

# ترمودینامیک و مکانیک آماری

دوره فیزیک نظری کلاسیک

مؤلفان:

پروفسور والتر گراینر

لودویگ نایس

هورست استوکر

ترجمه:

سید مهدی میرفندرسکی

نیاز دانش

سرشناسه	: گرایتر، والتر، ۱۹۳۵ -	Greiner, Walter م.
عنوان و نام پدیدآور	: <b>ترمودینامیک و مکانیک آماری : دوره فیزیک نظری کلاسیک/ مولفان والتر گرایتر، لودویگ نایس، هورست استوکر؛ ترجمه سیدمهدی میرفندرسکی.</b>	
مشخصات نشر	: تهران، نیاز دانش، ۱۳۹۲.	
مشخصات ظاهری	: ۴۵۶ص: مصور، جدول.	
شابک	: ۲۵۰۰۰۰ ریال	ISBN:978-600-6481-70-8
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا	
یادداشت	: کتاب حاضر از متن انگلیسی با عنوان "Thermodynamics and statistical mechanics" به فارسی ترجمه شده است.	
یادداشت	: عنوان اصلی: Thermodynamic and statistical Mechanics	
یادداشت	: واژه‌نامه.	
موضوع	: ترمودینامیک	
موضوع	: کوانتوم آماری	
موضوع	: مکانیک آماری	
شناسه افزوده	: نایسه، لودویگ	Neise, Ludwig
شناسه افزوده	: اشتوکر، هورست، ۱۹۵۲ - م.	Stöcker, Horst
شناسه افزوده	: میرفندرسکی، سیدمهدی، ۱۳۶۸، مترجم	
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۴ت۴ ق۳۱۱/ QC	
رده‌بندی دیویی	: ۱۳/۵۳۰	
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۳۸۹۰۲۳	



نام کتاب	: ترمودینامیک و مکانیک آماری (دوره فیزیک نظری کلاسیک)
مؤلفان	: پروفیسور والتر گرایتر - لودویگ نایس - هورست استوکر
مترجم	: سیدمهدی میرفندرسکی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیاز دانش
نوبت چاپ	: سوم - ۱۳۹۶
شمارگان	: ۱۰۰
قیمت	: ۳۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۷۰-۸ ISBN:978-600-6481-70-8

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیهی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

آدرس انتشارات: تهران - میدان انقلاب - خیابان ۱۲ فروردین - تقاطع وحید نظری - پلاک ۲۵۵ - طبقه ۱ - واحد ۲

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۶۶۴۷۸۱۰۸

[www.Niye-Danesh.com](http://www.Niye-Danesh.com)

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲ - ۲۱۰۶۷۰۹

## پیام پاستور

... در هر حرفه‌ای که هستید نه بگذارید که به بدبینی‌های بی‌حاصل آلوده شوید؛ و نه بگذارید که بعضی لحظه‌های تأسف‌بار که برای هر ملتی پیش می‌آید شما را به ناامیدی بکشاند. در آرامش حاکم بر آزمایشگاه‌ها و کتابخانه‌هایتان زندگی کنید؛ نخست از خود پرسید: برای یادگیری و خودآموزی چه کرده‌ام؟ سپس همچنان که پیش‌تر می‌روید، پرسید: برای کشورم چه کرده‌ام؟ و این پرسش را آن قدر ادامه دهید تا به این احساس شادی بخش و هیجان‌انگیز برسید که شاید سهم کوچکی در پیشرفت و اعتلای بشریت داشته‌اید. اما هر پاداشی که زندگی به تلاش‌هایمان بدهد یا ندهد، هنگامی که به پایان تلاش‌هایمان نزدیک می‌شویم، هر کدامان باید حق آن را داشته باشیم که با صدای بلند بگوییم: من آنچه در توان داشتم، انجام داده‌ام.

لویی پاستور (۱۸۹۵-۱۸۲۲)



# مقدمه مؤلفان

ترمودینامیک و مکانیک آماری شامل مباحثی است که بخشی از دوره فیزیک نظری دانشگاه ژوهان ولفگانگ گوٹ فرانکفورت را تشکیل می‌دهد. این درس برای دانشجویان ترم‌های پنجم یا ششم ارائه می‌شود و پیش از آن درس‌های مکانیک تحلیلی I (ترم اول)، مکانیک تحلیلی II (ترم دوم)، الکتروپدینامیک کلاسیک (ترم سوم)، مکانیک کوانتومی I (ترم چهارم)، و مکانیک کوانتومی II، مکانیک کوانتومی نسبیتی و تقارن‌ها، (ترم پنجم) توسط این دانشجویان گذرانده می‌شود. دوره فوق لیسانس که با مکانیک کوانتومی II و ترمودینامیک و مکانیک آماری شروع می‌شود با الکتروپدینامیک کوانتومی، نظریه پیمانه‌ای اندرکنش ضعیف، کرومودینامیک کوانتومی و دوره‌های ویژه‌ای در نظریه حالت جامد و هسته‌ای و کیهان‌شناسی ادامه می‌یابد.

در این کتاب، ترمودینامیک و مکانیک آماری را مانند همه زمینه‌های دیگری که در بالا ذکر کردیم، بر اساس یک روش استقرائی که از جمله شبیه‌ترین استراتژی‌های تحقیق فیزیکدانان به شمار می‌رود، ارائه می‌کنیم. با شروع از برخی مشاهدات آزمایشگاهی کلیدی، چارچوب نظریه توسعه پیدا می‌کند و سپس معادلات اساسی به دست می‌آیند و در اینجا پدیده‌های جدیدی بررسی می‌شوند.

بخش اول کتاب، ترمودینامیک پایه را همراه با محدوده گسترده‌ای از کاربردهایش در فیزیک پوشش می‌دهد. مثال‌های متنوع و کاربردها، همچنین توضیح جزئیات ابزارهای ریاضی مورد نیاز، خواننده را در سرتاسر این زمینه گسترده از فیزیک هدایت می‌کند. تأکید ما روی مفاهیم میکروسکوپی

و تفسیر فرآیندهای ماکروسکوپی می‌باشد. در بین مباحث پوشش یافته در بخش اول، تفسیر آماری دما و آنتروپی که به ویژه در بخش دوم این کتاب با جزئیات بیشتر بحث خواهد شد، ماشین‌های ترمودینامیکی، گذار فاز و واکنش‌های شیمیایی می‌باشند.

در بخش دوم با مکانیک آماری مواجه می‌شویم. آزمایش‌های کوانتیک و میکروکوانتیک ارائه می‌شوند و کاربردهای متنوع آنها (گازهای واقعی و ایده‌آل، افت‌وخیزها، پارامغناطش و گذار فاز) نشان داده خواهند شد.

بخش سوم، آمار کوانتومی را پوشش می‌دهد. با گازهای کوانتومی ایده‌آل شروع می‌شود و در مورد گازهای بوزونی-فرمیونی بحث می‌کنیم و کاربردهای چند منظوره آنها را از فیزیک حالت جامد گرفته تا اختریفیزیک (ستاره‌های نوترونی و کوتوله‌های سفید) و فیزیک هسته‌ای (مواد تشکیل‌دهنده هسته، هادرون‌ها و گذار فاز ممکن به پلاسمای گلوئونی) نشان می‌دهیم.

بخش آخر کتاب به مختصری از گازهای واقعی و گذارهای فاز آنها می‌پردازد. بسط مایر و مدل‌های آیزینگ و هایزنبرگ به عنوان پایه‌ای برای معرفی یک زمینه جدید چالش برانگیز از تحقیقات علمی ارائه شدند.

این مباحث به زبان آلمانی به ویرایش سوم رسیدند. در طول سال‌های متمادی، بسیاری از دانشجویان و همکاران در حل تمرین‌ها و مثال‌های حل شده مرا یاری دادند. در ویرایش اول کتاب به زبان انگلیسی از همکاری مشتاقانه آقایان استیفن باس، آدریان دومپچرو، درک راشک (هم‌اکنون در دانشگاه کلمبیا به سر می‌برد) و توماس شان فیلد بهره‌مند شدم. خانم استرید استایدل، عکس‌ها و نمودارها را طراحی کردند. از همه این عزیزان صمیمانه تشکر می‌کنم. همچنین از پروفیسور جس مدسن از دانشگاه آرهیوس دانمارک و پروفیسور لازلو ایسرنی از دانشگاه برگن نروژ به خاطر نظرات ارزنده‌ای که درباره متن و مثال‌ها ارائه کردند سپاس‌گذاری می‌کنم. تشکر ویژه‌ای دارم از پروفیسور مارتین گلفند و گروهی از دانشجویانش از دانشگاه ایالتی کولورودا در فورت کولینز که تعداد زیادی از اشتباهات تایپی و طراحی موجود در چندین مسئله را یادآوری کردند.

در نهایت، برای انتشارات اشپرینگر و به خصوص آقای دکتر هانس-اولریخ دنیل و دکتر توماس فان فورستر به خاطر دلگرمی‌ها و بردباری‌هایشان، و خانم مارگارت مارینووسکی، به خاطر ویرایش نسخه چاپی به زبان انگلیسی آرزوی توفیق دارم.

## مقدمه مترجم

در طول تاریخ، دوره‌هایی از سری کتب دانشگاهی در یک زمینه خاص از علم ارائه شدند. تا آنجایی که دانش اینجانب اقتضا می‌کند می‌توانم به دوره فیزیک نظری کلاسیک نلسون سامرفیلد و پلانک اشاره کنم که تقریباً بیش از یک قرن پیش تألیف شدند. حدود نیم قرن گذشت که دو تن از نوابع دیگر دنیای فیزیک به نام‌های لاندائو و لیفشیتز با الهام از دوره پلانک و سامرفیلد به تألیف دوره فیزیک نظری خود پرداختند. دوره فیزیک نظری کلاسیک به تألیف پروفیسور والتر گراینر جدیدترین دوره فیزیک در جهان به حساب می‌آید که در اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم تألیف شده است. گراینر با بیش از نیم قرن تجربه کار آکادمیک در جامعه علمی آلمان و سرتاسر جهان به تألیف این دوره ارزشمند از فیزیک پرداخته است و در طول چند دهه، دوره ۱۳ جلدی خود از کتب دانشگاهی با عناوین مکانیک کلاسیک (دستگاهی از ذرات و دینامیک هامیلتونی)، مکانیک کلاسیک (ذرات نقطه‌ای و نظریه نسبیت)، مقدمه‌ای بر مکانیک کوانتومی، الکترودینامیک کلاسیک، ترمودینامیک و مکانیک آماری، مکانیک کوانتومی نسبیتی، نظریه پیمانه‌ای اندرکنش ضعیف، کرومودینامیک کوانتومی، مقولات ویژه‌ای در مکانیک کوانتومی، مکانیک کوانتومی و تقارن‌ها، مدل‌های فیزیک هسته‌ای، کوانتش میدان، الکترودینامیک کوانتومی کتبی هستند که همگی توسط همین مؤلف و در برخی موارد همراه با همکارانش به چاپ رسیدند. به استحضارتان می‌رسانم که این کتب بدو به زبان آلمانی نوشته شدند و مدتی طول کشید که اساتید برخی از دانشگاه‌ها که از دانشجویان گراینر بودند به

ترجمه این کتب به زبان انگلیسی پرداختند و از آنها به عنوان مراجع درسی خود استفاده کردند. از جمله این افراد می توانم به پروفیسور هنری فورد (استاد ممتاز دانشگاه ییل آمریکا)، پروفیسور آلن بورملی (استاد دانشگاه نیوهاون آمریکا) پروفیسور درک راشک (استاد دانشگاه کولومبیا آمریکا) نام ببرم. بزرگترین افتخار مؤلف کتاب کسب جایزه ماکس بورن در سال ۱۹۷۴ می باشد.

ترمودینامیک و مکانیک آماری دو درس ۴ واحدی در دوره لیسانس فیزیک و یک درس ۴ واحدی دیگر با نام مکانیک آماری پیشرفته را در بر می گیرد که اهمیت آنها بر همگی شما مخاطبان گرامی واقف است. مکانیک آماری با یک اصل موضوعه اساسی که بسیار بدیهی به نظر می آید آغاز می شود و به صورت استقرائی پایه های نظریه ساخته می شود. پرداختن به مفاهیم ترمودینامیک و بیان جزئیات ریاضیاتی مطالب ارائه شده از ویژگی های منحصر به فرد کتاب می باشد. این کتاب از جمله کتاب های خودآموز محسوب می شود و در انتهای هر فصل تمرینی وجود ندارد، اما مؤلف با بیان چندین نوع مثال مهم و دشوار در هر بخش که از اهمیت بیشتری برخوردارند در لابه لای حل مسائل نکات متعددی را به دانشجو می آموزد. مؤلف، مخاطبان کتاب را دانشجویان مستعد لیسانس و همه دانشجویان فوق لیسانس به بالاتر پیشنهاد داده است اما باید بگویم که دانستن ترمودینامیک پایه و مقدار بسیار جزئی مکانیک کوانتومی برای مطالعه این کتاب کافی به نظر می رسد. این کتاب ترجمه ای از ۱۴ فصل ابتدایی کتاب اصلی است. کتاب اصلی ۱۸ فصل دارد که ۴ فصل انتهایی آن به گفته خود مؤلف به ارائه برخی موضوعات چالش برانگیز تحقیقاتی می پردازد که در نظام آموزشی جمهوری اسلامی ایران فقط در سطح دکتری به صورت مطالب تحقیقاتی مطرح هستند. به حول قوه الهی جلد های دیگر این دوره نیز در دست چاپ هستند.

در پایان نیز از اساتید محترم دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف جناب آقایان دکتر هدایتی، دکتر اجتهادی، و دکتر بهمن آبادی به خاطر توصیه ها و راهنمایی هایشان و همچنین از جناب آقای مهندس شیرازی مدیریت محترم انتشارات نیاز دانش به خاطر حسن توجه به پدیده ترویج علم در جامعه دانشگاهی کشور و پیگیری های مجدانه ایشان در امر نشر کتاب کمال سپاس گذاری را دارم.

موفق باشید

سید مهدی میرفندرسکی



# تقدیم به شهدای انقلاب اسلامی وشهدای جهاد علمیه کشور

شهید دکتر  
مسعود علی محمدی

شهید دکتر  
مجید شهر یاری

شهید مهندس  
مصطفی احمدی روشن

شهید مهندس  
داریوش رضایی نژاد

شهادت این دانشمندان در راه آرمان های بلند و الهی  
به کشور، انقلاب اسلامی، ملت ایران و محیط علمی آبرو بخشید.  
مقام معظم رهبری



# فهرست مطالب

## I ترمودینامیک

۱۷	۱ تعادل و توابع حالت
۱۷	مقدمه
۱۹	سیستم‌ها، فازها، و کمیت‌های حالت
۲۱	تعادل و دما- قانون صفرم ترمودینامیک
۲۵	نظریه جنبشی گاز ایده‌آل
۲۹	فشار، کار و پتانسیل شیمیایی
۳۲	گرما و ظرفیت گرمایی ویژه
۳۴	معادله حالت برای یک گاز واقعی
۳۸	گرمای ویژه
۴۰	تغییر حالت- فرآیندهای برگشت پذیر و برگشت ناپذیر
۴۴	دیفرانسیل‌های کامل و ناقص، انتگرال‌های خطی

۵۳	قوانین ترمودینامیک
۵۳	قانون اول
۵۸	فرآیند کارنو و آنتروپی
۶۲	آنتروپی و قانون دوم
۶۴	ضمیمه: تفسیر میکروسکوپی آنتروپی و قانون دوم
۷۴	تعادل موضعی و کلی
۷۵	ماشین‌های ترمودینامیکی
۸۳	معادلهٔ اوپلر و رابطهٔ گیبس - دوهم
۸۷	گذار فاز و واکنش‌های شیمیائی
۸۷	قاعدهٔ فاز گیبس
۹۳	تعادل فازی و ساختارسازی ماکسول
۹۷	قانون اثر جرم
۱۰۸	کاربرد قوانین ترمودینامیک
۱۱۳	پتانسیل‌های ترمودینامیکی
۱۱۳	اصل بیشترین آنتروپی
۱۱۵	آنتروپی و انرژی به‌عنوان پتانسیل‌های ترمودینامیکی
۱۱۷	تبدیل لژاندر
۱۲۱	انرژی آزاد
۱۲۵	آنتالپی
۱۳۱	آنتالپی آزاد
۱۳۸	گراند پتانسیل
۱۳۹	تبدیل همهٔ متغیرها
۱۴۰	روابط ماکسول
۱۴۷	تبدیلات ژاکوبی
۱۵۱	پایداری ترمودینامیکی

## II مکانیک آماری

۱۵۵	۵ تعداد میکروحالات $\Omega$ و آنتروپی $S$
۱۵۵	اصول

۱۵۶	فضای فاز
۱۶۰	تعریف آماری آنتروپی
۱۶۵	پارادوکس گیبس
۱۶۹	شمارش شبه کوانتومی $\Omega$

### ۶ نظریهٔ آنزامبل و آنزامبل میکروکانونیک

۱۷۷	چگالی فضای فاز، فرضیهٔ ارگودیک
۱۸۱	قضیهٔ لیوویل
۱۸۲	آنزامبل میکروکانونیک
۱۸۵	آنتروپی به عنوان میانگین آنزامبل
۱۸۶	تابع عدم قطعیت

### ۷ آنزامبل کانونیک

۲۰۳	ساختار کلی ضریب تصحیح گیبس
۲۰۹	سیستم‌هایی از ذرات بدون برهمکنش
۲۱۷	محاسبهٔ مشاهده‌پذیرها از روی میانگین آنزامبل
۲۲۷	ارتباط بین آنزامل‌های میکروکانونیک و کانونیک
۲۳۲	افت‌وخیزها
۲۳۵	قضیهٔ ویریال و قضیهٔ همپاری انرژی
۲۴۱	برای یادگیری بهتر: آنزامل کانونیک به عنوان مقدار میانگین همهٔ توزیع‌های ممکن

### ۸ کاربردهای آمار بولتزمان

۲۴۹	سیستم‌های کوانتومی در آمار بولتزمان
۲۵۶	پارامغناطش
۲۶۵	دمای منفی در سیستم‌های دوحالتی
۲۶۸	گازها با درجات آزادی داخلی
۲۷۷	گاز ایده‌آل نسبی

### ۹ آنزامل ماکروکانونیک

۲۹۴	افت‌وخیزها در آنزامل ماکروکانونیک
-----	-----------------------------------

### III آمار کوانتومی

۳۰۳	.....	۱۰ عملگرهای چگالی
۳۰۳	.....	اصول
۳۰۷	.....	حالات خالص و مخلوط
۳۱۲	.....	خواص ماتریس چگالی
۳۱۷	.....	عملگرهای چگالی آمار کوانتومی
۳۳۳	.....	۱۱ مشخصه تفارنی توابع موج بس ذره‌ای
۳۴۷	.....	۱۲ توصیف گراندکانونیک سیستم‌های کوانتومی ایده‌آل
۳۶۵	.....	۱۳ گاز ایده‌آل بوزونی
۳۷۷	.....	گاز بوزونی فوق نسبی
۳۹۵	.....	۱۴ گاز ایده‌آل فرمیونی
۴۰۱	.....	گاز فرمیونی تبهگن
۴۴۷	.....	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۴۵۲	.....	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی