

شیمی فیزیک ۱

(ترمودینامیک مولکولی)

دوئالد امک کواری (دانشگاه کالیفرنیا ، دیویس)
جان دی . سیمون (دانشگاه دوک)

مترجم

دکتر سید علی اکبر سالاری

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری



انتشارات حکمت روزآمد

شیمی فیزیک ۱ (ترمودینامیک مولکولی)

مؤلفان: دونالد ا. مک کواری، جان دی. سیمون

مترجم: سید علی اکبر سالاری

ناشر: انتشارات حکمت روزآمد

چاپ اول، ۱۳۹۲

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۵۹۰-۰-۴

978-600-93590-0-4 ISBN

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۳۰۰۰ تومان



انتشارات حکمت روزآمد

کلیه حقوق برای انتشارات حکمت روزآمد محفوظ است.

سروشخانه

مکوارری، دونالد آلن

McQuarrie, Donald Allan

عنوان و نام پندگزار

شیمی، فیزیک ۱ (ترمودینامیک مولکولی)، دونالد مک کواری، جان دی. سیمون؛ مترجم: سید علی اکبر سالاری

مشخصات نشر

تهران: حکمت روزآمد، ۱۳۹۲

مشخصات ظاهری

۳۰۰ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.

شابک

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۵۹۰-۰-۴ ISBN

وضعیت فهرست نویسی

فایده

کتاب حاضر ترجمه فصلهای ۱ تا ۸ کتاب "Molecular thermodynamics, 1999" است.

بافت

ویرایش

عنوان دیگر

ترمودینامیک مولکولی

ترمودینامیک

شابک افزوده

سیمون، جان دگلاس، ۱۹۵۷ - م.

شابک افزوده

(Simon, John D. (John Douglas

شابک افزوده

سالاری، علی اکبر، ۱۳۲۷ - مترجم

رده بندی کنگره

۱۳۹۲ ۳۰۱۵۳ ۴۰۳/۷ QA۵۰۳

رده بندی دیویی

۵۴۳/۳۴۹

شابک کتابشناسی ملی

۳۰۳۷۱۳۰

پیشگفتار مترجم

دونالد ا. مک کواری (۱۹۳۷-۲۰۰۹) از دانشمندان معروف آمریکایی در رشته شیمی، گرایش شیمی فیزیک است. در توصیف این محقق و نویسنده توانا همین گفته بس که مؤلف کتابهایی نظیر شیمی عمومی، ترمودینامیک مولکولی، شیمی کوانتومی، ترمودینامیک آماری، مکانیک آماری، شیمی فیزیک با نگرش مولکولی، ریاضیات در شیمی فیزیک، روشهای ریاضی برای دانشمندان و مهندسان، و ... است. این کتابها به چاپهای متعدد رسیده و به زبانهای مختلفی ترجمه شده است. در کشور ما نیز ترجمه ترمودینامیک آماری (مرکز نشر دانشگاهی) آن به چاپ رسیده است.

آنچه پیش روی شماست، ترجمه اثر معروف مک کواری، با عنوان ترمودینامیک مولکولی، می باشد که کتابی پر ارج و آوازه، منبعی غنی از مفاهیم و مورد استقبال خاص و عام است. کتابی است بی همتا که همچون اختری تابناک در عرصه شیمی فیزیک می درخشد. در این مبحث کتابهای زیادی وجود دارد، لیکن کتابی نظیر مک کواری که علاوه بر اسم و رسم، تشریحی هر ذائقه‌ای باشد، کمیاب است. به جرات می توان گفت که هنوز کتابی با این سبک و سیاق در شیمی فیزیک به رشته تحریر در نیامده است. ترجمه اش را تقدیم می دارم به تمام طرفداران شیمی، به خصوص دوستداران شیمی فیزیک.

دکتر سید علی اکبر سالاری

گروه آموزشی شیمی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

پیشگفتار مؤلفان

این کتاب مکملی بر کتاب شیمی فیزیک مان تحت عنوان شیمی فیزیک با نگرش مولکولی است. در آن کتاب تأکیدمان بر آموزش شیمی فیزیک روی نگرش مولکولی بود. از اینرو برخلاف اکثر کتب دیگر شیمی فیزیک، بحث ما نخست روی اصول مکانیک کوانتومی و سپس به کارگیری این ایده‌ها در گسترش ترمودینامیک معطوف شده است. در این کتاب همین نگرش، ترمودینامیک مولکولی، را دنبال می‌کنیم. بسیاری از فصول این کتاب مشابه کتاب شیمی فیزیک مذکور بوده اما به چند فصل آن موضوعات جدیدی را افزوده و سه فصل کاملاً جدید به آن الحاق شده است. فصل نخست، ترازهای انرژی اتم‌ها و مولکول‌ها، جدید بوده و به ارائه نتایج مکانیک کوانتومی لازم در فصول دیگر می‌پردازد. تنها به چند نتیجه مکانیک کوانتومی نیاز است. دانشجویان در شیمی عمومی و شیمی آلی می‌آموزند که بر حسب ترازهای انرژی الکترونی گسسته تفکر نمایند. در فصل ۲، بحث ترمودینامیکی خود را پیرامون خواص گازها آغاز می‌کنیم. عامل بولتسمان و توابع تقسیم در فصل ۳ و متعاقب آن در فصل ۴، از نتایج آن جهت محاسبه مقادیر انرژی و ظرفیت‌های گرمایی گازهای ایده‌آل استفاده خواهد شد. توجه داشته باشید که این کار را پیش از معرفی قانون اول ترمودینامیک در فصل ۵ انجام می‌دهیم. این نگرش کارایی خوبی دارد زیرا تنها با خواص مکانیکی (فشار، انرژی و ظرفیت گرمایی) سروکار داشته و دانشجویان در دوره‌های درسی شیمی و فیزیک با آنها مواجه شده‌اند. با این نگرش به سهولت می‌توان بر سه قانون ترمودینامیک و بسیاری روابط ترمودینامیکی دیگر تعبیری مولکولی ارائه داد. یک مثال عینی، تعبیر مولکولی آنتروپی است اما حتی مفاهیم کار و گرما در قانون اول ترمودینامیک نیز بر حسب ترازهای انرژی و جمعیت ترازها از تعبیر فیزیکی و مولکولی با ارزشی بهره‌مند است. در فصول ۵ تا ۸ توابع حالت ترمودینامیکی اصلی به همراه تعبیر مولکولی آنها را ارائه می‌کنیم. در فصل ۹ تعادل‌های فازی در سیستم‌های یک جزیی را بررسی کرده و پتانسیل شیمیایی را معرفی می‌کنیم. دو فصل بعد به محلول‌ها اختصاص دارد: فصل ۱۰ پیرامون محلول‌هایی شامل دو مایع و فصل ۱۱ محلول‌هایی از جامدات حل شده در مایعات را به بحث می‌گذارد. متعاقب فصل ۱۲ پیرامون تعادلات شیمیایی، فصل جدیدی راجع به پیل‌های الکتروشیمیایی اختصاص داده شده است. فصل آخر به معرفی ترمودینامیک غیر تعادلی یا ترمودینامیک برگشت ناپذیر می‌پردازد. این فصل از کتاب منحصر به فرد است زیرا در این مبحث علی‌رغم کاربردهای متعدّدش در زیست فیزیک و زیست شناسی، مطالب آموزشی کمتر آشنا مطرح می‌شود.

مشابه کتاب شیمی فیزیک، چند فصل بنام فصل ریاضی اختصاص داده شده تا مروری کوتاه بر مباحث ریاضی به کار رفته در فصول متعاقب آن باشد. پنج فصل ریاضی عبارتند از روشهای عددی، احتمال و آمار، سریها و حدود، مشتق‌های جزیی و توزیع دو جمله‌ای و تقریب استرلینگ. بحث در هر یک از این قسمت‌ها مختصر، مقدماتی و جامع است. پس از مطالعه هر فصل ریاضی و پرداختن به مسائل آن، دانشجو قادر خواهد بود تا روی موضوع شیمی فیزیکی متعاقب آن تمرکز نموده و با آمادگی بیشتر حریف شیمی فیزیک و ریاضی آن شود. معتقدیم این نوع نگرش تأثیر ژرفی در آموزش این کتاب درسی ایفا خواهد کرد.

یکی از ویژگیهای مهم این کتاب داشتن تقریباً ۱۰ تا ۱۲ مثال حل شده در هر فصل است. به علاوه، هر فصل آن حدوداً شامل ۶۰ مساله بوده که جواب مسائل عددی در پایان کتاب آمده است. برخی مسائل به گسترش

مطالب ارائه شده در فصول پرداخته و مباحث جدید پیشرفته‌تری را معرفی می‌نماید. این مسائل طوری نوشته شده‌اند که دانشجو را گام به گام در حل آنها راهنمایی می‌کند.

امروزه دانشجویان با رایانه بسیار راحت هستند. در سال‌های اخیر شاهد آن بوده‌ایم که تکالیف ارائه شده برای حل توسط دانشجویان به جای قلم و کاغذ با برنامه‌هایی نظیر *MathCad* و *Mathematica* انجام می‌شوند. در حال حاضر داده‌های حاصل از فعالیت‌های آزمایشگاهی به کمک برنامه‌هایی نظیر *Lotus*، *Excel* و *Kaleidagraph* به طور گرافیکی رسم شده و با توابع مناسب برازیده می‌شوند. تقریباً تمام دانشجویان به رایانه‌های شخصی دسترسی داشته و دوره‌های نوین علوم فیزیکی می‌بایست مشوق دانشجویان در به کارگیری این وسیله حیرت انگیز باشند. در نتیجه، تعدادی از مسائل را طوری نوشته‌ایم که بکارگیری رایانه برای حل آنها لازم است. مثلاً در نخستین فصل ریاضی به معرفی روش نیوتن - رافسون برای حل عددی معادلات جبری درجه بالا و معادلات متعالی پرداخته‌ایم. ملاحظه می‌گردد که هیچ دلیلی ندارد محاسبات در درس شیمی فیزیک محدود به حل معادلات درجه دوم و سایر مثال‌های تصنعی باشد. دانشجویان باید داده‌ها را به تصویر کشند، عباراتی برای برازش با داده‌های تجربی بدست آورده و توابعی را ترسیم نمایند که رفتار فیزیکی مساله را توصیف کند. درک مفاهیم فیزیکی به شدت متأثر از خواص داده‌های واقعی است. این گونه تمرین‌ها تجرید در بسیاری از تئوری‌ها را زدوده و دانشجو را قادر می‌سازد تا ریاضیات در شیمی فیزیک را طوری درک کند که قادر به توصیف و پیش بینی رفتار فیزیکی سیستم‌های شیمیایی گردد.

به خاطر داشته باشید که هدف ما آموزش نسل بعدی شیمیدانان است. کمیت‌ها، یکاها و نمادهای به کار رفته در این کتاب همان‌هایی است که در مجمع بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (*IUPAC*) سال ۱۹۹۳ تصویب و به چاپ رسیده‌اند.^۱ تصمیم ما در متابعت از توصیه‌های *IUPAC* جهت به کارگیری نمادها، یکاها و حالات استاندارد این کتاب ممکن است تا حدودی با آنچه در منابع و سایر کتب قدیمی‌تر وجود دارد متفاوت بوده و برای برخی استادان ناآشنا باشد. در پاره‌ای موارد، اغلب خود را متمسک به نمادهای جدید و یکاها نموده اما در واقع پشت سر آن منطقی خاص است و دریافته‌ایم که نتیجه سعی و تلاش در این راستا ارزشمند است.

قدردانی

به هنگام نوشتن و تهیه این کتاب افراد بسیاری نقش داشته‌اند. از همکاران خود، پائول باربارا، جیمز تی. هاینز، ورونیکا ویدا، جان کراول، اندی کومل، رابرت کانتیتی، امیت سینها، جان ویر، جان ویلر، کیم بالدریج، جک کایت، بیل تروگلر و جیم الی به خاطر بحث‌های مهیج در مباحثی که می‌بایست در خلال یک دوره درسی شیمی فیزیک نوین گنجانده شود و از دانشجویان خود بری بولدینگ، پیجون کینگ، رابرت دان، اسکات فلر، سوزان فورست، جف گریتوس، کری هانسون، بولدینگ لی و سونی کسی به خاطر مطالعه دقیق بخشی از نسخه دستنویس و ارائه پیشنهادات مفید کمال تشکر را داریم به ویژه خود را مدیون افراد زیر می‌دانیم: منتقدین ارشد ادبی کتاب مرو هانسون، جان فردریک، آنه مایرز، جورج شیلدز و پتر راک؛ همچنین هیتز کاکس که علاوه بر آن تمام نسخه دستنویس را مطالعه و ضمن ارائه پیشنهادات فراستمندانه خود تمام مشکلات سر راه تهیه حل مسائل را مرتفع نمود؛ کارول مک کواری که ساعت‌ها را در کتابخانه سپری کرد تا به کمک جستجوی اینترنتی داده‌های تجربی و زندگی‌نامه افراد تمام عکس‌های مربوطه مدون شود؛ و کنت پیتزر و جو هوارد بخاطر در اختیار نهادن برخی نکات مهم و اساسی مربوط به زندگی‌نامه افراد. همچنین از سوزانا تادلای بخاطر مشارکت در کل پروژه، باب ایشی برای طراحی آنچه که به نظر ما ظاهر کتاب را زیبا ساخته، جین الیس بخاطر سهمش در بسیاری جزئیات مربوط به تهیه کتاب، جان چویی برای تهیه دستی تمام کارهای هنری، آن مک گویر بخاطر آماده‌باز چاپ نمودن نسخه دستنویس و از دوست گرامی و خوب خود، ناشر کتاب، بروس آرمبروستر به خاطر تشویق ما در نوشتن کتاب. در نهایت مراتب تشکر خود را به همسرانمان، کارول و دیان، به خاطر همکاری بی‌شائبه هر دوی این شیمیدانان در تمام شئونات ابراز می‌نمائیم.

فهرست مطالب

فصل ۱ / ترازهای انرژی اتم ها و مولکول ها	۲
۱-۱. انرژی الکترونی اتم هیدروژن کوانتیزه است	۳
۲-۱. انرژی های مجاز یک سیستم از معادله شرودینگر بدست می آید	۷
۳-۱. اتم ها علاوه بر انرژی الکترونی دارای انرژی انتقالی هستند	۸
۴-۱. حرکت ارتعاشی یک مولکول دو اتمی را می توان با نوسانگر هماهنگ مدل سازی کرد	۱۱
۵-۱. ترازهای انرژی مکانیک کوانتومی نوسانگر هماهنگ عبارتند از $\epsilon_v = hv(v+1/2)$ با $v = 0, 1, 2, \dots$	۱۴
۶-۱. نوسانگر هماهنگ طیف مادون قرمز یک مولکول دو اتمی را توجیه می کند	۱۵
۷-۱. انرژی تفکیک و انرژی الکترونی حالت پایه یک مولکول دو اتمی با $D_e = D_0 + hv/2$	۱۷
هم مرتبطند	۱۸
۸-۱. ترازهای انرژی یک چرخنده اعطاف ناپذیر عبارتند از $\epsilon_J = \hbar^2 J(J+1)/2I$	۱۹
۹-۱. ارتعاشات مولکول های چند اتمی با شبهه های عامی نشان داده می شوند	۲۳
۱۰-۱. طیف چرخشی یک مولکول چند اتمی با همپشتاور مالد مولکول بستگی دارد	۲۶
۱۱-۱. انرژی یک مولکول در تقریب چرخنده اعطاف ناپذیر - نوسانگر هماهنگ را می توان به صورت $\epsilon = \epsilon_{trans} + \epsilon_{rot} + \epsilon_{vib} + \epsilon_{elec}$ نوشت	۲۸
مسائل	۳۱
فصل ریاضی A / روشهای عددی	۴۱
مسائل	۴۷
فصل ۲ / خواص گازها	۵۱
۱-۲. تمام گازها در صورتی که به قدر کافی رقیق باشند رفتار ایده آل دارند	۵۱
۲-۲. معادله واندروالس و معادله ردلیچ - وانگ مثالهایی از معادلات حالت دو پارامتری هستند	۵۶
۳-۲. یک معادله حالت درجه سوم می تواند هر دو حالت گازی و مایع را توصیف نماید	۶۲
۴-۲. معادله واندروالس و معادله ردلیچ - وانگ از قانون حالات متناظر پیروی می کنند	۶۹
۵-۲. ضرائب دوم ویربال را می توان برای تعیین پتانسیل های بین مولکولی به کاربرد	۷۲
۶-۲. معمولاً نیروهای پراکندگی لاندن بیشترین سهم را در جمله r^{-6} پتانسیل لئارد-جونز دارند	۷۹
۷-۲. ثابت های واندروالس را می توان بر حسب پارامترهای مولکول نوشت	۸۴
مسائل	۸۸
فصل ریاضی B / احتمال و آمار	۹۷

مسائل	۱۰۴
فصل ۳ / عامل بولتسمان و توابع تقسیم	۱۰۷
۱-۳. عامل بولتسمان یکی از مهمترین کمیت‌ها در شیمی فیزیک است	۱۰۷
۲-۳. احتمال اینکه سیستمی از یک مجموعه در حالت j با انرژی $E_j(N, V)$ قرار داشته باشد متناسب با $e^{-E_j(N, V)/k_B T}$ است	۱۱۰
۳-۳. فرض می‌کنیم که انرژی متوسط مجموعه برابر با انرژی مشاهده شده سیستم است	۱۱۱
۴-۳. ظرفیت گرمایی در حجم ثابت برابر با مشتق انرژی متوسط نسبت به دما است	۱۱۵
۵-۳. فشار را می‌توان بر حسب تابع تقسیم بیان کرد	۱۱۸
۶-۳. تابع تقسیم یک سیستم از مولکول‌های مستقل، تمیز پذیر برابر با حاصل ضرب توابع تقسیم مولکولی آن است	۱۲۰
۷-۳. تابع تقسیم یک سیستم از اتم‌ها یا مولکول‌های مستقل، تمیز ناپذیر را معمولاً می‌توان به صورت $[q(V, T)]^N / N!$ نوشت	۱۲۲
۸-۳. یک تابع تقسیم مولکولی را می‌توان به توابع تقسیم مربوط به هر درجه آزادی آن تجزیه نمود	
مسائل	۱۲۷
فصل ریاضی C / سری‌ها و حدود	۱۳۰
مسائل	۱۳۸
فصل ۴ / توابع تقسیم و گازهای ایده‌آل	۱۴۳
۱-۴. تابع تقسیم انتقالی یک اتم گاز ایده‌آل تک اتمی عبارت است از $(2\pi mk_B T / h^2)^{3/2} V$	۱۴۸
۲-۴. در دمای اتاق اکثر اتم‌ها در حالت الکترونی پایه واقعند	۱۵۰
۳-۴. انرژی یک مولکول دو اتمی را می‌توان به صورت مجموع جملاتی معرّفی کرد	۱۵۴
۴-۴. در دمای اتاق اکثر مولکول‌ها در حالت ارتعاشی پایه واقعند	۱۵۶
۵-۴. در دماهای معمولی اکثر مولکول‌ها در حالت چرخشی برانگیخته واقعند	۱۶۰
۶-۴. توابع تقسیم چرخشی شامل عدد تقارنی‌اند	۱۶۳
۷-۴. تابع تقسیم ارتعاشی در یک مولکول چند اتمی حاصل ضربی از توابع تقسیم نوسانگر هماهنگ هر یک از مختصات عادی آن است	۱۶۵
۸-۴. فرم تابع تقسیم چرخشی یک مولکول چند اتمی به شکل مولکول بستگی دارد	۱۶۸
۹-۴. ظرفیت‌های گرمایی مولی محاسباتی با داده‌های تجربی سازگاری خوبی دارد	۱۷۰
مسائل	۱۷۳

۱۸۱	فصل ریاضی D / مشتق گیری جزئی
۱۸۸	مسائل
۱۹۲	فصل ۵ / قانون اول ترمودینامیک
۱۹۲	۱-۵. نوع معمول کار ، کار فشار - حجم است
۱۹۵	۲-۵. کار و گرما توابع حالت نیستند اما انرژی یک تابع حالت است
۱۹۹	۳-۵. قانون اول ترمودینامیک بیان می کند که انرژی یک تابع حالت است
۲۰۰	۴-۵. یک فرایند آدیاباتیکی فرایندی است که در آن انرژی به صورت گرما مبادله نمی شود
۲۰۳	۵-۵. دمای یک گاز در اثر انبساط آدیاباتیکی برگشت پذیر کاهش می یابد
۲۰۵	۶-۵. کار و گرما از تعبیر مولکولی ساده ای برخوردارند
	۷-۵. تغییر آنتالپی در فرایند فشار ثابتی که تنها شامل کار $P-V$ است برابر با انرژی منتقل شده به صورت گرما می باشد
۲۰۶	۸-۵. ظرفیت گرمایی یک تابع مسیر است
۲۰۹	۹-۵. آنتالپی های نسبی را می توان از روی داده های ظرفیت گرمایی و گرماهای تبدیل بدست آورد
۲۱۲	۱۰-۵. تغییرات آنتالپی واکنشهای شیمیایی جمع پذیر است
۲۱۳	۱۱-۵. گرمای واکنشها را می توان از روی گرمای تشکیل مندرج در جداول محاسبه کرد
۲۱۷	۱۲-۵. وابستگی $\Delta_r H$ به دما بر حسب ظرفیت های گرمایی واکنش دهنده ها و محصولات داده می شود
۲۲۳	مسائل
۲۲۶	فصل ریاضی E / توزیع دو جمله ای و تقریب استرلینگ
۲۳۷	مسائل
۲۴۱	فصل ۶ / آنتروپی و قانون دوم ترمودینامیک
۲۴۴	۱-۶. برای تعیین جهت یک فرایند خودبخودی ، تغییر انرژی به تنهایی کافی نیست
۲۴۴	۲-۶. سیستم های منزوی غیر تعادلی در جهت افزایش بی نظمی پیش می روند
۲۴۶	۳-۶. آنتروپی بر خلاف q_{rev} ، تابع حالت است
۲۴۸	۴-۶. قانون دوم ترمودینامیک بیان می کند که در نتیجه انجام یک فرایند خودبخود، آنتروپی یک سیستم منزوی افزایش می یابد
۲۵۲	۵-۶. مشهورترین معادله در ترمودینامیک آماری عبارت است $S = k_B \ln W$
۲۵۷	۶-۶. برای محاسبه تغییرات آنتروپی همواره باید یک فرایند برگشت پذیر جستجو کرد
۲۶۰	۷-۶. ترمودینامیک به ما بصیرتی از تبدیل گرما به کار می دهد
۲۶۵	۸-۶. آنتروپی را می توان بر حسب تابع تقسیم بیان کرد
۲۶۷	

۲۷۱	۹-۶. فرمول مولکولی $S = k_B \ln W$ همتای فرمول ترمودینامیکی $dS = \delta q_{rev} / T$ است
۲۷۲	مسائل
۲۸۱	فصل ۷/ آنروپی و قانون سوم ترمودینامیک
۲۸۱	۷-۱. با افزایش دما آنروپی زیاد می‌شود
۲۸۳	۷-۲. قانون سوم ترمودینامیک می‌گوید آنروپی یک بلور کامل در 0K برابر صفر است
۲۸۴	۷-۳. در یک تبدیل فاز $\Delta_{tr} S = \Delta_{tr} H / T_{tr}$
۲۸۵	۷-۴. قانون سوم ترمودینامیک بیان می‌دارد که وقتی $T \rightarrow 0$ آنگاه $C_p \rightarrow 0$
۲۸۷	۷-۵. مقادیر آنروپی مطلق را عملاً به روش گرماسنجی می‌توان تعیین کرد
۲۸۸	۷-۶. مقادیر آنروپی مطلق گازها را عملاً می‌توان از روی توابع تقسیم محاسبه نمود
۲۹۳	۷-۷. مقادیر آنروپی مولی استاندارد به جرم مولی و ساختار مولکولی وابسته است
۲۹۶	۷-۸. آنروپی‌های طیف سفید چند جسم با آنروپی‌های گرماسنجی آن توافق ندارد
۲۹۷	۷-۹. برای محاسبه تغییرات آنروپی در واکنشهای شیمیایی می‌توان از آنروپی‌های استاندارد استفاده کرد
۲۹۸	مسائل
۳۰۹	فصل ۸/ انرژی‌های هلم هولتز و گیبس
۳۰۹	۸-۱. علامت تغییر انرژی هم هولتز، جهت خودبخودی فرایند را در یک سیستم با حجم و دمای ثابت تعیین می‌کند
۳۱۱	۸-۲. انرژی گیبس، جهت خودبخودی فرایند را در یک سیستم تحت فشار و دمای ثابت تعیین می‌کند
۳۱۶	۸-۳. روابط ماکسول، چندین فرمول ترمودینامیکی مفید را فراهم می‌آورد
۳۲۱	۸-۴. آنتالپی یک گاز ایده‌آل مستقل از فشار است
۳۲۴	۸-۵. توابع ترمودینامیکی گوناگون، متغیرهای طبیعی مستقل دارند
۳۲۷	۸-۶. حالت استاندارد یک گاز در هر دمایی، گاز ایده‌آل فرضی در فشار یک بار است
۳۲۹	۸-۷. معادلات گیبس - هلم هولتز وابستگی انرژی گیبس به دما را توصیف می‌کند
۳۳۲	۸-۸. فوگاسیته، میزانی از غیر ایده‌آل بودن یک گاز می‌باشد
۳۳۹	مسائل
۳۵۷	پاسخ به مسائل عددی
۳۷۱	واژه نامه انگلیسی به فارسی