

آکادمی کنکور دانشگاه تهرانی ها

آدرس:

تهران-میدان انقلاب- ابتدای خیابان آزادی
خیابان نوفلاح - جنب ایستگاه اتوبوس های انقلاب -

پلاک ۶۲

شماره تلفن:

۰۲۱-۶۶۱۳۵۵۳۴

۰۲۱-۶۶۱۳۵۴۴۸

کلاس کنکور

مشاوره

جزوه و کتاب

اولین

موسسه

کنکوری

کشور

با کادر

رتبه های

تک رقیمی

و دو رقیمی

برای رتبه برتر شدن باید از رتبه برتر ها یاری خواست

Daneshgahtehraniha.com

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

فصل اول:

ترمودینامیک

👉 تعریف علم ترمودینامیک:

از لحاظ لغوی به معنای قدرت ناشی از حرارت و یا قدرت حرارت است.

👉 موضوع علم ترمودینامیک:

علمی است که با تبدیل انواع انرژیها از نوعی به نوع دیگر سروکار دارد و کشف و بیان قوانین حاکم بر این تبدیلات و به خصوص بررسی قوانینی که بتوان گرما را به انرژی مکانیکی تبدیل کرد.

👉 ماشین گرمایی: در این فصل با وسایلی همچون ماشین گرمایی و یخچال آشنا می شویم.

ماشین گرمایی وسیله ای است که گرما را به انرژی مکانیکی (کار) تبدیل می کند.

👉 دستگاه (یا سیستم) ترمودینامیکی

بخش خاصی از جهان که برای مطالعه انتخاب می کنیم (می توانیم توسط مرزی آن را مشخص کنیم)

به عبارت دیگر مقدار معینی ماده که از جهان جدا کرده و مورد مطالعه قرار می دهیم معمولاً دستگاه یا سیستم محدوده ای از فضا است که هیچ جرمی به آن وارد و یا از آن خارج نگردد. دستگاه می تواند توسط سطحی یا مرزی واقعی یا ذهنی از اجسام و مواد اطراف خود جدا شود. برای درک بهتر دستگاه به مثال زیر دقت کنید:

اگر مقداری گاز در ظرفی محبوس باشد می توان گاز را به عنوان دستگاه و جداره های ظرف را سطح و مرز واقعی در نظر گرفت. و یا دستگاه می تواند جو و اتمسفر اطراف زمین باشد که توسط یک مرز وسطی فرضی از جهان اطرافش جدا شود دستگاه می تواند به صورت جامد، مایع و یا گاز باشد ولی در این فصل بیشتر ماده ای دستگاه مورد بررسی گاز و در برخی موارد مایع است.

👉 محیط:

فضا و اجسام اطراف و پیرامون دستگاه که بر روی دستگاه تأثیر می گذارد. (به دو صورت کار و گرما مبادله انرژی می کند)

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

به عنوان مثال یک سیلندر پیستون محتوی مقداری گاز که به وسیله شعله‌ای به آن گرما می‌دهیم را در نظر بگیرید، می‌توان گاز درون سیلندر را به عنوان دستگاه و شعله را به عنوان محیط فرض کرد.

نکته ۱:

در ترمودینامیک با معرفی دستگاه و محیط چگونگی تبادل انرژی بین آنها را مطالعه می‌کنیم.

نکته ۲:

دستگاه و محیط ترمودینامیکی با توجه به نوع بررسی انتخاب می‌شوند برای روشن شدن این مطلب به مثال‌های زیر دقت کنید: فرض کنید سنگی در هوا در حال سقوط است، می‌توان سنگ را به عنوان دستگاه و هوا و زمین را به عنوان محیط فرض کرد و در مورد چگونگی تأثیر هوا و زمین بر حرکت سنگ مطالعه کنیم. و یا مقداری مایع درون ظرفی را حرارت می‌دهیم که می‌تواند مایع درون ظرف را دستگاه ترمودینامیکی و منبع حرارت را محیط فرض کرد.

کمیت‌های ماکروسکوپیکی: (کمیت‌های قابل اندازه‌گیری)

کمیت‌هایی که وضعیت کل دستگاه را توصیف می‌کنند. به عبارت دیگر کمیت‌هایی که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند را کمیت‌های ماکروسکوپیکی می‌گوییم. مانند: فشار کل، دما، حجم، چگالی، جرم کل دستگاه، گرمای ویژه و ...

کمیت‌های میکروسکوپیکی: (کمیت‌های غیر قابل اندازه‌گیری)

کمیت‌هایی که وضعیت ذرات را توصیف می‌کند. یعنی به جزئیات رفتار تک تک مولکول‌های ماده درون دستگاه می‌پردازد. مانند: سرعت هر ذره، مکان و یا شتاب هر ذره و ...

نکته ۳:

در ترمودینامیک بیشتر با کمیت‌های ماکروسکوپیکی سر و کار داریم. یعنی علم ترمودینامیکی رفتار ماده را بر حسب کمیت‌های ماکروسکوپیکی توصیف می‌کند.

نکته ۴:

کمیت‌های ماکروسکوپیکی را می‌توان بر حسب کمیت‌های میکروسکوپیکی تعریف کرد. به عنوان مثال فشار یک گاز درون ظرف به کمک برخورد ذرات آن گاز با جداره‌های داخلی ظرف قابل توجیه است. و یا در فیزیک ۲ دیدیم که دما را می‌توان بر حسب میانگین انرژی جنبشی ذرات بیان کرد.

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

👉 حالت یک دستگاه:

مشخصات و پارامترها و شرایط موجود یک دستگاه را حالت آن دستگاه می‌نامیم و مشخصات اصلی یک دستگاه P, V, T می‌باشد. به عبارت دیگر یک دستگاه شامل مقداری گاز با تعیین فشار، حجم و دمای آن کاملاً مشخص می‌شود، این وضع را حالت ترمودینامیکی گویند.

یعنی توصیف یک دستگاه به زبان ترمودینامیکی را حالت دستگاه می‌نامیم. یعنی زمانی که بتوان مشخصات و پارامترهای و شرایط موجود یک دستگاه را شرح دهیم می‌گوییم دستگاه معین است.

👉 متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت‌های ماکروسکوپی که حالت دستگاه را می‌توان بر حسب آنها توصیف کرد.

مانند: فشار، حجم، دما و چگالی و ...

👉 معادله حالت یک دستگاه:

برای یک گاز سه کمیت T, P, V به هم وابسته هستند، رابطه بین این سه کمیت را معادله حالت گاز می‌نامیم.

👉 فرآیند ترمودینامیکی:

تحول و تغییر حالت یک دستگاه ترمودینامیکی از یک حالت به حالت دیگر را فرآیند ترمودینامیکی می‌گوییم.

👉 نمودارهای ترمودینامیکی:

می‌توانیم یک فرآیند ترمودینامیکی را در یک دستگاه مختصات $(V - T)$ و $(P - V)$ و $(P - T)$ نمایش دهیم که در بسیاری از مسایل مفید است.

👉 حالت تعادل یک دستگاه:

وقتی که متغیرهای ترمودینامیکی مثل دما یا فشار گاز در تمام نقاط گاز یکسان باشد گوییم دستگاه در حال تعادل است و تنها در این صورت می‌توان حالت دستگاه را با یک نقطه در دستگاه مختصات ترمودینامیکی نمایش داد.

اگر فشار یا دما در تمام گاز یکسان نباشد، حالت گاز پایدار نیست و مولکول‌ها یا اتم‌ها از مکان‌هایی که فشار یا دما بیشتر است به طرف نقطه‌هایی که فشار یا دما کمتر است حرکت خواهند کرد و این حرکت آن قدر ادامه می‌یابد که فشار و دما در تمام گاز یکسان شود و بدین ترتیب حالت تعادل برقرار می‌شود.

در ترمودینامیک فقط به بررسی وضعیت دستگاه در حالت‌های تعادل می‌پردازیم.

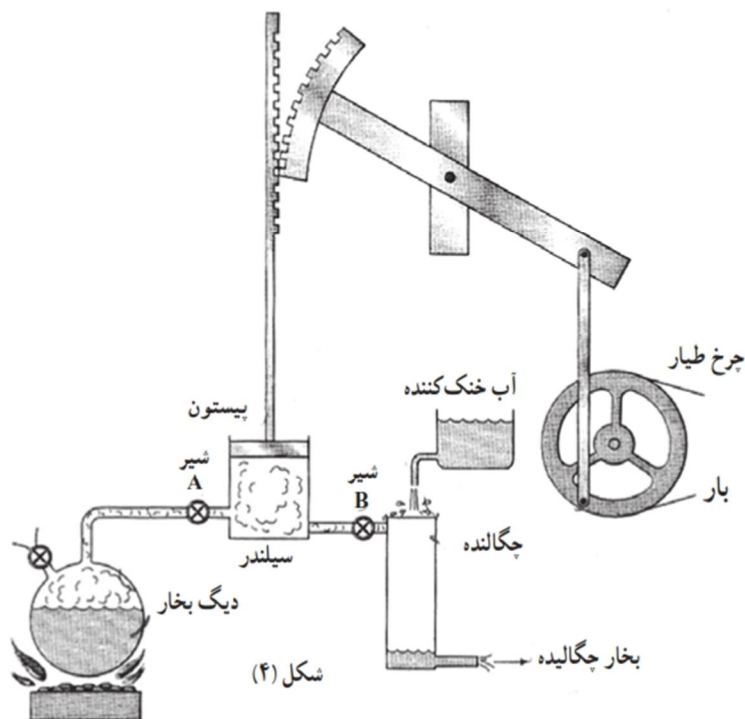
👉 نمودارهای ترمودینامیکی:

هنگامی که دو کمیت از سه کمیت فشار (P) ، دما (T) و حجم (V) معلوم باشند می‌گوییم که حالت دستگاه مشخص است این حالت را می‌توان با یک نقطه در یک دستگاه مختصات دو بعدی $(P - V)$ یا $(V - T)$ یا $(P - T)$ نشان داد که به این دستگاه مختصات، دستگاه مختصات ترمودینامیکی می‌گوییم.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

👉 معادله‌ی حالت:

رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی، معادله‌ی حالت دستگاه نامیده می‌شود.



شکل مقابل طرح کلی از ماشین بخار وات را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، طرز کار این ماشین را توضیح دهید. تفاوت این ماشین با ماشین نیوکامن را شرح دهید (ماشین بخار وات حدود ۵۰ سال بعد از ماشین نیوکامن اختراع شد!).

پاسخ: وقتی که دریچه‌ی A باز شود، بخار با فشار وارد سیلندر می‌شود و پیستون را به بالا می‌راند و همزمان دریچه‌ی B بسته می‌شود؛ وقتی که پیستون در حوالی بالای سیلندر است دریچه‌ی A بسته شده و منبع بخار مسدود می‌شود. سپس دریچه‌ی B باز می‌شود. بنابراین بخار از سیلندر خارج و وارد چگالنده می‌شود. آب جاری چگالنده را همواره سرد نگاه می‌دارد. همان‌طور که بخار سیلندر را ترک می‌کند فشار هوا در آن‌جا کاهش می‌یابد. فشار جو (با کمک حرکت چرخ) پیستون را به پایین می‌راند. وقتی پیستون به ته سیلندر رسید، دریچه‌ی B بسته می‌شود و دریچه‌ی A باز می‌شود و چرخه دوباره تکرار خواهد شد. دریچه‌های A و B به‌طور مستقیم به پیستون وصل‌اند، از این‌رو حرکت پیستون، خود به خود آن‌ها را کنترل می‌کند. تفاوت این ماشین با ماشین نیوکامن در آن است که در ماشین وات، بخار برای سرد شدن و چگالش به محفظه‌ی جداگانه‌ای هدایت می‌شود و این مسأله باعث می‌شود تا در ادامه‌ی چرخه، گرما در پیستون تلف نشود و در مصرف سوخت صرفه‌جویی شود.

👉 فرآیند ترمودینامیکی:

هر گاه متغیرهای ترمودینامیکی یک دستگاه تغییر کند، می‌گوییم دستگاه تحولی را طی کرده و یا تغییر حالت داده است. مثلاً اگر مقداری آب 20°C را در محفظه‌ی یخ ساز یخچال قرار دهیم بعد از مدتی به آب صفر و سپس تبدیل به یخ

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

می شود. در این تحول آب با از دست دادن گرما از یک حالت به حالت دیگری می رود.

چنین تحول هایی که در آنها دستگاه از یک حالت به حالت دیگری می رود، فرآیند ترمودینامیکی نامیده می شود.

👉 فرآیند آرمانی:

گازی را داخل استوانه ای به حجم ثابت V و فشار P_1 و دمای T_1 در نظر بگیرید. اگر گاز در حالت تعادل باشد می توانیم این حالت را با یک نقطه در نمودار $(P - V)$ نمایش داد. اکنون فرض کنید با ثابت ماندن حجم استوانه، مقداری گرما به گاز بدهیم در این صورت تعادل گاز به هم می خورد زیرا دمای گاز در نقاط نزدیک به محل گرما دادن بالا می رود و با دمای نقاط دیگر گاز فرق خواهد داشت. در نتیجه فشار گاز نیز در نقاط مختلف متفاوت است ولی بعد از مدتی گاز دوباره به حالت تعادل جدیدی می رسد مثلاً حالت گاز در ابتدا را با نقطه a و در انتها را با نقطه b نمایش می دهیم. حالت گاز بین a, b را نمی توان در این دستگاه مختصات تعیین کرد. زیرا در بین a تا b حالت های گاز در حال تعادل نمی باشد و در نتیجه فشار آن معین نیست برای آنکه بتوان نمودار ترمودینامیکی فرآیند فوق را رسم کنیم باید تحول و تغییر حالت های گاز آن قدر آهسته انجام شود که در هر لحظه، گاز به حالت تعادل خود بسیار نزدیک باشد و در نتیجه متغیرهای ترمودینامیکی در تمام گاز یکسان و مقدار مشخصی داشته باشد. در این صورت با معلوم بودن متغیرهای ترمودینامیکی می توان همگی مراحل را در نمودارهای ترمودینامیکی نمایش داد.

هر گاه در طول یک فرآیند ترمودینامیکی دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل بماند به آن فرآیند، فرآیند آرمانی می گوئیم و نمودار ترمودینامیکی چنین فرآیندی پیوسته است بنابراین باید فرآیند به آهستگی صورت گیرد.

👉 نکته ۵: در طول این فصل فقط به بررسی فرآیندهای آرمانی می پردازیم.

👉 نکته ۶: برای رسم یک فرآیند ترمودینامیکی در دستگاه های مختصات ترمودینامیکی، باید فرآیند آرمانی باشد.

👉 گاز کامل:

آزمایشات نشان می دهند هنگامی که گازها رقیق اند یعنی چگالی آنها بسیار کم است و ذرات بر یکدیگر نیرویی وارد نمی کنند معادله حالت گاز مستقل از نوع گاز است. که به چنین گازی، گاز کامل می گوئیم.

تعریف میکروسکوپی گاز کامل: گاز کامل گازی است که در آن از برهم کنش بین مولکول های تشکیل دهنده ی گاز صرف نظر می شود.

تعریف ماکروسکوپی گاز کامل: گاز کامل گازی است که چگالی آن بسیار کم باشد.

👉 نکته ۷: اگر گاز کامل باشد، در نتیجه مولکول ها بر هم نیرویی وارد نمی کنند پس طبق رابطه ی کار $(W = F.d.\cos\theta)$ چون نیرویی بین مولکولها نداریم بنابراین کار مولکول ها روی یکدیگر قابل صرف نظر کردن است. بنابراین تغییرات انرژی پتانسیل این گاز ناچیز است پس می توانیم بگوئیم انرژی پتانسیل گاز کامل صفر است بنابراین در گازهای کامل جمله انرژی درونی فقط شامل انرژی جنبشی است.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

👁 معادله‌ی حالت گاز کامل:

هر گاه در چند ظرف نسبتاً بزرگ ولی با حجم‌های متفاوت به طور جداگانه به مول‌های مساوی گازهایی مثل هلیوم (He)، اکسیژن (O_2)، هیدروژن (H_2) و ... بریزیم و دمای تمام آنها را به مقدار یکسان T برسانیم سپس فشار هر یک را اندازه گیری کنیم متوجه می‌شویم نسبت $\frac{PV}{T}$ تمام ظرف‌ها با هم برابر است یعنی اگر گاز بسیار رقیق باشد برای مقدار معینی از آنها $\frac{PV}{T}$ به نوع گاز بستگی ندارد و این نسبت یک مقدار ثابت است که به این نتیجه قانون عمومی گازها می‌گوییم.

قابل اثبات است که برای چنین گازهایی می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$\frac{PV}{T} = \text{مقدار ثابت} \Rightarrow \frac{PV}{T} \propto n \Rightarrow PV = nRT$$

n مقدار گاز بر حسب مول است، R ثابت گازها و برابر $\frac{8.314}{\text{mol.K}}$ ، T دمای گاز بر حسب کلوین، P فشار گاز بر حسب

پاسکال، V حجم گاز بر حسب متر مکعب

بنابراین رابطه‌ی $PV = nRT$ را معادله‌ی حالت گاز کامل می‌نامیم. (هر دو جمله nRT ، $P.V$ باید بر حسب ژول باشند یعنی از جنس انرژی هستند)

👁 نکته ۸: اگر گاز کامل نباشد معادله‌ی حالت آن بسیار پیچیده و وابسته به نوع گاز خواهد بود ولی در طول این فصل در تمام مسائل و تست‌ها گازها را کامل فرض می‌کنیم.

👁 نکته ۹: اگر جرم گاز را با m و جرم مولکولی آن را با M نمایش دهیم مقدار مول گاز برابر است با:

$$n = \frac{m}{M} \quad (M \text{ جرم مولکولی گاز و } m \text{ جرم گاز})$$

که m بر حسب کیلوگرم و M بر حسب کیلوگرم بر مول و n بر حسب مول است.

👁 نکته ۱۰: اگر تعداد ذرات تشکیل دهنده‌ی گاز را با N و عدد آووگادرو را با N_a نمایش دهیم برای n مول گاز داریم:

$$n = \frac{N}{N_a} \quad (N \text{ تعداد مولکول‌های گاز و } N_a = 6.02 \times 10^{23})$$

👁 نکته ۱۱: می‌توانیم معادله‌ی حالت گاز را چنین نیز بنویسیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} PV = nRT \\ n = \frac{N}{N_a} \end{array} \right\} \Rightarrow PV = \left(\frac{R}{N_a} \right) NT$$

که نسبت $\frac{R}{N_a}$ یک مقدار ثابت است و آن را با K نمایش داده و به آن ثابت بولتزمان می‌گوییم و بنابراین داریم:

$$K = \frac{R}{N_a} = \frac{8.314}{6.02 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ (J/molecule.K)} \Rightarrow PV = KNT$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۱۲: از نکته ۱۱ می‌توانیم نتیجه گیری کرد که برای گازهای کامل نسبت $\frac{PV}{T}$ می‌تواند متناسب با مقدار مول‌های گاز باشد و یا می‌تواند متناسب با تعداد مولکول‌های گاز باشد یعنی:

$$\frac{PV}{T} \propto n \rightarrow \text{که در این رابطه ضریب تناسب } R \text{ است:}$$

$$\frac{PV}{T} \propto N \rightarrow \text{که در این رابطه ضریب تناسب } K \text{ است:}$$

نکته ۱۳: در فیزیک سال دوم خواندیم که مفهوم میکروسکوپیکی دما، همان انرژی جنبشی متوسط ذرات جسم است و از طرفی حاصل ضرب $P.V$ نیز از جنس ژول می‌باشد بنابراین معادله‌ی حالت گاز کامل زیر مجموعه‌ای از قانون پایستگی انرژی می‌باشد.

👉 حالات مختلف معادله حالت گاز کامل:

الف) اگر جرم گاز در طی یک فرآیند ترمودینامیکی ثابت باشد برای دو حالت در طی یک فرآیند ترمودینامیکی می‌توانیم چنین

$$\frac{PV}{T} = nR = \text{مقدار ثابت} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{بنویسیم:}$$

👉 قانون شارل گیلوساک: برای مقدار معینی گاز کامل در فشار ثابت حجم گاز با دمای مطلق گاز متناسب است. یعنی:

$$V \propto T \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{اگر فشار ثابت باشد، داریم (فرآیند هم فشار)}$$

اگر حجم ثابت باشد: داریم: در حجم ثابت، فشار مقدار معینی گاز کامل با دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد یعنی:

$$P \propto T \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{(فرآیند هم حجم)}$$

👉 قانون بویل ماریوت: برای مقدار معینی گاز کامل در دمای ثابت حجم گاز با فشار آن نسبت عکس دارد یعنی:

$$P \propto \frac{1}{V} \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{اگر دما ثابت باشد، داریم (فرآیند هم دما)}$$

نکته ۱۴: اگر در طی یک فرآیند هم دما گاز کامل درون یک استوانه با سطح مقطع ثابت باشد می‌توانیم معادله‌ی بویل -

$$V = Ah \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P_1 A h_1 = P_2 A h_2 \Rightarrow P_1 h_1 = P_2 h_2 \quad \text{ماریوت را چنین بنویسیم:}$$

نکته: هر گاه مقداری گاز کامل در طی یک فرآیند ترمودینامیکی از حالت ۱ به حالت ۲ برود و متغیرهای گاز کامل را در

حالت اول با n_1, T_1, V_1, P_1 نمایش دهیم و در حالت دوم با n_2, T_2, V_2, P_2 نمایش دهیم داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 V_1 = n_1 R T_1 \\ P_2 V_2 = n_2 R T_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{T_1}{T_2}$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

هنگام استفاده از این معادله لازم است P_2, P_1 با یک واحد مهم نیست با چه واحدی باشد و V_2, V_1 هر دو با یک واحد ولی T_2, T_1 الزاماً بر حسب کلونین می باشد.

👉 نکته ۱۵: می توانیم در قانونهای بویل ماریوت و شارل گیلوساک تغییرات کمیت ها را وارد کنیم که رابطه های زیر بدست می آید

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{\Delta P}{P_1} = -\frac{\Delta V}{V_2} \text{ و یا } \frac{P_2}{\Delta P} = -\frac{V_1}{\Delta V} \quad \text{قانون بویل - ماریوت:}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta T_{(K)}}{T_1} = \frac{\Delta \theta_{(C)}}{T_1} \quad \text{قانون شارل گیلوساک:}$$

👉 نکته ۱۶: گاهی اوقات در مسایل اشاره به شرایط متعارفی برای یک گاز کامل می شود که یعنی:

در شرایط متعارفی دمای گاز $0^\circ C$ یا $273 K$ و فشار گاز برابر ۱ اتمسفر یا $1.013 \times 10^5 Pa$ و حجم یک مول گاز $22.4 Lit$ می باشد.

👉 رابطه تغییرات چگالی یک گاز در یک فرآیند برای دو حالت:

رابطه ی چگالی گاز کامل با توجه به معادله ی حالت گاز کامل چنین است:

$$\rho = \frac{m}{V} \xrightarrow{PV=nRT \rightarrow V=\frac{nRT}{P}} \rho = \frac{M \cdot P}{R \cdot T} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \rho \propto M \\ \rho \propto P \\ \rho \propto 1/T \end{array} \right.$$

و می توانیم برای حل تست ها که گازها را مقایسه می کنیم چنین بنویسیم:

(الف) $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2}$: اگر یک نوع گاز را در دو حالت مقایسه کنیم

(ب) $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{M_2}{M_1}$: اگر دو نوع گاز را مقایسه کنیم

👉 رابطه دالتون:

هرگاه دو گاز با یکدیگر میل ترکیبی نداشته باشند را مخلوط کنیم. بر اساس قانون بقای جرم می توانیم بنویسیم:

$$n_t = n_1 + n_2 + \dots \Rightarrow \text{برای گاز کامل: } \frac{P_t V_t}{T_t} = \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} + \dots$$

مثال ۱: در ظرفی مقداری گاز نیدروژن در دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار $4 atm$ و حجم $2/8 lit$ وجود دارد. تعداد مولکول های نیدروژن در ظرف را تعیین کنید.

$$M_{H_2} = 2 \frac{g}{mol}$$

$$N_a = 6/02 \times 10^{23} \text{ عدد آووگادرو}$$

$$R = 8/314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

حل:

طبق معادلات حالت گاز کامل داریم:

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{(4 \times 10^5)(2/8 \times 10^{-3})}{(8/314)(273)} \approx 0/494 \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_a} \Rightarrow N = nN_a = 0/494 \times 6/02 \times 10^{23} \Rightarrow N = 2/97388 \times 10^{23}$$

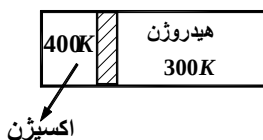
مثال ۲: در ظرفی به حجم ۲ لیتر، گاز ئیدروژن با فشار ۱ اتمسفر و در ظرف دیگری به حجم ۳ لیتر، گاز اکسیژن با فشار ۲ اتمسفر در دمای مساوی موجود است. نسبت تعداد مولکول های اکسیژن به تعداد مولکول های ئیدروژن تقریباً چقدر است؟

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

حل:

$$\left. \begin{array}{l} P_O V_O = n_O R T_O \\ P_H V_H = n_H R T_H \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_O}{P_H} \times \frac{V_O}{V_H} = \frac{n_O}{n_H} \times \frac{T_O}{T_H} \Rightarrow \frac{3}{2} \times \frac{2}{1} = \frac{n_O}{n_H} \times \frac{1}{1} \Rightarrow \frac{n_O}{n_H} = 3$$

مثال ۳: داخل یک استوانه توسط پیستونی عایقی که می تواند در طول آن جابه جا شود به دو بخش تقسیم شده است در یک قسمت اکسیژن در دمای ۴۰۰K و در قسمت دیگر ئیدروژن در دمای ۳۰۰K در حالت تعادل قرار دارند. اگر طول استوانه ۶۵cm و جرم گاز در هر بخش برابر باشند. در این صورت طول بخش اکسیژن چند سانتی متر است؟



$$M_{H_2} = 2 \frac{g}{mol}$$

$$M_{O_2} = 32 \frac{g}{mol}$$

حل:

$$P_O = P_H \Rightarrow \frac{n_O T_O}{V_O} = \frac{n_H T_H}{V_H} \Rightarrow \frac{(\frac{m}{32})(400)}{A \cdot x} = \frac{(\frac{m}{2})(300)}{A(65-x)}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{8x} = \frac{3}{2(65-x)} \Rightarrow 12x = 65 - x \Rightarrow x = 5 \text{ cm}$$

مثال ۴: درون ظرف استوانه ای شکل به شکل قاعده 10 cm^2 مقداری گاز در زیر یک پیستون به جرم 2 kg محبوس و با شرایط محیط به حال تعادل است. بطوریکه ارتفاع پیستون از ته ظرف 30 cm می باشد. اگر وزنه 4 kg را روی پیستون قرار دهیم تغییر مکان پیستون چقدر می شود؟ دما ثابت می ماند. $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$

حل:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P_1 (A h_1) = P_2 (A h_2) \Rightarrow P_1 h_1 = P_2 h_2 \Rightarrow (P_0 + \frac{W_1}{A}) h_1 = (P_0 + \frac{W_1 + W_2}{A}) h_2$$

$$\Rightarrow (10^5 + \frac{20}{10^{-3}}) \times 30 = (10^5 + \frac{60}{10^{-3}}) h_2 \Rightarrow 1/2 \times 30 = 1/6 h_1 \Rightarrow h_2 = 22/5 \text{ cm} \Rightarrow \Delta h = 7/5 \text{ cm}$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

مثال ۵: در مکانی که فشار هوا 72cmHg است، حباب هوایی به حجم 2cm^3 از ته یک استخر به طرف بالا حرکت می کند. حجم این حباب هوا در سطح استخر $2/5\text{cm}^3$ است. درجه حرارت ته استخر 7°C و درجه حرارت سطح استخر 15°C است. عمق آب را

$$\text{حساب کنید. } \rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \rho_{\text{Hg}} = 13/6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

حل:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow P_1 = \frac{280 \times 72 \times 2/5}{288 \times 2} = 87/5 (\text{cmHg}) \Rightarrow \text{ارتفاع جیوه } H = 87/5 - 72 = 15/5 \text{cmHg}$$

$$\rho_{\text{Hg}} H_{\text{Hg}} = \rho_{\text{آب}} h \Rightarrow h = \frac{13/6 \times 0/155}{1} = 2/108 \text{m}$$

انواع تبادل انرژی بین محیط و دستگاه:

تبادل انرژی بین دستگاه و محیط به دو طریق گرما و کار صورت می گیرد هر یک را بررسی می کنیم:

الف) گرما: گرما نوعی انرژی است که به علت اختلاف دما بین دو جسم و یا بین دستگاه و محیط مبادله می شود. و اگر دستگاه از محیط گرما بگیرد علامتش مثبت ($Q > 0$) و اگر دستگاه به محیط گرما بدهد علامت گرما منفی منظور می شود. ($Q < 0$) برای کنترل میزان تبادل گرما بین محیط و دستگاه و همچنین انجام فرآیند به صورت آرمانی معمولاً محیط را یک منبع یا چشمه گرما که به صورت زیر تعریف می شود در نظر می گیریم:

منبع گرما (چشمه گرما): جسمی است که اگر گرما از دست بدهد یا بگیرد، دمای آن بطور قابل ملاحظه ای تغییر نکند. به عنوان مثال هوای یک اتاق برای جای داخل یک استکان را می توان منبع گرما در نظر گرفت و یا اگر یک سوزن را حرارت دهیم و به داخل یک استخر بزرگ حاوی آب بیاندازیم، آب استخر چشمه گرمایی برای سوزن محسوب می شود.

سؤال: آیا منبع گرم باید به اجسام دیگر گرما بدهد یا آنکه می تواند از آنها گرما نیز بگیرد؟

نکته ۱۷: جهت انتقال گرما خود به خودی و به طور طبیعی از جسم با دمای بالا به جسم با دمای پایین می باشد.

نکته ۱۸: هر گاه بین محیط و دستگاه عایق بندی باشد مبادله گرما صفر می شود و فرآیند را بی دررو می نامیم

نکته ۱۹: در انتقال گرما فقط اختلاف دما بین دو جسم که با هم در تماس هستند مهم است و انرژی درونی آنها نقشی ندارد یعنی امکان دارد یک سوزن داغ با انرژی درونی کم به یک دریا با دمای کمتر که انرژی درونی بیشتری دارد گرما بدهد و از انرژی درونی سوزن کاسته و به انرژی درونی دریا افزوده شود.

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

👉 (ب) مبادله کار:

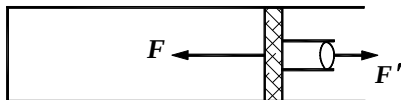
طبق تعریف کار $W = Fd \cos\theta$ که برای یک سیلندر پیستون داریم:

F : نیرویی که از طرف محیط به دستگاه وارد می شود.

F' : نیرویی که از طرف دستگاه به محیط وارد می شود.

W : کاری که محیط روی دستگاه انجام می دهد. (کار نیروی F)

W' : کاری که دستگاه روی محیط انجام می دهد. (کار نیروی F')



$$W = -W'$$

علامت این دو کار قرینه هم است:

📌 نکته ۲۰: کار کمیتی نرده ای بوده و می تواند عددی منفی یا مثبت و یا صفر باشد. و یکای آن در SI بر حسب ژول است. در ترمودینامیک حرکت کل دستگاه ملاک تعریف کار نمی باشد، بلکه کار زمانی انجام می شود که به ذرات دستگاه از طرف محیط نیرو وارد شود و ذرات جابجا شوند در نتیجه اگر حجم دستگاه تغییر کند کار انجام شده است. بنابراین در ترمودینامیک کار به معنای تغییر در انرژی کل دستگاه نمی باشد بلکه کار به معنای تغییر در انرژی درونی دستگاه است بنابراین می توانیم بگوییم: در طی هر فرآیند که حجم دستگاه تغییر کند در آن فرآیند بین دستگاه و محیط کار مبادله شده است ولی هر گاه حجم دستگاه در طی یک فرآیند ثابت بماند، در آن فرآیند مبادله ای کار بین دستگاه و محیط نداریم.

👉 محاسبه ی کار در ترمودینامیک:

مقداری گاز در سیلندر پیستون شکل فوق محبوس است و در این حالت حجم گاز و فشار گاز به ترتیب: P, V است و مجموعه در حال تعادل است یعنی نیرویی که محیط بر دستگاه وارد می کند (F) با نیرویی که دستگاه بر محیط وارد می کند (F') هم اندازه است یعنی $\vec{F} = -\vec{F}'$ با افزایش بسیار جزئی F به اندازه ی ΔF پیستون به سمت چپ می رود و دستگاه به اندازه ی ΔV متراکم شده و پیستون به اندازه ی ΔX جابجا می شود. اگر کار انجام شده در این حالت را ΔW بنامیم داریم:

$$\Delta W = (F + \Delta F) \cdot \Delta X = F \cdot \Delta X + \Delta F \cdot \Delta X$$

برای آنکه فرآیند آرمانی باشد باید $\Delta X, \Delta F$ تا جای ممکن کوچک بوده و به سمت صفر میل کنند بنابراین می توان از جمله ی $\Delta F \cdot \Delta X$ در مقایسه با $F \cdot \Delta X$ صرف نظر کرد و داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta W \approx F \cdot \Delta X \\ F = P \cdot A \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta W \approx P \cdot A \cdot \Delta X \xrightarrow{\Delta X \cdot A = \Delta V} \Delta W = P \cdot \Delta V$$

و چون علامت جابجایی و نیرو هم جهت هستند پس علامت کار مثبت است ولی در رابطه ی بالا ΔV منفی است پس برای آنکه علامت کار نیز درست شود باید رابطه را چنین اصلاح کنیم:

$$\Delta W = -P \cdot \Delta V$$

اگر در این مثال F را کم کنیم پیستون به طرف راست حرکت می کند در نتیجه کار نیروی F منفی و چون $\Delta V > 0$ است علامت کار صحیح بدست می آید.

برای محاسبه ی کار کل باید این جزء کارهای کوچک ΔW را در هر مرحله محاسبه و با هم جمع کنیم یعنی:

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$W_t = \sum \Delta W = - \sum P \cdot \Delta V \quad \text{کار کل}$$

اگر به رابطه دقت کنیم می توان نتیجه گرفت که سطح زیر نمودار $(P - V)$ هر فرآیند برابر اندازه ی کار در آن فرآیند است.

نکته ۲۱: اگر با مفهوم انتگرال آشنا باشید برای یک فرآیند که حجم دستگاه از V_1 به V_2 می رسد کل کار برابر است با:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} dW = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

نکته ۲۲: نیروهای F, F' نیروهای عمل و عکس العمل بوده و این دو نیرو هم اندازه و قرینه هم هستند بنابراین کار آنها نیز

$$W' = -W \quad \text{قرینه هم می باشد اگر کار نیروهای } F, F' \text{ را به ترتیب } W, W' \text{ بنامیم داریم:}$$

که W کار محیط روی دستگاه و W' کار دستگاه روی محیط نامیده می شود.

نکته ۲۳: پس به طور خلاصه علامت کار و گرما را چنین تعیین می کنیم:

۱- علامت گرما: اگر محیط به دستگاه گرما بدهد $Q > 0$ و اگر محیط از دستگاه گرما بگیرد (یا دستگاه به محیط گرما بدهد)

$Q < 0$ و اگر بین محیط و دستگاه مبادله ی گرما نداشته باشیم $Q = 0$ است.

۲- علامت کار: اگر حجم دستگاه کاهش یابد و فرآیند تراکم داشته باشیم $W > 0$ ، $W' < 0$ و اگر حجم دستگاه

افزایش یابد و فرآیند انبساط داشته باشیم $W < 0$ ، $W' > 0$ و اگر حجم دستگاه ثابت بماند $W = W' = 0$ می باشد. یعنی:

$$\begin{cases} \Delta V > 0 \Leftrightarrow W < 0 \\ \Delta V = 0 \Leftrightarrow W = 0 \\ \Delta V < 0 \Leftrightarrow W > 0 \end{cases}$$

تعیین علامت کار در یک فرآیند ترمودینامیکی:

انرژی درونی: مجموع انرژی های مولکول های تشکیل دهنده یک دستگاه را انرژی درونی دستگاه می گوئیم و علامتش U

و یکای آن J است.

(به عبارت دیگر مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل مولکول های یک دستگاه انرژی درونی دستگاه است)

انرژی درونی گاز کامل:

انرژی پتانسیل ذرات گاز کامل تک اتمی را می توان صفر فرض کرد. زیرا گاز کامل ذراتش بر هم نیرویی وارد نمی کنند. بنابراین

داریم:

$$F = 0 \Rightarrow W = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow U_1 = 0, U_2 = 0$$

بنابراین انرژی درونی گاز کامل فقط دارای انرژی جنبشی بوده و انرژی جنبشی نیز متناسب با دما است پس می توان اثبات کرد

که انرژی درونی گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز کامل است.

در طی یک فرآیند ترمودینامیکی که بین دستگاه و محیط مبادله ی کار و گرما داریم و دستگاه از حالت ۱ به حالت ۲ می رود

انرژی درونی آن نیز از U_1 به U_2 تغییر می کند و تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با: $\Delta U = U_2 - U_1$

نکته ۲۴:

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

گازهای کامل را می توان به گازی تک اتمی (مانند Ar, He) و دو اتمی (مانند H_2, O_2, N_2) و سه اتمی و بیشتر (مانند NH_3, CO_2) تقسیم نمود و قابل اثبات است که برای هر یک داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \\ U_2 - U_1 = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1) \end{array} \right\}$$

تغییر انرژی درونی گازهای تک اتمی :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = \frac{5}{2} nR\Delta T \\ U_2 - U_1 = \frac{5}{2} nR(T_2 - T_1) \end{array} \right\}$$

تغییر انرژی درونی گازهای دو اتمی :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = \frac{7}{2} nR\Delta T \\ U_2 - U_1 = \frac{7}{2} nR(T_2 - T_1) \end{array} \right\}$$

تغییر انرژی درونی گازهای سه اتمی و بیشتر:

نکته ۲۵: چون انرژی درونی گاز کامل تابع دمای مطلق گاز است بنابراین هر گاه در طی یک فرآیند دمای گاز تغییر نکند (مانند فرآیند هم دما) تغییرات انرژی درونی گاز صفر است و اگر دما افزایش یابد انرژی درونی افزایش یافته و اگر دما کاهش یابد انرژی درونی نیز کاهش یافته است. یعنی:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T > 0 \Leftrightarrow \Delta U > 0 \\ \Delta T = 0 \Leftrightarrow \Delta U = 0 \\ \Delta T < 0 \Leftrightarrow \Delta U < 0 \end{array} \right\}$$

تعیین علامت تغییرات انرژی درونی گاز کامل به کمک تغییرات دما

مثال ۶: در یک محفظه ۲۰۰ لیتر گاز کامل تک اتمی در دمای $27^\circ C$ و فشار 8 atm موجود است چه مقدار انرژی لازم است تا

دمای گاز داخل استوانه به $87^\circ C$ برسد؟ $R \approx 8 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$

حل:

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{(8 \times 10^5)(200 \times 10^{-3})}{8 \times 300} = \frac{200}{3} \text{ mol}$$

$$U_2 - U_1 = \Delta U = \frac{3}{2} nR(\Delta T) \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \times \frac{200}{3} \times 8(360 - 300) = 48000 \text{ J}$$

مثال ۷: دمای ۵ مول گاز تک اتمی را از $20^\circ C$ به $200^\circ C$ در فشار 1 atm افزایش می دهیم. تغییر انرژی درونی گاز تقریباً چند

کیلوژول خواهد شد؟ $R \approx 8 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$

حل:

$$\Delta T = \Delta \theta = 200 - 20 = 180 \text{ K}$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} \times 5 \times 8 \times 180 = 10800J = 10/8 kJ$$

👉 چرخه:

یک چرخه (یا سیکل) مجموع چند فرآیند ترمودینامیکی است که در پایان چرخه دستگاه، به حالت اولیه خود بر گردد.
 نکته ۲۶: چون در هر چرخه دستگاه به حالت اولیه خود برمی گردد بنابراین $\Delta T = 0$ بوده و در نتیجه تغییرات انرژی درونی دستگاه در طی یک چرخه صفر است یعنی: $\Delta U = 0$

👉 قانون اول ترمودینامیک:

در فیزیک ۱ با قانون پایستگی انرژی آشنا شده اید جهت یادآوری این قانون را بیان می کنیم:
 انرژی یک جسم هیچ گاه از بین نمی رود و خود به خود زیاد نمی شود و همواره پایسته (ثابت) می ماند، مگر این که مقداری از آن را به جسم دیگری بدهد و یا این که از یک جسم دیگر انرژی دریافت کند.
 در ترمودینامیک دستگاه و محیط دو جسمی هستند که با یکدیگر مبادله انرژی به صورت کار و گرما دارند و بنابراین قانون پایستگی انرژی می توان نتیجه گرفت: انرژی درونی یک دستگاه همواره ثابت است مگر آنکه از محیط گرما بگیرد و یا روی دستگاه کار انجام دهد بنابراین قانون اول ترمودینامیک همان بیان قانون پایستگی انرژی در مورد فرآیندهای ترمودینامیکی است که چنین است:

تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با جمع جبری گرمایی که دستگاه دریافت می کند و کاری که بر روی آن انجام شود:
 $\Delta U = W + Q$ (در این رابطه علامت W و Q مهم است. در نکته ۲۳ بیان شده است)

نکته ۲۷: در ترمودینامیک قانونی بدیهی به نام قانون صفرم ترمودینامیک داریم که تعریف آن چنین است:
 اگر دو جسم a, b با جسم سوم c در حالت تعادل گرمایی باشند، آن گاه آنها با یکدیگر در حالت تعادل گرمایی خواهند بود.
 مثال ۱۳: در یک فرآیند ۵۰۰- ژول کار بر روی دستگاه انجام می شود و ۴۰۰ ژول گرما دریافت می کند. تغییر انرژی درونی دستگاه چند ژول است؟

حل:

$$\Delta U = Q + W = 400 + (-500) = -100J$$

مثال ۱۴: در یک فرآیند ترمودینامیکی دستگاه ۲۰۰ ژول کار انجام داده و ۵۰۰ ژول گرما جذب می کند اگر انرژی درونی دستگاه در پایان فرآیند ۱۲۰۰ ژول باشد، انرژی درونی آن در ابتدا چند ژول بوده است؟

حل:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = W + Q \Rightarrow 1200 - U_1 = -200 + 500 \Rightarrow U_1 = 900J$$

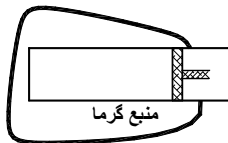
قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

👉 فرآیندهای خاص ترمودینامیکی:

در جهان اطراف ما فرآیندهای مختلفی انجام می شود که محاسبات تغییر انرژی درونی و کار و گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط نیاز به ریاضی پیشرفته دارد. ولی می توان این فرآیندها را با خطا ناچیز به فرآیندهای ایده آل و ساده تر تبدیل و در نتیجه حجم محاسبات بسیار کاهش می یابد چهار نمونه از فرآیندهای ساده در ترمودینامیک که کاربرد وسیعی دارند عبارتند از فرآیند هم حجم، هم فشار، هم دما و بی دررو که در زیر بررسی می کنیم:

👉 الف) فرآیند هم حجم:

حجم گاز در طی فرآیند ثابت است. و چون $\Delta V = 0$ پس $W = 0$ است. پس تبادل انرژی بین محیط و دستگاه فقط به صورت گرما است



برای انجام یک فرآیند هم حجم آرمانی می توان مقداری گاز کامل را در یک سیلندر پیستون که با چشمه ی گرما در تماس است در نظر گرفت و پیستون توانایی

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W_V = 0 \quad \text{جابجایی ندارد بنابراین}$$

برای محاسبه گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط می توان از رابطه ی $Q = mc\Delta T$

که در فیزیک ۲ از آن استفاده می کردیم کمک بگیریم که باید ظرفیت گرمایی ویژه گاز را برای این فرآیند تعریف نماییم.

👉 محاسبه گرما در فرآیند هم حجم:

👉 گرمای ویژه گاز در حجم ثابت:

مقدار گرمایی که در حجم ثابت به $1kg$ یک گاز در حجم ثابت باید داده شود تا دمای $1K$ بالا رود. و آن را با علامت C_V نمایش

$$Q_V = mC_V\Delta T \quad \text{می دهیم و یکای آن در SI بر حسب } J/Kg.K \text{ می باشد و داریم:}$$

ولی برای گازها به جای جرم از مول استفاده می کنیم بنابراین می توانیم چنین بنویسیم:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = n.M \Rightarrow Q = nMC_V.\Delta T$$

که $M.C_V$ را با علامت C_{MV} نمایش می دهیم و به آن ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت می گوئیم و چنین تعریف می شود:

👉 ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت: (C_{MV})

مقدار گرمایی است که در حجم ثابت به یک مول از یک گاز داده می شود تا دمای آن $1K$ بالا رود با علامت C_{MV} نمایش داده و

یکای آن در SI بر حسب $\frac{J}{mol.K}$ است.

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

$$C_{MV} = MC_V$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

آزمایش نشان می دهد برای گازهای کامل C_{MV} به جنس گاز بستگی ندارد. و برای گاز کامل تک اتمی: $C_{MV} = \frac{3R}{2}$ گاز

دو اتمی: $C_{MV} = \frac{5}{2}R$ گاز سه اتمی: $C_{MV} = \frac{7}{2}R$

نکته ۲۸: می توانیم C_{MV} را برای گازهای کامل به صورت رابطه ریاضی زیر خلاصه نماییم:

$$C_{MV} = \frac{(2X+1)}{2}R, \quad 1 \leq X \leq 3$$

که X باری گازهای تک اتمی برابر یک و دواتمی برابر دو و سه اتمی و بیشتر برابر سه است.

نکته ۲۹: برای گاز کامل در فرآیند هم حجم معادله حالت گاز چنین می شود:

$$P = \frac{nRT}{V} \Rightarrow P \propto T \quad \text{یا} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{\Delta T}{T_1}$$

قانون اول ترمودینامیک در فرآیند هم حجم:

$$\begin{cases} \Delta U = W + Q \\ W_V = 0 \end{cases} \Rightarrow \Delta U_V = Q_V$$

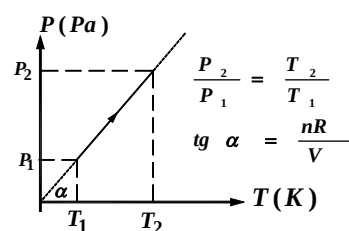
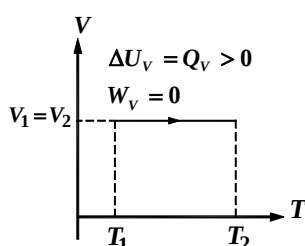
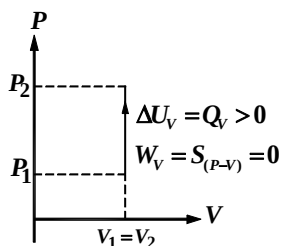
طبق تعریف قانون اول ترمودینامیک داریم:

می توانیم رابطه ی فوق را به صورت دسته بندی نماییم:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_V = 0 \\ \Delta U_V = Q_V = nC_{MV}\Delta T \\ T = \frac{PV}{nR} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} \text{گاز تک اتمی} & C_{MV} = \frac{3}{2}R \Rightarrow \Delta U_V = Q_V = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta P \\ \text{گاز دو اتمی} & C_{MV} = \frac{5}{2}R \Rightarrow \Delta U_V = Q_V = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}V\Delta P \\ \text{گاز سه اتمی} & C_{MV} = \frac{7}{2}R \Rightarrow \Delta U_V = Q_V = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}V\Delta P \end{array} \right.$$

نمودارهای ترمودینامیک در فرآیند هم حجم:

(الف) اگر دستگاه از محیط گرما بگیرد:



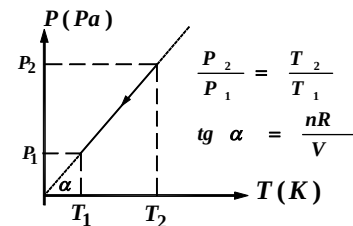
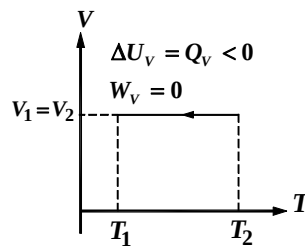
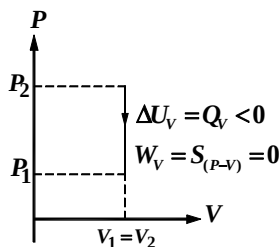
شیب نمودار $(P-T)$ در نمودار فوق برابر با $\frac{nR}{V}$ است.

به جهت فلش ها در نمودار ها خوب دقت نمایید.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۳۰: مساحت زیر نمودار $(P-V)$ با محور V برابر با اندازه‌ی کار مبادله شده بین دستگاه و محیط است که در شکل فوق این مساحت صفر است.

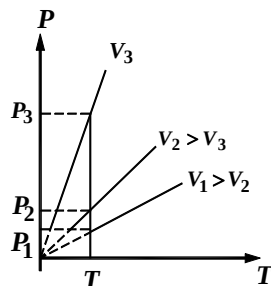
ب) اگر دستگاه به محیط گرما بدهد:



نکته ۳۱: خطوط هم حجم در نمودار $(P-V)$ خطوط قائم و در نمودار $(V-T)$ خطوط افقی و در نمودار $(P-T)$ خطوط مایلی هستند که به مبداء مختصات می‌رسند می‌باشند.

نکته ۳۲:

برای گاز کامل داریم:



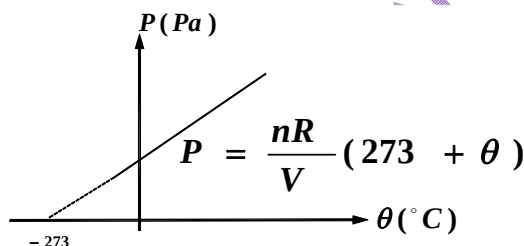
$$P = \left(\frac{nR}{V}\right)T$$

پس شیب نمودار $(P-T)$ برابر است با $\frac{nR}{V}$ است. بنابراین اگر فرآیند در حجم کمتر صورت گیرد شیب نمودار بیشتر است. یعنی:

$$(P \propto \frac{1}{V})$$

$$T_1 = T_2 = T_3$$

$$\text{اگر } V_1 > V_2 > V_3 \Rightarrow P_1 < P_2 < P_3$$



نکته ۳۳: اگر نمودار $(P-T)$ بجای دمای مطلق دمای بر

حسب سلسیوس شود مطابق شکل مقابل می‌شود:

مثال ۱۵: ۲۰۰ ژول گرما در حجم ثابت به ۰/۰۲ مول از گازی داده شده و دمای گاز را 20°C بالا برده است. ظرفیت گرمایی

مولی در حجم ثابت این گاز چند $\frac{J}{\text{mol.K}}$ است؟

حل:

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$Q_V = nC_{MV}\Delta T \Rightarrow C_{MV} = \frac{200}{0.02 \times 20} = 500 \frac{J}{mol.K}$$

مثال ۱۶: چه مقدار گرما لازم است تا دمای ۲ مول گاز اکسیژن در حجم ثابت به اندازه $10^\circ C$ افزایش یابد؟

$$C_{MV} = 21/1 \frac{J}{mol.K}$$

حل:

$$Q_V = nC_{MV}\Delta T = 2 \times 21/2 \times 10 = 424J$$

مثال ۱۷: مقدار معینی گاز تک اتمی را در حجم ثابت تا دمای $50K$ سرد می کنیم. در این فرآیند $400J$ گرما از گاز خارج می شود.

الف) کار انجام شده بر روی گاز چقدر است؟ ب) تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

حل:

$$\Delta U = W + Q \xrightarrow{W=0} \Delta U = Q = -400J \quad (W=0 \text{ حجم صفر است.})$$

مثال ۱۸: ۲۰ گرم هلیوم در دمای $27^\circ C$ در یک مخزن با حجم ثابت موجود است. چند ژول گرما به آن بدهیم تا فشار این گاز در مخزن دو برابر گردد؟

$$M_{He} = 4 \frac{g}{mol}$$

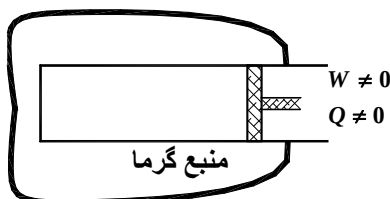
$$R \approx 8 \frac{J}{mol.K}$$

حل:

$$\text{در فرآیند هم حجم: } \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow 2 = \frac{T_2}{300} \Rightarrow T_2 = 600K \Rightarrow \Delta T = 300K$$

$$Q = nC_{MV}\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T, \quad n = \frac{m}{M} = \frac{20}{4} = 5mol \Rightarrow Q \times \frac{3}{2} \times 8 \times 30 \Rightarrow Q = 18000J$$

ب) فرآیند هم فشار (فرآیند ایزوبار):



در طی فرآیند هم فشار ثابت است. پس تبادل انرژی بین دستگاه به دو صورت گرما و کار است. اگر دمای منبع را به آهستگی افزایش دهیم و اصطکاک ناچیز باشد. با افزایش دما حجم زیاد می شود و فشار ثابت می ماند.

برای انجام فرآیند هم فشار باید مقداری گاز کامل مطابق شکل درون سیلندر

پیستونی محبوس باشد و بین پیستون و جداره ی داخلی

سیلندر هیچگونه اصطکاک کی نداشته باشیم و اطراف سیلندر پیستون یک چشمه ی گرمای قابل تنظیم باشد. سپس اندکی دمای چشمه ی گرما افزایش (یا کاهش) یابد و در نتیجه محیط به دستگاه گرما می دهد و در حین گرما دادن پیستون می تواند آزادانه حرکت کند. چون فشار گاز در اثر گرما گرفتن افزایش می یابد و از فشار محیط بیشتر می شود، گاز منبسط می شود، تا این که فشار

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

گاز با فشار محیط برابر شود. در طی این فرآیند گرمایی که محیط به دستگاه می دهد مثبت ولی کاری که محیط بر روی دستگاه انجام می دهد منفی می شود. بنابراین در طی فرآیند هم فشار بین محیط و دستگاه مبادله ی گرما و کار خواهیم داشت.

👉 محاسبه کار در فرآیند هم فشار:

(w' کاری که دستگاه روی محیط انجام می دهد).

$$\begin{cases} W' = F'd \cos \theta = F'd \\ F' = PA \end{cases} \Rightarrow W' = (PA)d = P\Delta V$$

می باشد. $W'_P = -W_P \Rightarrow W_P = -P(V_2 - V_1) = -nR(T_2 - T_1)$

📌 نکته ۳۴:

سطح زیر نمودار ($P-V$) در تمام فرآیندها برابر با قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه است که می توانیم علامت کار را به صورت زیر تعیین کنیم:

$W' > 0$	$W < 0$	$\Delta V > 0$	در فرآیند انبساط:
$W' < 0$	$W > 0$	$\Delta V < 0$	در فرآیند تراکم:

👉 محاسبه گرما در فرآیند هم فشار:

برای محاسبه ی گرما در فرآیند هم فشار لازم است از تعریف زیر کمک بگیریم:

👉 گرمای ویژه یک گاز در فشار ثابت:

مقدار گرمایی که در فشار ثابت به یکای جرم یک گاز باید داده شود تا دمای آن یک کلون بالا رود. و علامت آن C_p بوده و بر

$$Q_p = mC_p \Delta T \quad \text{حسب } \frac{J}{kg.K} \text{ است.}$$

در مورد گازها معمولاً بجای جرم گاز از مول گاز صحبت می شود پس می توانیم رابطه ی فوق را بر حسب مول گاز چنین بنویسیم:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = nM \Rightarrow Q_p = nMC_p \Delta T$$

که کمیت MC_p برای یک گاز مقدار ثابتی است و آن را با C_{MP} نمایش داده و به آن ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت می گوئیم و چنین تعریف میشود:

👉 ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت:

مقدار گرمایی است که در فشار ثابت به یک مول از یک گاز داده می شود تا دمای آن یک کلون بالا رود و با علامت C_{MP} نمایش

$$Q_p = nC_{MP} \Delta T \quad \text{می دهیم و در } SI \text{ بر حسب } \frac{J}{mol.K} \text{ است.}$$

$$C_{MP} = M.C_p$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

آزمایش نشان می دهد برای گازهای کامل C_{MP} به جنس گاز بستگی ندارد و با تقریب خوبی برای گاز تک اتمی: $C_{MP} = \frac{5}{2}R$

برای گاز دو اتمی: $C_{MP} = \frac{7}{2}R$ برای گاز سه اتمی: $C_{MP} = \frac{9}{2}R$ می باشد.

نکته ۳۵: می توانیم C_{MP} را به صورت یک رابطه ی ریاضی چنین بنویسیم:

$$C_{MP} = \frac{(2X+1)}{2}R, \quad 2 \leq X \leq 4$$

که X برای گازهای تک اتمی برابر دو و برای دو اتمی برابر سه و برای سه اتمی و بیشتر برابر چهار می باشد.

نکته ۳۶: در فرآیند هم فشار برای یک دستگاه حجم با دمای مطلق آن متناسب است یعنی:

$$V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow V \propto T \quad \text{یا} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta T}{T_1} \quad (\text{قانون شارل-گیلوساک})$$

قانون اول ترمودینامیک در فرآیند هم فشار:

در فرآیند هم فشار مبادله ی انرژی به هر دو صورت کار و گرما می باشد بنابراین قانون اول ترمودینامیک چنین می شود:

$$\begin{cases} \Delta U_p = W_p + Q_p \\ W_p = -P\Delta V \\ Q_p = nC_{MP}\Delta T \end{cases} \Rightarrow \Delta U_p = nC_{MP}\Delta T - P\Delta V \xrightarrow{V = \frac{nRT}{P}} \Delta U_p = nC_{MP}\Delta T - nR\Delta T$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{گاز تک اتمی} : C_{MP} = \frac{5}{2}R \Rightarrow \Delta U_p = \frac{5}{2}nR\Delta T - P\Delta V = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}P\Delta V \\ \text{گاز دو اتمی} : C_{MP} = \frac{7}{2}R \Rightarrow \Delta U_p = \frac{7}{2}nR\Delta T - P\Delta V = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V \\ \text{گاز سه اتمی} : C_{MP} = \frac{9}{2}R \Rightarrow \Delta U_p = \frac{9}{2}nR\Delta T - P\Delta V = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}P\Delta V \end{cases}$$

نکته ۳۷: در فرآیند هم فشار اندازه ی و قدر مطلق گرما (Q_p) همواره از اندازه و قدر مطلق کار (W_p) بزرگتر است.

نکته ۳۸: در فرآیند هم فشار گرما و کار همواره غیر هم علامت هستند.

نکته ۳۹: در فرآیند هم فشار علامت ΔU_p با علامت Q_p یکسان و با علامت W_p مخالف است.

نکته ۴۰: در فرآیند هم فشار برای گاز تک اتمی داریم:

$$W_p = -P\Delta V, Q_p = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V = -2.5W_p \Rightarrow \Delta U_p = -1.5W_p, \quad \frac{|Q_p|}{|W_p|} = \frac{5}{2} = 2.5$$

نکته ۴۱: در فرآیند هم فشار برای گاز کامل دو اتمی داریم:

$$W_p = -P\Delta V, Q_p = \frac{7}{2}nR\Delta T = \frac{7}{2}P\Delta V = -3.5W_p \Rightarrow \Delta U_p = -2.5W_p, \quad \frac{|Q_p|}{|W_p|} = \frac{7}{2} = 3.5$$

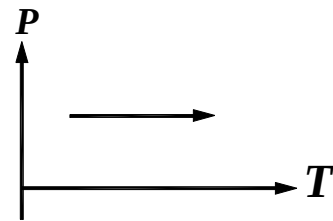
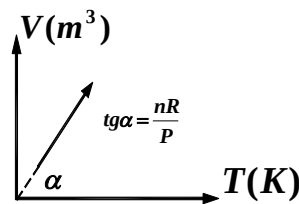
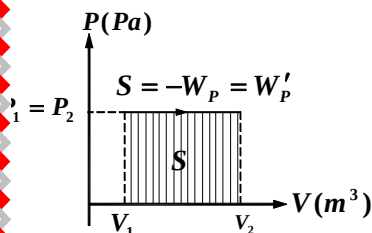
نکته ۴۲: در فرآیند هم فشار برای گاز کامل سه اتمی داریم:

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$W_p = -P\Delta V, Q_p = \frac{9}{2}nR\Delta T = \frac{9}{2}P\Delta V = -4.5W_p \Rightarrow \Delta U_p = -3.5W_p, \left| \frac{Q_p}{W_p} \right| = \frac{9}{2} = 4.5$$

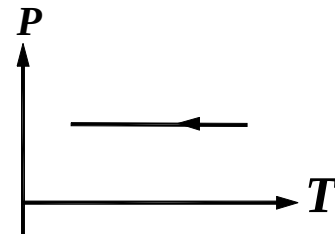
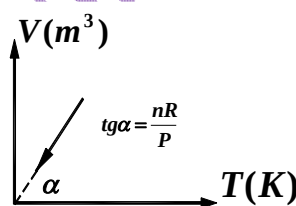
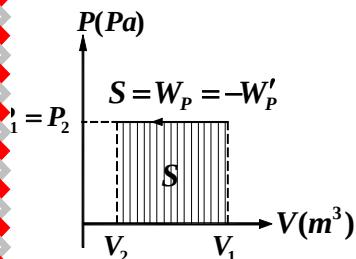
نمودارهای ترمودینامیکی فرآیند هم فشار:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V > 0, \quad \Delta T > 0, \quad \Delta P = 0 \\ W_p < 0, \quad Q_p > 0, \quad \Delta U_p > 0 \end{array} \right\} \quad \text{الف) فرآیند انبساط هم فشار:}$$



شیب نمودار (V-T) برابر با $\frac{nR}{P}$ می باشد.

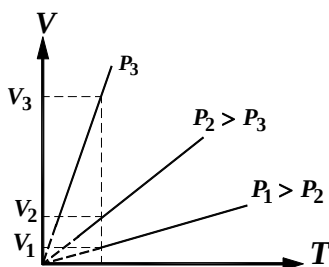
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V < 0, \quad \Delta T < 0, \quad \Delta P = 0 \\ W_p > 0, \quad Q_p < 0, \quad \Delta U_p < 0 \end{array} \right\} \quad \text{الف) فرآیند تراکم هم فشار:}$$



نکته ۴۱: سطح زیر نمودار (P-V) برابر با قدر مطلق کار انجام شده است.

نکته ۴۲: خطوط هم فشار در نمودارهای (P-V) خطوط افقی و در نمودار (P-T) نیز خطوط افقی و در نمودار

(V-T) خطوط مایلی هستند که امتداد آنها به مبدا می رسند.



نکته ۴۳: شیب نمودار (V-T) برابر با $\frac{nR}{P}$ است و هر چه فشار کمتر باشد

شیب نمودار بیشتر است. بنابراین هر گاه سه نمودار مطابق شکل مقابل داشته باشیم هر نمودار که تحول آن در فشار بیشتر رخ دهد شیب نمودار آن کمتر

است و در یک دمای معین داریم:

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$V = \left(\frac{nR}{P}\right)T \quad P_3 < P_2 < P_1 \Rightarrow V_3 > V_2 > V_1$$

مثال ۱۵: ۲۰۰ ژول گرما در حجم ثابت به ۰/۰۲ مول از گازی داده شده و دمای گاز را 20°C بالا برده است. ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت این گاز چند $\frac{J}{\text{mol} \cdot K}$ است؟

حل:

$$Q_V = nC_{MV}\Delta T \Rightarrow C_{MV} = \frac{200}{0.02 \times 20} = 500 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$$

مثال ۱۶: چه مقدار گرما لازم است تا دمای ۲ مول گاز اکسیژن در حجم ثابت به اندازه 10°C افزایش یابد؟

$$C_{MV} = 21/1 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$$

حل:

$$Q_V = nC_{MV}\Delta T = 2 \times 21/2 \times 10 = 424J$$

مثال ۱۷: مقدار معینی گاز تک اتمی را در حجم ثابت تا دمای $50K$ سرد می کنیم. در این فرآیند $400J$ گرما از گاز خارج می شود.

الف) کار انجام شده بر روی گاز چقدر است؟ ب) تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

حل:

$$\Delta U = W + Q \xrightarrow{W=0} \Delta U = Q = -400J \quad (\text{الف } W=0 \text{ ب } W=0 \text{ حجم صفر است.})$$

مثال ۱۸: ۲۰ گرم هلیوم در دمای 27°C در یک مخزن با حجم ثابت موجود است. چند ژول گرما به آن بدهیم تا فشار این گاز در مخزن دو برابر گردد؟

$$M_{He} = 4 \frac{g}{\text{mol}}$$

$$R \approx 8 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$$

حل:

$$\text{در فرآیند هم حجم: } \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow 2 = \frac{T_2}{300} \Rightarrow T_2 = 600K \Rightarrow \Delta T = 300K$$

$$\text{نکته ۴۴: در این فصل بیشتر با } Q = nC_{MV}\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T, \quad n = \frac{m}{M} = \frac{20}{4} = 5\text{mol} \Rightarrow Q \times \frac{3}{2} \times 8 \times 30 \Rightarrow Q = 18000J$$

دستگاه هایی مواجه هستیم که ماده ای آنها گاز کامل است ولی نباید این ذهنیت غلط ایجاد شود که قانون اول ترمودینامیک فقط برای گازهای کامل است بلکه این قانون برای هر ماده ای صحیح است. مانند دو مثال بالا که هنگام انجماد آب یا تبخیر آب می توان آب را یک دستگاه فرض کرد.

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۴۵: اگر مقدار گاز کامل تک اتمی را یک بار طی یک فرآیند هم فشار و بار دیگر طی یک فرآیند هم حجم از دمای T_1 به دمای T_2 برسانیم با توجه به رابطه‌ی گرما در این دو فرآیند می‌توانیم نتیجه‌گیری کنیم که اندازه‌ی گرمای در فرآیند هم فشار از فرآیند هم حجم بزرگتر است.

$$Q_P = \frac{5}{2} nR\Delta T \quad , \quad Q_V = \frac{3}{2} nR\Delta T \quad , \quad |\Delta T_V| = |\Delta T_P| \Rightarrow |Q_P| > |Q_V|$$

نکته ۴۶: برای یک گاز کامل همواره $C_P > C_V$ است زیرا مقدار گرمایی که به گاز در فشار ثابت می‌دهیم تا دمايش به اندازه‌ی ۱ کلوین افزایش یابد بیش‌تر از مقدار گرمایی است که به همین گاز در حجم ثابت برای افزایش دمای ۱ کلوین باید بدهیم. توجه شود که در فرآیند هم حجم، مقدار کار صفر است و تمام گرما صرف تغییر انرژی درونی گاز می‌شود، اما در فرآیند هم فشار، گاز روی محیط کار انجام می‌دهد و بنابراین برای تغییر انرژی درونی یکسان (فراموش نشود که در هر دو فرآیند دما یکسان در نتیجه انرژی درونی یکسان تغییر می‌کند) باید گرمای بیشتری صرف شود و داریم:

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

مثال ۱۹: سه مول گاز کاملی را در فشار ثابت از 27°C تا 127°C گرم می‌کنیم. کاری را که گاز انجام می‌دهد را بدست آورید.

$$R \approx 8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

حل:

اگر کار محیط روی دستگاه را با W نمایش دهیم کار دستگاه روی محیط را با W' نمایش می‌دهیم داریم:

$$W' = P(V_2 - V_1) = (nRT_2 - nRT_1) = nR(T_2 - T_1) = 3 \times 8 \times (127 - 27) = 3 \times 8 \times 100 = 2400 \text{ J}$$

مثال ۲۰: مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای ۲ مول هلیوم از 20°C به 50°C را با استفاده از حالت‌های زیر بدست آورید. الف) فرآیند حجم ثابت ب) فرآیند فشار ثابت

$$C_{MV} = 12/5 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad C_{MP} = 20/8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

حل:

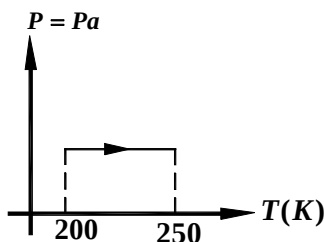
الف) $Q_V = nC_{MV}\Delta T = 2 \times 12/5 \times 30 = 750 \text{ J}$

ب) $Q_P = nC_{MP}\Delta T = 2 \times 20/8 \times 30 = 1248 \text{ J}$

مثال ۲۱: یک مول گاز کامل تک اتمی در فشار ثابت مطابق شکل تغییر دما داده

است. مقدار گرمای حاصل چند ژول است؟ $R = 8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

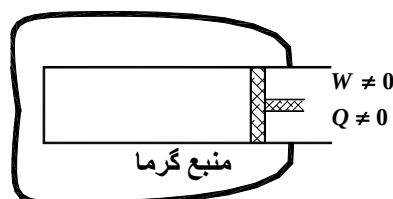
حل:



$$Q_P = nC_{MP}\Delta T = \frac{5}{2} nR\Delta T = \frac{5}{2} \times 1 \times 8 \times 50 \Rightarrow Q_P = 1000 \text{ J}$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

ج) فرآیند هم دما (فرآیند ایزو ترم)



اگر در طی یک تحول ترمودینامیکی دمای دستگاه ثابت بماند، به آن فرآیند هم دما می‌گوییم. برای آنکه دمای دستگاه ثابت بماند باید مطابق شکل دستگاه همواره با یک چشمه گرما در تماس باشد. هر گاه مطابق شکل اندکی گاز را متراکم کنیم دمای گاز در اثر تراکم اندکی بالا می‌رود و از دمای چشمه بیشتر می‌شود، به علت این اختلاف گاز اندکی گرما از دست می‌دهد تا

دمای گاز و چشمه یکسان شود و گاز به دمای اولیه برگردد. اگر متراکم کردن گاز به صورت آرمانی انجام شود، دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل خود باقی می‌ماند و در نتیجه دمای آن ثابت باقی می‌ماند.

قانون اول ترمودینامیک برای فرآیند هم‌دما:

چون در طی فرآیند هم دما $\Delta T = 0$ است پس برای دستگاه شامل گاز کامل که انرژی درونی تابع دمای مطلق گاز است باید

$$\Delta U = 0 \text{ باشد بنابراین داریم: } |W_T| = |Q_T| \quad , \quad \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U_T = 0 \Rightarrow W_T + Q_T = 0 \Rightarrow W_T = -Q_T$$

بنابراین در طی فرآیند هم دما اندازه‌ی کار و گرما برابر و قرینه هستند.

نمودارهای ترمودینامیکی فرآیند هم‌دما:

با استفاده از معادله‌ی حالت گاز کامل $P = \frac{nRT}{V}$ و چون فرآیند هم دما است پس جمله nRT یک مقدار ثابت مانند b است

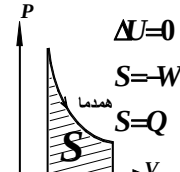
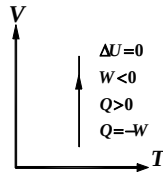
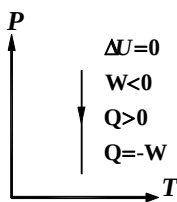
در نتیجه رابطه‌ی بین فشار و حجم به صورت $P = \frac{b}{V}$ است بنابراین نمودار $(P-V)$ در فرآیند هم دما به صورت هموگرافیک است.

$$\left\{ \begin{array}{lll} \Delta V > 0 & , & \Delta P < 0 & , & \Delta T = 0 \\ W_T < 0 & , & Q > 0 & , & \Delta U = 0 \end{array} \right\} \quad \text{الف) نمودارهای انبساط هم دما:}$$

در فرآیند انبساط هم‌دما با افزایش حجم، کاهش فشار داریم و کار منفی و گرما مثبت و سطح زیر نمودار $(P-V)$

برابر با قدر مطلق کار و همچنین گرما است.

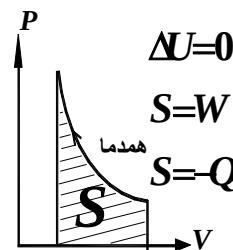
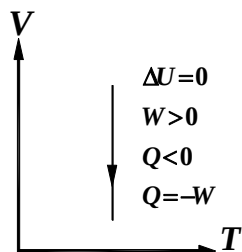
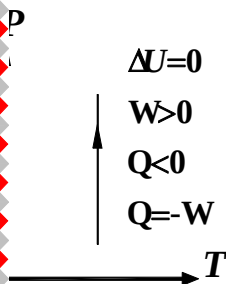
قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V < 0, \quad \Delta P > 0, \quad \Delta T = 0 \\ W_T > 0, \quad Q < 0, \quad \Delta U = 0 \end{array} \right\}$$

(ب) نمودارهای تراکم هم دما:

در فرآیند تراکم همدمای با کاهش حجم، افزایش فشار داریم و کار مثبت و گرما منفی و سطح زیر نمودار $(P-V)$ برابر با قدر مطلق کار و همچنین اندازه‌ی گرما است.



نکته ۴۷: برای انجام فرآیند هم دما باید دستگاه با یک چشمه‌ی گرما با دمای ثابت در تماس باشد و فرآیند به آهستگی انجام شود.

نکته ۴۸: شروع فرآیند هم دما با انجام کار توسط یک عامل خارجی یعنی محیط می‌باشد یعنی شروع فرآیند هم دما الزاماً با تبادل کار است.

نکته ۴۹: چون در فرآیند هم دما، دما ثابت می‌ماند بنابراین برای مقدار معینی گاز کامل فشار گاز با حجم آن نسبت عکس دارد. و معادله حالت گاز کامل برای فرآیند همدمای به صورت زیر می‌شود:

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{(nRT)}{V} \Rightarrow P \propto \frac{1}{V} \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2$$

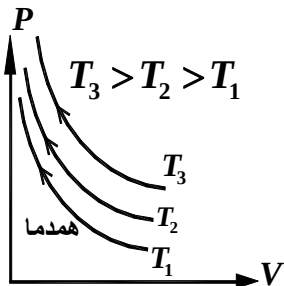
نکته ۵۰: چون انرژی درونی گاز کامل متناسب با دمای مطلق آن است بنابراین برای گاز کامل در فرآیند هم دما تغییرات انرژی درونی صفر است یعنی: $T_1 = T_2 \Rightarrow U_1 = U_2$ ، $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$

نکته ۵۱: در طی فرآیند هم دما برای گاز کامل اندازه کار و گرما برابرند.

نکته ۵۲: در طی فرآیند همدمای برای گاز کامل گرما و کار قرینه هستند یعنی: $Q_T = -W_T$

نکته ۵۳: لازم نیست همیشه برای مبادله‌ی گرما بین دستگاه و محیط در ابتداء اختلاف دما داشته باشیم. همانگونه که می‌بینیم در فرآیند هم دما اگر چه ابتدا و انتها فرآیند دمای دستگاه و محیط برابرند ولی بین آنها تبادل گرما داریم.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



نکته ۵۴: با توجه به معادله حالت گاز کامل که $PV = nRT$ می باشد و چون دما ثابت است در نتیجه nRT یک مقدار ثابت پس نمودار $(P - V)$ هموگرافیک درجهی اول بوده پس هر چه دما فرآیند بیش تر باشد nRT و در نتیجه PV نیز بیشتر شده و سطح زیر نمودار $(P - V)$ بیش تر می شود. یعنی نمودار از مبدا دورتر قرار می گیرد. نمودار $(P - V)$ برای سه دمای مختلف مطابق شکل فوق خواهد بود و $T_3 > T_2 > T_1$ می باشد. در این نمودارها باید به ازای یک حجم

معین از گاز کامل با افزایش دما، فشار بیشتری برای متراکم کردن گاز لازم است.

نکته ۵۵: برای محاسبه کار و گرما در یک فرآیند هم دما برای گاز کامل نیاز به انتگرال گیری داریم که در زیر این محاسبات را انجام می دهیم:

$$P = \frac{nRT}{V}, \quad W_T = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = -nRT [\ln V]_{V_1}^{V_2} \Rightarrow W_T = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

اگر فشار و حجم گاز در حالت ابتدایی و انتهایی معلوم باشد می توان در رابطه ی فوق به جای nRT مقدار PV را قرار دهیم:

$$W_T = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -P_2 V_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

و همچنین می توانیم رابطه ی فوق را بر حسب نسبت فشار ها بنویسیم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \Rightarrow W_T = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -nRT \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

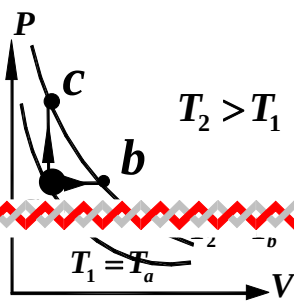
سؤال: آیا می توانید فرآیندی نام ببرید که در آن تغییرات دما صفر باشد ولی تبادل گرما بین دستگاه و محیط صفر نباشد؟

مثال ۲۲: در یک تحول همدمای، بر روی یک گاز کامل دستگاه ۳۰۰ ژول گرما از دست می دهد. کار انجام شده بر روی دستگاه چقدر است؟ حجم گاز چه تغییری کرده است؟

حل:

چون گاز گرما از دست داده است و $W > 0$ است پس حجم گاز کاهش یافته است. $\Delta U = 0 \Rightarrow W = -Q \Rightarrow W = 300J$

نکته ۵۶: خطوط هم دما در نمودارهای $(P - V)$ منحنی هایی به صورت هموگرافیک بوده که یکدیگر را قطع نمی کنند و در دستگاه مختصات $(V - T)$ خطوط قائم بر محور دمای مطلق و در دستگاه مختصات $(P - T)$ نیز خطوط قائم بر محور دمای مطلق می باشند.



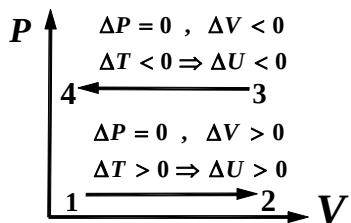
نکته ۵۷: دسته منحنی های هم دما در دستگاه مختصات $(P - V)$ در بسیاری از جاها می تواند به ما کمک کنند به عنوان مثال به شکل مقابل دقت کنید.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

اگر روی مسیر ab حرکت کنیم از دمای T_1 به دمای T_2 رفته ایم بنابراین $\Delta T > 0$ و در نتیجه انرژی درونی $\Delta U > 0$ خواهد بود. و اگر روی مسیر ac حرکت کنیم نیز با افزایش دما، انرژی درونی زیاد می شود.

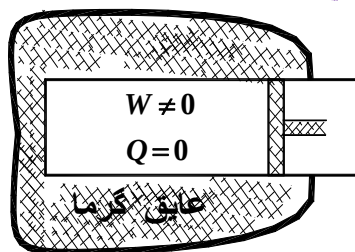
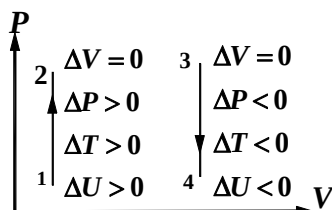
نکته ۵۸: هر گاه در دستگاه مختصات $(P-V)$ روی خط افقی (فرآیند

هم فشار) به سمت راست حرکت کنیم یعنی افزایش حجم داشته باشیم، دما افزایش یافته و در نتیجه برای گاز کامل انرژی درونی نیز زیاد می شود و هر گاه در فرآیند هم فشار ۳ تا ۴ به سمت چپ حرکت کنیم دما و انرژی درونی کاهش می یابد.



نکته ۵۹: هر گاه در دستگاه مختصات $(P-V)$ مطابق شکل روی خط

قائم حرکت کنیم فرآیند هم حجم است و اگر به سمت بالا برویم مانند مسیر ۱ تا ۲ دما و انرژی درونی افزایش می یابد و اگر به سمت پایین برویم مانند مسیر ۳ تا ۴ دما و انرژی درونی کاهش می یابد.

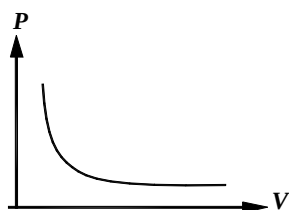


د) فرآیند بی دررو (فرآیند آدیاباتیک):

هر گاه در طی یک فرآیند بین محیط و دستگاه گرمایی مبادله نشود به آن فرآیند بی دررو می گوئیم. فرآیند بی دررو به دو صورت امکان پذیر است.

الف) فرآیند بی دررو طبیعی:

در این فرآیند مطابق شکل روبه رو باید دستگاه نسبت به محیط عایق بندی باشد که در این حالت شروع فرآیند بی دررو فقط با مبادله ی کار بین دستگاه و محیط امکان پذیر است. و اگر به صورت آرمانی انجام شود می توانیم نمودار $(P-V)$



قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

ان را به صورت مقابل رسم کنیم..

(ب) فرآیند بی دررو سرعتی:

در این فرآیند چون سرعت انجام تحول بسیار بالا می باشد بنابراین فرصت مبادله ی گرما بین دستگاه و محیط وجود ندارد بنابراین می توان چنین فرآیندی را به فرآیند بی دررو تشبیه کرد.

☞ قانون اول ترمودینامیک برای فرآیند بی دررو:

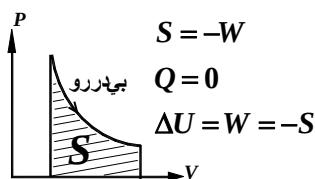
در طی فرآیند بین دستگاه و محیط تبادل گرما نداریم ($Q = 0$) و باید دستگاه عایق بندی باشد.

قانون اول ترمودینامیک در فرآیند بی دررو چنین می شود:

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = W$$

فرآیند بی دررو به دو صورت زیر می باشد که داریم:

الف) فرآیند انبساط بی دررو:

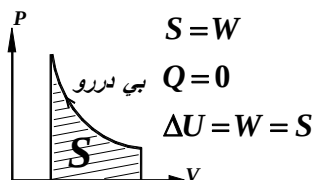


در این فرآیند داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V > 0 \Rightarrow W = \Delta U < 0 \Rightarrow \Delta T < 0 \\ Q = 0, \quad \Delta P < 0 \end{array} \right.$$

در این فرآیند با افزایش حجم، کاهش دما و فشار را داریم.

ب) فرآیند تراکم بی دررو:



در این فرآیند داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta V < 0 \Rightarrow W = \Delta U > 0 \Rightarrow \Delta T > 0 \\ Q = 0, \quad \Delta P > 0 \end{array} \right.$$

در این فرآیند با کاهش حجم، افزایش دما و فشار را داریم.

📌 نکته ۶۰: در فرآیند بی دررو گرمای مبادله شده بین محیط و دستگاه صفر است.

📌 نکته ۶۱: در فرآیند بی دررو چون $Q = 0$ است پس تغییر انرژی درونی گاز کامل با کار مبادله شده بین محیط و دستگاه هم اندازه است.

📌 نکته ۶۲: تنها فرآیندی که بین این چهار فرآیند خاص، کار انجام شده با تغییرات انرژی درونی دستگاه برابر است فرآیند بی دررو است.

📌 نکته ۶۳: در فرآیند بی دررو هر سه کمیت فشار، حجم و دما تغییر می کند.

📌 نکته ۶۴: قانون گازها برای مقدار معینی گاز کامل در فرآیند بی دررو به صورت زیر است:

$$\frac{PV}{T} = \text{یک عدد ثابت} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

📌 نکته ۶۵: به $\frac{C_P}{C_V}$ ضریب اتمیسیته ی گاز کامل می گوئیم و آن را با علامت $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ نمایش داده و قابل اثبات است که در فرآیند

بی دررو معادلات زیر صدق می کنند: $PV^\gamma = \text{یک عدد ثابت}$ و $TV^{(\gamma-1)} = \text{یک عدد ثابت}$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۶۶: برای فرآیند بی دررو در طی یک تحول از نقطه ۱ به نقطه ۲ داریم:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad , \quad T_1 V_1^{(\gamma-1)} = T_2 V_2^{(\gamma-1)}$$

نکته ۶۷: در فرآیند انبساطی بی دررو داریم:

$$V_2 > V_1 , P_2 < P_1 , W < 0 \Rightarrow \Delta U < 0 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow T_2 < T_1$$

بنابراین در فرآیند انبساط بی دررو با افزایش حجم، فشار و دما هر دو کاهش می یابند

نکته ۶۸: در فرآیند تراکم بی دررو داریم:

$$V_2 < V_1 , P_2 > P_1 , W > 0 \Rightarrow \Delta U > 0 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow T_2 > T_1$$

بنابراین در فرآیند تراکم بی دررو با کاهش حجم، فشار و دما هر دو افزایش می یابد.

نکته ۶۹: سطح زیر نمودار $(P-V)$ در فرآیند بی دررو برابر با کار انجام شده

در طی این فرآیند است.

نکته ۷۰: هر گاه یک گاز کامل از دمای T_1 به دمای T_2 برسد می توانیم کار و تغییرات انرژی درونی آن را از روابط زیر

محاسبه کنیم:

$$\Delta U = W = \frac{3}{2} n R \Delta T = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad : \text{ برای گاز کامل تک اتمی در فرآیند بی دررو}$$

$$\Delta U = W = \frac{5}{2} n R \Delta T = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad : \text{ برای گاز کامل دو اتمی در فرآیند بی دررو}$$

$$\Delta U = W = \frac{7}{2} n R \Delta T = \frac{7}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad : \text{ برای گاز کامل سه اتمی در فرآیند بی دررو}$$

سؤال: آیا فرآیندی وجود دارد که در طی آن تغییرات دما داشته باشیم ولی انتقال گرما بین دستگاه و محیط نداشته باشیم؟

مثال ۲۳: در یک تحول بی دررو، ۱۰۰ ژول کار بر روی دستگاه انجام شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چند ژول است؟

حل:

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = W \Rightarrow \Delta U = 100J$$

مثال ۲۴: دمای یک مول گاز کامل تک اتمی را با یک تحول بی دررو از ۳۰۰K به ۴۰۰K می رسانیم. کار انجام شده در این تحول

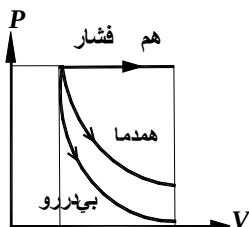
$$R \approx 8 \frac{J}{mol.K} \quad ? \text{ چند ژول است؟}$$

حل:

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = W \Rightarrow \frac{3}{2} n R \Delta T = W \Rightarrow W = \frac{3}{2} \times 1 \times 8 (400 - 300) = 1200J$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

☞ مقایسه فرآیند همدمای و هم فشار و بی دررو در انبساط یک گاز کامل:



هر گاه مقدار معینی گاز کامل را جداگانه با فرآیندهای هم فشار و هم دما و بی دررو از V_1 به V_2 منبسط کنیم و نمودار هر سه فرآیند را در دستگاه مختصات $(P-V)$ رسم کنیم مانند شکل روبه رو می شود.

در هر سه فرآیند کار منفی است و در فرآیند بی دررو $Q = 0$ ولی در فرآیند هم دما و هم فشار گرما مثبت است. و داریم:

ΔU	Q	W	
+	+	-	هم فشار
0	+	-	همدما
-	0	-	بی دررو

(در فرآیند بی دررو هر سه کمیت V و T و P تغییر می کند)

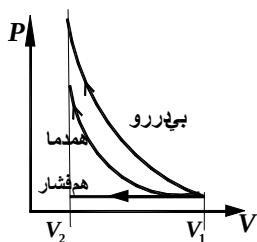
$$\Delta U_T = 0, \Delta U_P > 0, \Delta U < 0 \text{ بی دررو}$$

$$W > W_T > W_P \text{ بی دررو}$$

$$|W| < |W_T| < |W_P| \text{ بی دررو}$$

$$\Delta P > \Delta P_T \text{ بی دررو} \Rightarrow \Delta V = \Delta V_T \text{ بی دررو}$$

☞ مقایسه فرآیند همدمای و هم فشار و بی دررو در تراکم یک گاز کامل:



هر گاه مقدار معینی گاز کامل را جداگانه با فرآیندهای هم فشار و هم دما و بی دررو از V_2 به V_1 تراکم کنیم و نمودار هر سه فرآیند را در دستگاه مختصات $(P-V)$ رسم کنیم مانند شکل روبه رو می شود.

در هر سه فرآیند کار منفی است و در فرآیند بی دررو $Q = 0$ ولی در فرآیند هم دما و هم فشار گرما منفی است. و داریم:

ΔU	Q	W	
-	-	+	هم فشار
0	-	+	همدما
+	0	+	بی دررو

(در فرآیند بی دررو هر سه کمیت V و T و P تغییر می کند)

$$\Delta U_T = 0, \Delta U_P < 0, \Delta U > 0 \text{ بی دررو}$$

$$W > W_T > W_P \text{ بی دررو}$$

$$Q_P < 0, Q_T < 0, Q = 0 \text{ بی دررو}$$

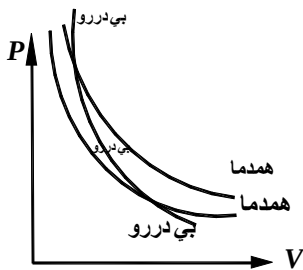
$$\Delta P > \Delta P_T \text{ بی دررو} \Rightarrow \Delta V = \Delta V_T \text{ بی دررو}$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۷۱: تغییرات فشار ($|\Delta P|$) یعنی قدر مطلق ΔP گاز کامل در انبساط و تراکم در تغییر حجم یکسان در فرآیند بی دررو نسبت به فرآیند هم دما بیشتر است. $\Delta P > \Delta P_T$ بی دررو $\Rightarrow \Delta V = \Delta V_T$ بی دررو

نکته ۷۲: هر گاه روی فرآیند هم دما در جهت فلش فرآیند پیش رویم دست راست فرآیند هم دما فرآیند بی دررو واقع می شود (قاعدهی دست راست بین فرآیند هم دما و بی دررو)

نکته ۷۳: در یک تغییر حجم برابر فرآیند هم دما همواره بین فرآیند هم فشار و بی دررو است یعنی ترتیب فرآیندها به صورت هم فشار، هم دما و بی دررو است.



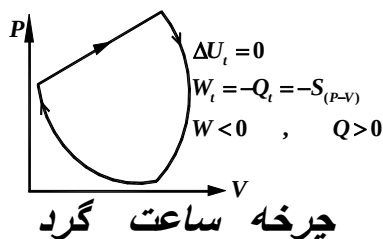
نکته ۷۴: چون در فرآیند بی دررو تغییرات دما داریم و از طرفی فرآیندهای هم دما در دستگاه مختصات ($P-V$) یکدیگر را قطع نمی کنند پس فرآیند بی دررو خطوط هم دما را در دستگاه مختصات ($P-V$) قطع می کند. پس یک فرآیند بی دررو همواره بین دو خط هم دما قرار می گیرد.

نکته ۷۵: هر گاه حجم گازی در یک فرآیند هم دما n برابر شود فشار گاز $\frac{1}{n}$ برابر فشار اولیه اش می شود زیرا در فرآیند

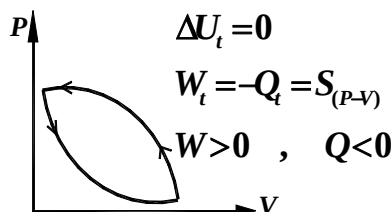
$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \xrightarrow{V_2 = nV_1} P_1 = nP_2 \Rightarrow P_2 = \frac{1}{n} P_1 \quad \text{همدما داریم:}$$

بنابراین هر گاه حجم گاز کاملی در یک فرآیند بی دررو انبساط n برابر حجم اولیه اش شود فشار گاز در این فرآیند بی دررو از $\frac{1}{n} P_1$ کمتر می شود.

نکته ۷۶: هر گاه گاز کاملی در فشار P_1 و حجم V_1 باشد و طی یک فرآیند بی دررو تراکم حجم گاز $\frac{V_1}{n}$ شود فشار نهایی گاز از nP_1 بیشتر خواهد شد.



محاسبه ی کار و گرمای یک چرخه توسط مساحت درون چرخه: چرخه شامل چند فرآیند است که دستگاه به حالت اولیه ی خود بازگردد. که به طور کلی اگر جهت چرخه در جهت عقربه های ساعت باشد به آن چرخه ی ساعت گرد و اگر جهت حرکت چرخه بر خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت باشد به آن چرخه پاد ساعت گرد می گوئیم. مطابق شکل های مقابل:



سطح محصور در نمودار ($P-V$) هر چرخه برابر با قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه است.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۷۷: چون در هر چرخه گاز کامل به حالت اولیه برمی گردد پس در

طی یک چرخه $\Delta T = 0$ است بنابراین $\Delta U = 0$ است در نتیجه در یک چرخه

تغییرات انرژی درونی صفر است و کار و گرمای کل چرخه قرینه هستند:

$$\Delta U_t = 0 \Rightarrow W_t = -Q_t$$

نکته ۷۸: اگر چرخه $(P-V)$ ساعت گرد باشد مساحت درون چرخه با اندازه‌ی کار چرخه برابر است یعنی:

$$Q > 0, W < 0 \quad \text{و} \quad W = -Q = -S \quad \text{و} \quad |W_t| = Q_t = \text{مساحت درون چرخه } (P-V) \text{ ساعت گرد}$$

نکته ۷۹: اگر چرخه $(P-V)$ پاد ساعت گرد باشد مساحت درون چرخه با اندازه‌ی کار چرخه برابر است یعنی:

$$Q < 0, W > 0 \quad \text{و} \quad W = -Q = S \quad \text{و} \quad |Q_t| = W_t = \text{مساحت درون چرخه } (P-V) \text{ پاد ساعت گرد}$$

ΔU	Q	W	
0	$Q = S$	$S_{P-V} = -W$ کار منفی است	اگر نمودار $(P-V)$ چرخه ساعت گرد باشد آن گاه نمودار $(P-T)$ چرخه ساعت گرد میشود و نمودار $(V-T)$ چرخه پاد ساعت گرد میشود
0	$Q = -S$	$S_{P-V} = W$ کار مثبت است	اگر نمودار $(P-V)$ چرخه پاد ساعت گرد باشد آن گاه نمودار $(P-T)$ چرخه پاد ساعت گرد میشود و نمودار $(V-T)$ چرخه ساعت گرد میشود

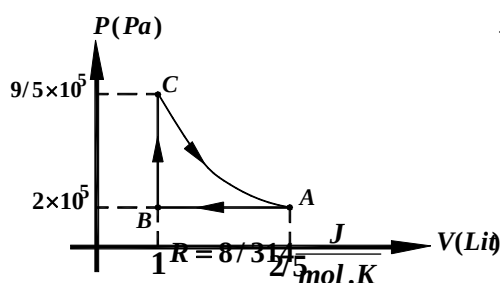
سؤال: چند تفاوت و چند تشابه بین فرآیند هم‌دما و چرخه نام ببرید.

مثال ۲۵: نیم مول از یک گاز تک اتمی چرخه‌ای مطابق شکل را طی می‌کند و

دستگاه ابتدا در نقطه A قرار دارد:

الف) دما را در نقاط A و B و C محاسبه کنید.

ب) کار انجام شده در فرآیند بی‌دررو را در مسیر CA بدست آورید.



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

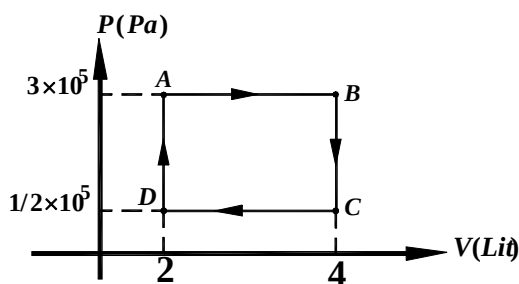
$$C_{MP} = \frac{5}{2} R$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

حل:

$$PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR} \Rightarrow \begin{cases} T_A = \frac{2 \times 10^5 \times 2/5 \times 10^{-3}}{0/5 \times 8/314} = 12/03 K \\ T_B = \frac{2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{0/5 \times 8/314} = 48/1 K \\ T_C = \frac{9/5 \times 10^5 \times 10^{-3}}{0/5 \times 8/314} = 228/5 K \end{cases}$$

$$\text{ب) } Q_{CA} = 0 \Rightarrow \Delta U_{CA} = W_{CA} = \frac{3}{2} nR(T_A - T_C) = \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} \times 8/314(120/3 - 228/5) = -674/6 J$$



مثال ۲۶: بر روی ۰/۲ مول از یک گاز کامل تک اتمی فرآیندهای آرمانی هم

فشار و هم حجم شکل مقابل انجام شده است. مطلوب است:

الف) کل کار انجام شده بر روی گاز در این چرخه

ب) گرمایی که گاز دریافت می کند.

ج) مجموع کار و گرما در این چرخه

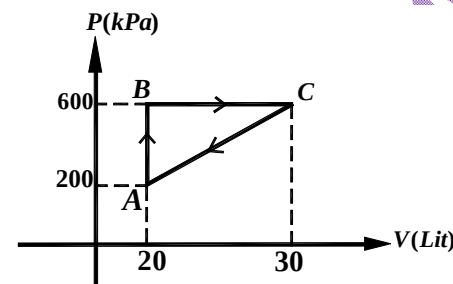
حل:

چون جهت چرخه هم جهت با چرخش ساعت است پس کار انجام شده منفی است و می توانیم بنویسیم:

$$\text{الف) } W = -S = -[(4-2) \times 10^{-3} \times (3-1/2) \times 10^5] \Rightarrow W = -360 J$$

$$\text{ب) } \Delta U = W + Q = 0 \Rightarrow Q = -W = +360 J$$

$$\text{ج) } W + Q = 0$$



مثال ۲۷: دستگاهی چرخه ای مطابق شکل مقابل را طی می کند. کاری که

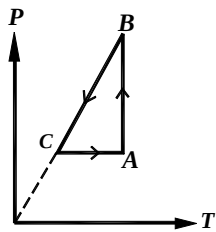
در این چرخه بر روی دستگاه انجام شده چند ژول است؟

حل:

چون چرخه ساعتگرد است در نتیجه کار چرخه منفی است:

$$W = -S = -\frac{1}{2}(30-20) \times 10^{-3} \times 400 \times 10^3 \Rightarrow W = -2000 J$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



مثال ۲۸: اگر برای یک گاز کامل نمودار $(P-T)$ مطابق شکل باشد.

نمودار $(P-V)$ را با توضیح کامل رسم کنید.

حل:

در این چرخه سه نوع فرآیند داریم که به ترتیب ویژگی‌های آنها چنین است: فرآیند

AB: یک فرآیند همدم که فشار آن افزایش می‌یابد و چون در این فرآیند $(P \propto \frac{1}{V})$

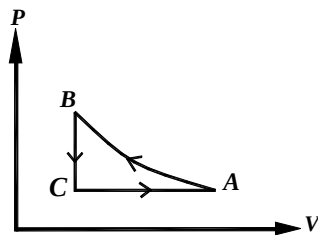
در نتیجه حجم باید کاهش یابد.

فرآیند BC: یک فرآیند هم حجم است که فشار و دما در حال کاهش هستند.

فرآیند CA: یک فرآیند هم فشار است که طی آن دما در حال افزایش است و چون در

این فرآیند $(V \propto T)$ است در نتیجه حجم باید افزایش یابد. در نتیجه نمودار $(P-V)$

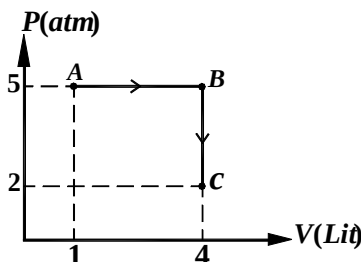
مطابق شکل مقابل می‌شود.



مثال ۲۹: نمودار $(P-V)$ برای ۲ مول گاز کامل رسم شده، دمای گاز در نقطه C چند درجه

کلوین بوده و کار انجام شده روی گاز چند ژول است. $R = 8 \frac{J}{mol \cdot K}$

حل:



$$T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{4 \times 2 \times 10^5 \times 10^{-3}}{2 \times 8} = \frac{800}{16} = 50K$$

$$W = -S = -3 \times 5 \times 10^5 \times 10^{-3} \Rightarrow W = -1500J$$

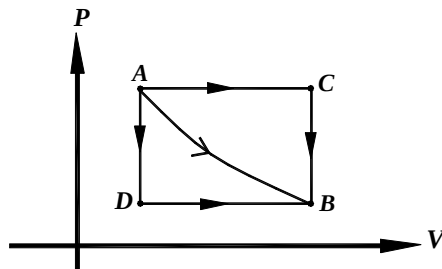
مثال ۳۰: مقدار معینی گاز در طی فرآیندهایی از حالت A به حالت B برده

می‌شود. مسیر ACB شامل دو فرآیند، هم فشار و هم حجم، مسیر AB شامل یک

فرآیند هم دما و مسیر ADB شامل دو فرآیند به ترتیب هم حجم و هم فشار می‌باشد.

تغییر دما را در سه فرآیند مقایسه کنید.

حل:



مسیر AB یک فرآیند هم دما است بنابراین $T_A = T_B$ در مسیر ACB که شامل یک فرآیند هم فشار AC و یک فرآیند هم حجم

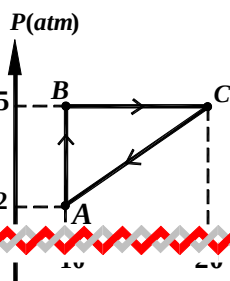
CB است ابتدا دما افزایش می‌یابد و سپس دما کاهش می‌یابد یعنی $T_A < T_C$ و $T_C < T_B$ و در مسیر ADB ابتدا دما کاهش

می‌یابد و سپس دما زیاد می‌شود یعنی $T_A > T_D$ و $T_B > T_D$

مثال ۳۱: یک گاز کامل چرخه‌ای که در شکل نشان داده شده است، را طی می‌کند مطلوب است:

الف) کاری که در این چرخه بر روی دستگاه انجام شده است.

ب) گرمای خالصی که دستگاه در این چرخه دریافت کرده است.



قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

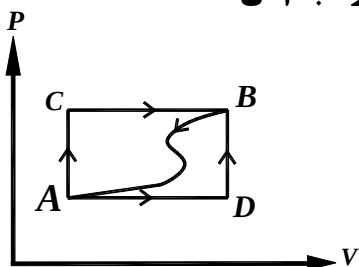
حل:

الف) کار یک چرخه برابر است با مساحت درون چرخه و چون چرخه ساعتگرد است لذا کار منفی است.

$$W = -S = -\frac{1}{2}(3 \times 10 \times 100) = -1500J$$

ب) $\Delta U = 0 \Rightarrow W + Q = 0 \Rightarrow Q_t = -W_t = 1500J$

مثال ۳۲: دستگاهی مطابق شکل روی مسیر ACD ، ۸۰ ژول گرما دریافت می کند و ۳۰ ژول کار انجام می دهد.



الف) اگر کار انجام شده توسط دستگاه در مسیر adb برابر ۱۰ ژول باشد، در این فرآیند

چقدر گرما وارد دستگاه شده است؟

ب) اگر دستگاه روی مسیر منحنی از b به a برود، کار انجام شده ۲۰ ژول است دستگاه گرما

می دهد یا می گیرد و مقدار آن چقدر است؟

ج) اگر $U_a = 0$ و $U_d = 40J$ باشد گرمای جذب شده در فرآیند ad چند ژول است؟

حل:

$$\left. \begin{array}{l} Q_{acb} = 80J \\ W_{acd} = -30J \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U_{acb} = \Delta U_{adb} = 50J$$

$$W_{adb} = -10J \Rightarrow \Delta U_{adb} = W_{adb} + Q_{adb} \Rightarrow Q_{adb} = 50 + 10 = 60J$$

$$W_{ba} = +20J \Rightarrow \Delta U_{ba} = -\Delta U_{acb} = -50J \Rightarrow Q_{ba} + W_{ba} = -50 \Rightarrow Q_{ba} = -70J$$

$$\Delta U_{adb} = W_{ad} + W_{db} + Q_{ad} + Q_{db} = 50 \Rightarrow W_{ad} + 0 + 600 = 50 \Rightarrow W_{ad} = -10J$$

مثال ۳۳: در شکل مقابل یک گاز کامل از نقطه A به C و سپس به نقطه B می رود و

از مسیر منحنی از نقطه B به A بر می گردد. و بار دیگر مسیر ADB را طی می کند در

مورد علامت های کمیت های زیر توضیح دهید.

الف) W_{CB} و W_{BA} و W_{AD} و W_{AC}

ب) Q_{BA} و Q_{AD} و Q_{AC}

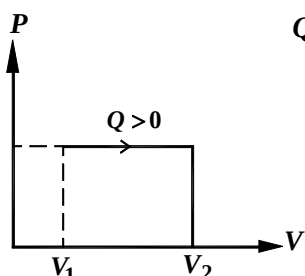
حل:

فرآیند انبساط $W_{CB} < 0$ و $W_{AD} < 0$ و فرآیند هم حجم $W_{AC} = W_{BD} = 0$ و فرآیند هم فشار با افزایش حجم $Q_{AD} > 0$ و

فرآیند هم حجم با افزایش فشار: $Q_{AC} > 0$ و تراکم: $W_{BA} > 0$ زیرا دما کاهش یافته است.

مثال ۳۴: ثابت کنید برای یک مول گاز کامل تک اتمی در فرآیند هم فشار داریم: $Q = \frac{5}{2}P(V_2 - V_1)$

حل:



در فرآیند هم فشار: $Q_p = nC_{MP}(T_2 - T_1)$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

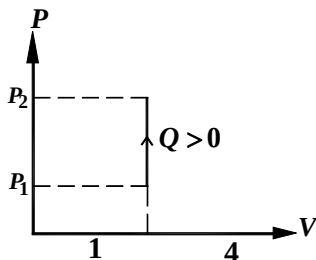
گاز کامل تک اتمی :

$$\Rightarrow Q_p = \frac{5}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{5}{2} (nRT_2 - nRT_1) = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\text{فرآیند هم فشار : } P_1 = P_2 = P \Rightarrow Q_p = \frac{5}{2} P(V_2 - V_1)$$

مثال ۳۵: ثابت کنید برای یک گاز کامل تک اتمی در فرآیند هم حجم داریم: $Q = \frac{3}{2} V(P_2 - P_1)$

حل:



$$\text{در فرآیند هم حجم : } \left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_2 = V \\ Q_V = nC_{MV}(T_2 - T_1) \\ C_{MV} = \frac{3}{2} R \text{ گاز تک اتمی} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow Q_V = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (nRT_2 - nRT_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \Rightarrow Q_V = \frac{3}{2} V(P_2 - P_1)$$

مثال ۳۶: یک گاز کامل تک اتمی در حجم V_1 و فشار P_1 می باشد. اگر حجم گاز به V_2 و فشارش به P_2 برسد ثابت کنید تغییرات

$$\text{انرژی درونی آن برابر است با: } \Delta U = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

حل:

$$P_1 V_1 = nRT_1, \quad P_2 V_2 = nRT_2$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (nRT_2 - nRT_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

مثال ۳۷: می دانیم برای گاز کامل تک اتمی $C_{MV} = \frac{3}{2} R$ می باشد ثابت کنید هرگاه یک گاز کامل تک اتمی فرآیند هم حجمی را

انجام دهد تغییرات انرژی درونی آن برابر است با:

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

حل:

$$\Delta U_V = Q_V + W_V = nC_{MV}(T_2 - T_1) + 0 = n\left(\frac{3}{2} R\right)(T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \Delta U_V = \frac{3}{2} [nRT_2 - nRT_1] \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

مثال ۳۸: می دانیم برای گاز کامل تک اتمی $C_{MP} = \frac{5}{2} R$ می باشد. ثابت کنید یک گاز کامل تک اتمی فرآیند هم فشاری را طی

$$\text{نماید تغییرات انرژی درونی آن برابر است با: } \Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

حل:

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

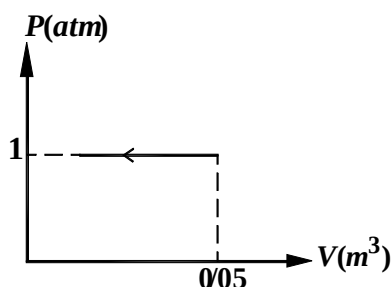
$$Q_P = nC_{MP}(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1)$$

$$W_P = -P(V_2 - V_1) = -(PV_2 - PV_1) = -(nRT_2 - nRT_1) = -nR(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_P = Q_P + W_P = \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1) - nR(T_2 - T_1) \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

مهندس سعید نمازی
۰۹۱۲۲۱۰۱۸۲۵

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



مثال ۳۹: شکل مقابل تحول چهار مول گاز تک اتمی را نشان می دهد.

چه مقدار گرما لازم است از گاز گرفته شود تا دمای گاز را دو درجه

سلسیوس کاهش دهد. $(R = 8 \frac{J}{mol.K})$ نمودارهای $(P-V)$ و $(V-T)$ را

برای آن رسم کنید.

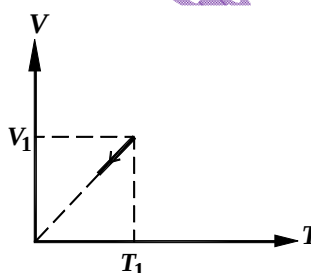
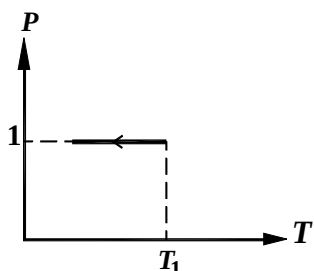
حل:

$$Q_p = nC_{MP}\Delta T = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2} \times 4 \times 8 \times (-2) = -160J \quad \text{فرآیند هم فشار است در نتیجه:}$$

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} = \frac{10^5 \times 0.05}{4 \times 8} = 1562/5 K$$

$$T_2 = 1560/5 K$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow V_2 = \frac{1560/5}{1562/5} \times 0.05 = 0.0499 m^3$$

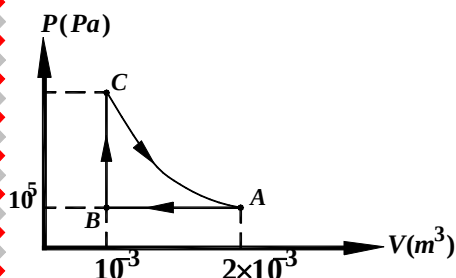


مثال ۴۰: دمای ۵ مول گاز هلیوم را از $20^\circ C$ به $200^\circ C$ در فشار ثابت یک اتمسفر افزایش داده ایم. کار انجام شده بر روی گاز در

این فرآیند را بدست آورید. $(R \approx 8 \frac{J}{mol.K})$

حل:

$$W_p = -P(V_2 - V_1) = -nR(T_2 - T_1) = -5 \times 8 \times 180 = -7200J$$



مثال ۴۱: در شکل مقابل چرخه یک مول گاز کامل تک اتمی نشان داده شده

است. تحول در مسیر CA بی دررو است. اگر تغییرات انرژی درونی گاز در

مسیرهای BC و CA به ترتیب ۴۰۰ ژول و ۲۵۰ ژول باشد. گرمای کل مبادله

شده چند ژول است؟

حل:

$$\Delta U_{BC} = W_{BC} + Q_{BC} \Rightarrow 400 = 0 + Q_{BC} \Rightarrow Q_{BC} = 400J$$

$$\Delta U_{CA} = Q_{CA} + W_{CA} \Rightarrow -250 = 0 + W_{CA} \Rightarrow W_{CA} = -250J$$

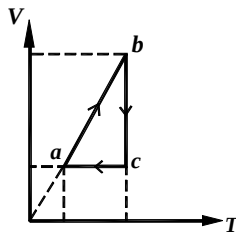
$$\Delta U_t = 0 \Rightarrow \Delta U_{BC} + \Delta U_{CA} + \Delta U_{AB} = 0 \Rightarrow 400 - 250 + \Delta U_{AB} = 0 \Rightarrow \Delta U_{AB} = -150J$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$W_{AB} = -P(V_B - V_A) = -10^5(10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) = +100J$$

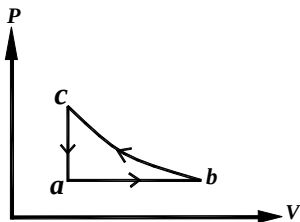
$$\Delta U_{AB} = W_{AB} + Q_{AB} \Rightarrow -1500 = 100 + Q_{AB} \Rightarrow Q_{AB} = -250J$$

$$Q_t = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -250 + 400 + 0 \Rightarrow Q_t = 150J$$



مثال ۴۲: نمودار $(V-T)$ یک چرخه برای گاز کامل مطابق شکل مقابل است. اگر W کار انجام شده روی دستگاه و Q گرمای گرفته شده توسط دستگاه باشد علامت آنها را تعیین کنید.

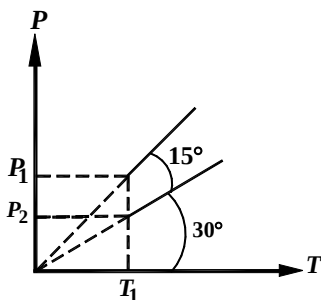
حل:



باید نمودار $(P-V)$ را رسم کنیم که ab یک نمودار هم فشار و bc فرآیند همدمای که حجم در حال کاهش است و ca یک فرآیند هم حجم است و چون چرخه پادساعتگرد است بنابراین $W > 0$ است و داریم:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow W_t = -Q_t$$

یعنی $Q < 0$ است.



مثال ۴۳: در داخل یک مخزن با حجم ثابت مقدار m گرم گاز کامل با جرم مولکولی M در فشار P_1 و در داخل مخزنی دیگر با حجم ثابت V_2 مقدار $2m$ گرم گاز کامل با جرم مولکولی $\sqrt{3}M$ در فشار P_2 قرار دارد. اگر گاز این دو مخزن را گرم کنیم نمودار $(P-T)$ این دو گاز مطابق شکل مقابل می شود. نسبت V_2 به V_1 را تعیین کنید.

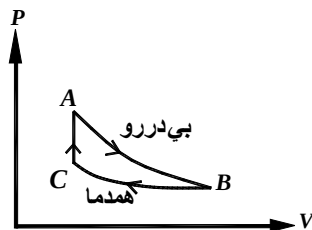
حل:

نمودارها برای دو فرآیند هم حجم است در نتیجه شیب هر یک از این خطها برابر $\frac{nR}{V}$ است: $P = \left(\frac{nR}{V}\right)T$

$$\frac{n_1 R}{V_1} = \tan 45 \Rightarrow \frac{M_1}{V_1} = 1 \Rightarrow V_1 = \frac{m}{M}$$

بنابراین می توانیم بنویسیم:

$$\frac{n_2 R}{V_2} = \tan 30 \Rightarrow \frac{M_2}{V_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \frac{2m}{\sqrt{3}MV_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow V_2 = \frac{2m}{M} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 2$$



مثال ۴۴: در چرخه مقابل AB یک فرآیند بی دررو و BC یک فرآیند همدمای است. دماهای A و B و C را با هم مقایسه کنید.

حل:

چون BC یک فرآیند همدمای است در نتیجه: $T_C = T_B < T_A$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

مثال ۴۵: مقداری گاز کامل را در یک فرآیند بی دررو منبسط می کنیم تا فشارش $\frac{1}{3}$ برابر شود اگر حجم گاز در این فرآیند از V

به V' برسد کدام رابطه زیر صحیح است؟

(۱) $V' = V$

(۲) $V' = 3V$

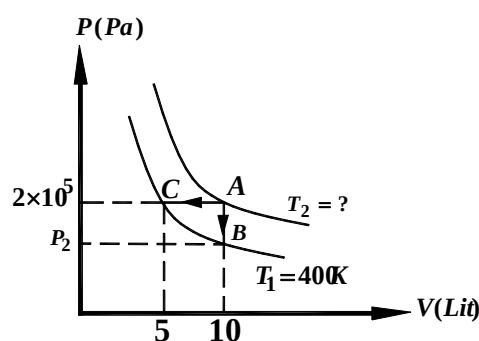
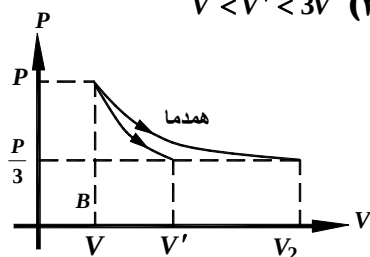
(۳) $V' > 3V$

(۴) $V < V' < 3V$

حل:

گزینه ۴ صحیح است. فرآیند همدمای و بی دررو مربوط به فرآیند رامقایسه می کنیم و می دانیم $V < V' < V_2$ است و V_2 حجم نهایی همدمای است و داریم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P V = \frac{P}{3} V_2 \Rightarrow V_2 = 3V \Rightarrow V < V' < 3V$$



مثال ۴۶: فرآیند آرمانی مقداری گاز کامل در دماهای $T_1 = 400K$ و T_2 روی

دو خط همدمای AB و AC می باشد با توجه به اعداد روی شکل P_2 و T_2 را

تعیین کنید Q و W و ΔU هر فرآیند را تعیین علامت کرده و با یکدیگر مقایسه نمایید.

حل:

فرآیند CA یک فرآیند هم فشار است بنابراین برای آن داریم:

$$P_A = P_C \Rightarrow \frac{V_A}{V_C} = \frac{T_A}{T_C} \Rightarrow \frac{10}{5} = \frac{T_2}{400} \Rightarrow T_2 = 800K \quad \text{و} \quad W_{AC} > 0$$

$$\Delta T = 400 - 800 = -400 < 0 \Rightarrow Q_{AC} < 0 \Rightarrow \Delta U \propto \Delta T \Rightarrow \Delta U_{AC} < 0$$

فرآیند AB یک فرآیند هم حجم است و می توانیم چنین بنویسیم:

$$V_A = V_B \Rightarrow \frac{P_A}{P_B} = \frac{T_A}{T_B} \Rightarrow \frac{2 \times 10^5}{P_2} = \frac{800}{400} \Rightarrow P_2 = 10^5 (Pa)$$

$$W_{AB} = 0, \quad \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U_{AB} = Q_{AB} < 0 \quad \text{و} \quad \Delta U_{AB} = \Delta U_{AC} \Rightarrow Q_{AC} < Q_{AB} < 0$$

مثال ۴۷: در کدام فرآیند تغییر انرژی درونی دستگاه:

(الف) برابر با کار انجام شده روی دستگاه است؟ چرا؟ (ب) برابر با گرمای مبادله شده بین دستگاه محیط است؟ چرا؟

حل:

$$\begin{cases} \Delta U = W + Q \\ \Delta U = W \end{cases} \Rightarrow Q = 0 \quad \text{الف) در فرآیند بی دررو زیرا در این فرآیند } Q = 0 \text{ است در نتیجه داریم:}$$

(ب) فرآیند هم حجم زیرا در این فرآیند کار صفر است.

فرآیند هم حجم

$$\begin{cases} \Delta U = W + Q \\ W = 0 \end{cases} \Rightarrow \Delta U = Q$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۸۲: طبق قانون اول ترمودینامیک $\Delta U = W + Q$ می باشد هر گاه این قانون برای گاز کامل استفاده شود می توانیم بگوییم که ΔU به نوع فرآیند بستگی ندارد بلکه فقط به دماهای مطلق اولیه و قانون ثانویه بستگی دارد یعنی: $\Delta U \propto \Delta T$ می باشد ولی Q , W به نوع مسیر فرآیند بستگی دارند و در مسیرهای متفاوت فرق می کنند. و همچنین گرما و کار فقط در رابطه با انرژی مبادله شده در حین فرآیند معنا دارد و پس از اتمام فرآیند این انرژی به عنوان بخشی از انرژی داخلی دستگاه به حساب می آید و ما دیگر نمی توانیم از موجودی گرما و یا کار دستگاه صحبت کنیم ما حتی نمی توانیم مشخص کنیم چه بخشی از تغییر انرژی داخلی دستگاه از گرما و چه بخشی از کار حاصل شده است. برای درک بهتر می توان این وضعیت را به دریاچه ای تشبیه کنیم که آب از طریق رودخانه و باران افزایش می یابد. هنگامی که کنار دریاچه ایستاده ایم نمی توانیم مشخص کنیم که چه بخشی از آب از طریق رودخانه و چه بخشی از طریق باران تامین شده است.

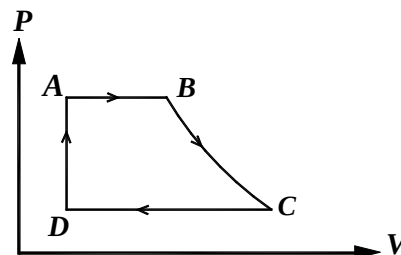
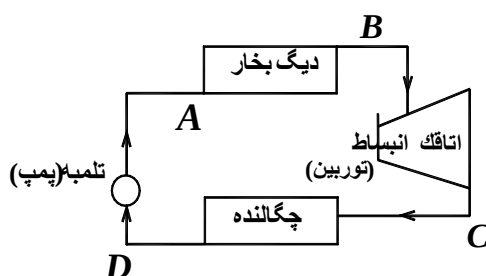
مجدداً تأکید می کنیم، که انرژی درونی برای هر نقطه قابل تعریف است ولی کار و گرما فقط در طول یک فرآیند که بین دو نقطه می باشد قابل محاسبه و تعریف است.

👉 ماشین گرمایی:

دستگاهی که گرما را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. مانند: ماشین بخار، موتورهای بنزینی یا گازوئیلی، موتور جت، توربین بخار

👉 الف) ماشین بخار:

یکی از چرخه های بسیار مهم که در صنعت برای تولید برق متناوب مورد استفاده قرار می گیرد ماشین بخار است که در نیروگاه های بخار مورد استفاده قرار می گیرد این چرخه به طور ساده شده به صورت چهار فرآیند زیر است:



👉 فرآیند هم فشار (A - B) دیگ بخار:

آب با دمای محیط وارد دیگ بخار شده و تغییر فاز می دهد و تبدیل به بخار می شود و داریم: دستگاه از محیط گرما می گیرد

$$P_A = P_B$$

$$T_A < T_B$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

$$V_A < V_B$$

$$Q_H > 0$$

👉 فرآیند بی دررو (B-C) اتاقک انبساط (توربین):

بخار آب با فشار بسیار بالا وارد توربین می شود و پره های توربین را به گردش در می آورد و دستگاه (بخار آب) روی محیط (توربین) کار انجام می دهد. و فرآیند سریع انجام می شود و می توان آن را فرآیند بی دررو انبساط فرض کرد. دستگاه روی محیط کار انجام می دهد:

$$V_C > V_B \text{ و } P_C < P_B \text{ و } T_B > T_C \text{ و } W_{BC} < 0 \text{ و } Q_{BC} = 0$$

👉 فرآیند هم فشار (C-D) چگالنده:

بخار آب خروجی از توربین که فشار آن کاهش یافته وارد چگالنده شده و تغییر فاز می دهد و تبدیل به آب می شود و داریم:

$$P_C = P_D \text{ و } V_C > V_D \text{ و } T_C > T_D \text{ و } Q_C < 0$$

👉 فرآیند هم حجم (D-A) تلمبه (پمپ):

آب با عبور از پمپ فشارش افزایش یافته و وارد دیگ بخار می شود.

$$V_D = V_A \text{ و } P_A > P_D \text{ و } T_A > T_D \text{ و } W_{DA} = 0$$

👉 بازده ماشین گرمایی:

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

$$\Rightarrow \eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} < 1$$

📌 نکته ۸۳: برای بالا بردن بازده یک ماشین بخار باید دمای بخار در دیگ بخار را بالاتر برد و برای این کار نیز فشار درون دیگ باید زیادتر شود که کار چندان آسانی نیست.

📌 نکته ۸۴: در رابطه ی بازده Q_C ، Q_H ، W باید با یک واحد قرار داده شوند. بنابراین چون بازده (η) نسبت دو انرژی است پس یک عدد مثبت بدون یکا است. و همواره از یک کوچکتر است.

📌 نکته ۸۵: برای آنکه بازده صد درصد شود باید تمام گرمای Q_H دریافت شده به کار تبدیل شود در این صورت $Q_H = |W|$ و $|Q_C| = 0$ می شود. ولی آزمایش نشان می دهد که چنین چیزی محال است و همواره مقدار گرما $|Q_C| \neq 0$ تلف می شود.

📌 نکته ۸۶: بازده یک ماشین گرمایی هیچگاه یک نمیشود و همواره کوچکتر از یک است.

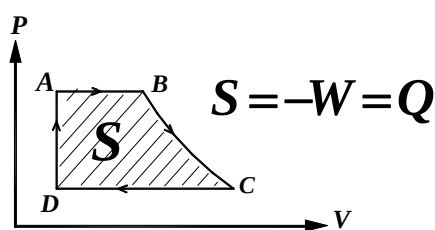
📌 نکته ۸۷: با توجه به توان که آهنگ مبادله ی انرژی می باشد می توان بجای Q_H از P_H و به جای W از P و بجای Q_C از

$$P_C \text{ استفاده کرد و در این صورت برای بازده داریم: } \eta = \frac{P}{P_H} = 1 - \frac{P_C}{P_H}$$

که P_H آهنگ مبادله ی گرما با چشمه ی گرم و P_C آهنگ مبادله ی گرما با چشمه ی سرد است.

📌 نکته ۸۸: گرمایی که دستگاه به چشمه ی سرد می دهد Q_C تلف می شود.

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



نکته ۸۹: با توجه به مساحت درون هر چرخه در نمودار $(p-V)$

می‌توانیم بگوییم کار کل چرخه‌ی ماشین بخار برابر با مساحت درون چرخه

$$W = -Q = -S \quad \text{یعنی:}$$

نکته ۹۰: چرخه ماشین گرمایی ساعتگرد است که در کار کل منفی و

گرمای کل داده شده به دستگاه مثبت است. بنابراین هر چرخه‌ای که

ساعتگرد باشد را می‌توان یک ماشین گرمایی فرض کرد و برای آن راندمان تعریف کرد.

نکته ۹۱: کار کل در چرخه از رابطه‌ی مقابل بدست می‌آید:

$$|W_t| = |W_{AB}| + |W_{BC}| - W_{DC}$$

و گرمایی که دستگاه در طی یک چرخه از محیط می‌گیرد در فرآیندهای

$$Q_H = Q_{DA} + Q_{AB} \quad \text{یعنی:}$$

و گرمایی که دستگاه در طی یک چرخه به محیط می‌دهد در مسیر

$$|Q_C| = |Q_{CD}| \quad \text{یعنی}$$

و با توجه به تعریف راندمان و شکل چرخه فوق می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{|W_{AB}| + |W_{BC}| - W_{CD}}{Q_{DA} + Q_{AB}} = 1 - \frac{|Q_{CD}|}{Q_{DA} + Q_{AB}}$$

مثال ۱: یک ماشین گرمایی در یک چرخه $5000J$ گرما تلف می‌کند و $10000J$ کار انجام می‌دهد، بازده گرمایی این ماشین را به دست

آورید.

حل:

$$|W| = 10000J, |Q_C| = 5000J \Rightarrow Q_H = |W| + |Q_C| = 10000 + 5000 = 15000J$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{10000}{15000} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

مثال ۲: در کدام قسمت ماشین بخار، بخار آب منبسط شده و فشار آن کاهش می‌یابد؟

حل:

در اتاقک انبساط (یا توربین)

مثال ۳: بازده یک ماشین بخار ۲۰ درصد است. در این ماشین در هر چرخه $1600J$ گرما به چشمه‌ی سرد داده می‌شود. کار

مکانیکی انجام شده توسط این ماشین در هر چرخه چند ژول است؟

حل:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{|W|}{|Q_C| + |W|} \Rightarrow 0/2 = \frac{|W|}{1600 + |W|} \Rightarrow 320 + 0/2 |W| = |W| \Rightarrow |W| = 400J$$

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

مثال ۴: بازده یک ماشین گرمایی ۴۰ درصد است. اگر گرمایی که در مدت معین از ماشین خارج می شود، ۳۰kJ باشد، کار انجام شده توسط ماشین در این مدت چند کیلوژول است؟

حل:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{|W|}{|Q_C| + |W|} \Rightarrow 0/4 = \frac{|W|}{30 + |W|} \Rightarrow 12 + 0/4 |W| = |W| \Rightarrow |W| = 20kJ$$

مثال ۵: یک ماشین گرمایی در هر چرخه ۲۴۰۰ کالری گرما از منبع گرم دریافت می کند. در صورتی که بازده ماشین ۲۵ درصد باشد، گرمای تلف شده ی ماشین قادر است چند کیلوگرم یخ صفر درجه سلسیوس را به آب صفر درجه سلسیوس تبدیل کند؟

$$L_f = 80 \frac{cal}{gr}$$

حل:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} \Rightarrow 0/25 = 1 - \frac{Q_C}{2400} = 0/75 \Rightarrow Q_C = 1800cal$$

$$Q_C = mL_f \Rightarrow m = \frac{Q_C}{L_f} = \frac{1800}{80} = 22/5 g \Rightarrow m = 0/0225 kg$$

مثال ۶: در یک ماشین گرمایی، گرمایی را که ماشین از چشمه گرم می گیرد، کاهش داده و گرمایی را که سیستم به چشمه سرد می دهد افزایش می دهیم. در این صورت راندمان ماشین چه تغییری می کند؟

حل:

با کاهش Q_H و افزایش Q_C کسر $\frac{Q_C}{Q_H}$ افزایش می یابد و بر طبق رابطه $\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$ راندمان کاهش می یابد.

مثال ۷: یک ماشین گرمایی در هر چرخه ۲۵۰۰J گرما از چشمه گرم دریافت می کند و ۷۵۰J کار به دست می دهد. بازده ماشین چند درصد است؟

حل:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{750}{2500} = 0/3 \Rightarrow \eta = 30\%$$

مثال ۸: بازده گرمایی یک ماشین گرمایی ۰/۲ است و در هر چرخه ۸۰۰ ژول گرما تلف می شود. این ماشین در هر چرخه چند ژول گرما دریافت کرده است؟

حل:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} \Rightarrow 0/2 = 1 - \frac{800}{Q_H} \Rightarrow Q_H = 1000J$$

مثال ۹: در یک ماشین گرمایی با بازده ۸۰ درصد نسبت توان تلف شده به توان مفید چقدر است؟

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

حل:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow 0/8 = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow |W| = 0/8 Q_H$$

$$|Q_C| = Q_H - |W| = 0/2 Q_H \Rightarrow \frac{P_{Q_C}}{P_W} = \frac{0/2 Q_H}{0/8 Q_H} = \frac{1}{4}$$

مثال ۱۰: با توجه به تعریف توان که آهنگ مبادله گرما می تواند باشد رابطه بازده ماشین گرمایی را بر حسب توان بنویسید.

حل:

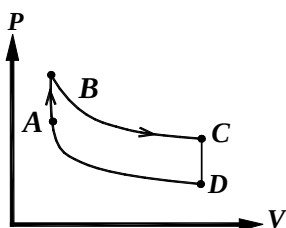
$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H} \Rightarrow \eta = \frac{P_H - |P_C|}{P_H}$$

P_C : آهنگ مبادله گرما با چشمه سرد

P_H : آهنگ مبادله گرما با چشمه گرم

ب) ماشین گرمایی درون سوز:

مانند موتورهای پیستونی مثل موتور اتومبیل یا هواپیماها و کشتی و قطار و ... که چرخه های آنها را چرخه اتو می نامند.



فرآیند بی دررو (D-A) تراکم: $V_D > V_A$ و $P_A > P_D$ و $T_A > T_D$ و $W_{DA} > 0$

فرآیند هم حجم (A-B) آتش گرفتن $V_A = V_B$ و $P_B > P_A$ و $T_B > T_A$ و $Q_H > 0$

فرآیند بی دررو (B-C) انجام کار $P_C < P_B$ و $T_C < T_B$ و $V_C > V_B$ و $W < 0$

فرآیند هم حجم (C-D) تخلیه $V_C = V_D$ و $P_C > P_D$ و $T_C > T_D$ و $Q_C < 0$

نکته:

برای سادگی فرض می شود مخلوط گاز آتش نگیرد تا بتوان به صورت یک چرخه ترمودینامیکی در نظر گرفته شود. در این حالت چرخه معادله را چرخه اتو می نامند.

مثال ۶۳: فرآیند آتش گرفتن در موتورهای بنزینی

(۱) همزمان با فرآیند مکش است. (۲) پس از فرآیند تراکم است.

(۳) همزمان با فرآیند تراکم است. (۴) همزمان با خروج دود است.

مثال ۶۴: در فرآیند تراکم در موتورهای بنزینی (W' کار انجام شده توسط دستگاه است)

(۱) $W' < 0$ (۲) $W' > 0$ (۳) $Q > 0$ (۴) $Q < 0$

مثال ۶۵: در فرآیند آتش گرفتن در موتورهای بنزینی:

(۱) $Q = 0$ (۲) $Q < 0$ (۳) $W = 0$ (۴) $Q + W = 0$

مثال ۶۶: یک موتور گازوئیلی در هر چرخه ۹۰۰۰J کار می دهد و ۶۰۰۰J گرما را تلف می کند.

الف) در هر چرخه چه مقدار گرما باید به موتور داده شود.

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

(ب) بازده گرمایی چند درصد است؟

مثال ۶۷: در یک نیروگاه برق ماشین بخاری با سوخت زغال سنگ به ظرفیت ۱۰ مگاوات، زغال سنگ جهت تولید بخار به مقدار

$$7/2 \times 10^3 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} \text{ می سوزد. راندمان این ماشین را به دست آورید. (1cal} \approx 4/2J)$$

سؤال: آیا تناسب $\frac{\eta}{|W|} = \frac{1-\eta}{|Q_C|} = \frac{1}{Q_H}$ صحیح است؟

☞ قانون دوم ترمودینامیکی به بیان ماشین گرمایی:

ممکن نیست دستگاه چرخه‌ای را ببیماید که در حین آن مقداری گرما را از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

$$Q_H > |W|, \quad Q_C \neq 0, \quad \eta < 1$$

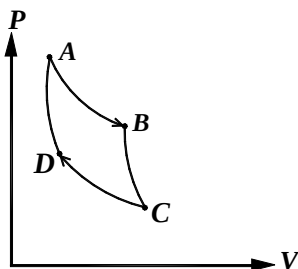
بنابراین در ماشین گرمایی می‌توان گفت:

☞ چرخه کارنو:

بیشترین بازده ماشین گرمایی برای چرخه کارنو است که شامل گاز کاملی است که دو فرآیند هم دما و دو فرآیند بی‌دررو را طی می‌کند.

دو فرآیند (A-B) و (C-D) هم‌دما و دو فرآیند (B-C) و (D-A) بی‌دررو می‌باشد.

☞ بازده چرخه کارنو:



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

$T_H (= T_A = T_B)$: دمای منبع گرم

$T_C (= T_C = T_D)$: دمای منبع سرد

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

نکته ۹۲: بازده ماشین گرمایی کارنو تنها به دمای دو چشمه‌ی سرد و گرم که ماشین میان آن دو کار می‌کند بستگی دارد.

نکته ۹۳: بازده ماشین گرمایی کمتر از یک است و این محدودیت برای بازده که توسط چرخه کارنو محاسبه شده است به علت

مسائل و مشکلات صنعت و تکنولوژی نیست بلکه حدی است که از بررسی‌های نظری بدست می‌آید. پیشرفت صنعت و تکنولوژی می‌تواند بازده ماشین گرمایی را که از این مقدار کمتر است به آن نزدیک کند ولی هرگز از آن نخواهد گذشت.

نکته ۹۴: اگر در یک چرخه تمام گرما به کار تبدیل شود، قانون اول ترمودینامیک نقض نمی‌شود اما بر اساس قانون دوم

ترمودینامیک امکان طراحی و ساخت چنین ماشینی که این تبدیل را انجام دهد، غیر ممکن است. اگر قانون دوم ترمودینامیک بر

فرآیندهای ترمودینامیک حاکم نبود، می‌توانستیم قطاری بسازیم که از هوا گرما بگیرد (هوا را سرد کند) و با تبدیل کامل آن به

کار حرکت کند. یا نیروگاهی در کنار دریا بسازیم که با سرد کردن آب دریا انرژی الکتریکی تولید کند و یا با دریافت گرما از

هوای اطراف و سرد کردن آن یک نیروگاه را به راه اندازیم.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۹۵: در فرآیند انبساط هم دما چون $\Delta U = 0$ می باشد پس $Q = -W$ یعنی تمام گرما به کار تبدیل می شود. آیا این فرآیند هم دما قانون دوم ترمودینامیک را نقض می کند؟ در جواب باید گفت خیر زیرا قانون دوم ترمودینامیک برای یک چرخه بیان شده است نه برای یک فرآیند که دستگاه به حالت اول برنگردد. به عبارت دیگر نمی توان با این فرآیند هم دما به طور نامحدود گرما را به کار تبدیل کرد.

مثال ۱۶: یک ماشین کارنو به چشمه گرمی با دمای 127°C متصل است. این ماشین در هر چرخه ۱۰۰ ژول گرما از چشمه گرم دریافت کرده و ۸۰ ژول به چشمه سرد پس می دهد. دمای چشمه سرد چند درجه سلسیوس است؟
حل:

$$\frac{T_H}{T_C} = \frac{Q_H}{Q_C} \Rightarrow \frac{127+273}{T_C} = \frac{100}{80} \Rightarrow T_C = 320\text{K} = 47^\circ\text{C}$$

مثال ۱۷: در یک چرخه کارنو که بین دو چشمه سرد و گرم با دمای 100K و 500K کار می کند، اگر گرمای دریافتی از چشمه گرم 1000J باشد گرمایی که به چشمه سرد داده می شود چند ژول است؟
حل:

$$\frac{T_H}{T_C} = \frac{Q_H}{Q_C} \Rightarrow \frac{100}{500} = \frac{Q_C}{1000} \Rightarrow Q_C = 200\text{J}$$

مثال ۱۸: در یک ماشین گرمایی با چرخه کارنو، دمای چشمه سرد 27°C است. اگر دمای چشمه سرد را به 15°C برسانیم، راندمان ماشین 2% افزایش می یابد. دمای چشمه گرم چند کلوین است؟
حل:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}, \quad \eta' = 1 - \frac{T'_C}{T_H} \Rightarrow \eta' - \eta = \frac{T_C}{T_H} - \frac{T'_C}{T_H} \Rightarrow 0.02 = \frac{27 - 15}{T_H} \Rightarrow T_H = 600\text{K}$$

مثال ۱۹: هرگاه دمای چشمه گرم و سرد یک ماشین گرمایی را که با چرخه کارنو کار می کند، به یک اندازه افزایش دهیم بازده ماشین چه تغییری می کند؟

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

حل:

کاهش می یابد، زیرا: $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$ هرگاه دمای چشمه گرم و سرد را به یک اندازه افزایش دهیم $T_H - T_C$ (صورت کسر) ثابت باقی می ماند ولی مخرج کسر بزرگ می شود در نتیجه η کاهش می یابد.

مثال ۲۰: یک ماشین گرمایی کارنو میان دو چشمه با دماهای 300K و 500K کار می کند. ماشین در هر چرخه از چشمه گرم 8000J انرژی دریافت می کند. الف) ماشین در هر چرخه چه مقدار گرما به چشمه سرد می دهد؟ ب) ماشین در هر چرخه چه مقدار کار انجام می دهد؟ ج) بازده ماشین چند درصد است؟

حل:

$$\text{الف)} \frac{|Q_C|}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow \frac{|Q_C|}{8000} = \frac{300}{500} \Rightarrow Q_C = 4800J$$

$$\text{ب)} |W| = Q_H - |Q_C| \Rightarrow |W| = 8000 - 4800 = 3200J$$

$$\text{ج)} \eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{300}{500} = 1 - 0.6 \Rightarrow \eta = 40\%$$

مثال ۲۱: بازده یک ماشین کارنو که دمای چشمه سرد آن ۲۸۰ کلوین است برابر ۳۰ درصد است. هرگاه دمای چشمه سرد را ثابت نگه دارند چند درجه (بر حسب کلوین) بر دمای چشمه گرم افزوده گردد تا بازده این ماشین را به 50 درصد برسانند؟

حل:

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 = 1 - \frac{T_{C1}}{T_H} \Rightarrow \frac{T_{C1}}{T_H} = 1 - \eta_1 \Rightarrow \frac{280}{T_{H1}} = 1 - 0.3 \Rightarrow T_{H1} = 400K \\ \eta_2 = 1 - \frac{T_{C2}}{T_H} \Rightarrow \frac{T_{C2}}{T_H} = 1 - \eta_2 \Rightarrow \frac{280}{T_2} = 1 - 0.5 \Rightarrow T_{H2} = 560K \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta T_H = 160K$$

مثال ۲۲: یک ماشین گرمایی را با توان خروجی 300W و بازدهی 25 درصد و در هر ثانیه ۱۰ دور می زند. در هر دور چقدر گرما جذب و چقدر تخلیه می کند؟

حل:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow 300 = \frac{W \times 10}{1} \Rightarrow W = 30J \Rightarrow \eta = \frac{W}{Q_H} \Rightarrow 0.25 = \frac{30}{Q_H} \Rightarrow Q_H = 120J$$

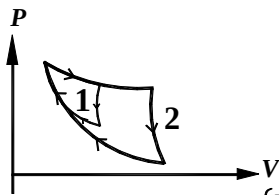
$$Q_C = Q_H - W = 120 - 30 \Rightarrow Q_C = 90J$$

مثال ۲۳: اگر بخواهد بازده یک ماشین کارنو ۱۰۰ درصد باشد چشمه سرد باید چه دمایی داشته باشد؟

حل:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 \Rightarrow \frac{T_C}{T_H} = 0 \Rightarrow \text{باید دمای چشمه سرد آن صفر مطلق باشد}$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



مثال ۲۴: در شکل مقابل نمودار $(P-V)$ دو ماشین گرمایی کارنو با شماره‌های ۱ و ۲

مشخص شده است بازده‌های بین آن دو چرخه را مقایسه کنید.

حل:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{H1} = T_{H2} \\ T_{C2} < T_{C1} \end{array} \right. \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow \eta_2 > \eta_1 \text{ زیرا: بازده ماشین کارنو ۱ بزرگتر است.}$$

مثال ۲۵: بازده یک ماشین کارنو که دمای چشمه سرد آن 200K است برابر ۵۰ درصد می‌باشد دمای چشمه سرد ثابت است. چند

درجه کلوین باید به دمای چشمه گرم اضافه کنیم تا بازده به ۶۰ درصد برسد؟

حل:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow \frac{T_C}{T_H} = 1 - \eta \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{200}{T_H} = 1 - 0.5 \Rightarrow T_H = 400\text{K} \\ \frac{200}{T'_H} = 1 - 0.6 \Rightarrow T'_H = 500\text{K} \end{array} \right. \Rightarrow \Delta T = 100\text{K}$$

یخچال (ماشین سرمازا):

یک ماشین گرمایی که در جهت عکس کار می‌کند. در یخچال گرما از جسم سرد گرفته و به جسم گرم منتقل می‌شود.

قانون اول ترمودینامیکی برای یخچال به صورت مقابل است: $\Delta U = -|Q_H| + Q_C + W = 0 \Rightarrow |Q_H| = Q_C + W$

تفاوت‌های ماشین گرمایی و یخچال:

۱- در ماشین گرمایی جهت فرآیندهای انتقال گرما بین دستگاه و محیط به صورت طبیعی انجام می‌شود ولی در یخچال در جهت عکس فرآیندها کار می‌کند.

۲- در ماشین گرمایی $Q_H > 0$ و $Q_C < 0$ ولی در یخچال $Q_C > 0$ و $Q_H < 0$

۳- کار یا انرژی مکانیکی در ماشین گرمایی منفی است ($W < 0$) ولی در یخچال دستگاه از محیط کار می‌گیرد و کار مثبت است. ($W > 0$)

۴- نمودار شارش گرمایی در ماشین گرمایی عکس نمودار مربوطه در یخچال است.

۵- ماشین‌های گرمایی به محیط کار یا انرژی مکانیکی می‌دهند در حالی که یخچال‌ها از محیط کار می‌گیرند.

۶- نمودار $(P-V)$ در ماشین‌های گرمایی ساعت گرد ولی یخچال‌ها پادساعت گرد است.

۷- نمودار $(P-T)$ در ماشین‌های گرمایی ساعت گرد ولی در یخچال‌ها پاد ساعت گرد است.

۸- نمودار $(V-T)$ در ماشین‌های گرمایی پاد ساعت گرد ولی در یخچال‌ها ساعت گرد است.

مراحل کار در یخچال:

کمپرسور روی گاز فرئون کار انجام داده آن را فشرده می‌کند در نتیجه فشار و دما بالا رفته وارد چگالنده می‌شود. چگالنده با محیط هم‌دما است و دمای گاز فرئون کاهش می‌یابد و گاز در فشار بالا و دمای پائین به سمت شیر انبساط می‌رود که یک مسیر

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

طویل و باریک است پس فشارش کم و دمایش کاهش می یابد و به درون یخچال یعنی محفظه تبخیر شده و از جسم درون یخچال گرما می گیرد پس گاز فرئون با فشار کم و دمای بالا از یخچال خارج می گردد.

☞ ضریب عملکرد یخچال:

بهترین یخچال، یخچالی است که با انجام کار کمتر گرمای بیشتری را از درون یخچال از مواد سردشدنی بگیرد و به بیرون منتقل می کند. (Q_C گرمایی که از اجسام درون یخچال گرفته و Q_H گرمایی که به محیط داده می شود):

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

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q_C}{K \cdot t} \quad \text{توان یخچال}$$

$$|Q_H| = \frac{(K+1)}{K} Q_C$$

$$Q_C = K \cdot W$$

📌 نکته ۹۶: هر چه ضریب عملکرد یخچال بیشتر باشد، استفاده از آن مقرون به صرفه تر است.

مثال ۲۶: یخچالی با ضریب عملکرد ۵ در مدت ۲۰ ثانیه 10 kJ گرما از چشمه سرد می گیرد. توان موتور یخچال چند وات است؟

حل:

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{P \cdot t} \Rightarrow P = \frac{Q_C}{K \cdot t} = \frac{10 \times 1000}{5 \times 20} = 100 \text{ W}$$

مثال ۲۷: یک کولر گازی در هر دقیقه 4000 J گرما از هوای اتاق گرفته و در همین مدت 6000 J گرما به هوای خارج می دهد.

ضریب عملکرد دستگاه کدام است؟

حل:

$$|Q_H| = W + Q_C \Rightarrow 6000 = W + 4000 \Rightarrow W = 2000 \text{ J} \Rightarrow K = \frac{Q_C}{W} \Rightarrow K = \frac{4000}{2000} = 2$$

مثال ۲۸: توان موتور یک یخچال 600 وات و ضریب عملکرد آن ۳ است در مدت 300 ثانیه مقدار گرمایی که یخچال به محیط

بیرون می دهد چند کیلو ژول است؟

حل:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t = 600 \times 300 \Rightarrow W = 180 \text{ kJ} \quad \text{و} \quad K = \frac{Q_C}{W} \Rightarrow Q_C = KW = 3 \times 180 = 540 \text{ kJ}$$

$$|Q_H| = W + Q_C \Rightarrow |Q_H| = 180 + 540 = 720 \text{ kJ}$$

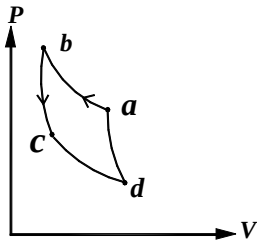
☞ قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی:

گرما به خودی خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمی شود (یعنی در یخچال $W \neq 0$)

☞ یخچال کارنو:

اگر فرآیندهای چرخه ماشین گرمایی کارنو را عکس کنیم یخچال کارنو می شود.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school



ضریب عملکرد یخچال کارنو:

$$K_{\max} = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{|Q_H| - Q_C} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_{cd}}{W_{da} + W_{ab} - |W_{bc}| - |W_{cd}|}$$

اگر یک ماشین گرمایی کارنو تبدیل به یخچال کارنو شود، بین بازده ماشین و ضریب عملکرد یخچال می توان چنین نوشت:

$$K = \frac{1-\eta}{\eta} \quad \text{یا} \quad \eta = \frac{1}{K+1}$$

مثال ۳۰: یخچالی ۲۵kJ گرما از منبع سرد می گیرد و ۳۵kJ به منبع گرم تخلیه می کند. ضریب عملکرد این یخچال چقدر است؟
حل:

$$|Q_H| = W + Q_C \Rightarrow 35 = W + 25 \Rightarrow W = 10 \text{ kJ}$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{25}{10} \Rightarrow K = 2.5$$

مثال ۳۱: ضریب عملکرد یک یخساز (فریزر) ۴ است این یخساز در هر ساعت ۱/۵kg آب با دما $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ را به یخ -10°C تبدیل می کند.

الف) چه مقدار گرما باید از آب گرفته شود؟

ب) در هر ساعت چه مقدار انرژی الکتریکی توسط این یخساز مصرف می شود؟

ج) چه مقدار گرما به محیط بیرون داده می شود؟

$$L_f = 336000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$C = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$C = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

حل:

$$\text{الف) } Q_C = mc(\theta - \circ) + mL_f + mc'(\circ + 10) = 1/5[4200 \times 20 + 336000 + 2100 \times 10] = 661500$$

$$\text{ب) } K = \frac{Q_C}{W} \Rightarrow 4 = \frac{661500}{W} \Rightarrow W = 165375$$

$$\text{ج) } |Q_H| = W + Q_C = 165375 + 661500 = 826875$$

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

مثال ۳۲: بازده یک ماشین گرمایی کارنو برابر ۰/۲۵ است اگر جهت فرآیندهای این ماشین را معکوس کنیم تا به یک یخچال تبدیل شود ضریب عملکرد آن را به دست آورید.

حل:

$$K = \frac{1-\eta}{\eta} = \frac{1-0/25}{0/25} \Rightarrow K = 3$$

مثال ۳۳: توان موتور یک یخچال ۲۰۰ وات و ضریب عملکرد آن ۵ است. چند ثانیه طول می کشد تا این یخچال از مواد داخل خود ۴۰۰ کیلوژول گرما بگیرد؟

حل:

$$W = P \cdot t \Rightarrow K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{P \cdot t} \Rightarrow t = \frac{400 \times 10^3}{5 \times 200} \Rightarrow t = 400s$$

مثال ۳۴: یک خنک کننده ایده آل موتور کارنو می باشد که در یک چرخه معکوس عمل می کند، یعنی مقداری گرمای Q_1 از یک چشمه گرمایی با دمای T_1 خارج شده و مقدار گرمای Q_2 به یک منبع گرمایی با دمای بالاتر T_2 منتقل می کند. ثابت کنید که با

$$W = Q_2 \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \text{ استفاده از این موتور کار انجام شده ضمن یک چرخه برابر است با:}$$

۹۱۳۲۱۰۱۸۲۵ مهندس سعید نمازی

قوی ترین کانال آموزشی فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

حل:

$$\begin{cases} Q_C = Q_1 \\ Q_H = Q_2 \end{cases} \Rightarrow W = Q_H - Q_C \Rightarrow W = Q_2 - Q_1$$

$$K = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{\frac{Q_1}{Q_2}}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}} \Rightarrow K = \frac{\frac{T_1}{T_2}}{1 - \frac{T_1}{T_2}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = K(1 - \frac{T_1}{T_2})$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_1}{T_2} &= \frac{Q_1}{Q_2} \\ K &= \frac{Q_1}{W} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Q_1}{W} (1 - \frac{T_1}{T_2}) \Rightarrow W = Q_2 (1 - \frac{T_1}{T_2})$$

مثال ۳۵: در ماشین های گرمایی هیچ گاه راندمان صد درصد نیست، علت چیست؟

حل:

این مسئله ربطی به تکنولوژی ندارد، بلکه چون لازمه وجود ماشین های گرمایی خروج مقداری Q_C از سیستم است و این امر اجتناب ناپذیر است.

مثال ۳۶: برای سرد کردن $0/5\text{kg}$ آب با دمای 25°C تا دمای 5°C ، موتور یک یخچال 12000J کار دریافت می کند. ضریب

عملکرد یخچال چقدر است؟ $C = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ آب

حل:

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{mc\Delta\theta}{W} = \frac{0/5 \times 4200 \times (25 - 5)}{12000} = 3/5$$

مثال ۳۷: توان یک یخچال 100 وات و ضریب عملکرد آن 2 است. چند ثانیه طول می کشد تا این یخچال از مقداری آب 200 کیلو

ژول گرما بگیرد؟

حل:

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{P \cdot t} \Rightarrow 2 = \frac{200 \times 10^3}{100 \times t} \Rightarrow t = 1000\text{s}$$

نکته ۹۷: می توان نشان داد که دو بیان قانون دوم ترمودینامیک با یکدیگر هم ارزند. یعنی اگر یکی از آنها نقض شود، دیگری

نیز نقض خواهد شد. به عبارت دیگر اگر بتوان یک ماشین گرمایی ساخت که به کمک آن همهی گرمای گرفته شده از چشمه ی

گرم را به کار تبدیل کرد، می توان یخچالی ساخت که بدون دریافت کار، گرما را از یک جسم سرد گرفته و به جسم گرم تر داد.

قوی ترین کانال آموزش فیزیک دبیرستان: https://telegram.me/physics_school

نکته ۹۸: قانون دوم ترمودینامیک را نمی توان از قانون اول ترمودینامیک نتیجه گرفت. زیرا قانون اول ترمودینامیک بیان دیگری از پایداری انرژی است ولی قانون دوم بر مشاهدات تجربی متکی است و هیچ آزمایشی منجر به نقض قانون دوم ترمودینامیک نشده است. همچنین امکان دارد قانون دوم ترمودینامیک نقض شود ولی قانون اول ترمودینامیک صحیح باشد.

مهندس سعید نمازی
۰۹۱۲۲۱۰۱۸۲۵