

بهینه‌سازی پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد در محدوده‌ی

انرژی چشمه‌ی ^{103}Pd

غلامرضا رئیس علی^{۱*}، معصومه دهقانی مقدم^۲، سعید حمیدی^۲، کورش اربابی^۳، مصطفی غفوری^۲

۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها: ایران- تهران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵

۲- دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک: ایران- اراک، صندوق پستی: ۳۸۱۵۶-۸۷۹

۳- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی: ایران- کرج، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸

چکیده

به منظور بررسی تغییرات پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد با انرژی چشمه‌ی مورد اندازه‌گیری، در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am و ^{103}Pd در مکان مرجع اتاقک اندازه‌گیری شد و مشخص شد که پاسخ اتاقک مزبور با کاهش انرژی چشمه سریعاً افت پیدا می‌کند و در انرژی‌های کمتر از 50 keV با مشکل جدی روبرو می‌شود، بطوریکه در انرژی‌های بین $20-30\text{ keV}$ نظیر ^{103}Pd پاسخ قابل اندازه‌گیری از خود نشان نمی‌دهد.

به منظور بررسی عوامل مؤثر بر پاسخ اتاقک در محدوده‌ی چشمه‌های با انرژی پایین از کد کامپیوتری MCNP استفاده شده و اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 با استفاده از کد مذکور شبیه‌سازی شد و پاسخ اتاقک مزبور برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am و ^{103}Pd در مکان مرجع اتاقک محاسبه شد. جریان محاسبه شده اتاقک یونش چاهکدار شبیه‌سازی شده به ازای واحد قدرت چشمه در مکان مرجع اتاقک توافقی خوبی با نتایج متناظر حاصل از اندازه‌گیری برای چشمه‌های مذکور داشت که نشان دهنده درستی اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده بود. با استفاده از محاسبات شبیه‌سازی مشخص شد که یکی از عوامل مؤثر در بهینه کردن پاسخ اتاقک برای چشمه‌های کم انرژی، ضخامت دیواره‌های بین چشمه و حجم حساس اتاقک است و با قرار دادن یک لایه پرسپکس با ضخامت یک میلی‌متر همراه با روکش آلومینیومی به ضخامت $20\text{ }\mu\text{m}$ میکرون به عنوان الکتروود جمع‌کننده می‌توان اتاقکی را ساخت که پاسخ آن در محدوده انرژی چشمه ^{103}Pd بهینه شده باشد.

اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد با توجه به طرح بدست آمده از شبیه‌سازی ساخته شد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ اتاقک ساخته شده در مکان مرجع اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co ، ^{241}Am و ^{103}Pd اندازه‌گیری شد و با پیش‌بینی‌های شبیه‌سازی مقایسه شد که در توافقی خوبی با یکدیگر بودند. از اتاقک ساخته شده مذکور می‌توان برای اندازه‌گیری قدرت چشمه‌های با انرژی پایین (در حد انرژی چشمه ^{103}Pd) استفاده نمود.

کلید واژه: اتاقک یونش چاهکدار، پاسخ انرژی، الکتروود جمع‌کننده، چشمه‌های کم انرژی، MCNP

۱- مقدمه

اتاقک‌های یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد متداول در انرژی‌های کمتر از 50 keV با مشکل جدی روبرو می‌شوند، بطوریکه در انرژی‌های بین $20\text{--}30\text{ keV}$ تقریباً پاسخی از خود نشان نمی‌دهند، بهینه کردن این سیستم‌ها در جهت افزایش کارایی آن‌ها در محدوده انرژی‌های پایین می‌تواند گام مؤثری در جهت پیشرفت در طراحی این سیستم‌ها باشد. در این تحقیق به بررسی عوامل مؤثر بر پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد در محدوده چشمه‌های با انرژی پایین و بهینه کردن پاسخ آن پرداخته شده است.

به منظور بررسی محدوده‌ی جریان قابل اندازه‌گیری با اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 [۱] پاسخ اتاقک مزبور برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co ، ^{241}Am [۲] و چشمه‌ی ^{103}Pd [۳] در مکان مرجع اتاقک اندازه‌گیری شده و تغییرات پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 در محدوده انرژی چشمه‌های مزبور مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین با استفاده از کدمونت کارلوی MCNP [۴] اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 شبیه‌سازی شده و عوامل مؤثر بر پاسخ اتاقک در چشمه‌های با انرژی پایین مورد بررسی قرار گرفته است که در نهایت منجر به ساخت سیستمی با کارایی مناسب در محدوده‌ی انرژی چشمه‌ی ^{103}Pd (حدود 20 keV) گردید.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تغییرات پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد با انرژی چشمه مورد اندازه‌گیری، پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 برای چشمه‌های ^{137}Cs (662 keV)، ^{57}Co (122 keV)، ^{241}Am (60 keV) و چشمه‌ی ^{103}Pd (20 keV) در مکان مرجع اتاقک [۵] اندازه‌گیری شد.

جریان اندازه‌گیری شده اتاقک به ازای واحد اکتیویته چشمه برای چشمه‌ی ^{137}Cs (مدل تیوبی CDCSJ5 ساخت شرکت Nycomed-Amersham) $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-8} \times 8/33$ (با خطای نسبی $0/03\%$)، چشمه‌ی ^{57}Co (در فاز آبی

تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی و پزشکی و صنعتی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران) $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-8}$

$2/08 \times 10$ (با خطای نسبی $0/04\%$) و چشمه‌ی ^{241}Am (مدل کپسولی X 101 RCC ساخت شرکت Nycomed Amersham) $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-9} \times 4/04$ (با خطای نسبی $0/1\%$) بود و برای چشمه ^{103}Pd (تولید شده در

پژوهشکده تحقیقات کشاورزی و پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران) پاسخی نشان نمی‌داد.

همچنین جریان اندازه‌گیری شده اتاقک به ازای واحد قدرت چشمه مورد اندازه‌گیری برای چشمه‌ی ^{137}Cs

$1/0 \frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ (با خطای نسبی 2%)، چشمه‌ی ^{57}Co $2/43 \frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ (با خطای نسبی 3%) و چشمه‌ی

^{241}Am $3/84 \frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ (با خطای نسبی 3%) است.

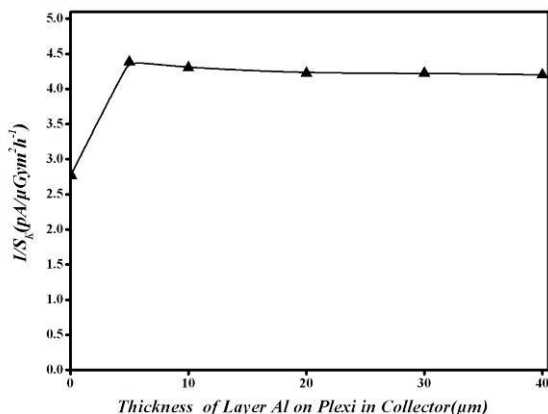
۳- محاسبات

به منظور بررسی عوامل مؤثر بر پاسخ اتاقک در محدوده‌ی چشمه‌های با انرژی پایین از کد کامپیوتری MCNP4C استفاده شد. اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 با استفاده از کد مذکور شبیه‌سازی شده و

پاسخ اتافک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co ، ^{241}Am و ^{103}Pd در مکان مرجع اتافک محاسبه شده و برای محاسبه قدرت چشمه‌ها از نتایج محاسبه نرخ کرمای هوای چشمه با اتافک کروی LS-01 شبیه‌سازی شده استفاده شد [۲]. جریان محاسبه شده اتافک به ازای واحد اکتیویته چشمه با عدم قطعیت ۲٪ برای چشمه‌ی ^{137}Cs $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-8}$ ، چشمه‌ی ^{57}Co $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-8}$ ، چشمه‌ی ^{241}Am $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-9}$ و چشمه‌ی ^{103}Pd $\frac{pA}{Bq} \times 10^{-11}$ بود که با دستگاه‌های متداول برای اندازه‌گیری پاسخ اتافک، قابل اندازه‌گیری نیست. به منظور مقایسه با نتایج اندازه‌گیری و بررسی صحت شبیه‌سازی، جریان اتافک به ازای واحد قدرت چشمه محاسبه شد که با عدم قطعیت ۲٪ برای چشمه‌ی ^{137}Cs $\frac{nA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ ، چشمه‌ی ^{57}Co $\frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ ، چشمه‌ی ^{241}Am $\frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ و چشمه‌ی ^{103}Pd $\frac{pA}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}$ به دست آمد.

شکل ۱- تغییرات جریان محاسبه شده اتافک در مکان مرجع به ازای واحد قدرت چشمه ^{103}Pd (الف) بر حسب ضخامت‌های مختلف الکتروود آلومینیومی داخلی اتافک و (ب) بر حسب ضخامت‌های مختلف ورقه آلومینیوم روی استوانه‌ای از جنس پرسپکس به ضخامت ۱ mm به عنوان الکتروود داخلی اتافک.

محاسبات نشان داد که برای چشمه‌ی ^{103}Pd با اکتیویته مورد استفاده در براکی تراپی (در حد ۱mCi) جریانی در حدود ۰/۰۰۳pA و با حذف دیواره آلومینیومی چاهک جریانی در حدود ۰/۰۹pA و با حذف دیواره آلومینیومی چاهک و لایه پرسپکس داخل الکتروود جمع‌کننده جریانی در حدود ۰/۱۳pA در حجم حساس اتافک تولید می‌شود. برای بالا بردن پاسخ اتافک برای چشمه‌ی ^{103}Pd ، ضخامت الکتروود جمع‌کننده نیز تغییر داده شد. با توجه به اینکه برای پوشش دادن آلومینیوم (Coating) مشکلاتی وجود داشت، از ورقه آلومینیومی برای الکتروود جمع‌کننده استفاده شد. در شکل ۱- الف تغییرات جریان محاسبه شده به ازای واحد قدرت چشمه‌ی ^{103}Pd بر حسب ضخامت الکتروود جمع‌کننده نشان داده است. به منظور استحکام الکتروود جمع‌کننده از استوانه‌ای از جنس پرسپکس به ضخامت یک میلی‌متر استفاده شد و روی لایه بیرونی آن ورقه‌ای آلومینیومی در نظر گرفته شد. در شکل ۱- ب تغییرات جریان محاسبه شده به ازای واحد قدرت چشمه‌ی ^{103}Pd بر حسب ضخامت ورقه آلومینیومی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱- ب ضخامت



(ب)



(الف)

۲۰ میکرون آلومینیوم به عنوان پوشش بهینه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در این ضخامت علاوه بر

بالا بودن پاسخ اتاقک، حساسیت به ضخامت چندان زیاد نیست و تغییرات جزئی در ضخامت لایه آلومینیومی منجر به تغییرات شدید در پاسخ اتاقک نمی‌شود.

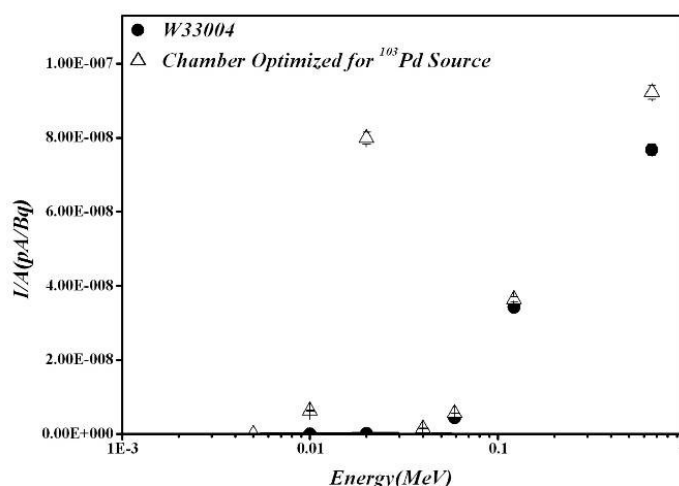
برای محاسبه‌ی تغییرات پاسخ اتاقک بر حسب انرژی، پاسخ اتاقک به ازای واحد قدرت چشمه و هم‌چنین پاسخ اتاقک به ازای واحد اکتیویته‌ی چشمه در مکان مرجع برای هر یک از چشمه‌های ^{241}Am ، ^{57}Co ، ^{137}Cs و ^{103}Pd محاسبه شد و برای بررسی پاسخ اتاقک در انرژی‌های پایین چشمه‌های مفروضی با انرژی 4 keV ، 10 keV و 5 keV در نظر گرفته شد.

۴- ساخت اتاقک یونش

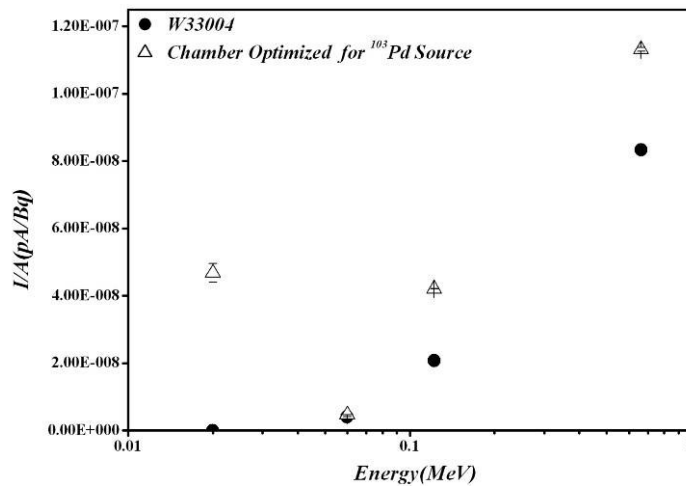
اتاقک چاهکدار مرتبط با هوای آزاد با توجه به طرح پیش‌بینی شده با شبیه‌سازی ساخته شد. مقدار جریان‌نشتی اتاقک در حدود 0.05×10^{-14} آمپر بود که با توجه به کم بودن جریان‌نشتی می‌توان از مقدار آن در اندازه‌گیری‌ها صرف‌نظر کرد. به منظور بررسی رفتار پاسخ اتاقک مذکور در انرژی‌های مختلف، پاسخ اتاقک در مکان مرجع برای هر یک از چشمه‌های ^{241}Am ، ^{57}Co ، ^{137}Cs و چشمه‌ی ^{103}Pd اندازه‌گیری شد.

۵- نتایج

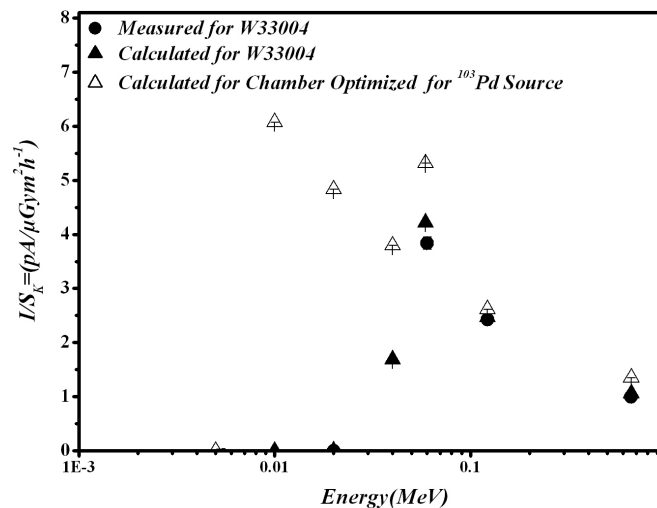
نتایج تغییرات پاسخ محاسبه شده و اندازه‌گیری شده بر حسب انرژی چشمه به ازای واحد اکتیویته‌ی چشمه در مکان مرجع اتاقک طراحی شده در شکل‌های ۳ و ۴ رسم شده است و با مقادیر متناظر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده با اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 مقایسه شده است. تغییرات جریان محاسبه شده به ازای واحد قدرت چشمه در مکان مرجع اتاقک طراحی شده بر حسب انرژی چشمه در شکل ۵ رسم شده است و با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 مقایسه شده است.



شکل ۳- مقایسه تغییرات جریان محاسبه شده در مکان مرجع اتاقک چاهکدار مدل W33004 بر حسب انرژی چشمه به ازای واحد اکتیویته‌ی چشمه با پاسخ اتاقک بهینه شده برای چشمه‌ی ^{103}Pd .



شکل ۴- مقایسه تغییرات جریان اندازه‌گیری شده در مکان مرجع اتاقک چاهکدار مدل W33004 بر حسب انرژی چشمه به ازای واحد اکتیویته‌ی چشمه با پاسخ اتاقک بهینه شده برای چشمه‌ی ^{103}Pd .



شکل ۵- مقایسه تغییرات جریان محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در مکان مرجع اتاقک چاهکدار مدل W33004 بر حسب انرژی چشمه به ازای واحد قدرت چشمه با پاسخ محاسبه شده در مکان مرجع اتاقک بهینه شده برای چشمه‌ی ^{103}Pd .

۶- بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات جریان اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به ازای واحد اکتیویته چشمه بر حسب انرژی در اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 در شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که پاسخ اتاقک با کاهش انرژی کم شده و در مورد چشمه‌های با انرژی پایین، مثل ^{103}Pd با اکتیویته‌های مورد استفاده در براکی‌تراپی (حدود ۱mCi)، پاسخ قابل اندازه‌گیری از خود نشان نمی‌دهد. یکسان بودن نتایج حاصل از محاسبات تغییرات جریان محاسبه شده به ازای واحد قدرت چشمه بر حسب انرژی چشمه با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده در اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co ، ^{241}Am و ^{103}Pd در شکل ۵ نشان‌دهنده‌ی درستی

اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده است. با بررسی تأثیر ضخامت دیواره‌های داخلی بین چشمه و حجم حساس اتاقک شبیه‌سازی شده مشخص شد که با قراردادن الکتروود داخلی با ضخامت ۵ میکرون، پاسخ اتاقک برای چشمه ^{103}Pd بیشینه خواهد بود (شکل ۱-الف). به منظور قرار دادن الکتروود با استحکام بیشتر، محاسبات در شکل ۱-ب نشان داد که با قرار دادن پلکسی با ضخامت یک میلی متر علاوه بر ورقه آلومینیومی پاسخ اتاقک تضعیف چندانی ندارد و با ورقه آلومینیومی با ضخامتی بین ۵ میکرون تا ۱۰ میکرون پاسخ اتاقک بیشینه است و با این ضخامت برای چشمه ^{103}Pd با اکتیویته ۱ mCi جریانی در حدود ۲ pA تولید می‌شود و پاسخ اتاقک تا ضخامت ۲۰ میکرون کاهش چندانی نخواهد داشت. بررسی پاسخ اتاقک شبیه‌سازی با قرار دادن پلکسی با ضخامت ۱ mm همراه با ورقه آلومینیومی با ضخامت ۲۰ میکرون برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co ، ^{241}Am و ^{103}Pd در شکل ۳ و مقایسه‌ی آن با مقادیر متناظر محاسبه شده با اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 نشان می‌دهد که پاسخ اتاقک طراحی شده با کاهش انرژی کم می‌شود، اما برخلاف پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004، پاسخ اتاقک طراحی شده در انرژی چشمه ^{103}Pd افزایش می‌یابد. رفتار تغییرات پاسخ اتاقک بر حسب انرژی چشمه در انرژی‌های پایین دارای کمینه است و در محدوده‌ی انرژی چشمه ^{103}Pd افزایش می‌یابد.

در شکل ۴ بررسی تغییرات جریان اندازه‌گیری شده به ازای واحد اکتیویته چشمه در مکان مرجع اتاقک ساخته شده بر حسب انرژی چشمه و مقایسه آن با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده با اتاقک یونش چاهکدار مدل W33004 نشان می‌دهد که پاسخ اتاقک یونش چاهکدار ساخته شده در محدوده‌ی انرژی چشمه ^{103}Pd افزایش می‌یابد و پیش‌بینی‌های حاصل از شبیه‌سازی را تأیید می‌کند. از اتاقک ساخته شده‌ی مذکور می‌توان برای اندازه‌گیری قدرت چشمه‌های با انرژی پایین (در حد انرژی چشمه ^{103}Pd) استفاده نمود.

سپاسگزاری

از آقای ارژنگ شهور و کارکنان بخش تراشکاری پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران به خاطر همکاری‌های صمیمانه شان در انجام این تحقیق سپاسگزاریم.

مراجع

1. *Instruction Manual HDR Chamber Type , D432. 131. 0/1.*

۲. غلامرضا رئیس‌علی، سعید حمیدی، معصومه دهقانی مقدم، مصطفی غفوری، عبدالرضا سلیمانان، بررسی تغییرات پاسخ اتاقک یونش چاهک‌دار مرتبط با هوای آزاد در اثر نوع آلیاژ آلومینیوم به کار رفته در دیواره اتاقک در بازه انرژی چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am ، ارائه شده در کنفرانس هسته‌ای ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، اسفند ۱۳۸۴.

3. Mark J. revard, Bert M. Coursey, Larry A. Dewerds Willian F. Hanson, M. Saiful Huq, Geoffrey S.Ibbott, Michael G. Mitch, Ravinder Nath, Jeffrey F. Williamson, "Update of AAPM Task Group No.43 Report: A Revised AAPM Protocol for Brachytherapy Dose Calculations", Med. Phys. 31(3), March (2004).

4. Briesmeister, J. F. Editor, "MCNP-4C, A General Monte Carlo N Particle Transport Code System Version 4C", Los Alamos National Laboratory LA-13709-M (2000).



5 . International Atomic Energy Agency “*Calibration of Photon and Beta Source Used in Brachytherapy*”, IAEA– TECDOC– 1274, March (2002).