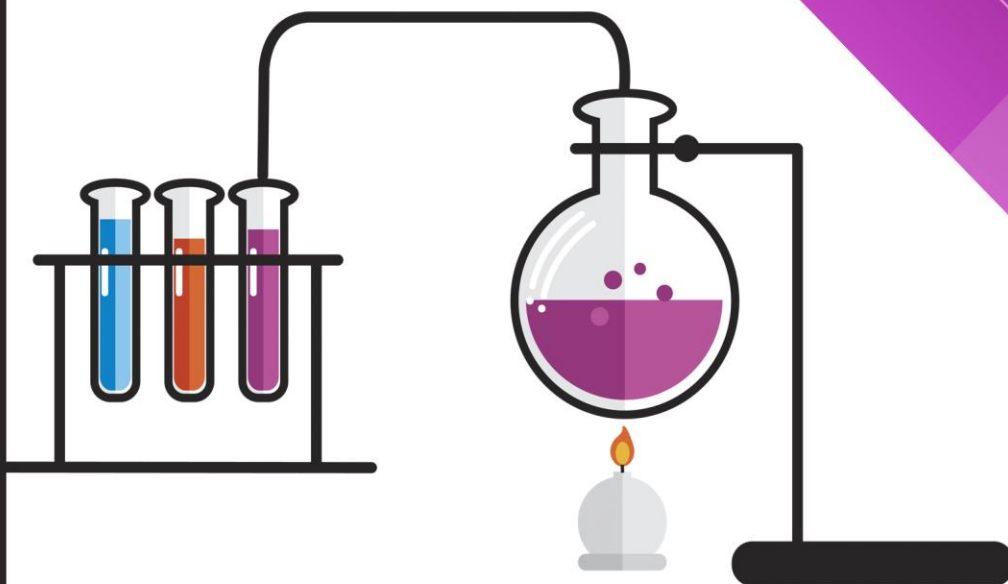


مبانی ترمودینامیک (ون وایلن)

کلاوس بورگناکه ریچارد ای سونتگ

دانشگاه میشیگان

مترجم: اسما و آلا بحرانی





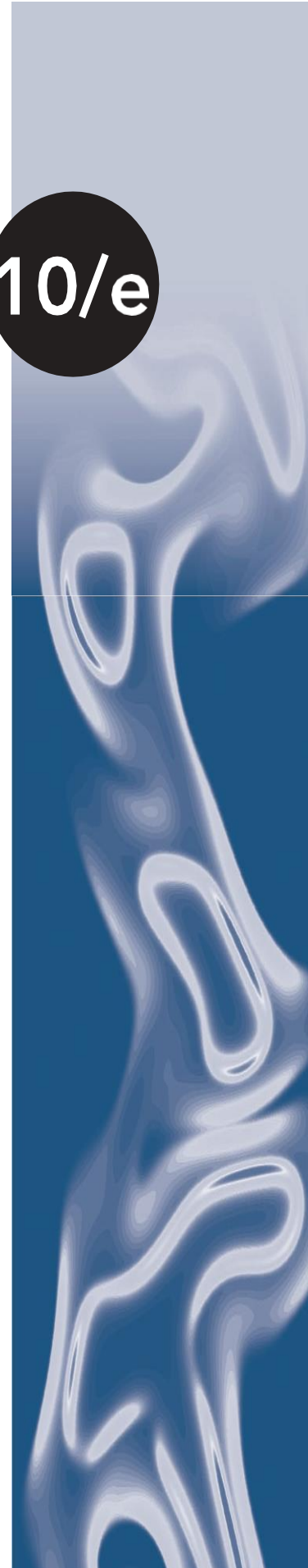
10/e

مبانی ترمودینامیک (ون وایلن)

کلاوس بورگناکه

ریچارد ای. سونتاک

دانشگاه میشیگان



شناسنامه کتاب

عنوان کتاب:	مبانی ترمودینامیک
مؤلف:	کلاوس بورگناکه ریچارد ای. سونتگ
مترجم:	اسما و آلا بحرانی
ویراستار:	فائزه بابایی
صفحه‌آرایی و طراحی جلد:	فائزه بابایی
عنوان انگلیسی کتاب:	Fund of Thermo

معاون و مدیر تحریریه	لوری روزاتون
سرپرست ارشد	دون فاولی
ویرایشگر کسب	لیندا راتس
مدیر تحریریه	جودی هاوارث
مدیر مدیریت محتوا	لیزا ووچیک
مدیریت محتوا	نیکول اوربان
کارشناس ارشد محتوا	نیکول ریپاسکی
ویرایشگر تولید	امیر باشا
محقق عکس	مایک کالن
اعتبار عکس جلد	© دکتر هونگ ایم

شرکت جان ویلی و پسران، در سال ۱۸۰۷ تاسیس شد، بیش از ۲۰۰ سال است که منبع ارزشمندی از دانش و درک بوده و به مردم در سراسر جهان کمک می‌کند تا نیازها و آرزوهای خود را برآورده سازند. شرکت ما بر اساس اصولی ساخته شده است که در قبال جوامعی که به آن‌ها خدمت می‌کنیم و جایی که زندگی و کار می‌کنیم مسئول است. در سال ۲۰۰۸، یک طرح شهروندی شرکتی را راه‌اندازی کردیم، تلاشی جهانی برای رسیدگی به چالش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و اخلاقی که در کسب و کار خود با آن روبه‌رو هستیم. از جمله مسائلی که ما به آن می‌پردازیم، تاثیر کربن، مشخصات کاغذ و تدارکات، رفتار اخلاقی در کسب و کار و در میان فروشندگان ما، و حمایت جامعه و خیریه است. برای کسب اطلاعات بیش‌تر، لطفاً از وب سایت ما دیدن کنید: www.wiley.com/go/citizenship.

داده‌های فهرست‌نویسی در انتشارات کتابخانه کنگره موجود است.

نام‌ها: بورگناکه، سی. (کلاوس)، نویسنده. | سونتگ، ریچارد ادوین، نویسنده.

عنوان: مبانی ترمودینامیک / کلاوس بورگناکه، ریچارد ای. سونتگ (دانشگاه میشیگان).

موضوع: LCSH: ترمودینامیک. | ترمودینامیک – کتاب‌های درسی



پیشگفتار

در این ویرایش دهم، هدف اصلی نسخه‌های قبلی حفظ شده است:

- ارائه یک روش اجرای جامع و دقیق از ترمودینامیک کلاسیک با حفظ دیدگاه مهندسی، و در انجام این کار
- زمینه‌سازی برای مطالعات بعدی در زمینه‌هایی مانند مکانیک سیالات، انتقال حرارت و ترمودینامیک آماری و همچنین
- آماده‌سازی دانشجو برای استفاده موثر از ترمودینامیک در عمل مهندسی.

این ارائه به طور خاص برای دانشجویان در نظر گرفته شده است. در یک توسعه منطقی، ایده‌ها و تعاریف جدید در زمینه‌ای که در ابتدا در آن قابل اجرا هستند، معرفی می‌شوند. مقدمه با یک مقدمه بسیار کوتاه سازماندهی شده است و به دنبال آن اولین خواص ترمودینامیکی تعریف شده است (فصل ۱) که به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند عبارتند از: فشار، حجم ویژه و دما. در فصل ۲، جداول خواص ترمودینامیکی معرفی شده است، اما فقط با توجه به این خواص قابل اندازه‌گیری. انرژی داخلی و آنتالپی در رابطه با معادله انرژی و قانون اول، آنتروپی با قانون دوم و توابع هلمهولتز و گیبس در فصل روابط ترمودینامیکی معرفی شده‌اند. بسیاری از مثال‌های واقعی از دنیای واقعی و موضوعات معاصر برای کمک به دانشجو در درک ترمودینامیک در کتاب گنجانده شده است، و مسائل در پایان هر فصل با دقت به ترتیب با موضوع مرتبط هستند و به همین ترتیب گروه‌بندی و شناسایی شده‌اند. فصل‌های اولیه به‌ویژه شامل تعداد زیادی مثال، تصاویر و مسائل است، و در سراسر کتاب، خلاصه‌های پایان فصل، و به دنبال آن مجموعه‌ای از مسائل مفهومی/مطالعه‌ای که باید برای دانشجویان مفید باشد، گنجانده شده است.

ویژگی‌های جدید و سازماندهی کلی کتاب

ویرایش دهم به طور کامل در قالب کتاب الکترونیکی قرار گرفته است که البته این کار از ویرایش نهم آغاز شده بود و در ویرایش دهم تکمیل شد. این کتاب الکترونیکی شامل یک متن کاملاً قابل جستجو، تعامل انتخابی، و دسترسی مستقیم راحت به مطالب تکمیلی است. عنصر تعاملی اولیه مجموعه‌ای از مسائل تمرینی جدید برای دانشجو است که دانشجویان می‌توانند راه‌حل‌ها را با یک کلیک یا ضربه ساده نشان دهند. این مسائل، مثال‌ها را فراتر از نمونه‌های موجود در متن فصل اصلی گسترش می‌دهند و به دانشجویان اجازه می‌دهند که فوراً دانش خود را آزمایش و بررسی کنند. فرمت دیجیتال همچنین دانشجویان را قادر می‌سازد تا به یادداشت‌ها و فایل‌های تکمیلی مستقیماً از متن دسترسی داشته باشند. (موارد تکمیلی نیز در وب سایت زیر موجود است:

www.wiley.com/go/borgnakke/FundofThermo

ساختار کتاب الکترونیکی شامل موارد زیر است:

- مسائل، هم شامل مسائلی برای تمرین دانشجو همراه با راه‌حل‌هایی به صورت یک منوی کشویی است و هم شامل تکالیف معمولی است.
 - خلاصه فصل و مجموعه مهارت‌ها شامل یک جدول راهنمای مطالعه جدید دانشجویان است
 - متن اصلی با فهرست مفهومی و معادلات برای هر فصل به پایان می‌رسد
 - منابع مطالعاتی اضافی، مانند مسائل اضافی دانشجو و یادداشت‌های نحوه انجام آن
 - پیوندهایی به پیوست‌ها و دیگر جداول مرجع
- این کتاب الکترونیکی به همراه یک نسخه چاپی خلاصه شده که شامل متن توضیحی اصلی برای فصل‌های ۱-۱۰ و ضمائم است نیز موجود است. مسائل در نسخه چاپی گنجانده نشده است.

فصل سازماندهی مجدد و تجدید نظر

بیش‌تر تجدید نظرهای انجام شده برای ویرایش دهم بر فشرده‌سازی برخی از ارائه‌ها و به حداقل رساندن تعداد مشتقات ریاضی مورد استفاده برای توسعه نظریه متمرکز بود. متن حاوی اطلاعاتی از جمله مشتقات است که به درک موضوع کمک می‌کند. بسیاری از مثال‌ها فشرده شده‌اند، و هنوز هم به عنوان نمونه‌هایی برای نشان دادن استفاده از واحدهای انگلیسی و همچنین شامل واحدها و تبدیل‌های آن‌ها بدون تکرار بیش از حد در ارائه هستند. بخش‌های کاربردی در پایان فصل‌ها تا حدودی گسترش یافته‌اند تا بر نمونه‌های دنیای واقعی دستگاه‌ها و فرآیندهایی تاکید شود که این موضوع در تجزیه و تحلیل و طراحی آن‌ها اهمیت دارد.

فصل ۱ هنوز حاوی مهم‌ترین مفاهیم از فیزیک و مفاهیم خواص ترمودینامیکی است که وضعیت ماده‌ای را که در تجزیه و تحلیل گنجانده شده است، توصیف می‌کند. به منظور داشتن ابزاری برای تجزیه و تحلیل، ترتیب

ارائه ویرایش‌های قبلی حفظ شده است، بنابراین رفتار مواد خالص در فصل ۲ با کمی گسترش و تفکیک حوزه-های مختلف برای رفتار فاز جامد، مایع و گاز ارائه شده است. اگرچه معرفی برنامه دارایی $CATT^3$ کنار گذاشته شده است، اما این برنامه همچنان از وب سایت ویلی مرتبط با این کتاب در دسترس است.

فصل ۳ شامل اولین تغییر عمده است که شامل شرح منابع انرژی مصرفی ما و تبدیل انرژی معمولی است که در جوامع مدرن استفاده می‌شود. همراه با ذکر منابع انرژی تجدیدپذیر و استفاده نهایی از انرژی، زمینه بهتری را برای تمام فرآیندها و جزئیات بعدی که مورد مطالعه قرار می‌دهیم فراهم می‌کند. شرح کوتاهی از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی و برخی از دستگاه‌های فرآیند انتقال انرژی نیز همراه با جداول کوچک با اعداد معمولی برای چنین دستگاه‌هایی ارائه شده است. دانشجویان معمولاً فقط ایده‌های مبهمی در مورد اندازه بسیاری از دستگاه‌ها و فرآیندهایی که مطالعه می‌کنیم دارند. این ماده تحت برنامه‌های کاربردی در فصل ۳ پس از معرفی معادله انرژی پوشش داده شده است. فصل‌های بعدی به تجزیه و تحلیل فرآیندها و دستگاه‌هایی می‌پردازند که به این موضوع مربوط می‌شوند و همچنین بخش ویژه‌ای از تکالیف را در صورت لزوم شامل می‌شوند. با برجسته‌سازی سریع این مطالب، می‌توان به عنوان یک عامل انگیزشی برای مطالعه مطالب بعدی که در آن استفاده و نیاز به نظریه آشکار می‌شود، عمل کرد. تکالیف پیشنهادی که می‌توانند در تکالیف این دسته گنجانده شوند نیز در وب‌سایت ویلی برای کتاب مورد نظر و برای کسانی که مایل به تاکید بر مبحث تبدیل انرژی و صرفه‌جویی هستند موجود است.

معادلات تعادل برای جرم، تکانه، انرژی و آنتروپی از همان قالب پیروی می‌کنند تا یکنواختی در اصول اولیه را نشان دهند و مفهوم را قابل درک کنند و آن را به خاطر بسپارند. همچنین به همین دلیل است که از نام معادله انرژی و معادله آنتروپی برای قانون اول و دوم ترمودینامیک استفاده می‌کنیم تا تاکید کنیم که آن‌ها اعتبار جهانی دارند نه تنها در زمینه ترمودینامیک استفاده می‌شوند، بلکه برای همه موقعیت‌ها و زمینه‌های تحصیلی بدون استثنا اعمال می‌شوند. واضح است که موارد خاص نیاز به پسوندهایی دارند که در این متن پوشش داده نشده است، اما تعدادی از آن‌ها در فصل ۱۲ همراه با روابط خصوصیات ترمودینامیکی اضافه شده است.

معادله انرژی اعمال شده برای یک حجم کنترل کلی از نسخه قبلی که شامل بخشی با دستگاه‌های چند جریانی بود، حفظ شده است. این کار مجدداً برای تقویت دانشجویان انجام می‌شود که تجزیه و تحلیل با اعمال اصول اولیه در سیستم‌های تحت بررسی انجام می‌شود. این به این معنی است که شکل واقعی ریاضی قوانین کلی از طرح‌ها و شکل‌های سیستم پیروی می‌کند و تجزیه و تحلیل مربوط به یافتن فرمول مناسب در متن نیست. یک

جدول کوچک در پایان اضافه می‌شود تا دانشجویان کمی از مقدار نسبی دستگاه‌های جریان را از نظر انتقال انرژی در واحد جرم درک کنند.

توسعه قبلی قانون دوم ترمودینامیک در فصل ۵ گسترش یافته است تا نابرابری کلازیوس را در بر گیرد. سپس این فصل شامل تمام عبارات قبلی قانون دوم است، بنابراین فصل ۶ منحصرأ به معادله آنتروپی می‌پردازد. برای نشان دادن کلیت معادله آنتروپی، یک مثال کوچک با استفاده از معادلات انرژی و آنتروپی برای موتورهای حرارتی و پمپ‌های حرارتی نوشته شده است، بنابراین می‌توان نشان داد که ارائه تاریخی قانون دوم در فصل ۵ را می‌توان به طور کامل با فرضیه معادله آنتروپی و وجود مقیاس دمای مطلق جایگزین کرد. راندمان چرخه کارنو و این واقعیت که دستگاه‌های واقعی بازده کم‌تری دارند، از قوانین عمومی اولیه ناشی می‌شود. همچنین جهت انتقال حرارت از یک دامنه با دمای بالاتر به یک حوزه با دمای پایین‌تر به دلیل نیاز به تولید آنتروپی مثبت توسط معادله آنتروپی پیش‌بینی می‌شود. این‌ها نمونه‌هایی هستند که اعمال قوانین عمومی را برای موارد خاص تمرین می‌کنند و درک دانشجویان از مطالب را بهبود می‌بخشند.

بخش کاربرد در فصل ۷ کمی گسترش یافته است تا شامل توضیحاتی در مورد اینترکولرها و گرم‌کن‌ها به عنوان وسیله‌ای برای حفظ انرژی و بهبود بهره‌وری باشد. راندمان دستگاه نیز در این جا به عنوان کاربرد معادله آنتروپی قرار داده شده است و کل این بخش حدود ۳۰ مسئله تکلیف مرتبط با آن دارد. خلاصه کلی تحلیل حجم کنترل حذف شده است و به صورت آنلاین از وب سایت ویلی در دسترس خواهد بود.

اکسرژی در فصل ۸ برای کاهش دستکاری ریاضی معادلات کمی کوتاه شده است و یک بخش کاربردی کوچک با کارایی قانون دوم برای چرخه‌ها اضافه شده است تا جنبه مهمی از استفاده از آن را نشان دهد. بحث مفصل‌تر در این مورد اکنون به عنوان یک بخش جداگانه در فصل ۹ گنجانده شده است.

فصل‌های چرخه‌ها با جزئیات کمی برای چرخه‌های خاص گسترش می‌یابند و برخی پسوندها نشان داده می‌شوند تا تئوری را با کاربردهای صنعتی با سیستم‌های واقعی پیوند دهند. عبارت راندمان چرخه اکنون برای چرخه‌های استرلینگ، اتکینسون و میلر گنجانده شده است تا نشان دهد که همه آن‌ها به نسبت تراکم و انبساط مرتبط هستند.

روابط خصوصیات در فصل ۱۲ به روز شده است تا شامل اثرات رقیق‌سازی و فوگاسیته برای مخلوط‌ها باشد و به عنوان یک کاربرد خاص اثر کشش سطحی تحت برنامه‌های مهندسی گنجانده شده است. این تجدید نظر هم-چنین روش قدیمی‌تر برای توسعه جداول ترمودینامیکی را حذف کرده است و اکنون فقط توسعه مبتنی بر تابع هلمهولتز را شامل می‌شود.

مواد مبتنی بر وب

اگرچه بیش‌تر مطالب تکمیلی برای این نسخه از کتاب مستقیماً یا از طریق پیوندهای کتاب الکترونیکی قابل دسترسی است، اما اسناد متعددی نیز از وب‌سایت ویلی برای کتاب موجود است. مطالب زیر از طریق پیوندهایی به سایت همراه کتاب برای دانشجویان در دسترس خواهد بود و مطالب اضافی که برای مدرسان دوره رزرو شده است نیز در سایت همراه کتاب ویلی در دسترس خواهد بود.

نکاتی برای ترمودینامیک کلاسیک. مجموعه بسیار کوتاهی از یادداشت‌ها است که آنالیز پایه ترمودینامیکی را با قوانین کلی (معادلات تداوم، انرژی و آنترپی) و برخی از قوانین خاص مانند معادلات دستگاه، معادلات فرآیند و غیره پوشش می‌دهد. این برای دانشجویانی که دوره را مرور می‌کنند مفید است. برای آماده‌سازی امتحان مفید است زیرا ارائه جامعی را به صورت فشرده ارائه می‌دهد.

تجزیه و تحلیل حجم کنترل عمومی. این یک روش گام به گام کوتاه است که در پایان فصل ۷ در ویرایش هشتم بود.

مجموعه گسترده‌ای از مثال‌های مطالعه. این سند شامل مجموعه‌ای به روز شده از مثال‌های اضافی برای مطالعه دانشجویان است. این مثال‌ها نسبت به مثال‌های چاپ شده در کتاب کمی طولانی‌تر و با جزئیات بیش‌تری در راه‌حل نوشته شده‌اند و بنابراین برای خودآموزی عالی هستند. حدود ۸ مسئله واحد SI با ۳-۴ مسئله واحد انگلیسی برای هر فصل وجود دارد که بیش‌تر مطالب در فصول را پوشش می‌دهد.

نحوه یادداشت‌ها. برای هر گروه از حوزه‌های موضوعی تحت پوشش کتاب، سوالات متداول همراه با پاسخ‌های کامل گنجانده شده است. جای دادن همه این سوالات در کتاب چالش‌برانگیز خواهد بود. مثال‌ها عبارتند از:

چگونه می‌توانم وضعیت خاصی را برای $R-410A$ در جداول بخش B پیدا کنم؟

چگونه می‌توانم درون‌یابی خطی ایجاد کنم؟

آیا باید از انرژی داخلی (u) یا آنتالپی (h) در معادله انرژی استفاده کنم؟

چه زمانی می‌توانم از قانون گاز ایده‌آل استفاده کنم؟

مطالب مدرس. مجموعه‌ای از اسلایدهای ارائه در قالب پاورپوینت موجود است. این‌ها همچنین شامل نسخه‌های اصلاح شده برخی از نمونه‌های کتاب است که از جداول گاز ایده‌آل برای گرمای خاص استفاده می‌کنند و بالعکس. نمونه‌های واحد انگلیسی اضافی نیز به عنوان کپی از مسائل واحد SI فهرست شده‌اند و در صورت نیاز به دلیل جداول اصلاح می‌شوند. سایر مطالب ارائه شده برای مربیان شامل برنامه درسی و تکالیف معمولی برای ترم اول و دوم در ترمودینامیک است. علاوه بر این، نمونه‌هایی از دو آزمون معمولی یک ساعته میان‌ترم و یک امتحان نهایی دو ساعته برای کلاس‌هایی که معمولاً ترمودینامیک I و ترمودینامیک II را مطالعه می‌کنند ارائه شده است.

ویژگی‌هایی که از نسخه ۹ وجود داشته است:

سوال درون متنی

سوالات مفهومی درون متنی در متن بعد از بخش‌های اصلی مطالب ظاهر می‌شوند تا به دانشجویان اجازه دهند تا در مورد مطالب ارائه شده تأمل کند. این سوال‌ها به عنوان خودآزمایی سریع برای دانشجویان در نظر گرفته شده‌اند یا توسط معلمان به عنوان بررسی‌های پایانی برای هر یک از موضوعات تحت پوشش استفاده می‌شوند و بیش‌تر آن‌ها بر درک مطالب بدون واقعیت‌های حافظه تأکید دارند.

اپلیکیشن‌های مهندسی پایان فصل

آخرین بخش در هر فصل، به نام اپلیکیشن‌های مهندسی، با تصاویر به روز شده و چند مثال دیگر تجدید نظر شده است. این بخش‌ها در نظر گرفته شده‌اند تا مطالب انگیزشی باشند که عمدتاً نمونه‌هایی آموزنده از نحوه استفاده از این فصل خاص در مهندسی واقعی است.

خلاصه انتهای فصل با مفاهیم و فرمول‌های اصلی

خلاصه‌های انتهای فصل، مروری بر مفاهیم اصلی فصل ارائه می‌کنند، هم‌چنین دارای کلمات کلیدی نیز هستند که برجسته شده و به عنوان مواد تکمیلی به طور مستقیم از کتاب الکترونیکی قابل دسترس هستند. تنها بخشی که هنوز با مواد فصل همراه است، فهرست گسترده‌ای از مفاهیم کلیدی و فرمول‌ها از جمله اعداد معادله است. فهرست مهارت‌هایی که دانشجو پس از مطالعه فصل باید به آن‌ها تسلط داشته باشد همراه با جدولی از ارجاعات دقیق به مثال‌ها، معادلات و تکالیف برای هر مهارت خاص ارائه شده است. این مفاهیم و فرمول‌های اصلی پس از خلاصه برای مرجع گنجانده شده است و مجموعه‌ای از آن‌ها از طریق پیوندهای سایت همراه کتاب قابل دسترس خواهد بود. خلاصه اصلی تجزیه و تحلیل حجم کنترل عمومی از فصل ۷ حذف شده و همراه با مطالب آنلاین قرار داده شده است.

مسائل راهنمای مطالعه مفهومی

سوالات مفهومی اضافی به عنوان مسئله در بخش اول مسائل تکلیف پایان فصل قرار داده شده است. این مسائل شبیه به سوالات مفهومی درون متنی هستند و به عنوان مسائل راهنمای مطالعه برای هر فصل عمل می‌کنند، آن‌ها کمی بیش‌تر شبیه مسائل مربوط به تکالیف شامل اعداد هستند تا بررسی سریع مطالب فصل را ارائه دهند. این‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که کوتاه باشند و به سمت یک مفهوم بسیار خاص هدایت شوند. یک دانشجو می‌تواند به همه این سوالات پاسخ دهد تا سطح درک خود را ارزیابی کند و تعیین کند که آیا هر یک از موضوعات نیاز به مطالعه بیش‌تر دارد یا خیر. این مسائل هم‌چنین برای استفاده همراه با بقیه تکالیف در تکالیف مناسب هستند و در راهنمای راه‌حل گنجانده شده‌اند.

تکالیف

تعداد تکالیف به طور قابل توجهی کاهش یافته است، اما هم‌چنان شامل مسائل مقدماتی در تمام جنبه‌های مطالب فصل است، این مسائل با توجه به بخش‌های موضوعی فهرست شده‌اند تا انتخاب را بر اساس پوشش خاصی که ارائه شده آسان‌تر کنند، و معمولاً با پیچیده‌تر شدن و درگیر شدن آن‌ها به شیوه‌ای پیشرونده سازماندهی می‌شوند. مسائل بعدی در بسیاری از بخش‌ها به فرآیندها و دستگاه‌های صنعتی واقعی مربوط

می‌شوند و تحت اپلیکیشن‌ها یا صرفه‌جویی انرژی با مسائل جامع‌تر حفظ و به عنوان مسائل مروری گروه‌بندی می‌شوند. به منظور صرفه‌جویی در فضا، مسائل طولانی‌تر و دقیق‌تر حذف شده است. مسائل جدید و اصلاح شده برای مربیان محفوظ است و در وب سایت ویلی برای کتاب موجود است.

جداول

جداول مواد از ویرایش هشتم با مبرد جایگزین $R-410A$ که جایگزین $R-22$ و دی اکسید کربن است که یک مبرد طبیعی است منتقل شده است. چندین ماده دیگر در نرم‌افزار گنجانده شده است.

انعطاف‌پذیری در پوشش و دامنه

در این کتاب تلاش شده تا مبانی ترمودینامیک کلاسیک به شیوه‌ای نسبتاً کامل پوشش داده شود و به نظر من، این کتاب آمادگی کافی برای مطالعه کاربردهای ترمودینامیک در زمینه‌های مختلف حرفه‌ای و همچنین برای مطالعه موضوعات پیچیده‌تر ترمودینامیک مانند موضوعات مربوط به مواد، پدیده‌های سطحی، پلاسماها و برودتی را ارائه می‌دهد. من همچنین می‌دانم که تعدادی از کالج‌ها یک درس مقدماتی در ترمودینامیک برای همه بخش‌ها ارائه می‌دهند و سعی کرده‌اند آن موضوعاتی را پوشش دهند که بخش‌های مختلف ممکن است بخواهند در چنین دوره‌ای گنجانده شوند. با این حال، از آنجایی که دوره‌های خاص به طور قابل توجهی از نظر پیش نیازها، اهداف خاص، مدت زمان و پیشینه دانشجویان متفاوت است، مطالب در بخش‌ها، به ویژه در فصل-های بعدی مرتب شده است، بنابراین انعطاف‌پذیری قابل توجهی در مقدار مطالبی که ممکن است پوشش داده شود، وجود دارد.

این کتاب شامل اطلاعاتی بیش از آنچه برای یک دوره دو ترم لازم است، می‌باشد و به مربیان در انتخاب موضوعاتی که باید تدریس کنند، انعطاف‌پذیری می‌دهد. وب‌سایت ناشر را می‌توانید در www.wiley.com/go/borgnakke/FundofThermo بیابید. در آنجا، مدرسان می‌توانند درباره ساختارها و برنامه‌های دوره‌های احتمالی و همچنین مطالب اضافی که به عنوان محتوای وب نامیده می‌شود، توصیه‌هایی بیابند، که برای منعکس کردن جدیدترین اشتباهات کتاب به‌روزرسانی می‌شود.

انعطاف‌پذیری با مسائل ساده و گسترده HW برای برآوردن نیازهای عمق و زمان نمونه‌هایی از این سوال گرمای ویژه ثابت است که با گرمای ویژه متغیر (جدول گاز) گسترش یافته است، سیلندر پیستونی شامل جرم فلز علاوه بر جرم موجود است، برخی از مسائل نیز در واحدهای انگلیسی وقتی آنتروپی به تجزیه و تحلیل اضافه می‌شود، بسیاری از مسائل فصل‌های قبلی تکرار می‌شوند.

سپاسگزاری‌ها

من با قدردانی از پیشنهادات، مشاوره‌ها و تشویق بسیاری از همکاران، چه در دانشگاه میشیگان و چه در جاهای دیگر، استقبال می‌کنم. این کمک برای من در طول نگارش این نسخه بسیار مفید بوده است، همان‌طور که در مورد نسخه‌های قبلی کتاب نیز چنین بود. هم دانشجویان مقطع کارشناسی و هم فارغ‌التحصیلان از کمک خاصی برخوردار بوده‌اند، زیرا سوالات ادراکی آن‌ها اغلب باعث می‌شود که بخشی از متن را بازنویسی یا در آن تجدید نظر کنم، یا سعی کنم روشی بهتر برای ارائه مطالب به منظور پیش‌بینی چنین سوالات یا مسائلی ایجاد کنم. در نهایت تشویق و شکیبایی همسر و خانواده‌ام در این مسیر برایم بسیار ضروری بوده و زمان نوشتن را با وجود فشارهای پروژه دلدیز و لذت بخش کرده است. از تعدادی از همکارانم در موسسات دیگر که نسخه‌های قبلی کتاب را بررسی کرده و نظرات خود را در مورد اصلاحات ارائه کرده‌اند تشکر ویژه می‌کنم. برخی از منتقدان عبارتند از

روحول امین، دانشگاه ایالتی مونتانا

ادوارد ای. اندرسون، دانشگاه فنی تگزاس

کوری برکلند، دانشگاه کانزاس

یوجین براون، موسسه پلی تکنیک ویرجینیا و دانشگاه ایالتی

سونگ کوون چو، دانشگاه پیتسبورگ

سارا کاد، دانشگاه ایالتی مونتانا

رام دویردی، دانشگاه ایالتی لوئیزیانا

فوکوین اگولفوپولوس، دانشگاه کالیفرنیا جنوبی

هری هاردی، دانشگاه ایالتی نیومکزیکو

هونگ هوانگ، دانشگاه ایالتی رایت

ساتیش کتکار، دانشگاه ایالتی وین

بوریس خوسید، موسسه فناوری نیوجرسی

جوزف اف. کامک، دانشگاه پوردو

روی دبلیو نایت، دانشگاه آبرن

دانیلا مایناردی، دانشگاه فنی لوئیزیانا

راندال مانتوفل، دانشگاه تگزاس، سن آنتونیو

جوزف پاورز، دانشگاه نوتردام

هری جی. ساور، جونیور، دانشگاه علم و صنعت میسوری

ج.ا. سخار، دانشگاه سینسیناتی

اهند سلیمان، دانشگاه کارولینای شمالی در شارلوت

رضا طوسی، دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، لانگ بیچ

توماس تواردوفسکی، دانشگاه وایدنر

اتیم یو. نست، دانشگاه کترینگ

یانها وو، دانشگاه ایالتی رایت

والتر یوئن، دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا

همچنین می‌خواهم از سردبیر کریس نلسون برای تشویق و کمک در طول تولید این نسخه تشکر کنم.

امیدوارم این کتاب به آموزش موثر ترمودینامیک به دانشجویانی که در طول شغل حرفه‌ای خود با چالش‌ها و فرصت‌های بسیار مهمی مواجه هستند کمک کند. نظرات، انتقادات و پیشنهادات شما نیز مورد قدردانی قرار خواهد گرفت و می‌توانید آن‌ها را در claus@umich.edu با من در میان بگذارید.

کلاوس بورگناکه

آن آربر، میشیگان

اکتبر ۲۰۱۸

فهرست

۴۵.....	مقدمه و پیشنیازها
۴۷.....	۱,۱ یک سیستم ترمودینامیکی و حجم کنترل
۵۱.....	۲,۱ نقاط دید ماکروسکوپی در مقابل میکروسکوپی
۵۲.....	۳,۱ خواص و حالت یک ماده
۵۳.....	۴,۱ فرآیندها و چرخه‌ها
۵۵.....	۵,۱ واحدها برای جرم، طول، زمان و نیرو
۵۹.....	۶,۱ حجم و چگالی خاص
۶۲.....	۷,۱ فشار
۷۲.....	۸,۱ انرژی
۷۶.....	۹,۱ تعادل گرمایی
۷۷.....	۱۰,۱ قانون صفر ترمودینامیک
۷۷.....	۱۱,۱ مقیاس دما
۷۹.....	۱۲,۱ کاربردهای مهندسی
۱۰۳.....	۲. خواص یک ماده خالص
۱۰۵.....	۱,۲ ماده خالص
۱۰۶.....	۲,۲ مرزهای فاز
۱۱۳.....	۳,۲ سطح P-v-T
۱۱۷.....	۴,۲ جداول خواص ترمودینامیکی
۱۲۱.....	۵,۲ حالت های دو فازی
۱۲۴.....	۶,۲ حالت های مایع و جامد

- ۷,۲ حالت بخار سوپرهیت ۱۲۶
- ۸,۲ حالت های گاز ایده آل ۱۳۰
- ۹,۲ ضریب تراکم پذیری ۱۳۵
- ۱۰,۲ معادلات حالت ۱۴۲
- ۱۱,۲ کاربردهای مهندسی ۱۴۳
- ۳ معادله انرژی و قانون اول ترمودینامیک ۱۸۴
- ۱,۳ معادله انرژی ۱۸۵
- ۲,۳ قانون اول ترمودینامیک ۱۸۹
- ۳,۳ تعریف کار ۱۹۱
- ۴,۳ کار انجام شده در مرز متحرک یک سیستم تراکم پذیر ساده ۱۹۸
- ۵,۳ تعریف گرما ۲۱۰
- ۷,۳ انرژی داخلی - یک خاصیت ترمودینامیکی ۲۱۴
- ۸,۳ تجزیه و تحلیل مسئله و تکنیک راه حل ۲۱۷
- ۹,۳ آنتالپی خاصیت ترمودینامیکی ۲۲۴
- ۱۰,۳ گرمای ویژه با حجم ثابت و فشار ثابت ۲۲۸
- ۱۱,۳ انرژی داخلی، آنتالپی و گرمای خاص گازهای ایده آل ۲۳۱
- ۱۲,۳ توزیع غیر یکسان حالت ها و توده ها ۲۴۰
- ۱۳,۳ فرآیند گذرا ۲۴۲
- ۱۴,۳ سیستم های عمومی که شامل کار می شوند ۲۴۶
- ۱۵,۳ کاربردهای مهندسی ۲۴۹
۴. تجزیه و تحلیل انرژی برای یک حجم کنترل ۲۹۹
- ۱,۴ حفظ جرم و حجم کنترل ۲۹۹

- ۲,۴ معادله انرژی برای یک حجم کنترل ۳۰۳
- ۳,۴ فرآیند حالت پایدار ۳۰۷
- ۴,۴ نمونه هایی از فرآیندهای حالت پایدار ۳۰۹
- ۵,۴ چندگانه-دستگاه های جریان ۳۲۶
- ۹,۴ فرآیند جریان گذرا ۳۲۹
- ۷,۴ کاربردهای مهندسی ۳۳۷
- ۵ قانون دوم ترمودینامیک ۳۶۶
- ۱,۵ موتورهای حرارتی و یخچال ۳۶۶
- ۳,۵ فرآیند برگشت پذیر ۳۷۸
- ۴,۵ عواملی که فرآیندها را برگشتناپذیر میکنند ۳۸۰
- ۵,۵ چرخه کارنو ۳۸۵
- ۶,۵ دو پیشنهاد در رابطه با کارایی یک چرخه کارنو ۳۸۷
- ۷,۵ مقیاس دمای ترمودینامیکی ۳۸۹
- ۸,۵ مقیاس دمای گاز ایده آل ۳۹۰
- ۹,۵ ماشینهای ایده آل در مقابل ماشینهای واقعی ۳۹۳
- ۱۰,۵ نابرابری کلازیوس ۳۹۸
- ۱۱,۵ کاربردهای مهندسی ۴۰۳
- ۶ آنتروپی ۴۳۷
- ۱,۶ آنتروپی - خاصیت یک سیستم ۴۳۷
- ۲,۶ آنتروپی یک ماده خالص ۴۴۰
- ۳,۶ تغییر آنتروپی در فرآیندهای برگشت پذیر ۴۴۳
- ۴,۶ رابطه خصوصیات ترمودینامیکی ۴۴۹

- ۵,۶ تغییر آنتروپی جامد یا مایع..... ۴۵۱
- ۶,۶ تغییر آنتروپی یک گاز ایده آل..... ۴۵۲
- ۷,۶ فرآیند پلی تروپیک برگشتپذیر برای یک گاز ایده آل..... ۴۵۸
- ۸,۶ تغییر آنتروپی یک جرم کنترلی در طول یک فرآیند برگشت ناپذیر..... ۴۶۳
- ۹,۶ تولید آنتروپی و معادله آنتروپی..... ۴۶۴
- ۱۰,۶ اصل افزایش آنتروپی..... ۴۶۸
- ۱۱,۶ آنتروپی به عنوان یک معادله نرخ..... ۴۷۳
- ۱۲,۶ برخی از نظرات کلی در مورد آنتروپی و آشوب..... ۴۷۹
- ۷ تجزیه و تحلیل آنتروپی برای یک حجم کنترل..... ۵۱۴
- ۱,۷ معادله آنتروپی برای یک حجم کنترل..... ۵۱۴
- ۲,۷ فرآیند حالت پایدار و فرآیند گذرا..... ۵۱۶
- ۳,۷ فرآیند تک جریانی حالت پایدار..... ۵۲۷
- ۴,۷ اصل افزایش آنتروپی..... ۵۳۴
- ۵,۷ کاربرد مهندسی، صرفه جویی در انرژی و کارایی دستگاه..... ۵۴۰
- ۸ اکسرژی..... ۵۷۰
- ۲,۸ اکسرژی و معادله تعادل آن..... ۵۸۷
- ۳,۸ کارایی قانون دوم..... ۵۹۴
- ۴,۸: کاربردهای مهندسی..... ۶۰۱
۹. قدرت و سیستمهای تبرید - با تغییر فاز..... ۶۳۲
- ۱,۹ مقدمهای بر سیستمهای قدرت..... ۶۳۳
- ۲,۹ چرخه رانکین..... ۶۳۵
- ۳,۹ اثر فشار و دما بر چرخه رانکین..... ۶۳۹

- ۴,۹ چرخه گرمایش مجدد ۶۴۴
- ۵,۹ چرخه احیاکننده و گرمکننده‌های آب تغذیه ۶۴۶
- ۶,۹ انحراف چرخه‌های واقعی از چرخه های ایده‌آل ۶۵۵
- ۷,۹ حرارت و توان ترکیبی: تنظیمات دیگر ۶۶۱
- ۸,۹ مقدمه‌های بر سیستمهای تبرید ۶۶۶
- ۹,۹ چرخه تبرید فشرده‌سازی بخار ۶۶۷
- ۱۰,۹ سیالات عامل برای سیستمهای تبرید فشرده‌سازی بخار ۶۷۰
- ۱۱,۹ انحراف چرخه تبرید فشرده‌سازی بخار واقعی از چرخه ایده‌آل ۶۷۲
- ۱۲,۹ تنظیمات چرخه تبرید ۶۷۵
- ۱۳,۹ چرخه تبرید جذبی ۶۷۹
- ۱۴,۹ تجزیه و تحلیل اکسرژی چرخه ها ۶۸۱
- ۱۰ سیستم قدرت و تبرید - سیالات گازی عامل ۷۰۹
- ۱,۱۰ چرخه های برق استاندارد هوا ۷۰۹
- ۳,۱۰ چرخه توربین گازی ساده با احیاکننده ۷۱۹
- ۴,۱۰ تنظیمات چرخه برق توربین گاز ۷۲۲
- ۵,۱۰ چرخه استاندارد هوا برای پیشران جت ۷۲۷
- ۶,۱۰ چرخه تبرید استاندارد هوا ۷۳۰
- ۷,۱۰ چرخ های توان موتور رفت و برگشتی ۷۳۴
- ۸,۱۰ چرخه اتو ۷۳۸
- ۹,۱۰ چرخه دیزل ۷۴۲
- ۱۰,۱۰ چرخه استرلینگ ۷۴۶
- ۱۱,۱۰ چرخه های اتکینسون و میلر ۷۴۸

- ۱۲,۱۰ چرخه ترکیبی نیرو و سیستم های تبرید ۷۵۳
- ۱۱ مخلوط های گازی ۷۸۵
- ۱,۱۱ ملاحظات عمومی و مخلوط گازهای ایده آل ۷۸۵
- ۲,۱۱ یک مدل ساده از یک مخلوط شامل گاز و بخار ۷۹۷
- ۳,۱۱ معادله انرژی اعمال شده در مخلوط گاز و بخار ۸۰۴
- ۴,۱۱ فرآیند اشباع آدیاباتیک ۸۰۷
- ۵,۱۱ کاربردهای مهندسی - دمای لامپ مرطوب و لامپ خشک و نمودار روانسنجی ۸۱۰
- ۱۲ روابط ترمودینامیکی ۸۴۰
- ۱,۱۲ معادله کلاپیرون ۸۴۱
- ۲,۱۲ روابط ریاضی برای یک مرحله همگن ۸۴۶
- ۳,۱۲ روابط ماکسول ۸۴۸
- ۴,۱۲ روابط ترمودینامیکی شامل آنتالپی، انرژی داخلی و آنتروپی ۸۵۲
- ۵,۱۲ انبساط حجمی و تراکمپذیری ایزوترمال و آدیاباتیک ۸۵۹
- ۶,۱۲ رفتار گاز واقعی و معادلات حالت ۸۶۲
- ۷,۱۲ نمودار کلی برای تغییرات آنتالپی در دمای ثابت ۸۶۹
- ۸,۱۲ نمودار کلی برای تغییرات آنتروپی در دمای ثابت ۸۷۳
- ۹,۱۲ رابطه دارایی برای مخلوط ها ۸۷۷
- ۱۰,۱۲ مدلهای مواد شبه خالص برای مخلوطهای گاز واقعی: ۸۸۲
- ۱۳ واکنشهای شیمیایی ۹۱۷
- ۱,۱۳ سوخت ها ۹۱۸
- ۲,۱۳ فرآیند احتراق ۹۲۴
- ۳,۱۳ آنتالپی تشکیل ۹۳۲

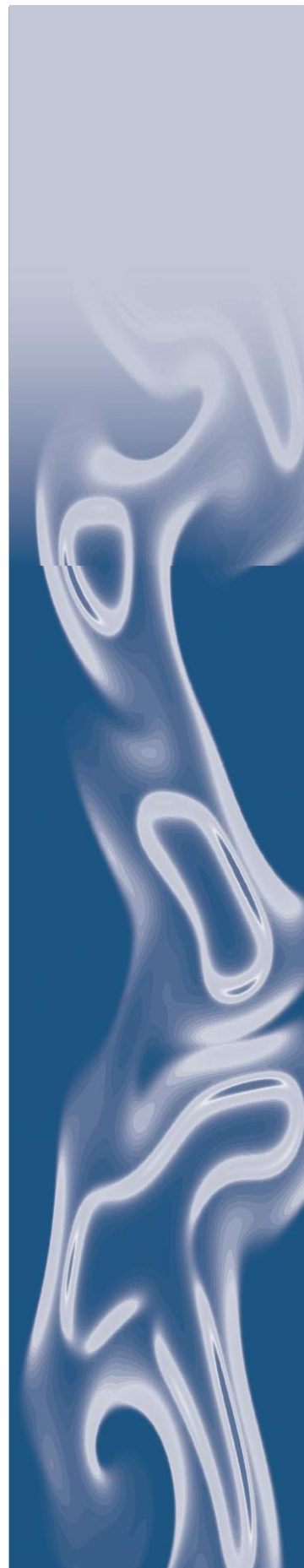
- ۴,۱۳ تجزیه و تحلیل انرژی سیستمهای واکنشدهنده ۹۳۶
- ۵,۱۳ آنتالپی و انرژی داخلی احتراق، مقدار گرمایشی ۹۴۴
- ۶,۱۳ دمای شعله آدیاباتیک ۹۵۱
- ۳۷,۱۱ قانون سوم ترمودینامیک و آنتروپی مطلق ۹۵۳
- ۸,۱۳ تجزیه و تحلیل قانون دوم سیستمهای واکنشدهنده ۹۵۵
- ۹,۱۳ پیل های سوختی ۹۶۱
- ۱۰,۱۳ کاربردهای مهندسی ۹۶۷
- ۱۴ مقدمه ای بر فاز و تعادل شیمیایی ۹۸۹
- ۱,۱۴ الزامات برای تعادل ۹۸۹
- ۲,۱۴ تعادل بین دو مرحله از یک ماده خالص ۹۹۳
- ۳,۱۴ تعادل متقابل ۹۹۷
- ۴,۱۴ تعادل شیمیایی ۱۰۰۰
- ۵,۱۴ واکنش های همزمان ۱۰۱۲
- ۶,۱۴ گازی سازی زغال سنگ ۱۰۱۷
- ۷,۱۴ یونیزاسیون ۱۰۱۸
- ۸,۱۴ کاربردهای مهندسی ۱۰۲۱
- ۱۵ جریان تراکمپذیر ۱۰۳۹
- ۱,۱۵ ویژگیهای سکون ۱۰۳۹
- ۲,۱۵ معادله تکانه برای یک حجم کنترل ۱۰۴۲
- ۳,۱۵ جریان آدیاباتیک، یک بعدی، با حالت پایدار یک سیال تراکم ناپذیر از طریق یک نازل ۱۰۴۶
- ۴,۱۵ سرعت صوت در یک گاز ایده آل ۱۰۴۹
- ۵,۱۵ جریان برگشتپذیر، آدیاباتیک، یک بعدی یک گاز ایده آل از طریق یک نازل ۱۰۵۳

- ۶,۱۵ نرخ جریان جرم یک گاز ایده آل از طریق یک نازل ایزنتروپیک ۱۰۵۷
- ۷,۱۵ شوک معمولی در یک گاز ایده آل که از طریق یک نازل جریان دارد ۱۰۶۴
- ۸,۱۵ ضرایب نازل و دیفیوزر ۱۰۷۱
- فهرست پیوست ۱۰۸۵
- پیوست B: ۱۱۴۱
- واحدهای SI: جداول ترمودینامیکی ۱۱۴۱
- پیوست C ۱۲۷۹
- گرمای ویژه گاز ایده آل ۱۲۷۹
۱. گازهای تک اتمی (گازهای بی اثر AR, HE, NE, XE, KR؛ همچنین N, O, H, CL, F) ... ۱۲۷۹
۲. گازهای چند اتمی از نوع دواتمی و خطی (N_2 , O_2 , CO, OH, CO_2 , N_2O) ۱۲۷۹
۳. مولکول های چند اتمی غیرخطی ۱۲۸۱
- پیوست D ۱۲۸۲
- معادلات حالت ۱۲۸۲

***** هرگونه کپی برداری از این کتاب یا بخشی از پیگرد قانونی دارد.**



شتاب	a
مساحت	A
تابع هلمهولتز خاص و تابع هلمهولتز کل	a, A
نسبت هوا به سوخت	AF
مدول حجمی آدیاباتیک	B_S
مدول حجمی همدم	B_T
سرعت صدا	c
کسر جرمی	c
ضریب تخلیه	C_D
گرمای ویژه فشار ثابت	C_P
گرمای ویژه با حجم ثابت	C_V
گرمای ویژه فشار ثابت با فشار صفر	C_{po}
گرمای ویژه فشار صفر با حجم ثابت	C_{vo}
ضریب عملکرد	COP
نسبت تراکم	CR
انرژی ویژه و انرژی کل	e, E
نیروی الکتروموتور، پتانسیل الکتریکی، ولت	EMF
نسبت انبساط	ER
فوگاسیتی، شبه فشار	f
ثابت فارادی	F
نیرو، همچنین کشش	F
نسبت سوخت به هوا	FA
شتاب ناشی از جاذبه	g
تابع گیبس خاص و تابع گیبس کل	g, G
آنتالپی اختصاصی و آنتالپی کل	h, H
آنتالپی واکنش دهنده ها و آنتالپی محصولات	HR, HP
ارزش گرمایشی	HV
جریان الکتریکی	i
برگشت ناپذیری خاص و کامل	i, I
رسانایی	k
نسبت گرمای ویژه: C_p/C_v	k
ثابت تعادل	K
انرژی جنبشی خاص و کل	ke, KE
طول	L
جرم	m
نرخ جریان جرمی	$\dot{m}$
جرم مولکولی	M
عدد ماخ	M



توان پلی تروپیک	n
فشار	P
فشار جزئی مولفه i در یک مخلوط	P_i
انرژی پتانسیل خاص و کل	pe, PE
کاهش فشار P/P_c	P_r
فشار نسبی همان طور که در جداول گاز استفاده می شود	P_r
انتقال حرارت در واحد جرم و انتقال حرارت کل	q, Q
نرخ انتقال حرارت	Q
انتقال حرارت با بدنه با دمای بالا و انتقال حرارت با بدنه با دمای پایین؛ علامت تعیین شده از	Q_H, Q_L
زمینه R	
ثابت گاز	R
ثابت گاز جهانی	$\bar{R}$
آنتروپی خاص و آنتروپی کل	s, S
تولید آنتروپی	S_{gen}
نرخ تولید آنتروپی	$\dot{S}_{gen}$
زمان	t
درجه حرارت	T
کاهش دمای T/T_c	T_r
انرژی داخلی خاص و کل انرژی داخلی	u, U
حجم خاص و حجم کل	v, V
حجم ویژه نسبی همان طور که در جداول گاز استفاده می شود	v_r
سرعت	V
کار در واحد جرم و کل کار	w, W
میزان کار، توان	$\dot{W}$

w^{rev}	کار برگشت پذیر خاص بین دو حالت
x	کیفیت
y	کسر مولی فاز گاز
y	کسر استخراج
Z	ارتفاع
Z	ضریب تراکم پذیری
Z	شارژ الکتریکی

حروف یونانی

α	حجم باقی مانده
α	تابع هلمهولتز بدون بعد a/RT
α_p	گسترش حجم
β	ضریب عملکرد یک یخچال
β'	ضریب عملکرد یک پمپ حرارتی
β_s	تراکم پذیری آدیاباتیکی
β_T	تراکم پذیری همدمای
δ	چگالی بدون بعد ρ/ρ_c
η	بازده
μ	پتانسیل شیمیایی
v	ضریب استوکیومتری
ρ	چگالی
σ	کشش سطحی (F/L) ، انرژی سطحی (E/A)
σ	ثابت استفان بولتزمن
τ	متغیر دمای بدون بعد T_c/T
$\tau_.$	متغیر دمای بدون بعد $1-T_r$

Φ	نسبت هم ارزی
ϕ	رطوبت نسبی
ϕ, Φ	اگسرژی یا در دسترس بودن برای یک جرم کنترل
ψ	اگسرژی خاص، در دسترس بودن جریان
ω	نسبت رطوبت یا رطوبت خاص
ω	ضریب بی مرکزی

زیرنویس‌ها

c	خاصیت در نقطه بحرانی
c.v.	کنترل حجم
e	حالت ماده‌ای که حجم کنترل را ترک می‌کند
f	تشکیل
f	خاصیت مایع اشباع شده
f_g	تفاوت در خاصیت بخار اشباع و مایع اشباع
g	خاصیت بخار اشباع شده
i	حالت ماده‌ای که وارد حجم کنترل می‌شود
i	خاصیت جامد اشباع شده
i_f	تفاوت در خواص مایع اشباع و جامد اشباع
i_g	تفاوت در خاصیت بخار اشباع و جامد اشباع
r	کاهش مول‌ها
s	فرآیند ایزنتروپیک
.	خاصیت محیط اطراف
.	خاصیت سکون

بالانویس‌ها

—	نماد bar over نشان‌دهنده خاصیت بر اساس مول است (بیش از G, A, U, S, H, V)
	bar نشان‌دهنده خاصیت مولی جزئی است
°	خاصیت در شرایط استاندارد
*	گاز ایده‌آل
*	خاصیت در گلوی یک نازل
irr	غیر قابل برگشت
r	قطعه گاز حقیقی
rev	برگشت پذیر

مسائل فصل ۱

SS پاسخ مسائل برای دانشجوی به صورت یک متن الکترونیکی تعاملی ارائه شده است.

مسائل راهنمای مفهومی-مطالعاتی

۱,۱ لیست $P, F, V, v, \rho, T, a, m, L, t$ و V را به خواص شدتی، خواص مقداری و بدون خواص تقسیم کنید.

۲,۱ سینی آب مایع در فریزر قرار می‌گیرد که در آن از ۲۰ تا ۵- درجه سانتیگراد خنک می‌شود. جریان(های) انرژی و ذخیره‌سازی را نشان دهید و توضیح دهید که چه چیزی تغییر می‌کند.

۳,۱ چگالی کلی الیاف، عایق پشم سنگ، فوم‌ها و پنبه نسبتاً کم است. چرا؟

۴,۱ آیا چگالی، معیاری منحصر به فرد برای توزیع جرم در یک حجم است؟ آیا تغییر می‌کند؟ اگر چنین است، در چه نوع مقیاسی (فاصله) این تغییرات اتفاق می‌افتد؟

SS ۵,۱ آب در طبیعت در سه فاز مختلف وجود دارد: جامد، مایع و بخار (گاز). بزرگی نسبی چگالی و حجم مخصوص سه فاز را نشان دهید.

۶,۱ جرم تقریبی ۱ لیتر بنزین چقدر است؟ جرم تقریبی هلیوم در یک بالن در T, P چقدر است؟

۷,۱ آیا می‌توانید ۱ متر مکعب آب مایع حمل کنید؟

۸,۱ یک یخچال سنگین دارای چهار پایه با ارتفاع قابل تنظیم است. چه ویژگی‌هایی از پایه‌ها باعث می‌شود که روی زمین فرورفتگی ایجاد نکنند؟

۹,۱ کف یک استخر شنا فشار یکنواختی دارد. یک صفحه فولادی سفت را در نظر بگیرید که روی زمین افتاده است. آیا فشار زیر آن به همان اندازه توزیع شده است؟

۱۰,۱ اگر چیزی در آب شناور باشد، چه چیزی در مورد چگالی آن می‌توان گفت؟

۱۱,۱ دو غواص در عمق ۲۰ متری شنا می‌کنند. یکی از آن‌ها مستقیماً زیر یک کشتی نفت‌کش غول‌آسا شنا می‌کند. دیگری از کشتی نفت‌کش دوری می‌کند. چه کسی فشار بیش‌تری را احساس می‌کند؟

۱۲,۱ اتاق عمل دارای فشار نسبی مثبت است، در حالی که سلول تست موتور دارای خلاء است. چرا این طور است؟

۱۳,۱ **SS** اگر سرعت به اندازه کافی زیاد باشد، یک اسکی باز روی آب خیلی در آب فرو نمی‌رود. چه چیزی آن وضعیت را با محاسبات فشار استاتیک ما متفاوت می‌کند؟

۱۴,۱ کم‌ترین دما بر حسب درجه سانتیگراد چیست؟ بر حسب درجه کلوین چطور؟

۱۵,۱ میزان سرمای سطح زمین و در فضای خالی تا چه اندازه است؟

۱۶,۱ یک دماسنج با ستون مایع برای نمایش دما دارای یک لامپ با مقدار بیش‌تری مایع است. چرا؟

۱۷,۱ چگونه می‌توانید انرژی اتصال بین سه اتم در آب را هنگامی که در یک مولکول آب سه اتمی قرار دارند، نشان دهید. نکته: تصور کنید برای ایجاد سه اتم مجزا چه اتفاقی باید بیفتد.

تکالیف

خواص، واحدها و نیرو

۱۸,۱ یک کیلوپوند (۱ kp) وزن ۱ کیلوگرم در میدان گرانشی استاندارد است. وزن ۱ کیلوگرم بر حسب نیوتن (N) چقدر است؟

۱۹,۱ یک مخزن ذخیره فولاد ضد زنگ حاوی ۵ کیلوگرم گاز دی اکسید کربن و ۷ کیلوگرم گاز آرگون است. چند کیلو مول در مخزن وجود دارد؟

۲۰,۱ سیلندر فولادی با جرم ۴ کیلوگرم حاوی ۴ لیتر آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در ۱۰۰ کیلو پاسکال است. جرم و حجم کل سیستم را بیابید. دو خاصیت مقداری و سه خاصیت شدتی آب را فهرست کنید.

۲۱,۱ روور اکسپلورر جرمی ۱۸۵ کیلوگرمی دارد، این وزن در ماه چقدر است ($g = g_{std}/6$) و در مریخ که $g = 3.75 \text{ m/s}^2$ است.

۲۲,۱ یک خودروی ۱۷۰۰ kg که با سرعت ۸۰ km/h حرکت می‌کند با سرعت ثابت 4 m/s^2 به سرعت ۲۰ km/h می‌رسد. نیرو و زمان کل مورد نیاز چقدر است؟

- ۲۳،۱ وزن آسانسور در یک هتل 750 kg است و ۶ نفر را با وزن کل 450 kg حمل می‌کند. برای داشتن شتاب 1 m/s^2 در جهت بالا، کابل چقدر باید به سمت بالا کشیده شود؟
- ۲۴،۱ وزن یکی از افرادی که در مسئله قبلی در آسانسور ایستاده 80 kg است. وقتی آسانسور شروع به حرکت می‌کند این فرد چقدر وزن احساس می‌کند؟

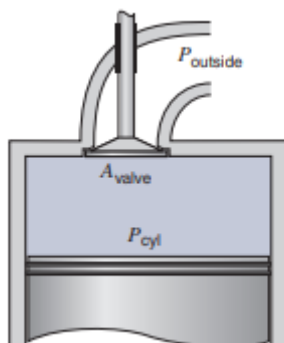
حجم مشخص

- ۲۵،۱ یک ظرف 1 m^3 با 400 kg سنگ گرانیت، 200 kg ماسه خشک و 0.2 m^3 آب مایع با دمای 25 درجه سانتیگراد پر شده است. با استفاده از ویژگی‌های جداول A.۳ و A.۴، میانگین حجم و چگالی ویژه جرم‌ها را با حذف جرم و حجم هوا بیابید.
- ۲۶،۱ یک نیروگاه که دی اکسید کربن را از گازهای خروجی جدا می‌کند، آن را به چگالی 110 kg/m^3 فشرده می‌کند و آن را در یک لایه زغال سنگ غیرقابل استخراج با حجم متخلخل 100000 m^3 ذخیره می‌کند. جرم قابل ذخیره را پیدا کنید.
- ۲۷،۱ یک ظرف 5 m^3 با 900 kg گرانیت (چگالی 2400 kg/m^3) پر شده است. بقیه حجم ظرف، هوا است که دارای چگالی 1.15 kg/m^3 است. جرم هوا و حجم خاص کلی (متوسط) را بیابید.

فشار

- ۲۸،۱ یک فیل 5000 kg دارای سطح مقطع 0.2 m^2 در هر پا است. با فرض توزیع یکنواخت، فشار زیر پای آن چقدر است؟

۲۹،۱ یک سوپاپ در سیلندر نشان داده شده در شکل P۱،۲۹ دارای سطح مقطع 11 cm^2 با فشار 735 kPa در داخل سیلندر و 99 kPa در خارج است. چقدر نیرو برای باز کردن شیر لازم است؟



شکل P۱،۲۹

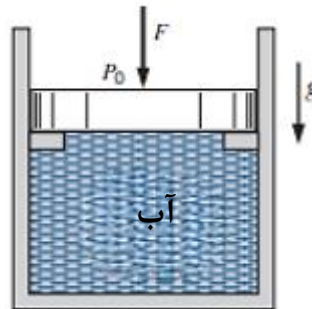
۳۰،۱ سیلندر پیستون در شکل P۱،۲۹ دارای قطر 10 cm و فشار داخلی 735 kPa است. نیرویی که پیستون بدون جرم را بالا نگه می‌دارد چقدر است زیرا قسمت پایین‌تر پیستون علاوه بر نیرو، P_0 دارد.

۳۱،۱ **SS** یک بالابر هیدرولیک دارای حداکثر فشار سیال 500 kPa است. قطر پیستون/سیلندر برای بلند کردن جرم 850 kg باید چقدر باشد؟

۳۲،۱ سیلندر هیدرولیک دارای پیستونی با قطر 125 mm با فشار محیطی 1 bar است. با فرض گرانش استاندارد، کل جرمی را که این پیستون می‌تواند بلند کند، در صورتی که فشار سیال هیدرولیک داخلی kPa 2500 باشد، بیابید.

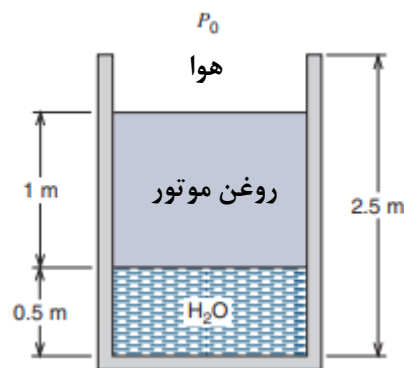
۳۳،۱ اگر وزن فرد 75 kg باشد، مجموع ردپای او در حالی که چکمه پوشیده است 0.05 m^2 است. فرض کنید می‌خواهید روی برفی راه بروید که فقط می‌تواند 3 kPa اضافی را در خود جای دهد، کل مساحت کفش برفی چقدر باید باشد؟

۳۴،۱ همان طور که در شکل $P1,34$ نشان داده شده است، یک پیستون/سیلندر با سطح مقطع $0,01 \text{ m}^2$ دارای جرم پیستون 65 kg و نیروی 800 N بر روی استاپ ها است. فشار آب برای بالا بردن پیستون با فشار هوای 101 kPa در خارج چقدر باید باشد؟



شکل $P1,34$

۳۵،۱ استوانه فولادی $2,5 \text{ m}$ دارای سطح مقطع $1,5 \text{ m}^2$ است. در پایین به ارتفاع $0,5 \text{ m}$ آب مایع قرار دارد که در بالای آن یک لایه روغن موتور به ارتفاع 1 m قرار دارد. این در شکل $P1,35$ نشان داده شده است. سطح روغن در 101 kPa در معرض هوای اتمسفر قرار می گیرد. بیشترین فشار در آب چقدر است؟



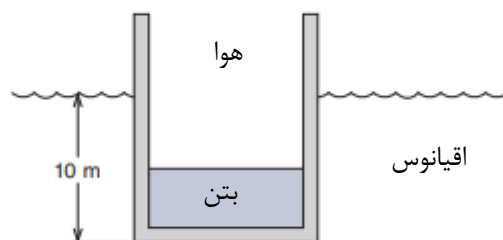
شکل $P1,35$

۳۶،۱ یک شناور زیر آب با مجموع جرم 250 kg با کابل به کف اقیانوس متصل می‌شود. برای این که کابل N 1000 آن را پایین نگه دارد، باید چه حجمی داشته باشد؟

۳۷،۱ با استفاده از کابل، یک دکل نفتی شناور با کشش خالص 10000 kN به سمت پایین به کف دریا محکم می‌شود. حجم جابه‌جایی آب چقدر است؟

۳۸،۱ ^{SS} در ساحل، فشار اتمسفر 1025 mbar است. شما 15 m در اقیانوس شیرجه می‌زنید و بعداً از تپه‌ای تا ارتفاع 450 m بالا می‌روید. فرض کنید چگالی آب حدود 1000 kg/m^3 و چگالی هوا 1.18 kg/m^3 است. در هر مکان چه فشاری احساس می‌کنید؟

۳۹،۱ یک مخزن فولادی با سطح مقطع 3 m^2 و ارتفاع 16 m ، 10000 kg وزن دارد و در بالا باز است، همان‌طور که در شکل $P1,39$ نشان داده شده است. ما می‌خواهیم آن را در اقیانوس شناور کنیم تا با ریختن بتن در کف آن، 10 m مستقیماً پایین قرار گیرد. چه مقدار بتن استفاده کنیم؟



شکل $P1,39$

۴۰،۱ پیستون، $m_p = 5 \text{ kg}$ ، در یک سیلندر $A = 15 \text{ cm}^2$ قرار داده شده است که حاوی گاز است. راه‌اندازی در یک سانتریفیوژی انجام می‌شود که شتاب 25 m/s^2 را در جهت حرکت پیستون به سمت گاز ایجاد می‌کند. با فرض فشار اتمسفر استاندارد در خارج از سیلندر، فشار گاز را پیدا کنید.

۴۱،۱ یک کشتی کانتینری 240 m طول و 22 m عرض دارد. فرض کنید که شکل آن مانند یک جعبه مستطیلی است. اگر کشتی در عمق 10 m در آب باشد و جرم خود کشتی 30000 تن باشد، چه مقدار جرم را به عنوان بار حمل می‌کند؟

مانومتر و فشارسنج

۴۲،۱ یک کاوشگر به عمق 16 m در یک دریاچه پایین می‌آید. فشار مطلق را در آن جا پیدا کنید.

۴۳،۱ یک فرد 75 kg می‌خواهد روی یک اسکیت برد 2 kg به ابعاد $0,6\text{ m}$ در $0,25\text{ m}$ پرواز کند (هور). فشار سنج زیر تخته چقدر بزرگ است؟

۴۴،۱ چگالی هوای اتمسفر حدود $1,15\text{ kg/m}^3$ است که آن را ثابت فرض می‌کنیم. یک خلبان هنگام پرواز در ارتفاع 2000 m از سطح زمین که فشار آن 101 kPa است با چه فشار مطلق مواجه می‌شود؟

۴۵،۱ یک فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار مطلق، ارتفاع ستون جیوه 735 mm را نشان می‌دهد. دما به گونه‌ای است که چگالی جیوه 13550 kg/m^3 است. فشار محیط را پیدا کنید.

۴۶،۱ فشار نسبی دیفرانسیل نصب شده بر روی ظرف $1,25\text{ MPa}$ و فشارسنج محلی فشار اتمسفر را $0,96\text{ bar}$ نشان می‌دهد. فشار مطلق داخل ظرف را بیابید.

۴۷،۱ یک ستون 100 m هوای اتمسفر چه اختلاف فشاری را نشان می‌دهد؟

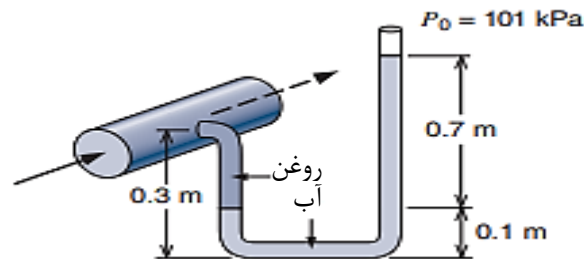
۴۸،۱ فشارسنج، 760 mm جیوه در سطح خیابان و 745 mm جیوه در بالای ساختمان اندازه‌گیری می‌کند. اگر تراکم هوا را $1,15\text{ kg/m}^3$ فرض کنیم ارتفاع ساختمان چقدر است؟

۴۹،۱ **SS** یک زیردریایی اکتشافی باید بتواند 1200 m در اقیانوس فرود آید. اگر چگالی اقیانوس kg/m^3 1020 باشد، حداکثر فشار روی بدنه زیردریایی چقدر است؟

۵۰،۱ فشار مطلق در یک مخزن 115 kPa و فشار مطلق محیط محلی 102 kPa است. اگر یک لوله U با جیوه (تراکم 13550 kPa) برای اندازه‌گیری فشار نسبی به مخزن متصل شود، چه تفاوت ارتفاع ستون را نشان می‌دهد؟

۵۱،۱ گیج فشار مطلق متصل به سیلندر فولادی، 135 kPa را نشان می‌دهد. می‌خواهیم در روزی که $P_{\text{atm}} = 101 \text{ kPa}$ است، یک مانومتر با استفاده از آب مایع وصل کنیم. برای چقدر اختلاف سطح مایعات باید برنامه‌ریزی کنیم؟

۵۲،۱ یک لوله روغن سبک دارای یک مانومتر متصل است، همان‌طور که در شکل $P1,52$ نشان داده شده است. فشار مطلق در جریان لوله چقدر است؟

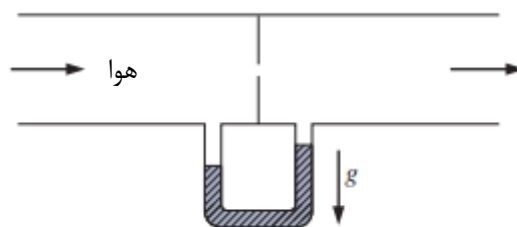


شکل $P1,52$

۵۳،۱ اختلاف ارتفاع بین ستون‌های یک مانومتر، 200 mm با سیالی با چگالی 900 kg/m^3 است. اختلاف فشار چیست؟ اگر همان اختلاف فشار با استفاده از جیوه (چگالی 13600 kg/m^3) به عنوان سیال مانومتر اندازه‌گیری شود، تفاوت ارتفاع چقدر است؟

۵۴،۱ یک قطعه از دستگاه آزمایشی، شکل $P1,54$ ، در جایی قرار دارد که $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ و دما 5°C سانتی‌گراد است. جریان هوا در داخل دستگاه با اندازه‌گیری افت فشار در سرتاسر دهانه با مانومتر جیوه‌ای (چگالی 13580 kg/m^3) که اختلاف ارتفاع 200 mm را نشان می‌دهد، تعیین می‌شود. افت فشار بر حسب کیلو پاسکال چقدر است

شکل $P1,54$



انرژی و دما

۵۵,۱ یک قطعه $m^3 0,25$ از چوب نرم به قفسه بالایی در یک سطل ذخیره‌سازی که $m 4$ بالاتر از طبقه همکف قرار دارد، بلند می‌شود. انرژی بالقوه چوب چقدر افزایش می‌یابد؟

۵۶,۱ ^{SS} اتومبیلی با جرم 1775 kg با سرعت 100 km/h حرکت می‌کند. انرژی جنبشی را پیدا کنید. ماشین در میدان گرانشی استاندارد چقدر باید بلند شود تا انرژی پتانسیل برابر با انرژی جنبشی داشته باشد؟

۵۷,۱ دمای 5°C - درجه سانتیگراد بر حسب درجه کلون چیست؟

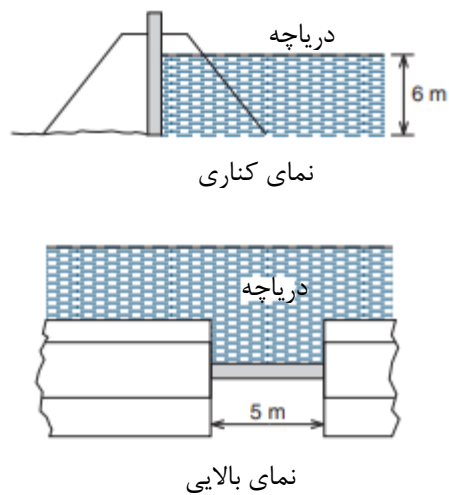
۵۸,۱ دماسنج جیوه‌ای دما را با اندازه‌گیری انبساط حجمی جرم ثابت جیوه مایع به دلیل تغییر چگالی به صورت $\rho_{\text{Hg}} = 13595 - 2.5 T \text{ kg/m}^3$ (بر حسب سانتیگراد) اندازه‌گیری می‌کند. تغییر نسبی (%) حجم را برای تغییر دما از 10°C تا 20°C درجه سانتیگراد پیدا کنید.

۵۹,۱ ^{SS} چگالی آب مایع $(\text{kg/m}^3) \rho = 1008 - T/2$ با T بر حسب $^\circ\text{C}$ است. اگر دما 10°C درجه سانتیگراد افزایش یابد، لایه 1 متری آب چقدر عمیق‌تر می‌شود؟

مسائل مروری

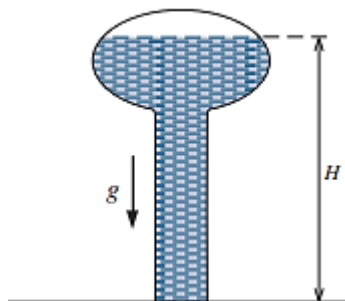
۶۰,۱ اگر جریان داخل دستگاه به جای هوا، آب مایع (1000 kg/m^3) باشد، مسئله ۵۴,۱ را تکرار کنید. اختلاف فشار بین دو سوراخ همسطح با کف کانال را پیدا کنید. شما نمی‌توانید از دو ستون آب نابرابر غافل شوید.

۶۱,۱ یک سد، دریاچه‌ای به عمق 6 متر را حفظ می‌کند، همان‌طور که در شکل $P1,61$ نشان داده شده است. برای ساخت یک درگاه در سد، باید نیروی افقی خالص وارد بر یک بخش درگاه با عرض 5 متر و ارتفاع 6 متر را بدانیم که سپس جایگزین بخش 5 متری سد می‌شود. نیروی خالص افقی را از یک طرف آب و هوا در طرف دیگر درگاه را پیدا کنید.



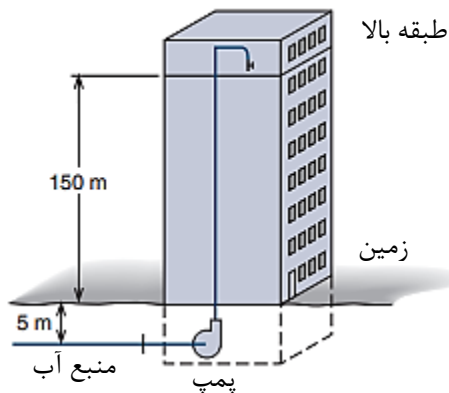
شکل P۱,۶۱

۶۲,۱ در برج آب شهری، آب تا ارتفاع ۲۵ متری از سطح زمین در یک مخزن تحت فشار با هوای ۱۲۵ kPa بر روی سطح آب پمپ می‌شود. این در شکل P۱,۶۲ نشان داده شده است. با فرض چگالی آب $۱۰۰۰ \text{ kg/m}^۳$ و گرانش استاندارد، فشار لازم برای پمپاژ آب بیش‌تر در سطح زمین را پیدا کنید.



شکل P۱,۶۲

۶۳،۱ خط اصلی آب به یک ساختمان بلند دارای فشار 600 kPa در ارتفاع ۵ متری زیر سطح زمین است. ساختمان در شکل P۱،۶۳ نشان داده شده است. برای اطمینان از فشار 200 kPa خط آب در طبقه بالای ۱۵۰ متر بالاتر از سطح زمین، یک پمپ چقدر فشار اضافی باید اضافه کند؟



شکل P۱،۶۳

مسائل واحد انگلیسی

مسائل مفهومی واحد انگلیسی

E۶۴،۱ یک جرم 2 lbm دارای شتاب 5 ft/m^2 است. نیروی مورد نیاز در lbf چقدر است؟

E۶۵،۱ گال بنزین چقدر جرم دارد؟ در هلیوم در یک بالن در اتمسفر P و T چقدر است؟

E۶۶،۱ آیا می‌توانید به راحتی یک شمش طلای جامد ۱ گال حمل کنید؟

E۶۷،۱ دمای -5 فارنهایت بر حسب درجه رانکین چقدر است؟

E۶۸،۱ کم‌ترین دمای ممکن بر حسب درجه فارنهایت چیست؟ بر حسب درجه رانکین چیست؟

E۶۹،۱ قدر نسبی درجه رانکین به درجه کلون چقدر است؟

مسائل واحد انگلیسی

۷۰،۱E روور اکسپلورر جرمی برابر با ۴۱۰ lbm دارد، این وزن در ماه چقدر است ($g = g_{std}/6$) و در مریخ که $g = ۱۲،۳ \text{ ft/s}^2$ است.

۷۱،۱E یک ماشین ۲۵۰۰ lbm که با سرعت ۲۵ mi/h حرکت می کند با سرعت ثابت ۱۵ ft/s^2 تا سرعت ۵۰ mi/h شتاب می گیرد. نیرو و زمان کل مورد نیاز چقدر است؟

۷۲،۱E **SS** یک پله برقی چهار نفر را با جرم کل ۶۰۰ lbm و یک قفس ۱۰۰۰ lbm با شتاب ۳ ft/s^2 به بالا می آورد. نیروی مورد نیاز در کابل چقدر است؟

۷۳،۱E اتومبیلی با جرم ۴۰۰۰ lbm با سرعت ۶۰ mi/h حرکت می کند. انرژی جنبشی را پیدا کنید. ماشین در میدان گرانشی استاندارد چقدر باید بلند شود تا انرژی پتانسیل برابر با انرژی جنبشی داشته باشد؟

۷۴،۱E نیروگاهی که دی اکسید کربن را از گازهای خروجی جدا می کند، آن را تا چگالی ۸ lbm/ft^3 فشرده می کند و آن را در یک لایه زغال سنگ غیرقابل استخراج با حجم متخلخل ۳۵۰۰۰۰ ft^3 ذخیره می کند. جرم قابل ذخیره را پیدا کنید.

۷۵،۱E سیلندر پیستون در شکل P۱،۲۹ دارای قطر ۴ in.، فشار داخلی ۱۰۰ psia است. چه نیرویی باید پیستون بدون جرم را بالا نگه دارد زیرا طرف پایینی پیستون علاوه بر نیرو، P_0 دارد؟

۷۶،۱E یک اتاق آزمایشگاه به دلیل وجود فن آگروز خلاء ۱ اینچی آب را نگه می دارد. نیروی خالص وارد شده به دری به ابعاد ۶ ft در ۳ ft چقدر است؟

۷۷،۱E شخصی، ۱۷۵ lbm، می خواهد روی یک اسکیت برد ۴ lbm به اندازه ۲ ft در ۰،۸ ft پرواز (هوزر) کند. فشار گنج زیر تخته چقدر است؟

۷۸،۱E با استفاده از کابل، یک سکوی نفتی شناور با کشش خالص به سمت پایین ۲،۲۵۰،۰۰۰،۰۰۰ lbf بر کف اقیانوس محکم می شود. چه مقدار جابه جایی آب ایجاد می کند؟

۷۹،۱E یک کشتی کانتینری ۷۹۰ ft طول و ۷۲ ft عرض دارد. فرض کنید شکل مانند یک جعبه مستطیلی است. اگر کشتی در عمق ۳۰ ft در آب باشد و جرم خود کشتی ۳۰۰۰ تن باشد، چقدر جرم به عنوان بار حمل می کند.

SS E ۸۰,۱ یک مانومتر اختلاف فشار ۳,۵ in. جیوه مایع را نشان می‌دهد. ΔP را بر حسب psi پیدا کنید.

E ۸۱,۱ یک ستون ۳۰۰ ft هوای اتمسفر چه تفاوت فشاری را نشان می‌دهد؟

E ۸۲,۱ یک پیستون/سیلندری با سطح مقطع $۰,۱ \text{ ft}^2$ دارای جرم پیستون ۱۰۰ lbm و نیروی ۱۸۰ lbf بر روی پایه‌ها است، همان‌طور که در شکل P۱,۳۴ نشان داده شده است. با فشار اتمسفر بیرونی ۱ اتمسفر، فشار آب برای بلند کردن پیستون چقدر باید باشد؟

E ۸۳,۱ خط اصلی آب به یک ساختمان بلند دارای فشار ۹۰ psia در ارتفاع ۱۶ ft زیر سطح زمین است. برای اطمینان از فشار خط آب ۳۰ psia در طبقه بالای ۴۵۰ ft از سطح زمین، یک پمپ چقدر فشار اضافی باید اضافه کند؟

E ۸۴,۱ یک پیستون، $m_p = ۱۰ \text{ lbm}$ ، در یک سیلندر، $A = ۲,۵ \text{ in.}^2$ ، که حاوی گاز است نصب شده است. راه‌اندازی در یک سانتریفیوژ است که شتاب ۷۵ ft/s^2 را ایجاد می‌کند. با فرض فشار اتمسفر استاندارد در خارج از سیلندر، فشار گاز را پیدا کنید.

E ۸۵,۱ منطقه آسایش انسان بین ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتیگراد است. محدوده فarenهایت چقدر است؟

خلاصه اهداف

فصل ۱

ما یک سیستم ترمودینامیکی را به عنوان یک حجم کنترل معرفی می‌کنیم که برای یک جرم ثابت یک جرم کنترل است. بدون تبادل جرم، تکانه یا انرژی با محیط اطراف، چنین سیستمی قادر به ایزوله‌سازی است. سیستم بسته در مقابل سیستم باز به توانایی تبادل جرم با محیط اطراف اشاره دارد. اگر خواص یک ماده تغییر کند، حالت تغییر می‌کند و فرآیندی رخ می‌دهد. هنگامی که یک ماده چندین فرآیند را طی کرده و به همان حالت اولیه باز می‌گردد، یک چرخه را کامل کرده است.

واحدهای پایه برای خواص ترمودینامیکی و فیزیکی ذکر شده است و بیش‌تر آن‌ها در جدول A.۱ پوشش داده شده است. خواص ترمودینامیکی مانند چگالی ρ ، حجم ویژه v ، فشار P و دمای T همراه با واحدهایی برای این خواص معرفی شده‌اند. ویژگی‌ها به صورت شدتی، مستقل از جرم (مانند v)، یا مقداری، متناسب با جرم (مانند V) طبقه‌بندی می‌شوند. دانشجویان باید از قبل با مفاهیم دیگری از فیزیک مانند نیروی F ، سرعت V و شتاب a آشنا باشند. استفاده از قانون حرکت نیوتن منجر به تغییر فشار ساکن در یک ستون سیال و اندازه‌گیری فشار (مطلق و نسبی) توسط فشارسنج‌ها و مانومترها می‌شود. مقیاس دمای معمولی و مقیاس دمای مطلق معرفی شده‌اند.

شما باید تعدادی از مهارت‌ها و توانایی‌های کسب شده را از مطالعه این فصل آموخته باشید که به شما امکان می‌دهد

- یک حجم کنترل $C.V.$ را حول برخی از مسائل تعریف (انتخاب) کنید و
- پیش‌نویس محتوا را آماده کنید و مکان‌های ذخیره‌سازی جرم را شناسایی کنید
- جریان‌های جرم و انرژی عبوری از سطح $C.V$ را شناسایی کنید.
- خواص $P-T-v-\rho$ و واحدهای آن‌ها را بشناسید.
- نحوه جستجوی تبدیل واحدها در جدول A.۱ را بدانید.
- بدانید که انرژی به صورت جنبشی، پتانسیل یا درونی (در مولکول‌ها) ذخیره می‌شود.
- تفاوت بین (v, ρ) و (V, m) شدتی در مقابل مقداری را بدانید.

- یک موازنه نیرو را به یک سیستم معین اعمال کنید و آن را با فشار P مرتبط کنید.
 - تفاوت فشار نسبی (گیج) و فشار مطلق P را بدانید.
 - کار مانومتر یا فشارسنج را درک کنید و ΔP یا P را از ارتفاع H بدست آورید.
 - تفاوت بین دمای نسبی و مطلق T را بدانید.
 - شما باید در مورد مقادیر (v, ρ, T, P) ایده و نظری داشته باشید.
- بیشتر این مفاهیم در فصل‌های بعدی تکرار و تکمیل خواهند شد، مانند خواص در فصل ۲، انتقال انرژی به عنوان گرما و کار، و انرژی داخلی در فصل ۳، همراه با کاربردهای آن‌ها.

راهنمای مطالعه و منابع مطالعه فصل

فصل ۱

اهداف	ریدینگ (خواندن)، مثال‌ها، معادلات و جداول	مفاهیم، مطالعه، مسائل Hw
خواص P - T - v - ρ و واحدهای آن-ها را بشناسید	ریدینگ: بخش ۱، ۳، ۵-۷، ۱۱، ۱ مثال‌ها: ۱، ۱-۵، ۱ معادلات: ۱، ۲، ۳، ۱، ۱۲، ۱۳، ۱ جدول: A.۱	C: ۱، ۳-۱۰، ۱۴-۱۵ S: ۵، ۱۸، ۵۹ Hw: ۱۹-۲۴، ۵۷-۵۸، ۶۵E- ۸۵E، ۶۹E
بدانید که انرژی به صورت جنبشی، پتانسیل یا درونی (در مولکول‌ها) ذخیره می‌شود.	ریدینگ: بخش ۸، ۱ مثال‌ها: ۱، ۱-۵، ۱ معادلات: ۱، ۹، ۱۰، ۱۰، ۱۱، ۱	C: ۱۷ Hw: ۱۹-۲۴، ۵۵-۵۶، ۷۳E
تفاوت بین (v, ρ) و (V, m) شدتی در مقابل مقداری را بدانید	ریدینگ: بخش ۳، ۱ مثال‌ها: ۲، ۱	C: ۳، ۱ Hw: ۲۰

C: ۱۳-۸ S: ۱۳, ۳۱, ۳۸, ۴۰, ۸۴E Hw: ۲۸-۴۱, ۸۴E	ریدینگ: بخش ۵, ۷, ۱۱, ۱ مثال‌ها: ۱, ۳, ۴, ۷, ۱ معادلات: ۱, ۱, ۳, ۷, ۱	یک موازنه نیرو را به یک سیستم معین اعمال کنید و آن را با فشار P مرتبط کنید
C: ۱۲-۱۱ S: ۴۴, ۴۹, ۵۳ Hw: ۴۲-۴۶, ۴۹, ۵۲, ۵۴	ریدینگ: بخش ۷, ۱ مثال‌ها: ۱, ۵ - ۶, ۱ معادلات و جداول: ۱, ۳ - ۴, ۱ ۶, ۱	تفاوت بین فشار نسبی (گیج) و فشار مطلق P را بدانید
C: ۱۲-۱۱ S: ۴۴, ۴۹, ۵۳, ۸۰E Hw: ۴۲-۵۴, ۸۰E - ۸۳E	ریدینگ: بخش ۷, ۱ مثال‌ها: ۱, ۵ - ۶, ۱ معادلات: ۱, ۳ - ۶, ۱	مانومتر و فشارسنج را برای به دست آوردن ΔP یا P از ارتفاع H درک کنید
C: ۱۶-۱۴ S: ۵۶ Hw: ۵۷-۵۹	ریدینگ: بخش ۱۱, ۱ مثال‌ها: ۱, ۵ - ۶, ۱ معادلات: ۱, ۱۲, ۱۳ جداول: A. ۱	تفاوت بین دمای نسبی و مطلق T را بدانید
تقریباً همه hw	ریدینگ: همه مثال‌ها: ۱, ۲ - ۷, ۱ معادله دستگاه: $V = C, P = C$ $T = C$	درک کنید که چگونه فیزیک یک دستگاه می‌تواند بر یک ویژگی تاثیر بگذارد.
S: ۱۸ Hw: ۱۸, ۵۷, ۸۵E	ریدینگ: بخش ۷, ۱ مثال‌ها: ۱, ۵ - ۶, ۱ معادلات: ۱, ۲ - ۶, ۱ شکل: ۸, ۱	درباره مقادیر (v, ρ, T, P) ایده و نظری داشته باشید

فصل ۱

مقدمه و پیش‌نیازها

رشته ترمودینامیک با علم انرژی و با تمرکز بر ذخیره انرژی و فرآیندهای تبدیل انرژی مرتبط است. ما اثرات انرژی را بر روی مواد مختلف مطالعه خواهیم کرد، زیرا ممکن است یک جرم را در معرض گرما/سرد شدن یا فشرده‌سازی/انبساط حجمی قرار دهیم. در طول چنین فرآیندهایی، ما انرژی را به داخل یا خارج از جرم منتقل می‌کنیم، بنابراین شرایط خود را که با خواصی مانند دما، فشار و حجم بیان می‌شود تغییر می‌دهد. ما از چندین فرآیند مشابه در زندگی روزمره خود استفاده می‌کنیم. آب را گرم می‌کنیم تا قهوه یا چای درست کنیم یا آن را در یخچال خنک می‌کنیم تا آب سرد یا تکه‌های یخ در فریزر درست شود. در طبیعت، آب از اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها تبخیر می‌شود و با هوا مخلوط می‌شود که باد می‌تواند آن را حمل کند و بعداً ممکن است آب به صورت باران (آب مایع) یا برف (آب جامد) از هوا خارج شود. همان‌طور که این فرآیندها را با جزئیات مطالعه می‌کنیم، بر موقعیت‌هایی تمرکز خواهیم کرد که از نظر فیزیکی ساده و در عین حال نمونه‌ای از موقعیت‌های زندگی واقعی در صنعت یا طبیعت هستند.

با ترکیبی از فرآیندها، می‌توانیم دستگاه‌های پیچیده‌تر یا سیستم‌های کامل‌تری را به تصویر بکشیم - به عنوان مثال، یک نیروگاه بخار ساده که بخش عمده‌ای از نیروی الکتریکی ما را تولید می‌کند، به عنوان سیستم اصلی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱،۱ یک نیروگاه را نشان می‌دهد که با سوزاندن زغال سنگ، برق و آب گرم را برای گرمایش منطقه‌ای تولید می‌کند. زغال سنگ از طریق کشتی تامین می‌شود و لوله‌های گرمایش منطقه‌ای در تونل‌های زیرزمینی قرار دارند و بنابراین قابل مشاهده نیستند. برای درک بهتر و توضیحات فنی، به شماتیک ساده نیروگاه نشان داده شده در شکل ۲،۱ مراجعه کنید. این شامل خروجی‌های مختلف از نیروگاه به عنوان نیروی برق به شبکه، آب گرم برای گرمایش منطقه‌ای، سرباره حاصل از سوزاندن زغال سنگ و سایر مواد مانند خاکستر و گچ است. آخرین خروجی جریان، گازهای خروجی از دودکش است.

مجموعه دیگری از فرآیندها توصیف خوبی از یخچالی است که ما از آن برای خنک کردن غذا یا استفاده از آن در دماهای بسیار پایین به منظور تولید جریان مایع سرد برای جراحی برودتی با انجماد بافت برای به حداقل رساندن خونریزی استفاده می‌کنیم. یک شماتیک ساده برای چنین سیستمی در شکل ۳،۱ نشان داده شده

است. همین سیستم هم‌چنین می‌تواند به عنوان یک تهویه مطبوع با هدف دوگانه خنک کردن ساختمان در تابستان و گرمایش آن در زمستان عمل کند؛ در این آخرین حالت استفاده، به عنوان پمپ حرارتی نیز شناخته می‌شود. برای کاربردهای تلفن همراه، ما می‌توانیم مدل‌های ساده‌ای برای موتورهای بنزینی و دیزلی بسازیم که معمولاً برای حمل و نقل زمینی و توربین‌های گازی در موتورهای جت مورد استفاده در هواپیماها استفاده می‌شوند، جایی که وزن و حجم کم از دغدغه‌های اصلی است. این‌ها تنها چند نمونه از سیستم‌های آشنا هستند که تئوری ترمودینامیک به ما امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها را می‌دهد. هنگامی که نظریه را یاد گرفتیم و درک کردیم، می‌توانیم تحلیل را به موارد دیگری که ممکن است با آن‌ها آشنا نباشیم تعمیم دهیم.

فراتر از توصیف فرآیندها و سیستم‌های اساسی، استفاده از ترمودینامیک در موقعیت‌های خاصی مانند هوای مرطوب جوی که مخلوطی از گازها است و احتراق سوخت که هنگام سوزاندن زغال سنگ، نفت یا گاز طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد یا گاز طبیعی، که یک فرآیند شیمیایی و تبدیل انرژی است که تقریباً در تمام دستگاه‌های تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد گسترش یافته است. ترمودینامیک کاربردهای بسیار دیگری نیز دارد که این‌ها را می‌توان در متون تخصصی مطالعه کرد. از آن جایی که تمام فرآیندهایی که مهندسان با آن‌ها سر و کار دارند بر محیط زیست تاثیر می‌گذارند، ما باید از راه‌هایی آگاه باشیم که از طریق آن‌ها می‌توانیم استفاده از منابع طبیعی خود را بهینه کنیم و حداقل پیامدهای منفی را برای محیط زیست خود ایجاد کنیم. به همین دلیل، بررسی بازده برای فرآیندها و دستگاه‌ها در یک تحلیل مدرن حائز اهمیت است و به دانشی برای مطالعه مهندسی کامل کارایی و عملکرد سیستم نیاز دارد.

قبل از بررسی کاربرد نظریه، چند مفهوم و تعاریف اساسی را برای تجزیه و تحلیل خود پوشش خواهیم داد و برخی از مطالب فیزیک و شیمی را که به آن‌ها نیاز خواهیم داشت، مرور خواهیم کرد.



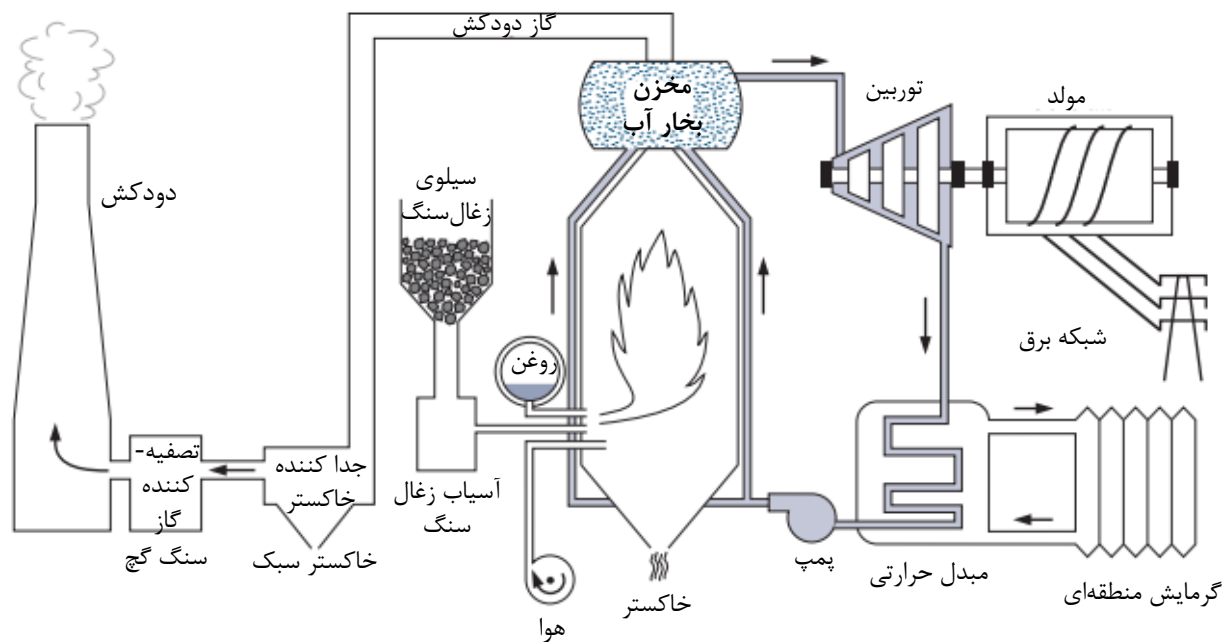
(از شرکت انرژی دینگ، دانمارک.)

شکل ۱,۱ نیروگاه Avedoere، دانمارک.

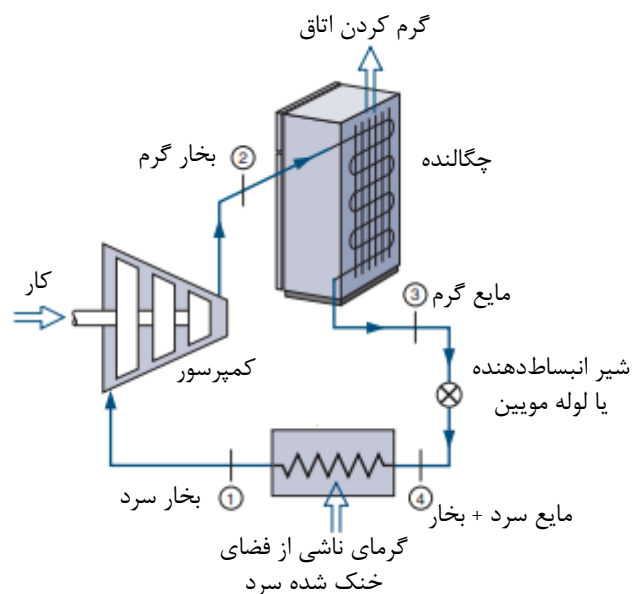
۱,۱ یک سیستم ترمودینامیکی و حجم کنترل

سیستم ترمودینامیکی، یک دستگاه یا ترکیبی از دستگاه‌های حاوی مقداری ماده مورد مطالعه است. برای تعریف دقیق‌تر این مورد، یک حجم کنترلی انتخاب می‌شود که حاوی ماده و دستگاه‌هایی داخل یک سطح کنترل باشد. با جداسازی‌هایی که سطح کنترل فراهم می‌کند، هر چیزی که خارج از حجم کنترل است، محیط اطراف است. سطح، نسبت به جریان‌های جرمی ممکن است باز یا بسته باشد و ممکن است از نظر انتقال حرارت و کار در

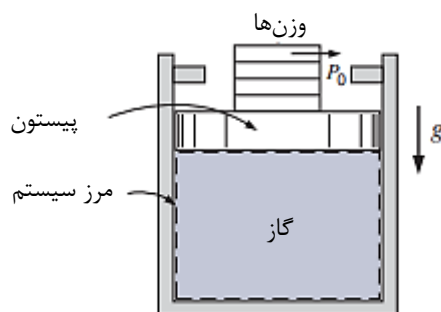
سراسر آن دارای جریان‌های انرژی باشد. مرزها ممکن است متحرک یا ثابت باشند. به سطح کنترلی که نسبت به جریان جرمی بسته است و هیچ جرمی نمی‌تواند از حجم کنترل خارج یا به آن وارد شود، جرم کنترلی گفته می‌شود که در همه زمان‌ها دارای همان مقدار ماده است.



شکل ۲،۱ نمودار شماتیک یک نیروگاه بخار.



شکل ۳،۱ نمودار شماتیک یک یخچال.

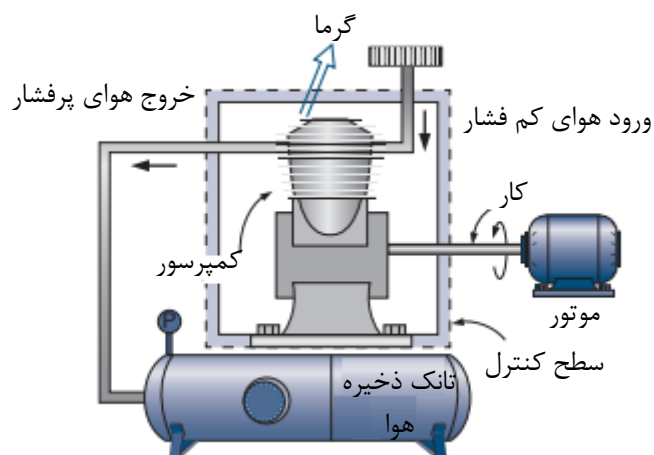


شکل ۴،۱ نمونه‌ای از جرم کنترل.

با قرار دادن یک سطح کنترلی در اطراف گاز در سیلندر شکل ۱،۴، آن را به عنوان حجم کنترل انتخاب کرده و آن را به عنوان جرم کنترل شناسایی می‌کنیم. اگر چراغ بونزن در زیر سیلندر قرار گیرد، دمای گاز افزایش می‌یابد و پیستون خارج می‌شود. با حرکت پیستون، مرز جرم کنترل نیز تغییر می‌کند. همان‌طور که بعداً خواهیم دید، گرما و کار در طول این فرآیند از مرز جرم کنترل عبور می‌کنند، اما ماده‌ای که جرم کنترل را تشکیل می‌دهد همیشه قابل شناسایی است و ثابت می‌ماند.

سیستم ایزوله سیستمی است که به هیچ وجه تحت تاثیر محیط اطراف قرار نمی‌گیرد به طوری که هیچ جرم، گرما یا کاری در سراسر مرز سیستم منتقل نمی‌شود. در یک مورد معمولی‌تر، آنالیز ترمودینامیکی باید برای دستگاهی مانند کمپرسور هوا که در آن جرم به داخل و خارج جریان دارد، همان‌طور که به صورت شماتیک در شکل ۵،۱ نشان داده شده است، انجام شود. سیستم واقعی احتمالا شامل یک مخزن ذخیره است، همان‌طور که در شکل ۲۰،۱ نشان داده شده است. در چنین تحلیلی، حجم کنترلی را مشخص می‌کنیم که کمپرسور را با سطحی به نام سطح کنترل احاطه می‌کند، که ممکن است انتقال جرم و تکانه و هم‌چنین گرما و کار وجود داشته باشد.

بنابراین، سطح کنترل عمومی‌تر، حجم کنترل را تعریف می‌کند، که در آن جرم ممکن است به داخل یا خارج جریان یابد، در حالی که یک جرم کنترلی حالت خاصی است که هیچ جرمی داخل یا خارج نمی‌شود. از این رو، جرم کنترل همیشه حاوی یک جرم ثابت است که نام آن را توضیح می‌دهد. فرمول کلی آنالیز به تفصیل در فصل ۴ در نظر گرفته شده است. اصطلاحات سیستم بسته (جرم ثابت) و سیستم باز (شامل جریانی از جرم) گاهی اوقات برای ایجاد این تمایز استفاده می‌شود. در این جا، ما از اصطلاح سیستم به عنوان یک توصیف کلی‌تر و آزادتر برای یک جرم، دستگاه یا ترکیبی از دستگاه‌ها استفاده می‌کنیم که پس از انتخاب یک حجم کنترل، دقیق‌تر تعریف می‌شود. روشی که در ارائه قوانین اول و دوم ترمودینامیک دنبال می‌شود، ابتدا ارائه این قوانین برای یک جرم کنترل و سپس گسترش آنالیز به حجم کنترل عمومی‌تر است.



شکل ۵،۱ نمونه‌ای از حجم کنترل.

۲,۱ نقاط دید ماکروسکوپی در مقابل میکروسکوپی

رفتار یک سیستم ممکن است از دیدگاه میکروسکوپی یا ماکروسکوپی بررسی شود. اجازه دهید به طور خلاصه یک سیستم را از دیدگاه میکروسکوپی توصیف کنیم. سیستمی متشکل از یک مکعب 25 میلی‌متری در هر طرف و حاوی گاز تک اتمی در فشار و دمای اتمسفر را در نظر بگیرید. این حجم تقریباً شامل 10^{20} اتم است. برای توصیف موقعیت هر اتم، باید سه مختصات را مشخص کنیم. برای توصیف سرعت هر اتم، سه جزء سرعت را مشخص می‌کنیم.

بنابراین، برای توصیف کامل رفتار این سیستم از دیدگاه میکروسکوپی، باید حداقل با معادلات 6×10^{20} برخورد کنیم. حتی با یک کامپیوتر مدرن، این کار محاسباتی ناامیدکننده است. با این حال، دو رویکرد برای این مشکل وجود دارد که تعداد معادلات و متغیرها را به تعداد کمی کاهش می‌دهد که می‌توان آن‌ها را نسبتاً آسان محاسبه کرد. یکی رویکرد آماری است که در آن، بر اساس ملاحظات آماری و تئوری احتمال، با مقادیر میانگین برای همه ذرات مورد بررسی سروکار داریم. این معمولاً در ارتباط با مدلی از اتم مورد بررسی انجام می‌شود. این رویکردی است که در رشته‌های نظریه جنبشی و مکانیک آماری استفاده می‌شود.

دیدگاه ماکروسکوپی ترمودینامیک سنتی یکی از روش‌های کاهش تعداد متغیرها به تعداد کمی است که می‌توان به سادگی کنترل کرد. همان‌طور که از کلمه ماکروسکوپی پیداست، ما نگران اثرات ناخالص یا متوسط بسیاری از مولکول‌ها هستیم. این اثرات را می‌توانیم با حواسمان درک کنیم و با ابزار اندازه‌گیری کنیم. با این حال، آنچه ما واقعاً درک و اندازه‌گیری می‌کنیم، تاثیر میانگین زمانی بسیاری از مولکول‌ها است. به عنوان مثال، فشاری را که یک گاز به دیواره‌های ظرف خود وارد می‌کند در نظر بگیرید. این فشار ناشی از تغییر تکانه مولکول‌ها در برخورد با دیواره است. با این حال، از نقطه نظر ماکروسکوپی، ما به عملکرد مولکول‌های منفرد اهمیت نمی‌دهیم، بلکه به نیروی میانگین زمانی روی یک ناحیه معین توجه می‌کنیم که می‌توان آن را با فشارسنج اندازه‌گیری کرد. در واقع، این مشاهدات ماکروسکوپی کاملاً مستقل از فرضیات ما در مورد ماهیت ماده هستند.

اگرچه تئوری و توسعه در این کتاب از دیدگاه ماکروسکوپی ارائه شده است، اما چند نکته تکمیلی در مورد اهمیت دیدگاه میکروسکوپی به عنوان کمکی برای درک فرآیندهای فیزیکی درگیر گنجانده شده است. کتاب دیگری از این مجموعه، مقدمه‌ای بر ترمودینامیک: کلاسیک و آماری، اثر آ.ای. سانتاگ و جی. جی. وان ویلی، شامل ترمودینامیک از دیدگاه میکروسکوپی و آماری است.

در مورد رویکرد پیوسته نیز باید چند نکته بیان شود. ما اغلب بر حجم‌هایی تمرکز می‌کنیم که در مقایسه با ابعاد مولکول‌ها و مدت زمان و هم‌چنین در مقایسه با فرکانس برخوردهای بین مولکولی بسیار بزرگ هستند. به همین دلیل، ما با تعداد بسیار زیادی از مولکول‌ها سر و کار داریم که اغلب در طول دوره مشاهده‌ی ما برهم‌کنش می‌کنند، بنابراین ما سیستم را به عنوان یک جرم ساده که به طور یکنواخت در حجمی که به نام پیوستار شناخته می‌شود توزیع شده در نظر می‌گیریم. البته، این مفهوم، تنها یک فرض راحت است که زمانی اعتبار خود را از دست می‌دهد که مسیر آزاد متوسط مولکول‌ها به ترتیب بزرگی ابعاد ظرف نزدیک شود، مثلاً در فناوری خلاء بالا. در بسیاری از کارهای مهندسی، فرض یک پیوستار معتبر و راحت است که با دیدگاه ماکروسکوپی سازگار است.

۳,۱ خواص و حالت یک ماده

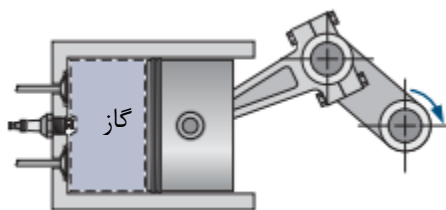
اگر جرم معینی از آب را در نظر بگیریم، متوجه می‌شویم که این آب می‌تواند به اشکال مختلف وجود داشته باشد. اگر در ابتدا مایع باشد، ممکن است در هنگام گرم شدن به بخار یا در هنگام سرد شدن تبدیل به جامد شود. بنابراین، ما از مراحل مختلف یک ماده صحبت می‌کنیم. یک فاز توصیف وضعیتی از ماده است که در سراسر آن همگن است که معمولاً به عنوان فازهای جامد، مایع یا گاز نامیده می‌شود. هنگامی که بیش از یک فاز وجود دارد، فازها توسط مرزهای فاز از یکدیگر جدا می‌شوند. در هر فاز، این ماده ممکن است در فشارها و دماهای مختلف یا به اصطلاح ترمودینامیکی در حالت‌های مختلف وجود داشته باشد. حالت ممکن است با خواص ماکروسکوپی قابل مشاهده مشخصی شناسایی یا توصیف شود. برخی از موارد آشنا دما، فشار و چگالی هستند. در فصول بعدی، سایر خواص معرفی خواهند شد. هر یک از خصوصیات یک ماده در یک حالت معین فقط یک مقدار معین دارد و این خواص همیشه برای یک حالت معین ارزش یکسانی دارند، صرف نظر از این که ماده چگونه به حالت رسیده است. در واقع، یک ویژگی را می‌توان به عنوان هر کمیتی تعریف کرد که به وضعیت سیستم بستگی دارد و مستقل از مسیر (یعنی تاریخچه قبلی) است که توسط آن سیستم به حالت داده شده رسیده است. برعکس، حالت توسط خواص مشخص یا توصیف می‌شود. بعداً تعداد خواص مستقلی را که یک ماده می‌تواند داشته باشد، در نظر می‌گیریم، یعنی حداقل تعداد خواصی را که باید برای تعیین حالت ماده مشخص شود.

خواص ترمودینامیکی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: شدتی و مقداری. یک خاصیت شدتی مستقل از جرم است. ارزش یک ویژگی مقداری به طور مستقیم با جرم متفاوت است. بنابراین، اگر مقداری از ماده در یک حالت معین به دو قسمت مساوی تقسیم شود، هر قسمت دارای ارزش خاصیت شدتی با مقدار اصلی و نصف ارزش خواص مقداری خواهد بود. فشار، دما و چگالی نمونه‌هایی از خواص شدتی هستند. جرم و حجم کل نمونه‌هایی از خواص مقداری هستند. خواص مقداری در واحد جرم، مانند حجم خاص، خواص شدتی هستند، به بخش ۶,۱ مراجعه کنید.

ما اغلب نه تنها به خواص یک ماده بلکه به خواص یک سیستم نیز اشاره می‌کنیم. وقتی این کار را انجام می‌دهیم، لزوماً به این نکته اشاره می‌کنیم که ارزش خواص برای کل سیستم اهمیت دارد و این به تعادل اشاره دارد. به عنوان مثال، اگر گازی که سیستم را تشکیل می‌دهد (جرم کنترل) در شکل ۴,۱ در تعادل حرارتی باشد، دما در کل سیستم یکسان خواهد بود و ممکن است از دما به عنوان یک ویژگی سیستم صحبت کنیم. ما همچنین ممکن است تعادل مکانیکی را در نظر بگیریم که مربوط به فشار است. اگر سیستمی در تعادل مکانیکی باشد، تا زمانی که سیستم نسبت به محیط ایزوله شده باشد، هیچ تمایلی برای تغییر فشار در هیچ نقطه‌ای با زمان وجود ندارد. تغییرات فشار با ارتفاع به دلیل تاثیر نیروهای گرانشی وجود خواهد داشت، اگرچه در شرایط تعادل تمایلی برای تغییر فشار در هر مکانی وجود نخواهد داشت. با این حال، در بسیاری از مسائل ترمودینامیکی، این تغییر فشار با ارتفاع آن قدر کم است که می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. تعادل شیمیایی نیز مهم است و در فصل ۱۴ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هنگامی که یک سیستم با توجه به تمام تغییرات ممکن در حالت تعادل باشد، می‌گوییم که سیستم در تعادل ترمودینامیکی است.

۴,۱ فرآیندها و چرخه‌ها

هرگاه یک یا چند ویژگی یک سیستم تغییر کند، می‌گوییم که تغییر حالت رخ داده است. به عنوان مثال، هنگامی که میل لنگ همان‌طور که در شکل ۶,۱ نشان داده شده است حرکت می‌کند، پیستون حرکت می‌کند تا حجم سیلندر بزرگ‌تری ایجاد کند، بنابراین تغییر حالت به سمت فشار کم‌تر و حجم ویژه بالاتر رخ می‌دهد. مسیر توالی حالت‌هایی که سیستم از آن عبور می‌کند، فرآیند نامیده می‌شود.



شکل ۶،۱ مثالی از سیستمی که ممکن است تحت یک فرآیند شبه تعادلی قرار گیرد.

اجازه دهید تعادل یک سیستم را در شرایطی که در حال تغییر حالت است در نظر بگیریم. لحظه‌ای که پیستون در شکل ۶،۱ حرکت می‌کند، تعادل مکانیکی وجود ندارد. در نتیجه، حجم و فشار تغییر می‌کند تا زمانی که تعادل مکانیکی برقرار شود. سوال این است: از آن جایی که خواص حالت یک سیستم را فقط زمانی که در حالت تعادل است توصیف می‌کنند، چگونه می‌توانیم حالت‌های یک سیستم را در طول یک فرآیند توصیف کنیم در صورتی که فرآیند واقعی فقط زمانی رخ می‌دهد که تعادل وجود نداشته باشد؟ یک مرحله برای یافتن پاسخ این سوال به تعریف فرآیند ایده‌آل مربوط می‌شود که آن را فرآیند شبه تعادلی می‌نامیم. فرآیند شبه تعادلی فرآیندی است که در آن انحراف از تعادل ترمودینامیکی بی‌نهایت کوچک است و تمام حالاتی که سیستم در طول یک فرآیند شبه تعادلی از آن عبور می‌کند را می‌توان حالت‌های تعادلی در نظر گرفت. بسیاری از فرآیندهای واقعی از نزدیک به یک فرآیند شبه تعادلی نزدیک می‌شوند و ممکن است اساساً بدون خطا با آن‌ها برخورد شود. اگر پیستون به آهستگی حرکت کند، فرآیند را می‌توان شبه تعادل در نظر گرفت. با این حال، اگر پیستون سریع حرکت کند، توزیع فشار غیر یکنواخت در گاز وجود خواهد داشت. این یک فرآیند غیرتعادلی خواهد بود و سیستم در هیچ زمانی در طول این تغییر حالت در تعادل نخواهد بود.

برای فرآیندهای غیرتعادلی، ما محدود به توصیف سیستم قبل از وقوع فرآیند و پس از تکمیل فرآیند و بازیابی تعادل هستیم. ما نمی‌توانیم هر حالتی را که سیستم از آن عبور می‌کند یا نرخ که فرآیند در آن رخ می‌دهد را مشخص کنیم. با این حال، همان‌طور که بعداً خواهیم دید، می‌توانیم اثرات کلی خاصی را که در طول فرآیند رخ می‌دهند، توصیف کنیم.

چندین فرآیند با این واقعیت توصیف می‌شوند که یک خاصیت ثابت می‌ماند. پیشوند ISO- برای توصیف چنین فرآیندی استفاده می‌شود. یک فرآیند همدمای با فرآیند ثابت، یک فرآیند هم فشار (ایزوباریک) یک فرآیند با فشار ثابت و یک فرآیند هم حجم (ایزوکریک) یک فرآیند با حجم ثابت است.

هنگامی که یک سیستم در یک حالت اولیه معین، چندین تغییر حالت یا فرآیندهای مختلف را طی می‌کند و در نهایت به حالت اولیه خود باز می‌گردد، سیستم، یک چرخه را پشت سر گذاشته است. بنابراین، در پایان یک چرخه، همه خواص همان مقداری هستند که در ابتدا داشتند. بخار (آبی) که از طریق نیروگاه بخار به گردش در می‌آید، یک چرخه را طی می‌کند.

باید بین یک سیکل ترمودینامیکی که به تازگی توضیح داده شد و یک سیکل مکانیکی تمایز قائل شد. یک موتور احتراق داخلی چهار زمانه یک چرخه مکانیکی را هر دو دور یک بار طی می‌کند. با این حال، سیال، کار یک چرخه ترمودینامیکی را در موتور طی نمی‌کند، زیرا هوا و سوخت می‌سوزند و به محصولات احتراق تبدیل می‌شوند که به اتمسفر تخلیه می‌شوند. در این کتاب، اصطلاح چرخه به یک چرخه ترمودینامیکی اشاره می‌کند، مگر این‌که طور دیگری تعیین شده باشد.

۵.۱ واحدها برای جرم، طول، زمان و نیرو

از آنجایی که ما خواص ترمودینامیکی را از منظر ماکروسکوپی در نظر می‌گیریم، با کمیت‌هایی سروکار داریم که به طور مستقیم یا غیرمستقیم قابل اندازه‌گیری و شمارش هستند. بنابراین، موضوع واحدها به یک موضوع مهم تبدیل می‌شود و همه آن‌ها در جدول A.۱ پیوست نشان داده شده‌اند. در بخش‌های باقی‌مانده این فصل، خواص ترمودینامیکی خاصی و واحدهای اساسی را تعریف خواهیم کرد. از آنجایی که درک رابطه بین نیرو و جرم اغلب برای دانشجویان دشوار است، در این بخش با جزئیات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نیرو، جرم، طول و زمان با قانون دوم حرکت نیوتن مرتبط هستند، که بیان می‌کند نیروی وارد بر یک جسم متناسب با حاصلضرب جرم و شتاب در جهت نیرو است:

$$F \propto ma$$

مفهوم زمان به خوبی تثبیت شده است. واحد اصلی زمان، ثانیه (S) است که در گذشته بر حسب روز خورشیدی، یعنی فاصله زمانی یک دور کامل زمین نسبت به خورشید تعریف می‌شد. از آنجایی که این دوره با فصل سال تغییر می‌کند، مقدار متوسط در یک دوره ۱ ساله را میانگین روز شمسی می‌نامند و میانگین ثانیه شمسی ۴۰۰ ۱/۸۶ از میانگین روز خورشیدی است. در سال ۱۹۶۷، کنفرانس عمومی وزن‌ها و اندازه‌ها (CGPM) تعریف دوم را به عنوان زمان مورد نیاز برای پرتویی از اتم‌های سزیم-۱۳۳ برای تشدید ۹ ۱۹۲ ۶۳۱ ۷۷۰ سیکل در تشدیدکننده سزیم به تصویب رساند.

برای دوره‌های زمانی کم‌تر از ۱ ثانیه، معمولاً از پیشوندهای *milli*، *micro*، *nano* یا *pico* یا *femto* استفاده می‌شود که در جدول A.۰ فهرست شده است. برای مدت زمان طولانی‌تر، واحدهای دقیقه (min)، ساعت (h)، یا روز (day) اغلب استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است که پیشوندها با بسیاری از واحدهای دیگر نیز استفاده می‌شوند.

مفهوم طول نیز به خوبی ثابت شده است. واحد اصلی طول متر (m) است که قبلاً روی میله پلاتین-ایریدیم علامت‌گذاری می‌شد. در حال حاضر، CGPM تعریف دقیق‌تری از متر بر حسب سرعت نور (که اکنون یک ثابت ثابت است) اتخاذ کرده است: متر، طول مسیری است که نور در خلاء طی یک بازه زمانی ۷۹۲ ۴۵۸ ۱/۲۹۹ ثانیه طی می‌کند.

واحد اصلی جرم کیلوگرم (kg) است. همان‌طور که توسط اولین CGPM در سال ۱۸۸۹ تصویب شد و در سال ۱۹۰۱ مجدداً بیان شد، جرم یک استوانه پلاتین-ایریدیوم خاص است که تحت شرایط تعیین شده در دفتر بین‌المللی وزن‌ها و اندازه‌ها نگهداری می‌شود. یک واحد مرتبط که به طور مکرر در ترمودینامیک استفاده می‌شود، مول (mol) است که به عنوان مقداری از ماده حاوی عناصر بنیادی به تعداد اتم‌های موجود در ۰٫۰۱۲ کیلوگرم کربن-۱۲ تعریف می‌شود. این نهادهای ابتدایی باید مشخص شوند. آن‌ها ممکن است اتم‌ها، مولکول‌ها، الکترون‌ها، یون‌ها یا سایر ذرات یا گروه‌های خاص باشند. به عنوان مثال، ۱ مول از اکسیژن دو اتمی، با جرم مولکولی ۳۲ (در مقایسه با ۱۲ برای کربن)، دارای جرم ۰٫۰۳۲ کیلوگرم است. مول اغلب مول گرم نامیده می‌شود، زیرا مقداری از ماده بر حسب گرم است که عددی برابر با جرم مولکولی است. در این کتاب، هنگام استفاده از سیستم متریک SI، به جای مول، از کیلومول (kmol)، مقدار ماده بر حسب کیلوگرم برابر با جرم مولکولی استفاده خواهیم کرد.

سیستم واحدهایی که در حال حاضر در اکثر نقاط جهان استفاده می‌شود، سیستم بین‌المللی متریک است که معمولاً به عنوان واحدهای SI (از Le Système International d'Unités) نامیده می‌شود. در این سیستم، ثانیه، متر و کیلوگرم به ترتیب واحدهای پایه زمان، طول و جرم هستند که قبلاً تعریف شده است و واحد نیرو مستقیماً از قانون دوم نیوتن تعریف می‌شود. تبدیل واحدها در جدول A.۱ نشان داده شده است و اکثر موارد رایج در سیستم‌های واحد SI و انگلیسی را پوشش می‌دهد.

بنابراین، ثابت تناسب غیر ضروری است، و ممکن است آن قانون را به صورت یک تساوی بنویسیم:

$$F = ma \quad (۱,۱)$$

واحد نیرو، نیوتن (N) است که طبق تعریف، نیروی مورد نیاز برای شتاب دادن به جرم ۱ kg با سرعت 1 m/s^2 است:

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

شایان ذکر است که واحدهای SI مشتق شده از اسم‌های خاص از حروف بزرگ برای نمادها استفاده می‌کنند. سایر واحدها از حروف کوچک استفاده می‌کنند. لیتر با علامت L استثنا است.

سیستم سنتی واحدهای مورد استفاده در ایالات متحده، سیستم مهندسی انگلیسی است. در این سیستم واحد زمان، ثانیه است که قبلاً در مورد آن صحبت شد. واحد اصلی طول، فوت (ft) است که در حال حاضر بر حسب متر به صورت زیر تعریف می‌شود

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} = 12 \text{ in.}$$

و بنابراین به اینچ (in.) نیز مربوط می‌شود. واحد جرم در این سیستم پوند جرم (lbm) است. در ابتدا به عنوان جرم یک استوانه پلاتین مشخصی که در برج لندن نگهداری می‌شود تعریف می‌شد، اما اکنون بر حسب کیلوگرم به صورت زیر تعریف می‌شود

$$1 \text{ lbm} = 0.45359237 \text{ kg}$$

یک واحد مرتبط، پوند مول (lb mol) است که مقداری از ماده بر حسب پوند جرم است که عددی برابر با جرم مولکولی آن ماده است. مهم است که بین پوند مول و مول (مول گرم) تمایز قائل شویم.

در سیستم مهندسی انگلیسی واحدها، واحد نیرو، پوند نیرو (lbf) است که به عنوان نیرویی تعریف می‌شود که با آن پوند جرم استاندارد تحت شرایط شتاب استاندارد گرانش به زمین جذب می‌شود، که در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه است. و ارتفاع از سطح دریا، 9.80665 m/s^2 یا 32.1740 ft/s^2 است. بنابراین، از قانون دوم نیوتن چنین برمی‌آید که

$$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm ft/s}^2$$

که عاملی ضروری برای تبدیل و ثبات واحدها می‌باشد. توجه داشته باشید که باید مراقب باشیم بین lbm و lbf تمایز قائل شویم و اصطلاح پوند را به تنهایی به کار نمی‌بریم.

اصطلاح وزن اغلب در رابطه با بدن استفاده می‌شود و گاهی اوقات با جرم اشتباه گرفته می‌شود. وزن واقعا به درستی فقط به عنوان یک نیرو استفاده می‌شود. وقتی می‌گوییم یک جسم این قدر وزن دارد، منظورمان این است که این نیرویی است که با آن به زمین (یا جسم دیگری) جذب می‌شود، یعنی حاصل ضرب جرم آن و شتاب گرانشی محلی. جرم یک ماده با افزایش ارتفاع ثابت می‌ماند، اما وزن آن با ارتفاع تغییر می‌کند.

مثال ۱,۱
وزن یک توده ۱ kg در ارتفاعی که شتاب محلی گرانش 9.75 m/s^2 است چقدر است؟ راه حل وزن نیرویی است که بر جرم وارد می‌شود که از قانون دوم نیوتن عبارت است از $F = mg = 1 \times 9.75 \text{ m/s}^2 \times [1 \text{ N s}^2/\text{kg m}] = 9.75 \text{ N}$
مثال 1E
وزن یک توده ۱ lbm در ارتفاعی که شتاب محلی گرانش 32 ft/s^2 است چقدر است؟ راه حل وزن، نیرویی است که بر جرم وارد می‌شود که از قانون دوم نیوتن عبارت است از $F = mg = 1 \text{ lbm} \times 32.0 \text{ ft/s}^2 \times [\text{lbf s}^2/32.174 \text{ lbm ft}] = 0.9946 \text{ lbf}$

سوالات مفهومی درون متنی
الف. یک حجم کنترلی در اطراف توربین در نیروگاه بخار در شکل ۲,۱ ایجاد کنید و جریان‌های جرم و انرژی واقع در آن‌جا را فهرست کنید. ب. یک حجم کنترلی در اطراف یخچال آشپزخانه خود بگیرید، محل قرارگیری اجزای نشان داده شده در شکل ۳,۱ را مشخص کنید و تمام انتقال انرژی را نشان دهید.

۶,۱ حجم و چگالی خاص

حجم مخصوص یک ماده به عنوان حجم در واحد جرم تعریف می‌شود و نماد V به آن داده می‌شود. چگالی با علامت ρ مشخص می‌شود. حجم و چگالی مخصوص خواص شدتی هستند.

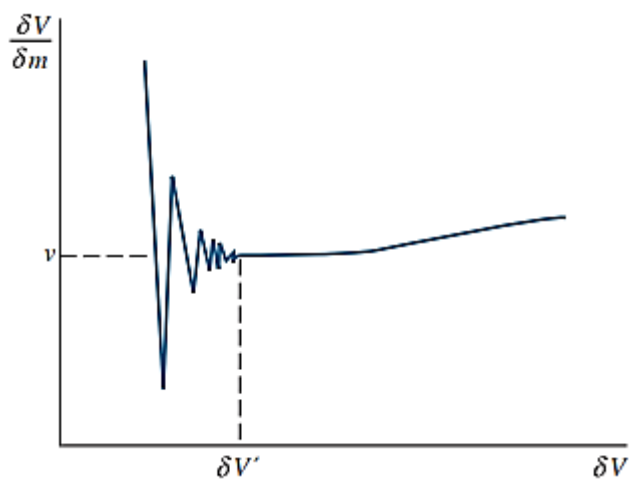
حجم مخصوص یک سیستم در یک میدان گرانشی ممکن است از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت باشد. به عنوان مثال، اگر اتمسفر یک سیستم در نظر گرفته شود، با افزایش ارتفاع، حجم مخصوص افزایش می‌یابد. بنابراین، تعریف حجم مخصوص شامل حجم مخصوص یک ماده در یک نقطه از یک سیستم است.

یک حجم کوچک δV از یک سیستم را در نظر بگیرید و اجازه دهید جرم آن δm تعیین شود. حجم خاص با رابطه زیر تعریف می‌شود

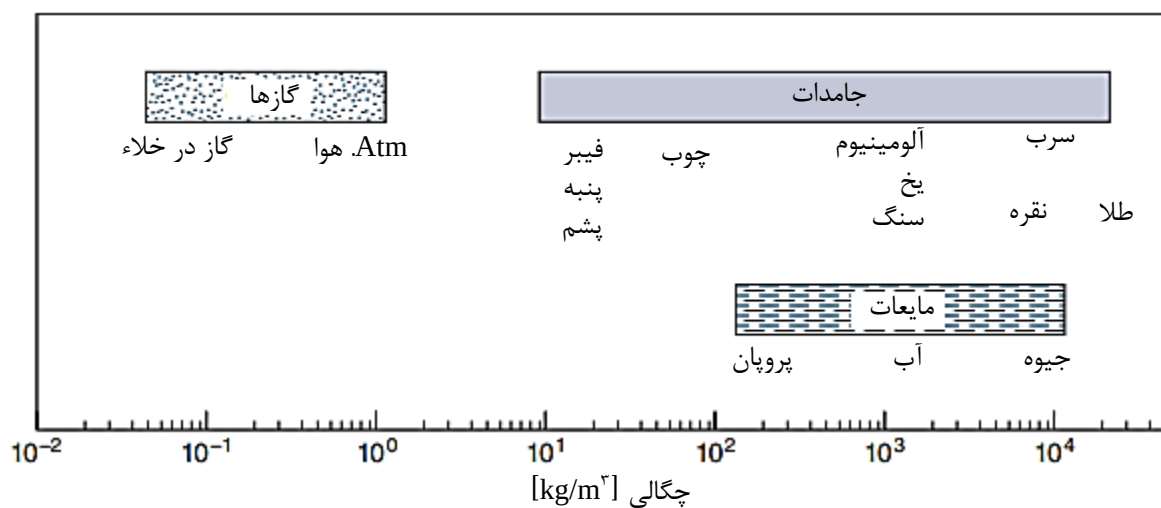
$$v \equiv \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m}. \quad (2,1)$$

که در آن $\delta V'$ کوچک‌ترین حجمی است که در آن، جرم را می‌توان یک پیوستار در نظر گرفت. حجم‌های کوچک‌تر از این منجر به تشخیص این موضوع می‌شود که جرم به طور مساوی در فضا توزیع نشده است، بلکه در ذرات به عنوان مولکول، اتم، الکترون و غیره متمرکز است. این امر به طور آزمایشی در شکل ۷,۱ نشان داده شده است، که در آن در حد حجم صفر، حجم مخصوص ممکن است بی‌نهایت باشد (حجم حاوی هیچ جرمی نیست) یا بسیار کوچک است (حجم بخشی از یک هسته است).

بنابراین، در یک سیستم معین، وقتی از حجم یا چگالی مخصوص در نقطه‌ای از سیستم صحبت می‌کنیم، متوجه می‌شویم که ممکن است با ارتفاع متفاوت باشد. با این حال، اکثر سیستم‌هایی که ما در نظر می‌گیریم نسبتاً کوچک هستند و تغییر در حجم مخصوص با ارتفاع قابل توجه نیست. بنابراین، می‌توانیم یک مقدار حجم یا چگالی مخصوص را به کل سیستم اختصاص دهیم.



شکل ۷،۱ حد پیوسته برای حجم مخصوص.



شکل ۸،۱ چگالی مواد رایج.

در این کتاب، حجم و چگالی مخصوص به صورت جرمی یا مول ارائه خواهد شد. یک میله روی نماد (حروف کوچک) برای تعیین خاصیت بر اساس مول استفاده خواهد شد. بنابراین، $\bar{V}$ حجم مخصوص مولی و $\bar{\rho}$ چگالی مولی را مشخص می‌کند. در واحدهای SI، آن‌هایی که برای حجم مخصوص در نظر گرفته می‌شوند m^3/kg و