

۹-۱- قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)

راهنمای تدریس: ابتدا با انجام چند فعالیت به این نتیجه می‌رسیم که ماشین‌ها حتماً باید بین دو منبع گرم و سرد کار کنند و برای این که فرایندی صورت بگیرد باید اصل پایستگی انرژی برقرار باشد ولی هر فرایندی که در آن اصل پایستگی برقرار باشد، صورت نمی‌گیرد. و سپس با انجام فعالیت‌های دیگر به بیان قانون دوم ترمودینامیک خواهیم رسید.

پرسش ۷۸
چگونه می‌توان بازدهی ماشین گرمایی را افزایش داد؟

مثال ۹-۱
یک ماشین گرمایی در هر چرخه ۴۰۰۰ گرم را از منبع گرم دریافت می‌کند و ۲۵۰۰ گرم را منبع سرد می‌دهد. الف) در هر چرخه چه مقدار کار بر روی محیط انجام می‌شود؟ ب) بازدهی این ماشین چقدر است؟
حل: الف) از رابطه ۱۳-۱ داریم:
$$|W| = Q_H - |Q_C|$$

$$|W| = 4000 - 2500 = 1500$$

ب) با استفاده از رابطه ۱۳-۱ بازدهی این ماشین بدین‌صورت می‌باشد:
$$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

$$\eta = \frac{1500}{4000} = 0.375$$

در این ماشین گرمایی حدود ۳۷ درصد از گرمای دریافت‌شده به منبع سرد برده شده و تنها حدود ۳۸ درصد آن به کار تبدیل شده است.

۹-۱-۱ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)
در بررسی ماشین‌های گرمایی در بخش قبل، دیدیم که همه‌ی این ماشین‌ها با دو منبع گرما که دمای متفاوتی دارند کار می‌کنند. در این ماشین‌ها، دستگاه گرمایی (R) را از یک منبع گرم می‌گیرد مقداری از آن را به کار (W) تبدیل می‌کند و بقیه (Q_C) را به یک منبع سرد می‌دهد. در واقع هیچ‌یک از ماشین‌های گرمایی که تاکنون ساخته شده‌اند، نمی‌توانند همگی گرمای دریافتی را به کار تبدیل کنند.

پرسش ۷۹
اگر ماشین‌های گرمایی دریافتی را با کار تبدیل کنند، آیا قانون اول ترمودینامیک لغت می‌شود؟

فعالیت ۳۹



برای این که در یک ماشین گرمایی، گرما بتواند شارش کند، الف) دستگاه باید حداقل با چند منبع در تماس باشد؟ ب) دمای منبع‌ها را مقایسه کنید.

پاسخ: همه‌ی ماشین‌های گرمایی بین دو منبع گرما با دماهای متفاوت کار می‌کنند و این اختلاف دما سبب شارش گرما می‌شود.

فعالیت ۴۰

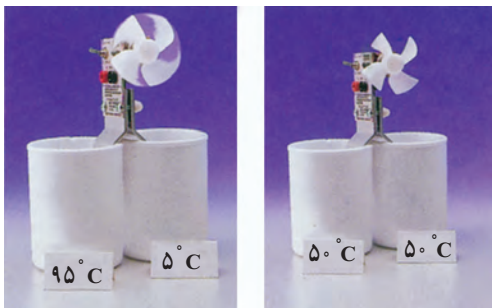


اگر نخواهیم از مواد سوختی استفاده کنیم، چگونه می‌توانیم ماشین گرمایی طراحی کنیم؟
پاسخ: همه‌ی ماشین‌های گرمایی بین دو منبع گرم و سرد کار می‌کنند. یعنی اگر دو منطقه داشته باشیم که اختلاف دما داشته باشند، می‌توان بین آن‌ها ماشین گرمایی طراحی کرد. با استفاده از مواد سوختی و سوزاندن آن یا می‌توانیم منطقه‌ای را ایجاد کنیم که دمای آن خیلی بیشتر از دمای محیط باشد در این صورت دو منطقه با دمای متفاوت خواهیم داشت.

فعالیت ۴۱



شکل (۶۰) وسیله‌ای را نشان می‌دهد که از یک سری سلول‌های نیم‌رسانا برای تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی استفاده می‌کند. در شکل «الف» پایه‌های دستگاه، در لیوان‌های پر از آب هم‌دمای قرار گرفته و دستگاه کار نمی‌کند. اما در شکل «ب»، پایه در لیوان‌های آب با دمای متفاوت قرار گرفته و دستگاه کار می‌کند. یعنی انرژی الکتریکی تولید شده و توسط یک موتور الکتریکی کوچک، پره‌ها شروع به چرخش می‌کنند. این دستگاه را می‌توان یک ماشین گرمایی نامید. از این آزمایش شما چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
پاسخ: برای راه‌اندازی این دستگاه لازم است دو منبع گرما با دمای متفاوت داشته باشیم.



شکل (۶۰)

فعالیت ۴۲

اکنون این سؤال پیش می‌آید که آیا فناوری امروز سر به حدی نرسیده است که ماشینی بسازد که تمام گرمای دریایی را به کار تبدیل کند؟ آیا در آینده ممکن است چنین ماشینی ساخته شود یا این که در آینده ترسناکترین چنین ماشینی امکان‌پذیر نیست؟

قانون دوم ترمودینامیک به این سؤال پاسخ می‌دهد. براساس این قانون، ممکن نیست دستگاهی چرخه‌ای را بسازیم که در حین آن مقداری گرما را از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

بیان بالا، قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشینی گرمایی نامیده می‌شود. توجه داریم که، همان‌طور که در بررسی ۸-۱ مطرح شد، اگر در یک چرخه تمام گرما به کار تبدیل شود، قانون اول ترمودینامیک نقض نمی‌شود اما براساس قانون دوم ترمودینامیک امکان طراحی و ساختن ماشینی که این تبدیل را انجام دهد، غیرممکن است. اگر قانون دوم ترمودینامیک بر فرآیندهای ترمودینامیک حاکم نبود، می‌توانستیم قطاری بی‌سایم 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.

فعالیت ۴۲-۱
جمله‌های زیر را تکمیل کنید:
(الف) بار قانون دوم ترمودینامیک، در یک چرخه مقدار مشخصی نمی‌تواند به طور کامل به تبدیل شود. بیا بازوی یکدستین گرمایی هرگز نمی‌تواند باشد.

پیش‌بینی بازوی یکدستین گرمایی را معنی کارنو مشخص کرده است. این بازوی از ماشینی به دست می‌آید که با چرخه کارنو (که در تمرین ۴-۱ معرفی شده است)، بین دو منبع گرم و سرد به ترتیب با دماهای T_H و T_C کار می‌کند. بازوی ماشینی کارنو از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (۴۲-۱)$$

این بازوی از بازوی هر ماشینی دیگری که بین این دو منبع کار کند، بیش‌تر است. به این علت، بازوی یا زیرتوس $\eta_{\text{کارنو}}$ مشخص شده است.

فکر می‌کنید در چه مناطقی و با چه ویژگی‌هایی می‌توان ماشین گرمایی بدون مصرف سوخت طراحی کرد؟ یعنی فقط از انرژی طبیعت استفاده کرد.

پاسخ: (۱) مناطقی که انرژی زمین گرمایی آن‌ها نسبتاً زیاد است مثلاً در نزدیکی محل آتش فشان و... در این مناطق دمای زیر سطح زمین بسیار بیشتر از دمای سطح زمین است (دو چشمه ی گرم و سرد)
(۲) چشمه‌های آب گرم که دمای آن بیشتر از دمای اطراف آن‌هاست.

(۳) استفاده از اختلاف دمای بین لایه‌های مختلف آب دریا

(۴)

فعالیت ۴۳

بررسی ماشین‌های گرمایی نشان می‌دهد که در این ماشین‌ها، دستگاه گرمای Q_H را از منبع گرم می‌گیرد، مقداری از آن را به کار $|W|$ تبدیل می‌کند و بقیه را به منبع سرد می‌دهد $|Q_C|$. یعنی هیچ یک از ماشین‌های گرمایی ساخته شده نمی‌توانند همه‌ی گرمای دریافتی را در یک چرخه به کار تبدیل کنند. (الف) اگر ماشینی همه‌ی گرمای دریافتی را به کار تبدیل کند، آیا قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود؟
(ب) به نظر شما آیا می‌توان در آینده ماشینی طراحی کرد که تمام گرمای دریافتی را به کار تبدیل کند؟ به عبارت دیگر آیا فناوری امروز بشر اجازه‌ی طراحی چنین ماشینی را به ما نمی‌دهد؟
پاسخ: (الف) اگر ماشینی همه‌ی گرمای دریافتی را به کار تبدیل کند، قانون پایستگی انرژی و یا قانون اول ترمودینامیک نقض نمی‌شود و می‌توانیم بنویسیم:

$$Q_C = 0$$

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

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q_H + W = 0$$

$$W = -Q_H$$

اگر یک چرخه را ببینیم؛

(ب) انتظار نداریم دانش‌آموزان حتماً پاسخ درستی به این قسمت از فعالیت بدهند. اغلب دانش‌آموزان تصور می‌کنند که ناتوانی فناوری بشر امروز، عاملی برای نرسیدن به بازده صد در صد یعنی تبدیل همه‌ی گرمای دریافتی به کار است (در یک چرخه). پس از شنیدن پاسخ‌های دانش‌آموزان، قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشینی گرمایی را مطرح می‌کنیم یا از دانش‌آموزان می‌خواهیم که این قسمت از کتاب را مطالعه کرده و به فعالیت ۴۲-۱ پاسخ دهند.

فعالیت ۴۲-۱

(الف) گرما - کار
(ب) صد درصد یا یک

پرسش: اگر بتوانیم قطاری بسازیم که از هوا گرما بگیرد (هوا را سرد کند) و با تبدیل کامل آن به کار، حرکت کند، آیا قانون اول ترمودینامیک نقض می‌شود، قانون دوم ترمودینامیک چطور؟
پاسخ: در انتهای توجه زیر پاسخ این پرسش وجود دارد.

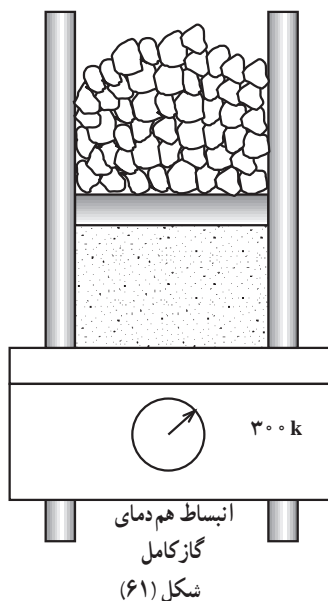
کاتوره‌ای مولکول‌ها به حرکت منظم جسم غیرممکن و فقط تبدیل بخشی از آن میسر است و این کاری است که ماشین گرمایی انجام می‌دهد. اگر قانون دوم درست نبود، این امکان وجود می‌داشت که به حساب سرد شدن هوای محیط، اتومبیلی را به حرکت درآورده و یا نیروگاهی را به راه انداخت. هیچ‌یک از این دو عمل با قانون اول ترمودینامیک منافاتی ندارد. بنابراین قانون دوم از قانون اول نتیجه‌گیری نشده بلکه خود یک قانون مستقل طبیعت است. قانون اول می‌گوید که انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد و قانون دوم محدودیت موجود بر سر راه دسترسی به انرژی به منظور استفاده‌ی مطلوب را بیان می‌دارد.

توجه: قانون دوم براساس وجود اختلاف بین طبیعت انرژی درونی و انرژی مکانیکی ماکروسکوپی است. در یک جسم متحرک، مولکول‌ها علاوه بر حرکت کاتوره‌ای، همگی حرکتی منظم و سرعتی هم‌جهت سرعت کلی جسم دارند. انرژی جنبشی نظیر این حرکت ماکروسکوپی منظم همان چیزی است که ما آن را انرژی جنبشی جسم متحرک می‌نامیم. انرژی پتانسیل و جنبشی نظیر حرکت کاتوره‌ای، انرژی درونی را تشکیل می‌دهند. وقتی جسمی روی سطحی در حال حرکت است و بر اثر اصطکاک به حال سکون درمی‌آید، حرکت منظم جسم به حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های جسم و سطح تبدیل می‌شود. چون نمی‌توان حرکت تک‌تک مولکول‌ها را تحت کنترل درآورد، تبدیل کامل حرکت

فعالیت ۴۴

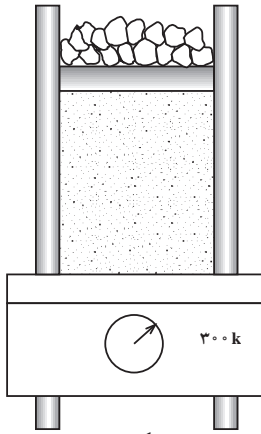


فرض کنید مطابق شکل یک استوانه‌ی حاوی گاز کامل که با یک پیستون بدون اصطکاک مسدود شده است،



شکل (۶۱)

روی یک اجاق با دمای ثابت قرار دهیم. گاز را به‌عنوان دستگاه و اجاق و پیستون را به‌عنوان محیط می‌گیریم. اگر کمی از شن‌های روی پیستون را برداریم به علت کاهش فشار، گاز درون استوانه منبسط می‌شود و بر اثر این انبساط، دمای آن کمی پایین می‌آید. در این حالت به علت اختلاف دمای اجاق و گاز، مقدار کمی گرما از اجاق به گاز روان می‌شود و دمای آن به دمای اجاق می‌رسد. با برداشتن مجدد کمی شن از روی پیستون، این عمل تکرار می‌شود و $V_1 < V_2$. چون در طول این فرآیند مرتب از مقدار شن‌ها کم کرده‌ایم، در پایان این فرآیند، فشار گاز از مقدار اولیه کمتر است. در این فرآیند دستگاه از محیط (اجاق) گرما می‌گیرد و دستگاه با افزایش انرژی پتانسیل گرانشی پیستون و شن‌های روی آن به محیط کار پس می‌دهد و چون دمای گاز ثابت مانده است، براساس قانون اول ترمودینامیک همه‌ی گرمای دریافتی به کار تبدیل شده است. به نظر شما آیا این آزمایش، قانون دوم ترمودینامیک را نقض نمی‌کند؟ توضیح دهید.



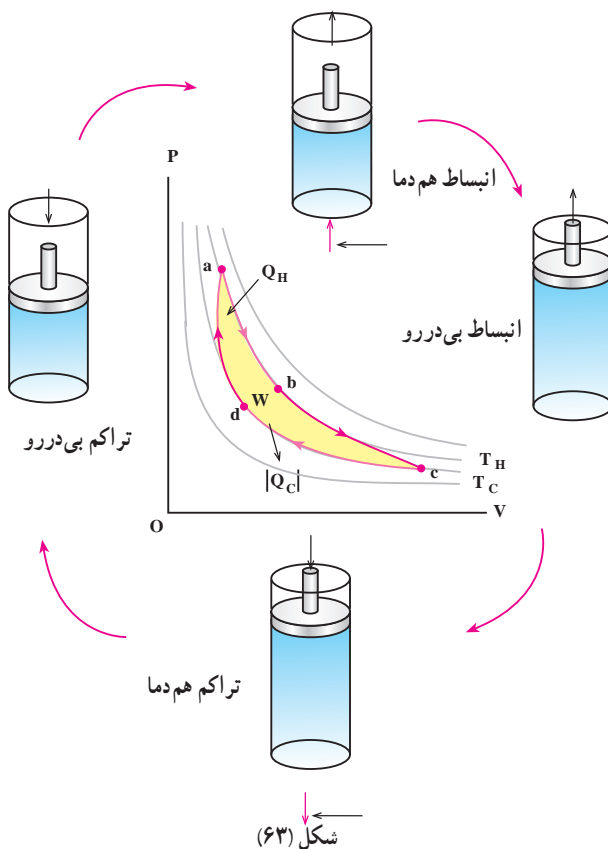
شکل (۶۲)

پاسخ: در این فرایند فشار گاز کاهش و حجم افزایش یافته است. یعنی دستگاه به حالت اولیه‌ی خود برنگشته است. به عبارت دیگر فرایند چرخه‌ای نیست، بنابراین قانون دوم ترمودینامیک نقض نمی‌شود.

فعالیت ۴۵



بر اساس قانون دوم ترمودینامیک بازده‌ی ماشین‌های گرمایی همواره از صد در صد کمتر است. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که بیشترین بازده‌ی ممکن برای ماشین‌های گرمایی چه مقدار است؟ به عبارت دیگر تا چه حد می‌توان، بازده‌ی ماشین‌های گرمایی را به صد در صد نزدیک کرد؟ یا بین ماشین‌هایی که همگی بین دو چشمه‌ی گرم و سرد با دمای T_H و T_C کار می‌کنند، بازده‌ی کدام ماشین بیشتر است؟



شکل (۶۳)

توجه: انتظار نداریم دانش‌آموزان بتوانند به این پرسش پاسخ دهند، هدف از طرح این پرسش درگیر کردن دانش‌آموزان با آن و احساس این که به راحتی نمی‌توان به آن پاسخ داد. در اصل این فعالیت، به عنوان یک فعالیت خارج از کلاس می‌تواند مطرح شود. اطلاعات کامل مرتبط با این فعالیت در دانستنی مربوطه آمده است. پاسخ: سعدی* کارنو به این پرسش پاسخ داد (۱۸۲۴ میلادی). وی یک ماشین گرمایی فرضی را ارائه کرد و نشان داد که بر اساس قانون دوم، این ماشین فرضی از هر ماشین دیگری که بین دو منبع گرم و سرد با دمای T_H و T_C کار می‌کند، بازده بیشتری دارد. چرخه‌ی ماشین کارنو، همان چرخه‌ای است که در تمرین ۱-۶ رسم کرده‌اید. بازده‌ی ماشین کارنو از رابطه‌ی هم‌دمای ab و cd و دو قسمت بی‌درروی bc و da تشکیل شده است.

* پدر کارنو به سعدی، شاعر بلندآوازه‌ی ایرانی علاقه‌ی فراوان داشت. از این رو اسم پسر خود را سعدی گذاشت.

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{45 + 273}{450 + 273}$$

$$= 1 - \frac{318}{723}$$

$$= 0.56$$

مثال: در یک توربین بخار، بخار آب با دمای 450°C وارد توربین می‌شود. اگر دمای آب در چگالنده 45°C باشد، بیشترین بازده ممکن توربین را به دست آورید.
پاسخ:

دانستنی

چرخه‌ی کارنو

در این دانستنی؛ علت این که ماشین کارنو دارای بازدهی بیشینه است، بررسی می‌شود و در ادامه رابطه‌ی

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

استخراج می‌گردد.

مثال ۱-۱۰: اهمیت این مثال از این جهت است که، علی‌رغم این که می‌توانیم بین سطح و عمق اقیانوس ماشین گرمایی طراحی کنیم، اما ماشین طراحی شده دارای بازدهی ناچیزی است. این نوع ماشین‌ها زمانی اهمیت پیدا می‌کنند که مشکل مربوط به تهیه سوخت‌های فسیلی یا... جدی شود.

۱-۱۰ و ۱-۱۱ یخچال و بیان قانون دوم ترمودینامیک (به بیان یخچالی)

راهنمای تدریس: سؤالاتی را که در ابتدای این بخش آمده، می‌توان دسته‌بندی کرد و به ترتیب به عنوان پرسش‌های هدفمند به دانش‌آموزان داد تا با فعالیت‌های گروهی به پاسخ‌های آن‌ها برسند.

مثال ۱-۱۰

می‌خواهیم یک ماشین گرمایی بسازیم که منبع گرم آن آب سطح اقیانوس در دمای 27°C و منبع سرد آن آب اعماق اقیانوس در دمای 7°C باشد. حداکثر بازدهی که می‌توان به دست آورد (بازدهی ماشین کارنو) چقدر است؟

حل:

$$T_C = 273 + 7 = 280\text{K}$$

$$T_H = 273 + 27 = 300\text{K}$$

با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱۰ داریم:

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

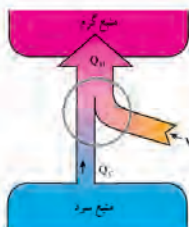
$$\eta_{\max} = 1 - \frac{280}{300} = 0.067 = 6.7\%$$

بازدهی هر ماشین دیگری که بین این دو منبع کار کند، از این مقدار کمتر است.

۱-۱۱ یخچال

اگر جسم سردی را در کنار جسمی گرم قرار دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا ممکن است گرما خودبه‌خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود؟ یعنی جسم گرم گرما بگیرد و گرم‌تر شود و جسم سرد گرما از دست بدهد و سردتر شود؟

چه پدیده‌ای اتفاق می‌افتد که محتویات داخل یخچال سرد می‌شود؟ اگر یخچال به بری وصل تیناند، آیا باز هم این امر رخ می‌دهد؟



یخچال وسیله‌ای است که گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل می‌کند. در یخچال هم دستگاه یک چرخه را طی می‌کند و در حین آن محیط با انجام کار W بر روی دستگاه گرمای Q_c را از منبع سرد (محتویات درون یخچال) می‌گیرد و گرمای Q_h را به منبع گرم (هوای بیرون یخچال) می‌دهد.

طرز کار یخچال به صورت طرح‌وار در شکل ۱-۲۲ نشان داده شده است.

شکل ۱-۲۲

پرسش: الف) اگر جسم سردی را در کنار جسم گرمی قرار دهیم، چه اتفاقی می افتد؟ مثلاً اگر یک تکه یخ صفر درجه سلسیوس را در مقداری آب ولرم بیندازیم، چه اتفاقی می افتد؟ (فرض کنید یخ به طور کامل آب می شود).
 ب) آیا ممکن است مقدار یخ بیشتر شده و آب گرم تر شود یعنی گرما از جسم سرد (یخ) به جسم گرم (آب ولرم) منتقل شود؟

پاسخ: الف) جهت خود به خودی انتقال گرما در تماس دو جسم گرم و سرد، شارش گرما از جسم گرم به جسم سرد است یعنی آب گرما از دست می دهد و یخ گرما می گیرد، بنابراین پس از مدتی یخ آب می شود و دمای آب نیز کاهش می یابد.

ب) خیر، در طبیعت به طور خود به خود، فرآیندها در جهت مشخصی رخ می دهند. مثلاً اگر مقداری جوهر در آب بچکانیم، جوهر در آب پخش می شود یا اگر مقداری نمک را در آب بریزیم، نمک در آب حل می شود یا اگر مقداری یخ را در آب گرم بیندازیم، یخ آب شده و مقداری آب ولرم خواهیم داشت. هرگز مشاهده نشده است که نمک موجود در محلول رقیق آب نمک، در گوشه ای از ظرف جمع شود یا مقدار یخ بیشتر شده و آب گرم تر شود....

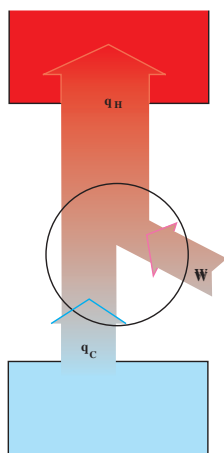
پرسش: آیا شارش خود به خودی گرما از جسم سرد به جسم گرم با قانون اول ترمودینامیک ناسازگار است؟
 پاسخ: خیر، ولی در طبیعت به صورت خود به خود رخ نمی دهد.

پرسش: الف) کار یخچال چیست و چگونه کار می کند؟

ب) اگر یخچال خاموش شود یا برق آن قطع شود، چه اتفاقی می افتد؟

پاسخ: الف) یخچال با سرد کردن مواد غذایی و نگه داشتن آن ها در یک دمای مشخص، از فاسد شدن آن ها جلوگیری می کند. یخچال با گرفتن گرما از جسم سرد و انتقال آن به جسم گرم این عمل را انجام می دهد که به طور خود به خود انجام نمی شود. توجه داریم یخچال با گرفتن انرژی الکتریکی و تبدیل آن به کار یعنی با انجام کار، گرما را از داخل محفظه ی یخچال که سردتر است جذب و به محیط بیرون که گرم تر است، می دهد.

ب) انرژی از محیط بیرون که گرم تر است به داخل یخچال که سردتر است، نفوذ می کند، یعنی گرما از محیط گرم به سرد شارش می کند (فرآیند خود به خودی) و پس از مدتی، دمای داخل و بیرون یکی می شود.



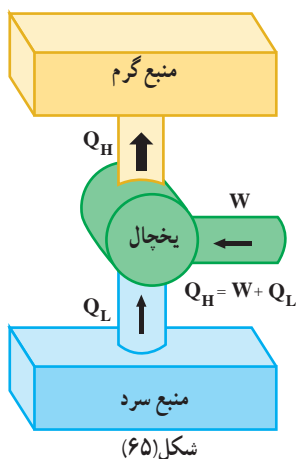
شکل (۶۴)

فعالیت ۴۶



در یخچال هم مانند ماشین گرمایی، دستگاه یک چرخه را می پیماید و در حین آن محیط با انجام کار W بر روی دستگاه، گرمای Q_C را از منبع سرد (محتویات درون یخچال) می گیرد و گرمای Q_H را به منبع گرم (هوای بیرون یخچال) می دهد. طرح واره ای را رسم کنید که در آن یخچال با یک دایره و

اندازه‌ی انرژی با پهنای نوار مشخص شود و فرآیند گرفتن گرمای Q_C از منبع سرد، انجام کار W و دادن گرمای Q_H به منبع گرم را نشان دهد.
پاسخ:



پرسش: یخچال را با ماشین گرمایی مقایسه کنید.
پاسخ: در کتاب موجود است.

همان‌طور که در شکل ۲۳-۱ می‌بینید، یخچال مانند یک ماشین گرمایی است که در جهت عکس کار می‌کند. طرز کار یخچال در بخش مطالعه‌ی آزاد آمده است.

تمرین ۱-۸

علامت W ، Q_H و Q_C را در یخچال مشخص کنید.

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک،

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

چون در چرخه $\Delta U = 0$ است.

$$|Q_H| = Q_C + W \quad (۱۷-۱)$$

ملاحظه می‌شود گرمایی که یخچال به هوای اطراف خود می‌دهد، بیش‌تر از گرمایی است که از داخل یخچال می‌گیرد.

مطالعه‌ی آزاد

ساز و کار یخچال

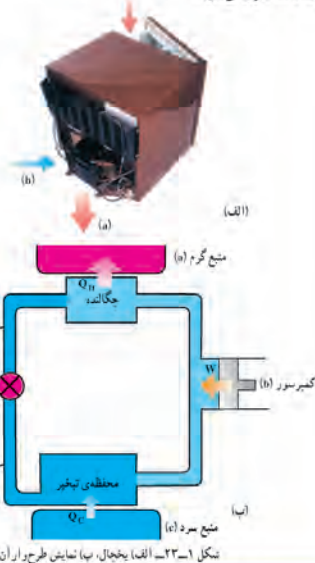
یخچال یکی از وسایل بسیار ضروری خانگی است. یخچال‌ها را در اندازه‌های مختلف می‌سازند و آن‌ها را با حجم داخلی مشخص می‌کنند؛ مثلاً یخچال ۹ فوت دارای حجم داخلی ۹ فوت مکعب یا حدود ۲۴۰ لیتر است.

در شکل ۲۳-۱ الف یک یخچال و در شکل ۲۳-۱ ب نمایش طرح‌وار آن را مشاهده می‌کنید. همان‌طور که در این دو شکل نشان داده شده است، قسمت‌های اصلی یخچال عبارت‌اند از: چگالنده، محفظه‌ی تبخیر، کمپرسور و شیر انبساط. چگالنده در تماس با منبع گرم (هوای بیرون یخچال) و محفظه‌ی تبخیر یا منبع سرد (محتویات داخل یخچال) در تماس است. ماده‌ای که چرخه‌ی ترمودینامیکی را طی می‌کند، گاز فریون است. این گاز از جمله گازهایی است که به لایه‌ی ازن صدمه می‌زند و پژوهش‌های زیادی برای جایگزینی آن انجام شده است. فریون در چگالنده به‌صورت مایع در فشار زیاد و در محفظه‌ی تبخیر به‌صورت گاز در فشار کم قرار دارد.

شیر انبساط راه بسیار باریکی است که این دو ناحیه‌ی کم‌فشار و برقرار را به یک‌دیگر وصل می‌کند.

۲۲

طرز کار یخچال به‌طور مختصر به شرح زیر است. کمپرسور یا انجام کار W گاز را از محفظه‌ی تبخیر می‌گیرد و به چگالنده منتقل می‌کند و دما و فشار آن را بالا می‌برد. در این مرحله، گاز که دمای آن از دمای منبع گرم بالاتر است، گرمای Q_H را به این منبع می‌دهد و مایع می‌شود. هنگامی که این مایع بر فشار از شیر انبساط می‌گذرد و وارد محفظه‌ی تبخیر یا فشار کم می‌شود، به بخار تبدیل می‌گردد و گرمای نهان تبخیر Q_C را از منبع سرد می‌گیرد. در یخچال، این چرخه دائماً تکرار می‌شود.



۲۳

تمرین ۱-۸: چون از طرف محیط بر روی دستگاه کار انجام می‌شود، پس $W > 0$ است. Q_C و Q_H به ترتیب گرمای گرفته شده و گرمای از دست داده توسط دستگاه است. بنابراین $Q_C > 0$ و $Q_H < 0$ است.

فعالیت ۴۷



با استفاده از قانون اول ترمودینامیک، تغییر انرژی درونی را در یک چرخه‌ی یخچال بنویسید و اندازه‌ی Q_H را با Q_C مقایسه کنید.

پاسخ:

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q_H + Q_C + W \\ &= -|Q_H| + Q_C + W\end{aligned}$$

$$\Delta U = 0 \quad \text{در یک چرخه:}$$

$$-|Q_H| + Q_C + W = 0$$

$$|Q_H| = Q_C + W$$

یعنی گرمایی که یخچال به هوای اطراف خود می‌دهد، بیشتر از گرمایی است که از داخل یخچال می‌گیرد.

پرسش: آیا می‌توان با باز گذاشتن در یخچال در آشپزخانه، هوای آشپزخانه را خنک کرد؟
پاسخ: اگر در یخچال باز باشد، در هر چرخه، گرمای Q_C از آشپزخانه گرفته می‌شود و گرمای Q_H به آن داده می‌شود. با توجه به این که $|Q_H| = Q_C + W$ است، $|Q_H| > Q_C$ است و آشپزخانه به تدریج گرم می‌شود.

مطالعه‌ی آزاد



در این مطالعه‌ی آزاد، طرز کار یخچال به صورت کاربردی توضیح داده شده است که می‌توانیم از گروه‌ها بخواهیم آن را مطالعه کنند و پس از بحث و تبادل نظر، بعضی از گروه‌ها طرز کار یخچال را توضیح دهند و در صورت نیاز، توضیح آن‌ها را کامل می‌کنیم.

پرسش: هرگاه بخواهیم در یخچالی را پس از بستن، دوباره باز کنیم، به سختی این عمل انجام می‌شود، علت را توضیح دهید.

پاسخ: وقتی در یخچال را می‌بندیم، مقدار هوای داخل آن ثابت می‌ماند. با کاهش دمای هوای داخل، فشار آن نیز کاهش می‌یابد و اختلاف فشار داخل و بیرون نیروی خالصی به طرف داخل یخچال وارد می‌کند.

مثال ۱-۱۱: این مثال، مثال مهمی است. زیرا چرخه‌ی ماشین گرمایی است و حل آن توسط دانش‌آموزان توصیه یخچالی را نشان می‌دهد که جهت چرخه، عکس جهت چرخه‌ی می‌شود.

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

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

به بیرون منتقل کند.

همان‌طور که در شکل ۲۲-۱ می‌بینید، یخچال مانند یک ماشین گرمایی است که در جهت عکس کار می‌کند. طرز کار یخچال در بخش مطالعه‌ی آزاد آمده است.

تصویر ۱-۱۱

علامت Q_C و Q_H و W را در یخچال مشخص کنید.

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک، $\Delta U = |Q_H| + Q_C + W$

چون در چرخه $\Delta U = 0$ است.

$$|Q_H| = Q_C + W \quad (17-1)$$

ملاحظه می‌شود گرمایی که یخچال به هوای اطراف خود می‌دهد، بیش از گرمایی است که از داخل یخچال می‌گیرد.

مطالعه‌ی آزاد

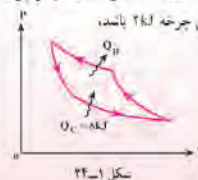
ساز و کار یخچال

یخچال یکی از وسایل بسیار ضروری خانگی است. یخچال‌ها را در اندازه‌های مختلف می‌سازند و آن‌ها را با حجم داخلی مشخص می‌کنند: مثلاً یخچال ۹ فوت دارای حجم داخلی ۹ فوت مکعب یا حدود ۲۴۰ لیتر است. در شکل ۲۲-۱ الف یک یخچال و در شکل ۲۲-۱ ب نمایش طرح‌واره آن را مشاهده می‌کنید. همان‌طور که در این دو شکل نشان داده شده است، قسمت‌های اصلی یخچال عبارت‌اند از: جگانه، محفظه‌ی تبخیر، کمپرسور و شیر انبساط. جگانه، در تماس با منبع گرم (هوای بیرون یخچال) و محفظه‌ی تبخیر با منبع سرد (محتویات داخل یخچال) در تماس است. ماده‌ای که چرخه‌ی ترمودینامیکی را طی می‌کند، گاز فریون است. این گاز از جمله گازهایی است که به لایه‌ی ازن صدمه می‌زند و پژوهش‌های زیادی برای جایگزینی آن انجام شده است. فریون در جگانه به صورت مایع در فشار زیاد و در محفظه‌ی تبخیر به صورت گاز در فشار کم قرار دارد. شیر انبساط راه بسیار باریکی است که این دو ناحیه‌ی کم‌فشار و پر فشار را به یک‌دیگر وصل می‌کند.

۳۲

مثال ۱-۱۱

تودار P-V چرخه‌ای که دستگاه در یک یخچال فرضی طی می‌کند، در شکل ۲۲-۱ نشان داده شده است. اگر دستگاه در هر چرخه ۸kJ گرما از منبع سرد بگیرد و مساحت داخل چرخه ۲kJ باشد،



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

ب) فضایی که یخچال در آن قرار دارد، یک اتاق در بسته به ابعاد $3m \times 4m \times 2m$ است. در هر چرخه، دمای اتاق چند کلوین افزایش می‌یابد؟ فرض کنید دمای اتاق $27^\circ C$ و فشار آن یک اتمسفر و ظرفیت گرمایی مولی هوا در حجم ثابت $24 J/mol \cdot K$ است. ($R \approx 8 J/mol \cdot K$)

حل: الف) با استفاده از رابطه ۱۷-۱ داریم: $|Q_H| = Q_C + W$

$$|Q_H| = 8 + 2 = 10 \text{ kJ}$$

ب) با استفاده از معادله‌ی حالت گاز کامل تعداد مول‌های موجود در اتاق را بدست می‌آوریم:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{10^5 \times 24}{3 \times 10^3 \times 8} = 10^3 \text{ مول}$$

با استفاده از رابطه‌ی ۷-۱ تغییر دمای اتاق بدست می‌آید.

$$\Delta T = \frac{|Q_H|}{nC_{Mv}}$$

$$\Delta T = \frac{10 \times 10^3}{10^3 \times 24} = 4/3 \text{ K}$$

۳۳

پرسش: اگر ضریب عملکرد یخچال (K) را به صورت نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد (Q_C) به کاری که موتور یخچال انجام می‌دهد (W) تعریف کنیم یعنی: $K = \frac{Q_C}{W}$ ، استفاده از یخچالی که ضریب عملکرد آن بیشتر است، مقرون به صرفه است یا یخچالی که ضریب عملکرد آن کم است؟
پاسخ: هر چه ضریب عملکرد یخچالی بیشتر باشد، استفاده از آن مقرون به صرفه تر است، یعنی به ازای کار مشخص، گرمای بیشتری را از یخچال جذب می‌کند.

— در این جا به ضریب عملکرد یخچال‌های تجاری اشاره می‌کنیم.

پرسش: یکای ضریب عملکرد چیست؟
 با توجه به رابطه $K = \frac{Q_C}{W}$ و این که یکای کار و گرما یکی است، ضریب عملکرد یکا ندارد.

پرسش ۹-۱

برابر است با:

$$Q_C = mC_{\text{یخ}} \Delta\theta_1 + mL_f + mC_{\text{آب}} \Delta\theta_2$$

$$= 1 \times 2100 \times 4 + 1 \times 335000 + 1 \times 4200 \times 20 = 427,400 \text{ J}$$

با استفاده از رابطه‌ی بازده و توان، زمان به صورت زیر

محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{P.t}$$

$$2/25 = \frac{427,400}{400 \times t} \rightarrow t = 475 \text{ s}$$

(ب) با استفاده از رابطه‌ی کار و توان و زمان و رابطه‌ی

$$|Q_H| = Q_C + W \quad \text{مقدار } |Q_H| \text{ را محاسبه می‌کنیم:}$$

$$W = P.t = 400 \times 475 = 1/9 \times 10^5 \text{ J}$$

$$|Q_H| = W + Q_C = 1/9 \times 10^5 + 4/274 \times 10^5$$

$$|Q_H| = 6/174 \times 10^5 \text{ J}$$

– در این جا در مورد طرز کار کولرهای گازی و تهویه‌های

مطبوع و منبع گرم و سرد آن‌ها توضیح می‌دهیم.

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{P.t} \quad \text{تمرین ۹-۱:}$$

$$2/5 = \frac{Q_C}{1000 \times 60}$$

$$Q_C = 105000 \text{ J} \quad \text{گرمای گرفته شده از اتاق}$$

$$|Q_H| = Q_C + W = 105000 + 60 \times 700$$

$$= 147000 \text{ J} \quad \text{گرمای داده شده به بیرون:}$$

با کم کردن اصطکاک، تلاطم و اتلاف گرما و... می‌توان

ضریب عملکرد یخچال را افزایش داد. ضمناً هرچه محیطی که

یخچال در آن کار می‌کند (محیط آشپزخانه یا...) خنک‌تر باشد،

ضریب عملکرد افزایش می‌یابد.

– در این مرحله حل مثال ۱-۱۲ و مثال‌های مشابه توسط

دانش‌آموزان توصیه می‌شود.

مثال: موتور الکتریکی یک یخچال، برای گرفتن $6/0 \times 10^2 \text{ J}$

گرما از بخش یخساز، $2/5 \times 10^3 \text{ J}$ انرژی الکتریکی مصرف

می‌کند. الف) ضریب عملکرد این یخچال چه مقدار است؟ (ب) این

یخچال، چه مقدار گرما به آشپزخانه‌ی شما می‌دهد؟

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{6/0 \times 10^2 \text{ J}}{2/5 \times 10^3 \text{ J}} = 2/4 \quad \text{پاسخ: الف)}$$

$$|Q_H| = Q_C + W = 6/0 \times 10^2 \text{ J} + 2/5 \times 10^3 \text{ J} \quad \text{ب)}$$

$$= 8/5 \times 10^2 \text{ J}$$

مثال: توان موتور یخچالی 400 W و ضریب عملکرد آن

$2/25$ است.

الف) چه مدت طول می‌کشد تا 1 kg آب 20°C به یخ

-4°C تبدیل شود؟

ب) در این مدت، یخچال چه مقدار گرما به محیط بیرون

می‌دهد؟

$$C_{\text{یخ}} = 2/1 \text{ kJ/kg} \quad \text{و} \quad C_{\text{آب}} = 4/2 \text{ kJ/kg}^\circ \text{C} \quad \text{و} \quad L_f = 335 \text{ kJ/kg}$$

پاسخ: الف) اندازه‌ی گرمای Q_C که آب از دست می‌دهد،

دانستنی



کولر گازی

در این دانستنی؛ نحوه‌ی کار کولرهای گازی و تهویه‌ی مطبوع، توضیح داده شده است.

پرسش: کولرهای گازی طوری قرار می‌گیرند که پشت آن‌ها در بیرون فضایی که قرار است، خنک شود، جایگزین شود. توضیح دهید چرا باید پشت این کولرها، در بیرون خانه یا اتاق باشد؟ به چه دلیل نمی‌توان آن را در وسط اتاق قرار داد؟

پاسخ: کولر گازی همانند یخچال‌ها با انجام کار W ، گرمای Q_C را از منبع سرد (داخل اتاق) می‌گیرند و گرمای

$|Q_H| = Q_C + W$ را به منبع گرم (بیرون اتاق) می‌دهند. اگر پشت کولر بیرون از اتاق نباشد، گرمای $|Q_H|$ وارد اتاق می‌شود و سبب افزایش دمای اتاق می‌شود، زیرا مقدار $Q_C = W - Q_C = |Q_H|$ ، انرژی در هر چرخه وارد اتاق می‌شود که تبدیل به گرما می‌شود.



از بررسی طرز کار یخچال‌ها، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

گرما خود به خود از جسم گرم به جسم سرد می‌رود ولی عکس آن هرگز رخ نمی‌دهد. یخچال گرما را از جسم سرد می‌گیرد و به جسم گرم می‌دهد ولی این کار خود به خود انجام نمی‌شود، بلکه یخچال با دریافت کار یا انرژی مکانیکی این کار را انجام می‌دهد.

طرز کار کولر گازی مانند یخچال است. در کولر گازی منبع سرد در داخل اتاق و منبع گرم در بیرون قرار دارد. کولر با انجام کار، گرما را از داخل اتاق می‌گیرد و به هوای بیرون می‌دهد.

تمرین ۹-۱

توان مصرفی یک کولر گازی ۷۰۰ وات و ضریب عملکرد آن ۲٫۵ است. این کولر در هر دقیقه چه مقدار گرمای اتاق را می‌گیرد و چه مقدار گرما به فضای بیرون می‌دهد؟

۱-۱ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان یخچالی)

می‌دانیم که گرما از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌شود ولی عکس این عمل، خودبه‌خود صورت نمی‌گیرد. اگر یک لیوان آب خنک در اتاق قرار داشته باشد، گرما خود به خود از آب به اتاق منتقل نمی‌شود. ولی وقتی آب را در داخل یخچال قرار می‌دهیم، یخچال با مصرف انرژی مقداری گرما را از آب می‌گیرد و به هوای اتاق منتقل می‌کند. مطابق بالا موضوع قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی را تشکیل می‌دهد. براساس این بیان، گرما به خودی خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمی‌شود. می‌توان نشان داد که دو بیان مائسین گرمایی و یخچالی قانون دوم ترمودینامیک، معادل یک‌دیگرند.

اگر قانون دوم به بیان یخچالی نقض شود (یعنی گرما به‌طور خودبخود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود)، قانون دوم به بیان مائسین گرمایی نیز نقض می‌شود (یعنی می‌توان مائسینی ساخت که در یک چرخه تمام گرما را به کار تبدیل کند) و به عکس.

سرد می‌کند یعنی از هوای سرد بیرون گرما می‌گیرد و آن را به هوای گرم داخل منتقل می‌کند، سروکار داریم:

$$W = P \cdot t = 300 \times 60 = 18000 \text{ J}$$

$$|Q_H| = Q_C + W$$

$$54000 \text{ J} = Q_C + 18000 \text{ J}$$

$$Q_C = 36000 \text{ J}$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{36000 \text{ J}}{18000 \text{ J}} = 2$$

– در این جا براساس فعالیت بالا، قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی را مطرح می‌کنیم.

مثال: توان موتور یک تلمبه‌ی گرما $W = 300$ است. این تلمبه قادر است در هر دقیقه 54000 J گرما به داخل خانه منتقل کند. دمای هوای بیرون -4°C و درون 27°C است. ضریب عملکرد این تلمبه را حساب کنید.

پاسخ: توجه؛ در این جا با یک کولر گازی که بیرون را



فعالیت خارج از کلاس

تحقیق کنید که اگر قانون دوّم به بیان یخچالی نقض شود (یعنی گرما به طور خود به خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود) قانون دوّم به بیان ماشین گرمایی نیز نقض می‌شود (یعنی می‌توان ماشینی ساخت که در یک چرخه تمام گرما را به کار تبدیل کند) و به عکس.
در دانستنی زیر، معادل بودن این دو بیان را نشان می‌دهیم.

دانستنی



معادل بودن بیان یخچالی و ماشین گرمایی قانون دوّم ترمودینامیک

در این دانستنی؛ معادل بودن دو بیان قانون دوّم بررسی می‌شود و توضیح داده می‌شود که اگر هر یک از این بیان‌ها نقض شود، بیان دیگر نیز نقض خواهد شد.

پاسخ تمرین‌های فصل اول

۱- اگر استوانه‌ی حاوی گاز را به منبع گرما وصل کنیم، پیستون را ثابت کنیم و دمای منبع را آرام آرام بالا ببریم با ثابت ماندن حجم گاز، دما و در نتیجه فشار آن افزایش می‌یابد.

تمرین‌های فصل اول

- ۱- در فرایند هم حجم چگونه می‌توان فشار گاز را افزایش داد؟
 - ۲- حجم ۰/۵ مول از یک گاز کامل تک اتمی ۸/۳ لیتر و فشار آن ۱/۵ اتمسفر است، مقداری گرما به آن می‌دهیم تا فشار آن از طریق یک فرایند هم حجم دو برابر شود. کار و گرمای مبادله شده را برای این فرایند محاسبه کنید.
 - ۳- در مسأله‌ی ۲ فرض کنید که به جای گرمای دادن حجم گاز را از طریق یک فرایند هم فشار نصف کنیم. کار و گرمای مبادله شده را برای این فرایند محاسبه کنید.
 - ۴- نشان دهید در فرایند هم‌دما، هر چه دمای گاز بیش‌تر باشد، برای مترادف کردن آن تا یک اندازه‌ی معین باید کار بیش‌تری انجام داد.
 - ۵- نشان دهید در انبساط هم‌فشار گاز کامل، باید به آن گرما داد.
 - ۶- در یک فرایند ۱۰-۵۰ کار بر روی دستگاه انجام می‌شود و دستگاه ۳۰۰ گرمای دریافت می‌کند، تغییر انرژی درونی آن چه قدر است؟
 - ۷- فرایندی را نام ببرید که در آن دمای دستگاه بدون دریافت یا انتقال گرما تغییر می‌کند.
 - ۸- در یک انبساط بی‌دررو گاز ۱۰-۵۰ کار بر روی محیط انجام می‌دهد. تغییر انرژی درونی گاز چه قدر است؟
 - ۹- در شکل ۱-۲۵ فرایند چرخه‌ای برای گازی نشان داده شده است.
- الف) تعیین کنید که گاز در این فرایند گرما گرفته یا از دست داده است؟
ب) اگر قدر مطلق گرمای مبادله شده ۳۰۰ باشد، کار انجام شده چه قدر است؟



۳۷

$$n = 0.5 \text{ mol}$$

$$V_1 = 8/3 \text{ lit}$$

$$P_1 = 1/5 \text{ atm}$$

$$V_2 = V_1$$

$$P_2 = 2P_1 = 2 \text{ atm}$$

$$W = ?$$

$$Q = ?$$

$$P_2 = P_1$$

$$V_2 = \frac{1}{4} V_1 = 4/15 \text{ lit}$$

۲- در فرایند هم حجم، کار مبادله شده صفر است.

اما برای افزایش فشار باید به گاز گرما داده شود:

$$Q = n C_{M_V} \Delta T = n C_{M_V} \left(\frac{V \Delta P}{nR} \right)$$

$$Q = \frac{3}{2} R \left(\frac{V \Delta P}{R} \right) = \frac{3}{2} V \Delta P$$

$$Q = \frac{3}{2} \times 8/3 \times 10^{-2} (2 - 1/5) \times 10^5$$

$$Q = 1867/5 \text{ J}$$

۳- در فرایند هم فشار هم کار و هم گرما مبادله می‌شوند:

$$W = -P \Delta V \quad \text{کار دستگاه}$$

$$W = -1/5 \times 10^5 (4/15 - 8/3) \times 10^{-2}$$

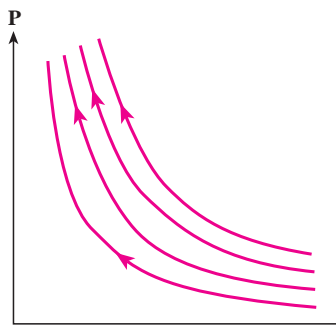
$$W = 622/5 \text{ J}$$

کار مثبت به دست آمده است یعنی روی دستگاه کار انجام می‌شود.

$$Q = nC_{MP}\Delta T = nC_{MP}\left(\frac{P\Delta V}{nR}\right) = \frac{5}{2}R\left(\frac{P\Delta V}{R}\right)$$

$$Q = \frac{5}{2}P\Delta V = \frac{5}{2} \times 1/5 \times 10^5 (4/15 - 8/3) \times 10^{-2}$$

$$Q = -1556/25 J$$



شکل (۶۶)

یعنی دستگاه گرما از دست می‌دهد.

۴- در نمودار $P-V$ سطح زیر نمودار معرف کار انجام شده است و با توجه به تمرین ۱-۳ مربوط به نمودارهای هم‌دما دیدیم هرچه دما بالاتر باشد نمودار هم بالاتر قرار می‌گیرد و سطح زیر آن بیشتر است.

۵- در انبساط هم فشار می‌دانیم $P_2 = P_1$ است، چون در این جا انبساط داریم و بنابراین $V_2 > V_1$ و کار انجام شده منفی است. از طرفی $T_2 > T_1$ است پس باید $\Delta U > 0$ باشد. طبق قانون اول $\Delta U = Q + W$ پس حتماً باید $Q > 0$ و $|Q| > |W|$ باشد تا $\Delta U > 0$ شود. یعنی باید به دستگاه گرما بدهیم.

$$W = -500 J$$

$$Q = 400 J$$

$$\Delta U = ?$$

$$\Delta U = W + Q \quad \text{۶-}$$

$$\Delta U = -500 + 400$$

$$\Delta U = -100 J$$

۷- در فرایندهای بی‌دررو دستگاه تبادل گرما نمی‌کند اما چون در این فرایندها کار انجام می‌شود پس انرژی درونی دستگاه و در نتیجه دمای آن تغییر می‌کند.

۸- چون انبساط بی‌درروست $Q = 0$ و $\Delta U = W$ یعنی $\Delta U = -500 J$

۹- الف) در چرخه‌ها می‌دانیم $\Delta U = 0$ و $Q = -W$ است و اگر چرخه ساعتگرد باشد کار کل منفی است یعنی دستگاه کار انجام داده است. اما با توجه به $Q = -W$ گرما مبادله شده مثبت است یعنی دستگاه گرما گرفته است.

$$\left. \begin{array}{l} |Q| = 400 J \\ Q = -W \end{array} \right\} \Rightarrow W = -400 J \quad \text{ب)}$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W \quad \text{در چرخه} \quad \text{۱۰-}$$

$$W = -S_{ABC} = -\left[(4-1) \times 10^{-3} \times (30-10) \times 10^5 \times \frac{1}{2} \right]$$

$$W = -2000 J \Rightarrow Q = 2000 J$$

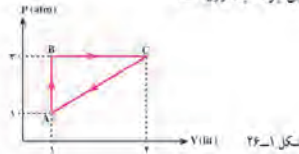
$$\left. \begin{array}{l} Q = 90 J \\ W = -70 J \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U_{abc} = 90 - 70 = 20 J \quad \text{۱۱- الف)}$$

ب) با توجه به نمودار سطح محصور برای مسیر adc کمتر است یعنی قدرمطلق کار در این مسیر کمتر است. چون ΔU برای هر دو مسیر باید یکسان باشد پس در مسیر adc گرما داده شده به گاز هم کمتر است.

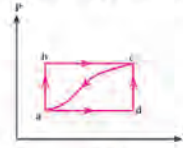
ب) در قسمت الف دریافتیم که انرژی درونی گاز در حالت c به اندازه $20 J$ بیشتر از حالت a است. پس در برگشت از حالت c به a باید $20 J$ انرژی از گاز گرفته شود.

۱۲- انبساط هم فشار

۱۰- گاز داخل یک استوانه، چرخه‌ای مطابق شکل ۲۶-۱ را می‌بینید. گرمای خالص داده شده به گاز در این چرخه چند ژول است؟



۱۱- دستگاهی مطابق شکل ۲۷-۱ از طریق مسیر abc از حالت a به b می‌رود.



شکل ۲۷-۱

در این مسیر، دستگاه ۹۰ ژول گرما می‌گیرد و ۷۰ ژول کار انجام می‌دهد.

- الف) تغییر انرژی درونی دستگاه در مسیر abc چه قدر است؟
 ب) اگر برای رسیدن به حالت c فرآیند از مسیر abc انجام شود، قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه در مقایسه با مسیر abcd بیشتر است یا کمتر؟ گرمای داده شده به گاز بیشتر است یا کمتر؟
 ب) اگر گاز را از مسیر (منحنی) به حالت c برگردانیم، چه قدر باید از آن انرژی بگیریم؟
 ۱۲- نه یک سرنگ را می‌تندیم. آن را درون مقداری آب می‌اندازیم و آب را به تدریج گرم می‌کنیم. هوای درون سرنگ چه فرآیندی را طی می‌کند؟
 ۱۳- چرا برخی نیروگاه‌ها را در کنار رودهای بزرگ یا دریاها احداث می‌کنند؟
 ۱۴- یک ماشین بخار $2/254 \times 10^4$ گرما از دیگ بخار دریافت می‌کند و $1/915 \times 10^4$ گرما در جگالنده از دست می‌دهد.

الف) کار انجام شده در یک چرخه چند کیلوژول است؟
 ب) بازدهی این ماشین چه قدر است؟

- ب) بازدهی واقعی از این مقدار کمتر است؟ چرا؟
 ۱۵- یک موتور درون‌سوز در هر چرخه 8000 گرما از سوزاندن سوخت دریافت می‌کند و 2000 کار تحویل می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت 5×10^7 است و موتور در هر ثانیه 4 چرخه را می‌بینید. گشت‌های زیر را حساب کنید.

- الف - بازدهی موتور.
 ب - گرمای تلف شده در هر چرخه.
 ب - سوخت مصرف شده در هر چرخه.
 ت - توان موتور.

۱۶- ضریب عملکرد یک یخ‌ساز (فریژر) $K=2$ است. این یخ‌ساز در هر ساعت، $1/5$ کیلوگرم آب با دمای 20°C را به یخ با دمای 0°C تبدیل می‌کند.

$$L_f = 335000 \text{ J/kg} \quad \text{و} \quad C_p = 2100 \text{ J/kg.K} \quad \text{و} \quad C_w = 4200 \text{ J/kg.K}$$

- الف - چه مقدار گرما در هر ساعت باید از آب گرفته شود؟
 ب - یخ‌ساز در هر ساعت چه مقدار انرژی الکتریکی مصرف می‌کند؟
 ب - چه مقدار گرما در هر ساعت به بیرون داده می‌شود؟
 ۱۷- آیا می‌توان با بازگذاشتن در یخچال، آندبرخانه را خشک کرد؟ در مورد پاسخ خود توضیح دهید.

۱۸- وجود پرفک روی بدنه‌ی داخلی محفظه یخ‌ساز یخچال چه اثری بر عملکرد دستگاه دارد؟

۱۹- یک کولر گازی در هر دقیقه 9×10^4 گرما از اتاق می‌گیرد و در همان مدت، $1/3 \times 10^5$ گرما به فضای بیرون می‌دهد.

- الف - توان مصرفی این کولر چند وات است؟
 ب - ضریب عملکرد آن چند است؟
 ۲۰- یک مول از یک گاز کامل تک اتمی در یک ماشین گرمایی چرخه‌ای را مطابق شکل ۲۸-۱ می‌بینید. مطلوب است:
 الف - کار انجام شده در طی چرخه.

۱۳- نیروگاه‌های تولید برق دارای ماشین‌های گرمایی هستند و در مرحله‌ای از چرخه‌ی ماشین گرمایی باید از دستگاه گرمای زیادی گرفته شود و برای گرما گرفتن از آب استفاده می‌شود که در نیروگاه‌ها آب فراوانی برای این منظور لازم است. به عبارت دیگر رود یا دریا به عنوان چشمه‌ی سرد در ماشین گرمایی عمل می‌کند.

۱۴- الف) $Q_H = 2/254 \times 10^4 \text{ kJ}$ $|W| = Q_H - |Q_C|$

$Q_C = 1/915 \times 10^4 \text{ kJ}$ $|W| = 2/254 \times 10^4 - 1/915 \times 10^4$

$W = ?$ $|W| = 0/339 \times 10^4 \text{ kJ}$

$\eta = ?$ $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{0/339 \times 10^4}{2/254 \times 10^4} = 0/15 = 15\%$ (ب)

(ب) بازده واقعی از ۱۵٪ کمتر است زیرا مقداری از انرژی تلف می‌شود (به صورت گرما به محیط اطراف داده می‌شود)

۱۵- الف) $Q_H = 8000 \text{ J}$ $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{2000}{8000} = 25\%$

$|W| = 2000 \text{ J}$

$\eta = ?$

(ب) اگر گرمایی که در خنک کننده تحویل می‌شود را انرژی تلف شده بدانیم داریم:

$|Q_C| = Q_H - |W| \Rightarrow |Q_C| = 8000 - 2000 = 6000 \text{ J}$

$\frac{8000 \text{ J}}{5 \times 10^4 \text{ J/g}} = 0/16 \text{ g}$ (ب)

ت) در هر چرخه 2000 J کار انجام می‌شود و زمان صرف شده $\frac{1}{4}$ ثانیه است:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{2000}{\frac{1}{4}} = 8 \times 10^4 \text{ W} = 80 \text{ kW}$$

۱۶- الف) $2^\circ\text{C} \text{ آب} \rightarrow 0^\circ\text{C} \text{ آب} \rightarrow 0^\circ\text{C} \text{ یخ} \rightarrow -1^\circ\text{C} \text{ یخ}$

$$K = 4$$

$$Q = mc\Delta\theta + mL_f + mc'\Delta\theta'$$

$$m = 1/5 \text{ kg}$$

$$Q = 1/5 [4200 \cdot |0 - 2| + 335000 + 2100 \cdot |-10 - 0|]$$

$$\text{آب } \theta_1 = 2^\circ\text{C}$$

$$Q_C = 660000 \text{ J} = 660 \text{ kJ}$$

$$\text{یخ } \theta_2 = -1^\circ\text{C}$$

$$Q_C = ?$$

$$K = \frac{Q_C}{W} \quad (\text{ب})$$

$$W = ?$$

$$Q_H = ?$$

$$4 = \frac{660000}{W} \Rightarrow W = 165000 \text{ J} = 165 \text{ kJ}$$

$$|Q_H| = Q_C + W = 660000 + 165000 \quad (\text{ب})$$

$$= 825000 \text{ J} = 825 \text{ kJ}$$

۱۷- خیر، زیرا موتور یخچال برای خنک کردن هوای آشپزخانه انرژی الکتریکی مصرف می‌کند (تبدیل به گرما می‌کند) و گرمایی را که از محیط می‌گیرد در پشت یخچال و در قسمت خنک‌کننده همراه با مقداری هم‌گرمای حاصل از کارکرد موتور (تبدیل انرژی الکتریکی به گرمایی) به محیط آشپزخانه می‌دهد. یعنی با باز گذاشتن در یخچال نه تنها آشپزخانه خنک نمی‌شود بلکه گرم‌تر هم می‌شود.

۱۸- در قسمت یخ‌ساز باید گرما از آب گرفته و به گاز درون لوله‌ها داده شود و چون برفک نارسای گرماست این عمل به خوبی انجام نمی‌شود یعنی در حالی که موتور مرتب کار می‌کند ولی دمای هوای داخل فضای یخ‌ساز به حد مطلوب کم نمی‌شود و زمان یخ بستن آب نیز طولانی‌تر می‌شود (ضریب عملکرد یخچال پایین می‌آید).

$$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$Q_C = 9 \times 10^4 \text{ J}$$

$$W = |Q_H| - Q_C \quad (\text{الف } 19)$$

$$|Q_H| = 1/3 \times 10^5 \text{ s}$$

$$W = 1/3 \times 10^5 - 9 \times 10^4 = 4 \times 10^4 \text{ J}$$

$$P = ?$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4 \times 10^4}{60} = 666.67 \text{ W}$$

$$K = ?$$

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{9 \times 10^4}{4 \times 10^4} = 1/25 \quad (\text{ب})$$

۲۰- الف) چرخه ساعتگرد است پس کار انجام شده در چرخه برابر با سطح محصور در منحنی با علامت منفی است:

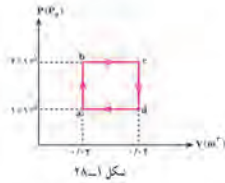
$$W = -S_{abcd} = -[(2 \times 10^5 - 1 \times 10^5) \times (0/04 - 0/02)] = -2000 \text{ s}$$

$$Q_{abc} = Q_{ab} + Q_{bc} = nC_{MV}\Delta T_{ab} + nC_{MP}\Delta T_{bc} \quad (\text{ب})$$

$$Q_{abc} = \frac{3}{2} V_a (P_b - P_a) + \frac{5}{2} P_b (V_c - V_b)$$

$$Q_{abc} = \frac{3}{2} \times 0/02 (1 \times 10^5) + \frac{5}{2} \times 2 \times 10^5 (0/02) = 13000 \text{ J}$$

- ب- گرمای مبادله شده در فرایند abc.
- ب- بازدهی چرخه.
- د- بازدهی یک ماشین گرمایی کارنو که بین بالاترین و پایین‌ترین دمای چرخه عمل می‌کند. چه قدر است؟



۲۱- کمیت‌های Q_C ، Q_H و W که در یک چرخه در یک ماشین گرمایی یا یخچال مبادله می‌شود، به صورت زیر داده شده است.

$$Q_C = 4 \text{ J} \quad W = 6 \text{ J} \quad Q_H = 10 \text{ J} \quad (۱)$$

$$Q_C = 0 \quad W = 10 \text{ J} \quad Q_H = 10 \text{ J} \quad (۲)$$

$$Q_C = 4 \text{ J} \quad W = 6 \text{ J} \quad Q_H = 10 \text{ J} \quad (۳)$$

$$Q_C = 10 \text{ J} \quad W = 0 \quad Q_H = 10 \text{ J} \quad (۴)$$

$$Q_C = 5 \text{ J} \quad W = 6 \text{ J} \quad Q_H = 10 \text{ J} \quad (۵)$$

- الف) در کدام مورد قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی نقض می‌شود؟
- ب) در کدام مورد قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نقض می‌شود؟
- پ) در کدام مورد قانون اول ترمودینامیک نقض می‌شود؟

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

ب) $\eta = ?$

در این چرخه دستگاه در فرایندهای ab و bc گرما می‌گیرد پس $Q_H = Q_{abc}$ است و داریم:

$$\eta = \frac{2000}{13000} \approx 15\%$$

ت) بالاترین دمای این چرخه مربوط به حالت c و پایین‌ترین آن مربوط به a است:

$$T_H = \frac{P_c V_c}{nR} = \frac{2 \times 10^5 \times 0.04}{8/314} \approx 962 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{P_a V_a}{nR} = \frac{1 \times 10^5 \times 0.02}{8/314} \approx 240 \text{ K}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{240}{962} = 0.75 = 75\%$$

۲۱- الف) در یخچال می‌دانیم $Q_H < 0$ است پس فقط موردهای ۳ و ۴ یخچال هستند که در شماره‌ی ۴ قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی نقض می‌شود زیرا $W = 0$ است یعنی یخچال بدون گرفتن انرژی خود به خود گرما را از جسم سرد به منبع گرم می‌دهد.

ب) در شماره‌ی ۲ که $Q_C = 0$ است قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نقض شده است زیرا در این ماشین گرمایی تمام گرما به کار تبدیل شده است.

پ) در مورد شماره‌ی ۵ قانون اول ترمودینامیک نقض می‌شود زیرا:

$$|-60| \neq |1000| - |500|$$