

A_1, F_1 خیلی کوچک اند.

A_2, F_2 خیلی بزرگ اند.

مثال: در یک بالابر هیدرولیکی اگر جرم اتومبیل 1000kg و سطح پیستون های A_1, A_2 به ترتیب $3\text{m}^2, 60\text{cm}^2$ باشد. نیروی لازم برابر بالا بردن اتومبیل چند نیوتون است؟

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{mg}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$
$$\Rightarrow \frac{1000 \times 10}{3} = \frac{F_2}{0.06} \Rightarrow F_2 = 200$$

مثال: در یک منگنه آبی قطر پیستون بزرگ 20 برابر قطر پیستون کوچک است. نسبت فشار وارد بر پیستون کوچک چقدر است؟

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = 1$$

مثال: شهرستان بروجن با ارتفاع حدود 2500 از سطح دریایه بام ایران معروف است.

فشار هوا در این شهر چند Pa و چند Hg است؟ (ρ هوا $\frac{1}{3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

$$P = P_0 + \rho gh \Rightarrow P = 10^5 - 1/3 \times 10 \times 25000 = 100000 - 13 \times 2500 = 67500 \text{ Pa} \Rightarrow \frac{67500}{1360} \text{ cmHg}$$

مثال: شهر شیراز با ارتفاع حدود 1500m از سطح دریا قرار دارد. فشار هوا در این شهر چند Pa و چند cmHg است؟ (ρ هوا $\frac{1}{3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

$$\left(\frac{1}{3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

فصل سوم

ترمودینامیک

دستگاه: مایع یا گازی است که می‌تواند تحت تحولات ترمودینامیکی قرار گیرد.

(قسمتی از محیط (جهان هستی) آنست که آن را در ذهن خود از سایر قسمت‌ها جدا فرض کرده و رفتار آن مورد بررسی قرار گیرد.)

محیط: آن چه در اطراف دستگاه قرار دارد و می‌تواند با آن تبادل کار یا انرژی داشته باشد محیط نامیده می‌شود.

مثال: گازی در زیر پیستون و درون سیلندر قرار دارد در این مثال گاز دستگاه و سیلندر و پیستون که به گونه‌ای روی گاز اثر می‌گذارند محیط می‌باشند.

موضوع علم ترمودینامیک: علم ترمودینامیک علمی است که به بررسی و مبادله‌ی کار و گرما بین دستگاه و محیط می‌پردازد.

کمیت‌های ماکروسکوپی: کمیت‌هایی هستند که وضعیت‌های ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند یا کمیت‌هایی هستند که مربوط

به رفتار کلی دستگاه هستند یعنی از رفتارهای تک‌تک ذرات گفت‌وگو نمی‌کنند. مثل: دما، فشار، حجم، گرما=گرمای ویژه و ...

کمیت‌های ماکروسکوپی:

1- عموماً می‌توان مستقیماً اندازه گرفت.

2- آن‌ها را کم و بیش مستقیماً با حواس خود در می‌یابیم

کمیت‌های میکروسکوپی: کمیت‌هایی که مربوط به رفتار تک‌تک ذرات می‌باشد مثل: سرعت، شتاب، مکان ذرات و ...

مثال: دمای یک لیوان آب را که در اتاق به تعادل گرمایی رسیده ثابت می‌کند در حالی که مولکول‌های تشکیل دهنده پیوسته به اطراف حرکت می‌کنند و سرعتشان تغییر می‌کند.

توجه: کمیت‌هایی که در علم ترمودینامیک با آن‌ها سرو کار داریم کمیت‌های ماکروسکوپی می‌باشند.

متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت‌های ماکروسکوپی دما (T) حجم (V) و فشار (P) که به وسیله‌ی آن‌ها می‌توان حالت دستگاه را توصیف کرد، متغیرهای ترمودینامیکی نام دارد.

توجه: متغیرهای ترمودینامیکی از یکدیگر مستقل نیستند و با هم رابطه دارند.

معادله حالت: رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی (دما، فشار و حجم) را معادله‌ی حالت می‌نامند.

معادله‌ی حالت گازهای کامل (قانون عمومی گازهای کامل):

معادله‌ی حالت گازهای غیر کامل چنان پیچیده است که به سادگی قابل بررسی نیست، اما معادله‌ی حالت گازهای کامل به صورت زیر است .

برای مقدار معینی گاز (جرم ثابت) نسبت $\frac{PV}{T}$ مقدار ثابتی است، این مقدار ثابت به مقدار گاز بستگی دارد و مستقل از نوع گاز است

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

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

در این فرمول حتما باید یگانه در سیستم SI باشند.

ثابت عمومی گازها (ثابت)

P: فشار گاز که یکای آن Pa است. $(Pa)N/m^2$

V: حجم گاز که یکای آن m^3 است.

T: دما برحسب کلوین (K) که یکای آن کلوین است.

R: ثابت عمومی گازها که یکای آن $\frac{Nm}{mol.k} \equiv \frac{j}{mol.k}$ و مقدار آن $8/314 \frac{j}{mol.k}$

مثال: یکای ثابت عمومی گازها را بدست آورید.

$$PV = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT} = \frac{Nm}{mol.k}$$

N: تعداد مول های گاز می باشد که می توان آن را از رابطه $n = \frac{m}{M}$ بدست آورد.

m: جرم گاز (gr) M: جرم مولی (gr/mol)

مثال: 50 گرم گاز اکسیژن چند مول است؟ O=16 O₂=اکسیژن

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow n = \frac{50(gr)}{32(gr/mol)} \Rightarrow \frac{50}{32} mol$$

جرم مولی (جرم مولکولی): جرم یک مول از هر گاز را جرم مولی آن گاز می نامند.

از رابطه ی زیر نیز می توان تعداد مولهای گاز را محاسبه کرد.

$$n = \frac{N}{Na}$$

عدد آووگادرو: 6.02×10^{23} ذره یا مولکول از هر ماده معرف یک مول از آن ذره است. یعنی

$$n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

یک مول از هر ذره 6.02×10^{23} ذره است

تحول در گازها: فرض کنیم در یک لوله مقداری گاز داریم با مشخصات P_1, V_1, T_1 و با عدد مول ثابت و بدون تغییر در مقدار گاز

مشخصات آن به P_2, V_2, T_2 برسانیم در نتیجه می توان نوشت:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = nR \text{ و } \frac{P_2 V_2}{T_2} = nR \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

رابطه قبل را به این صورت هم می توان نوشت:

$$P_1 V_1 = nRT_1 \text{ و } P_2 V_2 = nRT_2 \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{nRT_1}{nRT_2} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

گاز کامل: گاز بسیار رقیقی است که معادله ی حالت آن بسیار ساده و بصورت $\frac{PV}{T} = nR$ می باشد و مستقل از نوع گاز است.

گاز کامل دارای ویژگی های زیر است:

1- بین مولکول های گاز کامل بر هم کنشی وجود ندارد .

2- مولکول های گاز کامل دارای انرژی جنبشی می باشند ولی انرژی پتانسیل آنها بسیار ناچیز است .

3- فاصله بین مولکول های گاز کامل نسبت به ابعاد هر مولکول بسیار زیاد است .

4- اگر گاز واقعی را بسیار رقیق کنیم یعنی چگالی آن را کاهش دهیم تبدیل به گاز کامل میشود .

توجه: هنگام استفاده از معادله ی حالت گازها فرض می کنیم که گاز در حال تعادل است . یعنی فشار و دمای گاز در نقاط مختلف یکسان است و گر نه نمی توانیم یک دما یا فشار مشخص را در معادله ی حالت قرار دهیم .

توجه: اگر در مسئله شرایط متعارفی (استاندارد) بیان شود به این معناست که دما صفر درجه ی سلسیوس و فشار یک اتمسفر است .

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ جو} = 76 \text{ cmtg} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = 6gh = 13600 \times 9/8 \times 0/76 = 101292/8 \text{ Pa} \approx 10^5 \approx 1/01 \times 10^5$$

$$q = 0^\circ \text{c} \quad T = q + 273 = 0 + 273 = 273(\text{k})$$

توجه: یک مول از هر گاز کامل در شرایط متعارفی حجمش 22/4 لیتر است .

$$1 \text{ lit} = 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ lit}$$

$$1 \text{ lit} = 1 \text{ dm}^3 \quad 1 \text{ lit} = x \text{ cm}^3 \quad ?? 10^{-3} \text{ m}^3 = x \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ lit} = 10^3 \text{ cm}^3 \\ \text{cm}^3 = m \text{ lit} = cc \end{cases}$$

$$1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

مثال: نشان دهید که یک مول گاز کامل در شرایط متعارفی حجمش 22/4 لیتر است .

$$P = 1 \text{ atm} = 1/01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$q = 0 \text{ c} \Rightarrow T = 273 \text{ k} \quad n = 1 \quad R = 8/314 \text{ j/mol.k}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \times 8/314 \times 273}{1/01 \times 10^5} = 0/0224724 \text{ m}^3$$

$$0/0224724 \times 10^3 \approx 22/4 \text{ lit}$$

مثال: ثابت عمومی گازها را برای یک مول گاز در شرایط متعارفی بدست آورید .

$$P = 1 \text{ atm} = 1/01 \times 10^5 \text{ Pa} \quad q = 0^\circ \text{c} \Rightarrow T = 273 \text{ k}$$

$$x = 1 \quad R = ? \quad V = 22/4 \text{ lit} = 22/4 \times 10^{-3} (\text{m}^3)$$

$$Pv = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT}$$

$$\Rightarrow \frac{1/01 \times 10^5 \times 22/4 \times 10^{-3}}{1 \times 273} \approx 8/3 \text{ j/mol.k}$$

مثال: در ظرفی به حجم 400 cm^3 مقدار 6 گرم گاز هیدروژن در دمای 10°c موجود است . فشار گاز را محاسبه کنید . (j/mol.k)

$$V = 400 \text{ cm}^3 \quad m = 6 \text{ g} \quad (R=8)$$

$$M_{H_2} = 2 \quad T = 283 \quad R = 8$$

$$\frac{PV}{T} = nR \Rightarrow P = \frac{nRT}{V} \quad n = \frac{m}{M} = \frac{6}{2} = 3$$

$$\Rightarrow P = \frac{3 \times 8 \times 283}{400 \times 10^{-6}} = 1698 \times 10^4 \text{ Pa}$$

مثال: درون کپسولی 4 لیتر گاز اکسیژن در دمای 27°C و فشار 40 atm وجود دارد. تعیین کنید جرم گاز درون مخزن را؟

مثال: در اتاقی به ابعاد 4 متر \times 3 متر \times 2 متر در شرایط متعارفی چند مول هوا وجود دارد؟

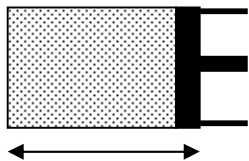
مثال: دمای گازی را از 27°C به 127°C می‌رسانیم اگر حجم ثابت فرض شود فشار آن چند درصد فشار اولیه تغییر می‌کند؟

مثال: گازی را در فشار ثابت تغییر دما و تغییر حجم می‌دهیم. اگر مجموع دمای اولیه و ثانویه گاز 1000 کلوین باشد و مجموع حجم اولیه و ثانویه آن 500 lit باشد. به ازای حجم اولیه 150 lit دمای اولیه آن چند رجه‌ی سانتی‌گراد است؟

مثال: حبیبی از ته آب به سطح آب می‌آید اگر حجمش 4 برابر شود. ارتفاع آب موجود چند متر است؟ (دما ثابت فرض شود)

مثال: گازی در حجم ثابت به ازای 10°C تغییر دما را اتمسفر تغییر فشار دارد اگر فشار اولیه گاز 2 atm باشد دمای اولیه گاز چند سانتیگراد است؟

مثال: در یک سیلندر به شکل مقابل گاز وجود دارد و فشار آن 1/5 atm است. اگر پیستون را 20cm به چپ ببریم و صبر کنیم تا دمای گاز به مقدار اولیه‌اش باز گردد فشار گاز چند Pa می‌شود؟



قانون دالتون: از این قانون در مواقعی استفاده می‌کنیم که جرم گاز ثابت نمانده باشد.

مثلاً وقتی که چند گاز با مشخصات ترمودینامیکی متفاوت داشته باشیم به طوری که تعداد مول‌های این گازها n_1, n_2, \dots, n_n و دما و فشار آنها را به هم اضافه کنیم خواهیم داشت:

$$n = n_1 + n_2 + \dots \quad \text{چون } PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT}$$

$$\frac{PV}{RT} = \frac{P_1V_1}{RT_1} + \frac{P_2V_2}{RT_2} + \dots \Rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} + \frac{P_2V_2}{T_2}$$

اگر از گازی با مشخصات T_1, V_1, P_1 مقداری را که مشخصات آن T_2, V_2, P_2 می‌باشد را برداریم فشار و حجم و دمای گاز باقی مانده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$n = n_1 - n_2$$

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} - \frac{P_2V_2}{T_2}$$

به طور کلی در شرایطی که گازها به هم اضافه یا از یکدیگر کم می‌کنیم داریم:

$$n = n_1 \pm n_2 \Rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} \pm \frac{P_2V_2}{T_2}$$

اگر در حین اعمال فوق دمای گازهای مورد نظر و دمای گاز باقی مانده و یا مخلوط همه با هم مساوی باشند داریم:

$$PV = P_1V_1 \pm P_2V_2 \pm \dots$$

توجه: از قانون دالتون در مواردی استفاده می‌شود که گازها در هنگام مخلوط شدن با یکدیگر ترکیب نشوند.

مثال: درون سیلندر گازی به حجم 5lit مقداری گاز در فشار 20atm موجود است. اگر مقداری از این گاز را در دمای ثابت و فشار یک جو مصرف کنیم (خارج کنیم) به طوری که فشار گاز درون کیسول به 5 اتمسفر برسد. حجم گاز مصرف شده (خارج شده) چقدر است؟

$$V_2 = ? \quad P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$PV = P_1V_1 + P_2V_2$$

$$\Rightarrow 20 \times 5 = (5 \times 5) + (1 \times V_2)$$

$$\Rightarrow V_2 = 75 \text{ lit}$$

فرآیندهای ترمودینامیکی و انواع آن:

هنگامی که دستگاه از یک حالت به حالت دیگر می‌رود (با مبادله‌ی کار با گرما) می‌گوئیم یک فرآیند ترمودینامیکی انجام شده. مثلاً فرض کنید حجم گازی ثابت باشد در حالت اولیه فشار گاز P_1 و دمای گاز T_1 است. اگر دستگاه گرما بگیرد فشار و دما افزایش یابد و به حالت جدید P_2 و T_2 می‌رسد و نمودار PV آن به صورت زیر خواهد بود.

نکته: حالت یک دستگاه ترمودینامیکی در صورتی قابل توصیف است که دستگاه در حال تعادل باشد و دستگاه به شرطی در حال تعادل است که فشار و دما در تمام نقاط آن یکسان باشد.

نتیجه: بنابراین بای بررسی رفتار گاز با استفاده از این علم باید فرآیند ترمودینامیکی آن قدر آهسته انجام شود که دستگاه در هر لحظه به حال تعادل نزدیک باشد و در نتیجه متغیرهای T, V, P در حین فرآیند در حین فرآیند در همه جا یکسان و مقدار مشخصی داشته باشند.

فرآیند آرمانی: هرگاه در طول یک فرآیند دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل باشد، فرآیند را آرمانی می‌گویند. بنابراین در فرآیند آرمانی تغییرات روی دستگاه به گونه‌ای است که دستگاه از حالت تعادل خود زیاد فاصله نگیرد.
مثال: اگر فشار گازی را نصف و دمای مطلق آن را 2 برابر کنیم حجم گاز چه تغییری می‌کند؟

$$P = \frac{1}{2} P_1 \quad T_2 = 2T_1 \quad V_2 = ? V_1$$

$$PV = nRT \Rightarrow \frac{1}{2} PV = 2T \Rightarrow V = \frac{2T}{\frac{1}{2}P} = 4$$

مثال: یک مول هیدروژن در شرایط متعارفی 22/4 lit حجم دارد. حجم آن در دمای 273°C و فشار 4atm چقدر است؟

$$P_1 = 1 \text{ atm} \quad V_1 = 22/4 \text{ lit} \quad T_1 = 273^\circ(\text{k})$$

$$P_2 = 4 \text{ atm} \quad V_2 = ? \quad T_2 = 546$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1 \times 22/4}{273} = \frac{4 \times V_2}{546} \Rightarrow 44/8 = 4V_2 \Rightarrow V_2 = 11/2 \text{ lit}$$

$$11/2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

فرمول مقایسه‌ای برای معادله‌ی حالت گازها:

$$PV = nRT$$

$$\frac{P_1}{P_2} \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{R}{R} \times \frac{T_1}{T_2}$$

مثال: حجم 20 مول گاز در دمای 273°C و فشار 5 atm چند برابر حجم یک مول گاز در شرایط متعارفی است؟

$$n = 20 \text{ mol} \quad T_1 = 273 \text{ K} \quad T_2 = 273 + 273 = 546$$

$$P_2 = 5 \text{ atm} \Rightarrow 5 \times 10^5 \text{ Pa} \quad P_1 = 10^5 \text{ atm} \quad V_1 = 23/4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad V_2 = ?$$

$$\frac{P_2}{P_1} \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{5 \times 10^5}{10^5} \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{20} \times \frac{546}{273}$$

$$\frac{5V_2}{V_1} = 40 \Rightarrow \hat{40}V_1 = 5V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{8}{1} \Rightarrow V_2 = 870$$

قوانین گازها:

1- قانون اول شارل گیوساک (هم فشار): برای جرم معینی گاز در فشار ثابت حجم گاز متناسب با دمای مطلق آن است.

$$m = cte \quad P = cte \quad V \propto T \quad V = T cte$$

$$\Rightarrow \frac{V}{T} = cte \quad \frac{nR}{P} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V_1 + V_2}{T_1 + T_2}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1}$$

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

2- قانون دوم شارل گیوساک (هم حجم): برای جرم معینی گاز در حجم ثابت فشار گاز متناسب با دمای مطلق آن است.

$$m = cte \quad V = cte \quad P \propto T \quad P = T cte$$

$$\Rightarrow \frac{P}{T} = cte \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{P_1 + P_2}{T_1 + T_2}$$

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

3- قانون نوبل ماریوت (هم دما): برای جرم معینی از گاز در دمای ثابت فشار گاز با حجم آن رابطه‌ی عکس دارد.

$$m = cte \quad T = cte \quad P \propto \frac{1}{V} \quad P = cte \times \frac{1}{V}$$

$$\Rightarrow PV = cte \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow \frac{P_1}{V_2} = \frac{P_2}{V_1} = - \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

مثال: یک حباب گاز به حجم 2cm³ در دمای ثابت از کف دریاچه‌ای به عمق 10m به سطح آب می‌آید. حجم حباب گاز در سطح

آب چقدر است؟ ($S = 1000 \frac{kg}{m^3}$ آب)

$$64 \times 10^4 \text{ 8}$$

$$P_2 = P_0 = 10^5 \quad P_1 = P_0 + Sgh = 10^5 + (100 \times 10 \times 10) = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 2 \times 10^5 \times 2 = 10^5 \times V_2 \Rightarrow V_2 = 4 \text{ cm}^3 = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

مثال: در دمای ثابت حجم گازی را 4lit افزایش می‌دهیم. اگر فشار گاز به اندازه‌ی 0/2 فشار اولیه کاهش یابد در این صورت حجم

گاز اولیه چقدر است؟

مثال: در دمای ثابت حجم مقدار معینی گاز هیدروژن را به اندازه‌ی 0/2 حجم اولیه‌اش کاهش می‌دهیم. اگر فشار گاز به 2atm برسد فشار اولیه گاز چقدر است؟

مثال: مقداری گاز هیدروژن در دمای 27°C درون یک ظرف بسته محبوس است. با افزایش دما فشار گاز درون ظرف 2 برابر می‌شود. تغییرات دمای گاز چقدر است؟

مثال: فشار گازی را 3 برابر و حجم آن را نصف می‌کنیم. نسبت T_2 به T_1 ؟

مثال: معین کنید در دمای ثابت اگر حجم گازی را 20 درصد حجم اولیه افزایش دهیم فشار آن چند درصد فشار ثانویه تغییر می‌کند؟

فرآیند غیرآرمانی:

فرآیندی است که بسیار سریع انجام می‌شود به گونه‌ای که وضعیت دستگاه بین شروع و پایان مشخص نیست.

تفاوت فرآیند آرمانی و غیرآرمانی:

1- در فرآیند آرمانی مطالعه و بررسی به راحتی انجام می‌شود ولی در فرآیند غیرآرمانی نمی‌توان بین شروع و پایان مطالعه کرد.

2- معادله‌ی حالت در فرآیند آرمانی ساده است ولی در فرآیند غیرآرمانی نمی‌توان از معادله‌ی حالت استفاده کرد.

انواع فرآیندهای ترمودینامیکی:

1- فرآیند هم حجم 2- فرآیند هم فشار 3- فرآیند هم دما 4- فرآیند بی دررو

5- چرخه (فرآیندی است که در طول آن دستگاه پس از طی چند فرآیند به حالت اولیه بر می‌گردد).

تبادل انرژی بین محیط دستگاه به دو طریق صورت می‌گیرد:

1- مبادله‌ی گرما (Q) 2- انجام کار (W)

تعریف گرما، فرمول و یکای آن:

گرما: گرما صورتی از انرژی است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود. (بنابراین هنگامی بین محیط دستگاه گرما مبادله می‌شود که این دو با هم اختلاف دما داشته باشند).

توجه: بنا به قرارداد گرمایی که دستگاه می‌گیرد با علامت مثبت ($Q > 0$) و گرمایی که دستگاه از دست می‌دهد با علامت منفی نشان می‌دهیم ($Q < 0$).

گرمای داده شده یا گرفته شده از جسم متناسب است با :

1) $Q \propto m$ ← جرم جسم

2) $Q \propto C$ ← گرمای ویژه جسم

3) $Q \propto \Delta T$ یا $Q \propto \Delta q$ تغییرات دما

$Q = mc\Delta T$ یا $Q = mc\Delta q$

یکاهای آن: یکای گرما در SI J می‌باشد و یکاهای دیگر آن کالری، کیلوکالری، کیلو ژول، مگا ژول و... می‌باشد.

$1 \text{ cal} \cong 4/2 \text{ J}$

$1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal} = 4200 \text{ J}$

$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$ $MJ = 10^6 \text{ J}$

C گرمای ویژه‌ی جسم می‌باشد و گرمای ویژه‌ی جسم مقدار گرمایی است که به 1kg از یک جسم می‌دهیم تا دمایش 1°C یا 1k بالا رود و بستگی به جنس جسم دارد و برای هر جسم مقدار ثابتی است و یکای آن در SI J/kgK می‌باشد.

$$CH_2O = 4200 \frac{j}{kgk} = 1 \frac{cal}{gk}$$

$$C = 2100 \frac{j}{kgk} = 0.5 \frac{cal}{gk}$$

$$1 \frac{cal}{g^{\circ}c} \xrightarrow{\times 4200} j / kg^{\circ}c$$

$$1 \frac{cal}{g^{\circ}c} = x \frac{j}{kg^{\circ}c} \Rightarrow \frac{1 cal \times 4/2}{1g \times 10^{-3}} = 4200 \frac{j}{kg^{\circ}c}$$

فرمول مقایسه‌ای (برای مقایسه‌ی گرمای گرفته شده یا داده شده):

$$Q = mc\Delta T \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{m_1 c_1 \Delta T_1}{m_2 c_2 \Delta T_2}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{m_1}{m_2} \times \frac{c_1}{c_2} \times \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$$

مثال: اگر به جرم مساوی از دو جسم A و B گرمای مساوی به جسم تغییر دمای جسم A چند برابر جسم B است؟ (در صورتی که گرمای ویژه‌ی جسم B 4 برابر جسم A باشد)

$$Q = mc\Delta T$$

$$\frac{QA}{QB} = \frac{m_A c_A \Delta T_A}{m_B c_B \Delta T_B} \Rightarrow 1 = \frac{c_A}{4c_B} \times \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B} = \frac{1}{4} = 4$$

هنگامی که دستگاه با محیط تبادل گرما می‌کند معمولاً فرض می‌شود که با یک منبع گرما در تماس است.

منبع گرما: منبع گرما جسمی است که اگر گرما از دست بدهد یا بگیرد دمای آن به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نکند. مثلاً هوای اتاق را برای یک استکان چای داغ می‌توان منبع گرما در نظر گرفت.

الف) هنگام تراکم دستگاه: درون یک محفظه که روی آن پیستونی قرار دارد مقداری گاز محبوس است. توسط نیروی خارجی F پیستون را به آرامی و به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنیم. گاز (دستگاه) تراکم می‌شود و طبق قانون سوم نیوتن (قانون کنش و واکنش) از طرف گاز (دستگاه) نیروی F مساوی و در خلاف جهت F به پیستون (محیط) وارد می‌شود.

$$F = F' \quad \vec{F} = \vec{F}'$$

طبق رابطه‌ی گاز یعنی $w = Fd \cos \alpha$ می‌توان کار هر نیرو را محاسبه کرد.

$$w_F = Fd \cos 0 \Rightarrow w_F = Fd \Rightarrow w_F > 0$$

6 7 18

$$w_F = F'd \cos 180 \Rightarrow w_F = -F'd \Rightarrow w_F = -Fd \Rightarrow w_F < 0$$

F: نیرویی است که محیط (که پیستون را نیز شامل می‌شود) به دستگاه وارد می‌کند.

F': نیرویی است که دستگاه به محیط وارد می‌کند.

W_F یا W: کاری است که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد.

W' یا W'_F: کاری است که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد.

d: جا به جایی پیستون است.

نتیجه: هنگام تراکم دستگاه همواره کار (یعنی کار محیط روی دستگاه W_F) مثبت است.

2- کاری که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد برابر است با منفی کاری که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد و برعکس.

$$w_F' = -w_F \quad w_F = w_F'$$

هنگام انبساط دستگاه:

مقداری گاز درون یک محفظه که با منبع گرما در تماس است در زیر پیستون محبوس است. اگر منبع گرما مقداری گرما به دستگاه (گاز) بدهد گاز منبسط می‌شود و از طرف دستگاه نیروی F' به دستگاه (گاز) وارد می‌شود پس می‌توان نوشت:

6 7 8

$$w_F = F'd \cos 180 \Rightarrow w_{F'} = -Fd \Rightarrow w_{F'} < 0$$

$$w_F' = F'd \cos 0 \Rightarrow w_F' = F'd \Rightarrow w_F' = Fd \Rightarrow w_F' > 0 \Rightarrow w_F = -w_F'$$

نتیجه 1: کار انبساط دستگاه همواره منفی است. (منظور از گاز همان کار محیط روی دستگاه است).

$$w_F' = -w_F \quad \text{یا} \quad w_F = w_F' \quad -2$$

به طور خلاصه: کار محیط روی دستگاه

1- هنگام تراکم (+)

2- هنگام انبساط (-)

1- هنگام تراکم (-)

2- هنگام انبساط (+)

کار دستگاه روی محیط

انرژی درونی و رابطه‌ی آن را برای گاز کامل :

انرژی درونی (U) برابر است با مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل دهنده‌ی آن جسم یا برابر است با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذرات تشکیل دهنده‌ی جسم.

با توجه به این که انرژی درونی یک گاز کامل فقط شامل انرژی جنبشی گاز می‌شود (زیرا انرژی پتانسیل مولکول‌های گاز کامل تقریباً

$$U \propto k \quad \text{صفر است. می‌توان نوشت:}$$

از طرفی چون دما متناسب با متوسط انرژی جنبشی مولکول‌های جسم است پس می‌توان نوشت:

$$T \propto K \Rightarrow U \propto T \quad U = cte \times T \quad U = \frac{3}{2} nRT$$

پس می‌توان نتیجه گرفت در گاز کامل انرژی درونی گاز فقط تابع دمای مطلق گاز است.

$$U \propto T \quad U = cte \times T \quad \text{برای گاز تک اتمی} \quad U = \frac{3}{2} nRT \Rightarrow U = \frac{3}{2} nRT$$

$$U = \frac{5}{2} nRT \quad \text{برای گاز دو اتمی} \quad U = \frac{7}{2} nRT$$

سؤال: تغییر انرژی درونی گاز کامل متناسب با چیست؟ رابطه‌ی آن را بنویسید.

$$\Delta U \propto \Delta T \quad \Delta U = cte \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} nRT$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} nRT \quad \Delta U = \frac{7}{2} nRT$$

تغییر انرژی درونی گاز کامل متناسب با تغییر دمای گاز می‌باشد و به مقدار گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط ارتباط دارد.

علم ترمودینامیک بر اساس 4 قانون بنا شده:

1- قانون صفرم ترمودینامیک 2- قانون اول ترمودینامیک

3- قانون دوم ترمودینامیک 4- قانون سوم ترمودینامیک

قانون صفرم ترمودینامیک: اگر جسم A و B در تعادل گرمایی باشند و جسم B و C نیز در تعادل گرمایی باشند آن‌گاه جسم A و C نیز در تعادل گرمایی (هم دما) خواهند بود.

قانون سوم ترمودینامیک: رسیدن به دمای صفر مطلق (-273°C) غیر ممکن است.

قانون اول ترمودینامیک و رابطه‌ی آن:

$\Delta U = w + Q$ تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع کار و گرمایی که دستگاه دریافت می‌کند.

توجه: برای استفاده از قانون اول ترمودینامیک باید نکات زیر رعایت شود:

1- اگر دستگاه گرما بگیرد $Q > 0$ و اگر دستگاه گرما از دست بدهد علامت Q منفی ($Q < 0$)

2- w کاری است که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد و کار تراکم مثبت است ($w > 0$) و کار انبساط منفی.

توجه: به طور کلی تغییر انرژی درونی یک گاز کامل تک اتمی با کمک روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta U = w + Q$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nRT \Rightarrow \text{چون } PV = nRT \Rightarrow \Delta PV = \Delta nRT \Rightarrow \Delta PV = nR\Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \Delta PV = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$P_1 V_1 = nRT_1$$

$$P_2 V_2 = nRT_2$$

$$\left(\frac{P_2 V_2}{1} - \frac{P_1 V_1}{1} \right)_{\Delta PV} = nR(T_2 - T_1) - nR\Delta T$$

مثال: اگر دستگاهی 35/3 ژول گرما از دست بدهد ($Q < 0$) و کار انجام شده روی دستگاه 10 J باشد تغییرات انرژی روی دستگاه؟

$$Q = -35/3 \text{ j} \quad w = 10 \text{ j}$$

$$\Delta U = w + Q = 10 + (-35/3) \Rightarrow \Delta U = -25/3 \text{ j}$$

نکته: علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی درونی در نتیجه دمای مطلق گاز کاهش یافته چون ($\Delta U \propto \Delta T$)

مثال: طی یک فرآیند دستگاه روی محیط 100 J کار انجام می‌دهد و 50 j گرما دریافت می‌کند. تغییر انرژی درونی دستگاه؟

$$w = 100 \text{ j} \Rightarrow w = -100 \text{ j} \quad Q = 50 \text{ j} \quad \Delta U = ?$$

$$\Delta U = W + Q = -100 + 50 = -50 \text{ j}$$

مثال: دمای 10 مول گاز 2 اتمی را 20 درجه c افزایش می‌دهیم. تغییر انرژی درونی گاز را محاسبه کنید. ($R=8/3$)

مثال: فشار و حجم گاز تک اتمی را از 2 atm و 5 lit به 1 atm و 20 lit تغییر می‌دهیم. انرژی درونی گاز چه تغییر می‌کند؟

فرآیند هم فشار:

فرآیندی که فشار گاز در حین فرآیند ثابت می‌ماند و در این فرآیند دستگاه با مبادله‌ی کار و گرما با محیط مبادله‌ی انرژی می‌کند.

مثال: مقداری گاز درون یک محفظه که با منبع گرما در تماس است در زیر پیستونی که آزادانه حرکت می‌کند محبوس و به حال تعادل است. اگر به دستگاه گرما بدهیم فشار گاز زیاد می‌شود پس برای ثابت ماندن فشار گاز منبسط می‌شود و پیستون به آرامی و با سرعت ثابت به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌شود و حجم زیاد می‌شود.

در نتیجه فشار ثابت می‌ماند یعنی فشار گاز با فشار محیط برابر می‌شود و یک فرآیند انبساط هم فشار انجام می‌شود که در این فرآیند کار محیط روی دستگاه منفی و گاز دستگاه روی محیط مثبت است.

(انبساط)

$$w < 0$$

$$\Delta U > 0 \quad \begin{cases} \Delta U \propto \Delta T \\ P = cte \quad \Delta V \propto \Delta T \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta V > 0 \\ \Delta T > 0 \end{cases}$$

$$Q > 0$$

$$P = cte \quad V_2 > V_1 \Rightarrow T_2 > T_1$$

$Q > 0$ گرما گرفته $w < 0$ کار انبساط

$$\Delta V \propto \Delta T \quad \text{چون} \quad \Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$$

(تراکم)

$$P = cte \quad V \propto T \quad V_2 < V_1 \Rightarrow T_2 < T_1$$

$Q < 0$ گرما از دست داده $w > 0$ تراکم گاز

$$\Delta U \propto \Delta T \quad \text{چون} \quad T_2 < T_1 \Rightarrow U_2 < U_1 \Rightarrow \Delta U < 0$$

ویژگی‌های مربوط به فرآیند هم فشار:

1- فشار در حین فرآیند ثابت است. $P = cte$

2- در این فرآیند هم کار و هم گرما مبادله می‌شوند.

$$w \neq 0 \quad Q \neq 0$$

3- کار انجام شده بر روی دستگاه در فرآیند هم فشار برابر است با:

4- با توجه به معادله‌ی حالت گازهای کامل برای محاسبه‌ی کار می‌توان از رابطه‌ی زیر نیز استفاده کرد:

کار در فرآیند هم فشار

$$W = -P\Delta V$$

$$PV = nRT \quad P\Delta V = nR\Delta T \Rightarrow w = -nR\Delta T$$

ثابت کنید کار انجام شده در فرآیند هم فشار برابر است با: $w = -P\Delta V$

درون یک سیلندر مقداری گاز که توسط یک پیستون محبوس شده و در حال تعادل است قرار گرفته. اگر به دستگاه گرما بدهیم فشار گاز زیاد می‌شود و برای ثابت ماندن فشار، گاز منبسط می‌شود در نتیجه می‌توان از رابطه‌ی زیر کار دستگاه روی محیط را محاسبه کرد.

$$w' = w'_F = F'd \cos 0 \Rightarrow w'_F = F'd$$

$$w' = PAd \Rightarrow w' = P\Delta V$$

$$\Rightarrow w = -P\Delta V$$

توجه: علامت منفی در این فرمول برای این است که هر وقت حجم کم می‌شود کار مثبت شود و بر عکس

$$(تراکم) \Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow -P\Delta V > 0 \Rightarrow w > 0$$

$$(انبساط) \Rightarrow \Delta V > 0 \Rightarrow -P\Delta V < 0 \Rightarrow w < 0$$

5- در یک فرآیند هم فشار سطح زیر نمودار PV برابر $|P\Delta V|$ قدرمطلق کار انجام شده پس می توان نتیجه گرفت سطح زیر نمودار PV اندازه‌ی کار را نشان می دهد.

توجه: منحنی اگر نمودار مربوط به فرآیند هم فشار نباشد باز هم سطح زیر نمودار PV اندازه‌ی کار را نشان می دهد.

$$S = P\Delta V$$

$$\Rightarrow S = |w| \Rightarrow w < 0 \text{ چون کار انبساط}$$

$$w = -P\Delta V$$

توجه: هنگامی که کار را از روی نمودار PV محاسبه می کنیم چون قدرمطلق کار محاسبه می شود برای تعیین علامت کار باید از روی نمودار مشخص کنیم کار انبساط است یا تراکم و سپس علامت آن را تعیین کنیم. مثلاً در نمودار بالا چون کار انبساط است پس $w < 0$ یا $w = -S$ می شود.

6- در فرآیند هم فشار دستگاه با مبادله‌ی کار و گرما تراکم یا انبساط پیدا می کند و تغییرات حجم دستگاه متناسب با تغییرات روی آن است.

$$P = cte$$

$$V \propto T \Rightarrow \Delta V \propto \Delta T \begin{cases} PV = nRt \\ P\Delta V = nR\Delta T \Rightarrow \Delta V \propto \Delta T \end{cases}$$

7- شیب نمودار VT معرف مقدار ثابت $\frac{nR}{P}$ می باشد و شیب نمودار با فشار گاز رابطه‌ی عکس دارد.

$$\text{شیب نمودار} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \tan a$$

$$\Rightarrow \tan a \times \frac{1}{P}$$

$$\text{شیب نمودار} \tan a = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{nR}{P}$$

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

مثال: در شکل زیر نمودارهای VT مربوط به دو گاز کامل A و B نشان داده شده. فشار کدام گاز بیش تر است؟

$$\tan a > \tan b \Rightarrow \frac{nR}{P_A} > \frac{nR}{P_B}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{P_A} > \frac{1}{P_B} \Rightarrow P_A < P_B$$

توجه: هر چه شیب نمودار VT بیش تر باشد فشار گاز کم تر است و برعکس.

8- تغییر انرژی درونی دستگاه در فرآیند هم فشار برابر است با:

$$\Delta U = w + Q = \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} P\Delta V = -\frac{3}{2} w$$

گاز تک اتمی

9- گرمای مبادله شده در فرآیند هم فشار به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می شود:

گرمای مبادله شده بستگی به مقدار ماده، گرمای ویژه و تغییرات دما دارد که در گازها می‌توان مقدار ماده را برحسب تعداد مول (n) بیان کرد. که در این صورت گرمای ویژه تبدیل به ظرفیت گرمایی مولی می‌شود.

c_p (گرمای ویژه گاز در فشار ثابت): مقدار گرمایی است که در فشار ثابت به یکای جرم گاز می‌دهیم تا دمای آن یک کلونین بالا رود.
 C_{mp} (ظرفیت گرمایی مولی گاز در فشار ثابت): مقدار گرمایی است که در فشار ثابت به یک مول گاز داده می‌شود تا دمای آن یک کلونین بالا رود. ($MCP=C_{mp}$)

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = n mcp\Delta T$$

$$QP = n Cmp \Delta T$$

توجه: گرمای ویژه‌ی گاز به نوع فرآیند بستگی دارد و به جنس گاز بستگی ندارد.

ظرفیت گرمایی مولی گاز در فشار گاز نیز به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک اتمی برابر $\frac{5}{2}R$ و برای گازهای دو اتمی

$$\text{برابر } \frac{7}{2}R \text{ و برای گازهای چنداتمی برابر } \frac{9}{2}R$$

10- در فرآیند هم فشار برای گاز تک اتمی گرمای مبادله شده $-2/5$ برابر کار انجام شده است

$$Q = -2/5 w \text{ برای گاز تک اتمی}$$

$$Qp = n C_{mp} \Delta T = n \times \frac{5}{2} R \Delta T = \frac{5}{2} nRT = \frac{5}{2} PV \Rightarrow Qp = -\frac{5}{2} w = -2/5 w$$

$$Qp = n Cmp \Delta T$$

$$Qp = n \times \frac{5}{2} R \times \frac{P\Delta V}{nR} = \frac{5}{2} P\Delta V = -\frac{5}{2} w$$

سؤال: چرا تغییرات انرژی درونی گاز کامل تک اتمی را می‌توان از رابطه‌ی $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$ نیز محاسبه کرد؟

$$\Delta U = w + Q \rightarrow \text{رابطه‌ی کلی}$$

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

رسم نمودارهای فرآیند هم فشار:

نمودار PV فرآیند انبساط هم فشار

نمودار PT فرآیند انبساط هم فشار

نمودار VT فرآیند انبساط هم فشار

نمودار P-T فرآیند تراکم هم فشار

نمودار P-V فرآیند تراکم هم فشار

نمودار VT فرآیند تراکم هم فشار

مثال: در یک فرآیند هم فشار یک لیتر گاز کامل O_2 سرمای 300 کلونین مقداری گرما از دست می‌دهد و حجم آن در فشار یک atm به $0/9$ حجم اولیه‌اش می‌رسد. الف) دمای نهایی گاز؟ ب) کار انجام شده؟ ج) مقدار گرمایی که گاز O_2 از دست داده؟ د) تغییر انرژی درونی دستگاه؟

$$P = cte \quad V_1 = 1 \text{ lit} \quad T_1 = 300^\circ k \quad Q < 0$$

$$P = 1 \text{ atm} \quad V_2 = 0/9 V_1 \quad T_2 = ? \quad w = ? \quad Q = ? \quad \Delta U = ?$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{300} = \frac{0/9 V_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 300 \times 0/9 = 270^\circ k$$

$$w = -P\Delta V \Rightarrow w = -(10^5 \times -10^{-4}) = +10^1 = +10 \text{ j}$$

$$Q = -\frac{7}{2}w \Rightarrow Q = -\frac{7}{2} \times 10 = -35$$

$$\text{راه دیگر} \quad = Q = n \text{ cmp} \Delta T \Rightarrow P_1 V_1 = n R T_1 \Rightarrow n = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{10^5 \times 10^{-3}}{8 \times 300} = \frac{1}{24}$$

$$\Rightarrow Q = \frac{1}{24} \times \frac{7}{2} \times 8 \times -30 = -35$$

$$\Delta U = Q + w \Rightarrow \Delta U = -35 + 10 = -35$$

فرآیند هم حجم:

اگر حجم گاز در حین فرآیند ثابت بماند فرآیند را هم حجم می‌نامند. در این فرآیند کار انجام شده صفر است و گاز فقط با محیط مبادله‌ی گرما دارد.

مثال: درون یک سیلندر مقداری گاز وجود دارد و پیستون سیلندر ثابت است و سیلندر با منبع گرما در تماس است. اگر دمای منبع گرما از دمای دستگاه بیشتر باشد دستگاه گرمایی گیرد در نتیجه

$$w = 0 \quad \text{و} \quad Q > 0 \quad \text{و} \quad \Delta U > 0$$

و اگر دمای منبع گرما از دمای دستگاه کمتر باشد دستگاه گرما از دست می‌دهد.

$$w = 0 \quad \text{و} \quad Q < 0 \quad \text{و} \quad \Delta U < 0$$

رسم نمودارهای فرآیند هم حجم:

$$V = cte$$

$$P \propto T$$

$$P_2 > P_1 \Rightarrow T_2 > T_1$$

نمودار **P-V** فرآیند هم حجم هنگام افزایش دما

نمودار **P-T** فرآیند هم حجم هنگام افزایش دما

نمودار **V-T** فرآیند هم حجم هنگام کاهش دما

نمودار **P-V** فرآیند هم حجم هنگام کاهش دما

نمودار **V-T** فرآیند هم حجم هنگام افزایش دما

نمودار **P-T** فرآیند هم حجم هنگام کاهش دما

ویژگی‌های فرآیند هم حجم:

$$v = cte \leftarrow \text{در این فرآیند حجم ثابت می‌ماند}$$

2- کار انجام شده در فرآیند هم حجم صفر است. زیرا تغییر حجم انجام نمی‌شود بنابراین کاری برای جابه‌جایی پیستون صورت نمی‌گیرد.

توجه: از طریق سطح زیر نمودار P-V در فرآیند هم حجم باز هم کار صفر است. چون سطح زیر نمودار صفر است.

3- در این فرآیند دستگاه فقط با مبادله‌ی گرما با محیط مبادله‌ی انرژی می‌کند یعنی $Q \neq 0$ و $w = 0$

4- گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در فرآیند هم حجم به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = mc\Delta T \quad Q_V = m \left\{ \begin{matrix} n = \frac{m}{M} \\ m = nM \end{matrix} \right. CV\Delta T$$

$$Q_V = nmcv\Delta T \quad Q = ncmV\Delta T$$

Cv (گرمای ویژه گاز در حجم ثابت): برابر است با مقدار گرمایی که در حجم ثابت به واحد جرم گاز می‌دهیم تا دمایش یک کلوین بالا رود.

CMV (ظرفیت گرمایی مولی گاز در حجم ثابت): برابر است با مقدار گرمایی که در حجم ثابت به یک مول گاز می‌دهیم تا دمایش یک کلوین بالا رود.

توجه: CMV بستگی به جنس گاز ندارد و مقدار آن برای گاز تک اتمی $\frac{3}{2}R$ و برای گاز دو اتمی $\frac{5}{2}R$ و برای گاز چند اتمی $\frac{7}{2}R$ می‌باشد.

5- در فرآیند هم حجم دستگاه با مبادله‌ی گرما با محیط دما و فشارش تغییر می‌کند به گونه‌ای که تغییرات فشار گاز متناسب با تغییرات دمای مطلق آن است. $V = cte \quad P \propto T = \Delta P \propto \Delta T$

6- شیب نمودار P-T در فرآیند هم حجم معرف مقدار ثابت $\frac{nR}{V}$ می‌باشد و این شیب متناسب با عکس حجم گاز می‌باشد.

$$P \propto T \quad P_2 > P_1 \Rightarrow T_2 > T_1$$

$$\tan a = \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{nR}{V} \quad PV = nRT \Rightarrow \frac{P}{T} = \frac{nR}{V} \rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{nR}{V}$$

$$\tan a \propto \frac{1}{V}$$

مثال: نمودارهای P-T زیر مربوط به دو گاز کامل A و B می‌باشد. حجم کدام گاز بیش‌تر است؟

$$a > b \quad \tan a > \tan b$$

$$\frac{nR}{V_A} > \frac{nR}{V_B} \Rightarrow \frac{1}{V_A} > \frac{1}{V_B} \Rightarrow V_A < V_B$$

7- انرژی درونی در فرآیند هم حجم را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد:

$$P_1V_1 = nRT_1$$

$$\Delta U = w + Q \Rightarrow \Delta U = Q$$

$$Q_v = nC_{MV}\Delta T = n \frac{3}{2} R\Delta T \rightarrow \Delta U = n \frac{3}{2} R\Delta T$$

$$\Delta U = w + Q_v \quad \text{تکي اتمی}$$

$$\Delta U - w + Q \Rightarrow \Delta U = Q_v = nC_{MV}(T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow Q_v = \frac{3}{2} nR \left(\frac{P_2V}{nR} - \frac{P_1V}{nR} \right) = \frac{3}{2} nR \frac{V}{nR} (P_2 - P_1) = \frac{3}{2} V\Delta P$$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} V\Delta P$$

مثال: به 0/2 مول گاز هلیوم (تک اتمی) در حجم ثابت چند ژول گرما بدهیم تا دمایش 40°C بالا رود؟ R=8

$$n = 0/2 \text{ mol} \quad v = cte \quad Q = ? \quad \Delta T = 40k$$

$$Q = \frac{3}{2} nR\Delta T \Rightarrow Q = \frac{3}{2} \times 0/2 \times 8 \times 40 \Rightarrow Q = 96 \text{ j}$$

مثال: حجم یک مول از یک گاز تک اتمی 2 lit و فشار آن atm است. مقداری گرما به آن می‌دهیم تا فشار آن از طریق یک فرآیند هم

حجم 4 برابر شود. الف) کار مبادله شده؟

$$n = 1 \text{ mol} \quad V = cte$$

$$V_1 = 2 \text{ lit} \quad w = ? \quad w = 0 \quad Q_v = nC_{mv}\Delta T$$

$$P = 1 \text{ atm} \quad Q = ? \quad Q_v = \frac{3}{2} nR\Delta T (T_2 - T_1) \Rightarrow Q_v = \frac{3}{2} V\Delta P$$

$$P_2 = 4P_1 \quad \Delta U = ? \quad Q = \frac{3}{2} \times 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^5 = 900$$

$$\Delta P = (4P_1 - P_1) = 3P = 3 \text{ atm} = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

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

$$\Delta U = w + Q \Rightarrow \Delta U = Q = 900$$

ب) گرمای مبادله شده؟

ج) تغییر انرژی درونی گاز؟

فرآیند هم دما: (ایزوترم)

اگر دمای دستگاه در حین فرآیند ثابت بماند، فرآیند را هم دما می‌نامند. در این فرآیند دستگاه با محیط تبادل کار و گرما دارد اما دما و در نتیجه انرژی درونی دستگاه تغییر نمی‌کند.

مثال: مطابق شکل دستگاه را در تماس با منبع گرما با دمای ثابت قرار می‌دهیم. اگر پیستون را به آرامی حرکت دهیم تا گاز تراکم شود دمای گاز اندکی بالا رفته ولی بلافاصله گاز با منبع گرما تبادل گرما می‌کند و دمای دوباره با دمای منبع یکی می‌شود.

رسم نمودارهای فرآیند هم دما:

ویژگی‌های فرآیند هم دما:

1- دمای دستگاه در حین انجام فرآیند ثابت است.

2- دستگاه هم گرما و هم کار مبادله می‌کند.

$$Q \neq 0 \quad \text{و} \quad w \neq 0$$

$$\Delta U = 0 \xrightarrow{\text{چون}} \Delta T = 0$$

3- تغییرات انرژی درونی دستگاه در فرآیند هم دما صفر است.

$$\Delta U = w + Q$$

4- در فرآیند هم دما قدرمطلق کار انجام شده برابر با قدرمطلق گرمای مبادله شده است.

$$0 = w + Q$$

$$w = -Q \Rightarrow |w| = |Q|$$

5- در فرآیند هم دما دستگاه با مبادله‌ی کار و گرما با محیط در دمای ثابت فشار و حجمش تغییر می‌کند به گونه‌ای که فشار با حجم

$$T = cte \quad P \propto \frac{1}{V} \quad \text{رابطه‌ی عکس دارد.}$$

6- سطح زیر نمودار PV معرف قدرمطلق کار انجام شده است.

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad S = |w|$$

نکته: در فرآیند هم دما و هم فشار کار و گرما مختلف‌العلامت می‌باشند.

مثال: 0/2 مول از یک گاز کامل در دمای 300 کلوین در داخل استوانه‌ای به حجم 5 لیتر قرار دارد. گاز را به طور هم دما متراکم

می‌کنیم. مطلوبست: الف) فشار گاز در حجم دمای 5 و 4 لیتر؟ $R = 8/3 \text{ j/mol.k}$

$$n = 0/2 \text{ mol} \quad T = 300 \text{ k} \quad PV = nRT \Rightarrow P_1 V_1 = nRT_1$$

$$V = 5 \text{ lit} \Rightarrow P_1 \times 5 \times 10^{-3} = 0/2 \times 8/3 \times 300 \Rightarrow P_1 = \frac{0/2 \times 8/3 \times 300}{5 \times 10^{-2}} = 99600 \text{ Pa}$$

$$T = cte \quad P_2 V_2 = nRT_2 \Rightarrow P_2 \times 4 \times 10^{-3} = 0/2 \times 8/3 \times 300$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{0/2 \times 8/3 \times 300}{4 \times 10^{-3}} = 124500 \text{ Pa}$$

ب) رسم نمودارهای این فرآیند؟

ج) تغییر انرژی درونی گاز؟ صفر

مثال: در یک فرآیند هم دما دستگاه 20j کار روی محیط انجام داده. گرمایی که دستگاه با محیط مبادله کرده چقدر است؟ و مشخص

کنید دستگاه گرما گرفته یا از دست داده؟ $w = -20 \Rightarrow Q = 20 \text{ j}$ کار محیط روی دستگاه $w' = 20 \text{ j}$ گرما گرفته چون

$$Q > 0$$

مثال: نمودار P-V مربوط به فرآیند تراکم هم دمای یک گاز کامل در دماهای مختلف مثلاً سه دمای T_3, T_2, T_1 را با شرط

$$T_1 > T_2 > T_3 \quad \text{را رسم کنید.}$$

حل:

1- با توجه به رابطه‌ی $PV = nRT$ می‌توان نتیجه گرفت.

$$PV = nRT \Rightarrow \uparrow T = \frac{\uparrow (PV)}{nR} \Rightarrow \uparrow T \propto \uparrow (PV)$$

هر چه دمای گاز بیش‌تر باشد در نتیجه PV نیز بیش‌تر است. یعنی سطح زیر نمودار P-V بیش‌تر است. یعنی نمودار از مبدأ دورتر

است. (نموداری که از مبدأ دورتر باشد دمای آن بیش‌تر است.)

2- در حجم ثابتی از نمودار بزرگی فشار را برای نمودارهای T_3, T_2, T_1 بررسی می‌کنیم.

$$V = cte$$

$$P \propto T \quad P_1 > P_2 > P_3 \Rightarrow T_1 > T_2 > T_3$$

مثالی دیگر برای این فرآیند (هم فشار):

مقداری گاز را درون مخزنی محفوظ می‌کنیم طوری که پیستون به راحتی جابه‌جا شود. این مخزن را در تماس با منبع گرما قرار می‌دهیم. طوری که گاز به منبع گرما مقداری گرما بدهد در نتیجه حجم گاز کم می‌شود و پیستون به سمت چپ جابه‌جا می‌شود تا فشار گاز ثابت بماند.

فرآیند بی دررو: (آدیاباتیکی)

فرآیندی است که در آن دستگاه با محیط مبادله‌ی گرما نمی‌کند.

برای انجام این فرآیند باید دستگاه به خوبی عایق‌بندی شده باشد به طوری که مبادله‌ی گرما انجام نشود. سپس عمل تراکم با انبساط بسیار آهسته انجام شود.

حالتی دیگر برای این فرآیند این است که تراکم و انبساط به قدری سریع انجام شود که دستگاه زمان کافی برای تبادل گرما با محیط نداشته باشد.

مثال: اگر درون یک محفظه که بدنه‌ی آن عایق‌بندی شده در زیر پیستون مقداری گاز محبوس باشد و با حرکت آرام پیستون گاز را به آرامی متراکم یا منبسط کنیم چون گاز با محیط تبادل گرما نداشته فرآیند تراکم یا انبساط بی دررو رخ داده است.

ویژگی‌های فرآیند بی دررو:

1- در فرآیند بی دررو گرمای مبادله شده بین محیط و دستگاه صفر است. $Q=0$

2- در فرآیند بی دررو دمای دستگاه بدون دریافت یا انتقال گرما و فقط با انجام کار تغییر می‌کند.

3- در فرآیند بی دررو تغییرات انرژی درونی دستگاه برابر است با کار انجام شده روی دستگاه.

$$\Delta U = w = Q \Rightarrow \Delta U = w$$

4- سطح زیر نمودار P-V معرف قدرمطلق کار انجام شده است.

$$d = |w|$$

نمودارهای فرآیند بی دررو:

در فرآیند بی دررو فقط نمودار PV را رسم می‌کنیم.

سؤال: گازی را در حجم V_1 و فشار P_1 در نظر بگیرید. آن را یک بار به صورت بی دررو منبسط می‌کنیم. الف) نمودار PV مربوط به دو فرآیند را در یک شکل رسم کنید و مشخص کنید کدام یک از نمودارها مربوط به فرآیند بی دررو کدام یک مربوط به فرآیند هم دماست؟ چرا؟ ب) در کدام فرآیند قدرمطلق کار انجام شده بیش تر است؟ چرا؟

توضیح الف) هم در انبساط هم دما و هم در انبساط بی دررو و حجم افزایش و در نتیجه فشار کاهش میابد ولی کاهش فشار در فرآیند هم دما کم تر است. چون در انبساط هم دما گاز با یک منبع گرما در تماس است و مقداری گرما از منبع گرما می‌گیرد تا دما بیش ثابت بماند. در نتیجه کاهش فشار در آن در مقایسه با انبساط بی دررو که در آن گاز گرما نمی‌گیرد کم تر است.

توضیح ب) چون سطح زیر نمودار مربوط به انبساط هم دما بیش تر از بی دررو است بنابراین قدرمطلق کار انجام شده در فرآیند انبساط

$$S > S' \Rightarrow |w| > |w'| \quad \text{هم دما بیش تر از بی دررو است.}$$

بررسی سؤال هنگام تراکم: الف) هم در تراکم هم دما و هم در تراکم بی دررو حجم گاز کاهش میابد، در نتیجه فشار گاز افزایش میابد، ولی افزایش فشار در فرآیند هم دما کم تر از افزایش فشار در فرآیند بی دررو است. چون در تراکم هم دما گاز در تماس با منبع گرما است و مقداری گرما به منبع گرما می دهد تا دمایش ثابت بماند ولی در تراکم بی دررو گاز گرما از دست نمی دهد بنابراین نمودار بی دررو بالای نمودار هم دما است.

ب) چون سطح زیر نمودار تراکم بی دررو بیش تر از تراکم هم دما است پس کار تراکم بی دررو بیش تر از هم دماست.

$$S' > S \Rightarrow |w'| > |w|$$

نتیجه: تغییرات فشار در فرآیند هم دما همواره کم تر از فرآیند بی دررو است.

رسم نمودارهای PV مربوط به فرآیندهای الف) تراکم فشار - تراکم بی دررو و هم دما ب) انبساط - هم فشار - انبساط بی دررو - انبساط هم دما:

$$V_2 < V_1 \Rightarrow P_2 > P_1 \quad V_2 > V_1 \Rightarrow P_2 < P_1$$

$$S' > S' > S \Rightarrow |w'| > |w'| > |w| \rightarrow \text{هنگام تراکم}$$

$$S > S' > S'' \Rightarrow |w| > |w'| > |w''| \text{ هنگام انبساط}$$

مثال: در یک انبساط بی دررو گاز 500J کار بر روی محیط انجام می دهد. الف) گرمای مبادله شده بین دستگاه در محیط ب) تغییر انرژی درونی دستگاه؟

$$Q = 0 \quad w' = 500 \Rightarrow w'' = 0500$$

$$\Delta U = Q + w \Rightarrow \Delta U = w \Rightarrow \Delta U = -500j$$

مثال: در یک تحول بی دررو برای یک مول گاز تک اتمی دما به اندازه 20°C افزایش میابد. الف) گرما و کار مبادله شده بین محیط و دستگاه چقدر است؟ ($R = 8/2 \text{ j/mol.k}$) ب) بین تحول بی دررو هنگام انبساط است یا تراکم؟

$$u = 1 \quad \Delta q = \Delta T - 20^\circ\text{C} \quad w = ? \quad Q = ?$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \times 1 \times 8/3 \times 20 = 249 \text{ j} = w$$

چون $w > 0$ در نتیجه کار تراکم است.

مثال: 10 گرم از یک گاز در فشار 50cmHg و دمای صفر درجه سانتی گراد دارای حجم 8 لیتر است. جرم مولکولی گاز را محاسبه کنید. ($R = 8 \text{ j/mol.k}$)

$$m = 10g \quad P = 50 \times 1360 \text{ Pa} \quad q = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T = 273 \quad V = 8 \text{ lit} \Rightarrow 8 \times 10^{-3}$$

$$PV = nRT \Rightarrow 50 \times 1360 = \frac{10}{M} \times 80 \times 10^{-3} \times 273$$

$$\Rightarrow 68000 \times 80 \times 10^{-3} = \frac{80}{M} \times 273 \Rightarrow 68M = 2730$$

مثال: نمودار V-T یک فرآیند ترمودینامیکی بر روی گاز کامل به صورت زیر است. نمودار PT بر روی این فرآیند چقدر است؟

چرخه: (سیکل)

چرخه فرآیندی است که در طول آن دستگاه پس از طی چند فرآیند به حالت اولیه خود بر می گردد.

ویژگی های چرخه ها: 1- تغییر انرژی درونی دستگاه در یک چرخه صفر است چون دستگاه پس از طی چند فرآیند به حالت اولیه

برگشته بنابراین دمای اولیه و نهائی یکی است. چون $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$

2- در چرخه قدر مطلق کار انجام شده برابر است با قدر مطلق گرمای مبادله شده.

$$\Delta \hat{U} = W + Q \rightarrow W = -Q \Rightarrow |W| = |Q|$$

3- در نمودار PV مرتبط به یک چرخه مساحت داخل چرخه برابر است با قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه $S = |W|$

نکته مهم: اگر چرخه ساعت گرد باشد چون کار انقباض بیش تر از کار تراکم می شود پس کار انجام شده منفی می شود. و اگر چرخه پاد ساعت گرد بود چون کار تراکم بیش تر از کار انقباض است پس کار انجام شده مثبت است.

سوال: در شکل زیر تعیین کنید:

الف) در هر مرحله چه فرآیندی انجام می شود؟

ب) تعیین کنید کار انجام شده در چرخه مثبت است یا منفی؟ اثبات کنید.

ج) نشان دهید که کل کار برابر است با مساحت داخل چرخه یا ثابت کنید که در یک چرخه قدر مطلق کار برابر است با مساحت داخل چرخه.

مرحله	نوع فرآیند	Q	W	ΔU
AB	هم حجم (افزایش دما)	+	°	+
BC	هم حجم (انبساط)	+	-	+
CD	هم حجم (کاهش دما)	-	°	-
DA	هم حجم (تراکم)	-	+	-

ب) کار انجام شده در چرخه منفی است چون چرخه ساعت گرد است.

$$W_2 = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} \quad \text{ج}$$

$$W_T = -P\Delta V + (-P\Delta V) = -P_1\Delta V + P + \Delta V \Rightarrow W_T = \Delta V(P_2 - P_1) \Rightarrow W_T = \Delta V \times \Delta P$$

$$W_T = -S_1 + S_2$$

توضیح قسمت ج) چون کارانبساط فشار از کار تراکم هم فشار با توجه به سطح زیر نمودار بیش تر است و با توجه به این که کار رانبساط منفی و کار تراکم مثبت است پس جمع جبری آن ها منفی می شود. یعنی کار چرخه منفی می شود پس نتیجه می گیریم اگر

$$\Delta U = W + Q \quad \text{چون } Q \text{ منفی است.}$$

مثال: 0/5 مول گاز تک اتمی چرخه ی زیر را طی می کند. اگر نوع فرآیند در مسیر CA بی؟ باشد معین کنید.

الف) دمای گاز در نقاط A و b و c .

ب) کار انجام شده در فرآیند بی دررو؟ ($R = 8$)

$$P_A V_A = nRT_A \Rightarrow 2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3} = 0/5 \times 8 \times T_A$$

$$2 \times 10^2 4T_A \Rightarrow T_A = \frac{2^1 \times 10^2}{4} 0/5 \times 10^2 = 50K$$

$$V(\text{lot } p_B V_B = nRT_B \Rightarrow 9/5 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3} \Rightarrow 0/5 \times 8 \times T_B \Rightarrow 9/5 \times 10^2 = 4T_B = \frac{9/5 \times 10^2}{4} = 237/5$$

$$P_C V_C = nRT_C \Rightarrow 2 \times 10^5 \times 2/5 \times 10^{-3} = 0/5 \times 8 \times T \Rightarrow 2 \times 10^2 \times 2/5 = 4T_C \Rightarrow T_C 125K$$

$$\Delta U = W \Rightarrow \frac{3}{2}UR\Delta T = W \Rightarrow \frac{3}{2} \times 0.5 \times 8 \times -112/5 \Rightarrow W = -675J \text{ (ب)}$$

$$\Delta T = T_C - T_B = 125 - 237/5 = -112/5$$

چند نکته:

(1) با توجه به این که $U \propto T$ می باشد و از طرفی طبق معادله $PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR}$ می توان نوشت.

$$\left| \frac{UaT}{TaPV} \Rightarrow UaPV \right. \text{ نیز می باشد پس می توان نتیجه گرفت چون:}$$

$$\Delta U \times \Delta T a \Delta(PV), UaTaPV$$

و به طور کلی :

2- همیشه $cmp > cmv$ می باشد چون در فرایند هم فشار مقداری از گرما صرف انبساط گاز می شود. بنابراین برای افزایش های یک مول آن به اندازه یک کلوین باید گرمای بیش تری به گاز داده شود ولی در فرآیند هم حجم کل گرمای داده شده صرف افزایش دمای آن می شود.

مثلاً اگر در فرآیند هم حجم 60 ژول گرما به یک مول گاز داده شود تا دمای آن یک کلوین بالا رود، ولی در فرآیند هم فشار چون پیستون می تواند به راحتی بلغزد وقتی گاز گرم می شود کمی منبسط می شود و پیستون را به جلو می برد و انرژی لازم برای حرکت پیستون از همین گرمای داده شده به آن تامین می شود سپس لازم است در فرآیند هم فشار به جای 60 ژول گرما تقریباً 68 ژول گرما به گاز بدهیم تا دمای گاز 1k بالا برود که 60 ژول آن مصرف گرم کردن گاز شود و 8 ژول آن صرف حرکت پیستون شود. به همین دلیل بین cmp, cmv رابطه زیر برقرار است.

$$R \cong 8 \frac{J}{MOL.K} \Rightarrow cmp > cmv \quad Cmp = cmv + R \Rightarrow$$

بنابراین با داشتن cmv می توان cmp را برای هر نوع گاز (تک اتمی، دو اتمی، چند اتمی) محاسبه کرد.

$$cmp = cmv + R - \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R \quad \text{تک اتمی}$$

$$cmp = cmv + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R \quad \text{دو اتمی}$$

$$cmp = cmv + R = \frac{7}{2}R + R = \frac{9}{2}R \quad \text{چند اتمی}$$

3- هر گاه حجم دستگاه کم می شود (هنگام تراکم) می گوئیم دستگاه کار گرفته و $W > 0$ می باشد.

4- رابطه معادله حالت و چگالی گاز

با توجه به معادله گازهای کامل می توان نوشت:

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

از طرفی طبق رابطه چگالی به جای V می توان نوشت:

$$r = \frac{M}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{r}$$

پس می توان معادله حالت را به صورت زیر نوشت:

$$V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow \frac{M}{d} = \frac{nRT}{P} \Rightarrow da \frac{P}{T}$$

پس می توان نتیجه گرفت که چگالی گاز با فشار گاز رابطه مستقیم و با دمای گاز رابطه عکس دارد.
 5- به طور کلی برای هر نوع فرآیندی می توان کار را با استفاده از سطح محصور نمودار $P-V$ محاسبه کرد.
 مخصوصاً فرآیندهایی که P و V ثابت ندارند یعنی هم p و هم v تغییر کند.
 مثال: کار را در فرآیند زیر محاسبه کنید.

$$S = |W| = \frac{10^5(0/2 + 0/6) \times 40 \times 10^{-3}}{2} \Rightarrow S = |W| = 16 \text{ ماساحت مثلث یا مساحت ذوزنقه}$$

$W = -16 \text{ j}$ چون کار انبساط است

6- برای تشخیص این که نمودار هموگرافیک مربوط به فرآیند دماست یا بی دررو می توان به صورت زیر عمل کرد.

الف) صورت مسئله مشخص می کند که این نمودار مربوط به فرآیند دماست یا بی دررو.

ب) دمای ابتدا و انتهای (یا هر نقطه) نمودار هموگرافیک را محاسبه می کنیم. اگر این دو نقطه هم دما بودند پس نمودار مربوط به فرآیند هم دما می باشد و اگر هم دما نبودند مربوط به فرآیند بی دررو می باشد.

ج) در فرآیند هم دما T باید هنگام تغییر حالت ثابت بماند و چون $TaPV$ می باشد می توان نتیجه گرفت PV باید ثابت بماند پس P_1V_1, P_2V_2 (مربوط به ابتدا و انتهای نمودار) را محاسبه می کنیم. اگر هم اندازه شدند یعنی: $P_1V_1 = P_2V_2$ شد پس فرآیند هم دماست و اگر هم اندازه نشدند فرآیند بی درروست.

مثال: نوع فرآیند ab و bc را تعیین کنید.

(هم دما bc)

$$T_b a P_b V_b = 8 \times 3 = 24 \Rightarrow T_c a P_c V_c = 6 \times 4 = 24$$

مثال: گرما، کار و انرژی مقابل محاسبه کنید. (گاز کامل اتمی است).

$$v(lit) \Delta u = w + Q^{\circ} \Rightarrow \Delta U = W \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta PV$$

$$= \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \Rightarrow \frac{3}{2} (24 - 26) = -1200 \text{ j}$$

7- مقایسه نمودار $V-T$ در فرآیند هم فشار:

الف) هنگامی که دما بر حسب کلوین باشد

ب) هنگامی که دما بر حسب C باشد.

مقایسه نمودار $P-T$ در فرآیند حجم:

الف) هنگامی که دما بر حسب کلوین باشد.

ب) هنگامی که دما بر حسب C باشد.

8- قانون اول ترمودینامیک و انواع فرآیندها:

$$\Delta u = w^{\circ} + Q \Rightarrow \Delta U = Q \quad (w = 0 \Delta v = 0) \text{ الف) فرآیند هم حجم (چون)}$$

$$\Delta U = W + Q^{\circ} \Rightarrow \Delta U = W \quad Q = 0 \text{ ب) فرآیند بی دررو (چون عایق بندی دارد)}$$

$$\Delta \hat{U} \Rightarrow W = -Q \Rightarrow \Delta U = 0 \Leftarrow \Delta T = 0 \text{ ج) فرآیند دما (چون)}$$

توجه: فقط در فرآیند هم دما و گرما از نظر اندازه با هم برابرند. $|W| = |Q|$

$$\Delta U = W + Q, |Q| > |W| \quad (\text{د) فرآیند هم فشار (عامل مفرد وجود ندارد})$$

توجه: علت این که در فرآیند هم فشار $|Q| > |W|$ می باشد این است که طبق نکته 2 که در مورد **cmp** گفته شد فقط مقداری از گرمای داده شده در فرآیند تبدیل به کار می شود و ما بقی گرم کردن گاز می شود و علت دیگر آن بر اساس اثباتی است که قبلاً در فرایند هم فشار نکته 9 گفته شده.

$$nC_w P \Delta T = \frac{5}{2} n R \Delta T = \frac{5}{2} P \Delta V = -\frac{5}{2} W = -2/5 W \Rightarrow RP = 2/5 W \Rightarrow |QP| = |2/5 W|$$

سوال: چرا در فرایند هم فشار و هم دما علامت Q و W مخالف هم است؟

زیرا در هنگام انبساط گاز، گاز منفی است و گاز انبساط گرما می گیرد پس Q مثبت است ($W < 0, Q < 0$) و هنگام تراکم گاز مثبت است و گاز هنگام تراکم گرما از دست می دهد سپس Q منفی است. ($W > 0, Q < 0$)

9- محاسبه کار و فرآیندها:

الف) هم فشار

ب) فرآیند حجم $W=0$

$$\begin{cases} W = -P \Delta V = n R \Delta T \\ \Delta U = W + Q \Rightarrow W = \Delta U - Q \\ |Q| = |2/5 W| \end{cases}$$

ج) فرآیند هم دما

$$\begin{cases} \Delta U^\circ = W + Q \\ |W| = |Q| \\ |W| = PV \end{cases}$$

د) فرایند بی دررو:

$$\Delta U + W + \hat{Q} \quad \text{تک اتمی}$$

$$W = \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta(PV) \Rightarrow W = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$|W| = PV$$

10- محاسبه گرما در فرآیندها

$$QP = ncmp \Delta T$$

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

$$QV = nCMV \Delta T$$

$$\Delta U = W^\circ + Q \rightarrow \Delta U = Q$$

$$\Delta U^\circ = W + Q \rightarrow W = -Q \rightarrow |W| = |Q|$$

الف) هم فشار

ب) هم حجم

ج) هم دما

د) بی دررو ($Q=0$)

11- محاسبه انرژی درونی در فرآیندها

$$\Delta U = W + Q \quad \Delta U = \frac{2}{2} n R \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} P \Delta V \quad \Delta U = -\frac{3}{2} \quad \text{الف) هم فشار:}$$

$$\Delta U = W^\circ + Q \quad \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} V \Delta P \quad \text{ب) هم حجم:}$$

$$\Delta U = 0 \quad \text{ج) هم دما:}$$

$$\{\Delta U = W + \hat{Q} \quad \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2}\Delta(PV) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

(د) بی دررو:

$$\Delta U = W$$

نتیجه: در فرآیند هم دما چون $\Delta T = 0$ می باشد. پس $\Delta(PV) = P_2V_2 - P_1V_1$ هم برابر صفر است، چون

$$\Delta U = \Delta T a \Delta(PV)$$

12- تغییرات انرژی درونی بستگی به مسیر فرآیند ندارد چون نقاط شروع و انتها یکی است.

مثلاً در شکل زیر یک بار از مسیر 1 (AB) گاز را از حالت A به حالت B برده ایم و یک بار از مسیر 2 (ACB) گاز را از حالت A به حالت B برده ایم. بنابراین، چون نقاط شروع و انتها برای هر دو مسیر یکی است پس می توان نوشت.

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{ACB}$$

$$W_{AB} + Q_{AB} = W_{ACB} + Q_{ACB}$$

اگر گرما و کار مبادله شده در مسیر 1 را با Q_1 و W_1 و کار و گرمای مبادله شده در مسیر 2 را با Q_2 و W_2 نشان دهیم می توان

$$W_1 + Q_1 = W_2 + Q_2$$

نوشت:

مثال: یک مول گاز تک اتمی چرخه زیر را طی می کند. تعیین کنید.

(الف) تغییر انرژی درونی گاز را در چرخه کار انجام شده روی گاز؟

(ج) گرمای خالص داده شده به این گاز در چرخه؟

(د) نوع فرآیند در هر شاخه و علامت و اندازه کار و گرما در شاخه ی AB و BC؟

(ه) کار انجام شده در مسیر CA؟

(و) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر BC؟

(ز) دمای گاز در نقطه ی C؟

(ح) گرمای مبادله شده در مسیر CA؟

مثال: 0/2 مول گاز در اتمی چرخه ای را مطابق شکل زیر طی می کند. محاسبه کنید.

(الف) گرمای مبادله شده روی دستگاه

(ب) کار خالص انجام شده در آنها

(ج) کار انجام شده روی دستگاه در فرآیند بی دررو؟

مثال: در یک فرآیند بی دررو گرما با افزایش حجم کار مبادله شده با دستگاه 400J باشد، تغییرات انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

مثال: در یک تحول هم دما 400 ژول گرما از دستگاه گرفته می شود کار مبادله شده با دستگاه چقدر است؟

مثال: گاز تک اتمی چرخه ای مطابق شکل را طی می کند تعیین کنید؟ الف- کل کار؟ ب) گرمای کل؟

(ج) مجموع کار و گرما در چرخه؟

مثال: شکل زیر نمودار P-V یک فرآیند ترمودینامیکی را نشان می دهد در فرآیند ab مقدار 600 ژول گرما در فرآیند bd مقدار 200j

گرما به دستگاه افزوده می شود. تعیین کنید:

(الف) تغییر انرژی دستگاه در فرآیند ab؟

(ب) تغییر انرژی درونی در فرآیند abd؟

مثال: گاز کاملی در یک محفظه چرخه ای را مطابق شکل طی می کند. اگر در تحول AB دستگاه $20J$ گرما جذب کند و کار انجام شده توسط در یک چرخه $K5J$ باشد در این صورت گرمای مبادله شده در دستگاهه در فرآیند CA چند ژول است؟
 مثال: مطابق شکل یک گاز کامل تک اتمی در طی فرآیندهایی یک بار در مسیر ABC و یک بار مسیر ADC را طی می کند. اگر در مسیر ABC دستگاه $50J$ گرما دریافت کند و $20J$ کار انجام دهد اما در مسیر ADC ، $36J$ گرما دریافت کند. در این صورت در مسیر ADC ، چند ژول کار بر روی دستگاه انجام می دهد؟

مثال: دستگاهی مطابق شکل روی مسیر acb ، $80j$ گرما دریافت می کند و $30j$ کار انجام می دهد، در این صورت:
 الف) اگر کار انجام شده توسط دستگاه در مسیر adb برابر $10j$ باشد در این فرآیند چند گرما وارد دستگاه می شود؟
 ب) اگر دستگاه روی منحنی از b به a منتقل شود، کار انجام شده $20j$ است. مشخص کنید دستگاه گرما می گیرد یا می دهد؟ مقدار آن چقدر است؟

ج) اگر $Ud = 40 j = u_a = 0$ باشد گرمای جذب شده در فرآیند ad چند ژول است؟
 مثال: شکل مقابل مربوط به گاز کامل تک اتمی است که طی فرآیند a به طور هم فشار از دمای T_1 به T_2 رسیده تغییر انرژی درونی گاز در این فرآیند چند ژول است؟

مثال: نمودار $P-T$ و $V-T$ مربوط به چرخه مقابل را رسم کنید. $R = \frac{8J}{MOL.K} n = 1$

مثال: شکل زیر تحول آرمانی یک گاز کامل از $A \rightarrow B$ را نشان می دهد. در این فرآیند دمای گاز چگونه تغییر کرده؟
 مثال: گاز کاملی چرخه ای را مطابق شکل طی می کند. نمودار $P-T$ ، $V-T$ این چرخه را رسم کنید.
 مثال: 1 مول گاز تک اتمی چرخه ای را مطابق شکل طی می کند اگر فرآیند CA هم دما باشد تعیین کنید.

الف) دمای گاز در حالت های A ، B ، C ؟

ب) کار و گرمای مبادله شده در فرآیند CA در صورتی که مساحت داخل چرخه معادل 500 باشد؟
 مثال: مقدار یعنی گاز یک بار در فرآیند هم فشار و یک بار در فرآیند هم حجم مقدار گرمایی مساوی می دهیم. تغییرات انرژی درونی در کدام فرآیند بیش تر است؟ چرا؟

مثال: در شکل زیر 3 مول گاز در حجم ثابت تغییر فشار داده است. اگر $R=8$ باشد حجم گاز چقدر است؟

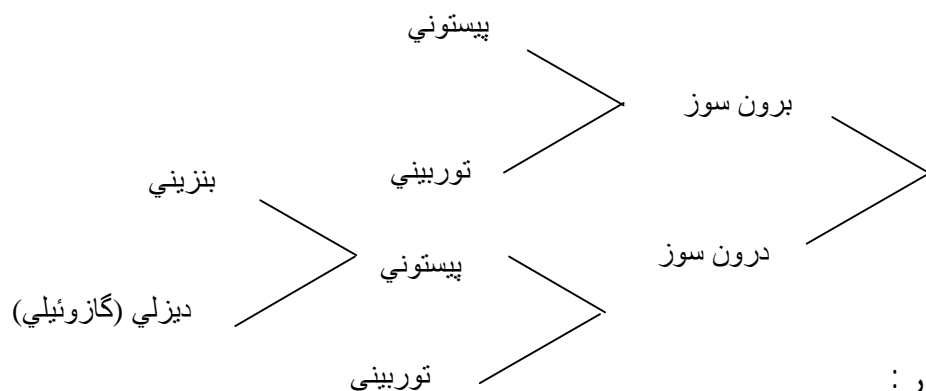
مثال: اگر دمای اولیه و نهایی و نیز تغییر انرژی درونی دستگاهی را برای شما مشخص کنند، آیا می توانید معلوم کنید که تغییر انرژی درونی آن به دلیل انجام کار بوده یا گرما؟

ماشین های گرمایی:

وسیله ای است که انرژی را به انرژی مکانیکی (کار) تبدیل می کند و بدین ترتیب باعث حرکت اتومبیل قطار، کشتی و... می شود.
 ماشین های گرمایی با ترکیب چند فرآیند مقداری گرما دریافت می کنند و بخشی از آن را به کار روی محیط تبدیل می کنند. بنابراین این ماشین ها در یک چرخه معین کار می کنند و این چرخه ضمن کار ماشین دائماً تکرار می شوند. (زیرا باید مرتباً تولید انرژی کنند)
 ماشین های گرمایی بر دو نوعند:

الف) ماشین های برون سوز: که گرمای مورد نیاز خود را از محیط خارج می گیرند مثل ماشین بخار که گرما توسط کوره از بیرون دستگاه به آب داده می شود.

ب) ماشین های درون سوز: که گرمای مورد نیاز خود را از درون دستگاه تامین می کنند... (بیش ترین تعداد ماشین های گرمایی درون سوز از نوع پلیستونی است که در اتومبیل، قطار، کشتی و... به کار برده می شود. موتورهای پیستونی درون سوز دو نوع است: 1- بنزینی. 2- دیزلی (گازوئیلی)



بخش های اصلی ماشین بخار :

در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می کند آب است.

الف-مرحله اول: در این مرحله آب درون دیگ بخار در فشار ثابت از کوره گرما و به بخار تبدیل می شود دما و حجم بخار آب در این مرحله تا حد معینی افزایش می یابد.

ب-مرحله دوم:

شیر ورودی باز می شود و بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است دارد اتا تک انبساط می شود به پیستون نیز دارد می کند و آن را به حرکت در می آورد. در نتیجه این حرکت بخار آب به سرعت منبسط می شود و دما و فشار آن کاهش می یابد. چون این انبساط بسیار سریع انجام می شود این فرآیند را می توان بی دررو در نظر گرفت. این حرکت پیستون برای به کار انداختن مولد برق و...مورد استفاده قرار می گیرد. کاری که دستگاه بر روی محیط انجام می دهد. (یعنی کاری که ماشین گرمایی انجام می دهد.) در این مرحله بدست می آید.

پ)مرحله سوم:

طراحی ماشین به گونه ای است که وقتی پیستون به انتهای مسیر خود رسید باز گردانده می شود. در هنگام بازگشت پیستون، شیر ورودی بسته در شیر خروجی باز می شود و بخار آب به سمت چگالنده که لوله های آب سرد آن را خنک می کنند هدایت می شود. در چگالنده بخار آب در فشار ثابت گرما از دست می دهد. و به مایع تبدیل می شود (میعان). در این فرآیند دما و حجم (بخار آب) کاهش می یابد.

ت) مرحله چهارم: تلمبه آب حاصل از میعان را طی یک فرآیند هم حجم به دیگ بخار بر می گرداند و فشار آن را به فشار اولیه می رساند و یک چرخه تروودینامیکی کامل می شود. در حین کار ماشین بخار، این چرخه دائماً تکرار می شود.

توجه:

در همه ماشین های گرمایی مقداری از گرمای گرفته شده (Q_H) به کار تبدیل می شود. مقداری از گرما دوباره به محیط پس داده می شود بنابراین در هیچ ماشین گرمایی کل گرما به کار تبدیل نمی شود. به عبارتی دیگر در هیچ ماشین گرمایی بازده صد در صد نیست.

ماشین گرمایی درون سوز(پیستونی بنزینی):

قسمت اصلی موتور بنزینی از یک استوانه که پیستون در داخل آن حرکت می کند تشکیل شده است. در این نوع موتور بخشی از انرژی حاصل از سوخت سبب حرکت پیستون می شود این حرکت از طریق دسته و میل لنگ به حرکت دورانی تبدیل می شود. با انتقال این حرکت دورانی به چرخ ها اتوموبیل حرکت می کند و بخش دیگر انرژی از طریق رادیاتور که موتور را سرد می کند و لوله خروجی (اگزوز) مستقیماً به هوا داده می شود.

الف) 1- مرحله مکش مسیر (ea): با پائین رفتن پیستون و افزایش حجم محفظه استوانه مخلوط هوا و بنزین طی فرآیند هم فشار از طریق دریچه ورودی وارد سیلندر می شود.

2- مرحله تراکم (مسیر ab): در اثر بالا آمدن پیستون به سرعت حجم محفظه کاهش یابد و مخلوط هوا و بنزین تقریباً بی دررو متراکم می شود (در این وضعیت های مخلوط بسیار بالا می رود).

3- مرحله آتش گرفتن (مسیر bc): هنگامی که پیستون به بالاترین وضعیت خود می رسد شمع جرقه می زند. و مخلوط هوا و بنزین آتش می گیرد و طی یک فرآیند هم حجم ها و فشار گاز تا مقدار زیادی بالا می رود. توجه: چون آتش گرفتن مخلوط هوا و بنزین در داخل استوانه رخ می دهد مخلوط از بیرون گرما نمی گیرد، این موتور را درون سوز می گویند.

4- مرحله انجام کار (مسیر cd): در این مرحله به علت فشار زیاد دستگاه (مخلوط هوا و بنزین) تقریباً بی دررو منبسط می شود و پیستون را به طرف پائین می راند (کاری که دستگاه روی محیط انجام می دهد در این مرحله انجام می شود).

5- مرحله غلبه (مسیر da): در پائین ترین وضعیت پیستون دریچه خروج دود باز می شود و دود حاصل از احتراق در یک فرآیند هم حجم بیرون می رود.

6- مرحله ارائه تخلیه گاز (مسیر ae): در حالی که دریچه خروج دود باز است پیستون بالا آمده و باقی مانده در دمای درون سیلندر در یک فرآیند هم فشار از دریچه خروج دود بیرون می رود.

نتیجه: مخلوط هوا و بنزین در موتورهای بنزینی چرخه ای به نام چرخه آتو را طی می کند و چرخه آتو از 6 فرآیند تشکیل شده که اولین و ششمین فرآیند هر دو هم فشار هستند و اثر یکدیگر را حذف می کنند. (می توان آن ها را در نمودار p-v رسم نکرد و چهار فرآیند دیگر شامل دو فرآیند هم حجم و دو فرآیند بی دررو می باشد).

میان قانون اول ترمودینامیک برای ماشین های گرمایی (درون سوز و برون سوز):

در ماشین های گرمایی دستگاه مقداری گرمای Q_H از منبع گرم می گیرد و قسمتی از آن را به کار (قدر مطلق کار) تبدیل می کند و بقیه گرما Q_C (قدر مطلق Q_C) را به منبع سرد می دهد.

بنابراین در یک چرخه ماشین گرمایی قانون اول ترمودینامیک را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta U = Q + W \rightarrow \text{کل}$$

$$\Delta U = Q_H + Q_C + W$$

$$\Delta U^\circ = Q_U - Q_C - |W|$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H = |W| + |Q_C| \\ |Q_C| = Q_H - |W| \end{array} \right.$$

فرمول بازده ماشین گرمایی و یکای آن:

$$h = \frac{|W|}{Q_H}$$

کاری که ماشین گرمایی انجام می دهد = بازده ماشین گرمایی

کل گرمایی که i منبع گرم می دهد

توجه: بازده نشان می دهد که چه کسری از گرمای حاصل از سوخت به کار تبدیل می شود.
فرمول دیگری برای بازده:

$$h = \frac{|W|}{Q_H} \quad |W| = Q_H - |Q_C| \Rightarrow h = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H}$$

$$h = \frac{Q_H}{Q_H} - \frac{|Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

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

توجه: بازده هیچ ماشینی نمی تواند بیش تر از یک باشد، چون ماشین گرمایی فقط بخشی از گرمای گرفته شده را به کار تبدیل می کند و بقیه به صورت Q_C تلف می شود.

$$|W| < Q_H \Rightarrow h < 1$$

بازده ماشین های بخار در حدود 50 درصد بازده ماشین های درون سوز حدود 40 درصد است.

توجه: یک ماشین نمی تواند با یک چشمه کار کند. یعنی Q_C چشمه سرد هم باید حتماً وجود داشته باشد هیچ گونه Q_C صفر نمی شود.

چگونه می توان بازده ماشین گرمایی را افزایش داد؟ هر چه اتلاف انرژی گرمایی (Q_C) کم تر باشد طبق رابطه

$$h = \frac{|W|}{Q_H} \quad Q_H = |W| + |Q_C| \quad \text{or} \quad |W| = Q_H - |Q_C|$$

بازده افزایش می یابد.

مثال: یک ماشین گرمای در هر چرخه 4kJ گرما از منبع گرم دریافت می کند و 2500J گرما در منبع سرد می دهد.

الف) در هر چرخه چه مقدار کار بروی محیط انجام می شود؟

ب) کار انجام شده در 20 چرخه را حساب کنید؟

ج) بازده این ماشین چقدر است؟ (در هر چرخه و در 20 چرخه)

$$Q_H = 400J \quad Q_C = 2500J$$

$$|W| = ? \quad |W| = ? \quad h = ? \quad \text{در 20 دور}$$

$$|W| = Q_H - |Q_C| \quad |W| = 4000 - 2500 \times 1500J \quad \text{درصد دور}$$

$$\text{در 20 دور} \quad |W| = 1500 \times 20 = 30000J$$

$$h = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{1500}{4000} \times 100 = 37.5\%$$

تنها 37/5 درصد از گرمای Q_H به کار تبدیل شده و 62/5 درصد از گرمای Q_H در منبع سرد داده شده تلف شده.

قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی:

بر اساس این قانون ممکن نیست دستگاه چرخه ای را یک حد در حین آن مقداری گرما از منبع گرم دریافت کند و تمام آن را به کار تبدیل کند.

ولی بر اساس قانون دوم ترمودینامیک امکان طراحی و ساخت ماشینی که کل گرمای گرفته شده را به کار تبدیل کند. یعنی بازه آن 100 درصد باشد وجود ندارد، به عبارت دیگر ساختن ماشین گرمایی با یک چشمه گرمایی غیر ممکن است. و اگر چنین امکانی وجود داشت می توانستیم مثلاً قطاری بسازیم که از هوا گرما بگیرد و با تبدیل آن به کار حرکت کند

چرخه کارنو:

در مسیر AB گاز طی یک فرآیند انبساط هم دما حجمش از V_1 به V_2 افزایش و فشارش از P_1 به P_2 کاهش پیدا می کند.
 در مسیر BC گاز طی یک فرآیند انبساطی دررو حجمش از V_2 به V_3 افزایش و فشارش از P_2 به P_3 کاهش می یابد.
 در مسیر CD گاز طی یک فرآیند تراکم هم دما حجمش از V_3 به V_4 کاهش پیدا می کند و فشارش از P_3 به P_4 افزایش می یابد.
 در مسیر DA گاز طی فرآیند تراکم بی دررو حجم و فشارش به مقدار اولیه V_1 و P_1 می رسد.
 این چرخه را چرخه کارنو می نامند.

$$T_A = T_B$$

$$T_C = T_D$$

بیشترین بازده یک ماشین گرمایی از ماشینی به دست می آید که با چرخه کارنو بین دو منبع گرم و سرد با دمای Q_H ، T_H ، Q_C ، T_C کار کند.

$$\frac{|Q_C|}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}$$

از ویژگی های چرخه کارنو این است که :

بنابراین بازده ماشین کارنو که بیشینه بازده نیز می باشد، برابر است با:

$$h = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} = \frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow h_{MCX} = 1 - \frac{T_{C(K)}}{T_{H(K)}}$$

یخچال :

وسیله ای است که گرما را از جسم سرد می گیرد و به جسم گرم منتقل می کند .
 در یخچال دستگاه (گاز فریون) یک چرخه را طی می کند و درحین آن با انجام کارها بر روی دستگاه گرمای Q_C را از منبع سرد (محتویات درون یخچال) می گیرد و گرمای Q_H را به منبع گرم (هوای بیرون یخچال) می دهد.
 توجه: در ماشین های گرمایی علامت W و Q_C منفی و علامت B_H مثبت است و در یخچال بر عکس می باشد یعنی علامت W و Q_C مثبت و منفی است. بنابراین یخچال مانند یک ماشین گرمایی است که در جهت عکس کار می کند.

- قانون اول ترمودینامیک برای یخچال ها:

$$\Delta U = Q + W$$

$$\Delta U = Q_H + Q_C + W$$

$$Q_H < 0, Q = > 0, W > 0$$

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

$$|Q_H| = Q_C + W$$

$$\{W = |Q_H| - R_C\}$$

$$Q_C = |Q_H| - W$$

توجه: نتیجه می گیریم که یخچال به هوای اطراف خود می دهد بیش تر از گرمایی است که از داخل یخچال می گیرد.

ضریب عملکرد یخچال و فرمول و یکای آن:

ضریب عملکرد برابر است با نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد به کاری که موتور یخچال انجام می دهد و با نماد K نشان داده می شود و یکا ندارد.

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

فرمول دیگر برای محاسبه ضریب عمل کرد یخچال:

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

از نظر اقتصادی بهترین یخچال یخچالی است که با کمترین مقدار کار گرمای بیشتری را از مواد درون یخچال (منبع سرد) به بیرون منتقل کند.

توجه: ضریب عملکرد یخچال های تجاری بین 2 تا 7 است و هر چه ضریب عملکرد یخچال بیشتر باشد برای یخچال بهتر است و استفاده از آن مقروم به صرفه است.

چگونه می توان ضریب عمل را افزایش داد؟

یخچالی که با کمترین مقدار کار بیشترین گرمای Q_C را از حجم سرد شدنی خارج کند و خوب عایق بندی شود ضریب عملکردش افزایش می یابد. (درب یخچال را زیاد باز و بسته نکنیم، برفک آن را مرتباً آب کنیم، پشت یخچال را از دیوار فاصله دهیم و...) نمودار $P.V$ یا چرخه مربوط به یخچالی کارنو همانند چرخه ماشین گرمایی کارنو می باشد. با این تفاوت جهت پیکان ها بر عکس می شود. (پاد ساعتگرد می شود) و جای کلمات انبساط و تراکم عوض می شود. فرمول ضریب عملکرد یخچال کارنو:

$$K = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

رابطه ضریب عملکرد یخچال بازده ماشین گرمایی:

این رابطه هنگامی استفاده می شود که مثلاً یخچال داشته باشیم که ضریب عملکرد آن را داده باشند بعد بگویند که جهت پیکان ها عکس شود و یخچال تبدیل به ماشین گرمایی شود و بازده ماشین را بخواهیم محاسبه کنیم بنابراین می توان گفت K را داریم و می خواهیم h را محاسبه کنیم.

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

$$K = \frac{|B_H|}{W} - 1 \Rightarrow K = \frac{1}{h} - 1 \Rightarrow \frac{1-2}{h} \Rightarrow \frac{1}{K+1}$$

مثال: گرمایی که از داخل یخچال گرفته شده $100J$ و گرمایی که یخچال به هوای اطراف داده $100J$ می باشد کار موتور یخچال چقدر

$$Q_C = 100J \quad Q_H = 200J \quad W = |Q_H - Q_C = 200 - 100 = 100J| \quad \text{است؟}$$

قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی :

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

نکته: اگر در ماشین کارنو دمای منبع سرد تغییر کند تغییر بازده ماشین ($5h_{MAM}$) از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta h_{MAX} = h'_{MAX} - h_{MAM} = \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) - \left(1 - \frac{TC'}{T_H}\right) - 1 - 1 - \frac{TC'}{T_H} - 1 + \frac{T_C}{T_H} = \frac{-T_C' + T_C}{T_H} \Rightarrow \Delta h_{MAX} = \frac{-\Delta T}{T_H}$$