

کج فهمی: چون منبع گرما نباید در اثر تبادل گرما تغییر دمای قابل ملاحظه‌ای پیدا کند، می‌توانیم مخلوط آب و یخ را به عنوان منبع گرما در نظر بگیریم. آب جوش هم که روی شعله‌ی چراغ و در حال جوشیدن باشد، دمای ثابت خواهد داشت و این در حالی است که دمای شعله بیشتر از آب است و دائماً از شعله به آب گرما می‌رسد.

توضیح می‌دهیم که در هر دو روش گاز را دستگاه فرض می‌کنیم و دستگاه از محیط گرما می‌گیرد تا دمایش بالا رود. اما با استفاده از شعله‌ی چراغ، وقتی به گاز گرما داده می‌شود دمای شعله کم نمی‌شود در حالی که جسم با دمای بالاتر وقتی به گاز گرما می‌دهد دمای خودش پایین می‌آید. با این مقدمه می‌توانیم منبع گرما را تعریف کنیم.

دانستنی



سیر تاریخی آزمایش ژول

در این دانستنی؛ به نظریه‌ی کالریک و رد آن و تلاش تامسون در ساخت دَوَران مته و سوراخ کردن توپ و کارهای تجربی رامفورد و ژول در تبدیل انرژی مکانیکی به گرما بحث می‌شود.

یک دبیر فیزیک، اطلاع از این مفاهیم با مراجعه به کتاب شیمی سال سوم توصیه می‌شود. حتی در این زمینه برای کاربردی کردن بیشتر علم ترمودینامیک و آموزشمان می‌توانیم فعالیتی به شرح زیر مطرح کنیم.

توجه: در کتاب شیمی سال سوم دبیرستان (ریاضی – تجربی) مبحثی در مورد فرایندهای ترمودینامیکی و کمیت‌های ترمودینامیکی و ... وجود دارد. این مبحث در شیمی سال سوم بیشتر با تأکید بر کاربردهای آن در علم شیمی مطرح شده است. ولی با این وجود به عنوان

فعالیت ۹



(الف) با مراجعه به کتاب شیمی سال سوم (رشته ریاضی – رشته تجربی) کلمات مترادف و تعاریف زیر را با توجه به آن چه در آن کتاب مطرح شده است بیابید.

- علم ترمودینامیک
- فرایند ترمودینامیکی
- انرژی درونی
- دستگاه ترمودینامیکی، محیط
- کمیت‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی
- دما، گرما، کار
- و

(ب) شباهت‌های بین این مفاهیم در فیزیک و شیمی را بیان کنید، تفاوت‌ها را نیز شناسایی و بیان کنید.

پ- کار: در بخش قبل دیدیم که می‌توانستیم در یک فرایند ترمودینامیکی، حجم گاز نیز تغییر کند و گاز متراکم یا منبسط شود؛ مثلاً، برای متراکم کردن گاز داخل استوانه در شکل ۳-۱ باید به پیستون نیرو وارد و آن را به طرف چپ جابه‌جا کنیم. در این صورت، همان‌طور که در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه خواندید، کار انجام داده‌ایم. در این مثال، می‌توان گفت که تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق کار صورت گرفته است.

فعالیت ۳-۱

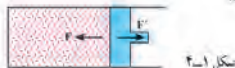
با انگشت خود انتهای یک سرنگ (با نلمبه‌ی دوچرخه) را مسدود کنید و الف) سعی کنید گاز داخل آن را متراکم کنید؛ ب) پیستون سرنگ را بکشید و سعی کنید گاز داخل آن را منبسط و سپس آن را رها کنید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

در فعالیت ۳-۱ در حالت الف گاز بر پیستون نیرو وارد می‌کند و ما برای متراکم کردن گاز باید حداقل نیرویی برابر یا از آن نیرو به پیستون وارد کنیم. در حالت ب، پیستون پس از رهاشدن به وضعیت اولیه برمی‌گردد؛ در این حالت نیز گاز به پیستون نیرو وارد می‌کند ولی نیرویی که محیط (به‌عبارت فشار هوا) به پیستون وارد می‌کند، بیش‌تر است. در فعالیت ۳-۱ حضور دو نیرو را به ترتیب در بخش الف و ب تجربه می‌کنیم:

(۱) نیروی F که محیط (که پیستون را نیز شامل می‌شود) به گاز وارد می‌کند؛

(۲) نیروی F' که گاز به محیط وارد می‌کند (شکل ۳-۱).

این دو نیرو کنش و واکنش‌اند و اندازه‌ی آن‌ها با یک‌دیگر برابر است. هنگامی که پیستون جابه‌جا می‌شود، هر دوی این نیروها کار انجام می‌دهند.



شکل ۳-۱

علامت کار این نیروها مخالف یک‌دیگر است؛ مثلاً در فعالیت ۳-۱ الف کار محیط روی دستگاه مثبت و کار دستگاه بر روی محیط منفی است (جرا). کار محیط روی دستگاه را با W و کار دستگاه روی محیط را با W' نشان می‌دهیم. با توجه به مطالب گفته‌شده، $W = -W'$ است. در تراکم $W > 0$ و در انبساط $W < 0$ است.

۸

پرسش ۱-۱: بله چون مخلوط خرده‌های یخ و آب تا ذوب شدن کامل یخ تغییر دما نمی‌دهد. بنابراین علیرغم جرم محدود آن می‌تواند به‌عنوان منبع گرما مطرح باشد.

پرسش: اگر بخواهیم بدون مبادله‌ی گرما دمای گاز درون استوانه را بالا ببریم چگونه عمل می‌کنیم؟ (فرض کنید دور استوانه عایق بندی شده است و گرما مبادله نمی‌شود).

پاسخ: با حرکت دادن پیستون، حجم، فشار و در نتیجه دمای گاز تغییر می‌کند و در نتیجه انرژی درونی دستگاه نیز تغییر می‌کند. از طرفی وقتی با اعمال نیرو پیستون را حرکت می‌دهیم و جابه‌جا می‌کنیم، کار انجام داده‌ایم. پس یکی از روش‌های انتقال انرژی انجام کار است.

فعالیت ۳-۱

هدف: دانش‌آموزان وجود نیرویی که گاز بر پیستون وارد می‌کند را تجربه کنند و تشخیص دهند به هنگام جابه‌جا کردن پیستون دو نیروی کنش و واکنش وجود دارند و هر دوی این نیروها کار انجام می‌دهند.

پرسش:

در شکل (۱۰):

– علامت کار محیط و کار دستگاه را در هر حالت مشخص کنید.

– برای پاسخ خود دلیل بیاورید.



کار روی گاز انجام می‌شود

گاز کار انجام می‌دهد.

شکل (۱۰)

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

و با معرفی نیروهای F و F' کار این نیروها را در هر جابه‌جایی پیستون بررسی می‌کنیم. در پایان از دانش‌آموزان می‌خواهیم متن صفحه‌ی ۸ کتاب درسی را مطالعه کنند.

معمولاً دانش‌آموزان در تعیین جهت F و F' دچار ابهام یا مشکل می‌شوند برای رفع ابهام یادآور می‌شویم که مولکول‌های گاز محبوس در هر ظرف در اثر جنبش و برخورد با دیواره همواره بر دیواره رو به بیرون نیرو وارد می‌کنند. پس نیرویی که گاز بر پیستون وارد می‌کند همواره به سمت بیرون است چه پیستون بیرون حرکت کند و چه به درون. و به این ترتیب نیرویی که پیستون بر گاز (دستگاه) وارد می‌کند نیز همواره به سمت درون است و جهت آن ربطی به سوی حرکت پیستون ندارد.

اما علامت کاری که هریک از این نیروها انجام می‌دهند به سوی حرکت پیستون بستگی دارد.

توجه: برای این فعالیت می‌توان از سرنگ‌های شیشه‌ای مخصوص انجام آزمایش‌های دبیرستانی استفاده کرد. اگر پیستون را کمی بیرون بکشیم به طوری که مقداری هوا در آن باقی بماند و در همان حال سرسرنگ را روی پاک‌کن بگذاریم و فشار دهیم پاک‌کن دهانه‌ی سرنگ را می‌بندد.

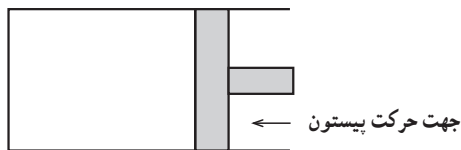
قبل از اجرای فعالیت ۱-۳ از دانش‌آموزان می‌خواهیم با مشاهده‌ی سرنگ مسدود حاوی مقداری هوا، دستگاه و محیط را مشخص کنند. آن‌ها باید بتوانند هوای درون سرنگ را به‌عنوان دستگاه و پیستون و هوای بیرون و همه اجزای دیگر را به‌عنوان محیط تشخیص دهند.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم مرحله‌های الف و ب از فعالیت ۱-۳ را انجام دهند و در هر مرحله در مورد نیروهایی که پیستون بر گاز و یا گاز بر پیستون وارد می‌کند در گروه خود بحث کنند. سپس شکل ۱-۴ را روی تابلوی کلاس رسم می‌کنیم



فعالیت ۱۰

در هریک از آزمایش‌های زیر علامت کاری که پیستون (محیط روی دستگاه) انجام می‌دهد و کاری را که گاز (دستگاه) روی پیستون انجام می‌دهد، تعیین کنید.
 الف) پیستون را هل می‌دهیم تا گاز متراکم شود.
 ب) دستانمان را از روی پیستون برمی‌داریم تا گاز منبسط و پیستون به بیرون رانده شود.



شکل (۱۱)

پاسخ: الف) مطابق شکل بالا نیرویی که پیستون بر گاز وارد می‌کند با بردار جابه‌جایی هم‌جهت و کار این نیرو مثبت است. اما نیرویی که گاز بر پیستون وارد می‌کند در خلاف جهت جابه‌جایی و کار آن منفی است.
 ب) گاز منبسط می‌شود پس جابه‌جایی آن در خلاف جهت نیرویی است که پیستون بر آن وارد می‌کند. پس کار پیستون منفی است. در حالی که نیروی وارد از گاز بر پیستون با جابه‌جایی پیستون هم‌جهت و کار آن مثبت است.

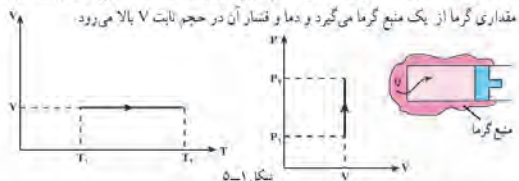
۴-۱- فرایندهای خاص

راهنمای تدریس: با اشاره به معادله‌ی حالت و فرایندهای ترمودینامیکی با طرح پرسشی راجع به تغییر حالت دستگاه به معرفی فرایندهای خاص می‌پردازیم و هریک را توضیح می‌دهیم.

۴-۱-۱ فرایندهای خاص

در ترمودینامیک بین دو حالت مشخص (مثلاً حالت‌های n و h در شکل ۳-۱) فرایندهای متفاوتی می‌تواند رخ دهد، در بین این فرایندها، فرایندهای خاصی وجود دارند که کاربرد آن‌ها وسیع‌تر است: از جمله: فرایند هم‌حجم، فرایند هم‌فشار، فرایند هم‌دما و فرایند بی‌دررو. در ادامه، به توصیف این فرایندها می‌پردازیم.

الف) فرایند هم‌حجم: حجم گاز در حین این فرایند ثابت نگه داشته می‌شود. در فرایند هم‌حجم، کار صفر است (چرا؟) و گاز فقط می‌تواند یا محیط تبادل گرما کند. در شکل ۵-۱ نمودارهای $P-V$ و $V-T$ برای یک فرایند هم‌حجم نشان داده شده است. طی این فرایند، گاز مقداری گرما از یک منبع گرما می‌گیرد و دما و فشار آن در حجم ثابت V بالا می‌رود.



اگر در این مثال، گاز به‌صورت هم‌حجم گرما از دست‌بدهد، نمودارهای شکل ۵-۱ به چه صورت درمی‌آیند؟

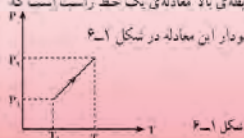
مثال ۲-۱

نمودار $P-T$ فرایند شکل ۵-۱ را در صورتی که گاز کامل باشد، رسم کنید. حل: چون گاز کامل است، با استفاده از رابطه‌ی ۳-۱ داریم:

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

از آن‌جا که $\frac{nR}{V}$ ثابت است، رابطه‌ی بالا معادله‌ی یک خط راست است که

امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد. نمودار این معادله در شکل ۶-۱ نمایش داده شده است.



پرسش: اگر مقداری گاز در دمای T_1 ، حجم V_1 و فشار P_1 داشته باشیم به چند روش می‌توان حالت گاز را تغییر داد؟ آیا ممکن است با ثابت ماندن حجم و دما فقط فشار گاز افزایش یا کاهش یابد؟
پاسخ: بدون اعمال شرایط خاص که مجبور باشیم یکی از کمیت‌ها را ثابت نگه داریم، با تغییر هر سه کمیت حجم و دما و فشار حالت دستگاه تغییر می‌کند. با ثابت ماندن یکی از متغیرهای ترمودینامیکی (دما، حجم یا فشار) و تغییر دوتای دیگر نیز حالت گاز تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال با ثابت ماندن حجم دستگاه هرگاه دما را افزایش دهیم فشار نیز زیاد می‌شود (از دانش‌آموزان می‌خواهیم چنین فرایندی را نام‌گذاری کنند).

الف) فرایند هم‌حجم

ایجاد/نگیزه: در دیگ زودپزی مقدار کمی آب (حدود ۵ تا ۶ قاشق غذاخوری) می‌ریزیم و در آن را می‌بندیم و روی شعله‌ی چراغ می‌گذاریم. پس از مدتی مشاهده می‌شود که فنر سوپاپ آن باز می‌شود. از لحظه‌ای که تمام آب تبدیل به بخار شده است و تا قبل از آن که بخار از طریق سوپاپ خارج شود. تعیین کنید کدام یک از متغیرهای ترمودینامیکی بخار آب در دیگ زودپز تغییر می‌کند و چگونه؟

پاسخ: دما و فشار هر دو افزایش می‌یابند، اما حجم ثابت می‌ماند (انبساط ظرف را نادیده می‌گیریم).
 در این فرایند حجم گاز ثابت مانده است پس آن را فرایند هم‌حجم می‌نامیم.
پرسش: هرگاه دیگ را از روی شعله برداریم و مانع خروج بخار شویم و اجازه دهیم تا به تدریج خنک شود، چه فرایندی صورت می‌گیرد؟

پاسخ: باز هم فرآیند هم حجم است در این فرآیند هم حجم، دما و فشار، هر دو کاهش می یابند.

فعالیت ۱۱



با در اختیار داشتن یک سرنگ که انتهای آن مسدود است، منبع گرمای قابل تنظیم (چراغ گاز و یک ظرف آب)

چگونه می توان در گاز درون سرنگ، فرآیند افزایش دمای هم حجم به وجود آورد.

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

از دانش آموزان می خواهیم نمودارهای $T-P$ ، $T-V$ ، $V-P$ برای کاهش دمای هم حجم) در مورد جهت پیکان روی این نمودارها را برای این فرآیند رسم کنند (هم برای افزایش دمای هم حجم و هم توضیح می دهیم.

پرسش: اگر حجم ثابت بماند یعنی پیستون جا به جا نشود آیا محیط روی دستگاه یا دستگاه روی محیط کار انجام می دهد؟ تبادل انرژی در این حالت چگونه انجام می شود؟
پاسخ: خیر. پس تبادل انرژی در این فرآیند با تبادل گرما صورت می گیرد.

دانش آموزان با محاسبه ی گرمای لازم برای تغییر دمای جسمی به جرم m و گرمای ویژه C به اندازه ی ΔT آشنا هستند با معرفی گرمای ویژه ی گاز در حجم ثابت و بیان تعریف آن، ظرفیت گرمایی ویژه ی مولی در حجم ثابت را نیز تعریف می کنیم. و از دانش آموزان می خواهیم آزمایشی را طراحی کنند تا براساس آن بتوانیم گرمای ویژه مولی در حجم ثابت یک گاز نامشخص را اندازه گیری کنیم.

اکنون به محاسبه ی گرمایی که در فرآیند هم حجم به دستگاه داده می شود، می پردازیم.
در فیزیک ۲ و آزمایشگاه دینیم که گرمای لازم برای تغییر دمای یک جسم به اندازه ی ΔT با رابطه ی زیر داده می شود.

$$Q = mc\Delta T \quad (4-1)$$

در این رابطه، m جرم جسم و c گرمای ویژه ی آن است. باید توجه داشت که در مورد گازها مقدار گرمای ویژه به نوع فرآیند بستگی دارد. در نتیجه، در رابطه ی ۴-۱ باید گرمای ویژه ی مربوط به فرآیند هم حجم را، که در زیر تعریف می شود، قرار داد.

گرمای ویژه ی یک گاز در حجم ثابت برابر است با مقدار گرمایی که در حجم ثابت به یکای جرم آن داده می شود تا دمای آن یک کلونین بالا رود. گرمای ویژه در حجم ثابت را با c_v نشان می دهیم؛ بنابراین، رابطه ی ۴-۱ به صورت زیر درمی آید.

$$Q = nC_{v,m}\Delta T \quad (5-1)$$

معمولاً مقدار گازها را برحسب مول بیان می کنند. در نتیجه، اگر با استفاده از رابطه ی ۴-۱ جرم گاز را برحسب مول قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$Q = nMc_v\Delta T \quad (6-1)$$

کمیت Mc_v را با $C_{v,m}$ نشان می دهند و آن را ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت می نامند. $C_{v,m}$ مقدار گرمایی است که در حجم ثابت به یک مول از یک گاز داده می شود تا دمای آن یک کلونین بالا رود. با استفاده از این کمیت، رابطه ی ۶-۱ به صورت زیر درمی آید.

$$Q = nC_{v,m}\Delta T \quad (7-1)$$

ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت چند گاز دو ستون سوم جدول ۱-۱ آمده است. با تقریب خوبی می توان نشان داد که ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک اتمی برابر با $\frac{5}{2}R$ ، برای گازهای دو اتمی برابر با $\frac{7}{2}R$ است.

ب) فرایند هم فشار

ایجاد/نگیزه: بادکنک کوچکی را باد می‌کنیم و روی

آن دو نقطه را علامت می‌زنیم. بادکنک را داخل سطل آب سرد می‌کنیم و به محض خارج کردن آن از آب سرد، فاصله‌ی دو نقطه را اندازه می‌گیریم.

بادکنک را وارد سطل آب گرم می‌کنیم (لازم است بادکنک هر بار در عمق یکسان از آب سرد یا گرم قرار گیرد). و به محض خارج کردن آن از آب گرم فاصله‌ی دو نقطه را اندازه می‌گیریم. به دانش‌آموزان توضیح می‌دهیم که فرایند نمی‌تواند هم حجم باشد و با مطالعه‌ی این بخش نوع فرایند را خواهند شناخت.

توضیح می‌دهیم که هرگاه پیستونی آزادانه بتواند حرکت کند (یعنی ما با دست یا ابزار دیگر بر پیستون نیرو وارد نکنیم و نیروی اصطکاک بین پیستون و استوانه ثابت باشد) و گاز درون آن با بیرون مبادله‌ی گرما کند، فرایند هم فشار است.

مقال ۳-۱

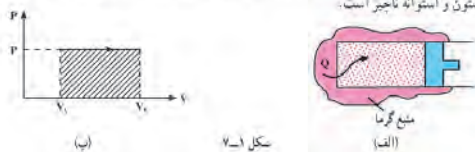
به ۲/۲ مول از گازهای He ، O_2 و CO_2 در حجم ثابت، ۱۰۰ ژول گرما می‌دهیم: دمای هر یک چه قدر افزایش می‌یابد؟
حل: از رابطه ۱-۷ داریم:

$$\Delta T = \frac{Q}{nC_{Mv}}$$

با استفاده از جدول ۱-۱ مقادیر C_{Mv} را برای این گازها در رابطه‌ی بالا قرار می‌دهیم.

$\Delta T = \frac{100}{-2(12/5)} = 40\text{K}$	برای He
$\Delta T = \frac{100}{-2(21/2)} = 23/6\text{K}$	برای O_2
$\Delta T = \frac{100}{-2(28/5)} = 17/5\text{K}$	برای CO_2

ب) فرایند هم فشار: فشار گاز در حین این فرایند ثابت می‌ماند. به عنوان مثالی از این فرایند، گازی را مطابق شکل ۷-۱ الف در داخل استوانه‌ای که با یک منبع گرما در تماس است در نظر بگیریم. گاز ابتدا در فشار P و حجم V_1 در حالت تعادل قرار دارد. فرض کنید اصطکاک بین پیستون و استوانه ناچیز است.



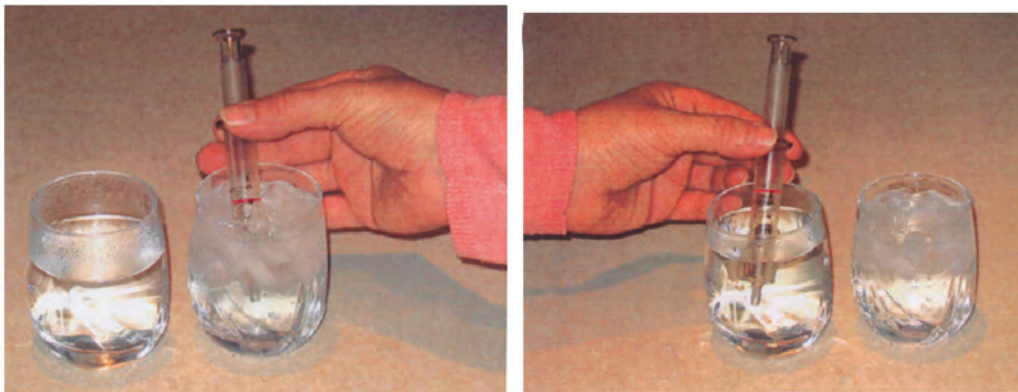
در این صورت، فشار گاز یا فشار محیط برابر است (جرایب) دمای منبع را اندکی بالا می‌بریم. به علت اختلاف دمای بین منبع و دستگاه مقدار کمی گرما به گاز منتقل می‌شود که در نتیجه‌ی آن گاز کمی منبسط می‌شود و پیستون را اندکی به سمت راست جابه‌جا می‌کند. اگر گرما دادن به گاز را به همین روش به صورت بسیار آهسته ادامه دهیم، گاز به کندی منبسط می‌شود و پیستون بسیار آهسته

۱۱

فعالیت ۱۲



با سرنگ مسدودی که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند، یک لیوان آب داغ و یک لیوان آب یخ، آزمایشی را انجام دهید تا در آن فرایند انبساط یا تراکم هم فشار در گاز درون سرنگ صورت گیرد.



شکل (۱۲)

پاسخ: سرنگ را عمودی نگه می‌داریم و آن را داخل آب داغ می‌کنیم. پیستون به بیرون حرکت می‌کند (فرایند انبساط هم فشار) و اگر آن را داخل آب سرد کنیم، پیستون به طرف داخل حرکت می‌کند (فرایند تراکم هم فشار).

فعالیت ۱۳



باتوجه به آزمایش قراردادادن سرنگ ته بسته در آب داغ یا سرد؛ جدول (۱) را با علامت‌های مثبت و منفی و یا صفر پر کنید :

جدول (۱)

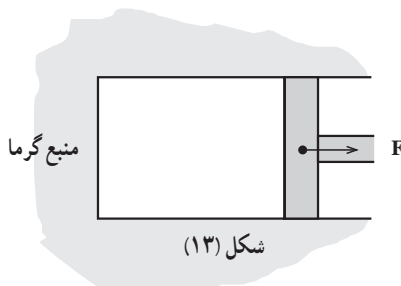
فرایند	کمیت	Q	ΔV	W
انبساط هم فشار		+	+	-
تراکم هم فشار		-	-	+

پاسخ: +, +, -

- , - , +

اگر بخواهیم فرایندهای هم فشار به طور آرمانی انجام شود باید استوانه‌ی محتوی گاز را در تماس با منبع قابل تنظیم گرما قرار داد و دمای منبع را به تدریج زیاد یا کم کرد.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم که نمودار $P-V$ را برای انبساط هم فشار رسم کنند و بگویند که نمودار تراکم هم فشار چه تفاوتی می‌تواند با نمودار رسم شده داشته باشد. برای آن که اهمیت رسم نمودار $P-V$ آشکار شود همراه با دانش‌آموزان به محاسبه‌ی کار مبادله شده در فرایند هم فشار می‌پردازیم.



شکل (۱۳)

از دانش‌آموزان می‌خواهیم نیروی وارد از طرف گاز بر پیستون در فرایند انبساط هم فشار را تعیین کنند.

پاسخ: جهت آن طوری است که پیستون به بیرون رانده می‌شود و مقدار آن از رابطه‌ی $P=F/A$ به دست می‌آید. با معلوم بودن نیرو، کاری را که گاز در جابه‌جایی d روی محیط

به طرف راست حرکت می‌کند. در این حالت، سناپ حرکت پیستون بسیار کوچک و نزدیک به صفر خواهد بود. در نتیجه، نیرویی که گاز به پیستون وارد می‌کند، باید با نیرویی که محیط به پیستون وارد می‌کند، برابر باشد. بنابراین، می‌توان گفت که در حین گرمادادن هوا در فشار گاز با فشار محیط برابر است؛ یعنی، در حین فرایند، فشار گاز ثابت می‌ماند. نمودار $P-V$ ی این فرایند در شکل ۷-۱ ب نشان داده شده است.

در این فرایند، هم گرما و هم کار مبادله می‌شوند. در ابتدا کار را محاسبه می‌کنیم:

اگر فشار گاز P باشد، گاز در حین فرایند نیروی PA را به پیستون وارد می‌کند که در آن A مساحت پیستون است. اگر جابه‌جایی پیستون برابر با d باشد، یا استفاده از رابطه‌ی ۱-۴ در فریک ۲ و آزمایشگاه، کار W^* که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$W^* = (PA)d$$

ولی Ad ، تغییر حجم استوانه است که برابر است با $\Delta V = V_2 - V_1$. در نتیجه،

$$W^* = P\Delta V \quad (8-1)$$

در بخش قبل دیدیم که کار محیط روی دستگاه (W) و کار دستگاه روی محیط (W^*) برابرند و علامت مخالف دارند. در نتیجه داریم:

$$W = -P\Delta V \quad (9-1)$$

تمرین ۲-۱

در بخش ۲-۱ دیدیم که W در تراکم متب و در انبساط منفی است. نشان دهید که این نتیجه از رابطه‌ی ۹-۱ نیز به دست می‌آید.

پرسش ۲-۱

علامت W^* در تراکم و انبساط گاز چیست؟

با توجه به شکل ۷-۱ ب، حاصل ضرب $P\Delta V$ برابر با سطح زیر نمودار $P-V$ (مساحت هائیزوده) است. این نتیجه برای حالت خاص فرایند هم فشار به دست آمد ولی می‌توان نشان داد که در مورد تمام فرایندهای دیگر نیز درست است. یعنی، در هر فرایند، قدرمطلق کار انجام‌شده را با محاسبه‌ی سطح زیر نمودار $P-V$ ی آن فرایند می‌توان به دست آورد. علامت کار را نیز می‌توان با

انجام می‌دهد (وقتی پیستون بدون شتاب و بسیار آرام و با سرعت کم جا به جا می‌شود) محاسبه می‌گردد.

$$\left. \begin{aligned} W' &= Fd \Rightarrow W' = PA \cdot d \\ A \cdot d &= \Delta V \end{aligned} \right\} W' = P\Delta V$$

و کاری که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد: $W = -W'$
 پس: $W = -P\Delta V$ در نمودار $P-V$ ، حاصلضرب $P\Delta V$ سطح زیر نمودار است. به عبارتی قدرمطلق کار انجام شده برابر با سطح زیر نمودار $P-V$ برای هر فرایند است.

پاسخ تمرین ۱-۲: در رابطه‌ی $W = -P\Delta V$ هرگاه گاز متراکم شود یعنی $V_2 < V_1$ و $\Delta V < 0$ باشد آن‌گاه $W > 0$ خواهد شد.

و اگر گاز منبسط شود یعنی $V_2 > V_1$ و $\Delta V > 0$ است و آن‌گاه $W < 0$ به دست می‌آید. یعنی در تراکم کار انجام شده روی گاز مثبت و در انبساط منفی است.

پاسخ پرسش ۱-۲: از آن‌جا که علامت W' قرینه‌ی W است پس در تراکم $W' < 0$ و در انبساط $W' > 0$ است. یعنی در تراکم کار گاز روی محیط منفی و در انبساط مثبت است.

توجه به ملاحظات صفحه‌ی قبل تعیین کرد. در آن‌جا از این بین می‌آید. که به جز در مواردی که به صراحت قید شود، منظور از کار W ، یعنی کار انجام‌شده بر روی دستگاه است.

مثال ۱-۴

در یک فرایند هم‌فشار یک لیتر گاز کامل O_2 در دمای 300K مقداری گرما از دست می‌دهد و حجم آن در فشار یک اتمسفر به $1/9$ حجم اولیه‌اش می‌رسد. دمای نهایی و کار انجام‌شده را محاسبه کنید.

حل: چون حجم گاز به‌طور هم‌فشار کاهش یافته است، داریم:

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

$$\frac{1}{300} = \frac{1/9}{T_2}$$

$$T_2 = 270\text{K}$$

در این فرایند، کار انجام‌شده با استفاده از رابطه‌ی ۱-۴، به‌صورت زیر بدست می‌آید:

$$W = P\Delta V = 1 \times 10^5 (1/9 - 1) \times 10^{-3} = -10\text{J}$$

اکنون به محاسبه‌ی گرمای مبادله‌شده در فرایند هم‌فشار می‌پردازیم. در این حالت نیز می‌توانیم از رابطه‌ی ۴-۱ استفاده کنیم ولی همان‌طور که در مورد فرایند هم‌حجم انجام دادیم، باید از گرمای ویژه‌ی مربوط به فرایند هم‌فشار که به‌صورت زیر تعریف می‌شود، استفاده کنیم. گرمای ویژه‌ی یک گاز در فشار ثابت برابر است با مقدار گرمایی که در فشار ثابت به یکای جرم آن داده می‌شود تا دمای آن یک کلونین بالا رود. گرمای ویژه در فشار ثابت را با $C_{p,m}$ نشان می‌دهیم: بنابراین، رابطه‌ی ۴-۱ در مورد فرایند هم‌فشار به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$Q = nC_{p,m}\Delta T \quad (1-۱)$$

در این‌جا نیز مقدار گاز را برحسب مول بیان می‌کنیم و به جای m مقدار nM را در رابطه‌ی ۱-۱ قرار می‌دهیم. سپس کمیت $M C_{p,m}$ را با $C_{p,m}$ نمایش می‌دهیم که ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت نامیده می‌شود. $C_{p,m}$ مقدار گرمایی است که در فشار ثابت به یک مول از یک گاز داده می‌شود تا دمای آن یک کلونین بالا رود. در این صورت، رابطه‌ی ۱-۱ به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$Q = nC_{p,m}\Delta T \quad (1-۱)$$

۱۳



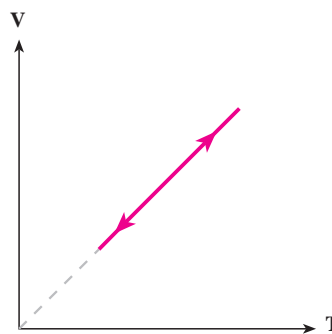
فعالیت ۱۴

برای فرایند انبساط یا تراکم هم‌فشار نمودار $V-T$ رسم کنید و تعیین کنید شیب نمودار معرف کدام کمیت است؟ پاسخ:

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

$$V = \frac{nR}{P}T \Rightarrow$$

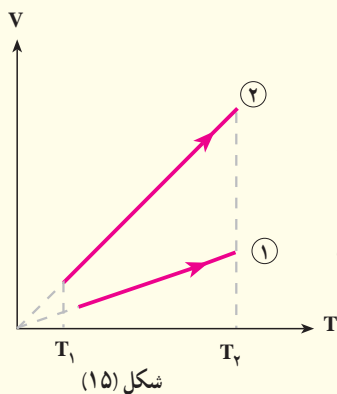
یعنی شیب نمودار $V-T$ ، متناسب با عکس فشار گاز است. به عبارت دیگر هر چه فشار گاز بیشتر باشد، شیب نمودار کمتر است.



شکل ۱۴

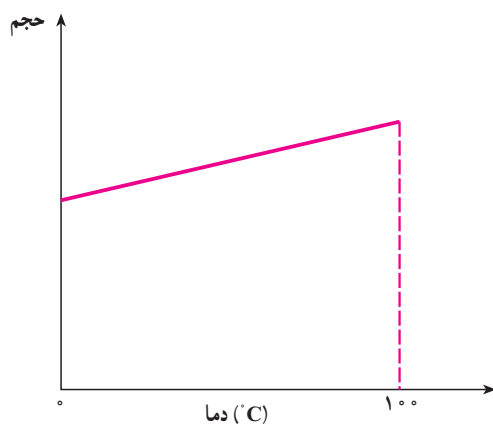
شیب این نمودار برابر با $\frac{nR}{P}$ است یعنی هر چه فشار گاز بیشتر باشد شیب نمودار کمتر است.

پرسش: نمودار $V-T$ برای دو فرایند انبساط هم فشار مطابق شکل داده شده است. فشار آن‌ها را مقایسه کنید.
 پاسخ: فشار در فرایند ۱ که شیب نمودار $V-T$ ی آن کمتر است، بیشتر از فرایند ۲ است.



شکل (۱۵)

برای محاسبه‌ی گرمایی که در فرایندهای هم فشار مبادله می‌شود باز هم به سراغ رابطه‌ی $Q = mc\Delta T$ می‌رویم اما باید توجه داشته باشیم که گرمای مبادله شده در دستگاه به نوع فرایند بستگی دارد. پس در رابطه‌ی اخیر گرمای ویژه در فشار ثابت را جایگزین می‌کنیم و از دانش آموزان می‌خواهیم آزمایشی را طراحی کنند که توسط آن بتوانیم گرمای ویژه‌ی مولی در فشار ثابت را برای یک گاز نامشخص تعیین کنیم.



شکل (۱۶)

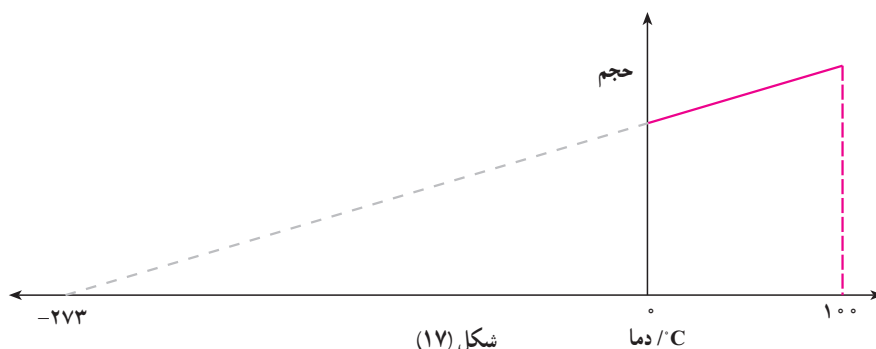
فعالیت ۱۵



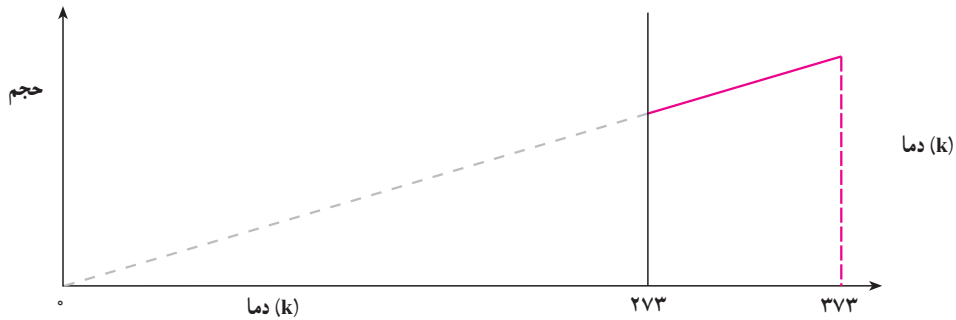
با گرمادادن به مقداری گاز محبوس در محفظه‌ای، حجم آن را طی فرایندی هم فشار افزایش می‌دهیم. نمودار $V-T$ آن به شکل روبه‌رو است:

نمودار را ادامه دهید تا محور دما را قطع کند و دمای این نقطه را تعیین کنید.

پاسخ: به -273°C درجه‌ی سلسیوس می‌رسیم، حالتی که حجم گاز به سمت صفر می‌رود. وبه معنی آن است که مولکول‌های آن حرکتی ندارند این دما همان صفر مطلق نامیده می‌شود. با توجه به این که حجم صفر بی معناست پس امکان رسیدن به این نقطه نیز وجود ندارد.
 این فرجه حداقل دمای ممکن -273°C است.



شکل (۱۷)



شکل (۱۸)

رسیدن به این دما به طور تجربی امکان پذیر نیست. این نتیجه به عنوان نتیجه‌ای از قانون شارل (حجم مقدار معینی گاز در فشار ثابت نسبت مستقیم با دمای مطلق آن دارد) است.

پرسش: در یک فرایند هم فشار رابطه‌ای برای حجم و دمای مطلق گاز بنویسید.

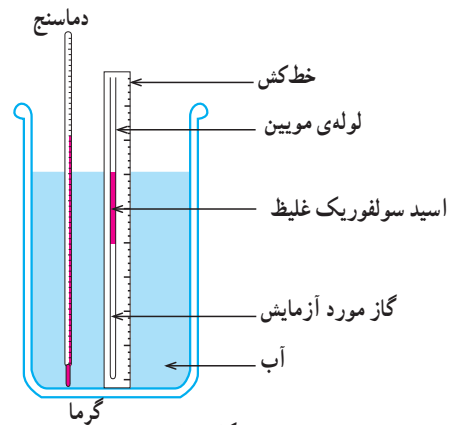
آزمایش

«فرایند هم فشار»

۲- چگونه می‌توان حجم این گاز را اندازه گرفت؟
پاسخ: به دلیل ثابت بودن سطح مقطع لوله‌ی موئین، ارتفاع ستون گاز محبوس زیر اسیدسولفوریک معرف حجم آن است.

تأکید کنید که آزمایش باید با نظارت متصدی آزمایشگاه و یا دبیر محترم انجام شود.
در استفاده از اسیدسولفوریک غلیظ دقت زیادی کنید و از دستکش استفاده کنید.

دستگاهی مطابق شکل زیر را تشکیل دهید.



شکل (۱۹)

۱- چگونه می‌توان دمای گازی را که زیر اسیدسولفوریک قرار دارد اندازه گرفت؟
پاسخ: در حالت تعادل دمای گاز با دمای آب یکسان است.

ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت چند گاز در ستون چهارم جدول ۱-۱ آمده است. می‌توان نشان داد که با تقریب خوبی $C_{M,1}$ به جنس گاز بستگی ندارد و برای گازهای تک‌اتمی برابر با $\frac{5}{2}R$ ، برای گازهای دو اتمی برابر با $\frac{7}{2}R$ است.

مثال ۵-
مقدار گرمایی را که گاز O_2 در مثال ۴-۱ از دست می‌دهد، محاسبه کنید.
حل: مقدار n در مثال ۴-۱ برابر است با:
$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1 \times 10^5) \times (1 \times 10^{-3})}{8.314 \times 300} = 0.04 \text{ مول}$$

با استفاده از جدول ۱-۱ و رابطه‌ی ۱-۱ داریم:
$$Q = nC_{M,1}(T_2 - T_1) = 0.04(29/4)(270 - 300) = 35/3 \text{ J}$$

جدول ۱-۱- ظرفیت گرمایی مولی چند گاز در حجم ثابت و در فشار ثابت

$C_{M,1}$ J/mol K	$C_{M,2}$ J/mol K	گاز	
۲۰/۸	۱۲/۵	He	گازهای تک اتمی
۲۰/۸	۱۲/۵	Ar	
۲۸/۸	۲۰/۴	H_2	گازهای دو اتمی
۲۸/۸	۲۰/۸	N_2	
۲۹/۴	۲۹/۴	O_2	
۳۷	۲۸/۵	CO_2	گازهای چند اتمی
۳۶/۸	۲۷/۸	NH_3	

ب- فرایند هم‌دما: دمای دستگاه در حین این فرایند ثابت می‌ماند؛ مثلاً، برای انجام تراکم هم‌دما در یک گاز، می‌توان استوانه‌ی نیکل ۴-۱ را مطابق با شکل ۱-۱ الف در تماس با یک منبع گرما قرار داد و گاز را بسیار آهسته متراکم کرد. قبل از تراکم، گاز و منبع در حالت تعادل اند.

۳- با توجه به شکل آزمایش را انجام دهید و طی فرایند جدول (۲) را کامل کنید.

جدول (۲)

حجم (V)			
دما (°C)			

۴- نمودار V-T برای گازی که زیر اسید سولفوریک قرار دارد را رسم کنید. (می‌توان از Excel استفاده کرد.)

رابطه‌ی مقدار ثابت $\frac{V}{T} =$ را تحقیق کنید.

۵- گاز محبوس در این آزمایش چگونه و چرا یک فرایند هم فشار را طی می‌کند؟

پاسخ: با جابه جایی ستون اسید سولفوریک، گاز قابلیت تغییر حجم و تنظیم فشار با محیط بیرون را دارد، یعنی همواره فشارش با فشار هوای بیرون برابر است.

۶- با امتداد دادن خط در نمودار V-T گاز محبوس، دمای نقطه‌ی برخورد با محور دما را اندازه بگیرید. انتظار دارید مقدار آن چقدر باشد؟ (پاسخ: -273°C) علل وجود خطا در این مقدار را بررسی و بیان کنید.

دانستنی



رابطه‌ی C_{MP} و C_{MV}

در این دانستنی؛ اختلاف مقدارهای C_p و C_v در مورد مقدار معینی گاز کامل بررسی می‌شود و رابطه‌ی

$$C_{mp} = C_{mv} + R$$

پ) فرایند هم دما

راهنمای تدریس: با توصیف و در صورت امکان اجرای یک آزمایش از فرایند هم دما و به روش پرسش و پاسخ فرایند هم دما و ویژگی‌های آن و چگونگی انجام آن را تدریس می‌کنیم.

آزمایش

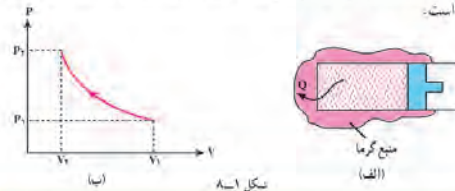
سرنگ ته‌بسته‌ی حاوی مقداری هوا را در عمق یعنی از ظرف آبی قرار دهید و مقدار آب ظرف را آرام آرام زیاد کنید (باید آب اضافه شده با آب اولیه هم دما باشد). به پیستون و سرنگ با دقت توجه کنید و به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- آیا پیستون جابه‌جا می‌شود؟ ۲- آیا کار انجام می‌شود؟
- ۳- تغییرات هریک از کمیت‌های P و V چگونه است؟ ۴- تغییر دمای گاز درون سرنگ به چه صورت است؟ ۵- آیا گرما مبادله می‌شود؟

پاسخ:

۱- پیستون به طرف داخل حرکت می‌کند و گاز متراکم

در نتیجه‌ی تراکم، دمای گاز اندکی بالا می‌رود و اختلاف دمای آن با منبع می‌شود که گاز مقداری گرما از دست بدهد و دمای آن با دمای منبع یکسان شود. با ادامه‌ی تراکم، گاز مقداری گرما از دست می‌دهد و دمای آن در حین تراکم ثابت باقی می‌ماند. نمودار P-V این تراکم در شکل ۸-۱ ب نمایش داده شده است.



پرسش ۱-۳

در فرایند هم‌دما (شکل ۸-۱) علامت Q و W چیست؟

فعالیت ۱-۴

انتهای یک سرنگ را مسدود و آن را وارد مخلوط آب و یخ کنید. پس از مدتی گاز را به آرامی متراکم کنید. آیا می‌توان این فرایند را هم‌دما در نظر گرفت؟

مقال ۱-۶

۲/ مول از یک گاز کامل در دمای 300K در داخل استوانه‌ای به حجم ۵ لیتر قرار دارد. گاز را به‌طور هم‌دما متراکم می‌کنیم. مطلوب است: الف) فشار گاز در حجم‌های ۲، ۱ و ۰٫۵ لیتر؛ ب) رسم نمودار P-V این فرایند. حل: الف) با استفاده از معادله‌ی حالت گاز کامل داریم:

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{2 \times 8.314 \times 300}{5 \times 10^{-3}} = 99960 = 9.996 \times 10^4 \text{ Pa}$$

به همین ترتیب، برای حجم‌های ۲، ۱ و ۰٫۵ لیتر بهترین فشارهای ۱، ۲/۵

وقتی بیستون جلو می‌رود و گاز را متراکم می‌کند یعنی کار روی دستگاه انجام می‌شود ($W > 0$) دمای گاز افزایش می‌یابد. پس به دلیل اختلاف دما بین گاز و منبع گرما، گرما منتقل می‌شود. به این ترتیب می‌توانیم بگوییم انجام کار موجب انتقال گرما شده طوری که دما ثابت مانده است.

پاسخ پرسش ۱-۳: نمودار مربوط به فرایند تراکم هم‌دماست. چون گاز متراکم شده است، $\Delta V < 0$ پس $W > 0$ است و چون دستگاه گرما از دست می‌دهد $Q < 0$ است.

فعالیت ۱-۴

پاسخ: آری زیرا با متراکم کردن گاز ابتدا دمای آن کمی زیاد می‌شود بعد به محیط (آب و یخ) گرما می‌دهد (که صرف ذوب کردن یخ‌ها می‌شود که در این صورت دمای محیط تغییر نمی‌کند). تا دوباره با محیط هم‌دما شود. پس دمای آن تغییر نمی‌کند.

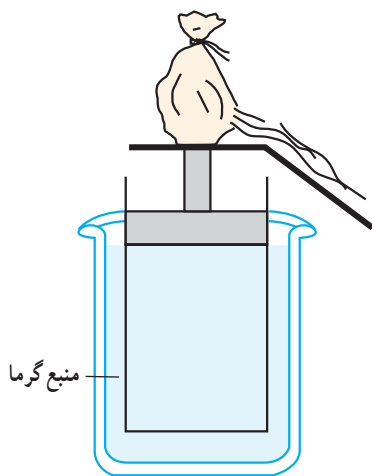
می‌شود. ۲- کار انجام می‌شود ($W > 0$). ۳- چون ارتفاع آب زیاد شده است فشار افزایش می‌یابد و چون گاز متراکم شده است حجم آن کاهش می‌یابد. ۴- وقتی بیستون جلو برود و حجم گاز کم شود با افزایش فشار دما قدری افزایش می‌یابد و به دلیل اختلاف دما بین گاز و آب، گرما به آب داده می‌شود. اما چون مقدار گاز در مقایسه با آب ناچیز است این گرما تغییر قابل ملاحظه‌ای در دمای آب نمی‌دهد پس دمای گاز ثابت می‌ماند. ۵- گاز گرما از دست می‌دهد.

کج فهمی: اغلب دانش‌آموزان به سختی می‌پذیرند که در فرایند هم‌دما، گاز با محیط تبادل گرما می‌کند بدون این‌که دمایش تغییر کند. باید بگوییم که اهمیت فرایند هم‌دما در تبدیل کار و گرما به یکدیگر است. وقتی دستگاه روی محیط کار انجام می‌دهد، به همان اندازه‌ی کار، دستگاه از محیط گرما می‌گیرد. در واقع اگر بپذیریم که برای انتقال گرما وجود اختلاف دما شرط لازم است اما تغییر دما ممکن است در اثر مبادله‌ی گرما صورت گیرد و یا در اثر انجام کار.

فعالیت ۱۶



الف) آزمایشی طراحی کنید که در آن دستگاه مورد نظر مقداری گاز باشد و فرایند انبساط هم‌دما رخ دهد.
ب) علامت‌های Q و W را در این فرایند تعیین کنید.

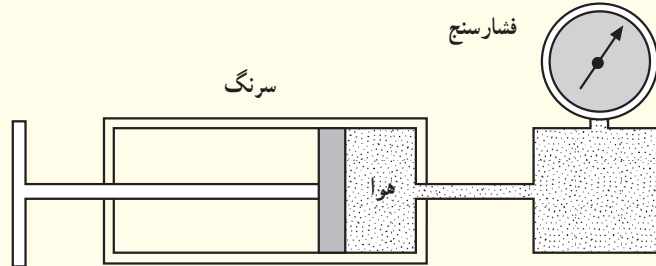


شکل ۲۰

پاسخ: الف) سرنگ سربسته را در مقداری آب و یخ قرار می‌دهیم پس از تعادل به آرامی بیستون را بیرون می‌کشیم. و یا دستگاهی مطابق شکل روبه‌رو تدارک می‌بینیم: استوانه‌ای که بیستون آن آزادانه حرکت می‌کند را طوری قرار می‌دهیم که بیستون بتواند عمودی جابه‌جا شود. کیسه‌ای پر از شن را روی بیستون و استوانه را در تماس با منبع گرمایی با دمای ثابت قرار می‌دهیم. کیسه را سوراخ می‌کنیم تا شن آن به آرامی خارج شود. با کاهش فشار روی بیستون، بیستون به سمت بالا حرکت می‌کند. گاز منبسط و دچار افت دما می‌شود که با گرفتن گرما از منبع دوباره به دمای اولیه می‌رسد.

ب) چون گاز منبسط شده است پس دستگاه روی محیط؛ کار انجام می‌دهد و $W < 0$ است. از طرفی بر اثر انبساط گاز دمای آن کاهش می‌یابد که با گرفتن گرما از محیط دوباره دمای آن به مقدار اولیه می‌رسد. پس چون دستگاه از محیط گرما می‌گیرد $Q > 0$ است.

پرسش: دمای محفظه‌ای پر از هوا که با پیستونی مسدود شده است 17°C و فشار آن یک اتمسفر است.



شکل (۲۱)

مقدار حجم و فشار اندازه‌گیری شده در جدول زیر آمده است.

جدول (۳)

۱	فشار (kpa)	۵۰	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰
۲	حجم (m^3)	۰/۰۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۴۰	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۲۰
۳	عکس حجم (m^{-3})		۲۵۰۰		۳۷۰۴		۸۰۰۰
۴	فشار \times حجم ($\text{kpa} \cdot \text{m}^3$)	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴				۰/۰۲۴

الف) ردیف‌های ۳ و ۴ جدول (۳) را تکمیل کنید.

ب) نمودار فشار بر حسب عکس حجم را رسم کنید.

پ) چه رابطه‌ای بین این دو کمیت وجود دارد؟ به نظر شما این آزمایش کدام فرایند خاص است؟

ت) اگر آزمایش در دمای 27°C انجام شود، انتظار دارید حاصل ضرب حجم دو فشار چگونه تغییر کند؟

ث) حجم هوا در فشار 100 kpa چقدر می‌شود؟

پاسخ: الف) ۲۰۸۳، ۳۱۲۵، ۴۳۴۸

ب) P رابطه‌ی خطی با معکوس V دارد. هم‌دما

پ) 0.00025 m^3

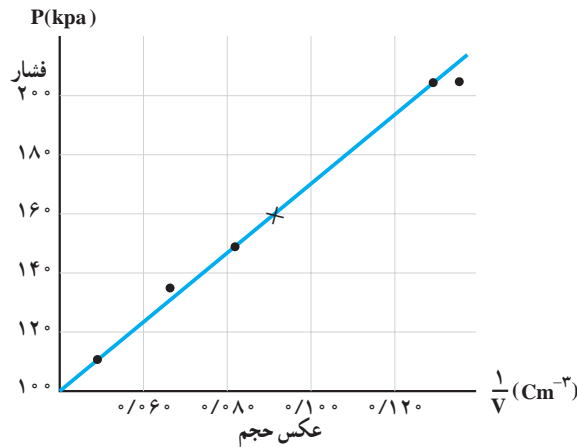
فعالیت ۱۷



هدف : بررسی رابطه‌ی فشار و معکوس حجم در فرایند هم‌دما.

امروزه برای اندازه‌گیری دقیق فشار گاز موجود در یک محفظه و یافتن رابطه‌ی آن با حجم از نرم‌افزارهای رایانه‌ای مخصوص استفاده می‌شود.

با یکی از این نرم‌افزارها فشار گاز موجود در یک سرنگ را برحسب عکس حجم آن بررسی کرده‌اند و نمودار مطابق شکل زیر است.



شکل (۲۲)

– شیب خط در این نمودار چه چیزی را نشان می‌دهد؟ (nRT)
پاسخ:

– از بررسی این نمودار چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ این فرایند چیست؟ (هم‌دما)

– اگر مقدار گاز موجود 0.0007 مول باشد، دمای آن را حساب کنید.

(راهنمایی: با استفاده از یکی از نقطه‌های روی خط می‌توان مشخصات دستگاه ترمودینامیکی را به دست آورد.)

پاسخ:

$$PV = nRT \Rightarrow P = nRT \left(\frac{1}{V} \right)$$

$$160 \times 10^3 = 0.0007 \times 8.314 \times T \times 0.09 \times 10^6$$

$$T = \frac{160 \times 10^3}{0.0007 \times 8.314 \times 0.09 \times 10^6} = \frac{160 \times 10^3}{0.00052 \times 10^6}$$

$$T = 307692 / 3 \times 10^{-3} = 307 / 0.0000 K$$

توجه: در فرایند هم‌دما، نمودار فشار برحسب عکس حجم، خط راستی است که شیب آن به دمای گاز و تعداد مول‌های آن بستگی دارد. این نتیجه را که مستقل از نوع گاز است قانون بویل – ماریوت می‌نامند. همانطور که قبلاً در مبحث گرما و دما مطالعه کرده بودید، معادله‌ی حالت در قانون بویل – ماریوت یا فرایند هم‌دما چنین خواهد بود.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

آزمایش

– دستگاهی مطابق شکل (۲۳) طراحی و تهیه کنید (این

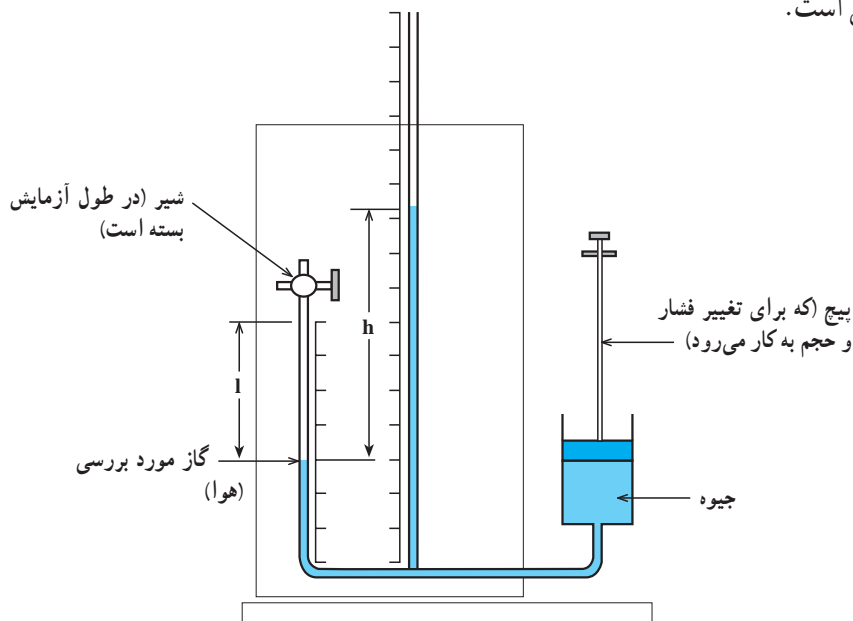
وسیله در بعضی از آزمایشگاه‌های مدارس موجود و به نام دستگاه بویل – ماریوت معروف است). لازم است در این دستگاه جابه‌جایی پیستون به آهستگی صورت گیرد.

هدف: انجام دادن و طراحی یک فرایند هم‌دما، رسم

نمودار فرایند هم‌دما

توجه: در انجام این آزمایش از متصدی آزمایشگاه کمک

بگیرید زیرا جیوه سمی است.



شکل (۲۳)

– با استفاده از داده‌های جدول (۴) نمودار $P-V$ فرایند

را رسم کنید (می‌توان از نرم‌افزار Excel استفاده کرد).

– با استفاده از داده‌های آزمایش نمودار P برحسب معکوس

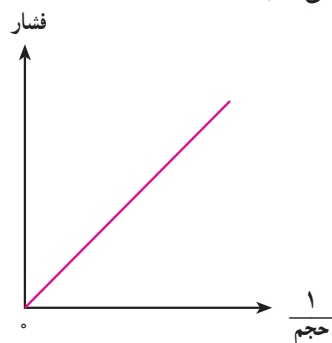
V را رسم کنید (می‌توان از نرم‌افزار Excel استفاده کرد).

– نمودار P برحسب عکس V در حالت ایده‌آل چگونه

است؟ شیب آن معرف کدام کمیت است؟

پاسخ: شیب نمودار معرف nRT است، و می‌دانیم که

نمودار از مبدأ می‌گذرد.



شکل (۲۵)

– با توجه به شکل (۲۳) اگر منظور از دستگاه، گاز

محبوس در لوله‌ی این وسیله باشد آن‌گاه حجم آن متناسب با

ارتفاع گاز در لوله و فشار پیمانه‌ای آن نیز متناسب با اختلاف

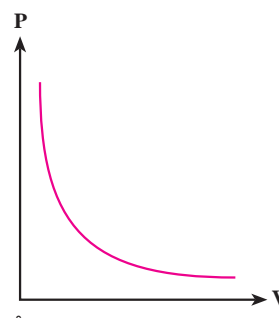
ارتفاع جیوه در دو لوله است.

– مقادیر حجم گاز (مقدار l از روی خط‌کش) و فشار

گاز (مرتبط با h از روی خط‌کش) را به تدریج، طی گرم‌شدن در

فاصله‌های زمانی معین در جدول (۴) یادداشت کنید.

P				
V				



شکل (۲۴)

— دو نمودار به دست آمده را با نمودار ایده آل مقایسه کنید.
 — آیا آزمایشی که انجام داده اید یک فرایند هم دماست؟
 با پیشنهادهایی در مورد روش انجام آزمایش، بهترین شرایط
 برای انجام یک فرایند هم دما را فراهم کنید.

راهنمایی: پیشنهادها می توانند به شکل طولانی کردن
 زمان انجام آزمایش، اندازه گیری برای تعداد نقاط بیشتر
 (حالت های بیشتر دستگاه) و باشد.

تمرین ۳-۱

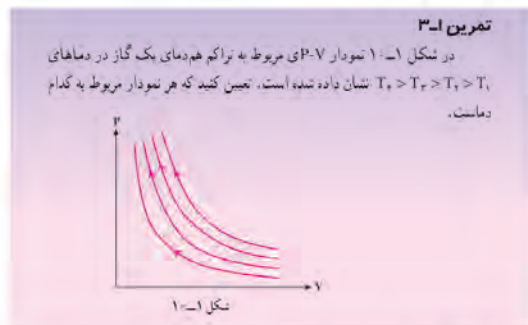
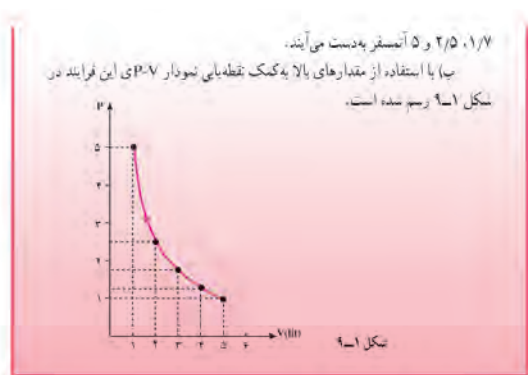
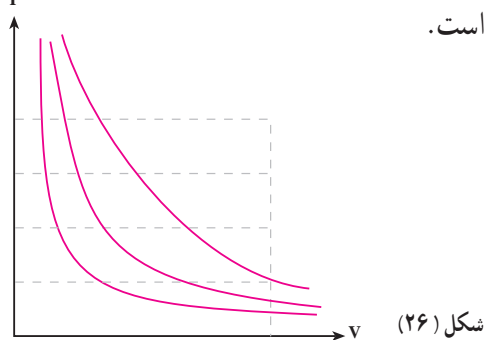
پاسخ: با توجه به معادله حالت گاز کامل می توانیم

بنویسیم:

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

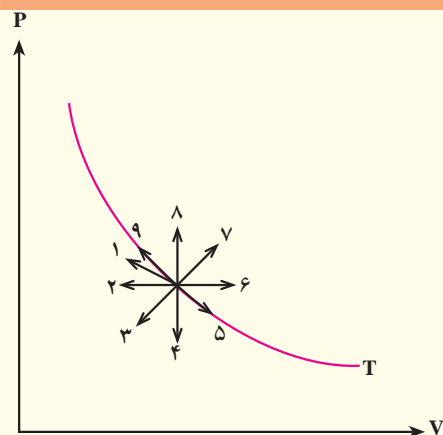
ثابت

به ازای مقدار ثابت از حجم می بینیم که هرچه فشار بیشتر باشد،
 دما هم بیشتر می شود. پس خطی عمودی و به موازات محور P
 رسم می کنیم تا همه ی خط ها را در یک حجم معین قطع کند و
 در آن حجم معین فشار گاز را برای نمودارهای داده شده بررسی
 می کنیم. هر نموداری که فشار آن بیشتر باشد مربوط به دمای
 بالاتر است.



ت= فرایند بی دررو؛ در این فرایند بین دستگاه و محیط گرما مبادله نمی شود. برای انجام دادن
 این فرایند، باید دستگاه را مطابق شکل ۱۰-۱ الف عایق بندی کنیم و سپس عمل تراکم یا انبساط را بسیار
 آهسته انجام دهیم. نمودار P-V ی انبساط بی درروی گاز در شکل ۱۰-۱ ب نشان داده شده است.

البته می توانیم نمودارها را به ازای مقدار ثابت از فشار
 بررسی کنیم چون در فشار یکسان هرچه دمای گاز بیشتر باشد
 حتماً حجم آن نیز بیشتر است. از این تمرین نتیجه می شود که
 نمودارهای هم دما برای ما حکم دماسنج را پیدا می کند و از طرح
 آنها برای مقایسه ی دما در هر نمودار دیگر می توان استفاده
 کرد.

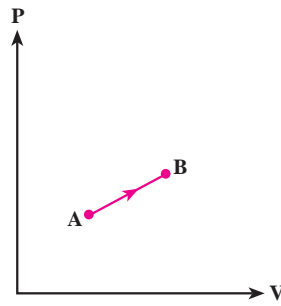


پرسش: شکل (۲۷) حالت اولیه ی گازی کامل و منحنی هم
 دمای عبوری از آن حالت را نشان می دهد.
 الف) کدام یک از مسیرهای نشان داده شده به کاهش دمای گاز
 می انجامد؟

ب) در کدام مسیرها تغییر دما صفر است؟
 پاسخ: الف) مسیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ و ب) ۵ و ۹

شکل (۲۷)

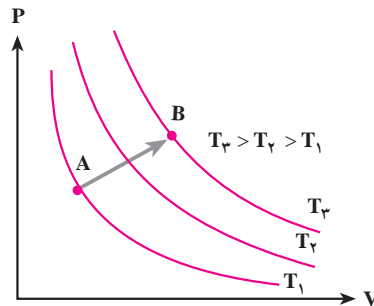
مثال پیشنهادی: نمودار P-V ی شکل زیر مربوط به یک فرایندی نامشخص است. دمای گاز را در حالت A و B به صورت کیفی با هم مقایسه کنید:



شکل (۲۸)

پاسخ:

می‌توانیم از طرح‌واره‌ی نمودارهای هم‌دما استفاده کنیم و نتیجه بگیریم که دمای گاز در حالت B از A بیشتر است.



شکل (۲۹)

صفر باشد؟

۴- به نظر شما چگونه ممکن است گاز در طول فرایند گرما مبادله نکند؟

در همه‌ی فرایندهای خاصی که تا این جا یاد گرفته‌ایم دستگاه با منبع گرما در ارتباط بوده است و در همه‌ی آن‌ها تبادل گرما وجود دارد. حال اگر دستگاه را عایق‌بندی گرمایی کنیم دستگاه دیگر نمی‌تواند گرما مبادله کند.

۵- به نظر شما برای دستگاهی که مبادله‌ی گرما ندارد چگونه می‌توان تغییر حالت ایجاد کرد؟ (با انجام کار)

پس برای انجام این فرایند باید پیستون را به آرامی حرکت دهیم و به این ترتیب با متراکم یا منبسط شدن گاز، فشار و در نتیجه دمای آن تغییر می‌کند.

ت) فرایند بی‌دررو

راه‌نمای تدریس: به روش پرسش و پاسخ و با طرح تفاوت اساسی در اجرای فرایندهای بی‌دررو با بقیه‌ی فرایندهای خاص یعنی استفاده نکردن از منبع گرما در مورد چگونگی انجام این فرایند و تغییر هر یک از متغیرهای ترمودینامیکی در آن توضیح می‌دهیم.

از دانش‌آموزان می‌پرسیم که در بین فرایندهای خاصی که یاد گرفته‌اند:

۱- در کدام فرایند کار انجام شده صفر است؟

(فرایند هم‌حجم)

۲- در کدام فرایند تغییر دما صفر است؟

(فرایند هم‌دما)

۳- آیا فرایندی می‌شناسید که در آن گرمای معادله شده

پرسش ۴-۱

پاسخ: در فعالیت ۴-۱ دستگاه با منبع گرما در تماس است و اگر بخواهیم بین آن‌ها تبادل گرما صورت نگیرد فقط باید فرایند را به سرعت انجام دهیم تا مجالی برای تبادل گرما نباشد. یعنی روش دیگر برای ایجاد فرایند بی‌دررو و جلوگیری از تبادل گرمایی افزایش سرعت انجام فرایند است که در بیشتر وسیله‌ها و ماشین‌ها، فرایند بی‌دررو به این روش صورت می‌گیرد و یا این‌که سرنگ را به‌طور کامل عایق‌بندی کنیم تا بین مخلوط آب و یخ و هوای درون سرنگ تبادل گرمایی صورت نگیرد.

در مثال ۷-۱ تغییرات فشار در دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو مقایسه می‌شود. روش دیگری برای این مقایسه:

با استفاده از معادله حالت گاز کامل برای فرایندها می‌توان

نوشت:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right) P_1$$

$$\text{فرایند بی‌دررو: } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow P_2' = \left(\frac{V_1}{V_2}\right) \left(\frac{T_2}{T_1}\right) P_1$$

یعنی به ازای تغییر حجم یکسان در دو فرایند، کاهش

فشار در فرایند بی‌دررو بیش از تک دماست.

$$\text{(ب) در تراکم بی‌دررو } P_2' > P_2 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} > 1$$

یعنی به ازای تغییر حجم یکسان در دو فرایند، افزایش فشار در

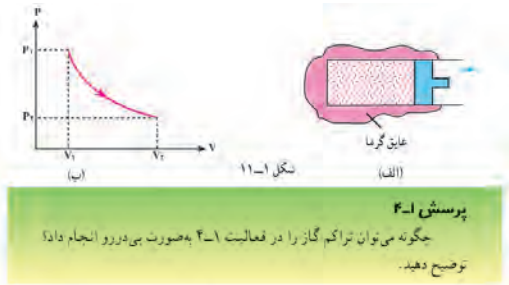
تراکم بی‌دررو بیش از تراکم هم‌دماست.

(P_2) فشار ثانویه در فرایند هم‌دما و (P_2') فشار ثانویه در

فرایند بی‌دررو است.)

(الف) در انبساط بی‌دررو

$$T_2 < T_1 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} < 1 \rightarrow P_2' < P_2$$



هنگامی که یک گاز را به‌سرعت متراکم (یا منبسط) می‌کنیم، گاز فرصت تبادل گرما را با محیط پیدا نمی‌کند. در این صورت نیز می‌توان گفت که فرایند به‌صورت بی‌دررو انجام شده است.

مثال ۷-۱

گازی را در حجم V_1 و فشار P_1 در نظر بگیرید. آن را یک بار به‌صورت هم‌دما و یک بار به‌صورت بی‌دررو منبسط می‌کنیم. نمودارهای مربوط در شکل ۱۲-۱ رسم شده‌اند. (الف) کدام یک از نمودارها به فرایند بی‌دررو و کدام یک به فرایند هم‌دما مربوط است؟ (ب) در کدام فرایند $|W|$ بیش‌تر است؟

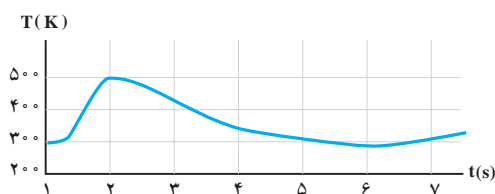
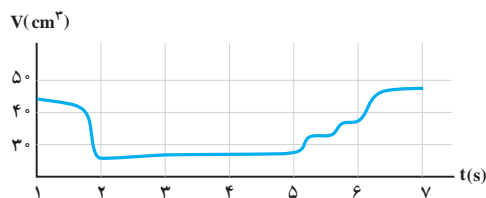
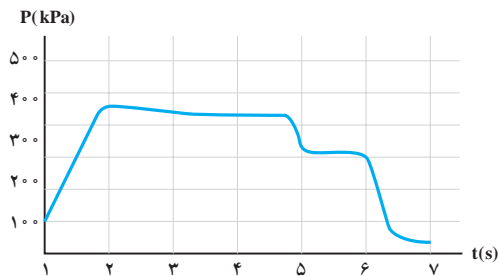
شکل ۱۲-۱ (الف) در انبساط هم‌دما فشار گاز کاهش می‌یابد (جرای) ولی چون گاز در این فرایند با یک منبع گرما در تماس است، مقداری گرما از منبع گرما می‌گیرد و در نتیجه کاهش فشار در آن در مقایسه با فرایند بی‌دررو، که در طی آن گاز گرما نمی‌گیرد، کم‌تر است. بنابراین، نمودار هم‌دما در بالای نمودار بی‌دررو قرار می‌گیرد. (ب) چون سطح زیر نمودار مربوط به انبساط هم‌دما بیش‌تر است، $|W|$ برای این فرایند مقدار بیش‌تری دارد.

فعالیت ۱۸

هدف: مشاهده و بررسی نمودار تغییرات فشار، حجم، دما برحسب زمان در فرایند بی‌دررو

– سرنگی به دستگاه حساس رایانه‌ای (نرم‌افزارهای فیزیکی) وصل است. با حرکت سریع پیستون، حجم گاز

محبوس در سرنگ را کم می‌کنیم.



شکل (۳۰)

– بر روی صفحه نمایش رایانه نمودارهای فشار، حجم، دما برحسب زمان مطابق شکل (۳۰) ظاهر می‌شود.
– به تغییرات این کمیت‌ها نسبت به زمان توجه و آن را تحلیل کنید.

– از مقایسه‌ی نمودار فشار و حجم برحسب زمان چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

– از مقایسه‌ی نمودار فشار و دما برحسب زمان چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

– با استفاده از مقادیر فشار، حجم، دما در شروع این فرایند تعداد مول‌های گاز محبوس در سرنگ را حساب کنید.

– پس از گذشت ۲ ثانیه برای تعداد مول‌های محاسبه شده و قراردادن مقدار فشار و دما در معادله‌ی حالت مقدار

حجم را حساب کرده و با مقدار حجم در نمودار تجربی داده شده مقایسه کنید.

پاسخ: با فشار دادن دسته‌ی سرنگ،

در بازه‌ی زمانی ۱ تا ۲ ثانیه حجم به سرعت کاهش و فشار و دما افزایش می‌یابد. بین لحظه‌ی $t_1=2s$ تا نزدیک $t_2=4s$ کمیت‌های حجم و فشار تقریباً ثابت می‌مانند ولی دمای گاز فرو می‌افتد. به نظر می‌رسد که از لحظه‌ی $t_2=4s$ تا $t_3=6s$ دسته‌ی سرنگ را رها کرده‌اند زیرا با افزایش حجم و کاهش فشار و دما مواجه‌ایم. به گونه‌ای که بین لحظه‌های ۵ تا ۶ ثانیه هر سه کمیت به تعادل نسبی می‌رسند و عدد ثابتی را نشان می‌دهند.

از این رو فرایند در بازه‌ی زمانی ۱ تا ۲ ثانیه بیشترین شباهت را با فرایند بی‌دررو دارد.

$$P_1 = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

در شروع فرایند:

$$V_1 = 42 \text{ cm}^3 = 42 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$n = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{10^5 \times 42 \times 10^{-6}}{8.314 \times 300}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$n = \frac{4/2}{2494/2} = 0.00168 \quad \text{مول}$$

$$V_2 = \frac{nRT_2}{P_2}$$

در ثانیه‌ی ۲: با استفاده از معادله‌ی حالت داریم:

$$V_2 = \frac{0.00168 \times 8.314 \times 340}{320 \times 10^3} = \frac{0.419}{320000} = 1/3 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

از روی نمودار تجربی مقدار V_2 را 10×10^{-6} داریم. حدود 10^{-5} مترمکعب است.

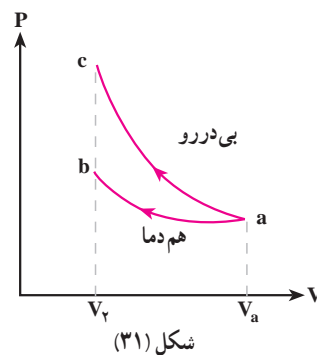
تمرین ۴-۱

پاسخ: می‌دانیم که برای فرایند بی‌دررو تغییرات فشار بیشتر

از هم‌دماست. به عنوان مثال اگر در فرایند هم‌دم حجم $\frac{1}{4}$ شود، فشار ۴ برابر می‌شود اما در فرایند بی‌دررو هرگاه حجم $\frac{1}{4}$ شود فشار بیش از ۴ برابر خواهد شد. نقطه‌ی a (حالت گاز در وضعیت a) را در نمودار طوری انتخاب می‌کنیم که حالت‌های بعدی بتوانند حجم کمتر داشته باشند.

از نقطه‌ی V_2 روی محور حجم ($V_2 < V_a$) خط عمودی با نقطه‌چین رسم می‌کنیم و روی آن نقطه‌های b و c را طوری انتخاب می‌کنیم تا فشار برای یکی از آن‌ها بیشتر از دیگری و فشار هر دو از حالت a بیشتر باشد.

بین حالت‌های a تا b و a تا c منحنی‌های بی‌دررو و هم‌دم را رسم می‌کنیم. و برای تراکم گاز منحنی بی‌دررو بالاتر از منحنی هم‌دماست.

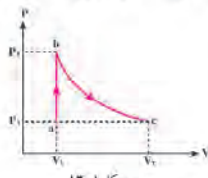


شکل (۳۱)

تمرین ۴-۱

نمودارهای P-V ی مربوط به تراکم هم‌دم و تراکم بی‌دررو یک گاز کامل را از فشار و حجم اولیه P_1 و V_1 رسم کنید.

دستگاه‌ها می‌توانند فرایندی را طی کنند که از مجموع چند فرایند تشکیل شده باشد. برای مثال، فرایندی را که در شکل ۱۳-۱ می‌بینید، از دو فرایند هم‌دم و بی‌دررو تشکیل شده است. طی این فرایند، دستگاه از طریق یک فرایند هم‌دم از حالت a (با حجم V_1 و فشار P_1) به حالت b (با حجم V_2 و فشار P_2) می‌رود. سپس از طریق یک انبساط بی‌دررو به حالت c (با حجم V_2 و فشار P_1) می‌رسد.



شکل ۱۳-۱

در این مثال، گاز را مثلاً می‌توان از طریق یک فرایند هم‌دم به حالت اولیه (نقطه‌ی a) برگرداند. فرایندی که در طول آن دستگاه پس از طی چند فرایند به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد، چرخه نامیده می‌شود.

تمرین ۵-۱

الف) در چرخه‌ی شکل ۱۴-۱ توضیح دهید که در هر مرحله، چه فرایندی انجام می‌شود. ب) تعیین کنید که کار انجام شده در چرخه مثبت است یا منفی؟ ب) نشان دهید که کار کل برابر با مساحت داخل چرخه است.



شکل ۱۴-۱

۸۸

پرسش (تعمیم تمرین ۴-۱): در نموداری که رسم کرده‌اید دمای گاز را در حالت‌های b و c با هم مقایسه کنید. پاسخ: در فرایند هم‌دم وقتی دستگاه با انجام دادن کار از وضعیت تعادل خارج می‌شود و دما و فشارش زیاد می‌شود و با تبادل گرما دوباره به دمای اولیه می‌رسد و کمی هم افت فشار پیدا می‌کند، در حالی که در فرایند بی‌دررو که تبادل گرما وجود ندارد پس از افزایش دما و فشار هیچ‌یک از این دو کمیت تغییر نمی‌کنند، پس $T_c > T_b$ و $P_c > P_b$ است.