

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## مکانیک آماری؛ اثری جاویدان

همراه با ۴۶ سوال و ۱۱۳ مسئله حل شده  
ویرایش جدید

مایک گلارز؛ جاستین وارک

ترجمه:

دکتر حسین مرادی

عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

|                      |                                                                                                                                            |                                                |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| سرشناسه:             | گلارز، آنتونی مایکل                                                                                                                        | Glazer, A. M. (Anthony Michael)                |
| عنوان و نام پدیدآور: | مکانیک آماری؛ اثری جاویدان همراه با ۴۶ سوال و ۱۱۳ مسئله ضمیمه/ تألیف مایک گلارز، جاستین وارک؛ ترجمه حسین مرادی؛ ویراستار علمی جعفر گودرزی. |                                                |
| مشخصات نشر:          | مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۰.                                                                                                           |                                                |
| مشخصات ظاهری:        | ۲۹۲ ص.                                                                                                                                     |                                                |
| فروست:               | دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات: ۵۱۱.                                                                                                        |                                                |
| شابک:                |                                                                                                                                            | ISBN: 978-964-386-177-3                        |
| وضعیت فهرست‌نویسی:   | فیبا.                                                                                                                                      |                                                |
| یادداشت:             | عنوان اصلی:                                                                                                                                | Statistical mechanics; a survival guide, 2001. |
| یادداشت:             | کتابنامه. نمایه.                                                                                                                           |                                                |
| موضوع:               | مکانیک آماری                                                                                                                               | Statistical Mechanics                          |
| شناسه افزوده:        | وارک، جاستین اس.                                                                                                                           | Wark, J. S. (Justin S.)                        |
| شناسه افزوده:        | مرادی، حسین، ۱۳۲۴ - مترجم                                                                                                                  |                                                |
| شناسه افزوده:        | گودرزی، جعفر، ۱۳۱۲ - ویراستار                                                                                                              |                                                |
| شناسه افزوده:        | دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.                                                                                                             |                                                |
| رده‌بندی کنگره:      | QC۱۷۴/۸ ۱۳۸۷                                                                                                                               |                                                |
| رده‌بندی دیویی:      | ۵۳۰/۱۳                                                                                                                                     |                                                |
| شماره کتابشناسی ملی: | ۲۸۸۷۸۴۳                                                                                                                                    |                                                |

### مکانیک آماری؛ اثری جاویدان (ویرایش جدید)

همراه با ۴۶ سوال و ۱۱۳ مسئله حل‌شده

پدیدآورندگان: مایک گلارز؛ جاستین وارک

ترجمه: دکتر حسین مرادی

ویراستار علمی: دکتر جعفر گودرزی

مشخصات: وزیری، ۳۰۰ نسخه، چاپ سوم، بهار ۱۴۰۰ (اول، ۱۳۸۷)

چاپ و صحافی: چاپخانه دقت

بها: ۵۲۰/۰۰۰ ریال

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس

تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)

مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی‌نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت،

شماره ۲۳۸، تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹ - ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)

مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲

تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: [press@um.ac.ir](mailto:press@um.ac.ir)



## فهرست مطالب

|                     |    |
|---------------------|----|
| پیشگفتار مؤلف.....  | ۹  |
| پیشگفتار مترجم..... | ۱۳ |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| فصل اول - بازگشت به مبناها            | ۱۵ |
| 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              | ۳۱ |
| 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 |

|    |           |
|----|-----------|
| ۴۴ | ۶-۲ خلاصه |
| ۴۵ | ۷-۲ مسائل |

|    |                                                   |
|----|---------------------------------------------------|
| ۴۷ | فصل سوم - پارامغناطیسها و نوسانگرها               |
| ۴۷ | ۱-۳ یک پارامغناطیس با اسپین $\frac{1}{2}$         |
| ۵۴ | ۲-۳ پارامغناطیسهای با تکانه 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                                         |

|    |                                                   |
|----|---------------------------------------------------|
| ۶۵ | فصل چهارم - ذرات تمیزناپذیر و گازهای کامل تک اتمی |
| 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                                         |

|    |                                               |
|----|-----------------------------------------------|
| ۸۷ | فصل پنجم - گازهای کامل دو اتمی                |
| 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                                   |

|     |                                |                                    |
|-----|--------------------------------|------------------------------------|
| ۹۵  | <b>فصل ششم - آمار کوانتومی</b> |                                    |
| ۹۵  | ۱-۶                            | ذرات تمیز پذیر 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                              |

|     |                                      |                                       |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------------|
| ۱۰۵ | <b>فصل هفتم - الکترونها در فلزات</b> |                                       |
| 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                                 |

|     |                                     |                                           |
|-----|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| ۱۱۹ | <b>فصل هشتم - فوتونها و فونونها</b> |                                           |
| 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                                     |

فصل نهم - چگالش بوز - اینشتین ۱۳۱

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

فصل دهم - مجموعه‌ها ۱۳۹

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

فصل یازدهم - پایان نزدیک است ؟ ۱۴۹

- ۱-۱۱ فضای فاز ..... ۱۴۹
- ۲-۱۱ هم‌پاری انرژی ..... ۱۵۱
- ۳-۱۱ نقشه راه از طریق مکانیک آماری ..... ۱۵۳
- ۴-۱۱ خلاصه ..... ۱۵۵
- ۵-۱۱ مسائل ..... ۱۵۵

الف) جوابهای مسائل ..... ۱۵۷

الف) ۱ - فصل ۱ ..... ۱۵۷

الف) ۲ - فصل ۲ ..... ۱۵۸

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| ۱۶۰ | الف (۳) - فصل ۳             |
| ۱۶۳ | الف (۴) - فصل ۴             |
| ۱۶۵ | الف (۵) - فصل ۵             |
| ۱۶۵ | الف (۶) - فصل ۶             |
| ۱۶۶ | الف (۷) - فصل ۷             |
| ۱۶۸ | الف (۸) - فصل ۸             |
| ۱۷۳ | الف (۹) - فصل ۹             |
| ۱۷۴ | الف (۱۰) - فصل ۱۰           |
| ۱۷۵ | الف (۱۱) - فصل ۱۱           |
| ۱۷۹ | ب) مسائل ضمیمه              |
| ۱۸۷ | ج) مسائل ضمیمه              |
| ۲۱۵ | د) پاسخ چند جوابی های ضمیمه |
| ۲۸۱ | ه) انتگرال های مفید         |
| ۲۸۳ | و) ثابت های فیزیکی          |
| ۲۸۵ | ز) کتابشناسی                |
| ۲۸۷ | نمایه                       |

**Press.um.ac.ir**

## 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 می‌گذارند. 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 نظری تر کار می‌کنند، داده می‌شود. ما تعداد قابل ملاحظه‌ای سؤال آماده کرده‌ایم، تعدادی از

آنها با حل شان به شکل سستی در آکسفورد طرح می شوند. بدون شک ارائه راه حل ها، مورد پسند همکاران نیست. زیرا حالا بایستی سؤالات جدیدی را (بدون داشتن جواب) برای دانشجویانشان بیابند.

برای مطالعه این موضوع، روش های زیادی وجود دارد و بیشتر آنها به طور دقیق بستگی به نقطه شروع ما دارند. اگر دانش پایه مکانیک کوانتومی مثلاً، توانایی حل معادله شرودینگر برای پتانسیل های ساده یک بُعدی، را داشته باشید، بیشتر مطالب این کتاب را می توانید درک کنید، اگر چه این موضوع اساسی نیست. علاوه بر این ارتباط روشن و بسیار قوی بین ترمودینامیک و مکانیک آماری وجود دارد، و بنابراین دست کم با مفهوم آنتروپی آشنایی دارید، گرچه شاید هنوز آن را کمی پیچیده تصور کنید. این مفهومی است که غالباً ایجاد دلوپسی می کند. اگر یک دوره ترمودینامیک گذرانده باشید، بدون تردید به خاطر دارید که بحث های زیبایی وجود دارد که نشان می دهند کمیتی به نام آنتروپی داریم و نشان داده می شود که این کمیت یک تابع حالت است. اگر ماهیت آن کمی برایتان نامفهوم باشد نباید متعجب باشید. سیمای دیگر ترمودینامیک که می تواند قدری طاقت فرسا باشد، که هم زیبایی و هم ابهام آن را آشکار می کند، عمومیت آن است. به دست آوردن همه معادلات  $Tds$  و نظایر آن، به طور کلی مستقل از دستگاه مورد پرسش است. می توان آنها را برای گاز کامل، آهن ربا، پیوندهای کشسانی و آنچه ما دوست داریم به کار برد. در هیچ مرحله ای در برخورد با ترمودینامیک کلاسیکی نگران سیستم نیستیم. حالت کوانتومی و طبیعت ذرات است که سیستم را می سازند.

اینجاست که مکانیک آماری قدم به صحنه می گذارد. امیدواریم که این دانش، احساس بهتری از طبیعت آنتروپی به شما بدهد، و درکی از پیوند مهم بین دنیای ماکروسکپی و میکروسکپی فراهم نماید. در پایان این کتاب باید قادر باشید از دنیای میکروسکپی 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 به دست آورید. جالب است بدانیم که بسیاری از ایده های پایه ای مکانیک آماری در قرن ۱۹ هم توسط غولهای فیزیک مانند لودویک بولتزمن<sup>(۱)</sup>، ویلارد گیبس<sup>(۲)</sup> و جمیز کلارک ماکسول<sup>(۳)</sup> ارائه شده است. بولتزمن، به خصوص، توسط بسیاری از همکارانش برای به کرسی نشاندن این ایده که خواص گازها و سیستمهای دیگر می توانند 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 بوده اند،

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<sup>(۱)</sup> 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 زهیتونایرمکایا 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

**Press.um.ac.ir**

## 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

## پیشگفتار چاپ دوم

از ابتدای چاپ کتاب احساس می شد که تعداد مسائل آن کمتر از حد نیاز دانشجویان است، لذا در چاپ دوم کتاب، گلچینی از سوالات و مسائل مطرح شده در سطح کارشناسی، همراه پاسخ و حل آنها ضمیمه گردیده است. این ضمیمه به نحوی انتخاب شده که علاوه بر بالابردن درک دانشجویان، اهمیت و گستردگی مکانیک آماری را در زمینه های مختلف علوم و مهندسی، از جمله در زمینه های مختلف فیزیک، کیهان شناسی، پزشکی، بیولوژی و غیره... را نشان می دهد. در نتیجه، این گستردگی به جذابیت مکانیک آماری به عنوان یک موضوع بسیار مهم در علوم و مهندسی کمک می کند. تعدادی از مسائل برگرفته از کتاب فیزیک گرمائی نوشته شال کیتل و هربرت کرامر است. این کتاب در سطح گسترده ای در دوره کارشناسی در دانشگاه های مهم جهان به ویژه در کشور آمریکا تدریس می شود. برای درک بهتر موضوع، تعدادی سوال چند گزینه ای هم همراه این مسائل در این ضمیمه آورده شده است.

از آقای دکتر گودرزی به علت ویرایش کتاب و ضمیمه آن قدردانی می شود. به هر روی کار این کتاب و مسائل ضمیمه به خصوص حل مسائل خالی از لغزش نیست در نتیجه از صاحب نظران صمیمانه می خواهم که اشتباهات را بنمایانند و اگر ممکن بود مرا با بزرگواری مطلع فرمایند.

حسین مرادی

بهار ۱۳۹۰

## فصل اول

### بازگشت به مبناها

هر چیزی در این جهان میوه شانس و لزوم است.  
دیوژن لیرتیوس نهم (IX)

#### ۱-۱ نقش مکانیک آماری

در هر درس فیزیک دوره کارشناسی، دانشجویان به تعدادی موضوع «هسته‌ای» برخورد می‌کنند که هر فیزیکدان خودباوری باید با آنها آشنا باشد. از اینها، این کتاب به سه موضوع مرکزی می‌پردازد. موضوع اول این است که ترمودینامیک کلاسیک چیست؟ این موضوع با اجسام خیلی بزرگ سروکار دارد. دنیایی را توصیف می‌کند که ما در زندگی روزمره مان با آنها سروکار داریم. چیزی در مورد اتم و مولکول و سایر ذرات خیلی ریز نمی‌گوید و با جهان طوری برخورد می‌کند که گویی از یک پیوستار بزرگ مقیاس ساخته شده است؛ بنابراین ترمودینامیک علمی است که هر چیز را برحسب تصور ما کروسکی توصیف می‌کند. این اصلی است که باید پیش از خواندن این کتاب در نظر داشتند باشید، بنابراین از قبل می‌دانید که ترمودینامیک کمیت‌های ماکروسکوپی مانند گرما، کار و توابع مختلف حالت، انرژی داخلی، آنتروپی، آنتالپی و انرژی آزاد را توصیف می‌کند. آشنایی با این مفاهیم است که انسان را قادر می‌سازد اطلاعات زیادی درباره رفتار جهان اطراف خود، خواه موضوع ساده‌ای مثل ماشین‌های گرمایی و یخچالها، خواص گازها، یا حتی برداشتهای بنیادی از جهان پیدا کند. به هر حال، از آنجا که یک موضوع ماکروسکوپی است، فاقد هر گونه آگاهی دهی از جزئیات دقیق است.

موضوع دوم مکانیک کوانتومی است. این انتهای دیگر طیف از ترمودینامیک است که با خیلی

کوچکها سروکار دارد و می‌پذیرد که جهان از ذرات، اتمها، الکترونها، پروتونها و مانند اینها ساخته شده است. یکی از خصیصه‌های کلیدی مکانیک کوانتومی این است که در آن، رفتار ذره به‌طور دقیق معین نیست (اگر اینگونه بود، دست کم می‌بایست، علی‌الاصول، محاسبه همه رفتار گذشته و آینده ذرات، به صورتی که در دیدگاه کلاسیکی قابل انتظار است، امکان‌پذیر باشد). در عوض، این رفتار با زبان احتمالات بیان می‌شود. این بررسی احتمالاتی در مفهوم تابع موج نمود پیدا می‌کند و مجهز به معادله مشهور شرودینگر، می‌بایست توصیف کاملی از احتمالات امکان‌پذیر باشد. به هر روی، در عمل، همانگونه که هر یک از ما می‌دانیم، در حالی که می‌توان یک جواب عالی برای اتم هیدروژن (انرژی مشاهده شده حالت پایه  $13.6 \text{ eV}$  - را می‌توان بسادگی با تابع موج مناسبی پیدا کرد) به آسانی پیدا کرد، نمی‌توان بدون کمک محاسبات بزرگ کار بیشتری انجام داد. وقتی محاسبات برای بیش از یک یا دو ذره انجام می‌شود، مسأله به سرعت غیرقابل حل می‌گردد، به قسمی که برای اعمال روی مقدار ذرات بیشتر به طور فزاینده‌ای باید به تقریبهای عجیب و غریب پناه برد. تصور کنید بخواهید مکانیک کوانتومی را برای توصیف رفتار  $10^{30}$  اتم در یک گاز به کار برید.

اگر بخواهیم دو حد متضاد، از یک طرف موضوع کلاسیکی شبیه ترمودینامیک و از طرف دیگر مکانیک کوانتومی غیرکلاسیکی را با هم آشتی بدهیم، به وسیله‌ای برای پل زدن بین این دو نیاز داریم. این جاست که سومین موضوع، یعنی مکانیک آماری، به کمک می‌آید. در اینجا تعداد زیادی از ذرات در دستگاههایی با محدودیتهای معین در نظر گرفته می‌شوند: کوششی برای تجزیه تحلیل رفتار انفرادی ذرات انجام نمی‌شود؛ اما در عوض با استفاده از احتمالات می‌توان به همه رفتارهای ماکروسکوپی مانند ترمودینامیک رسید. بدین ترتیب می‌توان پیوند طبیعی بین رفتار میانگین دنیای ترمودینامیکی و دنیای احتمالاتی ذرات مجزا را مشاهده کرد. پیوند بین این دو بود که پیروزی بزرگ فیزیکدانان قرن نوزدهم ماکسول، گیبس، و بخصوص بولتزمن را رقم زد. قبل از این که ایده احتمالات کوانتومی به ذرات منفرد در دهه ۱۹۲۰ توسط هایزنبرگ اعمال شود، این مردان بزرگ جهان را به عصر احتمالات برده بودند.

## ۲-۱ مقدمه‌ای بر پرتاب سکه

مانند هر موضوع، درک مفاهیم پایه مطلقاً اساسی است و توضیحات ساده و مسائل کوچک می‌توانند کمک زیادی به درک موضوع نمایند. بنابراین به جای ورود ناگهانی به ناحیه موضوعات فیزیکی حقیقی، اجازه دهید مطالعاتمان را از طبیعت احتمالاتی مکانیک آماری با نگاه به وضعیتی که همه ما