

بورگناک - زونتاگ

مبانی ترمودینامیک

(ون وایلن)

ویرایش هفتم

ترجمه:

مهندس غلامرضا ملک‌زاده - مهندس محمد حسین کاشانی حصار



سرشناسه :	بورگناک، کلاوس Borgnakke, Claus
عنوان و نام پدیدآور :	مبانی ترمودینامیک = Fundamentals of Thermodynamics / بورگناک، زونتاک ! ترجمه غلامرضا ملک‌زاده، محمدحسین کاشانی حصار.
مشخصات نشر :	مشهد: نشر نما، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری :	۷۹۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک :	978-610-217-010-1: ۱۶۰۰۰ ر.ال
وضعیت فهرست نویسی :	فبا
یادداشت :	عنوان اصلی: Fundamentals of thermodynamics, 7th ed, 2009.
یادداشت :	ویراسته‌های قبلی کتاب حاضر با عناوین "اصول ترمودینامیک کلاسیک" و "مبانی ترمودینامیک کلاسیک" توسط مترجمان و ناشران مختلف در سالهای متفاوت ترجمه و منتشر شده است.
عنوان دیگر :	اصول ترمودینامیک کلاسیک.
عنوان دیگر :	مبانی ترمودینامیک کلاسیک.
موضوع :	ترمودینامیک
شناسه افزوده :	سانتگ، ریچارد ادوین
شناسه افزوده :	Sonntag, Richard Edwin
شناسه افزوده :	ملک‌زاده، غلامرضا، ۱۳۲۸-، مترجم
شناسه افزوده :	کاشانی حصار، محمدحسین، ۱۳۲۶-، مترجم
رده بندی کنگره :	۱۳۹۰ ۶۱۰/۲۱۷/۰۱۰۶
رده بندی دیویی :	۶۲۱/۴۰۲۱
شماره کتابشناسی ملی :	۱۳۶۱۵۶۷



نشر جهان‌نما



انتشارات نما

انتشارات نما، مشهد، تلفن ۸۴۰۷۹۹۵ - تهران، تلفن ۶۶۴۶۴۵۹۳
<http://www.namapub.ir> E-mail: info@namapub.ir

نام کتاب: مبانی ترمودینامیک (ون وایلن) - ویرایش هفتم

نویسنده: بورگناک - زونتاک

ترجمه: مهندس غلامرضا ملک‌زاده، مهندس محمدحسین کاشانی حصار

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۰ - ۷۹۲ صفحه وزیری

صفحه‌آرایی: واژگان خرد، لیتوگرافی: مشهد اسکتر

چاپ و صحافی: دانشگاه فردوسی

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۱۷-۰۱۰-۱

قیمت: ۱۶۰۰۰ تومان

حق چاپ محفوظ است

مرکز پخش: تهران - انقلاب، خیابان اردیبهشت - کوچه وحید شماره ۷ تلفاکس ۶۶۴۶۴۵۹۳

مرکز پخش: مشهد: قاسم‌آباد - استاد یوسفی ۱۷ - کتاب جهان‌نما تلفاکس ۶۶۲۸۲۲۵

فهرست

مقدمه مولفین	۹
مقدمه مترجمین	۱۳
فصل ۱: مقدمه	۱۷
۱-۱ تأسیسات ساده‌ی نیروگاه بخار	۱۷
۱-۲ پیل‌های سوختی	۱۹
۱-۳ سیکل تبرید تراکم بخار	۲۱
۱-۴ یخچال ترموالکتریک	۲۳
۱-۵ تأسیسات جداسازی هوا	۲۳
۱-۶ توربین گازی	۲۵
۱-۷ موتور شیمیایی راکت	۲۷
۱-۸ دیدگاه‌های زیست محیطی و کاربردهای دیگر	۲۸
فصل ۲: حجم‌های کنترل و آحاد	۲۹
۲-۱ سیستم ترمودینامیکی و حجم کنترل	۲۹
۲-۲ دیدگاه‌های ماکروسکوپیک در مقابل دیدگاه‌های میکروسکوپیک	۳۰
۲-۳ خواص و حالت یک ماده	۳۱
۲-۴ فرآیندها و سیکل‌ها	۳۲
۲-۵ آحاد جرم، طول، زمان و نیرو	۳۳
۲-۶ انرژی	۳۵
۲-۷ حجم مخصوص و چگالی	۳۸
۲-۸ فشار	۴۰
۲-۹ تساوی درجه حرارت	۴۶
۲-۱۰ قانون صفرم ترمودینامیک	۴۷
۲-۱۱ مقیاسات درجه حرارت	۴۷
۲-۱۲ کاربردهای مهندسی	۴۸
مسائل مفهومی و راهنمای مطالعه	۵۴
فصل ۳: رفتار مواد خالص	۶۱
۳-۱ ماده‌ی خالص	۶۲
۳-۲ تعادل فازهای بخار-مایع-گاز در ماده‌ی خالص	۶۲
۳-۳ خواص مستقل یک ماده‌ی خالص	۶۹
۳-۴ جداول خواص ترمودینامیکی	۶۹

۳-۵	سطوح ترمودینامیکی.....	۷۶
۳-۶	رفتار $P-V-T$ گازهای با چگالی کم و متوسط.....	۷۷
۷-۳	ضریب تراکم پذیری.....	۸۰
۳-۸	معادلات حالت.....	۸۴
۳-۹	جداول کامپیوتری.....	۸۵
۳-۱۰	کاربردهای مهندسی.....	۸۷
۹۰	مسائل راهنمای مفاهیم.....	۹۰

فصل ۴: انتقال انرژی

۴-۱	تعریف کار.....	۱۰۰
۴-۲	آحاد کار.....	۱۰۲
۴-۳	کار انجام شده روی مرز متحرک یک سیستم تراکم پذیر ساده.....	۱۰۳
۴-۴	برخی دیگر از سیستم های شامل کار در یک مرز متحرک.....	۱۱۲
۴-۵	چند نکته ی نهایی در باره ی کار.....	۱۱۴
۴-۶	تعریف حرارت.....	۱۱۵
۴-۷	اشکال مختلف انتقال حرارت.....	۱۱۶
۴-۸	مقایسه ی حرارت و کار.....	۱۱۸
۴-۹	کاربردهای مهندسی.....	۱۱۹
۱۲۳	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم.....	۱۲۳

فصل ۵: قانون اول ترمودینامیک

۵-۱	قانون اول ترمودینامیک برای یک جرم کنترل در یک سیکل.....	۱۳۴
۵-۲	قانون اول ترمودینامیک برای تغییر حالت یک جرم کنترل.....	۱۳۵
۵-۳	انرژی داخلی - یک خاصیت ترمودینامیک.....	۱۴۱
۵-۴	روش های حل و تحلیل مسائل.....	۱۴۳
۵-۵	انتالپی یک خاصیت ترمودینامیکی.....	۱۴۵
۵-۶	حرارت مخصوص های حجم - ثابت و فشار - ثابت.....	۱۵۰
۵-۷	انرژی داخلی - انتالپی و حرارت مخصوص گازهای ایدآل.....	۱۵۱
۵-۸	قانون اول به صورت معادله ی شدت.....	۱۵۷
۵-۹	بقای جرم.....	۱۵۹
۵-۱۰	کاربردهای مهندسی.....	۱۵۹
۱۶۵	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم.....	۱۶۵

فصل ۶: معادله ی انرژی برای حجم کنترل

۶-۱	بقای جرم و حجم کنترل.....	۱۸۱
۶-۲	قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل.....	۱۸۴
۶-۳	فرآیند حالت پایدار.....	۱۸۶

۶-۴	مثال‌های فرآیند حالت پایدار	۱۸۸
۶-۵	فرآیند گذرا	۲۰۱
۶-۶	کاربردهای مهندسی	۲۰۷
۲۱۵	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم	

فصل ۷: قانون دوم ترمودینامیک کلاسیک

۷-۱	موتورهای حرارتی و یخچالها	۲۳۲
۷-۲	قانون دوم ترمودینامیک	۲۳۸
۷-۳	فرآیند بازگشت پذیر	۲۴۱
۷-۴	عواملی که موجب بازگشت ناپذیری فرآیند می شوند	۲۴۲
۷-۵	سیکل کارنو	۲۴۵
۷-۶	دو قضیه در مورد کارایی سیکل کارنو	۲۴۷
۷-۷	مقیاس درجه حرارت ترمودینامیکی	۲۴۸
۷-۸	مقیاس درجه حرارت گاز ایدآل	۲۴۹
۷-۹	ماشین‌های ایدآل در مقایسه با ماشین‌های حقیقی	۲۵۳
۷-۱۰	کاربردهای مهندسی	۲۵۶
۲۶۲	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم	

فصل ۸: انتروپی جرم کنترل

۸-۱	نابرابری کلازیوس	۲۷۳
۸-۲	انتروپی؛ یک خاصیت سیستم	۲۷۸
۸-۳	انتروپی یک ماده خالص	۲۷۹
۸-۴	تغییر انتروپی در فرآیندهای بازگشت پذیر	۲۸۱
۸-۵	رابطه خواص ترمودینامیکی	۲۸۶
۸-۶	تغییر انتروپی یک جامد یا مایع	۲۸۷
۸-۷	تغییر انتروپی گاز ایدآل	۲۸۸
۸-۸	فرآیند پلی تروپیک بازگشت پذیر گاز ایدآل	۲۹۲
۸-۹	تغییر انتروپی یک جرم کنترل در طی یک فرآیند بازگشت ناپذیر	۲۹۵
۸-۱۰	تولید انتروپی	۲۹۷
۸-۱۱	اصل افزایش انتروپی	۲۹۹
۸-۱۲	انتروپی به عنوان معادله شدت	۳۰۲
۸-۱۳	تفسیرهای کلی در مورد انتروپی	۳۰۵
۳۰۹	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم	

فصل ۹: معادله انتروپی برای حجم کنترل

۹-۱	قانون دوم ترمودینامیک در مورد حجم کنترل	۳۲۵
۹-۲	فرآیند حالت پایدار - جریان پایدار و فرآیند حالت یکنواخت - جریان یکنواخت	۳۲۷

۳۳۴	۹-۳	قرابتد حالت پایدار با یک جریان منفرد
۳۳۸	۹-۴	اصل افزایش انترپی
۳۴۱	۹-۵	کاربردهای مهندسی، کارآیی
۳۴۷	۹-۶	خلاصه‌ای از تحلیل‌های کلی حجم کنترل
۳۵۰		مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم
۳۶۶		فصل ۱۰: بازگشت‌ناپذیری و قابلیت کاردهی
۳۶۶	۱۰-۱	انرژی در دسترس، کار بازگشت‌پذیر و بازگشت‌ناپذیری
۳۷۷	۱۰-۲	قابلیت کاردهی و کارآیی قانون دوم
۳۸۵	۱۰-۳	معادله موازنه انرژی
۳۸۹	۱۰-۴	کاربردهای مهندسی
۳۹۲		مفاهیم کلیدی و فرمول‌ها
۳۹۳		مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم
۴۰۳		فصل ۱۱: سیستم‌های توان و تبرید با تغییر فاز
۴۰۴	۱۱-۱	مقدمه سیستم‌های توانی
۴۰۶	۱۱-۲	سیکل رنکین
۴۰۸	۱۱-۳	تأثیر فشار و درجه حرارت بر سیکل رنکین
۴۱۲	۱۱-۴	سیکل گرمایش مجدد
۴۱۵	۱۱-۵	سیکل بازتاب
۴۲۰	۱۱-۶	انحراف سیکل‌های حقیقی از سیکل‌های ایدآل
۴۲۴	۱۱-۷	تولید همزمان
۴۲۵	۱۱-۸	مقدمه‌ای بر سیستم‌های تبرید
۴۲۶	۱۱-۹	سیکل تبرید تراکم بخار
۴۲۸	۱۱-۱۰	سیال فعال در سیستم‌های تبرید تراکم بخار
۴۲۹	۱۱-۱۱	انحراف سیکل تبرید تراکم بخار حقیقی از سیکل ایدآل
۴۳۲	۱۱-۱۲	پیکربندی سیکل تبرید
۴۳۴	۱۱-۱۳	سیکل تبرید جذبی - آمونیاک
۴۳۶		مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم
۴۵۰		فصل ۱۲: سیستم‌های توان و تبرید سیال فعال گازی
۴۵۰	۱۲-۱	سیکل‌های توانی استاندارد هوایی
۴۵۱	۱۲-۲	سیکل برایتون
۴۵۷	۱۲-۳	سیکل ساده توربین گاز همراه بازتاب
۴۵۹	۱۲-۴	پیکربندی سیکل توانی توربین گاز
۴۶۲	۱۲-۱۵	سیکل استاندارد هوایی برای رانش جت
۴۶۴	۱۲-۶	سیکل تبرید استاندارد هوایی
۴۶۷	۱۲-۷	سیکل‌های توانی موتورهای رفت و برگشتی

۴۶۹	سیکل اتو	۱۲-۸
۴۷۳	سیکل دیزل	۱۲-۹
۴۷۶	سیکل استرلینگ	۱۲-۱۰
۴۷۶	سیکل های آنکینسون و میلر	۱۲-۱۱
۴۷۸	سیکل ترکیبی سیستم های تبرید و توان	۱۲-۱۲
۴۸۳	مسائل راهنمای مفاهیم	

فصل ۱۳: مخلوط های گازی

۴۹۳	نکات کلی و مخلوط گازهای اید آل	۱۳-۱
۵۰۰	یک الگوی ساده برای مخلوط گازها و بخار	۱۳-۲
۵۰۴	قانون اول برای مخلوط های گاز - بخار	۱۳-۳
۵۰۶	فرآیند اشباع آدیاباتیکی	۱۳-۴
۵۰۷	درجه حرارت های حباب مرطوب و حباب خشک	۱۳-۵
۵۱۵	مسائل راهنمای مطالعه مفاهیم	

فصل ۱۴: روابط ترمودینامیکی

۵۲۷	معادله ی کلاپیرون	۱۴-۱
۵۳۰	روابط ریاضی برای فاز همگن	۱۴-۲
۵۳۲	روابط ماکسول	۱۴-۳
۵۳۵	برخی از روابط ترمودینامیکی شامل انتالپی، انرژی داخلی و انترپی	۱۴-۴
۵۳۹	انبساط پذیری حجمی و تراکم پذیری آدیاباتیکی و همدم	۱۴-۵
۵۴۲	گاز اید آل و معادلات حالت	۱۴-۶
۵۴۶	نمودار و جدول عمومی برای تغییرات انتالپی در درجه حرارت ثابت	۱۴-۷
۵۴۹	نمودار عمومی برای تغییرات انترپی در درجه حرارت ثابت	۱۴-۸
۵۵۲	رابطه خواص برای مخلوط ها	۱۴-۹
۵۵۴	مدل های مواد شبه خالص برای مخلوط های گازهای حقیقی	۱۴-۱۰
۵۵۹	کاربردهای مهندسی جداول ترمودینامیکی	۱۴-۱۱
۵۶۵	مسائل راهنمای مطالعه مفاهیم	

فصل ۱۵: واکنش های شیمیایی

۵۷۶	سوخت ها	۱۵-۱
۵۸۰	فرآیند احتراق	۱۵-۲
۵۸۶	انتالپی تشکیل	۱۵-۳
۵۸۹	تحلیل قانون اول برای سیستم های واکنشی	۱۵-۴
۵۹۳	انتالپی و انرژی داخلی احتراق، گرمای واکنش	۱۵-۵
۵۹۷	درجه حرارت آدیاباتیکی شعله	۱۵-۶
۵۹۹	قانون سوم ترمودینامیک و انترپی مطلق	۱۵-۷

۶۰۰.....	۱۵-۸ تحلیل قانون دوم برای سیستم‌های واکنشی
۶۰۴.....	۱۵-۹ باطری سوختی
۶۰۷.....	۱۵-۱۰ کاربردهای مهندسی
۶۱۴.....	مسائل راهنمای مطالعه - مفاهیم

فصل ۱۶: مقدمه‌ای بر تعادل فازها و تعادل شیمیایی..... ۶۲۸

۶۲۸.....	۱۶-۱ شرایط لازم برای تعادل
۶۳۰.....	۱۶-۲ تعادل بین دو فاز یک ماده خالص
۶۳۴.....	۱۶-۳ تعادل کم ثابت
۶۳۵.....	۱۶-۴ تعادل شیمیایی
۶۴۴.....	۱۶-۵ واکنش‌های همزمان
۶۴۸.....	۱۶-۶ گازی کردن زغال سنگ
۶۴۸.....	۱۶-۷ یونیزاسیون
۶۵۱.....	۱۶-۸ کاربردها
۶۵۴.....	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم

فصل ۱۷: جریان توانم‌پذیر..... ۶۶۳

۶۶۳.....	۱۷-۱ خواص سکون
۶۶۵.....	۱۷-۲ معادله اندازه حرکت برای یک حجم کنترل
۶۶۸.....	۱۷-۳ نیروی‌های وارد بر سطح کنترل
۶۷۰.....	۱۷-۴ جریان پایدار - حالت پایدار یک بعدی و آدیاباتیک
۶۷۲.....	۱۷-۵ سرعت صوت در یک گاز ایدآل
۶۷۴.....	۱۷-۶ جریان بازگشت پذیر، آدیاباتیک و یک بعدی یک گاز ایدآل در شیوره
۶۷۷.....	۱۷-۷ دبی جرمی جریان یک گاز ایدآل در داخل یک شیوره ایزنتروپیک
۶۸۲.....	۱۷-۸ شوک عمودی در یک گاز ایدآل جاری در یک شیوره
۶۸۷.....	۱۷-۹ ضرایب شیوره و پخش کننده
۶۸۹.....	۱۷-۱۰ شیوره ها و روزنه ها به عنوان ابزارهای اندازه گیری جریان
۶۹۹.....	مسائل راهنمای مطالعه و مفاهیم

ضمائم..... ۷۰۶

۷۰۷.....	ضمیمه A: خواص حالت
۷۲۵.....	ضمیمه B: جداول ترمودینامیکی
۷۷۵.....	ضمیمه C: حرارت مخصوص گاز ایدآل
۷۷۷.....	ضمیمه D: معادلات حالت
۷۸۲.....	ضمیمه E: شکل‌ها

پاسخ مسائل منتخب..... ۷۸۵

مقدمه مؤلفین

در ویرایش هفتم این کتاب، اهداف اولیه ویرایشهای قبلی حفظ شده‌اند:

- ارائه رفتارهای ترمودینامیک کلاسیک به صورت مفهومی و تشریحی در عین حفظ دیدگاههای مهندسی، و برای رسیدن به این هدف
- بنیان مطالعات بر اساس مطالب زمینه‌هایی چون مکانیک سیالات، انتقال حرارت و ترمودینامیک آماری و همچنین
- آمادگی دانشجویان برای استفاده اثربخش از ترمودینامیک در مهندسی عملی.

ما ارائه مطالب را عمداً به سوی دانشجویان جهت‌گیری کرده‌ایم. مفاهیم جدید و تعاریف نوین در محتوای مطالب و هرجا که برای اولین بار در روند طبیعی مباحث لازم بوده است، ارائه شده‌اند. خواص اولیه‌ی ترمودینامیکی که تعریف شده‌اند (فصل ۲) خواصی هستند که به سادگی قابل اندازه‌گیری می‌باشند: فشار، حجم مخصوص و درجه حرارت. در فصل سوم جداول ترمودینامیکی خواص معرفی شده‌اند ولی فقط در ارتباط با خواص قابل اندازه‌گیری هستند. انرژی داخلی و انتالپی در ارتباط با قانون اول انتروپی در رابطه با قانون دوم و توابع هلمهولتز و گیبس در فصل روابط ترمودینامیکی معرفی می‌شوند. بسیاری از مثال‌های جهان واقعی در این کتاب آورده شده است تا به دانشجویان در درک بهتر ترمودینامیک کمک کند و مسائل انتهای هر فصل به دقت مرتبط شده‌اند تا ارتباط موضوعی را حفظ کنند، در عین حال که به همان ترتیب نیز دست‌بندی شده‌اند. در فصل‌های اول تعداد مثال‌های بیشتری ارائه و مسایل ویرایش‌های قبلی کتاب نیز مطرح شده است. در سرتاسر کتاب خلاصه انتهای هر فصل اضافه شده و مجموعه‌ای از مسائل مربوط به مفاهیم و مطالعاتی که برای دانشجویان سودمند است، ارائه می‌گردد.

ویژگی‌های جدید این ویرایش

سؤالات مفهومی

در این ویرایش ما سؤالات مفهومی را پس از موضوعات اصلی مورد بحث اضافه کرده ایم تا مطالب آن بخش مرور گردد. این سؤالات برای آزمون سریع است و با می‌تواند توسط مدرس برای آزمون میزان درک دانشجویان به کار برده شود. اغلب این سؤالات مستقیماً از موارد درسی است که امکان یادآوری سریع را فراهم می‌کند اما برخی از آنها نیازمند تفکر و تعمق بیشتر هستند و پاسخی کوتاه برای آنها در راهنمای حل مسائل ارائه شده است. سؤالات مفهومی بیشتر در بخش مسائل تکلیفی مطرح شده است.

کاربردهای مهندسی انتهای فصل

ما بخش کوتاهی در انتهای هر فصل اضافه کرده ایم که عنوان آن کاربردهای مهندسی است. این بخش‌ها حاوی مطالبی است که انگیزه لازم برای دانشجو را با ارائه مثال‌های مهندسی ایجاد می‌کند. بخش اعظم این بخش‌های پایانی شامل موادی برای سؤال یا توسعه نظریه‌ها هستند اما شامل تصاویر و توضیحاتی در رابطه با سیستم‌های فیزیکی واقعی نیز می‌باشند که مطالب فصل مربوط به آنها بوده یا به طراحی و تحلیل مهندسی ارتباط دارند. این بخش‌ها عمداً کوتاه در نظر گرفته

شده اند و ما تلاشی برای توضیح جزئیات نداشته ایم. در نتیجه خواننده می تواند به سرعت آن را مطالعه و از آن ایده بگیرد. در برخی از فصل ها این بخش حاوی روابط و نظریه نیز هستند. ما این بخش را در انتهای فصل قرار داده ایم و در نتیجه روند عمومی ارائه ی مطالب مخدوش نمی شود. اما به مدرسین توصیه می کنیم که با کمک راهنمای تدریس این بخش را به عنوان انگیزه ای برای دانشجویان و مطالعه و بررسی مطالب خاص به کار برند.

تقسیم فصل سیکل های توان و تبرید به دو اصل

فصل یازده در ویرایش قبلی راجع به سیستم های توان و تبرید را به دو فصل تقسیم کرده ایم. یک فصل در رابطه با تغییر فاز برای ماده ی فعال و فصل دیگر در باره ی سیکل های گازی است. در عین حال موارد جدیدی نیز به هر دو فصل افزوده شده است اما توازن لازم حفظ گردیده است.

ما بخشی با عنوان یکرندگی سیکل های تبرید نیز اضافه کرده ایم که حاوی مواد جدیدی راجع به مبردهای R-140a و دی اکسید کربن همراه با جداول مربوطه در بخش ضمایم است. این مطالب آشنائی با سیستم های جدید را همراه با ویژگی های طراحی فناوری های نوین، امکان پذیر می سازد.

سیکل های گازی با توضیحات سیکل های آنکینسون و میلر همراه است. این سیکل ها مهم هستند و در موتورهای هیرید جدید خودروها به کار برده می شوند. این موضوع نیز مرتبط با فناوری های جدید است.

فصل جریان تورکم پذیر

برای این ویرایش ما مجدداً به فصل جریان تورکم پذیر ویرایش پنجم مراجعه کرده ایم. در سؤالات مفهومی و مسائل راهنمای مفاهیم و مسائل تکلیفی جدید نیز مطابق با دیگر فصل ها تجدید نظر شده است.

ویژگی های ادامه یافته از ویرایش ششم

خلاصه انتهای فصل ها

خلاصه ها (انتهای فصول) مروری مختصر بر مفاهیم اولیه و اصلی در فصل است که در آن کلمات کلیدی برجسته شده است. برای استفاده بیشتر این خلاصه، مهارت هایی را فهرست کرده ایم که دانشجو باید پس از مطالعه آن فصل به دست آورد. این مهارت ها در میان خروجی هایی است که با مجموعه مسائل راهنمای مطالعه علاوه بر مسائل تکلیف جهت حل، مورد آزمایش قرار می گیرند.

مفاهیم اصلی و روابط

مفاهیم اصلی و روابط در انتهای هر فصل به عنوان مرجع ارائه شده اند.

مسائل راهنمای مطالعه

مجموعه ای از مسائل راهنمای مطالعه برای هر فصل به عنوان آزمون سریع مطالب درسی فراهم شده است. این مسائل به نحوی انتخاب شده اند که کوتاه بوده و به سوی مفهومی خاص جهت گیری شده باشند. دانشجو می تواند به تمام این سؤالات پاسخ دهد تا به سطح مورد نظر از درک مطالب برسد و در صورت نیاز به مطالعه ی بیشتر هر موضوع، آن را دریابد. این مسائل برای استفاده همراه با بقیه مسائل تکلیفی مناسبند و در راهنمای حل مسائل نیز ارائه شده اند.

بررسی کار برگشت پذیر و اگرزوی در فصل دهم به تعدادی سؤال کاهش یافته و بر ایده ی یادگیری مفهوم کار برگشت پذیر و بازگشت پذیری متمرکز شده است. ما به موضوعی خاص پرداخته ایم تا تحلیل کلی را ساده کرده و نشان

دهیم که اگر رژی از کار برگشت پذیر ناشی می شود. به این ترتیب معادله ی توازن ساده تر شده و کاربرد آن در بخش کاربردهای مهندسی تشریح می گردد.

فصل مربوط به سیکل ها به دو فصل تفکیک شده است و موارد جدیدی تشریح گردیده است. مخلوط ها و رطوبت در فصل سیزدهم با افزودن مطالبی راجع به سیستم های تبرید تکمیل شده است و مثال هایی از کاربردهای کامپیوتری نیز مطرح می شود. فصل روابط خواص بازنگری و به روز شده است و جداول ترمودینامیکی جدید نیز اضافه شده است. به این ترتیب تابع بدون بعد هلمهولتز با داده های تجربی هماهنگ شده و اصول محاسبه و تهیه ی جداول فعلی توضیح داده شده است. احتراق با مطالب مربوط به ستون تقطیر و توسعه ی سوخت های جدید کامل تر تشریح شده است. مثال های مربوط به قانون دوم و احتراق کمتر شده اند ولی مدل های پیل های سوختی اضافه شده است که موضوع جذباتری است و می تواند به محاسبات عملکرد باتری های سوختی کمک کند. برخی از مطالب احتراق نیز به بخش کاربردهای مهندسی منتقل شده است. تعادل شیمیایی با افزودن بخشی در باره ی تبدیل ذغال سنگ و کک به گاز که بر مبنای فرآیندهای تعادلی کار می کند تکمیل شده است. همچنین مطالبی راجع به NOx اضافه شده است که در بخش کاربردهای مهندسی مطرح می گردد تا نشان داده شود که تا چه میزان به تعادل شیمیایی وابسته است و راه مطالعات بیشتر را باز می کند.

نرم افزارهای توسعه یافته

در این ویرایش کتاب، نرم افزار توسعه یافته CATT3 که حاوی تعدادی از مواد جدید اضافی است ارائه شده که شامل جداول ضمیمه نیز می باشد. برای مواد زیر نرم افزار می تواند جداول کامل را ارائه دهد:

آب

میردها: R-11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 113, 114, 123, 134a, 152a, 404a, 407, 410a, 500, 502, 507a, C318

مادون سرد کننده ها: آمونیاک، آرگون، اتان، اتیلن، ایزوبوتان، متان، نئون، نیتروژن، اکسیژن، پروپان

گازهای ایده آل: هوا، CO₂, CO, N₂, NO, NO₂, H₂, H₂O, O₂, OH

تعدادی از سوخت های هیدروکربوری، میردها و سیالات مادون سرد نیز اضافه شده و نسخه ی چاپ شده ای از آن نیز در کتابچه ی خواص ترمودینامیکی و انتقال تألیف کلاوس بورگناک و ریچاردی روتناک، چاپ نشر جان وایلی (۱۹۹۷) ارائه شده است. علاوه بر خواص موادی که گفته شد، نرم افزار می تواند منحنی رطوبت منحنی، تراکم پذیری و نمودارهای عمومی با معادله ی حالت لی کسلر و بسط آن با دقت افزایش یافته با ضریب خارج از مرکز را شامل می شود. این نرم افزار می تواند نمودارهای T-S و Log P-Log v را نیز ترسیم کند.

مسائل تکلیفی

تعداد مسائل تکلیفی به نحو بارزی افزایش یافته و به بیش از ۲۸۰۰ مسئله رسیده است. بخش عمده ای از این تعداد مسئله، مسائل مقدماتی هستند که برای پوشش تمام مواد درسی هر فصل افزوده شده اند. علاوه بر این مسائل را به بخش های مجزا براساس مطالب تقسیم کرده ایم تا انتخاب آنها براساس یک پوشش خاص مطالب امکان پذیر گردد. تعدادی از مسائل مفهومی تر نیز ارائه و به عنوان مسائل مروری در انتهای مسائل آورده شده اند.

جداول

جداول مواد گسترده تر شده تا شامل میرد 410a که جایگزین R-22 و دی اکسید کربن و مواد جدید باشد. جداول گاز اید آل بر مبنای جرمی و مولی چاپ شده اند که انعکاس دهنده کاربرد آنها بر مبنای جرم در مطالب بخش های اول کتاب و مبنای مولی برای فصول احتراق و تعادل های شیمیایی است.

بازنگری‌ها

در این ویرایش، مطالب توسعه‌ای و رویکردهای جدیدی را که در کتاب مقدمه‌ای بر ترمودینامیک مهندسی، تألیف ریچارد ای. زونتاگ و کلاوس بورگناک چاپ مؤسسه جان وایلی (سال ۲۰۰۱) ارائه شده بوده است، افزوده‌ایم. در فصل سوم، ابتدا جداول ترمودینامیکی را معرفی می‌کنیم. سپس رفتار بخار مافوق گرم در چگالی‌های کمتر را متذکر می‌شویم که به تعریف مدل گاز ایدال ختم می‌گردد. سپس ضریب تراکم‌پذیری و معادلات حالات بیان می‌شوند. در فصل پنجم، نتیجه انرژی گاز ایدال که تنها بستگی به درجه حرارت دارد در پی آزمون جداول بخار آب در درجه حرارت‌ها و فشارهای مختلف، مطرح می‌شود. ارائه قانون دوم در فصل ۷ انجام می‌شود که مفاهیم درجه حرارت ترمودینامیکی و درجه حرارت گاز ایدال را شامل می‌شود. تمرکز بر گاز ایدال و مخلوط گازهای ایدال بر مبنای جرمی به جای مبنای مولی صورت گرفته است که ساده‌تر می‌باشد. توسعه مفهوم قابلیت کاردهی و کار برگشت‌پذیر در فصل دهم انجام می‌شود که بر فرایندهای پایدار متمرکز است و به بیان عمومی انرژی می‌انجامد. لذا ما بخش جدیدی به موازنه انرژی عمومی افزوده‌ایم تا مفهوم انتقال و از میان رفتن انرژی را تشدید کنیم. یک فصل در رابطه با روابط خواص ارائه می‌شود که با جهت‌گیری بر کاربرد خواص بر مبنای جرم متمرکز شده است. به دلیل توسعه فناوری در حال حاضر، بحث خود در مورد باتری‌های سوختی را توسعه داده و فصل مربوط به احتراق را نیز به روز کرده‌ایم.

انعطاف‌پذیری در پوشش مطالب و دیدگاه‌ها

تلاش ما بر آن بوده است مفاهیم پایداری ترمودینامیک کلاسیک را به صورت کامل مطرح کنیم و معتقدیم کتاب‌های قبلی تدارکات کافی برای مطالعه کاربردهای ترمودینامیک در زمینه‌های تخصصی متعدد و مطالعه‌ی عناوین پیشرفته‌ی ترمودینامیک را فراهم می‌سازند. نظر عناوینی که مربوط به مواد، پدیده‌های سطحی، پلاسما و مادون سرد است. همچنین ما به این موضوع واقفیم که در برخی از دانشکده‌ها یک دوره مقدماتی ترمودینامیک در تمام بخش‌ها و گروه‌ها ارائه می‌گردد و ما تلاش کرده‌ایم تا عناوینی را که بخشهای مختلف درسی ممکن است در چنین دوره‌ای مدنظر داشته باشند را نیز در کتاب مطرح کنیم. با این وجود از آن‌جا که دوره‌های ویژه از نظر پیش‌نیازها طول دوره، اهداف و زمینه‌های قبلی باهم تفاوت قابل توجهی دارند، مواد درسی را به گونه‌ای مرتب کنیم که انعطاف‌پذیری لازم را داشته باشد به خصوص در فصول اولیه کتاب.

واحدها

فلسفه ما در مورد آحاد در این ویرایش این بوده است که کتاب را به نحوی مرتب کنیم که دوره درسی و یا توالی مطالب را بتوان به صورت کامل برحسب آحاد SI مطرح کرد. بنابراین تمام مثال‌های مطرح شده در دروس و مجموعه‌ی کامل مسائل و جداول ترمودینامیکی، برحسب آحاد SI باشند. در سراسر کتاب، نمادها، آحاد و علامت‌های معمول همانند ویرایش‌های قبلی هستند.

موارد تکمیلی و اضافی

کمک‌های اضافی در وب سایت www.wiley.com/college/sonntag موجود است. مثال‌های نمونه و مرور تمام مواد اساسی در کتاب اصلی با گزینه ThermoNet قابل دسترس می‌باشند. در این وب سایت دانشجویان می‌توانند به مطالعه مواد درسی به صورت خودآموز بپردازند تا مهارت خود در مواجهه با مطالب مختلف را بیابند.

فصل مربوط به جریان تراکم‌پذیر نیز در وب سایت www.wiley.com/college/sonntag وجود دارد و خلاصه مطالب، مسائل راهنمای مطالعه و مسائل تکلیف در آن ارائه شده است. ما اطلاع داریم که این بخش در بسیاری از دوره‌های درسی ترمودینامیک ارائه نمی‌شود ولی در هر مقطع از مطالعات می‌تواند به کار برده شود.

سعی کرده‌ایم مطالب درسی را به صورت مناسب و کافی برای دو ترم متوالی تنظیم کنیم و انعطاف کافی برای انتخاب عناوین را داشته باشد. مدرسین ممکن است بخواهند وب سایت www.wiley.com/college/sonntag را برای اطلاعات بیشتر و پیشنهادهای مربوط به ساختار دوره، برنامه‌ریزی، مسائل مطالعات اضافی و اشتباهات کتاب مشاهده نمایند.

تقدیر و تشکر

ما به دلیل پیشنهادات، مشاوره‌ها و تشویق بسیاری از همکاران در دانشگاه میشیگان و سایر نقاط، از آنها تشکر و قدردانی می‌کنیم. این کمک‌ها در طی نگارش این ویرایش نیز همانند ویرایش‌های قبلی بسیار سودمند بوده است. دانشجویان مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد کمکهای خاصی را به ما ارائه نموده‌اند که برخاسته از سؤالات آنها بوده و باعث شده است بخشی از کتاب را بازنویسی کرده و یا درباره آن مجدداً بیاندیشیم و سعی کنیم روشی بهتر برای ارائه مطالب بیابیم تا چنین سؤالات یا مشکلاتی را مطرح نسازد. نهایتاً برای هر یک از ما تشویق‌ها و دلگرمی‌های همسران و خانواده ضرورتی انکارناپذیر بوده و نگارش را برای ما خوشایند و لذت‌بخش نمود، علی‌رغم آن که فشارهای زیادی از جانب طرح بر ما وارد می‌شد. تشکر و تقدیر خاص از برخی از همکاران در مؤسسات آموزشی دیگر که کتاب را مرور کرده و راهنمایی‌هایی ارائه داده‌اند ضروری است. برخی از این افراد عبارت‌اند از:

Ruhul Amin, Montana State University
Edward E. Anderson, Texas Tech University
Sung Kwon Cho, University of Pittsburgh
Sarah Codd, Montana State University
Ram Devireddy, Louisiana State University
Fokion Egolopoulos, University of Southern California
Harry Hardee, New Mexico State University
Boris Khusid, New Jersey Institute of Technology
Joseph F. Kmec, Purdue University
Roy W. Knight, Auburn University
Daniela Mainardi, Louisiana Tech University
Harry J. Sauer, Jr., University of Missouri-Rolla
J.A. Sekhar, University of Cincinnati
Reza Toossi, California State University, Long Beach
Etim U. Ubong, Kettering University
Walter Yuen, University of California at Santa Barbara

همچنین ما بلبم از ویراستار جدید خود، مایک مکدونالد برای تلاش‌هایش در برنامه‌ریزی و حمایت و تشویق ما در طی تولید این ویرایش تشکر کنیم.

آرزوی ما این است که این کتاب بتواند در آموزش اثربخش ترمودینامیک به دانشجویان که با چالش‌ها و وضعیت‌های متعدد بسیار مهمی در مشاغل تخصصی خود مواجه هستند، مؤثر باشد. توصیه‌ها، انتقادات و پیشنهادات شما را نیز مغتنم می‌شماریم و می‌توانید از طریق پست الکترونیکی Clause@umich.edu مطرح کنید.

ریچارد، نی. زونتاگ

کلاوس بورگنکاک

آن آربور - میشیگان

می ۲۰۰۸

مقدمه مترجمین

اکنون که به یاری خالق هستی و با حمایت‌های بی‌دریغ اساتید محترم و ناشر گرانقدر، ویرایش هفتم کتاب «مبانی ترمودینامیک» را ترجمه و در اختیار دانش‌پژوهان و دانشجویان عزیز قرار می‌دهیم، لازم می‌دانیم از این حمایت‌ها، صمیمانه تشکر و قدردانی کنیم. تجدید چاپ‌های متعدد این اثر با ترجمه مترجمین حاضر، خود بهترین گواه بر سودمندی آن و بیانگر تلاشی است که برای ارائه هرچه بهتر کتاب از نظر دقت، بیان مطالب و کیفیت چاپ و نشر به کار برده شده است. امید آن که در شکوفایی علمی کشور، گامی هرچند کوچک محسوب گردد.

نکته قابل ذکر در رابطه با این ویرایش علاوه بر موارد متعددی که در مقدمه مؤلفین گفته شده است، تغییر مؤلفین کتاب و حذف نام ون وایلن توسط مؤلفین از روی جلد کتاب می‌باشد. این نکته از آن جهت اهمیت دارد که در کشور ما این کتاب با عنوان ترمودینامیک ون وایلن شناخته می‌شود و حذف نام وی این شبهه را ایجاد می‌کند که کتاب دیگری تألیف شده است. بهر حال نام و یاد مرحوم ون وایلن با علم ترمودینامیک همواره در یادها خواهد ماند.

همچنان گذشته، در انتظار پیشنهادهای، رهنمودها، انتقادات شما اساتید و دانش‌پژوهان عزیز هستیم. یاری دیگر از همه عزیزانی که در این راه مشوق و همراه ما بوده‌اند، خصوصاً خانواده‌هایمان که همچون گذشته در این راه یاریمان کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

غلامرضا ملک‌زاده - محمد حسین کاشانی - حصار

تابستان ۱۳۹۰

نمادها

a	شتاب	Q	نرخ انتقال حرارت
A	مساحت سطح	Q_H, Q_L	انتقال حرارت با جسم دارای درجه حرارت پایین
a, A	تابع مخصوص هلمهولتز و تابع کل هلمهولتز		و جسم دارای درجه حرارت بالا به علامت از توضیحات متن مشخص می‌شود
AF	نسبت هوا- سوخت	R	ثابت گازها
B_S	مدول حجمی آدیاباتیک	$\bar{R}$	ثابت جهانی گازها
B_T	مدول حجمی هم دما	s, S	انترپی کل و انترپی مخصوص
C	سرعت صوت	S_{gen}	انترپی تولید شده
c	کسر جرمی	$\dot{S}_{gen}$	نرخ تولید انترپی
C_D	ضریب تخلیه	t	زمان
C_p	حرارت مخصوص فشار - ثابت	T	درجه حرارت
C_v	حرارت مخصوص حجم - ثابت	T_r	درجه حرارت کاهیده
C_{p0}	حرارت مخصوص فشار ثابت در فشار صفر	u, U	انرژی داخلی کل و انرژی داخلی مخصوص
C_{v0}	حرارت مخصوص حجم ثابت در فشار صفر	v, V	حجم کل و حجم مخصوص
COP	ضریب عملکرد	v_r	حجم مخصوص نسبی مورد استفاده در جداول گاز
CR	نسبت تراکم	v	سرعت
e, E	انرژی کل و انرژی مخصوص	w, W	کار کل و کار در واحد جرم
EMF	نیروی محرک الکتریکی	$\dot{W}$	نرخ انجام کار، توان
F	نیرو	$\dot{W}^{rev}$	کار بازگشت پذیر بین دو حالت
FA	نسبت سوخت - هوا	x	کیفیت
g	شتاب ثقل	y	کسر مولی فاز گازی
g, G	تابع گیبس مخصوص و تابع گیبس کل	y	ارتفاع
h, H	انتالپی کل و انتالپی مخصوص	Z	ضریب تراکم پذیری
HV	ارزش حرارتی	Z	فشار الکتریک
i	جریان الکتریکی	Z	حروف پانویس
I	بازگشت پذیری	$\mathcal{E}$	پتانسیل الکتریکی
J	ضریب تسلط برای ارتباط آحاد کربن حرارت	$\mathcal{F}$	کشش سطحی
k	نسبت حرارت‌های مخصوص: cp/c	$\mathcal{T}$	کشش
K	ثابت تعادل	a	حروف یونانی
KE	انرژی جنبشی	α	حجم باقیمانده
L	طول	α_p	تابع بدون بعد هلمهولتز
m	جرم	β	انبساط حجمی
$\dot{m}$	دبی جرمی جریان - گذر جرمی جریان	β'	ضریب عملکرد یخچال
M	وزن مولکول‌ها	β_S	ضریب عملکرد پمپ حرارتی
M	عدد ماخ	β_T	تراکم پذیری آدیاباتیک
n	تعداد مولکول‌ها	δ	تراکم پذیری هم دما
n	توان پلی تروپیک	η	چگالی بدون بعد
P	فشار	μ	کارایی
P_i	فشار جزئی جزء i در مخلوط	ν	پتانسیل شیمیایی
PE	انرژی پتانسیل	ρ	ضریب استوکیومتریک
P_r	فشار کاهیده مورد استفاده در جداول تراکم‌پذیری: P/P_r	τ	چگالی
P_r	عدد پرنانت		
q, Q	انتقال حرارت کل و انتقال حرارت در واحد جرم		

if	اختلاف خلصیت برای مایع اشباع و جلد اشباع
ig	اختلاف خلصیت برای بخار اشباع و جلد اشباع
r	خاصیت کاهیده
s	فرایند ایزونتروپیک
s	مقدار در روی سطح
0	خلصیت محیط، مقلد خلصیت در جریان آزاد
0	خاصیت در شرایط حالت استاندارد

سرنویس ها

خط بالای نماد نشان دهنده ی خاصیت بر مبنای مولی (روی H, V, S, U, A, G بیانگر خاصیت مولی جزئی)	
°	خاصیت در شرایط استاندارد
°	گاز ایده ال
°	خاصیت در گلوگاه نازل
irr	برگشت ناپذیر
r	بخش گاز ایده ال
r	برگشت پذیر

T_0	متغیر درجه حرارت بدون بعد
Φ	متغیر درجه حرارت بدون بعد
ϕ	رطوبت نسبی
ϕ, Φ	اگزرژی یا قابلیت کاردهی حجم کنترل
ψ	اگزرژی، قابلیت کاردهی جریان
ω	نسبت رطوبت یا رطوبت مخصوص
ω	ضریب خروج از مرکز

پانویس ها

c	خاصیت در نقطه ی بحرانی
$c.v$	حجم کنترل
e	حالت یک ماده در خروج از حجم کنترل
f	تشکیل
f	خاصیت مایع اشباع
fg	اختلاف خلصیت برای بخار اشباع و مایع اشباع
g	خاصیت بخار اشباع
i	حالت ماده در ورود به حجم کنترل
i	خاصیت جامد اشباع

Fundamental Physical Constants

Prefixes

Avogadro	$N_0 = 6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmann	$k = 1.3806505 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Planck	$h = 6.6260693 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Gas Constant	$\bar{R} = N_0 k = 8.314472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Atomic Mass Unit	$m_0 = 1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Velocity of light	$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Electron Charge	$e = 1.60217653 \times 10^{-19} \text{ C}$
Electron Mass	$m_e = 9.1093826 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Proton Mass	$m_p = 1.67262171 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Gravitation (Std.)	$g = 9.80665 \text{ ms}^{-2}$
Stefan Boltzmann	$\sigma = 5.670400 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Mol here is gram mol.

10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^1	deka	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P

Concentration

 10^{-6} parts per million ppm