



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## نگارش کد Bsim بر اساس ابزار برنامه نویسی Geant4 جهت شبیه سازی سیستم تصویر برداری ایکس بازگشتی

رضا حق شناس<sup>(۱)</sup>، اسمعیل بیات<sup>(۲)</sup>، نسیم کبیری<sup>(۳)</sup>، سپیده عظیمی<sup>(۱)</sup>  
<sup>(۱)</sup> دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای  
<sup>(۲)</sup> سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها  
<sup>(۳)</sup> دانشگاه شاهرود، دانشکده فیزیک

### چکیده:

روش های تصویر برداری مبتنی بر پس پراکندگی ایکس، قابلیت خوبی برای تشخیص مواد سبک شامل مواد منفجره و مواد مخدر پنهان شده در داخل ضخامت های چند میلیمتری از مواد سنگین مانند فولاد دارند. گام نخست در طراحی این سیستم ها، شناسایی پارامترهای مهم در فرآیند تشکیل تصویر و بررسی اثر آن ها بر روی کیفیت تصویر می باشد. در این تحقیق یک کد بنام Bsim بر اساس ابزار برنامه نویسی Geant4 و به منظور تسهیل فرآیند طراحی سیستم تصویر برداری ایکس بازگشتی نگارش و تست شده است. نتایج بدست از مقایسه تصویر ایده آل بازگشتی و عبوری با تصویر تولید شده توسط کد شبیه ساز نشان دهنده عملکرد صحیح آن می باشد.

### مقدمه

امروزه رایج ترین روش برای بازرسی محتویات اجسام، رادیوگرافی ایکس است. اما این روش عملکرد و توانایی تشخیص ضعیفی در شناسایی مواد سبک از جمله مواد منفجره و مخدر دارد. در مقابل، روش های مبتنی بر پس پراکندگی ایکس قابلیت خوبی برای تشخیص مواد سبک را دارند. سیستم تصویر برداری Flying Spot یک سیستم تصویر برداری مبتنی بر ایکس بازگشتی است. در این سیستم پرتوهای ایکس از یک لامپ ایکس با انرژی ۲۲۵ کیلوولت (یا ۱۶۰ کیلوولت) و جریان ۱۳ میلی آمپر که در مرکز یک چرخ برشگر<sup>۱</sup> سربی قرار گرفته ساطع می شود. چرخ برشگر پرتوهای ایکس ساطع شده از لامپ را به صورت باریکه مدادی شکل تبدیل می کند. با چرخش چرخ چاپر باریکه مدادی پرتو ایکس، جسم در حال حرکت افقی را بصورت عمود از بالا به پایین اسکن می کند و دو آشکارساز بزرگ، پرتوهای ایکس بازگشتی را ثبت می کنند [۱ و ۳]. با شمارش پرتوهای پس پراکنده توسط آشکارساز و دانستن زاویه خروج پرتو در هر لحظه از زمان، یک ستون از ماتریس تصویر پر می شود. با حرکت جسم در راستای افقی و جمع آوری تعداد زیادی از خطوط اسکن، می

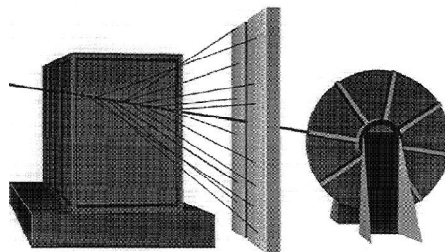
<sup>۱</sup> Chopper



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

توان تصویری دو بعدی از توزیع سه بعدی سطح مقطع پراکندگی کامپتون نقاطی از جسم را بدست آورد که در روی مسیر باریکه ایکس قرار دارد. از آنجا که شدت رنگ هر پیکسل از تصویر تولید شده متناسب با جمع سطح مقطع پس پراکندگی از نقاط قرار گرفته بر روی مسیر پرتو ایکس است و از آنجا که احتمال پراکندگی کامپتون در مواد با عدد اتمی متناسب می باشد، شدت رنگ هر پیکسل با جمع عدد اتمی موثر آن نقاط متناسب خواهد بود. لازم به یادآوری است که اطلاعات تا عمق موثر پرتو ایکس قابل جمع آوری است. تصویری از این سیستم در شکل نشان داده شده است.



شکل ۱. سیستم تصویربرداری ایکس بازگشتی بر اساس Flying Spot

گام نخست در طراحی سیستم تصویربرداری مبتنی بر ایکس بازگشتی، شناسایی پارامترهای مهم در فرآیند تشکیل تصویر و بررسی اثر هر کدام بر روی کیفیت آن می باشد؛ بنابراین وجود برنامه‌ای با رابط کاربری ساده و قابلیت‌های مناسب برای شبیه سازی عملکرد چنین سیستمی ضروری به نظر می رسد. هدف از این نوشتار معرفی کدشبه سازی ابداع شده بر اساس ابزار برنامه نویسی Geant4، بنام Bsim، جهت بررسی عملکرد سیستم تصویربرداری و گزارش برخی از نتایج شبیه سازی عوامل موثر بر روی کیفیت تصویری باشد.

### مواد و روش ها

ابزار برنامه نویسی Geant4 و اعتبار سنجی

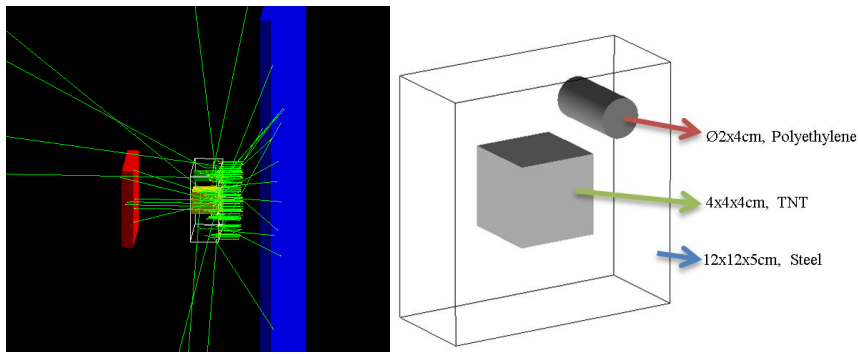
Geant4 یک ابزار<sup>۲</sup> برنامه نویسی برای شبیه سازی ترابرد ذرات به روش مونت کارلو است که با زبان ++C پیاده سازی شده است. این ابزار برای شبیه سازی آشکارسازهای تحقیقاتی در زمینه های فیزیک انرژی های بالا، فیزیک هسته ای، فیزیک تابش های کیهانی، علوم فضایی، علوم پرتو پزشکی و محاسبات تابش زمین‌ه‌قابل استفاده است. انجام شبیه سازی با استفاده از Geant4 مستلزم پیاده سازی جزئیات هندسه، چشمه تابشی، تعریف ذرات اولیه و ثانویه، تعریف و ثبت برهمکنش های فیزیکی و



## بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تعیین Cut-off های انرژی است. ابزار برنامه نویسی Geant4 به صورت تیمانهایی<sup>۳</sup> توسعه داده شده است و از اکثر قابلیت های شی گرایشی<sup>۴</sup> زبان ++C استفاده می کند. همچنین بدلیل کد باز بودن<sup>۵</sup> و خوانایی بسیار زیاد کد منبع<sup>۶</sup>، قابلیت تغییر در تمام سطوح آن وجود دارد [۴]. برای بررسی صحت عملکرد ابزار Geant4 در تصویر برداری با پرتو ایکس و همچنین بررسی اثر پارامترهای عملکردی بر روی کیفیت تصویر از فانتوم نشان داده شده در شکل ۲ استفاده شد. بررسی صحت عملکرد ابزار Geant4 با استفاده از هندسه شکل ۳ انجام شد.



شکل ۲- فانتوم استفاده شده برای بررسی صحت

شکل ۳- هندسه استفاده شده برای بررسی صحت عملکرد

عملکرد ابزار Geant4 و بررسی پارامترهای عملکردی بر ابزار Geant4 به ترتیب از راست به چپ شامل آشکارساز که در آن از یک آشکارساز از جنس CsI به ابعاد  $2 \times 14 \times 14$  سانتیمتر، میکعبی به فاصله  $10 \text{ cm}$  از فانتوم برای ثبت ایکس عبوری و یک آشکارساز از جنس CsI به ابعاد  $2 \times 90 \times 90$  سانتیمتر مکعب به فاصله  $10$  سانتیمتر از فانتوم برای ثبت ایکس پراکندگی استفاده شده است. تعداد  $10^8$  ذره ایکس تک انرژی  $225$  کیلو الکترون ولت به صورت عمود بر سطح فانتوم گسیل شد. جمع آوری اطلاعات به صورت list mode انجام و با استفاده از فریم ورک Root تصاویر ایجاد شد.

معرفی کد Bsim

۳ Modular

۴ Object Oriented

۵ Open source

۶ Source code



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

کد Bsim به منظور تسهیل فرآیند طراحی سیستم تصویربرداری ایکس بازگشتی و بررسی اثر عوامل مختلف بر روی کیفیت تصویر حاصله نگارش شد. این کد به زبان C++ و بر پایه ابزار شیء گرای مونت کارلو Geant4 نسخه ۱۰ نوشته شده است و قابلیت های زیر را در اختیار کاربر قرار می دهد.

- تعریف مواد هدف بر حسب فرمول شیمیایی، چگالی، حالت ماده، فشار و دما
- تعریف مشخصات تیوب اشعه ایکس شامل طیف انرژی، ابعاد باریکه و زاویه بازشدگی
- تعیین مشخصات چرخ چاپر و آشکارسازها
- تعیین پارامترهای کنترل کننده عملکرد سیستم شامل تعیین سرعت حرکت افقی، سرعت چرخش چاپر، تعداد خطوط و گام های اسکن
- نمایش زنده تصویر همزمان با پر شدن خطوط اسکن
- قابلیت نمایش هندسه، مسیر ذرات و مکان برهم کنش های فیزیکی
- قابلیت استفاده از مدل های استاندارد، لیورمور و پنه لویه برای فیزیک لیست ذرات ایکس و الکترون
- تعیین Cut-Off بر روی تولید ذرات ثانویه در اثر برهمکنش ذرات اولیه شامل الکترون و گاما
- تعیین عدم ترابرد الکترون به منظور افزایش سرعت شبیه سازی
- تعیین ابعاد جهان شبیه سازی
- اجرای موازی بر روی پردازنده چند هسته ای

بررسی عوامل عملکردی بر روی کیفیت تصویر

بررسی عملکرد یک سیستم تصویربرداری در شرایط مختلف شامل شدت ها و انرژی های مختلف پرتو ایکس، سرعت های چرخش مختلف چاپر، سرعت های مختلف حرکت افقی، تعداد خطوط و گام های مختلف اسکن و ضخامت های مختلف دیواره با استفاده از کد Bsim انجام گردید که بطور نمونه نتایج مربوط به بررسی اثر ضخامت های ۱ تا ۴ میلیمتر حائل از جنس فولاد بر روی کیفیت تصویر آورده شده است.

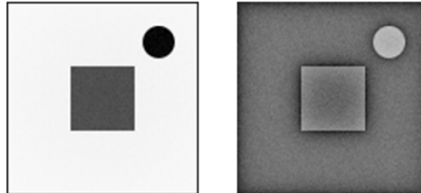
نتایج



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

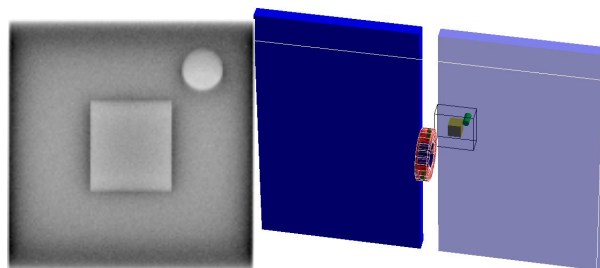
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

نتایج بررسی اعتبار سنجی عملکرد ابزار Geant4 در شکل ۴ نشان داده شده است. برای نمایش تصاویر بازگشتی و عبوری تولید شده در این گزارش از پالت رنگ ۰ تا ۲۵۵ خاکستری استفاده شده است که در آن رنگ سفید متناظر با نبود سیگنال و رنگ سیاه متناظر با سیگنال بیشینه است.



شکل ۴- تصویر ایکس بازگشتی (راست) و تصویر ایکس عبوری (چپ)

هندسه شبیه سازی شده با کد Bsim به منظور بررسی عملکرد در شرایط مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. مشخصات سیستم شبیه سازی شده به شرح زیر می باشد. چرخ چاپر از جنس سرب به شعاع داخلی ۴ سانتیمتر و شعاع خارجی ۸ سانتیمتر و ضخامت ۳/۵ سانتیمتر و تعداد چهار کانال خروج پرتو با سطح مقطعی به ابعاد  $1 \times 1$  سانتیمتر مربع؛ کالیماتور انتهایی از جنس سرب با سطح مقطعی به ابعاد  $1 \times 1$  سانتیمتر مربع و طول ۳ سانتیمتر مربع؛ دو آشکار ساز از جنس CsI به ابعاد  $4 \times 100 \times 200$  سانتیمتر مکعب و فاصله اسکن ۱۸ سانتیمتر از مرکز چرخ. نتایج بررسی اثر ضخامت دیوار برای ضخامت های ۱ تا ۴ میلیمتر از جنس فولاد در شکل ۷ نشان داده شده است. تصاویر در انرژی ۲۲۵ کیلو ولت و با شدت اولیه  $10^9$  ذره بر ثانیه و باز شدگی ۵ درجه، سرعت چرخ چاپر ۸ دور بر ثانیه و با ۱۲۲ خط اسکن و ۱۸۰ گام در هر اسکن نمونه برداری شده است. مسافت افقی ۱۲۲ میلیمتر با ۱۲۲ خط اسکن نمونه برداری شده است که معادل با گام نمونه برداری ۱ میلیمتر است.



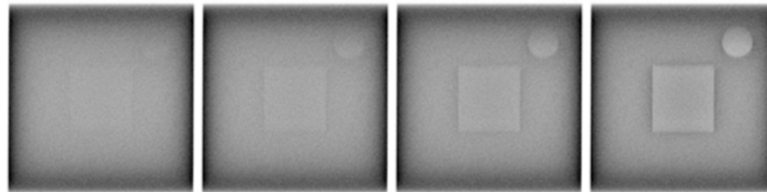
شکل ۶- تصویر حاصل از اسکن انجام شده بوسیله سیستم نشان داده شده در شکل ۵

شکل ۵- نمایی از شبیه سازی یک سیستم تصوی برداری بر اساس ای کس پس پراکنده



# بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۷- اثر ضخامت دیواره بر روی کیفیت تصویر به ترتیب از راست به چپ

برای ضخامت های حائل ۱، ۲، ۳ و ۴ میلیمتر فولاد

## بحث و نتیجه گیری

از تصاویر نشان داده شده در شکل ۴ می توان نتیجه گرفت که شبیه سازی سیستم های تصویر برداری ایکس به هر دو روش عبوری و پراکندگی با استفاده از ابزار برنامه نویسی Geant4 نتایج قابل قبولی ارائه می دهد. لازم به ذکر است که با توجه به استفاده از دسته پرتو موازی و عمود بر سطح فانتوم، تصاویر عبوری و بازگشتی نشان داده شده در شکل ۴ ایده آل ترین تصاویر می باشند. از مقایسه تصویر شبیه سازی شده توسط کد Bsim در شکل ۶ با تصویر بازگشتی ایده آل می توان نتیجه گرفت که تصویر تولید شده توسط کد شبیه ساز کیفیت قابل قبولی برخوردار می باشد. منشا عدم یکنواختی کنتراست در دو راستای عمودی و افقی در تصویر بازگشتی شکل ۶ به دلیل نایکنواختی نمونه برداری و استفاده از باریکه زاویه دار است. با توجه به شکل ۷ مشاهده می شود که با افزایش ضخامت دیواره، کنتراست بین اجزای مختلف تصویر کاهش می یابد. این اثر از یک طرف به دلیل تضعیف شار پرتو ورودی به دلیل جذب فوتوالکتریک و از طرف دیگر افزایش سیگنال برگشتی از دیواره می باشد. با توجه به شبیه سازی انجام شده می توان نتیجه گرفت که تفکیک مواد سبک مانند TNT و پلی اتیلن از مواد سنگین مانند فولاد با استفاده از سیستم تصویربرداری ایکس بازگشتی ضخامت های ۴ میلیمتر امکان پذیر است.

## مراجع

- [1] Richard W. C. An Automated Explosives Detection Prototype Based On The As&E 101zz System, Thesis Submitted To The Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University.
- [2] Adams, W. P. European Patent Specification, Ep 1 558 947 B1, X-Ray Backscatter Mobile Inspection Van, American Science & Engineering, Inc
- [3] Callerame J. X-Ray Backscatter Imaging: Photography through Barriers, JCPDS. International Centre for Diffraction Data. 2006. ISSN 1097-02
- [4] Agostinelli S, et al. GEANT4- a simulation toolkit. Nucl. Instr. Meth. 2003, A506:250-303