

حجم‌های کنترل و آحاد

یکی از تعاریف عالی ترمودینامیک این است که ترمودینامیک علم انرژی و انتروپی می‌باشد. با این وجود چون هنوز این عبارات را تعریف نکرده‌ایم، تعریف دیگری با استفاده از عباراتی که قبلاً با آن آشنا شده‌اید، ارائه می‌دهیم: ترمودینامیک علمی است که با حرارت و کار و آن گروه از خواص ماده که مرتبط با کار و حرارت هستند، سروکار دارد. همانند تمام علوم، بنیان ترمودینامیک مشاهدات تجربی است. در ترمودینامیک این یافته‌ها در غالب قوانین بنیادی به صورت رابطه درآمده‌اند که موسوم به قوانین اول، دوم و سوم ترمودینامیک می‌باشند. علاوه بر اینها قانون صفرم ترمودینامیک نیز وجود دارد که در تکامل منطقی ترمودینامیک قبل از قانون اول می‌آید.

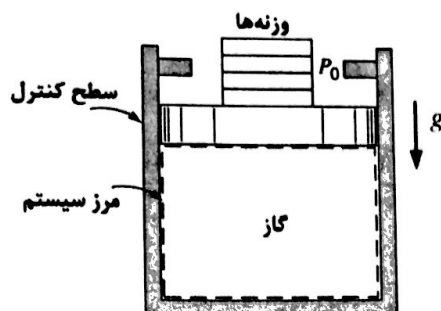
در فصل‌های بعدی این قوانین و خواص ترمودینامیکی مرتبط با آنها را شرح می‌دهیم و سپس از آنها در چندین مثال استفاده خواهیم کرد. دانشجویان باید تلاش کنند تصویری کلی از اصول و مبانی به دست آورده و بتوانند این مبانی را در مسائل ترمودینامیکی به کار گیرند. هدف از مثال‌ها و مسائل نیز کمک در رسیدن به این دو مقصود است. باید تاکید کنیم که لزومی ندارد دانشجویان معادلات متعدد را حفظ کنند زیرا مسائل را می‌توان به بهترین وجه با به کارگیری تعاریف و قوانین ترمودینامیک حل کرد. در این فصل برخی از مفاهیم و تعاریف بنیادی ترمودینامیک ارائه می‌شود.

۲-۱ سیستم ترمودینامیکی و حجم کنترل

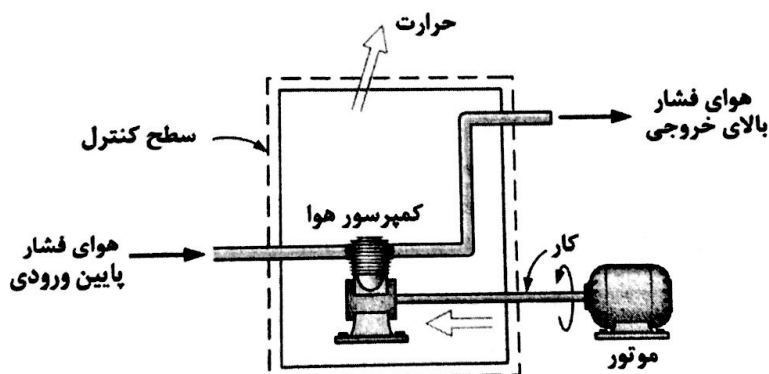
یک سیستم ترمودینامیکی وسیله یا ترکیبی از وسایل است که شامل مقداری از ماده‌ی مورد بررسی است. برای تعریف دقیق یک حجم کنترل انتخاب می‌شود و بنابراین ماده و وسیله انتخاب شده در یک سطح کنترل قرار می‌گیرند. هر چیز خارج از این حجم کنترل را محیط می‌نامیم که توسط سطح کنترل جدا شده است. سطح کنترل ممکن است از نظر جریان جرم باز یا بسته باشد و ممکن است جریان انرژی به صورت انتقال حرارت یا کار نیز داشته باشد. مرزها ممکن است متحرک یا ثابت باشند. در مورد یک سطح کنترل که جریان جرم به آن بسته است یعنی جرم نمی‌تواند وارد آن شده یا از آن خارج گردد، از عبارات جرم کنترل استفاده می‌شود که حاوی همان مقدار ماده در تمام زمان‌ها است.

با قراردادن یک سطح کنترل در اطراف گاز درون سیلندر شکل (۲-۱) به یک حجم کنترل دست خواهیم یافت. این گاز را به عنوان جرم کنترل می‌شناسیم. اگر یک چراغ گازی را زیر سیلندر قرار دهیم، درجه حرارت گاز افزایش یافته و پیستون بالا می‌رود. وقتی پیستون بالا می‌رود، مرز جرم کنترل حرکت می‌کند. بعدها خواهیم دید که کار و حرارت از مرزهای

سیستم در طی این فرآیند می‌گذرند ولی ماده‌ی درون سیستم می‌تواند همواره مقداری معین باقی بماند. یک سیستم عایق شده سیستمی است که به هیچ طریقی تحت تأثیر محیط قرار نمی‌گیرد. این بدان معنی است که کار و حرارت از مرزهای سیستم عبور نمی‌کنند. در بسیاری از حالات نیاز است یک تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی از دستگاه‌هایی نظیر کمپرسور هوا که متضمن جریانی از جرم به داخل و خارج از آن است، انجام شود. چنین سیستمی در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود. روشی که در این گونه تحلیل‌ها به کار می‌رود عبارت است از مشخص کردن حجم کنترلی که محاط بر دستگاه مورد بررسی است. سطح این حجم کنترل را سطح کنترل می‌نامیم و اندازه حرکت نیز همانند حرارت و کار می‌تواند از آن عبور کند.



شکل ۲-۱ مثالی از یک جرم کنترل.



شکل ۲-۲ مثالی از یک حجم کنترل.

بنابراین سیستم زمانی مطرح می‌شود که با مقداری معین از ماده سروکار داشته باشیم و حجم کنترل هنگامی مطرح خواهد بود که تجزیه و تحلیل مورد نظر، متضمن جریان جرم نیز باشد. تفاوت این دو مفهوم را در فصل ۶ به‌طور مشروح بررسی خواهیم کرد.

عبارت سیستم بسته (جرم ثابت)، و سیستم باز (شامل جریان جرم) گاهی برای تمایز این دو به کار برده می‌شود. در اینجا از عبارت سیستم به‌صورت کلی‌تر استفاده می‌کنیم و از تشریح کردن یک جرم، وسیله یا ترکیبی از وسایل صرف نظر می‌کنیم. این مفاهیم در هنگام انتخاب یک حجم کنترل به‌صورت دقیق‌تر تعریف خواهد شد. روشی که در ارائه قوانین اول و دوم ترمودینامیک دنبال می‌شود این است که ابتدا این قوانین برای جرم کنترل ارائه شده و سپس به تحلیل حجم کنترل عمومی‌تر گسترش می‌یابد.

۲-۲ دیدگاه‌های ماکروسکوپیکی در مقابل دیدگاه‌های میکروسکوپیکی

بررسی رفتار یک سیستم را می‌توان از دیدگاه میکروسکوپیکی یا ماکروسکوپیکی انجام داد. اجازه دهید به‌طور ساده مسئله‌ای

که در صورت تشریح یک سیستم از دیدگاه میکروسکوپی، با آن مواجه خواهیم شد را مورد توجه قرار دهیم. سیستمی را در نظر بگیرید که متشکل است از مکعبی با اضلاع 25 mm که حاوی گاز تک‌اتمی در درجه حرارت و فشار اتمسفر می‌باشد. این حجم تقریباً 10^{20} اتم دارد. برای تشریح موقعیت هر اتم، سه مختصه باید مشخص شود و برای بیان سرعت هر اتم نیز باید سه مولفه‌ی سرعت را بدانیم.

بنابراین برای تشریح کامل رفتار این سیستم از دیدگاه میکروسکوپی لزوماً با حداقل 6×10^{20} معادله سروکار خواهیم داشت. حتی با یک کامپیوتر بزرگ نیز، انجام چنین محاسباتی کاملاً خستگی‌آور و نومیدکننده است. با این وجود دو روش برای کاهش تعداد معادلات و متغیرها تا حد پذیرفتنی وجود دارد که به کمک آنها می‌توان محاسبات را با سادگی نسبی بیشتر انجام داد. یکی از این راه‌ها، روش آماری است که در آن براساس نظریه‌های آمار و احتمال، مقادیر متوسط را برای همه‌ی ذرات سیستم در نظر می‌گیریم. این روش معمولاً در ارتباط با مدلی از اتم تحت مطالعه انجام می‌شود و آن را نظریه‌ی جنبشی و مکانیک آماری می‌نامند.

راه حل دوم برای کاهش تعداد متغیرها، دیدگاه‌های ماکروسکوپیک ترمودینامیک کلاسیک می‌باشد. همانگونه که از کلمه ماکروسکوپیک استنباط می‌شود، اثرات کلی یا متوسط تعدادی مولکول را مورد توجه قرار می‌دهیم. این اثرات را می‌توان با حواس خود درک کرد و با ابزار سنجش اندازه گرفت. با این عمل درواقع ما متوسط زمانی اثرات بسیاری از مولکول‌ها را درک می‌کنیم و اندازه می‌گیریم. برای مثال، فشار یک گاز را بر جداره‌های ظرف در نظر بگیرید. این فشار حاصل تغییر اندازه‌ی حرکت مولکول‌ها در نتیجه‌ی برخورد آنها با جداره است. از دیدگاه ماکروسکوپیک، ما کاری با عمل هر یک از مولکول‌ها به‌طور منفرد نداریم ولی متوسط زمانی نیروی وارد بر یک سطح مشخص را در نظر می‌گیریم که می‌توان آن را با فشار سنج اندازه گرفت. درواقع این مشاهدات ماکروسکوپیک کاملاً مستقل از فرضیات ما در مورد ماهیت مواد است.

اگرچه نظریات و بسط آنها در این کتاب از دیدگاه ماکروسکوپیک ارائه می‌شود، ولی تعداد محدودی از نکات مکمل با توجه به اثرات دیدگاه‌های میکروسکوپیک برای کمک به درک فرآیندهای فیزیکی مطرح در مباحث نیز بررسی خواهد شد. در کتاب دیگری از این مجموعه یعنی کتاب مقدمه‌ای بر اصول ترمودینامیک آماری و کلاسیک تالیف گ. ج. ون وایلن و آر. ئی. زونتاک مباحث ترمودینامیک از دیدگاه میکروسکوپی و آماری مطرح می‌شوند.

باید به نکاتی در مورد پیوستگی توجه داشت. از دیدگاه ماکروسکوپیک ما همواره با حجم‌هایی سروکار داریم که در مقایسه با ابعاد مولکولی بسیار بزرگ هستند و لذا سیستم دارای تعداد بسیار زیادی مولکول می‌باشد. از آنجا که رفتار مولکول‌های منفرد مورد توجه قرار نمی‌گیرد، می‌توانیم آن ماده را بدون توجه به عملکرد تک‌تک مولکول‌ها، پیوسته در نظر بگیریم. مفهوم پیوستگی تنها یک فرض است که در صورت افزایش طول مسیر پویش آزاد مولکول‌ها تا حد ابعاد ظرف، اعتبار خود را ازدست می‌دهد. برای مثال، چنین حالتی در تکنولوژی خلأ بالا مطرح می‌شود. در اغلب کارهای مهندسی فرض پیوستگی پذیرفتنی و رایج است و با دیدگاه‌های ماکروسکوپی مطابقت دارد.

۲-۳ خواص و حالت یک ماده

اگر جرم معینی از آب را در نظر بگیریم، خواهیم دید که این آب می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد. اگر آب در ابتدا مایع باشد، با گرم کردن بخار و با سرد کردن جامد می‌شود. بنابراین از فازهای مختلف یک ماده سخن می‌گوییم. یک فاز به‌عنوان کمیتی از ماده مطرح می‌شود که تماماً همگن باشد. زمانی که بیش از یک فاز وجود دارد، فازها توسط مرزهای فازی از هم جدا می‌شوند و در هر فاز، ماده‌ی مورد نظر در فشارها و درجه حرارت‌های مختلفی وجود دارد که بنابر اصطلاحات

ترمودینامیکی آنها را حالات مختلف می‌نامیم. حالت را می‌توان با کمک برخی خواص ماکروسکوپیک و قابل مشاهده‌ی خاص تعریف یا تشریح کرد. برخی از این خواص آشنا عبارتند از فشار، درجه حرارت و چگالی. در فصل‌های بعدی دیگر خواص تعریف خواهند شد. هر یک از این خواص یک ماده در یک حالت مشخص تنها دارای یک مقدار معین است و این خواص برای حالات یکسان، همواره یکسان خواهند بود و بستگی به این موضوع که ماده چگونه به آن حالت رسیده است، ندارد. در حقیقت یک خاصیت را می‌توان به‌عنوان کمیتی تعریف کرد که بستگی به حالت سیستم دارد و مستقل از مسیر (به عبارت دیگر سابقه‌ی تاریخی) رسیدن سیستم به آن حالت معین می‌باشد. برعکس، حالت را می‌توان با خواص معین، تشریح کرد و در آینده تعداد خواص مستقلی را که ماده می‌تواند داشته باشد مورد توجه قرار می‌دهیم. این خواص مستقل، در واقع حداقل تعداد خواصی است که باید مشخص شوند تا حالت ماده تثبیت شود.

خواص ترمودینامیکی را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: خواص شدتی و خواص مقداری. خاصیت شدتی مستقل از مقدار جرم است ولی مقدار خاصیت مقداری مستقیماً با تغییر جرم، تغییر می‌کند. لذا اگر مقدار معینی از ماده در یک حالت مشخص به دو قسمت مساوی تقسیم شود، هر قسمت آن همان مقادیر خواص شدتی را دارا است که در ابتدا داشته است ولی خواص مقداری آن نصف خواهد شد. فشار، درجه حرارت و چگالی مثال‌هایی از خواص شدتی هستند و جرم و حجم کل از جمله خواص مقداری می‌باشد. خواص مقداری در واحد جرم (نظیر حجم مخصوص) از خواص شدتی هستند.

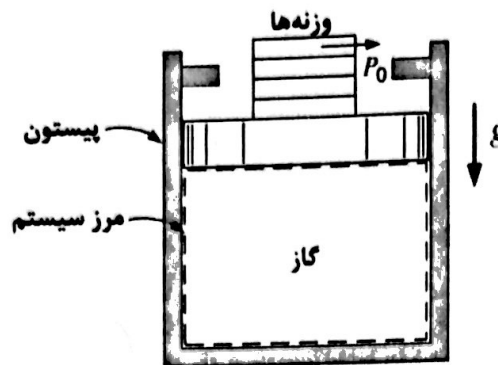
اغلب ما نه تنها خواص یک ماده بلکه خواص سیستم را مطرح می‌کنیم. در این صورت این مطلب مورد نظر است که مقدار آن خواص برای کل سیستم مطرح می‌شود و این بدان معنی است که سیستم در حال تعادل است. برای مثال اگر گازی که آن را در شکل (۲-۱) در نظر گرفتیم در تعادل حرارتی باشد، درجه حرارت در کل سیستم یکسان است و ما از درجه حرارت به‌عنوان یک خاصیت سیستم یاد می‌کنیم. در رابطه با فشار نیز می‌توان تعادل مکانیکی را مطرح کرد. اگر سیستمی در تعادل مکانیکی باشد مادامی که سیستم از محیط کاملاً جدا و عایق شده باشد، در هیچ نقطه‌ای تمایلی به تغییر فشار در طول زمان وجود نخواهد داشت. گرچه در تحت شرایط تعادلی تمایلی به تغییر فشار در هیچ موقعیتی مشاهده نمی‌شود ولی با تغییر ارتفاع، تغییر فشار نیز وجود دارد که ناشی از نیروهای ثقلی است. با این وجود در بسیاری از مسائل ترمودینامیکی تغییرات فشار به دلیل تغییر ارتفاع آنقدر ناچیز است که می‌توان از آن صرف نظر کرد. تعادل شیمیایی نیز اهمیت دارد و در فصل ۱۶ بررسی خواهد شد. وقتی سیستمی با توجه به تمامی تغییرات حالت‌های ممکن در وضعیت تعادل باشد، آن سیستم را در حال تعادل ترمودینامیکی می‌نامیم.

۲-۴ فرآیندها و سیکل‌ها

وقتی یک یا چند خاصیت سیستمی تغییر کند، تغییر حالت رخ داده است. برای مثال وقتی که یکی از وزنه‌های روی پیستون در شکل (۲-۳) برداشته شود، پیستون بالا می‌رود و به دلیل کاهش فشار و افزایش حجم مخصوص، تغییر حالت پدید می‌آید. مسیری از حالات متوالی و پی در پی را که سیستم از آن می‌گذرد یک فرآیند می‌نامیم.

حال بیایید تعادل سیستمی را بررسی کنیم که یک تغییر حالت را طی می‌کند. در لحظه‌ای که وزنه از روی پیستون شکل (۲-۳) برداشته می‌شود، تعادل مکانیکی وجود ندارد و در نتیجه پیستون بالا می‌رود تا مجدداً تعادل مکانیکی برقرار شود. سؤالی که مطرح می‌شود این است: با توجه به اینکه فقط در حالت تعادل است که خواص سیستم حالت آن را مشخص می‌کنند، چگونه می‌توان حالت یک سیستم را در طی یک فرآیند تعریف کرد؟ زیرا فرآیند واقعی وقتی صورت می‌گیرد که تعادلی وجود نداشته باشد. یک قدم در جهت پاسخگویی به این سؤال، توجه به تعریف فرآیند ایدآل است که ما آن را شبه تعادلی می‌نامیم. یک فرآیند شبه تعادلی فرآیندی است که انحراف از حالت تعادل ترمودینامیکی در آن بسیار کوچک

(بینهایت کوچک) است و همه‌ی حالاتی را که یک سیستم در طی یک فرآیند شبه تعادلی پشت سر می‌گذارد می‌توان حالات تعادلی به‌شمار آورد. اکثر فرآیندهای واقعی بسیار نزدیک به فرآیند شبه تعادلی هستند و می‌توان با خطای اندکی آنها را چنین فرآیندی تصور کرد. اگر وزنه‌های شکل (۲-۳) کوچک باشند و یکی یکی برداشته شوند، فرآیند را می‌توان شبه تعادلی دانست. از طرف دیگر اگر همین وزنه‌ها را یکباره از روی پیستون برداریم، پیستون به سرعت بالا می‌رود و سیستم در هیچ زمانی در طی این تغییر حالت، تعادل نخواهد داشت.



شکل ۲-۳ مثالی از یک سیستم که فرآیند شبه تعادلی را طی می‌کند.

برای فرآیندهای غیرتعادلی، ما به تشریح سیستم قبل و بعد از آنکه فرآیند کامل گردد و تعادل مجدداً برقرار شود، اکتفا می‌کنیم. به این ترتیب نه قادریم هر یک از حالاتی را که سیستم از آن عبور می‌کند مشخص کنیم و نه می‌توانیم سرعت انجام فرآیند را معین کنیم. با این حال همانگونه که در آینده خواهیم دید، می‌توانیم اثرات کلی معینی را تشریح کنیم که در طی انجام فرآیند، صورت می‌گیرد.

بسیاری از فرآیندها با توجه به این واقعیت تشریح می‌شوند که یک خاصیت در طی فرآیند ثابت باقی می‌ماند. پیشوند «هم» (iso-) برای تشریح این روند به کار برده می‌شود. فرآیند همدم، فرآیند درجه حرارت ثابت است و فرآیند همفشار (گاهی ایزوپستیک خوانده می‌شود) فرآیند در فشار ثابت و فرآیند هم حجم فرآیندهای با حجم ثابت می‌باشند.

وقتی که یک سیستم از حالت اولیه چندین تغییر حالت یا فرآیند متفاوت را طی می‌کند و در نهایت به حالت اولیه خود بازگردد، سیستم یک سیکل (چرخه) را طی کرده است. بنابراین در خاتمه یک سیکل، تمام خواص همان مقادیری را خواهند داشت که در آغاز داشته‌اند. بخار یا آبی که در نیروگاه به گردش درمی‌آید، یک سیکل را طی می‌کند.

باید میان سیکل ترمودینامیکی که اکنون تشریح شد و سیکل مکانیکی تفاوت‌هایی قائل شویم. یک موتور احتراق داخلی با سیکل چهار زمانه در هر دو دوران یک سیکل مکانیکی را طی می‌کند. با این حال سیال انجام‌دهنده‌ی کار یک سیکل ترمودینامیکی را در موتور طی نمی‌کند زیرا هوا و سوخت می‌سوزند و به محصولات احتراق تبدیل می‌شوند و این محصولات نیز به اتمسفر تخلیه خواهند شد. در این کتاب منظور از سیکل، سیکل ترمودینامیکی است مگر آنکه هدف دیگری مشخص و قید شده باشد.

۲-۵ آحاد جرم، طول، زمان و نیرو

از آنجا که ما به خواص ترمودینامیکی از دید ماکروسکوپیکی توجه داریم، با کمیت‌هایی روبرویم که می‌توان آنها را مستقیماً و یا به‌طور غیرمستقیم اندازه‌گیری و شمارش کرد. بنابراین موضوع آحاد اهمیت می‌یابد. در بخش‌های باقی مانده از این فصل، خواص ترمودینامیکی خاص و آحادی را که شامل می‌شوند، تعریف خواهیم کرد.

چون رابطه میان نیرو و جرم غالباً برای دانشجویان مشکل است، در این فصل تشریح می‌گردد. نیرو، جرم، طول و زمان با استفاده از قانون دوم نیوتن در حرکت به هم ارتباط می‌یابند که براساس آن نیروی وارد شده بر یک جسم متناسب با حاصلضرب جرم و شتاب در جهت نیرو است.

F a ma

مفهوم زمان به خوبی مشخص شده است. واحد اصلی زمان ثانیه (s) است که در گذشته برحسب روز خورشیدی یعنی فاصله‌ی زمانی یک چرخش کامل زمین نسبت به خورشید، تعریف می‌شد. از آنجا که این تناوب زمانی در فصول مختلف سال تغییر می‌کند، مقدار متوسط آن در طول یک تناوب یک ساله را روز متوسط خورشیدی می‌نامند و ثانیه‌ی متوسط خورشیدی، ۸۶۴۰۰٫۱ روز متوسط خورشیدی است (میزان گردش زمین را گاهی نسبت به یک ستاره ثابت می‌سنجند که در این حالت آن را یک روز نجومی می‌نامند). در سال ۱۹۶۷، کنفرانس عمومی اوزان و مقادیر (CGPM) ثانیه را برحسب ارتعاش اشعه‌ی اتم‌های سزیم ۱۳۳ تعریف کرد و زمان لازم برای ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ سیکل نوسانگر سزیم را در حال حاضر به عنوان تعریف ثانیه پذیرفته‌اند.

برای تناوب‌های زمانی کمتر از یک ثانیه، پیشوند میلی، میکرو، نانو یا پیکو به صورتی که در جدول (۲-۱) ارائه شده معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای زمان‌های طولانی‌تر، واحدهای دقیقه (min)، ساعت (h) یا روز (day) غالباً به کار برده می‌شود. باید متذکر شویم که پیشوندهای جدول (۲-۱) همراه با بسیاری از واحدهای دیگر نیز به کار برده می‌شوند.

جدول ۲-۱ پیشوندهای آحاد

نماد	پیشوند	ضریب	نماد	پیشوند	ضریب
m	milli	10^{-3}	T	tera	10^{12}
μ	micro	10^{-6}	G	giga	10^9
n	nano	10^{-9}	M	mega	10^6
p	pico	10^{-12}	k	kilo	10^3

مفهوم طول نیز به خوبی مشخص شده است. واحد بنیادی طول متر است و برای سالیان متمادی، استاندارد پذیرفته شده، متر نمونه‌ی بین‌المللی بود که فاصله‌ی بین دو علامت روی میله‌ی پلاتین-ایریدیوم تحت شرایط تعریف شده‌ی خاص است. این میله در موزه‌ی بین‌المللی اوزان و مقادیر در شهر سور فرانسه نگهداری می‌شود. در سال ۱۹۶۰، CGPM تعریفی برای متر برحسب طول موج خط نارنجی-قرمز کریپتون ۸۶، انتخاب و ارائه کرد. تعریف طول یک متر عبارت است از: 16507637λ برابر طول موج خط نارنجی قرمز کریپتون ۸۶ در خلأ. سپس در سال ۱۹۸۳، CGPM تعریف دقیق‌تری از متر را که برحسب سرعت نور (که یک مقدار ثابت است) بیان می‌شد، پذیرفت. طبق این تعریف، یک متر عبارت است از طول مسیری که نور در فاصله‌ی زمانی ۲۹۹۷۹۲۴۵۸۱ ثانیه در خلأ طی می‌کند.

در آحاد SI، واحد جرم کیلوگرم (kg) است و طبق تصمیم CGPM در سال ۱۸۸۹ که در سال ۱۹۰۱ مجدداً مورد تأیید قرار گرفت، جرم استوانه‌ی مشخصی از پلاتین-ایریدیوم است که تحت شرایط معینی در موزه‌ی بین‌المللی اوزان و مقادیر نگهداری می‌شود. یکی از آحاد وابسته که بارها در ترمودینامیک به کار می‌رود، مول (mol) است که به عنوان مقداری از ماده تعریف می‌شود که تعداد اجزای اولیه‌ی آن برابر با تعداد اتم‌های موجود در ۰.۰۱۲ kg کربن ۱۲ است. این اجزای اولیه باید مشخص شوند و ممکن است اتم، مولکول، الکترون، یون و دیگر ذرات یا گروه‌های معین باشند. برای مثال یک مول اکسیژن دو اتمی با وزن مولکولی ۳۲ (در مقایسه با ۱۲ برای کربن) جرمی معادل ۰.۰۳۲ kg دارد. یک مول را غالباً با گرم مول بیان می‌کنند زیرا برابر با مقداری از ماده برحسب گرم است که از نظر عددی معادل وزن مولکولی آن ماده است. در این کتاب، وقتی از آحاد SI استفاده می‌شود از کیلومول (kmol) استفاده می‌کنیم که برابر با مقداری از ماده برحسب کیلوگرم است که از نظر عددی معادل وزن مولکولی آن می‌شود.

سیستم آحادی که در حال حاضر در تمام جهان به کار برده می‌شود، سیستم بین‌المللی متریک است که سیستم آحاد SI نامیده می‌شود (Le Systeme International d'unités). در این سیستم، ثانیه، متر و کیلوگرم واحدهای بنیادی زمان، طول و جرم هستند که تعریف شدند. واحد نیرو مستقیماً با استفاده از قانون دوم نیوتن تعریف می‌شود. لذا ثابت تناسب مورد نیاز نیست و می‌توان آن قانون را به صورت تساوی نوشت:

$$F=ma$$

(۲-۱)

واحد جرم، نیوتن (N) می‌باشد که طبق تعریف برابر مقدار نیروی لازم برای ایجاد شتاب یک متر بر مجذور ثانیه در جرمی معادل یک کیلوگرم است:

$$1\text{ N} = 1\text{ kg m/s}^2$$

(یادآوری این نکته لازم است که در آحاد SI مشتق شده از اسامی اشخاص، حروف بزرگ برای نماد به کار برده می‌شوند و در حالات دیگر حروف کوچک الفبا نوشته می‌شود. یک استثناء وجود دارد و آن لیتر است که با نماد L نشان داده می‌شود). اصطلاح وزن غالباً برای جسم به کار می‌رود و گاهی با جرم اشتباه می‌شود. در واقع وزن زمانی درست به کار می‌رود که به عنوان نیرو مورد نظر باشد. هنگامی که گفته می‌شود وزن جسم، منظور ما این است که با این نیرو به طرف زمین (یا جسم دیگر) کشیده می‌شود و آن مساوی با حاصلضرب جرم در شتاب ثقل محلی است. جرم یک جسم در ارتفاعات متفاوت ثابت می‌ماند ولی وزن آن با تغییر ارتفاع تغییر خواهد کرد.

سیستم سنتی آحاد مورد استفاده در ایالات متحده سیستم مهندسی انگلیسی است که در اینجا ارائه نمی‌شود ولی در ضمیمه F آمده است. در آنجا برای کسانی که در بررسی‌های ترمودینامیک با این سیستم سروکار دارند، مجموعه‌ای از مثال‌ها، مسائل انتهای فصل و جداول ترمودینامیکی نیز آورده شده است.

مثال ۲-۱

وزن جرم یک کیلوگرمی در عرض جغرافیایی که شتاب ثقل محلی معادل 9.75 m/s^2 است، چقدر خواهد بود؟
حل: وزن عبارت است از نیروی وارد بر جرم که طبق قانون نیوتن معادل است با:

$$F = mg = 1\text{ kg} \times 9.75\text{ m/s}^2 \times [1\text{ N s}^2/\text{kg m}] = 9.75\text{ N}$$

۲-۶ انرژی

یکی از مهمترین مفاهیم در مطالعه ترمودینامیک مفهوم انرژی است. انرژی یک مفهوم بنیادی است نظیر جرم یا نیرو و اغلب با چنین مفاهیمی تعریف آنها بسیار مشکل است. انرژی به عنوان قابلیت ایجاد یک اثر تعریف می‌شود. خوشبختانه کلمه‌ی انرژی و مفهوم بنیادی این کلمه در کاربردهای روزمره آشناست و تعریف دقیق آن در این مرحله ضرورت ندارد. تذکر این نکته مهم است که انرژی را می‌توان در یک سیستم ذخیره کرد و یا آن را از یک سیستم به سیستم دیگر منتقل کرد (به عنوان مثال به صورت حرارت). در مطالعه ترمودینامیک آماری از نقطه نظر مولکولی راه‌هایی که می‌توان انرژی را ذخیره کرد بررسی می‌شوند. به دلیل سودمندی این موضوع در مطالعه ترمودینامیک، مقدمه‌ی مختصری از آن ارائه می‌شود. سیستمی را در نظر بگیرید که متشکل از یک گاز است که با فشار و درجه حرارت معین درون یک مخزن تحت فشار قرار دارد. از نقطه نظر مولکولی، سه شکل انرژی را شناسایی می‌کنیم:

- ۱- انرژی پتانسیل بین مولکولی که همراه با نیروهای بین مولکولی است.
- ۲- انرژی جنبشی مولکولی که توأم با سرعت انتقال مولکول‌های منفرد است.

۳- انرژی درون مولکولی (در مولکول‌های منفرد وجود دارد) که ناشی از ساختمان مولکولی و اتمی و نیروهای مرتبط با آنهاست.

اولین شکل از انرژی‌های ذکر شده یعنی انرژی پتانسیل بین مولکولی بستگی به مقدار نیروهای بین مولکولی و موقعیت مولکول‌ها نسبت به یکدیگر در هر لحظه از زمان دارد. تعیین دقیق این مقدار انرژی مشکل است زیرا اطلاعی از شکل و جهت مولکول‌ها در هر لحظه یا تابع دقیق پتانسیل بین مولکولی نداریم. در عین حال برای دو موقعیت می‌توان تقریب خوبی به دست آورد. وضعیت اول مربوط به چگالی‌های کم یا متوسط است. در این حالت مولکول‌ها نسبتاً از یکدیگر دورند به طوری که دو مولکول یا دو و سه مولکول بر یکدیگر اثر متقابل می‌گذارند که باعث ایجاد انرژی پتانسیل می‌شود. در این چگالی‌های کم و متوسط، روش‌هایی برای تعیین انرژی پتانسیل با دقت قابل قبول سیستم متشکل از مولکول‌های نسبتاً ساده وجود دارد. وضعیت دوم در چگالی‌های خیلی کم است که در آن شرایط متوسط فاصله‌ی بین مولکولی آنقدر زیاد است که می‌توان انرژی پتانسیل را صفر فرض کرد. در نتیجه در این حالت سیستمی از ذرات مستقل داریم (گاز ایدéal) و لذا از نقطه نظر آماری می‌توانیم بررسی خود را به ارزیابی انرژی‌های انتقالی و داخلی مولکولی متمرکز کنیم.

انرژی انتقالی که بستگی به جرم و سرعت مولکول‌ها دارد با استفاده از معادلات مکانیک کوانتوم یا کلاسیک تعیین می‌شود.

تعیین انرژی درون مولکولی دشوارتر است زیرا چند عامل بر آن اثر دارد. یک گاز تک اتمی نظیر هلیوم را در نظر بگیرید. هر مولکول شامل یک اتم هلیوم است. چنین اتمی دارای انرژی الکترونیکی است که ناشی از اندازه حرکت زاویه‌ای اوربیتال‌های الکترون‌ها در اطراف هسته و اندازه حرکت زاویه‌ای چرخش الکترون‌ها حول محورشان می‌باشد. انرژی الکترونیکی غالباً در مقایسه با انرژی‌های انتقالی بسیار کوچک است. (اتم‌ها دارای انرژی هسته‌ای نیز هستند که بجز در واکنش‌های هسته‌ای، ثابت است و در حال حاضر به آن توجهی نمی‌کنیم). وقتی مولکول‌های پیچیده‌تر را مورد توجه قرار می‌دهیم نظیر مولکول‌ها تشکیل شده از دو یا سه اتم، عوامل دیگری نیز باید در نظر گرفته شود. علاوه بر داشتن انرژی الکترونیکی، مولکول می‌تواند حول مرکز ثقل خود بچرخد و لذا دارای انرژی چرخشی است. به علاوه اتم‌ها ممکن است نسبت به یکدیگر ارتعاش داشته و دارای انرژی ارتعاشی باشند. در برخی از موارد ممکن است بین مدهای چرخشی و ارتعاشی انرژی، اثر متقابل نیز وجود داشته باشد.

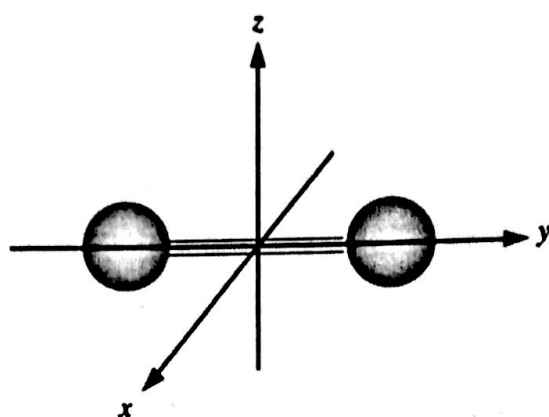
در بررسی انرژی یک مولکول، اغلب به درجه آزادی f مودهای انرژی مراجعه می‌کنیم. برای یک مولکول تک اتمی نظیر هلیوم $f=3$ خواهد بود و نشان‌دهنده سه جهت x, y, z است که مولکول می‌تواند حرکت کند. برای یک مولکول دو اتمی مانند اکسیژن، $f=6$ می‌باشد. از این درجه‌های آزادی، سه درجه آن مربوط به انتقال مولکول در جهت‌های x, y, z است و دو درجه آن مرتبط با دوران می‌باشد. دلیل اینکه چرا فقط دو مود انرژی دورانی وجود دارد، در شکل (۴-۲) مشهود است، در این شکل مبدأ سیستم مختصات در مرکز ثقل مولکول و محور y در امتداد محور ارتباطی هسته‌های مولکول در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین، مقدار گشتاور اینرسی مولکول حول محورهای x و z قابل توجه خواهند بود ولی حول محور y چنین نیست. درجه ششم آزادی مولکول اکسیژن، ارتعاش است که مرتبط با کشیده شدن پیوندهای اتصال‌دهنده اتم‌ها می‌باشد.

برای مولکول‌های پیچیده‌تر مانند H_2O ، درجه‌های آزادی ارتعاشی بیشتر وجود دارد. شکل (۵-۲) نمایانگر یک مول از مولکول H_2O است. برای این شکل، مشهود است که سه درجه آزادی ارتعاشی وجود دارد. همچنین، ممکن است انرژی دورانی حول هر سه محور نیز وجود داشته باشد. بنابراین برای مولکول H_2O ، نه درجه آزادی وجود خواهد داشت ($f=9$)؛ سه درجه انتقال، سه درجه دوران، و سه درجه ارتعاشات.

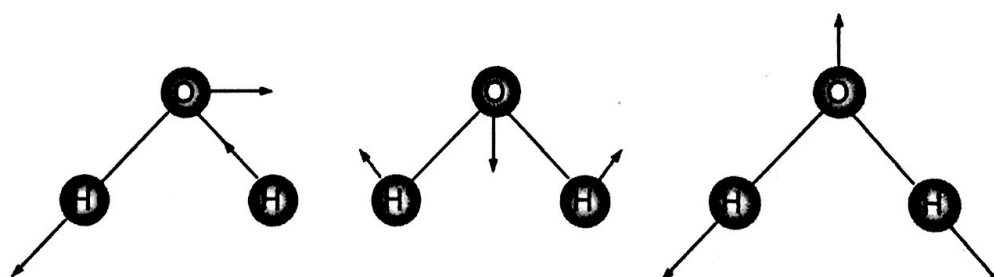
مولکول‌های پیچیده، نظیر مولکول‌های چند اتمی، معمولاً دارای ساختار سه‌بعدی هستند و دارای چند مُد ارتعاشی

می‌باشند که هر کدام بخشی از انرژی مولکولی را ذخیره می‌سازند. در مولکول‌های پیچیده‌تر تعداد درجه‌های آزادی برای ذخیره انرژی بیشتر خواهد بود. برای علاقمندان به بحث اثرات کمی از دیدگاه مولکولی، موضوع مدهای ذخیره انرژی در ضمیمه C به صورت مفصل‌تر بحث شده است.

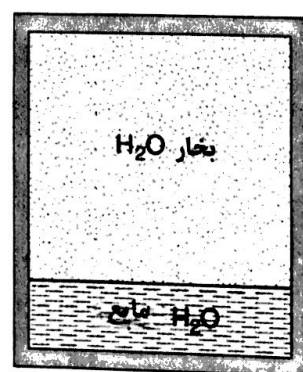
این بحث کلی را می‌توان با توجه به شکل (۲-۶) خلاصه کرد. فرض کنید حرارت به آب منتقل شود. در طی این فرآیند درجه حرارت مایع و بخار افزایش می‌یابد و نهایتاً تمام آب بخار می‌شود. از نقطه نظر میکروسکوپی ما تنها به انرژی توجه داریم که به شکل حرارت منتقل می‌شود و باعث تغییر خواصی نظیر درجه حرارت و فشار و انرژی کل H_2O در هر لحظه (نسبت به یک مبنا) می‌شود.



شکل ۲-۴ دستگاه مختصات برای مولکول دو اتمی.



شکل ۲-۵ سه مورد اصلی ارتعاش برای مولکول H_2O



شکل ۲-۶ انتقال گرما به آب

بنابراین سؤال راجع به این که انرژی چگونه در آب ذخیره می شود مورد توجه ما نیست. از نقطه نظر میکروسکوپی که توجه ما معطوف به چگونگی ذخیره ی انرژی در مولکول هاست. ما علاقمند هستیم مدلی برای مولکول تهیه کنیم که بتوانیم مقدار انرژی لازم برای تغییر درجه حرارت مقداری معین از آب را حدس بزنیم. اگرچه توجه ما در این کتاب به نقطه نظر ماکروسکوپی یا ترمودینامیک کلاسیک است ولی توجه به دیدگاه میکروسکوپی یا آماری نیز سودمند است و ارتباط بین این دو به ما کمک می کند تا مفاهیم بنیادی نظیر انرژی را بهتر درک کنیم.

سؤالات مفهومی

- (الف) یک حجم کنترل در اطراف توربین مربوط به نیروگاه بخار شکل (۱-۱) بسازید و فهرست جریان های جرم و انرژی در آن را بنویسید.
- (ب) یک حجم کنترل در اطراف یخچال آشپزخانه تان بسازید، در آن موقعیت اجزاء نشان داده شده در شکل (۱-۶) را مشخص کنید و تمام موارد انتقال انرژی را نشان دهید.

۲-۷ حجم مخصوص و چگالی

حجم مخصوص یک ماده به صورت حجم به ازای واحد جرم تعریف می شود و با نماد مشخص می گردد. چگالی یک ماده نیز جرم به ازای واحد حجم است و بنابراین نسبت معکوس با حجم مخصوص دارد. چگالی را با نماد نشان می دهیم. حجم مخصوص و چگالی از خواص شدتی می باشند.

حجم مخصوص یک سیستم در یک حوزه ی ثقیلی، از نقطه ای به نقطه ای دیگر تغییر می کند. برای مثال اتمسفر زمین را به عنوان یک سیستم در نظر بگیرید که حجم مخصوص آن با افزایش ارتفاع، افزایش می یابد. بنابراین تعریف حجم مخصوص دربردارنده ی حجم مخصوص یک ماده در یک نقطه از سیستم است.

حجم بسیار کوچک V از سیستم را در نظر بگیرید که دارای جرم m می باشد. حال حجم مخصوص را می توان با رابطه ی زیر تعریف کرد:

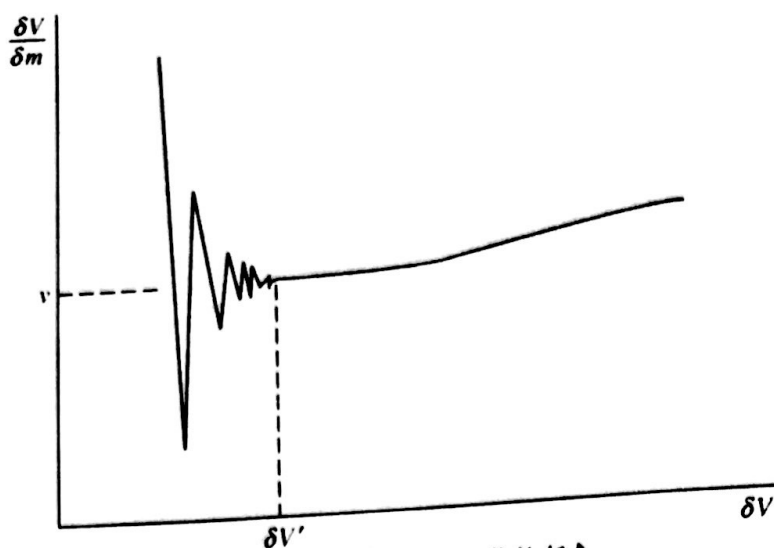
V کوچکترین حجمی است که در آن می توانیم سیستم را پیوسته در نظر گرفت.

حجمهای کوچکتر از این مقدار منجر به این مسئله می شود که جرم در فضا توزیع شده است اما در ذرات به عنوان مولکول ها، اتم ها و الکترون ها و... متمرکز شده است. این مطلب در شکل (۲-۷) نشان داده شده است که در آن برای حالت حدی که حجم صفر است، حجم مخصوص بینهایت (در حجم جرم وجود ندارد) و یا بسیار کوچک (حجم بخشی از هسته) در نظر گرفته می شود.

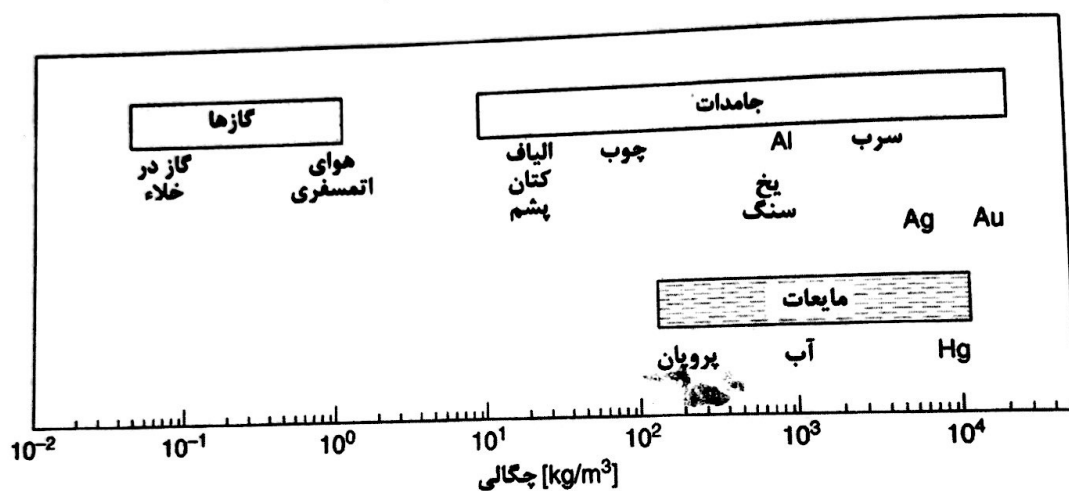
لذا در یک سیستم مشخص، می توانیم از حجم مخصوص یا چگالی در یک نقطه ی سیستم صحبت کنیم و در ضمن باید توجه داشته باشیم که این کمیت ها با ارتفاع تغییر می کنند. با وجود این، اکثر سیستم هایی که بررسی خواهیم کرد نسبتاً کوچک هستند و در آنها تغییر حجم مخصوص نسبت به تغییر ارتفاع اهمیت نخواهد داشت. در این مورد می توان برای تمام سیستم از یک حجم مخصوص یا چگالی استفاده کرد.

$$v = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m}$$

در این کتاب، حجم مخصوص و چگالی بر مبنای جرم و نیز بر مبنای مول بیان می شوند. خط تیره ای در بالای نماد (حروف کوچک) برای مشخص کردن خاصیت بر مبنای مول به کار می رود. پس \bar{v} بیانگر حجم مخصوص مولی و نشان دهنده ی چگالی مولی خواهد بود. در سیستم آحاد SI، آحاد حجم مخصوص m^3/kg ، m^3/mol (یا $m^3/kmol$) و آحاد چگالی kg/m^3 و mol/m^3 (یا $kmol/m^3$) می باشند.



شکل ۲-۷ حد پیوستگی برای حجم ویژه.



شکل ۲-۸ چگالی برخی مواد رایج

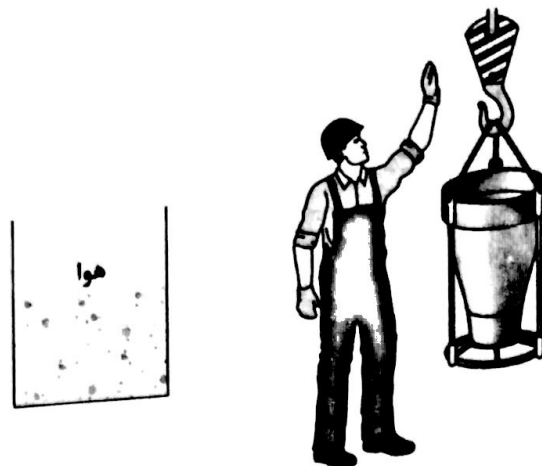
اگرچه در آحاد SI، حجم دارای واحد مترمکعب است ولی استفاده از واحد دیگری برای حجم یعنی لیتر (L) که نام خاص حجمی معادل 0.001 متر مکعب است ($1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$) نیز رایج می‌باشد. برای نمایش محدوده‌ی چگالی‌ها، در شکل (۲-۸) مقادیر چگالی تعدادی از جامدات، مایعات و گازهای متداول نشان داده شده است. مقادیر چگالی مخصوص جامدات، مایعات و گازهای مختلف در سیستم آحاد SI، به ترتیب در جداول (A-۳) و (A-۴) و (A-۵) ارائه شده‌اند.

مثال ۲-۲

یک ظرف به حجم 1 m^3 (شکل ۲-۹) با 0.12 m^3 گرانیت، 0.15 m^3 شن، 0.2 m^3 آب مایع 25°C پر شده است و مابقی حجم نیز که معادل 0.53 m^3 است با هوای دارای چگالی 1.15 kg/m^3 اشغال شده است. حجم مخصوص (متوسط) و چگالی را بیابید.

حل: از تعریف حجم مخصوص و چگالی داریم:

$$v = V/m \quad \text{and} \quad \rho = m/V = 1/v$$



شکل ۲-۹ تصویر مثال ۲-۲.

باید جرم کل را برای تعیین چگالی از جداول (A-۳) و (A-۴) تعیین کنیم:

$$m_{\text{granite}} = \rho_{\text{granite}} V_{\text{granite}} = 2750 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m}^3 = 330 \text{ kg}$$

$$m_{\text{sand}} = \rho_{\text{sand}} V_{\text{sand}} = 1500 \text{ kg/m}^3 \times 0.15 \text{ m}^3 = 225 \text{ kg}$$

$$m_{\text{water}} = \rho_{\text{water}} V_{\text{water}} = 997 \text{ kg/m}^3 \times 0.2 \text{ m}^3 = 199.4 \text{ kg}$$

$$m_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} V_{\text{air}} = 1.15 \text{ kg/m}^3 \times 0.53 \text{ m}^3 = 0.61 \text{ kg}$$

اکنون جرم کل برابر خواهد بود با:

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{granite}} + m_{\text{sand}} + m_{\text{water}} + m_{\text{air}} = 755 \text{ kg}$$

و حجم مخصوص و چگالی را می‌توانیم محاسبه کنیم:

$$v = V_{\text{tot}} / m_{\text{tot}} = 1 \text{ m}^3 / 755 \text{ kg} = 0.001325 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = m_{\text{tot}} / V_{\text{tot}} = 755 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3 = 755 \text{ kg/m}^3$$

تذکر: استفاده از اعداد برای ρ و v باعث اشتباه می‌شود زیرا هوا از بقیه جرم جدا خواهد شد

سوالات مفهومی

پ) چرا هنگامی که انسان در آب راکد شنا می‌کند، سطح شناوری‌اش بیشتر از زمانی است که در آب تازه یک دریاچه شنا کند؟

ت) چگالی آب مایع برابر با $\rho = 1008 - T/2 [\text{kg/m}^3]$ است که در آن T بر حسب $^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. اگر درجه حرارت افزایش یابد، برای چگالی و حجم مخصوص چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

۲-۸ فشار

در مواردی که با مایعات و گازها سروکار داریم، معمولاً از فشار صحبت به میان می‌آید ولی در جامدات عبارت تنش به کار برده می‌شود. فشار در یک سیال در حال سکون در هر نقطه مشخص در تمام جهات یکسان است و فشار را به صورت مولفه عمودی نیرو در واحد سطح تعریف می‌کنیم. به طور اخص، اگر A سطحی کوچک و A کوچکترین سطحی که روی آن می‌توان سیال را پیوسته در نظر گرفت و F_n مولفه عمودی نیرو بر A باشند، فشار P را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$P = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta F_n}{\delta A}$$

در معادله‌ی بالا حد پائینی مربوط به اندازه‌هایی است که برای حجم مخصوص ذکر شد و در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. فشار P در یک نقطه از سیال در حال تعادل در تمامی جهات یکسان است. برای یک سیال لزج در حال حرکت، تغییر حالت تنش‌ها نسبت به جهت بسیار مهم است. این ملاحظات در کتاب حاضر مورد توجه نیستند و ما فشار را تنها با توجه به سیال در حال تعادل در نظر می‌گیریم.

واحد فشار در سیستم بین‌المللی، نیرویی معادل یک نیوتن وارد بر سطحی معادل یک متر مربع است که پاسکال (Pa) خوانده می‌شود، به عبارت دیگر:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

دو واحد دیگر را که در سیستم بین‌المللی آحاد نیستند ولی مورد استفاده‌ی بسیار دارند نیز باید ذکر کنیم. این آحاد عبارتند از

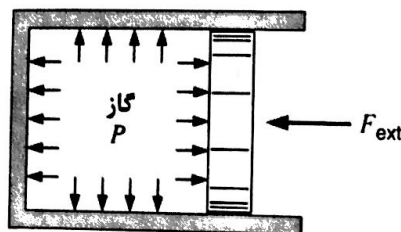
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$$

بار و اتمسفر استاندارد

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

اتمسفر کمی بیشتر از بار است. در این کتاب، به‌طور طبیعی از واحد SI یعنی پاسکال و ضرایب آن کیلوپاسکال و مگاپاسکال استفاده شده است. واحد بار در مثال‌ها و مسائل به کار می‌رود اما از اتمسفر بجز در نقاط مرجع خاص استفاده نمی‌شود.

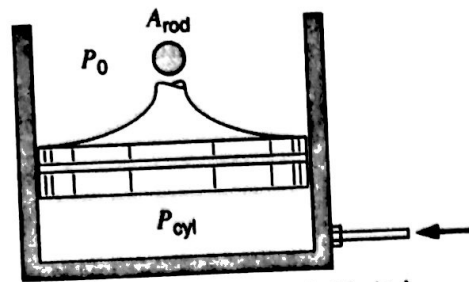
گازی را در نظر بگیرید که درون سیلندری با یک پیستون متحرک به صورت نشان داده شده در شکل (۱۰-۲) محبوس باشد. فشار وارد از طرف گاز بر تمام مرزها یکسان است با فرض اینکه گاز در حالت تعادل باشد. این فشار به واسطه‌ی نیروهای خارجی وارد بر پیستون تثبیت می‌شود زیرا باید موازنه‌ای بین نیروها برقرار باشد تا پیستون ثابت بماند. لذا حاصلضرب فشار و سطح پیستون متحرک باید مساوی نیروهای بیرونی شود. اگر نیروی بیرونی در هر جهتی تغییر کند، فشار گاز داخل سیلندر باید تنظیم شود به نحوی که متناسب با حرکت پیستون باشد تا توازن نیرو در حالت تعادل جدید برقرار گردد. به عنوان مثال دیگر، اگر گاز درون سیلندر توسط جسم خارجی گرم شود، تمایل به افزایش فشار گاز وجود دارد و لذا پیستون حرکت می‌کند به نحوی که فشار به حدی برسد که برای توازن با نیروی خارجی لازم است.



شکل ۱۰-۲ موازنه بین نیروها روی یک مرز متحرک در رابطه با فشار گاز داخلی.

مثال ۳-۲

سیستم سیلندر پیستون هیدرولیکی نشان داده شده در شکل (۱۱-۲) دارای سیلندری به قطر $D = 0.1 \text{ m}$ با پیستون و میله‌ی آن به جرم 25 kg می‌باشد. میله دارای قطر 0.01 m و فشار اتمسفری بیرون معادل 101 kPa است. فشار سیال هیدرولیک در داخل برابر با 250 kPa است. نیرویی که می‌تواند میله را به طرف بالا بکشد، چقدر است؟



شکل ۲-۱۱ تصویر مثال (۲-۳).

حل: باید موازنه‌ی استاتیک نیروها روی پیستون (مثبت در جهت بالا) را فرض کنیم و در نتیجه:

$$F_{\text{net}} = ma = 0$$

$$= P_{\text{cyl}} A_{\text{cyl}} - P_0(A_{\text{cyl}} - A_{\text{rod}}) - F - m_p g$$

با حل رابطه برای F:

$$F = P_{\text{cyl}} A_{\text{cyl}} - P_0(A_{\text{cyl}} - A_{\text{rod}}) - m_p g$$

سطوح مورد نظر عبارت‌اند از:

$$A_{\text{cyl}} = \pi r^2 = \pi D^2/4 = \frac{\pi}{4} 0.1^2 \text{ m}^2 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{rod}} = \pi r^2 = \pi D^2/4 = \frac{\pi}{4} 0.01^2 \text{ m}^2 = 0.00007854 \text{ m}^2$$

بنابراین نیروها معادل است با:

$$\begin{aligned} F &= [250 \times 0.007854 - 101(0.007854 - 0.00007854)]1000 - 25 \times 9.81 \\ &= 1963.5 - 785.32 - 245.25 \\ &= 932.9 \text{ N} \end{aligned}$$

توجه کنید که kPa باید به Pa تبدیل شود تا واحد N به دست آید.

در اغلب مباحث ترمودینامیکی، فشار مطلق مورد نظر است. با این همه اغلب فشارسنج‌ها و خلأسنج‌ها اختلاف بین فشار مطلق و فشار اتمسفری موجود در وسیله اندازه‌گیری را نشان می‌دهند که آن را فشارنسبی می‌نامیم. این نکات در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده‌اند و مثال‌هایی که ذکر خواهد شد اصول حاکم بر این اصل را نشان می‌دهند. فشارهای کمتر از فشار اتمسفری یا کمی بالاتر از آن و اختلاف فشار (برای مثال در یک روزنه درون لوله) را غالباً با مانومتر اندازه می‌گیریم که حاوی آب، جیوه، الکل، روغن یا سیالات دیگر است.

ستون سیالی به ارتفاع L که روی نقطه‌ی B در مانومتر شکل (۲-۱۳) قرار دارد را در نظر بگیرید. نیرویی که در بالای ستون به سمت پایین وارد می‌شود برابر است با:

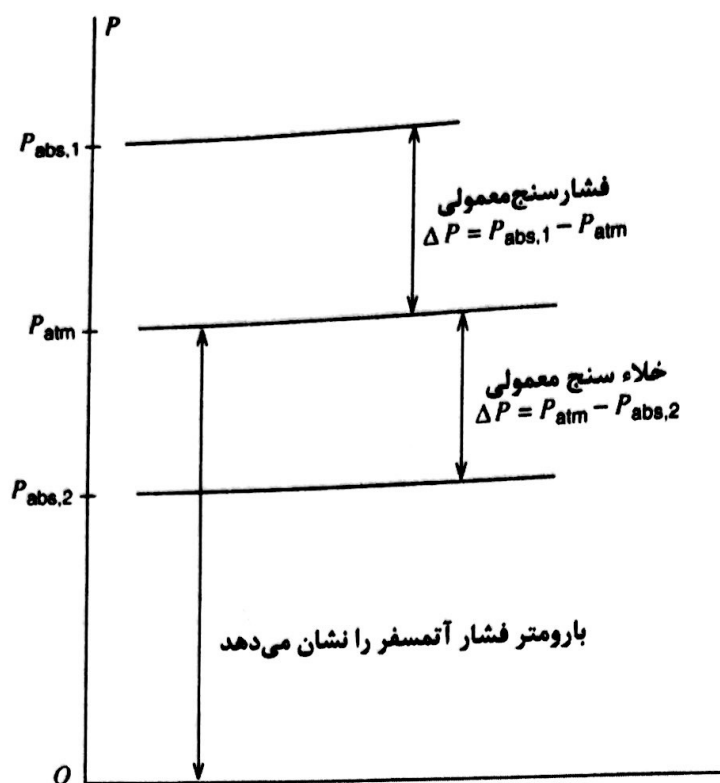
$$P_0 A + mg = P_0 A + \rho A g H$$

که در رابطه بالا m جرم ستون سیال، A سطح مقطع و چگالی است. این نیرو باید با نیرویی که در زیر ستون سیال به سمت بالا وارد می‌شود (یعنی PBA) برابر باشد. بنابراین

$$P_B - P_0 = \rho g H$$

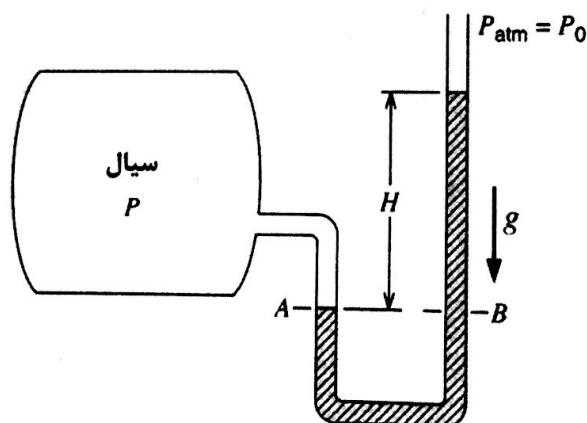
چون نقاط A و B در یک تراز قرار دارند، فشار آنها باید برابر باشد (چگالی سیال درون مخزن آنقدر ناچیز است که فشار درون مخزن را می‌توان با PA مساوی در نظر گرفت). در نتیجه:

$$\Delta P = P - P_0 = \rho g H \quad (۲-۲)$$



شکل ۲-۱۲ نمایش عبارتهای مورد استفاده در اندازه‌گیری فشار.

$$P_B - P_0 = \rho g H$$

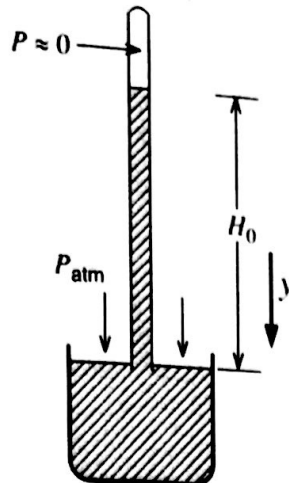


شکل ۲-۱۳ مثالی از اندازه‌گیری فشار با استفاده از ستون سیال

برای درک تفاوت میان فشار مطلق و فشار نسبی در این کتاب، عبارت پاسکال همواره برای فشار مطلق به کار برده می‌شود. هر فشار نسبی مشخص خواهد شد.

یک بارومتر که برای اندازه‌ری فشار جو استفاده می‌شود را در نظر بگیرید (شکل ۲-۱۴). چون در بالای ستون قائم سیال (معمولاً جیوه) درون لوله، خلأ وجود دارد، با توجه به ارتفاع ستون سیال می‌توان فشار جو را مستقیماً از معادله‌ی (۲-۲) یافت.

$$P_{\text{atm}} = \rho g H_0$$



شکل ۲-۱۴ بارومتر

مثال ۲-۴

در یک بارومتر که درون اتاقی با دمای 25°C قرار داده شده است، ارتفاع ستون سیال 750mm می‌باشد. فشار جو بر حسب kPa چقدر است؟

حل: چگالی جیوه در 25°C را از جدول (A-۴) ضمیمه می‌توان یافت که برابر است با 13534kg/m^3 با استفاده از معادله‌ی (۲-۳) داریم:

$$P_{\text{atm}} = \rho g H_0 = 13\,534 \times 9.806\,65 \times 0.750/1000 \\ = 99.54\text{ kPa}$$

مثال ۲-۵

یک مانومتر جیوه‌ای (Hg) برای اندازه‌گیری فشار در یک ظرف استفاده شده است، مطابق شکل (۲-۱۳). جیوه دارای چگالی 13590 kg/m^3 است و اختلاف ارتفاع بین دو ستون 24 cm است. می‌خواهیم فشار درون ظرف را تعیین کنیم. حل: مانومتر فشار را به صورت اختلاف فشار اندازه می‌گیرد. از معادله‌ی (۲-۲) داریم:

$$\Delta P = P_{\text{gauge}} = \rho g H = 13\,590 \times 9.806\,65 \times 0.24 \\ = 31\,985 \frac{\text{kg m}}{\text{m}^3 \text{ s}^2} = 31\,985\text{ Pa} = 31.985\text{ kPa} \\ = 0.316\text{ atm}$$

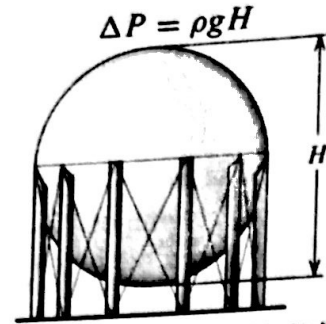
برای تعیین فشار مطلق درون ظرف داریم:

لذا لازم است فشار اتمسفری اندازه‌گیری شده با بارومتر (فشار مطلق) را بدانیم. فرض کنید این فشار 750 mmHg است. فشار مطلق درون ظرف عبارت است از:

$$P_{\text{vessel}} = \Delta P + P_{\text{atm}} = 31\,985 + 13\,590 \times 0.750 \times 9.806\,65 \\ = 31\,985 + 99\,954 = 131\,940\text{ Pa} = 1.302\text{ atm}$$

مثال ۲-۶

در کف مخزنی به ارتفاع 7.5m که درون آن سیالی در 25°C قرار دارد شکل (۲-۱۵) مقدار فشار چیست؟ فرض کنید سیال بنزین و فشار اتمسفری روی سطح 101 kPa است. سؤال را برای مبرد R134a وقتی که فشار روی سطح 1 MPa است، تکرار کنید.



شکل ۲-۱۵ تصویر مثال (۲-۶).

حل: چگالی مایعات در جدول A-۴ فهرست شده‌اند.

$$\rho_{\text{gasoline}} = 750 \text{ kg/m}^3; \quad \rho_{\text{R-134a}} = 1206 \text{ kg/m}^3$$

اختلاف فشار ناشی از نیروی ثقل از معادله (۲-۲) به دست می‌آید:

فشار کل عبارت است از:

$$P = P_{\text{top}} + \Delta P$$

برای بنزین داریم:

$$\Delta P = \rho g H = 750 \text{ kg/m}^3 \times 9.807 \text{ m/s}^2 \times 7.5 \text{ m} = 55\,164 \text{ Pa}$$

حال فشار را به kPa تبدیل می‌کنیم:

$$P = 101 + 55.164 = 156.2 \text{ kPa}$$

برای R 134a داریم:

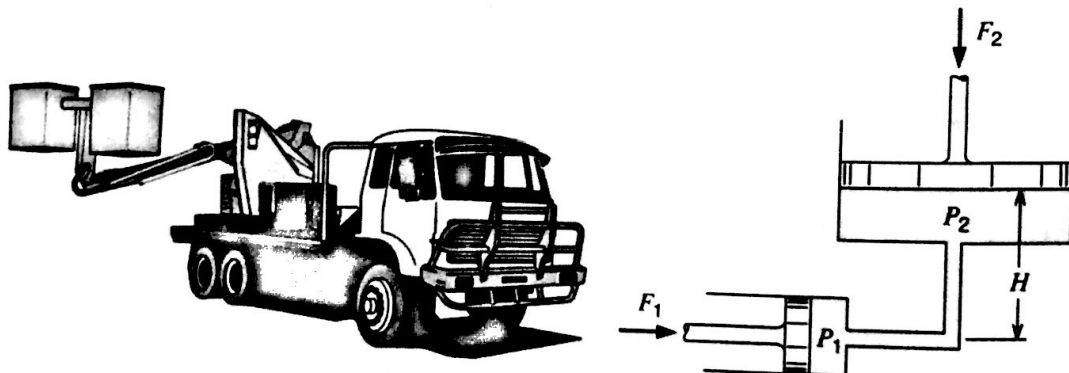
$$\Delta P = \rho g H = 1206 \text{ kg/m}^3 \times 9.807 \text{ m/s}^2 \times 7.5 \text{ m} = 88\,704 \text{ Pa}$$

با تبدیل به kPa خواهیم داشت:

$$P = 1000 + 88.704 = 1089 \text{ kPa}$$

مثال ۲-۷

پیستون - سیلندری دارای سطح مقطع 0.01 m^2 است و با خط هیدرولیکی به سیلندر پیستون دیگری با سطح مقطع 0.05 m^2 متصل است. فرض کنید هر دو محفظه و خط رابط با سیال هیدرولیکی دارای چگالی 900 kg/m^3 پر شده و سیلندر پیستون بزرگتر در ارتفاع 6 m بالاتر قرار گرفته است. بازوی تلسکوپی و ظرف متصل به آن با پیستون سیلندر حرکت می‌کند (شکل ۲-۱۶). فشار اتمسفری 100 kPa و نیروی خالص 25 kN روی پیستون کوچک است. نیروی متوازن‌کننده پیستون بزرگتر چقدر است؟



شکل ۲-۱۶ ترسیم مثال (۲-۷).

حل: وقتی سیال ثابت و بی حرکت است و ارتفاع مشابه، همان فشار در تمام سیال وجود دارد. نیروی متوازن کننده روی پیستون کوچکتر به صورت زیر به فشار مرتبط می گردد (از سطح مقطع میله‌ی متصل به آن صرف نظر می کنیم:

$$F_1 + P_0 A_1 = P_1 A_1$$

لذا فشار سیال عبارت است از:

$$P_1 = P_0 + F_1/A_1 = 100 \text{ kPa} + 25 \text{ kN}/0.01 \text{ m}^2 = 2600 \text{ kPa}$$

فشار در ارتفاع بالاتر پیستون 2 از معادله (۲-۲) عبارت است از:

$$P_2 = P_1 - \rho g H = 2600 \text{ kPa} - 900 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m}/(1000 \text{ Pa/kPa}) \\ = 2547 \text{ kPa}$$

عبارت دوم بر ۱۰۰۰ تقسیم شده است تا Pa به kPa تبدیل گردد. نیروی متوازن کننده در پیستون دوم عبارت است از:

$$F_2 + P_0 A_2 = P_2 A_2$$

$$F_2 = (P_2 - P_0) A_2 = (2547 - 100) \text{ kPa} \times 0.05 \text{ m}^2 = 122.4 \text{ kN}$$

سؤالات مفهومی

- ث) فشارسنج لاستیک یک خودرو عدد 195 kPa را نشان می دهد. فشار هوای درون لاستیک چقدر است؟
- ج) آیا می توان همواره از ΔP ناشی از سیال روی موقعیت A در شکل (۲-۱۳)، چشمپوشی کرد. این موضوع به چه عواملی بستگی دارد؟
- ج) در یک مانومتر U شکل، بازوی چپ به یک جعبه که فشار آن 110 kPa است، و بازوی راست به جو متصل می باشد. ارتفاع ستون سیال در کدام بازو بیشتر خواهد بود؟

۲-۹ تساوی درجه حرارت

اگرچه درجه حرارت خاصیتی است که ما با آن آشنا هستیم، اما تعریف دقیق آن مشکل است. ما درجه حرارت را نخست با احساس گرمی یا سردی در هنگام لمس کردن درمی یابیم. همچنین این موضوع را قبلاً به طور تجربی دریافته ایم که وقتی جسمی گرم با جسمی سرد تماس برقرار کند، جسم گرم، سردتر و جسم سرد گرمتر می شود و اگر این دو جسم برای مدتی با هم تماس داشته باشند، معمولاً دارای گرمی یا سردی خواهند شد. با این همه می دانیم که احساس ما از گرمی یا سردی چندان قابل اطمینان نیست. گاهی اجسام خیلی سرد گرم به نظر می رسند و اجسامی را که از مواد مختلف هستند ولی درجه حرارت یکسانی دارند با درجه حرارت های متفاوت حس می کنیم.

به دلیل چنین مشکلاتی در تعریف درجه حرارت، تساوی درجه حرارت را مطرح و تعریف می کنیم. دو مکعب مسی را در نظر بگیرید که یکی گرم و دیگری سرد است و هر یک از آنها در تماس با یک دماسنج جیوه ای است. اگر این دو مکعب مسی در تماس حرارتی با هم قرار گیرند، مشاهده خواهیم کرد که مقاومت الکتریکی مکعب گرم در طول زمان کاهش و مقاومت الکتریکی مکعب سرد افزایش می یابد. پس از یک مدت زمان مشخص، دیگر تغییری در مقاومت مشاهده نخواهیم کرد. به گونه ای مشابه وقتی دو مکعب را در تماس حرارتی با هم قرار دهیم، طول ضلع مکعب گرم با زمان کاهش می یابد درحالی که در مکعب سرد افزایش خواهد یافت و پس از یک تناوب زمانی خاص، دیگر تغییری در ابعاد مکعب ها مشاهده نخواهد شد. همچنین ستون جیوه ی درون دماسنج در مکعب گرم ابتدا پایین می آید و در مکعب سرد، بالا می رود ولی پس از مدتی ارتفاع ستون های جیوه تغییر بیشتری نخواهد کرد. بنابراین می توان گفت که اگر تغییری در خواص دو جسم که در

تماس حرارتی هستند، مشاهده نشود، نشانه‌ی آن است که آن دو حرارتی مساوی دارند.

۲-۱۰ قانون صفرم ترمودینامیک

حال همان دو مکعب مسی و یک دماسنج دیگر را در نظر بگیرید. یک مکعب مسی را در تماس با دماسنج قرار دهید و هنگامی که تساوی درجه حرارت برقرار باشد آن را بردارید. حال مکعب مسی دیگر را با دماسنج در تماس قرار دهید و فرض کنید تغییری در ارتفاع ستون جیوه در هنگام این عمل رخ ندهد. در این صورت می‌توانیم بگوییم که هر دو مکعب در تعادل حرارتی با دماسنج می‌باشند.

قانون صفرم ترمودینامیک بیانگر این مطلب است که وقتی دو جسم با جسم سومی دارای تساوی درجه حرارت باشند، آن دو جسم نیز با هم تساوی درجه حرارت دارند. این مطلب بسیار بدیهی به نظر می‌رسد زیرا با این آزمایش با آن آشنا شده‌ایم. با این همه چون این واقعیت را نمی‌توان از قوانین دیگر نتیجه گرفت و در ارائه منطقی ترمودینامیک قبل از قوانین اول و دوم ترمودینامیک مطرح می‌شود، آن را قانون صفرم ترمودینامیک نامیده‌اند. این قانون حقیقتاً اساس اندازه‌گیری درجه حرارت است زیرا می‌توانیم اعدادی را روی دماسنج جیوه‌ای قرار دهیم و هرگاه جسمی در تساوی درجه حرارت با دماسنج بود بگوییم که جسم دارای درجه حرارتی است که روی دماسنج قرائت می‌شود. مسئله‌ای که باقی می‌ماند این است که درجه حرارت‌های قرائت شده روی دماسنج‌های جیوه‌ای و یا دماسنج‌های مقاومتی را بتوانیم به هم ارتباط دهیم. پس واضح است که نیاز به مقیاسی استاندارد برای ادوات اندازه‌گیری درجه حرارت داریم.

۲-۱۱ مقیاسات درجه حرارت

مقیاس معمول برای تعیین درجه حرارت در سیستم SI، مقیاس سلسیوس است. این مقیاس را قبلاً سانتیگراد می‌نامیدند ولی اکنون به یاد آورده سلسیوس منجم سوئدی (1701-1744) که این مقیاس را پیشنهاد کرد، آن را درجه سلسیوس می‌نامند. تا ۱۹۵۴ این مقیاس بر دو نقطه‌ی یخ (انجماد آب) و نقطه‌ی بخار آب بنا نهاده شده بود. درجه حرارت نقطه یخ را درجه حرارت مخلوط آب و یخ در حال تعادل با هوای اشباع در فشار 1 atm تعریف می‌کنیم. درجه حرارت نقطه‌ی بخار آب درجه حرارتی است که در آن آب و بخار در فشار 1 atm (0.101 325 MPa) با هم در تعادلند. در مقیاس سلسیوس این دو نقطه با 0 و 100 مشخص می‌گردد.

در این کتاب نماد $^{\circ}\text{C}$ نشان‌دهنده‌ی مقیاس سلسیوس است. (نماد مقیاس سلسیوس دارای علامت درجه نیز می‌باشد زیرا حرف C به تنهایی، نشانگر کولمب که واحد شارژ الکتریکی در سیستم آحاد SI است می‌باشد) نماد T برای نشان دادن درجه حرارت در تمام مقیاس‌هاست.

در دهمین کنفرانس CGPM در سال ۱۹۵۴، مقیاس سلسیوس بر اساس یک نقطه‌ی ثابت منفرد و مقیاس درجه حرارت گاز ایدآل اصلاح شد. نقطه‌ی ثابت منفرد، نقطه‌ی سه گانه آب (حالتی که در آن فازهای جامد، مایع و بخار آب در حال تعادل وجود دارند) می‌باشد. مقدار هر درجه بر حسب مقیاس درجه حرارت گاز ایدآل تعریف می‌شود که در فصل ۷ ارائه خواهد شد. ویژگی اصلی این مقیاس جدید یک نقطه‌ی ثابت منفرد و تعریف مقدار هر درجه است. نقطه سه گانه آب دارای مقدار 0.01°C است. در این مقیاس نقطه‌ی بخار را به‌طور تجربی معادل 0 و 100.00°C یافته‌اند و لذا توافق اساسی بین مقیاس قدیم و جدید وجود دارد.

باید به این نکته اشاره کنیم که ما هنوز مقیاسی مطلق برای درجه حرارت را مورد توجه قرار نداده‌ایم. احتمال وجود چنین مقیاسی از قانون دوم استنتاج می‌شود که در فصل ۷ مورد بررسی قرار می‌گیرد. براساس قانون دوم ترمودینامیک مقیاس درجه

حرارتی را که مستقل از ماده دماسنج است می توان تعریف کرد. از این مقیاس مطلق معمولاً به عنوان مقیاس درجه حرارت ترمودینامیکی یاد می شود.

مقیاس مطلق را که با مقیاس سلسیوس ارتباط دارد مقیاس کلوین می نامند (به افتخار ویلیام تامسون، ۱۸۲۴-۱۹۰۷ که مشهور به لرد کلوین بوده است). این مقیاس را با نماد K (بدون نماد درجه) نشان می دهیم و رابطه ی آن با مقیاس سلسیوس به صورت زیر است.

$$K = ^\circ C + 273.15 \quad (۲-۴)$$

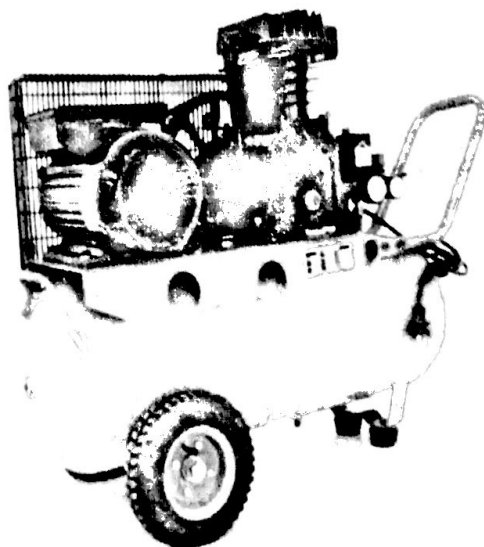
در سال ۱۹۶۷، CGPM کلوین را معادل $\frac{1}{273.15}$ درجه حرارت نقطه ی سه گانه آب تعریف کرد. اکنون مقیاس سلسیوس بر حسب معادله ی بالا تعریف می گردد، نه بر اساس تعریف اخیر.

تعدادی از مقیاس های درجه حرارت تجربی برای استاندارد کردن اندازه گیری و کالیبراسیون در اواخر دهه ۷۰ ایجاد و مطرح شده است. جدیدترین این مقیاس ها، مقیاس درجه حرارت جهانی ۱۹۹۰ یا ITS-90 می باشد. این مقیاس بر مبنای تعدادی نقاط تکرارپذیر و سهل الحصول بنا نهاده شده اند که مقادیر عددی معینی به درجه حرارت ها می دهند و در عین حال روابط خاص ارتباط دهنده مقادیر قرائت شده توسط ترمومترهای خاص برای ایجاد رابطه بین نقاط ثابت معین نیز مطرح شده است. جزئیات ITS-90 در این کتاب مطرح نمی شود و متذکر می شویم که این مقیاس ابزاری عملی برای برقراری اندازه گیری هایی است که نزدیک مقیاس درجه حرارت مطلق ترمودینامیکی هستند.

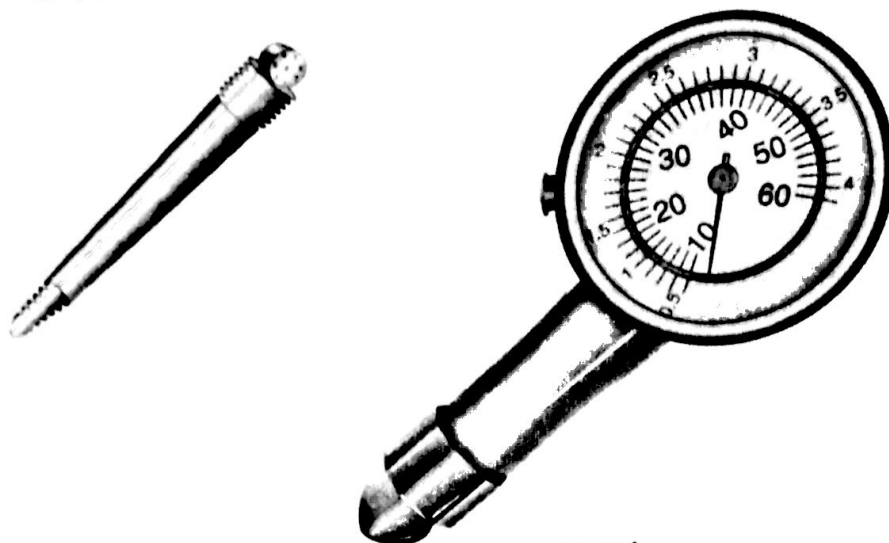
۲-۱۲ کاربردهای مهندسی

در کاربردهای مربوط به کنترل حد یا کنترل فرایندها، از فشار استفاده می شود. در اکثر موارد، این فشار، فشار نسبی است. برای مثال، یک مخزن ذخیره دارای یک نشان دهنده فشار است تا نشان دهد چه مقدار به پر شدن مخزن باقی مانده است، همچنین شاید دارای یک شیر اطمینان فشار نیز باشد تا چنانچه فشار به بیشتر از مقدار تعیین شده برسد، این شیر باز شود و مقداری از مواد درون مخزن تخلیه گردد. در شکل (۲-۱۷) یک مخزن هوا با کمپرسور روی آن نشان داده شده است، از این دستگاه قابل حمل برای به حرکت درآوردن ابزارهای بادی (از قبیل دریل های حفاری) استفاده می شود. هنگامی که فشار به کمتر از مقدار تعیین شده برسد، یک فشارسنج نسبی موجب تحریک و شروع به کار کمپرسور می گردد و هنگامی که فشار به مقدار حد بالا رسید، کمپرسور از مدار خارج خواهد شد.

فشارسنج دوتایی



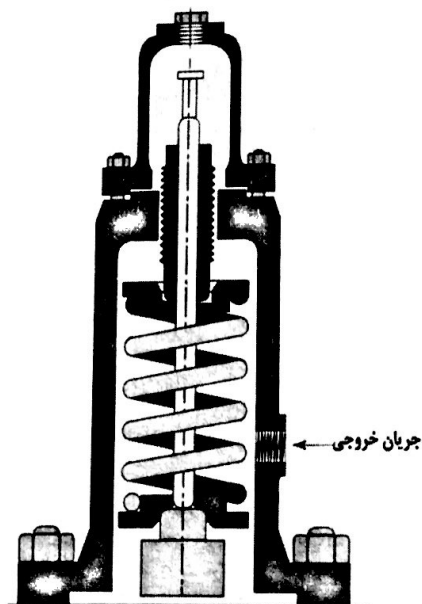
شکل ۲-۱۷ کمپرسور و مخزن هوا



شکل ۱۸-۲ فشارسنج لاستیک خودرو

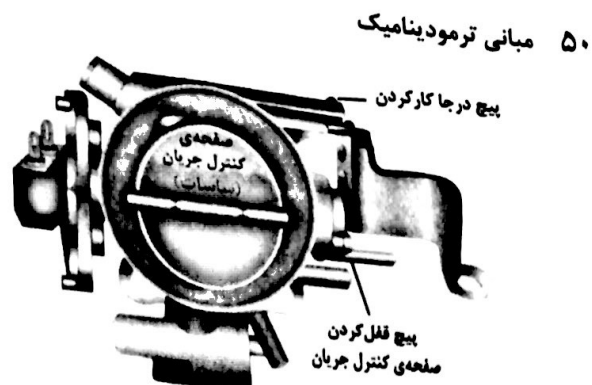
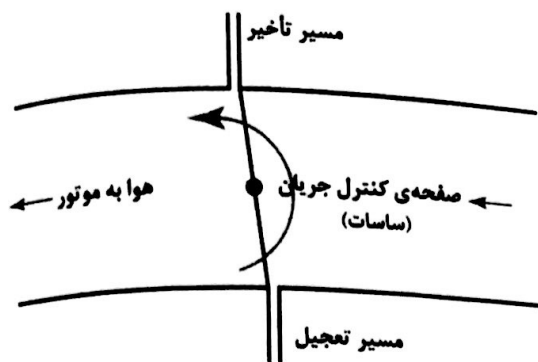
فشارسنج لاستیک خودرو که در شکل (۲-۱۸) دیده می‌شود به ساقه‌ی شیر موجود در روی لاستیک متصل می‌گردد. برخی از فشارسنج‌ها، دارای خروجی دیجیتال هستند. فشار درون لاستیک‌ها از نظر ایمنی و دوام لاستیک‌ها، اهمیت دارند. اگر فشار به مقدار قابل توجهی پایین باشد، لاستیک تغییر حالت می‌دهد و ممکن است بیش از حد گرم شود، و اگر فشار بسیار بالا باشد، مقدار سایش در مرکز لاستیک افزایش می‌یابد.

یک شیر اطمینان فشار مجهز به فنر در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است. با پیچاندن پیچ روی فنر، فنر فشرده خواهد شد و شیر در فشار بالاتری باز می‌گردد، و بالعکس. این شیر برای سیستم‌های بادی استفاده می‌گردد.



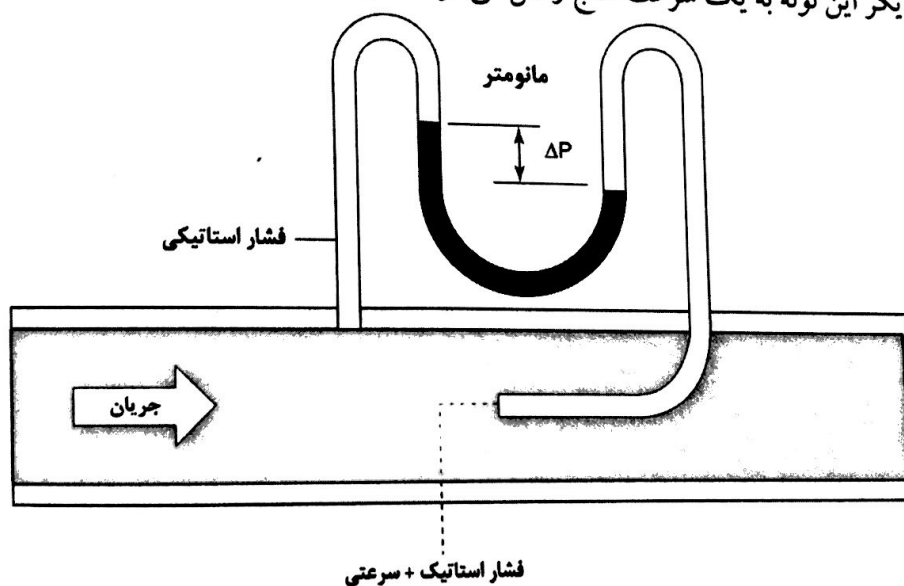
شکل ۱۹-۲ طرحواره‌ی یک شیر اطمینان فشار

هنگامی که صفحه‌ی کنترل (ساسات) موجود در سیستم مکش یک موتور خودرو، مقدار عبور جریان را محدود کند (شکل ۲-۲۰)، خلاء ایجاد شده در پشت آن توسط یک فشارسنج اندازه‌گیری می‌گردد و یک سیگنال به کنترل رایانه‌ای خودرو ارسال می‌شود. کمترین مقدار فشار مطلق (بیشترین خلاء) هنگامی رخ می‌دهد که موتور در حال درجا کار کردن است و بیشترین فشار (کمترین خلاء) مربوط به زمانی است که موتور در حالت بازبودن صفحه‌ی کنترل جریان (ساسات) کار می‌کند. در شکل (۲-۲۰) صفحه‌ی کنترل جریان (ساسات) در حالت کاملاً بسته قرار دارد.



شکل ۲۰-۲ کنترل مکش در یک موتور خودرو

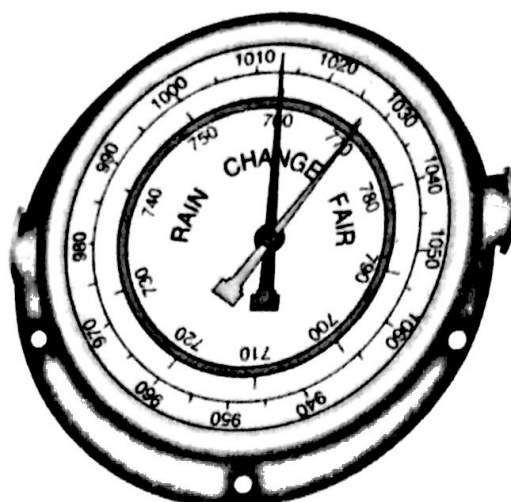
همان گونه که در شکل (۲۰-۲) به صورت طرحواره نشان داده شده است، از اختلاف فشار ΔP می‌توان برای اندازه‌گیری مستقیم مقدار سرعت جریان استفاده کرد. این اثر را هنگامی حس می‌کنید که دست خود را از پنجره‌ی خودرو بیرون بیاورید. در این حالت، بر سمت روبه جلوی دست خود فشار بیشتری را از سمت پشت دست خود حس می‌کنید و یک نیروی خالص بر دست شما وارد می‌گردد. تحلیل هندسی چنین فرایندهایی در فصل نهم، بسط و نمایش داده خواهد شد. در یک قایق تندرو، انتهای یک لوله‌ی کوچک به سمت جلوی قایق قرار می‌گیرد تا فشار ناشی از سرعت نسبی قایق و آب را حس کند. انتهای دیگر این لوله به یک سرعت سنج وصل می‌شود تا سیگنال فشار را به یک نمایشگر انتقال دهد.



شکل ۲۱-۲ طرحواره‌ی اندازه‌گیری سرعت جریان

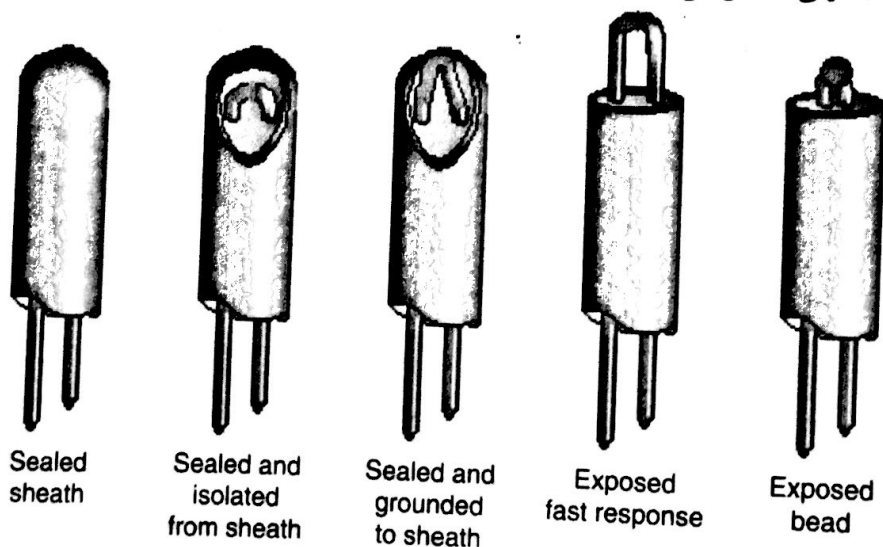
بارومتر نشان داده شده در شکل (۲۰-۲۲) مقدار فشار مطلق را اندازه‌گیری می‌گیرد و برای پیش‌بینی شرایط آب و هوایی کاربرد دارد. این بارومتر دارای یک حباب یا فانوسه‌ی فلزی است که با توجه به مقدار فشار جو منبسط یا منقبض می‌شود. مقدار فشار توسط یک عقربه‌ی مکانیکی یا توسط یک خازن برقی که در آن فاصله‌ای بین دو صفحه تغییر می‌کند، اندازه‌گیری می‌گردد.

گونه‌های متعددی از وسایل برای اندازه‌گیری دما استفاده می‌شوند. شاید آشناترین این وسایل، دماسنج‌های شیشه‌ای حاوی مایع باشد که در آن معمولاً از جیوه استفاده می‌شود. چون با افزایش دما، مقدار چگالی مایع کاهش می‌یابد، ارتفاع ستون مایع نیز متناسب با آن افزایش خواهد یافت. با توجه به حدود دمایی که باید اندازه‌گیری شود، از مایعات دیگر نیز در چنین دماسنج‌هایی استفاده می‌گردد.

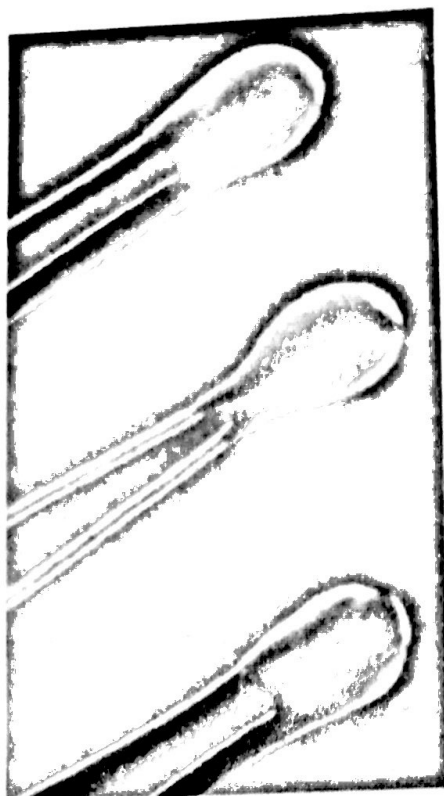


شکل ۲۲-۲ بارومتر فشار مطلق

دو نوع از تجهیزات متداول برای اندازه‌گیری دما، ترموکوپل‌ها و ترمیستورها هستند که نمونه‌هایی از آنها به ترتیب در شکل‌های (۲-۲۳) و (۲-۲۴) نمایش داده شده است. یک ترموکوپل متشکل از یک زوج اتصال بین دو فلز غیرهمسان است که یک پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) را تولید می‌کند و با افزایش اختلاف دمای بین دو اتصال، مقدار این ولتاژ افزایش خواهد یافت. یک اتصال در یک دمای مشخص مرجع (مثلاً یک حمام یخ) نگه داشته می‌شود و بنابراین، ولتاژ اندازه‌گیری شده نمایانگر دمای اتصال دیگر خواهد بود. برای محدوده‌های دمایی مختلف، از ترکیب‌های گوناگون فلزی استفاده می‌شود و ابعاد نقاط اتصال، کوچک نگه داشته می‌شود تا زمان پاسخ‌دهی، کوتاه باشد. در ترمیستورها، مقدار مقاومت الکتریکی آنها نسبت به درجه حرارت، تغییر می‌کند. بنابراین، اگر یک جریان مشخص از درون ترمیستور عبور کند، مقدار ولتاژ در دو طرف آن متناسب با مقاومت خواهد بود. اگر این ترمیستور به صورت یک پل در یک وسیله اندازه‌گیری پیش‌بینی شده باشد، کیفیت سیگنال خروجی بهبود خواهد یافت. سیگنال کوچک خروجی از این حسگرها، تقویت و بزرگتر می‌شوند به گونه‌ای که یک وسیله اندازه‌گیری می‌تواند آن را نشان دهد و یا این سیگنال به یک سیستم کنترلی یا رایانه فرستاده شود. اندازه‌گیری دما با دقت بالا نیز به همین روش ولی با استفاده از دماسنج‌هایی از جنس مقاومت پلاتینی انجام می‌گردد. بخش عظیمی از ITS-90 (از 13.8033K تا 1234.93K) به همین روش اندازه‌گیری شده است. دماهای بالاتر را با توجه به مشاهده شدت تشعشع طیف‌های مرئی، تعیین می‌کنند.



شکل ۲۳-۳ ترموکوپل‌ها



شکل ۲۴-۲ ترمیستورها

مقدار دما را می توان به صورت غیر مستقیم و توسط اندازه گیری یک فشار خاص نیز تعیین کرد. اگر فشار بخار (که در فصل سوم بررسی خواهد شد) دقیقاً تابعی از دما باشد، آنگاه این فشار می تواند نشان دهنده ی مقدار دما باشد. همچنین، در شرایط خاصی، از یک دماسنج گازی حجم ثابت (که در فصل هفتم بررسی می شود) و از طریق اندازه گیری مجموعه هایی از فشار، می توان برای تعیین دما استفاده کرد.

خلاصه

سیستم ترمودینامیکی را به عنوان حجم کنترل معرفی کردیم که برای یک جرم ثابت، جرم کنترل نامیده می شود چنین سیستمی می تواند از سایر اجزاء جدا شود و جرمی و اندازه حرکت یا انرژی را با محیط اطراف خود تبادل نمی کند. سیستم بسته در مقابل سیستم باز به قابلیت تبادل به محیط اطراف خود برمی گردد. اگر خواص برای یک ماده تغییر کند، حالت تغییر می کند و فرآیند رخ می دهد. وقتی ماده ای چند فرآیند را طی می کند و به حالت اولیه خود برمی گردد، یک سیکل را طی کرده است.

آحاد اولیه ترمودینامیک و خواص فیزیکی را متذکر شدیم و اغلب آنها در جدول (A-۱) مطرح شده اند. خواص ترمودینامیکی نظیر چگالی ρ ، حجم مخصوص، فشار P و درجه حرارت T با آحاد مربوطه معرفی شدند. خواص به شدتی، مستقل از جرم، (نظیر U) یا مقداری، متناسب با جرم (نظیر V) تقسیم می شوند. دانشجویان باید قبلاً با دیگر مفاهیم از فیزیک آشنا باشند نظیر نیرو F ، سرعت V و شتاب a . کاربرد قانون نیوتن در حرکت به تغییرات فشار استاتیک در ستون سیال و اندازه گیری فشار (مطلق و نسبی) توسط بارومترها و مانومترها می انجامد. مقیاس درجه حرارت معمولی و درجه حرارت مطلق معرفی شدند.