

مکانیک آماری

(ویرایش سوم)

نویسندگان :

ر. کی. پتريا

پارل ی. بیل

مترجم :

علیرضا وفایی



انتشارات جاودان خرد

سرشناسه : پتريا، آر. كي. Pathria, R. K.
 عنوان و نام پديدآور : مكانيك آماری و پرايش سوم / نويسندگان آر. كي. پتريا، پاول دي. بيل؛ مترجم عليرضا وفائي.
 مشخصات نشر : مشهد: جاودان خرد، ۱۳۹۳.
 مشخصات ظاهري : [۸]، ۴۳۶ ص.؛ مصور.
 شابك : ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۸-۰۸۳
 وضعيت فهرست نويسي : فييا
 يادداشت : عنوان اصلي: Statistical Mechanics, 3th ed, 2011
 موضوع : مكانيك آماری
 شناسه افزوده : بيل، پاول دي.
 شناسه افزوده : Beale, Paul D.
 رده بندي كنگره : ۱۳۹۳ م ۲ پ / ۸ / QC۱۷۴
 رده بندي ديويي : ۵۳۰ / ۱۳
 شماره كتابشناسي ملي : ۳۳۹۵۷۹۶



انتشارات جاودان خرد

مکان نشر آماری (ویرایش سوم)

نويسندگان : آر. كي. پتريا - پاول دي. بيل

مترجم : عليرضا وفائي

نوبت و تاريخ چاپ : ۹۳

شابك : ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۸-۰۸۳

شمارگان : ۱۵۰۰ نسخه

قيمت : ۱۹۰۰۰ تومان

مدیر تولید و ناظر چاپ : بابک کاشی چی

کليه حقوق برای ناشر محفوظ است. هرگونه استفاده از کل يا بخشی از مطالب کتاب به هر شکل بدون اجازه
 کتبی ناشر ممنوع است و متخلفان به موجب قانون تحت پيگرد قرار خواهند گرفت.

مراکز پخش :

تهران : خ انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - پلاک ۱۲۱۲ - تلفن : ۰۲۱۶۶۴۱۳۹۹۸
 مشهد : خ احمد آباد - مقابل محتشمی - انتشارات جاودان خرد - تلفن : ۰۵۱۱۸۳۳۴۵۲۷

مقدمه مترجم

بدون شک کتاب مکانیک آماری نوشته‌ی R. K. Pathria و Paul D. Beal یکی از معتبرترین کتب آموزشی تحصیلات تکمیلی در سطح کارشناسی ارشد و آمادگی برای ورود به دوره دکتری تخصصی فیزیک است که ترجمه ۸ فصل اول آن در این اثر تقدیم می‌شود.

ساختار اصلی کتاب بر پایه‌ی معرفی و توسعه‌ی نظریه‌ی آنسامبل استوار است. مولف بعد از آن که در فصل اول برخی تعاریف و مفاهیم پایه را معرفی می‌کند در فصل دوم نظریه‌ی آنسامبل را در سطح میکروکانونی آن و سپس در فصول سوم و چهارم در سطوح کانونی و کانونی بزرگ بسط و توسعه می‌دهد. در اصل در دست مولف به ویژه در چهار فصل اول کتاب دو سامانه‌ی فیزیکی است؛ (۱) گاز ایده‌آل کلاسیکی - به عنوان نماینده‌ای از تمام سامانه‌های متشکل از ذرات غیربرهم‌کنشی جایگزیده که هر چند ایده‌آل‌سازی شده اما مطالعه‌ی آن دورنمایی از سامانه‌های واقعی ارائه می‌دهد و (۲) سامانه‌ی متشکل از نوسان‌گرهای هماهنگ ساده به عنوان نماینده‌ای از تمام سامانه‌های فیزیکی متشکل از ذرات غیربرهم‌کنشی جایگزیده. مولف در مسیر بسط و توسعه‌ی نظریه‌ی آنسامبل در فصل دوم تا چهارم همواره درستی نظریه را روی این دو سامانه می‌آزماید. هر چند مولف در چهار فصل اول هم سامانه‌های کلاسیکی و هم سامانه‌های کوانتوم مکانیکی را مدنظر دارد اما در ارتباط با سامانه‌های کوانتوم مکانیکی تا پایان فصل چهارم واژه‌ی تمیزناپذیری ذرات یکسان در مکانیک کوانتوم را مطرح نمی‌کند و در واقع در فصل پنجم با استفاده از این واقعیت که در مکانیک کوانتومی ذرات یکسان واقعاً تمیزناپذیرند به فرمول‌بندی آمار کوانتومی می‌پردازد. در فصل شش بار دیگر نظریه‌ی آنسامبل میکروکانونی، کانونی و کانونی بزرگ را روی سامانه‌ی متشکل از گاز ایده‌آل می‌آزماید اما این بار با فرمول‌بندی مکانیک کوانتومی آن. مفهوم تمیزناپذیری ذرات یکسان در مکانیک کوانتومی کاملاً کلیدی است طوری که مولف معتقد است تابع موج به اصطلاح بولتزمنی که در فصل ششم فراهم شده قادر نیست ملاحظات تقارنی ناشی از تمیزناپذیری ذرات یکسان را برآورده کند، در واقع مولف با تکیه بر این واقعیت تجربی که تابع موج یک سامانه‌ی مکانیک کوانتومی متشکل از ذرات یکسان با

اسپین صحیح (در آحاد $\hbar$) متقارن است در فصل هفتم اقدام به فرمول‌بندی آمار یوز - اینشتین می‌کند که بحث چگالش بوز - اینشتین به عنوان یک پدیده کاملاً مکانیک کوانتومی ناشی از متقارن‌سازی تابع موج سامانه در قلب آن جای دارد و سپس با تکیه بر این واقعیت تجربی که تابع موج یک سامانه‌ی مکانیک کوانتومی متشکل از ذرات یکسان با اسپین نیم صحیح پادمتقارن است در فصل هشتم اقدام به معرفی و فرمول‌بندی آمار فرمی - دیراک می‌کند که سامانه‌ی گاز الکترونیکی از مباحثی است که در قلب این فصل قرار می‌گیرد. در واقع فصول ۷ و ۸ با پوشش مباحث بسیار در خور توجه هم‌چون تابش جسم سیاه، معرفی فونون‌ها، برانگیختگی‌های بنیادی در هلیوم مایع ^4He ، رفتار مغناطیسی یک گاز فرمی و گاز الکترونی در فلزات به زیبایی مکانیک کوانتومی را در سطح مکانیک آماری به تصویر می‌کشند.

مطالب فوق تا حد بسیار اصلی کتاب است که در طی ویرایش اول تا سوم حفظ شده است اما همکاری R. K. Pathria با Paul Beal در تهیه ویرایش سوم، این کتاب را از هر نظر متمایز کرده است طوری که پیشرفت‌های مهمی که در طی سال‌های اخیر در این حوزه صورت گرفته به ویژه بسیاری از کارهای تحقیقاتی به توسط P. D. B. در دانشگاه Colorado و سایر مراکز تحقیقاتی شکل گرفته در ویرایش سوم گنجانده شده است.

از دیگر تغییرات درخور توجه در ویرایش سوم اضافه شدن تعداد نسبتاً زیادی مسائل پایان فصل جدید و متنوع است و هم‌چنین مطالب پیوست کتاب نسبتاً بالا به روز شده و مطالب جدید و متنوعی به آن افزوده شده است که از جمله می‌توان به پیوستن مسائل بر یک جمع‌بندی جامع از ترمودینامیک آن‌گونه که مدنظر مکانیک آماری است و یک پیوست جدید درباره‌ی اعداد شبه کاتوره‌ای که می‌تواند برای علاقه‌مندان به کدنویسی در مکانیک آماری و خور توجه باشد اشاره کرد. به دلیل اهمیت مطالب ارائه شده در پیوست کتاب اصلی ترجمه‌ی کتاب در این کتاب تقدیم شده است.

بیش از دو ماه از چاپ ویرایش سوم کتاب در سال ۲۰۱۱ (۶۳۹۰) نمی‌گذشت که ناشر محترم نسخه‌ی اصلی کتاب را تهیه و برای ترجمه در اختیارم قرار دادند، در حالی که بلافاصله کار ترجمه‌ی کتاب را آغاز کردم اما آماده شدن نسخه نهایی بیش از ۲ سال به طول انجامید. مولفین،

این کتاب ممتاز علمی را با سبک نگارش خاصی قلم زده‌اند بدین معنی که در واژه‌پردازی آن از واژگان و عبارت‌های بدیع زیاد استفاده شده و اصطلاحات نیز در آن فراوان است در کل کتاب Slang-Base نوشته شده است، به این دلیل در ترجمه‌ی آن علاوه بر توجه کامل معنایی (که رکن اصلی کار است) واژگان کتاب را نیز در حد بضاعت مدنظر داشته‌ام.

کار کردن با گروه انتشاراتی گوتنبرگ و جاودان‌خرد همواره برایم مسرت بخش بوده چرا که بیش از نیم قرن تجربه‌ی آن‌ها در امور نشر کتاب‌های دانشگاهی همواره روشنی بخش راهم بوده است. بدین وسیله مراتب سپاس و تشکر صمیمانه خود را از تمامی کارکنان انتشارات گوتنبرگ و جاودان‌خرد به ویژه جناب آقای مهندس بابک کاشی‌چی که همواره راهنما و مشوق من بوده‌اند ابراز می‌دارم. همچنین از گروه فنی تایماز که زحمت حروف‌چینی این اثر را به عهده داشتند و در بهبود کیفیت چاپ و حفظ Notation آن دقت نظر خاصی مبذول داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم. لازم می‌دانم از تمام عزیزانی که در تهیه‌ی این کتاب به بنده کمک کردند به ویژه سرکار خانم سلیمه ساری‌ابی که متن نهایی را بارها به دقت بازخوانی و با متن اصلی مطابقت دادند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

در پایان از همه اساتید محترم و دوستان گرامی به ویژه آقایان: علیرضا اسکندرزاده، امیر هنرور، جواد مختارزاد، محمد اسکندرزاده، حمیدرضا پورافروندی، اکبر صادق‌تهرانی، عزیز الهیاری، محمد شکیب و سرکار خانم سمیه جودی به خاطر حمایت‌های کمک‌ها و حمایت‌هایشان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

علیرضا وفایی

تهران ۱۳۹۰/۱۰/۱۰

avm@Hotmail.co.uk

پیشگفتار ویرایش سوم

ویرایش دوم مکانیک آماری در سال ۱۹۹۶ چاپ شد. موضوعات جدیدی که در آن زمان به کتاب افزوده شدند روی گذارهای فازی، پدیده‌های بحرانی و گروه باز بهنجارش تمرکز داشتند یعنی عناوینی که بعد از چاپ اول کتاب در سال ۱۹۷۲ تحت دگرگونی گسترده‌ای واقع شده بودند. در سال ۲۰۰۹، R. K. Pathria (R.K.P.) و گروه انتشاراتی بر این باور بودند که زمان چاپ ویرایش سوم فرا رسیده تا تغییرات مهمی که بعد از چاپ ویرایش دوم در این حوزه صورت گرفته است را لحاظ شوند و بدین منظور از Paul B. Beale (P.D.B.) دعوت به عمل آمد که به نویسنده بپیوندد. هر دو نویسنده روی چشم‌انداز موارد الحاقی و تغییرات توافق داشتند و P.D.B. پیش‌نویس اولیه‌ی بخش‌ها را جدید را نوشت البته بجز پیوست F که توسط R.K.P. نوشته شده بود. هر دو نویسنده در تعادل بسیار نزدیکی با همدیگر کار کردند تا پیش‌نویس‌ها را تصحیح و ویرایش سوم را نهایی کنند.

عناوین جدیدی که به این ویرایش افزوده شدند عبارتند از:

- چگالش بوز - اینشتین و رفتار مایه‌ای تبه‌گن در گازهای اتمی ابر سرد:

بخش‌های ۲.۷، ۴.۸، A.۲.۱۱ و ۹.۱۱. خلق چگالده‌ها، بوز - اینشتین در گازهای ابر سرد در خلال دهه‌ی ۱۹۹۰ و در گازهای فیزیکی تبه‌گن در خلال دهه‌ی ۲۰۰۰ به انقلابی در فیزیک اتمی، مولکولی و نورشناخت منتهی شد. حلقه‌ی ارزشمندی برای رفتار کوانتومی سامانه‌های ماده‌ی چگال فراهم آورد. برخی از دانشمندان و همکاران P.D.B. در فیزیک و JILA در دانشگاه Colorado از رهبران این حوزه به هیچ جدید به شمار می‌آیند.

- رفتار مقیاس‌بندی بُعد محدود چگالیده‌های بوز - اینشتین: پیوست F. یک

نظریه‌ی تحلیلی برای رفتار چگالیده‌های بوز - اینشتین در یک سامانه‌ی محدود گسترش می‌دهیم تا یک توجیه موکد برای انتخاب حالت پایه در محاسبه‌ی خصوصیات چگالیده‌ی بوز - اینشتین فراهم کند.

- **ترمودینامیک جهان آغازین:** فصل ۹. توالی گذارهای ترمودینامیکی که جهان کمی بعد از انفجار بزرگ طی کرده است عقبه‌ای بر جای گذاشته که اختر فیزیک‌دانان برای کاوش در نخستین لحظات جهان از آن بهره جسته‌اند. پیشرفت‌های اصلی در نجوم در طی ۲۰ سال گذشته حجم وسیعی از داده‌های مشاهداتی را در ارتباط با تکامل جهان آغازین به دست می‌دهد. این داده‌های مشاهداتی در برگیرنده‌ی اندازه‌گیری‌های فضایی عمیق تلسکوپ فضایی هابل از انبساط جهان، اندازه‌گیری‌های دقیق کاوشگر زمین‌ی کیهانی از دمای پس زمینه‌ی میکروموج کیهانی و نقشه برداری

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

از تغییرات دمای پس زمینه‌ی میکروموج کیهانی است. این مجموعه داده‌ها به تعیین دقیق‌تر جهان، ترکیب و تکامل آغازین آن انجامید. اتفاقاً دفتر دانشکده‌ی P.D.B در برجی واقع است که به افتخار George Gamow یکی از اعضای دانشکده در دانشگاه Colorado در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ و یک پیشگام در نظریه‌ی nucleosynthesis در جهان آغازین نام دارد.

- **تعادل شیمیایی:** بخش ۶.۶. پتانسیل‌های شیمیایی شرایط لازم برای تعادل شیمیایی را تعیین می‌کنند که نه تنها موضوعی مهم در فیزیک خود محسوب می‌شود بلکه نقش منتقدانه‌ای نیز در بحث مربوط به ترمودینامیک جهان آغازین در فصل ۹ دارد.

- **شبیه‌سازی‌های دینامیک مولکولی و Monte Carlo:** فصل ۱۶. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای به ابزار مهمی در مکانیک آماری نوین تبدیل شدند. در این فصل مقدمه‌ای کوتاه برای روش‌های دینامیک مولکولی Monte Carlo و الگوریتم ارائه می‌دهیم.

- **توابع هم بستگی و پراکندگی:** بخش ۷.۱۰. توابع هم بستگی برای درک فازهای ترمودینامیکی، گذارهای فازی و پدیده‌های بحرانی نقش اساسی دارند. اختلاف بین فازهای ترمودینامیکی در رفتار توابع هم بستگی و عوامل ساختاری ایستا که به طور نزدیکی به هم وابسته‌اند بسیار مشهود است. مباحثی از ویرایش دوم را در یک جا جمع‌آوری و موضوعات جدیدی نیز به آن‌ها افزوده‌ایم.

• قضیه‌ی اتلاف - افت و خیز و ضریب ساختار دینامیکی: بخش‌های A.۳.۱۵،

A.۶.۱۵ و B.۶.۱۵. قضیه‌ی اتلاف - افت و خیز ارتباط بین افت و خیزهای ترمودینامیکی تعادل طبیعی در یک سامانه و پاسخ سامانه به اختلال‌های ناشی از تعادل را بیان می‌کند و یکی از مبانی مکانیک آماری غیرتعادلی محسوب می‌شود. بحث مربوط به قضیه‌ی اتلاف - افت و خیز را گسترش داده‌ایم تا در برگیرنده‌ی استخراج نتایج کلیدی حاصل از قضیه‌ی پاسخ خطی نیز باشد که موضوع بحث آن ضریب ساختار دینامیکی و تحلیل حرکت براونی نوسانگرهای هماهنگ است که نمونه‌های عملی مفیدی به دست می‌دهد.

• تعادل فاز و متد های Clausius - Clapeyron: بخش‌های ۶.۴ و ۷.۴. بیش‌تر متن

به استفاده از روش مکانیک آماری برای تعیین خصوصیات فازهای ترمودینامیکی و گذارهای فاز از اصول اساسی این مرور کوتاه از تعادل فاز و ساختار نمودارهای فاز اساس مباحث بعدی خواهد بود.

• حل‌های دقیق مدل‌های شارش یک بعدی: بخش ۱.۱۳. مدل‌های شارهای یک

بعدی با برهم‌کنش‌های برد کوتاه، گذارهای فاز را نمایش نمی‌دهند اما هم‌بستگی‌های برد کوتاه و دیگر رفتارهای نوعی شارهای پیکال را می‌کنند.

• حل دقیق مدل آیزینگ دوبعدی روی یک شبکه مربعی: بخش ۴.۱۳. این

حل مستلزم شمارش دقیق میکروحالت‌های آنسامبل میکروکانونی بوده و برای توزیع انرژی، انرژی درونی و ظرفیت گرمایی سامانه نتایج تحلیلی دقیق به دست می‌دهد. این حل رفتار مقیاس‌بندی بُعد محدود مدل آیزینگ را در نزدیکی نقطه انتقال دومینوف کرده و یک چهارچوب دقیق که می‌توان آن را برای آزمون روش‌های Monte Carlo به کار برد فراهم می‌کند.

• خلاصه‌ای از مجموعه‌های ترمودینامیکی و آنسامبل‌های آماری مربوطه: پیوست

H. در این پیوست خلاصه‌ای از روابط ترمودینامیکی و ارتباط آن‌ها با آنسامبل‌های مکانیک آماری را ارائه می‌دهیم. اغلب این اطلاعات را می‌توان در هر جای دیگری از

کتاب یافت اما معتقد بودیم فراهم کردن یک خلاصه‌ی موجز از این ارتباط‌های مهم در یک جا مفید خواهد بود.

• **مولدهای عدد شبه کاتوره‌ای:** پیوست I. مولدهای عدد شبه کاتوره‌ای در شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است. الگوریتم‌های ساده‌ای در ارتباط با تولید اعداد شبه کاتوره‌ای گاوسی و یکنواخت ارائه و درباره‌ی خصوصیات آن‌ها بحث کرده‌ایم.

• **انگیزه شدن مقدار زیادی از مسائل پایان فصل جدید.**

بقیه‌ی کتاب تا به اندازه‌ی زیادی بدون تغییر باقی‌مانده است. انجام این تکلیف را مرهون بسیاری از دوستان و همکارانم هستیم. R.K.P. قبلاً مراتب قدردانی خود را از برخی افراد در دو نوبت قبلی بین سال‌های ۷۲ و ۹۹ ابراز داشته است و هم اکنون نیز مراتب تقدیر و تشکر خود را از آن عزیزان تکرار می‌کند. علاوه بر این ایشان تمایل دارند از Paul Beal به دلیل ابراز تمایل برای همکاری در این پروژه و پشت‌پشتی‌اش در انجام آن به طور دقیق و با تلاش فراوان صمیمانه تشکر کنند.

P.D.B نیز به سهم خود تمایل دارند از دوستان خود در دانشگاه Colorado در Boulder به خاطر بحث‌های فراوانی که در طی سالیان متمادی درباره‌ی موضوعات تحقیقاتی و فن تعلیم مکانیک آماری با آن‌ها داشته به ویژه از

Dubson, and Leo Radzihovsky

صمیمانه تشکر کند. ایشان هم‌چنین تمایل دارند از هیئت علمی دانشگاه فیزیک به دلیل مفتخر کردن ایشان به مقام ریاست این دانشکده‌ی ممتاز تشکر و قدردانی نمایند.

مراتب تقدیر و تشکر خود را از بسیاری از دوستان و همکاران به ویژه

Tom DeGrand, Michael Shull, David Nesbitt, Jamie Nagle, Matt Glaser, Murray

Holland, Leo Radzihovsky, Victor Gurarie, Edmond Meyer, Matthew Grau, Andrew

Sisler, Michael Foss-Feig, Allan Franklin, Shantha deAlwis, Dmitro Reznik, and

Eric Cornell.

که بخش‌هایی از دست نوشته‌ها را خوانده و اصلاحات و پیشنهادات بسیار ارزشمندی ارائه کردند ابراز می‌دارد.

P.D.B تمایل دارند این فرصت را مغتنم شمرده و ضمن تشکر بهترین آرزوها را برای پروفسور Michael E. Fisher داشته باشند که با ارائه‌ی درس مکانیک آماری در Colorado او را با این حوزه‌ی جذاب آشنا کردند. ایشان همچنین تمایل دارند مراتب سپاس و قدردانی خود را از Raj athria ای دعوت به همکاری در این پروژه و مباحث مفرح و در خور توجهی که در خلال آماده‌ری آن ویرایش جدید با ایشان داشته‌اند ابراز نماید. بدون تردید تدبیر اندیشمندانه‌ی Raj همواره در ارتقاء محتوای کتاب ارزشمند بود.

صمیمانه‌ترین خرودهای P.D.B تقدیم می‌شود به Erica و Melanie، Mathew به دلیل عشق و حمایت آن‌ها.

R.K.P.

P.D.B.

فهرست

۵	۱	مبنای آماری ترمودینامیک
۶	۱.۱	حالت آماری ماکروسکوپی و میکروسکوپی
	۲.۱	ارتباط بین آمار ترمودینامیک:
۸		اهمیت فیزیکی عدد $\Omega(N, V, E)$
۱۲	۳.۱	ارتباط بیش تر بین آمار ترمودینامیک
۱۵	۴.۱	گاز ایده آل کلاسیکی
۲۵	۵.۱	آنتروپی مخلوط و پارادوکس گیبس
۲۹	۶.۱	شمارش صحیح میکروحالات
۳۷	۲	مبنای نظریه‌ی آنسامبل
۳۸	۱.۲	فضای فاز یک سامانه‌ی کلاسیکی
۴۰	۲.۲	قضیه‌ی لیوویل و نتایج آن
۴۳	۳.۲	آنسامبل میکروکانونی
۴۶	۴.۲	مثال‌ها
۵۰	۵.۲	حالت‌های کوانتومی و فضای فاز
۵۵	۳	آنسامبل کانونی
۵۶	۱.۳	تعادل بین یک سامانه و یک منبع گرمایی
۵۸	۲.۳	یک سامانه در آنسامبل کانونی

۶۹	اهمیت فیزیکی کمیت‌های آماری مختلف در آنسامبل کانونی	۳.۳
۷۲	عبارت‌های دیگر برای تابع پارش	۴.۳
۷۴	سامانه‌های کلاسیکی	۵.۳
۷۹	افت و خیزهای انرژی در آنسامبل کانونی: تناظر با آنسامبل میکروکانونی	۶.۳
۸۳	دو قضیه - همپاری و ویریال	۷.۳
۸۷	سامانه‌ای متشکل از نوسان‌گرهای هماهنگ	۸.۳
۹۴	آمار پارامغناطیس	۹.
۱۰۲	ترمودینامیک سامانه‌های مغناطیسی: دماهای منفی	۱۰.۳

۱۲۳	آنسامبل کانونی بزرگ	۴
۱۲۴	تعداد بین یک سامانه و یک منبع ذره - انرژی	۱.۴
۱۲۶	یک سامانه آنسامبل کانونی بزرگ	۲.۴
۱۲۸	اهمیت فیزیکی کمیت‌های آماری مختلف	۳.۴
۱۳۱	مثال‌ها	۴.۴
	افت و خیزهای چگالی در آنسامبل کانونی بزرگ: تناظر با	۵.۴
۱۳۷	آنسامبل‌های دیگر	
۱۴۰	نمودارهای فاز ترمودینامیکی	۶.۴
۱۴۵	تبادل فاز و معادله‌ی کلاسیوس - کلاپیرون	۷.۴

۱۵۳	فرمول‌بندی آمار کوانتومی	۵
۱۵۴	نظریه‌ی آنسامبل کوانتوم مکانیکی: ماتریس چگالی	۱.۵
۱۵۸	آمار آنسامبل‌های گوناگون	۲.۵
۱۵۸	آنسامبل میکروکانونی	۱.۲.۵
۱۶۱	آنسامبل کانونی	۲.۲.۵
۱۶۲	آنسامبل کانونی بزرگ	۲.۲.۵
۱۶۳	مثال‌ها	۳.۵
۱۶۳	یک الکترون در یک میدان مغناطیسی	۳.۳.۵

۱۶۳	۳.۵ ب. یک ذره آزاد در یک جعبه
۱۶۶	۳.۵ پ. یک نوسان گر هماهنگ خطی
۱۶۸	۴.۵ سامانه‌هایی متشکل از ذرات تمیزناپذیر
۱۷۵	۵.۵ ماتریس چگالی و تابع پارش یک سامانه‌ی متشکل از ذرات آزاد

۱۸۵	۶ نظر به‌ی گازهای ساده
۱۸۶	۱.۶ یک گاز ایده‌آل در یک آنسامبل میکروکانونی کوانتوم مکانیکی
۱۹۱	۲.۶ یک گاز ایده‌آل در آنسامبل‌های کوانتوم مکانیکی دیگر
۱۹۵	۳.۶ آمار اِی-اشغال
۱۹۹	۴.۶ ملاقات‌های بخشی
۲۰۳	۵.۶ سامانه‌های گاز متشکل از مولکول‌هایی با حرکت داخلی
۲۰۵	۱.۵.۶ مولکول‌های اتمی
۲۰۶	۲.۵.۶ مولکول‌های دواتمی
۲۱۸	۳.۵.۶ مولکول‌های چند اتمی
۲۲۱	۶.۶ تعادل شیمیایی

۲۳۵	۷ سامانه‌های بوزی ایده‌آل
۲۳۶	۱.۷ رفتار ترمودینامیکی گاز بوزی ایده‌آل
۲۵۰	۲.۷ چگالش بوز - اینشتین در گازهای اتمی ابر سرد
۲۵۳	۱.۲.۷ یک آشکارسازی از چگالیده‌ی بوز - اینشتین
۲۵۶	۲.۲.۷ ویژگی‌های ترمودینامیکی چگالیده‌ی بوز - اینشتین
۲۶۰	۳.۷ ترمودینامیک تابش جسم سیاه
۲۶۶	۴.۷ میدان امواج صوتی
۲۷۶	۵.۷ چگالی لختی میدان صوتی
۲۸۰	۶.۷ برانگیختگی‌های بنیادی در هلیوم مایع II

۲۹۹	۸ سامانه‌های فرمی ایده‌آل
۲۹۹	۱.۸ رفتار ترمودینامیکی یک گاز فرمی ایده‌آل

۳۰۸	رفتار مغناطیسی یک گاز فرمی ایده‌آل	۲.۸
۳۰۹	پارامغناطیس پائولی	۲.۸
۳۱۴	دایا مغناطیس لندا	۲.۸
۳۱۹	گاز الکترونی در فلزات	۳.۸
۳۲۴	گسیل گرمایونی (اثر Richardson)	۳.۸
۳۲۹	گسیل فوتوالکتریک (اثر Hallwachs)	۳.۸
۳۳۲	گازهای فرمی اتمی ابر سرد	۴.۸
۳۳۴	تبادل آماری ستاره‌های کوتوله‌ی سفید	۸
۳۴۰	الگای آماری اتم	۶.۸

۳۵۳	پیوست‌ها
۳۹۷	منابع
۴۱۷	نمایه