شبیه‌سازی حفاظ سیکلوترون کوچک ۱۰ مگاالکترون ولت

سامان عزیزپوریان[۱]، حسین آفریده[۱]*، فریدون عباسی‌دوانی[۲]، عقیل محمدی[۱]، محمدمهدی افخمی‌کرائی[۱]

[۱] دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

[۲] دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

یکی از روش‌های حفاظت در برابر پرتو برای شتابدهنده‌های سیکلوترون با کاربردهای پزشکی استفاده از حفاظ‌های خودحفاظ[۱] می‌باشد. در این بررسی سعی شده است تا بتوان به یک چیدمان و ضخامت مناسب برای مواد به کار رفته در حفاظ دست یابیم تا از این طریق، افراد را در برابر تابش‌های مضر تولیدی از سیکلوترون حفاظت نمود. مواد به کار رفته شامل سرب، پارافین و بورون‌کربید است که بترتیب برای حفاظت در برابر پرتوهای گاما، تضعیف و جذب نوترون‌های تولیدی می‌باشد. در برنامه‌نویسی کد MCNPX برای این مسئله از روش‌های کاهش واریانس استفاده شده است که امری گریزناپذیر در محاسبات طراحی حفاظ می‌باشد.

کلمات کلیدی: *سیکلوترون ۱۰ مگاالکترون ولت، حفاظ پرتویی،دز، MCNPX*

مقدمه :

امروزه از شتابدهنده‌های سیکلوترون در زمینه‌های صنعتی و پزشکی استفاده‌های بسیاری می‌شود. از شتابدهنده سیکلوترون در بخش پزشکی برای تولید رادیوایزوتوپ‌های مورد نیاز جهت تشخیص بیماریهای سرطانی با دستگاه PET استفاده می شود. از جمله این رادیوایزوتوپ‌ها که با سیکلوترون تولید می شوند ^{11}C ، ^{15}O، ^{14}N و ^{18}F می‌باشند. شتاب‌دهنده در هنگام کار کردن، تولید پرتوهای گاما و نوترون می‌کند که برای کاهش اثرات این پرتوها راههای گوناگونی مطرح است. یکی از این راهها استفاده از یک حفاظ پرتویی می‌باشد. با توجه به نوع استفاده‌ای که از شتاب‌دهنده سیکلوترون می شود نوع حفاظ پرتویی مورد نیاز آن نیز مشخص خواهد شد. همچنین محل قرارگیری و

[۱] Self-shield

فضای اختصاص یافته برای اتاق سیکلوترون درتعیین نوع حفاظ پرتویی تأثیرگذار است. زیرا اگر فضای بزرگی برای استفاده موجود باشد می‌توان مدل اتاق سیکلوترون را به کار برد. بدلیل اینکه شتاب‌دهنده سیکلوترون مورد نظر کاربرد پزشکی دارد و اغلب در مراکز پزشکی و بیمارستان‌ها استفاده می‌شود، فضای کمی در اختیار سیکلوترون و تجهیزات آن می‌باشد. از سویی دیگر کوتاه بودن نیمه عمر رادیوایزوتوپ‌های تولیدی مزید بر علت می‌شود که از حفاظ پرتویی فشرده و جمع و جور استفاده شود. در واقع به جای اتاق سیکلوترون از یک حفاظ متصل به شتاب‌دهنده استفاده می‌شود که می‌توان در هر جایی از آن استفاده نمود. در شتاب‌دهنده سیکلوترون، همانطور که ذکر شد پرتوهای خطرناک گاما و نوترون تولید می‌شوند که هر کدام به حفاظ مناسب خود نیاز دارند. معمولاً در این نوع حفاظ‌ها از حفاظ ترکیبی استفاده می‌کنند؛ یعنی برای پرتو گاما از مواد با عدد اتمی بالا نظیر سرب در حفاظ به کار می‌رود . برای تضعیف نوترون از مواد با عدد اتمی پایین نظیر بتن و پلی‌اتیلن و همچنین برای جذب نوترون از موادی از قبیل بورون، لیتیوم و کادمیوم استفاده می‌شود. این مواد سطح مقطع جذب نوترون چند هزار بارن دارند[1] که این میزان عدد مناسبی برای جذب نوترون است. هر چند کادمیوم نسبت به دو ماده دیگر سطح مقطع جذب نوترون بالاتری دارد ولی منجر به تولید پرتو گامای ثانویه قوی می شود. در این صورت به ضخامت بیشتری از سرب برای تضعیف پرتوهای گاما نیاز است. و این مناسب نمی‌باشد بنابراین بیشتر از بورون و لیتیوم استفاده می‌شود.[2]

روش کار :

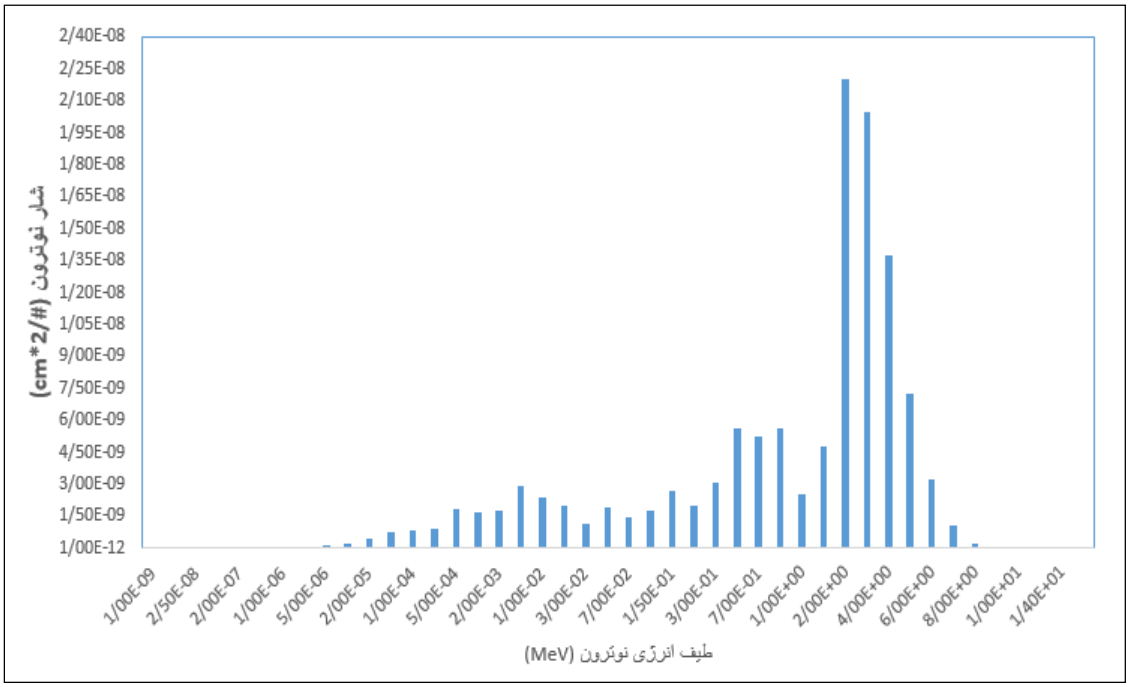
در این بررسی بر روی یک شتاب‌دهنده سیکلوترون ۱۰ مگاالکترون‌ولتی که یون هیدروژن منفی با جریان باریکه ۱۵۰μA را تا انرژی ۱۰ مگاالکترون‌ولت شتاب می‌دهد و مطالعات آن در دانشگاه صنعتی امیرکبیر صورت گرفته است کار شده است. برای شبیه‌سازی حفاظ، معمولاً تارگت[۲] سیکلوترون را به عنوان چشمه اصلی در نظر گرفته می‌شود، زیرا بیش از ۹۰٪ پرتوهای تولیدی از سیکلوترون از ناحیه تارگت می‌باشد.[3] هر چند از دیگر اجزا سیکلوترون نظیر برخورد باریکه پروتون به بدنه شتاب‌دهنده نیز تولید پرتو وجود دارد. برای شبیه سازی حفاظ از موادی نظیر سرب، پارافین و همچنین بورون‌کربید استفاده شده است. در این بررسی سعی شده است ضخامت بهینه هر کدام از مواد را با استفاده از برنامه MCNPX محاسبه شود که در نمودارها قابل مشاهده است. در شبیه‌سازی‌های حفاظ که نفوذ زیاد دارد برای رسیدن به جواب مناسب با خطای قابل قبول باید به ناچار از روشهای کاهش واریانس استفاده نمود. در اینجا نیز از روش پنجره

[۲] target

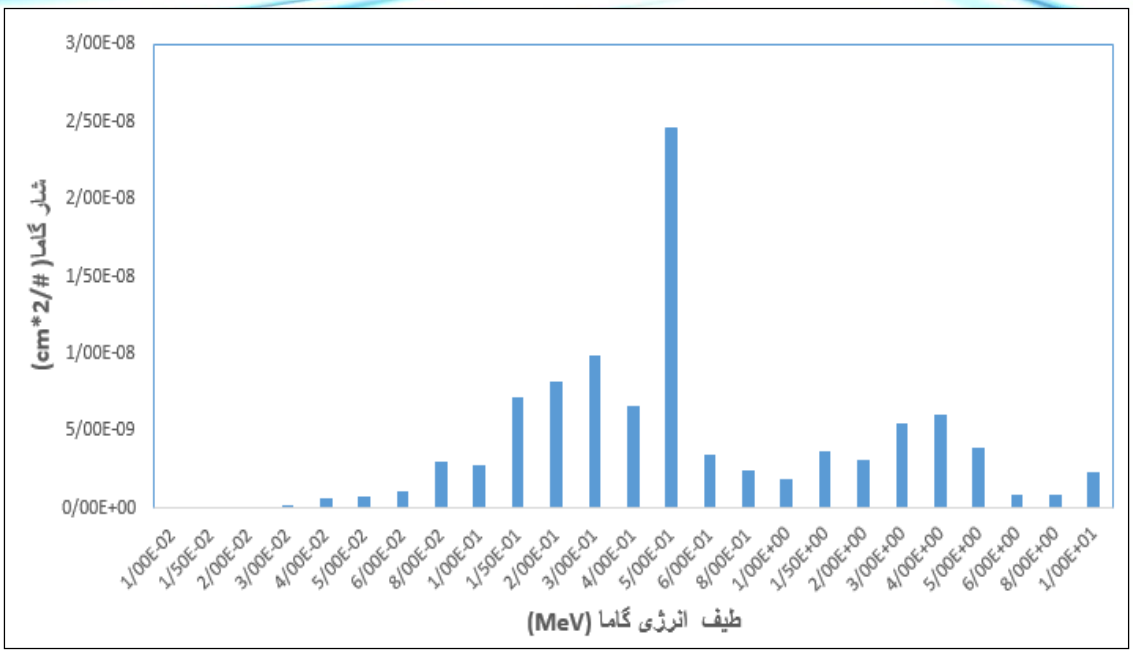
وزنی استفاده شده است. . توجه شود که مقادیر دز در فانتوم آب محاسبه شده است همچنین مقادیر بدست آمده برای فانتوم در فاصله ۱۵ سانتیمتری از سطح خارجی حفاظ محاسبه شده است.

نتایج :

در شبیه‌سازی حفاظ نخست طیف نوترون و گاما در نزدیکی چشمه محاسبه شده است که در نمودارهای ۱ و ۲ مشاهده می‌شوند. با توجه به مقادیر بدست آمده در نمودارهای شکل ۱ و ۲ میانگین انرژی نوترون تقریباً ۴/۲ مگاالکترون‌ولت و همچنین میانگین انرژی گاما ۴/۸ مگاالکترون‌ولت بدست آمد.

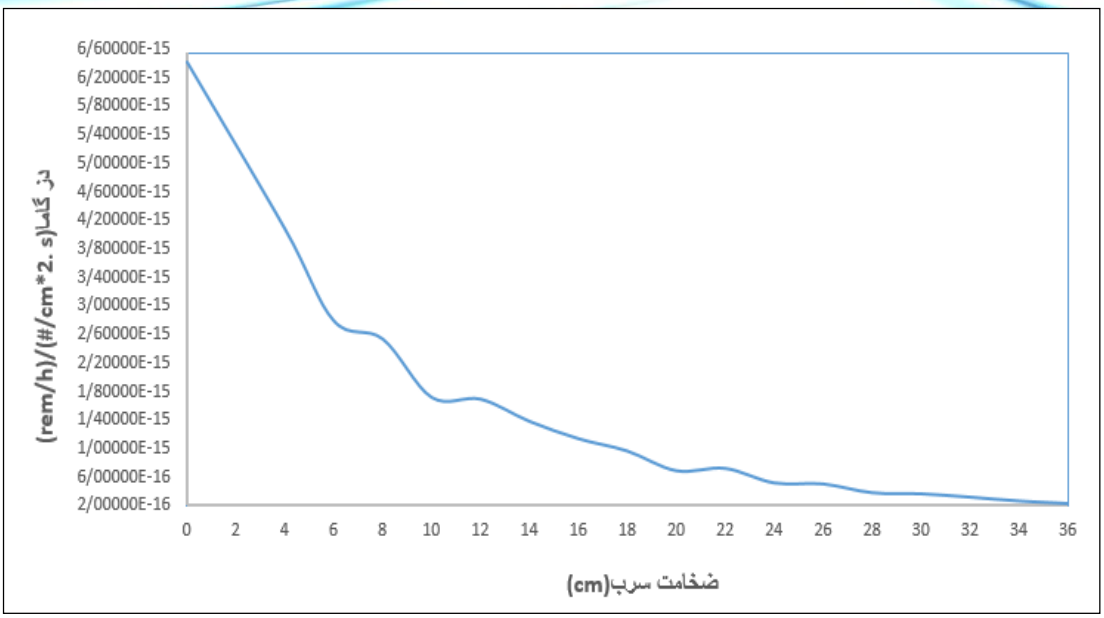


شکل (۱) طیف انرژی نوترون در نزدیکی چشمه



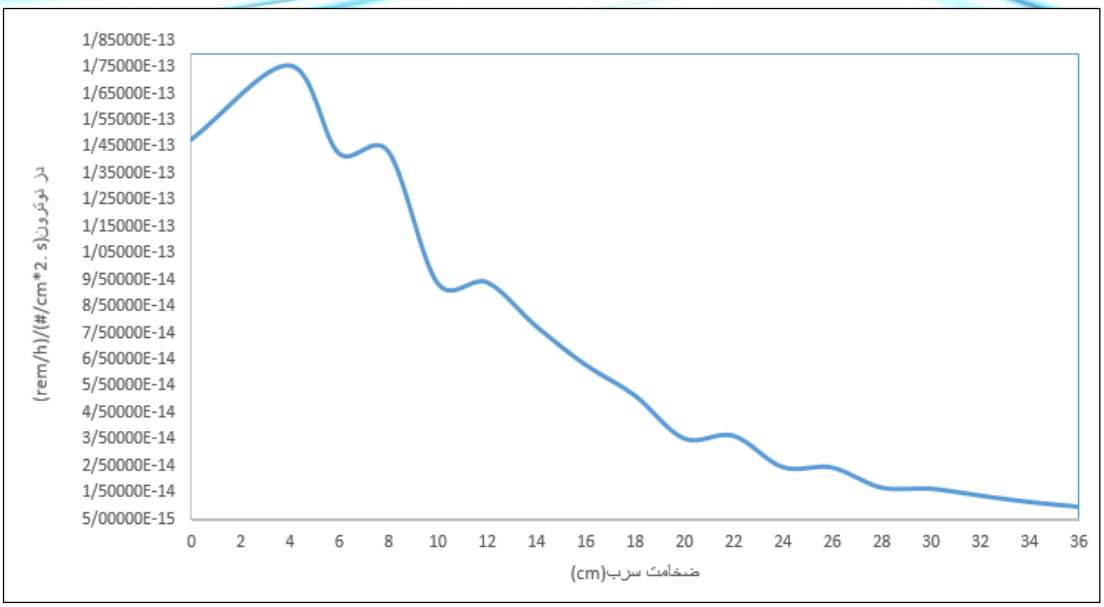
شکل (۲) طیف انرژی گاما در نزدیکی چشمه

سپس ماده سرب در برابر چشمه قرار داده شد و از ضخامتهای کم با گامهای ۲ و ۳ سانتیمتر اقدام به افزایش ضخامت سرب شد تا بتدریج با افزایش ضخامت به مقدار بهینه‌اش بر سد همانطور که در نمودار شکلهای ۳ و ۴ قابل م شاهده است.



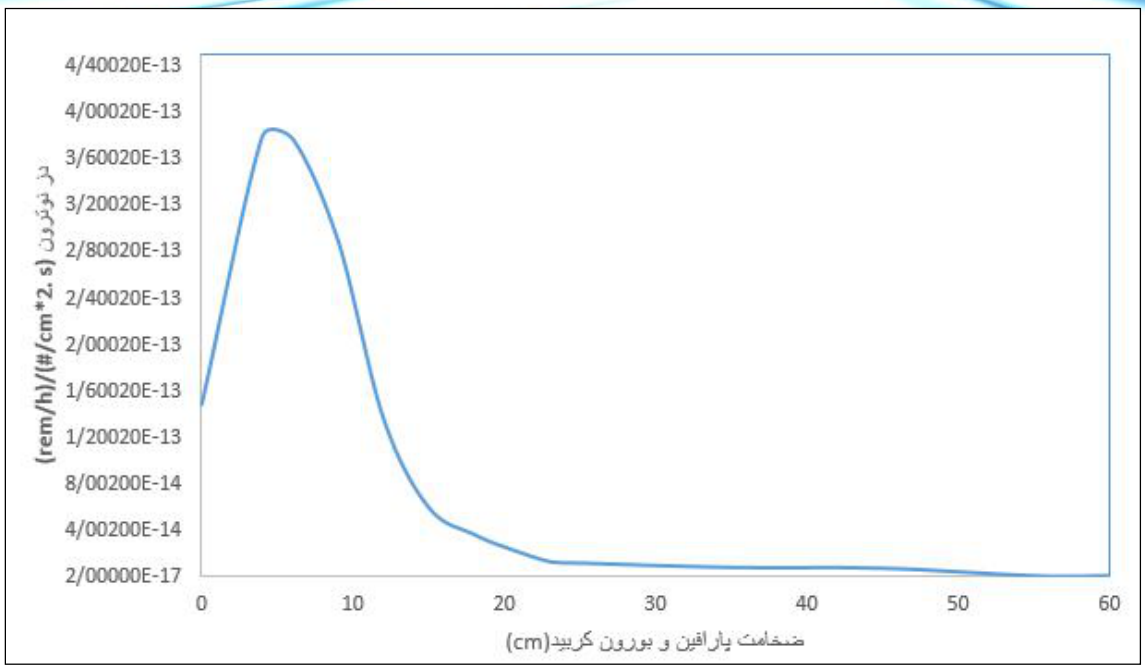
شکل (۳) دز گاما در فانتوم، هنگامی که فقط لایه حفاظ سربی وجود دارد.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت سرب دز گاما کاهش می‌یابد و تقریبا ضخامت ۳۵ سانتی متری، ضخامت مناسب و کافی می‌باشد.

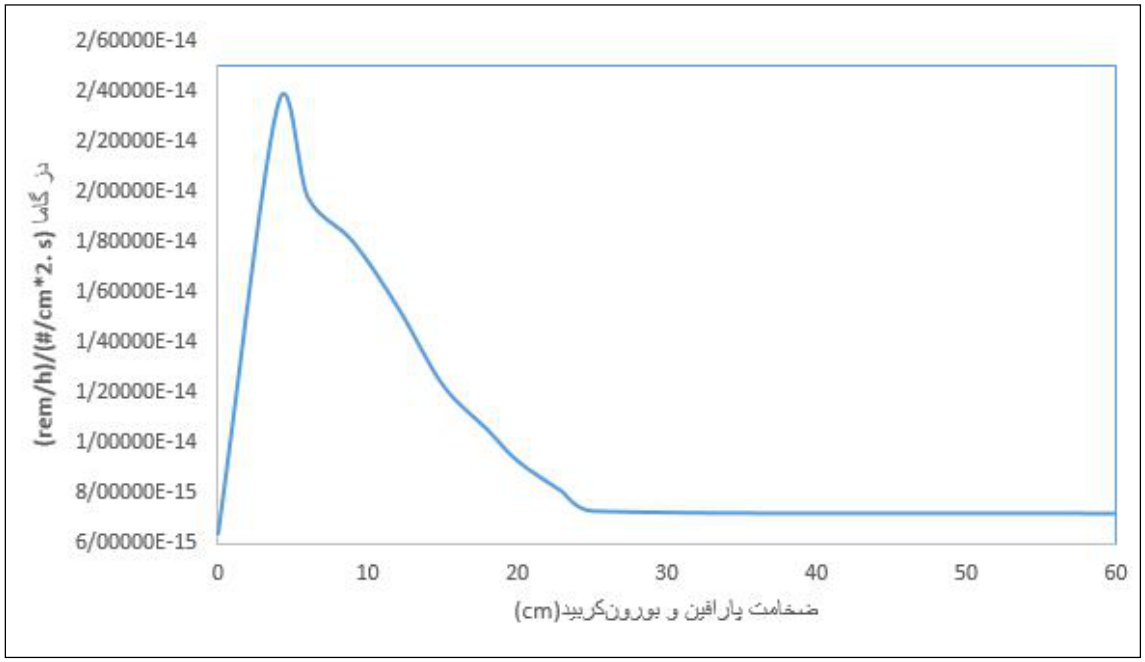


شکل (۴) دز نوترون در فانتوم، هنگامی که فقط لایه حفاظ سربی وجود دارد.

برای کاهش دز نوترون از دو لایه پارافین و بورون‌کربید استفاده شده است.البته شایان ذکر است که در اینجا تأثیر آنچنانی در کاهش دز گاما اتفاقی نیفتاده ا ست. با توجه به محا سبات، میزان ضخامت پارافین ۵۰ سانتیمتر تعیین شد و همچنین ۱۰ سانتی متر میزان ضخامت بورون‌کربید در نظر گرفته شد. نمودار کاهش دز در شکلهای ۵و۶ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل (۵) دز نوترون در فانتوم، هنگامی که فقط لایه حفاظ پارافین و بورون کربید وجود دارد.



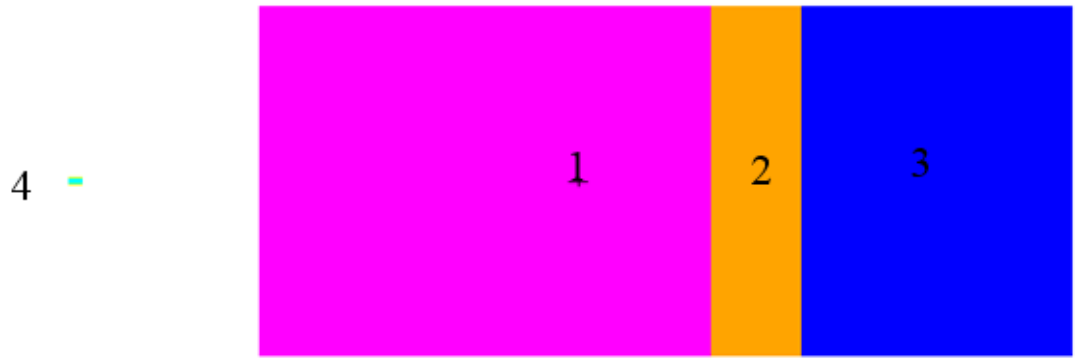
شکل (۶) دز گاما در فانتوم، هنگامی که فقط لایه حفاظ پارافین و بورون کربید وجود دارد.

بحث ونتیجه گیری :

با توجه به محاسبات انجام شده به ترتیب از سمت چشمه به سمت فانتوم آب ۵۰ سانتی متر پارافین، ۱۰ سانتی متر لایه بورون‌کربید و همچنین ۳۵ سانتی متر ضخامت سرب می‌باشد. با این مقادیر حدود مجاز دز نوترون و گاما رعایت شده است و مقادیر تقریبی µSv/hr ۲-۱ برای هر دو پرتو گاما و نوترون بدست آمد.

چیدمان حفاظ در شکل زیر مشخص شده است.

۱. پارافین
۲. بورون‌کربید
۳. سرب
۴. تارگت (چشمه)



مراجع :

[۱] Abdullahi, Bello, and M. T. Tsepav. "The Utilization of Cadmium as Thermal Neutron Filter in the Characterization of Gold Matrix in NIRR-1." International Journal of Science and Technology ۲,۵ (۲۰۱۲).

[۲] .Rinard, P. "Neutron interactions with matter." Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials (1991): 357-377.

[۳] Feng, Wang, et al. "Radiation shielding design for medical cyclotron."Proceedings of IPAC2013, Shanghai, China. JACoW—Creative Commons Attribution (2013): 3339-3341