فصل پنجم: ترمودینامیک

((ما پدیده‌های جهان خود و دریا را با کمک نیروی جاذبه توضیح دادیم اما دلیل این نیرو را هنوز بیان نکرده-ایم... من قادر نبوده‌ام دلیل این خواص نیروی جاذبه را از پدیده‌ها کشف کنم و فرضیه‌ای در این رابطه ندارم)).
اسحاق نیوتن

۵-۱ ترمودینامیک:

علمی است که به مطالعه رابطه کار و گرما و چگونگی تبدیل آنها به یکدیگر می‌پردازد. فرآیندهای ماکروسکوپی که در فرآیندهای گرمایی به هم مربوط می‌شوند اساس کار علم ترمودینامیک است.

۵-۲ دستگاه و محیط:

در بررسی مسائل فیزیک معمولا توجه خود را به بخشی از جهان معطوف می‌کنیم و در ذهن خود آنچه که در اطرافش قرار دارد را جدا می‌کنیم. این بخش را دستگاه و اجسامی که اطرافش قرار دارند و بر روی ساختار دستگاه تاثیر می‌گذارند را محیط می‌نامیم.

✓ نکته: در این کتاب درسی معمولا مقدار گازی که درون محفظه‌ای قرار دارد دستگاه در نظر می‌گیریم.

۵-۳ کمیت‌های ماکروسکوپیک:

کمیت‌هایی هستند که وضعیت کلی دستگاه را توصیف می‌کنند و به جزییات رفتار تک تک مولکول‌ها وابسته نیستند. مانند فشار، دما، گرمای ویژه و ...

۵-٤ کمیت‌های میکروسکوپی:

کمیت‌هایی هستند که به توصیف رفتار تک تک ذرات تشکیل دهنده‌ی یک دستگاه می‌پردازند. مانند سرعت، مکان ذره، نیروی بین ذرات و ...

۵-۵ حالت ترمودینامیکی:

وضعیت ترمودینامیکی یک دستگاه با تعیین فشار P ، حجم V و دمای مطلق T مشخص می‌شود. این وضعیت را حالت ترمودینامیکی سیستم میگویند. اگر فقط دو کمیت از سه کمیت فوق مشخص باشد می‌توان حالت دستگاه را تشخیص داد.

۵-٦ فرآیند ترمودینامیکی:

تحولی که دستگاه از یک حالت به حالت دیگر منتقل میشود را فرآیند ترمودینامیکی می‌گویند.

✓ نکته۲: اگر فشار و دمای یک گاز در تمام نقاط آن یکسان باشند دستگاه در تعادل ترمودینامیکی قرار دارد.

۵-۷ فرآیندهای آرمانی(ایده آل):

فرآیندی که دستگاه در طول آن همواره در حالت تعادل باقی بماند را فرآیند آیده‌آل میگوییم. در این مبحث فقط با این نوع فرآیند کار می‌کنیم.

۵-۸ متغییرهای ترمودینامیکی:

به کمیت‌هایی مانند فشار P ، حجم V و دمای مطلق T که حالت دستگاه را می‌توان بر حسب آنها توصیف کرد متغییرهای ترمودینامیکی می‌گوییم.

۵-۹ گاز کامل:

گازی که بسیار رقیق باشد یا به عبارتی برهمکنش بین ذرات آن بسیار کم باشد را گاز کامل می‌گویند.

۱۰-۵ معادله حالت گازها:

همانطور که در فیزیک سال دوم دبیرستان اشاره شد مقدار $\frac{PV}{T}$ همواره ثابت است. که این مقدار ثابت بسته به ذرات تشکیل دهنده‌ی گاز دارد لذا می‌توان نوشت:

$$\frac{PV}{T} \alpha n$$

$$\frac{PV}{T} = nR \rightarrow PV = nRT$$

$$n = \frac{m}{M},,,,R = 8.314 \frac{j}{mol\,^0K}$$

دقت شود که در رابطه بالا باید کمیتها در دستگاه SI انتخاب شود. لذا یکای فشار پاسکال، یکای دما کلوین و یکای حجم متر مکعب است.

مثال۱: ٦٤ گرم اکسیژن چند مول است در صورتی که جرم مولی اکسیژن ۳۲ گرم بر مول باشد.

مثال۲: حجمی که ۲ مول گاز کامل در فشار ۲ اتمسفر در دمای ۲۷ درجه سلسیوس اشغال می‌کند چه مقدار است.

مثال۳: جرم ۸,۳ لیتر گاز هیلیوم در فشار ٦×۱۰^{٥} پاسکال و در دمای ۲۷ درجه سلیسوس چند گرم است؟

مثال٤: یکای PV را مشخص کنید.

۵-۱۱ تبادل انرژی:

تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق کار و گرما صورت می‌گیرد. گرما نوعی انرژی است که بر اثر اختلاف دما از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌شود. اگر جسم گرما بگیرد علامت آن مثبت و اگر گرما از دست بدهد علامت آن منفی است.

۵-۱۲ منبع گرمایی:

هر جسمی گرما بگیرد و یا گرما از دست بدهد اما دمای آن تغییر نکند به آن منبع گرمایی می‌گویند.

۵-۱۳ کار:

در یک فرآیند ترمودینامیکی هر گاه حجم گاز تغییر کند(دستگاه منبسط و یا متراکم شود) می‌گوییم کار انجام شده است. در این حالت تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق کار انجام شده است.

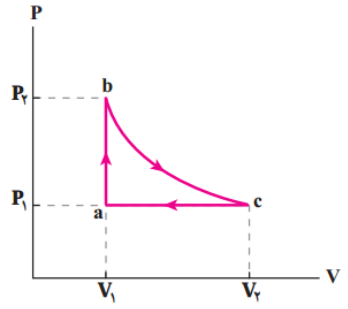
$$W = -P\Delta V$$

مثال۵: نشان دهید کاری که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد W با کاری که دستگاه انجام می‌دهد W' هم اندازه اما مختلف العلامه است.

نکته۳: در تراکم $W>0$ و $W'<0$ و در انبساط $W<0$ و $W'>0$

۵-۱٤ چرخه:

اگر دستگاه پس از انجام چند فرآیند ترمودینامیکی دوباره به حالت ابتدایی خود بازگردد دستگاه یک چرخه را طی کرده است.



۵-۱۵ انرژی درونی:

به مجموع انرژی ذرات تشکیل دهنده یک جسم انرژی درونی جسم گویند. و با U نشان می‌دهند.

نکته٤: نکاتی در مورد انرژی درونی

- انرژی درونی یک جسم فقط تابعی از دمای مطلق گاز است.
- انرژی درونی یک گاز کامل تک اتمی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1)$$

- تغییر انرژی درونی در یک چرخه برابر صفر است. زیرا دوباره به دمای اولیه بر می‌گردد.

۵-۱٦ قانون اول ترمودینامیک:

این قانون در حقیقت همان قانون پایستگی انرژی در فرآیندهای ترمودینامیکی است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta U = W + Q$$

مثال٦: اگر یک دستگاه ترمودینامیکی ۲۵۰ ژول گرما دریافت کند و ۳۰۰ ژول کار روی محیط انجام بدهد انرژی درونی آن .....ژول.....می‌یابد.

مثال۷: گازی ۵۰۰ ژول گرما گرفته و ۳۰۰ ژول کار انجام می‌دهد اگر انرژی درونی گاز در انتهای فرآیند ۱۳۰۰ ژول باشد انرژی درونی آن در ابتدای فرآیند چقدر بوده است.

۵-۱۷ فرآیندهای خاص: بین دو حالت خاص فرآیندهای متفاوتی رخ می‌دهد که شامل هم حجم، هم فشار، هم دما و بی‌دررو می‌شوند.

۵-۱۸ فرآیند هم حجم:

در این نوع فرآیند حجم دستگاه در حین تحول ثابت می‌ماند و کار انجام شده در این فرآیند صفر است و تبادل انرژی فقط از طریق گرما صورت می‌گیرد.

۱- معادله حالت:

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

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

۲- کار مبادله شده:

$$V = const \rightarrow V_1 = V_2 \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow W = 0$$

۳- گرمای مبادله شده:

$$Q = nC_{MV}\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta P$$

$$C_{MV} = \frac{3}{2}R$$

$$C_{MV} = \frac{5}{2}R$$

$$C_{MV} = \frac{7}{2}R$$

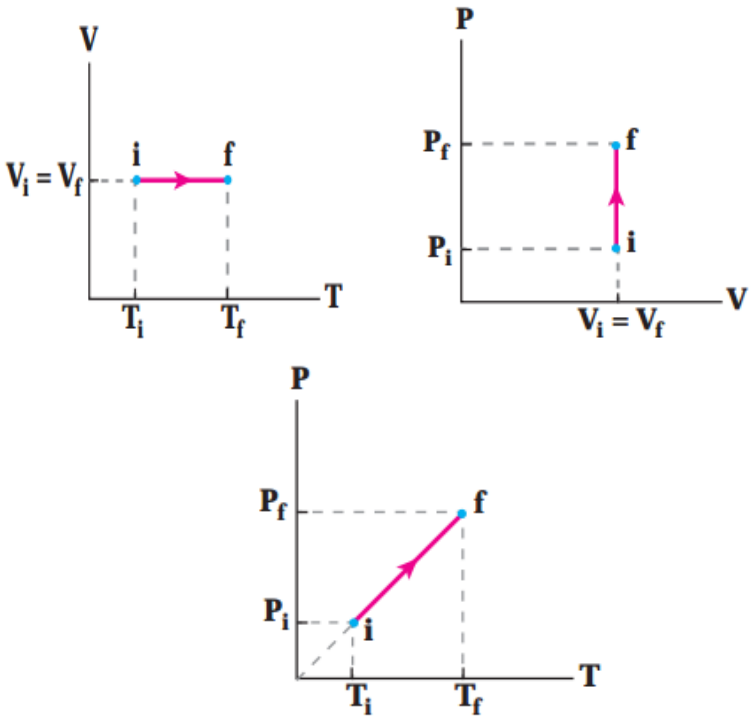
٤- قانون اول ترمودینامیک

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

$$\left.\begin{matrix} P_2 > P_1 \\ T_2 > T_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} Q > 0 \\ \Delta U > 0 \end{cases}$$

$$\left.\begin{matrix} P_2 < P_1 \\ T_2 < T_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} Q < 0 \\ \Delta U < 0 \end{cases}$$

۵- بررسی نمودارها:



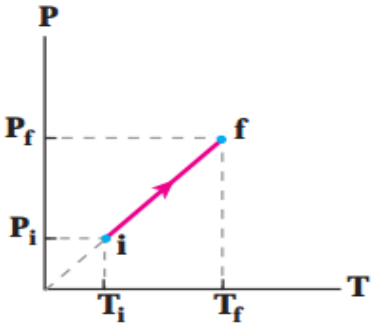
✓ نکته۵: شیب نمودار فشار-دما در فرآیند هم حجم نشانگر $\frac{nR}{V}$ است. لذا هر چقدر حجم افزایش یابد شیب نمودار کمتر و هرچه حجم کوچکتر شود شیب نمودار افزایش می‌یابد.

مثال۸: در فرآیند هم حجم فشار گاز از ۲ اتمسفر به ۵ اتمسفر افزایش می‌یابد. اگر دمای ابتدایی ۲۷ درجه سیلیسوس باشد دمای نهایی را بیابید.

مثال۹: به گازی تک اتمی در فرآیند هم حجمی با حجم ۳ متر مکعب مقدار Q گرما داده‌ایم و فشار آن از ۲ اتمسفر به ٦ اتمسفر رسیده است. مقدار Q را بیابید.

مثال۱۰: به دو مول گاز کامل ۲ اتمی در فرآیند هم حجم مقدار ۳۰۰۰ ژول گرما داده‌ایم. تغییرات دما در این گاز چند درجه سلیسوس است.

مثال۱۱: در نمودار زیر فشار اولیه ٦×10^{5} و فشار انتهایی 12×10^{5} و دمای ابتدایی ۳۰۰ درجه کلوین است.



الف- نوع فرآیند را بیابید.

ب- دمای انتهای فرآیند را بیابید.

ج- نمودار فشار-حجم و حجم-دما را رسم کنید.

۱۹-۵ گرمای ویژه در حجم ثابت(C_V):

مقدار گرمایی که یک کیلوگرم گاز در حجم ثابت می‌گیرد تا دمای آن یک درجه کلوین افزایش یابد را می‌گویند.

$$Q = mC_V \Delta T$$

۲۰-۵ ظرفیت گرمایی مولی گاز در حجم ثابت(C_{MV}):

مقدار گرمایی که یک مول گاز در حجم ثابت می‌گیرد تا دمای آن یک درجه کلوین افزایش یابد.

$$Q = nC_{MV} \Delta T$$

مثال۱۲: ۰٫۵ مول گاز هیدروژن در دمای ۳۰۰ درجه کلوین و در حجم ثابت داریم. اگر ۱۰۰ ژول گرما به گاز داده شود دمای آن چند درجه کلوین و چند درجه سلیسوس می‌شود.

مثال۱۳: دمای اولیه ۱ مول گاز کامل تک اتمی ۲۰۰ درجه کلوین و فشار آن ۲ اتمسفر است. چه مقدار گرما باید به گاز بدهیم تا فشار آن در حجم ثابت به ۳ اتمسفر برسد.

مثال۱٤: ۳ لیتر گاز کامل تک اتمی در فشار ٤ اتمسفر قرار دارد. اگر بخواهیم در حجم ثابت فشار گاز را به ۱ اتمسفر برسانیم چه مقدار گرما باید از گاز گرفته شود. دمای اولیه ۲۰۰ درجه کلوین است.

مثال۱۵: فشار یک گاز کامل تم اتمی در حجم ثابت ۵ لیتر از ۲ اتمسفر به ٦ اتمسفر میرسد. گرمای گرفته شده توسط گاز چند ژول است و تغییرات انرژی درونی را بیابید.

۵-۲۱ فرآیند هم فشار

در این فرآیند فشار گاز در حین تحول ثابت می‌ماند و تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق کار و گرما صورت می‌گیرد. برای انجام فرآیند هم فشار دستگاه را با یک منبع گرمایی تماس می‌دهیم و دمای منبع گرمایی به تدریج زیاد یا کم میشود و دستگاه با گرفتن گرما یا از دست دادن گرما منبسط و یا متراکم شده و فشار آن با فشار محیط برابر می‌شود.

۱- معادله حالت:

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

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

۲- کار مبادله شده:

$$W = -P\Delta V$$

$$W = -nR\Delta T$$

۳- گرمای مبادله شده:

$$Q = nC_{MP}\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V$$

$$C_{MP} = \frac{5}{2}R$$

$$C_{MP} = \frac{7}{2}R$$

$$C_{MP} = \frac{9}{2}R$$

٤- قانون اول ترمودینامیک

$$\Delta U = Q + W$$

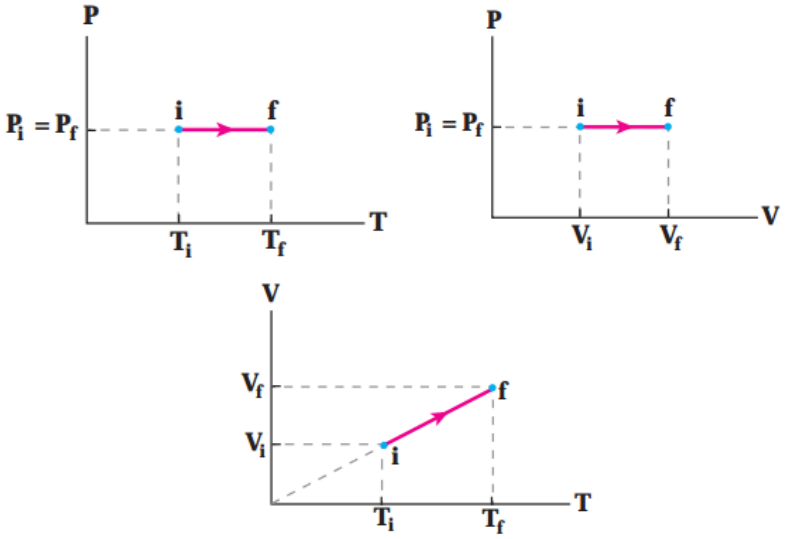
$$\left.\begin{matrix} V_2 > V_1 \\ T_2 > T_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} Q > 0 \\ W < 0 \\ \Delta U > 0 \end{cases}$$

$$\left.\begin{matrix} V_2 < V_1 \\ T_2 < T_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} Q < 0 \\ W > 0 \\ \Delta U < 0 \end{cases}$$

- ✓ نکته٦: در فرآیند هم فشار کار و گرمای مبادله شده مختلف العلامه هستند و مقدار گرمای بیشتر از کار است.
- ✓ نکته۷: برای یک گاز کامل تک اتمی در فرآیند هم فشار داریم:

$$Q = -2.5W$$

۵- نمودارها:



✓ نکته۸: در فرآیند هم فشار شیب نمودار V-T بیانگر $\frac{nR}{P}$ است. لذا هر چقدر فشار افزایش یابد شیب کاهش می‌یابد و بالعکس.

مثال۱۶: اگر به یک مول گاز تک اتمی در فشار ثابت ۲۰۰۰ ژول گرما دهیم تغییر انرژی درونی گاز چند ژول می‌شود.

۵-۲۲ ظرفیت گرمایی در فشار ثابت(C_P):

مقدار گرمایی که یک کیلوگرم گاز در فشار ثابت می‌گیرد تا دمای آن یک درجه کلوین افزایش یابد.

$$Q = mC_P\Delta T$$

۵-۲۳ ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت(C_{MP}):مقدار گرمایی که یک مول گاز در فشار ثابت می‌گیرد تا دمای آن یک درجه کلوین افزایش یابد.

$$Q = nC_{MP}\Delta T$$

✓ نکته۹: همواره ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت از ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت بیشتر است. این افزایش به مقدار R است.

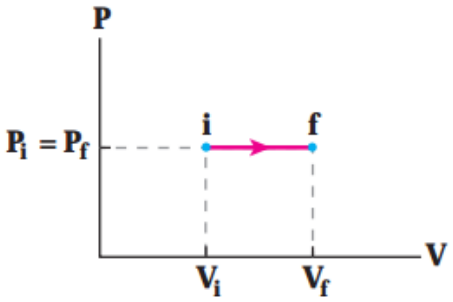
$C_{MP} > C_{MV}$

$C_{MP} = C_{MV} + R$

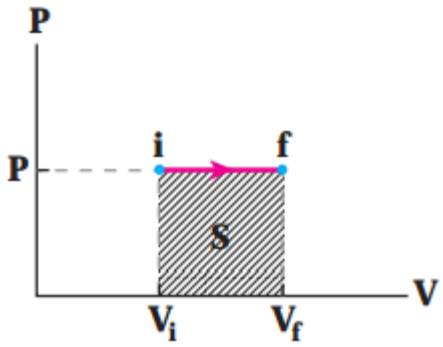
مثال۱۷: ۰/۵ مول گاز کامل تک اتمی در فشار ثابت ۲ اتمسفر که حجم آن از ۰/۵ لیتر به ۰/۲ لیتر رسیده است را در نظر بگیرید. این دستگاه چقدر کار و گرما مبادله می‌کند؟

مثال۱۸: ۲ مول گاز کامل تک اتمی در دمای ۳۰۰ درجه کلوین در فشار ۲ اتمسفر قرار دارد. اگر در فشار ثابت دمای گاز را به ٤۰۰ درجه کلوین برسانیم مطلوب است محاسبه‌ی کار و گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط.

مثال ۱۹: مقدار کار و گرمای داده شده به ۰/۵ مول گاز کامل تک اتمی را به کمک نمودار بیابید. فشار ثابت ۱ اتمسفر و حجم ابتدایی و انتهایی به ترتیب ۱۰ و ٤۰ لیتر است.



✓ نکته ۱۰: سطح زیر نمودار P-V در فرآیند فشار ثابت نشانگر کار انجام شده از طرفی محیط روی دستگاه است.



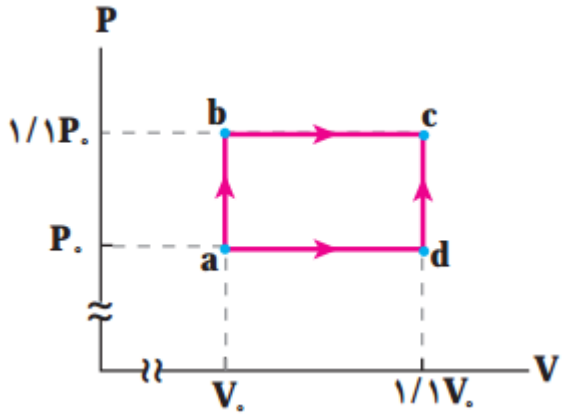
مثال۲۰: گازی در فشار ثابت ۲ اتمسفر ا حجم ۲ لیتر به ٤ لیتر می‌رود. نمودار فشار-حجم آن را رسم کرده و از طریق آن کار انجام شده توسط محیط را بیابید.

مثال۲۱: مقدار گاز کامل تک اتمی از دو مسیر مختلف abc و adc از نقطه a به c میرود.

الف- انرژی درونی گاز در مسیر abc.

ب- انرژی درونی گاز در مسیر adc.

ج- قسمت الف و ب را مقایسه کنید.



۵-۲۴ فرآیند هم دما:

در این فرآیند دمای دستگاه در حین تحول ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه فشار و حجم با یکدیگر رابطه عکس دارند. در این فرآیند انرژی درونی دستگاه برابر صفر بوده لذا کار و گرمای انجام شده با یکدیگر هم اندازه اما مختلف العلامه هستند.

۱- معادله حالت:

$$PV = nRT \rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

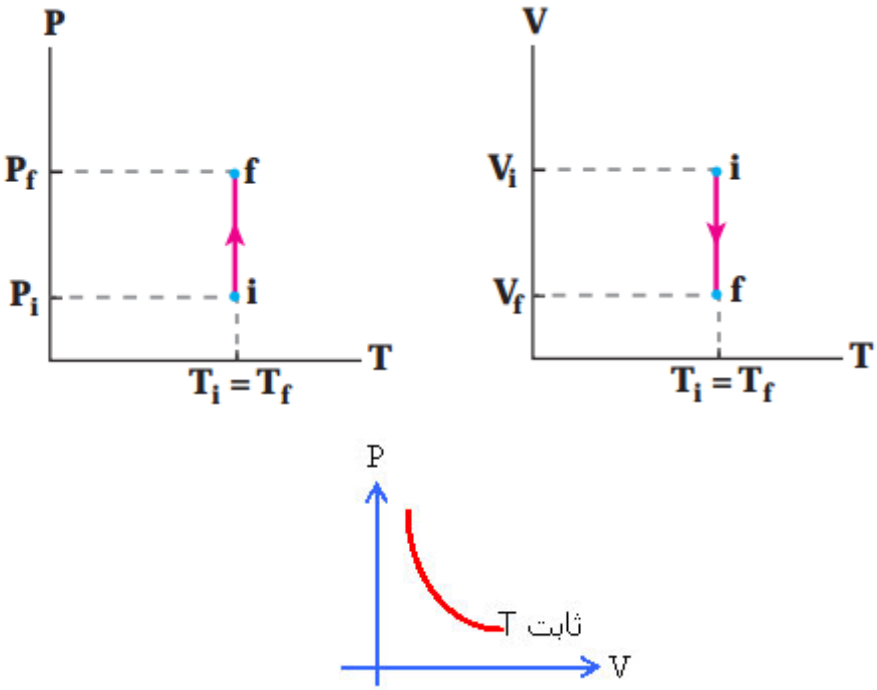
۲- قانون اول ترمودینامیک:

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

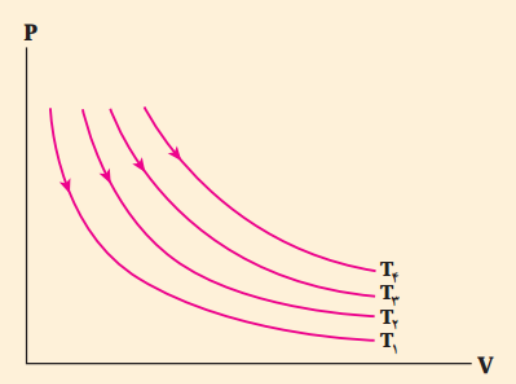
$$\left.\begin{matrix} P_2 > P_1 \\ V_2 < V_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} W > 0 \\ Q < 0 \end{cases}$$

$$\left.\begin{matrix} P_2 < P_1 \\ V_2 > V_1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} W < 0 \\ Q > 0 \end{cases}$$

۳- بررسی نمودارها:



مثال۲۲: در شکل زیر نشان دهید: $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$



✓ نکته۱۱: در فرآیند همدما همواره حاصل PV ثابت است.

مثال۲۳: در فرآیند هم دما بر روی ۲ مول گاز کامل تک اتمی ۴۰ ژول گرما به دستگاه داده شده است. کار انجام شده بر روی دستگاه چند ژول است؟

مثال۲۴: اگر در فرآیند هم دما فشار گازی را از ۲ اتمسفر به ۵ اتمسفر برسانیم حجم آن چند برابر حجم اولیه می‌شود؟

۲۵-۵ فرآیند بی‌دررو(آدیاباتیک):

در این فرآیند تمامی مشخصه‌های ترمودینامیکی تغییر کرده. تغییرات فشار و دما به صورت مستقیم ولی تغییر حجم عکس این دو است. در این فرآیند دستگاه توسط عایق حرارتی عایق بندی شده است و دستگاه با محیط تبادل گرما ندارد لذا $Q=0$ است. نمودار فشار-حجم این فرآیند شبیه به نمودار فشار-حجم فرآیند هم دما است.

۱- قانون اول ترمودینامیک:

$$Q = 0$$

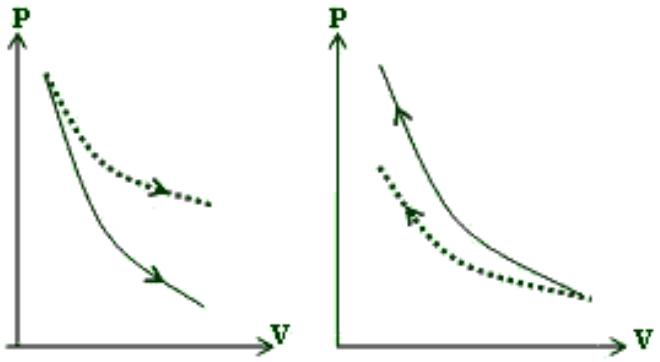
$$\Delta U = W$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(PV) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

✓ نکته۱۲: در انبساط چون در فرآیند بی دررو دستگاه نمیتواند با محیط تبادل گرمایی داشته باشد بنابراین افت فشار آن از فرآیند هم دما بیشتر است. یا به عبارتی شیب نمودار بی دررو بیشتر از فرآیند هم دماست.

✓ نکته۱۳: در تراکم چون در فرآیند بی دررو دستگاه نمی‌تواند با محیط تبادل گرما کند فشار ثانویه بیشتری نسبت به فرآیند هم دما دارد. در حالت کلی می‌توان گفت همواره شیب نمودار بی دررو از همدما بیشتر است.

۲- بررسی نمودارها:



مثال۲۵: کار در فرآیندهای هم فشار، هم دما و بی دررو را در حالت انبساط و تراکم با توجه به نمودارهای فشار- حجم آنها مقایسه و توضیح دهید.

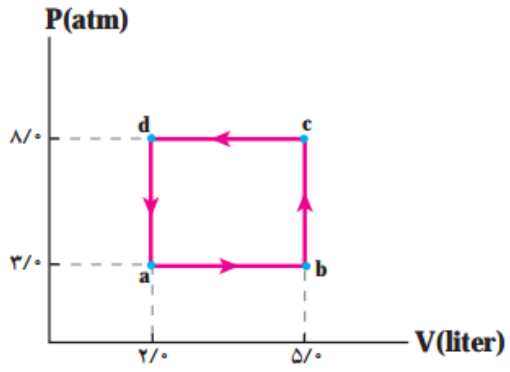
مثال۲۶: در یک فرآیند بی‌دررو فشار و حجم گاز کامل تک اتمی از ۳,٦٤ لیتر و ۲ اتمسفر به ۲,٤ لیتر و ٤ اتمسفر میرسد.کار انجام شده و انرژی درونی را بیابید.

✓ نکته۱٤: کار انجام شده در یک چرخه با مساحت داخل چرخه. اگر جهت ساعتگرد باشد کار منفی یعنی دستگاه کار انجام داده و اگر پادساعتگرد باشد کار مثبت یعنی دستگاه از محیط کار گرفته است.

مثال۲۷: گازی چرخه‌ی زیر را طی می‌کند.

الف- کار انجام شده در چرخه.

ب- گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در چرخه.

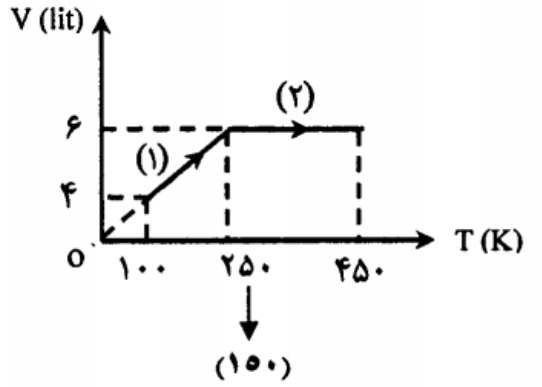


مثال۲۸: نمودار V-T نیم مول گاز تک اتمی مطابق زیر است.

الف- فشار گاز در فرآیند (۱) را بیابید.

ب- کار انجام شده در فرآیند (۱) را بیابید.

ج- گرمای مبادله شده در در فرآیند (۲) بین دستگاه و محیط را بیابید.



۲۶-۵ ماشین گرمایی:

ماشین‌های گرمایی بر دو نوع هستند. ۱- ماشین‌های برون سوز مانند ماشین‌های بخار که منبع گرم در خارج از دستگاه وجود دارد. ۲- ماشین‌های درون سوز مانند ماشین‌های بنزینی و گازوئیلی که منبع گرم در داخل دستگاه وجود دارد.

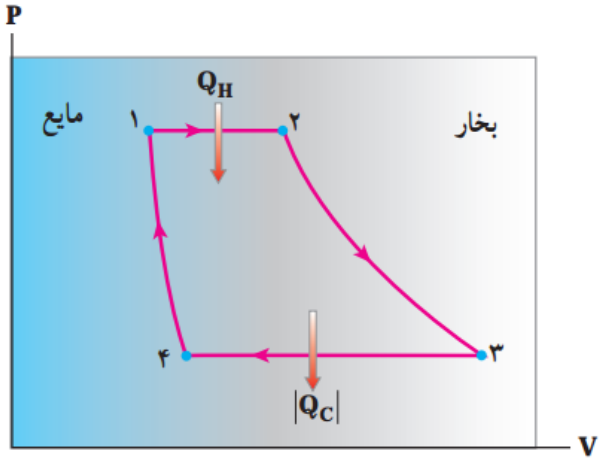
۱-۲۶-۵: نمودار $P\text{-}V$ ماشین بخار و مراحل مختلف آن:

مرحله اول: گرمای Q_H در فشار ثابت وارد دستگاه شده و حجم و دمای دستگاه را تا حد معینی افزایش می‌دهد(فرآیند هم فشار AB)

مرحله دوم: در این مرحله شیر ورودی باز شده و بخار آب وارد اتاقک انبساط می‌شود و پیستون را به عقب میراند. چون این مرحله بسیار سریع انجام میشود به آن فرآیند بی درو میگوییم و دستگاه روی محیط کار انجام میدهد و فشار و دمای آن کاهش میابد.(مرحله BC).

مرحله سوم: دستگاه طوری طراحی شده است که وقتی پیستون به انتهای مسیر خود برسد بازمیگردد و همزمان شیر ورودی بسته و شیر خروجی باز میشود و بخار وارد چگالنده(منبع سرد) میشود و گرمای Q_C را از دست میدهد و بخار آب به مایع تبدیل میشود(فرآیند هم فشار CD).

مرحله چهارم: در این مرحله تلمبه آب حاصل از میعان را وارد دیگ بخار میکند و فشار و دمای آن به دمای و فشار اولیه میرسد(فرآیند هم حجم DA).



✓ نکته۱۵: در فرآیند A تا B و D تا A انرژی درونی افزایش و در دو فرآیند دیگر کاهش میابد.

۲-۲۶-۵: نمودار $P\text{-}V$ ماشین گرمایی درون سوز(بنزینی و گازوئیلی) و مراحل مختلف آن:

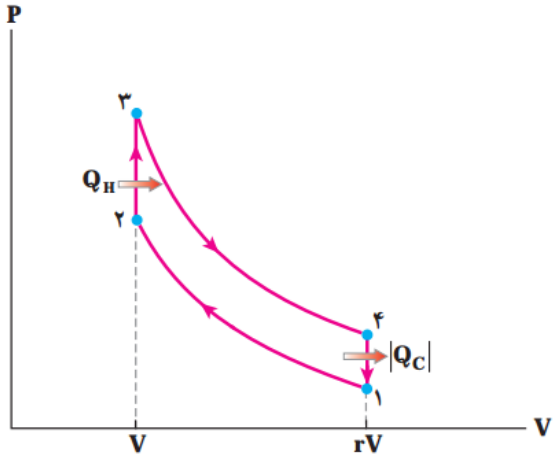
مرحله اول: مرحله مکش: در این مرحله پیستون از حجم اولیه V_1 به طرف پایین حرکت کرده و هم زمان دریچه ورودی باز میگردد و مخلوطی از هوا و سوخت وارد پیستون میشود.

مرحله دوم: مرحله تراکم: در این مرحله هر دو دریچه بسته است و مخلوط هوا و سوخت تا حجم V_1 متراکم شده و فشار و دمای آن افزایش میابد(فرآیند بی دررو AB).

مرحله سوم: مرحله احتراق: در این مرحله شمع جرقه زده و مخلوط هوا و سوخت آتش می‌گیرد و گرمای Q_H وارد دستگاه میشود. در حجم ثابت فشار و دمای آن افزایش می‌یابد(فرآیند هم حجم BC).

مرحله چهارم: مرحله انجام کار: در این مرحله پیستون به عقب رانده میشود و دستگاه روی محیط کار انجام میدهد و فشار و دمای آن کاهش می‌یابد(فرآیند بی دررو CD).

مرحله پنجم: مرحله تخلیه: در این مرحله سوپاپ خروجی باز شده و گرمای Q_C از دستگاه خارج میشود(مرحله هم حجم DA).



۵-۲۷ بازده ماشین گرمایی:

نسبت کار گرفته شده به گرمای گرفته شده از منبع گرم(Q_H) را بازده ماشین گرمایی گویند و بدون یکا می‌باشد.

$$\left.\begin{array}{l}\eta=\dfrac{|W|}{Q_H}\\ |W|=Q_H-|Q_C|\end{array}\right\}\rightarrow \eta=1-\frac{|Q_C|}{Q_H}$$

مثال۲۹: بازده یک ماشین گرمایی ۲۵ درصد است . در هر چرخه ۲ کیلو ژول گرما از چشمه‌ی گرم دریافت می‌کند.

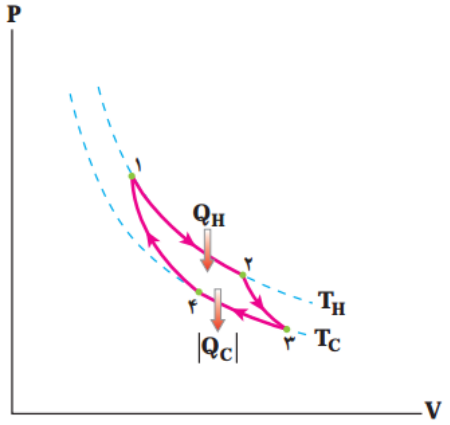
الف- این ماشین گرمایی در هر چرخه چند ژول کار انجام میدهد؟

ب- گرمای تلف شده توسط این ماشین در هر چرخه چند ژول است؟

۵-۲۸ ماشین گرمایی کارنو:

کارنو با ارائه یک ماشین فرضی نشان داد که بازده یک ماشین گرمایی هیچگاه نمی‌تواند ۱۰۰ درصد باشد و بازده ماشین کارنو بالاترین بازده‌ی ممکن است.

نمودار **P-V** ماشین گرمایی کارنو از دو فرآیند هم دما و دو فرآیند بی‌درو تشکیل شده است.۳ به ٤ تراکم همدما- ٤ به ۱ تراکم بی‌درو-۱ به ۲ انبساط همدما-۲ به ۳ انبساط بی‌درو.



بازده ماشین گرمایی کارنو از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\eta_{\max} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

مثال۳۰: میخواهیم یک ماشین گرمایی بسازیم که منبع گرم آن با دمای ۷۷ درجه سلسیوس و منبع سرد آن با دمای ۷ درجه سلسیوس است. حداکثر بازده ماشین چقدر می‌تواند باشد.

مثال۳۱: اگر دما منبع گرم و سرد به یک اندازه کاهش یابند بازده ماشین گرمایی.....می‌یابد.

✓ نکته۱٦: اگر دمای منبع سرد و گرم به یک اندازه کاهش یابد بازده ماشین افزایش می‌یابد و بالعکس.

۵-۳۰ یخچال:

ماشین‌هایی هستند که با دریافت مقداری کار، گرمای Q_C از منبع سرد می‌گیرند و گرمای Q_H را به منبع گرم می‌دهند. جهت چرخه نمودار $P\text{-}V$ یخچال‌ها بر عکس جهت چرخه در ماشین گرمایی است.

$$\Delta U = W + Q_C - |Q_H|$$
$$\Delta U = 0$$
$$W = |Q_H| - Q_C$$

۵-۳۱ ضریب عملکرد یخچال:

نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد به کار انجام شده توسط یخچال را ضریب عملکرد گویند و بدون یکا است.

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

مثال۳۲: یک کولر گازی در هر دقیقه ٤٥٠ کیلو ژول گرما از فضای داخل ساختمان می‌گیرد و در طی همین مدت به اندازه ٥٤٠ کیلوژول گرما به فضای بیرون ساختمان منتقل میکند. ضریب عملکرد این کولر را بیابید.

۵-۳۲ توان یخچال:

نسبت کاری که یخچال انجام می‌دهد به زمان انجام آن کار را توان یخچال می‌گویند و یکای آن وات است.

$$P = \frac{W}{t}$$

✓ نکته۱۷: اگر در ماشین گرمایی کارنو جهت چرخه را عوض کنیم تبدیل به یخچال کارنو می‌شود.

مثال۳۳: توان یک یخچال ۲۵۰ وات است. اگر ضریب عملکرد کولر ٤ باشد چقدر طول می‌کشد تا این یخچال یک کیلوگرم آب ۲۵ درجه سلسیوس را به یخ ٤- درجه سلسیوس تبدیل کند.

$C = 4200, L_f = 3.35\times10^5$

۵-۳۳ قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی:

ممکن نیست که دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در حین آن مقداری گرم را از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند. یا به عبارت دیگر بازده‌ی ماشین گرمایی هیچگاه ۱۰۰ درصد نیست.

۵-۳۴ قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی:

گرما خود به خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمیشود مگر با انجام کار.

مثال۳۴: در مثال۳۳ محاسبه کنید چه مقدار گرما به هوای بیرون داده میشود؟

مثال۳۵: ضریب عملکرد یک یخچال ۲ است. در هر چرخه نسبت گرمایی که از منبع سرد می‌گیرد به گرمایی که به منبع گرم می‌دهد چقدر است؟

مثال۳۶: ضریب عملکرد یک یخچال k است. نسبت Q_C به Q_H را بیابید.

مثال۳۷: یک ماشین گرمایی کارنو بازده‌ی ۲۵ درصدی دارد. اگر چرخه‌ی این ماشین گرمایی تبدیل به یخچال شود ضریب عملکرد یخچال را بیابید.

✓ نکته۱۸: رابطه بین بازده ماشین گرمایی و ضریب عملکرد یخچال:ئ

$$\eta = \frac{1}{k+1}$$

تمرینات تکمیلی فصل پنجم:

۱- تعریف کنید:

الف- علم ترمودینامیک.

ب- کمیت‌های ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک

پ- حالت ترمودینامیکی.

ج- فرآیندهای ترمودینامیکی.

خ- فرآیند ایده‌آل.

چ-قانون اول ترمودینامیک.

د-گرمای ویژه مولی در حجم ثابت

ه-گرمای ویژه مولی در فشار ثابت

۲- جاهایی خالی را پر کنید.

الف- در فرآیند هم حجم مقدار کار انجام شده برابر با.....است.

ب- در فرآیند هم حجم تغییر انرژی درونی برابر با.....می‌باشد.

پ- انرژی درونی با دمای مطلق گاز رابطه.....دارد.

ج-گرمای ویژه مولی در حجم ثابت از گرمای ویژه مولی در فشار ثابت به اندازه.....است.

چ-در فرآیند .....دستگاه و محیط با هم تبادل گرمایی ندارند.

خ-در فرآیند بی هم دما .....همواره برابر با مقدار ثابت .....است.

د-در فرآیند هم فشار مقدار گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط.....برابر .....است.

ی- در یک چرخه مقدار انرژی درونی گاز برابر با.....است.

و- در یک چرخه مقدار گرمای مبادله شده با منفی .....در چرخه برابر است.

ز-در یک چرخه ساعتگرد کار انجام شده مقدار.....دارد که نشان دهنده یک.....است.

در یک چرخه پادساعتگرد کار انجام شده مقدار.....دارد که نشان دهنده یک.....است.

۳- به گازی در داخل یک محفظه مقدار ۵۰۰ ژول انرژی گرمایی می‌دهیم و گاز مقدار ۳۰۰ ژول روی محیط کار انجام میدهد. مقدار انرژی درونی دستگاه و محیط را بیابید.

٤-در فرآیند هم حجم با حجم ثابت ۲ لیتر فشار گازی از ۲ اتمسفر به ۵ اتمسفر افزایش می‌یابد. گرمای مبادله شده بین محیط و دستگاه و انرژی درونی دستگاه را بیابید.

۵- در حجم ثابت ۵ لیتر، فشار یک مول گاز کامل تک اتمی را از دو اتمسفر به ٦ اتمسفر می‌رسانیم. تغییر دمای گاز چند سلسیوس است.

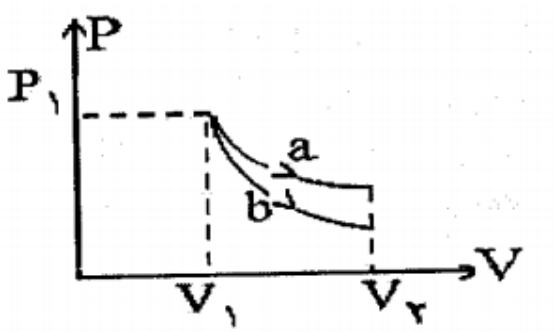
٦- در فرآیند هم فشار حجم و دمای گاز در ابتدای مقادیر ۲ لیتر و ۲۷ درجه سلسیوس را دارد. اگر دمای نهایی گاز ۱۲۷ درجه سلسیوس باشد حجم انتهایی گاز را بیابید.

۷- یک گاز کامل دو اتمی در فرآیند هم فشار از ۲ لیتر به ۱ لیتر تغییر حجم می‌دهد. بیان کنید دستگاه گرما گرفته است و یا گرما از دست داده است.

۸- در شکل روبه رو فرآیند بی درو و هم دما را مشخص کنید.

الف- در کدام فرآیند انرژی درونی مقدار ثابتی است.

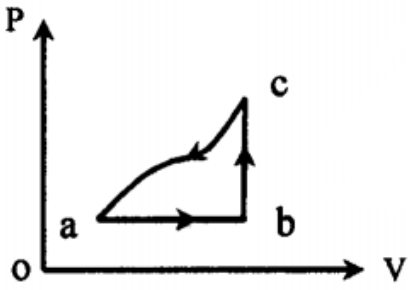
ب- کار انجام شده در کدام فرآیند بیشتر است.



۹- مقدار کار انجام شده روی دستگاه ۳۰۰ کیلوژول است. گرمای مبادله شده و قانون اول ترمودینامیک را برای آن بدست آورید. نشان دهید گاز متراکم شده و یا انبساط پیدا کرده است.

۱۰- در فرآیند بی‌درو انرژی درونی گازی که از فشار و حجم ۲ اتمسفر و ۲ لیتر به ۳ اتمسفر و ۳ لیتر میرسد را بیابید.

۱۱- گاز از طریق مسیر abc از a به c میرود و در این مسیر ۶۰ ژول گرما می‌گیرد و ۵۰ ژول کار انجام می‌دهد. انرژی درونی دستگاه را در مسیر برگشت از c به a بیابید.



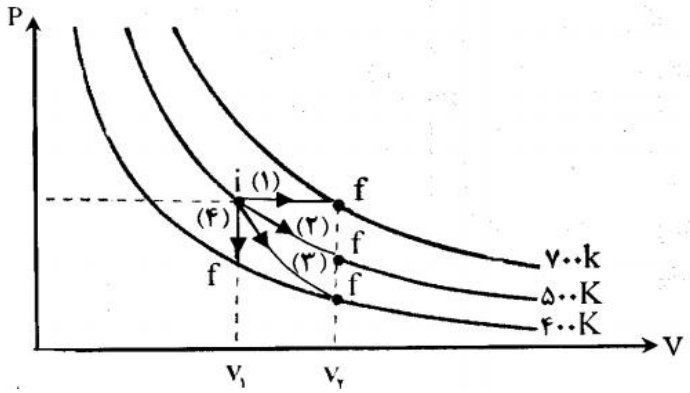
۱۲- به سوالات زیر با توجه به نمودار پاسخ دهید.

الف- مقدار انرژی درونی در کدام فرآیند بیشترین مقدار است.

ب- کمترین کار انجام شده در کدام فرآیند انجام شده.

پ- در کدام فرآیند انرژی درونی مقدار ثابتی است.

ج- در کدام فرآیند گرمای مبادله شده صفر است.



۱۳- یک گاز کامل سه اتمی چرخه ترمودینامیکی به صورت مقابل را می‌پیماید. فرآیند BC همدما است.

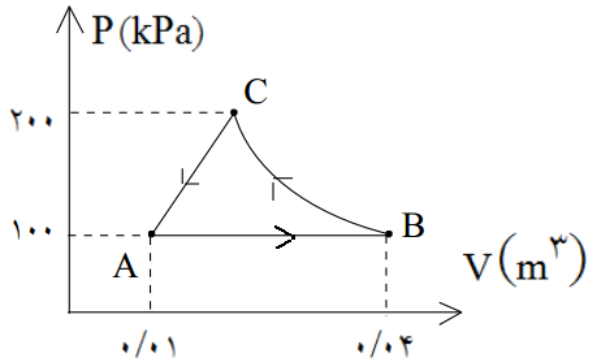
الف- کار انجام شده روی گاز در مسیر AB.

ب- گرمای مبادله شده در مسیر AB.

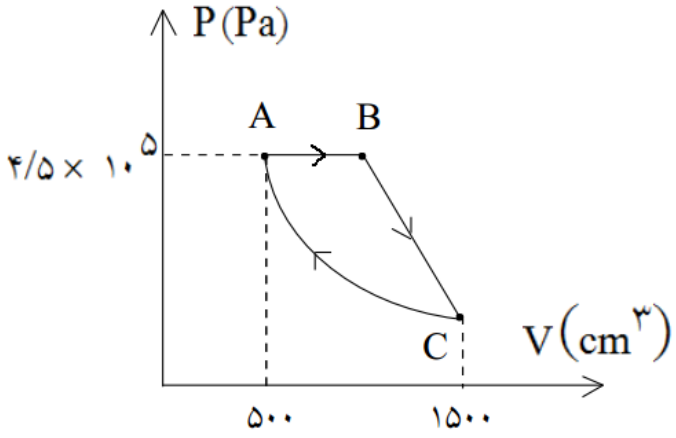
پ- تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند CA.

ج- حجم گاز در نقطه C.

د- کار انجام شده در مسیر CA را بیابید.



۱۴-چرخه‌ای به صورت مقابل است. فرآیند CA هم‌دما و AB فرآیند هم فشار است. دمای گاز در نقطه B دو برابر دما در نقطه‌ی C است.



الف- فشار گاز در نقطه‌ی C را بیابید.

ب- حجم گاز در نقطه‌ی B را بیابید.

پ- کار انجام شده روی گاز در فرآیند BC را بیابید.

ج- اگر گرمای از دست داده شده گاز در فرآیند BC مقدار $\frac{375}{2}$ ژول باشد. انرژی درونی در این مسیر را بیابید.

د- تغییر انرژی درونی گاز در مسیر AB را بیابید.

۱۵- بازده یک ماشین گرمایی ۲۲ درصد است. این ماشین به ازایی هر ۷۰۰ ژول گرمایی که از چشمه گرم دریافت می‌کند:

الف- چه مقدار کار انجام می‌دهد.

ب- چه مقدار گرما به چشمه‌ی سرد می‌دهد.

۱۶- بازده یک ماشین گرمایی ۰/۰۸ است. این ماشین به ازای هر ۲۳۰ کیلوژول گرمایی که به چشمه‌ی سرد می‌دهد:

الف- چه مقدار گرما از چشمه‌ی گرم می‌گیرد.

ب- چه مقدار کار انجام می‌دهد.

۱۷- ماشین گرمایی در مدت یک دقیقه $۲/۵\times۱۰^{٤}$ کیلوژول گرما از چشمه گرم دریافت می‌کند و در این مدت $۱/۹\times۱۰^{٤}$ کیلوژول به چشمه‌ی سرد می‌دهد.

الف- کار ماشین گرمایی چقدر است.

ب- بازده ماشین گرمایی را بیابید.

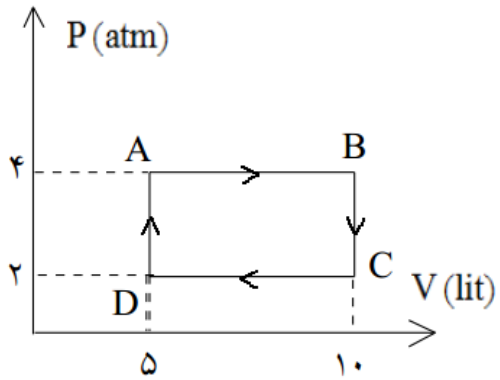
پ- توان ماشین گرمایی را بدست آورید.

۱۸- نمودار مقابل چرخه یک ماشین گرمایی است.

الف- کار انجام شده در چرخه را بیابید.

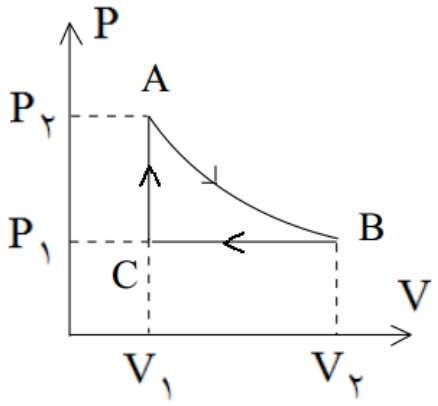
ب- در کدام فرآیندها گرما گرفته میشود. مقادیر آن را بیابید.

پ- بازده این ماشین گرمایی را بدست آورید.



۱۹- چرخه یک ماشین گرمایی مطابق زیر است. در کدام فرآیندها گرما گرفته شده و در کدام گرما از دست داده است.

AB بی دررو است.



۲۰- اگر در یک ماشین گرمایی کارنو دمای چشمه گرم و سرد را ۱۰۰ درجه افزایش دهیم بازده ٤٥ درصد و اگر دمای چشمه‌ی گرم و سرد را ۱۰۰ درجه کاهش دهیم بازده ماشین ٥٥ درصد می‌شود. دمای ابتدایی دو چشمه را بیابید. بازده اولیه‌ی ماشین را بیابید.