

# مکانیک آماری

راهنمایی ماندگار

مایک کلیر

جاستین وارک

ترجمه: حسین خانی

|                     |                                                                                                              |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | گلایزر، آنتونی مایکل<br>Glazer, A. M. (Anthony Michael)                                                      |
| عنوان و نام پدیدآور | مکانیک آماری : راهنمایی ماندگار / آ.م. گلایزر، ج.س. وارک؛ ترجمه حسین خانی.                                   |
| مشخصات نشر          | تهران: ارژن، ۱۳۹۱.                                                                                           |
| مشخصات ظاهری        | ۱۸۵ ص.: مصور، جدول، نمودار.                                                                                  |
| شابک                | 978-600-93255-0-4                                                                                            |
| وضعیت فهرست نویسی   | نیا                                                                                                          |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Statistical mechanics: a survival guide, 2001.                                                   |
| یادداشت             | این کتاب با عنوان «مکانیک آماری: اثری جاویدانه» توسط انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۷ منتشر شده است. |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                                                                    |
| عنوان دیگر          | مکانیک آماری: اثری جاویدانه.                                                                                 |
| موضوع               | مکانیک عملی                                                                                                  |
| شناسه افزوده        | وارک، جاستین اس.                                                                                             |
| شناسه افزوده        | Wark, J. S. (Justin S.)                                                                                      |
| شناسه افزوده        | خانی، حسین، ۱۳۶۰ - مترجم                                                                                     |
| رده بندی کنگره      | QC۱۷۲/۸۵۸م۷ ۱۳۹۱                                                                                             |
| رده بندی دیویی      | ۵۳۰/۱۱۲                                                                                                      |
| شماره کتابشناسی ملی | ۱۵۱۳۱۶                                                                                                       |

## مکانیک آماری

راهنمایی ماندگار

نویسندگان: مایک گلایزر، جاستین وارک

ترجمه: حسین خانی

ویراستار: سارا پیری پیشکار

ناشر: ارژن

ناظر چاپ: محسن سپایی

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۶۸۰۰۰ ریال

شابک: 978-600-93255-0-4

کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ است

مرکز فروش: تهران ضلع جنوب شرقی میدان انقلاب، بازار بزرگ کتاب، طبقه زیرهمکف، پلاک ۳.

دانش و هنر ۶۶۹۷۶۲۳۱

مرکز بخش: کوشا ۶۶۹۴۱۰۳۴

مرکز بخش: دانش نگار ۶۶۴۰۰۲۲۰

مرکز بخش: علوم پویا ۳ و ۶۶۹۶۰۷۷۲

## به نام خدا

### پیشگفتار مترجم

مکانیک آماری - راهنمایی ماندگار، اثر مایک گلیرز و جاستین وارک<sup>۱</sup>، کتابی مقدماتی در زمینه مکانیک آماری است. در این کتاب مفاهیم پایه این علم به زبانی ساده و با دید گسترده فیزیکی، به شیوه‌ای کوتاه و کارآمد بیان شده است؛ به گونه‌ای که می‌توان همچون خودآموزی خوش‌خوان از آن بهره برد. این کتاب عمده سرفصل‌های مورد نیاز در دوره کارشناسی را در بر می‌گیرد. از این رو، خواندن آن به دانشجویان کارشناسی پیشنهاد می‌شود.

مؤلفان همواره کوشش نموده‌اند مفاهیم را در قالب طنز به خواننده منتقل کنند. گرچه بی‌تردید چنین روشی کار خوانندگان انگلیسی‌زبان را آسوده‌تر می‌کند، برقراری ارتباط با اثر برای اهالی دیگر فرهنگها - که با آن بافت زبانی بیگانه‌اند - مشکل می‌شود. از این رو، مترجم اولویت خود را در ترجمه، به انتقال مفاهیم و معانی داده، و کوشیده است مطالب حداقل امکان درست، روشن، روان و بدون پیچیدگی بیان شوند.

از دیگر سوء، زبان نویسندگان سراسر سخن‌پردازی‌های بلیغ است. هر فصل با قطعه‌ای برگرفته از نوشتارهای نام‌آوران دانش، ادب و هنر آغاز می‌گردد؛ عباراتی پرابهام و خیال‌انگیز، که بناست معنای اصیل فصل را در بیانی معماگونه و متفاوت به خواننده عرضه، و وی را به تأمل بیشتر وادارند. اولویت پیش‌گفته مترجم باز وی را بدان کشانده است که برای حفظ نظم برخی گفتارها، پیش‌گیری از آشفتگی ذهنی دانشجویان ناکارآموده و غرقه شدنشان در گردابی از مفاهیم نامأنوس حاصل از ترجمه متون فرهنگی، درج عین عبارت انگلیسی را به ترجمه آنها ترجیح دهد.

برای ترجمه اصطلاحات تخصصی، معمولاً واژه‌نامه فیزیک (محمد ابراهیم ابرکازمی و دیگران، مرکز نشر دانشگاهی، ویراست دوم، ۱۳۸۷ش) مبنا قرار گرفته است. مواردی از خطاهای سهوی در اصل اثر دیده می‌شود که مترجم برای اطمینان خاطر از درستی نقد خویش، با پروفیسور گلیرز در میان نهاد و با توافق وی، در پانویس به بروز خطا در متن انگلیسی اشاره شده است.

همه کوشش مترجم آن بود که تا ممکن است کاستی‌ها برطرف، و نادرستی‌ها ویراسته شوند. به هر روی از برای هر گونه کاستی و نارسایی، از خوانندگان گرامی پوزش می‌خواهم. نیز، خواهشمندم

---

<sup>۱</sup>. Glazer, Mike & Wark, Justin, *Statistical Mechanics. A survival guide* (Oxford, Oxford University Press, 2001)

روش‌های گوناگونی برای مطالعه مکانیک آماری وجود دارد، و مناسب‌ترین روش به نقطه شروع شما بستگی دارد. اگر دانشی پایه در مکانیک کوانتومی دارید (برای مثال اگر توانایی حل معادله شرودینگر را برای پتانسیل‌های ساده تک‌بعدی دارید)، اکثر مطالب این کتاب را درک خواهید کرد، هرچند ضروری هم نیست. افزون بر آن، به وضوح پیوندی عمیق بین ترمودینامیک و مکانیک آماری وجود دارد. فرض ما بر این است که با مطالعه قبلی در ترمودینامیک حداقل آشنایی گذرایی با مفهوم آنتروپی دارید - هرچند ممکن است هنوز آن را قدری گیج‌کننده بیابید. آنتروپی مفهومی است که اغلب موجب احساس تشویش می‌شود. اگر درس ترمودینامیک را گذرانده باشید بی‌شک به یاد می‌آورید که استدلالی زیبا ثابت می‌کند کمیتی به نام آنتروپی وجود دارد و می‌توان نشان داد که یک تابع حالت است. اما به دلیل طبیعتش اگر تا حدی سردرگم مانده باشید جای تعجب نیست. سیمای دیگر ترمودینامیک که گاهی آزاردهنده است و در عین حال هم زیبایی و هم ابهام آشکار آن را می‌رساند عمومیت کامل آن است. استخراج تمام معادلات TdS و مانند آن کاملاً مستقل از سیستم مورد بررسی است - می‌توانیم آن را برای گازهای کامل، آهن‌رباها، باندهای کشسان و هر آنچه بخواهیم به کار ببریم. در رویکردهای ترمودینامیک کلاسیک هیچگاه نگران جزئیات، ریزه‌کاری‌های سیستم مورد نظر - حالات کوانتومی آن و طبیعت ذرات سازنده سیستم - نخواهیم بود.

حال اینجا، جایی است که مکانیک آماری وارد می‌شود. امیدواریم درک بهتری را از طبیعت آنتروپی، و پیوند مهم یاد شده بین دنیای ماکروسکوپی و میکروسکوپیک برایتان فراهم آورد. در پایان این کتاب، قادر خواهید بود از دنیای میکروسکوپیک حل معادله شرودینگر آغاز، و فشار (یا آنتروپی، آنتالپی و...) گاز در ماشین گرمایی، پذیرفتاری مغناطیسی پارامغناطیس، ظرفیت گرمایی جامد و بسیاری از ویژگی‌های دیگر سیستمی از ذرات را استخراج نمایید. جالب است بدانید که بسیاری از ایده‌های بنیادین مکانیک آماری در قرن نوزدهم به وسیله بزرگان فیزیک نظیر لودویگ بولتزمن<sup>3</sup>، ویلارد گیبس<sup>4</sup> و جیمز کلرک ماکسول<sup>5</sup> پایه‌گذاری شده است. به‌ویژه بولتزمن، با این ایده که ویژگی‌های گازها و بقیه سیستم‌ها را می‌توان از لحاظ آماری بررسی کرد، خود را مقابل حمله‌های جدی بسیاری از همکارانش یافت. خواندن آن مقالات اولیه و پیگیری بحث‌های دشوار و پر پیچ و خمی که با آنها دست و پنجه نرم می‌کرد بسیار جذاب است به‌ویژه اینکه امروزه، به بسیاری از این ایده‌ها بسیار ساده‌تر می‌نگریم. در پایان نشان داده شد که بولتزمن درست می‌گفت. البته در دهه ۱۹۲۰ که هایزنبرگ<sup>6</sup> و دیگران نشان

<sup>3</sup> .Ludwig Boltzman

<sup>4</sup> .Willard Gibbs

<sup>5</sup> .James Clerk Maxwell

<sup>6</sup> .Heisenberg

دادند که ویژگی‌های ذرات کوانتومی براساس طبیعتی آماری دارند تا جبری. بنابراین کوشش این فیزیکدانان قرن نوزدهم، پایه دانش نوین مکانیک کوانتومی را بنا گذاشته است.

از استیون بلاندیل<sup>۷</sup>، دیو دونالدسون<sup>۸</sup> و آنتون ماهاچک<sup>۹</sup> که در خواندن پیش‌نویس‌های این کتاب وقت گذاشته و پیشنهادهای ارزنده‌ای ارائه داشتند بسیار قدردانی می‌نماییم. جنف بروکر<sup>۱۰</sup> توضیحات ارزشمندی بر یادداشت‌های اصلی این کتاب نوشته است. ویکتور ژیتومیرسکی<sup>۱۱</sup> و سولانا ژیتومیرسکایا<sup>۱۲</sup> نمودارها را ترسیم کرده‌اند. پتر سوندهاوس<sup>۱۳</sup> صورتی به سوالاتمان در مورد نرم‌افزار لایک پاسخ داده است. از همه آنان سپاسگزاریم.

مایک گلیزر

آزمایشگاه کلیرندین<sup>۱۴</sup>، آکسفورد

جاستین وارک

۲۰۰۶

---

<sup>7</sup> . Stephen Blundell

<sup>8</sup> . Dave Donaldson

<sup>9</sup> . Anton Machacek

<sup>10</sup> . Geoff Brooker

<sup>11</sup> . Victor Zhitomirsky

<sup>12</sup> . Svetlana Zhitomirskaya

<sup>13</sup> . Peter Sondhauss

<sup>14</sup> . Clarendon Laboratory

|    |                                          |
|----|------------------------------------------|
| ۱  | ۱. بازگشت به اصول                        |
| ۱  | ۱.۱ نقش مکانیک آماری                     |
| ۲  | ۲.۱ مقدمه‌ای بر پرتاب سکه                |
| ۳  | ۳.۱ روی سکه برنده، پشت سکه بازنده!       |
| ۶  | ۴.۱ قضیه استرلینگ                        |
| ۷  | ۵.۱ تعداد بیشتر سکه‌ها                   |
| ۹  | ۶.۱ ذرات تمیزپذیر                        |
| ۱۳ | ۷.۱ خلاصه                                |
| ۱۴ | ۸.۱ مسائل                                |
| ۱۷ | ۲. آمار ذرات تمیزپذیر                    |
| ۱۷ | ۱.۲ آمار بولتزمن برای ذرات تمیزپذیر      |
| ۱۸ | ۲.۲ روش ضریبهای نامعین لاگرانژ           |
| ۲۵ | ۳.۲ تابع پارش تک‌ذره‌ای                  |
| ۲۶ | ۴.۲ واکنی                                |
| ۲۸ | ۵.۲ تابع پارش یک سیستم                   |
| ۳۰ | ۶.۲ خلاصه                                |
| ۳۱ | ۷.۲ مسائل                                |
| ۳۳ | ۳. پارامغناطیس‌ها و نوسانگرها            |
| ۳۳ | ۱.۳ پارامغناطیس با اسپین ۱/۲             |
| ۴۰ | ۲.۳ پارامغناطیس‌ها با تکانه زاویه‌ای ۱   |
| ۴۳ | ۳.۳ نوسانگر هماهنگ ساده                  |
| ۴۷ | ۴.۳ خلاصه                                |
| ۴۹ | ۵.۳ مسائل                                |
| ۵۱ | ۴. ذرات تمیزناپذیر و گازهای کامل تک‌اتمی |
| ۵۱ | ۱.۴ حالت‌های تمیزپذیر و تمیزناپذیر       |
| ۵۴ | ۲.۴ ذرات گاز یکسان - شمارش حالت‌ها       |
| ۶۱ | ۳.۴ تابع پارش گاز کامل تک‌اتمی           |

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| ۶۲  | ۴.۴ مشخصات گاز کامل تک‌اتمی .....                     |
| ۶۴  | ۵.۴ بیشتر درباره انبساط بی‌دررو .....                 |
| ۶۷  | ۶.۴ توزیع سرعت ماکسول - بولتزمن .....                 |
| ۶۸  | ۷.۴ پارادوکس گیس .....                                |
| ۷۱  | ۸.۴ خلاصه .....                                       |
| ۷۳  | ۹.۴ مسائل .....                                       |
| ۷۵  | ۵. گازهای کامل دواتمی .....                           |
| ۷۵  | ۱.۵ درجات آزادی دیگر .....                            |
| ۷۶  | ۲.۵ ظرفیت گرمایی چرخشی گاز دواتمی .....               |
| ۷۹  | ۳.۵ تابع پارش ارتعاشی گاز دواتمی .....                |
| ۸۰  | ۴.۵ در نظر گرفتن تمام درجات آزادی برای گاز کامل ..... |
| ۸۱  | ۵.۵ خلاصه .....                                       |
| ۸۲  | ۶.۵ مسائل .....                                       |
| ۸۵  | ۶. آمار کوانتومی .....                                |
| ۸۵  | ۱.۶ ذرات تمیزناپذیر و آمار کوانتومی .....             |
| ۸۸  | ۲.۶ آمار بوز - اینشتین .....                          |
| ۸۹  | ۳.۶ آمار فرمی - دیراک .....                           |
| ۹۰  | ۴.۶ بیشتر درباره توابع توزیع کوانتومی .....           |
| ۹۳  | ۵.۶ خلاصه .....                                       |
| ۹۴  | ۶.۶ مسائل .....                                       |
| ۹۵  | ۷. الکترون‌ها در فلزات .....                          |
| ۹۵  | ۱.۷ آمار فرمی - دیراک: الکترون‌ها در فلزات .....      |
| ۹۸  | ۲.۷ ظرفیت گرمایی گاز فرمی .....                       |
| ۱۰۱ | ۳.۷ گذار کوانتوم - کلاسیکی .....                      |
| ۱۰۵ | ۴.۷ خلاصه .....                                       |
| ۱۰۶ | ۵.۷ مسائل .....                                       |
| ۱۰۹ | ۸. فوتون‌ها و فونون‌ها .....                          |
| ۱۰۹ | ۱.۸ گاز فوتونی .....                                  |
| ۱۱۰ | ۲.۸ روش تعمیم یافته به دست آوردن چگالی حالتها .....   |
| ۱۱۲ | ۳.۸ تابش جسم سیاه .....                               |
| ۱۱۴ | ۴.۸ فوتون‌ها .....                                    |
| ۱۱۶ | ۵.۸ خلاصه .....                                       |
| ۱۱۷ | ۶.۸ مسائل .....                                       |

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۱۲۱ | ۹. چگالش بوز - اینشتین                              |
| ۱۲۱ | ۱.۹ مقدمه                                           |
| ۱۲۱ | ۲.۹ پدیده چگالش بوز - اینشتین                       |
| ۱۲۷ | ۳.۹ بازیابی گذار کوانتوم - کلاسیکی                  |
| ۱۲۷ | ۴.۹ خلاصه                                           |
| ۱۲۸ | ۵.۹ مسائل                                           |
| ۱۲۹ | ۱۰. مجموعه ها                                       |
| ۱۲۹ | ۱.۱۰ مقدمه                                          |
| ۱۳۱ | ۲.۱۰ پتانسیل سیمایی                                 |
| ۱۳۳ | ۳.۱۰ مجموعه ها و احتمالات                           |
| ۱۳۶ | ۴.۱۰ بازنگری توزیع های فرمی - دیراک و بوز - اینشتین |
| ۱۳۷ | ۵.۱۰ بازیابی توزیع فرمی - دیراک                     |
| ۱۳۷ | ۶.۱۰ بازنگری توزیع بوز - اینشتین                    |
| ۱۳۸ | ۷.۱۰ خلاصه                                          |
| ۱۳۸ | ۸.۱۰ مسائل                                          |
| ۱۴۱ | ۱۱. پایان در دید است                                |
| ۱۴۱ | ۱.۱۱ فضای فاز                                       |
| ۱۴۴ | ۲.۱۱ همپاری انرژی                                   |
| ۱۴۵ | ۳.۱۱ راهنمای مسیر در مکانیک آماری                   |
| ۱۴۷ | ۴.۱۱ خلاصه                                          |
| ۱۴۷ | ۵.۱۱ مسائل                                          |
| ۱۴۹ | الف. پاسخ تشریحی مسائل                              |
| ۱۷۳ | ب. انتگرال های پر کاربرد                            |
| ۱۷۵ | ج. ثابت های فیزیکی                                  |
| ۱۷۷ | د. کتاب شناسی                                       |
| ۱۷۹ | واژه نامه فارسی - انگلیسی                           |
| ۱۸۱ | واژه نامه انگلیسی - فارسی                           |
| ۱۸۳ | واژه یاب                                            |