

معرفی و مرور کتاب آشنایی با فیزیک گرما

فرهاد شهبازی

دانشکده فیزیک - دانشگاه صنعتی اصفهان

و تصعید می‌پردازد، در حالی که موضوع فصل سیزدهم، بررسی نقاط بحرانی یا نقاط گذار فازهای پیوسته است.

در نقد این کتاب باید بگوییم با اینکه مطالب ارائه شده در آن بسیار دقیقند، ولی به برخی از جزئیات بیش از حد پرداخته شده که موجب طولانی شدن فصل‌ها شده است، به طوری که من در سه بار تدریس آن موفق به درس دادن فصل یازدهم آن با عنوان مکانیک آماری و همچنین قانون سوم ترمودینامیک، که در فصل نوزدهم کتاب آمده، نشدم. بنابراین یکی از اهداف درس، که آموزش مقدمات مکانیک آماری است، برآورده نمی‌شد. از طرفی بیان کتاب نیز قدیمی شده و هر چند در ویرایش هفتم آن تغییراتی در برخی مطالب و فصل‌بندی آن داده شده، ولی ساختار اولیه‌ی آن تغییر اساسی نکرده است. بنابراین لزوم تغییر منبع درس به منظور آشنایی دانشجویان با پیشرفت‌های جدید در این زمینه احساس می‌شد، تا اینکه یکی از همکاران کتاب «آشنایی با فیزیک گرما» تألیف دانیل شرودر در سال ۲۰۰۰ را به من معرفی کرد. لازم به توضیح است که مؤلف این کتاب، به همراه مایکل پسکین، در تألیف کتابی در زمینه‌ی نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی نیز مشارکت داشته و این کتاب هم‌اکنون در بسیاری از دانشگاه‌های خارج و داخل به عنوان منبع اصلی درس نظریه‌ی میدان پذیرفته شده است. با این پیش‌زمینه می‌توان حدس زد که با کتابی روبه‌رو هستیم که بیشتر با دیدگاه نظری به فیزیک گرما می‌پردازد. این نکته از نظر من که کارم فیزیک نظری است، برتری مهم این کتاب به حساب می‌آید. بنابراین این کتاب را منبع درس «ترمودینامیک و مقدمه‌ی مکانیک آماری» قرار دادم و تا کنون سه بار آن را تدریس کرده‌ام. همچنین یک بار هم آن را برای تدریس درس «مکانیک آماری» به کار بردم. این کتاب مشتمل بر سه بخش و هشت فصل است.

سه فصل اول که در بخش اول با نام «مفاهیم بنیادی» قرار دارند عبارتند از: ۱- انرژی در فیزیک گرما؛ ۲- قانون دوم ترمودینامیک و ۳- برهم‌کنش‌ها و کاربردها.

بخش دوم با عنوان «ترمودینامیک» شامل فصل‌های ۴- ماشین و یخچال و ۵- انرژی آزاد و ترمودینامیک شیمیایی است.

فصل‌های ششم تا هشتم در بخش سوم با عنوان «مکانیک آماری» جای دارند و عبارتند از:

۶- آمار بولتزمن؛ ۷- آمار کوانتومی؛ و ۸- سیستم‌های برهم‌کنش‌دار. ساختار کتاب به گونه‌ای است که آن را برای تدریس درس‌های ترمودینامیک و مکانیک آماری مناسب می‌کند. در شرایط ایده‌آل باید بخش‌های اول و دوم یعنی پنج فصل به درس «ترمودینامیک و مقدمه‌ی مکانیک آماری» و سه فصل آخر به درس «مکانیک آماری» اختصاص یابد. ولی من موفق به تدریس چهار فصل اول در درس «ترمودینامیک» و فصل‌های ۵، ۶ و ۷ در درس مکانیک آماری شدم. دلیل آن هم عمدتاً عدم کشش اکثریت دانشجویان بود. لازم است توضیح دهم که بار اول برای تدریس «مکانیک آماری»، کتاب «آشنایی با

از آنجا که موضوع رساله‌ی دکترای من در زیرمجموعه‌ی فیزیک آماری قرار داشت، از سال ۱۳۸۲ که عضو هیئت علمی دانشکده‌ی فیزیک شدم تصمیم گرفتم که تدریس درس‌های ترمودینامیک و مکانیک آماری را در برنامه‌ی آموزشی خود بگنجانم. در این راستا تاکنون شش بار «ترمودینامیک و مقدمه‌ی فیزیک آماری» و دو بار «مکانیک آماری» را در مقطع کارشناسی، دو بار «مکانیک آماری پیشرفته‌ی ۱ و ۲» و سه بار درس «فیزیک پدیده‌های بحرانی» را در مقاطع تحصیلات تکمیلی درس داده‌ام.

در این نوشتار قصد دارم تا تجربه‌های خود را از متونی که برای درس‌های «ترمودینامیک و مقدمه‌ی مکانیک آماری» و «مکانیک آماری» در دوره‌ی کارشناسی داشته‌ام به نگارش در آورم. در آخر، با معرفی کتاب «آشنایی با فیزیک گرما»، تألیف دانیل شرودر، دلایلی را خواهم گفت که موجب شد این کتاب را برای تدریس دو درس یادشده انتخاب کنم.

برای تدریس «ترمودینامیک و مقدمه‌ی آماری» ابتدا کتاب «حرارت و ترمودینامیک» تألیف مارک والدو زیمانسکی و ریچارد دیتمن (ویرایش ششم، تألیف سال ۱۹۸۱ میلادی) را که سال‌ها به عنوان منبع این درس شناخته شده بود، سه نیم‌سال تدریس کردم. این ویرایش کتاب مشتمل بر دو بخش و ۱۹ فصل است. بخش اول با عنوان «مفاهیم اساسی» شامل ۱۰ فصل و بخش دوم با عنوان «کاربرد مفاهیم اساسی» نیز شامل ۹ فصل است. برای این درس ۴ واحدی موفق به تدریس ۱۰ فصل از بخش اول و فصل ۱۳ از بخش دوم آن شدم.

در فصل‌های اول تا پنجم، مؤلفین به مفاهیم پایه‌ای مانند تعادل ترمودینامیکی، کار و گرما، قانون صفرم و اول ترمودینامیک، نظریه‌ی جنبشی و کاربردهای آنها در گازهای کامل می‌پردازند.

فصل‌های ششم، هفتم و هشتم که از مهم‌ترین بخش‌های کتاب هستند به قانون دوم ترمودینامیک اختصاص دارد. در فصل ششم، ابتدا با معرفی ماشین‌های گرمایی و یخچال‌ها و محاسبه‌ی بازده و کارایی آنها به دو بیان کلون-پلانک (بیان ماشین گرمایی) و کلاؤسیوس (بیان یخچالی) از قانون دوم و اثبات هم‌ارزی آنها پرداخته می‌شود. در فصل هفتم، درباره‌ی مفهوم برگشت‌پذیری و برگشت‌ناپذیری فرآیندها و شرایط برگشت‌پذیری بحث می‌شود و در فصل هشتم تعریف ترمودینامیکی آنتروپی ارائه می‌شود و به این ترتیب قانون دوم ترمودینامیک به شکل جدیدتری و به صورت اصل افزایش آنتروپی بیان می‌شود.

فصل نهم چکیده‌ی همه فصل‌های گذشته است. به این ترتیب که با معرفی پتانسیل‌های ترمودینامیکی یا انرژی‌های آزاد (مانند آنتالپی، انرژی آزاد هلمهولتز و انرژی آزاد گیبس)، قوانین اول و دوم ترمودینامیک به صورت روابط بین مشتقات جزئی این توابع بیان می‌شوند.

فصل‌های ۱۰ و ۱۳ به فازهای پایدار ماده و گذار بین آنها اختصاص یافته است. فصل دهم به گذار فازهای ناپیوسته با مرتبه‌ی اول مانند تبخیر، انجماد

ترمودینامیک است.

فصل پنجم: در این فصل انرژی‌های آزاد، گذارهای فاز و کاربرد ترمودینامیک در سیستم‌های شیمیایی مانند مخلوط‌ها و محلول‌های رقیق ارائه شده است. در واقع می‌توان ادعا کرد که همه‌ی کتاب زیمانسکی و دیتمن با حجم تقریبی ۷۰۰ صفحه، در این پنج فصل با حجمی حدود ۲۰۰ صفحه خلاصه شده است.

فصل ششم: فرمول‌بندی مکانیک آماری برای سیستم بسته‌ای که با محیط انرژی مبادله می‌کند ولی ذره مبادله نمی‌کند، یعنی همان هنگرد بندادی، در این فصل ارائه می‌شود. روش به‌دست‌آوردن تابع وزن بولتزمن در این فصل حاوی نوآوری‌های جالبی است که نگارنده در متون دیگر کمتر دیده است. برای مثال می‌توان به وجود جمله‌ای مربوط به تغییر حجم در نمای تابع بولتزمن اشاره کرد که غالباً قابل چشم‌پوشی است ولی برای برخی سیستم‌ها مانند اتم هیدروژن باید در نظر گرفت.

فصل هفتم: این فصل به بررسی سیستم‌های باز که با محیط تبادل ذره دارند، یا هنگرد درشت بندادی (آنسامبل گراند کانونیک)، اختصاص دارد. آمار کوانتومی برای بوزون‌ها و فرمیون‌ها فرمول‌بندی می‌شود، و در مطالبی مانند گاز فرمیونی تیهگن، تابش جسم سیاه، نظریه دی‌بی برای جامدات و چگالش بوز-اینشتین به کار برده می‌شود.

فصل هشتم: سیستم‌های با برهم‌کنش موضوع این فصل است که برای مطالعه‌ی آنها با روش‌هایی مانند بسط خوشه، نظریه میدان میانگین و شبیه‌سازی مونت کارلو آشنا می‌شویم. در این فصل هم‌چنین مدل آیزینگ به عنوان یک مدل برهم‌کنشی مطرح و حل دقیق آن در یک بعد ارائه می‌شود.

همان‌گونه که قبلاً اشاره کردم چهار فصل اول این کتاب را در درس «ترمودینامیک و مقدمه‌ی مکانیک آماری» و فصل‌های ۵، ۶ و ۷ را در درس مکانیک آماری تدریس کردم. علاوه بر ساختار مدرن سازگار با پژوهش‌های روز، بیان مختصر و مفید، و نوآوری در ارائه‌ی مطالب، نقطه‌ی قوت دیگر کتاب پرسش‌های آن هستند. این مسئله‌ها بسیار با دقت و هدفمند طراحی شده‌اند و تلاش برای حل آنها به درک بیشتر مفاهیم ارائه‌شده در متن کمک فراوان می‌کند. جالب این‌که در این مسئله‌ها از موارد مربوط به زندگی روزمره، مانند محاسبه‌ی هزینه‌ی گاز مصرفی و چگونگی کاهش آن، تا مسائل نظری محض مانند آنتروپی سیاه‌چاله‌ها وجود دارد. در انتهای کتاب جدولی از انرژی‌های آزاد، آنتروپی و ظرفیت گرمایی مواد وجود دارد، که دانشجویان برای حل پاره‌ای از مسائل کاربردی مربوط به مواد واقعی باید به آن رجوع کنند. هم‌چنین وجود تکالیف محاسباتی آموزنده در این کتاب، در آشنایی دانشجویان کارشناسی با استفاده از کامپیوتر بسیار مؤثر هستند.

از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که این کتاب برای تدریس «ترمودینامیک» و «مکانیک آماری» ایده‌آل است. من در چند بار تدریس آن چیزهای زیاد آموختم و لذت فراوانی بردم. در پایان تدریس این کتاب را به مدرسان دو درس یاد شده و هم‌چنین ترجمه‌ی آن را به علاقه‌مندان توصیه می‌کنم.

فیزیک آماری» تالیف کرسون هوانگ را جایگزین کتاب «فیزیک آماری» تالیف فردریک رایف از دوره فیزیک برکلی کردم. کتاب رایف سال‌های طولانی منبع استاندارد بود ولی اکنون منبعی قدیمی به حساب می‌آید. اما پس از یک بار که من و دو بار دیگر که یکی از همکارانم این کتاب را تدریس کردیم متوجه شدیم که به‌علت بیان ریاضی نسبتاً پیچیده‌ی کتاب هوانگ، بیشتر دانشجویان کارشناسی قادر به ارتباط با این کتاب و درک مفاهیم آن نیستند. حال به توصیف مختصر فصل‌های کتاب «آشنایی با فیزیک گرما» و مقایسه‌ی آن با کتاب «حرارت و ترمودینامیک» می‌پردازم.

فصل اول: در این فصل به مفاهیم تعادل گرمایی، دما، کار، گرما، قانون اول ترمودینامیک و نظریه‌ی جنبشی گازها پرداخته می‌شود. در بحث نظریه‌ی جنبشی، فرآیندهای رسانش گرمایی، پخش مولکولی و گران‌روی در شاره‌ها ارائه می‌شوند. در واقع پنج فصل اول کتاب زیمانسکی و دیتمن در این فصل خلاصه شده است.

فصل دوم: در این فصل، مؤلف با استفاده از حساب جای‌گشت‌ها و نظریه‌ی احتمالات، به محاسبه‌ی کمیته‌ی به نام تابع فراوانی برای سیستم‌های منزوی می‌پردازد. سپس با تعریف آنتروپی با عنوان لگاریتم تابع فراوانی، قانون دوم ترمودینامیک را که همان اصل افزایش آنتروپی برای سیستم‌های منزوی است نتیجه می‌گیرد و تأکید می‌شود که قانون دوم نتیجه‌ی طبیعی نظریه‌ی احتمالات است. این شیوه‌ی بیان، وجه تمایز مشخص کتاب حاضر با کتاب زیمانسکی و دیتمن است که در آن همواره سعی بر تأکید به این نکته است که قوانین ترمودینامیک، قوانینی پدیده‌شناختی هستند و یا به عبارت دیگر، سرچشمه‌ی تجربی دارند.

در این فصل هم‌چنین بدون نام‌بردن از هنگرد ریزبندادی، آموزش مقدمات مکانیک آماری به‌میان می‌آید. برای مثال، آنتروپی برای چند سیستم ساده‌ی فیزیکی مانند مواد پارامغناطیس دوحالتی، جامد اینشتین و گاز ایده‌آل محاسبه می‌شود، که برای آشنایی با این مطالب و مقدمات مکانیک کوانتومی در حد فیزیک جدید ضروری است.

فصل سوم: برقراری ارتباط بین آنتروپی تعریف‌شده در فصل دوم، که اساس میکروسکوپی دارد، و کمیت‌های ماکروسکوپی مطرح‌شده در فصل اول، موضوع این فصل است که مؤلف به‌خوبی از پس آن برآمده. نشان داده می‌شود که چگونه آنتروپی به کمیت‌های قابل‌اندازه‌گیری در آزمایشگاه مربوط می‌شود. هم‌چنین به قانون سوم ترمودینامیک و دماهای منفی نیز در این فصل اشاره می‌شود، در حالی که در کتاب زیمانسکی و دیتمن این مطالب در فصل نوزدهم آورده شده است و عملاً تدریس نمی‌شود. در این فصل تناظری بین مفاهیم ترمودینامیکی و زندگی اجتماعی ارائه می‌شود که در ساده‌سازی فهم آنها بسیار مؤثر است.

فصل چهارم: این فصل به کاربرد قانون دوم ترمودینامیک در ماشین‌های گرمایی و یخچال‌ها اختصاص دارد. بیان‌های کلین-پلانک و کلاؤسیوس از اصل افزایش آنتروپی بیرون کشیده می‌شود. بنابراین وجه تمایز مشخص این کتاب با کتاب زیمانسکی و دیتمن، در عدم رعایت روند تاریخی تکامل علم