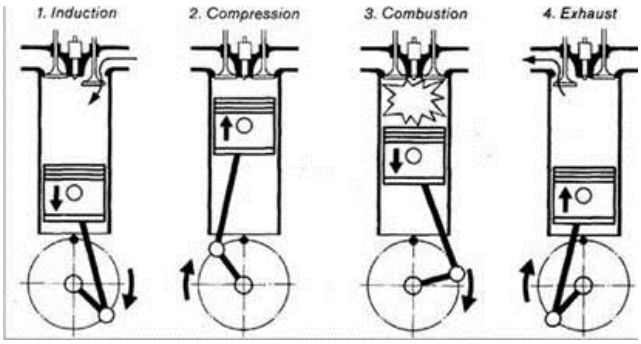
# ترمودینامیک :

ترمودینامیک شاخه‌ای از علوم است که به بررسی رابطهٔ بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی می پردازد. مثلا برای درک بهتر، موتور یک ماشین بنزینی را در نظر بگیرید، در موتور یک خودرو ، از واکنش بخار بنزین با اکسیژن ، مقداری انرژی گرمایی تولید می یشود، سپس گازی که داغ شده، پیستونها را درون سیلندرها به حرکت درآورده و و کار مکانیکی انجام می-شود ، و این کار باعث جابه جایی خودرو می شود و در حین این کار بخشی از انرژی نیز اتلاف میشود.




**پیش از ورود به این فصل، و برای درک بهتر، چند تعریف مقدماتی برای شما درنظر گرفته شده، که به عنوان پیش نیاز باید به صورت کامل مطالعه نمایید**

## بخش ۱ : چند اصطلاح و تعریف مقدماتی

**گاز کامل (آرمانی) چیست؟** گازی که خیلی خیلی رقیق باشد و فشار آن خیلی کم باشد و فاصله مولکولهای آن از هم خیلی زیاد باشد را گاز کامل میگوییم.

**کمیتهای ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک کدامند؟** کمیتهایی که وضعیت ماده را در مقیاسهای بزرگ توصیف میکنند را ماکروسکوپیک می‌گویند (مثل دما فشار حجم گرمای ویژه و...) در واقع کمیت ماکروسکوپیک فقط وضعیت کلی را توصیف میکنند (توجه به کل!)

**اما کمیت میکروسکوپیک،** کمیتهایی هستند که وضعیت تک تک ذرات یک دستگاه را توصیف میکنند.( یعنی توجه به جزء)

**دستگاه و محیط یعنی چه؟** : در مسایلی که در آنها با مبادلهٔ گرما سروکار داریم، تغیرات و تحولات جسم خاصی را میخواهیم بررسی کنیم( که معمولاً گاز یا مایع است) ، که این جسم(مایع یا گاز مورد بررسی) را **دستگاه** مینامیم و تمام چیزهایی که در اطراف آن قرار دارد و می تواند با جسم تبادل انرژی داشته باشد، را **محیط** می نامیم. مثلاً در موتور خودرو، مخلوط هوا و بخار بنزین دستگاه نامیده می شود و سلیندر و پیستون و هوای اطراف را به عنوان محیط در نظر میگیریم.

**منظور از حالت تعادل چیست؟** یعنی فشار و دما دریک گاز مورد بررسی در یک فرایند ترمودینامیکی در نقاط مختلف یکسان آن گاز باشد، به عبارت دیگر یک دستگاه ترمودینامیکی در صورتی در حال تعادل استه مشخصه های قابل اندازه گیری آن مانند دما، فشار، حجم و ... به طور خودبه خود یتغییر نکند .

**مظور از شرایط متعارفی چیست؟ اگر گازی دارای** فشار یک اتمسفر و دمای صفر درجه سانتی‌گراد) باشد میگوییم در شرایط متعارفی قرار دارد

**تعریف گرما چیست؟** گرما انرژی ای است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می شود .بـه عبـارت دیگر گرما، هنگامی بین محیط و دستگاه مبادله می شود که این دو با هم اختلاف دما داشته باشند. بنا بـه قـرارداد، گرمایی را که دستگاه می گیردد، با علامت مثبت و گرمایی را که دستگاه از دست می دهد، با علامت منفی نشـان می دهیم

حجم مولی یعنی چه؟ یک مول از هرگاز در شرایط متعارفی (یعنی دمای ۰ درجهٔ سلسیوس و فشار یک اتمسفر) حجمی برابر با ۲۲/٤ لیتر به خود اختصاص می‌دهد که به آن حجم مولی می‌گویند.

**منظور از منبع گرمایی چیست؟** منبع گرما، جسمی است که اگر گرما از دست بدهد یا گرما بگیرد، دمای آن به طور قابل ملاحظه ای تغییر نکند؛ مثلا هوای اتاق را برای یک استکان چای داغ را می توان به عنوان منبع گرما درنظر گرفت زیرا با سرد شدن چای، دمای اتاق به طور قابل ملاحظه ای تغییر نمی کند.

**منظور از مبادله کار در ترمودینامیک چیست؟** هرگاه در یک فراینـد ترمودینـامیکی حجـم گـاز (دسـتگاه) تغییر کند میگوییم بر روی دستگاه(گاز) کار انجام شده.در چنین حالتی علاوه بر آنکه ما ( یعنـی محـیط) بـر روی دستگاه (گاز) کار انجام داده ایم، دستگاه نیز به همان اندازه روی محیط کار انجام داده است کـه علامـت کـار آن قرینه علامت کار محیط است. $W_{\text{دستگاه}} = -W_{\text{محیط}}$

منظور از یک فرایند **ترمودینامیکی چیست** ؟ ما وضعیت و حالت یک گاز را می توانیم برحسب متغیرهای حجـم و دما و فشار بیان نماییم. مثلا بگوییم حجم گازی دو لیتر و فشار آن یک اتمسفر و دمـای آن ٦۰۰ کلـوین اسـت حال اگر در اثر گرم شدن گاز یا جابه جا شدن پیستون حالت گاز تغییر کند و دما یا فشار یا حجـم گـاز عـوض (دستگاه(گاز) ازیک حالت به حالت دیگربرود )، می گوییم که یک **فرایند** ترمودینامیکی انجام شده است.

**فصل پنجم**

**بخش ۲**

**حال که با اصطلاحات و تعاریف مقدماتی این فصل آشنا شدید، میتوانیم بـا خیـالی آسـوده فصـل را آغـاز نماییم:**

**معادله حالت گاز کامل:**

در یک گاز کامل (گاز رقیق) متغیرهای فشار و دما و حجم ( $P , V , T$)از یکدیگر مستقل نیستند و با هم رابطه دارند. و تغییر در یکی از آنها، میتواند باعث تغییر در دیگری شود. مثلا اگر حجم کـاهش یابـد ، فشـار و دمـا نیـز ممکن است تغییر کنند. در اینجا رابطهٔ بین فشار و حجم و دمای گاز کامل را معادلهٔ حالت می نامیم .معادلهٔ حالت یک گاز(دستگاه ) می تواند خیلی پیچیده باشد؛ ولی آزمایش نشان می دهد که اگر گازها بسار رقیق باشند ، معادلهٔ حالت آنها ساده و مستقل از نوع گاز است. در این صورت،این گاز رقیق را گاز کامـل( آرمـانی )مـی نامیم .

در یک گاز کامل ( گاز خیلی خیلی رقیق با فشار کم) رابطه زیر بین فشار و حجم و دما برقـرار اسـت کـه بـه آن معادله حالت گاز کامل میگوییم :

$$PV=nRT$$

**تذکر مهم:** در فرمول مقابل فشار حتماً باید بر حسب پاسکال و حجم باید بر حسب مترمکعب ($m^3$)و دمای گاز باید بر حسب کلوین باشد.

**تمرین : جرم ۸/۳۰ لیتر هلیم در فشار $۶\times۱۰^{۵}$ پاسکال و دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد چند گرم است؟ (جرم مولکول هلیم برار $۴gr/mol$ و $R=۸/۳$ است.)**

**پاسخ:**

$$PV=nRT$$

(۱) تبدیل واحدها: $V=۸/۸lit \Rightarrow lit \xrightarrow{\times۱۰^{-۳}} m^{۳}$

$$V=۸/۳\times۱۰^{-۳}m^{۳}$$

(۲) $\theta=۲۷^{\circ}C \Rightarrow K=C^{\circ}+۲۷۳ \Rightarrow K=۲۷+۲۷۳=۳۰۰$

(۳) $P=۶\times۱۰^{۵}Pa$ $\qquad PV=nRT$

$$(۶\times۱۰^{۵})\times(۸/۳\times۱۰^{-۳})=n(۸/۳)(۳۰۰)$$

$$\Rightarrow n \text{ مول}=\frac{۶\times۱۰^{۵}\times۱۰^{-۳}}{۳۰۰}=\frac{۶۰۰}{۳۰۰}=۲$$

$$\Rightarrow n=\frac{m}{M} \Rightarrow ۲=\frac{m}{۴} \Rightarrow m=۸gr$$

**مخلوط گازهای کامل (قانون دالتون)**

فرض کنیم گاز کاملی با فشار $P_۱$، حجم $V_۱$ و دمای $T_۱$ را با گاز کامل دیگری با فشار $P_۲$، حجم $V_۲$ و دمای $T_۲$ مخلوط شوند و یک مخلوط جدید با فشار $P$، حجم $V$ و دمای $T$ تشکیل دهند. در این صورت، تعداد مول‌های مخلوط دو گاز برابر جمع تعداد مول‌های دو گاز اولیه است.

$$n=n_۱+n_۲$$

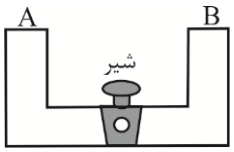
حال اگر از معادله حالت n را محاسبه کنیم، و در در رابطه ی بالا، جایگذاری کنیم به فرمول زیر میرسیم:

$$n=\frac{PV}{RT} \quad , \quad n_۱=\frac{P_۱V_۱}{RT_۱} \quad , \quad n_۲=\frac{P_۲V_۲}{RT_۲} \Rightarrow \frac{PV}{RT}=\frac{P_۱V_۱}{RT_۱}+\frac{P_۲V_۲}{RT_۲}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{PV}{T}=\frac{P_۱V_۱}{T_۱}+\frac{P_۲V_۲}{T_۲}}$$

**فصل پنجم**

**تمرین: در شکل مقابل فشار گاز و حجم ظرف A به ترتیب برابر ۵ اتمسفر و ۲ لیتر و فشار گاز و حجم ظرف B برابر ۱۰ اتمسفر و ۸ لیتر است. اگر دمای دو ظرف برابر باشد وقتی شیر رابط بین دو ظرف را باز کنیم، فشار نهایی درون ظرف‌ها چند اتمسفر می‌شود؟**




**پاسخ:** پس از باز شدن شیر، تعداد مول‌های گاز در محفظه‌ی جدید برابر مجموع تعداد مول‌های گاز در هر یک از دو محفظه می‌باشد.

$$n' = n_۱ + n_۲ \xrightarrow[n=\frac{PV}{RT}]{PV=nRT} \frac{P'V'}{RT'} = \frac{P_۱V_۱}{RT_۱} + \frac{P_۲V_۲}{RT_۲} \Rightarrow \frac{P'V'}{T'} = \frac{P_۱V_۱}{T_۱} + \frac{P_۲V_۲}{T_۲}$$ (قانون دالتون)

وقتی شیر باز می‌شود حجم گاز برابر مجموع حجم دو محفظه می‌شود $(V' = V_۱ + V_۲)$ اما فشار گاز در هر دو محفظه برابر خواهد بود با توجه به این‌که دما قبل و بعد از باز شدن شیر ثابت است. پس:

$$T = \text{ثابت} \Rightarrow P'V' = P_۱V_۱ + P_۲V_۲ \xrightarrow{V'=۲/۸} P'(۲+۸) = ۵\times۲ + ۱۰\times۸ \Rightarrow P' = ۹\,atm$$

اگر در یک سؤال ثابت جهانی گازها $(R)$ را به ما ندهند، اجازه نداریم عدد ۸ یا ۸/۳ را در مسئله استفاده کنیم، بلکه مطابق فرمول زیر باید، $PV = nRT$ را برای گاز نوشته، سپس آن را بر شرایط متعارفی تقسیم کنیم تا $R$ حذف شود.

$$\frac{PV}{P_.V_.} = \frac{nRT}{n_.RT_.}$$

که در فرمول بالا اطلاعات مربوط به $P, V, n, T$ را از روی خود صورت سؤال می‌خوانیم و $P_., V_., n_., T_.$ مربوط به شرایط متعارفی می‌باشند، که اعداد آن‌ها را باید مطابق زیر حفظ باشیم:

$P_. = ۱۰^{۵}\,Pa = ۱\,atm$

$V_. = ۲۲/۴\times۱۰^{-۳}\,m^۳ = ۲۲/۴$ لیتر

$n_. = ۱$ مول

$T_. = ۲۷۳^{\circ}K = ۰^{\circ}C$

**تست: درون ظرفی به حجم ۴۴/۸lit مقدار ۸ گرم هیدروژن و ۲۸ گرم نیتروژن در دمای صفر درجه سلسیوس وجود دارد، فشار مخلوط این دو گاز چند اتمسفر است؟**

۱) ۲/۵۲ ۲) ۲/۵۵ ۳) ۲/۵ ۴) ۹

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ می‌دانیم که جرم مولکولی هیدروژن ($H_2$) برابر ۲ و جرم مولکول نیتروژن ($N_2$) برابر ۲۸ است.

$$\left.\begin{array}{l} \text{هیدروژن } n=\frac{m}{M}=\frac{8}{2}=4 \\ \text{نیتروژن } n=\frac{m}{M}=\frac{28}{28}=1 \end{array}\right\} \Rightarrow \quad n_{\text{کل}}=4+1=5 \Rightarrow \frac{PV}{P_\circ V_\circ}=\frac{nRT}{n_\circ RT_\circ}$$

$$\Rightarrow \frac{P\times 44/8}{1\times 22/4}=\frac{5\times 273}{1\times 273} \Rightarrow P=2/5$$

**محاسبه‌ی چگالی یک گاز کامل**

چگالی یک گاز کامل از رابطه $\rho=\frac{PM}{RT}$ محاسبه میشود

که در آن p فشار گاز و M جرم مولکولی گاز و T دمای گاز برحسب کلوین

و R ثابت جهانی گازها است.

برای اثبات این رابطه، کافیست در فرمول PV=Nrt به جای n مقدار $n=\frac{m}{M}$ را جایگذاری کنیم خواهیم داشت:

$$PV=nRT \xrightarrow{n=\frac{m}{M}} PV=\frac{m}{M}RT$$

$$\Rightarrow \frac{V}{m}=\frac{RT}{PM} \Rightarrow \frac{m}{M}=\frac{PM}{RT} \Rightarrow \frac{m}{V}=\text{چگالی}$$

$$\rho=\frac{PM}{RT}$$

**فصل پنجم**

**تست: چگالی گاز کاملی به جرم مولکولی ۲ و فشار ۸ پاسکال را در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد محاسبه کنید.** $(R = ۸)$

۱) ۱۵۰ ۲) $\frac{۱}{۱۵۰}$ ۳) ۳۰۰ ۴) $\frac{۲}{۲۷}$

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$T = ۲۷ + ۲۷۳ = ۳۰۰K \Rightarrow \rho = \frac{PM}{RT} = \frac{۸ \times ۲}{۸ \times ۳۰۰} = \frac{۱}{۱۵۰}$$ دما

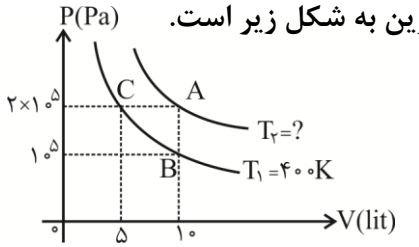
**نکته** از رابطه $PV=nRT$ اگر T را سمت راست تساوی قرار دهیم، میبینیم که مقدار $\frac{PV}{T}$ برابر با مقدار ثابت nR میشود

و میتوانیم نتیجه گیری نماییم که $\Rightarrow \boxed{\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}}$

$$PV = nRT \Rightarrow \frac{PV}{T} = \boxed{nR}$$ مقداری ثابت

$$\Rightarrow \boxed{\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}}$$

**تمرین : فرآیند آرمانی و هم‌دمای مقداری گاز کامل در دمای $T_۲$ و $T_۱ = ۴۰۰$ کلوین به شکل زیر است.**




**مقدار $T_۲$ چند کلوین است؟**

**پاسخ:** کافیست فرمول $\Rightarrow \boxed{\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}}$ را بین نقاط A و B بنویسیم:

$$\frac{P_AV_A}{T_A} = \frac{P_BV_B}{T_B}$$

$$V_A = V_B \text{ چون} \Rightarrow \frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \Rightarrow \frac{۲ \times ۱۰^۵}{T_A} = \frac{۱۰^۵}{۴۰۰} \Rightarrow T_A = ۸۰۰K$$

**تست: اگر حجم مقدار معینی گاز کامل ۴۰٪ افزایش و فشار آن ۲۰٪ کاهش یابد. دمای گاز چگونه تغییر می‌کند؟**

۱) ۶۸٪ افزایش می‌یابد. ۲) ۱۲٪ افزایش می‌یابد.

۳) ۵۲٪ کاهش می‌یابد. ۴) ۲۸٪ کاهش می‌یابد.

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$V_۲ = V_۱ + ۰/۴V_۱ = ۱/۴V_۱$$

$$P_۲ = P_۱ - ۰/۲P_۱ = ۰/۸P_۱$$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \Rightarrow \frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{۰/۸P_۱ \times ۱/۴V_۱}{T_۲} = ۱/۱۲T_۱$$

$$\Delta T = T_۲ - T_۱ \Rightarrow \Delta T = ۱/۱۲T_۱ - T_۱ \Rightarrow \Delta T = ۰/۱۲T_۱ \Rightarrow \frac{\Delta T}{T_۱} \times ۱۰۰ = ۰/۰۱۲$$

**- درون مخزنی، مقدار معینی گاز کامل وجود دارد. با باز کردن شیر مخزن، ۳۰ درصد گاز داخل آن را خارج می‌کنیم. اگر طی این تغییر، فشار گاز ۴۰ درصد کاهش یابد، دمای مطلق آن تقریبا چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟**

**۱) ۱۴/۲ کاهش می‌یابد. ۲) ۱۷/۲۵ افزایش می‌یابد.**

**۳) ۱۴/۲ افزایش می‌یابد. ۴) ۱۷/۲۵ کاهش می‌یابد.**

**با بازکردن شیر و خروج گاز،حجم تغییر نمیکند ولی جرم گاز و در نتیجه مول آن ۳۰ درصد کم شده وبه ۷۰ درصد مقدار اولیه می‌رسد،و فشار نیز ۴۰ درصد کم شده و به ۶۰ درصد مقدار اولیه اش می‌رسد پس داریم:**

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$

$$\frac{P_1V}{n_1T_1} = \frac{\frac{60}{100}P_1V}{\frac{70}{100}n_1T_2} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{6}{7} \text{ برابر} \qquad \text{درصد تغییر} = \left(\frac{6}{7} - 1\right) \times 100 = -14.2$$

**گزینه ۳**

## تبادل کار و انرژی:

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

**گرما :**گرما انرژی ای 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 .در ترمودینامیک دستگاه با یک منبع گرما مبادلهٔ گرما می کند.

**منبع گرما**: منبع گرما، جسمی است که اگر گرما از دست بدهد یا گرما بگیرد، دمای آن به طور قابل ملاحظه ای تغییر نکند به عنوان مثال هرگاه یک استکان چای داغ را در هوای اتاق بگذاریم، پس از مدتی چای خنک شده و دمایش با دمای هوا برابر می‌شود، بی آنکه دمای هوای اتاق تغییر محسوسی کند .در این مثال، به هوای اتاق را برای چای ، اصطلاحاً منبع گرما می‌گویند.

**کار :**فرض کنید گازی را درون یک استوانه ی پیستون دار قرار دارد، اگر گاز را کمی گرم کنیم، گاز منبسط می‌شود و پیستون که اصطکاک ناچیزی دارد حرکت کرده و جابه جا می گردد.بنابراین کاری انجام شده است.در این جابجایی نیروی F که گاز به پیستون وارد می کند، کار انجام می‌دهد .مقدار این کار برابر با حاصل ضرب بزرگی نیروی F در اندازهٔ جا به جایی پیستون است .در این فرایند پیستون نیز روی گاز کار انجام می دهد که این کار بربر با قرینه کار ما روی پیستون می‌باشد.

## بررسی تغیرات انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

**انرژی درونی** برابر با مجموع انرژی ذرات تشکیل دهنده یک ماده است که که در یک گاز کامل انرژی درونی به **دمای مطلق** (دمای کلوینی) بستگی دارد. هنگامی که دستگاه(گاز) در یک فرایند ترمودینامیکی با مبادلهٔ کار، گرما یا هر دو با محیط از یک حالت اولیه با انرژی درونی $U_1$ ، به یک حالت دیگر می رود ممکن است انرژی درونی آن تغییر کند و مثلا به مقدار $U_2$ برسد .تغییر انرژی درونی، یعنی $\Delta U=U_2-U_1$ ، به گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط ارتباط دارد .این ارتباط، موضوع **قانون اوّل ترمودینامیک** است **.این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است که در مورد فرایندهای ترمودینامیکی به کار می رود**

اگر دستگاه در فرایندی، گرمای Q را بگیرد و کار W بر روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی آن بر طبق این قانون با رابطهٔ زیر نشان داده می شود

**قانون اول ترمودینامیک :** $\Delta U = W + Q$

این رابطه که بیان می دارد انتقال انرژی بین دستگاه و محیط از طریق تبادل کار و گرما صورت می گیرد، قانون اوّل ترمودینامیک نامیده می شود .در این رابطه، Q می تواند مثبت( دستگاه گرما بگیرد)یا منفی( دستگاه گرما از دست بدهد )باشد W .نیز می تواند مثبت( محیط روی دستگاه کار انجام دهد )یا منفی( دستگاه روی محیط کار انجام دهد )باشد .بنابراین، هنگامی که دستگاه با محیط تبادل کار و گرما دارد، ممکن است انرژی درونی آن افزایش ($\Delta U>0$ )یا کاهش $\Delta U<0$ یابد یا اینکه تغییر نکند

## فرمول های تغییر انرژی درونی:

$$\Delta U = Q + W \qquad W_{\text{ثابت}} = -P\Delta V$$

$$\begin{cases} \Delta u = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) & \text{برای تک اتمی} \\ \Delta u = \frac{5}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) & \text{برای دو اتمی} \\ \Delta u = \frac{7}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{7}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) & \text{برای چند اتمی} \end{cases}$$

$\Delta u$ تغییر انرژی درونی یک گاز می‌باشد و انرژی درونی یک گاز کامل فقط تابع تغییرات دمای آن می‌باشد. اگر در سؤالات دمای اولیه و ثانویه را دادند و تغییر انرژی درونی را خواستند، از فرمول‌های سمت چپ که در بالا نوشته شده‌اند استفاده می‌کنیم ولی اگر دما را نداند ولی P و V را در مسئله دادند، در فرمول‌های بالا، از فرمول‌های نوشته شده در سمت راست استفاده می‌کنیم.

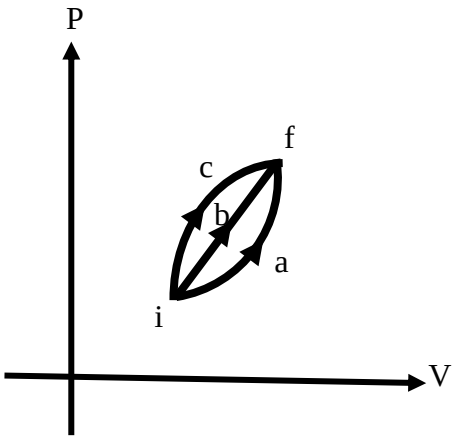
**تمرین : در یک فرایند ترمودینامیکی گاز 550 J گرما از محیط می گیرد و انبساط می یابد.اگر کاری که دستگاه روی محیط انجام می دهد 200 J باشد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟**

**پاسخ :**چون دستگاه از محیط گرما گرفته است Q=+550 J و چون کار دستگاه روی محیط 200 J+ است پس کار محیط روی دستگاه W=-200 J می شود .با استفاده از قانون اوّل ترمودینامیک داریم:

$\Delta U=Q+W=550J+(-200J)=350J$

**فصل پنجم**

**تست: مطابق نمودار زیر،گاز کاملی از از سه مسیر $c$ $b$ $a$ از حالت $i$ به $j$ میرود، درخصوص تغییر انرژی درونی و گرمایی که گاز میگیرد کدام گزینه صحیح است؟**




$$Q_c > Q_b > Q_a > 0$$

$$Q_a > Q_b > Q_c > 0$$

$$\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c < 0$$

$$\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c = 0$$

**ما میدونیم که $\Delta U = Q + W$**

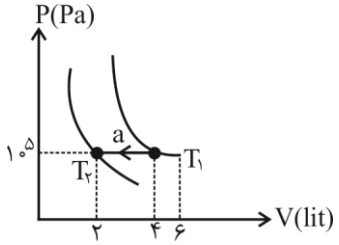
**و از اونجایی که ابتدا و انتهای فرایندها باهم یکسان هست پس $\Delta U$ ها باهم برابرند**

$$\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c$$

$$Q + W = Q + W$$

و میدونیم که کار برابر با مساحت زیر نمودارpv هست و چون به علت انبساط همه کارها منفی هستند پس اونی که مساحت زیرنمودارش بزرگتر باید Q بزرگتری داشته باشه تا تساوی بالا برقرار باشه بنابراین گزینه ۱ درست هست

**تست: شکل مقابل مربوط به گازی تک اتمی است که طی فرآیند a به طور هم‌فشار از دمای $T_1$ به دمای $T_2$ رسیده است. تغییر انرژی درونی این گاز ($\Delta u$) برابر چند ژول است؟**




۱) +۵۰۰ ۲) +۳۰۰

۳) -۳۰۰ ۴) -۵۰۰

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛

$$\Delta u = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1) \Rightarrow \Delta u = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

چون از روی نمودار اطلاعات مربوط به $T_1$ و $T_2$ را نمی‌توانیم بخوانیم بنابراین از فرمول‌های دومی استفاده می‌کنیم.

$$\Delta u = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$\Delta u = \frac{3}{2}(2\times10^5\times10^{-3} - 10^5\times4\times10^{-3}) = -300$$

**فرآیندهای خاص: در یک فرایند ترمودینامیکی گاز کامل می تواند فرایندهای مختلفی را طی کند .در بین این فرایندها، فرایندهای خاصی وجود دارد که کاربرد آنها گسترده تر بوده و ما ضمن بررسی آنها، فرمول های کارانجام شده و گرمای مبادله شده و نمودار های مربوط به آنها را بایـد فـرا بگیـریم ایـن حالتهای خاص عبارتند از:**

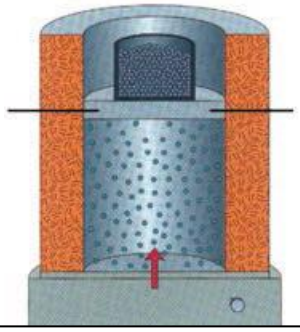
۱ـ هم‌حجم ۲ـ هم‌فشار ۳ـ هم‌دما ۴ـ بی‌دررو

## نکات مربوط به فرآیند هم‌حجم:

**فرایند هم حجم:** حجم گاز طی این فرایند ثابت نگه داشته می شود و بنابراین، کار صفر است .در این فرایند گاز با محیط فقط تبادل گرما می کند .به این منظور گاز را در تماس با منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم قرار می دهیم طوری که دمای اولیهٔ منبع و گاز با هم برابر باشد .دمای منبع را به آرامی و به تدریج تغییر می دهیم تا گاز با گذار از حالت های تعادلی، طی یک فرایند آرمانی به حالت نهایی موردنظر برسد(دما و فشار تغییر میکند)

**معادله حالت در هم حجم**

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



دمای گاز را در حجم ثابت، با استفاده از منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم به تدریج تغییر می دهیم.

**کار در هم**

$$W_{\text{کار}} = 0$$

**گرما در هم حجم**

تک اتمی $Q = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta P$

دو اتمی $Q = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}V\Delta P$

چند اتمی $Q = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}V\Delta P$

$$(1) \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}}$$

کار در فرآیند هم‌حجم صفر است.

(۲) کار $W = -P\Delta V \xrightarrow{\Delta V = 0} \boxed{W = 0}$

(۳) گرما $\boxed{Q = nC_{MV}(T_2 - T_1)} \Rightarrow PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR}$

$$\Rightarrow Q = nC_{MV}\left(\frac{P_2V}{nR} - \frac{P_1V}{nR}\right)$$

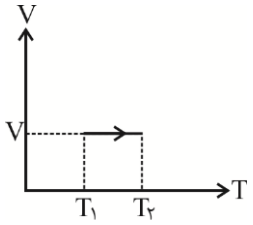
$$C_{mV}=\begin{cases}\frac{3}{2}R & \text{تک}\\ \frac{5}{2}R & \text{دو}\\ \frac{7}{2}R & \text{چند}\end{cases}\Rightarrow Q=\begin{cases}Q=\frac{3}{2}V(P_2-P_1) & \text{برای گازهای تک اتمی}\\ Q=\frac{5}{2}V(P_2-P_1) & \text{برای گازهای دو اتمی}\\ Q=\frac{7}{2}V(P_2-P_1) & \text{برای گازهای چند اتمی}\end{cases}$$

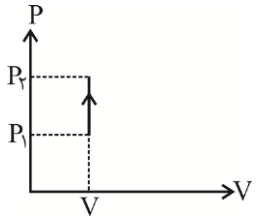
در فرآیند هم‌حجم اگر دمای اولیه و دمای ثانویه گاز را به ما دادند و مقدار گرما را خواستند، از فرمول $\boxed{Q=nC_{MV}(T_2-T_1)}$ استفاده می‌کنیم.

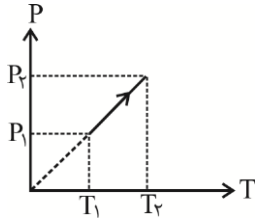
و اگر $T_1$ و $T_2$ را در مسئله به ما ندادند ولی فشار اولیه و ثانویه $(P_2,P_1)$ را دادند با توجه به تک اتمی یا چند اتمی بودن گاز از فرمول‌های روبرو استفاده می‌کنیم.

$$\boxed{\begin{aligned}&Q=\frac{3}{2}V(P_2-P_1)\\ &Q=\frac{5}{2}V(P_2-P_1)\\ &Q=\frac{7}{2}V(P_2-P_1)\end{aligned}}$$

**نمودارهای مربوط به فرآیند هم‌حجم:**



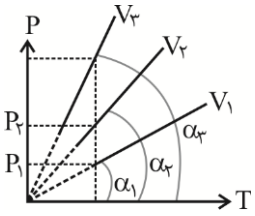

همانطور که در بالا دیده می‌شوند نمودار $P-T$ در یک فرآیند هم‌حجم به صورت یک خط راست با شیب ثابت رسم می‌گردد که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد. زیرا:

$$\mathbf{P}V=nR\mathbf{T}\Rightarrow \mathbf{P}=\underbrace{\boxed{\frac{nR}{V}}}_{y=\mathbf{a}x}\mathbf{T}+0$$

همانطور که در بالا ملاحظه می‌شود رابطه‌ی بین $P$ و $T$ به صورت یک معادله‌ی درجه یک خطی است. که در آن $P$ و $T$ متغیر می‌باشند و $\frac{nR}{V}$ که مقدار ثابتی است برابر شیب خط می‌باشد و از ریاضیات می‌دانیم که شیب خط برابر $\tan\alpha$ می‌باشد.

$$\text{شیب}=\tan\alpha=\frac{nR}{V}$$

و از آنجایی که در رابطه‌ی «$\text{شیب} = \tan\alpha = \frac{nR}{V}$» ملاحظه می‌شود $\tan\alpha$ با $V$ رابطه عکس دارد. یعنی هر جا که شیب بیش‌تر باشد مقدار $V$ کم‌تر است و بالعکس.




$$\boxed{\frac{V_2}{V_1} = \frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2}}$$

در نمودار بالا همانطور که از قبل گفته شد، شیب با $W$ رابطه‌ی بالعکس دارد یعنی خطی که کم‌ترین شیب را دارد. حجم آن از همه بیش‌تر است و خطی که بیش‌ترین شیب را دارد دارای کم‌ترین حجم می‌باشد. $(V_1 > V_2 > V_3)$

**تمرین : مقداری گاز هلیم در یک محفظه به حجم ۶ لیتر و فشار ۲ اتمسفر وجود دارد. چند ژول گرما به آن بدهیم تا در حجم ثابت فشار آن به ۲/۵ اتمسفر برسد؟**

**پاسخ:** می‌دانیم هلیم گازی تک اتمی است بنابراین طبق روابط صفحات قبل $Q$ را از یکی از دو فرمول زیر می‌توان به دست آورد. $Q = nC_{MV}\Delta T$

$$Q = \frac{3}{2}V \times (P_2 - P_1) = \frac{3}{2}(6\times10^{-3})(2/5-2)\times10^5 = 450\,J$$

**تست ۱: اگر $R$ ثابت گازها بر حسب $\frac{J}{mol.K}$ باشد. مقدار گرمایی که در حجم ثابت باید به یک مول گاز کامل تک اتمی بدهیم تا دمای آن را یک کلوین بالا ببرد، برابر با کدام است؟**

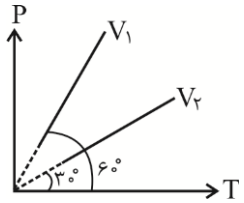
۱) $\frac{1}{2}R$ ۲) $\frac{3}{2}R$ ۳) $\frac{5}{2}R$ ۴) $\frac{7}{2}R$

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$Q = nC_{MV}\Delta T \xrightarrow{C_{MV}=\frac{3}{2}R} 1\times\frac{3}{2}R\times1 = \frac{3}{2}R$$

دقت شود که در این فرمول حجم بایستی بر حسب مترمکعب و فشار بر حسب پاسکال باشد.

**تست ۳: با توجه به نمودار $P-T$ شکل مقابل نسبت $\frac{V_۱}{V_۲}$ را محاسبه کنید.**

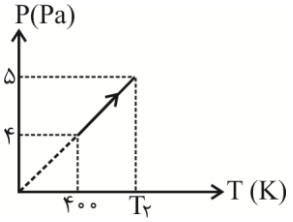



۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$
۲) $\sqrt{۳}$
۳) ۳
۴) $\frac{۱}{۳}$

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ چون نمودار $P-T$ به صورت خطی است پس طبق نکات صفحات قبل می‌دانیم که نمودار مربوط به فرآیند هم‌حجم است. و می‌دانیم که طبق رابطه‌ی « $\tan\alpha=\frac{nR}{V}$ » شیب خط با $V$ رابطه‌ی بالعکس دارد. یعنی:

$$\frac{V_۱}{V_۲}=\frac{\tan\alpha_۲}{\tan\alpha_۱}\Rightarrow\frac{V_۱}{V_۲}=\frac{\tan ۳۰^\circ}{\tan ۶۰^\circ}=\frac{۱}{۳}$$

**تست ۴: نمودار $P-T$ برای دو مول گاز تک اتمی به صورت شکل زیر است. حجم گاز و دمای $T_۲$ بر حسب کلوین به ترتیب از راست به چپ برابر کدام گزینه است؟** $(R=۸)$




۱) ۱۶۰۰ و ۲۵۰
۲) ۳۰۰ و ۵۰۰
۳) ۱۶۰۰ و ۵۰۰
۴) اطلاعات مسئله کافی نیست.

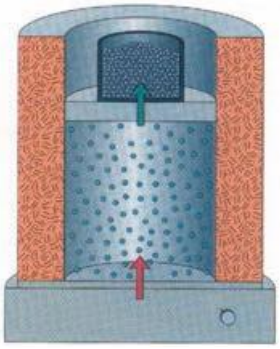
**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ چون نمودار $P-T$ به صورت یک خط است پس می‌دانیم که نمودار بالا مربوط به فرآیند هم‌حجم است. برای محاسبه‌ی حجم فرمول $PV=nRT$ را برای نقطه‌ی $A$ که اطلاعات آن را به طور کامل داریم می‌نویسیم و برای محاسبه‌ی $T_۲$ چون فرآیند هم‌حجم است از رابطه‌ی $\frac{P_۱}{T_۱}=\frac{P_۲}{T_۲}$ استفاده می‌کنیم.

$$P_A V_A=nRT\Rightarrow ۴\times V_A=۲\times ۸\times ۴۰۰\Rightarrow V_A=۱۶۰۰$$

$$\frac{P_۱}{T_۱}=\frac{P_۲}{T_۲}\Rightarrow\frac{۴}{۴۰۰}=\frac{۵}{T_۲}\Rightarrow T_۲=۵۰۰$$

## بررسی فزایند هم فشار :

فشار گاز طی این فرایند ثابت می ماند



گرم کردن آرمانی گاز در فشار ثابت با استفاده از منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم.

**معادله حالت در هم فشار**

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

**کار در هم فشار**

$$W_{کار} = -P\Delta V = -nR\Delta T$$

**گرمای هم فشار**

تک اتمی $Q = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V$

دواتمی تک $Q = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}P\Delta V$

چند اتمی تک اتمی $Q = \frac{9}{2}nR\Delta T = \frac{9}{2}P\Delta V$

تذکر۱: در انبساط علامت کار محیط روی دستگاه – و در انقباض علامت + است

تذکر ۲: مساحت زیر نمودار P-V برابر قدر مطلق کار محیط روی دستگاه است (در تمام فرایندها)

در فرآیند هم‌فشار مقداری گاز در یک محفظه با قابلیت تغییر حجم وجود دارد و دما و حجم گاز در فشار ثابت تغییر می‌کند.

ثابت $P \Rightarrow P_1 = P_2$ $(P_1 = P_2)$

## نکات مربوط به فرآیند هم‌فشار:

(۱) $\Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}}$

(۲) $\boxed{W_{\text{گاز}}=-P\Delta V}$

$\boxed{W=-nR\Delta T}$

(۳) $\boxed{Q_{\text{گاز}}=nC_{MP}(T_2-T_1)} \Rightarrow PV=nRT \Rightarrow T=\frac{PV}{nR}$

$$\Rightarrow Q=nC_{MP}\left(\frac{PV_2}{nR}-\frac{PV_1}{nR}\right)$$

$$C_{mV}=\begin{cases}\frac{5}{2}R & \text{تک}\\ \frac{7}{2}R & \text{دو}\\ \frac{9}{2}R & \text{چند}\end{cases} \Rightarrow Q=\begin{cases}Q=\frac{5}{2}P(V_2-V_1) & \text{برای گازهای تک اتمی}\\ Q=\frac{7}{2}P(V_2-V_1) & \text{برای گازهای دو اتمی}\\ Q=\frac{9}{2}P(V_2-V_1) & \text{برای گازهای چند اتمی}\end{cases}$$

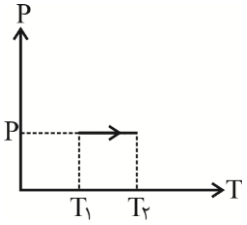
در فرآیند هم‌فشار اگر دمای اولیه و ثانویه $(T_2,T_1)$ را به ما دادند و مقدار گرما را خواستند، از فرمول $Q=nC_{MP}(T_2-T_1)$ استفاده می‌کنیم ولی اگر $T_1$ و $T_2$ را نداند ولی $V_1$ و $V_2$ را دادند با توجه به یکی یا چند اتمی بودن گاز از فرمول‌های زیر استفاده می‌کنیم.

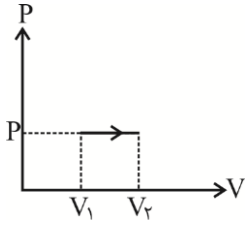
$$Q=\frac{5}{2}P(V_2-V_1)$$

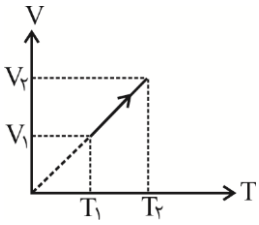
$$Q=\frac{7}{2}P(V_2-V_1)$$

$$Q=\frac{9}{2}P(V_2-V_1)$$

### نمودارهای مربوط به فرآیندهای هم‌فشار:



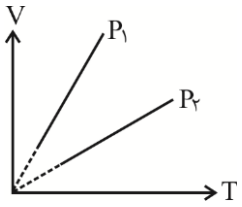
همانطور که در بالا دیده می‌شود نمودار $V-T$ برای فرآیند هم‌فشار به صورت یک خط راست با شیب ثابت رسم می‌شود که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد، زیرا:

$$PV = nRT \Rightarrow V = \underbrace{\frac{nR}{P}}_{y=ax} T + 0$$

همانطور که در بالا ملاحظه می‌شود رابطه‌ی بین $T$ و $V$ به صورت یک معادله درجه یک (خط) است. که در آن $V$ و $T$ متغیر می‌باشند و $\frac{nR}{P}$ مقداری ثابت است که برابر شیب خط می‌باشد و از ریاضیات می‌دانیم که شیب خط برابر $\tan\alpha$ است.

$$\text{شیب} = \tan\alpha = \frac{nR}{P}$$

طبق رابطه‌ی $\tan\alpha = \frac{nR}{P}$ ملاحظه می‌شود که $\tan\alpha$ با $P$ رابطه‌ی معکوس دارد. یعنی هر جا که شیب بیش‌تر است مقدار $P$ کم‌تر است و بالعکس.




$$\boxed{\frac{P_2}{P_1} = \frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2}}$$

**تمرین : در یک فرآیند هم‌فشار یک لیتر گاز کامل دو اتمی در دمای صفر درجه سلسیوس مقداری گرما از دست می‌دهد و حجم آن در فشار یک اتمسفر به ۰/۸ حجم اولیه‌اش می‌رسد. در این فرآیند گاز چند ژول گرما از دست می‌دهد؟** $(1atm = 10^5 Pa, C_{MP} = \frac{7}{2}R)$

۱) ۵۰ ۲) ۷۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۴۰

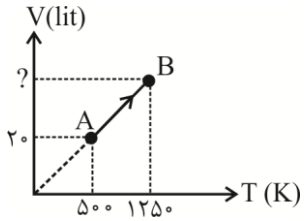
**پاسخ:** چون فرآیند هم‌فشار است و گاز دو اتمی می‌باشد، برای محاسبه‌ی گرما از یکی از دو فرمول زیر باید استفاده کنیم:

$$Q = nC_{MP}(T_2 - T_1) \quad \text{یا} \quad Q = \frac{7}{2}P(V_2 - V_1)$$

و با توجه به این‌که در مسئله $T_2$ و $T_1$ را به ما نداند پس از فرمول دوم استفاده می‌کنیم.

$$Q = \frac{7}{2}P(V_2 - V_1) = \frac{7}{2} \times 10^5 (0/8 - 1) \times 10^{-3} = 70J$$

**تست: مطابق شکل زیر، ۱ مول گاز کامل تک اتمی فرآیند AB را طی می‌کند. کار انجام شده توسط گاز بـر روی محیط از حالت A تا حالت B چند کیلوژول است؟** $(R = ۸\frac{J}{mol.K})$




۱) ۶
۲) -۶
۳) ۹
۴) -۹

**پاسخ:** گزینه‌ی ۱)؛ چون فرآیند AB روی یک خط گذرا از مبدأ در نمودار $V-T$ قرار دارد، یک فرآیند هم‌فشار است و می‌توان نوشت:

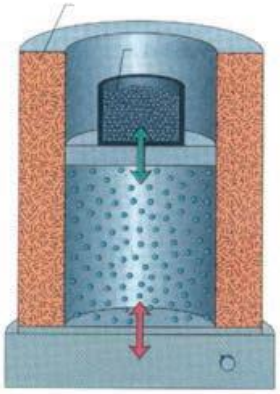
$$W = -P\Delta V = -nR\Delta T = -۱\times ۸\times (۱۲۵۰-۵۰۰) = -۶۰۰۰J \Rightarrow W = -۶kJ$$

کاری که محیط بر روی گاز انجام می‌دهد، برابر $-۶kJ$ است. یعنی گاز بر روی محیط $+۶kJ$ کار انجام می‌دهد.

## بررسی فرایند هم دما :

هرگاه مقداری گاز در داخل محفظه‌ای قرار داشته باشد و این مجموعه را در مجاورت یک منبع با دمـای ثابـت قـرار دهـیم و نیروی وارد بر پیستون از بیرون محفظه به آهستگی تغییر کند در این صورت فشار و حجم تغییر می‌کنـد ولـی دمـای گـاز را می‌توان همواره ثابت فرض کرد که به آن یک فرآیند هم‌دما می‌گوییم.

دمای دستگاه( گاز ) طی این فرایند ثابت می ماند.



$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\Delta U = 0$$

گرما و کار

$$W = -Q = nRT\ L_n\frac{V_2}{V_1} = nRT\ L_n\frac{P_1}{P_2}$$

**استوانه در تماس با منبع گرمایی با دمای ثابت قرار دارد .با افزودن تدریجی گلوله های سربی؛ تراکمی هم دما رخ می دهد**

**نکات مربوط به فرآیند هم‌دما:**

(۱) $\Rightarrow \boxed{P_1V_1 = P_2V_2}$

(۲) کار $W = nRT(Ln\frac{V_2}{V_1})$

کار $W = nRT(Ln\frac{P_1}{P_2})$

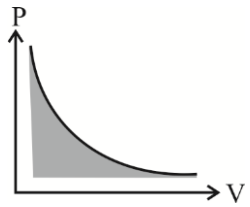
(۳) $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta u = 0 \Rightarrow \Delta u = W + Q = 0$

$\Rightarrow W = -Q$

**نکته تکمیلی :**

**سؤال: چرا در فرایند هم‌دما کار از فرمول $W = nRT(Ln\frac{V_2}{V_1})$ محاسبه می‌شود؟**

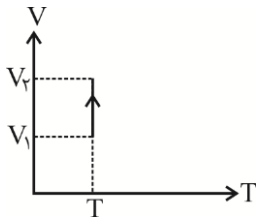
**پاسخ:** می‌دانیم که کار در فرآیندهای ترمودینامیکی برابر مساحت زیر نمودار $P-V$ است. همچنین از ریاضیات می‌دانیم که مساحت زیر یک منحنی برابر همان مقدار انتگرال است. بنابراین:

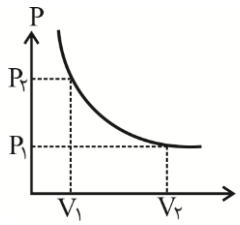


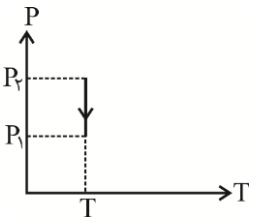

$$W = \int PdV \Rightarrow PV = nRT \Rightarrow \boxed{P = \frac{nRT}{V}}$$

$$\Rightarrow W = \int \frac{nRT}{V} dV = nRT\,Ln\frac{V_2}{V_1}$$

**نمودارهای مربوط به فرآیند هم‌دما:**



همانطور که در بالا ملاحظه می‌شود نمودار p-v ب رای فرآیند هم‌دما به صورت یک منحنی است و نه یک خط راست! زیرا:

$$\mathbf{PV} = nRT$$

$$\Rightarrow \mathbf{P} = nRT(\frac{۱}{\mathbf{V}})$$

$y = a(\frac{۱}{x}) \Rightarrow$ تابع هموگرافیک و منحنی شکل

همانطور که در رابطه بالا ملاحظه می‌شود، رابطه‌ی $P$ و $V$ به صورت معکوس با یکدیگر است که اصطلاحاً به چنین تابعی یک تابع هموگرافیک می‌گویند و تابع هموگرافیک نیز منحنی شکل است.

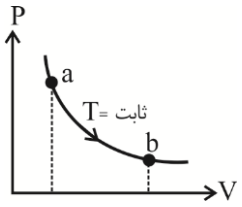
**فصل پنجم**

**تست‌های مربوط به فرآیند هم‌دما:**

**تمرین : مقدار معینی از یک گاز کامل فرآیندی هم‌دما مطابق شکل طی می‌کند. اگر مساحت زیر نمودار $۱۰^۴ J$ باشد،**

**الف :گاز چند ژول گرما مبادله نموده ؟**

**ب: گاز گرما به دست آورده یا ازدست داده؟**

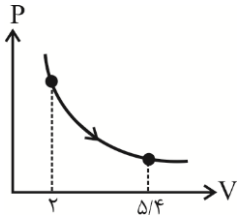



**پاسخ:** چون فرآیند هم‌دما می‌باشد، پس دما ثابت و در نتیجه انرژی درونی گاز هم ثابت می‌ماند و $\Delta u = ۰$ خواهد بود. چون در فرآیند از a تا b گاز منبسط شده است. پس کار انجام شده روی گاز منفی می‌باشد.

$$\Delta u = ۰ \Rightarrow W_T + Q_T = ۰ \Rightarrow Q_T = -W_T \Rightarrow Q_T = -(-۱۰^۴) = ۱۰^۴$$

$$\Rightarrow Q_T > ۰$$

**تست: دو مول گاز کامل در دمای ثابت $۲۷^{\circ} C$، فرآیند هم‌دمای شکل زیر را طی می‌کند، کار انجام شده در این فرآیند تقریباً چند ژول است؟** $(R = ۸)$




۱) ۵۲۰۰ ۲) ۴۸۰۰

۳) ۵۸۰۰ ۴) اطلاعات مسئله کافی نیست.

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$T = ۲۷ + ۲۷۳ = ۳۰۰ K$$

$$W = nRT(Ln\frac{V_۲}{V_۱}) = ۲(۸)(۳۰۰)(Ln\frac{۵/۴}{۲})$$

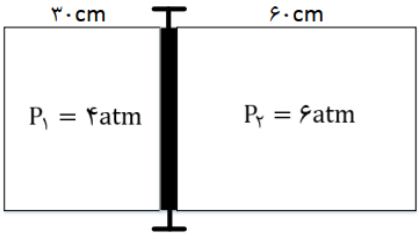
$$= ۴۸۰۰ Ln ۲/۷ = ۴۸۰۰(۱) \Rightarrow W = ۴۸۰۰ \qquad (Ln ۲/۷ ; ۱)$$

**تست:** مطابق شکل زیر، دو گاز کامل با فشارهای ۴ و ۶ آتمسفر، در دمای یکسان توسط پیستون ثابتی از هم جدا شده‌اند. اگر پیستون آزاد شود، میزان جابه‌جایی آن چند سانتی‌متر خواهد بود؟ (دما ثابت فرض شود.)

(آزمون قلمچی)

۱) ۱۵ ۲) ۱۰

۳) ۷/۵ ۴) ۶




قانون $\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P'_1V'_1}{T'_1}$ رو یکبار برای مخزن چپ و یکبار برای مخزن راست مینویسیم تا ببینیم هرکدوم در حالت ثانویه چه جوری میشن

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P'_1V'_1}{T'_1}\rightarrow P_1V_1=P'_1V'_1 \quad 4(A\times 30)=P'_1(A)(30-X) \quad P'_1=\frac{120}{30-X}$$

$$\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P'_2V'_2}{T'_2}\rightarrow P_2V_2=P'_2V'_2 \quad 6(A\times 60)=P'_2(A)(60+X) \quad P'_2=\frac{360}{60+X}$$

حالا چون پس از تموم شدن جابجایی ها،دیگه در حالت تعادل قرار میگیرند پس میتونیم فشار ثانویه هر دوتا مخزن را مساوی هم قرار بدهیم:

$$P'_1=P'_2 \quad =\frac{120}{30-X}=\frac{360}{60+X} \quad 90-3X=60+X \quad 4X=30 \quad X=7.5$$

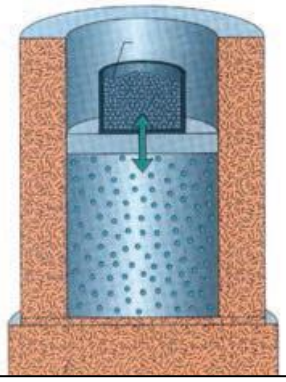
## بررسی فرایند بی در رو:

در این فرایند بین گاز و محیط گرما مبادله نمی شود .برای انجام دادن این فرایند باید دستگاه را عـایق بنـدی کنیم ( $Q = 0$ )

همچنین هنگامی که یک گاز را به سرعت متراکم یا منبسط می کنیم؛ چون گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نمی کند، فرایند به صورت بی دررو در نظر گرفته می شود.

در فرایند بی دررو، چون گرما صفر است، فرمولهای کار با فرمول تغییر انرژی درونی یکسان است.

گرما $Q = 0$



با کاستن یا افزودن تدریجی ساچمه های سربی روی پیستون، گاز درون استوانهٔ **عایق پوش** شده، انبساط یا تراکم بی دررو پیدا می کند

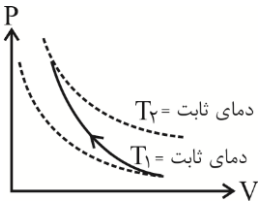
$\Delta U = W + Q$

تک اتمی $\Delta U = W$ کار $= \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$ یا $\Delta U = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

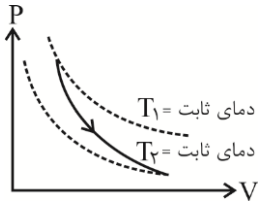
دو اتمی $\Delta U = W$ کار $= \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1)$ یا $\Delta U = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

چند اتمی $\Delta U = W$ کار $= \frac{7}{2}nR(T_2 - T_1)$ یا $\Delta U = \frac{7}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

هرگاه در یک تحول بین دستگاه (گاز) و محیط گرمایی مبادله نگردد، می‌گوییم گاز یک فرآیند بی‌دررو را طی کرده است. برای این منظور یک محفظه، شامل گاز کامل می‌باشد که در داخل آن یک پیستون متحرک قرار دارد و نسبت به محیط اطراف عایق‌بندی شده است. و همچنین اگر پیستون را سریع حرکت دهیم. چون تغییر حجم با سرعت انجام شده است. باز هم گاز با محیط بیرونی تبادل گرمایی ندارد و اصطلاحاً می‌گوییم فرآیندی بی‌دررو را طی کرده است.



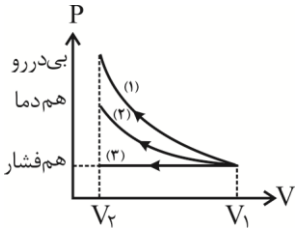

تراکم بی‌دررو
(دمای گاز افزایش می‌یابد.)




انبساط بی‌دررو
(دمای گاز کاهش می‌یابد.)

همانطور که می‌دانیم نمودار $P-V$ برای فرآیند هم‌دما و همچنین برای فرآیند بی‌دررو منحنی شکل است، اما می‌دانیم که وقتی گاز کاملی را با فرآیند هم‌دما متراکم می‌کنیم، گاز مقداری گرما از دست می‌دهد، در حالی‌که در فرآیند بی‌دررو، گاز گرما از دست نمی‌دهد. در نتیجه در فرآیند بی‌دررو افزایش فشار در مقایسه با فرآیند هم‌دما بیش‌تر است و این موضوع باعث می‌شود، شیب نمودار بی‌دررو بیش‌تر از شیب نمودار هم‌دما باشد.

**مثال: با توجه به نمودار $P-V$ مقابل بیان کنید، کدام نمودار هم‌دما و کدام نمودار بی‌دررو و کدام نمودار هم‌فشار است.**




**پاسخ:** با توجه به نمودار چون شیب منحنی (۱) از همه بیش‌تر است، بنابراین مربوط به فرآیند بی‌دررو می‌باشد و منحنی (۲) مربوط به فرآیند هم‌دما می‌باشد و خط (۳) فرآیند هم‌فشار را نمایش می‌دهد. (شیب هم دما< شیب بی‌دررو)

**تست‌های مربوط به فرآیند بی‌دررو:**

**تست ۱: گاز کاملی در یک فرآیند بی‌دررو منبسط می‌شود، دما و انرژی درونی آن به ترتیب چگونه تغییر خواهد کرد؟**

۱) ثابت ـ کاهش ۲) ثابت ـ ثابت ۳) کاهش ـ ثابت ۴) کاهش ـ کاهش

**پاسخ:** گزینه‌ی ۴)؛ در فرآیند انبساط حجم گاز افزایش می‌یابد، بنابراین کار انجام شده بر روی گاز منفی است و در نتیجه تغییرات انرژی درونی آن نیز منفی می‌باشد. پس دما و انرژی درونی هر دو کاهش می‌یابد.

$$\text{بی‌دررو} \Rightarrow \Delta u = W \Rightarrow \text{افزایش حجم} \Rightarrow \Delta u , W < ۰$$

**تست ۲: در یک فرآیند بی‌دررو وقتی دمای مقدار معینی گاز کامل از $T$ به $۲T$ افزایش می‌یابد، کار انجام شده به وسیله‌ی گاز $W$ می‌باشد. وقتی دما از $۲T$ به $۳T$ افزایش یابد، کار انجام شده توسط گاز چگونه است؟**

۱) بیش‌تر از $W$ است. ۲) کم‌تر از $W$ است.

۳) برابر با $W$ است. ۴) بسته به مقدار $T$ هر سه گزینه صحیح است.

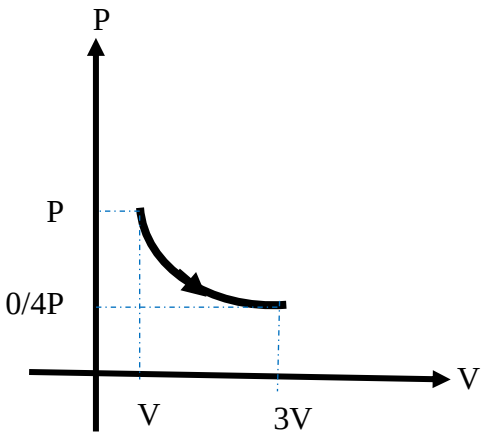
**پاسخ:** گزینه‌ی 3)؛ در فرآیند بی‌دررو گرمای مبادله شده بین محیط و دستگاه صفر است $(Q = ۰)$. بنابراین طبق قانون اول ترمودینامیک $\Delta u = W + ۰$ است و از طرفی تغییرات انرژی درونی فقط به تغییرات دمای گاز بستگی دارد و چون تغییرات دما در هر دو مرحله یکسان است. بنابراین تغییرات انرژی درونی نیز یکسان است و در نتیجه کار نیز در هر دو مرحله یکسان است.

$$(۱)\ \Delta T_۱ = ۲T - T = T$$

$$(۲)\ \Delta T_۲ = ۳T - ۲T = T$$

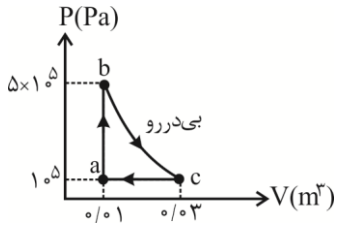
**تست: با توجه به فرایند زیر کدام گزینه صحیح است؟**

**۱) فرایند همدما است**
**۲) فرایند بی دررو است**
**۳) گاز گرما گرفته است**
**۴) کار انجام شده روی گاز مثبت است**




**گزینه ۳**

**تست ۴: یک مول از یک گاز کامل تک اتمی چرخه‌ای مطابق روبرو را طی می‌کند. کار انجام شده در فرآیند بی‌دررو را محاسبه کنید.**




۱) $-۳۰۰۰$
۲) $+۳۰۰۰$
۳) $-۶۰۰۰$
۴) $-۲۰۰۰$

**پاسخ:** گزینه‌ی ۱)؛

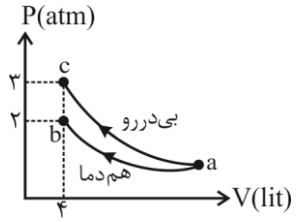
$$\text{فرآیند بی‌دررو} \Rightarrow \Delta u = W \Rightarrow \begin{cases} \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \\ \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \\ \frac{۹}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \end{cases}$$

چون گاز بالا تک اتمی است:

$$W = \Delta u = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$$

$$= \frac{۳}{۲}(۰/۰۳\times ۱۰^{۵} - ۰/۰۱\times ۵\times ۱۰^{۵}) = -۳۰۰۰$$

**تست ۵: نمودار دو تحول برای مقدار معینی از یک گاز کامل تک اتمی در شکل زیر دیده می‌شود. در فرآیند بی‌دررو چند ژول کار روی گاز انجام شده است؟** $(C_{MV} = -\frac{۳}{۲}R)$




۱) ۳۰۰
۲) ۵۰۰
۳) ۶۰۰
۴) ۱۰۰۰

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛

$$\text{در فرآیند هم‌دما} \Rightarrow P_aV_a = P_bV_b$$

$$\text{فرآیند بی‌دررو} \Rightarrow \Delta u = W = \frac{۳}{۲}(P_cV_c - P_aV_a) = \frac{۳}{۲}(P_cV_c - P_bV_b)$$

$$= \frac{۳}{۲}(۳\times ۱۰^{۵}\times ۴\times ۱۰^{-۳} - ۲\times ۱۰^{۵}\times ۴\times ۱۰^{-۳})$$

$$= ۶۰۰\,J$$

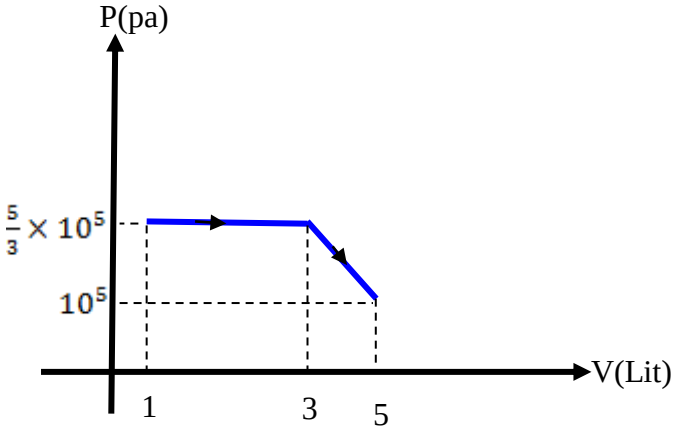
## فرایند غیر خاص:

بچه ها حواستون باشه،حتما نباید تست و سوال مربوط به فرایند های خاص باشه! یعنی ممکنه یک سوال به ما بدهند که نه هم حجم باشه نه هم فشار باشه نه همدما باشه و نه بی دررو باشه!!!!!

اگه اینجوری شد پس چه گلی به سرمون بکنیم؟؟؟؟؟

تست: نمودار pv برای یک گاز کامل تک اتمی مطابق شکل زیر است،گرمایی که گاز در فرایند abc با محیط مبادله می‌کند چند ژول است؟

۱۱۰۰ ۳۳۰۰ ۵۶۷ ۷۶۷




$$\Delta U_{\text{کل}} = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) = \frac{3}{2}(500 - \frac{500}{3}) = 500$$

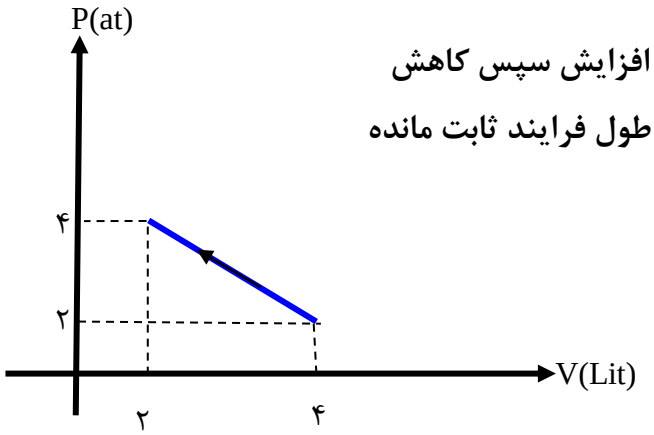
$$\Delta u = Q + W$$

$$500 = Q_{abc} + \text{مساحت کل} \qquad 500 = Q_{abc} + (-600) \quad Q_{abc} = 1100$$

**تست:** با توجه به نمودار pv شکل زیر که تحول یک گاز آرمانی از A تا B را نشان می‌دهد،در این فرایند دمای گاز چگونه تغییر کرده است؟

ابتدا کاهش سپس افزایش — ابتدا افزایش سپس کاهش

به تدریج افزایش یافته — در طول فرایند ثابت مانده



## چرخه:

هرگاه یک گاز کامل (دستگاه) فرآیندهایی را طی کند (مثلاً حجم یا فشار یا دمایش تغیر کند) و دوبار به همان حالت اولش (یعنی به همان حجم و فشار و دمای اولیه) بازگردد، می‌گوییم یک چرخه را طی کرده است. بدیهی است که دمای دستگاه در ابتدا و انتهای یک چرخه برابر است. بنابراین انرژی درونی دستگاه در یک چرخه تغییر نمی‌کند ($\Delta u = 0$).

$$\Delta U = W + Q \Rightarrow \Delta u = 0 \Rightarrow W = -Q$$

### محاسبه کار در یک چرخه:

برای محاسبه کار انجام شده در یک چرخه دو راه وجود دارد:

۱ـ می‌توانیم کار انجام شده در تک‌تک مراحل را جداگانه محاسبه کنیم، سپس آن‌ها را با هم جمع کنیم.

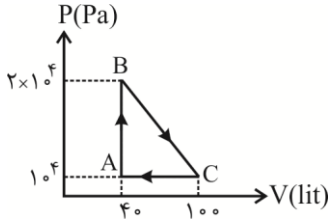
۲ـ می‌توانیم مساحت محصور در چرخه را محاسبه کنیم. در این صورت اگر چرخه به صورت ساعتگرد باشد، کار محیط بر روی دستگاه برابر مساحت چرخه با علامت منفی است و اگر چرخه پادساعتگرد باشد کار انجام شده توسط محیط روی دستگاه برابر با مساحت چرخه با علامت مثبت می‌باشد.

| |
|---|
| (چرخه ساعتگرد) $W = -S$ (کار محیط روی دستگاه در یک چرخه) |
| (چرخه پادساعتگرد) $W = +S$ (کار محیط روی دستگاه در یک چرخه) |

اگر در سؤال کار انجام شده توسط دستگاه بر روی محیط را خواستند، علامت مربوط به مساحت را برعکس چیزی که در بالا ذکر شده می‌نویسیم.

**فصل پنجم**

**مثال: با توجه به چرخه به شکل مقابل به سؤالات زیر پاسخ دهید.**




**الف) کار انجام شده بر روی گاز چند ژول است؟**

**ب) در این فرآیند به گاز گرما داده شده است یا گرما از آن گرفته شده است و مقدار آن چقدر است؟**

**ج) کار انجام شده توسط گاز بر روی محیط چند ژول است؟**

**پاسخ:**

الف) ساعتگرد $W=-S$

$$W=-\frac{(۲\times۱۰^{۴}-۱۰^{۴})\times(۱۰۰\times۱۰^{-۳}-۴۰\times۱۰^{-۳})}{۲}=-۳۰۰$$

ب) در چرخه $\Delta u=۰\Rightarrow W=-Q\Rightarrow Q=+۳۰۰$

چون علامت Q مثبت شده است، بنابراین گاز ۸۰۰ ژول گرما دریافت کرده است.

ج) (چرخه ساعتگرد) $W=-S$ (کار محیط روی دستگاه در یک چرخه)

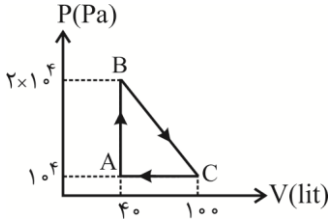
(چرخه پادساعتگرد) $W=+S$ (کار محیط روی دستگاه در یک چرخه)

(چرخه سا عتگرد) $W=+S$ (کار دستگاه روی محیط در یک چرخه)

(چرخه پادساعتگرد) $W=-S$ (کار دستگاه روی محیط در یک چرخه)

.

**تست ۱: نمودار فرآیند گاز کاملی به شکل مقابل است. در این فرآیند، کار انجام شده بر روی گاز چند ژول است؟**




۱) ۹۰۰+ ۲) ۹۰۰-

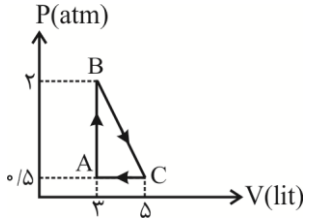
۳) ۳۰۰- ۴) ۳۰۰+

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ چون چرخه ساعتگرد است، بنابراین کار انجام شده روی گاز منفی می‌باشد که مساوی مساحت چرخه است.

$$S=\frac{۱}{۲}(۱۰۰-۴۰)\times۱۰^{-۳}\times(۲\times۱۰^{۴}-۱۰^{۴})=۳۰۰J$$

(چرخه ساعتگرد) $\Rightarrow W=-S$ (کار محیط در یک چرخه) $W=-۳۰۰J$

**تست ۲: مطابق شکل روبرو مقداری گاز کامل چرخه‌ی ABCA را طی می‌کند. کار خالص که گاز روی محیط انجام داده است چند ژول است؟**




۱) $-۷۵$　　۲) $-۱۵۰$

۳) $+۱۵۰$　　۴) $+۷۵$

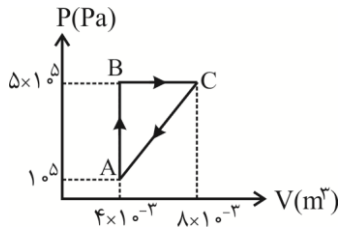
**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ چرخه در جهت ساعتگرد است. پس کار انجام شده روی گاز منفی است و در نتیجه کار انجام شده، توسط گاز مثبت می‌باشد.

$W = -S$ (چرخه ساعتگرد)　　$W$ (کار محیط)

$$\Rightarrow S = \frac{۱}{۲}(۵-۳)\times ۱۰^{-۳}\times(۲-۰/۵)\times ۱۰^{۵} = ۱۵۰$$

$W = -۱۵۰\,J \Rightarrow W = +۱۵۰\,J$ (دستگاه)　　$W$ کار محیط

**تست ۳: یک مول گاز تک اتمی یک چرخه را مطابق شکل پیموده است. این گاز در چرخه ABC .....**




۱) $۱۶۰۰\,J$ گرما گرفته است.

۲) $۱۶۰۰\,J$ گرما پس داده است.

۳) $۸۰۰\,J$ گرما گرفته است.

۴) $۸۰۰\,J$ گرما پس داده است.

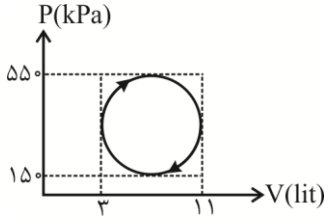
**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛

$$S_{ABC} = \frac{(۵-۱)\times(۸-۴)\times ۱۰^{-۳}}{۲} = ۸۰۰\,J$$

چون چرخه در جهت ساعتگرد است، کار انجام شده روی گاز منفی است.

$W = -S$ (چرخه ساعتگرد)　　$W$ (کار محیط در یک چرخه)

**تست ۴: $\frac{۱}{۴}$ مول از یک گاز کامل، چرخه‌ی دایره‌ای شکل روبرو را طی کرده است. کار انجام شده روی گاز در این چرخه چند ژول است؟ ($\pi = ۳$)**




۱) $۲۰۰۰\,J$　　۲) $-۲۴۰۰\,J$

۳) $+۲۴۰۰\,J$　　۴) $-۲۰۰۰\,J$

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛ چون مساحت داخل چرخه با علامت منفی، برابر کار انجام شده بر روی گاز است.

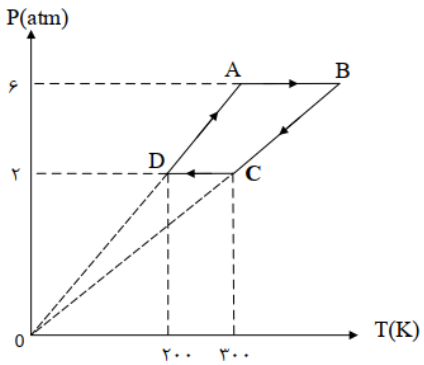
برای محاسبه‌ی مساحت دایره باید توجه کنید که شعاع دایره در راستای افقی، بیانگر ۴ لیتر و در راستای قائم، بیانگر ۲۰۰ کیلوپاسکال است. پس:

$$S = \pi R^{۲} = \pi R\times R = ۳\times ۴\times ۱۰^{-۳}\times ۲۰۰\times ۱۰^{۳} = ۲۴۰۰\,J$$

$$\Rightarrow W = -۲۴۰۰\,J$$

**فصل پنجم**

**تست : ۰/۵ مول گاز تک‌اتمی، چرخه‌ای مطابق شکل زیر را طی می‌کند. در این چرخه کار انجام شده توسط گاز بر روی محیط، چند ژول است؟ ($R = 8 \frac{j}{mol.K}$) (آزمون قلمچی)**




**۱) ۸۰۰**

**۲) ۸۰۰-**

**۳) ۴۰۰**

**۴) ۴۰۰-**

**اولا که نمودار $P$-$V$ نیست! پس نری یه وقت برای محاسبه مساحت نمودار!!**

**ببینید اینجا ۴ تا فرایند داریم پس کافیه کار تک تک اونها را حساب کنیم و بعدش با هم جمع کنیم، ولی قبلش یه تشابه مثلث میزنیم تا $\Delta T$ رو برای فرایند $AB$ محاسبه کنیم، از تشابه مثلث های$OAB$ و $ODC$ میفهمیم که $\Delta T$ برای $AB$ برابر میشه با ۳۰۰ کلوین حالا بریم برای ادامه حل.....**

**فرایند های $DA$ و$CB$ هم حجم هستند پس کارشون صفر میشه ولی فرایندهای CD و AB همفشار هستند پس از فرمول $W = -nR\Delta T$ باید محاسبه کنیم**

$$W_{CD} = -nR\Delta T = -0.5 \times 8 \times (-100) = +400$$

$$W_{AB} = -nR\Delta T == -0.5 \times 8 \times (300) = -1200$$

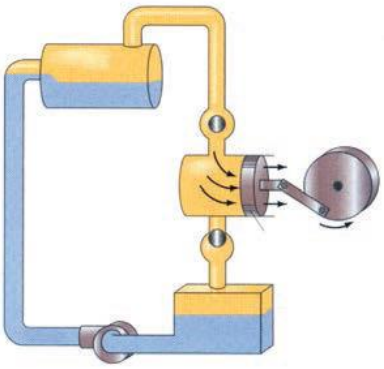
$$W_{\text{کل روی دستگاه}} = W_{CD} + W_{AB} + W_{DA} + W_{DC} = +400 - 1200 + 0 + 0 = -800$$

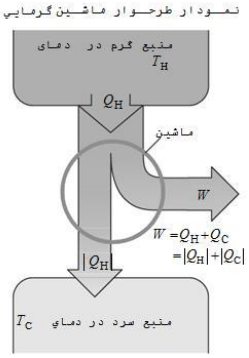
**مواظب باش گول نخوری! کار روی محیط رو پرسیده پس جواب ۸۰۰+ میشه!**

**ماشین‌های گرمایی و یخچال‌ها:**

# ماشین گرمایی:

این ماشینها با استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می کنند.(انرژی گرمایی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند.ماشین های گرمایی در دو نوع درون سوز و برون سوز موجود می‌باشند.






$$Q_H = |W| + |Q_L|$$

**ماشین گرمایی درون‌سوز:** یا موتورهای احتراق داخلی به موتورهایی گفته می‌شود که در آن‌ها مخلوط سوخت و اکسیدکننده معمولاً هوا یا اکسیژن در داخل محفظه بسته‌ای واکنش داده و محترق می‌شوند. بر اثر احتراق گازهای داغ با دما و فشار بالا حاصل می‌شوند و بر اثر انبساط این گازها قطعات متحرک موتور به حرکت درآمده و کار انجام می‌دهند (مانند موتور بنزینی ماشینها و هواپیماو...)

**ماشین گرمایی برون سوز : یا** موتور برون سوز یا احتراق خارجی نوعی ماشین گرمایی می‌باشد که در آن سیال عامل داخلی توسط انرژی حاصل از احتراق یک سیال عامل دیگر گرم شده و در طی یک چرخه ترمودینامیکی کار توسط سیال عامل داخلی انجام می‌گردد .انرژی حاصل از احتراق توسط مبدل حرارتی از سیال خارجی به سیال عامل داخلی منتقل می‌شود. (مانند موتور بخار وات ، توربین بخار و موتور استرلینگ.)

در بررسی هر یک از ماشینهای برو نسوز بخار و درو نسوز بنزینی برای ساده‌سازی محاسبات،فرایند را یک چرخهٔ آرمانی فرض می کنیم که فرایندها به طور ایستاوار انجام می‌شوند.

در طی این چرخه‌ها مقداری گرما از یک منبع دما بالا $Q_H$ ،می‌گیرد سپس مقداری کار انجام می شود W و مقداری گرما به یک منبع دمای اپایین $Q_L$ داده می شود(تلف میشود)

$$|Q_H| = |W| + |Q_L|$$

گرمایی که به چشمه‌ی سرد می‌دهد. گرمایی که از چشمه‌ی گرم می‌گیرد. کار انجام شده توسط ماشین

## رابطه بازده در ماشینهای گرمایی:

بازده واقعی ماشین های گرمایی با بازده ماشین های آرمانی متفاوت است .بازده واقعی ماشین های درون سوز بنزینی در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد، بازده واقعی ماشین های درون سوز دیزلی در حدود ٤٠ درصد و بازده ماشین های بخار نیز در حدود ٤٠ درصد است

$$|Q_H| = |W| + |Q_L|$$

بازده یک ماشین گرمایی را با حرف $\eta$ (بخواندی اِتا) را نمایش می‌دهند و از فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\text{بازده} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{کل انرژی داده شده}} \Rightarrow \eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

$$Q_H = W + Q_C \Rightarrow W = Q_H - Q_C$$

$$\boxed{\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H}} \Rightarrow \boxed{\eta = ۱ - \frac{Q_C}{Q_H}}$$

**تست ۱: بازده یک ماشین گرمایی که در هر چرخه ۸۰۰J گرما به چشمه سرد می‌دهد، برابر ۰/۲ است. این ماشین در هر چرخه چند ژول گرما از چشمه گرم می‌گیرد؟**

۱) ۱۰۰۰ ۲) ۱۶۰۰ ۳) ۲۰۰۰ ۴) ۴۰۰۰

**پاسخ:** گزینه‌ی ۱)؛

$$Q_C = ۸۰۰ \quad , \quad \eta = ۰/۲ \quad , \quad Q_H = ?$$

$$\eta = ۱ - \frac{Q_C}{Q_H} \Rightarrow ۰/۲ = ۱ - \frac{۸۰۰}{Q_H} \Rightarrow ۰/۸ = \frac{۸۰۰}{Q_H} \Rightarrow Q_H = ۱۰۰۰J$$

**تست ۲: بازده یک ماشین گرمایی ۲۰٪ و در هر دقیقه ۲/۴MJ گرما به چشمه سرد می‌دهد. توان قابل استفاده این ماشین چند کیلووات است؟** (کتاب بنفش قلم‌چی)

۱) ۱　　۲) ۴　　۳) ۶　　۴) ۱۰

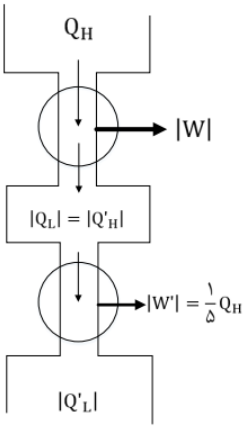
**پاسخ:** گزینه‌ی ۴)؛

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow Q_H = W + Q_C$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{W}{W + Q_C} \Rightarrow ۰/۲ = \frac{W}{W + ۲/۴} \Rightarrow W = ۰/۶\,MJ$$

$$P = \frac{|W|}{t} = \frac{۰/۶ \times ۱۰^۶}{۶۰} = ۱۰۰۰۰W = ۱۰kW$$

**تست: مطابق طرح‌واره‌ی شکل زیر در یک موتور بنزینی تمام گرمای تلف شده از طریق اگزوز خارج شده و این گرما به یک ماشین گرمایی دیگر به عنوان $Q_{H'}$ داده می‌شود و، ماشین گرمایی دوم، تمام انرژی گرمایی خود را از انرژی تلف شده‌ی ماشین گرمایی اول دریافت می‌کند. اگر بازده موتور بنرینی (ماشین اول) ۴۰ درصد باشد، بازده‌ی ماشین دوم تقریبا چند درصد است؟**




۱) ۵۰/۵

۲) ۲۵/۲

۳) ۳۰

۴) ۳۳/۳

$$\text{بازده ماشین اول} = \frac{40}{100} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} \rightarrow Q_L = 0.6Q_H$$

**تا اینجا فهمیدیم که گرمایی که ماشین اول میده به محیط چه قدره! حالا همین گرما قراره بره به عنوان گرمای ورودی به ماشین دوم یعنی** $\left|Q_{L_{\text{ماشین اول}}}\right| = \left|Q_{H_{\text{ماشین دوم}}}\right|$

**از طرفی توی شکل هم گفته که کار ماشین دوم برابر با یک پنجم گرمای ماشین اوله پس داریم:**

$$\text{بازده ماشین دوم} = \frac{W_{\text{ماشین دوم}}}{Q_{H\ \text{ماشین دوم}}} = \frac{\frac{1}{5}Q_H}{\frac{6}{10}Q_H} \rightarrow = 33.3$$

**فصل پنجم**

## چرخه کارنو چیست؟

چرخه کارنو، چرخه‌ای است که شامل دو فرآیند هم‌دما و دو فرآیند بی‌دررو است. اگر یک ماشین گرمایی مطابق چرخه کارنو (یعنی شامل دو فرآیند هم‌دما و در فرآیند بی‌دررو) کار کند، دارای بیش‌ترین بازده می‌باشد و برای محاسبه بازده از فرمول روبرو می‌توانیم استفاده کنیم.

$$\eta_{max} = ۱ - \frac{T_C}{T_H} = ۱ - \frac{|Q_C|}{|Q_H|}$$

**تست ۱: بازده یک ماشین گرمایی که با چرخه کارنو کار می‌کند، ۵۰٪ و دمای چشمه‌ی سرد آن $۲۷^\circ C$ است. دمای چشمه گرم این ماشین چند درجه سلسیوس است؟**

۱) ۵۴ ۲) ۳۲۷ ۳) ۲۷۰ ۴) ۵۱۹

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛ چون در صورت سؤال گفته شده است که چرخه از نوع کارنو است پس برای محاسبه‌ی بازده اجازه داریم از فرمول: $\eta = ۱ - \frac{T_C}{T_H}$ استفاده کنیم. فقط دقت شود که $T_C$ و $T_H$ بر حسب کلوین باید نوشته شود.

$$\eta = ۱ - \frac{T_C}{T_H} = ۰/۵ = ۱ - \frac{(۲۷۳ + ۲۷)}{T_H} \Rightarrow \frac{۳۰۰}{T_H} = ۱ - ۰/۵ = ۰/۵$$

$$\Rightarrow T_H = ۶۰۰K \text{ یا } ۳۲۷^\circ C$$

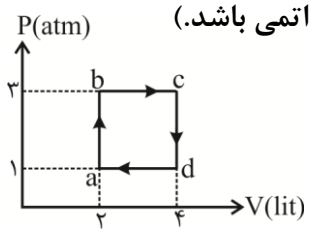
**تست ۲: دمای چشمه‌ی گرم یک ماشین گرمایی کارنو $۴۰۰K$ است. می‌خواهیم با ثابت نگه داشتن دمای چشمه‌ی سرد، بازده‌ی ماشین را از ۳۰٪ به ۵۰٪ برسانیم. دمای چشمه‌ی گرم چند درجه‌ی سلسیوس باید تغییر کند؟** **(بنفش قلم‌چی)**

۱) ۱۶۰۰ ۲) ۵۶۰ ۳) ۲۸۰ ۴) ۳۲۰

**پاسخ:** گزینه‌ی ۱)؛ با استفاده از بازده گرمایی در حالت اول، دمای چشمه‌ی سرد ماشین را محاسبه نمایید و سپس با استفاده از آن دمای چشمه‌ی گرم در حالت دوم را به دست آورید.

$$\begin{cases} \eta_۱ = ۱ - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow ۰/۳ = ۱ - \frac{T_C}{۴۰۰} \Rightarrow T_C = ۲۸۰K \\ \eta_۲ = ۱ - \frac{T_C}{T_{H'}} \Rightarrow ۰/۵ = ۱ - \frac{۲۸۰}{T_{H'}} \Rightarrow T_{H'} = ۵۶۰K \end{cases} \Rightarrow T_H = ۵۶۰ - ۴۰۰ = ۱۶۰K$$

**تست ۳: در چرخه‌ی زیر، فرآیندهای متوالی یک ماشین گرمایی ترسیم شده است. بازده این ماشین گرمایی تقریباً چند درصد است؟ (در صورتی که گاز مورد استفاده در چرخه یک مول گاز تک اتمی باشد.)**




۱) ٪۸۰ ۲) ٪۲۵ ۳) ٪۲۰ ۴) ٪۱۰۰

**پاسخ:** گزینه‌ی ۳)؛ برای محاسبه بازده، به گرمای $Q_H$ نیازمندیم که برابر مجموع گرمای داده شده به ماشین در دو فرآیند هم‌حجم ab و هم‌فشار bc است و همچنین به کار انجام شده توسط ماشین نیاز دارید که برابر مساحت بسته داخل چرخه است. ( cdو ad گرما گرفته شده)

$$Q_H = \text{هم‌حجم}\,Q_{ab} + \text{هم‌فشار}\,Q_{bc} = \frac{۳}{۲}V(\Delta P) + \frac{۵}{۲}P(\Delta V)$$

$$Q_H = \frac{۳}{۲}\times ۲\times ۱۰^{-۳}\times(۳-۱)\times ۱۰^{۵} + \frac{۵}{۲}\times ۳\times ۱۰^{۵}(۴-۲)\times ۱۰^{-۳} = ۶۰۰ + ۱۵۰۰ = ۲۱۰۰\,J$$

$$W = S_{abcd} = ۲\times ۱۰^{-۳}\times ۲\times ۱۰^{۵} = ۴۰۰\,J \Rightarrow \eta = \frac{W}{Q_H}\times ۱۰۰ = \frac{۴۰۰}{۲۱۰۰}\times ۱۰۰ ;\quad ٪۲۰$$

**جمعبندی:**

- بازده $= \dfrac{W}{Q_H}$
- بازده $= \dfrac{Q_H - Q_C}{Q_H}$
- بازده کارنو $\eta = \dfrac{T_H - T_C}{T_H} = 1 - \dfrac{T_C}{T_H}$

**حد اکثر بازده**

**فصل پنجم**

**تست:** یک ماشین گرمایی با بازده‌ی ۲۰ درصد در هر چرخه، مقدار ۴۰۰۰J گرما به محیط پس می‌دهد. کار حاصل از این ماشین، پس از چند چرخه می‌تواند جسمی به جرم ۵۰kg را از حال سکون از سطح زمین تا ارتفاع ۱ متری از زمین بالا ببرد و با سرعت ۱۰متر بر ثانیه پاشش کند؟ (از کلیه تلفات انرژی در حرکت جسم صرفنظر کنید)($g = 10\frac{m}{s^2}$)

۱) ۱ ۲) ۲

۳) ۳ ۴) ۴

$$\text{کار ماشین } W = 1000 \quad \frac{20}{100} = \frac{W}{W + 4000} \quad \text{بازده} = \frac{W}{W + Q_L}$$

$$W_T = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = 50(10)(1) + \frac{1}{2}50(100) = 3000$$

خب پس ۳۰۰۰ تا انرژی لازم هست و ماشین هم در هرچرخه ۱۰۰۰ تا کار تولید میکنه پس ۳ تا چرخه باید طی بشه(گزینه ۳)

$$\text{تعداد چرخه} = \frac{\text{کار کل}}{\text{کار هر چرخه}} = \frac{3000}{1000} = 3$$

## یخچال‌ها:

همانطور که در قسمت قبل دیدیم، یک ماشین گرمایی مقداری گرما از جسمی با دمای بالا (منبع گرمایی $Q_H$) می‌گیرد و مقداری از آن را به کار تبدیل می‌کند ($W$) و الباقی انرژی را به منبع سرد می‌دهد $Q_L$. حال اگر دستگاهی درست کنم که برعکس یک ماشین گرمایی کار کند و گرما را از جسم سرد بگیرد و به جسم گرم منتقل کند به آن یخچال می‌گویند.

$$\boxed{|Q_H| = W + Q_C}$$

### ضریب عملکرد یخچال ($K$):

یخچال با مصرف کار $W$ می‌تواند از منبع سرد، گرما را به منبع گرم منتقل کند. روشن است که هر اندازه انرژی مصرفی یخچال ($W$) کم‌تر باشد و گرمای بیش‌تری از منبع سرد $Q_L$ گرفته و به منبع گرم منتقل کند. یخچال بهتری است و استفاده از آن، مقرون به صرفه است. به همین دلیل برای یخچال‌ها، ضریبی تعریف می‌کنند که برای یک یخچال هر چه بزرگ‌تر باشد، از نظر اقتصادی، یخچال بهتری است. این ضریب را **ضریب عملکرد یخچال** می‌نامند و با نماد $K$ نشان می‌دهند.

ضریب عملکرد برابر نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد $Q_L$ به کاری است که موتور یخچال مصرف می‌کند ($W$).

$$\boxed{K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{|Q_H| - Q_C}}$$

### محاسبه بازده در یک یخچال:

$$K = \frac{Q_C}{W} \Rightarrow K = \frac{Q_H - W}{W} \Rightarrow K = \frac{Q_H}{W} - ۱ \Rightarrow \frac{Q_H}{W} = K + ۱$$

$$\Rightarrow \frac{W}{Q_H} = \frac{۱}{K+۱} \Rightarrow \boxed{\eta = \frac{۱}{K+۱}}$$

**تمرین : بازده یک ماشین گرمایی ۰/۲۵ است. اگر چرخه‌ی این ماشین گرمایی وارونه شده و تبدیل به یخچال گردد. ضریب عملکرد این یخچال چقدر است؟**

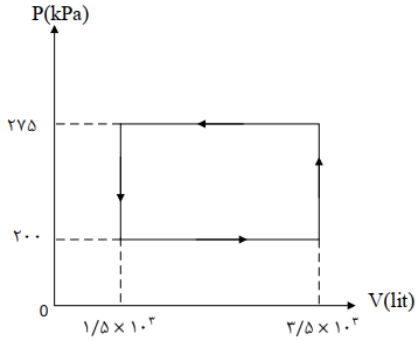
**پاسخ:**

$$\begin{cases} K = \frac{Q_C}{W} \\ Q_C = Q_H - W \end{cases} \Rightarrow K = \frac{Q_H - W}{W} = \frac{Q_H}{W} - ۱ \xrightarrow{\eta = \frac{W}{Q_H}} K = \frac{۱}{\eta} - ۱$$

$$\xrightarrow{\eta = ۰/۲۵} K = \frac{۱}{۰/۲۵} - ۱ = ۴ - ۱ \Rightarrow K = ۳$$

**فصل پنجم**

**تست: در یک یک یخچال فرضی که نمودار P-V مربوط به چرخه‌ی آن، مطابق شکل زیر است. اگر حداقل *3* چرخه لازم باشد تا *۶ کیلوگرم* آب صفر درجه‌ی سلسیوس درون یخچال به طور کامل منجمد شود. این یخچال در هر چرخه، برای انجاد آب، چند ژول گرما به فضای بیرون می‌دهد و ضریب عملکرد این یخچال تقریبا چند است؟** $(L_F = 350000 \frac{J}{kg})$




۱) $K = 4.66$ و $8/5 \times 10^5$

۲) $K = 4.06$ و $8/5 \times 10^5$

۳) $K = 3.66$ و $7/5 \times 10^5$

۴) $K = 4.66$ و $50 \times 10^4$

**ابتدا گرمای گرفته شده را محاسبه میکنیم:**

$$Q_{\text{شش چرخه}} = mL_f = 6 \times 350000 = 2100000$$

$$Q_{\text{یک چرخه}} = Q_L = \frac{2100000}{3} = 7 \times 10^5$$

**حالا باید با محاسبه مساحت چرخه، مقدار کار رو حساب کنیم(حواستون به تبدیل واحدها باشه!)**

$$W = \text{مساحت} = (275000 - 200000) \times (3.5 - 1.5) = 1.5 \times 10^5$$

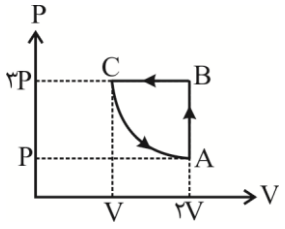
**حالا برای محاسبه ضریب عملکرد داریم:**

$$K = \frac{Q_L}{W} = \frac{7 \times 10^5}{1.5 \times 10^5} = 4.66$$

**همینطور برای محاسبه گرمایی که به محیط میدهد داریم:**

$$|Q_H| = Q_L + W = 7 \times 10^5 + 1.5 \times 10^5 = 8.5 \times 10^5$$

**تست ۲: کدام گزینه در مورد چرخه زیر درست است؟ ( CA بی‌دررو و گاز تک اتمی است.)**




۱) ماشین گرمایی با بازده ۳۵٪ است.

۲) یخچال با ضریب عملکرد ۴ است.

۳) ماشین گرمایی با بازده ۲۰٪ است.

۴). یخچال با ضریب عملکرد ۱ است.

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛ چون پادساعتگرد است، پس چرخه مربوط به یک یخچال است که در فرآیند هم‌حجم AB دمایش افزایش می‌یابد و گرمایی از محیط می‌گیرد که همان QC در چرخه‌ی یخچال است و در فرآیند هم‌فشار BC دمایش کاهش یافته و به محیط گرما می‌دهد که همان $Q_H$ در چرخه‌ی یخچال است.

$$Q_C = Q_{AB} \xrightarrow{\text{فرآیند هم‌حجم گاز تک اتمی}} Q_{AB} = \frac{۳}{۲} V_{AB}\Delta P = \frac{۳}{۲}(۲V)(۳P - P)$$

$$\Rightarrow Q_{AB} = Q_C = ۶PV$$

$$Q_H = Q_{BC} \xrightarrow{\text{فرآیند هم‌فشار گاز تک اتمی}} Q_{BC} = \frac{۵}{۲} P_{BC}\Delta V = \frac{۵}{۲} \times ۳P(V - ۲V)$$

$$\Rightarrow Q_{BC} = Q_H = -۷/۵PV \Rightarrow |Q_H| = ۷/۵PV$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{|Q_H| - Q_C} = \frac{۶PV}{۷/۵PV - ۶PV} = \frac{۶PV}{۱/۵PV} \Rightarrow K = ۴$$

**تست ۳: برای سرد کردن $۰/۵\,kg$ آب با دمای $۲۵^\circ C$ تا دمای $۵^\circ C$، موتور یک یخچال $۱۲۰۰\,J$ کار انجام می‌دهد، ضریب عملکرد یخچال چند است؟ (گرمای ویژه آب $۴۲۰۰\frac{J}{kg.K}$ است.)** (بنفش قلم‌چی)

۱) ۲/۵ ۲) ۳/۵ ۳) ۵ ۴) ۶

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$Q_C = mc\Delta T = ۰/۵ \times ۴۲۰۰(۲۵ - ۵) = ۴۲۰۰۰\,J$$

$$\Rightarrow K = \frac{Q_C}{W} = \frac{۴۲۰۰۰}{۱۲۰۰۰} = ۳/۵$$

**تست ۴: یک خنک‌کننده در هر ساعت $۶\times۱۰^{۶}$ ژول گرما از اطاق گرفته و در همان مدت $۷/۸\times۱۰^{۶}$ ژول گرما به فضای بیرون می‌دهد. توان این خنک‌کننده چند کیلووات است؟** (بنفش قلم‌چی)

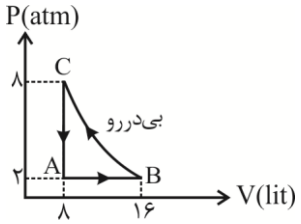
۱) ۰/۴ ۲) ۰/۵ ۳) ۴ ۴) ۵

**پاسخ:** گزینه‌ی ۲)؛

$$Q_H = Q_C + W \Rightarrow ۷/۸\times۱۰ = ۶\times۱۰^{۶} + W \Rightarrow W = ۱/۸\times۱۰^{۶}\,J$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۱/۸\times۱۰^{۶}}{۱\times۳۶۰۰} = \frac{۱۸۰\times۱۰^{۴}}{۳۶۰۰} = ۵۰۰\,W = ۰/۵\,kW$$

**تست ۵: شکل مقابل نمودار $(P-V)$ را برای یک یخچال با یک مول گاز تک اتمی نشان می‌دهد. ضریب عملکرد کدام است؟** $(R\ ;\ ۸\frac{J}{mol.K})$ (بنفش قلم‌چی)




۱) ۲/۲۵ ۲) ۳ ۳) ۹ ۴) ۱/۲۵

**پاسخ:** گزینه‌ی ۴)؛ در یخچال گرمای $Q_C$ گرمایی است که گاز از محیط سرد دریافت می‌کند و مقدار آن ثابت است و گرمای $Q_H$ گرمایی است که گاز به محیط بیرون یخچال می‌دهد و مقدار آن منفی است. پس در فرآیند $AB$ که فرآیند هم‌فشار انبساطی است و دما افزایش می‌یابد. گاز گرمای $Q_C$ را گرفته و در فرآیند $CA$ که فرآیندی هم‌حجم با کاهش فشار است. گاز گرمای $Q_H$ را به محیط می‌دهد.

$$Q_A = Q_C = Q_P \xrightarrow{\text{فرآیند هم‌فشار گاز تک اتمی}} Q_C = \frac{۵}{۲}P(V_C - V_A)$$

$$\Rightarrow Q_C = \frac{۵}{۲}\times۲\times۱۰^{۵}\times(۱۶-۸)\times۱۰^{-۳} = ۴۰۰۰\,J$$

$$Q_{CA} = Q_H = Q_V \xrightarrow{\text{فرآیند هم‌حجم گاز تک اتمی}} Q_H = \frac{۳}{۲}V(P_A - P_B) = \frac{۳}{۲}\times۸\times۱۰^{-۳}(۲-۸)\times۱۰^{۵}$$

$$\Rightarrow Q_H = -۷۲۰۰\,J \Rightarrow |Q_H| = ۷۲۰۰\,J$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{|Q_H| - Q_C} = \frac{۴۰۰۰}{۷۲۰۰-۴۰۰۰} = ۱/۲۵$$