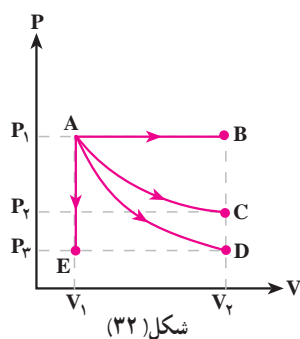


فعالیت ۱۹



گازی را در حالت A با فشار P_1 ، دمای T_1 و حجم V_1 در نظر بگیرید که می‌تواند مطابق نمودار روبه‌روی فرایندهای خاص، به حالت‌های دیگر برود. هریک از فرایندها را نام ببرید و آن‌ها را با هم مقایسه کنید.

پاسخ: تغییر حالت از A به B انبساط هم فشار، از A به C انبساط هم دما، از A به D انبساط بی‌دررو و از A به E کاهش فشار هم حجم است. در فرایند AB کار انجام شده از همه بیشتر است چون سطح زیر نمودار آن بزرگترین است. و چون دستگاه تبادل گرما هم می‌کند تغییر دمای آن نیز زیاد است. در فرایند AC تغییر دما نداریم و دستگاه هر قدر کار انجام می‌دهد به همان اندازه گرما از دست می‌دهد. در فرایند AD کاهش دما داریم و چون فرایند بی‌درروست تغییرات فشار آن از AC بیشتر است. در فرایند AE کاری انجام نمی‌شود، گاز گرما از دست می‌دهد و دمایش کاهش می‌یابد.

فعالیت ۲۰

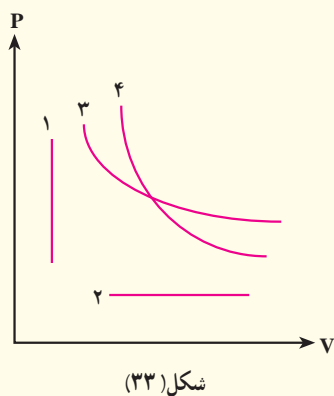


با توجه به فعالیت قبل جدول (۵) را با +، - یا صفر کامل کنید.

جدول (۵)

نام فرایند	کمیت فرایند	W	Q	ΔT
هم فشار	AB			
هم دما	AC			
بی‌دررو	AD			
هم حجم	AE			

نام فرایند	کمیت فرایند	W	Q	ΔT
هم فشار	AB	-	+	+
هم دما	AC	-	+	۰
بی‌دررو	AD	-	۰	-
هم حجم	AE	۰	-	-



پرسش : در نمودار $P-V$ ی گاز کامل، الف) فرایندهای خاص ۱ و ۲ و ۳ و ۴ را نام گذاری کنید.

ب) برای این که هر کدام از فرایندها صورت گیرد چه پیشنهادی دارید؟
پ) منحنی های ۳ و ۴ را مقایسه کنید.

پاسخ : الف)

۱ = هم حجم ۲ = هم فشار ۳ = هم دما ۴ = بی دررو
ب)

۱ = گرم یا سرد کردن تدریجی گاز محبوس در محفظه ای با حجم ثابت
۲ = گرم یا سرد کردن مقداری گاز در لوله ای موئین که با جیوه یا اسید سولفوریک غلیظ آن را محبوس کرده است.

۳ = متراکم یا منبسط کردن گاز (به آهستگی) در محفظه ای که دارای رسانندگی گرمایی زیاد است.
۴ = متراکم یا منبسط کردن گاز (با سرعت زیاد) در محفظه ای که دارای رسانندگی گرمایی کم است و عایق بندی شده است.

پ)

این دو منحنی مربوط به فرایندهای هم دما و بی دررو هستند، که یک نقطه ی مشترک دارند. ولی شیب منحنی بی دررو در نقطه ی مشترک بیشتر است.

پس از آن که فرایندهای چرخه ای را معرفی کردیم چند چرخه از جمله چرخه ی ماشین بخار، چرخه ی اتو و ... را روی تابلوی کلاس رسم می کنیم و از دانش آموزان می خواهیم تا در هر کدام فرایندهایی که می شناسند را نام ببرند.
در مورد فرایندهای پیاپی و چرخه ها توضیح می دهیم.

فعالیت ۲۱



از دانش آموزان می خواهیم چرخه هایی به شکل های دلخواه رسم کنند که در آن ها از یک یا چند فرایند خاص استفاده شده است و در هر یک فرایندهای خاص را نام ببرند (در چرخه ها ممکن است فرایندهای نامشخص هم وجود داشته باشد).

تمرین ۱-۵
پاسخ : الف) از A تا B : انبساط هم فشار، از B تا C : کاهش فشار هم حجم.
افزایش فشار هم حجم، از C تا D : تراکم هم فشار، از D تا A :

پ) کار چرخه برابر جمع جبری کارهای انجام شده در فرایندهای AB و CD است. با توجه به شکل کار در فرایند AB برابر مساحت مستطیل ABNM است.

$$W_{AB} = -P_A(V_B - V_A)$$

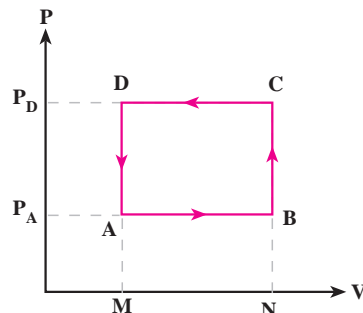
ضلع AM ضلع MN

و کار در فرایند CD برابر مساحت مستطیل CDMN است.

$$W_{CD} = -P_D(V_D - V_C)$$

چون $W_{AB} < 0$ است جمع جبری آن با W_{CD} به معنی کم کردن مساحت مستطیل ABNM از CDMN است که برابر با مساحت مستطیل ABCD خواهد بود یعنی سطح محصور در چرخه.

ب) در فرایندهای BC و DA که حجم گاز تغییر نکرده است، کار صفر است. در فرایند AB چون $V_B > V_A$ است (با توجه به $W = -P\Delta V$) علامت کار منفی است و با همین استدلال علامت کار در فرایند CD مثبت است و از آنجا که فشار در فرایند CD بیشتر از AB است پس $W_{CD} > |W_{AB}|$ و علامت کار در کل چرخه دارای علامت کار در فرایند CD یعنی مثبت است.

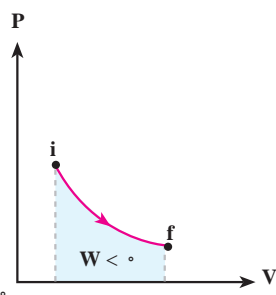


شکل (۳۴)

تعمیم تمرین ۵-۱: به نظر شما اگر جهت چرخه عوض شود (پیکان هر فرایند بر عکس شود) علامت کل کار چگونه تغییر می‌کند؟ آیا می‌توان قاعده یا دستوری برای علامت کار چرخه با توجه به جهت پیکان‌ها یا ساعتگرد و پادساعتگرد بودن جهت چرخه پیدا کرد؟

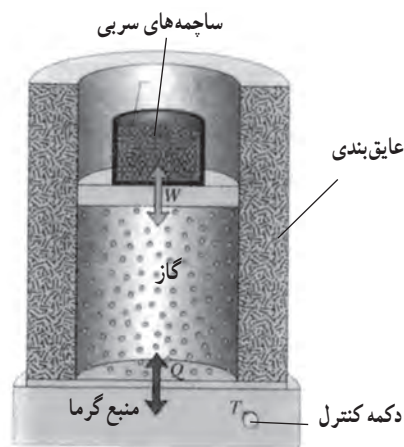
پاسخ: کل کار منفی می‌شود یعنی در چرخه‌های ساعتگرد کار منفی و در پادساعتگرد مثبت است.

فرض کنید تعدادی از ساچمه‌های روی پیستون را برداریم تا گاز بتواند پیستون و بقیه‌ی ساچمه‌ها را با وارد کردن نیروی بالا سوی F تا اندازه‌ای بالا ببرد. ضمن تغییر حجم، فشار و دمای گاز هم ممکن است تغییر کند. در واقع گاز از حالت i به حالت f می‌رود. برای این تغییر حالت راه‌های زیادی وجود دارد مثلاً نمودار (۳۶) تغییر فشار گاز بر حسب حجم (P-V) را نشان می‌دهد که با افزایش حجم، فشار گاز کاهش می‌یابد.



شکل (۳۶)

توجه: در شکل (۳۵) گازی در استوانه‌ی دارای پیستون متحرک محبوس است. با کنترل دمای (T) منبع گرمای قابل تنظیم می‌توان گرمای Q را به گاز داد یا از آن گرفت. با بالا یا پایین رفتن پیستون کار W انجام می‌شود.



شکل (۳۵)

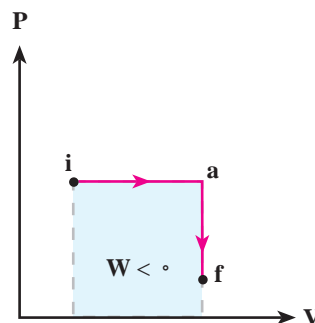
آرام دکمه‌ی کنترل دما، دمای گاز تا مقدار T_a بالا می‌رود و حجم گاز (از V_i به V_f) افزایش می‌یابد (با افزایش دما، نیروی وارد از گاز بر پیستون زیاد می‌شود و پیستون به بالا می‌رود). در این مرحله، کاری که گاز در حال انبساط انجام می‌دهد منفی است و گاز از منبع گرما می‌گیرد که علامت آن مثبت است.

مرحله‌ی af : فرایند در حجم ثابت صورت می‌گیرد. در نتیجه پیستون باید ثابت نگه‌داشته شود تا حرکت نکند. در این صورت، هنگام استفاده از دکمه‌ی کنترل برای کاهش دما درمی‌یابیم که فشار از P_a تا مقدار نهایی P_f کم شده است. در این مرحله دستگاه به منبع گرما می‌دهد.

برای کل فرایند iaf ، کار W منفی است و فقط در مرحله‌ی ia کار انجام می‌شود که با مساحت سطح سایه‌زده‌ی زیر منحنی نمایش داده شده است.

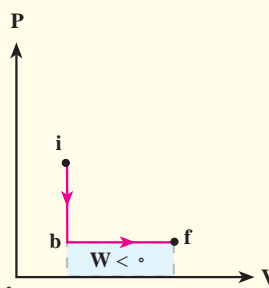
اما در مقایسه‌ی دو نمودار بالا می‌توان گفت که مقدار کار در فرایند iaf بیشتر است.

در این فرایند بدون توجه به آن‌چه برای تغییر حالت گاز در طول منحنی انجام می‌شود کار محیط روی گاز، منفی و ناشی از افزایش حجم گاز بر اثر واردکردن نیروی بالا سوی پیستون است. راه دیگر برای رفتن از حالت i به حالت f ، در نمودار (۳۷) نشان داده شده است. در اینجا تغییر در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله‌ی اول از حالت i به حالت a ، و مرحله‌ی دوم از حالت a به حالت f .



شکل (۳۷)

مرحله‌ی ia : در این فرایند در فشار ثابت صورت می‌گیرد و ساچمه‌های بدون تغییر روی پیستون باقی می‌مانند. با چرخاندن

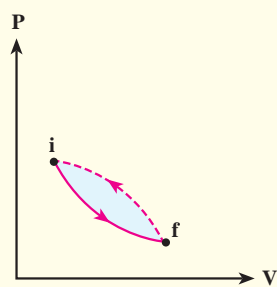


شکل (۳۸)

پرسش: اگر بخواهیم تغییر حالت گاز از i به f از مسیر شکل روبه‌رو، انجام شود، چگونه باید عمل کنیم؟

پاسخ: برای فرایند هم حجم ib ، محل پیستون را ثابت نگه می‌داریم و با کنترل دما و کاهش آن، فشار گاز را تا P_b پایین می‌آوریم، سپس در مرحله‌ی دوم با کم کردن تعداد ساچمه‌های سربی از روی پیستون و افزایش دما توسط دکمه، حجم گاز را از V_b تا V_f افزایش می‌دهیم.

کار دستگاه روی محیط در این فرایند منفی است و مقدار آن در مقایسه با دو مسیر قبلی کمتر است.



شکل (۳۹)

پرسش: در دستگاه بالا، گاز را از حالت f به حالت i می‌بریم، نمودار فرایند به شکل روبرو است (مسیر خط‌چین) فرایند if نیز روی نمودار رسم شده است. علامت کار انجام شده در این چرخه را تعیین کنید.

پاسخ: $W > 0$ مثبت است. زیرا در if انبساط داریم و علامت کار محیط منفی است ولی در fi تراکم و علامت کار مثبت است، چون سطح زیر نمودار if کمتر از سطح زیر نمودار fi است. کار کل مثبت است.

- از دانش‌آموزان می‌خواهیم همراه با پدر یا مادر، مسئولیت پخت غذا (با استفاده از زودپز) در روز جمعه را برعهده بگیرند!
- پس از آماده کردن مواد لازم و ریختن آن‌ها در داخل زودپز، با رعایت اصول ایمنی، در زودپز را بسته و روی شعله‌ی گاز قرار دهند.
- ضمن کار در مورد پختن غذا با زودپز و طرز کار با آن اطلاعاتی به‌دست آورند.

توجه: پخت غذا با استفاده از زودپز به دو مرحله تقسیم می‌شود. در مرحله‌ی اول با قرار دادن زودپز روی شعله و جمع شدن مقدار کافی بخار آب در داخل آن به تدریج متوجه خروج بخار از سوپاپ می‌شویم. در مرحله‌ی دوم حرکت تدریجی سوپاپ رو به بالا صورت می‌گیرد که برای تنظیم مقدار بخار درون زودپز و نکات ایمنی آن است. در این مرحله باید حرارت شعله را کم کرد و برای پخت زمان متناسب با نوع مواد غذایی را در نظر گرفت.

– با گذشت زمان مشاهدات خود در مورد وضعیت سوپاپ زودپز را بنویسید. (در صورت امکان عکس‌هایی در مرحله‌های مختلف بگیرید)

– در مرحله‌ی اول پخت غذا در زودپز (به جوش آمدن آب تا حرکت سوپاپ) کدام کمیت‌های ترمودینامیکی تغییر می‌کنند؟ بیشترین شباهت با کدام فرایند خاص ترمودینامیکی وجود دارد؟

پاسخ:

– در مرحله‌ی دوم پخت غذا در زودپز (شروع حرکت سوپاپ و خروج بخار آب تا بیشینه ارتفاع سوپاپ) کدام کمیت‌های ترمودینامیکی تغییر می‌کنند؟ این فرایند با کدام فرایند خاص ترمودینامیکی بیشترین شباهت را دارد؟

پاسخ:

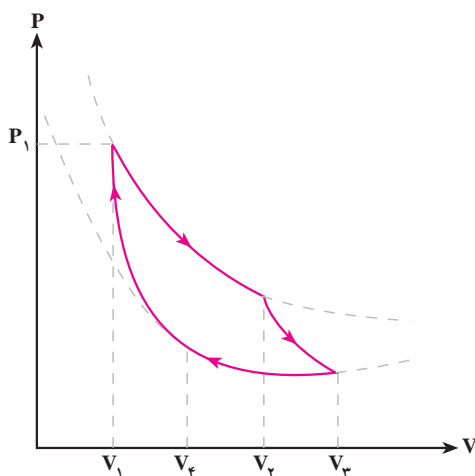


شکل (۴۰)

– گزارش کاملی از این فعالیت شامل، دستور مواد غذایی برای ۴ نفر، روش پختن غذا، روش کار با زودپز و نکته‌های ایمنی، عکس‌ها، فرایندها و ... به کلاس ارائه دهید.

تمرین ۱-۶: برای آن که دانش‌آموزان بتوانند به پاسخ این تمرین برسند ابتدا به آن‌ها فرصت می‌دهیم تا در گروه‌های خود نمودار خواسته شده را رسم کنند. می‌توانیم آن‌ها را راهنمایی کنیم که ابتدا دو نمودار هم دما رسم کنند طوری که نمودارها بین دو حجم V_1 و V_2 باشد و نقطه‌ای در حالت V_1 و P_1 را روی نمودار با دمای بالاتر انتخاب و شروع به رسم نمودار کنند.

پاسخ:



شکل (۴۱)

تمرین ۲-۱

گاز کاملی را با حجم و فشار اولیه V_1 و P_1 در نظر بگیرید که جرمی m است. به شرح زیر عمل می‌کنید. (۱) حجم و فشار آن از طریق یک انبساط همدم به V_2 و P_2 می‌رسد. (۲) سپس حجم و فشار آن از طریق یک انبساط بی‌دررو به V_3 و P_3 می‌رسد. (۳) در آخر یک تراکم همدم حجم و فشار آن به V_1 و P_1 می‌رسد. (۴) سپس یک تراکم بی‌دررو طوری انجام می‌شود که حجم و فشار گاز را به مقدار اولیه V_1 و P_1 برمی‌گرداند. این چرخه را در دستگاه $P-V$ رسم کنید. (این چرخه، چرخه کارنو نامیده می‌شود).

۱-۵- انرژی درونی

در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه دیدیم که انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن ماده برابر است. به طور دقیق‌تر، می‌توان گفت که انرژی درونی U با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل مولکول‌های آن ماده برابر است. هنگامی که دستگاه در حالت معینی قرار دارد، که مثلاً با T ، P ، V ، n مشخص است و به این متغیرها بستگی دارد. در مورد گاز کامل می‌توان نشان داد که انرژی درونی فقط تابع دمای مطلق گاز است. هنگامی که دستگاه در یک فرایند یا مبدله‌ی کار، گرما یا هر دو یا محیط از یک حالت اولیه، که مثلاً انرژی درونی آن U_1 است، به یک حالت دیگر می‌رود ممکن است انرژی درونی آن تغییر کند و مثلاً به مقدار U_2 برسد. مقدار تغییر انرژی درونی، یعنی $\Delta U = U_2 - U_1$ ، به مقدار گرما و کار مبدله شده بین دستگاه و محیط ارتباط دارد. این ارتباط، موضوع قانون اول ترمودینامیک است.

پرسش ۱-۵

تغییر انرژی درونی یک دستگاه در یک چرخه چقدر است؟

۱-۶- قانون اول ترمودینامیک

این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است که در مورد فرایندهای ترمودینامیکی به کار

۱۹

۱-۵- انرژی درونی

از دانش‌آموزان می‌خواهیم تعریف انرژی درونی را که در فیزیک ۲ و آزمایشگاه آموخته‌اند بیان کنند. سپس در مورد انرژی درونی و این که انرژی درونی گاز کامل فقط تابع دماست و انرژی درونی گاز با تبادل کار و گرما می‌تواند تغییر کند توضیح می‌دهیم. البته یادآوری قانون پایستگی انرژی در ابتدای درس انرژی درونی می‌تواند مفید باشد.

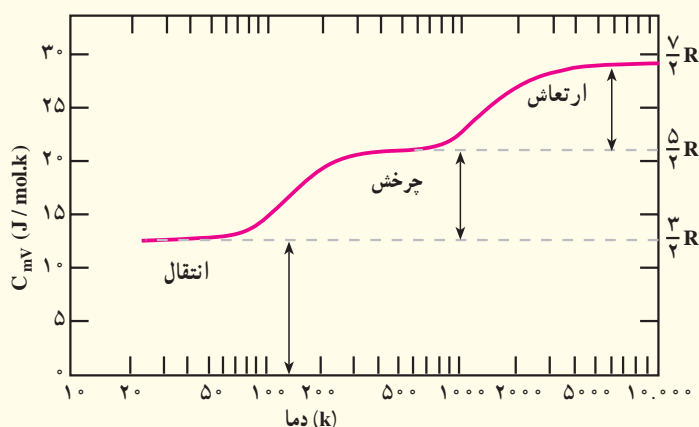
دانشتنی



انرژی درونی گاز

در این دانشتنی؛ مفهوم انرژی درونی یک گاز و رابطه‌ی آن در گاز کامل تک اتمی با دمای گاز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پرسش: شکل (۴۲) مربوط به نمودار ظرفیت گرمایی مولی گاز هیدروژن در حجم ثابت برحسب دمای گاز



است. محور افقی لگاریتمی است. دقت کنید که هیدروژن در دمای 2°K مایع می‌شود. به نظر شما چرا با افزایش دما، ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت افزایش می‌یابد؟

شکل (۴۲)

پاسخ: با افزایش دما به دلیل این که مولکول‌های هیدروژن علاوه بر حرکت انتقالی دارای حرکت دورانی و نوسانی هم خواهند بود مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای گاز به اندازه‌ی یک کلون افزایش می‌یابد زیرا مقداری از گرمای داده شده به گاز صرف افزایش انرژی درونی مولکول‌ها خواهد شد.

فعالیت خارج از کلاس



«آیا فشار گاز بر دما تأثیر دارد؟»

- یک قوطی اسپری عطر را نزدیک دست خود بگیرید.
 - مقداری از ماده‌ی داخل اسپری را روی دست بپاشید و به دمای قوطی توجه کنید.
 - احساس خود را از سردی و گرمی آن بیان کنید.
 - حدس خود را در مورد این پدیده بیان کنید.
 - کدام کمیت‌های ترمودینامیکی تغییر می‌کنند؟
 - این پدیده شباهت بیشتری به کدام فرایند ترمودینامیکی خاص دارد؟ دلیل خود را بیان کنید.
 - گزارشی از این فعالیت و تحلیل آن به کلاس ارائه کنید.
- پاسخ: قوطی محتوی مایع عطر و گاز تحت فشار است. با باز شدن روزنه‌ی خروجی قوطی، گاز به سرعت خارج می‌شود و همراه خود ذرات مایع را حمل می‌کند دلیل کاهش دما و احساس خنکی، انبساط سریع گاز است. خروج گاز، باعث کاهش n و در نتیجه کاهش انرژی درونی و در نتیجه افت دما می‌گردد.

دانستنی



انبساط آزاد گازها

در این دانستنی؛ با مفهوم انبساط آزاد در گازها آشنا می‌شویم و به این نکته اشاره می‌شود که انبساط آزاد گازها با تمام فرایندهای دیگر تفاوت دارد.

فعالیت ۲۲



در ابتدای بخش ۱-۲ و برای ایجاد انگیزه، به باز کردن در نوشتابه‌ی گازدار اشاره کردیم در انتهای این بخش از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا علت این پدیده را جستجو کرده و به نوع فرایند ترمودینامیکی‌ای که در آن اتفاق می‌افتد اشاره کنند.



دانستنی

فرایند بی دررو در نوشابه‌های گازدار

در بالای شیشه‌ی نوشابه‌ی گازدار در بسته، گاز دی‌اکسیدکربن و بخار آب وجود دارد. چون فشار گاز بیش از فشار جوّ است، هنگام بازکردن درّ شیشه، این گاز به سمت بیرون منبسط می‌شود. بنابراین، گاز حجمش افزایش پیدا می‌کند و این بدان معناست که برای پس‌زدن جوّ باید کار انجام بدهد. چون انبساط به سرعت اتفاق می‌افتد، بی‌دررو است و تنها چشمه‌ی انرژی برای انجام دادن کار، انرژی درونی گاز است. با کاهش یافتن انرژی درونی، دمای گاز نیز کاهش می‌یابد. این اثر باعث می‌شود که بخار آب درون گاز به صورت قطره‌های ریز چگالیده شود و مه تشکیل شود.



دانستنی

ترمودینامیک و زیست‌شناسی

در این دانستنی؛ علت مرگ غواصان در عمق‌های بسیار زیاد با بیان علم ترمودینامیک مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۱-۶ قانون اول ترمودینامیک راهنمای تدریس:

ابتدا از گروه‌ها می‌خواهیم تا قانون پایستگی انرژی را همراه با اعضای خود مرور کنند. سپس به روش پرسش و پاسخ آن‌ها را به‌سوی بیان قانون اول ترمودینامیک هدایت می‌کنیم.

می‌رود. اگر دستگاه در فرایندی، گرمای Q را بگیرد و کار W بر روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی آن بر طبق این قانون با رابطه‌ی زیر داده می‌شود.

$$\Delta U = Q + W \quad (12-1)$$

این رابطه قانون اول ترمودینامیک نامیده می‌شود. در این رابطه، Q می‌تواند مثبت (دستگاه گرما بگیرد) یا منفی (دستگاه گرما از دست بدهد) باشد. W نیز می‌تواند مثبت (محیط روی دستگاه کار انجام دهد) یا منفی (دستگاه روی محیط کار انجام دهد) باشد. بنابراین، هنگامی که دستگاه با محیط تبادل گرما دارد، ممکن است انرژی درونی آن افزایش ($\Delta U > 0$)، یا کاهش ($\Delta U < 0$)، یا به این که تغییر نکند ($\Delta U = 0$).

مثال ۱-۱

در مثال‌های ۱-۱ و ۱-۲ تغییر انرژی درونی گاز چه قدر است؟
حل: در مثال‌های ۱-۱ و ۱-۲ دیدیم که دستگاه ۳۵/۳ گرم از دست می‌دهد و کار انجام شده بر روی دستگاه ۱۰ است. تغییر انرژی درونی دستگاه از رابطه‌ی ۱۲-۱ به دست می‌آید:

$$\Delta U = Q + W = 35/3 + 10 = 25/3$$

تمرین ۱-۷

دستگاهی در یک انبساط بی‌دررو ۵۰ کار بر روی محیط انجام می‌دهد. تغییر انرژی درونی آن چه قدر است؟

گرمای کاری که بین دستگاه و محیط مبادله می‌شوند، فقط در حین فرایند معنا دارند. در واقع، می‌توان گفت که انتقال انرژی بین دستگاه و محیط از طریق تبادل کار و گرما صورت می‌گیرد. پس از اتمام فرایند، انرژی‌های منتقل شده به‌صورت انرژی درونی دستگاه درمی‌آیند و دیگر نمی‌توانیم از موجودی کار یا گرمای دستگاه صحبت کنیم. حتی نمی‌توانیم مشخص کنیم که کدام بخش از افزایش انرژی درونی از کار و کدام بخش از گرما ناشی شده است. این وضع را می‌توان به دریاچه‌ای تشبیه کرد که آب آن در اثر بارش باران و وارد شدن رودها افزایش می‌یابد. پس از این افزایش نمی‌توان گفت که کدام بخش از آب دریاچه از طریق رود و کدام بخش از آن از طریق باران تأمین شده است.

پرسش: با توجه به آنچه تا این جا آموختید بگویید یک دستگاه (گاز) به چند طریق می تواند تبادل انرژی کند؟
 پاسخ: ۱- مبادله ی کار ۲- مبادله ی گرما
 پرسش: آیا می توان گفت انرژی درونی دستگاه با مبادله ی کار، گرما و یا هر دو حتماً تغییر می کند؟ بحث کنید.
 پاسخ: خیر، در فرایند هم دما با این که دستگاه هم کار و هم گرما مبادله می کند اما انرژی درونی آن هیچ تغییر نمی کند چون همواره در این فرایند قدر مطلق کار و گرمای مبادله شده برابر است.
 پرسش: آیا می توان گفت تغییر انرژی درونی دستگاه برابر با جمع جبری کار و گرمای مبادله شده ی آن است؟
 پاسخ: براساس قانون پایستگی انرژی، می توان گفت که تغییر انرژی درونی برابر جمع جبری کار و گرمای مبادله شده است.

تمرین ۱-۷:

از دانش آموزان می خواهیم متن آخرین پاراگراف صفحه ی

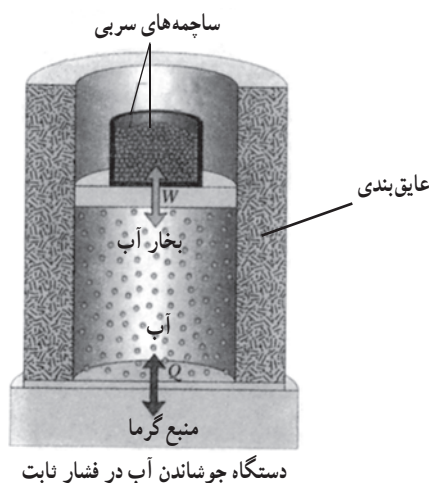
پاسخ: در فرایند بی دررو می دانیم $Q=0$ پس $\Delta U=W$ و ۲۰ کتاب درسی را همراه با گروه خود مطالعه کنند زیرا در آن

نکات قابل توجهی در مورد کار، گرما و انرژی درونی بیان شده در اینجا $\Delta U=5J$ است.



تمرین

هدف: آشنایی با مفهوم انرژی درونی دستگاه از طریق تبدیل مایع به گاز (افزایش انرژی ذرات ماده) یک کیلوگرم آب به دمای $100^{\circ}C$ را با جوشاندن در فشار جوّی استاندارد (۱ atm یا 1.01×10^5 pa) در دستگاهی مطابق شکل (۴۳) به بخار آب $100^{\circ}C$ تبدیل می کنیم. حجم آب از $10^{-3} \times 1000$ به $1/671$ m^۳ در حالت بخار تغییر می کند. الف) در این فرایند چه مقدار کار توسط دستگاه انجام می شود؟ ب) چه مقدار انرژی به صورت گرما منتقل می شود؟ پ) در طی این فرایند انرژی درونی سیستم چقدر تغییر می کند؟



شکل (۴۳)

در این دستگاه انرژی به صورت گرما از منبع گرما منتقل می شود تا آب به طور کامل به حالت بخار تغییر کند. کار دستگاه (بخار آب) مثبت است که هنگام بالارفتن پیستون بار کرده با ساقچه سربی انجام می شود.

پاسخ :

الف) چون فرایند هم فشار است (فشار $1.0 \times 10^5 \text{ pa}$ ثابت است) داریم :

$$W' = +P\Delta V$$

$$W' = (1.0 \times 10^5 \text{ pa})(1/671 \text{ m}^3 - 1/0.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 1/69 \times 10^5 \text{ J} = 169 \text{ kJ}$$

یعنی کار دستگاه بر روی محیط ۱۶۹ کیلو ژول و در نتیجه کار محیط روی دستگاه ۱۶۹ kJ - است.

ب) در این فرایند گرما صرف تغییر فاز (حالت) می شود و دما را تغییر نمی دهد.

با معلومات مربوط به فیزیک ۲ :

$$Q = mL_v$$

$$Q = (1.0 \text{ kg})(2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) = 2256 \text{ kJ} = 2260 \text{ kJ}$$

پ) تغییر انرژی درونی دستگاه طبق قانون اول ترمودینامیک به گرما (انرژی منتقل شده به دستگاه) و کار (انرژی خارج شده از دستگاه) بستگی دارد. پس :

$$\Delta U = Q + W = 2256 \text{ (kJ)} - 169 \text{ (kJ)} = 2090 \text{ kJ}$$

ΔU مثبت به دست آمده است و نشان می دهد که انرژی درونی دستگاه در طی فرایند افزایش یافته است. این انرژی صرف جدا کردن مولکول های H_2O می شود که در حالت مایع یکدیگر را به شدت جذب کرده اند. لازم به ذکر است که در موقع جوشیدن آب در حدود ۷/۵ درصد از گرما (برابر با $\frac{169 \text{ kJ}}{2260 \text{ kJ}}$) برای پس زدن جو صرف کار می شود و باقیمانده ی گرما، انرژی درونی دستگاه را افزایش می دهد.

پرسش : اتاقی به حجم V محتوی هوا (گاز ایده آل دو اتمی) با دمای اولیه ی T_1 است. پس از روشن کردن بخاری هیزمی، دمای اتاق تا T_2 افزایش می یابد. تغییر انرژی درونی هوای اتاق ΔU ، چقدر است؟

پاسخ : هنگام افزایش دمای هوا، فشار هوا تغییر نمی کند و همیشه با فشار هوای خارج اتاق برابر است. زیرا منفذها برای خروج هوا مسدود نیستند و هوا محبوس نیست. وقتی دما افزایش می یابد، مولکول های هوا از منفذهای مختلف اتاق خارج می شوند و در نتیجه، n مول از هوای اتاق کاسته می شود. در این فرایند حجم اتاق ثابت است پس $\Delta U = Q = nC_v\Delta T$ اما n ثابت نیست. و از این رو در هر لحظه انرژی درونی به n و T ربط دارد.

$$\Delta U = \Delta(nC_vT) = C_v\Delta(nT)$$

پس داریم :

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

از طرفی داریم

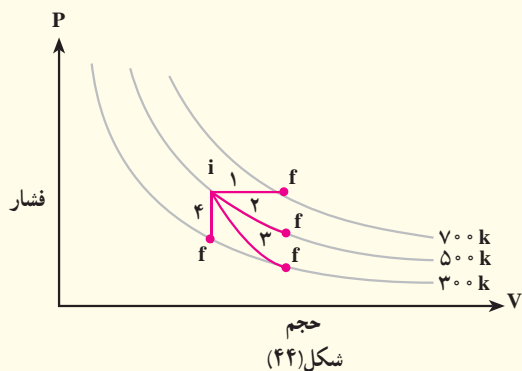
$$\Delta U = C_v\Delta\left(\frac{PV}{R}\right)$$

چون P ، V و R حتی در صورت تغییر دما،

$$\Delta U = 0$$

ثابت اند، با استفاده از این رابطه داریم :

پرسش : در شکل (۴۴) چهار فرایند مربوط به گازها به طور ترسیمی آمده است. با توجه به شکل جدول (۶) را کامل کنید و سپس در مسیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ گرمای داده شده به گاز را از بیشترین تا کمترین مقدار مرتب کنید.



جدول (۶)

مسیر	کمیت ثابت	نوع فرایند	برخی نتیجه‌های ویژه
۱			
۲			
۳		بی دررو	
۴			

پاسخ :

مسیر	کمیت ثابت	نوع فرایند	برخی نتیجه‌های ویژه
۱	p	هم فشار	$Q = nC_{MP}\Delta T$ و $W = -P\Delta V$
۲	T	هم دما	$Q = W$ و $\Delta U = 0$
۳	?	بی دررو	$Q = 0$ و $W = \Delta U$
۴	V	هم حجم	$\Delta U = Q = nC_{MV}\Delta T$ و $W = 0$

پاسخ : در فرایند ۳ که یک فرایند بی دررو معرفی شده است $Q_p = 0$ است.

در فرایند ۲ که یک فرایند هم دما است، $\Delta U_p = 0$ است بنابراین :

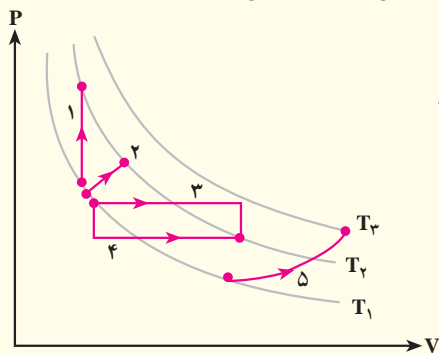
$$\Delta U_p = 0 \rightarrow W_p + Q_p = 0 \rightarrow Q_p = -W_p = \text{سطح زیر نمودار (۲)}$$

در فرایند ۱ که یک فرایند هم فشار است، دما افزایش یافته است پس $\Delta U_1 > 0$ است. بنابراین می‌توانیم

بنویسیم :

$$\Delta U_1 = Q_1 + W_1 \rightarrow Q_1 = \Delta U_1 - W_1 = \Delta U_1 + (-W_1)$$

$-W_1$ برابر اندازه‌ی سطح زیر نمودار (۱) است که از W_2 بزرگ‌تر می‌باشد از طرفی $\Delta U_1 > 0$ است. پس Q_1 خیلی بزرگ‌تر از Q_2 می‌باشد.



شکل (۴۵)

پرسش: شکل (۴۵) پنج مسیر پیموده شده توسط یک گاز را بر روی نمودار $P-V$ نشان می‌دهد. این مسیرها را با توجه به تغییر انرژی درونی گاز، از بیشترین تا کمترین مقدار، مرتب کنید.

پاسخ: $\Delta U_5 > \Delta U_4 = \Delta U_3 = \Delta U_2 = \Delta U_1$

پرسش: جدول (۷) را با توجه به فرایندی که اتفاق می‌افتد، پر کنید.

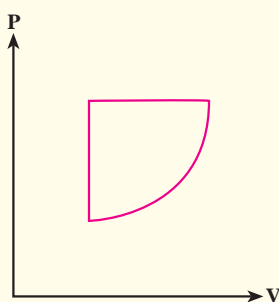
جدول (۷)

توصیف فرایند	دستگاه	Q	W	ΔU
باد کردن سریع تایر دوچرخه	هوا در پمپ			
قابلمه‌ای پر از آب روی شعله‌ی داغ در دمای اتاق	آب در قابلمه			
خروج سریع هوا از بادکنک	هوای موجود در داخل بادکنک			

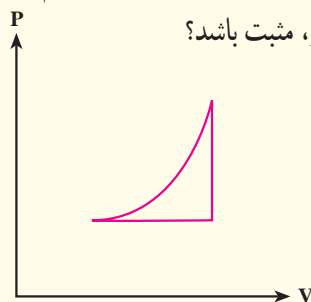
پاسخ:

Q	W	ΔU
°	+	+
+	°	+
°	-	-

پرسش: شکل (۴۶) چرخه‌های متفاوت مربوط به یک گاز را بر روی نمودارهای $P-V$ نشان می‌دهد. سه بخش چرخه‌ی ۱ از لحاظ طول و شکل با سه بخش چرخه‌ی ۲ یکسان‌اند. در هر یک از چرخه‌ها، آیا باید چرخه در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد پیموده شود تا (الف) W ، کار خالص انجام شده توسط گاز مثبت باشد و (ب) Q ، انرژی خالص منتقل شده به صورت گرما توسط گاز، مثبت باشد؟



شکل (۴۶)



پاسخ:

الف) هر دو ساعتگرد

ب) هر دو ساعتگرد

حبابی شامل ۵/۵ مول گاز هلیوم در عمق معینی از آب غوطه‌ور است. دمای آب (و هم چنین دمای هلیوم) در فشار ثابت به اندازه $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ افزایش می‌یابد و در نتیجه حباب منبسط می‌شود. هلیوم گازی تک اتمی و کامل است.

الف) در حین افزایش دما و انبساط، چه مقدار انرژی به صورت گرما به حباب داده می‌شود؟

ب) تغییر انرژی درونی هلیوم ΔU ، در حین افزایش دما چقدر است؟

$$Q = nC_{MP}\Delta T$$

پاسخ: در فشار ثابت داریم:

$$Q = (5/5 \text{ mol}) \times (20/8 \text{ J/molK}) \times (2^\circ\text{K})$$

$$Q = 20.8 \text{ J}$$

پاسخ: چون حباب منبسط می‌شود، در این فرایند، حجم ثابت نیست. اما به هر حال گاز هلیوم (در حباب) محبوس است. پس مقدار تغییر انرژی درونی گاز همان است که در فرایند هم حجم با تغییر دمای ΔT صورت می‌گرفت. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\Delta U = Q = nC_{mv}\Delta T = (5/5 \text{ mol}) (12/5 \text{ J/molK}) \times (2^\circ\text{K})$$

$$\Delta U = 12.5 \text{ J}$$

پ) در حین افزایش دمای حباب چقدر کار W توسط گاز هلیوم برای مقابله با فشار آب پیرامون انجام می‌شود؟

پاسخ: در فرایند هم فشار داریم:

$$W' = P (\Delta V) = nR (\Delta T) = (5 \text{ mol}) (8/31 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{K}) \times (2^\circ\text{K})$$

$$W'_{\text{گاز}} = 83.1 \text{ J} \quad \text{و} \quad W_{\text{محیط}} = -83.1 \text{ J}$$

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

$$W = +12.5 - 20.8 = -8.3 \text{ J}$$

کار محیط

$$W' = 8.3 \text{ J}$$

۱-۷- ماشین گرمایی

هدف: آشنایی دانش‌آموزان با برخی از ماشین‌های گرمایی درون‌سوز و برون‌سوز و بررسی فرایندهایی که آن‌ها طی می‌کنند.

دانشته‌های قبلی

دانش‌آموزان در سال دوم راهنمایی با نحوه‌ی کار موتور اتومبیل و مراحل مختلف انجام کار در آن‌ها آشنا می‌شوند و موتور جت و موشک را نیز به صورت خلاصه بررسی می‌کنند.

نتیجه: در حین افزایش دما تنها بخشی (یعنی ۱۲.۵ J) از انرژی (یعنی ۲۰.۸ J) به صورت گرما به هلیوم منتقل و باعث افزایش انرژی درونی هلیوم و در نتیجه افزایش دمای هلیوم می‌شود. بقیه‌ی انرژی (یعنی ۸.۳ J) به صورت کار انجام شده توسط هلیوم در حین انبساط از هلیوم خارج می‌شود. قابل توجه است که:

اگر آب منجمد شود (آب در شرایط دمای زیر صفر قرار گیرد)، چنین انبساطی صورت نمی‌گیرد. پس، برای افزایش دمای 2°K تنها به ۱۲.۵ J گرما نیاز است. زیرا کاری توسط هلیوم انجام نمی‌شود.

در این بررسی‌ها به موتورهای چهار زمانه، نقش توربین در موتور جت و نقش گازهای داغ خروجی از موشک اشاره می‌شود. هم‌چنین در «بیشتر بدانید» به تاریخچه‌ی ماشین‌های گرمایی مانند ماشین بخار اشاره می‌شود.

راهنمای تدریس: اغلب دانش‌آموزان به یک یا چند نوع خودروی خاص علاقه‌مند هستند. از همین موضوع می‌توانیم برای ایجاد انگیزه و سؤال استفاده کنیم. از آن‌ها می‌پرسیم:

به چه نوع خودرویی علاقه دارند و به نظر آن‌ها بازدهی خودروی مورد علاقه‌ی آن‌ها چه مقدار است؟

پاسخ: بهترین اتومبیل‌های طراحی شده در جهان تنها حدود ۳۰ درصد انرژی شیمیایی بنزین را به انرژی مکانیکی یعنی انرژی‌ای که سبب حرکت اتومبیل و سرنشینان آن می‌شود تبدیل می‌کنند و حدود ۷۰ درصد از انرژی به‌صورت گرما به محیط و اتومبیل داده می‌شود؟

به نظر شما آیا می‌توان اتومبیلی طراحی کرد که بازده آن صد درصد باشد؟

آیا می‌توان اتومبیلی یا قایقی ساخت که از یک منبع گرما مانند هوا یا آب اقیانوس انرژی گرمایی بگیرد و آن را به انرژی مکانیکی تبدیل کند؟

در ادامه‌ی فصل به پاسخ پرسش‌های بالا خواهید رسید.



فعالیت ۲۳

انسان طی نسل‌های متوالی وسایلی برای تبدیل انرژی از نوعی به نوع دیگر ساخته است و برای مقاصد گوناگون خود به کار برده است. در واقع چنین وسایلی مدت‌ها پیش از آن‌که واژه‌ی «انرژی» اختراع شده باشد، ساخته شده‌اند*. تبدیل انرژی را در چند وسیله که در زندگی روزمره از آن‌ها زیاد استفاده می‌کنید همانند، اتومبیل، ماشین لباسشویی، جاروی برقی، دوچرخه و ... بیان کرده و اصل پایداری انرژی را در مورد آن‌ها بنویسید.

پاسخ: انتظار می‌رود دانش‌آموزان به تعداد زیادی از وسایل اشاره کنند و بتوانند تبدیل انرژی در این وسایل را مطرح کنند.

* کاربرد آسیاب‌های بادی پیش از قرن دهم میلادی در ایران معمول بوده و در قرن هجدهم در اروپا گسترش یافته است. آسیاب‌های بادی با استفاده از انرژی باد، سنگ‌های آسیاب را می‌چرخانند و بدین وسیله دانه‌های غلات را خرد می‌کردند.

۱-۷- ماشین‌های گرمایی

نا حدود ۲۵۰ سال پیش انرژی مکانیکی مورد نیاز انسان به‌طور عمده از طریق نیروی ماهیچه‌ای انسان‌ها و حیوان‌ها تأمین می‌شد. از نیروی حاصل از باد و جریان آب (مثلاً در آسیاب‌های بادی و آبی) نیز انرژی مکانیکی به‌دست می‌آید. اما استفاده از این منابع انرژی فقط در زمان‌ها و مکان‌های خاصی امکان‌پذیر بود. امروزه بیش‌تر انرژی مورد نیاز انسان از طریق ماشین‌های گرمایی به‌دست می‌آید. این ماشین‌ها با استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی، گرما را حاصل از سوخت را به کار تبدیل می‌کنند. از نظر تاریخی اولین ماشین گرمایی، ماشین بخار بوده است، انرژی مکانیکی حاصل از ماشین بخار در مواردی از قبیل لocomotive، کشتی بخار و ... به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گرفت. در نیروگاه‌ها این انرژی ابتدا به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و سپس از طریق شبکه‌ی برق رسانی به مکان‌های مختلف منتقل می‌گردد. از این طریق انرژی مورد نیاز انسان در محل کار و زندگی فراهم می‌آید. ماشین‌های درون‌سوز نوع دیگری از ماشین‌های گرمایی هستند که با سوخت‌هایی چون بنزین یا گازوئیل کار می‌کنند. این نوع ماشین‌ها در موتور اتومبیل‌ها و کامیون‌ها و نیز در برخی هواپیماها به کار گرفته می‌شوند.

ماشین‌های گرمایی با ترکیب چند فرایند (مانند شکل فرایندهای ترمین‌های ۱-۵ و ۶-۸) مقداری گرما دریافت و بخشی از آن را به کار روی محیط تبدیل می‌کنند. از آن‌جا که این تبدیل انرژی باید دائماً انجام شود، طراحی این ماشین‌ها عموماً به این صورت است که دستگاه پس از پیمودن چند فرایند معین به‌حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد؛ یعنی، این ماشین‌ها در یک چرخه‌ی معین کار می‌کنند و این چرخه، در ضمن کار ماشین دائماً تکرار می‌شود.

اساس کار همه‌ی ماشین‌های گرمایی یکسان است. در زیرچگونگی کار ماشین بخار و ماشین‌های گرمایی درون‌سوز را توضیح می‌دهیم. با بررسی این دو نمونه، با اساس کار ماشین‌های گرمایی آشنا می‌شوید.

الف- ماشین بخار: ماشین بخار در نواحی مختلف جهان به‌طور گسترده برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیدیم که در ماشین‌های گرمایی، دستگاه در یک چرخه مفداری گرما دریافت می‌کند و بر روی محیط کار انجام می‌دهد. در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است. همان‌طور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، آب در دیگ بخار مفداری گرما دریافت می‌کند و پس از انجام دادن چند فرایند مختلف، که در زیر به توضیح آن‌ها می‌پردازیم، به حالت اولیه‌ی خود در دیگ بخار برمی‌گردد و این چرخه دائماً تکرار می‌شود. چون گرما توسط توره (یعنی از بیرون دستگاه) به آب داده می‌شود، این ماشین را بیرون‌سوز می‌نامند.



شکل (۴۷)

فعالیت ۲۴



در تمام مبدل‌ها یا وسایل تبدیل انرژی، یک وجه مشترک وجود دارد که تمام انرژی ورودی به نوع مطلوب تبدیل نمی‌شود. در آسیاب آبی، آبی که خارج می‌شود، هنوز انرژی جنبشی دارد. در یاتاقان‌ها بر اثر اصطکاک مقداری گرما تولید می‌شود. در موتورهای دیزلی نیز اصطکاک وجود دارد و گازهای خروجی از آگروز، حامل مقداری انرژی درونی‌اند. گازهای خروجی از موتور جت، داغ‌اند و

در تمام این وسایل قانون پایداری انرژی وجود دارد. آنچه مهم است بازده یک مبدل است. بازده یک مبدل را تعریف کنید و شکل‌های مفید انرژی خروجی را در اتومبیل، نیروگاه، ماشین لباسشویی بنویسید.

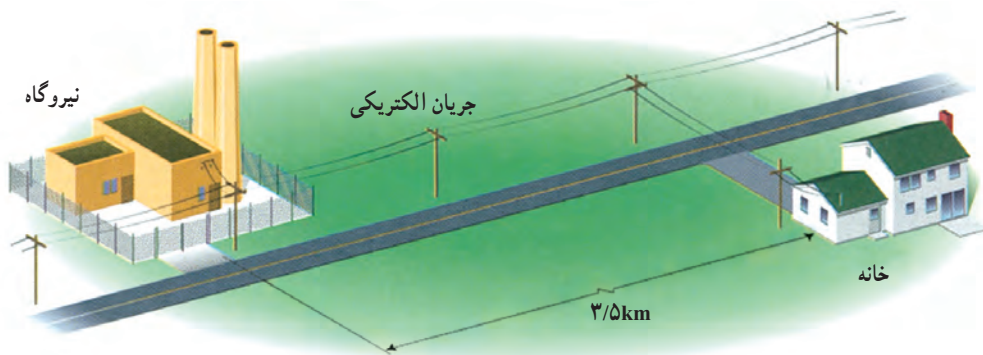
پاسخ: تعریف بازده را دانش‌آموزان در سال‌های قبل خوانده‌اند.
نیروگاه ← انرژی الکتریکی
ماشین لباسشویی ← مکانیکی
اتومبیل ← مکانیکی + الکتریکی +

فعالیت ۲۵



چرا انتقال انرژی از مکانی به مکان دیگر، مهم است؟

پاسخ: در بسیاری از موارد می‌توان از انرژی آب، باد و ... برای تولید انرژی مکانیکی استفاده کرد، اما محل مصرف انرژی با محل‌هایی که در آن‌ها می‌توان از انرژی آب و باد استفاده کرد، فاصله‌ی زیادی دارد. به همین منظور انتقال انرژی از مکانی به مکان دیگر مهم است. مثلاً انرژی باد در منطقه‌ی منجیل بسیار زیاد است و می‌توان با تبدیل آن انرژی به انرژی الکتریکی آن را به مکان‌های مصرف منتقل کرد.



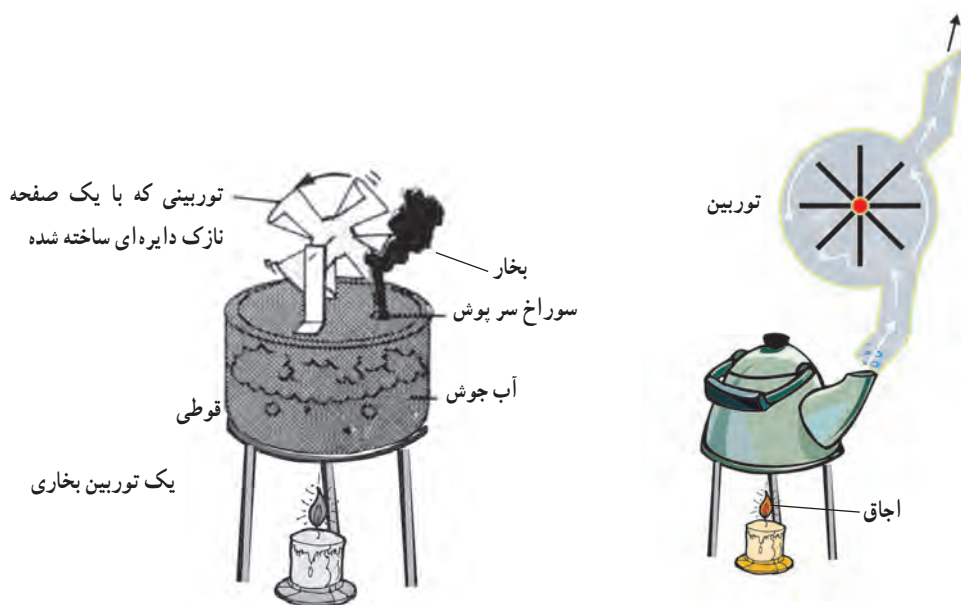
شکل (۴۸)

پس از انجام فعالیت‌های بالا از دانش‌آموزان می‌خواهیم بخش ۱-۷ را تا ماشین بخار مطالعه کنند و اگر پرسشی دارند، مطرح کنند و آن را به بحث بگذارند. در صورت نیاز، در ارتباط الف) ماشین بخار

فعالیت ۲۶

آیا می‌توانید با استفاده از کتری در حال جوش، وسیله‌ای را به حرکت درآورید؟ (با این وسیله ایده‌های اولیه‌ی طراحی ماشین بخار به وجود می‌آید).

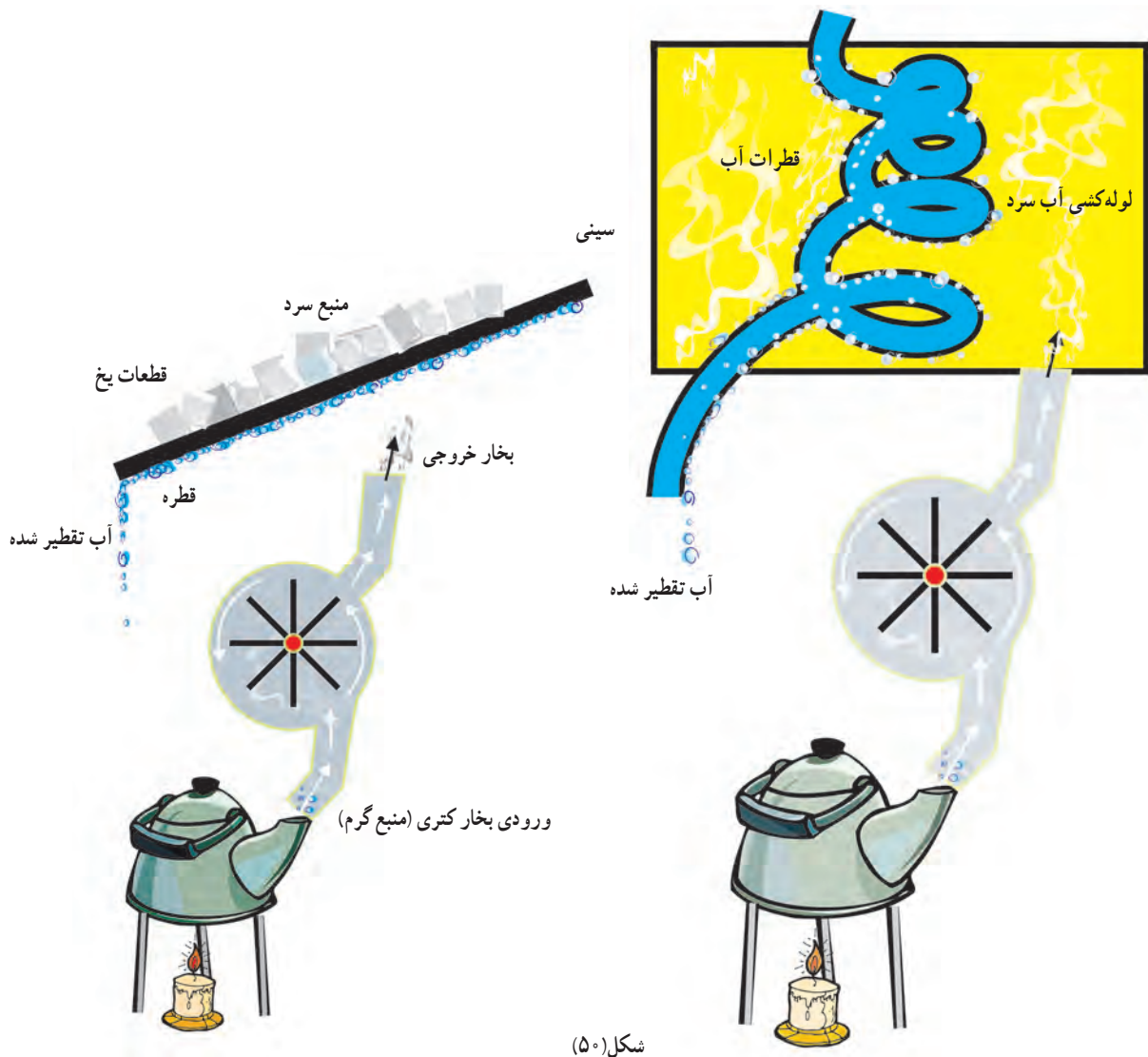
پاسخ: اگر توربین یا فرفره‌ای را درست کنیم و آن را به بالای لوله‌ی کتری در حال جوش نزدیک کنیم، فرفره شروع به چرخیدن می‌کند. این یکی از ساده‌ترین نوع ماشین‌های گرمایی است که اساس کار اغلب ماشین‌های گرمایی می‌باشد.



شکل (۴۹)



در فعالیت ۲۶، اگر بنا به دلایلی مانند خلوص آب یا آسبی که دمای بالای آب خروجی به محیط زیست وارد می‌کند، بخواهیم بخار آب خارج شده از توربین را دوباره به کتری برگردانیم، چه روشی را پیشنهاد می‌کنید؟
 پاسخ: اگر یک ظرف سرد مانند یک سینی که درون آن یخ قرار دارد در مسیر بخار خروجی از توربین یا فرفره قرار گیرد، بخار آب تقطیر شده (میعان) و این آب را می‌توان دوباره به کتری برگرداند یا این که لوله بخار خروجی وارد محوطه‌ای شود که در آن جا لوله کشی آب سرد وجود دارد و دوبار عمل تقطیر صورت گرفته و آب به وسیله‌ای به کتری برگردانده شود.



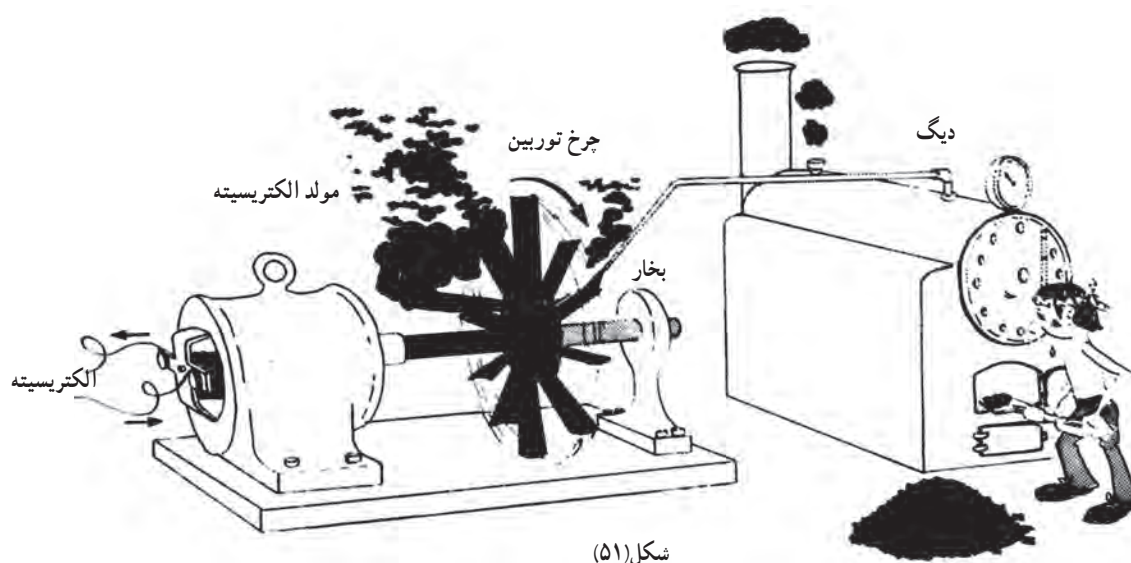
شکل (۵۰)

پرسش : علت به حرکت درآمدن توربین یا فرفره در فعالیت‌های قبلی چیست؟
پاسخ : بخار ورودی به توربین دارای فشار بیشتری نسبت به بخار خروجی از توربین است و این اختلاف فشار سبب انجام کار می‌شود.

فعالیت ۲۸



در شکل (۵۱) بخش‌های مختلف یک ماشین بخار به منظور تولید الکتریسیته نشان داده شده است. تبدیل انرژی در قسمت‌های مختلف آن را توضیح دهید.

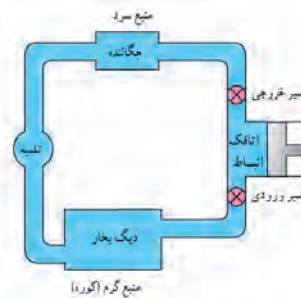


پاسخ : انرژی شیمیایی حاصل از سوختن مواد سوختی در کوره سبب افزایش انرژی درونی آب و تبدیل آب به بخار و افزایش دمای آن در دیگ بخار می‌شود. بخار پرفشار به توربین برخورد می‌کند و قسمتی از انرژی درونی آن به انرژی مکانیکی (انرژی جنبشی توربین) تبدیل می‌شود و انرژی مکانیکی توربین در مولد الکتریسیته تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود.

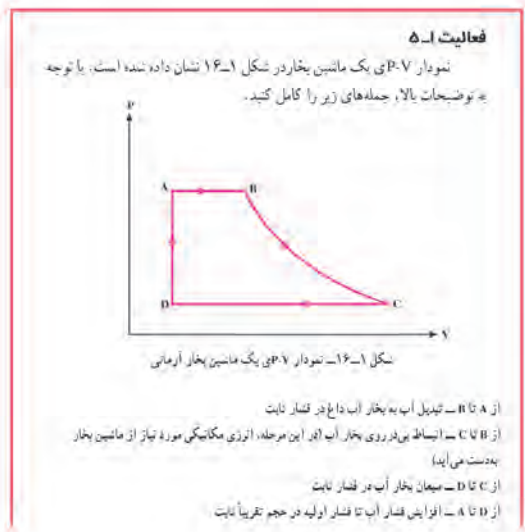
طی می‌کند را مطالعه و تجزیه و تحلیل کنند و سپس از بعضی از گروه‌ها می‌خواهیم تا در مورد مراحل مختلف فرایند به کلاس توضیح دهند و به سؤالات احتمالی دانش‌آموزان پاسخ دهند.

بعد از انجام فعالیت‌های بالا، در مورد ماشین بخار به عنوان یکی از ماشین‌های اصلی تولید برق در جهان، اجزای اصلی ماشین بخار را توضیح می‌دهیم و از گروه‌های دانش‌آموزی می‌خواهیم تا فرایندهای مختلفی که دستگاه (آب) در ماشین بخار

بخار آب در فشار ثابت گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود (میعان). در این فرایند، دما و حجم (بخار آب) کاهش می‌یابد.
 (ت) مرحله چهارم: تلمبه. آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی‌گرداند و فشار آن را به فشار اولیه می‌رساند و یک چرخه‌ی ترمودینامیکی کامل می‌شود.
 در حین کار ماشین بخار، این چرخه دائماً تکرار می‌شود. دستگاه در این چرخه به‌طور عمده با دو منبع گرما (کوره و جگالنده) تبادل گرما می‌کند. کوره را که در دمای بالاتری قرار دارد، منبع گرم و جگالنده را منبع سرد می‌نامیم.



شکل ۱۵-۱: بخش‌های اصلی ماشین بخار عبارت‌اند از: دیگ بخار، اتاقک انبساط، جگالنده، تلمبه، شیرهای ورودی و خروجی و لوله‌های رابط.



برای بررسی نحوه‌ی کار ماشین بخار، مقدار مشخصی آب را در دیگ بخار در نظر می‌گیریم. فرایندهایی را که آب در ماشین بخار طی می‌کند، به چهار مرحله‌ی اصلی تقسیم می‌کنیم.
 (الف) مرحله‌ی اول: در این مرحله، آب درون دیگ بخار در فشار ثابت از کوره گرما می‌گیرد و به بخار تبدیل می‌شود، دما و حجم بخار آب در این مرحله تا حد معینی افزایش می‌یابد.
 (ب) مرحله‌ی دوم: شیر ورودی باز می‌شود و بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است، وارد اتاقک انبساط می‌شود؛ به پیستون نیرو وارد می‌کند و آن را به حرکت درمی‌آورد. در نتیجه‌ی این حرکت، بخار آب به‌سرعت متبسط می‌شود و دما و فشار آن کاهش می‌یابد. چون این انبساط بسیار سریع انجام می‌شود، این فرایند را می‌توان بی‌دررو در نظر گرفت. این حرکت پیستون برای به‌کار انداختن مولد برق، به حرکت درآوردن چرخ‌های لکوموتیو و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.
 کاری که دستگاه بر روی محیط انجام می‌دهد (یعنی، کاری که ماشین گرمایی انجام می‌دهد) در این مرحله به‌دست می‌آید.

(ب) مرحله‌ی سوم: طراحی ماشین به گونه‌ای است که وقتی پیستون به انتهای مسیر خود رسید، بازگردانده می‌شود. در هنگام بازگشت پیستون، شیر ورودی بسته و شیر خروجی باز می‌شود و بخار آب به سمت جگالنده، که لوله‌های آب سرد آن را خنک می‌کنند، هدایت می‌شود. در جگالنده،

فعالیت ۲۹



از گروه‌ها می‌خواهیم نمودار P-V چرخه‌ی ماشین بخار را رسم کنند و با نمودار شکل ۱۶-۱ مقایسه کنند.

پرسش : از دانش آموزان می خواهیم منبع گرم و سرد را در ماشین بخار مشخص کنند.
پرسش : چرا ماشین بخار را ماشین برون سوز گویند؟
پاسخ : چون گرما را کوره (در بیرون دستگاه) به آب می دهد، این ماشین را برون سوز می نامند.

فعالیت ۱-۵

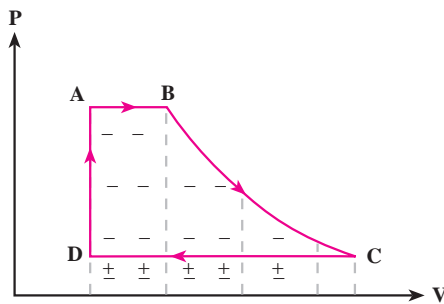
الف) بخار - افزایش
ب) انجام کار - کاهش
پ) تبدیل به آب
ت) فشار اولیه در دیگ بخار می رسد
ث) منبع گرم - منبع سرد

DA : افزایش فشار در فرایند هم حجم
AB : گرما گرفته
BC : تبادل گرمایی ندارد (بی دررو)
CD : گرما از دست داده
DA : کمی گرما می گیرد.

پ) کار انجام شده در چرخه ی کامل منفی است یعنی در این چرخه، دستگاه بر روی محیط، کار خالص انجام می دهد.

فعالیت ۱-۶

الف) AB : انبساط هم فشار
BC : انبساط بی دررو
CD : تراکم هم فشار



شکل (۵۲)

ت) در فرایند B تا C، نوع فرایند بی دررو است، یعنی دستگاه با محیط مبادله ی گرمایی انجام نمی دهد ($Q=0$) و انرژی درونی تنها در اثر انجام کار W_{BC} تغییر می کند. با توجه به این که $W_{BC} < 0$ است داریم؛

$$\Delta U_{BC} = W_{BC} + Q_{BC} \text{ و } Q_{BC} = 0 \text{ و } W_{BC} < 0$$

$$\Delta U = W_{BC} < 0$$

$$U_C - U_B < 0$$

$$U_C < U_B$$

الف - در مسیر A تا B، آب با گرفتن گرما از کوره به ... تبدیل می شود و حجم و دمای آن ... می یابد.
ب - در مسیر B تا C بخار آب وارد استوانه می شود و سبب ... می شود، در نتیجه ی این عمل، فشار و دمای بخار آب ... می یابد.
پ - در مسیر C تا D بخار آب گرما از دست می دهد. دمای آن پایین می آید و ... می شود.
ت - در مسیر D تا A تلمبه آب را به دیگ بخار برمی گرداند. در این عمل، فشار آب به ...
ث - در یک چرخه ی کامل ماشین بخار، دستگاه از ... مقداری گرما می گیرد. مقداری کار انجام می دهد و بقیه را به ... می دهد.

فعالیت ۱-۷
با استفاده از نمودار P-V می ماشین بخار
الف - نوع فرایند را در هر مرحله بیان کنید.
ب - مشخص کنید که آب در مراحل AB، BC و CD گرما گرفته یا از دست داده است؟
پ - کار انجام شده را در هر مرحله با استفاده از سطح زیر نمودار مشخص کنید و علامت کار انجام شده در چرخه ی کامل را تعیین کنید.
ت - انرژی درونی دستگاه در فرایند C تا B افزایش می یابد یا کاهش؟

ب - ماشین گرمایی درون سوز: موتورهای یستونی یکی از متداول ترین انواع موتورهای درون سوز اند. موتور همدی اتومبیل ها، هواپیماهای ملخ دار، بعضی از کشتی ها و قطارها و نیروگاه های کوچک، درون سوز است. موتور گرمایی درون سوز در دو نوع بنزینی و دیزلی طراحی شده است. در این جا به توصیف موتور بنزینی می پردازیم. قسمت اصلی این موتور از یک استوانه که پیستون در داخل آن حرکت می کند، تشکیل شده است. اجزای موتور در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است؛ در این نوع موتور بخشی از انرژی حاصل از سوخت، سبب حرکت پیستون می شود. این حرکت از طریق دسته و میل لنگ به حرکت دورانی تبدیل می شود، با انتقال این حرکت دورانی به چرخ ها



فرایندهای واقعی در ماشین بخار

در این دانستنی؛ نحوه‌ی عمل واقعی ماشین بخار و عوامل مؤثر بر آن مورد بررسی و کنکاش قرار می‌گیرد.



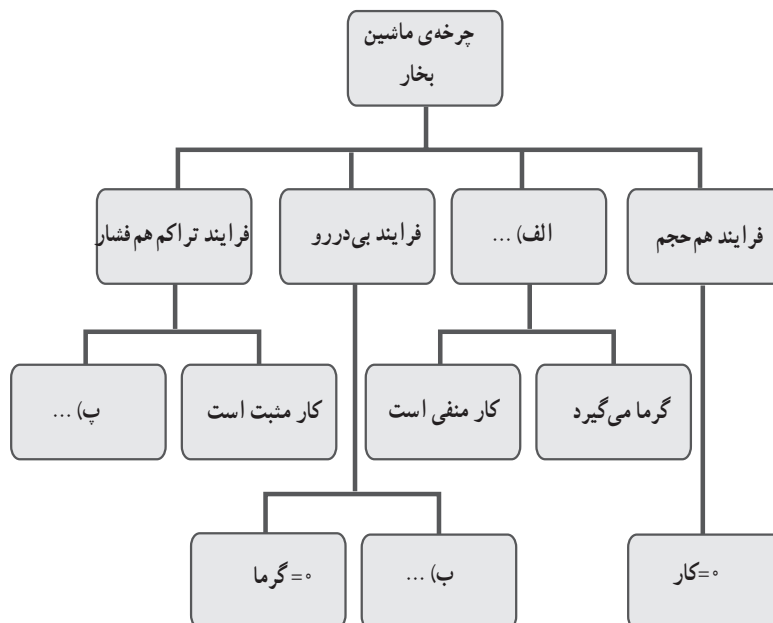
فعالیت خارج از کلاس

نیروگاه‌هایی که به منزل شما نزدیک‌اند و در آن‌ها از ماشین بخار برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود را شناسایی و سپس با هماهنگی مسئولین مربوطه، از آنجا بازدید کرده و گزارشی به همراه تصاویر مناسب و کارکرد بخش‌های مختلف نیروگاه تهیه و به کلاس ارائه دهید.



فعالیت ۳۰

نقشه‌ی مفهومی زیر در مورد چرخه‌ی ماشین بخار است، آن را تکمیل کنید.



پاسخ: الف) انبساط هم فشار ب) کار منفی است پ) گرما از دست می‌دهد.



تبدیل کار به گرما و برعکس

در این دانشتنی؛ تبدیل کار به گرما در یک دستگاه، بدون آن که تغییری در مختصات ترمودینامیکی دستگاه رخ دهد، بررسی می شود و نشان داده می شود که تبدیل کار به گرما با بازده صددرصد صورت می گیرد، اما ...

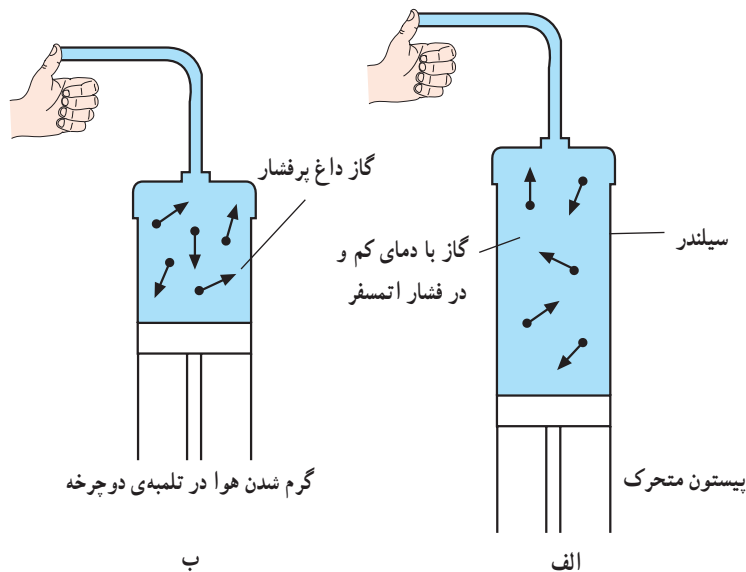
ب) ماشین گرمایی درون سوز
راهنمای تدریس: ابتدا به کاربرد موتورهای درون سوز در خودروها، قطارها، برخی کشتی ها و هواپیما، نیروگاه های کوچک و ... اشاره می کنیم و سپس توضیح می دهیم که این موتورها در دو نوع بنزینی و دیزلی طراحی می شوند و ما فقط به توصیف نوع بنزینی آن می پردازیم. با انجام فعالیت های پیشنهادی زیر؛ سعی می کنیم گروه های دانش آموزی را فعال کنیم.

فعالیت ۳۱



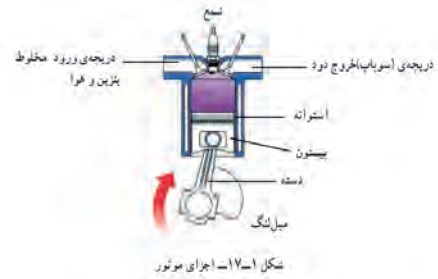
یک تلمبه ی دوچرخه تهیه کنید و انگشت خود را مانند شکل در انتهای آن قرار دهید. سپس دسته ی تلمبه را به طرف داخل حرکت دهید. الف) چه احساسی در انگشت شما به وجود می آید؟ آیا فشار و دمای گاز درون تلمبه بالا رفته است؟

ب) حرکت مولکول های گاز قبل از این کار و بعد از آن را با هم مقایسه کنید.



شکل (۵۳)

پاسخ: قبل از این کار، فشار و دمای گاز درون سیلندر با فشار و دمای گاز محیط یکسان است. بعد از آن که دسته به طرف داخل هل داده شد (معمولاً به طور سریع انجام می شود) گاز درون سیلندر یک فرایند بی دررو را طی می کند؛ بنابراین دما و فشار آن به شدت افزایش می یابد؛ پس به طور متوسط انرژی جنبشی مولکول های تشکیل دهنده ی گاز نیز افزایش می یابد.



شکل ۱۷-۱ اجرای موتور

انومیل حرکت می‌کند. بخش دیگر انرژی از طریق رادیاتور، که موتور را سرد می‌کند، و لوله‌ی خروجی (اگزوز) مستقیماً به هوا داده می‌شود.

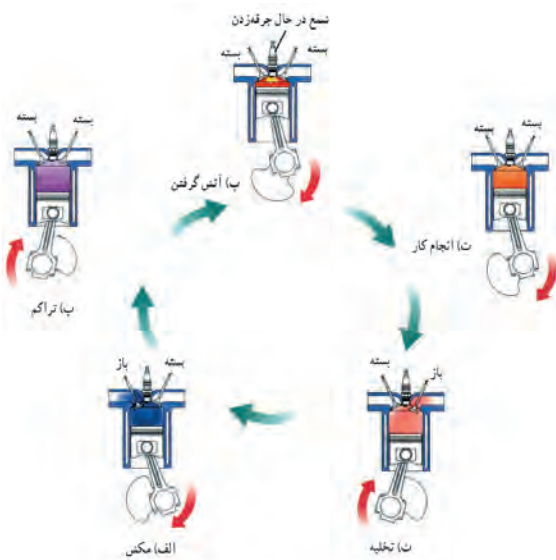
مراحل مختلف کار ماشین‌های گرمایی درون‌سوز به‌ترتیب زیر است.

الف) مرحله‌ی مکش: با پایین آمدن پیستون (از یک وضعیت اولیه) مخلوط بنزین و هوا از طریق درجه‌ی ورودی وارد استوانه می‌شود. وقتی پیستون به پایین‌ترین وضعیت خود رسید، این درجه بسته می‌شود و مخلوط بنزین و هوا در داخل استوانه محبوس می‌شوند.

ب) مرحله‌ی تراکم: پیستون بالا می‌آید. مخلوط را متراکم می‌کند و به حجم اولیه می‌رساند. در این وضعیت، دمای مخلوط بسیار بالا می‌رود.

پ) مرحله‌ی آتش‌گرفتن: هنگامی که پیستون به بالاترین وضعیت خود رسید، شمع جرقه می‌زند. مخلوط آتش می‌گیرد و دما و فشار آن تا مقدار زیادی بالا می‌رود. چون آتش گرفتن مخلوط در داخل استوانه رخ می‌دهد و مخلوط از بیرون گرم نمی‌گردد، این موتورها را درون‌سوز می‌گویند.

ت) مرحله‌ی انجام کار: در این مرحله در اثر فشار زیاد، دستگاه منبسط می‌شود و پیستون را به‌طرف پایین می‌راند. کاری که دستگاه بر روی محیط انجام می‌دهد، در این مرحله حاصل می‌شود. **ث) مرحله‌ی تخلیه:** در این مرحله، بخشی از دود حاصل از سوختن مخلوط بنزین و هوا از طریق درجه‌ی خروج دود، که در این مرحله باز می‌شود، خارج می‌گردد و سپس پیستون بالا آمده و بقیه‌ی دود را خارج می‌کند. به این ترتیب، مقدار زیادی گرما به هوای بیرون داده می‌شود. موتور دائماً این چرخه را تکرار می‌کند. مرحله‌های مختلف کار موتور درون‌سوز در شکل ۱۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۱ مراحل مختلف در چرخه‌ی موتورهای درون‌سوز

معمولاً برای بررسی ساده‌تر و تطبیق طرز کار این موتورها با چرخه‌های ترمودینامیکی، فرض می‌شود که مخلوط آتش‌نگیر دلی آن قدر گرما به آن داده شود که به فشار و دمای نهایی در مرحله‌ی آتش‌گرفتن، برسد. در مرحله‌ی تخلیه نیز فرض می‌شود که دستگاه در داخل استوانه باقی بماند ولی آن قدر از آن گرما گرفته شود تا به وضعیت اولیه برگردد. به این ترتیب، چرخه‌ی معادلی به‌نام چرخه‌ی اتو (مطابق شکل ۱۹-۱) برای این ماشین‌ها در نظر گرفته می‌شود.

فعالیت ۳۲



چه تغییراتی در یک سیلندر و پیستون ایجاد کنیم که توسط آن بتوانیم، فرایندهای زیر را انجام دهیم:

الف) در یک فرایند هم‌فشار، مقداری گاز (مخلوط سوخت و هوا) وارد محفظه (سیلندر) شده و سپس محبوس شود.

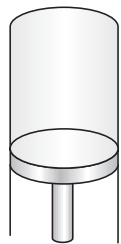
پاسخ: اگر لوله‌ای به آن وصل کنیم و در آن شیری نیز تعبیه کنیم و شیر را باز کنیم و پیستون در بالا باشد و به طرف پایین حرکت کند و وقتی به پایین رسید، شیر بسته شود، این فرایند انجام شده است.

ب) گاز محبوس شده به سرعت متراکم شود و دما و فشار در آن افزایش یابد.

پاسخ: اگر در حالی که شیر (۱) بسته است، پیستون با سرعت به طرف بالا حرکت کند، فرایند «ب» انجام می‌شود.

پ) با یک جرقه، گاز متراکم شده، آتش بگیرد.

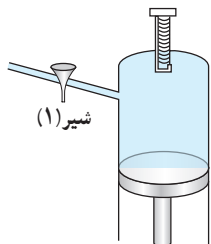
پاسخ: اگر در حالی که پیستون بالا قرار دارد، توسط یک فندک جرقه‌ای در سیلندر زده شود، مخلوط سوخت و هوا آتش می‌گیرد. بدین منظور می‌توان فندکی را در بالای سیلندر طراحی کرد، به گونه‌ای که هر وقت این شرایط به‌وجود آمد، جرقه ایجاد شود.



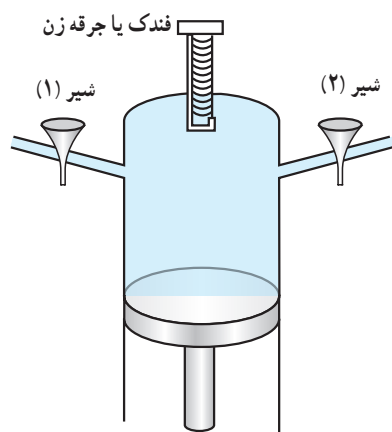
شیر (۱)



جرقه زن یا فندک



شکل (۵۴)



شکل (۵۵)

ت) گاز آتش گرفته سبب حرکت سریع پیستون شود و آن را با سرعت به پایین براند.

پاسخ: پس از آتش گرفتن، در حالی که هم چنان شیر (۱) بسته است، در اثر انفجار ایجاد شده، پیستون با سرعت زیاد به طرف پایین رانده می شود و فرایند «ت» انجام می شود.

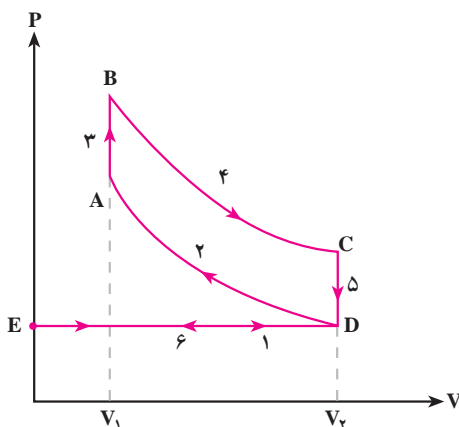
ث) در یک فرایند هم حجم، مقداری از گاز آتش گرفته، خارج شود. پاسخ: اگر یک لوله ی خروجی درست راست سیلندر به همراه یک شیر تعبیه کنیم (شیر (۲))، در حالی که پیستون در پایین ترین نقطه قرار دارد، شیر (۲) باز شود، فرایند «ث» طی می شود.

ج) در یک فرایند هم فشار، باقی مانده ی گاز آتش گرفته، خارج شود. پاسخ: اگر در این حالت که شیر (۲) باز است، پیستون به طرف بالا حرکت کند فرایند «ج» انجام می شود.

و در مورد نقش هر یک از اجزای آن بحث کنند و سپس از ابتدای مبحث ماشین گرمایی درون ساز تا انتهای مرحله ی تخلیه را مطالعه کنند و از برخی از گروه ها می خواهیم تا مراحل مختلف کار ماشین گرمایی درون سوز را توضیح دهند.

در این مرحله برای دانش آموزان توضیح می دهیم که بخش اصلی موتور یک ماشین درون سوز بنزینی، همانند دستگاهی است که آن ها در فعالیت قبلی طراحی کرده اند.

شکل ۱-۱۷ کتاب درسی، اجزای اصلی این موتور را نشان می دهد. از گروه ها می خواهیم، این شکل را به دقت بررسی



شکل (۵۶)

فعالیت ۳۳



نمودار $P-V$ ی فرایندهای مکش تا تخلیه را در یک ماشین گرمایی درون سوز بنزینی رسم کنید و توضیح دهید در کدام مرحله ها، دستگاه گرما گرفته و در کدام مرحله گرما از دست داده است. پس از انجام این فعالیت، شکل خود را با شکل ۱-۱۹ کتاب درسی مقایسه کنید (چرخه ی اتو).

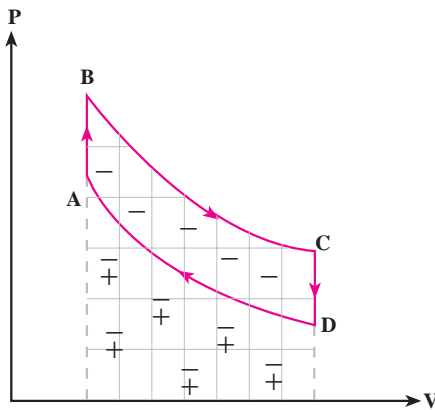
پاسخ: در رسم این نمودار احتمالاً دانش آموزان دو فرایند هم فشار رفت و برگشتی را نیز رسم می کنند که توضیح درباره ی آن ها به فهم دانش آموزان کمک می کند.

توجه: فرایند ED معادل فرایند الف) در فعالیت ۳۲ است و فرایند DE معادل فرایند ج) در فعالیت ۳۳ است.

داخل استوانه باقی بماند ولی آن قدر گرما از دست بدهد تا به وضعیت اولیه برسد. یعنی یک دستگاه ثابت که فرایندهای مختلف را انجام می دهد و این همان موضوع مورد اشاره در صفحه ی ۲۶ کتاب درسی است. و به همین دلیل فرایندهای (۱) و (۶) که یک فرایند رفت و برگشتی است حذف می شود.

توجه: برای بررسی ساده و تطبیق طرز کار موتورهای درون سوز با چرخه های ترمودینامیکی فرض می شود که در مرحله ی آتش گرفتن، مخلوط آتش نگیرد ولی آن قدر گرما به آن داده شود که فشار و دمای نهایی آن به پایان مرحله آتش گرفتن برسد و در فرایند تخلیه نیز فرض می شود که دستگاه (مخلوط هوا و سوخت) در

فعالیت ۳۴



شکل (۵۷)

نشان دهید کار انجام شده در چرخه‌ی اتو (شکل ۱۹-۱ کتاب درسی)

منفی است.

پاسخ: در فرایند BC، دستگاه منبسط شده است و کار آن منفی است و برابر مساحت سطح زیر نمودار B تا محور V است. در فرایند AB و CD، حجم ثابت است و کار انجام نمی‌شود. در فرایند DA، دستگاه متراکم شده است. پس کار آن مثبت بوده و برابر مساحت سطح زیر نمودار DA می‌باشد که اندازه‌ی آن از اندازه‌ی کار مرحله‌ی BC کمتر است. بنابراین کار کل منفی و برابر مساحت سطح داخل چرخه است.

دانشتنی



ماشین‌های درون‌سوز

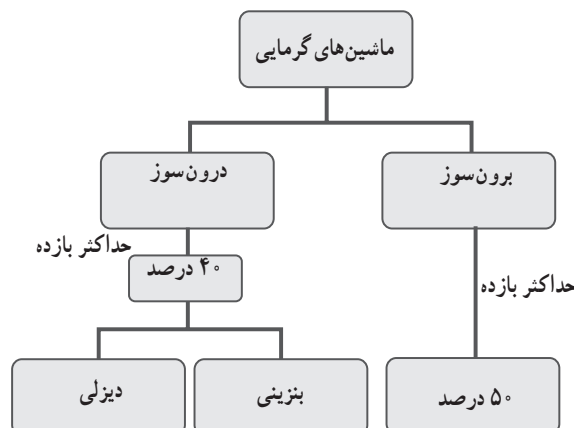
در این دانشتنی؛ با مراحل مختلف چرخه‌ی ماشین‌های بنزینی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از شرایط کامل آشنا می‌شویم و در ادامه چرخه‌ی اتو و ماشین‌های دیزلی مورد بحث قرار می‌گیرند و بازدهی این ماشین‌ها، بیان می‌شوند.

فعالیت ۳۵



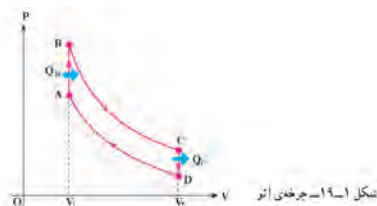
نقشه‌ی مفهومی زیر، در مورد تقسیم‌بندی ماشین‌های گرمایی است. متنی رابنویسید که این نقشه را توضیح

دهد.



۸-۱- بازدهی ماشین‌های گرمایی

تبدیل کامل کار به گرما به سادگی انجام می‌شود. کافی است دست‌هایتان را به سرعت به هم بمالید. گرمایی که بدین ترتیب تولید می‌شود به انرژی درونی دست‌هایتان اضافه می‌شود و آن‌ها را گرم‌تر می‌سازد. اما فرایند معکوس، یعنی تبدیل کامل گرما به کار، هرگز صورت نمی‌گیرد. بهترین کاری که می‌توان انجام داد تبدیل بخشی از گرما به کار مکانیکی است. اولین ماشین گرمایی برای انجام این کار ماشین بخار بود که سه قرن پیش اختراع شد.



شکل ۸-۱- چرخه‌ی اتر
A تا B: دستگاه مقداری گرما می‌گیرد و دما و فشار آن به مقدار زیادی بالا می‌رود (معادل مرحله‌ی آتش گرفتن).
B تا C: دستگاه منبسط می‌شود و بیستون را به طرف پایین می‌راند.
C تا D: دستگاه مقداری گرما از دست می‌دهد و دما و فشار آن کاهش می‌یابد (معادل مرحله‌ی تخلیه).
D تا A: دستگاه متراکم می‌شود و فشار و حجم آن به وضعیت اولیه برگردانده می‌شود.

۸-۱- بازدهی ماشین گرمایی

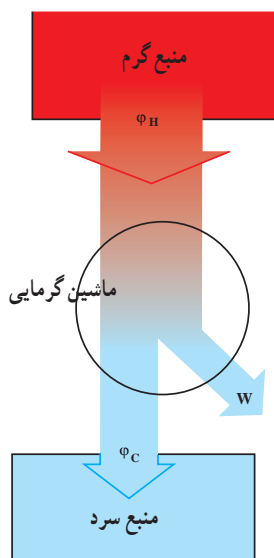
در بررسی ماشین‌های بخار و درون‌سوز دیدیم که دستگاه مقداری گرما Q_H از منبع گرم می‌گیرد. قسمتی از آن را به کار $|W|$ تبدیل می‌کند و بقیه‌ی گرما $|Q_C|$ را به منبع سرد می‌دهد. این نتیجه برای ماشین‌های بخار و درون‌سوز به دست آمد ولی ماشین‌های گرمایی دیگر نیز بر همین اساس کار می‌کنند. حتی بدن انسان نیز در حدود ۲۵ درصد از انرژی حاصل از مواد غذایی را به کار تبدیل می‌کند و بقیه را به صورت گرما و ... به محیط بیرون می‌دهد (شکل ۱-۲).

با توجه به آن چه گفته شد، طرز کار ماشین‌های گرمایی را می‌توان در شکل ۲-۱ خلاصه کرد.



شکل ۲-۱

فعالیت ۳۶



شکل (۵۸)

در بررسی ماشین‌های بخار و درون‌سوز دیدیم که دستگاه، گرمای Q_H را از منبع گرم می‌گیرد. قسمتی از آن را به کار $|W|$ تبدیل می‌کند و بقیه‌ی گرما $|Q_C|$ را به منبع سرد می‌دهد. الف) طرح‌واره‌ای رسم کنید که در آن ماشین با یک دایره و اندازه‌ی انرژی با پهنای نوار مشخص شود و فرایند گرفتن گرمای Q_H از منبع گرم، انجام کار W و دادن گرمای Q_C به منبع سرد را نشان دهد.

ب) قانون اول ترمودینامیک را برای یک چرخه‌ی ماشین گرمایی در یک چرخه

بنویسید.

پاسخ: الف)

ب)

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

چون در هر چرخه دستگاه پس از طی کردن چرخه، به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد، $\Delta U = 0$

بنابراین به

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

فعالیت ۳۷



الف) بازده را در ماشین‌های گرمایی تعریف کنید.

ب) توضیح دهید چرا در یک چرخه‌ی ماشین گرمایی، بازده نمی‌تواند صد در صد باشد.

پاسخ: الف)

$$\text{بازده} = \frac{\text{کار انجام شده}}{\text{گرمای گرفته شده}}$$

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

ب) در ماشین گرمایی همواره کسری از گرمای گرفته شده یا حاصل از سوخت به کار تبدیل می‌شود و بقیه‌ی آن به منبع سرد داده می‌شود بنابراین بازده حتماً کمتر از صد در صد است.

پرسش: حدس بزنید بازده ماشین بخار و ماشین‌های درون‌سوز در بهترین وضعیت چه مقدار است؟
توضیح: انتظار نداریم که دانش‌آموزان به عدد بازده، اشاره کنند بلکه هدف از این پرسش درگیر کردن بیشتر دانش‌آموزان با مقدارهای واقعی بازده است. اعداد مربوط به این بازده‌ها در کتاب درسی نوشته شده است. (به ترتیب ۵۰ درصد و ۴۰ درصد).

فعالیت ۳۸



شکل ۱-۲۰ کتاب درسی مربوط به بدن انسان است. یعنی اگر انسان به صورت یک ماشین در نظر گرفته شود،

تنها بخشی از انرژی ناشی از مواد غذایی به کار تبدیل می‌شود. اگر پهنای نمودار معرف میزان انرژی باشد:

الف) چند درصد از انرژی حاصل از ترکیب مواد غذایی و اکسیژن به صورت گرما به محیط داده می‌شود؟

ب) چه کسری صرف انجام کار می‌شود؟

پاسخ: پهنای نوار اصلی با استفاده از خط کش ۲۱ mm است.

الف) پهنای گرما داده شده ۱۱ mm است.

پس $\text{درصد} = \frac{۱۱ \text{ mm}}{۲۱ \text{ mm}} \times ۱۰۰ = ۵۲/۴$ درصد گرمای داده شده به محیط

ب) پهنای انجام کار ۵ mm است.

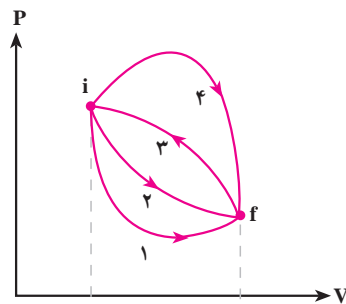
درصد $\text{درصد} = \frac{۵ \text{ mm}}{۲۱ \text{ mm}} \approx ۲۴$ درصد انجام کار

پرسش ۱-۶: با توجه به این که یکای کار و گرما یکی است. بازده یکا ندارد.

پرسش ۱-۷: با توجه به رابطه $\eta = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_H}$ یا $\eta = \frac{|W|}{Q_H}$ ، به ازای یک Q_H مشخص هرچه کار دریافت شده در چرخه را افزایش دهیم، بازده بالاتر می رود. بدین منظور می توان، از منبع سردتر به عنوان چشمه ی سرد و از منبع گرم تر به عنوان چشمه گرم استفاده کرد. اصطکاک در توربین ها و ... را کاهش داد تا اتلاف های گرمایی حذف شود.

توجه: انرژی درونی ΔU دستگاه وقتی افزایش می یابد که انرژی به صورت گرمای Q به آن داده شود و وقتی کاهش می یابد که دستگاه کار W را روی محیط انجام دهد. در این مرحله از دانش آموزان می خواهیم مثال ۱-۹ را حل کنند و به اعداد مربوط به بازده و درصد گرمای داده شده به منبع سرد توجه کنند. سپس چند مثال کاربردی ارائه می کنیم.

مثال: شکل (۵۹) چهار مسیر در نمودار $P-V$ را نشان می دهد که در آن ها گازی می تواند مسیرها از حالت i تا f را طی کند. مسیرها را به ترتیب بزرگی (الف) اندازه ی کار انجام شده به وسیله ی گاز، (ب) تغییر انرژی درونی گاز و (پ) بزرگی انرژی منتقل شده به صورت گرمای Q از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار مرتب کنید.



شکل (۵۹)

پاسخ: الف)

اندازه ی کار برابر با مساحت سطح زیر نمودار فشار بر حسب حجم است. اگر مساحت سطح زیر نمودار را با S نشان

دهیم؛

$$S_f > S_p > S_r > S_i \rightarrow |W_f| > |W_p| > |W_r| > |W_i|$$

اما کار انجام شده در هر ۴ مسیر منفی است پس:

$$W_f < W_p < W_r < W_i$$

ب) تغییر انرژی درونی فقط به حالت اولیه و نهایی بستگی دارد و به هیچ وجه به نحوه ی رفتن دستگاه از یک حالت به حالت دیگر بستگی ندارد. در حالی که مقدار Q یا W به مسیر وابسته اند، اما کمیت $\Delta U = Q + W$ مستقل از مسیر است؟

$$\Delta U_i = \Delta U_f = \dots$$

پ)

$$\Delta U_i = \dots = \Delta U_f \Rightarrow Q_i + W_i = \dots = Q_f + W_f$$

با توجه به رابطه ی $W_f < W_p < W_r < W_i$ داریم؛

$$Q_i + W_i = \dots = Q_f + W_f \rightarrow Q_f < Q_p < Q_r < Q_i$$

مثال: جدول زیر را با توجه به نوع فرایند، کامل کنید.

جدول (۸)

نوع فرایند	تغییر دما (ΔT)	گرمای مبادله شده (Q)	کار انجام شده (W)	تغییر انرژی درونی (ΔU)
۱ انبساط هم فشار	+	+	-	+
۲ انبساط هم دما				
۳ تراکم بی دررو				
۴ هم حجم با افزایش فشار				

تمرین: دمای $16g$ اکسیژن را در فشار ثابت از $27^\circ C$ تا $127^\circ C$ افزایش می دهیم. الف) چه مقدار گرما به گاز منتقل شده است؟

ب) چه کسری از گرما صرف افزایش انرژی درونی اکسیژن شده است؟