

فصل اول: ترمودینامیک

موضوع علم ترمودینامیک: از لحاظ لغتی ترمودینامیک یعنی مطالعه‌ی حرکت یک جسم (ذرات تشکیل دهنده یک جسم) با توجه به اثر حرارتی.

کمیت‌های ماکروسکوپیک: به کمیت‌هایی که به جزئیات تک تک ذرات وابسته نیستند و حالت ماده را در مقیاس بزرگ نشان می‌دهند، کمیت‌های ماکروسکوپیک گفته می‌شود. مانند: فشار و دما.

کمیت‌های میکروسکوپیک: به کمیت‌هایی گفته می‌شود که رفتار تک تک مولکول‌ها را بررسی می‌کنند و ویژگی‌های هر ماده را در مقیاس کوچکتر بررسی می‌کنند. مانند: برخورد مولکول‌های گاز با یکدیگر - سرعت گاز - انرژی جنبشی آنها. نکته: در موضوع ترمودینامیک ما از کمیت‌های میکروسکوپیک، نتایج ماکروسکوپیک می‌گیریم. مثلاً دما که ماکروسکوپیک است در واقع میانگین انرژی جنبشی ذرات جسم است (که میکروسکوپیک است) و فشار (ماکروسکوپیک) ناشی از برخورد مولکول‌ها با دیواره‌ی ظرف است.

دستگاه ترمودینامیکی: آن قسمت از ماده (معمولاً مایع یا گاز) که ما آنرا از محیط اطراف جدا کردیم و تغییر و تحول آنرا مورد مطالعه قرار می‌دهیم، دستگاه ترمودینامیکی نامیده می‌شود.

متغیرهای ترمودینامیکی: مثل کمیت فشار P ، حجم V و دمای کلویین T که حالت دستگاه را می‌توان بر اساس آن توضیح داد، متغیرهای ترمودینامیکی گفته می‌شود.

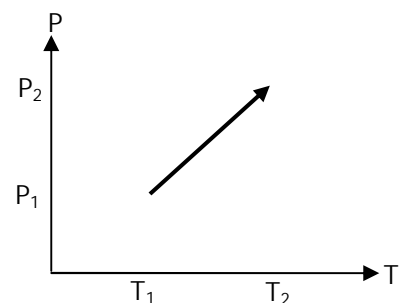
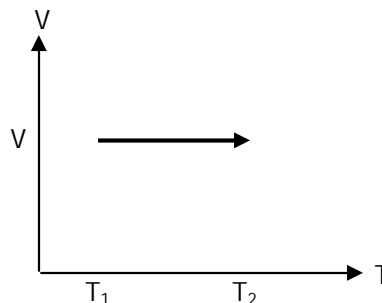
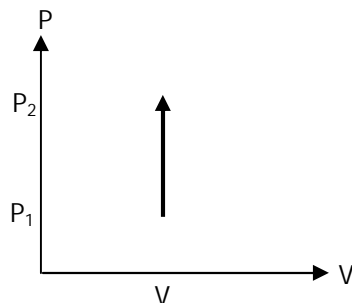
معادله‌ی حالت ترمودینامیک: هرگونه رابطه‌ی ریاضی بین متغیرهای ترمودینامیکی یک معادله‌ی حالت نام دارد.

$$PV = nRT$$

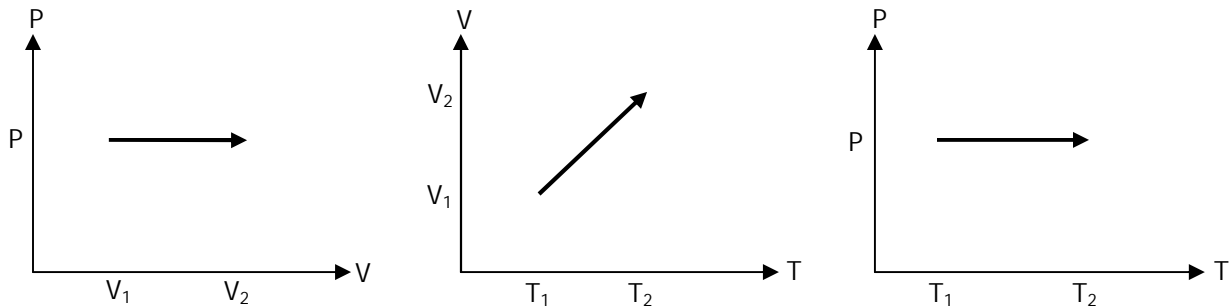
فرآیند ترمودینامیکی: مجموعه‌ی تغییراتی که یک دستگاه ترمودینامیکی را از حالت (T_1, V_1, P_1) به حالت (T_2, V_2, P_2) ، انتقال می‌دهد، یک فرآیند ترمودینامیکی نامیده می‌شود.

فرآیند ترمودینامیکی خاص

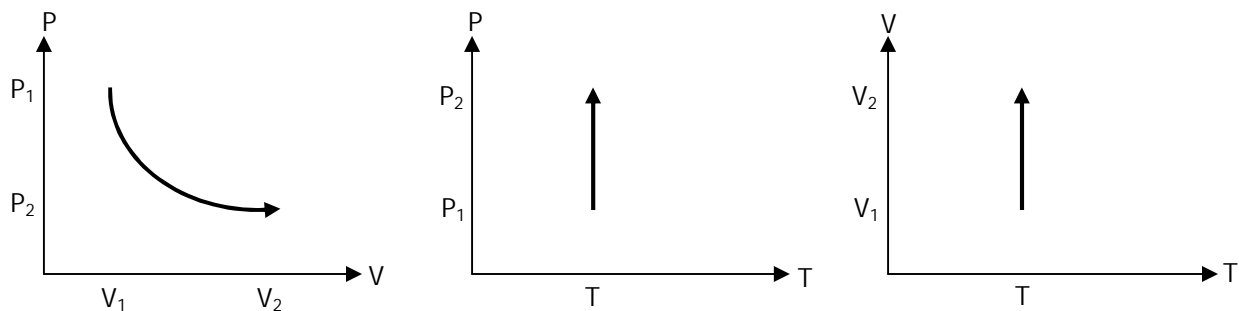
فرآیند هم حجم: اگر در یک دستگاهی ضمن تغییر دما و فشار، حجم دستگاه در حین فرآیند ثابت بماند، به آن فرآیند هم حجم می‌گویند. نمودارهای آن به شکل زیر است:



فرآیند هم فشار: اگر در یک دستگاهی ضمن تغییر حجم و دما، فشار دستگاه در حین فرآیند ثابت بماند، به آن فرآیند هم فشار می‌گویند. نمودارهای آن به شکل زیر است:

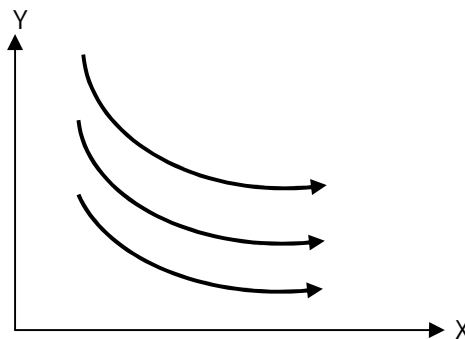


فرآیند هم دما: اگر در یک دستگاهی ضمن تغییر حجم و فشار، دما دستگاه در حین فرآیند ثابت بماند، به آن فرآیند هم دما می‌گویند. نمودارهای آن به شکل زیر است:

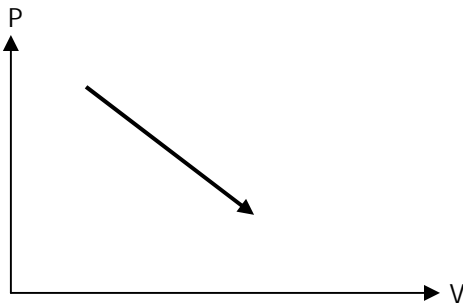


یادداشت ریاضی: در درس ریاضی به معادلاتی شبیه $y = \frac{1}{x}$ ، $y = \frac{2}{x}$ ، ...، $y = \frac{n}{x}$ معادلات هموگرافیک گفته می‌شود.

نکته کنکوری: هرچه صورت عبارت $y = \frac{a}{x}$ بیشتر باشد، فاصله نمودار هموگرافیک از مبدا بیشتر می‌شود.

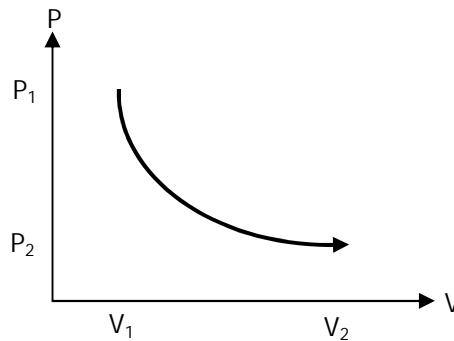


تست کنکور: در یک فرآیند مطابق شکل زیر از حالت a به حالت b می‌رویم. تغییر دمای دستگاه در این فرآیند چگونه است؟

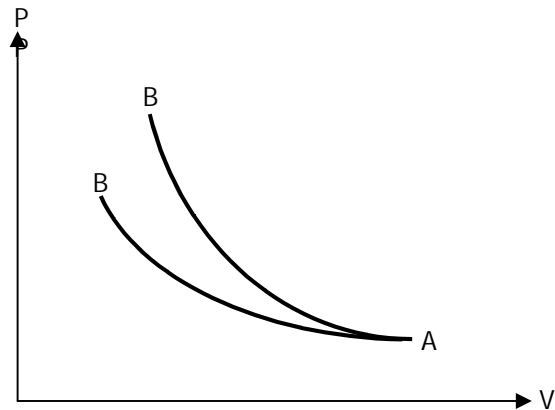
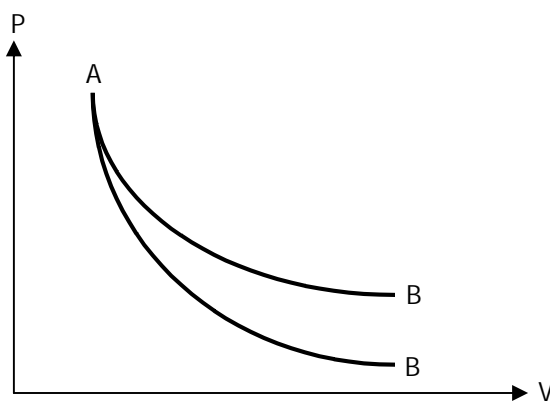


- ثابت می ماند
- رو به کاهش است
- افزایش می یابد
- ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد*

فرآیند بی درو: اگر در یک فرآیند ترمودینامیکی هیچگونه مبادله‌ی انرژی گرمایی بین محیط و دستگاه صورت نگیرد ($Q=0$)، چنین فرآیندی بی درو نام دارد. نمودار فرآیند بی درو فقط یکی است و به صورت زیر می باشد:



نکته: چه فرقی بین منحنی‌های هم دما و بی درو وجود دارد؟ اگر هر دو منحنی بی درو و هم دما را در یک دستگاه رسم کنیم، هر نموداری که با تغییرات فشار بیشتری همراه باشد، آن منحنی بی درو است.



نکته: برای بی درو بودن دو شرط لازم است:

- دستگاه را از محیط عایق بندی کنیم تا گرمایی مبادله نشود.
 - سرعت فرآیند را آن چنان زیاد کنیم تا فرصتی برای مبادله‌ی گرما وجود نداشته باشد.
- معادله حالت گاز کامل:** هر گازی که دارای شرایط زیر باشد می تواند گاز کامل باشد:
- گاز کامل رقیق است بنابراین چگالی آن ناچیز است.

- فاصله‌ی مولکول‌های آن از یکدیگر زیاد است بنابراین برخورد بین مولکول‌ها و یا با دیواره‌ی ظرف ناچیز است.
- برای گاز کامل انرژی پتانسیل ناچیز فرض می‌شود.
- در یک گاز کامل تمام انرژی فقط سهم انرژی جنبشی است.
- انرژی جنبشی (انرژی درونی) در گاز کامل تابع دمای کلین گاز است.
- به جنس گاز بستگی ندارد و مستقل از نوع گاز است.
- معادله‌ی حالت گاز کامل به شکل ساده‌ی زیر است که فقط به تعداد ذرات آن بستگی دارد.

$$PV = nRT$$

P بر حسب پاسکال، V بر حسب متر مکعب، n بر حسب مول، R برابر ۸/۳۷۶، T بر حسب کلین.

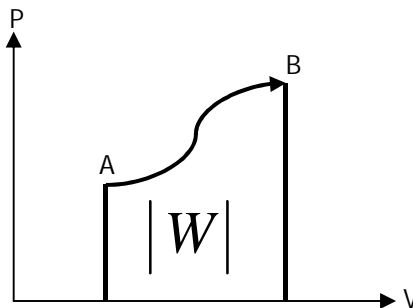
مثال: کلاس ما در ابعاد ۳ ۴ ۵ متر و با فشار هوای یک اتمسفر می‌باشد. دمای هوای اتاق ۲۷ درجه سلسیوس می‌باشد. اگر هوا را گاز کامل فرض کنیم، چند مول هوا در این اتاق محبوس شده است؟

$$PV = nRT$$

$$10^5 \times 60 = n \times 8 \times 300 \rightarrow 10^5 \times 60 = 2400n \rightarrow n = 2500 \text{ mol}$$

نکته: سطح زیر نمودار هرگونه منحنی P-V نشانگر کار انجام شده است.

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



نکته: در یک فرآیند خاص (هم فشار) کار را می‌توان به صورت ساده زیر حساب کرد:

$$W = -P\Delta V \quad \text{معادله کار در فرآیند هم فشار}$$

قرارداد:

$$W < 0 \Leftrightarrow \Delta V > 0 \Leftrightarrow \text{انبساط}$$

$$W > 0 \Leftrightarrow \Delta V < 0 \Leftrightarrow \text{تراکم}$$

گرما در ترمودینامیک: در سال دوم دبیرستان گرما را به صورت $Q = mc\Delta\theta$ یاد گرفتیم. در سال سوم دبیرستان گرما را برای دو فرآیند خاص به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$Q = nC_{mv} \Delta T \quad \text{فرآیند هم حجم}$$

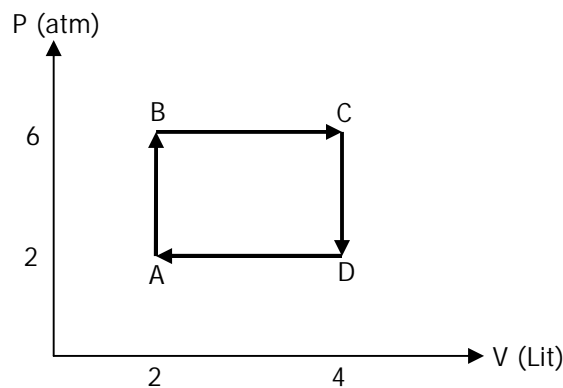
$$Q = nC_{mp} \Delta T \quad \text{فرآیند هم فشار}$$

ظرفیت گرمایی ویژه مولی در حجم ثابت (C_{mv}): مقدار گرمایی است که یک مول از هر گاز کامل می‌گیرد تا در حجم ثابت دمای آن یک درجه سلسیوس یا یک درجه کلوین افزایش پیدا کند.

ظرفیت گرمایی ویژه مولی در فشار ثابت (C_{mp}): مقدار گرمایی است که یک مول از هر گاز کامل می‌گیرد تا در فشار ثابت دمای آن یک درجه سلسیوس یا یک درجه کلوین افزایش یابد.

گاز	C_{mv}	C_{mp}
تک اتمی Ar	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
دو اتمی Q_2	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$
سه اتمی CO_2	$\frac{7}{2}R$	$\frac{9}{2}R$

مثال: نمودار P-V برای $\frac{1}{4}$ مول از یک گاز تک اتمی در چرخه‌ای به شکل زیر مفروض است.



الف) دمای گاز را در نقاط A, B, C, D حساب کنید.

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

$$T_A = \frac{2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{\frac{1}{4} \times 8} = 200 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{6 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{\frac{1}{4} \times 8} = 600 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{6 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-3}}{\frac{1}{4} \times 8} = 1200 \text{ K}$$

$$T_D = \frac{2 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-3}}{\frac{1}{4} \times 8} = 400 \text{ K}$$

ب) کار انجام شده در هر فرآیند.

$$W_{AB} = -P\Delta V = 0 \text{ J} \quad \text{هم حجم}$$

$$W_{BC} = -P\Delta V = -6 \times 10^5 \times (4-2) \times 10^{-3} = -1200 \text{ J}$$

$$W_{CD} = -P\Delta V = 0 \text{ J} \quad \text{هم حجم}$$

$$W_{DA} = -P\Delta V = -2 \times 10^5 \times (2-4) \times 10^{-3} = 400 \text{ J}$$

ج) کل کاری که در این فرآیند چرخه انجام می‌شود چقدر است؟

$$W_{All} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = 0 - 1200 + 0 + 400 = -800 \text{ J}$$

د) گرمای مبادله شده در هر فرآیند را حساب کنید.

$$Q_{AB} = nC_{mv} \Delta T = \frac{1}{4} \times \frac{3}{2} \times 8 \times 400 = 1200 \text{ J}$$

$$Q_{BC} = nC_{mp} \Delta T = \frac{1}{4} \times \frac{5}{2} \times 8 \times 600 = 3000 \text{ J}$$

$$Q_{CD} = nC_{mv} \Delta T = \frac{1}{4} \times \frac{3}{2} \times 8 \times (-800) = -2400 \text{ J}$$

$$Q_{DA} = nC_{mp} \Delta T = \frac{1}{4} \times \frac{5}{2} \times 8 \times (-200) = -1000 \text{ J}$$

نکته کنکوری: مساحت داخل هر چرخه‌ای برابر است با کل کار انجام شده در آن چرخه.

نکته کنکوری: کار در همه‌ی چرخه‌های ساعت گرد منفی است و کار در همه‌ی چرخه‌های پات ساعت گرد مثبت است.

اساس کار ماشین‌های گرمایی: همه‌ی ماشین‌های گرمایی طی یک چرخه‌ی معینی کار می‌کنند که در آن مقداری گرما (ناشی از سوختن سوخت) Q_H می‌گیرند و بخشی از آنرا به کار W تبدیل می‌کنند و بخشی از آنرا از طریق چشمه سرد

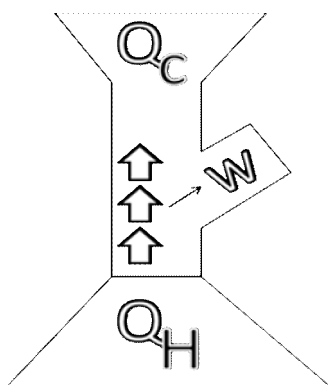
Q_C به محیط بیرون می‌دهند. طرح واره‌ی ساده‌ی یک ماشین گرمایی را می‌توان به شکل

زیر رسم کرد:

$$Q_H = |W| + |Q_C| \text{ که بدیهی است}$$

چشمه‌ی گرما: هر منبعی که از آن مقداری گرما بگیریم یا به آن مقداری

گرما بدهیم، دمای آن تغییر محسوسی نکند، چشمه‌ی گرما نامیده می‌شود.



چرخه: مجموعه‌ی فرآیندهایی که طی آن دستگاه به حالت اول باز می‌گردد، چرخه می‌گویند.

بازده ماشین گرمایی: نسبت کار مفیدی که یک ماشین گرمایی انجام می‌دهد به کل کاری که از چشمه‌ی گرم (گرمای ناشی از سوخت) دریافت می‌کند، بازده نامیده می‌شود و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \times 100$$

مثال: در چرخه‌ی مثال قبلی Q_C ، Q_H ، η ، W را حساب کنید.

$$Q_H = 1200 + 3000 = 4200 \text{ J} \quad Q_C = -2400 - 1000 = -3400 \text{ J}$$

$$Q_H = |W| + |Q_C| \quad 4200 = |W| + |-3400| \quad |W| = 800 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \times 100 = \frac{800}{4200} \times 100 \cong 19\%$$

بازده کارنو: دانشمندی به نام سعدی کارنو بعد از سالها سعی و تلاش به این نتیجه رسید که هرگاه یک ماشین گرمایی که در چرخه‌ی معینی کار می‌کند، اگر بالاترین دما را در این چرخه T_H و پایین ترین دما را T_C بنامیم، حداکثر بازده این ماشین حرارتی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

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

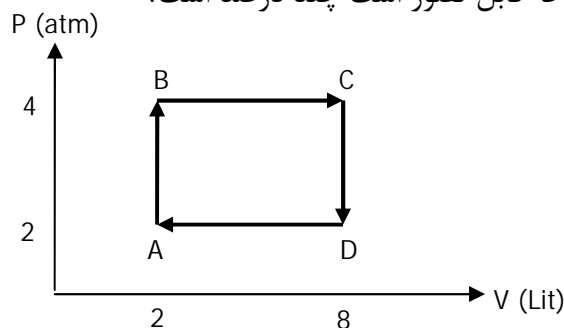
مثال: در چرخه‌ی مثال قبل بازده کارنو چند است؟

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{200}{1200} = \frac{5}{6} = 83\%$$

مثال: فرض کنید ۰/۵ مول گاز تک اتمی در چرخه‌ی زیر شرکت کرده است.

الف) بازده این چرخه به عنوان یک ماشین حرارتی چقدر است؟

ب) بیشترین بازدهی که در این چرخه قابل تصور است چند درصد است؟



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

$$T_A = \frac{2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{0.5 \times 8} = 100 \text{ K} \quad T_B = \frac{4 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{0.5 \times 8} = 200 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{4 \times 10^5 \times 8 \times 10^{-3}}{0.5 \times 8} = 800 \text{ K} \quad T_D = \frac{2 \times 10^5 \times 8 \times 10^{-3}}{0.5 \times 8} = 400 \text{ K}$$

$$W_{AB} = -P\Delta V = 0 \text{ J} \quad \text{هم حجم}$$

$$W_{BC} = -P\Delta V = -4 \times 10^5 \times 6 \times 10^{-3} = -2400 \text{ J}$$

$$W_{CD} = -P\Delta V = 0 \text{ J} \quad \text{هم حجم}$$

$$W_{DA} = -P\Delta V = -2 \times 10^5 \times -6 \times 10^{-3} = 1200 \text{ J}$$

$$W_{All} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = 0 - 2400 + 0 + 1200 = -1200 \text{ J}$$

$$Q_{AB} = nC_{mv}\Delta T = 0.5 \times \frac{3}{2} \times 8 \times 100 = 600 \text{ J}$$

$$Q_{BC} = nC_{mp}\Delta T = 0.5 \times \frac{5}{2} \times 8 \times 600 = 6000 \text{ J}$$

$$Q_{CD} = nC_{mv}\Delta T = 0.5 \times \frac{3}{2} \times 8 \times -400 = -2400 \text{ J}$$

$$Q_{DA} = nC_{mp}\Delta T = 0.5 \times \frac{5}{2} \times 8 \times -300 = -3000 \text{ J}$$

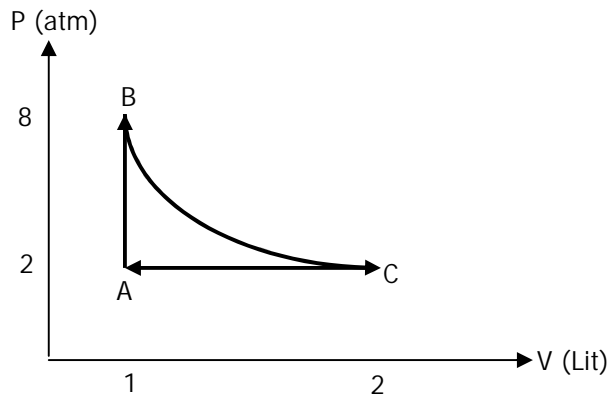
$$Q_H = 6000 + 600 = 6600 \text{ J}$$

$$Q_C = -2400 - 3000 = -5400 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \times 100 = \frac{-1200}{6600} \times 100 \cong \%18$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{100}{800} = \frac{7}{8} = \%87$$

مثال: با فرض اینکه یک مول گاز تک اتمی در چرخه‌ی زیر شرکت کرده باشد.



الف) دمای گاز در هر نقطه.

ب) نوع فرآیند BC چیست؟ بی درو

ج) بازده این ماشین حرارتی چقدر است؟

د) بازده کارنو آن را بدست آورید.

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

$$T_A = \frac{2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{1 \times 8} = 25 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{8 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{1 \times 8} = 100 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{1 \times 8} = 50 \text{ K}$$

$$Q_{AB} = nC_{mv} \Delta T = 1 \times \frac{3}{2} \times 8 \times 75 = 900 \text{ J}$$

$$Q_{BC} = 0 \text{ J}$$

$$Q_{CA} = nC_{mp} \Delta T = 1 \times \frac{5}{2} \times 8 \times -25 = -500 \text{ J}$$

$$Q_H = 900 \text{ J} \quad Q_C = -500 \text{ J} \quad W = 400 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \times 100 = \frac{400}{900} \times 100 \cong \%44$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{25}{100} = \%75$$

قانون اول ترمودینامیک: جمع جبری کار و گرما در هر فرآیند ترمودینامیکی همیشه مقدار ثابتی است که تغییر انرژی درونی نامیده می‌شود و از رابطه‌ی زیر اثبات می‌شود:

$$\Delta U = Q + W$$

نکته: تغییر انرژی درونی برای گاز تک اتمی از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود:

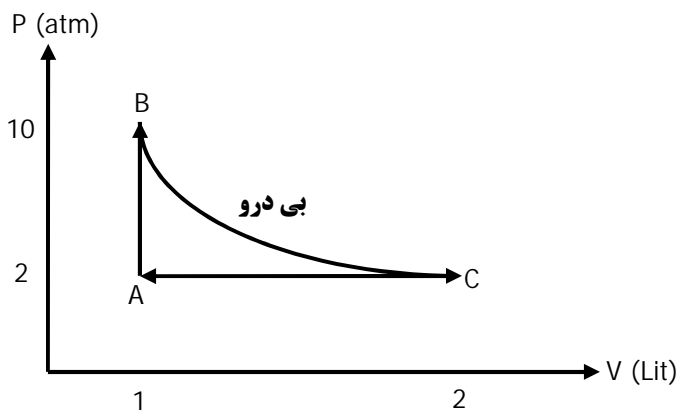
$$\Delta U = nC_{mv}\Delta T$$

مثال: در مثال قبلی کار انجام شده در فرآیند منحنی بی درو چقدر است؟

$$\Delta U_{BC} = Q_{BC} + W_{BC}$$

$$W_{BC} = nC_{mv}\Delta T = 600 J$$

مثال سخت: مقداری گاز تک اتمی در چرخه‌ی زیر شرکت کرده است.



الف) بازده این چرخه چند درصد است؟

$$Q_{CA} = nC_{mv}\Delta T = n \times \frac{5}{2} \times R(T_A - T_B) = n \times \frac{5}{2} \times R \left(\frac{PV}{nR} - \frac{PV}{nR} \right)$$

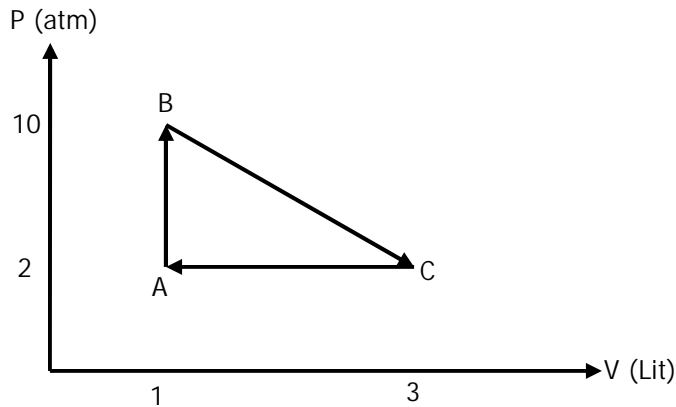
$$Q_{CA} = \frac{5}{2} P\Delta V = \frac{5}{2} \times 2 \times 10^5 \times -1 \times 10^{-3} = -500 J$$

$$Q_{AB} = \frac{3}{2} V\Delta P = \frac{3}{2} \times 1 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^5 = 1200 J$$

$$Q_H = 1200 J \quad Q_C = -500 J \Rightarrow W = 700 J$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{700}{1200} = 0.58 = \%58$$

مثال: ۰/۲ مول گاز دو اتمی در چرخه‌ی زیر شرکت کرده است.



الف) دمای گاز را در تمامی نقاط حساب کنید.

ب) معادله‌ی کار در هر فرآیند را بنویسید.

ج) مبادله‌ی گرما در هر فرآیند را محاسبه کنید.

د) بازده این ماشین حرارتی چند درصد است؟

ه) بازده کارنو این چرخه چقدر است؟

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

$$T_A = \frac{2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{0.2 \times 8} = 125 K \quad T_B = \frac{10 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{0.2 \times 8} = 625 K$$

$$T_C = \frac{2 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-3}}{0.2 \times 8} = 375 K$$

$$W_{AB} = -P\Delta V = 0 J \quad \text{هم حجم}$$

$$W_{BC} = S_{\Delta} = -1200 J$$

$$W_{CA} = -P\Delta V = -2 \times 10^5 \times -2 \times 10^{-3} = 400 J$$

$$W_{All} = S_{\Delta} = \frac{8 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{2} = -800 J$$

$$Q_{AB} = nC_{mv}\Delta T = 0.2 \times \frac{5}{2} \times 8 \times (625 - 125) = 2000 \text{ J}$$

$$Q_{BC} = W_{BC} - \Delta U_{BC} = -1200 - 0.2 \times \frac{5}{2} \times 8 \times -250 = 200 \text{ J}$$

$$Q_{CA} = nC_{mp}\Delta T = 0.2 \times \frac{7}{2} \times 8 \times (125 - 375) = -1400 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \times 100 = \frac{800}{2200} \times 100 \cong \%36$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{125}{625} = 1 - \frac{1}{5} = \%80$$

نکته: در یک دستگاه ترمودینامیکی تبادل انرژی به دو صورت انجام می‌شود:

۱. انجام کار

۲. مبادله‌ی گرما

نکته مفهومی قانون اول ترمودینامیک: در قانون اول ترمودینامیک، کار و گرما به مسیر حرکت بستگی دارد ولی نتیجه‌ی فرآیند به مسیر بستگی ندارد. از هر مسیری که از حالت A به حالت B برسیم، ممکن است Q و W مقادیر متفاوتی داشته باشند ولی ΔU همیشه بین این دو نقطه مقدار ثابتی دارد یعنی به مسیر حرکت بستگی ندارد.

قانون دوم ترمودینامیک (بیان ماشین گرمایی): هرگز امکان ندارد بازدهی یک ماشین گرمایی ۱۰۰٪ شود. به بیان دیگر تبدیل تمام گرما به کار امکان پذیر نیست. به بیان دیگر هرگز امکان ندارد یک ماشین گرمایی بتواند تمام گرمای Q_H را که از چشمه‌ی گرم می‌گیرد، به کار W تبدیل کند و در آخر هیچ گرمای Q_C هدر ندهد.

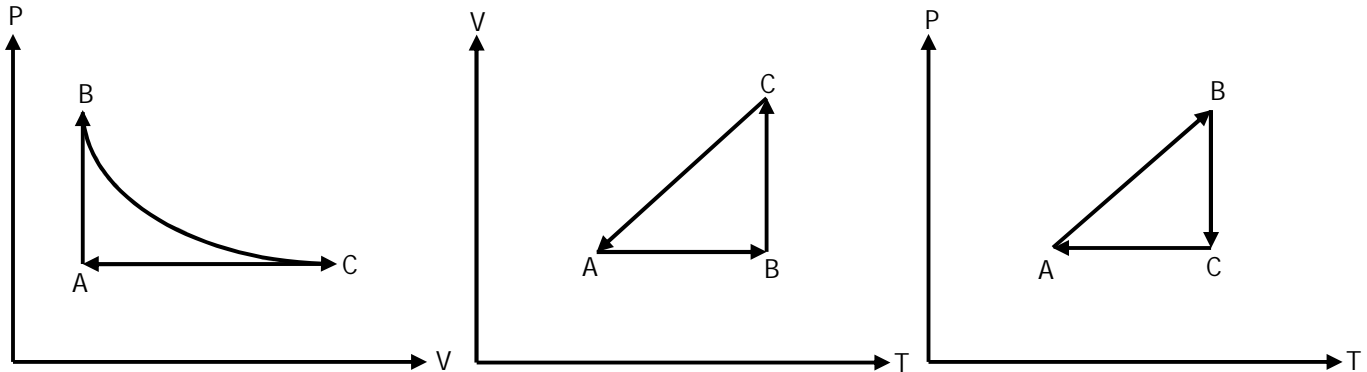
نکته: ماشین‌های گرمایی در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. ماشین‌های برون‌سوز که سوخت در بیرون از دستگاه می‌سوزد. مانند: کشتی و لوکوموتیوهای قدیمی.

۲. ماشین‌های درون‌سوز که سوخت در داخل دستگاه ترمودینامیکی می‌سوزد. مانند: ماشین‌های نسل امروز (بنزینی و دیزلی).

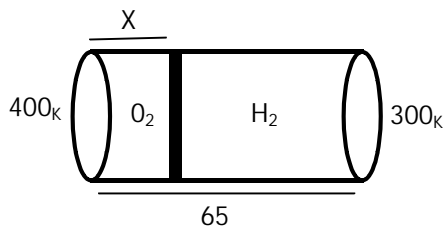
(ماشین بخار و درون سوز و برون سوز را از مطالب کتاب بخوانید.)

تذکر: گاهی نمودار P-V را می دهند و نمودار P-T را می خواهند. با توجه به نمودارهایی که یاد گرفته ایم و ترکیب شکل های آن به سادگی می توانیم شکل های زیر را به صورت تحلیلی رسم نماییم.



مثال: مطابق شکل زیر در یک استوانه به طول ۶۵ سانتی متر، از دو طرف به جرم مساوی گاز اکسیژن و هیدروژن ریخته ایم و یک پیستون این دو را از هم جدا نگه داشته است. با توجه به شکل مقدار X را بیابید.

$$M_{H_2} = 2 \text{ g} \quad M_{O_2} = 32 \text{ g}$$

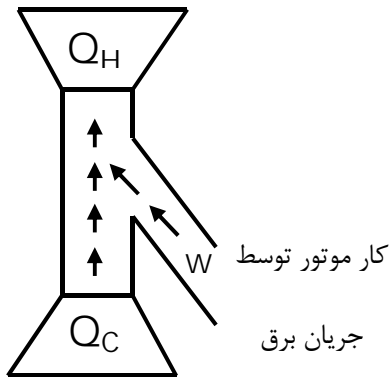


$$n = \frac{\frac{M_{O_2}}{m_{H_2}}}{\frac{m_{O_2}}{M_{H_2}}} = \frac{32}{2} = 16$$

$$\frac{P_2}{P_1} \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{A(65-X)}{A(X)} = 16 \times \frac{300}{400}$$

$$65 - X = 12X \quad X = 5 \text{ cm}$$

یخچال: یک ماشین حرارتی است که در جهت معکوس کار می‌کند. یخچال‌ها با دریافت کار W از طریق جریان برق گرمای Q_C را از محفظه یخچال می‌گیرند و گرمای Q_H را به محیط بیرون پس می‌دهند. طرح‌واره‌ی ساده‌ی یک یخچال به شکل ساده زیر است.



$$\text{پس داریم: } |W| + |Q_C| = |Q_H|$$

قانون دوم ترمودینامیک (بیان یخچال): شارش خود به خودی گرما از جسم سرد به جسم گرم امکان‌پذیر نمی‌باشد. به بیان دیگر هرگز امکان ندارد یک یخچال بدون دریافت کار W بتواند مقداری گرما از چشمه سرد بگیرد Q_C و آنرا به چشمه‌ی گرم بدهد Q_H .

تست کنکور: کدام یک از گزینه‌های زیر با قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچال منافات دارد؟

الف) $\Delta U = 500 \quad Q_H = 1000 \quad Q_C = -500$

ب) $Q_H = 500 \quad W = 200 \quad Q_C = 300$

ج) $Q_C = 400 \quad Q_H = 400 \quad W = 0$ *

د) هیچکدام

پرسش مفهومی: اگر در تابستان در یخچال فریزر را باز بگذارید، آیا دمای اتاق را خنک می‌کند؟ خیر خنک نمی‌کند. زیرا طبق رابطه‌ی $|W| + |Q_C| = |Q_H|$ ، همیشه Q_H بزرگتر از Q_C است. بنابراین گرمایی که از پشت یخچال به محیط اتاق و آشپزخانه داده می‌شود بیشتر از گرمایی است که یخچال از محفظه‌ی داخلی خود می‌گیرد.

مثال: یخچالی در هر دقیقه ۵۰ کیلو ژول گرما از محفظه‌ی داخل خود می‌گیرد و ۸۰ کیلو ژول گرما به محیط پس می‌دهد. توان این یخچال چند کیلو وات است؟

$$t = 60 s \quad Q_C = 50 KJ \quad Q_H = 80 KJ \quad W = ?$$

$$Q_H = W + Q_C \quad W = 30 KJ$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{30 KJ}{60 s} = 0.5 KW$$

ضریب عملکرد (کارایی) یخچال: نسبت گرمایی که یخچال از مواد غذایی می‌گیرد به کل کاری که توسط انرژی الکتریکی مصرف می‌شود، ضریب عملکرد یخچال گفته می‌شود و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

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

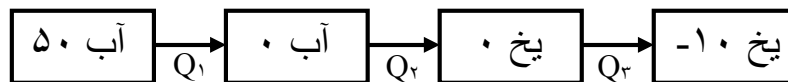
مثال: یخچالی داریم با توان ۱ کیلو وات و ضریب عملکرد ۴. اگر این یخچال ۵ دقیقه کار کند. چقدر گرما از مواد داخل یخچال می‌گیرد و چقدر گرما به محیط بیرون پس می‌دهد.

$$K = \frac{|Q_C|}{W} \quad 4 = \frac{Q_C}{P \times t} \quad Q_C = 4 \times 1000 \times 300 = 1200000 J = 1200 KJ$$

$$Q_H = W + Q_C = P \times t + Q_C = 300 + 1200 = 1500 KJ$$

مثال: یخچالی با توان ۵۰۰ وات و ضریب عملکرد ۴ داریم. اگر ۲ کیلوگرم آب ۵۰ درجه سلسیوس در محفظه‌ی آن قرار دهیم، چه مدت طول می‌کشد تا به یخ ۱۰- درجه سلسیوس تبدیل شود؟

$$C_{water} = 4200 \quad C_{ice} = 2100 \quad L_f = 335000$$



$$Q_1 = mC\Delta\theta = -420000 J$$

$$Q_2 = -mL_f = -670000 J$$

$$Q_3 = mC\Delta\theta = -4200 J$$

$$Q_C = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -1132000 J$$

$$K = \frac{|Q_C|}{W} \quad 4 = \frac{1132000}{500 \times t} \quad t = \frac{1132000}{2000} = 566 s$$

نکته: گفتیم که یخچال یک ماشین حرارتی است که در جهت عکس کار می‌کند. بنابراین اگر چرخه‌ی ماشین گرمایی ساعت‌گرد است، چرخه یخچال پات ساعت‌گرد است.