



دانشگاه سوادکوه

مکانیک آماری

(رشته فیزیک)

www.ketab.ir

دکتر مرتضی محسنی

سرشناسه	: محسنی، مرتضی
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک آماری / مرتضی محسنی.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: پانزده، ۲۶۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه پیام نور، ۱۷۴۶. گروه فیزیک، ۴۰ / ق.
شابک	: 978 - 964 - 387 - 788 - 0
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۵۹ - ۲۶۰.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: مکانیک آماری - آموزش برنامه‌ای.
موضوع	: مکانیک آماری - راهنمای آموزشی (عالی).
موضوع	: مکانیک آماری - مسائل، تمرین ها و غیره (عالی).
شناسه افزوده	: دانشگاه پیام نور.
رده بندی کنگره	: QC۱۷۴/۸م۲۷ ۱۳۹۰
رده بندی دیویی	: ۵۳۰۹۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۲۹۷۲۴۰



مکانیک آماری

مؤلف: دکتر مرتضی محسنی

ویراستاران علمی: دکتر علیرضا رازقی زاده - دکتر علیرضا صفارزاده

ویرایش زبانی - صوری: زهرا جلال زاده

تهیه و تولید: مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول آزمایشی تیر ۱۳۸۴، چاپ اول قطعی (تجدید نظر شده) دی ۱۳۹۰

شابک: ۰ - ۷۸۸ - ۳۸۷ - ۹۶۴ - ۹۷۸

ISBN: 978 - 964 - 387 - 788 - 0

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی‌های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش

آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید

(کلیه حقوق نشر اعم از چاپی، الکترونیکی، تصویری، صوتی و اینترنتی برای دانشگاه پیام نور محفوظ است)

قیمت: ۳۴۰۰۰ ریال

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک‌درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی نمونه کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های منسوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صورتی جدید چاپ می‌شود. متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و کمک‌درسی (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

پیش گفتار	سیزده
مقدمه	۱
فصل ۱	احتمال
۱.۱	مفهوم احتمال
۱.۱.۱	احتمال کلاسیکی
۲.۱.۱	احتمال آماری
۲.۱	محاسبه احتمال
۱.۲.۱	رویداد مرکب
۲.۲.۱	رویدادهای مستقل
۳.۱	شمارش رویدادها
۱.۳.۱	آرایه ها
۲.۳.۱	جایگشت ها
۳.۳.۱	ترکیب ها
۴.۱	توزیع
۱.۴.۱	توزیع گسسته
۲.۴.۱	توزیع پیوسته
۳.۴.۱	مقدارهای میانگین
۴.۴.۱	انحراف معیار
۵.۱	تقریب استرلینگ
۶.۱	ضرایب نامعین لاگرانژ
۷.۱	توزیع چند جمله ای
۱.۷.۱	توزیع دو جمله ای
۲.۷.۱	توزیع چند جمله ای
۸.۱	توزیع گاوسی
۱.۸.۱	تعداد حالت ها

فصل ۲ مفاهیم پایه

۳۴	۱.۲ موضوع مکانیک آماری
۳۵	۱.۱.۲ میکرو حالت
۳۵	۲.۱.۲ ماکرو حالت
۳۸	۲.۲ آمار تمیز پذیر
۴۲	۳.۲ واگنی
۴۲	۱.۳.۲ واگنی ترازهای تک ذره ای
۴۲	۲.۳.۲ واگنی دستگاه
۴۵	۴.۲ آمار تمیز ناپذیر
۴۵	۱.۴.۲ مفهوم تمیز پذیری
۴۵	۲.۴.۲ مفهوم تمیز ناپذیری
۴۶	۳.۴.۲ شمارش حالت ها
۴۸	۵.۲ هنگردها
۴۸	۱.۵.۲ مفهوم هنگرد
۴۹	۲.۵.۲ هنگرد میکرو بندادی
۴۹	۳.۵.۲ هنگرد بندادی
۵۰	۴.۵.۲ هنگرد بندادی بزرگ
۵۰	۶.۲ آنتروپی
۵۰	۱.۶.۲ آنتروپی در هنگرد میکرو بندادی
۵۱	۲.۶.۲ آنتروپی در هنگرد بندادی
۵۳	۷.۲ نمونه هایی از کاربردها*
۵۳	۱.۷.۲ کاستی در بلورها
۵۵	۲.۷.۲ نوار کشسان

فصل ۳ تابع پارش

۶۰	۱.۳ محتمل ترین توزیع
۶۱	۲.۳ توزیع بولتزمن
۶۵	۳.۳ تابع پارش بندادی
۶۷	۱.۳.۳ اهمیت تابع پارش
۶۹	۲.۳.۳ جمع روی حالت ها
۷۰	۳.۳.۳ تابع پارش دستگاه
۷۲	۴.۳.۳ توابع ترمودینامیکی بر حسب تابع پارش دستگاه
۷۲	۵.۳.۳ تابع پارش تک ذره ای ذرات با چند درجه آزادی
۷۳	۶.۳.۳ تابع پارش بر حسب ترازهای انرژی دستگاه

۷۳	پارامغناطیس	۴.۳
۷۳	برهم کنش با میدان مغناطیسی	۱.۴.۳
۷۳	تابع پارش پارامغناطیس	۲.۴.۳
۷۴	انرژی درونی پارامغناطیس	۳.۴.۳
۷۵	ظرفیت گرمایی پارامغناطیس	۴.۴.۳
۷۶	آنتروپی	۵.۴.۳
۷۷	انرژی آزاد	۶.۴.۳

۷۸	نوسانگر هماهنگ ساده	۵.۳
۷۸	تابع پارش نوسانگر هماهنگ ساده	۱.۵.۳
۷۹	انرژی درونی نوسانگر هماهنگ ساده	۲.۵.۳
۸۰	ظرفیت گرمایی نوسانگر هماهنگ ساده	۳.۵.۳
۸۰	مقایسه هنگردها	۶.۳
۸۰	هنگرد میکروبندادی و بندادی	۱.۶.۳
۸۱	افت و خیز انرژی	۲.۶.۳

فصل ۴ گاز کامل

۸۸	حالت های دره	۱.۴
۸۸	ذره محبوس در جعبه	۱.۱.۴
۹۰	شمارش حالت ها	۲.۱.۴
۹۲	گاز کامل	۲.۴
۹۴	تابع توزیع گاز کامل	۱.۲.۴
۹۷	توابع ترمودینامیکی گاز کامل	۳.۴
۹۸	گاز کامل تک اتمی	۴.۴
۹۸	تابع پارش گاز تک اتمی	۱.۴.۴
۱۰۰	انرژی درونی گاز تک اتمی	۲.۴.۴
۱۰۰	آنتروپی گاز تک اتمی	۳.۴.۴
۱۰۰	انرژی آزاد گاز تک اتمی	۴.۴.۴
۱۰۰	ظرفیت گرمایی گاز تک اتمی	۵.۴.۴
۱۰۰	معادله حالت	۶.۴.۴
۱۰۱	حالت های چرخنده صلب	۵.۴
۱۰۵	دوران مولکول ها و تابع پارش	۶.۴
۱۰۵	تابع پارش و انرژی کل	۱.۶.۴
۱۰۶	انرژی دورانی	۲.۶.۴
۱۰۷	حد دمای پایین	۳.۶.۴
۱۰۸	تابع پارش ارتعاشی گاز دواتمی	۷.۴
۱۰۹	انرژی	۱.۷.۴
۱۰۹	ظرفیت گرمایی	۲.۷.۴
۱۱۰	دیگر درجات آزادی	۳.۷.۴

۱۱۰	گاز کامل دواتمی	۸.۴
۱۱۰	تابع پارش گاز دواتمی	۱۸.۴
۱۱۱	فرایند بی‌درزو	۲۸.۴
۱۱۲	پارادوکس گیس	۹.۴

فصل ۵ نظریه جنبشی

۱۲۰	فضای فاز	۱.۵
۱۲۰	فضای فاز ذره	۱.۱.۵
۱۲۰	فضای فاز دستگاه	۲.۱.۵
۱۲۱	تابع پارش در فضای فاز	۳.۱.۵
۱۲۳	همپاری انرژی	۲.۵
۱۲۵	توزیع ماکسول - بولتزمن تندی	۳.۵
۱۲۵	تابع توزیع	۱.۳.۵
۱۲۶	مقدارهای میانگین	۲.۳.۵
۱۲۷	توزیع ماکسول - بولتزمن سرعت	۴.۵
۱۳۰	زمان برخورد	۵.۵
۱۳۰	سطح مقطع پراکندگی	۱.۵.۵
۱۳۱	زمان برخورد	۲.۵.۵
۱۳۲	تخمین بزرگی زمان برخورد	۳.۵.۵
۱۳۳	چسبندگی *	۶.۵
۱۳۳	نیروی چسبندگی	۱.۶.۵
۱۳۳	محاسبه چسبندگی	۲.۶.۵
۱۳۵	ضریب چسبندگی گازهای رقیق	۳.۶.۵
۱۳۷	رسانش گرمایی *	۷.۵
۱۳۷	رسانایی گرمایی	۱.۷.۵
۱۳۸	ضریب رسانایی گازهای رقیق	۲.۷.۵
۱۳۹	پخش *	۸.۵
۱۳۹	ضریب خودپخشی	۱.۸.۵
۱۳۹	ضریب خودپخشی گازهای رقیق	۲.۸.۵
۱۴۰	پخش در سه بعد	۳.۸.۵
۱۴۱	معادله پخش	۴.۸.۵

فصل ۶ توزیع گیس

۱۴۶	پتانسیل شیمیایی	۱.۶
۱۴۶	تعریف پتانسیل شیمیایی	۱.۱.۶
۱۴۷	پتانسیل شیمیایی بر حسب انرژی آزاد	۲.۱.۶
۱۴۷	پتانسیل شیمیایی در گاز کامل	۳.۱.۶

۱۴۸	۴.۱.۶	انرژی آزاد گیس
۱۴۹	۲.۶	شرایط تعادل
۱۵۲	۳.۶	تعادل، آنتروپی، و انرژی آزاد
۱۵۴	۴.۶	پتانسیل ترمودینامیکی
۱۵۵	۱.۴.۶	انرژی آزاد هلمهولتز
۱۵۵	۲.۴.۶	انرژی آزاد گیس
۱۵۶	۳.۴.۶	پتانسیل ترمودینامیکی و تعادل
۱۵۶	۵.۶	واکنش‌های شیمیایی
۱۵۶	۱.۵.۶	تعادل شیمیایی
۱۵۷	۲.۵.۶	ثابت تعادل
۱۶۱	۶.۶	توزیع گیس
۱۶۱	۱.۶.۶	تابع توزیع
۱۶۳	۲.۶.۶	محاسبه آنتروپی دستگاه بزرگ
۱۶۴	۷.۶	هنگام بندادی بزرگ
۱۶۵	۱.۷.۶	تابع ترمودینامیکی
۱۶۶	۲.۷.۶	سطح جاذب

فصل ۷ آمار بوز - اینشتین

۱۷۲	۱.۷	آمار کوانتومی
۱۷۲	۱.۱.۷	بوزونها و فرمیون‌ها
۱۷۳	۲.۱.۷	اصل طرد
۱۷۴	۲.۷	آمار بوز - اینشتین
۱۷۴	۱.۲.۷	تابع توزیع
۱۷۶	۲.۲.۷	توزیع پلانک
۱۷۷	۳.۲.۷	پتانسیل شیمیایی گاز بوزونی
۱۷۸	۳.۷	گاز فوتونی*
۱۷۸	۱.۳.۷	توزیع فوتون‌ها
۱۸۰	۲.۳.۷	محاسبه تعداد فوتون‌ها
۱۸۰	۳.۳.۷	محاسبه فشار
۱۸۲	۴.۷	تابش جسم سیاه*
۱۸۲	۱.۴.۷	انرژی کل فوتون‌ها
۱۸۳	۲.۴.۷	جسم سیاه
۱۸۳	۳.۴.۷	شدت تابش
۱۸۵	۵.۷	فونون‌ها*
۱۸۵	۱.۵.۷	محاسبه بسامد دبای
۱۸۶	۲.۵.۷	انرژی فونون‌ها
۱۸۸	۶.۷	چگالش بوز - اینشتین*

۱۸۸	توزیع ذرات	۱.۶.۷
۱۹۰	دمای بحرانی	۲.۶.۷
۱۹۲	تابع پارش	۷.۷
۱۹۳	محاسبه توزیع به کمک تابع پارش	۱.۷.۷
۱۹۴	تابع پارش بزرگ دستگاهی از بوزون‌ها	۲.۷.۷
۱۹۵	محاسبه فشار گاز فوتونی	۳.۷.۷

فصل ۸ آمار فرمی - دیراک

۲۰۰	توزیع فرمی - دیراک	۱.۸
۲۰۰	تابع توزیع	۱.۱.۸
۲۰۲	انرژی فرمی	۲.۱.۸
۲۰۳	الکترون‌ها در فلزات	۲.۸
۲۰۳	چگالی حالت‌ها	۱.۲.۸
۲۰۳	محاسبه انرژی فرمی	۲.۲.۸
۲۰۴	عددهای اشغال در گاز فرمی *	۳.۸
۲۰۴	حد دمای بالا	۱.۳.۸
۲۰۵	ذرات معمولی	۲.۳.۸
۲۰۶	حد دمای پایین	۳.۳.۸
۲۰۷	گاز فرمی در دمای پایین *	۴.۸
۲۰۷	فشار گاز فرمی	۱.۴.۸
۲۰۷	ظرفیت گرمایی	۲.۴.۸
۲۰۸	مقایسه با نتیجه آمار کلاسیکی	۳.۴.۸
۲۰۹	تابع پارش	۵.۸
۲۱۱	استخراج توزیع ذرات از تابع پارش	۱.۵.۸
۲۱۱	محاسبه تعداد کل ذرات	۲.۵.۸
۲۱۲	پتانسیل شیمیایی در دمای بالا	۳.۵.۸
۲۱۳	آنتروپی گاز فرمی *	۶.۸
۲۱۵	گذار از آمار کوانتومی به کلاسیکی *	۷.۸
۲۱۵	مقایسه آمارها با توجه به تعداد حالت‌ها	۱.۷.۸
۲۱۶	مقایسه آمارها با توجه به دما و چگالی تعداد	۲.۷.۸
۲۱۷	آمار گاز کامل	۳.۷.۸
۲۱۸	مقایسه آمارها با توجه به فاصله ذرات	۴.۷.۸

فصل ۹ گذارهای فاز

۲۲۴	مراتب گذار	۱.۹
۲۲۴	گذار فاز	۱.۱.۹
۲۲۴	گذار مرتبه اول	۲.۱.۹
۲۲۴	گذار مرتبه دوم	۳.۱.۹

۲۲۵	پارامتر نظم	۴.۱.۹	
۲۲۶	فرومغناطیس	۲.۹	
۲۲۷	تقریب میدان متوسط	۳.۹	
۲۲۸	مغناطش خودبه خود	۱.۳.۹	
۲۲۸	گذار فاز	۲.۳.۹	
۲۳۰	مدل آیزینگ *	۴.۹	
۲۳۱	تابع پارش مدل دو بعدی آیزینگ *	۵.۹	
۲۳۱	شمارش اشیاء	۱.۵.۹	
۲۳۳	انرژی دستگاه	۲.۵.۹	.
۲۳۴	شکل صریح تابع پارش *	۶.۹	
۲۳۶	گذار فاز در مدل دو بعدی آیزینگ *	۷.۹	
	راهنمای حل تمرین ها		پیوست
۲۴۱	فصل ۱		
۲۴۴	فصل ۲		
۲۴۶	فصل ۳		
۲۴۷	فصل ۴		
۲۵۰	فصل ۵		
۲۵۲	فصل ۶		
۲۵۳	فصل ۷		
۲۵۵	فصل ۸		
۲۵۶	فصل ۹		
۲۵۹			کتابنامه
۲۶۱			نمایه

پیش گفتار

نسخه آزمایشی و اول کتاب حاضر در تیر ۱۳۸۴ منتشر شد و به مدت پنج سال منبع درس مکانیک آماری دوره کارشناسی فیزیک در دانشگاه پیام نور و برخی دیگر مؤسسات آموزش عالی بوده است. انتخاب مطالب و چگونگی عرضه آنها بر اساس اصول کلی حاکم بر متون درسی دانشگاه پیام نور انجام شده است؛ یعنی، پوشش کامل سرفصل مصوب و (تا حد امکان) خودآموز بودن اثر. در نگارش کتاب، کوشش شده با وجود تنوع مطالب، انسجام موضوع حفظ شود. بنابراین، بر اهمیت تابع پارش که مفهومی اساسی در مکانیک آماری است تأکید شده، و هر جا که امکان پذیر بوده، نتایج مستقیماً از تابع پارش استخراج شده است. حتی در سه فصل آخر کتاب هنگام معرفی توزیع های بوز-اینشتین، فرمی-دیراک، و گذارهای فاز (موضوعاتی که معمولاً در کتاب های سطح کارشناسی بدون اشاره به تابع پارش معرفی می شوند)، تابع پارش و چگونگی استخراج نتایج فیزیکی از آن بررسی شده است. این درجه از تأکید بر اهمیت تابع پارش نوآوری آموزشی این کتاب محسوب می شود.

ترتیب عرضه مطالب به صورت زیر است. در مقدمه راهنمایی مختصری برای علاقه مندان به تعقیب موضوع مکانیک آماری مطرح می شود. در فصل ۱، برخی مقدمات ریاضی مورد نیاز مرور می شود. این مقدمات شامل مفاهیم اولیه احتمال، توابع توزیع، تقریب استرلینگ، و ضرایب نامعین لاگرانژ است. در فصل ۲، برخی مفاهیم پایه مکانیک آماری شامل میکرو حالت، ماکرو حالت، واگنی، هنگرد، تمیز (نا) پذیری معرفی می شود. فصل ۳ به معرفی تابع پارش و برخی ویژگی های آن اختصاص دارد. کاربرد تابع پارش در بررسی دو دستگاه نمونه استاندارد، پارامغناطیس و نوسانگر هماهنگ، نیز نشان داده شده است. در فصل ۴، گاز کامل را بررسی می کنیم. تابع پارش مربوط به

درجات آزادی انتقالی، دورانی، و ارتعاشی گازی با مولکول‌های دواتمی را محاسبه می‌کنیم. پارادوکس گیبس را هم معرفی می‌کنیم. نظریه جنبشی موضوع فصل ۵ است. در آن فصل توزیع ماکسول-بولتزمن بررسی می‌شود. درباره همپاری انرژی، و پدیده‌های رسانش گرمایی، چسبندگی، و پخش نیز بحث می‌شود. در فصل ۶ به کمک توزیع گیبس، دستگاه‌هایی با تعداد متغیر ذرات بررسی می‌شوند. کاربرد تابع پارش در محاسبه ثابت تعادل واکنش‌های شیمیایی، یکی از بخش‌های فصل ۶ را تشکیل می‌دهد. فصل‌های ۷ و ۸ به بررسی آمار کوانتومی می‌پردازند. توزیع‌های بوز-اینشتین و فرمی-دیراک و کاربرد آنها در مطالعه آماری گازهای بوزونی یا فرمیونی، تابش جسم سیاه، فونون‌ها، جگالش بوز-اینشتین نیز بررسی می‌شود. توابع پارش مربوط و چگونگی استفاده از آنها نیز مطرح می‌شوند. در انتهای فصل ۸ به مقایسه آمارهای کلاسیکی و کوانتومی می‌پردازیم. گذارهای فاز نیز در فصل ۹ بررسی می‌شوند. مدل آیزینگ دوبعدی نمونه‌ای از دستگاه‌هایی است که گذار فاز انجام می‌دهند. تابع پارش مربوط را در تقریب براگ-ویلیامز به دست می‌آوریم.

ممکن است، مطالعه همه مطالب کتاب در یک نیم‌سال تحصیلی میسر نباشد. در این صورت می‌توان در اولین مطالعه، از بخش‌های ستاره‌دار چشم‌پوشی کرد.

نسخه قطعی کتاب مکانیک آماری، اکنون پس از رفع اشکالات نسخه آزمایشی تقدیم می‌شود. تغییرات این نسخه نسبت به نسخه آزمایشی عبارت است از بازنویسی برخی بخش‌ها، جابه‌جایی ترتیب عرضه برخی مطالب، افزودن چند شکل و رسم مجدد برخی از شکل‌ها، و ریزتر کردن بخش‌بندی مطالب به منظور کمک به دانشجویان در تفکیک مطالب و روش‌ها. کتابنامه به‌روز شده و مراجع بیش‌تری معرفی شده است.

در خاتمه، از همه اشخاصی که با بیان نظرات خود راهنمای این جانب بوده‌اند تشکر می‌کنم. به ویژه، از آقای دکتر علیرضا صفارزاده که زحمت ویرایش علمی نسخه آزمایشی کتاب را کشیده‌اند، و از آقایان دکتر عبدالرسول قرانتی، دکتر علی‌اصغر شکری، و دکتر علیرضا رازقی‌زاده به دلیل نظرات ارزشمندشان سپاسگزاری می‌کنم. آقای دکتر رازقی‌زاده کتاب را نقد کردند و نظرات ایشان موجب ارتقای کیفی کتاب شده است. همچنین از سرکار خانم زهرا جلال‌زاده برای ویرایش زبانی - صوری کتاب تشکر می‌کنم. بدیهی است مسئولیت کاستی‌های احتمالی کتاب با مؤلف است. از همکاران

مدیریت تدوین و تولید محتوا و تجهیزات آموزشی و انتشارات دانشگاه پیام نور برای
زحماتی که در انتشار این کتاب متحمل شده‌اند تشکر می‌کنم.
در مقایسه با دروس اصلی دیگر، در زمینه مکانیک آماری کتاب‌های کمتری به زبان
فارسی منتشر شده است. امید است این اثر سهمی در پرکردن این خلأ داشته باشد.

مرتضی محسنی

دانشگاه پیام نور

اسفند ۱۳۸۹

www.ketab.ir