

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات، شماره ۵۱۱

مکانیک آماری

اثری جاویدان

تالیف:

مایک گلارز - جاستین وارک

ترجمه:

دکتر حسین مرادی

سرشناسه: گلیرز، آنتونی، مایکل (Glazer, A.M. (Anthony michael)

عنوان و نام پدیدآور: مکانیک آماری: اثری جاویدان / تألیف مایک گلآزر، جاستین وارک؛ ترجمه حسین مرادی.

مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی (مشهد)، ۱۳۸۷.

مشخصات ظاهری: ۱۸۸ ص، مصور.

فروست: (انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۵۱۱).

شابک: ۱۴۰۰۰ ریال (ISBN: 978-964-386-177-3).

وضعیت فهرست نویسی: فیا.

یادداشت: عنوان اصلی: Statistical mechanics a survival guide, 2001

موضوع: مکانیک آماری.

شناسه افزوده: وارک، جاستین اس.

شناسه افزوده: Wark, J. S. (Justin S.)

شناسه افزوده: مرادی، حسین، ۱۳۲۴، مترجم.

شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد

رده بندی کنگره: QC ۱۷۳/۸/ م ۷۱۳۸۷ گ ۸

رده بندی دیویی: ۵۲۰/۱۲

شماره کتابخانه ملی: ۱۳۲۱۵۳۲



انتشارات، شماره ۵۱۱

مکانیک آماری

اثری جاویدان

تألیف

مایک گلآزر - جاستین وارک

ترجمه

دکتر حسین مرادی

ویراستار علمی

دکتر جعفر گودرزی

وزیری، ۱۸۸ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۳۸۷

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۴۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

پیشگفتار مؤلف	۹
پیشگفتار مترجم	۱۳
فصل اول - بازگشت به مبناها	
۱-۱ نقش مکانیک آماری	۱۵
۲-۱ مقدمه‌ای بر پرتاب سکه	۱۶
۳-۱ شیر من می‌برم، خط تو می‌بازی	۱۷
۴-۱ قضیه استرلینگ	۲۱
۵-۱ پرتاب سکه‌های بیشتر	۲۲
۶-۱ ذرات تمیزپذیر	۲۳
۷-۱ خلاصه	۲۷
۸-۱ مسائل	۲۸
فصل دوم - آمار ذرات تمیزپذیر	
۱-۲ توزیع بولتزمن برای ذرات تمیزپذیر	۳۱
۲-۲ روش ضرایب نامعین لاگرانژ	۳۲
۳-۲ تابع پارش تک ذره‌ای	۳۹
۴-۲ واگنی	۴۱
۵-۲ تابع پارش یک دستگاه	۴۲

۳۴	۶-۲ خلاصه
۳۵	۷-۲ مسائل

فصل سوم - پارامغناطیسها و نوسانگرها

۴۷	
۳۷	۱-۳ یک پارامغناطیس با اسپین $\frac{1}{2}$
۵۴	۲-۳ پارامغناطیسهای با تکرانه زاویه‌ای J
۵۶	۳-۳ نوسانگر هماهنگ ساده
۵۷	۱-۳-۳ یک آرایه از نوسانگرهای هماهنگ ساده یک بُعدی
۵۸	۲-۳-۳ یک آرایه از نوسانگرهای هماهنگ ساده سه بُعدی
۶۱	۴-۳ خلاصه
۶۲	۵-۳ مسائل

فصل چهارم - ذرات تمیزناپذیر و گازهای کامل تک اتمی

۶۵	
۶۵	۱-۴ حالت‌های تمیزپذیر و تمیزناپذیر
۶۸	۲-۴ ذرات گازی یکسان - شمارش حالتها
۷۵	۳-۴ تابع پارش یک گاز کامل تک اتمی
۷۵	۴-۴ خواص گاز کامل تک اتمی
۷۷	۵-۴ بحث بیشتر درباره انبساط‌های بی دررو
۷۹	۶-۴ توزیع سرعت‌های ماکسول - بولتزمن
۸۱	۷-۴ پارادوکس گیبس
۸۳	۸-۴ خلاصه
۸۵	۹-۴ مسائل

فصل پنجم - گازهای کامل دو اتمی

۸۷	
۸۷	۱-۵ درجات آزادی دیگر
۸۸	۲-۵ ظرفیتهای گرمایی چرخشی برای گازهای دو اتمی
۹۱	۳-۵ تابع پارش ارتعاشی یک گاز دو اتمی

۹۲	۴-۵ در نظر گرفتن همه اینها برای یک گاز کامل
۹۳	۵-۵ خلاصه
۹۴	۶-۵ مسائل

فصل ششم - آمار کوانتومی

۹۵	۱-۶ ذرات تمیزپذیر و آمار کوانتومی
۹۸	۲-۶ آمار بوز - اینشتین
۹۹	۳-۶ آمار فرمی - دیراک
۱۰۰	۴-۶ بحث بیشتر روی توابع توزیع کوانتومی
۱۰۳	۵-۶ خلاصه
۱۰۳	۶-۶ مسائل

فصل هفتم - الکترونها در فلزات

۱۰۵	۱-۷ آمار فرمی - دیراک: الکترونها در فلزات
۱۰۸	۲-۷ ظرفیت گرمایی یک گاز فرمی
۱۱۱	۳-۷ گذار کوانتومی - کلاسیکی
۱۱۵	۴-۷ خلاصه
۱۱۶	۵-۷ مسائل

فصل هشتم - فوتونها و فونونها

۱۱۹	۱-۸ گاز فوتونی
۱۲۰	۲-۸ روش تعمیم یافته به دست آوردن چگالی حالتها
۱۲۲	۳-۸ تابش جسم سیاه
۱۲۴	۴-۸ فونونها
۱۲۶	۵-۸ خلاصه
۱۲۷	۶-۸ مسائل

۱۳۱	فصل نهم - چگالش بوز - اینشتین
۱۳۱	۱-۹ مقدمه
۱۳۱	۲-۹ پدیده چگالش بوز - اینشتین
۱۳۷	۳-۹ بازنگری گذار کوانتومی - کلاسیکی
۱۳۷	۴-۹ خلاصه
۱۳۸	۵-۹ مسائل

۱۳۹	فصل دهم - مجموعه‌ها
۱۳۹	۱-۱۰ مقدمه
۱۴۱	۲-۱۰ پتانسیل شیمیایی
۱۴۳	۳-۱۰ مجموعه‌ها و احتمالها
۱۴۶	۴-۱۰ توزیع‌های فرمی - دیراک و بوز - اینشتین بازنگری شده
۱۴۷	۵-۱۰ توزیع فرمی - دیراک بازنگری شده
۱۴۷	۶-۱۰ توزیع بوز - اینشتین بازنگری شده
۱۴۸	۷-۱۰ خلاصه
۱۴۸	۸-۱۰ مسائل

۱۴۹	فصل یازدهم - پایان نزدیک است ؟
۱۴۹	۱-۱۱ فضای فاز
۱۵۱	۲-۱۱ هم‌پاری انرژی
۱۵۳	۳-۱۱ نقشه راه از طریق مکانیک آماری
۱۵۵	۴-۱۱ خلاصه
۱۵۵	۵-۱۱ مسائل

۱۵۷	الف) جوابهای مسائل
۱۵۷	الف) ۱ - فصل ۱
۱۵۸	الف) ۲ - فصل ۲

الف) ۳- فصل ۳	۱۶۰
الف) ۴- فصل ۴	۱۶۳
الف) ۵- فصل ۵	۱۶۵
الف) ۶- فصل ۶	۱۶۵
الف) ۷- فصل ۷	۱۶۶
الف) ۸- فصل ۸	۱۶۸
الف) ۹- فصل ۹	۱۷۳
الف) ۱۰- فصل ۱۰	۱۷۴
الف) ۱۱- فصل ۱۱	۱۷۵
ب) انتگرالهای مفید	۱۷۹
ج) ثابتهای فیزیکی	۱۸۱
د) کتابشناسی	۱۸۳
نمایه	۱۸۵

پیشگفتار مؤلف

مکانیک آماری علم پیش‌بینی خواص مشاهده‌پذیر یک دستگاه چند - ذره‌ای، با مطالعه آماری رفتار ذرات تشکیل دهنده آن: اتمها، مولکولها، فوتون‌ها و غیره است. این علم پیوندی بین حالت‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی را فراهم می‌کند؛ برای نمونه، ما را قادر می‌سازد فشار یک گاز کامل (یک حالت ماکروسکوپی) را با شروع از جواب‌های معادله شرودینگر برای یک ذره در یک جعبه (حالت میکروسکوپی) به دست آوریم. بنابراین، مکانیک آماری، این پتانسیل را دارد که در ردیف یکی از رضایت‌بخش‌ترین مباحث دوره کارشناسی قرار گرفته، ظرفانه دنیای کوانتومی را با مشاهده روزانه دستگاه‌هایی که شامل ذرات فراوانند، پیوند دهد.

به تجربه دریافته‌ایم که تقریباً همه دانشجویان به علت پیچیدگی ریاضیاتی که با آنها مواجه می‌شوند در ارزیابی زیبایی این پل ارتباطی، ناکام می‌مانند. مکانیک آماری مانند هر موضوع دیگری، ظرافتها، نکات دقیق و دیدگاه‌های مخصوص به خود را دارد، تنها زمانی درک می‌شود که با دقت به نظریه پایه‌ای وارد شویم. اما بخش اعظم مفاهیم اصلی مهم، بدون پرداختن به چنان تجزیه و تحلیل عمیقی، قبلاً در دسترس بوده است. بنابراین، با رعایت همه جوانب، مهم است بدانیم که بررسی موضوع در این کتاب، بلندپروازانه به نظر می‌رسد. قصد خودفریبی نداریم اما مؤکداً بر این باوریم که بهتر است مفاهیم اصلی را - حتی اگر با یک روش غیر دقیق به دست آمده باشند - دریافت کنیم تا این که خود را با مطالعات مشکل اما بدون درک آن مفاهیم مشغول کنیم. برای افراد ساعی، زمینه بررسی‌های افزون و نفس‌گیرتری در باره این موضوع وجود دارد که برای این منظور به کتاب‌شناسی آخر کتاب مراجعه نمایند.

این کتاب حاصل تجربه آموزش چندین ساله ما در درس مکانیک آماری دوره کارشناسی دانشگاه اکسفورد است. در حال حاضر دانشجویان دوره کارشناسی اکسفورد، در پایان سال دوم دوره ۳-۴ ساله با این درس مواجه می‌شوند. دانشجویان پیش از این، درس ترمودینامیک تعادلی کلاسیک و مقدمه‌ای بر کوانتوم مکانیک را می‌گذرانند. مواد ارائه شده این کتاب کل سرفصل‌ها در این سطح را در بر می‌گیرد و آموزش مفصل‌تر - که در این کتاب وجود ندارد - در آینده به آنهایی که در دوره نظری‌تر کار می‌کنند، داده می‌شود. ما تعداد قابل ملاحظه‌ای سؤال آماده کرده‌ایم، تعدادی از

آنها با حل‌شان به شکل سستی در آکسفورد طرح می‌شوند. بدون شک ارائه راه‌حل‌ها، مورد پسند همکاران نیست. زیرا حالا بایستی سؤالات جدیدی را (بدون داشتن جواب) برای دانشجویانشان بیابند.

برای مطالعه این موضوع، روش‌های زیادی وجود دارد و بیشتر آنها به‌طور دقیق بستگی به نقطه شروع ما دارند. اگر دانش پایه مکانیک کوانتومی مثلاً، توانایی حل معادله شرودینگر برای پتانسیل‌های ساده یک بُعدی، را داشته باشید، بیشتر مطالب این کتاب را می‌توانید درک کنید، اگرچه این موضوع اساسی نیست. علاوه بر این ارتباط روشن و بسیار قوی بین ترمودینامیک و مکانیک آماری وجود دارد، و بنابراین دست‌کم با مفهوم آنتروپی آشنایی دارید، گرچه شاید هنوز آن را کمی پیچیده تصور کنید. این مفهومی است که غالباً ایجاد دلوپسی می‌کند. اگر یک دوره ترمودینامیک گذرانده باشید، بدون تردید به‌خاطر دارید که بحث‌های زیبایی وجود دارد که نشان می‌دهند کمیتی به نام آنتروپی داریم و نشان داده می‌شود که این کمیت یک تابع حالت است. اگر ماهیت آن کمی برایتان نامفهوم باشد نباید متعجب باشید. سیمای دیگر ترمودینامیک که می‌تواند قدری طاقت‌فرسا باشد، که هم زیبایی و هم ابهام آن را آشکار می‌کند، عمومیت آن است. به‌دست آوردن همه معادلات Tds و نظایر آن، به‌طور کلی مستقل از دستگاه مورد پرسش است. می‌توان آنها را برای گاز کامل، آهن‌ربا، پیوندهای کشسانی و آنچه ما دوست داریم به‌کار برد. در هیچ مرحله‌ای در برخورد با ترمودینامیک کلاسیکی نگران سیستم نیستیم. حالت کوانتومی و طبیعت ذرات است که سیستم را می‌سازند.

اینجاست که مکانیک آماری قدم به صحنه می‌گذارد. امیدواریم که این دانش، احساس بهتری از طبیعت آنتروپی به شما بدهد، و درکی از پیوند مهم بین دنیای میکروسکوپی و میکروسکوپی فراهم نماید. در پایان این کتاب باید قادر باشید از دنیای میکروسکوپی معادله شرودینگر شروع کنید و فشار (یا آنتروپی، آنتالپی و غیره) یک گاز در ماشین بخار، پذیرفتاری مغناطیسی یک پارامغناطیش، ظرفیت گرمایی یک جامد، و خواص خیلی خیلی بیشتر یک دستگاه ذرات را به‌دست آورید. جالب است بدانیم که بسیاری از ایده‌های پایه‌ای مکانیک آماری در قرن ۱۹ هم توسط غولهای فیزیک مانند لودویک بولتزمن^(۱)، ویلارد گیبس^(۲) و جمیز کلارک ماکسول^(۳) ارائه شده است. بولتزمن، به‌خصوص، توسط بسیاری از همکارانش برای به‌کرسی نشاندن این ایده که خواص گازها و سیستمهای دیگر می‌توانند برحسب آماری به دست آیند تحت فشار شدید بود. خیلی جالب است که مقالات اولیه را بخوانید و ببینید با چه استدلالات پر پیچ و خم و مشکلی دست در گریبان بوده‌اند،

1. Ludwig Boltzmann

2. Willard Gibbs

3. James Clerk Maxwell

به‌ویژه این که امروز ما بسیاری از این ایده‌ها را ساده‌تر در می‌یابیم. در نهایت در این حوادث، بولتزمن نشان داد که درست می‌گفته است. بعد از دهه‌ی ۱۹۲۰ بود که هایزنبرگ^(۱) و دیگران با یادداشت‌هایی نشان دادند که در حقیقت خواص ذرات کوانتومی طبیعت آماری دارند تا قطعی. بنابراین، کار فیزیکدان‌های قرن نوزدهم منتهی به مبنایی برای علم مدرن مکانیک کوانتومی شد. ما از استفن بلوندین، دیودونالد سون و انتون ماچایک، که وقت خود را صرف مطالعه دست‌نوشته‌های این کتاب کردند و پیشنهادهای فراوان و جالب دادند قدردانی می‌کنیم و به‌ویژه از گوف بروکر که اظهارنظرهای مفیدی روی یادداشت‌های کلاسی اصلی که این کتاب بر اساس آنها پایه‌ریزی شده داده است، تشکر می‌نمایم. تلاشهای ویکتور زهیتومارسکی و سوت دانا زهیتونایر مکایا که نمودارها را آماده کردند ارج می‌نهیم و از پتر سوندهایس که صبورانه سؤالات مربوط به LATEX را پاسخ گفت، سپاسگزاری می‌کنیم.

آزمایشگاه کلاریندون اکسفورد ۲۰۰۱

مایک گلزر

جاستین وارک

پیشگفتار مترجم

«به نام او که دانش را قدر نهاد»

آنچه پیش‌رو دارید برگردان فارسی متن انگلیسی کتاب «مکانیک آماری (اثری جاویدان)» تألیف مایک گلارز و جاستین وارک است که توسط مؤسسه چاپ دانشگاه آکسفورد به چاپ رسیده و بدین صورت در دانشگاه آکسفورد در دوره کارشناسی تدریس می‌گردد. با وجود این که مکانیک آماری یکی از اساسی‌ترین مباحث فیزیک نظری است، غالباً دانشجویان در فهم جذابیت آن به عنوان پلی بین دنیای ماکروسکوپی و میکروسکوپی به علت ریاضیات پیچیده ناکام می‌مانند. انگیزه تألیف این کتاب تفهیم مفاهیم و تبیین جذابیت موضوع به دانشجویان بدون افتادن در باتلاق ریاضیات پیچیده بوده است. لذا تدریس این کتاب در دوره کارشناسی در دانشگاه‌های ایران توصیه می‌گردد. در این برگردان کوشیده‌ام تا ضمن امانتداری در انتقال کامل محتوای کتاب، بیان شیوای آن را نیز از نظر دور و متن را در حد توان با همان نگارش ساده و با حداقل کاربرد کلمات خارجی به زبان فارسی برگردانم. با این حال ممکن است به رغم تمامی دقت و تلاش به عمل آمده، ترجمه حاضر خالی از اشکال نباشد و نیازمند راهنمایی و تذکرات ارزنده خوانندگان محترم می‌باشد که امیدوار است از ارائه آن دریغ نفرمایند.

در پایان بر خود لازم می‌دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از استاد ارجمند جناب آقای دکتر گودرزی که ویراستاری علمی کتاب را بر عهده گرفتند و آقای دکتر اندیشه قدیریان که ویراستاری ادبی را انجام داده‌اند، دانشگاه فردوسی مشهد که اسباب چاپ آن را فراهم آورد و مؤسسه جم کامپیوتر که ماشین‌نویسی آن را انجام داد، اعلام دارم.

حسین مرادی

تابستان ۱۳۸۷