



شبیه سازی توزیع انرژی پوزیترونهای تولید شده در اثر فرایند تولید زوج توسط تابش کانالی صفحه ای الکترونهای نسبیتی از بلور تنگستن با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX

رضانعلی قربانی، بینام آزادگان*

دانشگاه حکیم سبزواری، گروه فیزیک

چکیده :

در یکی از روش های نامتناه اول تولید پوزیترون، از باریکه پر شدت الکترون و دو هدف پی در پی استفاده می شود، هدف اول به عنوان تولیدکننده فوتون و دیگری به عنوان تولید کننده پوزیترون بکار برده می شود. باریکه الکترون های نسبیتی با انرژی های متفاوت به بلور نازک (هدف اول) تابیده می شود که بر اثر تابش کانالی صفحه ای، فوتونهای پر شدت گسیل می شوند و فوتون های تولیدی با عبور از هدف غیر بلورین (تنگستن)، بر اثر فرایند تولید زوج، پوزیترون تولید می نمایند. در فرایند شبیه سازی، طیف تابشی فوتونها با استفاده از کد کامپیوتری طراحی شده با نرم افزار Mathematica محاسبه شده است. این طیف برای صفحات مختلف و زوایای متفاوت الکترون های فرودی تابیده شده به بلور تنگستن محاسبه شده است. توزیع انرژی پوزیترونهای گسیل شده از هدف دوم با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX محاسبه شده است.

کلید واژه: پوزیترون، تابش کانالی صفحه ای، الکترون های نسبیتی، بلور تنگستن و فوتون

مقدمه

باتوجه به ضرورت و نیاز به استفاده از باریکه های پوزیترون پر شدت در آزمایشات و تحقیقات در حوزه های مختلف فیزیک در سال های اخیر فعالیت های زیادی برای بهینه سازی فرایند تولید و بکارگیری پوزیترون در مراکز تحقیقاتی مختلف دنیا انجام گرفته است. امروزه سه روش عمده برای تولید پوزیترون وجود دارد که عبارتند از:

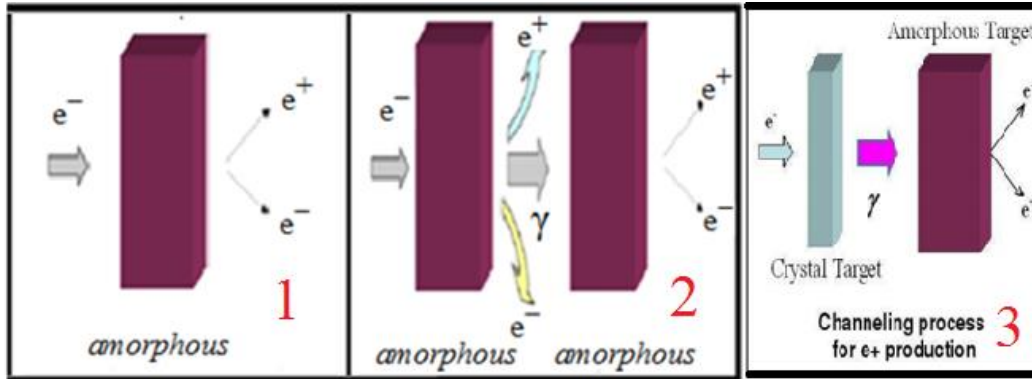
۱- استفاده از یک هدف غیر بلورین و باریکه الکترونی در محدوده انرژی GeV [۱].

(conventional metod)

۲- استفاده از دو هدف غیر بلورین و باریکه الکترونی در محدوده انرژی GeV .

۳- استفاده از یک بلور نازک، یک ماده غیر بلورین و باریکه الکترونی در محدوده انرژی GeV

[۲]. (channeling process)



شکل ۲: شماره ۱ نمایشی از روش اول، شماره ۲ نمایشی از روش دوم و شماره ۳ نمایشی از روش سوم

در روش اول، با برخورد الکترون های نسبیتهی به هدف غیر بلورین، بر اثر فرایند تابش ترمزی فوتون تولید می شود، این فوتون ها بر اثر فرایند تولید زوج به الکترون و پوزیترون تبدیل می شوند. مشخصه توزیع انرژی فوتونهای تابش ترمزی تناسب با عکس انرژی فوتونها است.

در روش دوم از دو هدف غیر بلورین استفاده می شود که هدف اول به عنوان منبع تولید کننده فوتون (*generator*) و دیگری به عنوان منبع تولید پوزیترون (*converter*) مورد استفاده قرار می گیرد. تمامی مراحل ذکر شده در روش های بالا توسط کدهای مونت کارلوی قابل شبیه سازی می باشند و به همین دلیل تاکنون تحقیقات تجربی و تئوری بسیار گسترده ای در استفاده از این دو روش برای تولید پوزیترون صورت گرفته است. اما در روش سوم از یک بلور نازک به عنوان تولید کننده فوتون (*radiator*) و هدف غیر بلورین دوم به عنوان تولید کننده پوزیترون (*converter*) استفاده می شود. مزیت روش سوم در اینست که با شدت جریانهای الکترونی به مراتب کمتر از شدت جریانهای الکترونی بکار رفته در دو روش اول می توان به شدت فوتونی یکسانی دست یافت و در نتیجه مشکلات گرمایی ایجاد شده در هدف ناشی شده از برهمکنش الکترونها با ماده به مراتب کمتر خواهد بود. درستی این موضوع به این دلیل است که تابش کانالی به مراتب پر شدت تر از تابش ترمزی است. عدم شبیه سازی فرایند تابش کانالی بوسیله ی کدهای مونت کارلوی موجود منجر به استفاده از روش های عددی و استفاده از کدهایی به زبان های مختلف برنامه نویسی برای محاسبه طیف تابش کانالی (*CR*) در بین محققان گردیده است. به همین دلیل تحقیقات نسبتاً کمتری در استفاده از این روش برای تولید پوزیترون صورت پذیرفته است. از آنجایی که شدت فوتون های تولید شده بوسیله ی تابش کانالی بسیار بیشتر از شدت فوتون

های تولیدی از طریق تابش ترمزی در شرایط یکسان است (شکل ۱)، استفاده از این روش جهت تولید باریکه پوزیترونی پر شدت تر، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

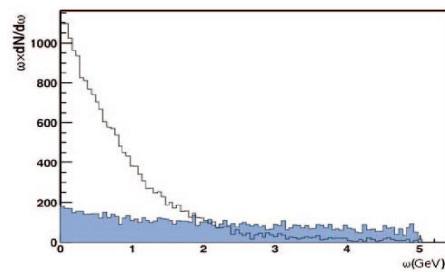
روش کار:

در این مقاله به بررسی فرایند تولید پوزیترون با استفاده از روش سوم می پردازیم. طیف تابشی فوتون های تولید شده، بوسیله ی فرایند تابش کانالی صفحه ای الکترون های نسبیستی مستقیما به نوع صفحات، نوع صفحات، انرژی الکترونها فرودی و زاویه بین الکترون های فرودی با صفحات بلور بستگی دارد. در اینجا ابتدا بوسیله کد کامپیوتری طراحی شده توسط زبان برنامه نویسی *Mathematica*، پتانسیل های پیوسته صفحات مختلف بلور تنگستن بدست آمده و با حل معادلات نسبیستی حرکت و محاسبه مسیر حرکت الکترون ها در داخل بلور، طیف تابش کانالی صفحه ای الکترون ها با استفاده از نظریه الکترودینامیک محاسبه شده است [۳]. با در نظر گرفتن این طیف به عنوان چشمه ورودی کد مونت کارلوی *MCNPX*، طیف انرژی پوزیترون های تولید شده بر اثر فرایند تولید زوج از هدف غیر بلورین تنگستنی محاسبه شده است.

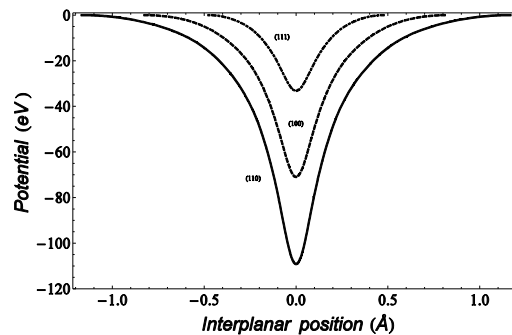
شبیه سازی طیف انرژی پوزیترون های تولید شده در اثر فرآیند تولید زوج با استفاده از نرم افزار *MCNPX* انجام شده است. ماده ی غیر بلورین تنگستنی به ضخامت 5 mm به عنوان هدف دوم و تعداد شلیک های 40000 بکار گرفته شده است. عدد اتمی بالا و همچنین رسانندگی بسیار خوب بلور تنگستن که سبب انتقال گرمای تولید شده در حین فرآیند می شود، علت انتخاب این بلور به عنوان منبع تولید فوتون و همچنین پوزیترون می باشد. شکل ۱ مقایسه بین تابش ترمزی و تابش کانالی از بلور تنگستن که توسط الکترون هایی با انرژی 5 GeV بمباران شده است را نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود تابش کانالی در انرژیهای پایین فوتون که مناسب برای تولید پوزیترونها کم انرژی هستند به مراتب قوی تر از تابش ترمزی است. در محاسبات ابتدا طیف تابش کانالی برای زاویه صفر الکترون های فرودی از صفحات (۱۰۰)، (۱۱۰) و (۱۱۱) بلور تنگستن محاسبه شده است. سپس با توجه به بیشینه بودن طیف تابش کانالی به ازاء صفحه ی (۱۱۰) محاسبه طیف تابش کانالی در انرژی ها و زوایای گوناگون الکترون ها با صفحات بلور، با صفحه (۱۱۰) انجام شده است. طیف انرژی پوزیترون ها با استفاده از کد مونت کارلوی *MCNPX* برای تمامی حالت های فوق با ماده غیر بلورین تنگستنی با ضخامت 5 mm محاسبه شده است. شکل ۲ پتانسیل پیوسته صفحات (۱۰۰)، (۱۱۰) و (۱۱۱) بلور تنگستن برای الکترونها کانالی نشان می دهد. با توجه به شکل ۲ ملاحظه می شود که عمق پتانسیل صفحه ی (۱۱۰) از عمق پتانسیل صفحات (۱۰۰) و (۱۱۱) بیشتر است. انتظار می رود عمق پتانسیل و فاصله بین صفحات تاثیر مستقیمی بر شکل طیف تابش کانالی (CR) داشته باشند. شکل (۳a) طیف انرژی فوتونهای کانالی از صفحات مختلف بلور تنگستن با انرژی الکترونها 4 GeV را نشان می دهد. شکل (۳b) توزیع انرژی پوزیترونها تولید شده از ماده ی غیر بلورین تنگستنی به ضخامت 5 mm را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۳ دیده می شود طیف تابش کانالی صفحه ای به ازای صفحه (۱۱۰) بیشتر است و در نتیجه طیف انرژی

پوزیترون های تولیدی به ازای صفحه (۱۱۰) بیشتر می باشد. شکل (۴a) طیف انرژی فوتونهای کانالی از صفحه (۱۱۰) به ازاء انرژیهای مختلف الکترونها فرودی و شکل (۳b) توزیع انرژی پوزیترونها تولید شده را نشان می دهند.

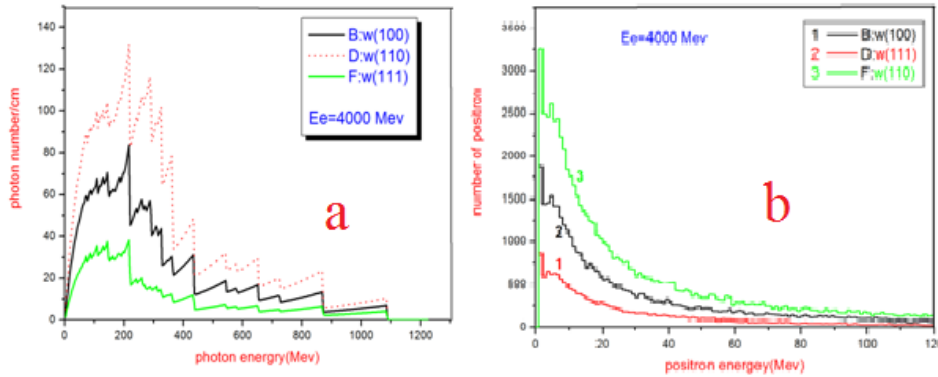
همانطور که در شکل ۴ دیده می شود طیف تابش کانالی صفحه ای و طیف انرژی پوزیترون های تولید شده شدیداً وابسته به انرژی الکترونها فرودی هستند. با افزایش انرژی الکترونها طیف تابش کانالی افزایش یافته و به انرژی های بالاتر انتقال پیدا می کند و در نتیجه طیف پوزیترونها نیز افزایش پیدا می کند.



شکل ۱: طیف انرژی فوتون ها به ازاء الکترون هایی با انرژی GeV و هدف $1,4$ میلیمتری، طیف هاشورزده شده مربوط به تابش ترمزی و دیگری مربوط به تابش کانالی است.

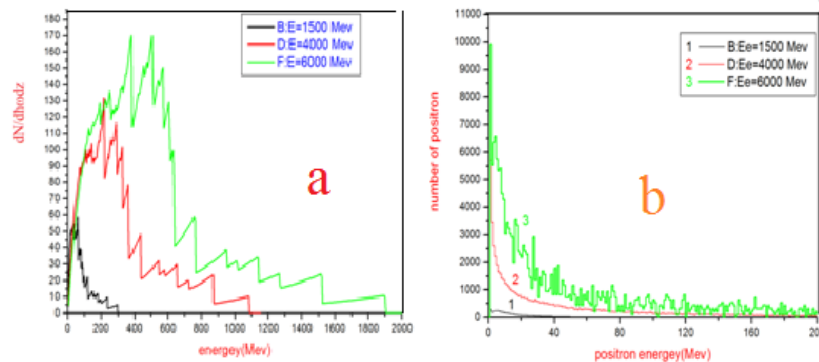


شکل ۲: پتانسیل پیوسته ی صفحات مختلف بلور تنگستن.



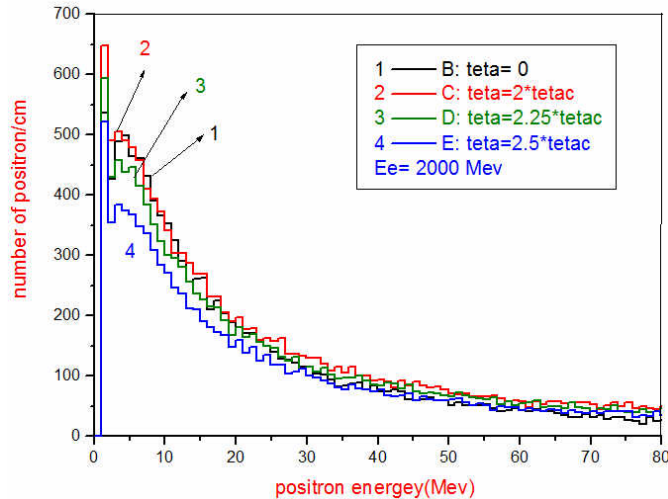
شکل ۳: طیف انرژی فوتون ها، (a) طیف انرژی پوزیترون ها برای صفحات مختلف بلور تنگستن با انرژی الکترون فرودی 4 GeV به ازاء زاویه صفر الکترونیهای فرودی نسبت به صفحات بلور.

شکل ۵ توزیع انرژی پوزیترونیهای تولید شده به ازاء زوایای مختلف بین الکترونیهای فرودی 4000 MeV و صفحه (۱۱۰) بلور تنگستن را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود طیف انرژی پوزیترون های تولید شده وابسته به زاویه بین الکترونیهای فرودی صفحه کریستال است. با افزایش زاویه تا ۲ برابر زاویه بحرانی طیف انرژی پوزیترونها کاهش می یابد. در زاویه دو برابر زاویه بحرانی طیف انرژی ماکزیمم می شود و بعد از آن با افزایش زاویه طیف پوزیترونها کاهش می یابد. زاویه بحرانی زاویه ایست که الکترونها از حالت کلنالی خارج می شوند و تابش ترمزی همدوس انجام می دهند.



شکل ۴: طیف انرژی فوتون ها (a) طیف انرژی پوزیترون ها با انرژی های الکترونیهای فرودی $1500, 4000, 6000$ مگا الکترون ولت به ازاء زاویه صفر الکترونیهای فرودی نسبت به صفحات بلور.

شکل ۵: طیف انرژی پوزیترون‌ها برای زاویه‌های مختلف بین الکترون‌های فرودی 4000 MeV و صفحه (۱۱۰) بلور تنگستن.



نتیجه گیری:

محاسبات و نمودارهای فوق نشان می‌دهد که عمق پتانسیل، و فاصله بین صفحات بلور تاثیر مستقیمی بر شکل تابع تابش کانالی صفحه ای (CR) دارد. انتخاب صفحه (۱۱۰) بلور تنگستن به عنوان منبع تولید فوتون از فرایند تابش کانالی صفحه ای سبب افزایش شدت طیف فوتون‌ها و در نتیجه افزایش شدت پوزیترون‌های تولید شده از فرایند تولید زوج خواهد شد. همچنین به ازای صفحه و زاویه ی ثابت بین الکترون‌های فرودی و صفحه ی بلور، افزایش انرژی الکترون‌های فرودی، راهکاری مناسب جهت ازدیاد شدت پوزیترون‌های تولید شده می باشد.

مراجع :

[۱] X. Artru, et al., Positron sources using channeling: A promising device for linear colliders, DOI ۱۰.۱۳۹۳/ncc/i۲۰۱۱-۱۰۹۰۲-۲

[۲] M. A. Kumakhov, F. F. Komarov, *Radiation from Charged Particles in Solids* (AIP, New York, ۱۹۸۹)

[۳] B. Azadegan and S.B. Dabagov, Eur. Phys. J. Plus (۲۰۱۱) ۱۲۶: ۵۸