

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کتاب درس ترمودینامیک مواد و متالورژی

نوشته

آهیندرا گوش

استاد سابق انستیتو تکنولوژی هند، کانپور

ترجمه

مهندس علیرضا نجاریان
فارغ التحصیل دانشکده مهندسی مواد
دانشگاه شهید چمران اهواز

دکتر احمد ساعتچی
استاد دانشکده مهندسی مواد
دانشگاه صنعتی اصفهان

سرشناسه	گوش، اهیندرا، Ghosh Ahindra :
عنوان و پدیدآور	کتاب درس ترمودینامیک مواد و متالورژی / نوشته آهیندرا گوش :
مشخصات نشر	ترجمه احمد ساعتچی، علیرضا نجاریان. اصفهان، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۸۷ :
مشخصات ظاهری	۳۷۲ ص. :
شابک	978-964-2591-39-8 :
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبا :
یادداشت	عنوان اصلی: Textbook of materials and metallurgical thermodynamics :
موضوع	ترمودینامیک. :
موضوع	متالورژی. :
شناسه افزوده	ساعتچی، احمد، ۱۳۳۲ - مترجم :
شناسه افزوده	نجاریان، علیرضا، ۱۳۶۰ - مترجم :
رده‌بندی کنگره	۱۳۸۶ ت ۴۹/گ ۹۵/ت ۲۶۵ TJ :
رده‌بندی دیویی	۵۳۶/۷ :
شماره کتابشناسی ملی	۱۰۶۳۸۲۲ :



انتشارات ارکان دانش

نام کتاب	کتاب درس ترمودینامیک مواد و متالورژی :
مترجمین	دکتر احمد ساعتچی، مهندس علیرضا نجاریان :
ناشر	انتشارات ارکان دانش :
چاپ اول	بهار ۱۳۸۷ :
شمارگان	۲۰۰۰ جلد :
تنظیم و صفحه‌آرایی	انتشارات ارکان دانش :
طراحی جلد	کانون تبلیغاتی نقشینه :
لیتوگرافی	تصویر :
چاپ متن	پارسا :
چاپ جلد	اندیشه :
صحافی	سپاهان نوین :
قطع و شمارش صفحات	وزیری، ۳۷۲ صفحه :
قیمت	۵۲۰۰۰ ریال :

ISBN: 978-964-2591-39-8

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۵۹۱-۳۹-۸

اصفهان: خیابان شیخ بهایی، مقابل بیمارستان مهرگان، بن‌بست ذوالفقاری، ساختمان بانک، طبقه چهارم،
تلفن ۲۳۴۱۳۳۹، ۲۳۴۱۳۳۹، صندوق پستی ۳۳۱-۸۱۶۵۵
۲۳۳۱۰۵۵

پیشگفتار

ترمودینامیک متالورژی با تعمیم اخیر آن «ترمودینامیک مواد» یکی از پایه‌های اساسی رشته‌های مهندسی متالورژی و علم و مهندسی مواد را تشکیل می‌دهد. از اینرو، تمام دانشکده‌های متالورژی و علم مواد، آن را به عنوان یک درس اجباری در برنامه مقطع کارشناسی تدریس می‌کنند. تاکنون فقط تعداد کمی کتاب انتشار یافته‌اند که به عنوان کتاب آموزشی این درس قابل استفاده هستند. این کتب که نویسندگان آنها خارجی هستند، بخوبی تألیف شده‌اند ولی تا حدودی حجیم و گرانقیمت می‌باشند. من این عنوان را برای چندین سال در مقطع لیسانس در انستیتوی تکنولوژی (IIT) کانپور¹ هند تدریس کرده‌ام. حاصل تجربه من آن است که اگر کتاب خلاصه‌تری در دسترس باشد هر دو گروه دانشجویان و مدرسان بیشتر از آن بهره‌مند می‌شوند. این امر تدریس را به همان اندازه فهم اصول راحت‌تر و بهتر خواهد ساخت. افزون بر این، دانشجویان قادر خواهند بود که [این کتب] را جهت فراگیری شخصی تهیه نمایند. از این رو می‌توان گفت که من تألیف این کتاب را با این اهداف آغاز کردم.

این کتاب شامل شکل‌ها و جداول ضروری، مثال‌ها و تمرین‌های حل شده جهت روشن ساختن مفاهیم مورد بحث است. همچنین اطلاعات لازم برای حل تمرین‌ها و جواب تمرین‌ها نیز پیش‌بینی شده است.

قوانین ترمودینامیک حالت کلی دارند. ولیکن، کاربردهایش برای رشته‌های مختلف مربوطه، ویژه است. به همین دلیل یک کتاب عمومی در مورد ترمودینامیک نیازهای همه شاخه‌های علم و مهندسی را برآورده نمی‌سازد، و به کتب اختصاصی در این زمینه نیاز است. ما ترمودینامیک را به دسته‌های زیر طبقه‌بندی می‌کنیم:

(a) ترمودینامیک سیستم‌های غیرفعال: شاخه‌هایی نظیر فیزیک و مهندسی مکانیک اصولاً با این سیستم‌ها مرتبط هستند؛ کتب مربوط به ترمودینامیک مهندسی پوشش زیادی بر روی این مطلب دارند.

(b) ترمودینامیک سیستم‌های فعال یا واکنش‌زا که عموماً ترمودینامیک شیمیایی نامیده می‌شود: در اینجا، اصولاً فرآیندهای شیمی- فیزیکی و واکنش‌های شیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرند، و معیار انرژی آزاد گیبس به طور وسیعی برای محاسبات تعادل، خصوصیات ترمودینامیکی فازها و

محللول‌ها بکار برده می‌شود؛ محاسبه گرما و انترپیی واکنش‌ها و فرآیندهای شیمی - فیزیکی نیز از دیگر موضوعات با اهمیت هستند.

بطور کلی ترمودینامیک متالورژی/ مواد در حیطه ترمودینامیک شیمیایی است. لکن، تأکید اصلی، بر سیستم‌های دمای بالا و فرآیندهای شامل محللول‌های جامد یا مذاب فلزی و ترکیبات معدنی می‌باشد. به همین دلیل، تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌های ترمودینامیکی تجربی در ۶-۷ دهه گذشته انجام شده‌اند، و بعضی از روابط و روش‌های ویژه‌ای نیز برای بررسی این محللول‌ها استنتاج گردیده است. بدین ترتیب فقط از حدود دهه ۱۹۶۰ بود که این موضوع به حد کمال خود رسید و به عنوان یک علم مهندسی پذیرفته شد، اگر چه که قوانین و روابط کلی ترمودینامیک در دهه ۱۹۳۰ به خوبی پایه‌گذاری شده بود.

در آغاز قرن بیستم، متالورژی اساساً یک هنر تلقی می‌شد. کاربرد علوم محض و علوم مهندسی در دهه ۱۹۵۰ آن را به عنوان شاخه‌ای از مهندسی معرفی کرد، و در توسعه علوم متالورژیکی شامل ترمودینامیک متالورژیکی سهیم نمود. فیزیک اتمی و فیزیک حالت جامد نیز در دهه ۱۹۳۰/۱۹۴۰ تکامل یافت. همچنین در دهه ۱۹۴۰، پیشرفت‌های مهمی در عرصه‌های فن‌آوری پیشرفته نظیر فن‌آوری‌های هسته‌ای، هوا و فضا و الکترونیک حالت جامد آغاز شده بود. این فن‌آوری‌ها به مواد مختلفی برای اهداف ویژه نیاز داشتند. علوم متالورژیکی، فیزیک حالت جامد و غیره، پایه و اساس علمی را برای این کار آماده کردند. قبل از آن مهندسان متالورژی عمدتاً به فلزات و آلیاژها و سفالگران با اکسیدهای سرامیکی سستی نظیر دیرگدازها می‌پرداختند. لیکن، مواد جدید به هر دو صورت فلزی و غیرفلزی محتوای برنامه‌های آموزشی را تغییر داد. معلوم شد که اصول همه این مباحث یکسان است و بنابراین می‌توان آنها را به روش تعمیم‌یافته‌ای تدریس نمود. این امر باعث رشد علم و مهندسی مواد شد.

در IITها و دانشکده‌های مهندسی در هند، برنامه مقطع کارشناسی در قالب مهندسی متالورژی یا بصورت ترکیبی از مهندسی متالورژی و مهندسی مواد ارائه می‌گردد. این کتاب قصد دارد که پایه‌ای مقدماتی برای ترمودینامیک در یک ترم مقطع کارشناسی فراهم آورد. مثال‌ها و تمرین‌هایی برای مواد معدنی فلزی و غیرفلزی وجود دارد. فصل ۱۴ اشاره اضافی و کوتاهی به ترمودینامیک سطوح به علاوه فصل مشترک‌ها و عیوب موجود در مواد جامد دارد که عموماً در علم مواد از اهمیت بسیاری برخوردار است.

فصل‌های ۱ تا ۵ ترمودینامیک و ترموشیمی عمومی را پوشش می‌دهند. فصل ۱۲ بعضی از مباحث مقدماتی ترمودینامیک آماری را معرفی می‌نماید. فصل‌های باقیمانده نیز (مثلاً فصل‌های ۶ تا ۱۱ و ۱۳) مباحث استاندارد ترمودینامیک شیمیایی و مواد/ متالورژیکی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

همانطور که قبلاً بیان شد [واضح است که] تأکید اصلی بر روی سیستم‌های دمای بالا و فرآیندهای مورد توجه در علم متالورژی و مواد می‌باشد.

در اینجا مراتب قدردانی خود را از انجمن کل آموزش تکنیکی هند (AICTE) به خاطر فراهم ساختن شرایط عضویت افتخاری [اینجانب] و مساعدت‌های مالی متنوع در خلال تهیه دست نوشته این کتاب را اعلام می‌دارم. همچنین از انستیتوی تکنولوژی کانپور هند به دلیل تهیه وسایل زیربنایی موجود، که این کار را میسر ساخته کمال امتنان را دارم. از آقای (J. L. Kuril) به خاطر تایپ دست نوشته، از (B. K. Jain) به خاطر ترسیم دیاگرام‌ها، و از آقای (A. Sharma) به خاطر کمک ایشان در این راه تشکر و قدردانی می‌نمایم. در پایان، از همسر، رادها (Radha) و دیگر اعضای خانواده که بدون همکاری و تشویق آنها، نوشتن این کتاب میسر نبود خالصانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

AHINDRA GHOSH

مقدمه مترجمین

به دلیل اهمیت ترمودینامیک در رشته‌های مهندسی کتاب‌های زیادی در این زمینه به رشته تحریر در آمده است ولی کتبی که در زمینه ترمودینامیک مواد و متالورژی تألیف شده است اندک بوده و برخی از آنها حجیم و گسترده هستند و درک مطالب آنها تاحدودی پیچیده به نظر می‌رسد تنها کتابی که در این زمینه در ایران ترجمه شده است، حجم آن دو برابر کتاب حاضر است.

یکی از اهداف نویسنده در تألیف این کتاب برطرف ساختن مشکلات فوق می‌باشد؛ لذا سعی شده است که تا حد امکان مطالب با شیوه‌ای روان و قابل فهم بیان شود و از اطناب و گسترده‌گی کلام پرهیز گردد. یکی از ویژگی‌های این کتاب آن است که با طرح مثال‌های متالورژیکی صنعتی در قسمت‌های مختلف هر فصل، کاربرد مفاهیم و فرمول‌های بیان شده را روشن ساخته و درک مطالب را آسانتر نماید. در واقع آموزش مفاهیم را به کمک حل مسایل مختلف انجام شود افزون بر این در پایان هر فصل مسائلی کاربردی مطرح شده که حل آنها به فهم و درک مطالب و بکار بستن صحیح فرمول‌ها کمک می‌کند.

از موضوعات مهم که در متالورژی و مواد از دو جنبه خواص فیزیکی و ترمودینامیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است: سطوح، فصل مشترک‌ها و عیوب در مواد جامد است. ازاین رو به دلیل اهمیت ویژه این موضوعات، فصلی در این کتاب تحت عنوان «ترمودینامیک سطوح، فصل مشترک‌ها و عیوب» به طور اجمالی به موارد مذکور از دیدگاه ترمودینامیکی می‌پردازد.

کتاب همچنین شامل مباحث جدیدی در زمینه الکترودهای جامد است که پایه و اساس تکنولوژیهای پیشرفته (مثل حسگرها یا سنسورها و پیل‌های سوختی) است و از این بابت نسبت به کتابهایی که در این زمینه نوشته شده است، مزیت دارد. امروزه سنسورها برای تشخیص مقدار اکسیژن در فولادسازی تا تشخیص بیماری‌ها در رشته پزشکی، طیف گسترده‌ای از کاربردها را شامل می‌شوند.

در ارائه این اثر، سعی شده که ترجمه‌ای سلیس و روان از این کتاب به عمل آید تا مجموعه‌ای کم نقص و مفید فایده‌ای به علاقمندان ارائه شود این مهم با صرف ساعتها وقت، حوصله و دقت انجام شده است. امید آن که این اثر بتواند در ارتقاء سطح علمی دانشجویان و علاقمندان به این رشته مؤثر بوده و در جهت پیشرفت علمی آنان در این زمینه مفید واقع گردد.

در اینجا لازم می‌دانیم از آقای دکتر مرتضی شمعیان دانشیار محترم دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، خانم نجاریان، آقای علیرضا ساعتچی و آقای مهندس امید مهاجر که در

تمام مراحل تصحیح و غلط‌گیری، کمک‌های بی‌دریغ خود را نسبت به اینجانبان مبذول داشته‌اند و همچنین از خانم ترکی بخاطر تایپ کتاب، صمیمانه تشکر و قدردانی نمائیم.

مترجمین نهایت تلاش خود را بکار برده‌اند تا ترجمه حاضر (چه از لحاظ صحت ترجمه و چه از لحاظ دقت تایپ) تا حد امکان بدون عیب و نقص باشد. با این وجود، ممکن است نظرات و پیشنهادات و یا خطاهایی بنظر خوانندگان محترم برسد که بسیار ممنون و خوشحال خواهیم شد که به ما اطلاع داده شود تا در چاپهای بعدی مورد توجه قرار گیرد.

احمد ساعتچی - علیرضا لاجاریان

زمستان ۱۳۸۶

فهرست مطالب

مندرجات	صفحه
پیشگفتار	۳
مقدمه مترجمین	۵
فهرست نشانه‌ها و یکاها	۱۳
فصل اول ، مقدمه	۱
۱-۱) چشم‌اندازی به پیشینه ترمودینامیک	۱
۲-۱) تاریخچه ترمودینامیک کلاسیک	۲
۱-۲-۱) کلیت	۲
۲-۲-۱) ترمودینامیک شیمیایی	۳
۳-۲-۱) ترمودینامیک متالورژیکی	۴
۳-۱) مفاهیم و تعاریف مقدماتی	۵
۱-۳-۱) سیستم و محیط	۵
۲-۳-۱) حالت سیستم	۶
۳-۳-۱) تعادل ترمودینامیکی	۷
۴-۳-۱) برخی توضیحات درباره ویژگی‌های سیستمها	۹
۴-۱) مقادیر بعضی از ثابت‌های فیزیکی	۱۱
۵-۱) خلاصه	۱۱
فصل دوم، قانون اول ترمودینامیک	۱۳
۱-۲) انرژی درونی	۱۳
۲-۲) اثبات قانون اول	۱۵
۱-۲-۲) اهمیت قانون اول	۱۵
۲-۲-۲) آزمایش قانون اول	۱۵
۳-۲) فرایندهای برگشت‌پذیر	۱۶
۴-۲) محاسبه W (کار) و q (گرما) برای فرایندهای برگشت‌پذیر	۲۱
۵-۲) انتالپی	۲۲
۶-۲) ظرفیت گرمایی	۲۴
۷-۲) گازهای ایده‌آل	۲۵
۱-۷-۲) روابط ظرفیت گرمایی	۲۵
۲-۷-۲) انبساط و انقباض آدیاباتیکی	۲۶
۳-۷-۲) کار انجام شده در انبساط آدیاباتیکی برگشت‌پذیر	۲۷
۸-۲) خلاصه	۳۱
تمرین‌ها	۳۲
فصل سوم، ظرفیت گرمایی و انتالپی روابط کمکی و کاربردها	۳۵
۱-۳) ظرفیت گرمایی گازهای ایده‌آل	۳۵
۲-۳) ظرفیت گرمایی جامدات	۳۶
۱-۲-۳) نظریه انیشتین درباره ظرفیت گرمایی جامدات	۳۷
۲-۲-۳) نظریه دبی درباره ظرفیت گرمایی جامدات	۳۸
۳-۲-۳) روابط تجربی C_p بر حسب T	۳۸
۳-۳) تغییرات انتالپی	۳۹
۱-۳-۳) دسته‌بندی تغییرات انتالپی	۳۹

۴۴	 ۲-۳-۳ قراردادهایی برای ΔH و H
۴۶	 ۳-۳-۳ اندازه‌گیری‌های تجربی تغییرات انتالپی
۴۷	 ۴-۳-۳ قانون هس
۴۸	 ۵-۳-۳ قانون کیرشهف
۵۳	 ۶-۳-۳ نکات پایانی
۵۳	 ۴-۳ خلاصه
۵۴	 تمرین‌ها
۵۷	 فصل چهارم: قانون دوم ترمودینامیک و انتروپی
۵۷	 ۱-۴ مقدمه
۵۷	 ۱-۱-۴ اثبات‌های مختلف قانون دوم
۵۸	 ۲-۴ چرخه کارنو
۵۸	 ۱-۲-۴ مقدمه
۵۹	 ۲-۲-۴ چرخه کارنو با گاز ایده‌آل به عنوان ماده کار
۶۱	 ۳-۲-۴ بازده چرخه کارنوی تعمیم‌یافته
۶۴	 ۴-۲-۴ مقیاس دمای ترمودینامیکی
۶۵	 ۳-۴ انتروپی
۶۵	 ۱-۳-۴ انتروپی بعنوان یک خصوصیت حالت
۶۷	 ۲-۳-۴ محاسبه تغییرات انتروپی
۷۱	 ۴-۴ اهمیت و نتایج قانون دوم و انتروپی
۷۱	 ۱-۴-۴ کلیات
۷۲	 ۲-۴-۴ تعابیر مختلف از انتروپی
۷۳	 ۳-۴-۴ تغییرات انتروپی برای فرایندهای برگشت‌پذیر و غیر برگشت‌پذیر
۷۷	 ۴-۴-۴ تغییرات انتروپی سیستم‌های ایزوله
۷۷	 ۵-۴ خلاصه
۷۹	 تمرین‌ها
۸۱	 فصل پنجم: توازن و روابط کمکی، معیار تعادل
۸۱	 ۱-۵ انرژی آزاد
۸۲	 ۲-۵ بیان‌های ترکیبی از قانون اول و دوم ترمودینامیک
۸۳	 ۳-۵ معادلات ماکسول
۸۴	 ۱-۳-۵ روابط C_v, C_p برای مواد ترمودینامیکی
۸۵	 ۲-۳-۵ تأثیر ترموالاستیک
۸۷	 ۴-۵ معیار تعادل ترمودینامیکی
۸۸	 ۵-۵ معیار حداکثر مقدار کار
۸۹	 ۶-۵ معیار فرایندهای برگشت‌پذیر
۹۰	 ۷-۵ حداقل مقدار انرژی آزاد در حالت تعادل
۹۱	 ۸-۵ خلاصه
۹۳	 فصل ششم: انرژی آزاد گیبس و سیستم‌های تک جزئی
۹۳	 ۱-۶ توضیحات مقدماتی
۹۳	 ۱-۱-۶ متغیرهای تأثیرگذار بر انرژی آزاد گیبس
۹۴	 ۲-۱-۶ اشاره‌ای به عنوان‌های بعدی
۹۵	 ۲-۶ فرایندهای همدم
۹۵	 ۱-۲-۶ بعضی روابط عمومی، فیوگاسیته

۹۷	 حالت استاندارد رابطه فیوگاسیته
۹۸	 رابطه فیوگاسیته با فشار در گازها
۹۹	 تغییر ΔG با دما برای یک فرایند همدم
۹۹	 معادلات گیبس - هلمهولتز (G-H)
۱۰۱	 تعادل فازي در سیستم‌های تک‌جزیی (یا یگانه)
۱۰۱	 معادله کلایپرون
۱۰۷	 تعادل فازي با بخار: معادله کلایپروس - کلایپرون
۱۰۸	 تأثیر فشار کل بر فشار بخار
۱۰۹	 انتگرال معادله کلایپروس - کلایپرون
۱۱۱	 تعادل جامد - مایع - گاز: نقطه سه‌گانه و حالت شبه‌پایداری
۱۱۴	 خلاصه
۱۱۵	 تمرین‌ها
۱۱۷	 فصل هفتم، اکتیویته، ثابت تعادل و انرژی آزاد استاندارد واکنش‌ها
۱۱۷	 ۱-۷ مقدمه
۱۱۷	 ۱-۱-۷ سیستم‌های چندجزیی - محلول‌ها و مخلوط‌ها
۱۱۸	 ۲-۱-۷ فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و شیمی فیزیکی
۱۱۹	 ۲-۷ ترمودینامیک محلول‌ها - بعضی تعاریف و مفاهیم مقدماتی
۱۱۹	 ۱-۲-۷ پارامترهای ترکیب - کسر مولی
۱۲۰	 ۲-۲-۷ خصوصیات جزئی مولی و انتگرال مولی
۱۲۱	 ۳-۲-۷ فیوگاسیته و اکتیویته یک جزء در محلول
۱۲۲	 ۳-۷ ثابت تعادل (K) برای یک واکنش شیمیایی
۱۲۲	 ۱-۳-۷ رابطه K با انرژی آزاد استاندارد واکنش
۱۲۳	 ۲-۳-۷ نظراتی درباره کاربرد
۱۲۴	 ۴-۷ تغییر ΔG و K با دما
۱۲۴	 ۱-۴-۷ نحوه بدست آوردن ΔG° با دما
۱۲۶	 ۲-۴-۷ روش دیگر بدست آوردن رابطه ΔG° برحسب T
۱۲۹	 ۳-۴-۷ تغییر ثابت تعادل با دما
۱۳۰	 ۵-۷ دیاگرام‌های الینگهام
۱۳۰	 ۱-۵-۷ ویژگی‌های اساسی
۱۳۳	 ۲-۵-۷ ماهیت شیب‌ها
۱۳۳	 ۳-۵-۷ ارزیابی پایداری نسبی ترکیبات
۱۳۶	 ۶-۷ خلاصه
۱۳۸	 تمرین‌ها
۱۴۱	 فصل هشتم، تعادل‌های شامل گازهای ایده‌آل و فازهای چگال خالص
۱۴۱	 ۱-۸ مقدمه
۱۴۲	 ۲-۸ محاسبات تعادل برای واکنش‌های شامل گازهای ایده‌آل
۱۴۷	 ۳-۸ تعادل شیمیایی شامل فازهای چگال خالص و گاز
۱۴۷	 ۱-۳-۸ روش دیگر بدست آوردن معادله کلایپروس - کلایپرون
۱۴۸	 ۲-۳-۸ تعادل اکسایش - کاهش شامل فلز خالص (M) و اکسید فلزی خالص (MO)
۱۵۴	 ۳-۳-۸ دیاگرام‌های پایداری فازي ترکیبات استوکیومتری وابسته به فاز گازی
۱۵۶	 ۴-۸ خلاصه
۱۵۷	 تمرین‌ها

۱۶۰	فصل نهم: ترمودینامیک محلولها
۱۶۰	۱-۹ مقدمه
۱۶۲	۲-۹ محلول‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل
۱۶۴	۳-۹ خصوصیات مولی جزئی و مولی انتگرالی؛ معادله گیبس - دوم
۱۶۴	۱-۳-۹ روابط میان خواص مولی جزئی
۱۶۵	۲-۳-۹ معادله گیبس - دوم
۱۶۶	۳-۳-۹ کمیت‌های مولی انتگرالی برای مخلوط‌سازی
۱۶۸	۴-۹ خصوصیات بیشتری از محلول‌ها
۱۶۸	۱-۴-۹ ویژگی‌های کلی
۱۶۹	۲-۴-۹ محلول‌های ایده‌آل
۱۷۰	۵-۹ محلول‌های دوتایی
۱۷۰	۱-۵-۹ اکتیویته بر حسب کسر مولی؛ قانون هنری
۱۷۳	۲-۵-۹ تغییر ΔG^m , ΔH^m , ΔS^m با ترکیب برای محلول‌های دوتایی ایده‌آل
۱۷۳	۳-۵-۹ رابطه $\bar{G}_A^m$, $\bar{G}_B^m$ با ΔG^m در محلول‌های دوتایی
۱۷۶	۶-۹ انتگرال گیبس - دو هم برای محلول‌های دوتایی
۱۷۷	۱-۶-۹ روش ۱
۱۷۷	۲-۶-۹ روش ۲
۱۷۹	۳-۶-۹ روش ۳ (روش دارکن)
۱۸۲	۷-۹ محلول‌های با قاعده
۱۸۳	۱-۷-۹ تابع اضافی
۱۸۴	۲-۷-۹ ویژگی‌های دیگر محلول‌های با قاعده دوتایی
۱۸۸	۸-۹ تئوری شبه‌شیمیایی محلول
۱۹۰	۱-۸-۹ کاربرد در مورد محلول‌های ایده‌آل و باقاعده
۱۹۱	۲-۸-۹ محلول‌های بی‌قاعده
۱۹۱	۹-۹ خلاصه
۱۹۴	تمرین‌ها
۱۹۷	فصل دهم: پتانسیل شیمیایی و تعادل بین فازهای با ترکیبات مختلف
۱۹۷	۱-۱۰ پتانسیل شیمیایی
۱۹۷	۱-۱-۱۰ تعریف
۱۹۹	۲-۱-۱۰ برابری پتانسیل‌های شیمیایی بین فازهای در حال تعادل در دما و فشار ثابت
۲۰۰	۳-۱-۱۰ بعضی توضیحات اضافی درباره پتانسیل شیمیایی
۲۰۳	۲-۱-۱۰ قانون فاز گیبس و کاربردهای آن
۲۰۳	۱-۲-۱۰ بدست آوردن قانون فاز گیبس
۲۰۴	۲-۲-۱۰ کاربرد قانون فاز
۲۱۰	۳-۱-۱۰ پایه ترمودینامیکی برای دیاگرام‌های فازي آلیازی دوتایی
۲۱۰	۱-۳-۱-۱۰ مباحث کلی درباره دیاگرام‌های انرژی آزاد بر حسب ترکیب شیمیایی
۲۱۳	۲-۳-۱-۱۰ دیاگرام‌های فازي همراه با نقص حرالیت
۲۱۵	۳-۳-۱-۱۰ دیاگرام‌های انرژی آزاد بر حسب ترکیب شیمیایی شامل تغییر حالت استاندارد
۲۱۹	۴-۱-۱۰ برخی از انواع دیاگرام‌های انرژی آزاد بر حسب ترکیب
۲۱۹	۱-۴-۱-۱۰ حرالیت کامل در فازهای جامد و مایع
۲۱۹	۲-۴-۱-۱۰ دیاگرام فازي یوتکتیک با قابلیت انحلال جزئی در حالت جامد
۲۲۰	۳-۴-۱-۱۰ دیاگرام فازي با یک فاز میانی

۲۲۰	 ۵-۱۰) قابلیت انحلال ماده حل‌شونده در یک فاز در سیستم دوتایی
۲۲۵	 ۱۰-۵-۱) حلالیت فازهای شبه‌بایدار
۲۲۶	 ۱۰-۶) خلاصه
۲۲۸	 تمرین‌ها
۲۳۱	 فصل یازدهم، تعادل واکنش شامل فازهای چگال با ترکیبات مختلف
۲۴۱	 ۱۱-۱) بررسی پایداری‌های فازی ترکیبات استوکیومتریک واکنش‌زا- سیستم Si-C-O
۲۳۵	 ۱۱-۲) دی‌اگرام فازی با ترکیبات غیراستوکیومتری واکنش‌زا- سیستم آهن- اکسیژن
۲۳۵	 ۱۱-۲-۱) دی‌اگرام فازی
۲۳۷	 ۱۱-۲-۲) اکتیویتی‌ها در فاز وستیت
۲۳۸	 ۱۱-۳) تعادل واکنش شامل محلول‌های فازهای چگال
۲۳۸	 ۱۱-۳-۱) ملاحظات کلی
۲۴۵	 ۱۱-۴) تأثیرات متقابل بین مواد حل‌شونده در محلول‌های رقیق چندجزیی
۲۴۵	 ۱۱-۴-۱) ضرایب تأثیر متقابل
۲۴۷	 ۱۱-۴-۲) برابری E_1^+ و E_2^+
۲۴۸	 ۱۱-۴-۳) استفاده عملی از ضرایب تأثیر متقابل
۲۴۹	 ۱۱-۵) حالت استاندارد یک درصد وزنی
۲۴۹	 ۱۱-۵-۱) مقدمه
۲۵۰	 ۱۱-۵-۲) تعریف حالت استاندارد ۱wt% و روابط مربوط به آن
۲۵۲	 ۱۱-۵-۳) ارزیابی ΔG° برای واکنش شامل حالت استاندارد ۱wt%
۲۵۳	 ۱۱-۵-۴) محلول رقیق چندجزیی در حالت استاندارد ۱wt%
۲۵۹	 ۱۱-۶) قانون سیورت
۲۵۹	 ۱۱-۷) خلاصه
۲۶۱	 تمرین‌ها
۲۶۵	 فصل دوازدهم، قانون سوم ترمودینامیک، ترمودینامیک آماری و انتروپی
۲۶۶	 ۱۲-۱) قانون سوم ترمودینامیک
۲۶۶	 ۱۲-۱-۱) قضیه گرمای نرنست
۲۶۷	 ۱۲-۱-۲) انتروپی یک ماده خالص
۲۶۹	 ۱۲-۱-۳) اهمیت اساسی و بنیادین قانون سوم
۲۷۰	 ۱۲-۱-۴) اثبات تجربی قانون سوم
۲۷۲	 ۱۲-۲) مقدمه‌ای بر ترمودینامیک آماری
۲۷۲	 ۱۲-۲-۱) تئوری سینتیک و گاز ایده‌آل
۲۷۳	 ۱۲-۲-۲) مکانیک آماری
۲۷۵	 ۱۲-۲-۳) مکانیک کوانتومی و ترمودینامیک آماری
۲۷۶	 ۱۲-۳) مفاهیم و روابط اساسی در ترمودینامیک آماری
۲۷۶	 ۱۲-۳-۱) مفاهیم و فرضیه‌های اساسی
۲۷۷	 ۱۲-۳-۲) محتمل‌ترین حالت ماکروسکوپی
۲۷۸	 ۱۲-۳-۳) انرژی درونی و انتروپی در محتمل‌ترین حالت ماکروسکوپی
۲۸۰	 ۱۲-۴) انتروپی مخلوط‌سازی برای یک محلول دوتایی
۲۸۲	 ۱۲-۴) خلاصه
۲۸۵	 فصل سیزدهم، ترمودینامیک پیل‌های الکتروشیمیایی
۲۸۵	 ۱۳-۱) مقدمه
۲۸۶	 ۱۳-۱-۱) پیل دانیل

۲۸۹	 ۲-۱۳) ترمودینامیک پیل‌های گالوانیک برگشت‌پذیر
۲۹۰	 ۱-۲-۱۳) رابطه بین EMF پیل (E) و انرژی آزاد واکنش پیل (ΔG)
۲۹۱	 ۲-۲-۱۳) قرارداد علامت EMF
۲۹۱	 ۳-۲-۱۳) EMF پیل و پتانسیل‌های شیمیایی در الکترودها
۲۹۳	 ۴-۲-۱۳) ضریب دمای EMF
۲۹۳	 ۳-۱۳) مثال‌هایی از EMF پیل‌ها
۲۹۳	 ۱-۳-۱۳) نمونه‌هایی از پیل واکنشی
۲۹۵	 ۲-۳-۱۳) نمونه‌هایی از پیل غلظتی
۲۹۶	 ۳-۳-۱۳) EMF پیل‌هایی با الکترولیت اکسیدی جامد
۳۰۱	 ۴-۱۳) پتانسیل الکترودهای تکی و سری‌های الکتروشیمیایی در سیستم‌های آبی
۳۰۴	 ۵-۱۳) دیاگرام‌های پوربه
۳۰۶	 ۶-۱۳) خلاصه
۳۰۷	 تمرین‌ها
۳۱۱	 فصل چهاردهم: ترمودینامیک سطوح، فصل مشترک و عیوب
۳۱۱	 ۱-۱۴) مقدمه
۳۱۳	 ۲-۱۴) ترمودینامیک سطوح
۳۱۳	 ۱-۲-۱۴) ملاحظات کلی
۳۱۴	 ۲-۲-۱۴) روابط جذب سطحی همدم
۳۱۹	 ۳-۲-۱۴) تأثیر فشار بر روی انرژی سطحی
۳۲۱	 ۴-۲-۱۴) تأثیر انرژی سطحی / فصل مشترک بر دمای استحاله فازي تعادلی
۳۲۲	 ۳-۱۴) ترمودینامیک عیوب در جامدات
۳۲۳	 ۱-۳-۱۴) سطوح و فصل مشترک‌ها در جامدات
۳۲۴	 ۲-۳-۱۴) تهی‌جای‌ها و بین‌نشین‌ها در فلزات جامد
۳۲۸	 ۳-۳-۱۴) عیوب نقطه‌ای در ترکیبات یونی
۳۳۲	 ۴-۱۴) خلاصه
۳۳۴	 ضمیمه داده‌های ترمودینامیک منتخب
۳۳۸	 کتابشناسی
۳۴۰	 جواب تمرین‌ها
۳۴۴	 واژه‌یاب