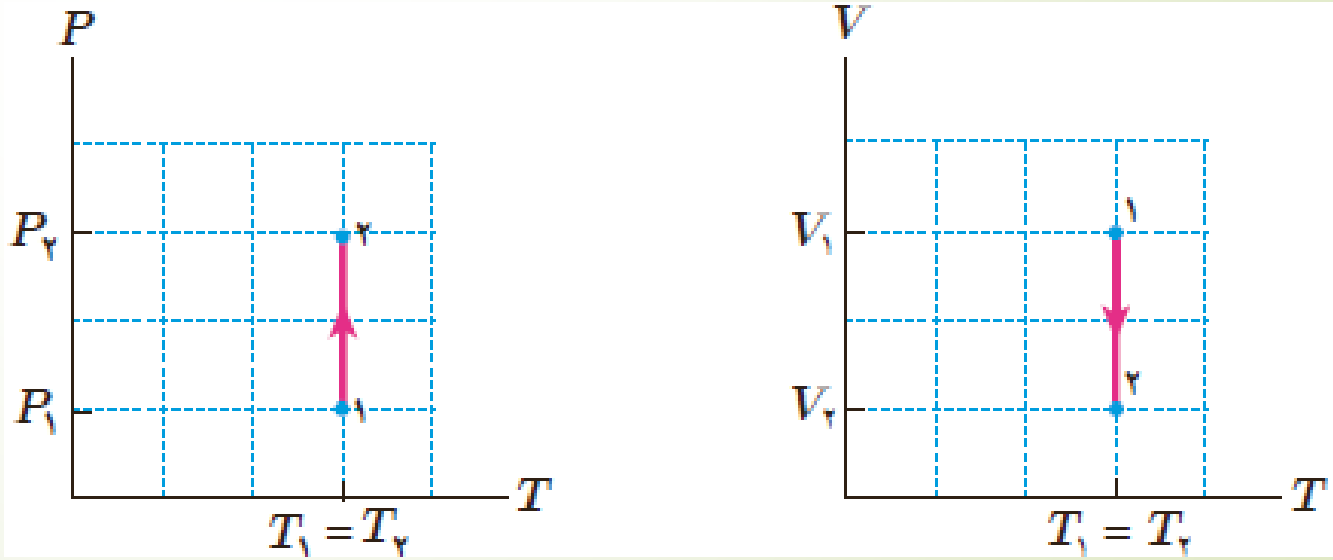
$$\Delta U = Q + W = 0$$

در نتیجه :

$$Q = -W$$

رسم نمودارهای P-V ، P-T و V-T در فرآیند تراکم همدما:





Sirousmehr

سوال:

انتهای یک سرنگ حاوی هوا را مسدود و آن را وارد حجم بزرگی از آب کنید. پس از مدتی، پیستون سرنگ را به آرامی بفشارید. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می‌کند؟

مثال ۵ــ۵

گازی آرمانی را در دمای ثابت از حالت اولیهٔ $V_۱ = ۴/۰\,L$ و $P_۱ = ۱/۰\,atm$ تا حالت نهایی با حجم $V_۴ = ۱/۰\,L$ متراکم می‌کنیم.

الف) در طی این فرایند، فشار گاز را برای هریک از حجم های $۳/۰\,L$، $۲/۰\,L$ و $۱/۰\,L$ حساب کنید و نمودار PــV را با استفاده از روش نقطه یابی و معلوم بودن مختصات هر نقطه رسم کنید.

اگر مساحت سطح زیر این نمودار $۵/۵\times ۱۰^{۲}\,J$ باشد، ب) W و پ) Q در این فرایند چقدر است؟

پاسخ : الف) چون گاز، آرمانی و فرایند هم‌دماست داریم :

$$PV = nRT \Rightarrow P_۱V_۱ = P_۲V_۲ = \dots$$

$$V_۲ = ۳/۰\,L \Rightarrow (۱/۰)(۴/۰) = (P_۲)(۳/۰) \Rightarrow P_۲ = ۱/۳\ atm$$

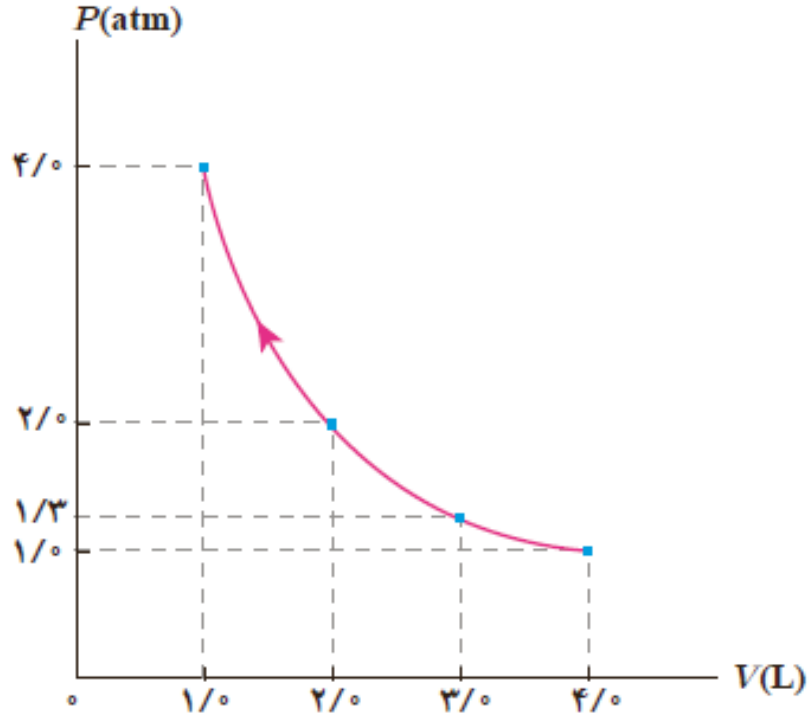
$$V_۳ = ۲/۰\,L \Rightarrow (۱/۰)(۴/۰) = (P_۳)(۲/۰) \Rightarrow P_۳ = ۲/۰\ atm$$

$$V_۴ = ۱/۰\,L \Rightarrow (۱/۰)(۴/۰) = (P_۴)(۱/۰) \Rightarrow P_۴ = ۴/۰\ atm$$

Sirousmehr

ادامه پاسخ مثال ۵-۵ :

مختصات نقطه‌های مربوط به نمودار PـV را در جدول یادداشت و نمودار را رسم می‌کنیم :



V(L)	P(atm)
۴/۰	۱/۰
۳/۰	۱/۳
۲/۰	۲/۰
۱/۰	۴/۰

ب) قدرمطلق کار محیط روی دستگاه برابر با مساحت سطح زیر نمودار PـV است. افزون بر این، چون گاز متراکم شده است، علامت کار انجام شده بر روی گاز مثبت است؛ یعنی :

$$W = +۵/۵\times۱۰^{۲}\,\mathrm{J}$$

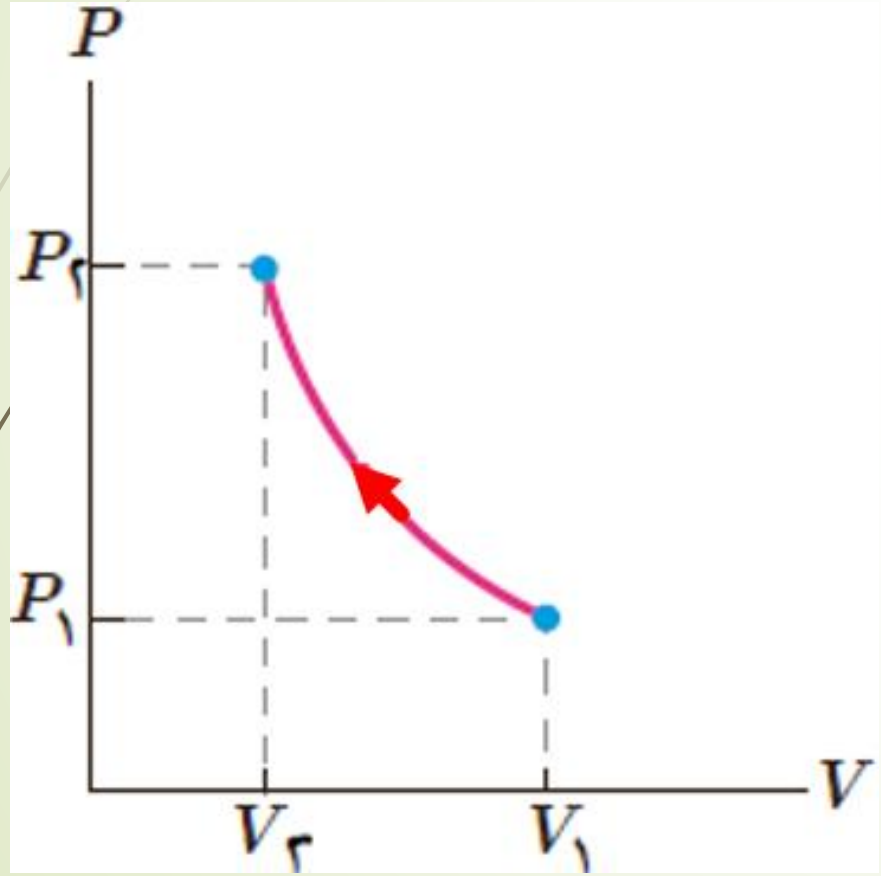
پ) برای فرایند هم‌دمای گاز کامل نشان دادیم $Q = -W$ است. بنابراین، برای Q داریم :

$$Q = -W = -۵/۵\times۱۰^{۲}\,\mathrm{J}$$

Sirousmehr

فرآیند بی دررو :

در این فرآیند بدلیل اینکه اطراف دستگاه کاملا عایق بندی شده است تبادل گرما بین دستگاه و محیط صورت نمی گیرد و تبادل انرژی فقط بصورت کار است. اگر عمل تراکم یا انبساط گاز بقدری سریع انجام گیرد که دستگاه فرصت تبادل گرما با محیط را نداشته باشد، در اینصورت فرآیند بی دررو خواهد بود.



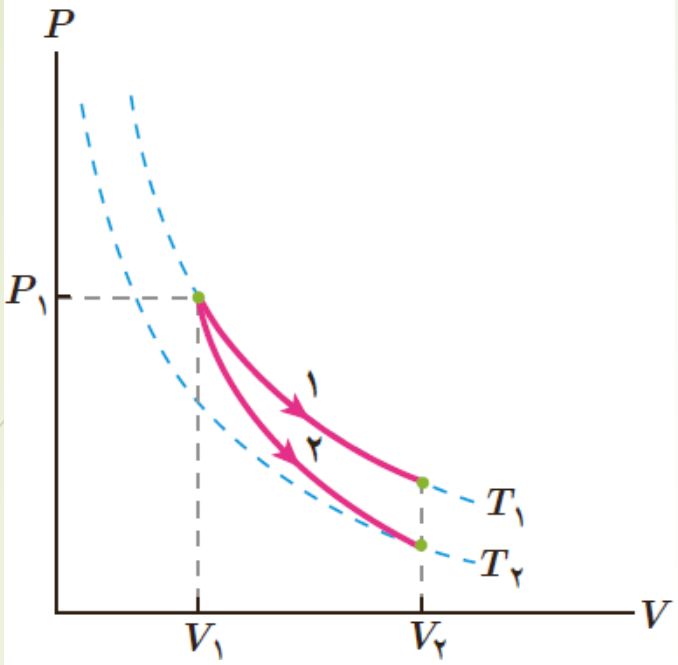
رسم نمودار P-V تراکم بی دررو:

چون در باره ی دمای درون فرآیند بی دررو اطلاعی نداریم بنابراین فقط نمودار P-V آنرا رسم می کنیم که شبیه نمودار تراکم همدما است.

Sirousmehr

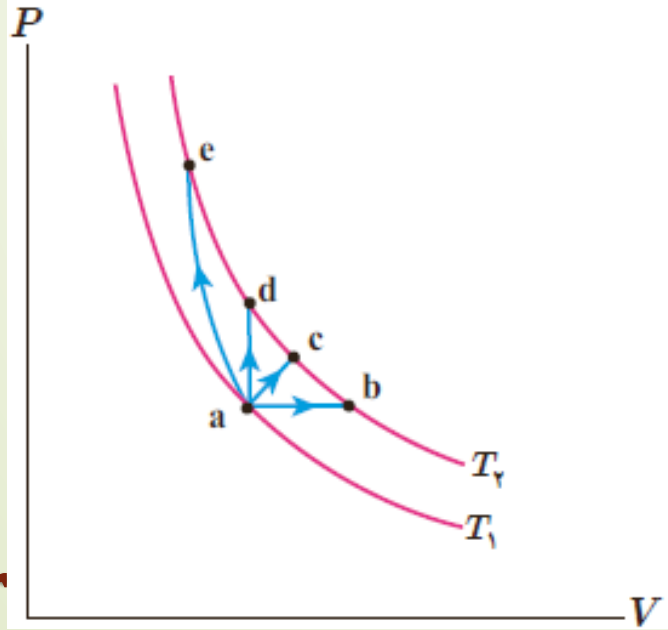
سوال:

مطابق شکل، گازی را یکبار بصورت همدما باردیگر بصورت بی دررو منبسط می کنیم. با دلیل توضیح دهید کدام نمودار فرایند همدما و کدام نمودار فرآیند بی دررو است؟



مثال ۵ــ ۷

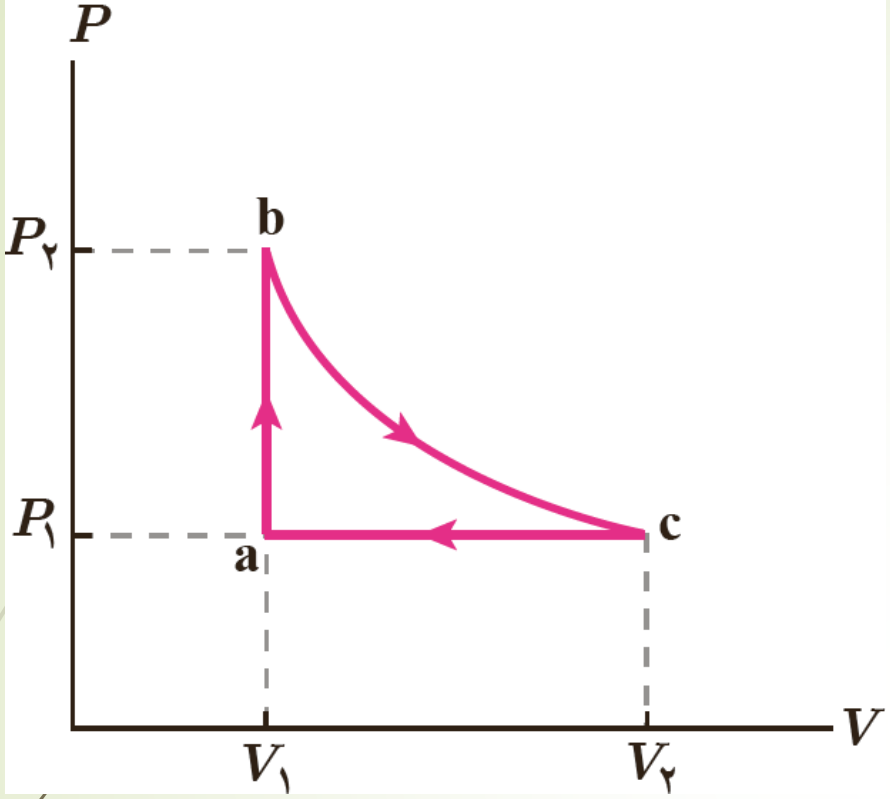
در شکل روبه‌رو گازی آرمانی را از طریق چند فرایند مختلف، از جمله یک فرایند هم‌حجم، یک فرایند هم‌فشار و یک فرایند بی‌دررو از دمای T_1 به دمای T_2 رسانده‌ایم. توضیح دهید چرا تغییر انرژی درونی در تمام فرایندها یکسان است.



پاسخ : همان‌طور که می‌دانیم انرژی درونی گاز آرمانی فقط به دمای گاز بستگی دارد. بنابراین، با توجه به اینکه دماهای اولیه و نهایی در همهٔ فرایندها یکی است، تغییر انرژی درونی در هر چهار فرایند برابر است.

Sirousmehr

چرخه ترمودینامیکی:



هرگاه دستگاه پس از طی چند فرآیند مختلف به حالت اولیه خود برگردد میگوییم یک چرخه انجام شده است. بعنوان مثال مطابق شکل دستگاه سه فرآیند هم حجم ab ،هم دما یا بی درروی bc وفرآیند هم فشارca را انجام داده و به حالت اولیه خود باز گشته است.

برای حل مسائل مربوط به چرخه به نکات زیر توجه شود:

۱- در یک چرخه تغییر انرژی درونی دستگاه برابر صفر است زیرا دستگاه پس از انجام چند فرآیند به حالت اولیه خود باز میگردد. $\Delta U = W + Q \longrightarrow W = -Q$ و $\Delta U = 0$

۲- مساحت داخل نمودار در یک چرخه برابر کار انجام شده روی دستگاه است. $W = S$

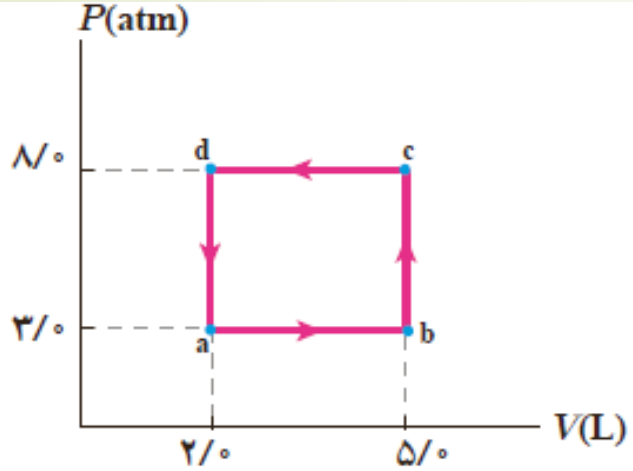
۳- اگر چرخه ساعتگرد باشد کار منفی و اگر پاد ساعتگرد باشد کار مثبت است.

۴- مجموع کار هریک از فرآیندها در یک چرخه برابر کل کار است. $W = W_{ab} + W_{bc} + W_{ca}$

۵- مجموع گرمای هرفرآیند در یک چرخه برابر کل گرمای دستگاه است. $Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}$

Sirousmehr

مثال:



گازی چرخهٔ ترمودینامیکی فرضی نشان داده شده در شکل را می‌پیماید.

الف) کار انجام‌شده روی گاز در این چرخه چقدر است؟

ب) گرمای مبادله شده بین گاز و محیط در چرخه چقدر است؟

پاسخ : الف) همان‌طور که دیدیم اندازه کار انجام شده روی گاز، برابر با مساحت سطح داخل چرخه است :

$$|W| = S_{abcd} = (۸/۰ - ۳/۰) \times ۱۰^{۵} \mathrm{N/m^{۲}} \times (۵/۰ - ۲/۰) \times ۱۰^{-۳} \mathrm{m^{۳}} = ۱/۵ \times ۱۰^{۳} \mathrm{J}$$

چون چرخه در صفحهٔ P_V پاد ساعتگرد است، داریم :

$$W = +۱/۵ \times ۱۰^{۳} \mathrm{J}$$

با توجه به رابطهٔ ۵ـ۴ می‌توان نوشت :

$$Q = -W = -۱/۵ \times ۱۰^{۳} \mathrm{J}$$

بنابراین، گرمای مبادله شده بین گاز و محیط $|Q| = ۱/۵ \times ۱۰^{۳} \mathrm{J}$ است و علامت منفیِ Q نشان می‌دهد در این چرخه، گاز به محیط گرما داده است.

Sirousmehr

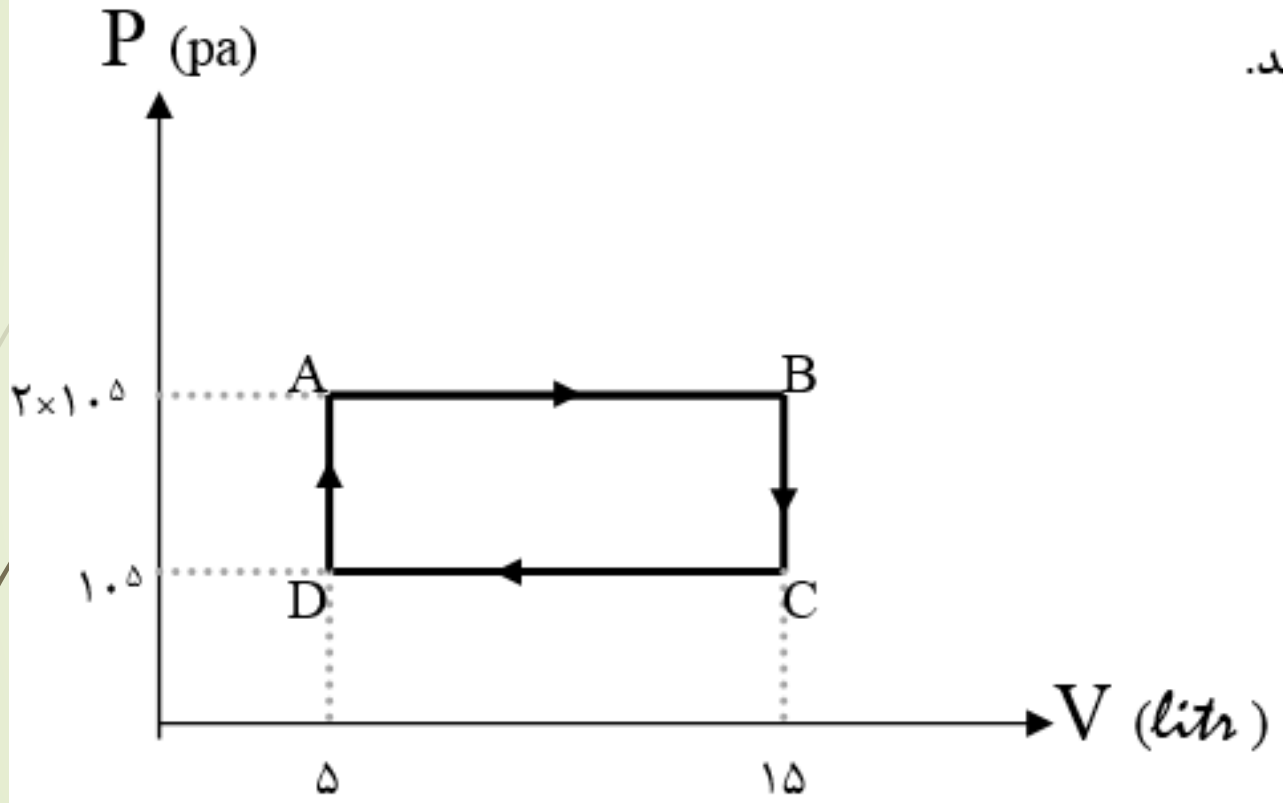
مثال:

یک مول گاز تک اتمی چرخه ای مطابق شکل پیموده است.

الف) کار انجام شده روی گاز در این چرخه چقدر است؟

ب) گرمایی را که گاز دریافت می کند را حساب کنید.

ج) دمای گاز در نقطه A چقدر است؟



$R \approx ۸ \ ^{j}/_{molk}$

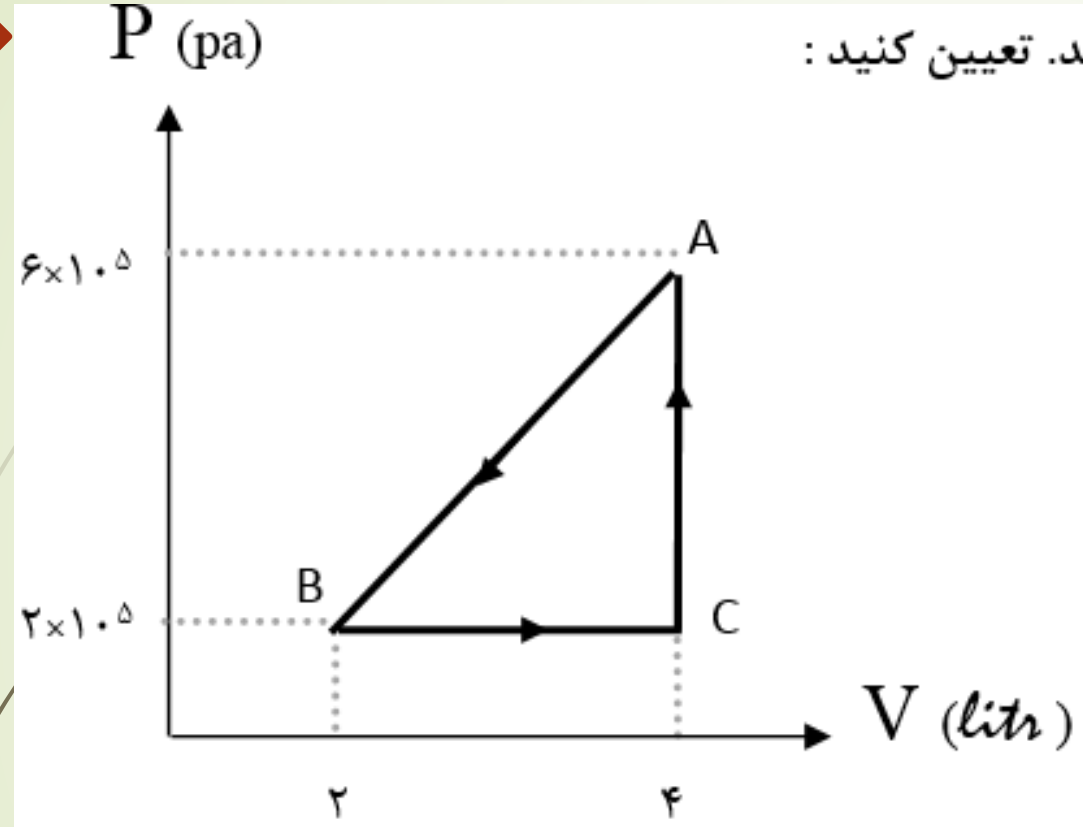
مثال:

یک مول گاز کامل تک اتمی چرخه ای مطابق شکل طی می کند. تعیین کنید :

الف) دمای گاز در نقطه A

ب) کار انجام شده در فرایند هم فشار

ج) گرمای داده شده در این چرخه



$R \approx ۸ \ ^{j}/_{molk}$

ماشین های گرمایی:

ماشین های گرمایی با انجام چند فرآیند ترمودینامیکی، گرمای گرفته شده توسط دستگاه از محیط را به کار تبدیل می کنند.

بازده ماشین گرمایی:

به نسبت قدرمطلق کار بدست آمده $|W|$ به مقدار گرمای گرفته شده Q_H از چشمه گرمایی، بازده ماشین گرمایی گویند. و آنرا با نماد η نشان داده و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

مثال ۵ــ۹

بازده یک ماشین درون‌سوز بنزینی ۲۲/۰ درصد است. این ماشین در هر چرخه $2/51 \times 10^3 J$ کار انجام می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت در هر چرخه چقدر است؟

پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۵ــ۵ داریم :

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow 0/220 = \frac{2/51 \times 10^3 J}{Q_H}$$

$$Q_H = 1/141 \times 10^4 J \simeq 1/14 \times 10^4 J$$

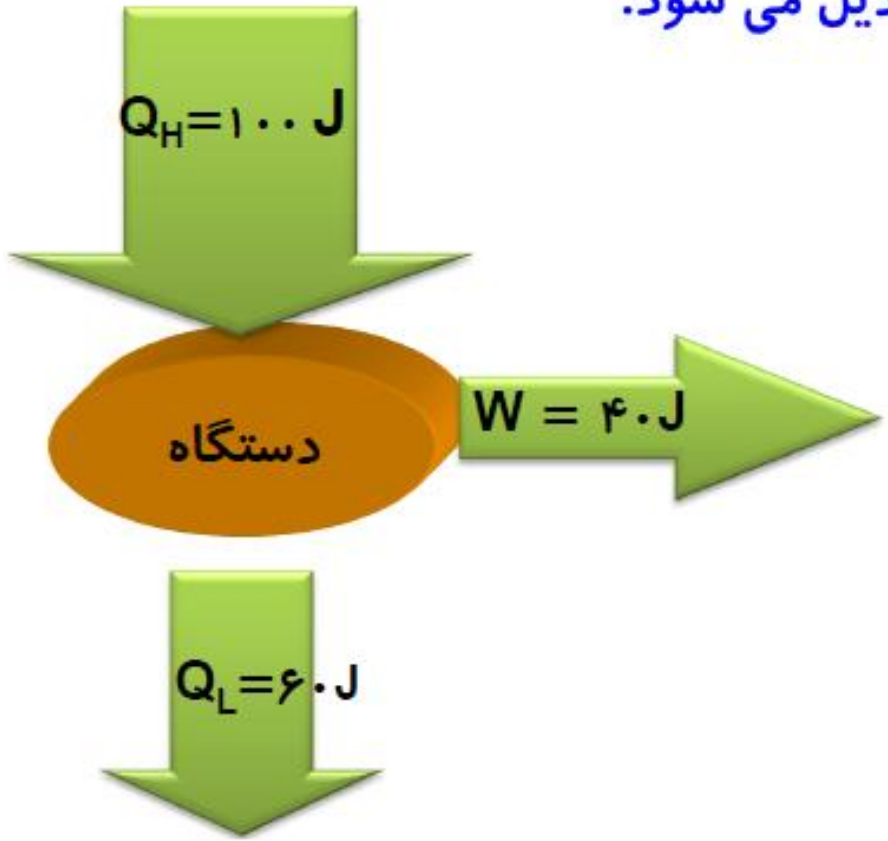
Sirousmehr

پرسش:

بازده واقعی ماشین گرمایی $\eta = ۴۰\%$ است یعنی چه؟

پاسخ:

یعنی از ۱۰۰J گرمای دریافت شده توسط ماشین گرمایی فقط ۴۰ J آن را به انرژی مفید خروجی تبدیل می شود.



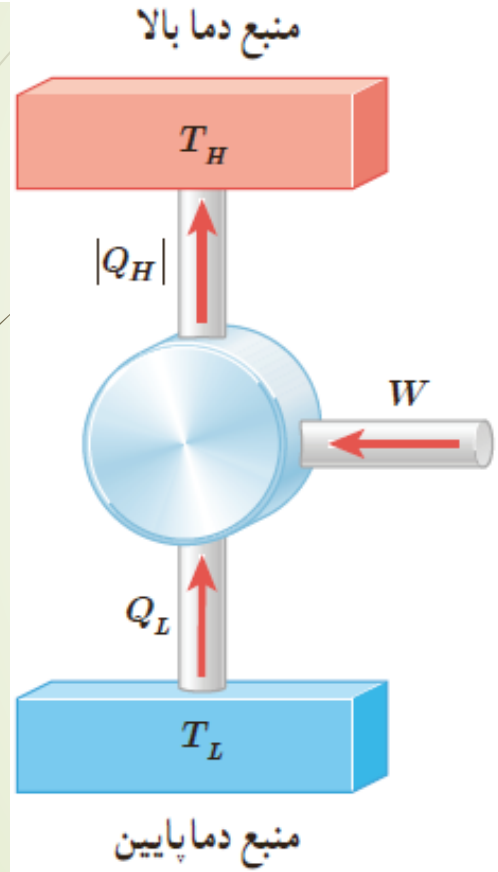
Sirousmehr

قانون دوم ترمودینامیک و یخچال ها:

«ممکن نیست گرما به‌طور خودبه‌خود از جسم با دمای پایین‌تر به جسم با دمای بالاتر منتقل شود.» به این گزاره، قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی می‌گویند .

یخچال:

یخچال وسیله ای است که با انجام کار، گرما را از منبعی با دمای پایین گرفته و به منبعی با دمای بالا میدهد. شکل مقابل طرز کار یک یخچال آرمانی را نشان میدهد.



یخچال‌های خانگی، کولرهای گازی و تلمبه‌های گرمایی نمونه‌هایی از یخچال‌ها هستند؛ مثلاً در یخچال خانگی انرژی الکتریکی سبب انجام کار W توسط متراکم‌ساز (کمپرسور) می‌شود، گرمای Q_L از هوا و مواد داخل یخچال گرفته می‌شود و گرمای $|Q_H|$ به هوای بیرون یخچال داده می‌شود

طرز کار کولر گازی نیز شبیه یخچال خانگی است، با این تفاوت که در کولر گازی منبع دماپایین، هوا و اجسام داخل اتاق و منبع دمابالا، هوای بیرون اتاق است.

Sirousmehr

پایان

Sirousmehr