ترمودینامیك: شـاخه‌ای از دانش فیزیک که خواص و کاربرد انرژی گرمایی و تبدیل کار و گرما به یکدیگر را مورد مطالعه قرار می‌دهد، ترمودینامیک نام دارد. قانونهای ترمودینامیک بر سـاز و کار ماشـین گرمایی حاکم‌اند. برای بررسـی و توصـیف قانونهای ترمودینامیک و چگونگی کاربرد آنها در ماشـین گرمایی ابتدا چند اصطلاح را تعریف می‌کنیم.

ماشـین گرمایی: به ابزا هایی که با دریافت انرژی گرمایی کار انجام می‌دهند، ماشـین گرمایی گفته می‌شود. به عبارت دیگر وسایلي که گرما را به انرژي مکانیکي تبدیل مي‌کنند.

دسـتگاه: به ماده خاصی که معمولاً مقداری گاز یا مایع اسـت و در تحول گرمایی شـرکت می کند، دسـتگاه می‌گوئیم.
محیط: آنچه در اطراف دستگاه قرار دارد و دستگاه با آنها تبادل کار و گرما می کند، محیط نام دارد.

مثال: مقداری معینی گاز درون یک سـیلندر قرار دارد. با یک پیسـتون می توان گاز را متراکم یا منبسـط کرد، دستگاه ومحیط را مشخص کنید؟
پاسخ:گاز درون سیلندر، دستگاه نام دارد، پیستون و سیلندر محیط نامیده می شوند.

کمیت ماکروسـکوپیك: کمیتهایي که وضـعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصـیف مي‌کنند، به عبارت دیگر کمیت ماکروسکوپیک به تمام دستگاه نسبت داده می شود. مثل: دما، فشار، گرما، گرماي ویژه، حجم و....

کمیت میکروسکوپیك: کمیت‌هایي که وضعیت ماده را در مقیاس کوچك توصیف مي‌کنند، یا کمیتهایی که به جزئیات رفتار مولکولها وابسته است. مثل: سرعت مولکولها، تکانه مولکولهای گاز ...

متغیر ترمودینامیکی: کمیتهاي ماکروسـکوپیکي که حالت دسـتگاه را مي‌توان بر حسـب آنها بیان کرد. مثل P ، V و T

معادله حالت: رابطه بین متغیرهاي ترمودینامیکي را معادله حالت گویند.

گاز کامل: گازي که بسیار رقیق و چگالي آن بسیار کم است. (از لحاظ ماکروسکوپیك)
یا گازي که از بر همکنش بین مولکولهاي آن بتوان صرفنظر کرد. (از لحاظ میکروسکوپیك)

نکته: یك گاز کامل زماني در حالت تعادل است که فشار و دماي آن در تمام نقاط گاز یکسان باشد و در نتیجه بتوان یك فشار و دما براي آن تعریف کرد. به عبارت دیگر گازي در حالت تعادل است که دما، فشار و حجم آن ثابت باشد. $\frac{PV}{T} = cte$
(این مقدار ثابت، فقط به مقدار گاز بستگي دارد و مستقل از نوع گاز است.)

اگر جرم گاز موجود در مخزنی را با m و جرم مولکولی آن را با M نشان دهیم، مقدار گاز بر حسب مول از رابطه $n = \frac{m}{M}$ بدست می‌آید. قانون گازهای کامل را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{PV}{T} \alpha n \Rightarrow \frac{PV}{T} = nR \Rightarrow PV = nRT$$

تعداد مولکولهاي موجود در هر مول از يك ماده برابر با عدد آووگادرو $(۶/۰۲\times ۱۰^{۲۳})$ است و R ثابت گازها ست که مقدار آن برابر است با: $R = ۸/۳۱۴ \frac{j}{mol.k}$

بیان دیگر قانون گازها: براي يك گاز كامل كميت $\frac{PV}{T}$ يعني حاصلضرب فشار گاز در حجم، تقسیم بر دماي مطلق گاز همواره ثابت است.

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

فرآیند ترمودینامیکی: اگر کمیت های ترمودینامیکی (فشار، حجم ، دما) تغییر کنند، می گوئیم یک فرآیند ترمودینامیکی رخ داده است. اگر مقدار گاز ثابت باشد، یعنی در طی فرآیند، ورود و خروج گاز رخ ندهد، رابطه‌ی زیر را می نویسیم.

$$\left.\begin{array}{l} n_۱ = \frac{P_۱V_۱}{RT_۱} \\ n_۲ = \frac{P_۲V_۲}{RT_۲} \end{array}\right\} \xrightarrow{n_۱=n_۲} \frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}$$

نکته: در استفاده از معادله‌ی حالت گاز، هنگامی که تساوی‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم. الزاماً یکای حجم و فشار باید هم جنس و یکسان باشند ولی دما حتماً باید بر حسب کلوین باشد.

نکته: می‌دانیم mol گاز در شرایط متعارف $(P = ۱۰^۵ pa, T = ۲۷۳k)$ دارای حجم $۲۲/۴Lit$ است.

فرآیند هم فشار (قانون شارل گیلو- ساك):

در فشار ثابت، حجم مقدار معيني گاز با دماي گاز(برحسب كلوين) متناسب است. يعني:

$$P_۱ = P_۲ \Rightarrow \frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

فرآیند هم دما (قانون بویل – ماریوت):

در دماي ثابت، حجم مقدار معيني گاز با فشار گاز نسبت عكس دارد. يعني:

$$T_۱ = T_۲ \Rightarrow P_۱V_۱ = P_۲V_۲$$

فرآیند هم حجم:

در حجم ثابت، فشار مقدار معيني گاز با دماي مطلق گاز نسبت مستقيم دارد. يعني:

$$V_۱ = V_۲ \Rightarrow \frac{P_۱}{T_۱} = \frac{P_۲}{T_۲} = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

۱) مخزنی به حجم $۴۰Lit$ حاوی مخلوطی از گازهای هیدروژن و هلیم در دمای $۱۲۷^{\circ}C$ و فشار $۲\times۱۰^{۵}Pa$ است. اگر حجم مخلوط $۸g$ باشد، جرم هیدروژن به جرم هلیم کدام است؟ $(R=۸\frac{j}{molK})$

۱) $\frac{۱}{۳}$ ۲) $\frac{۱}{۲}$ ۳) ۲ ۴) ۳ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۸)

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. ابتدا تعداد مول این مخلوط گازی را حساب می‌کنیم، داریم:

$$\frac{PV}{T}=nR\Rightarrow\frac{۲\times۱۰^{۵}\times۴۰\times۱۰^{-۳}}{۴۰۰}=۸n\Rightarrow n=۲/۵mol$$

به عبارتی داریم: $n_H+n_{He}=۲/۵mol\Rightarrow\frac{m_H}{۲}+\frac{m_{He}}{۴}=۲/۵\Rightarrow ۲m_H+m_{He}=۱۰g$

از طرفی جرم مجموع این دو گاز، برابر $۸g$ است، $\begin{cases}m_H+m_{He}=۸g\\ ۲m_H+m_{He}=۱۰g\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}m_H=۲g\\ m_{He}=۶g\end{cases}\Rightarrow\frac{m_H}{m_{He}}=\frac{۱}{۳}$

۲) در محفظه‌ای به حجم $۶lit/۳۳$ مخلوطی از دو گاز اکسیژن و هلیم وجود دارد. فشار گاز $۲\times۱۰^{۵}pa$ و دمای آن $۷^{\circ}C$ است. اگر جرم گاز $۵۴g$ باشد، چند درصد مول های آن اکسیژن است؟

$(M_{He}=۴\frac{g}{mol},M_{O_۲}=۳۲\frac{g}{mol},R=۸\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی -۹۷)

۱) ۵۰ ۲) ۶۰ ۳) ۴۰ ٤) ۳۰

پاسخ: گزینه ۱ درست است. به کمک قانون گازها تعداد مول گاز را محاسبه می‌کنیم.

$$T=۸+۲۷۳=۲۸۰k$$

$$PV=nRT\Rightarrow n=\frac{PV}{RT}=\frac{۲\times۱۰^{۵}\times۳۳/۶\times۱۰^{-۳}}{۸\times۲۸۰}=\frac{۶۷۲۰}{۲۲۴۰}=۳$$

بنابراین تعداد مول گاز ۳ می‌باشد،

$$n=\frac{m}{M}\Rightarrow m=nM\Rightarrow m_T=m_O+m_H\Rightarrow\begin{cases}n_O+n_{He}=۳\\ ۳۲n_O+۴n_{He}=۵۴\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}n_O=۱/۵\\ n_{He}=۱/۵\end{cases}$$

پس ۵۰٪ از حجم گاز، اکسیژن است.

۳) مخزنی با حجم ثابت $۸۰Lit$، محتوی مخلوطی از دو گاز هیدروژن و هلیم با دمای ثابت $۲۷^{\circ}C$ و فشار $۷/۵atm$ است. اگر جرم مخلوط $۸۰g$ باشد، چند درصد از جرم مخلوط را هلیم تشکیل می‌دهد؟

$(۱atm=۱۰^{۵}pa,R=۸\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۶)

۱) ۲۵ ۲) ٤۰ ۳) ۶۰ ٤) ۷۵

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. ابتدا تعداد مول این مخلوط را حساب می‌کنیم،

$$PV=nRT\Rightarrow ۷/۵\times۱۰^{۵}\times۸۰\times۱۰^{-۳}=n\times۸\times(۲۷+۲۷۳)\Rightarrow n=۲۵mol$$

گام دوم: جرم یک مول هیدروژن $(H_۲)$، $۲g$ و جرم یک مول گاز هلیم(He)، $۴g$ است. با توجه به این موضوع باید ببینیم که از هر گاز چند مول داریم: $\begin{cases}H_۲=x:x+y=۲۵\\ He=y:۲x+۴y=۸۰\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}x=۱۰\\ y=۱۵\end{cases}$

گام سوم: چند درصد هلیم را خواسته، بنابراین داریم:

$$m_{He}=۱۵\times۴=۶۰g\Rightarrow\frac{m_{He}}{m_{He}+m_{H_۲}}\times۱۰۰=\frac{۶۰}{۸۰}\times۱۰۰=۷۵\%$$

۴) حجم گاز کاملی در فشار $10^5 pa$ و دمای $27^\circ C$، برابر $1cm^3$ است. تعداد مولکول‌های گاز کدام است؟

(عدد آووگادرو = 6×10^{23}) $(R = 8\frac{j}{mol.K})$ (سراسری ریاضی-۹۱)

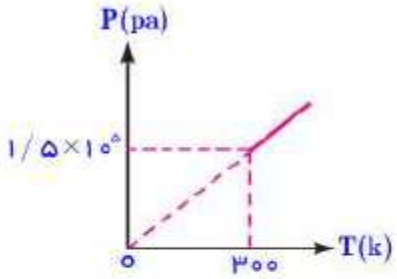
۱) $2/5\times10^{21}$ ۲) $2/5\times10^{19}$ ۳) $\frac{10^{23}}{24}$ ۴) $\frac{10^{21}}{24}$

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. ابتدا تعداد مول این مخلوط را حساب می‌کنیم،

$$\begin{cases} V = 1cm^3 = 10^{-6}m^3 \\ T = 27 + 273 = 300K \end{cases} , PV = nRT \Rightarrow 10^5\times10^{-6} = n\times8\times300 \Rightarrow n = \frac{10^{-3}}{24}mol$$

تعداد مولکولهای گاز برابر است با: $\frac{10^{-3}}{24}\times6\times10^{23} = \frac{1}{4}\times10^{20} = 2/5\times10^{19}$

۵) ظرفی فلزی به حجم $32Lit$ محتوی گاز کامل می‌باشد. اگر نمودار فشار گاز بر حسب دمای آن، به صورت شکل مقابل باشد، تعداد مول گاز کدام است؟ $(R = 8\frac{J}{mol.k})$ (سنجش -۹۷)

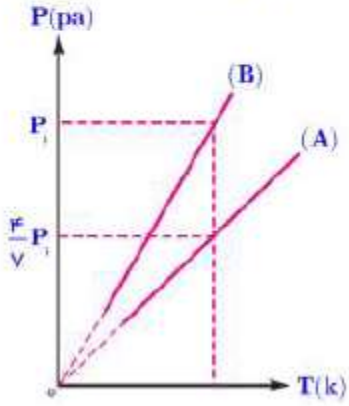


۱) ۱/۲ ۲) ۲ ۳) ۱/۵ ۴) ۳/۲

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. چون نمودار از مبدا مختصات (P-T) می‌گذرد، نتیجه می‌شود که فرآیند هم‌حجم است. پس داریم:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1/5\times10^5\times32\times10^{-3}}{8\times300} = 2mol$$

۶) اگر نمودار (P-T)ی ۵ مول گاز کامل A به حجم $10Lit$ و n مول گاز کامل B به حجم $16Lit$ به صورت شکل مقابل باشد، n کدام است؟ (سراسری ریاضی -۹۵)



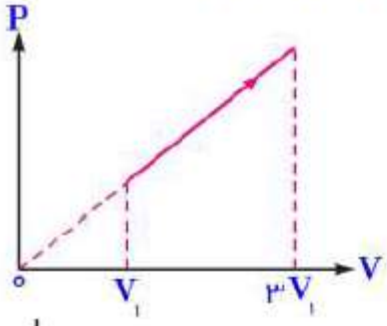
۱) ۱۰ ۲) ۱۴ ۳) ۲۰ ۴) ۲۸

پاسخ: گزینه ۲صحیح است. با توجه به رابطه‌ی $PV = nRT$ داریم:

$$\frac{P_AV_A}{n_AT_A} = \frac{P_BV_B}{n_BT_B} \xrightarrow[P_B=\frac{7}{4}P_A]{T_A=T_B} \frac{P_A\times10}{5\times T_A} = \frac{\frac{7}{4}P_A\times16}{n_B\times T_B} \Rightarrow$$

$$n_B = \frac{5\times\frac{7}{4}\times16}{10} = 14mol$$

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

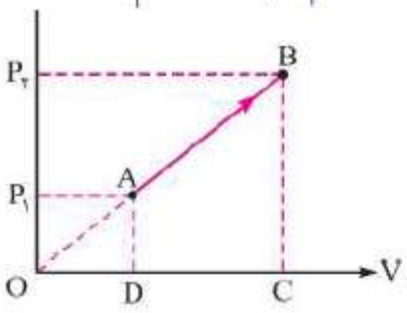


۱) ۱/۵ ۲) ۳ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۵)

۳) ۶ ۴) ۹

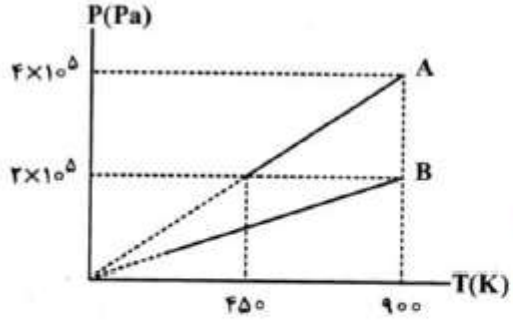
پاسخ: گزینه ۴ صحیح است. به کمک تشابه مثلث‌ها داریم:

$$\frac{OD}{OC}=\frac{AD}{BC}\Rightarrow\frac{V_1}{۳V_1}=\frac{P_1}{P_2}\Rightarrow P_2=۳P_1$$



به کمک قانون گازها داریم: $\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}\Rightarrow\frac{T_2}{T_1}=\frac{P_2V_2}{P_1V_1}=\frac{۳P_1\times ۳V_1}{P_1V_1}=۹$

۸) نمودار $(P-T)$ مربوط به ۲ مول گاز کامل A و ۳ مول گاز کامل B به صورت شکل مقابل است. نسبت حجم گاز B به حجم گاز A کدام است؟ (سنجش-۹۷)



۱) ۱/۵ ۲) $\frac{۱}{۳}$

۳) ۳ ۴) $\frac{۲}{۳}$

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. چون امتداد هر دو نمودار از مبدأ مختصات صفحه $(P-T)$ می‌گذرد، نتیجه می‌شود که هر دو فرآیند هم حجم است بنابراین خواهیم داشت:

$$V=\frac{nRT}{P}\Rightarrow\begin{cases}V_A=\frac{nRT}{P}=\frac{۲\times R\times ۴۵۰}{۲\times۱۰^۵}=۴۵۰R\times۱۰^{-۵}\\ V_B=\frac{nRT}{P}=\frac{۳\times R\times ۹۰۰}{۲\times۱۰^۵}=۳\times۴۵۰R\times۱۰^{-۵}\end{cases}\Rightarrow\frac{V_A}{V_B}=۳$$

رابطه قانون گازها بر اساس چگالی گاز:

می‌دانیم چگالی گاز با حجم آن نسبت عکس دارد، بنابراین به کمک قانون گازها داریم:

$$\frac{PV}{T}=nR\ ,\ V=\frac{m}{\rho}\Rightarrow\frac{P(\frac{m}{\rho})}{T}=nR\Rightarrow\frac{Pm}{\rho T}=nR\ \Rightarrow\ \frac{P}{\rho T}=\frac{nR}{m}=cte\Rightarrow\rho=\frac{Pm}{nRT}=\frac{PM}{RT}$$

این رابطه را به صورت زیر برای دو حالت مختلف می توان نوشت:

$$\frac{P_1}{\rho_1 T_1}=\frac{P_2}{\rho_2 T_2}\ \Rightarrow\ \frac{\rho_2}{\rho_1}=\frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}$$

مثال: فشار گازی را 20% افزایش می دهیم و دمای آن را 10% کاهش می دهیم، چگالی گاز چند درصد و چگونه تغییر می کند؟

پاسخ: ابتدا تغییرات حجم را محاسبه کرده، سپس آنرا معکوس می‌کنیم تا تغییرات چگالی بدست آید.

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}\Rightarrow\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{1/2P_1\times V_2}{0/9T_1}\Rightarrow\frac{V_2}{V_1}=\frac{0/9}{1/2}=\frac{3}{4}\Rightarrow\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{3}{4}\Rightarrow$$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_1}\times100=\frac{\frac{4}{3}\rho_1-\rho_1}{\rho_1}\times100=-25\%$$

فرآیند ترمودینامیکی: هنگامي كه دستگاه از يك حالت به حالت ديگر برود، گوييم يك فرآيند ترموديناميكي رخ داده است. فرآيندهاي ترموديناميكي را مي‌توان در دستگاه $P-V$ و يا دستگاه $V-T$ يا دستگاه $P-T$ نمايش داد.

فرآیند ایستاوار: اگر گرمای داده شده به دستگاه بسیار کوچک باشد، دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل بوده و سریع به تعادل می‌رسد، چنین فرآیندی را ایستاوار گوییم.

تذکر: علم ترموديناميك فقط به بررسي وضعيت ماده درحالت تعادل مي‌پردازد. بنابراين براي بررسي رفتار يك گاز با استفاده از اين علم، بايد فرآيند را آنقدر آهسته انجام دهيم كه گاز در هر لحظه، به حالت تعادل بسيار نزديك باشد. در نتيجه، متغيرهاي P ، T و V گاز در حين فرآيند در همه جا يكسان و مقدار مشخصي دارد.

تبادل انرژی: تبادل انرژي بين محيط و دستگاه از دو طريق صورت مي‌گيرد؛ گرما و كار

الف)گرما : مقدارانرژي است كه به علت اختلاف دما بين دو جسم مبادله مي‌شود.

(گرمايي كه دستگاه مي‌گيرد با علامت + و گرمايي كه دستگاه از دست مي‌دهد با علامت – نشان مي‌دهيم.)

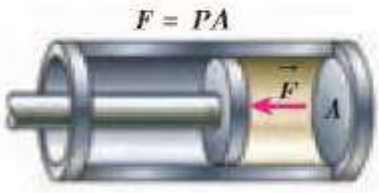
هنگامي كه دستگاه با محيط تبادل گرما مي‌كند، معمولاً فرض مي‌شود كه با يك منبع گرما در تماس است.

منبع گرما: جسمي است كه اگر گرما از دست بدهد، يا بگيرد دماي آن به طور قابل ملاحظه‌اي تغيير نكند.

مثل: استكان چاي درون يك اتاق.

مثال: آیا از مخلوط آب و یخ به عنوان منبع گرما استفاده می‌شود؟

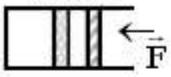
پاسخ: بله، زیرا چنان چه از مخلوط آب و یخ گرما گرفته شود و یا به آن گرمایی داده شود، دمای آن تغییری نمی کند.



ب)کار: در یك فرآیند ترمودینامیکي، حجم گاز (دستگاه) نیز باید تغییر کند و گاز متراکم یا منبسط شود، مثلاً اگر گاز را کمی گرم کنیم، گاز منبسط شده و پیستون که اصطکاک ناچیزی دارد به سمت چپ جابجا می‌شود. در این جابجایی نیروی F که گاز به پیستون وارد می‌کند، کار انجام می‌دهد. در این صورت تبادل انرژي بین دستگاه و محیط از طریق کار صورت مي‌گیرد.

نکته: کاري که محیط روي دستگاه انجام دهد، را با W و کاري که دستگاه روي محیط انجام دهد را با W' نمایش می‌دهیم.

(۲) (۱)



$W = F.d.\cos\alpha = Fd \xrightarrow{F=P.A} W = PA.d = -P.\Delta V$

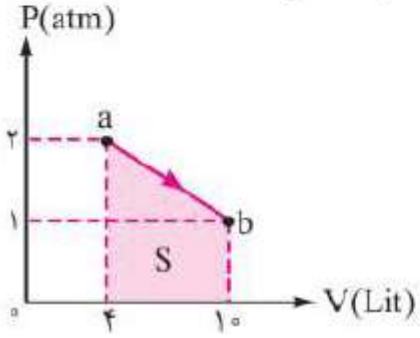
هرگاه دستگاه (گاز) متراکم شود، کار محیط روی دستگاه مثبت $(W > 0)$ است و کار گاز روی محیط منفی $(W' < 0)$ است.

هرگاه دستگاه (گاز) منبسط شود، کار محیط روی دستگاه منفی $(W < 0)$ است و کار گاز روی محیط مثبت $(W' > 0)$ است.

دقت کنید، در تراکم ΔV منفی و W مثبت است و در انبساط ΔV مثبت و W منفی است.

نکته: کار همواره برابر سطح محصور بین نمودار $P - V$ است.

$S = |W|$



قانون اول ترمودینامیك: یک دستگاه ترمودینامیک در حین تحول، مقداری گرما با محیط مبادله می‌کند. پس از اتمام فرایند، کار یا گرمای مبادله شده به عنوان بخشی از انرژی دستگاه محسوب می گردد و در نتیجه ، انرژی داخلی دستگاه تغییر می کند. اگر قبل از تحول انرژی داخلی دستگاه U_1 و پس از تحول، U_2 و کار و گرمای مبادله شده در حین تحول به ترتیب W و Q باشد، در این صورت:

تغییر انرژي دروني دستگاه برابر است با مجموع جبري گرمايي كه دستگاه دريافت مي كند و كاري كه روي آن انجام مي‌شود. يعني: $\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$

نکته: در این رابطه Q و W مي‌توانند منفي يا مثبت باشند. بنا به قرار داد اگر دستگاه از محیط گرما بگیرد Q مثبت و اگر دستگاه به محیط گرما بدهد Q منفي است.

نکته: اگر حجم دستگاه کاهش یابد، کاری که محیط روی دستگاه انجام می دهد، مثبت خواهد بود در این حالت می‌گوئیم روی دستگاه کار انجام شده است. همچنین اگر حجم دستگاه افزایش یابد، کاری که محیط روی دستگاه انجام می دهد، منفی خواهد بود در این حالت می گوئیم دستگاه کار انجام می‌دهد.

تذکر: به یاد داشته باشید که وقتی کار محیط مثبت است، کار دستگاه منفی خواهد بود و اگر کار محیط منفی باشد، کار دستگاه مثبت خواهد بود.

نکته: با توجه به نکات بالا، هنگامي كه دستگاه با محيط تبادل گرما دارد، ممكن است انرژي دروني آن افزايش $(\Delta U > 0)$، يا كاهش $(\Delta U < 0)$ يابد يا اينكه تغيير نكند $(\Delta U = 0)$.

تذکر: قانون اول ترمودینامیك، در واقع همان قانون پايستگي انرژي است كه در مورد فرآيندهاي ترموديناميكي بكار مي‌رود.

تذکر: گرما و كاري كه بين دستگاه و محيط مبادله مي‌شود، فقط درحين فرآيند معنا دارند. در واقع مي‌توان گفت كه انتقال انرژي بين دستگاه و محيط از طريق تبادل كار و گرما صورت مي‌گيرد. پس از اتمام فرآيند، انرژي‌هاي منتقل شده، به صورت انرژي دروني دستگاه در مي‌آيند و ديگر نمي‌توانيم از موجودي كار يا گرماي دستگاه صحبت كنيم.

انرژی درونی U: انرژی درونی، مجموع انرژي هاي مولكولهاي تشكيل دهنده ماده است كه با مجموع انرژي‌هاي جنبشي و پتانسيل مولكولهاي آن ماده برابر است.

نکته: در گاز كامل انرژي دروني فقط تابع دماي مطلق است و با آن نسبت مستقيم دارد. به عبارت ديگر با افزايش دماي گاز انرژي دروني افزايش مي‌يابد.

هرگاه طي فرآيندي انرژي دروني د ستگاه از مقدار اوليه U_1 به U_2 بر سد، مقدار تغيير انرژي دروني د ستگاه يعني: $\Delta U = U_2 - U_1$ به مقدار گرما و كار مبادله شده بين دستگاه و محيط ارتباط دارد.

تذکر: گرما و کاري که بين دستگاه و محيط مبادله مي‌شود، فقط درحين فرآيند معنا دارند. در واقع مي‌توان گفت که انتقال انرژي بين دستگاه و محيط از طريق تبادل کار و گرما صورت مي‌گيرد. پس از اتمام فرآيند، انرژي‌هاي منتقل شده، به صورت انرژي دروني دستگاه در مي‌آيند و ديگر نمي‌توانيم از موجودي کار يا گرماي دستگاه صحبت کنيم.

انرژی درونی U: انرژی درونی، مجموع انرژي هاي مولکول‌هاي تشکيل دهنده ماده است که با مجموع انرژي‌هاي جنبشي و پتانسيل مولکول‌هاي آن ماده برابر است.

نکته: در گاز کامل انرژي دروني فقط تابع دماي مطلق است و با آن نسبت مستقيم دارد. به عبارت ديگر با افزايش دماي گاز انرژي دروني افزايش مي‌يابد.

هرگاه طي فرآيندي انرژي دروني دستگاه از مقدار اوليه U_1 به U_2 برسد، مقدار تغيير انرژي دروني دستگاه يعني: $\Delta U = U_2 - U_1$ به مقدار گرما و کار مبادله شده بين دستگاه و محيط ارتباط دارد.

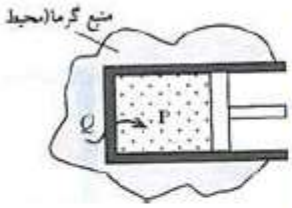
مثال: در يک فرآيند ترموديناميکي دستگاه $420j$ گرما از محيط دريافت مي‌کند و انبساط مي‌يابد. اگر کاري که دستگاه روي محيط انجام مي‌دهد $100j$ باشد، تغيير انرژي دروني دستگاه چند ژول است؟ (مثال۵-۱ کتاب درسی)

پاسخ: چون دستگاه از محيط گرما گرفته است، پس $Q = +420j$ و چون کار دستگاه روي محيط $100j$ است، پس کار محيط روي دستگاه $W = -100j$ مي‌شود و داريم: $\Delta U = Q + W = 420 - 100 = 320j$

فرآیندهای خاص:

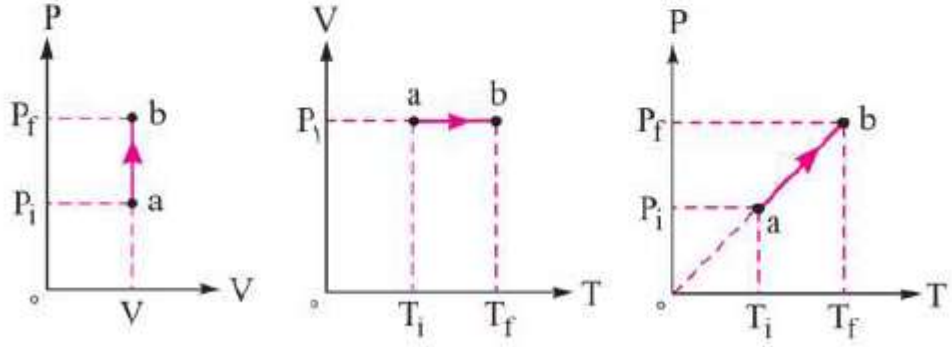
الف) فرآیند هم‌حجم ب) هم‌فشار ج) هم‌دما د) بی‌دررو

الف) فرآیند هم‌حجم: حجم گاز در اين فرآيند ثابت نگه داشته مي شود و در اين فرآيند کار صفر است. (چرا؟) همچنين در اين فرآيند فقط تبادل گرما با محيط صورت مي گيرد.



در شکل مقابل طی این فرآیند، گاز مقداری گرما از یک منبع گرما می‌گیرد و دما و فشار آن در حجم ثابت V_1، بالا می رود. زیرا با توجه به رابطه $PV=nRT$، با ثابت ماندن V، فشار گاز با دما نسبت مستقیم دارد. یعنی با افزایش دما (چون گاز گرما گرفته)، فشار زیاد و با کاهش دما، فشار گاز کم می شود. در نتیجه نمودار $P\text{-}T$ این فرایند خطی راست است که از مبدأ می گذرد.

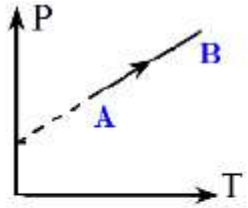
نمودارهای مختلف یک فرآیند هم حجم، که در طی آن گاز مقداری گرما می گیرد.



تذکر: نمودارهای فوق مربوط به هنگامی است که دستگاه گرما دریافت می‌کند. در صورتی که دستگاه گرما از دست بدهد فلش‌ها معکوس می‌شود.

با توجه به نمودار مقابل، حجم فرایندها را با هم مقایسه کنید.

می دانیم نمودار $P-T$ یک فرایند هم حجم به صورت یک خط راست با شیب ثابت است که از مبدأ می‌گذرد و به آن خط هم حجم می گوئیم. برای مقدار معینی گاز، هر چه تحول هم حجم آن در حجم کمتری رخ دهد، شیب آن بیشتر خواهد بود، چون $P=\frac{nR}{V}T$. لذا با توجه به شکل می بینیم که در یک دمای معین $P_3 > P_2 > P_1$ است، در نتیجه طبق رابطه $P=\frac{nR}{V}T$ داریم: $V_3 < V_2 < V_1$

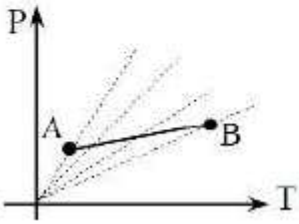


⑨در فرایند AB حجم گاز چگونه تغییر می‌کند؟

۱)ثابت است. ۲) زیاد می‌شود.

۳)کم می‌شود. ٤) ابتدا کم و سپس زیاد می‌شود.

پاسخ: اگر حجم گاز ثابت باشد، طبق رابطه‌ی $P=\frac{nR}{V}T$ نمودار فشار بر حسب دما مطلق خطی راست است که امتداد آن از مبدأ می گذرد. در نمودار داده شده، امتداد نمودار از مبدأ نمی‌گذرد پس حجم ثابت نیست. مطابق شکل اگر چند نمودار هم‌حجم رسم کنیم شیب این خطها از A به B کاهش می یابد، بنابراین $\frac{nR}{V}$ (شیب نمودار P-T) کم شده یعنی حجم افزایش می‌یابد.



نکته: ظرفیت گرمای مولی در حجم ثابت به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک اتمی $\frac{3}{2}R$ و برای گازهای دو اتمی $\frac{5}{2}R$ و برای گازهای چند اتمی $\frac{7}{2}R$ است.

روش دیگر محاسبه گرما برای فرایند هم حجم:

به کمک قانون گازها، داریم:

$$PV=nRT \Rightarrow V.\Delta P=nR\Delta T \Rightarrow \Delta T=\frac{V.\Delta P}{nR} \quad (1)$$

$$Q=nC_{MV}\Delta T \quad (2)$$

بنابراین برای محاسبه گرما در فرایند هم حجم، به کمک روابط (۱) و (۲) داریم:

محاسبه گرما برای گاز تک اتمی

$$Q=nc_{MV}\Delta T \Rightarrow Q=n.\frac{3}{2}R.\frac{V\Delta P}{nR}=\frac{3}{2}v.\Delta P$$

محاسبه گرما برای گاز دو اتمی

$$Q=nc_{MV}\Delta T \Rightarrow Q=n.\frac{5}{2}R.\frac{V\Delta P}{nR}=\frac{5}{2}v.\Delta P$$

محاسبه گرما برای گاز چند اتمی

$$Q=nc_{MV}\Delta T \Rightarrow Q=n\frac{7}{2}R\frac{V\Delta P}{nR}=\frac{7}{2}V.\Delta P$$

جدول فرآیند هم‌حجم

گاز	کاری که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد. (W)	تغییرات انرژی درونی (ΔU)	گرمایی که دستگاه می‌گیرد (Q)
تک اتمی	$W=0$	$\Delta U=Q=\frac{3}{2}V\Delta P$	$Q=\frac{3}{2}V\Delta P$
دو اتمی	$W=0$	$\Delta U=Q=\frac{5}{2}V\Delta P$	$Q=\frac{5}{2}V\Delta P$
سه اتمی	$W=0$	$\Delta U=Q=\frac{7}{2}V\Delta P$	$Q=\frac{7}{2}V\Delta P$

۱۰) فشار $0/5mol$ گاز کامل دو اتمی در حجم ثابت، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. اگر دمای گاز $300K$ باشد، گاز چند ژول گرما می‌گیرد؟ $(R=8\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۶)

۱) ۱۵۰۰ ۲) ۹۰۰ ۳) ۷۵۰ ۴) ۴۵۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. فشار ۲۵٪ افزایش یافته و حجم ثابت است، داریم:

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}\Rightarrow\frac{P_1}{300}=\frac{\frac{125}{100}P_1}{T_2}\Rightarrow T_2=375k$$

گام دوم: $0/5mol$ گاز داریم که حجمش ثابت است، چون گاز دو اتمی است داریم:

$$Q=\frac{5}{2}nR\Delta T=\frac{5}{2}\times 0/5\times 8\times(375-300)=750j$$

۱۱) درون دو ظرف با حجم یکسان، در یکی n مول گاز اکسیژن و در دیگری همان تعداد مول هلیم وجود دارد. طی یک فرآیند هم حجم، به هر دو گاز، مقدار گرمای یکسانی می‌دهیم. اگر نسبت افزایش دمای هلیم به افزایش دمای اکسیژن را با K و نسبت تغییر انرژی درونی گاز هلیم به تغییر انرژی درونی گاز اکسیژن را با m نشان دهیم. کدام گزینه درست است؟ (سراسری ریاضی -۹۸)

۱) $m=1, K>1$ ۲) $m=1, K=1$ ۳) $m<1, K<1$ ۴) $m>1, K>1$

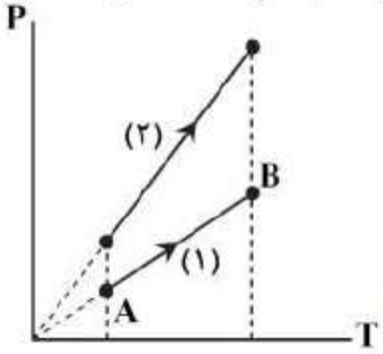
پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. اکسیژن دو اتمی و هلیم تک اتمی است.

$$Q_{He}=Q_{O_2}\Rightarrow n_{He}C_{V_{He}}\Delta T_{He}=n_{O_2}C_{VO_2}\Delta T_{O_2}\xrightarrow{C_{V_{He}}<C_{VO_2}}\Delta T_{He}>\Delta T_{O_2}\Rightarrow\frac{\Delta T_{He}}{\Delta T_{O_2}}>1\Rightarrow K>1$$

چون کار انجام شده در فرآیند هم حجم صفر است، Q و ΔU برابرند.

$$\frac{\Delta U_{He}}{\Delta U_{O_2}}=\frac{Q_{He}}{Q_{O_2}}=1\Rightarrow m=1$$

(۱۲) شکل مقابل، نمودار $P-T$ ی دو فرآیند ترمودینامیکی را برای مقداری گاز کامل نشان می‌دهد. چه تعداد از موارد زیر در مورد آن درست است؟ (گزینه ۲-۹۷)



- گرمای دریافتی گاز در فرآیندهای (۱) و (۲) یکسان است.
- تغییر انرژی درونی گاز در فرآیندهای (۱) و (۲) یکسان است.
- حجم گاز در حالت‌های A و B یکسان است.

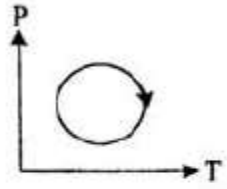
۱) ۱ ۲) ۲
۳) ۳ ۴) صفر

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. فرآیندهای (۱) و (۲) هم حجم هستند، داریم:

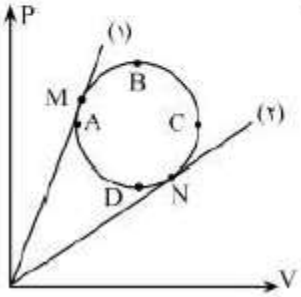
$$V_A = V_B \,,\, W_1 = W_2 = 0$$

از طرفی داریم: $\Delta T_1 = \Delta T_2 \Rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_2 \xrightarrow{\Delta U = Q + W} Q_1 = Q_2$

مثال: فرآیند چرخه‌ای روبه‌رو، مربوط به یک گاز کامل است. با ارائه دلیل (یا ارائه یک روش) دو نقطه را مشخص کنید که در آن حالت‌ها حجم گاز کمترین و بیشترین مقدار را داشته باشد.



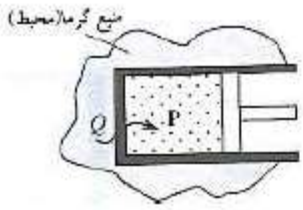
پاسخ:



مطابق شکل، نمودار دو فرآیند هم حجم (۱) و (۲) را رسم می‌کنیم. شیب این خط‌ها برابر $\frac{nR}{V}$ و $V_N > V_M$ است. توجه کنید که دو خط (۱) و (۲) که بر دایره مماس شده‌اند، بیشترین و کمترین شیب را نسبت به خط‌های دیگر که نمودار را قطع می‌کنند، خواهند داشت. بنابراین حجم گاز در نقطه‌ی M، کمترین مقدار و در نقطه‌ی N بیشترین مقدار را دارد.

فرآیند هم فشار: فرآیندی که در آن فشار ثابت می‌ماند.

فرآیند انبساطی هم فشار: استوانه محتوی گاز را در نظر می گیریم. که با یک منبع گرمایی در تماس است در ابتدا گاز در حالت تعادل است و حجم و فشار آن به ترتیب V_1 و P است. دمای گاز درون استوانه با دریافت گرما از منبع گرما (محیط) بالا می رود و در نتیجه گاز کمی منبسط و پیستون کمی به سمت راست جابجا می شود. هر چه جابجایی پیستون کمتر باشد وضعیت تعادل دستگاه به حالت تعادل نزدیک تر است. اگر انبساط گاز را با دادن مقدار کمی گرما ادامه دهیم به طوری که در هر مرحله پیستون آزادانه فاصله کوچکی به سمت راست جابجا شود وضعیت دستگاه به حالت تعادل نزدیک می‌شود و در نتیجه فشار گاز با فشار محیط در حین فرآیند هم فشار ثابت می‌ماند. (فرض کنید اصطکاک بین پیستون و استوانه ناچیز است.)



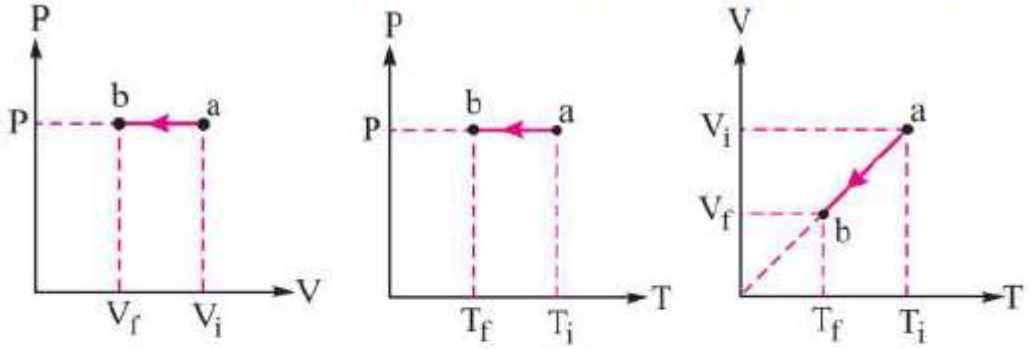
بنابراین می‌توان گفت در حین گرما دادن همواره فشار گاز با فشار محیط برابر است، یعنی در حین فرآیند فشار ثابت است. در این حالت شتاب پیستون بسیار کوچک و نزدیک به صفر است، پس نیرویی که گاز به پیستون وارد می کند باید با نیرویی که محیط به پیستون وارد می کند، برابر باشد.

نکته: در فرآیند هم فشار تبادل انرژی بین دستگاه و محیط هم از طریق گرما و هم از طریق کار صورت می‌گیرد.

در فرایند هم فشار مقداری گاز در یک محفظه قرار دارد و بدون آن که نیروی وارد بر بدنه‌ی این محفظه تغییر کند، دمای گاز را به آرامی بالا یا پایین می‌بریم. در این فرآیند با توجه به اینکه فشار ثابت می‌ماند، لذا حجم گاز متناسب با دمای آن بر حسب کلوین است.

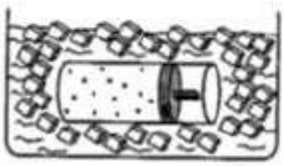
$$P_1 = P_2 \Rightarrow V \alpha T \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

نمودارهای $P\text{-}V$ ، $V\text{-}T$ و $P\text{-}T$ فرآیند تراکم هم‌فشار در شکلهای زیر رسم شده‌اند.



تذکر: در فرآیند انبساطی هم فشار، جهت فلش‌ها معکوس می شود.

مثال: یک مخزن استوانه‌ای شکل محتوی مقداری گاز کامل، توسط یک پیستون با اصطکاک ناچیز مسدود شده است. مخزن را درون مخلوط آب و یخ قرار می دهیم. (خردادماه ۸۹)

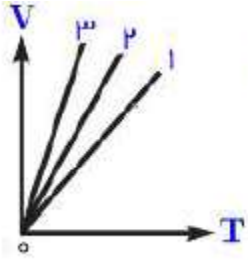


الف)پیستون به چه سمتی حرکت می کند؟

ب) با ذکر علت، نوع فرآیند را بنویسید.

پاسخ: الف)به طرف چپ

ب)چون سرعت پیستون ثابت است، برآیند نیروهای وارد بر آن صفر بوده و فرآیند هم‌فشار انجام می گیرد.

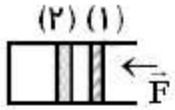


با توجه به نمودار مقابل، فشار فرایندها را با هم مقایسه کنید.

پاسخ: می‌دانیم نمودار V-T یک فرایند هم فشار به صورت یک خط راست با شیب ثابت است که از مبدأ می گذرد و به آن خط هم فشـــارمی گوئیم. طبق رابطه $V=\frac{nRT}{P}$، برای مقدار معینی گاز، هر چه تحول هم فشار آن درفشارکمتری رخ دهد، شیب آن بیشتر خواهد بود. لذا با توجه به شکل می بینیم که در یک دمای معین $V_۱ < V_۲ < V_۳$ است و داریم: $P_۳ < P_۲ < P_۱$

نکته: هر گاه چرخه‌ی $P-V$ ســاعتگرد باشــد، چرخه‌ی $P-T$ آن نیز ســاعتگرد و چرخه‌ی $V-T$ آن پادساعتگرد است.

محاسبه کار در یک فرایند هم فشار: کاری که محیط روی گاز (دستگاه) انجام می‌دهد به صورت مقابل محاسبه می شود. (A مساحت پیستون)



$$\left.\begin{matrix} F=PA \\ w'=Fd \end{matrix}\right\} \Rightarrow w'=PAd,\ Ad=\Delta V=V_۲-V_۱ \Rightarrow w'=P.\Delta V$$

نکته: چون فشار گاز ثابت است، لذا کار انجام شده از طرف محیط روی دستگاه (W) در فاصله‌ای که حجم دستگاه از $V_۱$ به $V_۲$ می رسد و کار انجام شده از طرف دستگاه روی محیط (W') در فاصله‌ای که حجم دستگاه از $V_۱$ به $V_۲$ می رسد، با هم برابر و دارای علامت مخالفند و در نتیجه:

$$W=-P\Delta V$$

نکته: در صورت تراکم گاز، حجم آن کمتر می شود $\Delta V<۰$ و در نتیجه $(W>۰)$ و $(W'<۰)$ خواهد شد.

نکته: رابطه $W=-P\Delta V$ را می توان به صورت زیر نوشت.

$$\left.\begin{matrix} W=-P\Delta V \\ P\Delta V=nR\Delta T \end{matrix}\right\} \Rightarrow W=-nR\Delta T$$

نکته: چون گاز در فرآیند هم فشار، در حین گرما دادن به گاز، منبسط می شود کاری که محیط روی دستگاه انجام می دهد منفی است.

نکته: در این فصل منظور از کار، کار انجام شده روی دستگاه (W) می باشد، مگر اینکه به صراحت قید کنیم.

نکته: حاصلضرب $P\Delta V$ برابر با سطح زیر نمودار $P-V$ است. این نتیجه برای تمام فرآیندهای دیگر نیز درست است، یعنی در هر فرآیند، قدر مطلق کار انجام شده را با محاسبه سطح زیر نمودار $P-V$ آن فرآیند می توان بدست آورد.

(۱۳) فشار ۰/۵mol گاز کامل دو اتمی در حجم ثابت، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. اگر دمای گاز ۳۰۰K باشد، گاز چند ژول گرما می‌گیرد؟ $(R = 8\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۶)

۱) ۱۵۰۰ ۲) ۹۰۰ ۳) ۷۵۰ ٤) ٤۵۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. فشار ۲۵% افزایش یافته و حجم ثابت است، داریم:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{300} = \frac{\frac{125}{100}P_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 375k$$

گام دوم: ۰/۵mol گاز داریم که حجمش ثابت است، چون گاز دو اتمی است داریم:

$$Q = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2} \times 0/5 \times 8 \times (375 - 300) = 750j$$

(۱۴) یک مول گاز تک اتمی، طی یک فرایند هم فشار، ۴۰j کار روی محیط انجام می‌دهد. تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟ (سراسری ریاضی -۹۷)

۱) ۱٤۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۶۰ ٤) ۲۰

پاسخ: گزینه ۳ درست است. در فرآیند همفشار گاز کامل تک اتمی داریم: $W' = 40J \rightarrow W = -40J$

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}P\Delta V = -\frac{3}{2}W = -\frac{3}{2} \times (-40) = 60j$$

(۱۵) حجم نیم مول گاز هلیم طی یک فرآیند هم فشار، از ۱۰Lit به ۸Lit می‌رسد. اگر دمای اولیه گاز برابر $27^{\circ}C$ باشد، کار انجام شده روی گاز چند ژول است؟ $(R = 8\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور -۹۷)

۱) -۲٤۰ ۲) -۱۲۰۰ ۳) ۲٤۰ ٤) ۱۲۰۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. در فرآیند هم فشار تک اتمی داریم:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{10}{300} = \frac{8}{T_2} \Rightarrow T_2 = 240K$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 240 - 300 = -60K \ , \ W = -nR\Delta T = -0/5 \times 8 \times (-60) = +240j$$

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. کار در فرآیند هم‌فشار از رابطه‌ی $W=-P.\Delta V=-nR\Delta T$ بدست می‌آید.

$$n_{H_2}=\frac{m}{M}=\frac{10}{2}=5mol \Rightarrow W=-nR\Delta T=-5\times 8\times(127-27)=-4000j=-4kj$$

این مقدار کاری است که محیط روی دستگاه (یعنی گاز) انجام داده است، پس کاری که گاز روی محیط انجام داده است برابر است با: $W'=-W=4kj$

(۱۶) به گاز کاملی در حجم ثابت، $500j$ گرما می‌دهیم و دمای گاز $30^\circ C$ افزایش می‌یابد. بار دیگر به همین گاز در فشار ثابت همین مقدار گرما می‌دهیم و دمای گاز $20K$ افزایش می‌یابد. تعداد مول‌های گاز کدام است؟ $(R=8\frac{j}{molK})$ **(مدارس برتر-۹۷)**

۱) $\frac{24}{25}$ ۲) $\frac{25}{24}$ ۳) $\frac{2}{5}$ ۴) $\frac{3}{17}$

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. گرما در فرآیند هم حجم و فرآیند هم‌فشار را نوشته و مساوی هم قرار می‌دهیم، از اینرو:

$$\left.\begin{matrix}Q_v=nC_v\Delta T\\ Q_p=nC_p\Delta T\end{matrix}\right\}\Rightarrow nC_v\times 30=nC_p\times 20\Rightarrow \frac{C_v}{C_p}=\frac{2}{3}\xrightarrow{C_p=C_v+R}\frac{C_v}{C_v+8}=\frac{2}{3}\Rightarrow C_v=16\frac{j}{molK}$$

$$Q_v=nC_v\Delta T\Rightarrow 500=n\times 16\times 30\Rightarrow n=\frac{50}{48}=\frac{25}{24}$$

(۱۷) دمای $10g$ گاز هیدروژن در فشار ثابت از $27^\circ C$ به $127^\circ C$ می‌رسد. کار انجام شده توسط گاز در این فرآیند چند کیلوژول است؟ $(R=8\frac{J}{mol.k})$ **(سراسری ریاضی-۹۶)**

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

(۱۸) نمودار $2Lit$ از یک گاز کامل در فشار $1/5\times 10^5 pa$ و دمای $27^\circ C$ در اختیار داریم. دمای این گاز را در یک فرآیند هم‌فشار به $77^\circ C$ می‌رسانیم، در این فرآیند، گاز روی محیط چند ژول کار انجام می‌دهد؟ (گزینه ۲-۹۷)

۱) ۵۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۱۵۰ ۴) ۲۰۰

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

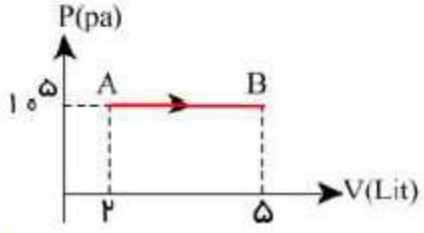
$$T=\theta+273\Rightarrow T_1=300K\ ,\ T_2=350K$$

$$P=cte\Rightarrow \frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}\Rightarrow \frac{2}{300}=\frac{V_2}{350}\Rightarrow V_2=\frac{7}{3}Lit$$

$$W_p=-P\Delta V=-1/5\times 10^5\times(\frac{7}{3}-2)\times 10^{-3}=-50j$$

پس گاز $50j$ کار روی محیط انجام می‌دهد.

(۱۹) کار انجام شده روی سیستم، (با توجه به شکل زیر) برابر است با:



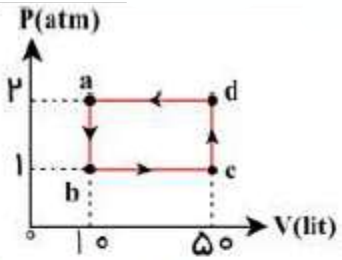
۱) $300j$ ۲) $-300j$

۳) $600j$ ۴) $-600j$

پاسخ:گزینه ۲ صحیح است. کار انجام شده روی سیستم، برابر سطح محصور بین نمودار $P-V$ است.

$$W=-P\Delta V=-10^5\times 3\times 10^{-3}=-300j$$

(۲۰) در شکل مقابل، کار انجام شده روی سیستم برابر است با:



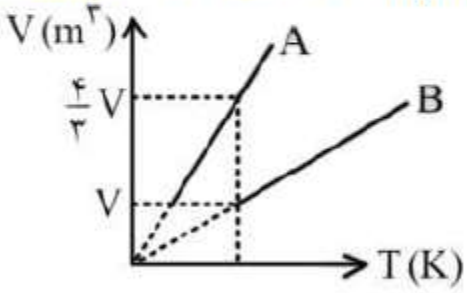
۱) ۲۰۰۰j　　۲) −۲۰۰۰j

۳) ۴۰۰۰j　　۴) −۴۰۰۰j

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. کار انجام شده روی سیستم، برابر سطح محصور داخل نمودار $P-V$ است. از طرفی چرخه پادساعتگرد است، بنابراین داریم:

$$|W| = S = ۱۰^۵ \times ۴۰ \times ۱۰^{-۳} = ۴۰۰۰j \Rightarrow W = +۴۰۰۰j$$

(۲۱) اگر نمودار $V-T$ برای $۴mol$ گاز آرمانی A در فشار $۵atm$ و n مول گاز آرمانی B در فشار $۸atm$ به صورت روبرو باشد، n کدام است؟ (مدارس برتر-۹۷)



۱) ۲/۴　　۲) ۳

۳) ۴　　۴) ۴/۸

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است. فرآیندهای A و B هم‌فشار هستند. در دمای ثابت حجم B برابر حجم A برابر $\frac{۴}{۳}V$ است، از اینرو:

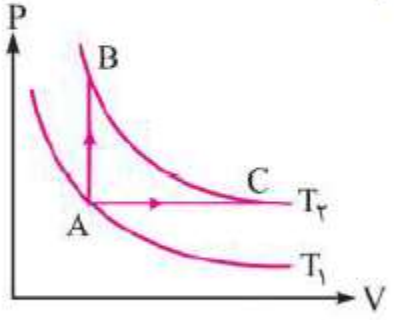
$$\left.\begin{matrix} P_A V_A = n_A R T_A \\ P_B V_B = n_B R T_B \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{P_A V_A}{P_B V_B} = \frac{n_A T_A}{n_B T_B} \Rightarrow \frac{۵}{۸} \times \frac{\frac{۴}{۳}V}{V} = \frac{۴}{n} \times ۱ \Rightarrow ۵n = ۲۴ \Rightarrow n = ۴/۸$$

نکته: ظرفیت گرمایی در فشار ثابت به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک اتمی $\frac{۵}{۲}R$ و برای گازهای دو اتمی $\frac{۷}{۲}R$ و برای گازهای چند اتمی $\frac{۹}{۲}R$ می‌باشد.

نکته: همواره $C_{MP} - C_{MV} = R$ می باشد.

مثال: در گاز کامل با فرض $T_۲ > T_۱$ همیشه C_{MP} بزرگتر از C_{MV} است. چرا؟ (یعنی اثبات کنید $C_{MP} = C_{MV} + R$)

پاسخ:



$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} \Rightarrow \begin{cases} nC_{MP}(T_۲ - T_۱) - p\Delta V = nC_{MV}(T_۲ - T_۱) \\ PV = nRT \Rightarrow P\Delta V = nR\Delta T \end{cases} \Rightarrow$$

$$nC_{MP} - nR = nC_{MV} \Rightarrow C_{MV} = C_{MP} - R$$

نکته: در فرایند هم‌فشار گاز کامل، قدر مطلق گرمای مبادله شده از قدرمطلق کار محیط روی دستگاه بزرگتر است، زیرا داریم:

$$\left|\frac{Q}{W}\right| = \frac{nC_{MP}\Delta T}{nR\Delta T} = \frac{C_{MP}}{R} > ۱$$

روش دیگر محاسبه گرما برای فرایند هم فشار:

با ترکیب رابطه $Q = nc_{MP}\Delta T$ و قانون گازها داریم:

$$PV = nRT \Rightarrow P\Delta V = nR\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{P\Delta V}{nR}$$

بنابراین برای محاسبه گرما در فرایند هم فشار برای گاز تک اتمی داریم:

$$Q = nc_{MP}\Delta T \Rightarrow Q = n \times \frac{5}{2}R\frac{P\Delta V}{nR} = \frac{5}{2}P\Delta V = -\frac{5}{2}W$$

به همین ترتیب برای گازهای دو اتمی و چند اتمی داریم:

محاسبه گرما برای گاز دو اتمی $Q = nc_{MP}\Delta T \Rightarrow Q = n \times \frac{7}{2}R\frac{P\Delta V}{nR} = \frac{7}{2}P\Delta V = -\frac{7}{2}W$

محاسبه گرما برای گاز چند اتمی: $Q = nc_{MP}\Delta T \Rightarrow Q = n \times \frac{9}{2}R\frac{P\Delta V}{nR} = \frac{9}{2}P\Delta V = -\frac{9}{2}W$

جدول فرآیند هم‌فشار

گاز	کاری که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد. (W)	تغییرات انرژی درونی (ΔU)	گرمایی که دستگاه می‌گیرد (Q)
تک اتمی	$-P\Delta V$ یا $-nR\Delta T$	$-\frac{3}{2}W$	$-\frac{5}{2}W$
دو اتمی	$-P\Delta V$ یا $-nR\Delta T$	$-\frac{5}{2}W$	$-\frac{7}{2}W$
سه اتمی	$-P\Delta V$ یا $-nR\Delta T$	$-\frac{7}{2}W$	$-\frac{9}{2}W$

(۲۲) مقداری گاز کامل تک اتمی در یک فرآیند هم‌فشار، گرمای Q را می‌گیرد و انرژی درونی آن به اندازه ΔU تغییر می‌کند. کدام گزینه درست است؟ (سراسری ریاضی خارج از کشور -۹۷)

۱) $Q=\Delta U$ ۲) $Q=-\Delta U$ ۳) $Q=\frac{3}{5}\Delta U$ ۴) $Q=\frac{5}{3}\Delta U$

پاسخ: گزینه ٤ صحیح است. در فرایند هم فشار تک اتمی داریم:

$$Q=\frac{5}{2}nR\Delta T \ , \ \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T \Rightarrow Q = \frac{5}{3}\Delta U$$

روش دوم:

$$\left.\begin{array}{l} Q=\frac{C_{MP}}{R}P\Delta V = \frac{5}{2}P\Delta V \\ \Delta U=\frac{C_{MV}}{R}P\Delta V = \frac{3}{2}P\Delta V \end{array}\right\} \Rightarrow Q = \frac{5}{3}\Delta U$$

۲۳) دمای نیم مول گاز تک اتمی طی یک فرآیند هم‌فشار از $۷^\circ C$ به $۱۴۷^\circ C$ می‌رسد. سپس طی یک فرآیند هم حجم، فشار گاز $\%۲۵$ کاهش می‌یابد. تغییر انرژی درونی گاز در کل این فرآیندها چند ژول است؟ $(C_V = ۱۲\frac{j}{molK})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۵)

۱) ۲۱۰ ۲) ۲۴۰ ۳) ۵۶۰ ۴) ۱۰۸۰

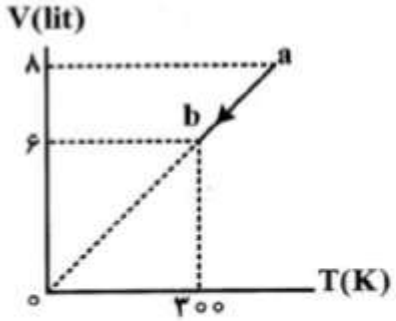
پاسخ: گزینه ۴ صحیح است. ابتدا دمای گاز را بر حسب کلوین محاسبه می‌کنیم، داریم:

$$\left.\begin{matrix} T_۱ = ۷ + ۲۷۳ = ۲۸۰K \\ T_۱ = ۱۴۷ + ۲۷۳ = ۴۲۰K \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{T_۲}{T_۳} = \frac{P_۲}{P_۳} \Rightarrow \frac{۴۲۰}{T_۳} = \frac{P_۲}{P_۲ - \frac{۲۵}{۱۰۰}P_۲} = \frac{۱۰۰}{۷۵} \Rightarrow T_۳ = \frac{۷۵}{۱۰۰} \times ۴۲۰ = ۳۱۵K$$

در نهایت با توجه به اینکه انرژی درونی تابع حالت است، تغییرات انرژی درونی در طی همه‌ی فرآیندها برابر $nC_V(T_۲ - T_۱)$ است. داریم:

$$\Delta U = nC_V(T_۲ - T_۱) = ۰/۵ \times ۱۲ \times ۳۵ = ۲۱۰j$$

۲۴) نمودار زیر، مربوط به $۰/۵$ مول گاز کامل تک اتمی است. در این فرآیند، گاز چند ژول گرما از دست داده و انرژی درونی آن چند ژول کاهش یافته است؟ $(R = ۸\frac{J}{mol.k})$



۱) ۶۰۰ و ۶۰۰ ۲) ۱۰۰۰ و ۶۰۰ (سنجش -۹۷)

۳) ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ ۴) ۱۲۰۰ و ۸۰۰

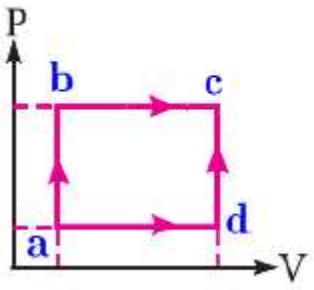
پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. چون نمودار از مبدأ مختصات $(V\text{-}T)$ می‌گذرد، نتیجه می‌شود که فرآیند ab هم‌فشار است. پس داریم:

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{V_a}{V_b} = \frac{۸}{۶} \Rightarrow T_a = \frac{۴}{۳} \times ۳۰۰K = ۴۰۰K$$

$$Q_{ab} = nC_P\Delta T = \frac{۵}{۲} \times ۰/۵ \times (-۱) \times (-۱۰۰) = -۶۰۰j$$

علامت منفی ΔU_{ab} گویای آن است که انرژی درونی گاز کاهش یافته است.

۲۵) مطابق شکل روبرو، یک دستگاه از دو مسیر abc و adc از حالت a به حالت c می‌رود. اگر در طول فرآیند abc، $۱۲۰j$ گرما گرفته و دستگاه $۸۰j$ کار انجام دهد و در مسیر adc، $۱۰۰j$ گرما بگیرد، دستگاه چند ژول روی محیط کار انجام می‌دهد؟ (مدارس برتر-۹۷)



۱) ۶۰ ۲) -۶۰

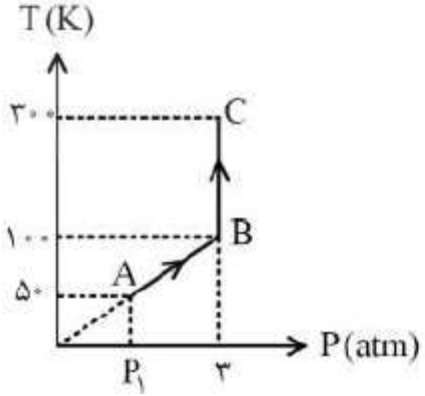
۳) ۱۰۰ ۴) -۱۰۰

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. با توجه به قانون اول ترمودینامیک تغییر انرژی درونی از هر دو مسیر یکسان است.

$$\Delta U_{abc} = \Delta U_{adc} \Rightarrow W_{abc} + Q_{abc} = W_{adc} + Q_{adc} \Rightarrow -۸۰ + ۱۲۰ = W_{adc} + ۱۰۰ \Rightarrow W_{adc} = -۶۰j$$

بنابراین کار دستگاه روی محیط $+۶۰j$ است.

۲۶) -مطابق شکل مقابل، یک مول گاز کامل تک اتمی فرآیندهای AB و BC را طی می‌کند. مجموع کار انجام شده توسط محیط بر روی دستگاه طی این دو فرآیند، چند ژول است؟ $(R = ۸\frac{j}{molK}, C_P = \frac{۵}{۲}R, C_V = \frac{۳}{۲}R)$ (مدارس پرتر-۹۷)



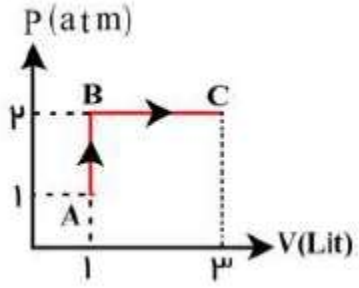
۱) ۸۰۰ ۲) -۸۰۰

۳) ۱۶۰۰ ۴) -۱۶۰۰

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است. فرآیند AB یک فرآیند هم حجم است و کار در این فرآیند صفر است. فرآیند BC یک فرآیند هم‌فشار است، بنابراین داریم:

$$W_{ABC} = W_{AB} + Q_{BC} = ۰ - P\Delta V \Rightarrow$$
$$W_{ABC} = -nR\Delta T = -۱ \times ۸ \times (۳۰۰ - ۱۰۰) = -۱۶۰۰j$$

۲۷) نمودار روبرو، نشان دهنده انجام دو فرایند روی یک گاز کامل تک اتمی است. در این دو فرایند، گاز مجموعا چند ژول گرما گرفته است؟



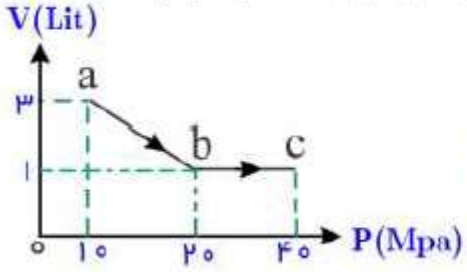
۱) ۱۵۰ ۲) ۱۱۵۰

۳) ۲۱۵۰ ۴) ۳۱۵۰

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

$$Q = \frac{۳}{۲}V\Delta P + \frac{۵}{۲}P\Delta V \Rightarrow$$
$$Q = \frac{۳}{۲} \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰^{۵} + \frac{۵}{۲} \times ۲ \times ۱۰^{۵} \times ۲ \times ۱۰^{-۲} = ۱۱۵۰j$$

۲۸) نمودار $P - V$ دستگاه استوانه - پیستون شامل گازی به صورت روبه رو ست. کار انجام شده بر روی دستگاه در فرایند ABC چند کیلو ژول است؟



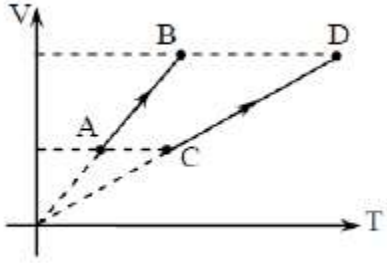
۱) -۳۵ ۲) -۷۰

۳) ۳۰ ۴) ۴۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. کار فرایند bc صفر است، زیرا یک فرآیند هم حجم است. در فرآیند ab داریم:

$$W_{bc} = ۰ \ , \ Q = \frac{۱}{۲}(۱۰ + ۲۰) \times ۱۰^{۵} \times ۲ \times ۱۰^{-۳} = ۳ \times ۱۰^{۴}j$$

۲۹) در شکل مقابل، دو فرآیند AB و CD گاز کاملی رسم شده است. کدام گزینه در مورد کار انجام شده بر روی گاز درست است؟



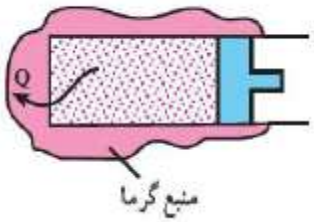
۱) $|W_{AB}| < |W_{BC}|$ ۲) $|W_{AB}| > |W_{BC}|$

۳) $|W_{AB}| = |W_{BC}|$ ۴) پاسخ بستگی به چند اتمی بودن گاز دارد.

پاسخ: فشار گاز در ۲ فرآیند ثابت است و هر چه شیب نمودار بیشتر باشد، فشار گاز کمتر است. $P_{AB} < P_{BC}$، با توجه به نمودار، تغییر حجم گاز در ۲ فرآیند یکسان است.

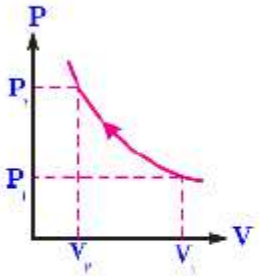
$$\begin{cases} W_{AB} = -P_{AB}\Delta V \\ W_{CD} = -P_{CD}\Delta V \end{cases} \Rightarrow |W_{AB}| < |W_{CD}|$$

فرآیند هم دما: فرآیندي که در دماي ثابت انجام مي‌شود.

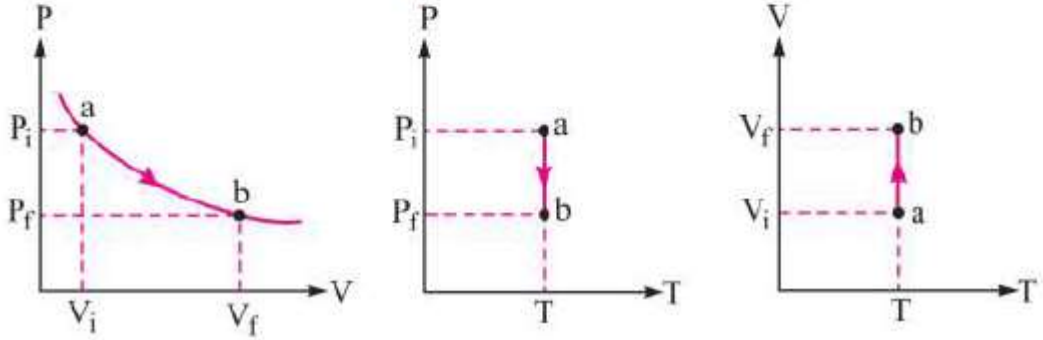


فرآیند تراکمی هم دما: براي انجام فرآیند هم دما دستگاهي مانند شکل، را در تماس با يك منبع گرما در نظر مي‌گيريم در ابتدا گاز درحالت تعادل است و دماي آن با دماي منبع گرمايي برابر است. گاز را اندکي متراکم مي‌کنيم در نتيجه دماي گاز بر اثر تراکم اندکي بالا مي‌رود و از دماي منبع گرما بيشتر مي‌شود. به علت اين اختلاف دما گاز اندکي گرما ازدست مي‌دهد تا دماي منبع و گاز يکسان مي‌شود اگر فرآيند متراکم کردن گاز را به آهستگي انجام دهيم. دماي گاز در طول تحول تغيير نخواهد کرد و فرآيند به صورت همدما انجام مي‌شود.

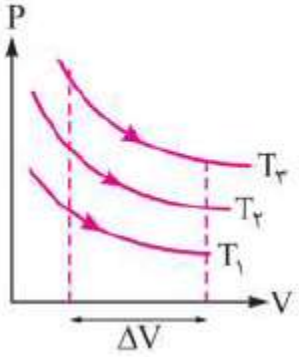
نکته: در فرآيند تراکمي همدما، گاز گرماي Q را از دست مي‌دهد $Q < 0$ و کار مثبت روي آن انجام مي‌گيرد. $(W > 0)$



نمودارهاي $P-V$، $T-V$ و $P-T$ يك فرآيند همدما تراکمي به صورت زير است.

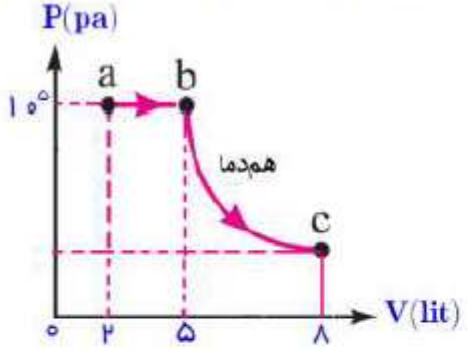


مثال: نمودار $P-V$ يك فرآيند هم دماي گاز کامل را در سه دماي مختلف رسم کنيد. (تمرين ۵-۴ کتاب درسی)



پاسخ: چون T ثابت است، مقدار nRT ثابت است، پس به ازاي $T_3 > T_2 > T_1$ نمودار مطابق شکل است. اندازه سطوح زير نمودار $P\text{-}V$ برابر اندازه کار انجام شده روي گاز است. با توجه به شکل مقابل ملاحظه مي‌شود؛ که هر چه دما بالاتر رود سطح زير نمودار بزرگتر است و در نتيجه هر چه دماي گاز بيشتر باشد، براي منبسط کردن آن تا يك اندازه معين بايد کار بيشتري انجام شود. $(W_3 > W_2 > W_1)$

۴۰) نمودار (P-V)ی مقدار معینی گاز تک اتمی مطابق شکل زیر است. انرژی درونی گاز در حالت C چند ژول از انرژی درونی گاز در حالت a بیشتر است؟ $(C_P=\frac{5}{2}R)$



۱) ۴۵۰ ۲) ۷۲۰ (سراسری ریاضی –۹۸)

۳) ۷۵۰ ۴) ۱۲۰۰

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

$$\Delta U = nC_v\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}(P_cV_c - P_aV_a) \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}(10^5\times 8\times 10^{-3} - P_a\times 2\times 10^{-3})$$

اکنون لازم است P_a را محاسبه کنیم، با توجه به نمودار $P_a=P_b$ است، پس کافی است P_b را به دست آوریم؛

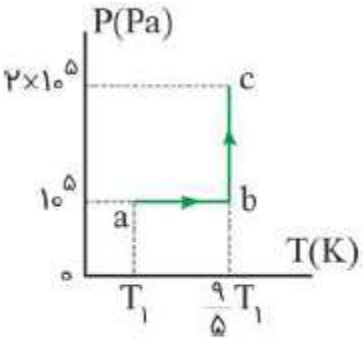
$$T_b = T_c \Rightarrow P_bV_b = P_cV_c \Rightarrow P_b\times 5 = 10^5\times 8 \Rightarrow P_b = 1/6\times 10^5 pa$$

با جایگذاری در رابطه‌ی بالا داریم: $\Delta U = \frac{3}{2}(800-320) = \frac{3}{2}\times 480 = 720j$

روش دوم: تغییر انرژی درونی یک گاز تک اتمی در یک فرآیند هم‌فشار برابر است با:

$$\Delta U=-\frac{3}{2}W \Rightarrow \Delta U=\frac{3}{2}P\Delta V = \frac{3}{2}\times\frac{8}{5}\times 10^5\times 10^{-3} = 720j$$

۴۱) نمودار $(P-T)$ی مقدار معینی گاز کامل تک اتمی، مطابق شکل زیر است. اگر حجم گاز در حالت C برابر ۵Lit / ۴ باشد، تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند abc چند ژول است؟ $(C_v=\frac{3}{2}R)$



۱) ۱۰۰۰ ۲) ۶۰۰ (سراسری ریاضی خارج از کشور–۹۸)

۳) ۲۵۰ ۴) ۱۵۰

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. مختصات نقطه C را کامل داریم. از معادله‌ی حالت گاز این قسمت، دمای T_1 و تغییرات دما را محاسبه و در آخر تغییرات انرژی درونی گاز را تعیین می‌کنیم.

$$\frac{9}{5}T_1 = T_c = \frac{P_cV_c}{nR} \Rightarrow T_1 = \frac{500}{nR} \Rightarrow \Delta T = \frac{5}{9}T_1 - T_1 = \frac{400}{nR}$$

$$\Delta U = nC_v\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T = 600j$$

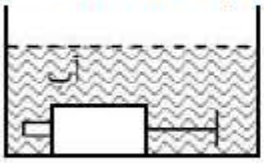
روش دوم: انرژی درونی در حالت b و c یکسان است، پس برای تغییرات انرژی درونی کافی است حالت a و b را در نظر بگیریم. فرآیند bc یک فرآیند هم دماست. در این فرآیند حجم و فشار گاز رابطه‌ی عکس دارند. از نمودار می‌توان نتیجه گرفت که حجم گاز در نقطه‌ی b برابر ۹Lit است. (چرا؟) فرآیند ab یک فرآیند هم‌فشار است. در این فرآیند حجم و دمای گاز رابطه‌ی مستقیم دارند. اینجا هم می‌توان نتیجه گرفت که حجم گاز در نقطه‌ی a برابر ۵Lit است؛ آنگاه داریم:

$$\Delta U = \frac{3}{2}P\Delta V = \frac{3}{2}\times 400 = 600j$$

مثال: یک سرنگ با انتهای بسته و محتوی مقداری هوا، مطابق شکل در ته ظرف آبی قرار دارد. هوای درون سرنگ در تعادل ترمودینامیکی است و پیستون می تواند آزادانه حرکت کند. اگر آب مخزن را به تدریج افزایش دهیم، نوع فرآیند مربوط به گاز درون سرنگ را با ذکر دلیل بنویسید. (خردادماه۸۱)

پاسخ: اگر دمای آب اضافه شده به ظرف با دمای آب درون آن یکسان باشد، گاز یا هوای درون سرنگ دچار یک فرآیند هم دما می‌گردد. با اضافه شدن آب به صورت تدریجی، ارتفاع آب درون ظرف افزایش می یابد. طبق رابطه‌ی $P = P_0 + \rho gh$ فشار درون سرنگ افزایش می یابد. از آن جایی که فشار هوای داخل سرنگ از فشار بیرون کمتر است، بنابراین گاز متراکم گردیده و دمای آن به اندازه‌ی بسیار کمی بالا می رود و چون سرنگ در تماس با آب است، گرما خارج شده و دما به حالت اولیه برمی‌گردد. به این ترتیب است که می توان گفت فرآیند هم دمای تراکمی صورت پذیرفته است.

۳۲ یک سیلندر با انتهای بسته محتوی مقداری هوا، مطابق شکل در ته ظرف آبی قرار دارد. هوای درون سیلندر در تعادل ترمودینامیکی است و پیستون آزادانه می‌تواند حرکت کند و اصطکاک پیستون با سیلندر ناچیز است. آب مخزن را قطره قطره (به تدریج) اضافه می‌کنیم. هوای درون سیلندر چه فرآیندی را انجام می دهد؟



۱)هم حجم ۲) هم فشار ۳) هم دما ۴)بی دررو

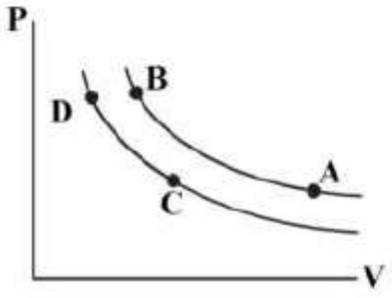
پاسخ: با افزایش تدریجی آب مخزن، طبق رابطه‌ی $P = P_0 + \rho gh$ فشار در ته ظرف به تدریج افزایش می‌یابد. بنابراین فشار وارد بر پیستون آهسته حرکت می‌کند و حجم هوای درون سیلندر طی یک فرآیند همدما کاهش می‌یابد. توجه کنید در فرآیند همدما گاز با چشمه‌ی گرما که در اینجا آب موجود در ظرف است در تعادل گرمایی بوده و حجم گاز به تدریج تغییر می‌کند.

۳۳ در یک مخزن ۴mol گاز اکسیژن وجود دارد. اگر در دمای ثابت نصف گاز موجود در مخزن را خارج کنیم، انرژی درونی گاز درون مخزن چند برابر انرژی درونی حالت اول می‌شود؟ (مدارس برتر-۹۷)

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

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. انرژی درونی گاز آرمانی مقدار گاز ثابت باشد به دمای گاز بستگی دارد و انرژی درونی مقدار معینی گاز در دمای ثابت مقدار ثابتی است. اما اگر با دمای ثابت، مقدار گاز را نصف کنیم، قطعاً انرژی درونی گاز باقیمانده نصف انرژی درونی کل گاز اولیه خواهد شد. طبق متن کتاب درسی؛ «انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های اجزای تشکیل دهنده آن ماده برابر است.» بنابراین وقتی تعداد ذرات نصف شود، مجموع انرژهای اجزای تشکیل دهنده نیز نصف می‌شود.

۳۴ شکل روبرو، نمودار $P-V$ ی مربوط به دو فرآیند همدما را برای یک گاز کامل نشان می‌دهد. کدام گزینه مقایسه درستی از دمای نقاط مشخص شده بر روی نمودار است؟ (گزینه ۲-۹۷)



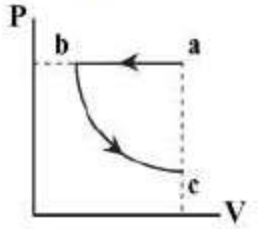
۱) $T_D > T_B > T_C > T_A$ ۲) $T_B > T_A > T_D > T_C$

۳) $T_B = T_A > T_D = T_C$ ۴) $T_D = T_C > T_B = T_A$

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. نقاط A و B روی یک نمودار هم‌دما و نقاط C و D روی نمودار هم‌دمای دیگری هستند، پس $T_B = T_A$ و $T_D = T_C$.

از طرفی داریم: $\left.\begin{matrix} P_B V_B > P_C V_C \\ \frac{PV}{nR} = T \end{matrix}\right\} \Rightarrow T_B > T_C \Rightarrow T_B = T_A > T_D = T_C$

(۳۵) یک گاز آرمانی فرآیند abc را مطابق شکل پیموده است. کدام گزینه در مورد تغییر انرژی درونی گاز و کار انجام شده روی گاز در این فرآیند، درست است؟ (گزینه ۲-۹۷)



۱) $W>0, \Delta U>0$ ۲) $W>0, \Delta U<0$

۳) $W<0, \Delta U>0$ ۴) $W<0, \Delta U<0$

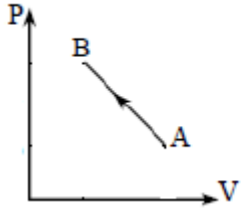
پاسخ: گزینه ۲ صحیح است.

$$\left.\begin{array}{l} V_a = V_c, P_a > P_c \\ \dfrac{P_a V_a}{T_a} = \dfrac{P_c V_c}{T_c} \end{array}\right\} \Rightarrow T_c < T_a \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U_{abc} < 0$$

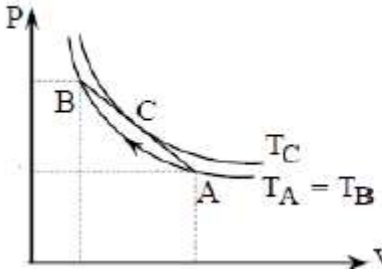
می‌دانیم $W_{abc} = W_{ab} + W_{bc}$ ، از طرفی سطح زیر نمودار $P-V$ فرآیند bc کمتر از سطح زیر نمودار $P-V$ فرآیند ab است، آنگاه داریم: $|W_{ab}| > |W_{bc}|$

فرآیند ab تراکم و bc انبساط است، آنگاه $W_{ab} > 0 \ , \ W_{bc} < 0$

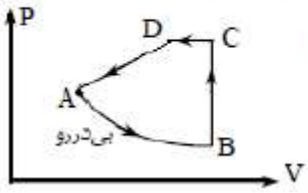
مثال: با توجه به نمودار شکل زیر، در مورد تغییرات دمایی از A تا B بحث کنید.



پاسخ: با توجه به شکل مقابل، AB را از دو فرآیند هم دما عبور داده‌ایم، زیر در این صورت می‌توان نوشت: $PV = nRT \Rightarrow P_A V_A = P_B V_B$ که با استفاده از خاصیت فرآیند همدما $T_2 > T_1$ و در نتیجه می توان گفت که ابتدا در نقطه‌ی A و دمای T_1 هستیم سپس به T_2 و در نهایت به B و به دمای T_1 باز می گردیم. پس ابتدا دما افزایش و سپس کاهش می یابد.

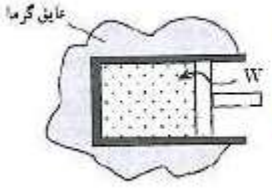


مثال: مقداری از یک گاز کامل چرخه ای مطابق شکل زیر را طی می کند، اگر فرایند AB بی دررو باشد چه رابطه ای بین دمای گاز در حالت های A ، B ، C و D وجود دارد؟

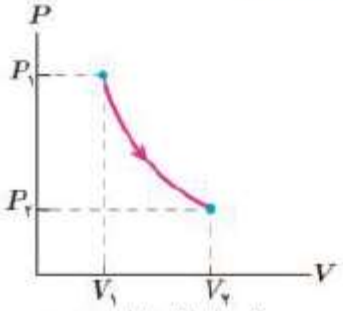


پاسخ: با رسم نمودارهای همدمایی که از نقاط مورد نظر می گذرند می توان به نتیجه رسید که $T_C > T_D > T_A > T_B$ ، همیشه شیب نمودار بی‌دررو در دستگاه $P-V$ بیشتر از شیب نمودارهم دماست. پس با توجه به شکل نقطه B کمترین دما را دارد.

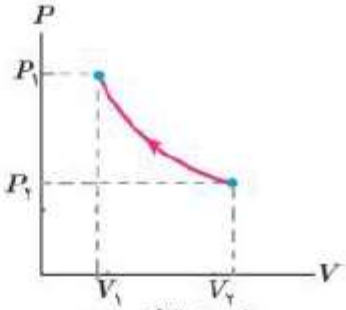
فرآیند بی‌دررو: دراین فرآیند بین دستگاه و محیط گرما مبادله نمي‌شود.$(Q=0)$ در این فرآیند فقط کار انجام مي شود. در عمل براي اينكه بين دستگاه ومحيط گرمايي مبادله نشود. دستگاه را بايد عايق بندي كنيم پس از عايق بندي دستگاه براي انجام فرآيند بي‌دررو عمل تراكم يا انبساط گاز را بسيار سريع انجام مي‌دهيم تا دستگاه به حالت تعادل نزديك شود.



شـــکل زیر، نمودار $P-V$ مقابل یك فرآیند بي‌دررو را نشـــان مي‌دهد كه در آن حجم گاز از V_1 به V_2 به طور سریع متراكم مي‌شود و در نتیجه با كاهش حجم، فشار افزایش مي‌یابد.



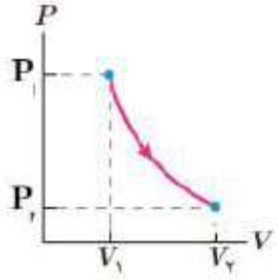
نمودار انبساطی بی‌دررو

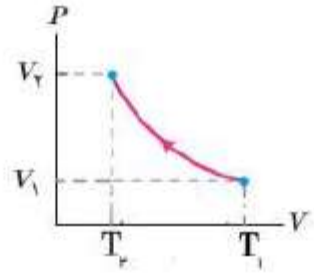


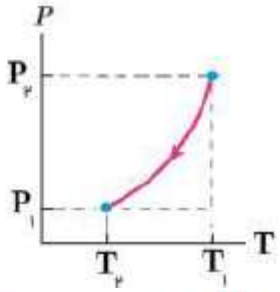
نمودار تراکمی بی‌دررو

نکته: از آنجايي كه مبادله گرما بین دســـتگاه و محیط نیاز به زمان دارد، هر گاه فرآیندي در زمان بســـیار كوتاهي انجام شـــود این فرآیند عملاً بي‌دررو اســـت. به همین جهت در برخي از دســـتگاهها به جاي عایق بندي دســـتگاه و انجام تحول انبســـاط یا تراكم در زمان طولاني، از فرآیندهاي ســـریع كه در عمل بي‌دررو هستند استفاده مي‌كنیم.

نمودارهای فرایند بی دررو:







(۳۶) در كدام فرآیند ترمودینامیكی، تغییر انرژی درونی گاز كامل با كار انجام شده روی گاز برابر است؟

۱)هم حجم ۲)هم دما ۳)بی دررو ۴)هم فشار

نکته: تراكم بنزین و هوا در موتور اتومبیل نمونه‌اي از تراكم تقریباً بي‌درور است كه با افزایش دماي مخلوط و بنزین همراه اســـت. انبســـاط گاز حاصـــل از ســـوختن بنزین پس از انفجار نیز تقریباً بي‌درور اســـت كه باعث كاهش دما مي‌شود.

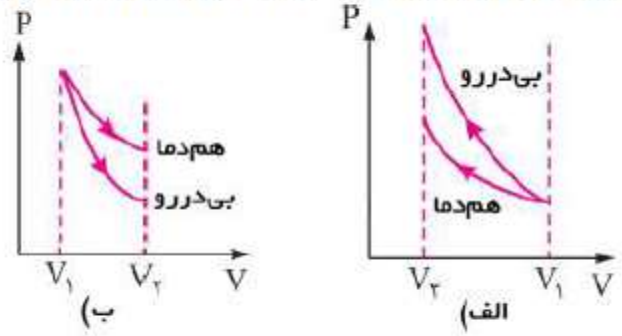
نکته: در فرآیند بي‌دررو، هنگام تراكم دماي گاز افزایش مي‌یابد و كار انجام شـــده توســـط گاز مثبت خواهد بود.

نکته: در فرآیند بي‌دررو، هنگام انبساط دماي گاز كاهش مي‌یابد و كار انجام شده توسط گاز منفي است.

هنگامی که با تلمبه تایر دوچرخه را باد می‌کنیم، انتهای لوله گرم می‌شود. علت را توضیح دهید.

پاسخ: هنگام باد کردن تایر هوای درون تلمبه طی یک فرایند بی‌دررو متراکم شده و در نتیجه انرژی درونی و دمای ان افزایش می یابد و تلمبه گرم می شود.

مقایسه فرآیند هم‌دما و بی‌دررو: در فرآیند بی‌دررو $Q = 0$ است. یعنی دستگاه عایق بوده و با محیط گرمایی مبادله نمی‌کند. وقتی تغییر حجم یکسان است. در فرآیند بی‌دررو در مقایسه با فرآیند هم‌دما، تغییرات فشار بیشتری رخ می‌دهد. می‌توان روی نمودار P-V این تفاوت را مشاهده کرد. ضمناً در طی فرآیند تراکم هم‌دما دمای گاز به مرور بیشتر می شود و در طی فرآیند انبساط بی‌دررو دمای گاز به مرور کاهش می یابد.



در شکل «الف»: هنگام تراکم، اگر حجم گاز نصف شود، در فرآیند هم‌دما، فشار گاز دو برابر می‌شود ولی در فرآیند بی‌دررو فشار گاز از دو برابر بیشتر می‌شود.

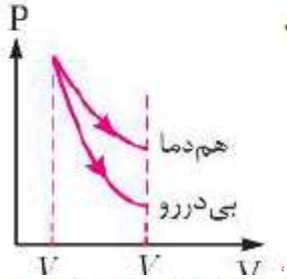
در شکل «الف»: هنگام انبساط، اگر حجم گاز دو برابر شود، در فرآیند هم‌دما، فشار گاز نصف می‌شود ولی در فرآیند بی‌دررو فشار گاز از نصف کمتر می‌شود.

مثال: گازي را كه در فشار P_1 و حجم V_1 در حال تعادل است، در نظر بگيريد. اين گاز را يك بار به صورت بي‌دررو و بار ديگر به صورت همدما تا حجم V_2 منبسط مي‌كنيم. (مثال ۵-۶ کتاب درسی)

الف) نمودار P-V این دو فرآیند را در یک دستگاه رسم کنید.

ب) در کدام فرآیند $|W|$ بیشتر است؟

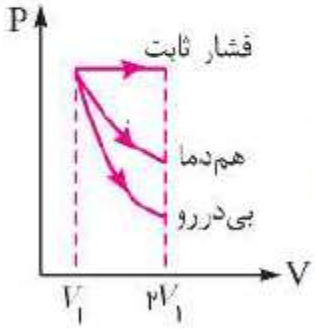
پاسخ:در فرایند همدما کار بیشتری انجام گرفته است، زیرا سطح زیر نمودار ان بیشتر از فرایند بی‌دررو ست.



مثال: حجم مقداری گاز کامل در شرایط (P_1, V_1, T_1) را یکبار با فرایند همدما، بار دیگر با فرایند هم فشار و سپس به صورت بی دررو به مقدار $2V_1$ می رسانیم. توضیح دهید، در کدام یک از فرایندهای ذکر شده، گرمای بیشتری به گاز داده شده است؟

پا سخ: در فرآیند بی‌دررو تبادل گرما صورت نمی گیرد و $Q = 0$. در فرآیند هم‌دما به علت صفر بودن تغییرات انرژی درونی سیستم، گرمای داده شده به گاز با کار انجام شده روی آن برابر است.

$$\Delta U = 0 \Rightarrow |Q| = |W|$$



در فرآیند هم فشار با توجه به رابطه‌ی $V = (\frac{nR}{P})T$ با افزایش حجم، دما نیز زیاد می شود و در نتیجه انرژی درونی سیستم افزایش می یابد و $\Delta U > 0$ ، اما با توجه به اینکه کار انجام شده روی گاز در این حالت منفی است پس $|Q| > |W|$ می باشد.

بنابراین با توضیحات بالا و مقایسه‌ی نهایی دو فرآیند هم فشار و هم دما و با توجه به اینکه کار فرآیند هم فشار نسبت به فرآیند هم دما بیشتر است (مساحت بیشتری دارد) می‌توان به این نتیجه رسید. $Q_P > Q_T > (Q_a = 0)$

بررسی تغییر انرژی درونی در فرایندهای خاص

۱.فرایند هم حجم: می دانیم در این فرایند کار انجام شده برابر صفر است و در نتیجه تغییر انرژی درونی فقط برابر گرمای مبادله شده می باشد.

$$W_V = ۰ \Rightarrow \Delta U = Q_V \Rightarrow \Delta U = nC_{MV}\Delta T$$

در فرآیند هم حجم برای گاز کامل تک اتمی داریم:

$$C_{MV} = \frac{۳}{۲}R \Rightarrow \Delta U = \frac{۳}{۲}nR\Delta T = \frac{۳}{۲}V\Delta P$$

برای گاز دو اتمی $\Delta U = \frac{۵}{۲}nR\Delta T = \frac{۵}{۲}V.\Delta P$ و چند اتمی $\Delta U = \frac{۷}{۲}nR\Delta T = \frac{۷}{۲}V.\Delta P$ می باشد.

۲. فرا یند هم فشار: در این فرایند علاوه بر انجام کار، گرما نیز مبادله می شود.

$$\Delta U = W_P + Q_P$$

نکته: در فرایند هم فشار گازها، همواره $|Q_P| > |W_P|$ است و علامت آنها همواره مخالف است. لذا جمع جبری $W_P + Q_P$ همواره هم علامت Q_P می باشد و در نتیجه ΔU همواره با Q_P هم علامت‌اند.

در فرآیند هم فشار گاز کامل تک اتمی داریم:

$$C_{MP} = \frac{۵}{۲}R \Rightarrow \Delta U = Q_P + W = \frac{۵}{۲}nR\Delta T + (-nR\Delta T) = \frac{۳}{۲}nR\Delta T = \frac{۳}{۲}P\Delta V$$

برای گاز دو اتمی داریم:

$$C_{MP} = \frac{۷}{۲}R \Rightarrow \Delta U = Q_P + W = \frac{۷}{۲}nR\Delta T + (-nR\Delta T) = \frac{۵}{۲}nR\Delta T = \frac{۵}{۲}P\Delta V$$

برای گاز چند اتمی $\Delta U = \frac{۳}{۲}nR\Delta T = \frac{۳}{۲}P\Delta V$ می باشد.

نکته: بطور کلی در فرآیند هم فشار ΔU را می توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$\Delta U = Q + W = nC_{MP}\Delta T - nR\Delta T = n\Delta T(C_{MP} - R) = nC_{MV}\Delta T$$

نکته: در فرآیند هم فشار گاز کامل تک اتمی، روابط زیر برقرار است.

$$Q = -\frac{۵}{۲}W \ , \ \Delta U = -\frac{۳}{۲}W \ , \ Q = \frac{۵}{۳}\Delta U$$

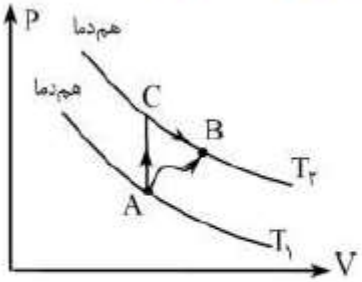
۳.فرایند هم دما: در این فرایند چون دما همواره ثابت است، بنابراین انرژی درونی تغییر نمی‌کند و داریم:

$$T = cte \Rightarrow \Delta U = ۰ \Rightarrow Q_T + W_T = ۰ \Rightarrow W_T = -Q_T$$

٤.فرایند بی‌دررو: در این فرایند گرما مبادله نمی شود و تغییر انرژی درونی فقط برابر کار انجام شده می‌باشد.

$$Q = ۰ \Rightarrow \Delta U = W$$

نکته: می‌توان ثابت کرد، تغییر انرژی درونی (کار) در فرایند بی‌دررو بین دو دمای مشخص برابر گرمای مبادله شده در فرآیند هم حجم بین آن دو دما است. برای این منظور مطابق شکل بین دو منحنی هم دما طی دو مسیر، ΔT یکی است پس ΔU نیز یکسان است. به طور کلی در فرآیندهایی که تغییر دما دستگاه معلوم است، تغییر انرژی درونی از رابطه $\Delta U = nC_{MV}\Delta T$ قابل محاسبه است.



فرض کنید مقدار معینی گاز کامل فرآیند پیچیده AB را طی کند، با توجه به قانون اول ترمودینامیک تغییر انرژی درونی دستگاه به مسیر فرآیند بستگی ندارد پس در مسیر ACB و مسیر AB تغییر انرژی درونی یکسان است: (مثال ۵-۷ کتاب درسی)

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{ACB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = \Delta U_{AC} + \Delta U_{BC} \xrightarrow{\Delta U_{BC}=0}$$
$$\Delta U_{AB} = Q_{AC} + W_{AC} \Rightarrow \Delta U_{AB} = Q_{AC} = nC_{MV}\Delta T$$

نکته: تغییر انرژی درونی یک دستگاه فقط به تغییر دمای آن بستگی دارد و به نوع فرایند یا فرایندهایی که دستگاه طی کرده است بستگی ندارد. لذا در کلیه فرایندهای هم حجم، هم فشار و بی دررو که دما تغییر می کند، تغییر انرژی درونی دستگاه به ازای یک تغییر دمای معین، یکسان است. اگر در یک مسئله نوع گاز معلوم باشد می توان اثبات نمودکه تغییر انرژی درونی از رابطه های زیر محاسبه می شوند.

الف) گاز تک اتمی باشد. $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$

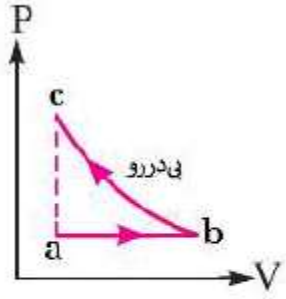
ب) گاز دو اتمی باشد. $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1)$

ج) گاز چند اتمی باشد. $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{7}{2}nR(T_2 - T_1)$

۳۷ یک گاز کامل با طی دو فرایند از حالت a به حالت c می‌رود. اگر در این مسیر کار انجام شده روی گاز W، گرمای داده شده به گاز Q و تغییرانرژی درونی گاز ΔU باشد. W، Q و ΔU به ترتیب چگونه‌اند؟

۱)مثبت، صفر و مثبت ۲)مثبت، مثبت و مثبت (سراسری ریاضی -۹۷)

۳) مثبت، منفی و صفر ۴)منفی، مثبت و مثبت



پاسخ: گزینه ۲ درست است. فرآیند ab انبساط همفشاري است، پس در این فرآیند گاز گرما مي‌گيرد. $Q_{ab} > 0$

فرآیند bc بي‌دررو‌ست، پس در این فرآیند گرما صفر است. بنابراین کل گرماي هر دو فرآیند برابر است با: $Q = Q_{ab} + Q_{bc} = (Q_{ab} + 0) > 0$

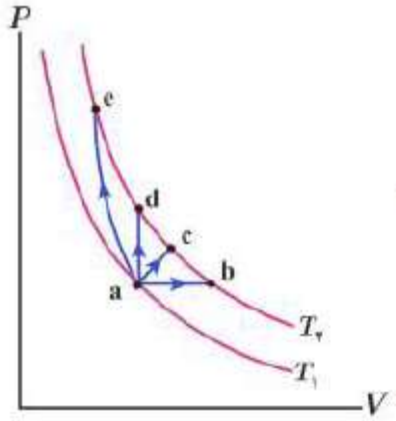
سطح زیر نمودارتراکمي bc ، مثبت و بیشتر از سطح زیر نمودار انبساطي ab است، بنابراین داریم:

$$W = W_{ab} + W_{bc} \xrightarrow{|W_{bc}| > W_{ab}} W > 0$$
$$W_{ab} < 0 \quad W_{bc} > 0$$

با توجه به قانون اول ترمودینامیک داریم:

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

۳۸) در شکل زیر، گاز کاملی از طریق چند فرآیند مختلف از دمای T_1 به دمای T_2 می‌رسد. اگر گرمایی که گاز می‌گیرد Q و کار انجام شده روی گاز W باشد، کدام مورد زیر درست است؟ (سنجش -۹۷)



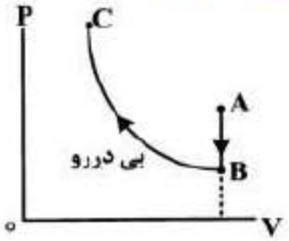
۱) $Q_{ab} > |W_{ab}|$ ۲) $Q_{ae} = Q_{ab}$

۳) $Q_{ae} < |W_{ae}|$ ۴) $|W_{aeb}| = |W_{ae}|$

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. با توجه به نمودار، خواهیم داشت:

$$\left.\begin{array}{l} T_2 > T_1 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0 \\ \Delta U = Q_{ab} + W_{ab} \\ V_b > V_a \Rightarrow W_{ab} < 0 \end{array}\right\} \Rightarrow Q_{ab} - |W_{ab}| > 0 \Rightarrow Q_{ab} > |W_{ab}|$$

۳۹) نمودار زیر، مربوط به مقداری گاز کامل تک اتمی است. اگر $Q_{AB} = -۵۰۰\,j$ و $W_{BC} = +۵۰۰\,j$ باشد، کدام رابطه بین دمای مطلق این سه نقطه، برقرار است؟ (سنجش -۹۷)



۱) $T_C > T_A > T_B$ ۲) $T_C = T_B < T_A$

۳) $T_C = T_B > T_A$ ۴) $T_C = T_A > T_B$

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است.

$$\left.\begin{array}{l} Q_{AB} = -۵۰۰j < 0 \Rightarrow T_A > T_B \\ \Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} = Q_{AB} + W_{BC} \Rightarrow \Delta U_{AC} = -۵۰۰ + ۵۰۰ = 0 \Rightarrow T_A = T_B \end{array}\right\} \Rightarrow T_A = T_C > T_B$$

۴۰) در یک فرآیند بی دررو، اگر حجم گاز از ۵Lit به ۴Lit برسد، کار انجام شده روی گاز برابر W_1 و تغییر انرژی درونی گاز ΔU_1 است و اگر در ادامه همان فرآیند، حجم گاز از ۴Lit به ۳Lit برسد، کار انجام شده روی گاز W_2 و تغییر انرژی درونی گاز ΔU_2 است. کدام رابطه درست است؟ (سراسری ریاضی -۹۸)

۱) $\Delta U_2 = \Delta U_1 \;,\; W_1 = W_2$ ۲) $\Delta U_2 > \Delta U_1 \;,\; W_2 > W_1$

۳) $\Delta U_1 > \Delta U_2 \;,\; W_1 > W_2$ ۴) $\Delta U_2 > \Delta U_1 \;,\; W_1 > W_2$

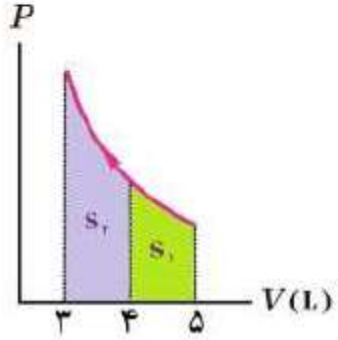
پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. در حل سوال به چهار نکته‌ی زیر باید توجه کرد:

۱) نمودار P-V برای چنین فرآیندی مطابق شکل است.

۲) به هنگام تراکم، کار صورت گرفته روی گاز مثبت است. (چرا؟)

۳) مقدار کار در هر فرآیند برابر با مساحت سطح زیر منحنی است.

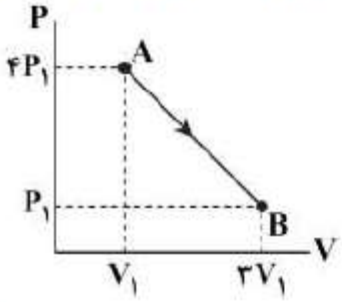
۴) در فرآیند بی‌دررو، تغییر انرژی درونی گاز برابر کار انجام شده بر روی گاز است. (چرا؟)



با توجه به نکات بالا، هنگام تراکم گاز از ۴Lit به ۳Lit ، سطح زیر منحنی بزرگتر است. بنابراین کار صورت گرفته روی گازدر این مرحله هم بیشتر بوده و تغییرات انرژی درونی گاز هم بیشتر خواهد بود.

$$S_۲ > S_۱ \Rightarrow W_۲ > W_۱ \Rightarrow \Delta U_۲ > \Delta U_۱$$

۴۱ نمودار رسم شده، فرآیند ترمودینامیکی مربوط به مقداری گاز کامل تک اتمی را نشان می‌دهد. گرمای مبادله شده در این فرآیند چند برابر $P_۱V_۱$ است؟ $(C_V = \frac{۳}{۲}R)$ (گزینه ۲-۹۷)



۱) $-۴/۵$ ۲) $+۳/۵$

۳) $+۵/۵$ ۴) $-۶/۵$

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. چون گاز منبسط شده است، پس $W < ۰$. انگاه داریم:

$$W = -S = -\frac{P_۱ + ۴P_۱}{۲} \times (۳V_۱ - V_۱) = -۵P_۱V_۱$$

$$\left.\begin{array}{l} \Delta U = nC_V\Delta T \\ P_BV_B - P_AV_A = nR\Delta T \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta U = nC_V\left(\frac{P_BV_B - P_AV_A}{nR}\right) = \frac{۳}{۲}(P_BV_B - P_AV_A) \Rightarrow$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{۳}{۲}(P_۱ \times ۳V_۱ - ۴P_۱ \times V_۱) = -\frac{۳}{۲}P_۱V_۱$$

$$\Delta U_{AB} = Q + W \Rightarrow -\frac{۳}{۲}P_۱V_۱ = Q + (-۵P_۱V_۱) \Rightarrow Q = +۳/۵P_۱V_۱$$

۴۲ مقداری گاز کامل، در فرآیندی از محیط گرما می‌گیرد. در این صورت: (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۸)

۱) دمای گاز افزایش می‌یابد. ۲) ممکن است دمای گاز ثابت بماند.

۳) انرژی درونی گاز افزایش می‌یابد. ۴) الزاماً گاز روی محیط، کار انجام می‌دهد.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. برای هر کدام از گزینه‌های نادرست مثال نقض بیان می‌کنیم؛

در فرآیند انبساط همدما، گاز گرما می‌گیرد، ولی دما و انرژی درونی گاز تغییر نمی‌کند (رد گزینه‌های ۱ و ۳).

در فرآند انبساط هم حجم، هم گاز گرما می‌گیرد ولی کاری انجام نمی‌دهد (رد گزینه ۴)

۴۳ مقداری گاز کامل را متراکم کرده و حجم آن را از $V_۱$ به $V_۲$ کاهش می‌دهیم، در این عمل، با کدام فرآیند کار انجام شده روی گاز، بیشتر است؟ (سنجش -۹۷)

۱) همدما ۲) هم‌فشار ۳) بی‌دررو ۴) با کاهش دما و فشار

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. مساحت سطح زیر نمودار، در فرآیند بی‌دررو بیشتر است، در نتیجه کار انجام شده روی گاز در این فرآیند بیشتر است.

۴۴ اگر دستگاه، گاز آرمانی باشد، در کدام یک از فرآیندهای زیر هم کار و هم گرما مبادله می‌شود و انرژی تغییر می‌کند؟ (سنجش -۹۷)

۱)بی‌دررو ۲)هم‌حجم ۳)هم‌فشار ٤)هم‌دما

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.
الف)در فرآیند بی‌دررو گاز کامل، $Q = ۰$ می‌باشد و $\Delta U=W$ است.
ب)در فرآیند هم حجم گاز کامل، $W = ۰$ می‌باشد و $\Delta U=Q$ است.
ج) در فرآیند هم‌دما گاز کامل، $\Delta U = ۰$ می‌باشد و $Q=-W$ است.
د)در فرآیند هم‌فشار گاز کامل، $Q = nC_p\Delta T$ ، $W = -P\Delta V$ و $\Delta U=nC_v\Delta T$ می‌باشد.

(۴۵) گاز درون یک محفظه را در فشار ثابت ۲×۱۰^۵pa سرد می‌کنیم و از حجم $۶lit$ به $۲lit$ می‌رسد. اگر در این فرآیند، $۲۸۰۰j$ گرما از دست بدهد، انرژی درونی آن چند ژول کاهش می‌یابد؟ (سراسری ریاضی -۹۵)

۱)۱۲۰۰ ۲)۱۸۰۰ ۳)۲۰۰۰ ٤)۳۶۰۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. کار در فرآیند هم‌فشار از رابطه‌ی $W = -P.\Delta V$ بدست می‌آید، داریم:

$$W = -P.\Delta V= -۲\times۱۰^۵ \times (۲-۶)\times۱۰^{-۳} = ۸۰۰j$$
$$\Delta U = Q + W = -۲۸۰۰ + ۸۰۰ = -۲۰۰۰j$$

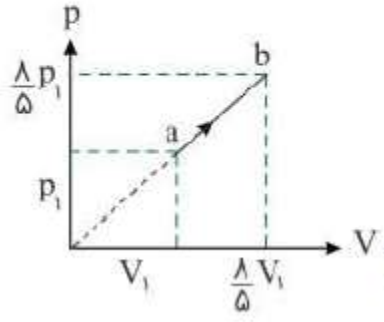
(۴۶) در یک انبساط بی‌دررو، کار انجام شده توسط یک مول گاز کامل تک اتمی برابر $۱۶۵۰j$ است. دمای گاز در این فرآیند، چند درجه‌ی سلسیوس کاهش می‌یابد؟ $(R=۸\frac{j}{molK})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۵)

۱)۶۵ ۲)۷۵ ۳)۱۱۲/۵ ٤)۱۳۷/۵

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است. گرمای مبادله شده در فرآیند بی‌دررو صفر است، کار در فرآیند بی‌دررو، برابر تغییرات انرژی درونی است؛ چون گاز تک اتمی است، داریم:

$$W = \Delta U = \frac{۳}{۲}nR.\Delta T \Rightarrow -۱۶۵۰=\frac{۳}{۲}\times۱\times۸\times\Delta T \Rightarrow \Delta T = -۱۳۷/۵K$$

(۴۷) نمودار $(P-V)$ ی $۰/۵mol$ گاز کامل دو اتمی مطابق شکل مقابل است. اگر دمای گاز در حالت a، $۳۰۰K$ باشد، تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند ab چند ژول است؟ $(R = ۸\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی خارج از کشور-۹۶)



۱)۴۶۸۰ ۲)۲۸۰۸
۳)۱۸۰۰ ٤)۱۰۵۰

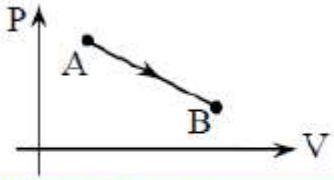
پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. تغییر انرژی درونی گاز دو اتمی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید، داریم:

$$\Delta U_{ab} = \frac{۵}{۲}\Delta(PV) = \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) = \frac{۵}{۲}\times(\frac{۸}{۵}P_۱\times\frac{۸}{۵}V_۱ - P_۱V_۱) = \frac{۵}{۲}\times(\frac{۶۴P_۱V_۱ - ۲۵P_۱V_۱}{۲۵}) = \frac{۳۹}{۱۰}P_۱V_۱$$

از طرف دیگر می‌دانیم $P_۱V_۱ = nR\Delta T_۱$ است، داریم:

$$\Delta U = \frac{۳۹}{۱۰}P_۱V_۱ = \frac{۳۹}{۱۰}\times۰/۵\times۸\times۳۰۰ = ۴۶۸۰j$$

۴۸) مطابق شکل، گاز کاملی طی یک فرآیند آرمانی از حالت A به B می رسد. کدام یک از جملات زیر الزاماً درست است؟



۱)انرژی درونی گاز کاهش یافته است.
۲)انرژی درونی گاز افایش یافته است.
۳)تغییر انرژی درونی گاز صفر است.
٤)کار انجام شده توسط گاز مثبت است.

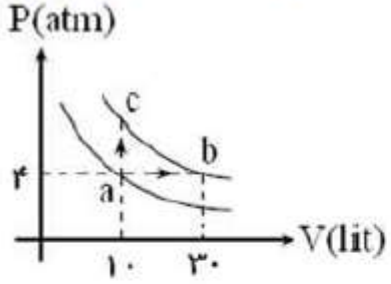
پاسخ: حجم گاز افزایش یافته است بنابراین کار انجام شده توسط گاز مثبت است.تغییر انرژی درونی گاز تابع دمای مطلق گاز است و با توجه به رابطه‌ی $T=\frac{PV}{nR}$ چون حجم افزایش یافته است نمی توان مشخص کردکه دما چه تغییری کرده است.
گزینه‌ی ۴ صحیح است.

۴۹) در فشار ثابت $10^5 pa$ به گاز کاملی $10^6 j$ گرما می‌دهیم و حجم آن $2m^3$ فزایش می‌یابد. تغییرات انرژی درونی گاز چند ژول است؟

۱) 2×10^5 ۲) 8×10^5 ۳) 10^6 ٤) $1/2\times10^6$

پاسخ:گزینه ۲ صحیح است. $\Delta U = Q + W = Q - P\Delta V = 10^6 - 10^5 \times 2 = 8\times10^5 j$

۵۰) گاز کاملی از مسیرهای ab و ac از نقطه a به نقاط b و c می‌رسد. اگر گرمای مبادله شده در مسیر ac برابر $3000j$ باشد گرمای مبادله در مسیر ab چقدر است؟



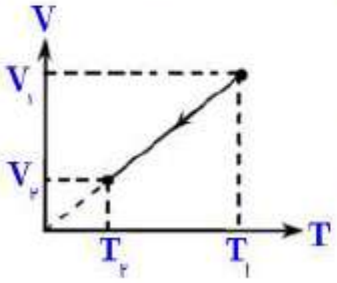
۱) $3000j$
۲) $11000j$
۳) $8000j$
٤) باید تعداد اتم‌های یک مولکول آن مشخص باشد.

پاسخ:گزینه ۲ صحیح است. دو نقطه b و c همدما هستند، تغییر انرژی درونی گاز در مسیر ab و bc یکسان است، چون تغییرات دما در این دو مسیر یکسان است. بنابراین داریم:

$$\Delta U_{ac} = \Delta U_{ab} \Rightarrow W_{ac} + Q_{ac} = W_{ab} + Q_{ab} \Rightarrow Q_{ac} = -P\Delta V + Q_{ab} \Rightarrow$$

$$+3000 = -4\times10^5 \times 20\times10^{-4} + Q_{ab} \Rightarrow Q_{ab} = 3000 + 8000 = 11000j$$

۵۱) نمودار V-T یک فرایند یک گاز کامل تک اتمی مطابق شکل زیر است. در این فرایند $400j$ گرما بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود. تغییر انرژی درونی دستگاه چند ژول است؟



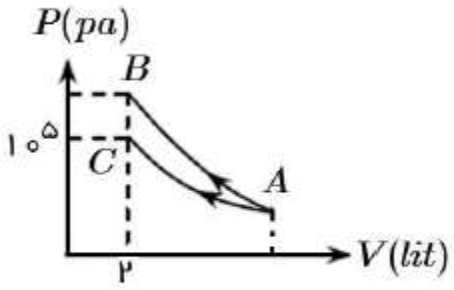
۱) 240 ۲) 1400
۳) -240 ٤) -1400

پاسخ:گزینه ۳ صحیح است. نمودار هم‌فشار است چون $V=\frac{nR}{P}T$ است، از طرفی $T_2 < T_1$ است و گاز گرما از دست می‌دهد، بنابراین $Q=-400j$ می باشد.

$$Q = \frac{5}{2}W \Rightarrow -400 = -\frac{5}{2}W \Rightarrow W = 160j$$

$$\Delta U = Q + W = -400 + 160 = -240j$$

۵۲) در شکل مقابل، دو فرایند بی‌دررو و هم‌دما برای یک گاز کامل تک اتمی نمایش داده شده است. اگر کار انجام شده بر روی گاز در فرایند بی‌دررو ۶۰۰j باشد، فشار گاز در انتهای فرایند بی‌دررو چند پاسکال است؟



۱) ۴×۱۰^۵ ۲) ۳×۱۰^۵

۳) ۲×۱۰^۵ ۴) $۱/۵\times۱۰^۵$

پاسخ:گزینه ۲ صحیح است. فرایند AC همدما و AB بی‌دررو‌ست.

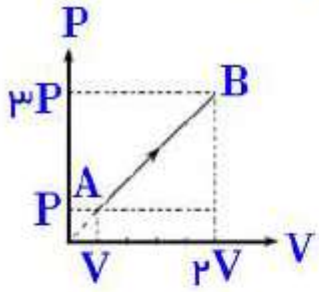
$$T_A = T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{۱۰^۵ \times ۲\times ۱۰^{-۳}}{nR} \Rightarrow ۲۰۰ = nRT_C = nRT_A$$

تغییرات انرژی درونی در دو فرآیند یکسان است، داریم:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{AB} = ۶۰۰j = \frac{۳}{۲}nR(T_B - T_A) \Rightarrow ۴۰۰ = nRT_B - \underset{۲۰۰}{nRT_A} \Rightarrow nRT_B = ۶۰۰$$

$$P_B = \frac{nRT_B}{V_B} = \frac{۶۰۰}{۲\times ۱۰^{-۳}} = ۳\times ۱۰^۵ pa$$

۵۳) در شکل زیر، ظرفیت گرمایی گاز در فرایند AB چقدر است؟ (گاز تک اتمی است.)



۱) $۳/۲nR$ ۲) $۲/۵nR$

۳) $۱/۹nR$ ۴) nR

پاسخ:گزینه ۳ صحیح است.

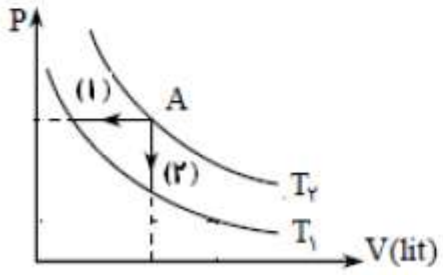
$$\Delta U = \frac{۳}{۲}\Delta(PV) = \frac{۳}{۲}(۶PV - PV) = ۷/۵PV$$

$$|W| = S = \frac{۱}{۲}(P + ۳P)\times V = ۲PV \Rightarrow W = -۲PV$$

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow ۷/۵PV = Q + (-۲PV) \Rightarrow Q = ۹/۵PV$$

$$Q = C\Delta T = C(T_B - T_A) = C(\frac{۶PV}{nR} - \frac{PV}{nR}) \Rightarrow ۹/۵ = C\frac{۵}{nR} \Rightarrow C = \frac{۹/۵nR}{۵} = ۱/۹nR$$

۵۴) در شکل مقابل، گاز کامل را از نقطه A یک بار با فرایند (۱) و بار دیگر با فرایند (۲) تغییر حالت می‌دهیم. اگر $Q_۱$ و $Q_۲$ گرمای مبادله شده گاز و محیط دراین فرایندها باشد،کدام گزینه صحیح است؟



۱) $Q_۱ = Q_۲$

۲) $|Q_۱| > |Q_۲|$

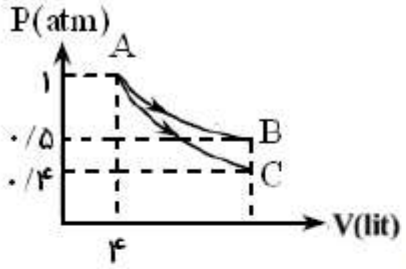
۳) $|Q_۱| < |Q_۲|$

۴)بسته به نوع گاز هر سه گزینه ۱و۲و۳می‌تواند صحیح باشد.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است، فرآیند (۱) هم‌فشار و فرآیند (۲) هم حجم است،

داریم: $\frac{|Q_۱|}{|Q_۲|} = \frac{nC_{MP}\Delta T}{nC_{MV}\Delta T} = \frac{C_{MP}}{C_{MV}} = \frac{C_{MV} + R}{C_{MV}} > ۱ \Rightarrow |Q_۱| > |Q_۲|$

۵۵) شکل مقابل، نمودار فشار- حجم $0/5\,mol$ از یک گاز را در فرایند هم‌دما و بی‌دررو نشان می‌دهد. دمای گاز در حالت C چند درجه سلیسوس است؟ $(R = 8\frac{j}{mol.k})$



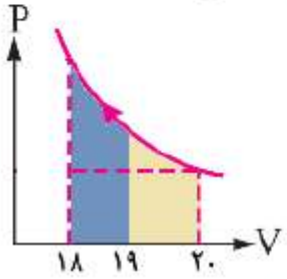
۱) ۳۵۳ ۲) ۱۹۳
۳) ۸۰ ۴) -۱۹۳

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است.

$$T_A = T_B \Rightarrow P_A V_A = P_B V_B \Rightarrow 1 \times 4 = 0/5 \times V_B \Rightarrow V_B = 8Lit = V_C$$
$$P_C V_C = nRT_C \Rightarrow 0/4 \times 10^5 \times 8 \times 10^{-3} = 0/5 \times 8 \times T_C \Rightarrow T_C = 80K \Rightarrow \theta_C = 80 - 273 = -193^\circ C$$

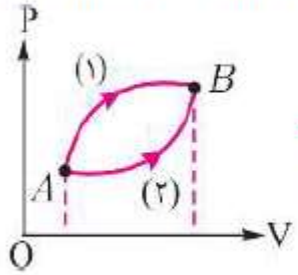
۵۶) گاز کاملی در یک کپسول به حجم $20Lit$ محبوس شده است، آن را به صورت هم‌دما به اندازه $1Lit$ متراکم می‌کنیم و کار W_1 انجام می‌شود، سپس با انجام کار W_2 آن را یک لیتر دیگر متراکم می‌کنیم. در این صورت:

۱) $W_1 > W_2$ ۲) $W_1 < W_2$ ۳) $W_1 = W_2$ ۴) هر سه حالت ممکن است.



پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. مطابق شکل زیر، سطح زیر نمودار P-V بیانگر کار انجام شده است، بنابراین در تغییر حجم از $20Lit$ به $19Lit$ کار کمتری انجام شده، چون مساحت کمتر است.

۵۷) در شکل مقابل یک گاز کاملی را یک بار از مسیر (۱) و بار دیگر از مسیر (۲) از حالت مشخص A به حالت مشخص B می‌بریم. با توجه به اینکه تغییر انرژی درونی در هر دو مسیر یکسان است. گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در .....

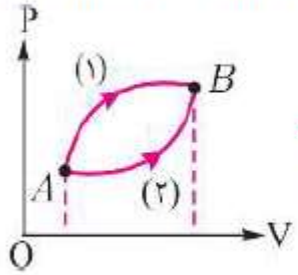


۱) در مسیر (۱) بیشتر از مسیر (۲) است. ۲) در هر دو مسیر یکسان است.
۳) در مسیر (۱) کمتر از مسیر (۲) است. ۴) در هر دو مسیر برابر صفر است.

پاسخ:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U_{(1)} = \Delta U_{(2)} \Rightarrow Q_1 + W_1 = Q_2 + W_2 \\ W_1 = |S_1| \\ W_2 = |S_2|\end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l}W_1 = -S_1 \\ W_2 = -S_2\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}Q_1 - S_1 = Q_2 - S_2 \\ |S_1| > |S_2|\end{array}\right\} \Rightarrow Q_1 > Q_2$$

۵۸) در شکل مقابل یک گاز کاملی را یک بار از مسیر (۱) و بار دیگر از مسیر (۲) از حالت مشخص A به حالت مشخص B می‌بریم. با توجه به اینکه تغییر انرژی درونی در هر دو مسیر یکسان است. گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در .....

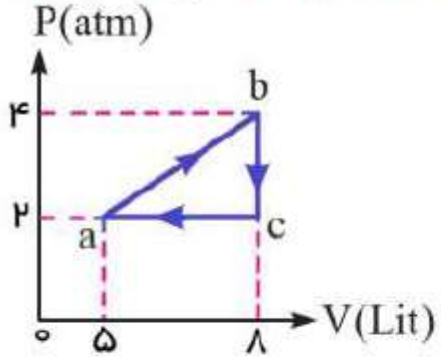


۱) در مسیر (۱) بیشتر از مسیر (۲) است. ۲) در هر دو مسیر یکسان است.
۳) در مسیر (۱) کمتر از مسیر (۲) است. ۴) در هر دو مسیر برابر صفر است.

پاسخ:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U_{(1)} = \Delta U_{(2)} \Rightarrow Q_1 + W_1 = Q_2 + W_2 \\ W_1 = |S_1| \\ W_2 = |S_2|\end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l}W_1 = -S_1 \\ W_2 = -S_2\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}Q_1 - S_1 = Q_2 - S_2 \\ |S_1| > |S_2|\end{array}\right\} \Rightarrow Q_1 > Q_2$$

چرخه: یک چرخه از مجموع چند فرآیند ترمودینامیکی تشکیل می‌شود که در پایان هر چرخه، دستگاه به حالت اولیه‌اش باز می‌گردد. شکل مقابل یک چرخه را نشان می‌دهد، که از سه فرایند تشکیل شده است.



نکته: تغییرات انرژی درونی یک چرخه همیشه صفر است، چون ΔT دستگاه در یک چرخه‌ی کامل صفر است.

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

نکته: مساحت چرخه در نمودار $P - V$ برابر مقدار کار انجام شده است. اگر مسیر فرایندهای چرخه در جهت ساعتگرد باشد، کل کار انجام شده بر روی گاز منفی است. (چرخه) $W = -S$ (محیط)

نکته: اگر مسیر فرایند چرخه در جهت پادساعتگرد باشد، کل کار انجام شده بر روی گاز مثبت است.
(چرخه) $W = +S$ (محیط)

تعیین علامت Q و W در یک چرخه:

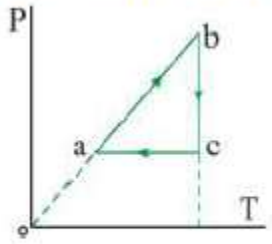
در نمودار $P - V$، اگر چرخه ساعتگرد باشد، کار کل منفی $(W_T < 0)$ و اگر چرخه پادساعتگرد باشد، کار کل مثبت $(W_T > 0)$ است. در نمودار بالا چرخه ساعتگرد و کار منفی است. $W_T = -300\,j$

در نمودار $P - T$، لازم نیست مقدار کار کل چرخه را حساب کنید اما علامت کار کل را می‌توان تعیین کرد.

در نمودار $P - T$ اگر چرخه ساعتگرد باشد، $(W_T < 0, Q > 0)$؛ اگر چرخه پادساعتگرد باشد، $(W_T > 0, Q < 0)$

در نمودار $V - T$ هم لازم نیست مقدار کار کل را محاسبه کرد، تما علامت آن را می‌توان تعیین کرد. در این حالت برعکس نمودارهای $P - V$ و $P - T$، اگر چرخه ساعتگرد باشد، $(W_T > 0, Q < 0)$ و اگر چرخه پادساعتگرد باشد $(W_T > 0, Q < 0)$.

۵۹ چرخه روبرو، مربوط به مقدار معینی گاز کامل است. در این چرخه کدام مورد درست است؟ (سراسری ریاضی خارج از کشور -۹۷)



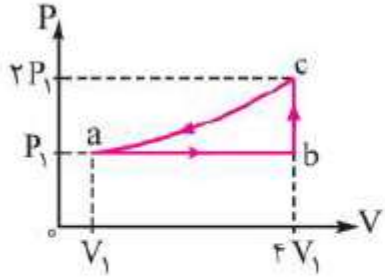
۱) $|W_{ab}| < W_{ca}$ ۲) $|Q_{ca}| > Q_{ab}$

۳) $|\Delta U_{ca}| < \Delta U_{ab}$ ۴) $|\Delta U_{ca}| > \Delta U_{ab}$

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. گزینه‌های ۳ و ٤ چون بین دو دمای یکسان رخ می‌دهند، دارای تغییرات انرژی درونی یکسان هستند. در گزینه ۲ چون گرمای ca و ab سنجیده می شود و هر دو بین دو دمای یکسان قرار دارند، داریم:

$$\left.\begin{aligned} |Q_{ca}| &= nC_{MP}\Delta T \\ Q_{ab} &= nC_{MV}\Delta T \end{aligned}\right\} \Rightarrow |Q_{ca}| > Q_{ab}$$

۶۰ مقداری گاز کامل تک اتمی، چرخه‌ای را مطابق شکل می‌پیماید. اگر گاز در فرآیند ab، ۱۵۰۰j گرما بگیرد، انرژی درونی آن در فرآیند ca، چند ژول کاهش یافته است؟



۱) ۱۵۰۰ ۲) ۱۸۰۰ (سراسری ریاضی-۹۶)

۳) ۲۱۰۰ ۴) ۲۴۰۰

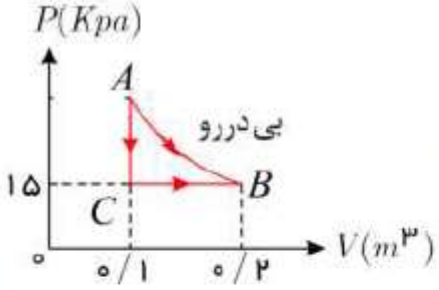
پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. فرآیند ab هم‌فشار است و گرمایی که گاز در این فرآیند دریافت کرده از رابطه‌ی $Q=\frac{۵}{۲}P.\Delta V$ بدست می‌آید.

$$Q_{ab}=\frac{۵}{۲}P_۱(۴V_۱-V_۱)\Rightarrow ۱۵۰۰=\frac{۱۵}{۲}\times P_۱V_۱\Rightarrow P_۱V_۱=۲۰۰$$

تغییر انرژی درونی در فرآیند ca را محاسبه می‌کنیم، داریم:

$$\Delta U_{ca}=\frac{۳}{۲}\Delta(PV)=\frac{۳}{۲}(P_۱V_۱-۲P_۱\times ۴V_۱)=\frac{۳}{۲}\times(-۷P_۱V_۱)=\frac{-۲۱}{۲}\times ۲۰۰=-۲۱۰۰j$$

۶۱ اگر کار انجام شده روی گاز در فرایند بی‌دررو AB برابر ۱۸۰۰j باشد. کل گرمایی که گاز در فرایند ACB مبادله می‌کند، چقدر است؟



۱) $-۳۰۰j$ ۲) $+۷۰۰j$

۳) $-۷۰۰j$ ۴) $+۳۰۰j$

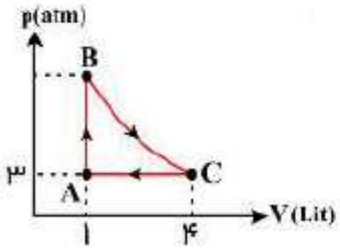
پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

$$\Delta U_{AB}=Q_{AB}+W_{AB}=-۱۸۰۰j$$

تغییر انرژی مستقل از مسیر است، بنابراین داریم:

$$\Delta U_{AB}=\Delta U_{ACB}\Rightarrow W_{AB}=Q_{ACB}+W_{ACB}\Rightarrow W_{AB}=Q_{ACB}+W_{AC}+W_{CB}\Rightarrow$$
$$-۱۸۰۰=Q_{ACB}+۰+(-P\Delta V)\Rightarrow -۱۸۰۰=Q_{ACB}-۱۵\times ۱۰^{۳}\times(۰/۲-۰/۱)\Rightarrow$$
$$-۱۸۰۰=Q_{ACB}-۱۵۰۰\Rightarrow Q_{ACB}=-۳۰۰j$$

۶۲ در نمودار مقابل، اگر کل گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط این چرخه ۸۰۰j باشد. مقدار کار در فرایند بی‌دررو چند ژول بوده است؟



۱) ۱۰۰ ۲) ۹۰۰

۳) ۱۷۰۰ ۴) صفر

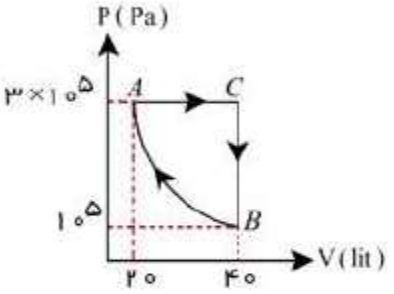
پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.

$$\Delta U_{ABC}=۰\Rightarrow Q_{ABC}+W_{ABC}=۰\Rightarrow W_{ABC}=-۸۰۰j$$
$$W_{AB}+W_{BC}+W_{CA}=-۸۰۰\Rightarrow ۳\times ۱۰^{۵}\times ۳\times ۱۰^{-۳}+۰+W_{CA}=-۸۰۰\Rightarrow$$
$$W_{CA}=-۱۷۰۰j\Rightarrow |W_{CA}|=۱۷۰۰j$$

۶۳) مقداری از یک گاز تک اتمی چرخه‌ای را مطابق شـکل زیر طی می‌کند. اگر فرآیند AB یک فرآیند بی‌دررو باشد، مقدار کار انجام شده بر رو ی گاز در کل چرخه چند ژول است؟ $(C_{MV}=\frac{۳}{۲}R\ ,\ C_{MP}=\frac{۵}{۲}R)$

۱) ۳۰۰۰ ۲) -۳۰۰۰

۳) ۶۰۰۰ ۴) -۶۰۰۰



پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. در یک چرخه تغییرات انرژی چرخه صفر خواهد شد،

$$\Delta U_{ACB}=Q_{AC}+Q_{CB}+Q_{BA}+W_{ABC}=۰\Rightarrow W_{ABC}=-(Q_{AC}+Q_{CB})\Rightarrow$$

داریم: $W_{ABC}=-(\frac{۵}{۲}P\Delta V+\frac{۳}{۲}V\Delta P)=-(\frac{۵}{۲}\times ۳\times ۱۰^{۵}\times ۲۰\times ۱۰^{-۳}+\frac{۳}{۲}\times ۴۰\times ۱۰^{-۳}\times(-۲\times ۱۰^{۵}))\Rightarrow$

$$W_{ABC}=-۳۰۰۰j$$

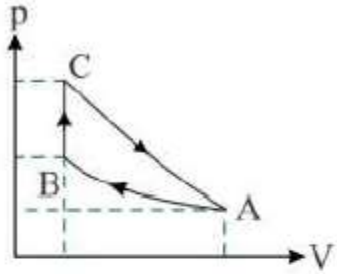
۶۴) یک گاز کامل تک اتمی چرخه‌ای شامل سه فرآیند متوالی هم دما، هم حجم و بی دررو را مطابق شکل روبه‌رو، طی می‌کند. کار انجام شده روی محیط در فرآیند بی دررو، برابر با کدام است؟ (سراسری-۹۰)

۱)کار انجام شده در کل چرخه

۲) گرمای مبادله شده در فرآیند هم دما

۳)گرمای مبادله شده در فرآیند هم حجم

۴) کار انجام شده در فرآیند هم دما



پا سخ: گزینه ۳ صحیح ا ست. می‌دانیم در فرآیند هم‌دما تغییرات انرژی درونی صفر ا ست $\Delta U=۰$ ؛ در فرآیند هم حجم کار صفر است و در فرآیند بی‌دررو، گرمای مبادله شده صفر است، بنابراین داریم:

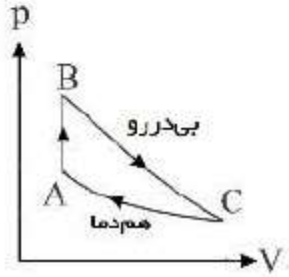
$$\Delta U_{ABC}=\underbrace{\Delta U_{AB}}_{۰}+\Delta U_{BC}+\Delta U_{CA}=۰\Rightarrow \Delta U_{ABC}=\underbrace{(Q_{BC}}_{۰}+W_{BC})+\underbrace{(Q_{CA}}_{۰}+W_{CA})=۰\Rightarrow$$

$$W_{CA}=-Q_{BC}$$

۶۵) مقدار معینی گاز کامل چرخه‌ای مطابق شکل زیر را طی می‌کند. اگر طی فرآیند هم دما ۱۵۰j و طی فرآیند هم حجم ۲۵۰j گرما بین گاز و محیط مبادله شود، کار محیط بر رو ی گاز در این چرخه چند ژول است؟

۱) ۴۰۰ ۲) -۴۰۰

۳) -۱۰۰ ۴) ۱۰۰

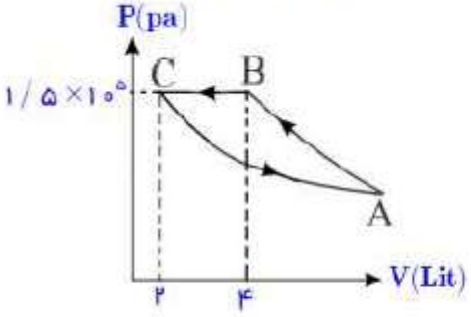


پاسخ: کزینه ۲صحیح است.

$$\Delta U_{ABC}=۰\Rightarrow W_{ABC}+Q_{ABC}=۰\Rightarrow W_{ABC}=-(\underbrace{Q_{AB}}_{۰}+Q_{BC}+Q_{CA})\Rightarrow$$

$$W_{ABC}=-(۲۵۰+۱۵۰)=-۴۰۰j$$

(۶۶) در شکل زیر، AB فرایند بی دررو و CA هم دماست. مقدار کار در فرایند هم دما چند ژول است؟



۱) ۳۰۰ ۲) ۴۵۰

۳) ۶۰۰ ۴) اطلاعات کافی نمی باشد.

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است.

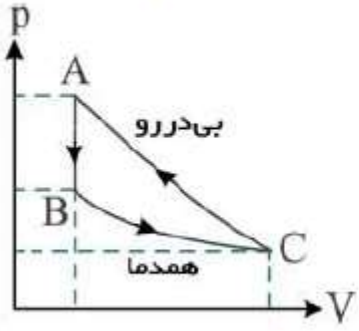
$$\Delta U_{ABC} = 0 \Rightarrow \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + \underbrace{\Delta U_{CA}}_{0} = 0$$

$$\Rightarrow (Q_{AB} + W_{AB}) + (\overset{0}{Q_{BC}} + W_{BC}) = 0$$

$$\Rightarrow \overset{0}{W_{AB}} + Q_{BC} + W_{BC} = 0$$

$W_{BC} = -P\Delta V$ می‌باشد، ولی برای محاسبه Q_{BC} باید تعداد اتم‌های هر مولکول گاز را بدانیم که مشخص نیست؛ بنابراین گزینه ۴ صحیح است.

(۶۷) شکل مقابل، چرخه مقدار معینی گاز تک اتمی را نشان می دهد. اگر گاز در فرایند AB، ۱۵۰۰j گرما از دست بدهد. کار انجام شد بر روی گاز در فرایند CA چند ژول است؟



۱) ۷۵۰ ۲) ۳۰۰۰

۳) ۱۵۰۰ ۴) ۴۵۰۰

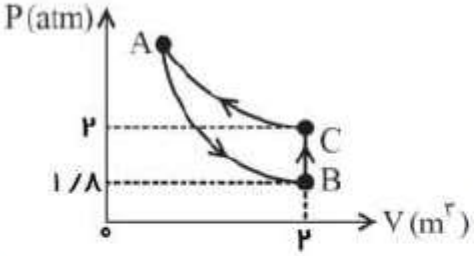
$$\Delta U_{ABC} = 0 \Rightarrow \Delta U_{AB} + \underbrace{\Delta U_{BC}}_{0} + \Delta U_{CA} = 0$$

$$\Rightarrow W_{AB} + Q_{AB} + W_{CA} + \overset{0}{Q_{CA}} = 0$$

$$\Rightarrow \overset{0}{-1500} + W_{CA} = 0 \Rightarrow \overset{0}{W_{CA}} = 1500j$$

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.

(۶۸) در چرخه شکل روبرو که مربوط به مقدار معینی گاز کامل تک اتمی است، گاز سه فرآیند هم‌دما، هم حجم و بی‌دررو را طی می‌کند. کار انجام شده توسط محیط بر روی گاز در فرآیند بی‌دررو برابر با چند ژول است؟



$(C_v = \frac{۲}{۳}R)$ (مدارس برتر-۹۷)

۱) ۶۰ ۲) -۶۰

۳) صفر ۴) قابل محاسبه نیست.

پاسخ: گزینه ۲ صحیح است. در چرخه تغییر انرژی درونی صفر است،

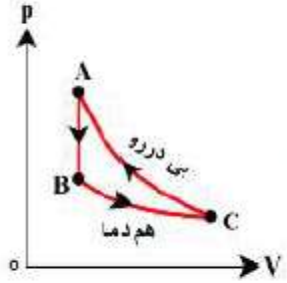
$$\Delta U_{ABCD} = 0 \Rightarrow \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + \Delta U_{CA} = 0$$

شیب نمودار فرآیند AB از شیب نمودار AC بیشتر است، از اینرو فرآیند AB بی‌دررو و فرآیند AC هم‌دماست. در فرآیند هم دمای گاز کامل $\Delta U = 0$ است. کار در فرآیند هم حجم BC صفر و گرما در فرآیند بی‌درروی AB نیز صفر است، از اینرو داریم:

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_{AB} &= W_{AB} \\ \Delta U_{BC} &= Q_{BC} \\ \Delta U_{CA} &= 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow W_{AB} + Q_{BC} + 0 = 0 \Rightarrow W_{AB} = -Q_{BC} \Rightarrow W_{AB} = -\frac{C_v}{R}(V\Delta P) \Rightarrow$$

$$W_{AB} = -\frac{۳}{۲} \times ۲ \times ۱۰^{-۳} \times (۲ - ۱/۸) \times ۱۰^{۵} = -۶۰j$$

۶۹) مقدار معینی گاز کامل، چرخه‌ای را مطابق شکل طی می‌کند. اگر در فرآیند هم‌دما گاز ۱۵۰j گرما بگیرد و در فرآیند هم‌حجم، به اندازه‌ی $\frac{۵}{۳}$ گرمای گرفته شده در فرآیند هم‌دما، گرما مبادله شود، کار مبادله شده در چرخه چند ژول است؟ (قلم‌چی -۹۴)



۱) ۴۰۰ ۲) ۳۰۰

۳) ۲۰۰ ۴) ۱۰۰

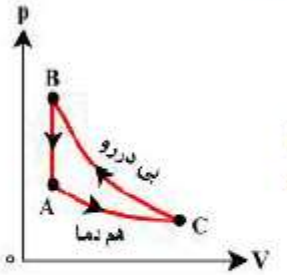
پاسخ: گزینه(۴) صحیح است.

$$\Delta U = ۰ \Rightarrow Q + W = ۰ \Rightarrow (Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}) + W = ۰$$

طبق شکل، در فرآیند هم‌حجم AB، گاز گرما از دست می‌دهد، پس Q_{AB} مقداری منفی است. از طرفی فرآیند CA یک فرآیند بی‌دررو است. پس $Q_{CA} = ۰$ می‌باشد. بنابراین داریم:

$$(-\frac{۵}{۳}Q_{BC} + Q_{BC} + ۰) + W = ۰ \Rightarrow W = \frac{۲}{۳}Q_{BC} = \frac{۲}{۳} \times ۱۵۰ = ۱۰۰j$$

۷۰) مقداری گاز کامل چرخه‌ای مطابق شکل را طی می کند و ۷۰j کار انجام می‌دهد. اگر در طی فرایند بی‌دررو ۹۰j کار انجام داده باشد. در طی فرایند هم حجم چند ژول گرما با محیط مبادله می‌شود؟



۱) ۲۰ ۲) ۵۰

۳) ۹۰ ۴) ۷۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. چون گاز ۷۰j کار انجام داده است، پس محیط $-۷۰j$ کار انجام داده است، در فرآیند AB، گاز ۹۰j کار انجام داده‌است پس محیط $-۹۰j$ کار انجام داده است.

$$\Delta U_{ABC} = ۰ \Rightarrow W_{ABC} + Q_{ABC} = ۰$$

$$W_{ABC} = -۷۰ = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} \Rightarrow -۷۰ = -۹۰ + W_{BC} \Rightarrow W_{BC} = ۲۰j$$

$$\left.\begin{array}{l} Q_{ABC} = -W_{ABC} = -(-۷۰) = ۷۰j = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} \\ \Delta U_{BC} = ۰ \Rightarrow Q_{BC} = -W_{BC} = -۲۰j \end{array}\right\} \Rightarrow ۷۰ = -۲۰ + Q_{CA} \Rightarrow Q_{CA} = ۹۰j$$

ماشـینهای گرمایی: هر دســتگاهی که انرژی گرمایی را به انرژی مکانیکی تبدیل کند، ماشــین گرمایی نامیده می شود. به عبارت دیگر د ستگاههایی ه ستند که با ا ستفاده از برخی فرآیندهای ترمودینامیکی،گرمای حا صل از ســوخت را به کار تبدیل می‌کنند. ماشــین بخار، موتورهای بنزینی و گازوییلی، موتور جت، توربین‌های بخار و یا توربین‌های گازی و حتی بدن موجودات زنده و ... همگی ما شین گرمایی ه ستند. ما شینهای گرمای با ترکیب چند فرآیند، مقداری گرما دریافت و بخشی از آن را به کار روی محیط تبدیل می‌کنند. از آنجایی که تبدیل انرژی باید دائماً انجام شود، طراحی این ماشینها طوری است که دستگاه پس از پیمودن چند فرآیند معین به حالت اولیه خود بر می‌گردد. یعنی این ماشــینها در یک چرخه معین کار می‌کنند و این چرخه در ضــمن کار ماشــین دائماً تکرار می‌شود.

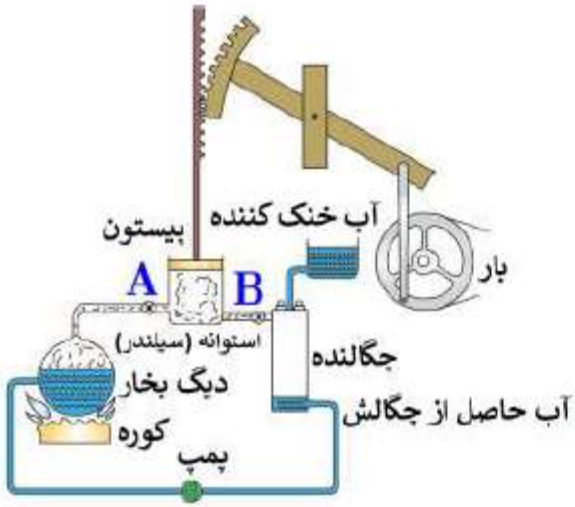
ماشین‌های گرما یی بر دو نوع‌اند.

الف) ما شینهای برون سوز: اولین ما شین گرمایی، ما شین بخار بود که انرژی مکانیکی حا صل از بخار در مواردی از قبیل لوکوموتیو، کشتی بخار و ... به طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گرفت.

ب) ما شینهای درون سوز: نوع دیگری از ما شینهای گرمایی ه ستند که با سوختهایی چون بنزین و یا گازوئیل کار می‌کنند. که در موتور اتومبیل، کامیون و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تذکر: اساس کار همه ماشینهای گرمایی یکسان است. اکنون به شرح کار ماشین‌های گرمایی می‌پردازیم.

- **الف) ماشین بخار:** این ماشین عموماً برای تولید برق استفاده می شود در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می کند، آب است همانطور که در شکل می‌بینیم آب در دیگ بخار مقداری گرما می‌گیرد و پس از انجام فرآیندهای مختلف که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم به حالت اولیه خود بر می‌گردد و این چرخه دائماً تکرار می‌شود. چون گرما از کوره (یعنی از بیرون دستگاه) به آب داده می‌شود، این ماشین را برون سوز می‌گوئیم.



بررسی نحوه کار ماشین بخار: این بررسی شامل چهار فرآیند است.

- **الف)** مرحله اول: در این مرحله، آب درون دیگ بخار در فشار ثابت ۲۰۰ تا ۲۵۰ اتمسفر از کوره گرما می‌گیرد و به بخار تا دمای $500\,^{\circ}C$ تا $550\,^{\circ}C$ تبدیل می‌شود؛ دما و حجم بخار آب در این مرحله تا حد معینی افزایش می‌یابد.
- **ب)** مرحله دوم: شیر ورودی (A) باز می‌شود و بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است وارد استوانه (سیلندر) می‌شود؛ به پیستون نیرو وارد می کند و آن را به حرکت در می‌آورد. در نتیجه‌ی این حرکت، بخار آب منبسط می شود و دما و فشار آن کاهش می‌یابد. چون این انبساط، بسیار سریع انجام می‌گیرد، این فرآیند را بی‌دررو در نظر می‌گیریم. این حرکت پیستون برای بکار انداختن مولد برق، به حرکت درآوردن چرخ لوکوموتیو و.... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نکته: کاری که دستگاه بر روی محیط انجام می‌دهد (یعنی کاری که ماشین گرمایی انجام می‌دهد) در این مرحله بدست می‌آید.

ج)مرحله سوم: طراحی ماشین به گونه‌ای است که وقتی پیستون به انتهای مسیر خود رسید، بار گرداننده می شود. در هنگام بازگشت پیستون شیر ورودی (A) بسته و شیر خروجی (B) باز می‌شود و بخار آب به سمت جگالنده که لوله‌های آب سرد را خنک می‌کنند هدایت می‌شود. در جگالنده بخار آب در فشار ثابت گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود.

د) مرحله چهارم: تلمبه آب حاصل از میعان را به دیگر بخار برمی‌گرداند و فشار آن به فشار اولیه می‌رساند و یک چرخه ترمودینامیکی کامل می‌شود.

نکته: در حین کار ماشین ، این چرخه دائماً تکرار می‌شود. دستگاه در این چرخه به طور عمده با دو منبع گرما (کوره و جگالنده) تبادل گرما می‌کند.کوره را که در دمای بالاتری قرار دارد، منبع گرما و جگالنده را منبع سرد می‌نامیم.

نکته: چرخه ماشین بخار را چرخه رانکین می‌نامند.

ب) ماشینهای گرمایی درون سوز: موتورهای پیستونی مانند اتومبیل یکی از متداولترین انواع موتورهای درون سوزاند که خود بر دو قسم‌اند:۱- بنزینی ۲- دیزلی

موتور بنزینی: در این نوع موتور بخ شی از انرژی حا صل از سوخت ، سبب حرکت پی ستون می شود. این حرکت از طریق د سته (شاتون) و میل لنگ به حرکت چرخشی تبدیل می شود. با انتقال حرکت چرخشی به چرخ‌ها اتومبیل حرکت می‌کند. بخش دیگری از انرژی از طریق رادیاتور، که موتور را سرد می کند، و لوله خروجی (اگزوز) مستقیماً به هوا داده می‌شود.

مراحل مختلف کار ماشین گرمایی درون سوز (مراحل مکانیکی مربوط به ماشین درون سوز بنزینی (چرخه اتو):
چرخه ما شین درون سوز، شش مرحله دارد که چهار مرحله‌ی آن همراه با حرکت پی ستون ا ست و به آن ضربه گویند.

الف) مرحله مکش: با پایین آمدن پیســتون از یک وضــعیت اولیه، مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه‌ی ورودی وارد استوانه می‌شود. وقتی پیستون به پایین‌ترین وضعیت خود رسید، این دریچه بسته و مخلوط بنزین و هوا در داخل استوانه محبوس می‌شوند. وقتی پیستون بالاست، حجم بالای آن V_1 و وقتی پیستون پایین است حجم این فضا $V_2 = rV_1$ است. (r را نسبت تراکم یا نسبت انبساط گویند.)

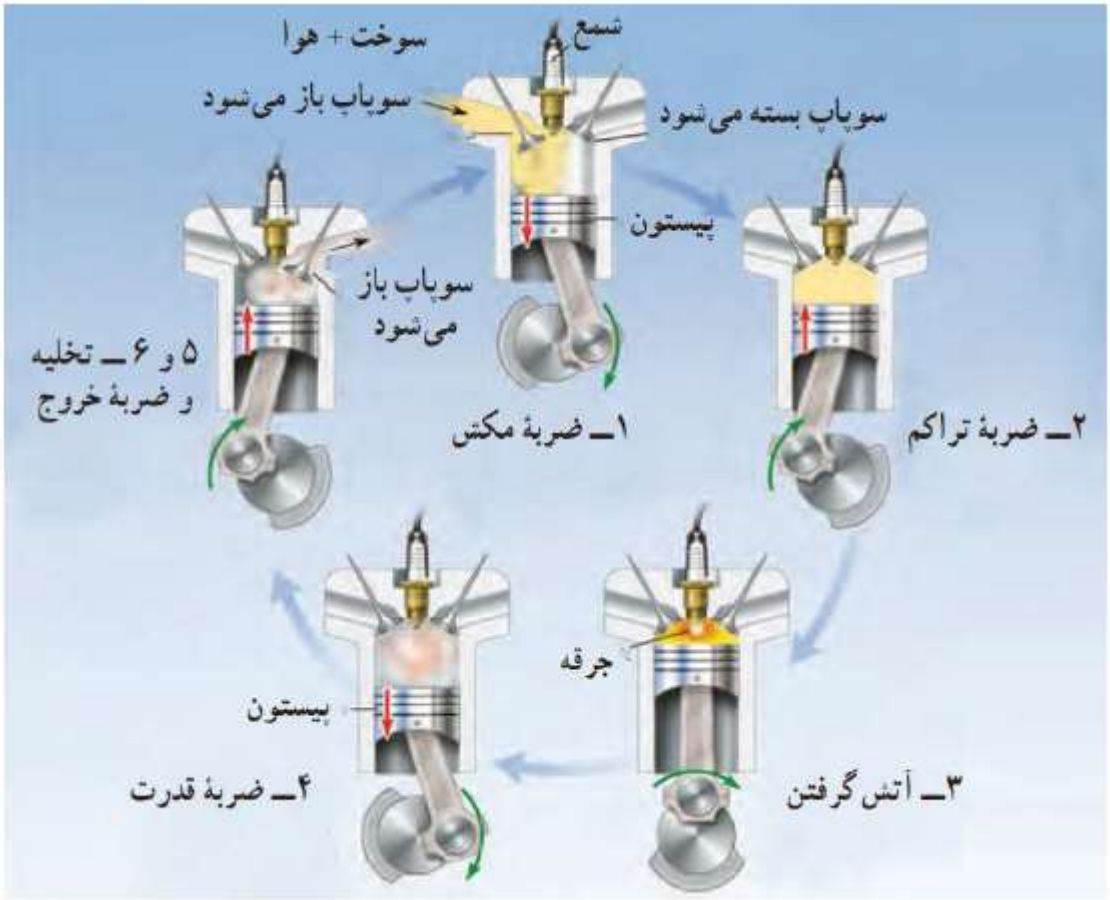
ب)مرحله تراکم: پیســتون بالا می‌آ ید و مخلوط هوا و بنزین را متراکم می‌ک ند و به حجم اول یه (V_1) می‌ر ساند، این تراکم به سرعت رخ می‌دهد، بنابراین آن را بی‌دررو در نظر می گیریم؛ در پایان این مرحله، دما و فشار مخلوط بسیار بالا رفته است.

ج)مرحله آتش گرفتن (انفجار): هنگامی که پی ستون به بالاترین و ضعیت خود ر سید، شمع جرقه می‌زند؛ مخلوط آتش می‌گیرد و دما و فشــار آن در حجم ثابت V_1 تا مقدار زیادی بالا می رود؛ چون آتش گرفتن مخلوط در داخل استوانه رخ می‌دهد و مخلوط از بیرون گرما نمی‌گیرد، این موتورها را درون‌سوز گویند.

د) ضربه قدرت: در این مرحله، در اثر فشار زیاد، مخلوط منبسط شده و حجم آن از V_1 به V_2 می‌ر سد. این انبساط به سرعت رخ می‌دهد، بنابراین بی‌دررو ست. در نتیجه‌ی این انبساط، فشار و دمای مخلوط کاهش می‌یابد. در این مرحله مخلوط، پیستون را به شدت به پایین می‌راند و روی آن کار انجام می‌دهد. این کار تو سط میل لنگ به اجزای دیگر ماشین منتقل می‌شود.

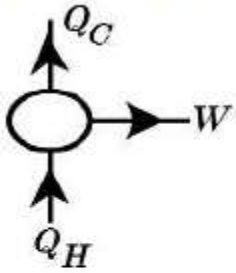
ه) مرحله تخلیه: در حالی که پی ستون در پایین‌ترین و ضعیت (V_2) قرار دارد، سوپاپ دریچه خروجی باز می شود و قسمتی از دود حا صل از سوختن مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه خروج دود، که در این مرحله باز می شود خارج می‌گردد تا اینکه فشار گاز داخل ا ستوانه با فشار جو یکسان شود. در این مرحله پی ستون ساکن است.

ضربه خروج گاز: پیستون بالا می‌آید و بقیه محصولات احتراق را بیرون می‌راند و حجم فضای بالای پیستون از V_2 به مقدار اولیه V_1 می‌رسد.



تذکر: معمولاً برای بررسی ساده‌تر و تطبیق طرز کار این موتورها با چرخه‌های ترمودینامیکی، فرض می شود که مخلوط آتش نگیرد ولی آنقدر گرما به آن داده شود که به فشار و دمای نهایی در مرحله آتش گرفتن برسد. در مرحله تخلیه نیز فرض می شود که دستگاه در داخل استوانه باقی بماند ولی آنقدر گرما از آن گرفته شود تا به وضعیت اولیه برگردد.

بازده ماشین گرمایی η: در بررسی ماشین های گرمایی دیدیم که دستگاه مقداری گرما (Q_H) از منبع گرما می‌گیرد و قسمتی از آن را به کار $|W|$ تبدیل و بقیه‌ی گرمای (Q_C) را به منبع سرد می‌دهد. این نتیجه در شکل زیر خلاصه شده است.



قانون اول ترمودینامیک را برای این چرخه به صورت زیر می توان نوشت:

$$\Delta U = Q_H - |Q_C| - |W|$$

چون دستگاه پس از طی کردن یک چرخه به حالت اولیه برمی گردد، داریم: $\Delta U = 0$

پس کاری که ماشین گرمایی انجام می‌دهد، از رابطه $|W| = Q_H - |Q_C|$ بدست می‌آید.

تعریف بازده ماشین گرمایی: بازده ماشین گرمایی یعنی چه کسری از گرمای حاصل از سوخت به کار تبدیل می‌شود. یا نسبت کار انجام شده توسط دستگاه به گرمای حاصل از سوخت را گویند.

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

نکته: Q_H جمع گرماهایی است که ماشین گرمایی طی یک چرخه از محیط دریافت می‌کند.

نکته: Q_C جمع گرماهایی است که ماشین گرمایی طی یک چرخه به محیط می‌دهد.

چند نکته مهم از فناوری و کاربرد:

اگر بتوانیم تراکم ماشین گرمایی را بالا ببریم، به بازده بیشتری دست خواهیم یافت.

در نسبت تراکم ماشین درون سوز بنزینی بیشتر از ۵ نمی‌تواند باشد، چون اگر مخلوط بنزین و هوا را با نسبت بیشتری متراکم کنیم، آن چنان داغ می‌شود که قبل از جرقه زدن شمع، آتش می‌گیرد.

در ماشین دیزل به جای مخلوط سوخت و هوا، فقط هوا با نسبت تراکم ۱۱ تا ۱۲ متراکم و تا دمای $۶۰۰^{\circ}C$ داغ می‌شود، سپس سوخت مایع به درون هوای داغ افشانده (اسپری) می‌شود.

نکته: با استفاده از رابطه $\eta = \frac{|W|}{Q_H}$، $|W| < Q_H$ می‌باشد، در نتیجه بازده ماشین گرمایی نمی‌تواند بیشتر از ۱ باشد.

تذکر: بازده ماشین‌های بخار در حدود $\%۵۰$ و ماشین‌های درون سوز در بهترین وضعیت حدود $\%۴۰$ است.

مثال: بازده یک ماشین درون سوز بنزینی $\%۲۰$ است. این ماشین در هر چرخه $۲/۵\times۱۰^{۳}\,j$ کار انجام می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت در هر چرخه چقدر است؟ (مثال ۵-۹ کتاب درسی)

پاسخ:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow \frac{۲}{۱۰} = \frac{۲/۵\times۱۰^{۳}}{Q_H} \Rightarrow Q_H = ۱۲/۵\times۱۰^{۳}\,j$$

مثال: یک ماشین گرمایی، در هر چرخه $۴۰۰۰j$ گرما از منبع گرما دریافت می‌کند و $۱۵۰۰j$ گرما به منبع سرد می‌دهد. الف) در هر چرخه چه مقدار کار بر روی محیط انجام می‌شود؟

ب) بازده این ماشین چقدر است؟

پاسخ: الف) $|W| = Q_H - |Q_C| = ۴۰۰۰ - ۱۵۰۰ = ۲۵۰۰j$

ب) $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۲۵۰۰}{۴۰۰۰} = \frac{۵}{۸} \times ۱۰۰ = ۶۲/۵\%$

مثال: یک ماشین گرمایی در هر چرخه $۵۰۰j$ گرما از منبع گرم دریافت و $۱۰۰j$ کار انجام می دهد.

الف)بازده ماشین چه قدر است؟ ب) چه مقدار گرما در هر چرخه تلف می‌شود؟

پاسخ: الف) $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۱۰۰}{۵۰۰} = \frac{۱}{۵} \times ۱۰۰ = ۲۰\%$

ب) $|Q_C| = Q_H - |W| = ۵۰۰ - ۱۰۰ = ۴۰۰j$

مثال: در یک موتور بنزینی با بازده ۴۰% دستگاه در هر دقیقه $۲/۷ \times ۱۰^۵ j$ گرما می‌گیرد. مطلوبست محاسبه:

الف)کار انجام شده توسط دستگاه در هر دقیقه ب) اندازه گرمای تلف شده در هر دقیقه

پاسخ: الف) $\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow \frac{۴۰}{۱۰۰} = \frac{|W|}{۲/۷ \times ۱۰^۵} \Rightarrow |W| = ۲/۷ \times ۱۰^۵ \times ۰/۴ = ۱/۰۸ \times ۱۰^۵ j$

ب) $|Q_C| = Q_H - |W| = ۲/۷ \times ۱۰^۵ - ۱/۰۸ \times ۱۰^۵ = ۱/۶۲ \times ۱۰^۵ j$

(۷۱) بازده یک ما شین بخار ۲۰% ست. در این ما شین در هر چرخه $۱۶۰۰j$ گرما به چ شمه با دمای پایین داده می‌شود. کار مکانیکی انجام شده توسط این ماشین در یک چرخه چند ژول است؟

۱) ۴۰۰ ۲) ۶۰۰ ۳) ۲۰۰ ٤) ۸۰۰

پاسخ:گزینه ۱ صحیح است.

$\eta = ۰/۲, Q_L = ۱۶۰۰j \quad \eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{|W|}{|Q_L| + |W|} \Rightarrow \frac{۲}{۱۰} = \frac{|W|}{۱۶۰۰ + |W|} \Rightarrow$

$۱۰|W| = ۲|W| + ۳۲۰۰۰ \Rightarrow ۸|W| = ۳۲۰۰۰ \Rightarrow |W| = ۴۰۰j$

(۷۲) به یک موتور گرمایی که بازده‌ی گرمایی آن $\%۴۰$ است در هر ثانیه $۲/۴\times۱۰^{۵}j$ گرما داده می شود. اگر این موتور در هر ثانیه ۲۰ چرخه را طی کند، کار انجام شده توسط موتور در هر چرخه چند ژول است؟

۱) ۴۸۰۰ ۲) ۹۶۰۰ ۳) ۹۶۰ ٤) ۴۸۰

پاسخ:گزینه ۱ صحیح است.

چرخه	انرژی
۲۰ چرخه	$۲/۴\times۱۰^{۵}j$
۱ چرخه	$Q_H=?$

$$\Rightarrow Q_H=\frac{۲/۴\times۱۰^{۵}}{۲۰}=۱/۲\times۱۰^{۴}j$$

$$\eta=\frac{W}{Q_H}\Rightarrow ۰/۴=\frac{W}{۲/۴\times۱۰^{۵}}\Rightarrow W=۴/۸\times۱۰^{۳}j=۴۸۰۰j$$

(۷۳) یک موتور بنزینی در هر چرخه $۰/۱۶g$ سوخت مصرف می کند و به ازای آن $۳۵۰۰j$ گرما تلف می‌کند. اگر گرمای حاصل از مصرف سوخت هر گرم سوخت $۵\times۱۰^{۴}j$ باشد و موتور در هر دقیقه ۵۰ چرخه را طی کند، توان این موتور چند کیلو وات است؟

۱) ۲/۲۵ ۲) ۳/۷۵ ۳) ۲/۷۵ ٤) ۳/۳۵

پاسخ:گزینه ۲ صحیح است.

جرم	انرژی
$1g$	$۵\times۱۰^{۴}j$
$۰/۱۶g$	$Q_H=?$

$$\Rightarrow Q_H=\frac{۵\times۱۰^{۴}}{۰/۱۶}=۸\times۱۰^{۳}j$$

کار انجام شده در یک چرخه: $W=Q_H-|Q_C|=۸۰۰۰-۳۵۰۰=۴۵۰۰j$

کار کل انجام شده در یک دقیقه: $|W|=۵۰\times۴۵۰۰=۲/۲۵\times۱۰^{۵}j$

در نهایت داریم: $p=\frac{|W|}{t}\Rightarrow p=\frac{۲/۲۵\times۱۰^{۵}}{۶۰}=۳۷۵۰w=۳/۷۵kw$

(۷۴) با یک ماشـین گرمایی می‌توان در هر دقیقه وزنه‌ای به جرم $۵۰kg$ را به اندازه $۲۰m$ با سـرعت ثابت بالا برد. اگر بازده‌ی این ماشین $٪۲۵$ باشد، گرمایی که ماشین در هر دقیقه می‌گیرد، چند ژول است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$

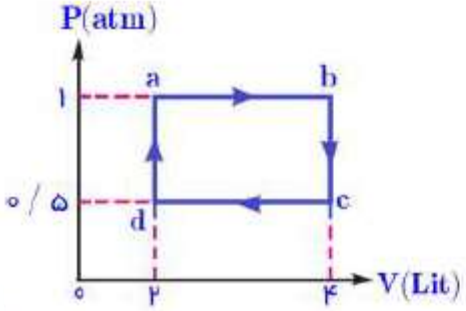
۱) ۱۰۰۰ ۲) ۲۰۰۰ ۳) ۳۰۰۰ ٤) ٤۰۰۰

$$|W| = mgh = ۵۰ \times ۱۰ \times ۲۰ = ۱۰^۴ j$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow \frac{۲۵}{۱۰۰} = \frac{۱۰^۴}{Q_H} \Rightarrow Q_H = ۴ \times ۱۰^۴ j = ۴۰kj$$

پاسخ: گزینه ٤ صحیح است.

(۷۵) چرخه ی زیر، مربوط به یک ماشـین گرمایی اسـت. اگر یک مول گاز کامل تک اتمی این چرخه را طی کند، بازده‌ی چرخه تقریباً چند درصد است؟ $(C_{MV} = \frac{۳}{۲}R\ ,C_{MP} = \frac{۵}{۲}R)$



۱) ۱۵/٤ ۲) ۸۰
۳) ۳۶/۵ ٤) ۹۰

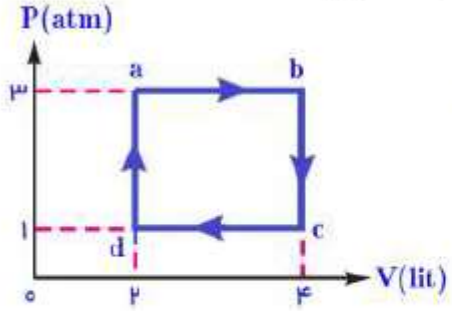
پاسخ: گزینه ۱ صحیح است. در چرخه ترمودینامیکی مجموع گرماهای گرفته شـده در طی فرآیندها، یعنی گرماهای مثبت $(Q_{da} + Q_{ab})$ برابر Q_H و مساحت داخل چرخه در نمودار $P - V$ برابر $|W|$ است. بنابراین با محاسبه Q_H و $|W|$ داریم:

$$Q_H = Q_{da} + Q_{ab} = \frac{۳}{۲}V\Delta P + \frac{۵}{۲}P\Delta V = \frac{۳}{۲} \times ۲ \times ۱۰^{-۳} \times ۰/۵ \times ۱۰^۵ + \frac{۵}{۲} \times ۱ \times ۱۰^۵ \times ۲ \times ۱۰^{-۳} = ۶۵۰j$$

$$|W| = ۰/۵ \times ۱۰^{-۳} \times ۲ \times ۱۰^۵ = ۱۰۰j$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۱۰۰}{۶۵۰} \simeq ۰/۱۵۴$$

(۷۶) در چرخه زیر، فرایندهای متوالی یک ما شین گرمایی تر سیم شده ا ست. بازده این ما شین 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 ٤) ٪۱۰۰

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.

$$Q_H = Q_{da} + Q_{ab} = \frac{۳}{۲}V\Delta P + \frac{۵}{۲}P\Delta V =$$

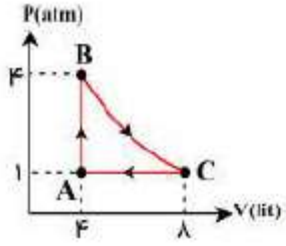
$$Q_H = \frac{۳}{۲} \times ۲ \times ۱۰^{-۳} \times ۲ \times ۱۰^۵ + \frac{۵}{۲} \times ۳ \times ۱۰^۵ \times ۲ \times ۱۰^{-۳}$$

$$Q_H = ۲۱۰۰j$$

$$|W| = ۲ \times ۱۰^{-۳} \times ۲ \times ۱۰^۵ = ۴۰۰j$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۴۰۰}{۲۱۰۰} = \frac{۴}{۲۱}$$

(۷۷) یک مول گاز کامل تک اتمی در یک ماشین گرمایی چرخه‌ای مطابق شکل زیر را طی می کند. اگر فرآیند BC بی دررو باشد، بازده‌ی این ماشین گرمایی چه قدر است؟ $(R = ۸\frac{j}{molK}, C_{MV} = \frac{۳}{۲}R, C_{MP} = \frac{۵}{۲}R)$



۱) $\frac{۴}{۹}$ ۲) $\frac{۲}{۳}$

۳) $\frac{۱}{۳}$ ۴) $\frac{۱}{۹}$

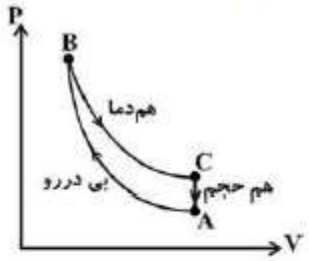
پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

$$Q_{CA} = Q_C = nC_{MP}\Delta T = \frac{۵}{۲}P\Delta V = \frac{۵}{۲}\times ۱۰^۵ \times (۴-۸)\times ۱۰^{-۳} = -۱۰۰۰j$$

$$Q_{AB} = Q_H = nC_{MV}\Delta T = \frac{۳}{۲}V\Delta P = \frac{۳}{۲}\times ۴\times ۱۰^{-۳}\times ۳\times ۱۰^۵ = ۱۸۰۰j$$

$$|W| = Q_H - |Q_C| \Rightarrow |W| = ۱۸۰۰ - ۱۰۰۰ = ۸۰۰j \quad , \eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۸۰۰}{۱۸۰۰} = \frac{۴}{۹}$$

(۷۸) گاز کاملی در یک ماشین گرمایی فرضی، چرخه‌ای مطابق شکل زیر را می‌پیماید. اگر کار انجام شده در مسیر AB برابر ۱۰۰j و گرمای مبادله شده در مسیر BC برابر ۱۸۰j باشد، بازده ماشین کدام است؟



۱) $\frac{۸}{۱۰}$ ۲) $\frac{۵}{۹}$

۳) $\frac{۴}{۹}$ ۴) $\frac{۲}{۷}$

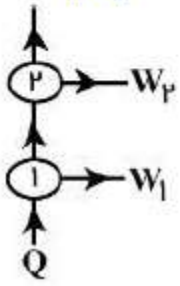
پاسخ: گزینه ۳ صحیح است.

$$\Delta U_{BC} = ۰ \Rightarrow W_{BC} = -Q_{BC} \Rightarrow W_{BC} = -(۱۸۰) = -۱۸۰j$$

$$W_T = W_{CA} + W_{AB} + W_{BC} = ۱۰۰ - ۱۸۰ = -۸۰j$$

گرمای مبادله شده در فرآیند همدما، برابر Q_H است، زیرا در فرآیند AB، $Q_{AB} = ۰$ است و در فرآیند CA، Q منفی خواهد بود. داریم: $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۸۰}{۱۸۰} = \frac{۴}{۹}$

(۷۹) شکل زیر، دو ماشین گرمایی را نشان می دهد. اگر بازده هر دو ماشین گرمایی η باشد، نسبت $\frac{|W_۱|}{|W_۲|}$ کدام است؟



۱) $\frac{۱}{\eta}$ ۲) $\frac{۱}{\eta^۲}$

۳) $\frac{۱}{۱-\eta}$ ۴) $۲-\eta$

پاسخ: گزینه ۳ صحیح است. گرمای تلف شده در ماشین اول به عنوان منبع گرم ماشین دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}=\frac{Q_H-|Q_C|}{Q_H}\Rightarrow \eta Q_H=Q_H-|Q_C|\Rightarrow |Q_C|=Q_H(1-\eta)$$

مقدار گرمایی که ماشین گرمایی دوم دریافت می‌کند، برابر مقدار گرمای تلف شده در ماشین اول است.

$$\eta'=\frac{|W'|}{Q'_H}=\frac{|W'|}{Q_H(1-\eta)}\xrightarrow{\eta=\eta'}\frac{|W|}{Q_H}=\frac{|W'|}{Q_H(1-\eta)}\Rightarrow\frac{|W|}{|W'|}=\frac{1}{1-\eta}$$

قانون دوم ترمودینامیك (به بیان ماشین گرمایی):

بررسی ماشین گرمایی نشان داد:

در یک ماشین گرمایی، هیچ گاه تمام گرمای گرفته شده از چشمه‌ی گرم به کار تبدیل نمی شود.

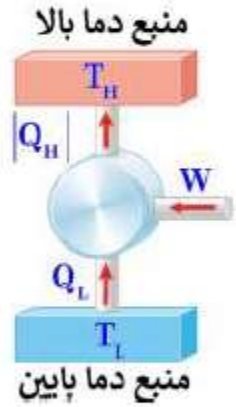
هیچ گاه بازده یک ماشین گرمایی صد در صد نیست.

بنابراین قانون دوم ترمودینامیک را بر اساس نتایج حاصل از بررسی ماشین گرمایی، به صورت زیر بیان می کنیم.

« ممکن نیست دستگاه چرخه ای را طی کند، که در حین آن مقداری گرما از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند و به وضعی که در شروع فرایند داشته است، باز گردد.»

نکته: ممکن است یک دستگاه بدون آنکه به حالت اول برگردد، تمام گرمای دریافتی را به کار تبدیل کند. در این صورت، قانون دوم ترمودینامیک نقض نمی شود. زیرا دستگاه به حات اول برنگشته است.

یخچال: وقتی دو جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار دارند، گرما به طور خودبه خود از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر شارش می کند. از طرفی ماشین گرمایی مقداری گرما از جسم با دمای بالا (منبع گرم) می گیرد، مقداری از آن را به کار مکانیکی تبدیل می کند و بقیه را به جسم دیگری با دمای پایین تر (منبع سرد) می دهد. اکنون سوال این است: آیا امکان دارد گرما از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود؟ آیا ممکن است دستگاهی به طور وارون کار کند و گرما را از جسم سرد بگیرد و به جسم سرد منتقل کند؟ پاسخ مثبت است و این دستگاه یخچال نام دارد. «یخچال وسیله ای است که با انجام کار، گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل می کند.»



در شکل روبرو، قسمتهای اساسی یخچال نشان داده شده است. دستگاه (ماده‌ی کاری) یخچال گاز فریون است. کمپرسور (موتور یخچال) با مصرف انرژی W، گاز فریون را از قسمت کم فشار که به آن محفظه‌ی تبخیر گفته می شود، می گیرد و آن را متراکم کرده و به قسمت پرفشار که چگالنده نامیده می شود می فرستد. به علت تراکم، دمای گاز افزایش یافته و از دمای منبع گرم بیشتر می شود. در نتیجه گرمای Q_H را به منبع گرم می دهد. چگالنده (رادیاتور یخچال) بیرون از یخچال است و گاز فریون گرمای Q_H را به هوا (منبع گرم) می دهد و به مایع تبدیل می شود. این مایع که دارای فشار زیاد است، از شیر انبساط که مجرای باریکی است عبور می کند و وارد محفظه‌ی تبخیر که فشار آن توسط کمپرسور کاهش یافته و تقریباً در آنجا خلأ ایجاد شده است، می شود. در نتیجه به بخار تبدیل می شود. محفظه‌ی تبخیر درون یخچال است و گرمای لازم برای تبخیر مایع، توسط آن از هوا و مواد درون یخچال گرفته می شود در نتیجه دمای درون یخچال پایین می آید. این کار مرتباً تکرار می شود.

در یخچال هم، دستگاه یک چرخه کامل را طی می‌کند و در حین آن محیط با انجام کار W بر روی دستگاه، گرمای Q_L را از منبع سرد (محتویات درون یخچال) می گیرد و گرمای Q_H را به منبع گرم (هوای بیرون یخچال) می‌دهد.

نکته: یخچال مانند یک ماشین گرمایی است که در جهت عکس کار می‌کند.

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم: $\Delta U = -|Q_H| + Q_L + W$، چون در یک چرخه $\Delta U = 0$؛ پس داریم: $|Q_H| = Q_L + W$. ملاحظه می شود گرمایی که یخچال به هوای اطراف خود می‌دهد، بیش از گرمایی است که از داخل یخچال می‌گیرد.

کولر گازی: طرز کار کولر گازی مانند یخچال است. در کولر گازی منبع سرد در داخل اتاق و منبع گرم بیرون قرار دارد. کولر با انجام کار، گرما را از داخل اتاق می گیرد و به هوای بیرون می دهد.

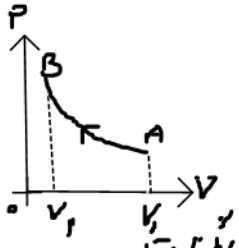
- اگر در یخچال در حال کار را باز بگذاریم، دمای آشپزخانه چگونه تغییر می‌کند؟ توضیح دهید.

پاسخ: دماي آشپزخانه افزايش مي‌يابد. زيرا يخچال مقدار Q_L گرما از منبع سرد كه همان هواي آشپزخانه است گرفته و گرماي $|Q_H| = Q_L + W$ كه بيشتر از Q_L را به منبع گرم كه باز همان محيط آشپزخانه است مي‌دهد پس بطور خالص گرماي W به محيط آشپزخانه داده خواهد شد و دماي آن را افزايش مي‌دهد.

قانون دوم ترمودینامیک (به بیان پخچالی):

گرما به خودی خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمی شود.

نکته: اگر قانون دوم ترمودینامیک به بیان پخچالی نقض شود (یعنی گرما به طور خود به خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود) قانون دوم به بیان ماشین گرمایی نیز نقض می شود (یعنی می توان ماشینی ساخت که در یک چرخه گرما را به کار تبدیل کند) و بر عکس.



(۸۰) مطابق شکل زیر جرم مقدار معینی گاز آرمانی، در یک فرآیند بی دررو از V_1 به V_2 می رسد. کدام مورد زیر درست است؟ سراسری ریاضی ۹۹

الف) انرژی درونی گاز افزایش می یابد. ب) دمای گاز ثابت می ماند.

ت) کار انجام شده روی گاز برابر گرمای است که گاز می گیرد. ث) کار انجام شده روی گاز برابر تغییر انرژی درونی گاز است.

① الف و ت ② الف و ث ③ ب و ث ④ ب و ت

پاسخ: گزینه ① : در تراکم بی دررو داریم $Q=0 \Rightarrow W=W$

$\Delta U = Q + W = W$

$\Delta U \propto \Delta T \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow T_2 - T_1 > 0 \Rightarrow T_2 > T_1 \Rightarrow T \uparrow$

$\downarrow V \Rightarrow W > 0$

الف) $Q=0$ (بی دررو)

$\Delta U > 0 \Rightarrow U \uparrow \Rightarrow T \uparrow$ ← تأثیر رابطه بالا اثر

ب) $\Delta T > 0 \Rightarrow T \uparrow$ ← اثر خط

ت) $\Delta U = Q + W = W$ ← تأثیر اثر

---

(۸۱) فشار بیمانه‌ای مقداری گاز آرمانی 5×10^4 Pa و انرژی درونی آن ۶۰۰ J است. اگر فشار بیمانه‌ای گاز را دو برابر کنیم و هم زمان حجم گاز را نیز دو برابر کنیم، انرژی درونی گاز چند ژول می‌شود؟ ($P_0 = 1.0\times10^5$ Pa) (سراسری ریاضی ۹۹)

۱) ۸۰۰ ۲) ۱۲۰۰ ۳) ۱۶۰۰ ۴) ۲۴۰۰

پاسخ گزینه ③

ابتدا فشار بیمانه‌ای گفته شده را به فشار مطلق تبدیل می‌کنیم:

$P_1 - P_0 = 5\times10^4$ (Pa), $P_0 = 1.0\times10^5$ Pa $\Rightarrow P_1 = 1.5\times10^5$ Pa

$P_2 - P_0 = 2(P_1 - P_0) \Rightarrow P_2 - 1.0\times10^5 = 2(5\times10^4) \Rightarrow P_2 = 2\times10^5$ Pa

گام دوم:

$U \propto T \propto PV \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{P_2V_2}{P_1V_1} = \frac{(2\times10^5)(2V_1)}{(1.5\times10^5)(V_1)} = \frac{4}{1.5} \Rightarrow \frac{U_2}{600} = \frac{4}{1.5} \Rightarrow U_2 = 1600$ J

U ↓ انرژی درونی، T ↓ دما

موفق باشید. شهریور ۱۴۰۰