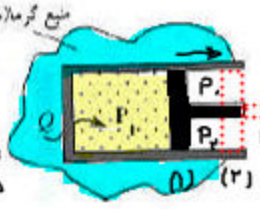
فرآیند هم فشار: فرآیندی که در آن فشار ثابت می‌ماند.

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.)



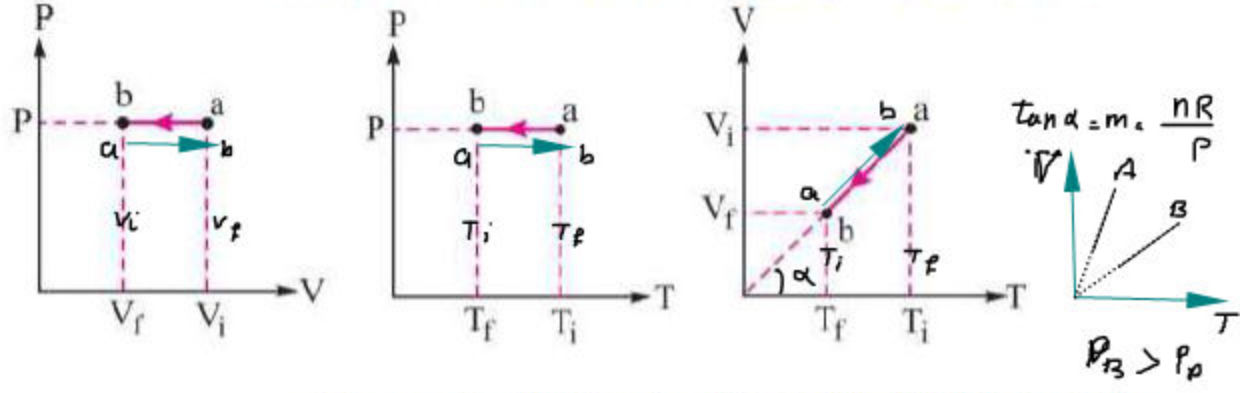
بنابراین می‌توان گفت در حین گرما دادن همواره فشار گاز با فشار محیط برابر است، یعنی در حین فرآیند فشار ثابت است. در این حالت شتاب پیستون بسیار کوچک و نزدیک به صفر است، پس نیرویی که گاز به پیستون وارد می کند باید با نیرویی که محیط به پیستون وارد می کند، برابر باشد.

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.

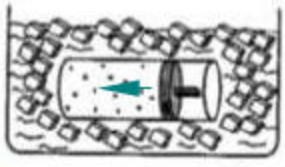
$$P_1 = P_2 \Rightarrow V \alpha T \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

نمودارهای P-V، V-T و P-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)



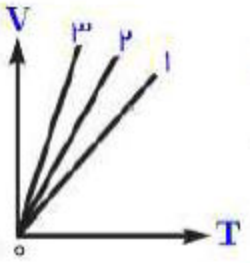
الف)پیستون به چه سمتی حرکت می کند؟

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.

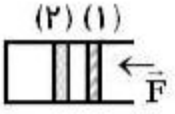
با توجه به نمودار مقابل، فشار فرایندها را با هم مقایسه کنید.



پاسخ: می‌دانیم نمودار $V\text{-}T$ 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 $V_3 > V_2 > V_1$ است و داریم $P_3 < P_2 < P_1$

☆ **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)



$$W_P = -P\Delta V \begin{cases} \Delta V>0 & W_P<0 \\ \Delta V<0 & W_P>0 \end{cases}$$

$$\left.\begin{matrix} F=PA \\ w'=Fd \end{matrix}\right| \Rightarrow w'=PAd,\ Ad=\Delta V=V_2-V_1 \Rightarrow w'=P.\Delta V$$

نکته: چون فشار گاز ثابت است، لذا کار انجام شده از طرف محیط روی دستگاه (W) در فاصله‌ای که حجم دستگاه از V_1 به V_2 می رسد و کار انجام شده از طرف دستگاه روی محیط (W') در فاصله‌ای که حجم دستگاه از V_1 به V_2 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 $\Delta V<0$ و در نتیجه $(W>0)$ و $(W'<0)$ 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.

$PV=nRT \Rightarrow P\Delta V=nR\Delta T$

(P ثابت، n ثابت، R ثابت)

کار محیط روی دستگاه $W_P=-P\Delta V=-nR\Delta T$

تغییرات حجم — تغییرات دما

T_1 $P_2 = 1{,}25P_1$

(۱۳) فشار $0/5\,mol$ 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

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{300} = \frac{1{,}25P_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 300 \times 1{,}25 = 375K$

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:

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

(۱۴) یک مول گاز تک اتمی، طی یک فرایند هم فشار، $40j$ کار روی محیط انجام می‌دهد. تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟ (سراسری ریاضی -۹۷)

۱) ۱۴۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۶۰ ۴) ۲۰

پاسخ: گزینه ۳ درست است. در فرآیند همفشار گاز کامل تک اتمی داریم:

$W' = 40J \rightarrow W = -40J$

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

$T_1 = 27 + 273 = 300\,k$

(۱۵) حجم نیم مول گاز هلیم طی یک فرآیند هم فشار، از $10Lit$ به $8Lit$ 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) -۲۴۰ ۲) -۱۲۰۰ ۳) ۲۴۰ ۴) ۱۲۰۰

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

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

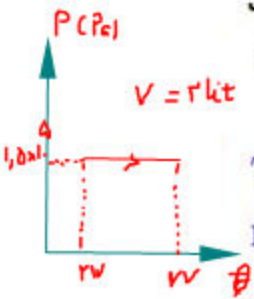
$$\Delta T = T_2 - T_1 = 240 - 300 = -60K \;,\; W = -nR\Delta T = -0/5 \times 8 \times (-60) = +240j$$

۱۷- دمای ۱۰g گاز هیدروژن در فشار ثابت از ۲۷°C به ۱۲۷°C می‌رسد. کار انجام شده توسط گاز در این فرآیند چند کیلوژول است؟ $(R = ۸\frac{J}{mol.k})$ (سراسری ریاضی-۹۶)

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

۱۸- نمودار ۲Lit از یک گاز کامل در فشار $۱/۵\times۱۰^۵pa$ و دمای ۲۷°C در اختیار داریم. دمای این گاز را در یک فرآیند هم‌فشار به ۷۷°C می‌رسانیم، در این فرآیند، گاز روی محیط چند ژول کار انجام می‌دهد؟ (گزینه ۲-۹۷)

۱) ۵۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۱۵۰ ۴) ۲۰۰



$T=\theta+۲۷۳ \Rightarrow T_۱ = ۳۰۰K\ ,\ T_۲ = ۳۵۰K$

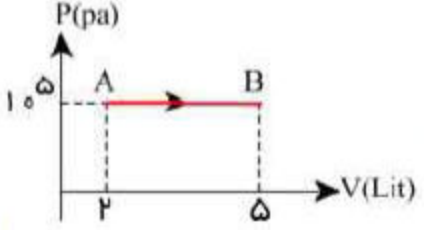
$P = cte \Rightarrow \frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} \Rightarrow \frac{۲}{۳۰۰} = \frac{V_۲}{۳۵۰} \Rightarrow V_۲ = \frac{۷}{۳}Lit$

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

$W_p = -P\Delta V = -۱/۵\times۱۰^۵ \times (\frac{۷}{۳} - ۲)\times۱۰^{-۳} = -۵۰j$

پس گاز ۵۰j کار روی محیط انجام می‌دهد.

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



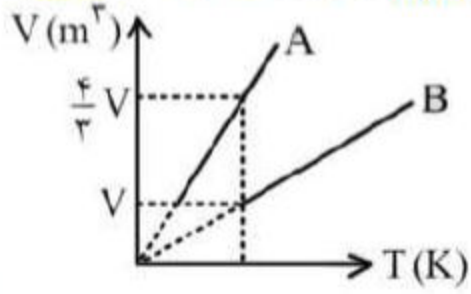
۱) ۳۰۰j ۲) −۳۰۰j

۳) ۶۰۰j ۴) −۶۰۰j

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

$W = -P\Delta V = -۱۰^۵ \times ۳\times۱۰^{-۳} = -۳۰۰j$

(۲۱) -اگر نمودار $V-T$ برای $4mol$ گاز آرمانی A در فشار $5atm$ و n مول گاز آرمانی B در فشار $8atm$ به صورت روبرو باشد، n کدام است؟ (مدارس برتر-۹۷)



۱) ۲/۴ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۴/۸

پاسخ: گزینه ٤ صحیح است. فرایندهای A و B هم‌فشار هستند. در دمای ثابت حجم B برابر حجم A برابر $\frac{4}{3}V$ است، از اینرو:

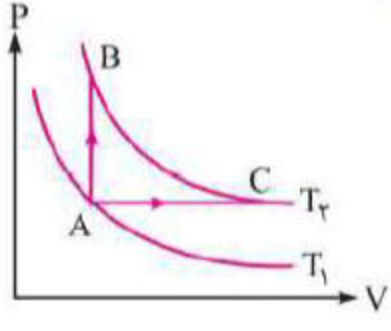
$$\left.\begin{matrix} P_AV_A = n_ART_A \\ P_BV_B = n_BRT_B \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{P_AV_A}{P_BV_B} = \frac{n_AT_A}{n_BT_B} \Rightarrow \frac{5}{8} \times \frac{\frac{4}{3}V}{V} = \frac{4}{n} \times 1 \Rightarrow 5n = 24 \Rightarrow n = 4/8$$

نکته: ظرفیت گرمایی در فشار ثابت به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک اتمی $\frac{5}{2}R$ و برای گازهای دو اتمی $\frac{7}{2}R$ و برای گازهای چند اتمی $\frac{9}{2}R$ می‌باشد.

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

مثال: در گاز کامل با فرض $T_2 > T_1$ همیشه C_{MP} بزرگتر از C_{MV} است. چرا؟ (یعنی اثبات کنید $C_{MP} = C_{MV} + R$)

پاسخ:



$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} \Rightarrow \begin{cases} nC_{MP}(T_2 - T_1) - p\Delta V = nC_{MV}(T_2 - T_1) \\ PV = nRT \Rightarrow P\Delta V = nR\Delta T \end{cases} \Rightarrow$$
$$nC_{MP} - nR = nC_{MV} \Rightarrow C_{MV} = C_{MP} - R$$

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

$$\left|\frac{Q}{W}\right| = \frac{nC_{MP}\Delta T}{nR\Delta T} = \frac{C_{MP}}{R} > 1$$

قانون اول ترمودینامیک: 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: $\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$

$W' = -W$

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 ترمودینامیک، در واقع همان قانون پایستگي 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.

$T_2 > T_1 \rightarrow \Delta T > 0 \rightarrow \Delta U > 0$

$T_2 < T_1 \rightarrow \Delta T < 0 \rightarrow \Delta U < 0$

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 ترموديناميکی دستگاه ۴۲۰J گرما از محيط دريافت می‌کند و انبساط می‌يابد. اگر کاری که دستگاه روی محيط انجام می‌دهد ۱۰۰J باشد، تغيير انرژی درونی دستگاه چند ژول است؟ (مثال۵-۱ کتاب درسی)

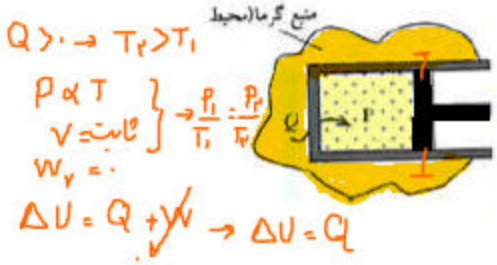
پاسخ: چون دستگاه از محيط گرما گرفته است، پس $Q = +420J$ و چون کار دستگاه روی محيط ۱۰۰J است، پس کار محيط روی دستگاه $W = -100J$ می‌شود و داريم: $\Delta U = Q + W = 420 - 100 = 320J$

فرآيندهای خاص:

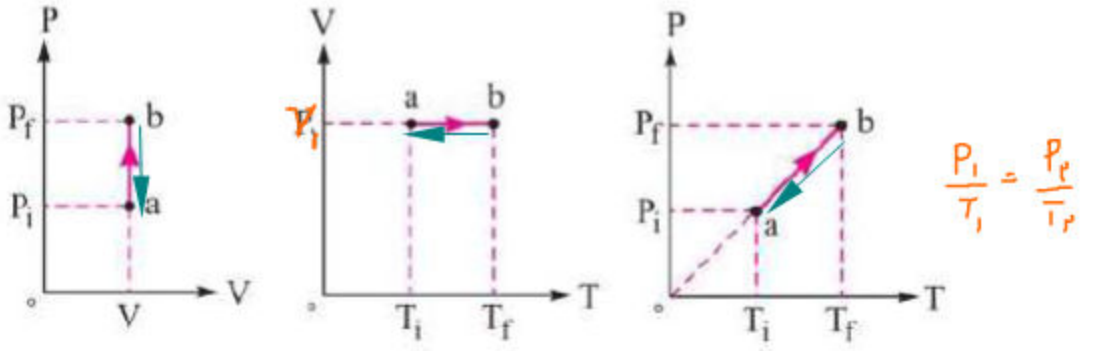
الف) فرآيند هم‌حجم **ب) هم‌فشار** **ج) هم‌دما** **د) بی‌دررو**

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

در شکل مقابل طی اين فرآيند، گاز مقداری گرما از يک منبع گرما می‌گيرد و دما و فشار آن در حجم ثابت V_1، بالا می رود. زيرا با توجه به رابطه $PV=nRT$، با ثابت ماندن V، فشار گاز با دما نسبت مستقيم دارد. يعنی با افزايش دما (چون گاز گرما گرفته)، فشار زياد و با کاهش دما، فشار گاز کم می شود. در نتيجه نمودار P-T اين فرايند خطی راست است که از مبدأ می گذرد.

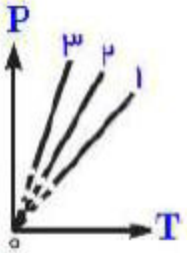


نمودارهای مختلف يک فرآيند هم حجم، که در طی آن گاز مقداری گرما می گيرد.



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

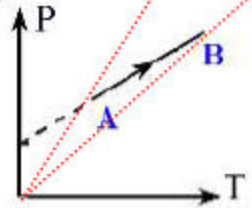
با توجه به نمودار مقابل، حجم فرایندها را با هم مقایسه کنید.



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: $V_3 < V_2 < V_1$

$PV=nRT$

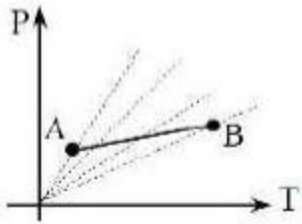
$P=\frac{nR}{V}T$



⑨ در فرایند AB حجم گاز چگونه تغییر می‌کند؟

۱) ثابت است. ۲) زیاد می‌شود.

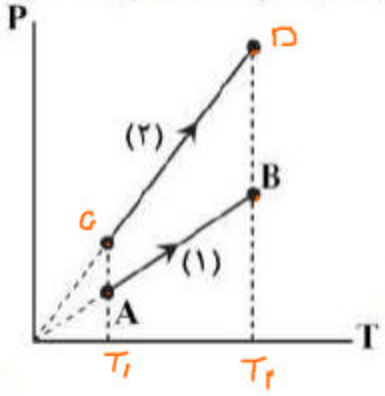
۳) کم می‌شود. ٤) ابتدا کم و سپس زیاد می‌شود.



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.

ΔU ∝ ΔT
ΔU = Q

(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.

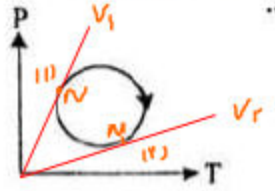
۱) ۱ ۲) ۲
۳) ۳ ۴) صفر

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

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

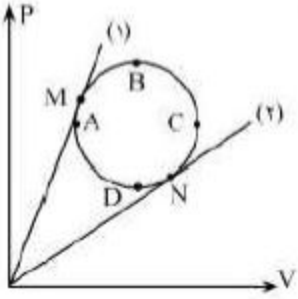
از طرفی داریم: $\Delta T_1 = \Delta T_2 \Rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_2 \xrightarrow{\Delta U = Q + W} Q_1 = Q_2$

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.



$T_M > T_N$

پاسخ:

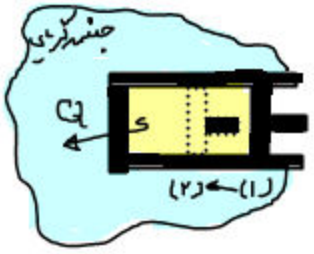


مطابق شکل، نمودار دو فرآیند هم حجم (۱) و (۲) را رسم می‌کنیم. شیب این خط‌ها برابر $\frac{nR}{V}$ و $V_N > V_M$ است. توجه کنید که دو خط (۱) و (۲) که بر دایره مماس شده‌اند، بیشترین و کمترین شیب را نسبت به خط‌های دیگر که نمودار را قطع می‌کنند، خواهند داشت. بنابراین حجم گاز در نقطه‌ی M، کمترین مقدار و در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

$T_M = M_{\text{کم}}$

$T_N = M_{\text{زیاد}}$

ترآکم هم فشار



$V_2 < V_1 \Rightarrow \Delta V < 0$ متراکم شده $\Rightarrow W > 0$

$T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U \propto \Delta T \Rightarrow \Delta U < 0$

$\Delta U = Q + W$
$<0 \quad <0 \quad >0$