

۲۰۲۴۲۳۶



تاریخ روش مونت کارلو در محاسبات هسته‌ای

مؤلفین: ناصر وثوقی، استاد دانشگاه صنعتی شریف
هادی شهابی‌نژاد، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف
فرشته ساحلی، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف

سرشناسه	: وثوقی، ناصر، ۱۳۵۱-
عنوان و نام پدیدآور	: کاربرد روش مونت کارلو در محاسبات هسته‌ای / مولفین ناصر وثوقی، هادی شهبابی‌نژاد، فرشته ساحلی.
مشخصات نشر	: تهران: صانعی شه‌میرزادی، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۲ ص.: مصور، جدول.
شابک	: 9786007614341
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: روش مونت کارلو
موضوع	: Monte Carlo method
موضوع	: روش مونت کارلو -- داده‌پردازی
موضوع	: Monte Carlo method -- Data processing
موضوع	: ذره‌های بنیادی -- داده‌پردازی
موضوع	: Particles (Nuclear physics) -- Data processing
موضوع	: ذره‌های بنیادی -- الگوهای ریاضی
موضوع	: Particles (Nuclear physics) -- Mathematical models
شماره افزودنی	: شهبابی‌نژاد، هادی، ۱۳۶۷ -
شناسه زوده	: ساحلی، فرشته، ۱۳۶۸ -
رده‌بندی بری	: ۱۳۹۸ و ۲/۵۸۲۹۸ QA
رده‌بندی دیویی	: ۵۱۹/۲۸۲
شماره کتابشناسی	: ۵۶۰۰۹۳



کاربرد روش مونت کارلو در محاسبات هسته‌ای

ناشر: انتشارات صانعی شه‌میرزادی

مولفین: ناصر وثوقی، استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، هادی

شهبابی‌نژاد، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فرشته ساحلی، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ناظر فنی و مدیر اجرایی: محسن صانعی

چاپ اول ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۴۰۰۰۰ تومان

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

آدرس فروشگاه: تهران، خیابان انقلاب، بین ۱۲ فروردین و

اردیبهشت، فروشگاه انتشارات صانعی، پلاک ۱۳۱۲

تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴، ۶۶۴۰۵۳۸۵ فکس: ۶۶۴۶۲۱۷۷

آدرس دفتر: تهران، خیابان انقلاب، مابین خیابان ۱۲ فروردین و

خیابان منیرجی‌جاوید، کتابسرای اندیشه، طبقه اول، واحد A5

تلفن: ۶۶۴۸۱۸۲۲

پیشگفتار

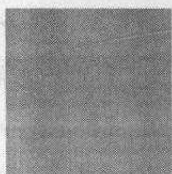
روش مونت کارلو در حوزه‌های علوم پایه و مهندسی، پنجره‌ی محاسباتی جدیدی در کنار روش‌های قطعی گشوده است. شبیه‌سازی مونت کارلو یک روش محاسباتی است که امکان تجزیه و تحلیل کمی و تصمیم‌گیری در شرایط مختلف را فراهم می‌کند. این روش توسط متخصصان در زمینه‌های بسیار متنوع مانند امور مالی، مدیریت پروژه، انرژی، تولید، مهندسی، تحقیق و توسعه، بیمه، نفت و گاز، حمل و نقل، محیط زیست و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از پتانسیل‌های روش مونت کارلو، بکارگیری این روش در محاسبات هسته‌ای است که در کدهای تخصصی نظیر Penelope, Geant4, MCNP و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. تجربه سال‌ها تدریس و تحقیق، با زوردهای دانشجویی و صنعتی، تجربه برگزاری کارگاه‌های آموزشی در این حوزه و انجام پروژه‌های تحقیقاتی در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری در رشته‌ی مهندسی هسته‌ای در دانشکده مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف، انگیزه نگارش کتاب حاضر می‌باشد. هدف اصلی این کتاب ارائه تئوری‌های بکارگرفته شده در کدهای تخصصی مبتنی بر روش مونت کارلو می‌باشد تا امکان استفاده‌ی آگاهانه از این کدها و ورود به حوزه‌ی توسعه و تکمیل آنها در کشور فراهم آید. این کتاب در ۸ فصل تدوین گردیده که ۴ فصل اول آن می‌تواند راه‌کننده علاقه‌مندان به آشنایی با مباحث مونت کارلو (فارغ از رشته تحصیلی) مورد استفاده قرار گیرد. به طوری که فصل اول تا چهارم شامل مقدمه، متغیرهای تصادفی و تخمین خطا، مولدهای اعداد تصادفی و نمونه‌برداری و مونت کارلو در ریاضیات است. سه فصل بعدی کتاب که مخاطب خاص آن دانشجویان رشته فیزیک، فیزیک پزشکی و مهندسی هسته‌ای می‌باشند شامل ترابرد فوتون، ترابرد نوترون و ترابرد ذرات باردار به روش مونت کارلو است. همچنین در فصل هشتم به روش‌های کاهش واریانس در ترابرد ذرات پرداخته شده است.

علی‌رغم آن که تلاش شده است مجموعه‌ی حاضر دارای کمترین خطا باشد اما ارائه نقطه نظرات ارزنده از طرف خوانندگان محترم ما را در افزایش کیفیت مطالب ارائه شده در ویرایش‌های بعدی یاری خواهد نمود.

دکتر ناصر وثوقی

nvosoughi@sharif.edu

زمستان ۱۳۹۷



فهرست

فصل اول

مقدمه ۱۱

۱-۱ مقدمه‌ای بر روش سرنیت کارلو ۱۲

۲-۱ ویژگی‌های روش مونت کارلو ۱۴

۳-۱ تاریخچه‌ی روش مونت کارلو ۱۵

۴-۱ مروری بر کتاب ۱۶

فصل دوم

متغیرهای تصادفی و تخمین خطا ۱۹

۱-۲ متغیرهای تصادفی ۲۰

۲-۲ میانگین و واریانس متغیرهای تصادفی ۲۱

۱-۲-۲ متغیر تصادفی پیوسته ۲۱

۱-۱-۲-۲ میانگین و واریانس کل جامعه‌ی آماری ۲۱

۲-۱-۲-۲ میانگین و واریانس یک نمونه از جامعه‌ی آماری ۲۲

۲-۲-۲ متغیر تصادفی گسسته ۲۳

۳-۲-۲ برخی ویژگی‌های میانگین و واریانس ۲۳

۳-۲ نمونه‌هایی از توابع توزیع احتمال یک متغیره ۲۴

۱-۳-۲ توابع توزیع گسسته ۲۴

۱-۱-۳-۲ فرآیند برنولی ۲۴

- ۲-۱-۳-۲ توزیع دوجمله‌ای ۲۴
- ۳-۱-۳-۲ توزیع هندسی ۲۵
- ۴-۱-۳-۲ توزیع پواسون ۲۶
- ۲-۳-۲ توابع توزیع پیوسته ۲۷
- ۱-۲-۳-۲ تابع توزیع احتمال یکنواخت ۲۷
- ۲-۲-۳-۲ تابع توزیع احتمال نمایی ۲۸
- ۳-۲-۳-۲ تابع توزیع احتمال گوسی یا نرمال ۲۹
- ۴-۲-۳-۲ تابع توزیع احتمال کوشی یا لورنتس ۳۱
- ۴-۱-۳-۲ توابع توزیع احتمال چند متغیره ۳۳
- ۱-۴-۲ میانگین و واریانس در توابع توزیع چند متغیره ۳۴
- ۵-۲ توزیع یانگ نمونه ۳۵
- ۶-۲ صحت ردیف ۳۶
- ۷-۲ آزمون‌های آماری برای ارزیابی نتایج ۳۷
- ۱-۷-۲ خطای نسبی و نسبت شایستگی ۳۷
- ۲-۷-۲ واریانس واریانس ۳۸
- مسائل ۴۰

فصل سوم مولدهای اعداد تصادفی و نمونه برداری

- ۱-۳ مقدمه ۴۲
- ۲-۳ روش‌های تولید اعداد تصادفی ۴۲
- ۱-۲-۳ روش‌های واقعی ۴۲
- ۲-۲-۳ روش‌های شبه تصادفی ۴۳
- ۳-۳ معیارهای انتخاب روش تولید اعداد تصادفی ۴۳
- ۴-۳ مولدهای اعداد شبه تصادفی ۴۵
- ۱-۴-۳ مولد میان-مربعی ۴۵
- ۲-۴-۳ مولد میان-ضربی ۴۶
- ۳-۴-۳ مولد مضرب ثابت ۴۷
- ۴-۴-۳ مولد همبستگی جمعی ۴۷
- ۵-۴-۳ مولد همبستگی خطی ۴۸

- ۳-۴-۶ مولد همبستگی غیرخطی ۵۳
- ۳-۵ آزمون‌های بررسی تصادفی بودن اعداد ۵۳
- ۳-۵-۱ آزمون مربع خی (χ^2) ۵۳
- ۳-۵-۲ آزمون مونت ۵۵
- ۳-۵-۳ آزمون ترتیبی از طریق ترسیم ۵۵
- ۳-۶ نمونه‌برداری ۵۸
- ۳-۶-۱ نمونه‌برداری از متغیرهای تصادفی گسسته ۵۸
- ۳-۶-۲ نمونه‌برداری از متغیرهای تصادفی پیوسته ۶۰
- ۳-۶-۱-۲ روش کلاه قرعه‌کشی ۶۰
- ۳-۶-۲-۲ روش مستقیم ۶۱
- ۳-۶-۲-۳ روش طرد ۶۵
- ۳-۶-۲-۴ روش ترکیبی ۶۷
- ۳-۶-۲-۵ روش تجزیه ۷۰
- ۳-۶-۳ نمونه‌برداری از براع توزیع چند متغیره ۷۳
- مسائل ۷۴
- فصل چهارم مونت کارلو در ریاضیات ۷۷
- ۴-۱ سوزن بوفون و محاسبه‌ی عددی π ۸۱
- ۴-۲ انتگرال‌گیری به کمک روش مونت کارلو ۸۱
- ۴-۲-۱ روش برخورد یا عدم برخورد ۸۲
- ۴-۲-۲ روش میانگین نمونه ۸۴
- ۴-۲-۳ انتگرال‌های چندگانه ۸۷
- ۴-۳ حل دستگاه معادلات خطی ۸۹
- ۴-۴ دستگاه معادلات دیفرانسیل خطی ۹۲
- ۴-۴-۱ مقدمه ۹۲
- ۴-۴-۲ معادله‌ی لاپلاس ۹۳
- ۴-۴-۳ معادله‌ی پواسن ۹۷
- ۴-۴-۴ معادله‌ی هلمهولتز ۱۰۱
- مسائل ۱۰۶

فصل پنجم ترابرد فوتون با روش مونت کارلو ۱۰۹

۱-۵ مقدمه ۱۱۰

۲-۵ نمونه‌برداری از انرژی فوتون گسیل شده از چشمه در هر واپاشی ۱۱۰

۳-۵ نمونه‌برداری از محل انتشار گاماهاى چشمه ۱۱۲

۴-۵ نمونه‌برداری از جهت ذره‌ی تابیده شده از چشمه ۱۱۳

۵-۵ ترابرد فوتون در یک محیط تا اولین برخورد ۱۱۵

۶-۵ نمونه‌برداری از ایزوتوپ و عنصر تحت برخورد با فوتون ۱۱۷

۵-۵ تعیین نوع برهمکنش ۱۱۸

۸-۵ تعیین جهت و انرژی ذرات پس از برخورد ۱۱۸

۸-۵ ابر فووالکتریک ۱۱۸

۸-۵ پراکندگی غیرهمدوس (کامپتون) ۱۲۲

۸-۵ تولید زوج الکترون-پوزیترون ۱۲۸

۸-۵ نمونه‌برداری از انرژی ۱-۳-۸-۵ ۱۲۸

۸-۵ نمونه‌برداری از زاویه ۲-۳-۸-۵ ۱۳۳

۸-۵ پراکندگی همدوس (رای) ۴-۸-۵ ۱۳۳

مسائل ۱۳۷

فصل ششم ترابرد نوترون با روش مونت کارلو ۱۲۰

۱-۶ مقدمه ۱۴۲

۲-۶ مفاهیم لازم برای ترابرد ذرات خنثی ۱۴۲

۱-۲-۶ چگالی ذرات ۱۴۲

۲-۲-۶ شار ۱۴۳

۳-۲-۶ شارش ۱۴۴

۱-۳-۲-۶ متوسط شارش روی سطح ۱۴۵

۲-۳-۲-۶ متوسط شارش در یک حجم ۱۴۶

۳-۳-۲-۶ متوسط شارش در یک نقطه (آشکارساز نقطه‌ای) ۱۴۹

۴-۲-۶ جریان ۱۵۱

۱-۴-۲-۶ متوسط جریان عبوری از یک سطح ۱۵۲

۳-۶ مراحل ترابرد نوترون در محیط شکافت‌ناپذیر ۱۵۲

۴-۶ مراحل ترابرد نوترون در محیط شکافت‌پذیر ۱۶۰

۱-۴-۶ مقدمه‌ای بر محاسبات تحلیلی حالت بحرانی ۱۶۰

۲-۴-۶ تخمین‌گرهای ضریب تکثیر ۱۶۲

۱-۲-۴-۶ تخمین‌گر برخوردی ۱۶۲

۲-۲-۴-۶ تخمین‌گر جذب ۱۶۳

۳-۲-۴-۶ تخمین‌گر طول مسیر ۱۶۳

۳-۴-۶ الگوریتم‌های حل مسئله‌ی مقدار ویژه ۱۶۳

۱-۳-۴-۶ الگوریتم تکرار چشمه ۱۶۳

۲-۳-۱-۶ ماتریس شکافت ۱۶۵

مسائل ۱۶۹

فصل هفتم ترابرد ذرات با روش مونت کارلو ۱۷۱

۱-۷ مقدمه ۱۷۱

۲-۷ فرآیند یونیزاسیون ۱۷۴

۱-۲-۷ افت پیوسته انرژی فرآیند یونیزاسیون ۱۷۴

۲-۲-۷ سطح مقطع کل تولید تابش دلتا و طول پویش آزاد میانگین ۱۷۷

۳-۲-۷ شبیه‌سازی تولید تابش دلتا به روش مونت کارلو ۱۷۸

۱-۳-۲-۷ نمونه‌برداری انرژی ۱۷۹

۳-۷ فرآیند تابش ترمزی ۱۷۹

۱-۳-۷ انتقال انرژی پیوسته ناشی از تابش ترمزی ۱۸۰

۲-۳-۷ سطح مقطع دیفرانسیلی تولید فوتون‌های ترمزی ۱۸۰

۱-۲-۳-۷ مدل فوتون ترمزی سلتزر-برگر ۱۸۱

۲-۲-۳-۷ مدل فوتون ترمزی به-هیتر ۱۸۳

۳-۳-۷ نمونه‌برداری از انرژی فوتون ترمزی ۱۸۶

۴-۳-۷ نمونه‌برداری از زاویه گسیل فوتون ترمزی ۱۸۶

۵-۳-۷ پراکندگی الاستیک الکترون از هسته ۱۸۷

مسائل ۱۹۳

فصل هشتم روش‌های کاهش واریانس در ترابرد ذرات ۱۹۵

۱-۸ مقدمه ۱۹۶

- ۲-۸ تابع اهمیت در ترابرد قطعی ذرات ۱۹۷
- ۳-۸ روش‌های کاهش واریانس ۲۰۱
- ۱-۳-۸ روش‌های مبتنی بر بایاس ۲۰۱
- ۱-۱-۳-۸ روش جذب ضمنی ۲۰۲
- ۲-۱-۳-۸ رولت روسی ۲۰۲
- ۳-۱-۳-۸ جذب ضمنی در طول مسیر ۲۰۳
- ۴-۱-۳-۸ تبدیل نمایی ۲۰۴
- ۵-۱-۳-۸ روش برخورد‌های اجباری ۲۰۶
- ۲-۲-۱ روش‌های مبتنی بر قطع ۲۰۷
- ۱-۱-۳-۸ روش قطع زمان ۲۰۸
- ۲-۲-۳-۸ روش قطع انرژی ۲۰۸
- ۱-۲-۳-۸ روش قطع وزن ۲۰۸
- ۳-۳-۸ روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت ۲۰۹
- ۱-۳-۳-۸ روش تقسیم هندسه با رولت روسی ۲۰۹
- ۲-۳-۳-۸ روش تقسیم انرژی با رولت روسی ۲۱۱
- ۳-۳-۳-۸ روش تقسیم رویه با رولت روسی ۲۱۲
- ۴-۳-۳-۸ روش پنجره‌ی وزن ۲۱۲
- ۵-۳-۳-۸ نمونه‌برداری با اهمیت ۲۱۳
- ۴-۸ روش‌های کاهش واریانس برای متغیرهای غیر ولتزمان ۲۱۸
- ۱-۴-۸ روش واپیش ۲۲۰
- ۲-۴-۸ روش تک ذره منفرد تصحیح شده ۲۲۷
- ۳-۴-۸ روش رد بزرگ ۲۳۰
- ۲۳۲ مسائل

پیوست‌ها ۲۳۵

پیوست الف ۲۳۶

پیوست ب ۲۳۸

مراجع ۲۴۱