

روش

ایس بولتزمن

مؤلف: عبدالمجید محمد

مترجمان:

دکتر محمدرضا شاه نظری

(دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

مهندس فاطمه نیکان



شماره ۴۲۸

سرشناسه: محمد، عبدالمجید. Mohamad, Abdulmajeed A

عنوان و نام پدیدآور: روش لتیس بولتزمن / مولف عبدالمجید محمد؛ مترجمان محمدرضا شاهنظری، فاطمه نیکان.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۵.

مشخصات ظاهری: ۲۰۳ ص.، ۲۹×۲۲ س.م.

شابک: 978-600-7867-42-6

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: عنوان اصلی: Lattice Boltzmann method : Fundamentals and Engineering Applications With Computer Codes, c2011.

یادداشت: کتاب حاضر اولین بار در سال ۱۳۹۳ تحت عنوان «حل مسایل دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از روش لاتیبولتزمن» با ترجمه محمدمهدی کشتکار توسط دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، مرکز انتشارات علمی منتشر شده است.

یادداشت: کتاب: ۱۹۱ - ۱۹۳.

عنوان دیگر: حل مسایل دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از روش لاتیبولتزمن.

موضوع: سیالات -- مکانیک -- الی -- ریاضی

موضوع: Fluid Mechanics -- Mathematical Models

موضوع: مکانیک عملی -- الی -- الی -- الی

موضوع: Mechanics, Applied -- Mathematical Models

شناسه افزوده: شاهنظری، محمدرضا، ۱۳۴۵ - . ترجمه

شناسه افزوده: نیکان، فاطمه، ۱۳۶۸ - مترجم

رده بندی کنگره: ۱۳۹۵ ح ۲۶ م ۷/۳۸۵۷ TA

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۱۰۶

شماره کتابشناسی ملی: ۴۶۳۲۹۹۸

www.press.kntu.ac.ir

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: روش لتیس بولتزمن

تألیف: عبدالمجید محمد

مترجمان: دکتر محمدرضا شاهنظری، مهندس فاطمه نیکان

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: اسفند ۱۳۹۵، تهران

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۸۶۷-۴۲-۶

چاپ: کیمیا

صحافی: گرنامی

ویراستار: گروه ویراستاری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بها: ۱۵۰۰۰ تومان

(تمام حقوق برای ناشر محفوظ است)

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - پلاک ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش آنلاین): www.press.kntu.ac.ir

فهرست

فصل اول - مقدمه و سینتیک ذرات	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱) نظریه جنبشی	۴
۱-۲-۱) دینامیک ذرات	۴
۲-۲-۱) دما و فشار	۵
۳-۲-۱) تابع توزیع	۸
۴-۲-۱) بوزن بولتزمن	۱۴
فصل دوم - معادله بولتزمن	۱۷
۱-۲) معادله انتقالی بولتزمن	۱۷
۲-۲) رویکرد BGKW	۲۱
۳-۲) آرایش لیتس	۲۲
۱-۳-۲) مسائل یکبعدی	۲۲
۲-۳-۲) مسائل دوبعدی	۲۴
۴-۲) تابع توزیع تعادلی	۲۷
فصل سوم - الگوسازی معادلات نفوذ	۲۹
۱-۳) معادلات نفوذ	۲۹
۲-۳) رویکرد تفاضل محدود	۳۱
۳-۳) روش لیتس-بولتزمن	۳۳
۴-۳) تابع توزیع تعادلی	۳۶
۵-۳) بسط چپمن-انسکگ	۳۷
۱-۵-۳) بی-بعدسازی	۴۱
۲-۵-۳) نفوذ حرارت در یک صفحه نامتناهی تحت یک دمای ثابت	۴۳

۴۴.....	۳-۵-۳) شرایط مرزی
۴۷.....	۳-۶) جمله چاه یا چشمه
۴۸.....	۳-۷) انتشار تقارن محوری
۴۹.....	۳-۸) معادله نفوذ دوبعدی
۵۰.....	۳-۸-۱) الگوی $D2Q4$
۵۱.....	۳-۸-۲) الگوی $D2Q5$
۵۱.....	۳-۹) شرایط مرزی
۵۱.....	۳-۹-۱) مقادیر داده شده در مرز مشخص
۵۲.....	۳-۹-۲) شرایط مرزی آدیاباتیک
۵۲.....	۳-۳) شرط مرزی شار ثابت
۵۳.....	۳-۱۰) نفوذ حرارتی دوبعدی در صفحه
۵۳.....	۳-۱۰-۱) الگوی $2Q1$
۵۷.....	۳-۱۰-۲) شرایط مرزی
۵۷.....	۳-۱۰-۳) شرایط مرزی شار ثابت
۵۷.....	۳-۱۱) مسائل
۶۱.....	فصل چهارم - شبیه سازی معادلات جابه جایی
۶۱.....	۴-۱) جابه جایی
۶۲.....	۴-۲) معادله جابه جایی - نفوذ
۶۳.....	۴-۲-۱) روش تفاضل محدود
۶۴.....	۴-۲-۲) لیس بولتزمن
۶۶.....	۴-۳) تابع توزیع تعادلی
۶۸.....	۴-۴) بسط چپمن - انسکگ
۷۴.....	۴-۴-۱) مسائل جابه جایی - نفوذ دوبعدی
۷۵.....	۴-۵) روش لیس بولتزمن دوبعدی

۷۵.....	۴-۵-۱) الگوی $D2Q4$
۷۷.....	۴-۵-۲) الگوی $D2Q9$
۸۰.....	۴-۶) مسائل.....
۸۰.....	۴-۶-۱) احتراق در لایه متخلخل.....
۸۱.....	۴-۶-۲) خنک‌سازی صفحه گرم.....
۸۲.....	۴-۶-۳) معادلات جفت شده با جمله منبع.....
۸۳.....	فصل پنجم- جریان سیال تراکم‌ناپذیر هم‌دما.....
۸۳.....	۵-۱) معادل ناویر-استوکس.....
۸۵.....	۵-۲) لئیس بولتزمن.....
۸۵.....	۵-۲-۱) رویکرد PCG
۹۰.....	۵-۳) شرایط مرزی.....
۹۰.....	۵-۳-۱) جهش به عقب.....
۹۳.....	۵-۳-۲) جهش به عقب با سرعت‌های معلوم.....
۹۸.....	۵-۳-۳) شرایط مرزی باز.....
۹۹.....	۵-۳-۴) شرط مرزی پریودیک.....
۹۹.....	۵-۳-۵) شرط تقارنی.....
۱۰۰.....	۵-۴) کدنویسی.....
۱۰۱.....	۵-۵) مثال‌ها.....
۱۰۱.....	۵-۵-۱) حفره با دیواره بالائی متحرک.....
۱۰۲.....	۵-۵-۲) جریان در حال توسعه در یک کانال دو بعدی.....
۱۰۵.....	۵-۵-۳) جریان حول موانع.....
۱۱۱.....	فصل ششم- جریان سیال تراکم‌ناپذیر غیر هم‌دما.....
۱۱۱.....	۶-۱) معادلات ناویر-استوکس و انرژی.....
۱۱۲.....	۶-۲) جابه‌جایی اجباری الگوی $D2Q9$
۱۱۳.....	۶-۳) حفره تحت انتقال حرارت.....

۴-۶	جابه‌جایی اجباری در یک کانال تحت انتقال حرارت	۱۱۴
۵-۶	انتقال حرارت مختلط	۱۱۶
۶-۶	جابه‌جایی طبیعی	۱۱۷
۱-۶-۶	جابه‌جایی آزاد در حفره با گرادیان دمایی	۱۱۹
۷-۶	جریان و انتقال حرارت در محیط متخلخل	۱۲۱
فصل هفتم - روش‌های چندآسایشی		
۱-۶-۶	روش چندآسایشی (MRT)	۱۲۳
فصل ۸ - جریان‌های پیچیده		
		۱۲۹
پیوست الف		
		۱۳۱

پیشگفتار نویسنده

روش‌های محاسباتی به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تحقیق و بررسی پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی و تحلیل مسائل مهندسی شناخته شده است. روش المان محدود برای نخستین بار به‌منظور حل مسائل سازه توسط تیئور در ۱۹۵۶م. مورد استفاده قرار گرفت.

در اواخر دهه ۶۰ میلادی روش یاد شده به‌عنوان روشی مقتدر در حل مسائل مشتق جزئی شناخته شد، همچنین در همان زمان، روش تفاضل محدود برای تحلیل مسائل مکانیک سیالات مورد استفاده قرار گرفت. در ۱۹۸۰م. روش حجم محدود در امپریال کالج لندن، به همین منظور، توسعه و ارائه شد. از آن زمان روش FVM به‌طور گسترده برای حل مسائل پدیده انتقال مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در واقع روش‌های مورد اشاره یک خانواده از روش‌های باقی‌مانده وزنی تعلق دارند و تنها تفاوت آن‌ها مربوط به طبیعت و توابع وزنی آن می‌باشد. در ۱۹۸۸م. «روش لئیس بولتزمن» توسط مک نامارا و زانتی برای رفع نقصان‌های روش لئیس گر معرفی شد. از آن به بعد که این روش به‌عنوان الگوی جانشین ارزشمند برای حل مسائل دینامیک سیالات معرفی گردید، در روش‌های دینامیک محاسباتی سنتی معادلات ناویر-استوکس، معادلات پایستگی جرم، اندازه حرکت و انرژی را در نقاط گسسته به تحلیل می‌پردازد. به بیان دیگر، معادلات مشتق جزئی غیرخطی تبدیل به مجموعه‌ای از معادلات جبری شده که به‌صورت متوالی مورد حل قرار می‌گیرند. در روش LBM سیال با ذرات منقطع جایگزین می‌گردد. این جریان ذرات مشخص‌کننده جهت (لئیس) بوده و در نقاط اتصال برخورد می‌نمایند. روش LBM را می‌توان «روش صریح» نام برد. این فرایندهای جریان و برخورد به‌صورت محلی می‌باشند. از این‌رو دارای قابلیت برنامه‌نویسی در ماشین‌های پردازش به‌طور موازی هستند. روشی دیگر روش مذکور در مواجهه با پدیده‌های پیچیده نظیر مرز متحرک (مسائل چندفاز، انجماد و ذوب) جهت است.

چندین سال پیش، من بعد از سال‌ها تجربه در روش‌های تفاضل محدود و حجم محدود به فراگیری روش لئیس بولتزمن پرداختم. به‌عنوان یک مهندس با پیش‌زمینه مکانیک، نظریه سینتیک ذرات، نواقصی در تشریح رویکرد مورد استفاده در تئوری جنبشی برایم پدیدار شد. به هر طریق، زیبایی نهفته در سادگی روش یاد شده برایم جذاب می‌نمود. می‌توانستم آینده آن را در مواجهه با جریان‌های چندمؤلفه و چندفاز روشن ببینم. سهولت لحاظ کردن ترمودینامیک توسط روش لئیس بولتزمن بر خلاف روش‌های متداول دینامیک سیالات قابل توجه بود. زمان‌برترین فرایند در حل جریان‌های تراکم‌ناپذیر، مواجهه با جمله فشار است. در هر مرحله معادله لاپلاس برای ارضای شرط پیوستگی باید حل گردد. این فرایند به‌خصوص برای مسائل گذرا نیازمند امکانات پردازشی قابل توجه است. در روش لئیس بولتزمن نیازی به این پروسه نبوده، که روش گفته شده به طبع روشی صریح است.

نیاز به کتابی به این عنوان برای مهندسين و کسانی که خواستار استفاده از روش یاد شده‌اند و پیش‌زمینه اندکی از فیزیک و ریاضیات دارند، وجود دارد. این کتاب برای پژوهشگران

جهت به کارگیری روش لیتیس بولتزمن در شبیه سازی معادلات انتقال جرم، حرارت و اندازه حرکت منظور گردیده است. سعی بر اجتناب از تئوری و ریاضیات پیچیده تا حد امکان بوده است. بدین منظور با استفاده از علائم و اختصارات مرسوم، برخلاف آنچه در گذشته بوده برای جلوگیری از گمراهی خواننده گام برداشتم. این کتاب در ابتدا با مسائل ساده تک بعدی با تشریح گام به گام، به منظور شفاف سازی مسیر پیش رو و افزایش فهم از مسائل پیچیده تر آغاز می شود.

من بر این باورم که مواجهه با مسائل به صورت کاربردی به درک بهتر موضوع کمک می نماید. دانشجویان مهندسی و برخی از علوم نسبت به مکانیک آماری و تئوری جنبشی آمادگی مطلوبی ندارند. این کتاب سعی در معرفی بنیان تئوری جنبشی و روش های آماری پیش از معرفی روش لیتیس بولتزمن دارد که نوعی شاکله بسیاری از تحلیل های میکروسکوپی و مولکولی انتقال است. رویکردی تدریجی در این کتاب، نیاز خواننده از جست و جو در منابع مختلف را به حداقل می رساند اگرچه فهرستی از منابع مطالعاتی به منظور کنکاش عمیق تر بحث پیشنهاد می گردد. کتاب پیش رو شامل تعریف روش LBM با تأکید بر کاربرد آن و تعدادی مثال جامع و کد برنامه نویسی مربوطه می باشد. خواننده باید توانایی دستیابی به نتایج ارائه شده در کتاب را داشته باشد. این کتاب می تواند به عنوان کتاب مرجع به همراه مسائل مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. گمان می کنم آن طور که موارد در این کتاب معرفی گردیده اند، اطمینان به نفس خواننده را در یادگیری موضوع افزایش می دهد. در برخی از موارد، روش تفاضل محدود به دو منظور به طور موازی معرفی گردیده است. اول به منظور تبیین تفاوت ها و شباهت ها و دوم قیاس نتایج به دست آمده از دو روش. روش تفاضل محدود به دلیل مبنای بسط تیلور به آسانی قابل درک است.

کدهای برنامه نویسی کامل به همراه مثال مربوطه بیان شده اند. کدها به زبان Fortran نوشته شده اند که قابلیت تبدیل به هر زبان برنامه نویسی را دارند.

در فصل اول مقدمه ای بر تئوری سینتیک به منظور آشنایی خواننده با مقوله مورد نظر بیان گردیده است. فصل دوم مبنای معادله بولتزمن بوده و فصل سوم با معادلات نفوذ حرارت، جرم و اندازه حرکت سر و کار دارد. فصل چهارم دربرگیرنده معادلات جابه جایی نفوذ در حضور یا غیاب جمله منبع و فصل پنجم به تشریح مسائل جریان ایزوترمال سیال (بدون انتقال جرم و حرارت) پرداخته و فصل ششم تکمیلی بر فصل پیش است؛ جایی که جریان هم دما در مواجهه با جابه جایی آزاد یا اجباری قرار دارد. فصل هفتم به معرفی روش های چندآسایشه می پردازد و فصل هشتم حاوی کلیاتی از روش موجود برای شرایط جریان پیچیده و مراجعی که با هر موضوع مرتبط اند نظیر: جریان در محیط متخلخل، جریان های عکس العملی، احتراق، تغییر فاز و ... را عنوان می دارد.