دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

محاسبه و مقایسه انرژی ناشی از تابش هادرون ها و فوتون ها

توسط:

محمد رضا سمیعی

استاد راهنما:

دکتر مهرداد قمی نژاد

مهرماه ۱۳۹۰

دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحت عنوان:

محاسبه و مقایسه انرژی ناشی از تابش هادرون ها و فوتون ها

ارائه شده توسط:

محمدرضا سمیعی

در تاریخ ۲۰ مهر ماه ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنما	دکتر مهرداد قمی نژاد
۲- استاد داور داخلی	دکتر حسین غفارنژاد
۳- استاد مدعو	دکتر نادر مرشدیان

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

همسر عزیزم

که بی حمایتش این مهم امکانپذیر نمی گشت.

هر آنکس ز دانش برد توشه ای

جهانیست بنشسته در گوشه ای

و اینک

بر خود لازم می دانم که از زحمات و راهنمایی های استاد گرانقدر جناب آقای **دکتر مهرداد قمی نژاد** که در طول مدت تحقیق، به خوبی از اینجانب حمایت کردند و افق های جدیدی را به رویم گشودند ،تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

استفاده واقعی از روش مونت کارلو به عنوان یک ابزار تحقیقاتی، به سال های پایانی جنگ جهانی دوم بر می گردد که در جریان ساخت بمب اتمی از آن استفاده کردند و از نمونه گیری های تصادفی برای این منظور بهره بردند. با پیشرفته‌تر شدن ابزارهای محاسباتی و ظهور کامپیوترهای پر-سرعت،استفاده از این روش در علوم مختلف به شدت گسترش یافت.

در این پایان نامه، ابتدا به معرفی و تاریخچه روش مونت کارلو پرداخته و سپس با استفاده از آن،انرژی ناشی از تابش هادرون ها و فوتون ها به بافت های ارگانیک، محاسبه و مقایسه گردیده و توزیع دوز ناشی از ذرات باردار با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو توسط کدهای HIGH ENERGY بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که با انتخاب دقیق انرژی برای هادرون مورد نظر می توان انرژی قابل توجهی به محل تومور وارد کرد. همچنین این نتایج بیانگر توانمندی کد های مونت کارلو در شبیه سازی و دوزیمتری بیم های پرانرژی است.

واژه های کلیدی: مونت کارلو، کدهای انرژی بالا،انرژی تابش هادرون ها

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مونت کارلو ۱

۱-۱-۱- اصطلاح مونت کارلو ۲

۱-۱-۲- زمینه های کاربرد مونت کارلو ۳

۱-۱-۳- روش مونت کارلو چیست؟ ۳

۱-۱-۴- مونت کارلو در علوم پایه ۵

۱-۱-۵- مونت کارلو در علوم تجربی و مهندسی ۷

۱-۱-۶- اولین استفاده از روش مونت کارلو ۹

۱-۱-۷- تخمین عدد π باروش مونت کارلو ۱۱

۱-۱-۸- محاسبه انتگرال با روش مونت کارلو ۱۲

۱-۱-۹- مونت کارلو و کدهای High Energy ۱۴

۱-۱-۱۰- تخمین دقت مونت کارلو ۱۸

۱-۲- سرطان و پرتودرمانی ۱۸

۱-۳- رادیوتراپی سنتی ۱۸

۱-۴- رادیوتراپی پیشرفته ۱۹

۱-۵- پروتون تراپی ۱۹

۱-۶- پایون تراپی ۲۰

۱-۷- چرا هادرون تراپی ۲۰

۱-۸- تاریخچه هادرون تراپی ۲۱

هدف از انجام تحقیق ۲۲

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

مروری بر تحقیقات پیشین ۲۳

فصل سوم: نظریه

۳-۱- برهم کنش ذرات باردار با ماده ۲۵
۳-۲- قله برگ ۲۹
۳-۳- قدرت توقف ۳۰
۳-۴- رابطه بین برد و انرژی ۳۶

فصل چهارم: مواد و روش ها

۴-۱- روش های مونت کارلواستفاده شده در مسئله ۳۷
۴-۲- کدهای انرژی های بالا ۳۷
۴-۳- کد MCNPX ۳۸
۴-۴- TMESH یا تالی مش ۳۸
۴-۵- پردازش نتایج مش تالی ۳۹
۴-۶- روش های کاهش واریانس مورد استفاده در برنامه ۳۹
۴-۶-۱- روش قطع ۴۰
۴-۶-۲- روش کنترل جمعیت ۴۰
۴-۶-۳- روش داده برداری اصلاح شده ۴۰
۴-۶-۴- روش نیمه قطعی ۴۰
۴-۷- کدFLUKA ۴۱
۴-۸- ثبت توزیع مکانی و رسم نمودار ۴۲
۴-۹- آزمایش تجربی ۴۲
۴-۹-۱- اطلاعات مربوط به چشمه ۴۳
۴-۹-۲- بیم قلمی ۴۳
۴-۹-۳- بیم گسترده ۴۳
۴-۹-۴- فانتوم ۴۳
۴-۹-۵- تالی ۴۴
۴-۱۰- شبیه سازی برای بیم پایونی ۴۵

فصل پنجم : نتایج

۵-۱- هندسه مسئله ۴۶
۵-۲- رسم منحنی های درصد دوزعمقی ۴۷
۵-۳- رسم نمودارهای پروفایل دوز جانبی ۵۲
۵-۴- رسم منحنی های هم دوز ۵۵
۵-۵- بررسی دوز های ثانویه ۵۸
۵-۶- محاسبات برای بیم پایونی ۶۰

فصل ششم: بحث در نتایج

۶-۱- بررسی منحنی های درصد دوز عمقی ۶۲
۶-۲- بحث و بررسی منحنی های هم دوز ۶۵
۶-۳- بررسی دوزهای ثانویه ۶۶
۶-۵- بحث و بررسی بیم پایونی ۶۷

۷- پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ۶۸

فهرست منابع و مآخذ ۶۹

پیوست ها

پیوست یک، برنامه شبیه سازی کد MCNPX ۷۱

پیوست دو، برنامه شبیه سازی کد FLUKA ۷۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ شبیه سازی از یک سالن موسیقی ۴
شکل ۱-۲ نقش مونت کارلو در علوم پایه ۵
شکل ۱-۳ آزمایش مکفرسون ۶
شکل ۱-۴ نمایی نزدیکتر از مسیر ذرات ۷
شکل ۱-۵ نقش مونت کارلو در علوم کاربردی ۷
شکل ۱-۶ مقایسه روش مونت کارلووتحلیلی ۸
شکل ۱-۷ شبیه سازی کامپیوتری از مساله سوزنهای بوفون ۱۰
شکل ۱-۸ تاریخچه تصادفی نوترون فرودی در لایه ماده قابل شکافت ۱۷
شکل ۳-۱ مدلی برای محاسبه انرژی از دست رفته یک ذره باردار ۲۷
شکل۳-۲ برخورد ذره باردار با الکترون ۲۸
شکل ۳-۳ انرژی از دست رفته بر حسب انرژی ذرات باردار ۲۹
شکل۳-۴ انرژی از دست رفته بر واحد حجم یون های هلیوم و نئون در آب ۲۹
شکل ۳-۵ قدرت توقف پروتون در آب ۳۵
شکل ۳-۶ قدرت توقف در آب برای ذرات باردار سنگین و الکترون ۳۵
شکل ۳-۷ برد بیم در ماده ۳۶
شکل ۳-۸ برد بر حسب انرژی جنبشی پروتون در هوای خشک ۳۶

شکل ۴-۱ نمایی از محیط آزمایشگاهی و هندسه مسئله ۴۳
شکل ۴-۲ فانتوم PMMA استفاده شده در آزمایش ۴۴

شکل ۵-۱ هندسه ترسیمی توسط کدهای FLUKA و MCNPX ۴۷
شکل ۵-۲ مقایسه نتایج درصد دوزعمقی بین شبیه سازی و نتایج تجربی ۴۸
شکل ۵-۳ تفاوت درصد دوز عمقی بین نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایش تجربی ۴۹
شکل ۵-۴ تفاوت مکانی بین نتایج شبیه سازی و نتایج تجربی ۴۹
شکل ۵-۵ مقایسه درصد دوزعمقی بین نتایج شبیه سازی و تجربی ۵۰

شکل ۵-۶ تفاوت نتایج در صد دوز بین نتایج شبیه سازی و تجربی ۵۰
شکل ۵-۷ تفاوت مکانی بین نتایج شبیه سازی و تجربی ۵۱
شکل ۵-۸ مقایسه نتایج درصد دوز عمقی پروتون بین نتایج شبیه سازی تجربی ۵۲
شکل ۵-۹ تفاوت نتایج دوز پروتون بین کدهای مورد استفاده با نتایج آزمایش تجربی ۵۲
شکل ۵-۱۰ مقایسه پروفایل دوز جانبی در راستای X برای بیم نقطه ای ۵۳
شکل ۵-۱۱ مقایسه پروفایل دوز جانبی در راستای Y برای بیم نقطه ای ۵۳
شکل ۵-۱۲ تفاوت بین نتایج شبیه سازی و تجربی پروفایل دوز جانبی در راستای X ۵۴
شکل ۵-۱۳ تفاوت بین نتایج شبیه سازی و تجربی برای پروفایل دوز جانبی در راستای Y ۵۴
شکل ۵-۱۴ توزیع دوز درون فانتوم در صفحه X-Z ۵۵
شکل ۵-۱۵ منحنی های ایزودوز درون فانتوم در صفحه X-Z ۵۶
شکل ۵-۱۶ توزیع دوز درون فانتوم در صفحه Y-Z ۵۶
شکل ۵-۱۷ منحنی های ایزودوز درون فانتوم در صفحه Y-Z ۵۷
شکل ۵-۱۸ نمای سه بعدی از توزیع دوز درون فانتوم ۵۷
شکل ۵-۱۹ نسبت دوز نوترون به پروتون در نقاط مختلف درون فانتوم ۵۸
شکل ۵-۲۰ توزیع دوز فوتون درون فانتوم در صفحه X-Z ۵۹
شکل ۵-۲۱ توزیع دوز فوتون درون فانتوم در صفحه Y-Z ۵۹
شکل ۵-۲۲ مقایسه درصد دوز نسبی بین بیم پروتون و پایون ۶۰
شکل ۵-۲۳ توزیع دوز پایونی در دو صفحه X-Z و Y-Z ۶۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ انرژی برانگیختگی میانگین ۳۲
جدول ۳-۲ اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه قدرت توقف ۳۳

جدول ۴-۱ تکنیک های کاهش واریانس درMCNPX ۴۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مونت کارلو[1]

[1] Monte Carlo

مونت کارلو نام منطقه یی مشهور در کشور خودمختار موناکو[1] واقع در اروپای غربی است. منطقه مونت کارلو ثروتمندترین منطقه از این کشور به حساب می آید. ریشه نام مونت کارلو از زبان ایتالیایی است و به اصلیت اسم شاهزاده کارلو سوم از موناکو برمی گردد که زیر نفوذ و حمایت دربار ایتالیا قرار داشت.

۱-۱-۱ اصطلاح مونت کارلو

اصطلاح مونت کارلو در سال ۱۹٤۰ توسط فیزیکدانانی که روی پروژه بمب اتمی در آزمایشگاه بین المللی لس آلاموس[2] کار می کردند، مطرح شد.

نام مونت کارلو توسط تحقیقات فیزیکدانانی چون انریکو فرمی[3] ، جان فون نیومن[4] و استندلی اولام شهرت فراوان یافت. این اسم برگرفته شده از نام یک کازینو در موناکو است. تصادفی بودن و تکرار طبیعی فرآیندها، مشابه فعالیت های انجام شده در کازینو است. در واقع روش مونت کارلو یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می کند [۲].

روش مونت کارلو معمولاً برای شبیه سازی سیستم های فیزیکی و ریاضیاتی استفاده می شود.
تفاوت اساسی که معمولاً درباره روش شبیه سازی مونت کارلو بیان می شود این است که به طور اصولی نوع روش شبیه سازی را وارون می کند و نظر مسائل را با یافتن مدل مشابه احتمالی به خود جذب می کند. روش های پیشین برای شبیه سازی و مدل سازی آماری عموماً عکس این کار را انجام می دادند یعنی استفاده از شبیه سازی برای امتحان کردن مسائل مشخص و قطعی.

مونت کارلو در زمانی مورد مطالعه و بررسی توسط دانشمندان قرار گرفت که کامپیوترهای الکترونیکی برای اولین بار پا به عرصه گذاشتند (از سال ۱۹٤۵ تا امروز)، در سال ۱۹۵۰ در لس آلاموس برای تحقیقات جدیدی که درباره بمب هیدروژنی آغاز شده بود، این روش مورد استفاده قرار گرفت و در رشته های فیزیک، شیمی و تحقیق در عملیات مشهور شد. شرکت رند و نیروی هوایی ایالات متحده امریکا دو سازمان مرتبط برای جمع آوری و ارسال اطلاعات درباره روش مونت کارلو در طول این زمان بوده است و کاربردهای گسترده این روش را یافته اند [۳].

[1] Monaco
[2] Los Alamos
[3] Enrico Fermi
[4] John Von Neumann

۱-۱-۲ زمینه های کاربرد مونت کارلو:

روش مونت کارلو در زمینه های متنوعی همچون ریاضیات، فیزیک محاسباتی، شیمی فیزیک و زمینه های مرتبط با آن ها، طراحی راکتورهای هسته ای، کرومودینامیک هسته ای (توصیف تولید کوارک ها – توصیف نیروی قوی هسته ای)، پرتودرمانی سرطان، مسئله ترافیک، فرضیه سیر تکاملی ستاره ها، اقتصاد سنجی[1] (استفاده از روش‌های اماری در بررسی مسائل اقتصادی برای تفسیر و پیش بینی یک پارامتر اقتصادی) ، طراحی VLSI[2] و اکتشاف چاه های نفت کاربرد فراوان دارد [۳۱].

شبیه سازی مونت کارلو در مطالعه سیستم هایی با درجه آزادی زوج، مانند مایعات، مواد متخلخل و...، کاربرد دارد. همچنین این روش به صورت وسیعی در مدل سازی پدیده هایی که با مقادیر قابل توجهی عدم اطمینان در ورودیها روبه رو هستند، مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال می توان به محاسبه ریسک در تجارت و بازار بورس اشاره کرد [۱].

مونت کارلو تاثیر بسزای خود را در حل معادله دیفرانسیل های زوج انتگرالی در زمینه تشعشع و انتقال انرژی ثابت کرده است.از رایج ترین کاربردهای روش مونت کارلو در ریاضیات، انتگرال گیری مونت کارلو است. این روش برای به دست آوردن جواب عددی انتگرالهایی که برای حل آن ها، می توان از تجزیه استفاده نمود، بسیار مفید است [۲].

۱-۱-۳ روش مونت کارلو چیست؟

مونت کارلو، در واقع یک نوع روش حل عددی است که می تواند در حل انواع گو ناگونی از مسائل علوم مختلف، کارآمد و مفید واقع شود. مونت کارلو بر اساس نمونه برداری تصادفی و شبیه سازی، بنا نهاده شده است. مثلا می توان با شبیه سازی فعل و انفعالات ریز مقیاس و جزئی سیستم، راه حل مناسبی برای سیستمهای بزرگ مقیاس یافت.

مکانیسم اجرای این روش، تعداد زیادی داده های حاصل از نمونه برداری و محاسبات تکراری را در بر خواهد داشت. این امر باعث می شود که کامپیوتر، نقش اساسی در پیاده سازی این روش بر عهده داشته باشد.

[1] Econometrics
[2] Very Large Scale of Integration

در بعضی موارد، فعل و انفعالات ریز مقیاس و روابط جزئی سیستم، به خوبی شناخته شده نیستند، حتی در این موارد نیز، مونت کارلو فرایندی را فراهم می کند که توصیف و توسعه روابط بزرگ مقیاس آسانتر شده و حل مناسبی برای مساله یافت شود. به عنوان مثال می توان به محاسبه مونت کارلو و شبیه سازی آن از فرم و الگوی نشستن اشخاص در یک سالن کنفرانس و یا موسیقی اشاره کرد [۱].

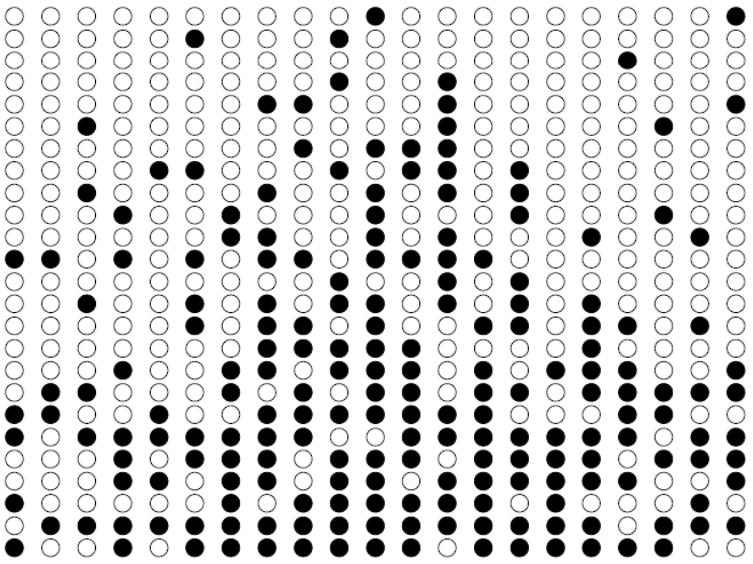
فرض کنید می خواهیم الگوی نشتن حضار در یک سالن موسیقی را به دست آوریم و با این محدودیت که هر فرد فقط می تواند یک صندلی را اشغال نماید. با توجه به اینکه ما از قصد تک تک افراد آگاه نیستیم می توان برای حل مساله فرضیاتی مطرح نمود از قبیل اینکه:

۱- بعضی از حضار به صورت زوج شرکت می کنند و دوست دارند دو صندلی کنار هم را اشغال نمایند.

۲- بعضی دوست دارند در ردیف جلو و نزدیک جایگاه قرار گیرند.

۳- بعضی دوست دارند در وسط سالن قرار گیرند به گونه ای که نمایی باز از جایگاه را داشته باشند و ...

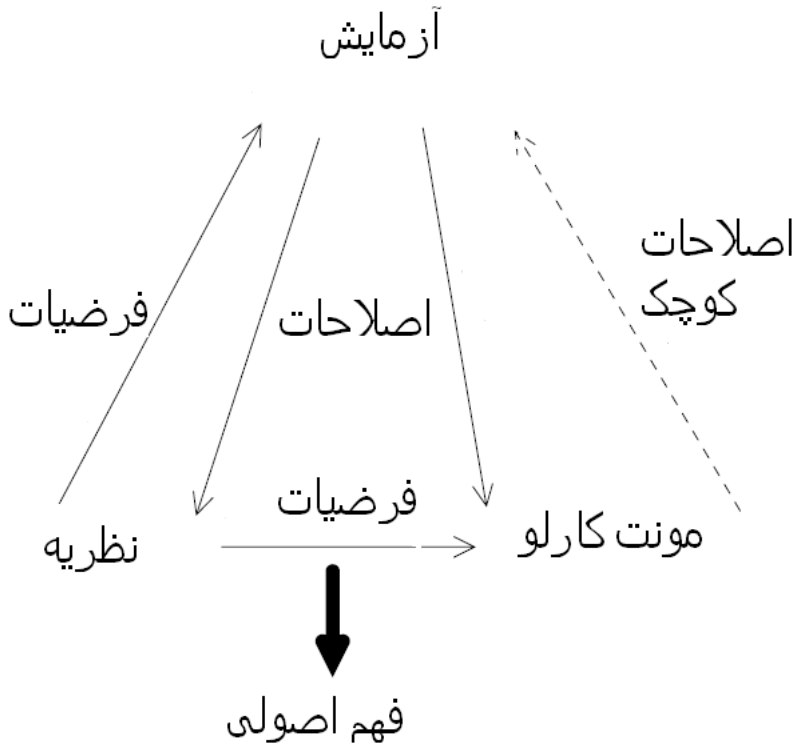
هر کدام از این فرضیات بایستی تست و آزموده شده و سپس تایید گردد. روش مونت کارلو در این مورد الحاقی بر نظریه پایه خواهد بود و فرآیندی جهت آسـان کردن توسعه آن، فراهم می نماید. در شکل ۱-۱ یک نمونه از شبیه سازی داده شده است [۱].



شکل ۱-۱ : یک شبیه سازی از فرم نشستن حضار در یک سالن کوچک موسیقی را نشان می دهد.هر صندلی اشغال شده با یک دایره توپر نشان داده شده است.حضار بیشتر در وسط سالن و نزدیک جایگاه تمرکز یافته اند.

۱-۱-٤ مونت کارلو در علوم پایه:

نقش مهمی که مونت کارلو در این علوم بازی می کند در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ نقش مونت کارلو در علوم پایه

علوم پایه سعی می کنند فرآیند کارکرد پایه پدیده ها را کشف نمایند. "نظریه"[1] یک مجموعه از فرضیات است (که ممکن است با یک سری فرمولهای ریاضی همراه باشد) و می تواند تحت " آزمایش"[2] سنجیده و اندازه گیری شود. در حالت ایده آل، ارتبـاط بین تئوری و آزمایش، یک رابطه مستقیم است به گونه ای که شرح و تفسیر آزمایش بدون ابهام باشد. این مطلب زمانی امکان پذیر است است که توصیفات ریاضی از عملکردهای ریزمقیاس و همچنین اندازه گیریهای بزرگ مقیاس نسبتا دقیق باشند و تقریبهای

[1] Theory
[2] Experiment

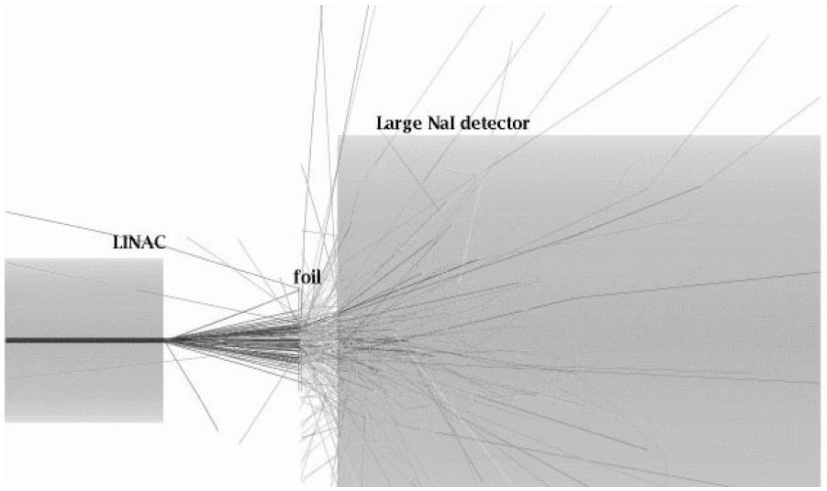
زیادی را در بر نداشته باشند. اما وقتی چنین چیزی امکانپذیر نباشد، شبیه سازی مونت کارلو، روشی مفید و کارآمد خواهد بود [۱].

مونت کارلو می تواند به ما کمک کند که تصحیحات کوچکی در فرضیات انجام دهیم تا نظریه مفید دیگری به دست آید و یا اینکه بتوانیم نظریه خود را در مورد تعاملات ریزمقیاس رد ویا تایید نماییم.

در برخی موارد، فعل و انفعالات ریزمقیاس به خوبی شناخته شده هستند، به عنوان مثال می توان به تعاملات الکترومغناطیسی الکترونهای پر انرژی و فوتونها اشاره کرد که توسط آزمایش نیز تایید شده است.

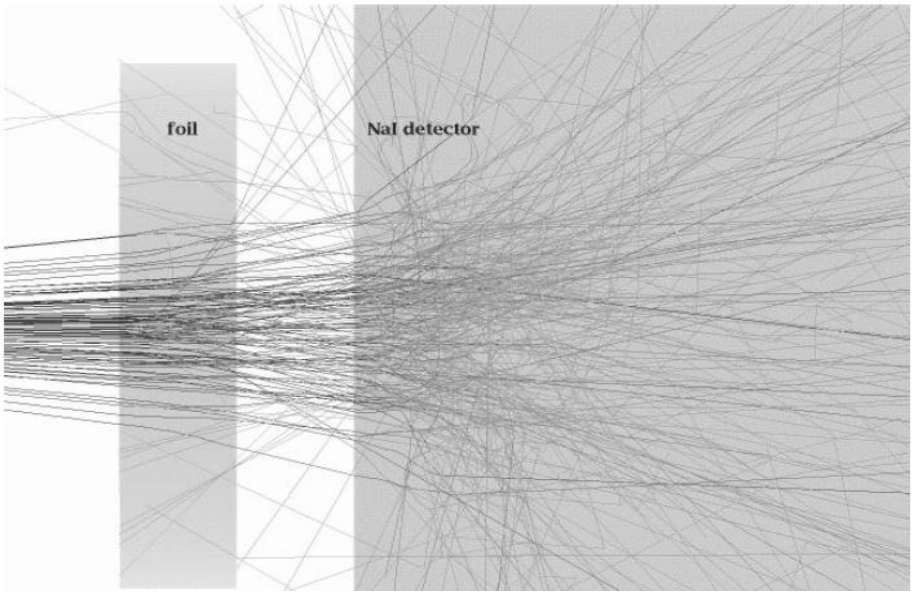
تکنیک مونت کارلو در این زمینه، جهت پیش بینی مسیر ذرات پر انرژی در آشکار ساز و مواد دیگر، مفید واقع می شود. یک نمونه عملی در این مورد آزمایش مکفرسون[1]،راس و راجرز[2] می باشد.این آزمایش برای اندازه گیری قدرت توقف[3] الکترون طراحی شده است. قدرت توقف در واقع میانگین انرژی از دست رفته ذره در واحد طول مسیر است. قدرت توقف به نوع و انرژی ذره و همچنین خصوصیات ماده بستگی دارد.

آزمایش در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. الکترونها از شتابدهنده به سمت جلو منتشر می شوند و سپس از یک مانع نازک عبور کرده (به جز تعداد کمی) و سپس توسط آشکار ساز جمع آوری می شود. همچنین در شکل ۱-٤ نمایی دقیقتر از مسیر الکترونها و فوتونها نشان داده شده است. ردیابی مسیر ذرات و محاسبه قدرت توقف با مونت کارلو انجام شده است.



شکل ۱-۳ آزمایش مکفرسون

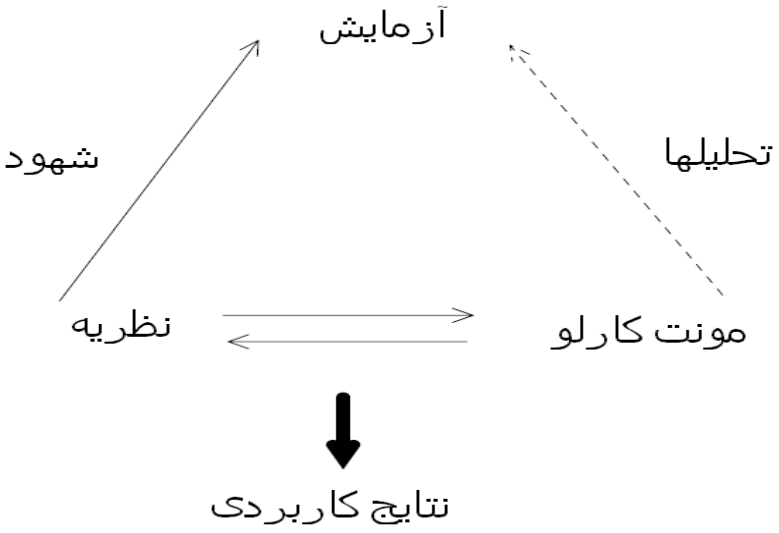
[1] Mac Pherson
[2] Ross and Rogers
[3] Stopping Power



شکل ۱-٤ نمایی نزدیکتر از مسیر ذرات

۱-۱-۵ مونت کارلو در علوم تجربی و مهندسی:

مثال بالا یک نمونه از استفاده مونت کارلو در مهندسی است. نقش مونت کارلو توسط شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ نقش مونت کارلو در علوم کاربردی

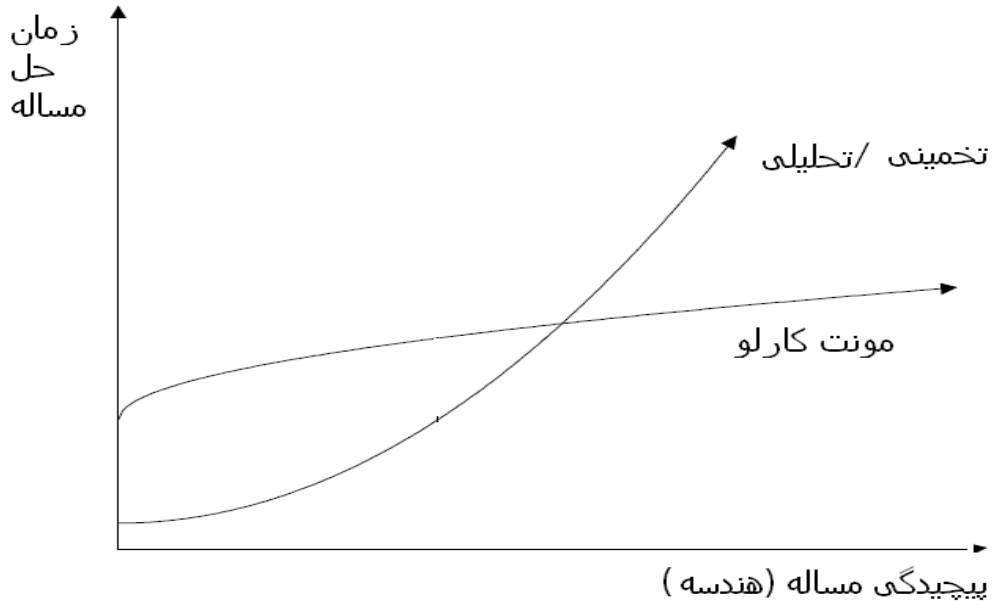
در بعضی از مسائل ممکن است نظریه نتواند توصیف ریاضی دقیقی از فیزیک سیستم داشته باشد (مثلا مسیر ذرات در مثال بالا) ولی به ما یک نوع شهود و بینش جهت طراحی آزمایش و اندازه گیری پارامترها می دهد که بااستفاده از مونت کارلو می توان به تجزیه و تحلیل آن پرداخت و نهایتاً طرح را رد یا قبول نمود.

به جرات می توان گفت که اگر روش مونت کارلو تا کنون کشف نشده بود، انگیزه ای بسیار قوی برای اختراع آن وجود داشت [۱].

امروزه دانشمندان با استفاده از سه عامل اندازه گیری، تئوری و مونت کارلو به نتایج موفق و قابل قبولی در علوم پایه و کاربردی دست یافته اند.

مونت کارلو اغلب به عنوان یک رقیب برای سایر روشهای محاسبات ماکروسکوپی در نظر گرفته می شود. (روشهای تحلیلی یا قطعی)

در زمینه کشف خواص و رفتار یک پدیده بزرگ مقیاس، مونت کارلو بسیار شبیه به یک آزمایشگر عمل می کند و بدون تئوری و با استفاده از سعی و خطا کمک شایانی به روند کشف خواهد کرد.به خصوص هنگامی که پیچیدگی مساله زیاد می شود،این تکنیک برای ما کمک مفیدی خواهد بود. شکل ۱-٦ زمان حل مساله را با روشهای مونت کارلو و تحلیلی در قبال بالا رفتن پیچیدگی سیستم، **مقایسه می کند** [۱].



شکل ۱-۶: مقایسه روشهای مونت کارلو و تحلیلی