

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات
۸۱۱

دینامیک گاز رقیق شده و روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو

www.ketab.ir

دکتر احسان روحی گل‌ختمی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه: عنوان و نام پدیدآور: سرشناسه:
 دینامیک گاز رقیق شده و روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو/ احسان روحی گل‌خلمی؛
 ویراستار علمی محمدرضا مدرس رضوی.
 مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۰.
 ۱۷۶ ص؛ جدول، نمودار.
 انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۱۱

ISBN: 978-964-386-504-7

Gas dynamics
 Molecular dynamics
 Monte Carlo method

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا.
 یادداشت: کتابنامه. نمایه.
 موضوع: گازها -- دینامیک
 موضوع: دینامیک مولکولی
 موضوع: روش مونت کارلو
 شناسه افزوده: مدرس رضوی، محمدرضا، ۱۳۲۶ -، ویراستار
 شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
 رده‌بندی کنگره: QC۱۶۸
 رده‌بندی دیویی: ۵۳۳/۲
 شماره کتابشناسی ملی: ۸۵۲۰۲۳۵

دینامیک گاز رقیق شده و روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو

پدیدآورنده: دکتر احسان روحی گل‌خلمی
 ویراستار علمی: دکتر محمدرضا مدرس رضوی
 ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
 مشخصات: وزیری، ۲۰۰ نسخه، چاپ اول، پاییز ۱۴۰۰
 چاپ و صحافی: چاپخانه دقت
 بها: ۴۹۰/۰۰۰ 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 (۲۵۱)
 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



فهرست مطالب

۹.....	پیشگفتار.....
۱۱.....	فهرست علائم.....
۱۵.....	فصل ۱. مفاهیم مقدماتی دینامیک گاز مولکولی
۱۵.....	۱-۱ مقدمه.....
۱۵.....	۲-۱ تئوری‌های اولیه ماده و گاز.....
۱۷.....	۱-۲-۱ مکانیک آماری و تئوری جنبشی.....
۱۸.....	۲-۲-۱ تئوری جنبشی گازها.....
۱۹.....	۳-۲-۱ ماهیت آماری تئوری جنبشی گازها.....
۲۰.....	۴-۲-۱ رژیم‌های جریان.....
۲۳.....	۵-۲-۱ محاسبه فشار گاز در سیال ساکن.....
۲۷.....	۶-۲-۱ سرعت مولکولی.....
۲۸.....	۷-۲-۱ انرژی مولکول‌های تک‌اتمی، دواتمی و چنداتمی.....
۳۰.....	۸-۲-۱ تابع توزیع پواسون.....
۳۳.....	۹-۲-۱ تعاریف گاز رقیق و جریان گاز رقیق‌شده.....
۳۵.....	۱۰-۲-۱ نیروی بین‌مولکولی.....
۳۵.....	۱۱-۲-۱ پتانسیل بین‌مولکولی.....
۳۶.....	۱۲-۲-۱ مدل لnard جونز.....
۳۸.....	۱۳-۲-۱ مدل کره سخت.....
۳۸.....	۱۴-۲-۱ مدل توانی معکوس.....
۳۹.....	۱۵-۲-۱ مدل کره سخت متغیر.....
۴۱.....	۱۶-۲-۱ متوسط فاصله بین‌مولکولی (۵).....
۴۱.....	۱۷-۲-۱ مقدمات برخورد دوتایی.....
۴۲.....	۱۸-۲-۱ سطح مقطع پراکندگی.....
۴۳.....	۱۹-۲-۱ چشمه‌های نقطه‌ای نور.....
۴۵.....	۳-۱ برخورد دوتایی.....
۴۷.....	۱-۳-۱ محاسبه سرعت بعد از برخورد.....

پیشگفتار

هدف از نگارش کتاب حاضر، مروری بر رفتار گازهای رقیق شده از دیدگاه مولکولی و تدوین تئوری‌های تحلیل عددی گازهای رقیق است. در دینامیک گازهای کلاسیک، گاز به صورت یک توده محیط پیوسته در نظر گرفته می‌شود که خواص ماکروسکوپیک آن به صورت تابعی از مکان و زمان قابل تعریف است و معادلات پیوسته‌ای بر آن حاکم است. ولی اگر همین گاز را در محیط رقیق شده مانند ارتفاعات بالای جو و یا در یک مجرای بسیار کوچک مانند میکروکانال در نظر بگیریم، فرضیه پیوسته بودن سیال از نظر فیزیکی نتایج نادرستی به دست می‌دهد. به عبارتی در این شرایط رفتارهای مولکولی گاز بر پارامترهای ماکروسکوپیک که براساس فرض محیط پیوسته تعریف می‌شوند، حاکم است و پدیده‌هایی که در شرایط متداول می‌بینیم الزاماً مشاهده نمی‌شوند. درک دقیق رفتارهایی مانند لغزش سرعت روی دیواره یک میکروکانال نیازمند داشتن آگاهی کلیدی از دینامیک گاز مولکولی است.

در سطح بین‌المللی، کتاب‌های متعددی در زمینه دینامیک گاز مولکولی منتشر شده‌اند که از معروف‌ترین آن‌ها کتاب دینامیک گاز مولکولی و روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو تألیف گرام برد^۱ و کتاب دینامیک گاز مولکولی تألیف یوشیو سونه^۲ است. اغلب کتاب‌های مذکور و از جمله کتاب برد نسبتاً طولانی و با ریاضیات پیچیده تألیف شده‌اند و استخراج نکات کلیدی دینامیک گاز رقیق از آن‌ها نیازمند صرف زمان و بررسی دقیق و نسبتاً طولانی می‌باشد. متأسفانه تاکنون هیچ کتابی در این شاخه به زبان فارسی منتشر نشده است و خلأ وجود یک مرجع خلاصه و روان در این زمینه برای محققان فارسی‌زبان احساس می‌شد. بنابراین کتاب حاضر به عنوان اولین کتاب به زبان فارسی در مبحث دینامیک گاز مولکولی راهگشای محققان و دانشجویانی است که در این زمینه تحقیقاتی ورود پیدا کرده‌اند. این کتاب به طور خلاصه و مفهومی به بررسی اصول و مقدمات دینامیک گاز مولکولی و مهم‌ترین روش تحلیل آن، یعنی روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو (DSMC)، می‌پردازد. کتاب حاضر در سه فصل تدوین شده است و سعی شده تا مباحث بنیادین موضوع در آن لحاظ شود. فصل اول کتاب به بررسی مفاهیم پایه، تعاریف، مدل‌های نیروهای بین مولکولی، تئوری جنبشی، برخورد دوتایی ذرات صلب، فرکانس برخورد و در نهایت استخراج لزجت گاز از دیدگاه مولکولی می‌پردازد. فصل دوم کتاب بر استخراج معادله بولتزمن تمرکز دارد. پس از استخراج این معادله، با میان‌گیری از آن تنش و انتقال

حرارت از مرتبه‌های دقت مختلف بر حسب عدد نودسن قابل استخراج است. فصل سوم کتاب یک فصل کاربردی است که به توصیف کامل روش شبیه‌سازی مستقیم مونت کارلو (DSMC) و طرح‌های نوین برخوردی آن می‌پردازد. این فصل شامل الگوریتم‌ها و کدهای مرجع برای این طرح‌های نوین نیز می‌باشد. به صورت خلاصه کتاب حاضر برای تدریس در دروس دینامیک گاز ۲، دینامیک گاز رقیق شده و حتی بخش‌هایی از آن برای تدریس در درس مکانیک سیالات در ابعاد میکرو و نانو قابل استفاده است. تمرین‌های مناسبی نیز در انتهای هر فصل آورده شده است که در تعمیق یادگیری دانشجو مؤثر است.

در پایان، نویسنده از تمامی دانشجویان درس دینامیک گازهای مولکولی و دینامیک گازهای ۲ که در تهیه این کتاب، اعم از تایپ و تدوین فصول تا اشکال‌یابی، تهیه شکل‌ها و روان کردن متن در طی چند سال گذشته زحمات بسیاری را متحمل شدند، سپاسگزاری می‌کند. به صورت خاص از آقایان مهندس علی لطفیان، سپهر رفیعی نسب، سید علی علوی، وحید شهابی و رضا عرب پور به خاطر سهم شایسته‌ای که در تدوین این کتاب بر عهده داشتند، تقدیر و سپاسگزاری می‌شود. بدون شک، تدوین این کتاب بدون زحمات این عزیزان و دیگر دانشجویان این جانب میسر نبود. نویسنده همچنین مراتب سپاس فراوان خود را به جناب آقای دکتر محمدرضا مدرس رضوی، استاد پیشکسوت گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، تقدیم می‌کند که ویراستاری علمی کتاب را بر عهده گرفتند و با صرف وقت فراوان و دقت شایسته، پیش نویس کتاب را مطالعه کردند و در بهبود متن نهایی کتاب، سهم قابل توجهی داشتند. در نهایت از تمامی خوانندگان عزیز درخواست می‌کنم هر گونه اشکال یا پیشنهاد برای بهبود کار را از طریق ایمیل e.roohi@um.ac.ir به نویسنده اطلاع دهند.

احسان روحی گل خطمی

استاد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

پاییز ۱۴۰۰