ترمودینامیک: کلمه ترمودینامیک کلمه ای مرکب از دو واژه ((ترمو)) به معنی «حرارت و گرما» و کلمه ی ((دینامیک)) به معنی «مکانیک» حرکتی می باشد. این علم، قوانین حاکم بین کمیت های ماکروسکوپی یک دستگاه در پدیده های گرمایی را بیان می کند.
بنابراین ترمودینامیک ، شاخه ای از علم است که درباره ی رابطه کارمکانیکی در اثر انرژی گرمایی بحث می کند.
به عبارت دیگر علم ترمودینامیک چگونگی تبادل گرما و کار را بین محیط و دستگاه مورد بررسی قرار می دهد.

دستگاه: جسم خاصی که معمولا مایع و یا گاز می باشد و تحولات آن در اثر مبادله گرما و کار با محیط پیرامون بررسی می شود. مانند میزان گاز محصور شده در داخل یک کپسول و یا مقدار گاز درون لوله های فلزی یخچال و همچنین مخلوط بخار بنزین و هوا درون سیلندر خودرو و یا مقدار آب درون یک کتری،نمونه هایی از دستگاه (سیستم) می باشد.

تذکر : گستره ترمودینامیک فراتر از پدیده های گرمایی در ارتباط با مقدار ثابتی از گاز می باشد مثلا دستگاه می تواند کل جو زمین ، مقدار مشخصی آب و حتی بدن یک موجود زنده باشد.

محیط: اجسام و مواد پیرامون دستگاه که با آن مبادله کار و انرژی دارند را محیط گویند. مانند هوای اطراف کپسول و ...

کمیت میکروسکوپیک: کمیت هایی که در مورد رفتار و وضعیت تک تک ذره های تشکیل دهنده ماده بحث می کند. مانند سرعت مولکول های گاز و یا شتاب آنها ....
از آنجایی که ذرات موجود در یک ماده ، رفتار یکسان وثابتی ندارند معمولاً مقدار میانگینی برای آن ها در نظر گرفته شده که این کمیت ها را ماکروسکوپیک گویند.

کمیت های ماکروسکوپی: کمیت هایی که به جزئیات رفتار تک تک مولکول های تشکیل دهنده ی دستگاه وابسته نیستند و تنها به وضعیت دستگاه در مقیاس بزرگ بستگی دارند و دستگاه را بر اساس کمیت های مشاهده پذیر توصیف می کنند . کمیت هایی مانند فشار، دما، حجم و گرمای ویژه و...

تذکر :در علم ترمودینامیک ، کمیت های ماکروسکوپیک در نظر گرفته می شود. البته ذکر این مطلب اساسیت که کمیت های میکروسکوپیک و کمیت های ماکروسکوپیک به هم وابسته می باشند مثلاً دمای هر جسم را می توان بر مبنای انرژی جنبشی مولکول های آن تعریف کرد در این تعریف، دمای جسم ، کمیتی ماکروسکوپیک می باشد که بر مبنای کمیتی میکروسکوپیک (انرژی جنبشی هر مولکول) توضیح داده شده است.

متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت های ماکروسکوپی مانند فشار، حجم و دما که حالت تعادل دستگاه با آنها توصیف می شود را کمیت های ترمودینامیکی گویند.
فشار (P): به اندازه ی نیروی عمودی وارد بر واحد سطح، فشار گویند. فشار یک کمیت اسکالر است و واحد آن در SI پاسکال می باشد.
در گاز ها، فشار یک گاز عبارت از مجموع ضربه های تک تک مولکول های گاز، در اثر برخورد با یکدیگر و جداره ظرف حاوی گاز می باشد.

ممکن است گاهی فشار بر حسب اتمسفر(atm) بیان شود برای تبدیل آن به پاسکال باید از رابطه زیر استفاده کرد.

$$atm \times ۱۰^{۵} = pa$$

همچنین اگر فشار بر حسب سانتی متر جیوه بیان شود برای تبدیل آن به پاسکال باید از رابطه زیر استفاده کرد.

$$if: \rho_{Hg} = ۱۳۶۰۰ \frac{Kg}{m^{۳}} \quad g = ۱۰ \frac{m}{s^{۲}} \Rightarrow H_{CmHg} \times ۱۳۶۰ = pa$$

برای محاسبه فشار کل مایعات در عمق h، باید مجموع فشار هوا و فشار پیمانه ای (فشار ناشی از وزن مایع) در آن نقطه را محاسبه کنیم.

$$P = P_{۰} + \rho g h \quad P_{۰} = ۱۰^{۵} Pa = ۱atm = ۷۶CmHg$$

حجم (V) : فضایی که مولکول های گاز و فاصله بین آنها اشغال می کنند را حجم گویند که واحد آن در SI، مترمکعب است. در صورتی که حجم بر حسب لیتر داده شود طبق رابطه زیر به متر مکعب تبدیل می شود.

$$lit \times ۱۰^{-۳} = m^{۳}$$

دما(T): کمیتی که با رابطه نسبی بین جنبش مولکول های یک گاز تعریف می شود یکای آن در SI کلوین می باشد. به عبارت دیگر، دما کمیتی است برای سنجش سردی و گرمی اجسام در صورتی که دما بر حسب سلسیوس (سانتی گراد)داده شود **حتماً** باید به کلوین تبدیل شود.

$$T = \theta + ۲۷۳ \qquad T = \frac{F - ۳۲}{۱٫۸} + ۲۷۳$$

تعادل ترمودینامیکی: حالتی برای دستگاه ترمودینامیکی که در آن مشخصه های قابل اندازه گیری مانند دما و فشار و حجم و ... به طور خود به خودی تغییر نکنند. این حالت زمانی رخ می دهد که دما و فشار مقدار معینی از گاز در تمامی نقاط آن یکسان باشد.

معادله حالت: متغییر های ترمودینامیکی به یکدیگر وابسته اند. رابطهٔ بین متغیرهای ترمودینامیکی را معادله حالت گویند. در صورتی که گاز آرمانی (کامل) باشد، معادله آن ساده و مستقل از نوع گازمی باشد.

$$PV = nRT$$

$$P:(pa) \quad V:(m^{۳}) \quad T:(K) \quad R:(\tfrac{j}{mol \cdot K}) \quad n:(mol) \quad n = \tfrac{m}{M} = \tfrac{N}{N_A}$$

n تعداد مول m جرم گاز
M جرم مولی گاز N تعداد مولکول
N_A عدد آووگادرو $= ۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$

گاز کامل (آرمانی): گازهای بسیار رقیق که مولکول های آنها به حدی از هم دور شوند که بر هم تاثیر قابل ملاحظه ای نگذارند (انرژی پتانسیل بین مولکول های آن صفر باشد) و چگالی بسیار کمی داشته باشند را گاز آرمانی (کامل) گویند.

> تذکر : در گازهای واقعی که چگالی بالایی دارند معادله حالت نتیجه و جواب دقیقی ندارد و در حد نتایج تقریبی قابل استفاده است.

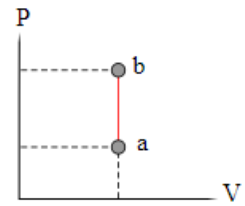
یادآوری: در شرایط استاندارد(فشار $۱atm$ و دمای صفر درجه سانتی گراد) یک مول گاز معادل $۲۲٫۴lit$ حجم دارد.

فرآیند ترمودینامیکی: تغییر دستگاه از حالتی به حالت دیگر را فرآیند ترمودینامیکی گویند

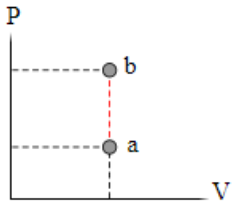
فرآیند ایستاوار (آرمانی): در صورتی که حالت دستگاه در طول یک فرآیند همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل باشد و تغییرات کمیت ها آنقدر آهسته صورت گیرد که دستگاه بتواند به سرعت به حالت تعادل بازگردد را فرآیند ایستاوار (آرمانی) گویند.

در نمودار فرآیندهای ایستاوار، تمامی رفتار و حالت های گاز در هر لحظه مشخص می باشد و نمودار آنها به صورت خط پیوسته نمایش داده می شود.

اما در صورتی که فرآیند ایستاوار نباشد مسیر بین دو حالت در یک فرآیند در نمودار به صورت پیوسته مشخص نمی باشد و به صورت نقطه چین رسم می شود و فقط نقطه ابتدا و انتهای فرآیند به طور قطعی مشخص است .



نمودار یک فرآیند غیر استاوار



نمودار یک فرآیند غیر استاوار

مثال : مقدار ۲ مول گاز کامل درون مخزنی به حجم ۱٫۵ لیتر در فشار ۳۲ اتمسفر وجود دارد. دمای گاز چند درجهٔ سلسیوس است؟

پاسخ:

$(R \cong ۸ J/mol \cdot K)(۱atm \cong ۱۰^۵ Pa)$

$PV = nRT$

$۳۲ \times ۱۰^۵ \times ۱٫۵ \times ۱۰^{-۳} = ۲ \times ۸ \times T$

$T = ۳۰۰K$

$\theta = T - ۲۷۳ \Rightarrow \theta = ۳۰۰ - ۲۷۳ = ۲۷^\circ C$

مثال : حجم ۲٫۵ مول گاز اکسیژن با فشار ۱ اتمسفر و دمای ۲۰۰ کلوین را برحسب متر مکعب و لیتر به دست آورید.

پاسخ:

$(R \cong ۸ \frac{J}{mol \cdot K})$

$PV = nRT$

$V = \frac{۲٫۵ \times ۸ \times ۲۰۰}{۱۰^۵} = ۴ \times ۱۰^{-۲} m^۳ = ۴۰ Lit$

مثال : اگر ۲۰ مول گاز هلیوم در مخزنی تحت فشار ۴۰ اتمسفر و دمای ۳۰۰ کلوین قرار داشته باشد، حجم آن چند لیتر است؟ (یک اتمسفر، معادل ۱۰۵ پاسکال است.)

پاسخ:

$$PV = nRT \Rightarrow ۴۰ \times ۱۰^{۵} \times V = ۲۰ \times ۸ \times ۳۰۰ \Rightarrow V = ۰/۰۱۲ m^{۳} = ۱۲L$$

مثال : حجم گاز کاملی در فشار $۱۰^{۵} Pa$ و دمای $۲۷^{\circ}C$، برابر $۱cm^{۳}$ است. تعداد مولکول‌های گاز کدام است؟

($R = ۸ \frac{J}{mol \cdot K}$ و عدد آووگادرو $= ۶ \times ۱۰^{۲۳}$)

۱) $۲/۵ \times ۱۰^{۲۱}$ ۲) $۲/۵ \times ۱۰^{۱۹}$ ۳) $\frac{۱۰^{۱۳}}{۲۴}$ ۴) $\frac{۱۰^{۲۳}}{۲۴}$

پاسخ: گزینهٔ ۲ پاسخ صحیح است.

$$(PV = nRT \ , \ n = \frac{N}{N_a}) \Rightarrow ۱۰^{۵} \times (۱ \times ۱۰^{-۶}) = \frac{N}{۶ \times ۱۰^{۲۳}} \times ۸ \times (۲۷ + ۲۷۳) \Rightarrow N = ۲/۵ \times ۱۰^{۱۹}$$

مثال : مخزنی به حجم ۵ لیتر گاز اکسیژن در فشار $۱۰^{۵} Pa$ و دمای $۲۷^{\circ}C$ است. جرم گاز موجود در مخزن چند گرم است؟ ($R = ۸ \frac{J}{mol \cdot K}$ ، $M_{O_۲} = ۳۲ \frac{g}{mol}$)

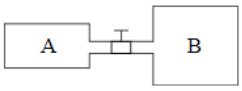
۱) $\frac{۱۰}{۳}$ ۲) $\frac{۵}{۲}$ ۳) $\frac{۵}{۲۴}$ ۴) $\frac{۲۰}{۳}$

پاسخ: گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است.

$$\frac{PV}{T} = nR \rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{m}{M} R$$

$$\frac{۱۰^{۵} \times ۵ \times ۱۰^{-۳}}{۲۷ + ۲۷۳} = \frac{m}{۳۲} \times ۸ \rightarrow \frac{۵۰۰}{۳۰۰} = \frac{m}{۴} \times ۱ \rightarrow m = \frac{۲۰}{۳} \text{ گرم}$$

مثال :



در شکل، ظرف A به حجم ۲ لیتر حاوی گاز اکسیژن با دمای $۴۷^{\circ}C$ و فشار ۴ اتمسفر است و ظرف B به حجم ۵ لیتر، کاملاً خالی است. اگر شیر رابط را باز کنیم و دمای گاز در ظرف‌ها به ۷ درجهٔ سلسیوس برسد، فشار گاز چند اتمسفر می‌شود؟

۱) ۰/۷۵ ۲) ۱/۲۵ ۳) ۱ ۴) ۲

پاسخ: گزینهٔ ۳ پاسخ صحیح است.

$$\frac{P_۱ V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲ V_۲}{T_۲} \xrightarrow[P_۲=? \ , \ V_۲=۲+۵=۷Lit]{P_۱=۴atm \ , \ V_۱=۲Lit} \frac{۴ \times ۲}{(۲۷۳ + ۴۷)} = \frac{P_۲ \times ۷}{(۲۷۳ + ۷)} \Rightarrow P_۲ = ۱atm$$

مثال : مخزنی شامل ۲ گرم گاز هلیوم و ۱۶ گرم اکسیژن است. دمای مخلوط این دو گاز، $۳۰۰K$ و فشار آن $۱۰^۵Pa$ می‌باشد. با فرض این‌که گازها کامل باشند، چگالی مخلوط چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟

$(R = ۸\frac{J}{mol \cdot K}\ ,\ M_{He} = ۴\frac{g}{mol}\ ,\ M_{O_۲} = ۳۲\frac{g}{mol})$

۱) ۷٫۵　　۲) ۶　　۳) ۴　　۴) ۲٫۵

پاسخ: گزینهٔ ۲ پاسخ صحیح است.

$$n_{O_۲} = \frac{۱۶}{۳۲} = ۰٫۵mol$$

$$n_{He} = \frac{۲}{۴} = ۰٫۵mol \rightarrow n_{کل} = ۰٫۵ + ۰٫۵ = ۱mol$$

$$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{۱ \times ۸ \times ۳۰۰}{۱۰^۵} = ۳ \times ۱۰^{-۳}m^۳$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(۱۶+۲) \times ۱۰^{-۳}}{۳ \times ۱۰^{-۳}} = \frac{۱۸}{۳} = ۶\frac{kg}{m^۳}$$

رابطه حجمی گاز کامل با فشار و دمای مطلق گاز:

$PV = nRT \Rightarrow P(\frac{m}{\rho}) = \frac{m}{M}RT$

$\rho = \frac{PM}{RT} \Longrightarrow \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{P_۲}{P_۱} \times \frac{T_۱}{T_۲}$

حجمی گاز کامل با فشار رابطه مستقیم و با دمای مطلق رابطه عکس دارد

سوال: اگر دمای مطلق گازی را ۲۵ درصد کم کرده و فشار آن را ۲۵ درصد افزایش دهیم حجمی گاز چند درصد تغییر می‌کند؟

$T_۲ = \frac{۷۵}{۱۰۰}T_۱ = \frac{۳}{۴}T_۱$

$P_۲ = \frac{۱۲۵}{۱۰۰}P_۱ = ۵/۴P_۱$

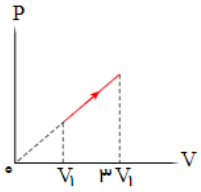
$\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{V_۲}{V_۱} \times \frac{T_۱}{T_۲} \Rightarrow \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{۵}{۴} \times \frac{۴}{۳} = \frac{۵}{۳}$

$\frac{۵P}{P_۱} \times ۱۰۰ = \frac{۲P_۱ - P_۱}{P_۱} \times ۱۰۰$

$= ۲ \times ۱۰۰ = ۲۰۰٪$

مثال :

نمودار $P - V$ ی گاز کاملی مطابق شکل زیر است. در این فرآیند، دمای مطلق گاز چند برابر شده است؟



۱) ۱٫۵　　۲) ۳　　۳) ۶　　۴) ۹

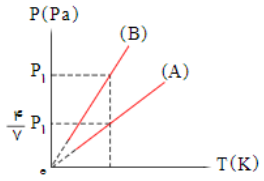
پاسخ: گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است. با توجه به این‌که شیب نمودار $P - V$ ثابت است یک رابطهٔ خطی به‌صورت $P = aV$ بین فشار و حجم گاز در نظر می‌گیریم که در آن a شیب نمودار است.

$$P = aV \Rightarrow \frac{P}{V} = a = \text{ثابت} \Rightarrow \frac{P_۲}{V_۲} = \frac{P_۱}{V_۱} \xrightarrow{V_۲ = ۳V} \frac{P_۲}{۳V_۱} = \frac{P_۱}{V_۱} \Rightarrow P_۲ = ۳P_۱$$

$$PV = nRT \rightarrow \frac{P_۲V_۲}{T_۲} = \frac{P_۱V_۱}{T_۱} \Rightarrow \frac{(۳P_۱)(۳V_۱)}{T_۲} = \frac{P_۱V_۱}{T_۱} \Rightarrow \frac{۹}{T_۲} = \frac{۱}{T_۱} \Rightarrow \frac{T_۲}{T_۱} = ۹$$

مثال :

اگر نمودار $(P-T)$ ی ۵ مول گاز کامل A به حجم ۱۰ لیتر و n مول گاز کامل B به حجم ۱۶ لیتر به صورت شکل زیر باشد، n کدام است؟



۱) ۱۰　　۲) ۱۴　　۳) ۲۰　　۴) ۲۸

پاسخ: گزینهٔ ۲ پاسخ صحیح است.

$$\begin{cases} A: P_AV_A = n_ART_A \\ B: P_BV_B = n_BRT_B \end{cases} \xrightarrow{\text{باتوجه به نمودار}} \begin{cases} A: \frac{۴}{۷}P_۱ \times ۱۰ = ۵RT \quad (۱) \\ B: P_۱ \times ۱۶ = nRT \quad (۲) \end{cases}$$

$$\frac{(۱)}{(۲)} \Rightarrow \frac{۴}{۷} \times \frac{۱۰}{۱۶} = \frac{۵}{n} \Rightarrow n = ۱۴$$

مثال : مخزنی با حجم ثابت ۸۰ لیتر محتوی مخلوطی از دو گاز هیدروژن و هلیم با دمای ثابت ۲۷ درجهٔ سلسیوس و فشار ۷٫۵ اتمسفر است. اگر جرم مخلوط ۸۰ گرم باشد، چند درصد از جرم مخلوط را هلیم تشکیل می‌دهد؟

$$(R = ۸\frac{J}{mol \cdot K} \ , \ ۱atm = ۱۰^۵Pa)$$

۱) ۲۵　　۲) ۴۰　　۳) ۶۰　　۴) ۷۵

پاسخ: گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است.

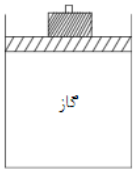
$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{۷٫۵ \times ۸۰ \times ۱۰^۲}{۸ \times ۳۰۰} = ۲۵mol$$

$۲۵mol = ۸۰g \Rightarrow ۱mol = ۳٫۲g \Rightarrow$ ۷۵% از مخلوط را هلیوم تشکیل داده است.

$$\begin{cases} ۱mol \quad He = ۴g \\ ۱mol \quad He = ۱g \end{cases}$$

مثال :

در شکل زیر، جرم پیستون یک کیلوگرم، جرم وزنهٔ روی آن ۴ کیلوگرم و دمای گاز درون ظرف ۲۷ درجهٔ سلسیوس است. اگر دمای گاز را به آرامی به ۸۷ درجهٔ سلسیوس برسانیم، ضمن گرم شدن گاز، چند کیلوگرم وزنه به تدریج باید روی پیستون اضافه کنیم تا پیستون جابه‌جا نشود؟ (سطح قاعدهٔ پیستون $۵cm^۲$، فشار هوا $۱۰^۵$ پاسکال و $g = ۱۰\frac{m}{s^۲}$ است.)



۱) ۲　　۲) ۳　　۳) ۶　　۴) ۷

پاسخ: گزینهٔ ۱ پاسخ صحیح است.

$$\frac{P_۲V_۲}{T_۲}=\frac{P_۱V_۱}{T_۱}\xrightarrow[V_۲=V_۱]{\text{پیستون ثابت است}}\frac{P_۲}{۳۶۰}=\frac{P_۱}{۳۰۰}\rightarrow P_۲=۱٫۲P_۱$$

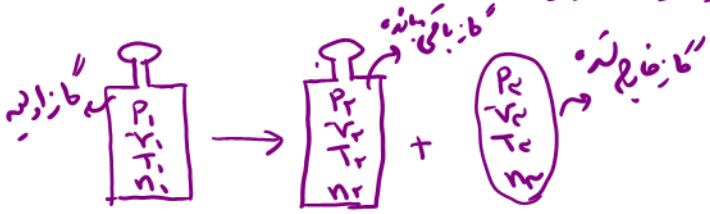
$$P_۱=\underbrace{(\frac{mg}{A})}_{\text{وزنه و پیستون}}+۱۰^۵=۲\times۱۰^۵$$

$$\left.\begin{array}{l}P_۲=۲٫۴\times۱۰^۵\\ P_۲=\underbrace{(\frac{mg}{A})}_{\text{وزنه قبلی و پیستون}}^{۱۰^۵}+(\frac{mg}{A})+۱۰^۵\end{array}\right\}\rightarrow ۰٫۴\cancel{۱۰^۵}=\frac{m\times\cancel{۱۰}}{۵\times\cancel{۱۰^۴}}\rightarrow m=۲kg$$

- قانون دالتون: اگر مقدار گاز تغییر کند باید با توجه به پایستگی جرم، تعداد مول های گاز قبل و بعد از تغییرات را برابر قرار دهیم. یعنی اگر یک گاز به چند گاز تقسیم شود یا چند گاز بدون ترکیب شدن با هم مخلوط شوند داریم:

$$n_T=n_۱+n_۲+\cdots\Rightarrow\frac{P_TV_T}{T_T}=\frac{P_۱V_۱}{T_۱}+\frac{P_۲V_۲}{T_۲}+\cdots$$

نکته: هرگاه مقداری گاز مخزنی خارج شود رابطه زیر بین متغیرها در دو حالت اول و دوم برقرار است:



$$n_۱=n_۲+n_۳\Rightarrow\frac{P_۱V_۱}{T_۱}=\frac{P_۲V_۲}{T_۲}+\frac{P_۳V_۳}{T_۳}$$

نکته: حجم گاز اولیه با حجم گاز باقیمانده برابر است $V_۱=V_۲$

مثال) کپسول گازی به حجم ۵۰ لیتر دارای نیتروژن با ۱۲ اتمسفر است چه حجمی از گاز کپسول را در فشار ۲٫۵atm معرف کنیم تا فشار گاز درون کپسول به ۴atm برسد (دما ثابت است)

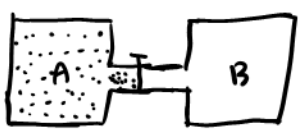
$V_۱=۵۰L$, $P_۱=۱۲atm$, $V_۳=?$, $P_۳=۲٫۵atm$, $V_۲=V_۱=۵۰L$, $P_۲=۴atm$

$$P_۱V_۱=P_۲V_۲+P_۳V_۳$$

$$۱۲\times۵۰=۴\times۵۰+۲٫۵V_۳$$

$$۴۰۰=۲٫۵V_۳\rightarrow V_۳=\frac{۴۰۰}{۲٫۵}L=۱۶۰L$$

مثال) در شکل روبرو، حجم مخزن A برابر با ۱۰L و فشار گاز درون آن برابر ۹atm و مخزن B خالی است. برای چند لحظه شیر رابط بین دو مخزن را باز می کنیم و سپس آن را می بندیم اگر فشار گاز درون مخزن های A و B به ترتیب برابر با ۴atm و ۲atm شود حجم مخزن B چند لیتر است (از حجم لوله رابط صرف نظر کرده و دما ثابت فرض شود)



وقتی شیر رابط باز است: $P=۹atm$, $V=۱۰L$, $T=T$

وقتی شیر باز است: $P_A=۴atm$, $V_A=۱۰L$, $T_A=T$; $P_B=۲atm$, $V_B=?$, $T_B=T$

$$\frac{PV}{T}=\frac{P_AV_A}{T_A}+\frac{P_BV_B}{T_B}\Rightarrow ۹\times۱۰=۴\times۱۰+۲V_B\rightarrow V_B=۲۵L$$

تبادل انرژی: با استناد به قانون بقای انرژی، مقدار انرژی درونی در یک جسم ثابت است مگر آنکه به طریقی انرژی وارد آن شود یا از آن خارج شود.

در جامدات تنها از طریق مبادله گرما بین جسم و محیط انرژی درونی قابل تغییر است. بنابراین هرگاه جامدی گرما دریافت کند، انرژی درونی آن افزایش و اگر گرما از آن گرفته شود، انرژی درونی آن کاهش می یابد.

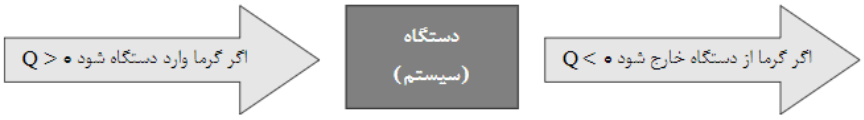
اما در مورد گازها، مقدار انرژی درونی به غیر از مبادلهٔ گرما از طریق انجام کار روی گاز نیز تغییر می کند.

لذا در گازها، تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق گرما و کار صورت می گیرد.

برای ایستاوار بودن فرآیند هنگام تبادل انرژی، معمولا آن را در تماس با یک منبع گرما در نظر می گیرند.

گرما: انرژی است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می شود. بنابراین اگر بین دستگاه و محیط اختلاف دما وجود داشته باشد، انرژی می تواند از طریق گرما بین آنها مبادله شود.

بنابرقرارداد علامت گرمایی که دستگاه می گیرد مثبت و علامت گرمایی که از دست می دهد را منفی در نظر می گیریم



منبع گرما: جسمی که با مبادله گرما دمای آن تغییر قابل ملاحظه ای نکند.

به عبارت دیگر منبع گرمایی جسمی است که جرم دستگاه در مقابل جرم آن به حدی ناچیز باشد که مبادله گرما تغییر قابل ملاحظه ای را در دمای آن ایجاد نکند.

مانند هوای اتاق که به عنوان منبع گرما در برابر یک استکان چای داغ می باشد.

دمای منبع گرما الزاماً نباید بالاتر از دمای سیستم باشد مهم ثابت بودن دمای آن است. مثلا یک رودخانه به عنوان یک منبع گرما در کنار نیروگاه های هسته ای مورد استفاده قرار می گیرند.

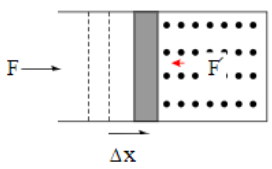
منابع گرمایی دو دسته می باشند : منابعی گرمایی که دمای قابل تنظیم دارند مانند انواع هیترها(اجاق های برقی) و... و منابعی با دمای ثابت که تنظیم گرمای آنها در دست ما نیست مانند آب وهوای محیط و ...

در عمل(آزمایشگاه) منبع گرمایی وسیله ای است که دمای آن برای آزمایشگر قابل تنظیم باشد.

نکته

مخلوط آب و یخ را می توان به عنوان منبع گرما استفاده کرد زیرا می تواند با تغییر فاز بین یخ و آب صفر درجه تبادل گرما را تعدیل کند. مثلا هنگام دریافت گرما بخشی از یخ ذوب شود و نهایتا مخلوط آب و یخ با دمای صفر درجه باقی بماند و یا با از دست دادن گرما مقداری از آب به یخ تبدیل شود اما باز هم در نهایت مخلوط آب و یخ با دمای صفر درجه باقی بماند.

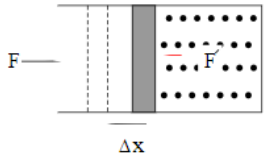
اما آب صفر درجه نمی تواند به عنوان منبع گرما باشد زیرا با دریافت گرما، دمایش از صفر درجه افزایش می یابد.



انجام کار در فرآیند های ترمودینامیکی : وقتی در یک فرآیند ترمودینامیکی حجم دستگاه تغییر کند، در آن فرآیند کار انجام شده است.

وقتی گازی را مطابق شکل به وسیله پیستونی مترا کم می کنیم،نیروی F کار انجام ÷می دهد و کار آ ن به صورت انرژی به گاز داده می شود.

کار این نیرو به هنگام تراکم مثبت است زیرا نیرو در جهت جابه جایی بوده است $W = Fd\cos ۰$ (کارمحیط روی دستگاه) یعنی در هنگام تراکم به دستگاه انرژی می دهیم. در این حالت می گوییم روی دستگاه کار انجام شده است.
اما بر طبق قانون سوم نیوتن، گاز از طرف دیگر همان نیروی F' را بر پیستون وارد می کند و با توجّه به جهت جا به جایی، کار این نیرو منفی می شود،($W = Fd\cos ۱۸۰$) به عبارت دیگر دستگاه ازمحیط انرژی می گیرد.

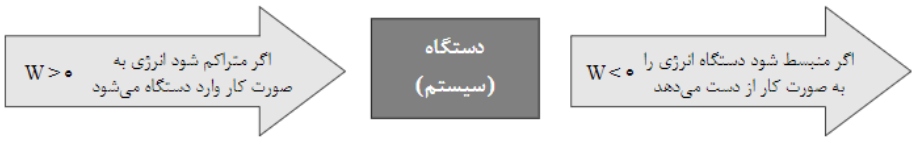


اما به هنگام انبساط نیروی F که از خارج وارد می شود کار منفی انجام می دهد زیرا در خلاف جهت جا به جایی می باشد، درحالی که نیروی وارد بر پیستون از طرف گاز(F') کار مثبت انجام می دهد.یعنی به هنگام انبساط محیط از گاز انرژی می گیرد یا به بیان دیگر گاز به هنگام انبساط روی محیط،کار انجام می دهد و به محیط انرژی می دهد.

محاسبه مقدار کار: اگر فرض کنیم پیستون به اندازه Δx جا به جا شود و آنقدر کوچک باشد که اندازه نیروی F تقریبا ثابت باشد مقدار کار برابر خواهد بود با :

$$\Delta W = F \cdot \Delta x$$

اگر مساحت پیستون A و فشار گاز P باشد در هر لحظه می‌توان رابطه$F = PA$ را نوشت.
بنابراین خواهیم داشت $\Delta W = P \cdot A \cdot \Delta x$ که حاصل $\Delta x \cdot A$ برابر تغییرات حجم گاز است. $(\Delta V = A \cdot \Delta X)$
اما چون گاز در حال کاهش حجم است ΔV منفی می شود و باید رابطه را به صورت $\Delta V = -A \cdot \Delta x$ به کاربریم که در نتیجه خواهیم داشت: $\Delta W = -P\Delta V$
ΔW :کاری است که به دستگاه داده می شود. اگر تراکم داشته باشیم $\Delta V < ۰$ و کار مثبت است، و اگر انبساط داشته باشیم $\Delta V > ۰$ و در نتیجه کار منفی می شود.



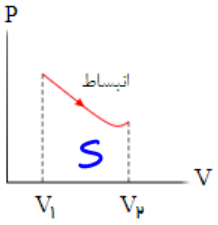
تذکر : باید توجه داشت که درستی رابطه بالا هنگامی صادق است که فشار ثابت باشد.

نکته

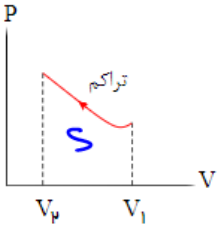
در نمودار $P - V$ مساحت سطح محصور بین نمودار و محور حجم، در هر فرآیند، همواره برابر با قدر مطلق کار محیط روی دستگاه می باشد.

$|W| = S_{P-V}$

$$V_2 > V_1 \Rightarrow \Delta V > 0 \Rightarrow W < 0$$
$$W = -S$$



$$V_2 < V_1 \Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow \Delta W > 0$$
$$W = +S$$



تذکر : در مایعات از آنجا که عموما تراکم ناپذیر می باشند انجام کار به صورت تغییر حجم نمی باشد. اما می توان با همزدن یک مایع به آن کار و انرژی منتقل کرد.

انرژی درونی U: انرژی درونی یک ماده برابر با مجموع انرژی های اجزای تشکیل دهندهٔ آن است.
به عبارت دیگر انرژی درونی هر ماده برابر با مجموع انرژی های پتانسیل و جنبشی ذره های تشکیل دهنده آن است.
در مورد مقدار مشخصی از گاز کامل، انرژی درونی فقط تابع دمای مطلق گاز می باشد. $U \propto T$

قانون اول ترمودینامیک (قانون پایستگی انرژی): تغییر انرژی درونی هر دستگاه برابر با جمع جبری گرما و کاری است که بین دستگاه و محیط مبادله می شود. این بیان منطبق بر قانون بقای انرژی می باشد. $\Delta U = W + Q$

نکته: برای گاز کامل انرژی درونی آن تابعی از دمای مطلق گاز است. و تغییرات انرژی درونی فقط به تغییرات دمای گاز و مقدار گاز و چندا تمی بودن مولکول آن بستگی دارد و اصلا به نوع گاز بستگی ندارد

$U \propto T \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1}$ ، $\Delta U \propto \Delta T$

* انرژی درونی گاز فقط زمانی تغییر میکند که دمای گاز تغییر کند
* تغییرات انرژی درونی گاز به نوع فرایند بستگی ندارد و برای تمام آنها برابر است با:

برای گاز تک اتمی $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$
" " دو اتمی $\Delta U = \frac{5}{2} nR\Delta T$
" " چند اتمی $\Delta U = 3 nR\Delta T$

سوال: دمای ۵ مول گاز تک اتمی را از ۲۰°C به ۲۰۰°C در فشار ۱atm افزایش می دهیم تغییر انرژی درونی گاز چقدر است؟ ($R = 8 \frac{J}{mol.K}$)

$\Delta T = \Delta\theta = 180$ $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$
$n = 5$ $\Delta U = \frac{3}{2} \times 5 \times 8 \times 180 =$

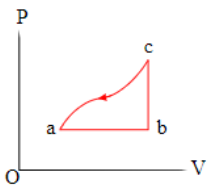
$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}(nRT_2 - nRT_1) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$ کلی

نکته

تغییر انرژی درونی یک دستگاه مستقل از مسیر است و فقط شرایط حالت اول و نهایی گاز اهمیت دارد ولی مقدار کار و گرمای مبادله شده به مسیر بستگی داشته و طی فرآیند بررسی می شوند و هر چه مساحت نمودار $P-V$ بیشتر باشد، اندازهٔ کار و گرمای مبادله شده نیز، بیشتر است. پس از انجام فرآیند در مورد کار و گرمای مبادله شده نمی توان صحبت کرد.

مثال :

دستگاهی مطابق شکل از طریق مسیر abc، از حالت a به حالت c می‌رود و در این مسیر ۶۰ ژول گرما می‌گیرد و ۵۰ ژول کار انجام می‌دهد. تغییر انرژی درونی دستگاه را در مسیر برگشت (از حالت c به حالت a) محاسبه کنید.



پاسخ:

$$\Delta u_{ca} = -\Delta u_{abc} \Rightarrow \Delta u_{ca} = -(Q_{abc} + W_{abc}) \Rightarrow \Delta u_{ca} = -(۶۰ - ۵۰) = -۱۰J$$

مثال :

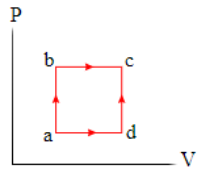
یک گاز کامل تک اتمی از دو مسیر abc و adc به حالت c میرود. کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

۱) گرمایی که گاز در هر دو مسیر می‌گیرد، یکسان است.

۲) گرمایی که گاز در مسیر abc می‌گیرد، بیشتر از گرمایی است که در مسیر adc می‌گیرد.

۳) کار انجام شده توسط گاز در مسیر abc، بیشتر از کار انجام شده در مسیر adc است.

۴) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر abc بیشتر از تغییر انرژی درونی گاز در مسیر adc است.



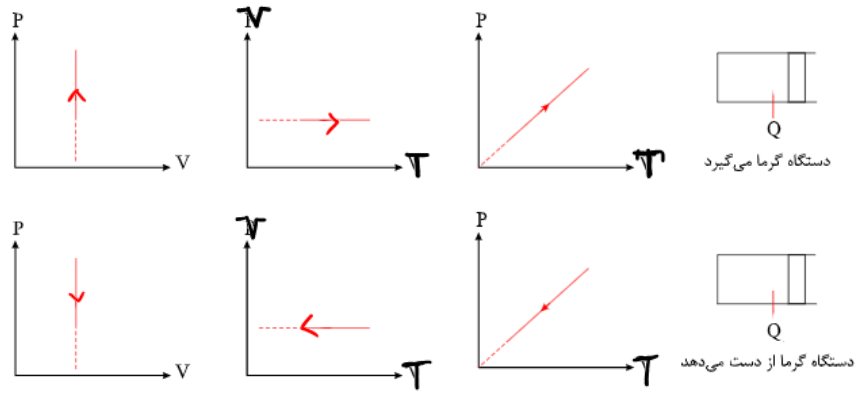
پاسخ: گزینهٔ ۳ پاسخ صحیح است. چون مساحت زیر نمودار $P-V$ برابر کار انجام شده است، پس کار انجام شده در مسیر abc بیش‌تر از کار انجام شده در مسیر adc است.

فرآیند های خاص: بی نهایت فرآیند ترمودینامیکی وجود دارد که معادله حالت گاز و قانون اول ترمودینامیک در مورد تمامی آنها صادق است. اما چند فرآیند مهم درادامه بیان می شود.

فرآیند هم حجم : اگر در یک فرآیند اصطکاک بین پیستون و سیلندرحاوی گاز زیاد باشد و پیستون درون سیلندر ثابت نگه داشته شود، حجم محفظه ثابت می ماند. در این حالت کمیت های P و T در رابطه $PV = nRT$ تغییر می کنند اما V ثابت است. قانون عمومی گازها برای این فرآیند به صورت زیر بیان می شود.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{V_1=V_2} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{\Delta P}{\Delta T} \quad \Delta P = \frac{nR}{V}\Delta T$$

نمودارهای این فرآیند در دستگاه های مختلف به صورت زیر رسم می شود.

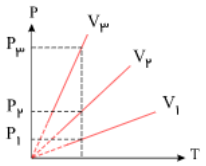


در دمای بسیار کم از آنجا که فاصلهٔ مولکول ها کاهش می یابد و غلظت گازها افزایش یافته و عموماً به مایع تبدیل می شوند دیگر خواص گازهای کامل بر آن حاکم نیست و رفتار متفاوتی خواهند داشت بنابراین در رسم نمودارها، امتداد منحنی ها در دماهای پایین به صورت خط چین رسم می شود.

در رسم نمودار $P-T$ برای فرآیند هم حجم، با توجه به رابطه $P=\frac{nR}{V}T$ و ثابت بودن مقدار $\frac{nR}{V}$، نمودار به صورت یک تابع درجه یک می باشد که عرض از مبدا ندارد بنابراین به صورت یک خط شیب دار می باشد که امتداد آن از مبدا مختصات عبور می کند.

شیب این نمودار با معکوس حجم گاز متناسب است بنابراین هرچه حجم گاز بیشتر باشد شیب نمودار $P-T$ برای فرآیند هم حجم کمتر است.

$$V_1 > V_2 > V_3$$
$$\tan\alpha = \frac{nR}{V}$$



مثال : ۰٫۲۵ مول گاز کامل، در فشار یک اتمسفر و دمای $۲۷^{\circ}C$ در اختیار است.

الف) حجم گاز را برحسب لیتر به دست آورید.

ب) اگر در حجم ثابت، دمای گاز را به $۷۸^{\circ}C$ برسانیم، فشار گاز چند پاسکال می‌شود؟ $(R\approx ۸\frac{J}{mol\cdot K})$

پاسخ:

الف)

$$PV=nRT \qquad V=\frac{۰٫۲۵\times ۸\times ۳۰۰}{۱۰^{۵}}=۶\times ۱۰^{-۳}m^{۳}=۶lit$$

ب)

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2} \qquad \frac{۱۰^{۵}}{۳۰۰}=\frac{P_2}{۳۶۰}\rightarrow P_2=۱٫۲\times ۱۰^{۵}Pa$$

گرما در فرآیند حجم ثابت: Q_v　　ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت

$Q_v = nC_v\Delta T \Longrightarrow$
- $C_v = \frac{3}{2}R$ تک اتمی
- $C_v = \frac{5}{2}R$ دو اتمی
- $C_v = \frac{7}{2}R$ چند اتمی

در فرآیند حجم ثابت $\Delta V = 0$: $\Delta U = Q = nC_v\Delta T = \frac{C_v}{R}(P_2V_2 - P_1V_1)$

فرآیند هم فشار: اگر اصطکاک بین پیستون و سیلندر حاوی گاز بسیار ناچیز باشد و پیستون به راحتی بتواند درون سیلندر حرکت کند، در هنگام اعمال تغییرات انرژی بر روی گاز، با حرکت پیستون درون سیلندر، فشار سیستم ثابت می ماند.در این حالت کمیت های V و T در رابطه $PV = nRT$ تغییر می کنند اما P ثابت است.

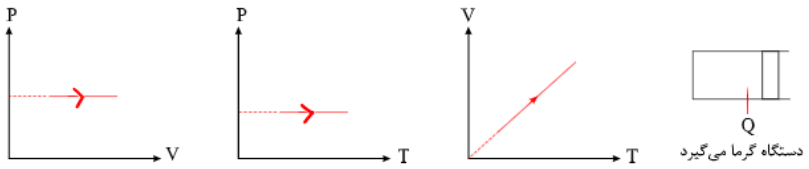
قانون عمومی گازها برای این فرآیند به صورت زیر بیان می شود.

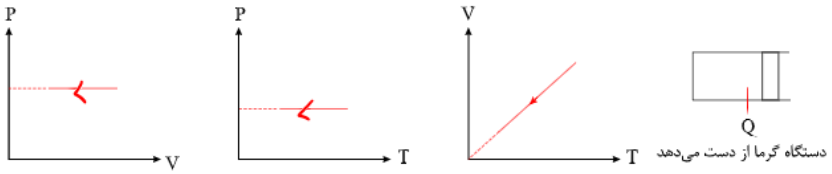
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{P_1=P_2} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad \Delta V = \frac{nR}{P}\Delta T$$

انبساط هم فشار: اگر دمای دستگاه را به تدریج افزایش دهیم پیستون حرکت می کند و حجم درون سیلندرافزایش می یابد تا جایی که فشار به مقدار اولیه خود برسد. دراین صورت به علت افزایش حجم دستگاه، کار محیط منفی است و دستگاه گرما گرفته و روی محیط کار انجام داده است.

تراکم هم فشار: اگر دمای دستگاه را کاهش دهیم حجم دستگاه آنقدر کم می شود که فشار به وضعیت اولیه خود برسد. در این حالت دستگاه گرما از دست داده و کار گرفته است.

نمودارهای فرآیند هم فشار در دستگاه های مختلف به صورت زیر می باشند.



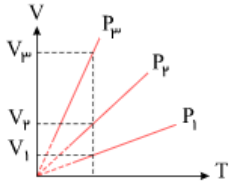


در رسم نمودار $V-T$، با توجه به رابطه $V = \frac{nR}{P}T$ و ثابت بودن مقدار $\frac{nR}{P}$، نمودار به صورت یک تابع درجه یک می باشد که عرض از مبدا ندارد بنابراین شکل آن یک خط شیب دار می باشد که امتداد آن از مبدا مختصات عبور می کند. شیب این نمودار با معکوس فشارگاز متناسب است.

بنابراین هرچه فشارگاز بیشتر باشد شیب نمودار $V-T$ برای فرآیند هم فشارکمتر است.

$$P_1 \rangle P_2 \rangle P_3$$

$$\text{Tan}\,\alpha = \frac{nR}{p}$$



محاسبه کار در فرآیند هم فشار: به کمک معادله حالت در مورد گازهای کامل می توان نشان داد که در فرآیند هم فشار، مقدار کار انجام شده روی گاز، از رابطه $W=-nR\Delta T$ بدست آید. طبق قانون سوم نیوتون نیرویی که گاز به پیستون وارد می‌کند و برعکس، هم‌اندازه و خلاف جهت یکدیگرند و می‌دانیم جابه‌جایی پیستون و جابه‌جایی لایه گاز مجاور آن هم‌اندازه و هم‌جهت‌اند.

$W=-P\Delta V$ = منفی کار گاز روی پیستون = کار پیستون روی گاز

در این‌جا کار محیط روی دستگاه را با W نشان می‌دهیم.

طبق رابطهٔ بالا، اگر گاز منبسط شود $\leftarrow W<0\ ,\ \Delta V>0$ و اگر گاز متراکم شود $\leftarrow W>0\ ,\ \Delta V<0$

ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت : برابر است با مقدار گرمایی که در فشار ثابت به یک مول از گاز کامل داده می شود تا دمای آن به اندازه یک کلوین افزایش یابد واحد آن در SI، $\frac{J}{mol\cdot K}$ می باشد.
ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت برای گاز های مختلف به جنس انها بستگی ندارد بلکه به تعداد اتم های تشکیل دهنده آنها بستگی دارد.

برای گازهای تک اتمی $C_P=\frac{5}{2}R$ برای گازهای دو اتمی $C_P=\frac{7}{2}R$ برای گازهای چند اتمی $C_P=\frac{9}{2}R$

$Q_p = nC_p\Delta T$

گرما در فرآیند هم فشار Q_p:

نکته: برای یک نوع مشخص از یک گاز داریم $C_p = C_v + R$

نکته: همواره چه در انبساط و چه در تراکم فرآیند هم فشار، اندازه‌ی گرمای مبادله شده از اندازه‌ی کار بیشتر است

$|Q|>|W|$ و همانطور $|Q|=\frac{5}{2}|W|$

انبساط هم فشار $\Rightarrow \Delta V>0 \Rightarrow W<0 \Rightarrow Q>0 \rightarrow \Delta T>0 \Rightarrow \Delta U>0 \rightarrow \Delta U = W^- + Q^+$

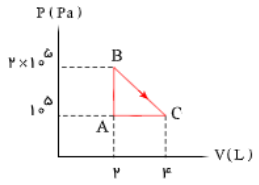
تراکم هم فشار $\Rightarrow \Delta V<0 \Rightarrow W>0 \Rightarrow Q<0 \rightarrow \Delta T<0 \Rightarrow \Delta U<0 \rightarrow \Delta U = W^+ + Q^-$

نکته: در فرآیند هم فشار علامت کار و گرما مخالف هم است

مثال : کپسول پر از گازی را زیر نور خورشید قرار داده‌ایم. آیا این کار اشکالی دارد؟ چرا؟
پاسخ: بلی، ممکن است با بالا رفتن دما، فشار گاز به علت ثابت بودن حجم بالا رود و کپسول منفجر شود.

مثال :

چرخهٔ روبه‌رو، مربوط به مقداری گاز کامل تک‌اتمی است.



کار انجام شده روی دستگاه در فرآیند BC؟　$C_P = \frac{۵}{۲}R\frac{J}{mol\cdot K}$

گرمای مبادله شده بین محیط و دستگاه در فرآیند CA؟

پاسخ:

$$W_{BC} = -S_{\text{ذوزنقه}} = -(۲\times ۱۰^{۵} + ۱۰^{۵})(\frac{۲\times ۱۰^{-۳}}{۲})$$

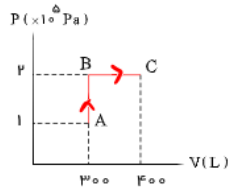
$$W_{BC} = -۳۰۰J$$

$$Q_{CA} = nC_P(T_۲ - T_۱) = \frac{۵}{۲}\times ۱۰^{۵}(۲-۴)\times ۱۰^{-۳}$$

$$Q_{CA} = -۵۰۰J$$

مثال :

با توجه به نمودار $P-T$ در شکل مقابل که مربوط به ۰٫۵ مول گاز تک اتمی است، حجم گاز در حالت A چه‌قدر است؟



گرمای مبادله شده در فرآیند BC را محاسبه کنید.　$(C_P = \frac{۵}{۲}R\ ,\ R = ۸\frac{J}{mol\cdot K})$

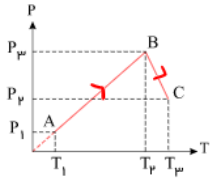
پاسخ:

$$V_A = \frac{nRT}{P_A} \qquad V_A = \frac{۰٫۵\times ۸\times ۳۰۰}{۱\times ۱۰^{۵}} = ۱۲\times ۱۰^{-۳}m^{۳}$$

$$Q_{BC} = \frac{۵}{۲}nR\Delta T \qquad Q_{BC} = \frac{۵}{۲}\times ۰٫۵\times ۸\times (۴۰۰-۳۰۰) = ۱۰۰۰J$$

مثال :

با توجه به فرآیندهای ترمودینامیکی روبه‌رو که مربوط به یک گاز کامل است، جدول زیر را با کلمه‌های افزایش، کاهش یا ثابت پر کنید.



فرآیند	فشار (P)	دما (T)	حجم (V)
$A \to B$			
$B \to C$			

پاسخ:

در فرآیند AB نسبت P به T ثابت است و با توجه به رابطهٔ $V = nR\frac{T}{P}$ حجم ثابت است و دما و فشار در حال افزایش هستند.

در فرآیند BC دما افزایش می‌یابد و فشار کاهش می‌یابد و با توجه به رابطهٔ $V = nR\frac{T}{P}$ حجم افزایش می‌یابد.

فرآیند	فشار (P)	دما (T)	حجم (V)
$A \to B$	افزایش	افزایش	ثابت
$B \to C$	کاهش	افزایش	افزایش

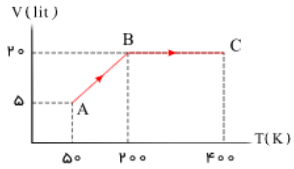
مثال :

نمودار $(V-T)$ در شکل، مربوط به ۱ مول گاز اکسیژن است.

فشار گاز در حالت A چند پاسکال است؟

کار انجام شده در فرآیند AB، چند ژول است؟

نمودار $(P-V)$ ی این گاز را به طور کیفی رسم کنید. $(R = ۸\frac{J}{mol \cdot K})$

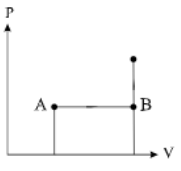


پاسخ:

$$P_A = \frac{nRT}{V} \quad \to P_A = \frac{۱ \times ۸ \times ۵۰}{۵ \times ۱۰^{-۳}} \quad \to P_A = ۸ \times ۱۰^{۴} Pa$$

$$W = -P \cdot \Delta V \quad \to W_{AB} = -۸ \times ۱۰^{۴}(۲۰ - ۵) \times ۱۰^{-۳}$$

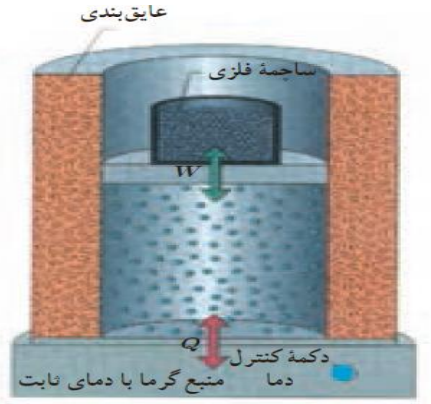
$$\to W_{AB} = -۱۲۰۰ J$$



فرآیند هم دما (ایزو ترم): فرآیندی را که در طی آن دمای سیستم در حین تحول ثابت می ماند را فرآیند هم دما می نامند. برای این کار لازم است که دستگاه همواره با یک چشمه گرما در تماس باشد تا با مبادله گرما، دمای آن تغییر نکند فرآیند به آهستگی انجام شود تا زمان لازم برای مبادله گرما و ثابت ماندن دما وجود داشته باشد.
علت ساخت رآکتورهای اتمی در کنار رودخانه ها و دریاها ،استفاده از این فرآیند در بخشی از فناوری این دستگاه ها می باشد.

$T_{=ثابت} \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$

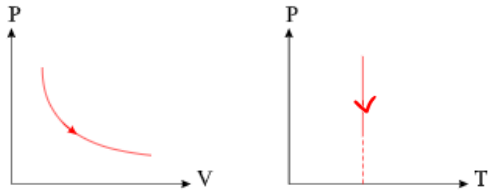
$\Delta U = W + Q \Rightarrow Q = -W$



شکل استوانه در تماس با منبع گرمایی با دمای ثابت قرار دارد. با افزودن تدریجی ساچمه‌ها، تراکمی هم‌دما رخ می‌دهد.

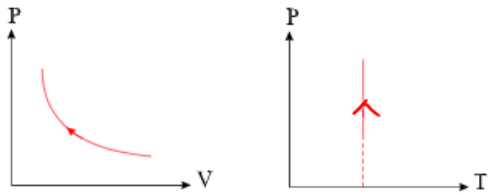
بر طبق تعریف، دمای هر گاز متناسب با سرعت و قدرت جنبش مولکول های آن گاز می باشد.
لذا در هنگام انبساط یک گاز، فاصله بین مولکول های آن افزایش می یابد و در نتیجه آن، تعداد و شدت برخوردهای آن کمتر شده و دمای جسم کاهش می یابد به این ترتیب برای ثابت ماندن دما، سیستم باید مقداری انرژی به صورت گرما از چشمهٔ گرما بگیرد که این مقدار از نظر اندازه، برابر با انرژی از دست رفته توسط سیستم در اثر انبساط می باشد.
بنابراین در انبساط هم دمای یک گاز، علامت کار منفی و علامت گرما، مثبت می باشد.

اما در هنگام تراکم یک گاز، فاصله بین مولکول های آن کاهش می یابد و در نتیجه آن، تعداد و شدت برخوردها آن بیشتر شده و دمای گاز افزایش می یابد به این ترتیب برای ثابت ماندن دما، سیستم باید مقداری از انرژی خود را به صورت گرما از دست بدهد که این مقدار از نظر اندازه، برابر با انرژی دریافتی توسط سیستم در اثر تراکم می باشد.
بنابراین در تراکم هم دمای یک گاز، علامت کار مثبت و علامت گرما منفی می باشد.



ابتدا $\Delta V > 0 \rightarrow W < 0 \rightarrow Q > 0 \rightarrow \Delta P < 0$

وقتی گاز را منبسط می‌کنیم دما دوست دارد کاهش یابد برای اینکه دما ثابت باشد باید گاز گرما دریافت کند



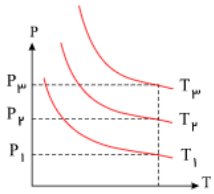
تراکم $\Delta V < 0 \rightarrow W > 0 \rightarrow Q < 0 \rightarrow \Delta P > 0$

وقتی گاز را متراکم می‌کنیم دما دوست دارد افزایش یابد برای اینکه دما ثابت باشد باید گاز گرما از دست بدهد

با توجه به عبارت $\Delta P = \frac{nRT}{\Delta V}$ و ثابت بودن دما در این فرآیند،نمودار $P - V$ به صورت تابع هموگرافیگ رسم می شود.

به ازای یک حجم معین از گاز کامل، با افزایش دما، فشار بیشتری برای متراکم کردن یا منبسط کردن گاز لازم است و باید کار بیشتری روی گاز انجام شود و سطح زیر نمودار آن افزایش می یابد. در نمودار فوق در نقاط برخورد خط قائم با نمودارها، حجم یکسان است. بنابراین فرآیندی که فشار بیشتری دارد در دمای بیشتری انجام شده است.

$$\begin{cases} V_۱ = V_۲ = V_۳ \\ P_۳ > P_۲ > P_۱ \end{cases} \Rightarrow T_۳ > T_۲ > T_۱$$



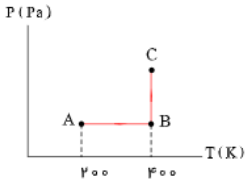
بررسی قانون اول ترمودینامیک در مورد فرآیند هم دما: از آن جایی که تغییر انرژی درونی در گازهای کامل فقط تابع تغییر دمای مطلق می باشد و از طرفی در فرآیند هم دما، تغییرات دما وجود ندارد پس انرژی درونی در این فرآیند ثابت و تغییرات انرژی درونی آن صفر می باشد $(\Delta U = ۰)$

بنابراین در فرآیند هم دما، کار انجام شده و گرما مبادله شده هم اندازه اما مختلف الجهت می باشند یعنی قرینه ی یکدیگرند.

$$\Delta T = ۰ \Rightarrow \Delta U = ۰ \Rightarrow W + Q = ۰ \quad \Rightarrow W = -Q$$

مثال :

نمودار روبه‌رو مربوط به ۱ مول گاز کامل تک‌اتمی است. $R = ۸\frac{J}{mol \cdot K}$



آ) نوع فرآیند AB و BC را تعیین کنید.

ب) گرمای مبادله شده در فرآیند AB چند ژول است؟ $C_۲ = \frac{۵}{۲}R$

پ) اگر در حالت C حجم گاز $۱۰^{-۲}$ متر مکعب باشد، فشار گاز در این حالت چند پاسکال است؟

ت) اندازهٔ انرژی درونی گاز در حالت‌های B و C را با هم مقایسه کنید.

پاسخ: آ) هم‌فشار هم‌دما

ب) $Q_{AB} = nC_P\Delta T \quad \rightarrow Q = ۱ \times \frac{۵}{۲} \times ۸ \times (۴۰۰ - ۲۰۰) = ۴۰۰۰J$

پ) $P_CV_C = nRT_C \quad \rightarrow P_C \times ۲۰^{-۲} = ۱ \times ۸ \times ۴۰۰$

$\rightarrow P_C = \frac{۳۲۰۰}{۱۰^{-۲}} = ۳۲ \times ۱۰^۴ Pa$

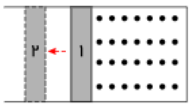
ت) با هم برابر است زیرا دمای یکسانی دارند $U_B = U_C$

فرآیند بی دررو: در این فرآیند دستگاه کاملاً عایق بندی شده و هیچ گونه تبادل گرمایی با محیط خارج ندارد و از طرفی دراین فرآیند سرعت عمل بسیار بالا می باشد تا فرصت مبادله گرما با محیط نباشد بر خلاف فرآیند هم دما که به آرامی صورت می گیرد تا با مبادله کامل گرما بین محیط و دستگاه، دمای دستگاه ثابت نگه داشته شود.

بررسی قانون اول ترمودینامیک در فرآیند بی دررو: در فرآیند بی دررو از آن جهت که دستگاه عایق می باشد، انرژی از طریق انتقال گرما، بین دستگاه و محیط مبادله نمی شود لذا تغییرات انرژی درونی فقط تابع تغییرات و مبادله کار می باشد. بنابراین اگر دستگاه کار بگیرد، انرژی درونی آن افزایش می یابد و اگر کار انجام دهد انرژی درونی آن کاهش می یابد.

$\Delta U = W + Q \xrightarrow{Q=0} \Delta U = W$

گاز تک اتمی $W = \Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

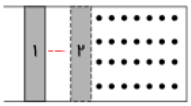


انبساط بی دررو: با توجه به شکل، اگر پیستون به سمت چپ حرکت کند، دستگاه کار انجام داده و انرژی از دست داده است بنابراین با توجه به اینکه در این فرآیند گرمایی مبادله نمی شود، انرژی درونی دستگاه کاهش می یابد و در نتیجه ی دمای دستگاه در انبساط بی دررو کاهش می یابد.

در فرآیند بی دررو هر سه کمیت فشار،حجم و دما تغییر می کنند.

بنابراین در انبساط بی دررو، حجم سیستم افزایش اما دما و فشار سیستم هر دو کاهش می یابد.

$\Delta V > 0 \rightarrow W < 0 \rightarrow \Delta U < 0 \rightarrow \Delta T < 0 \rightarrow \Delta P < 0 \rightarrow Q = 0$

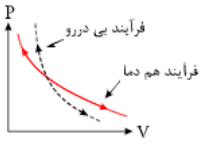


تراکم بی دررو: با توجه به شکل،اگر پیستون به سمت راست حرکت کند،دستگاه کار می گیرد و متراکم می شود واز طریق کارانرژی می گیرد بنابراین با توجه به اینکه در این فرآیند گرمایی مبادله نمی شود، انرژی درونی دستگاه افزایش می یابد و در نتیجه دمای دستگاه در تراکم بی دررو، افزایش می یابد.

بنابراین در تراکم بی دررو، حجم سیستم کاهش اما دما و فشار سیستم هر دو افزایش می یابد.

$\Delta V < 0 \rightarrow W > 0 \rightarrow \Delta U > 0 \rightarrow \Delta T > 0 \rightarrow \Delta P > 0 \rightarrow Q = 0$

بررسی نمودارهای $P-V$ برای فرآیندهای همدما و بی دررو:



نمودار $P-V$ برای فرآیند بی دررو بسیار شبیه به نمودار $P-V$ برای فرآیند همدما می باشد با این تفاوت که شیب نمودار برای فرآیند بی دررو بیشتر می باشد. شباهت نمودار $P-V$ برای دو فرآیند همدما و بی دررو به حدی است که اگر یکی از آنها به صورت نمادین (بدون عدد به نحوی که نتوان دمای آن را بررسی کرد) به تنهایی رسم شود، نمی توان آنها را از هم تمیز داد.

مثال : در جدول زیر، به‌جای X و Y، از راست به چپ کدام‌یک از کلمه‌های زیر مناسب است؟

انرژی درونی	حجم	فشار	نوع فرآیند
x	y	کاهش	بی‌دررو

۱) کاهش، افزایش　　۲) افزایش افزایش

۳) افزایش، کاهش　　۴) کاهش، افزایش

پاسخ: گزینهٔ ۱ پاسخ صحیح است. در فرایند بی‌دررو هیچ‌یک از متغیرهای ترمودینامیکی ثابت نمی‌مانند و با کاهش فشار می‌توان گفت حجم افزایش یافته و لذا برخورد مولکول‌ها کاهش می‌یابد و نهایتاً دما کاهش می‌یابد و از آن‌جا که انرژی درونی به دما وابسته است، انرژی درونی نیز کاهش می‌یابد.

مثال : در یک انبساط بی‌دررو، کار انجام شده توسط یک مول گاز کامل تک اتمی برابر ۱۶۵۰ ژول است. دمای گاز در این فرآیند چند درجهٔ سلسیوس کاهش می‌یابد؟ $(R = ۸\frac{J}{mol \cdot K})$

۱) ۶۵ ۲) ۷۵ ۳) ۱۱۲٫۵ ۴) ۱۳۷٫۵

پاسخ: گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است. در فرآیند بی‌دررو گرمایی مبادله نمی‌شود، بنابراین تنها راه تبادل انرژی سیستم با محیط انجام کار است.

$$\Delta u = Q + W \xrightarrow{Q=۰} \Delta u = W \xrightarrow[W<۰]{\text{انبساط}} \frac{۳}{۲}nR\Delta T = -۱۶۵۰ \Rightarrow \frac{۳}{۲} \times ۱ \times ۸ \times \Delta T = -۱۶۵۰$$

$$\Rightarrow \Delta T = -۱۳۷٫۵K \xrightarrow{\Delta T = \Delta\theta} \Delta\theta = -۱۳۷٫۵^{\circ}C$$

مثال : نشان دهید که «در تراکم بی‌دررو‌ی یک گاز کامل، دمای گاز افزایش می‌یابد.»

پاسخ: در تراکم بی‌دررو مقدار $Q = ۰$ پس داریم $\Delta U = W$ و در هنگام تراکم می‌دانیم کاری که روی دستگاه انجام می‌شود مثبت است. $(W > ۰)$ پس مقدار $\Delta U > ۰$ مثبت است. با توجه به اینکه انرژی درونی تابعی از دما می‌باشد، پس می‌توان گفت $\Delta T > ۰$ پس دما افزایش می‌یابد.

مثال : جاهای خالی را با کلمات مناسب کامل کنید.

آ) هنگامی که یک گاز را به سرعت متراکم یا منبسط می‌کنیم فرآیند به صورت ..... در نظر گرفته می‌شود.

ب)در فرآیند انبساط بی‌دررو‌ی گاز کامل، انرژی درونی گاز ..... می‌یابد.

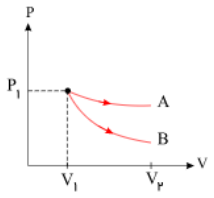
پ) در فرآیند ..... ، تغییر انرژی درونی گاز طبق قانون اول ترمودینامیک با گرمای مبادله شده برابر است.

ت) هوای اتاق برای یک فنجان چای داغ، یک منبع ..... محسوب می‌شود.

پاسخ: آ) بی‌دررو ب) کاهش پ) هم‌حجم ت) گرما

مثال :

توضیح دهید در نمودار مقابل کدام فرآیند بی‌دررو و کدام فرآیند هم‌دما است؟



پاسخ: نمودار A هم‌دما و نمودار B بی‌دررو است.

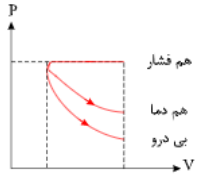
در فرآیند هم‌دما انرژی درونی و دمای گاز ثابت است. اما در فرآیند انبساط بی‌دررو به دلیل منفی بودن W و صفر بودن Q انرژی درونی و در نتیجه دما کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش فشار گاز در فرآیند انبساط بی‌دررو از کاهش فشار گاز در فرآیند انبساط هم‌دما بیش‌تر است.

مثال : در فرآیند تراکم بی‌دررو یک گاز کامل، وقتی فشار گاز ۲ برابر می‌شود، دمای مطلق گاز K برابر می‌شود. K کدام است؟

۱) $K = ۱$ ۲) $K > ۲$ ۳) $K = ۲$ ۴) $۱ < K < ۲$

پاسخ: گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است. در فرآیند بی‌دررو گرمایی مبادله نمی‌شود. پس: $Q = ۰$ با دو برابر شدن فشار، افزایش دما و افزایش حجم خواهیم داشت $\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}$ که با توجه به وجود افزایش فشار: $۱ < k < ۲$

مقایسه انبساط در سه فرآیند هم دما ، بی دررو، هم فشار:

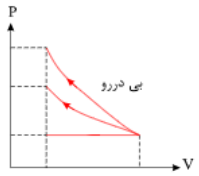


با توجه به نمودار رسم شده برای سه فرآیند به نتایج زیر دست پیدا می کنیم:

۱. $T_B > T_A = T_C > T_D$ که نشان دهنده ی تغییرات بیشتر دما در فرآیند هم فشار است

۲.بی دررو w > هم دما w > هم فشار w با توجه به سطح زیر نمودار

مقایسه تراکم در سه فرآیند هم دما ، بی دررو ، هم فشار:

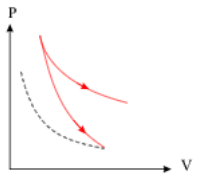


با توجه به نمودار رسم شده برای سه فرآیند به نتایج زیر دست پیدا می کنیم:

۱. $T_D > T_A = T_C > T_B$ که نشان دهنده ی تغییرات بیشتر دما در فرآیند هم فشار است.

۲.هم فشار w > هم دما w > بی دررو w

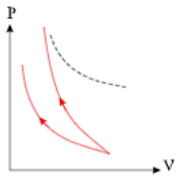
مقایسه ی انبساط در دو فرآیند هم دما و بی دررو :



در انبساط فرآیندهای هم دما و بی دررو ، از آنجا که حجم سیستم افزایش می یابد دستگاه توسط انجام کار انرژی از دست می دهد در نتیجه فشار آن کاهش می یابد.

در فرآیند هم دما جهت ثابت ماندن دما، دستگاه با چشمه ی گرما در تماس است و از آن انرژی گرمایی می گیرد اما در فرآیند بی دررو چون دستگاه عایق است و مبادله گرما ندارد انرژی از دست رفته اش جبران نمی شود بنابراین افت فشار در فرآیند بی درو بیشتر از فرآیند هم دما، در شرایط اولیه ی مشابه می باشد. بنابراین در انبساط این دو فرآیند، شیب نمودار $P - V$ برای فرآیند بی دررو به علت تغییرات بیشتر فشار، بیشتر می باشد اما سطح زیر نمودار برای فرآیند بی درو کمتر است و در نتیجه اندازه کار انجام شده در این فرآیند کمتر است.

مقایسه ی تراکم در دو فرآیند هم دما و بی دررو :



در تراکم این دو فرآیند، با کاهش حجم سیستم از طرف محیط روی سیستم کار انجام شده و دستگاه از طریق دریافت کار انرژی دریافت می کند در نتیجه فشار آن افزایش می یابد.

در فرآیند هم دما جهت ثابت ماندن دما، دستگاه با چشمه ی گرما در تماس است و مقداری از انرژی گرمایی خود را به آن می دهد اما در فرآیند بی دررو چون دستگاه عایق است و مبادله گرما ندارد و انرژی دریافتی توسط کار،کاملا به سیستم داده می شود.

بنابراین افزایش فشار در فرآیند بی درو بیشتر از فرآیند هم دما، در شرایط اولیه ی مشابه می باشد. بنابراین در تراکم این دو فرآیند، شیب نمودار $P - V$ برای فرآیند بی دررو به علت تغییرات بیشتر فشار، بیشتر می باشد اما سطح زیر نمودار برای فرآیند هم دما کمتر است و در نتیجه اندازه کار انجام شده در این فرآیند کمتر است.

نکته

نکته: انرژی درونی مقدار ثابت از گاز آرمانی (کامل) فقط تابع تغییرات دمای آن می باشد. به عبارت دیگر، مستقل از نوع فرآیند و مسیر آن، تغییر انرژی درونی گاز آرمانی، به دمای اولیه ی و ثانویه ی آن بستگی دارد.

می توان ثابت کرد که تغییر انرژی درونی در تمامی فرآیند ها برابر با گرمای مبادله شده در فرآیند هم حجم می باشد.

$$\Delta U = nC_V\Delta T$$

بنابراین اگر مقدار ثابتی از گاز آرمانی در چهار فرآیند متفاوت مطابق شکل، از دمای T_1 به دمای T_2 برسد تغییر انرژی درونی آن در هر چهار فرآیند یکسان می باشد. از طرفی چون در فرآیند هم حجم کار انجام نمی شود، تغییر انرژی درونی در این فرآیند با تغییر انرژی تمام فرآیندهایی که بین دماهای T_1 و T_2 انجام می شود یکسان بوده و این مقدار برابر با گرمای مبادله شده می باشد.

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

بنابراین برای محاسبه تغییر انرژی درونی در هر فرآیند، از روابط زیر نیز می توان استفاده کرد.

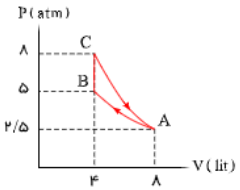
برای گازهای تک اتمی $\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

برای گازهای دو اتمی $\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

و برای گازهای چند اتمی $\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

به طور کلی خواهیم داشت $\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{C_V}{R}(P_2V_2 - P_1V_1)$

مثال :



۲ مول گاز کامل تک‌اتمی، چرخه‌ای را مطابق شکل روبه‌رو طی می‌کند.

الف) در فرآیند CA تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

ب) در فرآیند BC، گرمای مبادله شده بین گاز و محیط را برحسب ژول به دست آورید.

$$R = 8\frac{J}{mol\cdot K} \quad , \quad C_V = \frac{3}{2}R$$

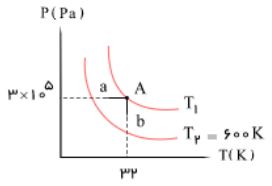
پاسخ:

الف) $\Delta U_{CA} = \frac{۳}{۲}nR\Delta T \qquad \Delta U_{CA} = \frac{۳}{۲}nR\frac{P_AV_A - P_CV_C}{nR}$

$\Delta U_{CA} = \frac{۳}{۲} \times [۲٫۵ \times ۸ - ۸ \times ۴] \times ۱۰۰ \qquad \Delta U_{CA} = -۱۸۰۰J$

ب) $Q_{BC} = \frac{۳}{۲}V\Delta P \qquad Q_{BC} = \frac{۳}{۲} \times ۴ \times (۸ - ۵) \times ۱۰۰ = ۱۸۰۰J$

مثال :



در شکل روبه‌رو، یک مول گاز کامل تک‌اتمی را از طریق دو فرآیند a و b از دمای T_1 به دمای $T_2 = ۶۰۰K$ رسانده‌ایم.

$R = ۸\frac{J}{mol \cdot K} \qquad C_V = \frac{۳}{۲}R$

آ) دمای گاز در حالت A چند کلوین است؟

ب) تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند b را بر حسب ژول به دست آورید.

پ) تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند a و b را با هم مقایسه کنید.

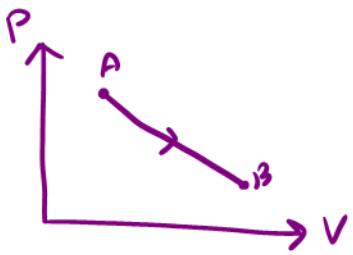
پاسخ:

آ) $\frac{P_AV_A}{T_A} = nR \rightarrow ۳ \times ۱۰^۵ \times ۳۲ \times ۱۰^{-۳} = ۱ \times ۸ \times T_A \rightarrow T_A = ۱۲۰۰K$

ب) $\Delta U_{AC} = nC_V\Delta T \rightarrow \Delta U_{AC} = ۱ \times \frac{۳}{۲} \times ۸ \times (۶۰۰ - ۱۲۰۰) = -۷۲۰۰J$

پ) تغییر انرژی درونی در هر دو فرآیند با هم برابر است $(\Delta U_a = \Delta U_b)$.

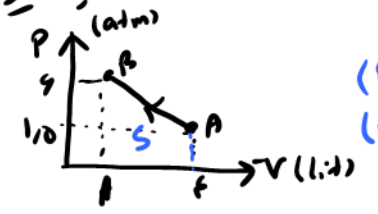
نکته: هرگاه در نمودار P-V سری سوال یا مسئله دیدیم قبل از هر کاری PV ابتدا و انتهای سیر را محاسبه می‌کنیم



اگر (الف $P_AV_A = P_BV_B \Rightarrow T_A = T_B \Rightarrow U_A = U_B \Rightarrow \Delta U_{AB} = ۰ \Rightarrow W_{AB} = -Q_{AB}$

اگر (ب $P_AV_A > P_BV_B \Rightarrow T_A > T_B \Rightarrow U_A > U_B \Rightarrow \Delta U_{AB} < ۰$

مثال) مسیر AB در نمودار شکل مقابل مربوط به گاز کامل تک اتمی است گرمای مبادله شده در این مسیر چند ژول است؟



$(PV)_A = ۶ \times ۱٫۵ = ۶$

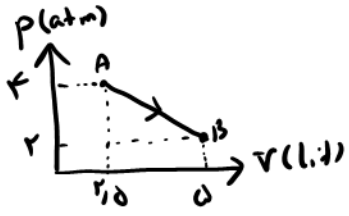
$(PV)_B = ۶ \times ۱ = ۶$

$\Rightarrow \Delta T = ۰ \rightarrow \Delta U = ۰ \Rightarrow Q_{AB} = -W_{AB} = -۱۱۲۵J$

$W = S = (\frac{۱+۶}{۲}) \times ۳ \times ۱۰^۵ \times ۱۰^{-۲} = ۱۱۲۵J$

ذوزنقه

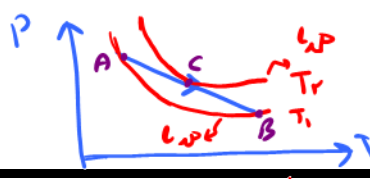
سوال: اگر در نمودار زیر از A به B برویم دما چگونه تغییر می‌کند



$(P_AV_A) = ۴ \times ۲٫۵ = ۱۰$

$(P_BV_B) = ۵ \times ۲ = ۱۰$

$(P_AV_A) = (P_BV_B) \Rightarrow T_A = T_B$



$T_2 > T_1$

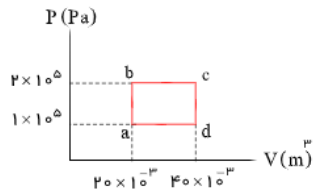
از A تا C دما افزایش و از C تا B دما کاهش

ابتدا افزایش و سپس کاهش

چرخه ترمو دینامیکی: وقتی گازی طی چند فرآیند متوالی به حالت اولیه اش برگردد یک چرخه را پیموده است.
نمودار $P-V$ برای چرخه به صورت مسیر بسته می باشد. در هر چرخه چون گاز به حالت اولیه بر می گردد انرژی اولیه و ثانویه اش برابرند و در نتیجه $\Delta U = ۰$ و در پی آن $Q = -W$ می شود.
چرخه ها می توانند اشکال مختلف داشته باشند.می توان اثبات کرد که مساحت سطح بسته هر چرخه، در نمودار $P-V$، برابر اندازه کار انجام شده روی گاز می باشد.
اگر مسیر چرخه به صورت ساعتگرد باشد، کار انجام شده روی دستگاه منفی خواهد بود در نتیجه آن $Q > ۰$ می شود و اگر مسیر چرخه پاد ساعتگرد باشد مجموع کار روی دستگاه مثبت و در پی آن $Q < ۰$ می شود.

مثال :

فرآیندهایی مطابق چرخهٔ شکل مقابل برای یک مول گاز رخ می‌دهد. مطلوب است
محاسبهٔ:
کارانجام شده در طی چرخه.

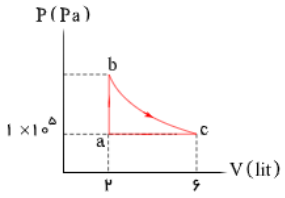


پاسخ: چرخه ساعت‌گرد است و کار انجام شده روی دستگاه در طی آن منفی است.

$$w = -S_{abcd} = -(۴۰ \times ۱۰^{-۳} - ۲۰ \times ۱۰^{-۳}) \times (۲ \times ۱۰^{۵} - ۱ \times ۱۰^{۵}) = -۲۰۰۰J$$

مثال :

شکل روبه‌رو، چرخهٔ گاز کامل را نشان می‌دهد.
اگر در فرآیند بی‌دررووی bc انرژی درونی ۱۰۰۰ ژول کاهش یابد، کل گرمای مبادله شده در چرخه چند ژول است؟

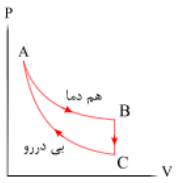


پاسخ:

$$\Delta U_{bc} = Q_{bc} + W_{bc} \rightarrow Q_{bc=} = ۰ \quad , \quad \Delta U_{bc} = W_{bc} = -۱۰۰۰J$$
$$W_{ca} = -P\Delta V \rightarrow W_{ca} = -۱ \times ۱۰^{۵} \times (۲ - ۶) \times ۱۰^{-۳} = ۴۰۰J$$
$$\Delta U_{\text{چرخه}} = ۰ \rightarrow Q_{\text{کل}} = -(W_{ab} + W_{bc} + W_{ca}) \rightarrow Q_{\text{کل}} = -(۰ + ۴۰۰ - ۱۰۰۰)$$
$$= -(-۶۰۰) \rightarrow Q = ۶۰۰J$$

مثال :

نمودار $(P-V)$ ی یک گاز کامل مطابق شکل روبه‌رو است. نشان دهید در این چرخه $W_{CA}=|Q_{BC}|$ است.



پاسخ:

$$\Delta U_{AB}+\Delta U_{BC}+\Delta U_{CA}=0 \qquad Q_{BC}+\cancel{W_{BC}}+\cancel{Q_{CA}}+W_{CA}=0 \qquad W_{CA}=|Q_{BC}|$$

ماشین گرمایی: وسیله ای که طی چند فرآیند ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می کند. به عبارت دیگر، انرژی گرمایی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند.

اولین ماشین گرمایی، ماشین نیوکامن(نمونه ای از ماشین برون سوز برای بیرون کشیدن آب از معادن) بوده است نوع دیگر ماشین های گرمایی، ماشین درون سوز است که با سوخت هایی مانند بنزین و گازوئیل در موتور خودرو های امروزی استفاده می شود.

اساس کار همه ی ماشین های گرمایی یکسان است و به نحوی طراحی می شوند که دستگاه پس از چند فرآیند معین به حالت اولیه خود بازگردد و این چرخه معین را دائما تکرار کند. نمودار برای ماشین گرمایی یک چرخه ساعتگرد است.

انواع ماشین گرمایی:

۱.**ماشین گرمایی برون سوز:** ماشین گرمایی که عمل سوختن درخارج از دستگاه(در کوره) صورت پذیرد و گرمای آن به دستگاه داده شود. مانند : ماشین بخار در لوکوموتیو و توربین بخار و ماشین استرلینگ

مراحل مختلف کار ماشین بخار وات (برون سوز): در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می کند آب است.
در ماشین های برون سوز مراحل زیر را دستگاه طی هر چرخه تکرار می کند.

۱.**تبخیر:** در این مرحله، آب از منبع گرما، انرژی گرمایی می گیرد و در طی یک فرآیند هم فشار، حجم و انرژی درونی آن افزایش می یابد.
در فرآیند تبخیر، ماده با دریافت گرما در دمای ثابت از مایع به بخار تبدیل می شود بنابراین در فشار ثابت با تبدیل از مایع به گاز، حجم افزایش می یابد زیرا مولکول در حالت گاز نسبت به مایع حجم بیشتری را اشغال می کنند.

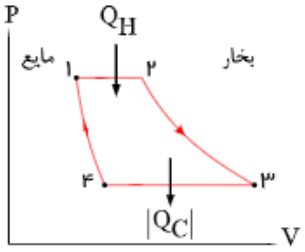
۲.**انبساط و انجام کار:** با باز شدن شیر ورودی بخار با سرعت زیادی وارد سیلندر می شود و پیستون درون آن را به حرکت در می آورد از آنجا که این فرآیند به سرعت انجام می شود،طی یک فرآیند بی دررو،گاز با انجام کار به محیط انرژی داده،در نتیجه انرژی گاز کاهش می یابد.

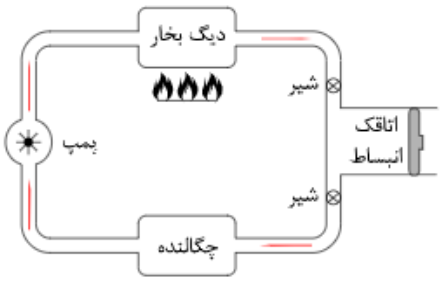
۳.**میعان:** در این مرحله شیر خروجی باز، و شیر ورودی بسته می شود با توجه به طراحی پیستون و برگشت آن به حالت اولیه ،گاز وارد چگالنده (کندانسور) می شود در آنجا طی یک فرآیند هم فشار گرمای خود را به منبع سرد می دهد. طی این فرآیند دما و انرژی ماده کاهش می یابد و به مایع تبدیل می شود.

۴.برگشت به دیگ: در این مرحله، طی یک فرآیند تقریبا هم حجم (زیرا در این فرآیند ماده کاری به صورت مایع می باشد و مطابق قوانین گازهای کامل عمل نمی کند)، مایع را از چگالنده به دیگ بر می گرداند که باعث افزایش فشار آن می شود. باید توجه داشت که کار مفید ماشین بخار در مرحله دوم و با حرکت پیستون انجام می شود که این کار برآیند کارهایی است که بخار در طول چرخه مبادله کرده است.

تحلیل دقیق یک ماشین بخار دشوار است بنابراین برای سهولت کار فرآیندها را ایستاوار و بدون اصطکاک و اتلاف انرژی در نظر می گیریم در این حالت چرخه آرمانی موسوم به چرخه رانکین حاصل می شود.

در ماشین بخار وات، آب به عنوان دستگاه، از دیگ بخار به عنوان منبع با دمای بالاتر گرمای Q_H را دریافت می کند و پس از انجام کار W در مرحله استوانه (سیلندر) وارد چگالنده شده (کندانسور) و گرمای Q_L را به منبع با دمای پایین تر می دهد.





۲.ماشین گرمایی درون سوز: ماشین گرمایی که عمل سوختن در قسمتی از داخل آن(سیلندر) صورت گیرد واز بیرون گرما نمی گیرد. مانند: موتور اتومبیل ها و بدن انسان. متداول ترین آنها ماشین های بنزینی و گازوییلی می باشند. موتور بیشتر خودروهای سواری، هواپیماهای ملخ دار ،قطارها ،برخی از کشتی ها و نیروگاه های کوچک درون سوز می باشند. در تمامی ماشین های گرمایی الزاما تغییر فاز ماده وجود دارد.

مراحل مختلف ماشین بنزینی (درون سوز): موتورهای بنزینی از یک یا چند استوانه به نام سیلندر تشکیل می شوند که پیستون ها در داخل آنها حرکت رفت و برگشتی می کنند و این حرکت را توسط دسته ای به نام شاتون به میل لنگ منتقل کرده که توسط میل لنگ، این حرکت رفت و برگشتی به حرکت دورانی تبدیل شده و باعث حرکت چرخ ها می شود. ماشین بنزینی در هرچرخه ی خود شش فرآیند را طی می کند در چهار فرآیند آن پیستون حرکت دارد که به این مراحل ضربه گفته می شود.

۱.ضربه مکش: در این مرحله دریچه ورودی باز می باشد و پیستون درون سیلندر پایین رفته و از حجم اولیهٔ V به حجم rV می رسد که به نسبت تراکم گویند و مخلوط هوا و سوخت وارد سیلندر می شود.زمانی که پیستون به پایین ترین نقطه خود می رسد سوپاپ دریچه ورودی بسته شده و مخلوط هوا و بنزین داخل سیلندر حبس می شوند.

$$\text{نسبت تراکم } r = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

۲. ضربه تراکم: در این مرحله هر دو شیر ورودی و خروجی بسته می باشند و پیستون به سرعت بالا می آید و طی یک فرآیند بی دررو گاز را متراکم کرده و به حجم اولیهٔ می رساند و فشار و دمای مخلوط را افزایش داده و آمادهٔ انفجار می کند.

۳. آتش گرفتن: در این مرحله که پیستون به بالاترین حد خود رسیده هر دو دریچه همچنان بسته است با ایجاد جرقه توسط شمع، دما و فشار مخلوط هوا و سوخت، به شدت افزایش می یابد اما چون هنوز پیستون فرصت حرکت به پایین را ندارد این مرحله هم حجم در نظر گرفته می شود و در این فرآیند از محیط گرما گرفته می شود.
(برای سادگی مطلب، فرض میشود که مخلوط سوخت و هوا آتش نمی گیرد تا بتوان آن را به صورت یک چرخه ترمودینامیکی در نظر گرفت.)

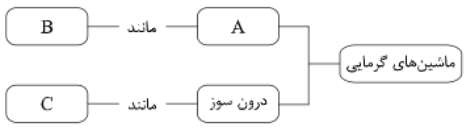
۴.ضربه قدرت: در این مرحله نیز هر دو دریچه بسته می باشند و فشارگاز، پیستون را با سرعت زیاد به پایین میراند تا از حجم V دوباره به حجم rV برسد و طی یک فرآیند بی دررو روی محیط کار انجام دهد.
در این مرحله ضمن انبساط، فشار و دمای دستگاه کاهش می یابد.

۵. تخلیه: در این مرحله دریچه ورودی همچنان بسته است ولی دریچه خروجی باز می شود و پیستون همچنان در پایین ترین حد خود قرار دارد در این حالت مقداری از دود از سیلندر خارج می شود تا حدی که فشار درون سیلندر با فشار جو برابر شود.

۶. ضربه خروج گاز: در این مرحله با حرکت پیستون به سمت بالا تا حجم اولیه V، بقیهٔ گاز حاصل از احتراق خارج می شود و همراه خود مقداری گرما به محیط منتقل می شود.
در این فرآیند در حجم ثابت، دما ، فشار و انرژی گاز (با فرض باقی ماندن گاز در سیلندر) کاهش می کند.

مثال :

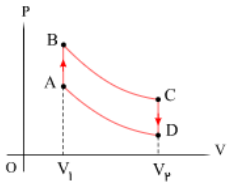
در نقشهٔ مفهومی زیر، به جای حروف، عبارتی مناسب بنویسید.



A: برون‌سوز B: ماشین بخار C: موتور بنزینی

مثال :

چرخهٔ مقابل، مربوط به یک موتور بنزینی است.
گزینه‌های درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.
الف) موتور بنزینی، یک ماشین گرمایی (برون‌سوز – درون‌سوز) است.
ب) در مرحلهٔ AB، دستگاه گرما (می‌گیرد – از دست می‌دهد.)
پ) در مرحلهٔ $(DA - BC)$، دستگاه بر روی محیط، کار انجام می‌دهد.



پاسخ: الف) درون‌سوز ب) می‌گیرد پ) BC

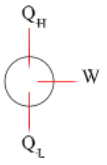
بازده ماشین گرمایی: نسبت قدر مطلق کار انجام شده به کل گرمای دریافتی ازمنبع با دمای بالا را بازده ماشین گرمایی گویند. $\eta = \frac{|W|}{Q_H}$

با فرض آرمانی بودن چرخه ماشین های درون سوز و برون سوز بنزینی و ایستاوار بودن فرآیندهای آنها و عدم اتلاف انرژی و در نظر گرفتن قانون اول ترمودینامیک برای چرخه های آرمانی خواهیم داشت.

$$\Delta U = W + Q \Rightarrow ۰ = Q_H + Q_L + W$$

در رابطه فوق W و Q_C چون از سیستم خارج می شوند منفی می باشند. $Q_H = |W| + |Q_L|$ بنابراین برای بازده ماشین های گرمایی آرمانی خواهیم داشت:

$$\begin{cases} |W| = Q_H - |Q_L| \\ \eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H} \end{cases}$$



بازدهٔ واقعی ماشین های گرمایی با بازدهٔ ماشین های آرمانی تفاوت دارد.بازده واقعی ماشین های درون سوز بنزینی درحدود ۲۵ تا ۳۰ درصد و بازدهٔ واقعی ماشین های درون سوز دیزل ۳۰ تا ۳۵ در صد و ماشین های بخار در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی : هیچ ماشین گرمایی وجود ندارد که تمامی گرمای دریافتی از چشمه گرم را به کار تبدیل کند $(Q_L \neq ۰)$

یعنی هرگاه در یک ماشین گرمایی $Q_L = ۰$ شود، قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نقض می شود.

با توجه به قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی $(Q_H \rangle W)$ نتیجه می‌شود که بازده هیچ ماشینی نمی تواند ۱۰۰٪ باشد.

تذکر :اگر در یک چرخه تمام گرما به کار تبدیل شود، قانون اول ترمودینامیک نقض نمیشود اما بر اساس قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی، امکان طراحی و ساخت چنین ماشینی که این تبدیل را انجام دهد، غیر ممکن است و این ضعف تکنولوژی نیست.

در فرآیند انبساط هم دما چون تغییرات انرژی درونی صفر میباشد، کار و گرما قرینه یکدیگرند. یعنی تمام گرما به کار تبدیل میشود. این فرآیند، قانون دوم ترمودینامیک را نقض نمیکند. زیرا قانون دوم ترمودینامیک برای یک چرخه بیان شده است که به حالت اولیه باز می گردد نه برای یک فرآیند که دستگاه به حالت اول باز نمی گردد. به عبارت دیگر نمیتوان در فرآیند هم دما به طور نامحدود گرما را به کار تبدیل کرد.

مثال : یک ماشین گرمایی در هر چرخه $۴۰۰۰J$ گرما را از منبع گرم دریافت می‌کند و $۲۵۰۰J$ گرما به منبع سرد می‌دهد. بازده این ماشین چه‌قدر است؟

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \qquad \eta = \frac{۴۰۰۰ - ۲۵۰۰}{۴۰۰۰} = ۰/۳۷۵$$

مثال : توان یک موتور، بنزینی $۱۰KW$ و بازده گرمای آن ۲۵ درصد است. در هر دقیقه چه مقدار گرما به موتور داده می‌شود؟

پاسخ:

$$P = \frac{|W|}{t} \rightarrow ۱۰ \times ۱۰^۳ = \frac{|W|}{۶۰} \rightarrow |W| = ۶ \times ۱۰^۵ J$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow \frac{۲۵}{۱۰۰} = \frac{۶ \times ۱۰^۵}{Q_H} \rightarrow Q_H = ۲۴ \times ۱۰^۵ J$$

مثال : یک ماشین گرمایی در هر دقیقه $۲۷۰KJ$ گرما از چشمهٔ گرم می‌گیرد. اگر بازدهٔ آن ۴۰ درصد باشد، در هر دقیقه دستگاه چند ژول کار انجام می‌دهد؟

گرمای تلف شده در هر دقیقه چند ژول است؟

پاسخ:

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

$$\frac{۴۰}{۱۰۰} = \frac{W}{۲۷۰۰۰۰} \Rightarrow W = ۱۰۸۰۰۰J$$

$$Q_C = Q_H - W \Rightarrow Q_C = ۱۶۲۰۰۰J$$

مثال : یک ماشین گرمایی در هر چرخه، $۴۰۰۰J$ گرما را از منبع گرم دریافت می‌کند و $۱۵۰۰J$ کار روی محیط انجام می‌دهد. بازده این ماشین را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow \eta = \frac{۱۵۰۰}{۴۰۰۰} \Rightarrow \eta = ۰/۳۷۵$$

مثال : کمیت‌های Q_H و Q_L و W که در هر چرخه در ماشین‌های فرضی A، B، C و D مبادله می‌شوند عبارتند از:

A ماشین $Q_L = -۸۰J$ $Q_H = ۱۰۰J$ $W = -۲۰J$

B ماشین $Q_L = ۰J$ $Q_H = ۱۰۰J$ $W = -۱۰۰J$

C ماشین $Q_L = -۷۰J$ $Q_H = ۱۰۰J$ $W = -۳۰J$

D ماشین $Q_L = -۵۰J$ $Q_H = ۱۰۰J$ $W = -۶۰J$

الف) کدام‌یک از این ماشین‌ها، قانون اول ترمودینامیک را نقض می‌کنند؟

ب) کدام‌یک از این ماشین‌ها، قانون دوم ترمودینامیک را به بیان ماشین گرمایی نقض می‌کنند؟

پ) اگر همهٔ این ماشین‌ها بین دو منبع سرد و گرم با دماهای ثابت $۳۰۰K$ و $۴۰۰K$ کار کنند، کدام‌یک از این ماشین‌ها قابل ساخت هستند؟

الف) ماشین D ب) ماشین B پ) ماشین A

یخچال: وسیلهٔ است که با دریافت کار، گرما را از منبع سرد به منبع گرم منتقل کند. به تعبیری یک ماشین گرمایی که در جهت عکس کار می کند به این طریق که سیال درون آن با گرفتن گرما به گاز تبدیل شده و در کندانسور (چگالنده)،گرمای خود را به محیط داده و دوباره به صورت مایع وارد سیستم می شود و این چرخه مرتبا تکرار می شود.

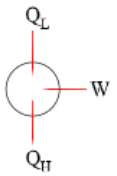
فضا و مواد داخل یخچال به عنوان منبع سرد می باشند و گرمای دریافتی از آنها به عنوان Q_L می باشد و هوای محیط اطراف یخچال به عنوان منبع گرم می باشد و گرمای منتقل شده به آن، به عنوان Q_H می باشد.

نمودار چرخه ترمودینامیکی یخچال خلاف چرخش ماشین گرمایی می باشد یعنی به صورت پادساعتگردمی باشد

در یخچال بر عکس فرآیند خود به خودی عمل صورت می گیرد. یعنی وقتی جسم سردی درون یخچال قرار گیرد گرمای خود را از دست داده و مرتباً سردتر می شود و همچنین مقداری انرژی الکتریکی از شبکه برق شهری دریافت می کند و مجموعه این انرژی ها را به منبع گرم یخچال می دهد.

با فرض آرمانی بودن فرآیند های طی شده در چرخهٔ یخچال و با چشم پوشی از اصطکاک و سایر اتلاف های انرژی می توان قانون اول ترمودینامیکی را برای یخچال به صورت $\Delta U = W + Q$ نوشت و با توجه به صفر بودن تغییر انرژی در هر چرخه می توان نوشت:

$$|Q_H| = W + Q_L$$



در این رابطه W و Q_L چون به دستگاه وارد می شوند علامتشان مثبت و Q_H چون از دستگاه خارج می شوند علامتش منفی می باشد که در رابطه فوق اندازهٔ آنها در نظر گرفته شده است.

قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچال :

بدون انجام کار و به صورت خود به خود، گرما از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمی شود ($W \neq 0$).

هرگاه در یک چرخهٔ انرژی $W = 0$ شود قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچال نقض شده است.

نکته

کار انجام شده در ماشین گرمایی منفی و کار انجام شده در یخچال مثبت است.

بنابراین اگر به ما چرخه‌ای داده شود و از ما نوع آن فرآیند خواسته شود، با توجه به ساعتگرد یا پادساعتگرد بودن چرخه، می توان نوع کار آن و در پی آن نوع فرآیند را مشخص کرد.در صورت منفی بودن کار، فرآیند مربوط به ماشین گرمایی و در صورت مثبت بودن کار، فرآیند مربوط به یخچال است.

نکته

میتوان نشان داد که قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی و یخچال با یکدیگر هم‌ارزند.

یعنی اگر یکی از آنها نقض شود، دیگری نیز نقض خواهد شد. به عبارت دیگر اگر بتوان یک ماشین گرمایی ساخت که به کمک آن همهٔ گرمای گرفته شده از چشمهٔ گرم را به کار تبدیل کرد، میتوان یخچالی ساخت که بدون دریافت کار،گرما را از یک چشمه سرد گرفته و به چشمه گرم بدهد.

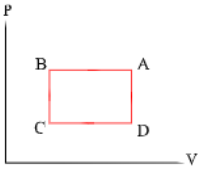
کولر گازی: سیستم کاری کولرهای گازی نیز مانند یخچال ها می باشد با این تفاوت که منبع سرد در کولرهای گازی هوای اتاق یا محیطی است که کولر برای پایین آوردن (یا ثابت نگهداشتن) دمای آن از شبکه برق، کار دریافت می کند و منبع گرم محیط خارج است که کولرگازی مجموع انرژی گرمایی دریافتی از منبع سرد و کار را به آن می دهد.

در صورتی که با کار مداوم کولرگازی، دمای اتاق ثابت بماند آنگاه گرمای گرفته شده از اتاق توسط کولر برابر با گرمای وارد شده به روش رسانش از محیط به اتاق است.

نکته

هرگاه نمودار $P-V$ برای یک یخچال یا کولر گازی داده شود در هر قسمت از نمودار که دمای گاز افزایش یابد و یا با توجه رابطه حاصلضرب فشار در حجم برای گاز عددی مثبت شود، گرمای آن مرحله از فرآیند یخچال(کولرگازی) Q_L می باشد و در هر قسمت از نمودار که دمای گاز کاهش یابد و یا با توجه رابطه حاصلضرب فشار در حجم برای گاز عددی منفی شود، گرمای آن مرحله از فرآیند برای یخچال (کولر گازی) می باشد. مثلا در شکل زیر،گرمای مبادله شده در مراحل AB و BC گرمای مبادله شده در منبع سرد برای یخچال (کولرگازی) Q_H می باشند و گرمای مبادله شده در مراحل CD و DA گرمای مبادله شده بین یخچال (کولرگازی) با محیط خارج می باشد.

$$Q_H = Q_{AB} + Q_{BC}$$
$$Q_L = Q_{CD} + Q_{DA}$$



نکته

قانون دوم ترمودینامیک مستقل بوده و نمی‌توان آن را از قانون اول ترمودینامیک نتیجه گرفت.
زیرا قانون اول ترمودینامیک بیان دیگری از قانون پایستگی انرژی می باشد ولی قانون دوم ترمودینامیک بر اساس مشاهدات تجربی می باشد و تا کنون هیچ آزمایشی باعث نقض آن نشده است.

مثال : موتور یک یخچال در هر دقیقه با مصرف $۱۰^۵$ ژول انرژی الکتریکی، ۵×۱۰^۵ ژول گرما از درون یخچال می‌گیرد.
در این مدت چند ژول گرما به فضای بیرون می‌دهد؟

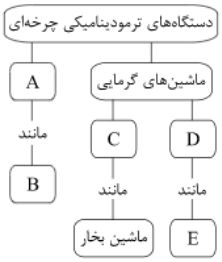
$$|Q_H| = Q_L + W \qquad |Q_H| = ۵ \times ۱۰^۵ + ۱۰^۵ = ۶ \times ۱۰^۵ J$$

مثال : یک کولر گازی در هر دقیقه $۹ \times ۱۰^۴ J$ گرما از اتاق می‌گیرد و در همان مدت، $۱٫۳ \times ۱۰^۵ J$ گرما به فضای بیرون می‌دهد.
توان مصرفی این کولر چند ولت است؟

$$Q_L = ۹ \times ۱۰^۴ J \ , \ |Q_H| = ۱٫۳ \times ۱۰^۵ J$$
$$W + Q_L - |Q_H| = ۰ \rightarrow W = |Q_H| - Q_L = ۱٫۳ \times ۱۰^۵ - ۰٫۹ \times ۱۰^۵ \rightarrow W = ۴ \times ۱۰^۴ J$$
$$P = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{۴ \times ۱۰^۴}{۶۰} \rightarrow P = \frac{۲}{۳} \times ۱۰^۳ w$$

مثال :

در نقشهٔ مفهومی روبه‌رو، به جای حروف در خانه‌های خالی، عبارتی مناسب بنویسید.



دستگاه‌های ترمودینامیکی چرخه‌ای ماشین‌های گرمایی
A) یخچال B) کولر گازی یا ... C) برون‌سوز
D) درون‌سوز E) موتور بنزینی یا دیزلی