ترمودینامیک

مدرس:مسعود رهنمون

سال تحصیلی:۹۶-۹۵

های درس

ترمودینامیک:

در ترمودینامیک نه از روی اطلاعات مربوط به رفتار اجزای مولکولی دستگاه بهره می گیریم و نه در این مورد می توان از آن اطلاعاتی به دست آورد. اما چنان که می دانیم در نهایت پاسخ دینامیکی و حرکت همین مولکول هاست که به شکل تغییرات فشار یا دما آشکار می شود. ترمودینامیک را می توان به یک تابلوی نقاشی تشبیه کرد که آثار بسیار ریز قلم مو نقطه ها(در آن اثر کلّی را نمایان می کنند. وقتی به تابلو به عنوان یک مجموعه نگاه کنیم، این نقطه ها دیده نمی شوند. فقط در صورتی که جزء کوچکی را به دقت بررسی کنیم، می توانیم تک تک نقطه های رنگی را ببینیم، اماهستند. ترمودینامیک که علم بررسی گرما و تبدیل آن به انرژی مکانیکی است قبل از به وجود آمدن نظریه ی اتمی و مولکولی ماده شکل گرفت و افرادی که در این مورد تحقیق می کردند، شناخت مناسبی از اتم ها نداشتند و از مدل های ماکروسکوپی و کمیت هایی مانند کار مکانیکی، فشار، دما و نقش آن ها در انتقال انرژی استفاده می کردند. اساس ترمودینامیک را پایستگی انرژی و این حقیقت تشکیل می دهد که، گرما خود به خود از جسم داغ به جسم سرد جریان می یابد. این علم اساس ماشین های گرمایی چون ماشین بخار، نیروگاه های برق، موتور اتومبیل ها، یخچال ها وپمپ های گرمایی را تشکیل می دهد.در این علم، فرایندهای فیزیکی به وسیلهٔ گروهی از کمیت های مشاهده پذیر یا ماکروسکوپی که حتماً شامل دماست، توصیف می شود. مثلاً مهندسی که رفتار گازهای احتراقی در موتور یک خودرو را بررسی می کند، به کمک کمیت هایی مانند دما، فشار، حجم، گرمای ویژه و... رفتار گاز را توضیح می دهد، بدون آنکه درگیر جزئیات رفتار تک تک مولکول های گاز شود.

در فرایندهایی که در آنها با مبادله گرما سروکار داریم، تحولات جسم خاصی را درنظر می گیریم که معمولاً گاز یا مایع است. این جسم را دستگاه و پیرامون آن را که می تواند با جسم تبادل انرژی داشته باشد، محیط می نامیم. بررسی های تجربی و نظری نشان می دهد رفتار یک دستگاه در پدیده های گرمایی را می توان برحسب کمیت هایی مانند فشار، حجم، دما، گرمای ویژه و ... توضیح داد. این کمیت ها به جزئیات رفتار تک تک مولکول های تشکیل دهنده دستگاه وابسته نیستند و تنها به وضعیت دستگاه در مقیاس بزرگ بستگی دارند؛ مثلاً اگر دستگاه را آب درون لیوانی درنظر بگیریم که به تعادل گرمایی رسیده است، دمای آب ثابت می ماند، در حالی که مولکول های تشکیل دهنده آن پیوسته به اطراف حرکت می کنند و سرعتشان تغییر می کند. کمیت هایی که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می کنند، کمیت های‌ماکروسکوپی نامیده می شوند .

قوانینی که کمیت های ماکروسکوپی را در فرایندهای گرمایی به هم مربوط می کنند، اساس علمی به نام ترمودینامیک را می سازند. در واقع، علم ترمودینامیک علمی است که قوانین حاکم بین کمیت های ماکروسکوپی یک دستگاه در پدیده های گرمایی را بیان می کند و به مطالعه مبادله انرژی و کاربرد آن در چنین دستگاه هایی می پردازد.

ترمودینامیک: علمی است که به مطالعه ی رابطه ی بین کار و گرما و تبدیل آنها به یکدیگر می پردازد

دستگاه: گازی است که به مطالعه ی آن می پردازیم.

محیط: به هر چیزی که با دستگاه در ارتباط باشد محیط گفته می شود

کمیت میکروسکوپیک: کمیت های کوچک مقیاسی که نمی توان آنها را با حواس پنجگانه حس کرد و نمی توان آنها را با وسایل معمولی اندازه گیری کرد. مانند سرعت مولکول های یک گاز.

کمیت ماکروسکوپیک: کمیت های بزرگ مقیاسی که بعضاً می توانیم آنها را با حواس پنجگانه حس کنیم و آنها را وسایل معمولی اندازه گیری کنیم. مانند حجم، فشار، دما و گرمای ویژه.

نکته۱: در علم ترمودینامیک با کمیت های ماکروسکوپیک سروکار داریم. علم ترمودینامیک قوانین حاکم بر کمیت های ماکروسکوپیک یک دستگاه را در پدیده های گرمایی بیان می کند.

متغیر ترمودینامیکی: کمیت هایی که حالت یک دستگاه را توصیف می کنند، متغیرهای ترمودینامیکی گفته می شود. به کمیت های فشار، دمای مطلق و حجم، متغیرهای ترمودینامیکی گفته می شود

.تعادل ترمودینامیکی: به حالتی گفته می شود که مشخصه های ترمودینامیکی یک دستگاه به طور خود به خودی تغییر نکند.

فرایند ترمودینامیکی: فرآیندی که در آن دو یا سه متغیر ترمودینامیکی تغییر کند.
منبع گرما: جسمی است که اگر گرما مبادله کند، دمای آن تغییر چندانی نکند.
معادله حالت دستگاه: معادله ای که ارتباط متغیرهای ترمودینامیکی در یک دستگاه را بیان می کند. نوشتن معادله ی حالت دستگاه در حالت کلی بسیارپیچیده است.
فرایند آرمانی: به فرایندی گفته می شود که در آن دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل باشد.
گاز کامل: گازی که به قدری رقیق شده باشد که بتوانیم از اثر ذرات آن بر یکدیگر چشم پوشی کنیم.
نکته۲ : در یک گاز کامل انرژی درونی تابع دمای مطلق گاز است.

معادله ی حالت گاز کامل

گازها نقش اساسی در فرایندهای ترمودینامیکی دارند. در فرایندهای مختلف، فشار، حجم و یا دمای گاز تغییر می کند. کمیت های فشار، حجم و دما بیان گر حالت یک گاز می باشند، لذا با تغییر آن ها در یک فرایند، حالت گاز هم تغییر می کند.
معادله ی حالت (رابطه ی بین حجم، فشار و دمای یک گاز کامل به صورت زیر است و به جنس گاز بستگی ندارد:

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

که در این رابطه، n تعداد مول های گاز و R یک مقدار ثابت)در SI : $\frac{J}{mol.K}$ (۸/۳۱ است که ثابت گازها نامیده می شود.

از کمیت های V، P و Tبرای توصیف حالت دستگاه استفاده می کنیم. این کمیت های ماکروسکوپی را که حالت دستگاه با آنها توصیف می شود، متغیرهای ترمودینامیکی می نامیم
.متغیرهای ترمودینامیکی از یکدیگر مستقل نیستند و با هم رابطه دارند. رابطه بین متغیرهای ترمودینامیکی را معادله حالت می نامیم. معادله حالت یک دستگاه می تواند پیچیده باشد؛ ولی آزمایش نشان می دهد که اگر گازها بسیار رقیق باشند، معادله حالت آنها ساده و مستقل از نوع گاز است. در این صورت، گاز را گاز کامل (آرمانی) می نامیم.

گاز کامل گازی است که بر هم کنش بین ذرات (نیروهای بین مولکول های) گاز صفر باشد. چنان چه فاصله ی بین مولکول های گاز زیاد باشد، نیز می توانیم با تقریب خوبی از این نیروها صرف نظر کنیم، پس اگر یک نمونه گاز رقیق در اختیار داشته باشیم، بر هم کنش بین مولکول های آن ناچیز خواهد بود و از رابطه ی فوق تبعیّت خواهد کرد»
یک نمونه از یک ماده« یعنی مقدار مشخصی از آن ماده؛ یعنی جرم مشخصی از آن ماده؛ یعنی تعداد مول های مشخصی از آن ماده. پس برای یک نمونه گاز کامل، مقدار n مقداری ثابت خواهد بود و در نتیجه.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$ به قولی دیگر: $$\frac{PV}{T} = (K)$$ مقدار ثابت

در روابط فوق باید دما را برحسب کلوین قرار دهید. برای تبدیل دما برحسب درجه ی سلسیوس (θ) به دما برحسب کلوین(T) از رابطه ی زیر استفاده می شود:

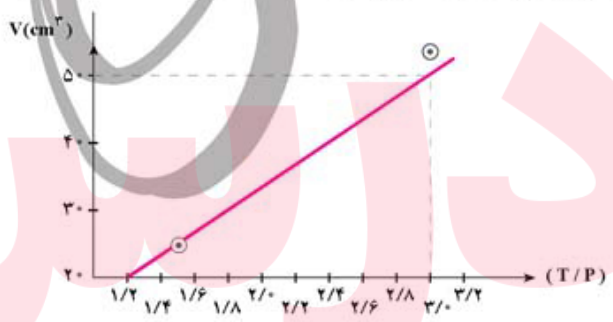
$$T = \theta + ۲۷۳$$

مثال:

نتیجه های یک آزمایش برای تغییرات حجم برحسب نسبت $\frac{T}{P}$ دمای مطلق به فشار در نمودار زیر دیده می شود.

الف(شیب نمودار معرف چه کمیتی است؟
ب(چرا نمودار خط راست است؟
پ(با توجه به مقدارهای تجربی روی نمودار تعیین کنید آزمایش مربوط به چند مول گاز است؟

(R=۸/۳۱۴J/molK)



گروه آموزشی عصر
ASR_Group @ outlook.com
@ASRschool2

الف)nR

ب) بر طبق معادله ی حالت گاز کامل PV=nRT

رابطه ی V بر حسب T/P ، معادله ی خط راست است. $V = nR(\frac{T}{P})$

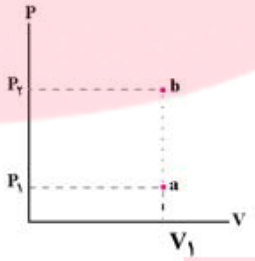
$\frac{PV}{T} = nR$ $\quad ۵۰\times۱۰^{-۶} = n\times۸/۳۱۴(۳\times۱۰^{-۳}) \Rightarrow n = ۰/۰۰۲mol$

فرایند ترمودینامیکی ایستاوار(آرمانی):

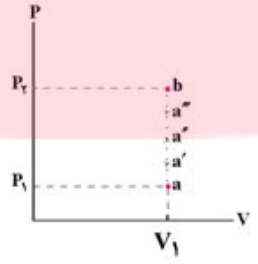
هنگامی که دستگاه از یک حالت به حالت دیگر می رود، می گوییم فرایند ترمودینامیکی انجام شده است. اکنون فرض کنید که گاز ابتدا در حالت P_1، V_1 و T_1باشد و در اثر گرم کردن آن با ثابت نگه داشتن حجم، گاز به حالت P_2، V_2 و T_2برسد. در این فرایند ترمو دینامیکی حالت دستگاه در حجم ثابت از (a) با دمای T_1 و فشار P_1 به b با دمای T_2 و فشار P_2تغییر کرده است. اگر حالت های بین a و b حالت های تعادلی نباشند، نمودار این فرایند ترمودینامیکی را نمی توان رسم کرد؛ زیرا در این حالت ها گاز در حال تعادل نیست و در نتیجه‌فشار و دمای گاز را نمی توان در این حالت ها تعیین کرد. به همین دلیل، این فرایند را با نقطه چین نمایش می دهیم (شکل الف)

اکنون فرض‌کنید دستگاه را در تماس بایک منبع گرما قرار می دهیم. ابتدا دمای منبع گرما را برابر با T_1 یعنی‌دمای اولیه گاز، انتخاب می کنیم. در این صورت، تبادل گرما بین منبع و دستگاه رخ نمی دهد. سپس دمای منبع را کمی افزایش می دهیم. در این صورت گرمای اندکی به گاز منتقل می شود. چون این گرما بسیار کم است، تغییر کمی در حالت گاز ایجاد می شود و گاز پس از مدت کوتاهی به حالت تعادل می رسد. وضعیت دستگاه در این حالت با نقطه 'aدر شکل ب نشان داده شده است.

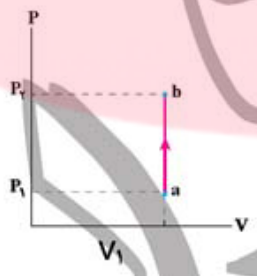
هرچه اختلاف دما بین دستگاه و منبع کمتر باشد، 'aبه a نزدیک تر خواهد بود و ررسیدن به حالت تعادل جدید سریعتر رخ خواهد داد. به عبارت دیگر می توان گفت که در فرایند تحول دستگاه از a به'aدستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل می ماند. اگر گرمادهی را به همین روش ادامه‌دهیم، و در هر نوبت دمای...منبع اندکی زیادشود، نقاط "a، a''' a'' a'و به دست می آیند. هرچه دمای منبع را در هر نوبت کمتر تغییر دهیم، این نقاطبه یکدیگر نزدیکتر خواهند بود و دستگاه زودتر به حالت تعادل می رسد. در حدّ ی که گرمای داده شده به دستگاه در هر مرحله بسیار کوچک است، فرایندگرمادهی را می توان مانند شکل‌ج به صورت یک خط نمایش داد. در طول این فرایند، دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل می ماند. چنین فرایندی را فرایند ایستاوار(آرمانی) می نامند.



شکل الف گاز در فرایندی ترمودینامیکی از حالت a به حالت b رفته است.



شکل ب دستگاه با دریافت مقادیر کوچک گرما، تغییر حالت می دهد.



شکل ج نمودار تغییرات فشار برحسب حجم، هنگامی که دستگاه به صورت ایستاوار حجم ثابت گرمای Qرا دریافت می کند و در نتیجه نمودار فرایندبه صورت خط رسم می شود.

تبادل انرژی:

زنبورهای سرخ زنبورهای عسل را شکار می کنند. اما زنبورهای عسل برای دفاع از خود روش جالبی دارند: هر گاه زنبور سرخی به کندوی عسل حمله کند، چند صد زنبور کارگر در اطراف آن جمع می شوند و یک گلوله ی متراکم را تشکیل می دهند و بعد از چند دقیقه زنبور سرخ بدون آن که مورد حمله ی مستقیم زنبورهای عسل قرار گیرد، می میرد.زیرا صدها زنبور عسل گلوله ی متراکمی را در اطراف یک زنبور سرخ حمله کننده به کندوی خود تشکیل دهند،می توانند دمای بدنشان را از دمای عادی $35^{\circ}C$ به سرعت تا $47^{\circ}C$ بالا ببرند، این دمای بالا برای زنبور سرخ مزاحم کشنده است، اما برای زنبورهای عسل خطری ندارد. در واقع هر زنبور باید به طور متوسط مقداری انرژی اضافی تولید کند تا دما به مقدار $47C^{\circ}$ برسد. دمای سطح گلوله ی حاصل از زنبورها پس از تشکیل شدن گلوله بالا می رود و زنبورهای عسل انرژی اضافی را به صورت‌تابش گرمایی از دست می دهند، بد نیست بدانید انرژی حاصل از بال زدن‌نبور آن قدر زیاد است که می تواندخود بالها را ذوب کند!

تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق گرما و کار صورت می‌گیرد:

الف) گرما: انرژی است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

گرما هنگامی بین محیط و دستگاه مبادله می‌شود که این دو با هم اختلاف دما داشته باشند، طبق قرارداد گرمایی را که دستگاه می‌گیرد با علامت + و گرمایی را که دستگاه از دست می‌دهد با علامت − نشان می‌دهیم.

Q :گرمای داده شده به دستگاه توسط محیط

$$Q' = -Q$$

Q' :گرمای داده شده به محیط توسط دستگاه

اگر محیط به دستگاه گرما دهد : $Q' < 0 \ , \ Q > 0$

اگر دستگاه به محیط گرما دهد : $Q' > 0 \ , \ Q < 0$

هنگامی که دستگاه با محیط تبادل گرما می‌کند، معمولاً فرض می‌شود که با یک منبع گرما (چشمه‌ی گرمایی) در تماس است.

منبع گرما:

جسمی است که اگر گرما از دست بدهد یا بگیرد، دمای آن تغییر قابل ملاحظه‌ای نکند، به عنوان مثال هوای یک اتاق را می‌توان برای یک استکان چای داغ به عنوان منبع گرما درنظر گرفت، اگرچه دمای چای داغ تغییر زیادی می‌کند ولی دمای هوای اتاق، تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند.

مثال: آیا از منبع آب ویخ می توان به عنوان منبع گرما استفاده به عمل آورد؟

حل:

تا هنگامی که تمام یخ آب نشود، یا تمام آب یخ نشده باشد دمای مخلوط آب و یخ حتی در صورت تبادل گرما صفر می‌ماند و تغییر نمی‌کند پس می‌توان آن را به عنوان منبع گرما درنظر گرفت.

ب) کار: ممکن است در یک فرآیند ترمودینامیکی حجم گاز نیز تغییر کند و گاز متراکم یا منبسط شود، در این حالت کار صورت می‌گیرد. اگر گاز متراکم شود: یعنی محیط روی دستگاه کار انجام داده است و اگر گاز منبسط شود: دستگاه روی محیط کار انجام داده است. داریم:

$$W' = -W$$

W : کار انجام شده روی دستگاه توسط محیط

W' : کار انجام شده روی محیط توسط دستگاه

اگر محیط روی دستگاه کار انجام دهد : $W' < 0 \ , \ W > 0$ تراکم

اگر دستگاه روی محیط کار انجام دهد : $W' > 0 \ , \ W < 0$ انبساط

مثال :

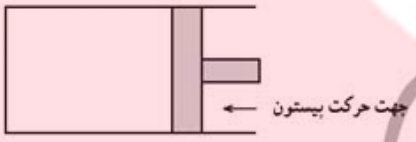
در شکل زیر :
- علامت کار محیط و کار دستگاه را در هر حالت مشخص کنید.
- برای پاسخ خود دلیل بیاورید.

گاز کار انجام می دهد. کار روی گاز انجام می شود

پاسخ: در شکل سمت چپ کار محیط مثبت است. زیرا جابه جایی پیستون در جهت نیروی وارد از طرف‌محیط بر پیستون است و کار دستگاه منفی است زیرا جابه جایی پیستون به سمت پایین و نیروی وارد از طرف گاز برپیستون به سمت بالاست. در شکل سمت راست، برعکس است

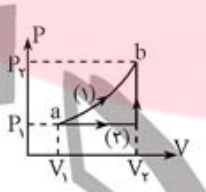
مثال:

در هریک از آزمایش های زیر علامت کاری که پیستون(محیط)روی دستگاه))) انجام می دهد و کاری را که گاز(ستگاه)) روی پیستون انجام می دهد، تعیین کنید.



پاسخ:
الف) مطابق شکل بالا نیرویی که پیستون بر گاز وارد می کند با بردار جا به جایی هم جهت و کار این نیرومثبت است. اما نیرویی که گاز بر پیستون وارد می کند در خلاف جهت جابه جایی و کار آن منفی است.
ب) گاز منبسط می شود پس جابه جایی آن در خلاف جهت نیرویی است که پیستون بر آن وارد می کند. پس کارپیستون منفی است. درحالی که نیروی وارد از گاز بر پیستون با جابه جایی پیستون هم جهت و کار آن مثبت است.

انرژی درونی وقانون اول ترمو دینامیک:



تغییرات انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمایی که دستگاه دریافت می کند و کاری که روی آن انجام می شود.

$$\Delta U=Q+W$$

در واقع هرگاه دستگاه(گاز) در اثر کار یا گرما تحول یابد و از حالت **a** به حالت **b** برود(مطابق شکل)بـرای مسـیرهای مختلف‌مقدار **W** و **Q** متفاوت اما همواره مجموع **Q + W** یعنی تغییر انرژی درونی در تمام مسیرها یکسان است.

$$\Delta U_{۱} = U\Delta_{۲} \Rightarrow W_{۱}+Q_{۱}=W_{۲}+Q_{۲}$$

این رابطه که بیان می دارد انتقال انرژی بین دستگاه و محیط از طریق تبادل کار و گرما صورت می گیرد، قانون اوّل ترمودینامیک نامیده می شود. در این رابطه، Q می تواند مثبت (دستگاه گرما بگیرد) یا منفی (دستگاه گرما از دست بدهد) باشد. Wنیز می تواند مثبت (محیط روی دستگاه کار انجام دهد) یا منفی (دستگاه روی محیط کار انجام دهد) باشد بنابراین، هنگامی که دستگاه با محیط تبادل کار و گرما دارد، ممکن است انرژی درونی آن افزایش($\Delta U>۰$)، یا کاهش($\Delta u<۰$) یابد یا اینکه تغییر نکند($\Delta u=۰$) گرما و کاری که بین دستگاه و محیط مبادله می شود فقط رطی فرایند معنا دارد؛ یعنی نمی توانیم پس از انجام هر فرایند از کار یا گرمای موجود در دستگاه صحبت کنیم.

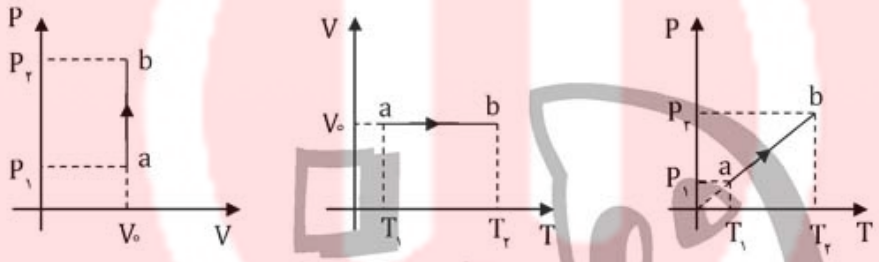
تغییر انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل فقط به اختلاف دمای مطلق گاز بستگی دارد و به نوع فرآیندها در مسیر بستگی ندارد. قانون اول ترمودینامیک بیانی از قانون پایستگی انرژی است.

فرایند های خاص:

الف(فرایند هم حجم:

حجم گاز طی این فرایند ثابت نگه داشته می شود و بنابراین، کار صفر است. در این فرایند گاز با محیط فقط تبادل گرما می کند. به این منظور گاز را در تماس با منبع گرمایی با دمای قابل‌تنظیم قرار می دهیم طوری که دمای اولیه منبع و گاز با هم برابر باشد. دمای‌منبع را به آرامی و به تدریج تغییر می دهیم تا گاز با گذار از حالت های تعادلی، طی یک فرایند ایستاوار به حالت نهایی موردنظر برسد.

برای فرایند هم حجم می توانیم سه نمودار فشار بر حسب دما (P-T) و حجم بر حسب دما (V-T) و فشار بر حسب حجم (P-V) را به صورت زیر رسم کنیم. (نمودارهای مقابل مربوط به افزایش فشار است).



شیب نمودار P-T در فرایند هم حجم بیانگر $\frac{nR}{V}$ است. پس با افزایش حجم، شیب کم و با کاهش حجم شیب افزایش می یابد. $\left(\tan\alpha = \frac{nR}{V}\right)$

حال‌به محاسبه گرمایی می پردازیم که در فرایند هم حجم با دستگاه مبادله می شود.

$Q = mc_V\Delta T$: در فرآیند هم حجم

c_V: ظرفیت گرمایی ویژه گاز در حجم ثابت (به جنس گاز بستگی دارد) $\frac{j}{Kg\cdot{}^\circ C}$ یا $\frac{j}{Kg\cdot K}$

ظرفیت گرمایی ویژه گاز در حجم ثابت: مقدار گرمایی که باید به ۱ Kg گاز در حجم ثابت داده شود تا دمای آن ۱ K افزایش یابد.

$$\left.\begin{matrix} Q = mc_V\Delta T \\ m = nM \end{matrix}\right\} \Rightarrow Q = n\,MC_V\,\Delta T$$

$Q=nC_V\Delta T$

C_V: ظرفیت گرمایی مولی گاز در حجم ثابت $\frac{j}{mole\cdot K}$ یا $\frac{j}{mole\cdot{}^\circ C}$

ظرفیت گرمایی مولی گاز در حجم ثابت: مقدار گرمایی که باید به ۱ مول گاز در حجم ثابت داده شود تا دمای آن ۱ K افزایش یابد.

C_{MV}

- برای گازهای تک اتمی، He ، Ar ، Ne و ... : $C_V \cong \frac{۳}{۲}R = ۱۲/۵\ \frac{j}{mol\cdot K}$
- برای گازهای دو اتمی، $O_۲$ ، $H_۲$ ، $N_۲$ ، هوا و ... : $C_V \cong \frac{۵}{۲}R = ۲۰/۵\ \frac{j}{mol\cdot K}$
- برای گازهای سه اتمی، $CO_۲$ و ... : $C_V \cong \frac{۷}{۲}R = ۲۸/۵\ \frac{j}{mol\cdot K}$

شیب نمودار P-T در فرآیند هم حجم با حجم گاز نسبت وارون دارد.

پس در نمودار PT – بالا $V_۳<V_۲<V_۱$ است.

هنگام گرما گرفتن از گاز جهت فلش ها وارون می شود.

نمودار P – T

مثال:

چقدر گرما به ۲ مول گاز کامل تک اتمی داده شود تا در حجم ثابت دمای آن از ۲۰ درجه ی سلسیوس به ۱۲۰ درجه برسد؟

پاسخ

$$Q = n\,c_v\,\Delta T \Rightarrow Q = ۲ \times \frac{۳}{۲} \times ۸ \times ۱۰۰ = ۲۳۰۰J$$

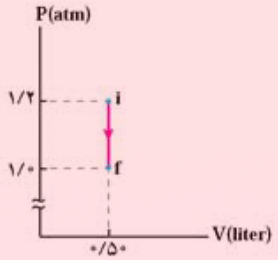
مثال:

با در اختیار داشتن یک سرنگ که انتهای آن مسدود است، منبع گرمای قابل تنظیم چراغ گاز و یک ظرف آب چگونه می توان در گاز درون سرنگ، فرآیند افزایش دمای هم حجم به وجود آورد.

پاسخ: دسته ی سرنگ یا پیستون را ثابت می کنیم دور دهانه ی پیستون را چسب می زنیم تا حرکت نکند و حجم گاز درون دستگاه ثابت باقی بماند. بدنه ی سرنگ را به منبع گرما تماس می دهیم و آرام آرام دمای منبع را افزایش‌می دهیم.

مثال:

شکل روبه رو نمودار یک فرایند هم حجم آ رمانی را نشان می دهد هرگاه گاز کامل وتک اتمی باشد گرمای مبادله شده چه مقدار است؟ گاز گرما از دست داده یا دریافت کرده است؟



$$Q=nC_V\Delta T=n(\frac{۳}{۲}R)\Delta T=\frac{۳}{۲}(nRT_f-nRT_i)=\frac{۳}{۲}(P_fV_f-P_iV_i)$$

$$=\frac{۳}{۲}[(۱/۰\times۱۰^{۵}Pa)(۰/۵۰\times۱۰^{-۳}m^{۳})-(۱/۲\times۱۰^{۵}Pa)(۰/۵۰\times۱۰^{-۳}m^{۳})]=-۱۵J$$

گرمای مبادله شده $|Q|=۱۵J$ است. چون مقدار Q منفی شده است، بنابراین گاز گرما از دست داده است.

مثال:

دمای n مول گاز با ظرفیت گرمایی مولی C_V در یک فرایند هم‌حجم از T_i به T_f رسیده است.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در این فرایند را بیابید.

ب) اگر این گاز، گاز کامل و تک‌اتمی باشد، تغییر انرژی درونی آن به چه صورتی نوشته می‌شود؟

الف) از قانون اول ترمو دینامیک وگرمای مبادله شده در فرایند هم حجم استفاده می کنیم:

با توجه به اینکه در فرایند هم‌حجم $W=۰$ است، داریم : $\Delta U = Q + W = Q = nC_v\Delta T$

بنابراین، تغییر انرژی درونی گاز برابر است با: $\Delta U = nC_v\,(T_f - T_i)$

ب) برای گاز های تک اتمی ، ظرفیت گرمایی مولی

در حجم ثابت با تقریب خوبی برابر $\frac{۳}{۲}R$ است. بنابراین، ΔU را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$\Delta U = n\left(\frac{۳}{۲}R\right)\Delta T$$

مثال:

از هوای درون یک اتاق به حجم $۴۰m^{۳}$ در شرایط متعارفی $۱۰^{۶}$ j گرما دریافت می‌شود فشار نهایی هوا چقدر می‌شود؟ (هوا را گاز دو اتمی فرض کنید.)

$$Q = nC_{mv}\,\Delta T = n \times \frac{۵}{۲}R\Delta T = \frac{۵}{۲}nR\Delta T = \frac{۵}{۲}V\Delta P$$

$$\Rightarrow -۱۰^{۶} = \frac{۵}{۲}\times۴۰(P_۲ - P_۱) \Rightarrow -۱۰^{۶} = ۱۰۰(P_۲ - ۱۰^{۵}) \Rightarrow P_۲ - ۱۰^{۵} = -۱۰۰۰۰ \Rightarrow P_۲ = ۹۰۰۰۰Pa = ۰/۹\ atm$$

۲- انبساط هم فشار:

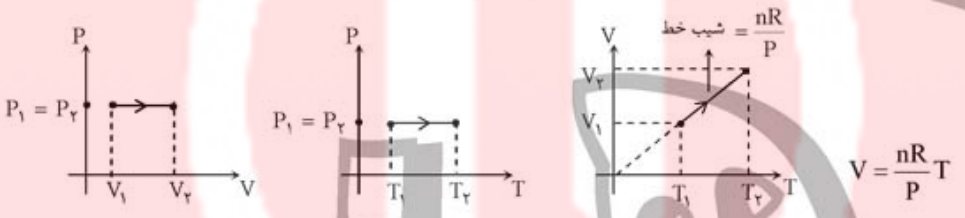
در این فرآیند فشار دستگاه ثابت می‌ماند، بنابراین V و T تغییر می‌کنند.

$$\begin{cases} P_1 \\ V_1 \\ T_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_2 = P_1 \\ V_2 \neq V_1 \\ T_2 \neq T_1 \end{cases}$$

$$\frac{PV}{T} = \text{cte} \Rightarrow \begin{cases} \text{انبساط} & V\uparrow \Rightarrow T\uparrow \\ \text{تراکم} & V\downarrow \Rightarrow T\downarrow \end{cases}$$

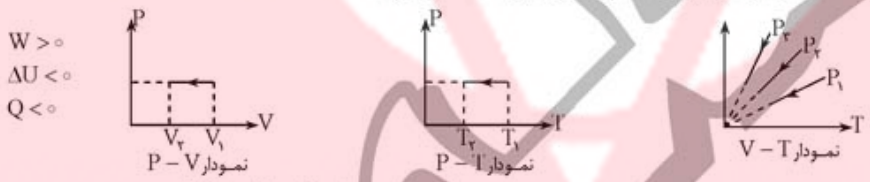
(ثابت)

نمودارهای فرایند هم فشار (در حالت انبساط)



شیب نمودار V-T در فرایند هم فشار بیانگر $\frac{nR}{P}$

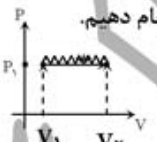
نمودارهای فرایند هم فشار (در حالت تراکم)



شیب نمودار $V - T$ در فرآیند هم‌فشار با فشار گاز نسبت وارون دارد و در نمودار $V - T$ بالا $P_3 < P_2 < P_1$ است.
اگر گاز منبسط شود سوی فلش‌ها وارون می‌شود.

روش ایجاد فرایند هم فشار:

دمای منبع را از T_1 به T_2 زیاد می‌کنیم در این صورت منبع به دستگاه گرمای Q می‌دهد. دمای دستگاه با گرفتن گرمای Q زیاد می‌شود ($T\uparrow$) با افزایش دما جنب و جوش مولکول‌های گاز زیاد می‌شود و مولکول‌ها ضربات محکم‌تری به پیستون وارد می‌کنند پس فشار داخلی از فشار بیرونی بیشتر می‌شود ($P\uparrow$) پس پیستون به سمت راست حرکت می‌کند یعنی حجم گاز زیاد می‌شود ($V\uparrow$).
با افزایش حجم تعداد مولکول‌های کمتری به پیستون ضربه وارد می‌کنند پس فشار وارد بر پیستون کم می‌شود تا به مقدار اولیه‌اش برسد، پیستون تا آن جایی حرکت می‌کند که فشار داخل با فشار بیرون برابر شود.
برای این که بتوانیم نمودار واقعی را با خط نمودار قبلی تقریب بزنیم باید عمل دادن گرما به دستگاه را به آرامی انجام دهیم.

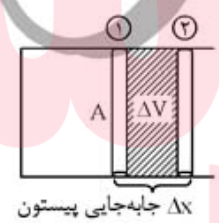


محاسبه کار در فرایند هم فشار:

چون در این حالت پیستون جابه‌جا می‌شود پس کار انجام می‌گیرد، برای محاسبه‌ی کار داریم: (به شکل صفحه بعد توجه شود)

$$|W| = |F \cdot \Delta x| = |P \cdot A\Delta x| = |P\Delta V| \rightarrow \boxed{W = -P\Delta V}$$

علامت منفی در فرمول برای تطبیق علامت ΔV و Wدر حالت‌های تراکم و انبساط است.



انبساط $\begin{cases} \Delta V > 0 \\ W < 0 \end{cases}$ $W' > 0$ چون دستگاه روی محیط کار انجام می‌دهد.

تراکم $\begin{cases} \Delta V < 0 \\ W > 0 \end{cases}$ $W' < 0$ چون محیط روی دستگاه کار انجام می‌دهد.

بنا به رابطهٔ فوق اگر گاز منبسط شود ($\Delta V > 0$) کار محیط روی دستگاه (W) منفی و اگر گاز متراکم شود($\Delta V < 0$) کار محیط روی دستگاه (W) مثبت است.

محاسبه Q در فرایند هم فشار:

در فرآیند هم‌فشار داریم: $Q = mC_P\Delta T$ که در آن C_P ظرفیت گرمایی ویژه گاز در فشار ثابت نامیده می‌شود.

ظرفیت گرمایی ویژه گاز در فشار ثابت $\frac{J}{kg.K}$: مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم گاز بدهیم تا در فشار ثابت دمای آن ۱K افزایش یابد.

- واضح است که برای هر گاز دلخواه داریم: $C_P > C_V$

چرا که در فرآیند هم فشار مقداری از گرمای داده شده به دستگاه صرف حرکت دادن پیستون می‌شود پس برای افزایش دما به اندازه‌ی ۱ K باید گرمای بیشتری نسبت به حالت هم حجم داده شود چون در حالت هم حجم تمام گرمای داده شده صرف بالا بردن دما می‌شود.

$$\left.\begin{matrix} Q = mC_P\Delta T \\ m = nM \end{matrix}\right\} \Rightarrow Q = nMC_P\Delta T \Rightarrow Q = nC_{MP}\Delta T \qquad Q = nC_P\Delta T$$

C_P ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت نام دارد.

ظرفیت گرمایی مولی گاز در فشار ثابت $\frac{J}{mole.K}$: مقدار گرمایی که باید به یک مول گاز بدهیم تا در فشار ثابت دمای آن ۱ K افزایش یابد.

واضح است که برای هر گاز داریم: $C_{MP} > C_{MV}$

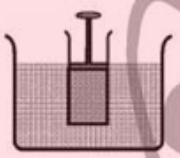
برای گازهای تک اتمی: $C_P \cong \frac{5}{2}R = 20/5\ \frac{j}{mol\cdot K}$

برای گازهای دو اتمی: $C_P \cong \frac{7}{2}R \cong 28/5\ \frac{j}{mol\cdot K}$

برای گازهای سه اتمی: $C_P \cong \frac{9}{2}R = 36/5\ \frac{j}{mol\cdot K}$

مثال:

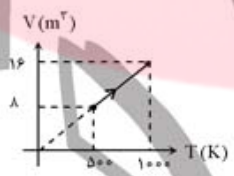
. یک فرایند هم فشار را شرح دهید



سیلندر متحرک پر از هوای محبوس را مطابق شکل در یک ظرف پر از آب قرار می دهیم. با گرم شدن تدریجی آب پیستون به آرامی به بالا حرکت می کند پس از رسیدن به تعادل یک فرایند هم فشار خواهیم داشت

مثال:

در نمودار مقابل کاری راکه گاز انجام می دهد را به دست آورید؟



$W = -P\Delta V = -P(16-8) = -8P \qquad PV = nRT \Rightarrow P\times 8 = 0/1\times 8\times 500 \Rightarrow P = 50Pa$

$W = -8P = -8\times 50 = -400j$

$W' = 400j$ کار انجام شده توسط گاز

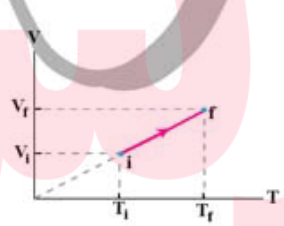
مثال:

نمودار V-T را برای فرایند هم فشار آرمانی یک گاز کامل رسم کنید.

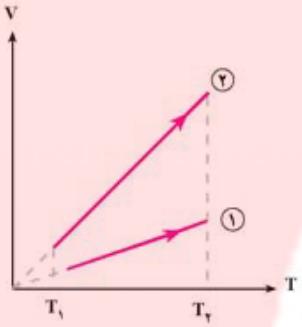
پاسخ: چون گاز، کامل است با استفاده از معادله حالت گاز کامل داریم:

$$V = \left(\frac{nR}{P}\right)T$$

چون $\frac{nR}{P}$ ثابت است رابطهٔ بالا معادلهٔ یک خط راست است که امتداد آن از مبدأ مختصات می گذرد. نمودار این رابطه در شکل روبه رو نشان داده شده است.



پرسش: نمودار Tــ Vبرای دو فرایند انبساط هم فشار مطابق شکل داده شده است. فشار آن ها را مقایسه کنید.



پاسخ: فشار در فرایند ۱ که شیب نمودار T ــ Vی آن کمتر است، بیشتر از فرایند ۲ است

برای محاسبه ی گرمایی که در فرایندهای هم فشار مبادله می شود باز هم به سراغ رابطه ی $Q = m C\Delta T$ می رویم اما باید توجه داشته باشیم که گرمای مبادله شده.در دستگاه به نوع فرایند بستگی دارد. پس در رابطه ی اخیر گرمای ویژه در فشار ثابت را جایگزین می کنیم

مثال:

ته یک سرنگ را می بندیم. آن را درون مقداری آب می اندازیم و آب را به تدریج گرم می کنیم. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می کند؟

علت اختلاف دمای بین منبع و هوای درون سرنگ، گرمای کمی به هوای محبوس منتقل می شود و هوا اندکی منبسط می شود و پیستون سرنگ را اندکی به بالا می راند. اگر گرما دادن را به همین روش تدریجی ادامه دهیم، پیستون سرنگ بسیار آهسته به بیرون حرکت می کند. در این وضعیت، شتاب حرکت پیستون، بسیار کوچک و نزدیک به صفر است و بنابراین می توان گفت که در طی گرما دادن همواره فشار هوای داخل سرنگ ثابت می ماند. بنابراین، آنچه رخ می دهدنمونه ای از فرایند انبساط هم فشار است.

مثال:

مقداری گاز کامل تک اتمی در یک انبساط هم فشار، ۱۰۰J کار انجام می دهد.
الف)گرمایی که گاز در این فرایند مبادله کرده چقدر است؟
ب)تغییر انرژی درونی گاز را محاسبه کنید.

الف:

$$Q = nC_p\Delta T = n(\frac{5}{2}R)\Delta T$$

که در آن از ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت گازهای کامل تک اتمی استفاده کرده ایم. در رابطه بالا $n\Delta T$مجهول است و آن را باید به طریقی محاسبه کنیم. به این منظور از رابطه کار در فرایند هم فشار استفاده می کنیم:

$$W=-P\Delta V=-P(V_f-V_i) =-(PV_f-PV_i)=-(nRT_f-nRT_i) =- nR\Delta T$$

که در آن از قانون گازهای کامل ($PV=nRT$) استفاده کرده ایم. از صورت مسئله می دانیم که گاز منبسط شده و $100J$کارانجام داده است. بنابراین $W= -100J$ است و درنتیجه داریم: $nR\Delta T=100J$

با قراردادن این مقدار در رابطه Q خواهیم داشت:

$$Q = (\frac{5}{2})(nR\Delta T) = (\frac{5}{2})(100) = 250J$$

گرمای مبادله شده $|Q|=250J$ است. علامت مثبت Q نشان می دهد که این گرمایی است که گاز (دستگاه) گرفته است .

ب) از قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$\Delta U=Q+W$$

که در آن Q گرمایی است که دستگاه گرفته و W کاری است که روی دستگاه انجام شده است. بنابراین:

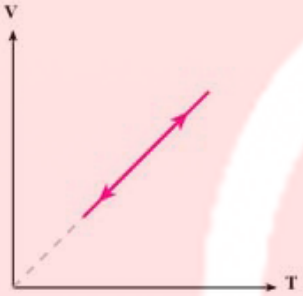
$$\Delta U=250J +)-100J(=150J$$

گروه آموزشی عصر
ASR_Group @ outlook.com
@ASRschool2

مثال:

برای فرایند انبساط یا تراکم هم فشار نمودار T ـــ V رسم کنید و تعیین کنید شیب نمودار معرف کدام کمیت است؟

پاسخ:



$$\left.\begin{matrix}\frac{PV}{T}=nR\\ P=cte\end{matrix}\right\}\Rightarrow \frac{V}{T}=\frac{nR}{P}\Rightarrow V=\frac{nR}{P}T\Rightarrow$$

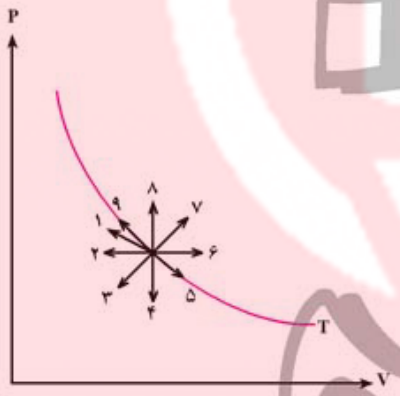
یعنی شیب نمودار T ـــ V، متناسب با عکس فشار گاز است. به عبارت دیگر هر چه فشار گاز بیشتر باشد،شیب نمودار کمتر است.

شیب این نمودار برابر با $\frac{nR}{P}$ است یعنی هرچه فشار گاز بیشتر باشد شیب نمودار کمتر است.

مثال:

پرسش: شکل مقابل حالت اولیه ی گازی کامل ومنحنی هم دمای عبوری از آن حالت را نشان می دهد. الف) کدام یک از مسیرهای نشان داده شده به کاهش دمای گازمی انجامد؟

ب) در کدام مسیرها تغییر دما صفر است؟



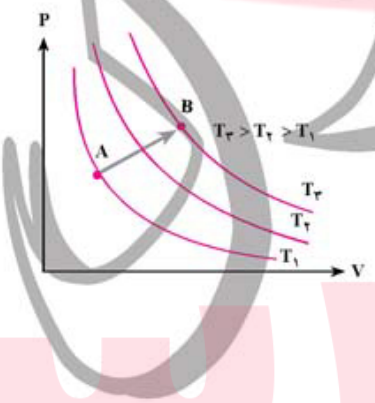
پاسخ: الف) مسیرهای ۳،۲،۱ و ۴ ب) ۵ و ۹

مثال:

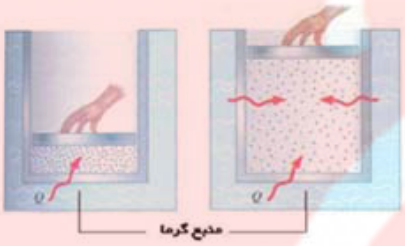
شکل مقابل نمودار فشار دمای فرایندی نامشخص است. دمای گاز رادر حالت A و B به صورت کیفی با یکدیگر مقایسه کنید.

مثال:

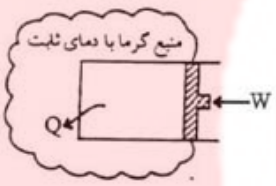
می توانیم از طرح واره ی نمودارهای هم دما استفاده کنیم و نتیجه بگیریم که دمای گاز در حالت B از A بیشتر است.



۳- فرایند هم دما:



در طی این تحول، دمای دستگاه تغییر نمی کند. این فرایند در مجاورت یک منبع گرما (منبع گرما جسمی است که اگر گرما از آن گرفته شود یا به آن داده شود، دمای آن تغییر محسوسی نداشته باشد، مانند مخلوط آب و یخ در حال تعادل) رخ می دهد. در فرایند هم دما کار انجام می شود و گرما نیز مبادله می شود. در انبساط هم دما، دستگاه گرما گرما از دست می دهد.

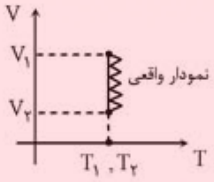


برای این‌که فرایند به صورت هم دما انجام شود، باید مطابق شکل دستگاه را در کنار یک منبع با دمای ثابت قرار داد. اگر اندک اندک روی سیستم کار انجام دهیم و گاز را کمی فشرده کنیم، گاز متراکم می‌شود و اندکی دمای آن بالا می‌رود. ولی بلافاصله گاز با منبع اطراف خود تبادل گرما می‌کند و دمایش دوباره با دمای منبع یکی می‌شود. پس اگر دادن (یا گرفتن) کار به سیستم بسیار آرام و تدریجی باشد، گاز با دمای تقریباً ثابت متراکم (و یا منبسط) می‌شود.

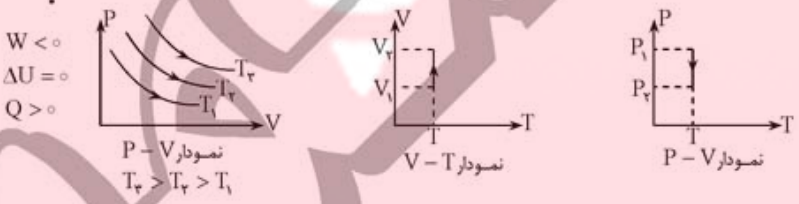
در این حالت دستگاه به منبع گرمای Q' می‌دهد و دمای خودش کاهش می‌یابد تا به T برسد؛ در این صورت دما ثابت می‌ماند و داریم:

$$W = Q' \Rightarrow W = -Q$$

همان طور که مشاهده کردیم در حین فرآیند هم دما، دمای دستگاه افزایش و کاهش دارد و در همین تغییرات جزیی است که گرما بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود و برای این که بتوان فرآیند را هم دما درنظر گرفت باید این تغییرات دما بسیار جزیی باشد به همین خاطر باید حرکت دادن پیستون به آرامی صورت گیرد، نمودار واقعی به شکل زیر است:

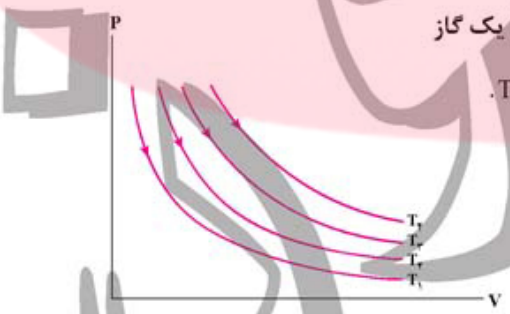


نمودارهای فرایند هم دما(انبساط) را می توانیم به صورت زیر رسم کنیم



توجه بفرمایید که چون $P \propto \frac{1}{V}$ ، نمودار **P-V** یک منحنی هموگرافیک است.

مثال: در شکل مقابل، نمودار **P-V**ی مربوط به انبساط هم دمای یک گاز کامل در دماهای مختلف رسم شده است. نشان دهید: $T_4>T_3>T_2>T_1$.



با توجه به معادله حالت گاز کامل داریم: $PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V}\right)T$

حال خطّ ی عمودی بر محور حجم رسم کنید به گونه ای که هر چهار نمودار را قطع کند. از رابطه بالا درمی یابیم که به‌ازای این مقدار ثابت، فشار کمتر مربوط به دمای کمتر است

بنابراین، منحنی T_1 که محور فشار را در جای پایین تری قطع کرده است، کمترین دما را دارد و منحنی T_4 که محور فشار در جای بالاتری قطع کرده است، بیشترین دما را دارد و بدین ترتیب $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ است؛ البته می توانستیم مسئله را به ازای یک فشار معین نیز بررسی کنیم. در آن صورت، معادلهٔ حالت گاز کامل را به صورت زیر می نویسیم:

$$V = \left(\frac{nR}{P}\right)T$$

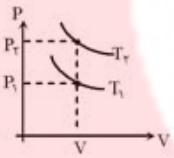
حال اگر خطّی افقی بر محور فشار رسم کنیم، به گونه ای که هر چهار نمودار را قطع کند، از رابطه بالا درمی یابیم که کمترین حجم مربوط به کمترین دما و بیشترین حجم مربوط به بیشترین دما است. بنابراین داریم:

$T۴ > T۳ > T۲ > T۱$

از این تمرین درمی یابیم که نمودارهای هم دما برای ما حکم یک دماسنج را دارند و با مشاهدهٔ آنها در مقایسه با یکدیگر می توان درباره دما اظهارنظر کرد.

مثال: مقداری گاز داخل ظرفی قرار دارد یک بار دستگاه به منبع گرمایی با دمای T_1 وصل کرده وفرایند هم دمای تراکمی انجام می‌دهیم و بار دیگر دستگاه را به منبع گرمایی با دمای $T_۲ > T_۱$ وصل می‌کنیم و فرآیند هم دمای تراکمی انجام می‌دهیم. نمودارهای این دو حالت را در دستگاه مختصات $P - V$ رسم کرده و با هم مقایسه کنید.

حل: واضح است که در هر دو حالت نمودار هموگرافیک داریم که در حالت $T_۲$ نمودار بالاتر از حالت $T_۱$ قرار می‌گیرد و شکل روبه‌رو را خواهیم داشت:



علت این که نمودار $T_۲$ بالای $T_۱$ قرار می‌گیرد در روابط زیر مشخص است:

$$\left.\begin{aligned}\frac{P_۱V}{T_۱} = nR\\ \frac{P_۲V}{T} = nR\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{P_۱}{T_۱} = \frac{P_۲}{T_۲} \xrightarrow{T_۲ > T_۱} P_۲ > P_۱$$

پس نمودار مربوط به $T_۲$ باید بالای $T_۱$ قرار گیرد.

مثال:

سرنگ ته بسته ی حاوی مقداری هوا را در عمق یعنی از ظرف آبی قرار دهید و مقدار آب ظرف را آرام آرام زیاد کنید (باید آب اضافه شده با آب اولیه هم دما باشد). به پیستون و سرنگ بادقت توجه کنید و به پرسش های زیر پاسخ دهید:

۱ــ آیا پیستون جا به جا می شود؟ ۲ ــ آیا کار انجام می شود؟۳ــ تغییرات هریک از کمیت های Pو V چگونه است؟

۴ــ تغییر دمای گاز درون سرنگ به چه صورت است؟ ۵ ــ آیا گرما مبادله می‌شود

پاسخ ۱ : ــ پیستون به طرف داخل حرکت می کند و گاز متراکم‌می شود.

۲ــ کار انجام می شود).($W > ۰$

۳ ــ چون ارتفاع آب زیاد شده است فشار افزایش می یابد و چون گاز متراکم شده است حجم آن کاهش می یابد.

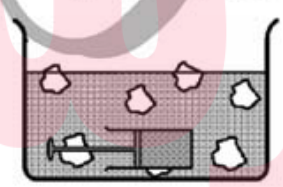
۴ــ وقتی پیستون جلو برود و حجم گاز کم شود با افزایش فشار دما قدری افزایش می یابد و به دلیل اختلاف دما بین گاز و آب، گرما به آب داده می شود. اما چون مقدار گاز در مقایسه با آب ناچیز است این گرما تغییر قابل‌ملاحظه ای در دمای آب نمی دهد پس دمای گاز ثابت می ماند

۵- گاز گرما از دست می دهد.

مثال:

یک فرایند هم دما را شرح دهید؟

در ظرفی مقدار یخ می ریزیم وکمی آب به آن اضافه می کنیم.حال دهانه یک سرنگ را بسته و درون مخلوط آب ویخ قرار می دهیم. سپس به آرامی پیستون را به جلو حرکت می دهیم. تا یک فرایند هم دمای تراکم داشته باشیم



مثال:

الف(آزمایشی طراحی کنید که در آن دستگاه مورد نظر مقداری گاز باشد و فرایند انبساط هم دما رخ دهد.

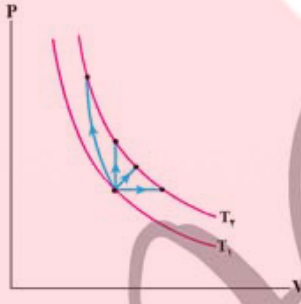
ب) علامت های Q و W را در این فرایند تعیین کنید.

پاسخ:

الف)از تعادل به آرامی پیستون را بیرون می کشیم. و یا دستگاهی مطابق شکل روبه رو تدارک می بینیم: استوانه ای که پیستون آن آزادانه حرکت می کند را طوری قرار می دهیم که پیستون بتواند عمودی جابه جا شود. کیسه ای پر از شن را روی پیستون و استوانه را در تماس با منبع گرمایی با دمای ثابت قرار می دهیم. کیسه را سوراخ می کنیم تا شن آن به آرامی خارج شود. با کاهش فشار روی پیستون،پیستون به سمت بالا حرکت می کند. گازمنبسط و دچار افت دما می شود که با سرنگ سربسته را در مقداری آب و یخ قرار می دهیم پس‌گرفتن گرما از منبع دوباره به دمای اولیه می رسد.

ب) چون گاز منبسط شده است پس دستگاه روی محیط؛ کار انجام می دهد و $W>0$است. از طرفی براثر انبساط گاز دمای آن کاهش می یابد که با گرفتن گرماازمحیط دوباره دمای آن به مقدار اولیه می رسد. پس چون دستگاه از محیط گرما می گیرد $Q>0$ است.

مثال:



در شکل روبه رو گاز کاملی را از طریق چند فرایند مختلف از جمله یک فرایند هم حجم و یک فرایند هم فشار از دمای T_1 به دمای T_2 رسانده ایم.

الف) نشان دهید تغییر انرژی درونی در تمام فرایندها از رابطه $\Delta U = nCV\Delta T$ به دست می آید .

ب) با استفاده از فرایندهای هم حجم و هم فشار نشان دهید $C_P - C_V = R$

فرایند هم حجمی را در نظر بگیرید. با توجه به اینکه در این فرایند $W = 0$ است، از قانون اول ترمودینامیک خواهیم داشت: $\Delta U = nCv\Delta T$

اما از طرفی دیدیم که انرژی درونی مستقل از مسیر است

و برای کلیه فرایندهایی که حالت اولیه و نهایی یکسانی دارند، برابر است. به عبارت دیگر، تغییر در انرژی داخلی یک گاز فقط به تغییر دمای گاز بستگی دارد و نه به نوع فرایندی که موجب تغییر دما شده است.

بنابراین، این رابطه برای هر فرایندی نیز برقرار است .

ب) اکنون قانون اوّل ترمودینامیک را برای فرایندی هم فشار بررسی می کنیم:

$U = Q + W$

برای فرایند هم فشار، W را می توانیم به صورت $W = P\Delta V$ در نظر بگیریم که با توجه به قانون گازهای کامل $(PV=nRT)$ به صورت $W = -nR\Delta T$ درمی‌آید. در نتیجه :

$$\Delta U = nC_p\Delta T - P\Delta V = nC_p\Delta T - nR\Delta T$$

از طرفی، در قسمت (الف) نشان دادیم که $\Delta U=nC_V\Delta T$ برای هر فرایندی برقرار است. بنابراین داریم :

$$nC_V\Delta T = nC_p\Delta T - nR\Delta T$$

و در نتیجه :

$$C_p - C_V = R$$

۴- فرایند بی دررو:

فرایندی است که در آن سیستم با محیط تبادل گرما نمی کند.

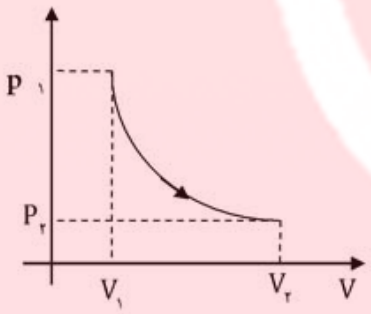
این فرایند هنگامی رخ می دهد که دستگاه به خوبی عایق بندی شده باشد، به طوری که مبادله ی گرما انجام نشود. حالت دیگر این است که تراکم یا انبساط به قدری سریع انجام شود که دستگاه زمان کافی برای تبادل گرما با محیط نداشته باشد.

در فرآیند بی‌دررو
- $T_2 > T_1 \Leftrightarrow W > 0$ انقباض $\Leftrightarrow P \uparrow\uparrow$ به شدت زیاد می‌شود
- $T_2 < T_1 \Leftrightarrow W < 0$ انبساط $\Leftrightarrow P \downarrow\downarrow$ به شدت کم می‌شود

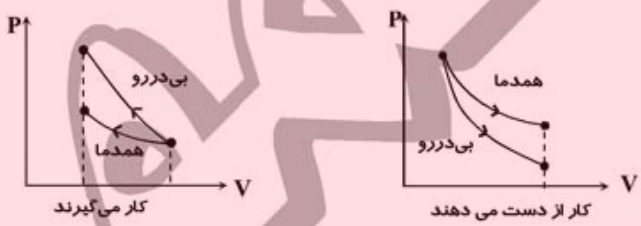
در فرایند بی دررو $Q = 0$ است. بنابراین، قانون اول ترمودینامیک برای این فرایند به صورت زیر درمی آید:

$$\Delta U = Q + W = 0 + W \qquad \text{یا} \qquad W_{\text{بی‌دررو}} = \Delta U$$

نمودار فشار - حجم در انبساط بی دررو مانند شکل مقابل است



نکته: به دو شکل زیر توجه کنید:



به دلیل اینکه در فرآیند بی دررو هیچ گرمایی با محیط مبادله نمی شود لذا تمام کار داده شده یا گرفته شده صرف افزایش یا کاهش انرژی درونی سیستم می شود و از این روست که تغییرات فشار در فرآیند بی دررو نسبت به فرآیند هم دما در حجم مشابه بیشتر است و دیده می شود که شیب بی دررو بیشتر از شیب هم دماست.

فرآیند بی‌در رو را می‌توان به ۲ طریق انجام داد:

الف) تراکم: فشار محیط را افزایش می‌دهیم. با این کار پیستون به سمت داخل حرکت می‌کند، پس: $\begin{cases} V \downarrow \\ P \uparrow \end{cases}$. از طرفی چون در این عمل محیط کار انجام داده است؛ انرژی دستگاه زیاد می‌شود، پس دمای دستگاه نیز زیاد می‌شود: $T \uparrow$

ب) انبساط: فشار محیط را کاهش می‌دهیم با این کار پیستون به سمت خارج حرکت می‌کند. پس: $\begin{cases} V \uparrow \\ P \downarrow \end{cases}$. در این عمل گاز کار انجام داده است پس انرژی آن کم می‌شود پس دمای آن نیز کم می‌شود: $T \downarrow$

نکته‌ی ۳. در فرآیند بی‌در رو چون P، V و T هر سه تغییر می‌کنند، نمی‌توان نمودارهای دقیق در دستگاه‌های مختصات P- V، V -T و P -T رسم کرد. به همین خاطر در این حالت از نمودارهای مقایسه‌ای مخصوصاً با نمودار هم دما استفاده می‌شود.

مثال:

گاهی اوقات وقتی یک نوشابه خیلی سرد را از یخچال بیرون می آوریم و در آن را بلافاصله باز می کنیم، مشاهده می شود که مه رقیقی در اطراف دهانه نوشابه ایجاد می شود. این پدیده را توجیه کنید.

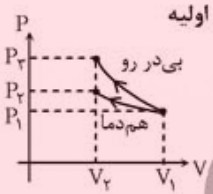
وقتی درِ نوشابه باز می شود، گاز محبوس در بالای آن انبساط می یابد. این انبساط چنان سریع صورت می گیرد که آن را می توان تقریباً بی دررو پنداشت. بنابراین، تنها انتقال انرژی ممکن برای انبساط گاز، ناشی از انرژی گرمایی خود گاز است. بنابراین، گاز انرژی گرمایی از دست می دهد و سردتر می شود که این باعث می شود بخار آب موجود در گاز در حال انبساط به صورت قطرات آب درآید. این قطرات موجود در هوا، هاله رقیقی را تشکیل می دهند که در اطراف دهانه بطری دیده می شود. توجه کنید اگر دمای مایع در نزدیک نقطه انجماد باشد یخ زدن نوشابه نیز ممکن است. چرا که وقتی درِ بطری باز می شود، فشار داخل آن ناگهان تا فشار جو کاهش می یابد و با بالا رفتن نقطه انجماد، مایع که دمای آن اکنون زیر آن نقطه قرار دارد، تمایل پیدا می کند که یخ بزند.)

مثال:

مقداری گاز در فشار P_1 وحجم V_1 داخل محفظه ای محبوس است. حجم گاز را یک بار از روش فرایند هم دما وبار دیگر به روش بی دررو تا حجم V_2 کاهش می دهیم. نمودار این فرایند را با هم مقایسه کنید:

تراکم

- هم دما $W<0$ ⇐ انرژی دستگاه زیاد می‌شود ⇐ دستگاه به منبع گرما می‌دهد. ⇐ T به مقدار اولیه باز می‌گردد.
- بی‌در رو $W<0$ ⇐ انرژی دستگاه زیاد می‌شود ⇐ دمای دستگاه زیاد باقی می‌ماند.



$$\left(\frac{P_{\text{هم دما}}\ V_{\text{هم دما}}}{T_{\text{هم دما}}}\right)=\left(\frac{P_{\text{بی‌در رو}}\ V_{\text{بی‌در رو}}}{T_{\text{بی‌در رو}}}\right)=nR \xrightarrow{\frac{\text{ثانویه بی‌در رو } V}{\text{ثانویه بی‌در رو } T} > \frac{\text{ثانویه هم‌دما } V}{\text{ثانویه هم دما } T}} P_{\text{ثانویه بی‌در رو}} > P_{\text{ثانویه هم‌دما}}$$

پس نمودار فرآیند بی‌در رو بالای نمودار فرآیند هم دما قرار می‌گیرد و داریم:

(چون سطح زیر نمودار P -V فرآیند بی‌در رو بیشتر است.)

$$W_{\text{بی‌در رو}} > W_{\text{هم دما}}$$

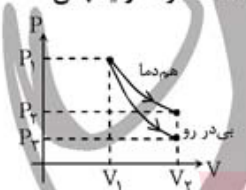
مثال:

مثال قبلی را درحالت تراکم محاسبه کنید؟

حل:

انبساط

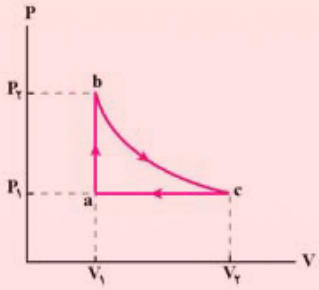
- هم دما $W<0$ ⇐ انرژی دستگاه کم می‌شود ⇐ دستگاه از منبع گرما می‌گیرد. ⇐ دمای دستگاه در T اولیه باقی می‌ماند.
- بی‌در رو $W<0$ ⇐ انرژی دستگاه کم می‌شود ⇐ دمای دستگاه کاهش می‌یابد.



$$\left(\frac{P_{\text{هم دما}}\ V_{\text{هم دما}}}{T_{\text{هم دما}}}\right)=\left(\frac{P_{\text{بی‌در رو}}\ V_{\text{بی‌در رو}}}{T_{\text{بی‌در رو}}}\right)=nR \xrightarrow{\frac{\text{ثانویه بی‌در رو } V}{\text{ثانویه بی‌در رو } T} = \frac{\text{ثانویه هم‌دما } V}{\text{ثانویه هم دما } T}} P_{\text{ثانویه بی‌در رو}} < P_{\text{ثانویه هم‌دما}}$$

پس نمودار فرآیند بی‌در رو در این حالت پایین نمودار هم دما قرار می‌گیرد و داریم:

$|W|_{\text{هم دما}} < |W|_{\text{بی‌در رو}}$ چون سطح زیر نمودار فرآیند بی‌دررو از سطح نمودار فرآیند هم‌دما کوچک‌تر است.



چرخهٔ ترمودینامیکی، حلقهٔ بسته ای را در صفحهٔ P-V تشکیل می دهد.

چرخهٔ ترمودینامیکی:

دستگاه می تواند فرایندی را طی کند که از مجموع چند فرایند تشکیل شده باشد. برای مثال، فرایندی را که در شکل زیر می بینید، از سه فرایند هم حجم، بی دررو و هم فشار تشکیل شده است. طی این فرایند، دستگاه نخست از طریق یک فرایند هم حجم از حالت **a** با حجم V_1 و فشار P_1 به حالت **b** با حجم V_1 و فشار P_2 می رود. سپس از طریق یک انبساط بی دررو به حالت **c** با حجم V_2 و فشار P_1 می رسد. در ادامه، دستگاه با فرایندی هم فشار به حالت اولیه **a** باز می گردد. مجموعه این فرایندها یک چرخه ترمودینامیکی را تشکیل می دهد. در چرخه ترمودینامیکی دستگاه پس از طی چند فرایند به حالت اولیه خود برمی گردد؛ چون در چرخه ترمودینامیکی حالت نهایی با حالت ابتدایی یکسان است تغییر انرژی درونی برابر صفر است $\Delta U = 0$

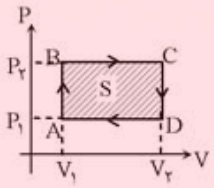
بنابراین از قانون اول ترمودینامیک برای چرخه های ترمودینامیکی داریم: $Q=-W$

کار انجام شده در چرخه برابر با مساحت داخل چرخه در صفحه **P-V** است و می توان نشان داد در چرخه های ساعتگرد در صفحه P-V کار انجام شده بر روی دستگاه، منفی و در چرخه های پاد ساعتگرد، مثبت است.

مثال:

چرخه شکل مقابل را درنظر گرفته ونشان دهید قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه در طول چرخه برابر مساحت داخل چرخه است؟

حل:



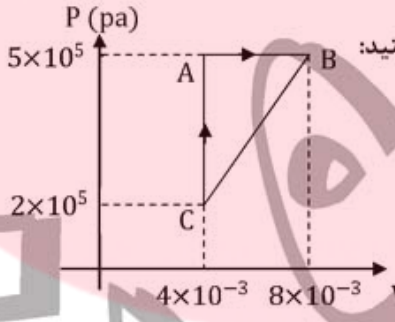
$$W_{\text{چرخه}} = \cancel{W_{AB}} + W_{BC} + \cancel{W_{CD}} + W_{DA}$$
$$= -P_2(V_2 - V_1) + (-P_1(V_1 - V_2))$$
$$= (V_2 - V_1)(P_1 - P_2)$$
$$= -(V_2 - V_1)(P_2 - P_1) = -S$$
$$|W|_{\text{چرخه}} = S$$

مثال:

یک مول گاز کامل تک اتمی چرخه ای مطابق شکل مقابل را طی می کند. تعیین کنید:

a) دمای گاز در حالت **C**

b) گرمای دریافت شده توسط دستگاه در طی چرخه.



(a

$$PV = nRT \Rightarrow ۲\times۱۰^{۵}\times۳\times۱۰^{-۳} = ۱\times۸\times T \Rightarrow T = ۱۰۰K$$

(b

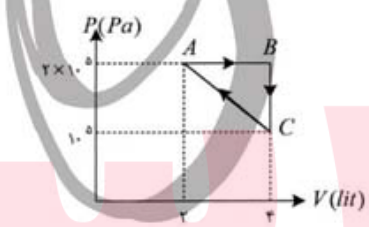
$$\Delta u = Q + W \Rightarrow ۰ = Q + W \Rightarrow ۰ = Q + \left(-\frac{۳\times۱۰^{۵}\times۳\times۱۰^{-۳}}{۲}\right) \Rightarrow Q = ۶۰۰J$$

مثال:

چرخه ی مقابل متعلق به ۰/۵ مول گاز کامل تک اتمی است.

a) دمای گاز در حالت **B** چند کلوین است؟

b) کار انجام شده روی دستگاه در این چرخه چقدر است؟



پاسخ:

(a

$$T = \frac{PV}{nR} \Rightarrow T_B = \frac{2\times10^5\times4\times10^{-3}}{0/5\times8} = 200K$$

(b

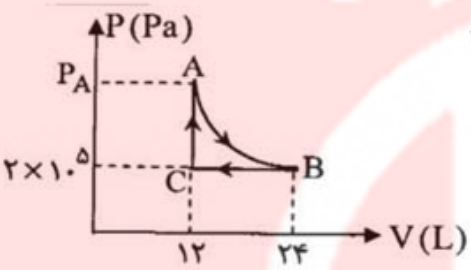
$$W = -\frac{2\times10^{-3}\times10^5}{2} = -100J$$

مثال:

در شکل مقابل نمودار P-V برای یک مول گاز کامل تک اتمی رسم شده است. (فرایند AB بی در رو است)

a) کار انجام شده در فرایند BC را محاسبه کنید

b) چه مقدار گرما در هر چرخه تلف می شود؟



پاسخ: .

$$W = -P\Delta V = -2\times10^5\times(12-24)\times10^{-3} = 2400J$$

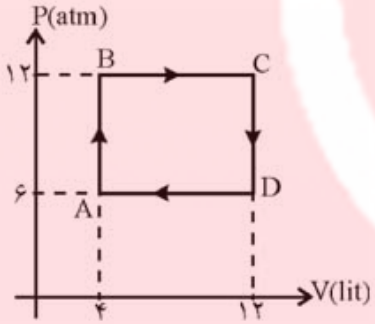
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \Rightarrow P_A = \frac{2\times10^5\times24}{12} = 4\ atm$$

مثال:

یک مول گاز کامل تک اتمی چرخه ای مطابق شکل مقابل را طی می کند. تعیین کنید:

ا ۳) دمای گاز در نقطه‌های A٪ B٪ C و D

ب) گرمای مبادله شد: در مسیرهای AB و DA



الف)

$$R \square ۸\frac{J}{mol.K} \quad , \quad C_{MV} = \frac{۳}{۲}R\frac{J}{mol.K}$$

$$C_{MP} = \frac{۵}{۲}R\frac{J}{mol.K}$$

$$P_AV_A = nRT_A \Rightarrow T_A = \frac{P_AV_A}{nR} = \frac{۶\times۱۰^۵\times۴\times۱۰^{-۳}}{۱\times۸} = ۳۰۰K \quad V_A = V_B \Rightarrow \frac{P_B}{P_A} = \frac{T_B}{T_A} \Rightarrow T_B = ۳۰۰\times\frac{۱۲}{۶} = ۶۰۰K$$

$$P_C = P_B \Rightarrow T_C = \frac{V_C}{V_B}T_B = \frac{۱۲}{۴}\times۶۰۰ = ۱۸۰۰\ K$$

$$V_D = V_C \Rightarrow T_D = \frac{P_D}{P_C}T_C = \frac{۶}{۱۲}\times۱۸۰۰ = ۹۰۰K$$

ب) در مسیر AB حجم ثابت است ؛ داریم:

$$Q_{AB} = nC_{MV}(\Delta T) = ۱\times\frac{۳}{۲}R(T_B - T_A)$$

$$= \frac{۳}{۲}\times۸\times(۶۰۰-۳۰۰) = ۳۶۰۰J$$

گاز در این حالت گرما دریافت کرده است.

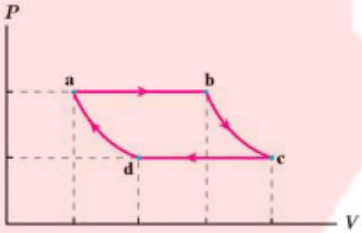
در مسیر DA فرآیند هم فشار است ؛ داریم:

$$Q_P = Q_{DA} = nC_{MP}(\Delta T) = n\times\frac{۵}{۲}R(T_A - T_D)$$

$$= ۱\times\frac{۵}{۲}\times۸\times(۳۰۰-۹۰۰) = -۱۲۰۰۰J$$

معلوم می‌شود که در فرآیند DA گاز گرما از دست داده است.

شکل روبه رو یک چرخه ترمودینامیکی فرضی را نشان می دهد

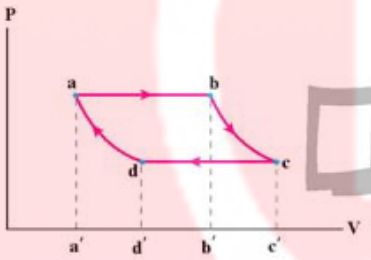


. الف) کار انجام شده روی دستگاه در هر فرایند را برحسب سطح زیر نمودار آن بیان کنید .

ب) نشان دهید مقدار کار کل انجام شده روی دستگاه برابر با مساحت داخل چرخه است .

پ) کار کل انجام شده روی دستگاه مثبت است یا منفی؟ توضیح دهید.

برای آنکه منظور مشخص شود، محل های تقاطع نقاط خط چین با محور Vرا به ترتیب با a′، b′، c′ و d′ نمایش می دهیم:



بنابراین، قدر مطلق کار انجام‌شده در فرایند da برابر مساحت سطح add′a′، قدر مطلق کار انجام‌شده در فرایند ab برابر مساحت سطح abb′a′ و قدر مطلق کار انجام‌شده در فرایند bc برابر مساحت سطح bcc′b′ و قدر مطلق کار انجام شده در مسیر bc بر مساحت سطح dcc′d′ است.

اما علامت‌های کار با توجه به اینکه در فرایندهای da و cd از حجم کاسته شده، منفی و در فرایندهای ab و bc که به حجم افزوده شده، مثبت است .

ب) کار انجام شده در چرخه برابر جمع جبری کارهای انجام شده در هر چهار فرایند است. اگر مساحت ها و علامت های کار را که در قسمت الف بررسی کردیم، لحاظ کنیم، درمی یابیم که اندازه کار برابر با مساحت محصور داخل چرخه می شو د.

پ) چون چرخه به طور ساعتگرد پیموده شده است، علامت کار محیط منفی می شود. توجه کنید که این نتیجه براساس رابطه $W = -P\Delta V$ اثبات می شود. به عبارت دیگر، شکلی شبیه زیر داریم که در آن علامت منفی غالب شده است.

ماشین های گرمایی:

ماشین گرمایی وسیله‌ای است که با استفاده از برخی فرآیندهای ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به انرژی مکانیکی (کار) تبدیل می‌کند انرژی مکانیکی حاصل از ماشین گرمایی می‌تواند به طور مستقیم و برای حرکت دادن وسایل نقلیه مورد استفاده قرار گیرد یا این که با تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی توسط ژنراتور الکتریکی انرژی مورد نیاز در محل کار و زندگی انسان‌ها تأمین می‌شود.

ماشین‌های گرمایی به دو دسته‌ی عمده تقسیم می‌شوند:

۱- ماشین گرمایی برون‌سوز: در این ماشین گرمایی، دستگاه (ماده کاری) انرژی گرمایی را از خارج دریافت می‌کند و کوره یا چشمه‌ی گرمایی با دستگاه مستقیماً در تماس نمی‌باشد مانند ماشین بخار

۲- ماشین گرمایی درون‌سوز: در این ماشین گرمایی دستگاه با منبع گرما مستقیماً در تماس است. مثلاً در موتور اتومبیل که مخلوط هوا و بنزین به عنوان دستگاه داخل سیلندر با زدن جرقه توسط شمع به حالت انفجار درمی‌آید و گرما تولید می‌شود.

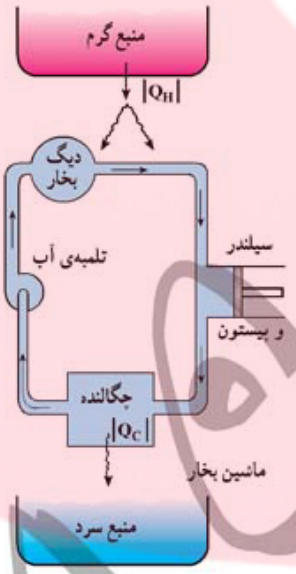
در ماشین گرمایی دستگاه مقداری گرما دریافت می‌کند و بخشی از آن را به کار روی محیط تبدیل می‌کند و از آن‌جا که این تبدیل انرژی باید دائماً انجام شود طراحی این ماشین‌ها به گونه‌ای است که دستگاه پس از طی چند فرآیند به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد یعنی ماشین گرمایی در یک چرخه‌ی معین کار می‌کند.

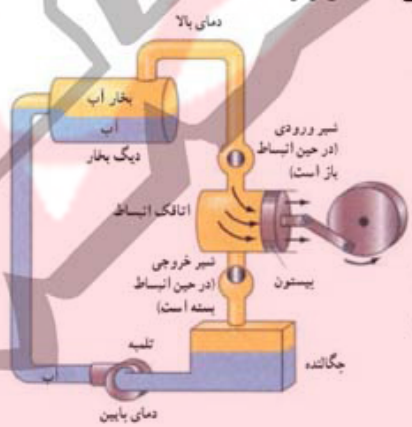
حال به بررسی دو نوع ماشین گرمایی متداول می‌پردازیم:

الف- ماشین بخار: ماشین بخار در نیروگاه‌های بخاری تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند آب است.

ماشین بخار دارای اجزایی به شکل زیر است:





بخش‌های اصلی ماشین بخار عبارتند از : دیگ بخار، اتاقک انبساط، چگالنده، تلمبه، شیرهای ورودی و خروجی و لوله‌های رابط.

از آن‌جا که گرما توسط کوره یعنی از بیرون دستگاه به آب داده می‌شود این ماشین را برون‌سوز می‌نامند. مراحلی که آب در ماشین بخار طی می‌کند را به صورت زیر خلاصه می‌کنیم:

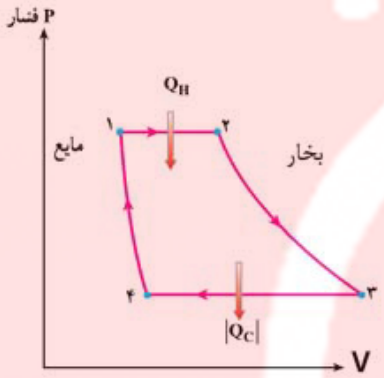
۱) آب درون دیگ بخار در فشار ثابت از کوره گرما می‌گیرد و به بخار تبدیل می‌شود و دما و حجم آن تا مقدار معینی افزایش می‌یابد.

۲) شیر ورودی باز می‌شود و بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است وارد اتاقک انبساط می‌شود و با وارد کردن نیرو به پیستون، آن را به حرکت درآورده و بخار آب به سرعت منبسط می‌شود و فشار آن کاهش می‌یابد و چون کار انجام داده است انرژی درونی آن پایین می‌آید و دمای آن کم می‌شود و چون این فرآیند بسیار سریع انجام می‌گیرد، آن را بی‌دررو درنظر می‌گیریم. در این مرحله دستگاه روی محیط کار انجام می‌دهد.

۳) وقتی پیستون به انتهای خود می‌رسد، شیر ورودی بسته شده و شیر خروجی باز می‌شود و طراحی ماشین به گونه‌ای است که پیستون برگردانده می‌شود و بخار را به سمت چگالنده (منبع سرد) هدایت می‌کند. بخار آب در چگالنده که لوله‌های آب سرد آن را خنک می‌کنند، در فشار ثابت گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. در این فرآیند دما و حجم بخار کاهش می‌یابد و تبدیل به آب می‌شود.

۴) پمپ، آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی‌گرداند و فشار آن را به حالت اولیه می‌رساند و در این حالت یک چرخه ترمودینامیکی کامل می‌شود.

دستگاه در طول چرخه با دو منبع گرمایی (کوره و چگالنده) تبادل گرمایی می‌کند که کوره را منبع گرم، و چگالنده را منبع سرد می‌نامیم. نمودار P - V ماشین بخار به شکل زیر است:



اگر تمام فرایند ها را ایده آل فرض کنیم، نمودار **P-V** ماشین بخار که به نمودار *رانکین* معروف است به صورت مقابل است. فرایند۲-۱ معادل مرحله تبدیل آب به بخار، مرحله ی ۳-۲ معادل مرحله ی انجام کار و مرحله ی۴-۳ معادل مرحله ی تبدیل بخار سرد به آب است. در مرحله ی ۱ ۴-آب توسط تلمبه به دیگ بخار بر می گردد.

ب) ماشین گرمایی درون‌سوز: موتورهای پیستونی از متداول‌ترین انواع موتورهای درون‌سوز هستند. موتور گرمایی درون‌سوز در دو نوع بنزینی و دیزلی می‌باشد که در این جا نوع بنزینی را بررسی می‌کنیم. قسمت اصلی این موتور از یک استوانه (سیلندر) که پیستون داخل آن حرکت می‌کند تشکیل شده است و اجزاء مختلف آن عبارتند از:

سیلندر، پیستون، شمع، دریچه‌ی ورود مخلوط هوا و بنزین، دریچه (سوپاپ) خروج دود

مراحل مختلف ماشین درون سوز:

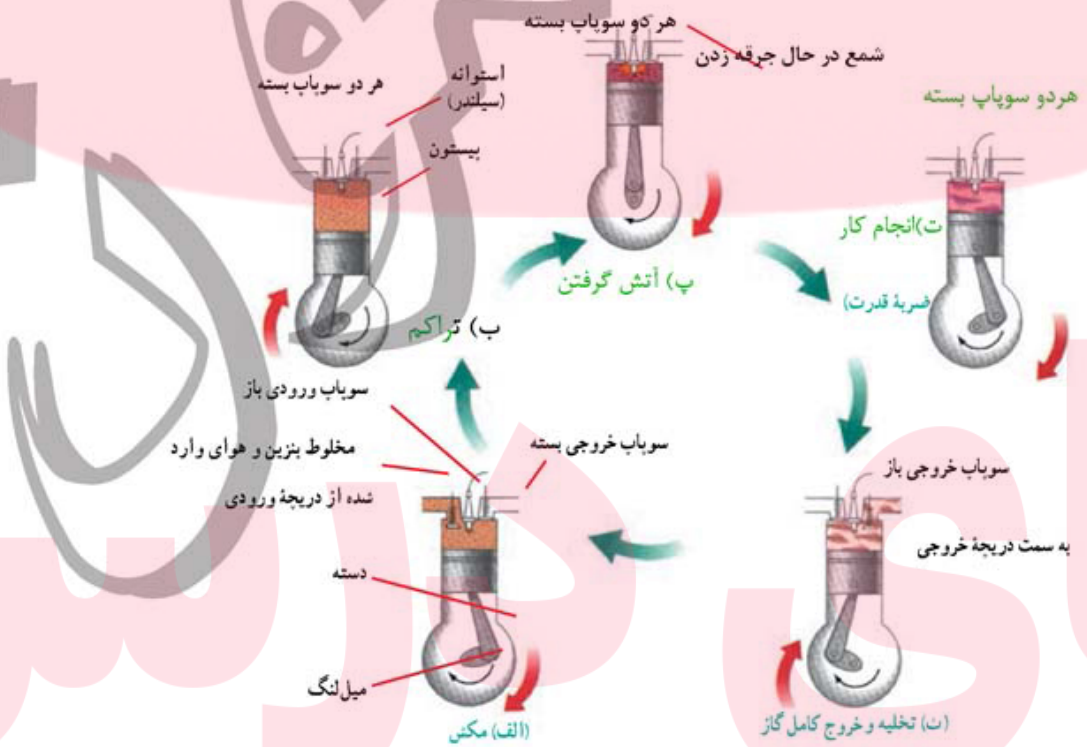
۱) مرحله مکش: در این مرحله مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه ورودی وارد سیلندر می‌شود و پس از این که پیستون به پایین‌ترین وضعیت خود می‌رسد، دریچه بسته می‌شود.

۲) مرحله تراکم: پیستون بالا می‌آید و مخلوط را متراکم می‌کند و دمای مخلوط بالا می‌رود.

۳) مرحله آتش گرفتن: شمع جرقه می‌زند، مخلوط آتش می‌گیرد و دما و فشار آن تا مقدار بسیار زیادی بالا می‌رود. چون آتش گرفتن مخلوط در داخل سیلندر رخ می‌دهد و مخلوط از بیرون گرما نمی‌گیرد، این موتورها را درون‌سوز می‌نامند.

۴) مرحله انجام کار: در این مرحله در اثر فشار زیاد دستگاه منبسط می‌شود و پیستون را به طرف پایین می‌راند. در این مرحله دستگاه روی محیط کار انجام می‌دهد.

۵) مرحله تخلیه: در این مرحله بخشی از دود حاصل از سوختن مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه خروج دود خارج می‌گردد و سپس پیستون بالا آمده و بقیه دود را خارج می‌کند و مقدار زیادی گرما به هوای بیرون داده می‌شود که جزء تلفات انرژی محسوب می‌شود.



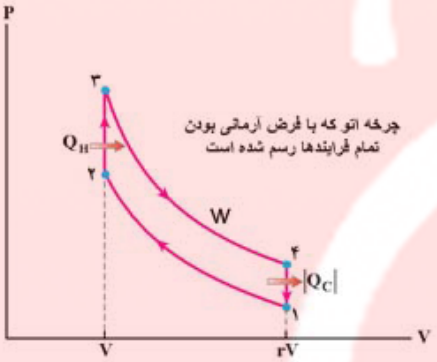
چرخه اتو ومراحل آن:

عبارت‌اند از :

۱ــ دستگاه (مخلوط بنزین و هوا) همواره یک گاز کامل است و بنابراین، اشتعالی براثر واکنش شیمیایی در آن رخ نمی‌دهد. ولی با گرفتن گرمای Q_H از محیط به همان دما و فشار گاز در پایان مرحلهٔ آتش گرفتن ماشین واقعی می‌رسد.

۲ــ تمام فرایندها آرمانی‌اند.

۳ــ مرحلهٔ تخلیهٔ گاز رخ نمی‌دهد، گاز در داخل استوانه باقی می‌ماند و با دادن گرمای $|Q_C|$ به محیط، دما و فشار آن کاهش می‌یابد.

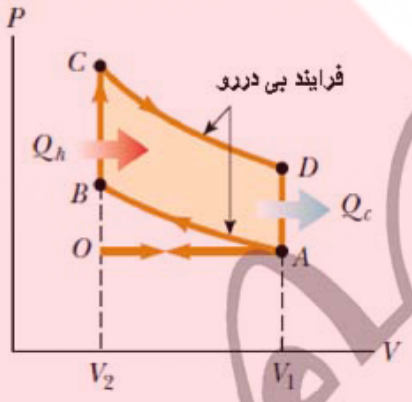


۱ تا ۲ــ دستگاه به‌سرعت متراکم می‌شود، فشار و دمای آن افزایش و حجم آن کاهش می‌یابد (مرحلهٔ تراکم).

۲ تا ۳ــ دستگاه گرمای Q_H را می‌گیرد و دما و فشار آن به مقدار زیادی بالا می‌رود (معادل مرحلهٔ آتش گرفتن).

۳ تا ۴ــ دستگاه به‌سرعت منبسط می‌شود، دما و فشار آن کاهش می‌یابد و پیستون را به طرف پایین می‌راند (مرحلهٔ انجام کار).

۴ تا ۱ــ دستگاه گرمای $|Q_C|$ را از دست می‌دهد و دما و فشار آن کاهش می‌یابد (معادل مرحلهٔ تخلیه).



نمودار P-V ماشین بنزینی:
با فرض ایده آل بودن فرایند ها و حذف مراحل ورود بنزین و خروج دود (بدلیل اینکه جرم آنها با هم برابر است)، نمودار به صورت مقابل است. حذف کردن مرحله ی ورود و خروج گاز مستلزم این است که فرض کنیم درون سیلندر دستگاهی (گازی) وجود دارد که از محیط گرما می گیرد(به جای احتراق) و مقداری از گرما را به منبع سرد می دهد (به جای مرحله ی خروج دود).با این توضیح، مرحله ی DC معادل احتراق و مرحله ی CB معادل انجام کار و مرحله ی DA معادل خروج دود است.

بازده ماشین گرمایی:

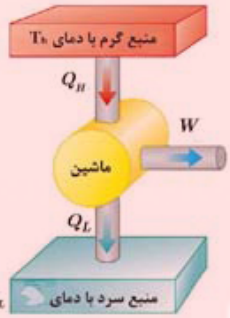
هدف از ساخت هر ماشین آن است که انرژی گرفته شده را تا بیشترین مقدار ممکن به انرژی مفید خروجی تبدیل کند.
بنابراین بازده هر ماشین به صورت زیر تعریف می شود:

$$\eta = \frac{\text{انرژی مفید خروجی}}{\text{انرژی داده شده به ماشین}}$$

در ماشین های گرمایی، انرژی مفید خروجی همان کار W وانرژی داده شده به ماشین، همان گرمای QH است. بنابراین، برای بازده هر ماشین گرمایی داریم:

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

در بررسی هر یک از ماشین های برون سوز بخار و درون سوز بنزینی برای ساده سازی محاسبات، یک چرخه آرمانی فرض می کنند که در آنها هیچ هدر رفتی نداریم و فرایندها به طور ایستاوار انجام می شوند. در طی این چرخه ها مقداری گرما از یک منبع با دمای بالاتر گرفته می شود Q_H ومقداری کار انجام می شود W ومقداری گرما به منبع با دمای پائین Q_L داده می شود



طرزکار همه ماشین های گرمایی آرمانی را می توان مانند شکل مقابل به صورت طرح وار نشا ن داد.

هدف هر ماشین گرمایی آن است که انرژی گرمایی گرفته شده Q_Hرا تا آنجا که ممکن است به کار بیشتری تبدیل کند. برای اندازه گیری اینکه در چرخه ماشین گرمایی چقدر از انرژی داده شده به دستگاه، به کار مکانیکی تبدیل می شود، بازده گرمایی η را تعریف می کنیم. بازده یک ماشین گرمایی با نسبت کار انجام شده در چرخه ماشین به انرژی گرمایی که ماشین دریافت می کند، تعریف می شود:

قانون اول ترمودینامیک $U\Delta=Q+W$ برای چرخهٔ ماشین های آرمانی به صورت زیر درمی آید

$$Q_H+Q_L+W=0$$

در این رابطه،Q_H مثبت وQ_L وW، منفی است. بنابراین:

$$Q_H=|W|+|Q_L|$$ (ماشین‌های گرمایی آرمانی)

در نتیجه بازده برای ماشین های گرمایی آرمانی چنین می شود:

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}=1-\frac{|Q_L|}{Q_H}$$ (برای ماشین های گرمایی آرمانی)

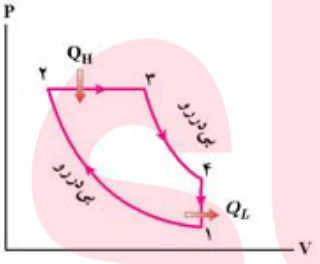
بازده ماشین های گرمایی واقعی از بازده ماشین های آرمانی کمتر است. بازده واقعی ماشین های درون سوز بنزینی در حدود ۲۰تا ۳۰درصد، بازده ماشین های درون سوز دیزلی در حدود ۳۰تا ۳۵درصد، و بازده ماشین های برون سوز بخار ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

محاسبه نشان می دهد که با بالا بردن نسبت تراکم r می توان به بازده بیشتری برای ماشین های درون سوز بنزینی دست یافت. اما در عمل ممکن نیست به نسبت تراکم بالاتر از ۴ یا ۵ دست یافت؛ زیرا در نسبت های تراکم بالاتر، مخلوط سوخت و هوا چنان گرم می شود که پیش از جرقه زدن شمع، آتش می گیرد. این مشکل را *رودلف کریستین کارل دیزل* مخترع و مهندس آلمانی با طراحی ماشینی تا حدودی برطرف کرد. در ماشین دیزل به جای مخلوط سوخت و هوا، خودِ هوا متراکم می شود. نسبت تراکم به ۱۱ تا ۱۲ می رسد و هوا تا حدود $600\ ^\circ C$ گرم می شود. در پایان تراکم، سوخت مایع به درون سیلندر پاشیده می شود. مرحله های مختلف چرخه این ماشین و نمودار آن در صفحه V-P را می توان در زیر بررسی کرد

در ماشین های دیزلی فقط هوا در قسمت ورودی پذیرفته می شود. هوا به طور بی دررو متراکم می شود تا اینکه دما به قدر کافی بالا رود و بتواند گازوئیلی را که به داخل استوانه پاشیده می شود، پس از تراکم محترق کند. میزان پاشیده شدن گازوئیل طوری تنظیم می شود که احتراق تقریباً به طور هم فشار ـــ در حالی که در حین احتراق پیستون به سمت خارج حرکت می کند ـــ انجام گیرد. بقیه چرخه ـــ یعنی ضربه قدرت، خروج گاز از دریچه و ضربه خروج ـــ دقیقاً مثل ماشین بنزینی است. در ماشین دیزلی نیز مانند ماشین بنزینی از اثرهای اتلافی چشم پوشی می شود. توجه کنید که چون در ماشین دیزلی فقط هوا متراکم می شود و در مرحله تراکم سوختی در سیلندر نیست، سوختن در این ماشین ها پیش از موقع اتفاق نمی افتد و لذا می توان نسبت تراکم را تا مقادیر زیادی بالا برد.

شکل روبه رو طرحی از نوع جدید این ماشین ها را نشان می دهد.

نمودار V-P چرخه ماشین های دیزلی چنین است:

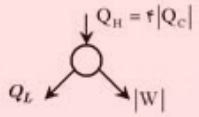


مثال: در یک ماشین گرمایی در هر دقیقه ۱۰ گرم سوخت مصرف می‌شود و گرمای حاصل از سوخت $۱۸۰\frac{Kj}{gr}$ است. اگر ۵۰ درصد از گرمای حاصل از سوخت مورد استفاده قرار گیرد و توان خروجی موتور ۶ Kw باشد بازده گرمایی موتور چند درصد است؟

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}=\frac{P\cdot t}{\frac{۵۰}{۱۰۰}Q_f}=\frac{۶۰۰۰\times ۶۰}{\frac{۵۰}{۱۰۰}\times ۱۸۰۰۰\frac{j}{gr}\times ۱۰gr}=\frac{۳۶۰۰۰۰}{۹۰۰۰۰}\quad \eta=۴۰\%$$

مثال:

بازده نمودار مقابل را به دست اورید.



$$\eta=\frac{|W|}{Q_L}=\frac{Q_H-|Q_C|}{Q_H}=\frac{۴|Q_C|-|Q_C|}{۴|Q_C|}=\frac{۳|Q_C|}{۴|Q_C|}$$

مثال: اگر در یک ماشین حرارتی، ۲۵ درصد از گرمایی که از چشمه گرم گرفته می‌شود به کار تبدیل گردد کار انجام شده توسط این ماشین در هر چرخه چند ژول است به شرطی که در هر چرخه ۳۰۰ ژول گرما به چشمه سرد داده شود؟

$$\eta=\frac{|W|}{Q_L}=\frac{|W|}{|W|+|Q_C|}\Rightarrow\frac{۲۵}{۱۰۰}=\frac{|W|}{|W|+۳۰۰}\Rightarrow ۴|W|=|W|+۳۰۰$$

$$۳|W|=۳۰۰\Rightarrow |W|=۱۰۰j$$

یک ماشین گرمایی آرمانی در هر چرخه ۴/۰ kJ گرما از منبع گرم دریافت می کند و ۲/۴ kJ گرما به منبع سرد می دهد .

الف) در هر چرخه چقدر کار روی محیط انجام می شو د؟

ب) بازده این ماشین چقدر است ؟

پاسخ: الف)

$$|W|=Q_H-|Q_C|$$

$$|W|=۴/۰kJ-۲/۴kJ=۱/۶kJ$$

ب)

$$\eta=\frac{|W|}{Q_L}$$

$$\eta=\frac{۱/۶kJ}{۴/۰KJ}=۰/۴۰$$

بنابراین در این ماشین گرمایی ۶۰درصد از گرمای دریافت شده از منبع گرم، به منبع سرد داده شده و تنها ۴۰درصد آن به کار تبدیل شده است.

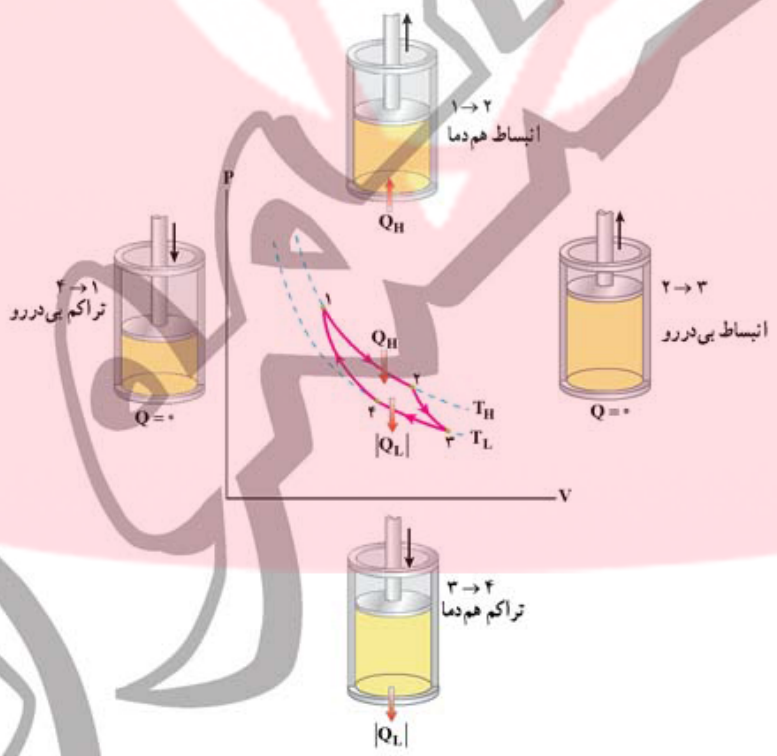
گروه آموزشی عصر
ASR_Group @ outlook.com
@ASRschool2

قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی) :

هیچ یک از ماشین های گرمایی که تاکنون ساخته شده اند، نمی توانند همه گرمای دریافتی را به کار تبدیل کنند.
به عبارت دیگر: ممکن نیست دستگاه چرخه ای را بپیماید که در طی آن مقداری گرما را از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند .
بیان بالا، قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نامیده می شو د؛
یعنی ممکن نیست بازده یک ماشین گرمایی برابر یک ۱۰۰(درصد) شو د.
توجه داریم که، اگر در چرخه یک ماشین گرمایی، تمام گرمای گرفته شده از منبع گرم به کار تبدیل شود، قانون اوّل ترمودینامیک نقض نمی شود؛ اما براساس قانون دوم ترمودینامیک امکان طراحی و ساخت ماشینی که این تبدیل را انجام دهد، غیرممکن است. اگر قانون دوم ترمودینامیک بر فرایندهای ترمودینامیک حاکم نبود، می توانستیم قطاری بسازیم که از هوا گرما بگیرد (هوا را سرد کند) و با تبدیل کامل آن به کار حرکت کند، یانیروگا هی در کنار دریا بسازیم که با سرد کردن آب دریا انرژی الکتریکی تولید کند.

ماشین وچرخه کارنو:

همانطور که در قانون دوم ترمودینامیک مشاهده کردیم امکان ندارد که بازده یک ماشین گرمایی ۱۰۰٪ باشد، حال برای ما مهم است که حال که نمی‌توانیم بازده ۱۰۰٪ داشته باشیم تا آن‌جا که ممکن است بازده را بالا ببریم. کارنو بیشترین بازده یک ماشین گرمایی را مشخص کرده است. کارنو ثابت کرده است یک ماشین گرمایی که بین دو منبع گرمایی، منبع گرم با دمای T_H و منبع سرد با دمای T_C کار می‌کند در صورتی حداکثر بازده را خواهد داشت که از چرخه‌ی کارنو تبعیت کند.



۱ــ گاز در دمای T_H انبساط هم‌دما می‌یابد و گرمای Q_H را از منبع گرم می‌گیرد (۲←۱).
۲ــ گاز به‌طور بی‌دررو منبسط می‌شود و دمای آن تا T_C کاهش می‌یابد (۳←۲).
۳ــ گاز در دمای T_C به‌طور هم‌دما متراکم می‌شود و گرمای $|Q_C|$ را به منبع سرد می‌دهد (۴←۳).
۴ــ گاز به طور بی دررو متراکم می شود، دمای آن تا T_H افزایش می یابد و به حالت اول باز می گردد. ۱←۴

محاسبه نشان می دهد که بازده ماشین کارنو از رابطه زیر به دست می آید:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} \qquad \text{یا} \qquad \eta_{max} = ۱ - \frac{T_L}{T_H}$$

که در آن T_L و T_H برحسب کلوین است .

همان طور که می بینید بازده ماشین کارنو به جنس مادّه ای که چرخه را می پیماید بستگی ندارد و تنها به دمای دو منبع با دمای بالا وپایین که ماشین بین آن دو کار می کند وابسته است بنا به قضیهٔ کارنو، بازدهٔ یک ماشین گرمایی که بین دو منبع با دماهای T_H و T_L کار می کند هرگز نمی تواند بیشتر از بازدهٔ ماشین کارنویی باشد که بین همین دو منبع کار می کند ؛ یعنی برای هر ماشین گرمایی ($\eta \leq \eta_{\text{کارنو}}$) است.

بازده ماشین گرمایی به کمک تعریف بازده به صورت زیر خواهد بود

$$\eta_{max} = \frac{|W|_{\text{کارنو}}}{Q_{H\,\text{کارنو}}} = ۱ - \frac{|Q_L|_{\text{کارنو}}}{Q_{H\,\text{کارنو}}}$$

مثال:

یک ماشین گرمایی در یک چرخه کارنو میان دو چشمه با دماهای ۳۰۰و۹۰۰کلوین کار می کند ماشین در هر چرخه از چشمه گرم ۱۲۰۰۰ژول انرژی می گیرد . این ماشین در هر چرخه چند ژول کار انجام داده است؟

$$\eta_{max} = ۱ - \frac{T_C}{T_H} = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow ۱ - \frac{۳۰۰}{۹۰۰} = \frac{|W|}{۱۲۰۰۰} \Rightarrow \frac{۲}{۳} = \frac{|W|}{۱۲۰۰۰} \Rightarrow |W| = ۸۰۰۰j$$

یک ماشین گرمایی درون سوز در هر چرخه ۸۰۰۰J گرما از سوزاندن سوخت دریافت می کند و ۲۰۰۰Jکار تحویل می دهد. گرمای حاصل از سوخت ۵۰۰۰۰J/g است و ماشین در هر ثانیه ۴۰چرخه را می پیماید.

با فرض آرمانی بودن ماشین، کمیت های زیر را حساب کنید الف) بازده ماشین ب) گرمای تلف شده در هر چرخه پ) سوخت مصرف شده در هر چرخه ت)توان ماشین.

الف(برای بازده ماشین داریم :

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۲۰۰۰J}{۸۰۰۰J} = ۰/۲۵$$

پس بازده ۲۵٪ است

ب)

که آن را با استفاده از قانون اول ترمودینامیک نیز می توانستیم به دست آوریم:

$$|Q_C| = (۱ - \eta)\, Q_H = (۱ - ۰/۲۵)\,(۸۰۰۰) \qquad ۶۰۰۰J$$

$$|Q_C| = Q_H - W = ۸۰۰۰J - ۲۰۰۰J = ۶۰۰۰J$$

پ) مقدار سوخت مصرف شده در هر چرخه چنین می شود:

$$W = |Q_H| - Q_C = (۱/۳\times۱۰^{۵}J) - (۹/۰\times۱۰^{۴}J) = ۴/۰\times۱۰^{۴}J$$

بنابراین، توان چنین می شود:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۴/۰\times۱۰^{۴}J}{۶۰S} + ۶/۶\times۱۰^{۲}W$$

ب) ضریب عملکرد برابر است با:

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{۹/۰\times۱۰^{۴}J}{۴/۰\times۱۰^{۴}J} = ۱/۲$$

یخچال:

وسیله ای است که با استفاده از کار، گرما را از منبعی سرد می گیرد و به منبعی گرم می دهد. در یخچال نیز مانند ماشین های گرمایی یک چرخه ترمودینامیکی طی می شود.

در یخچال مجموعه ی فرایند ها عکس فرایند ها در ماشین گرمایی است. به عنوان مثال چرخه در ماشین های گرمایی ساعت گرد ولی در یخچال پاد ساعت گرد است. نمودار کلی یخچال مطابق شکل زیر است. یخچال نیز مانند ماشین گرمایی از چرخه پیروی می کند. چرخه ی یخچال پاد ساعت گرد است.

منبع سرد در یخچال همان محیط داخل یخچال است و منبع گرم محیط بیرون (مثلاً آشپزخانه) .

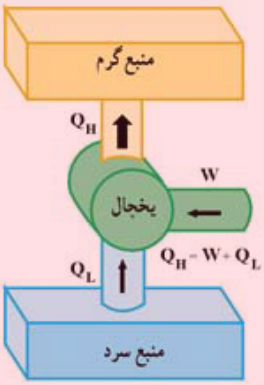
در یخچال گرما از منبع سرد گرفته می شود ($Q_C > 0$) گرما به منبع گرم داده می شود($Q_H < 0$)

تغییر انرژی درونی دستگاه در هر چرخه صفر است($\Delta U = 0$). از طرفی Q شامل دو جمله Q_H و Q_L است. پس می توان نوشت:

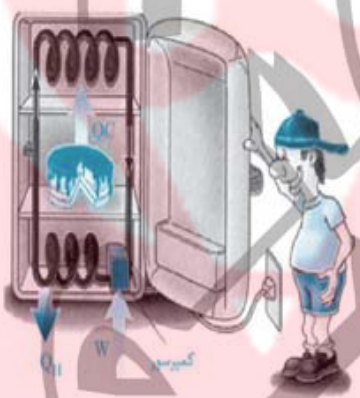
$$0 = Q_H + Q_C + W$$

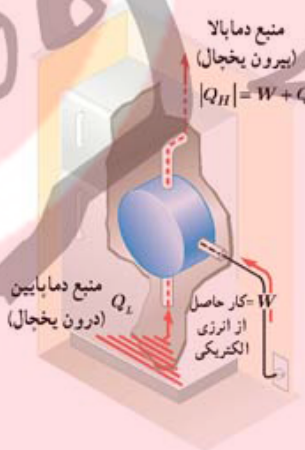
در این رابطه، Q_H منفی و Q_L و W مثبت است. بنابراین:

$$|Q_H| = W + Q_C$$



طرز کار یخچال آرمانی





یخچال های خانگی، کولرهای گازی و تلمبه های گرمایی نمونه هایی از یخچال ها هستند؛ مثلاً در یخچال خانگی انرژی الکتریکی سبب انجام کار W توسط کمپرسور)متراکم کننده(می شود، گرمای Q_L از هوا و مواد داخل یخچال گرفته می شود و گرمای Q_H به هوای بیرون یخچال داده می شود طرز کار کولر گازی‌نیز شبیه یخچال خانگی است، با این تفاوت که

در کولر گازی منبع دماپایین،هوا و اجسام داخل اتاق و منبع دماباالا، هوای بیرون اتاق است

ضریب عملکرد: عبارت است از نسبت گرمایی که از داخل یخچال گرفته می شود به کاری که موتورانجام می دهد:

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

هرچه ضریب عملکرد یخچال بیشتر باشد، استفاده از آن مقرون به صرفه تر است .

ضریب عملکرد یخچال های خانگی در حدود ۵ و کولرهای گازی در حدود ۵/۲ است .

ضریب عملکرد یخچالی که در آن فرایندها آرمانی است، از رابطه زیر به دست می آید:

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

یخچال آرمانی

مانند ماشین های گرمایی که بازده آنها حدّ بالایی دارد، برای ضریب عملکرد یخچال ها نیز حدّ بالایی وجود دارد. به این حدّ بالا، ضریب عملکرد یخچال کارنو گفته می شود و نشان داده می شود که از رابطه زیر به دست می آید.

$$K_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

یخچال کارنو

در این رابطه T_L و T_H به ترتیب، دمای منبع های دماپایین و دماباالا برحسب کلوین است.

نمودار طرز کار یخچال خانگی:

قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی:

هیچ ماشین گرمایی نمی توان ساخت که بازده آن صد در صد باشد، یعنی تمام گرمایی را که از منبع گرم می گیرد به کار تبدیل کند.

قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی:

هیچ یخچالی وجود ندارد که بدون انجام کار، گرما را از محیط سرد بگیرد و به محیط گرم بدهد.

دو بیان فوق به یک معنی هستند. یعنی اگر بتوانیم ماشین گرمایی بسازیم که بازده آن صد در صد باشد، با اتصال آن به یک یخچال به عنوان موتور، یخچالی ساخته ایم که بدون انجام کار خارجی، گرما را از محیط سرد می گیرد و به محیط گرم می دهد.

مثال : توان یک یخچال ۲۵۰وات و ضریب عملکرد آن ۴ است. چه مدت طول می کشد تا در این یخچال ۱ کیلوگرم آب ۲۵ درجه ی سلسیوس به آب ۱۵ تبدیل کند؟

$$Q = mc\Delta\theta = 1 \times 4200 \times 10 = 42000J$$

پاسخ:

$$K = \frac{Q_C}{W} \Rightarrow Pt = \frac{Q_C}{K} \Rightarrow 1000t = \frac{42000}{4} \Rightarrow t = 42s$$

مثال:

ضریب عملکرد یک یخ ساز (فریزر) $K = ۴/۰$ است. این یخ ساز در هر ساعت، $۱/۵kg$آب با دمای $\theta۱ = ۲۰^oC$ را به یخ با دمای $\theta۲ = -۱۰^oC$ تبدیل می کند .

الف) چه مقدار گرما در هر ساعت باید از آب گرفته شو د؟

ب) یخ ساز در هر ساعت چه مقدار انرژی الکتریکی مصرف می کند ؟

پ) چه مقدار گرما در هر ساعت به بیرون داده می شود؟

$C_{آ} = ۴/۲ \times ۱۰^۳ J/kg.K$ ، $C_{ی} = ۲/۱ \times ۱۰^۳ J/kg.K$ و $L_f = ۳/۳ \times ۱۰^۵ J/kg$

الف) توجه کنید که برای تبدیل آب با دمای ۲۰^oCبه یخ با دمای -۱۰^oC - چه فرایندهایی طی می شود:

یخ-۱۰^oC ← یخ ۰^oC ← آب۰^oC ← آب۲۰^oC بنابراین، مقدار گرمایی که در هر ساعت باید از آب گرفته

$$Q_C = |Q| = mc_{آ}\Delta\theta + mL_f + mc_{ی}\Delta\theta' \rightarrow$$

$$(۱/۵kg)(۴/۲ \times ۱۰^۳ J/kg.K)(۲۰K) + (۱/۵kg)(۳/۳ \times ۱۰^۵ J/kg) + ۱/۵kg)(۲/۱ \times ۱۰^۳ J/kg.K)(۱۰K) = ۶/۵ \times ۱۰^۵ J$$

ب)

$$K = \frac{Q_C}{W} \rightarrow W = \frac{Q_C}{K} = \frac{۶/۵ \times ۱۰^۵ J}{۴}$$

پ) از قانون اوّل ترمودینامیک داریم:

$$|Q_H| = Q_C + W = ۶/۵ \times ۱۰^۵J + ۱/۶ \times ۱۰^۵J = ۱۰^۵J \times ۸/۱$$

مثال:

برای این که در یک ماشین گرمایی، گرما بتواند شارش کند،

الف) دستگاه باید حداقل با چند منبع در تماس‌باشد؟

ب) دمای منبع ها را مقایسه کنید.

پاسخ: همه ی ماشین های گرمایی بین دو منبع گرما با دماهای متفاوت کار می کنند و این اختلاف دما سبب‌شارش گرما می شود.

مثال:

فکر می کنید در چه مناطقی و با چه ویژگی هایی می توان ماشین گرمایی بدون مصرف سوخت طراحی کرد؟ یعنی فقط از انرژی طبیعت‌استفاده کرد.

پاسخ: ۱)مناطقی که انرژی زمین گرمایی آن ها نسبتاً زیاد است مثلاً در نزدیکی محل آتش فشان و... در این مناطق دمای زیر سطح زمین‌بسیار بیشتر از دمای سطح زمین است دو چشمه ی گرم و سرد

۲)چشمه های آب گرم که دمای آن بیشتر از دمای اطرافآ ن هاست.

۳ استفاده از اختلاف دمای بین لایه های مختلف آب دریا

پرسش: آیا می توان با باز گذاشتن در یخچال در آشپزخانه، هوای آشپزخانه را خنک کرد؟

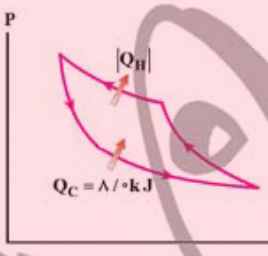
پاسخ: اگر در یخچال باز باشد، در هر چرخه، گرمای Q_Lاز آشپزخانه گرفته می شود و گرمای Q_Hبه آن داده‌می شود. با توجه به این که $|Q_H| = Q_L + W$ است، $|Q_H| > Q_L$ است و آشپزخانه به تدریج گرم می شود.

پرسش: از نظر اقتصادی بهترین یخچال، چه یخچالی است؟

پاسخ: یخچالی که با انجام کار کمتر(صرف انرژی الکتریکی کمتر)گرمای بیشتری را از یخچال(منبع سرد)به بیرون منتقل کند.

فرض کنید نمودار P-V ی چرخه ای که دستگاه در یک یخچال فرضی طی می کند، به صورت شکل روبه رو است .

اگر دستگاه در هر چرخه ۸/۰kJ گرما از منبع سرد بگیرد و مساحت داخل چرخه۲/۰kJ باشد ،



الف) این یخچال در هر چرخه چه مقدار گرما به محیط می دهد ؟

ب) ضریب عملکرد آن چقدر است؟

الف)

$$|Q_H| = W + Q_C$$
$$= ۲/۰kJ + ۸/۰kJ = ۱۰kJ$$

ب)

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{۸/۰kJ}{۲/۰kJ} = ۴/۰$$

یک کولر گازی در هر دقیقه $۹/۰ \times ۱۰^۴J$گرما از اتاق می‌گیرد و در همان مدت، $۱/۳ \times ۱۰^۵J$گرما به فضای بیرون می‌دهد.

الف) توان مصرفی این کولر چند وات است؟

ب) ضریب عملکرد آن چند است؟

$$|Q_H| = W + Q_C \qquad W = |Q_H| - Q_C = (۱/۳ \times ۱۰^۵J) - (۹/۰ \times ۱۰^۴J) = ۴/۰ \times ۱۰^۴J$$

بنابراین، توان چنین می‌شود :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۴/۰ \times ۱۰^۴J}{۶۰S} + ۶/۶ \times ۱۰^۲W$$

ب) ضریب عملکرد برابر است با :

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{۹/۰ \times ۱۰^۴J}{۴/۰ \times ۱۰^۴J} = ۱/۲$$