



دانشگاه شهر

**اندازه گیری ضرایب انباشت پرتوهای گاما با انرژی های کمتر از ۵MeV در آب با استفاده از کد MCNP4c با در نظر گرفتن تابش ترمی و اثر اندازه چشم**

مهندسی نصری نصراًبادی<sup>۱</sup> و داود میرزاپی<sup>۱\*</sup>

۱. دانشگاه کاشان، دانشکده علوم، گروه فیزیک، کاشان- ایران

۲. دانشگاه قم، دانشکده علوم، گروه فیزیک، قم - ایران

چکیده:

با در نظر گرفتن انواع برهم کنش های گاما با ماده ، در این کار محاسبه ضرایب انباشت انجام شد. همچنین اثر تابش ترمی ، بدون در نظر گرفتن پراکنده گی همدوس برای چشم های نقطه ای همسانگرد در آب با حفاظت کروی به روش مونت کارلو با استفاده از کد MCNP4c مورد مطالعه قرار گرفت. این ضرایب با بکارگیری آخرین اطلاعات کتابخانه ای موجود در کد MCNP4c محاسبه شده اند و می توان از آنها بعنوان ضرایب انباشت اصلاح شده در محاسبات حفاظت سازی استفاده کرد [۱، ۲، ۳]. اختلاف بین ضرایب محاسبه شده بوسیله کد MCNP4c با دیگر روشها کمتر از ۱۰ درصد است [۴، ۵]. در این مقاله محاسبات تا ۱۰ مسیر آزاد میانگین انجام شده است.

**واژه های کلیدی:** ضریب انباشت، کد MCNP4c، پرتوهای گاما، تابش ترمی، اندازه چشم

#### ۱- مقدمه

شدت تابش گاما هنگامی که پرتوهای گاما بطور موازی بر جذب کننده ای با ضخامت (x) فرود می آیند، بطور نمائی بر طبق معادله زیر کاهش می یابد:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

در این معادله  $I_0$  شدت پرتو فرودی ،  $(x)$  شدت پرتو در عمق  $x$  از ماده جذب کننده و  $\mu$  ضریب تضعیف خطی است که به جنس ماده جذب کننده و انرژی گاماهای فرودی بستگی دارد.

1) Corresponding author. Tel.: +983615552935; fax: +983615552935  
E-mail address: [mmasri@kashanu.ac.ir](mailto:mmasri@kashanu.ac.ir) (M.N. Nasrabadi).



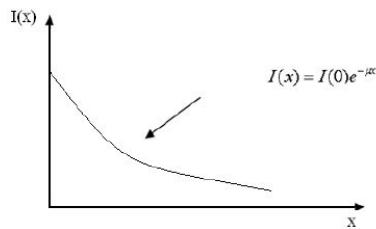
دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



شکل (۱) منحنی شدت بر حسب ضخامت ماده جاذب

اگر باریکه‌ای و اگرا بر ماده جاذب ضخیمی فرود آید، معادله (۱) دیگر ضخامت ماده بطور دقیق بدست نمی‌دهد بلکه مقدار آن را کمتر از مقدار واقعی برآورده می‌کند، در این شرایط ضخامت حفاظت را باید با احتساب ضریب تصحیح  $B$  موسوم به ضریب انباشت برآورد کرد.

$$I = BI_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

همواره  $B \geq 1$  است. بر طبق تعریف، ضریب انباشت بیانگر نسبت پاسخ آشکارساز به کل پرتوها (برخوردي و غیربرخوردي) در هر نقطه از باریکه به پاسخ آشکارساز به پرتوهای غیربرخوردي در همان نقطه می‌باشد [۵، ۶، ۷]. ضریب انباشت به عوامل مختلفی از جمله: ۱- نوع پاسخ آشکارساز، ۲- اندازه و شکل چشم، ۳- اندازه محیط جذب کننده، ۴- انرژی تابش گاما، ۵- فاصله چشم تا آشکارساز، ۶- جنس محیط جذب کننده و ۷- اندازه و شکل آشکارساز بستگی دارد [۹، ۱۰]. در این مقاله داده‌های ضریب انباشت پرتوهای گاما برای چشم‌های نقطه‌ای همسانگرد با داده‌های حاصل از کد MCNP4c مقایسه شده‌اند [۲]. داده‌های تجربی ضریب انباشت بوسیله انجمن هسته‌ای آمریکا در سال ۱۹۹۱ بدست آمدۀ است [۲]. در این تحقیق ضریب انباشت برای چشم‌های نقطه‌ای واقع در محیط‌های بی‌نهایت (کره‌ای با شعاع زیاد) از جنس آب تا ۱۰ مسیر آزاد میانگین محاسبه و ضمن مقایسه این ضرایب با نتایج حاصل از کار دیگران [۴]، اثر تابش ترمیزی و تاثیر اندازه چشم نیز بر روی آنها مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰، ۷].

## ۲- شبیه‌سازی هندسه مسئله

در این کار هندسه مسئله مطابق شکل (۲) از سه تا سلول تشکیل شده است. سلول اول کره‌ای است که آشکارسازهای هسته‌ای روی آن قرار دارند و داخل آن پر از آب می‌باشد. سلول دوم کره بی‌نهایتی است که باز هم پر از آب می‌باشد. سلول سوم محیط بیرونی می‌باشد که خلا است. یک چشم همسانگرد نقطه‌ای در مرکز کره‌های مذکور قرار گرفته که گاماهایی با انرژی کمتر از  $5\text{MeV}$  گسیل می‌کند. برای محاسبه



دانشگاه شهر

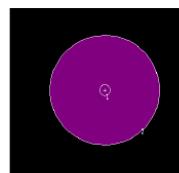
## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

ضریب انباشت، لازم است که شار را یا روی سطح کرده با روی سطح آشکارساز محاسبه کنیم. از تالی های F2 و F5 بترتیب برای محاسبه شار روی سطوح کرده و آشکارساز استفاده شده است [۱۷].



شکل (۲) هندسه مسئله شبیه سازی شده

## ۳- محاسبه ضریب انباشت برای کره ای با شعاع و جنس معین

شبیه سازی تراپردازی گاما در ماده به روش مونت کارلو بطور مفصل در منابع مختلف مورد بحث قرار گرفته است [۱۱]. در برنامه نوشه شده فرض می شود جسم جذب کننده کره ای از جنس آب با شعاع معین است که یک چشمۀ گاما ای نقطه ای تک انرژی در مرکز آن قرار گرفته و سرتاسر محیط آن را آشکارسازهای تابش گاما پوشانده است. گاماهایی که بطور همسانگرد از این چشمۀ گسیل می شوند با توجه به انواع بروم کنش های گاما با ماده، سطح مقطع های مربوطه و روابط ریاضی حاکم بر آنها در محیط دنبال می شوند. اگر انرژی هر گامایی که به آشکارساز می رسد  $E_i$  و زاویه ای که امتداد حرکت گاما در نقطه برخورد با کره می سازد  $\theta_i$  باشد ضریب انباشت بگونه زیر بدست می آید:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{N'} E_i \mu_{air} \left( \frac{1}{\cos \theta_i} \right)}{E_\gamma N_0 e^{-\mu_m R} \mu_{air}} \quad (3)$$

در معادله بالا  $N_0$ ،  $N'$ ،  $E_\gamma$ ،  $\mu$ ،  $\mu_{air}$ ،  $\rho$  و  $R$  بترتیب اشاره به تعداد کل گاماهایی با انرژی  $E_\gamma$  که از چشمۀ خارج می شوند، تعداد گاماهایی که به آشکارساز می رسند، ضریب جذب جرمی ماده جذب کننده برای گاماهایی با انرژی  $E_\gamma$ ، ضریب تضعیف جرمی هوا برای گاماهایی با انرژی  $E_i$ ، چگالی ماده ( $g cm^{-3}$ ) و شعاع کره ماده مورد نظر ( $mfp$ ) دارد. بدین وسیله با استفاده از پارامترهای بالا ضریب انباشت برای  $N_0$  پرتو گاما با انرژی  $E_\gamma$  محاسبه می گردد. محاسبه ضریب انباشت با استفاده از کد MCNP4c طی دو مرحله انجام می گیرد. در مرحله اول یک کره ای جاذب پر از آب که یک چشمۀ نقطه ای گاما در مرکزش قرار گرفته تعریف می کنیم و در مرحله دوم با استفاده از تالی F5 شار روی سطح آشکارساز را ایجاد می کنیم، برای بعضی از انرژی ها که خطا زیاد بود تالی F2 را بکار بردیم. از آنجایی که برای محاسبه ضریب انباشت



لازم است شار روی سطح کره نمونه را بدانیم لذا از تالی های  $F2$  و  $F5$  بترتیب برای اندازه گیری متوسط شار روی سطوح نمونه و آشکارساز استفاده می نماییم. در این محاسبات فاصله برحسب متراژ داده شده و ضریب انباست با استفاده از اثر تابش ترمی بدون در نظر گرفتن پراکنده گی همدوس و غیر همدوس بدست آمده است. مقایسه این روش با کاردیگران نشان داد که خطای اندازه گیری کمتر از ده درصد است.

#### ۴- تابش ترمی

ذرات باردار به هنگام حرکت درون ماده بنچار انرژی خود را از طریق فرایندهای برانگیزش و یونش اتمها و مولکولهای ماده از دست می دهند. ولی در عین حال کسری از انرژی آنها می تواند بصورت تابش از دست رود. این اثر بنام تابش ترمی معروف است [۲،۳].

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

از آنجایی که همه پرتوهای گاماها بی که به آشکارساز می رستند بطور مستقیم از چشم می آیند، لذا لازم است که با بکار گیری ضریب انباست برای محاسبه شار تصحیحات لازم در نظر گرفته شود [۹،۱۰]. در این کار ضریب انباست بر روی کره ای به شعاع  $13mfp$  محاسبه شده است. نتایج حاصل از این فاصله با نتایج حاصل از یک محیط بی نهایت یکسان می باشد. در اینجا ضریب انباست با استفاده از کد  $MCNP4c$  بکار بار احتساب تابش ترمی و بار دیگر در غیاب تابش ترمی محاسبه شده و نتایج در جداول (۱) و (۲) داده شده اند. در نمودارهای ۳ تا ۱۰ ضرایب انباست بر اساس نتایج حاصل از جداول مذکور رسم و مقایسه شده اند. همچنین ضرایب انباست حاصل از محاسبات کد  $MCNP4c$  در حضور تابش ترمی انجام گرفته و نتایج حاصل از آن ضمن مقایسه با داده های مرجع در نمودارهای ۱۱ تا ۲۰ رسم شده اند [۶]. همچنانکه دیده می شود توافق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از کد  $MCNP4c$  و مرجع در انرژی های پایین وجود دارد اما در حد انرژی های بالا بین این نتایج اختلاف وجود دارد که این اختلاف بعلت پراکنده گی های زیاد و سطح مقطع های مختلف می باشد. در این تحقیق همچنین به محیط های محدود نیز پرداخته ایم اما برای چنین محیط هایی ضرایب انباست با ضرایب انباست حاصل از مرجع اختلاف زیادی پیدا می کند، جدول (۳). نتایج حاصل از این جدول در نمودارهای (۲۱، ۲۲، ۲۳) نمایانده شده اند [۶]. همچنان که در این نمودارها دیده می شود در ارتباط با محیط های محدود نتایج چندان مطلوب نیست. بدین علت ما محاسبات خود را در ارتباط با محیط های بی نهایت گسترش دادیم که با توجه به نمودارهای (۱۱ تا ۲۰) نتایج خوبی نیز حاصل شد. برای تکمیل کار، تاثیر اندازه چشم می برد ضریب انباست نیز مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه گرفتیم که با افزایش



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

انرژی  $ROI$  اگر اندازه چشمی ثابت باشد،  $\mu$  ثابت ولی  $B^{(\infty)}$  افزایش می‌یابد و با افزایش اندازه چشمی

در صورت ثابت بودن  $ROI$ ،  $B^{(\infty)}$  ثابت ولی  $\mu$  کم می‌شود [۷].

**جدول (۱)** محاسبه ضرایب انباشت در غیاب تابش ترمزی با انرژی‌های مختلف

mfp	E (MeV)							
	0.06	0.3	0.4	0.5	0.8	1	2	5
1	5.04	2.79	2.56	2.41	2.17	2.03	1.72	1.46
2	11.51	6.56	5.61	4.84	4.11	3.68	2.82	2.11
3	20.8	11.9	9.84	8.26	6.68	5.78	4.15	2.48
4	31.52	18.44	15.67	12.75	9.91	7.87	4.88	3.17
5	40.23	29.12	22.3	17.97	13.79	10.54	6.25	3.86
6	60	41.86	32.04	24.6	16.03	13.73	7.29	4.2
7	74.01	55.69	42.33	33.09	20.91	16.82	8.79	4.86
8	100.1	75.14	53.6	40.81	24.98	19.97	10.27	5.2
10	151.34	116.94	85.65	60.6	32.02	27.15	13.22	6.34



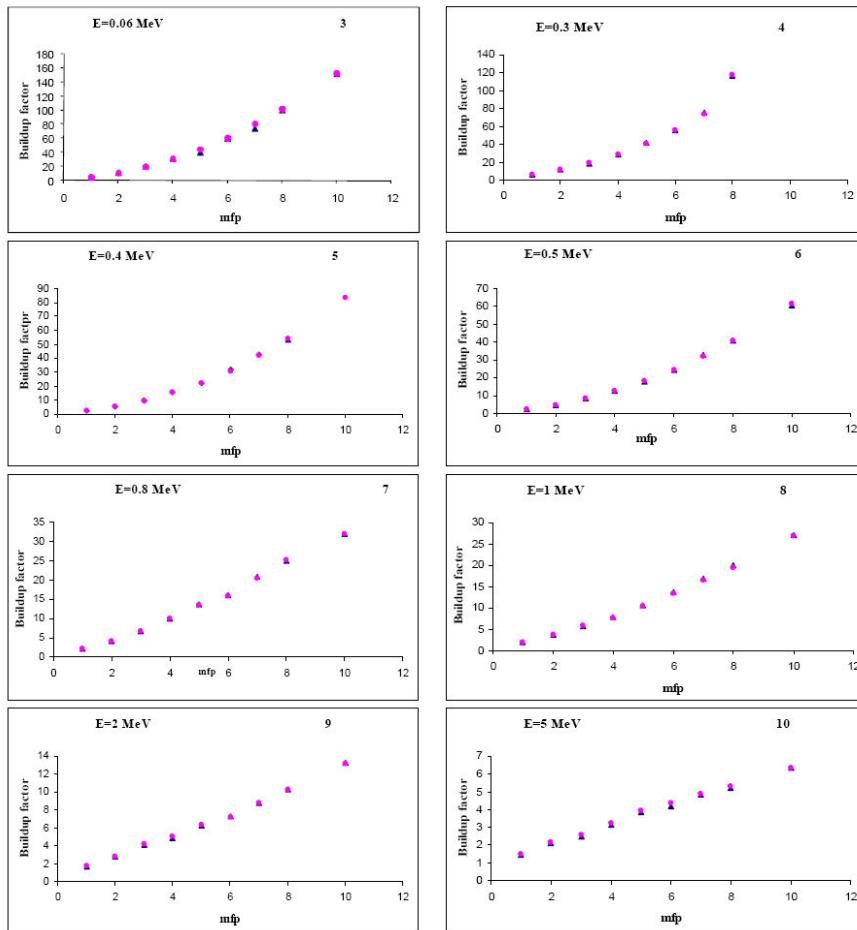
دانشگاه  
شهرورد

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران



نمودارهای ۳ تا ۱۰. مقایسه خسایب انباشت در حضور و غیاب تابش ترمی راشن می دهد. علامت های ● و ▲ برتری خسایب انباشت در حضور و غیاب تابش ترمی راشن می دهد.

جدول (۱) محاسبه خسایب انباشت در حضور و غیاب تابش ترمی راشن می دهد، جدول (۲) نشان می دهد که در غیاب تابش ترمی تعداد برهم کشن ها کاهش یافته و در نتیجه خسایب انباشت نیز کم شده است. این اختلاف را در نمودارهای ۳ تا ۱۰ مشاهده می کنیم.



دانشگاه شهرورد

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

$E=MeV$															
$mfp$	5	4	3	2	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.08	0.06	0.05
1	1.51	1.58	1.58	1.74	2.03	2.18	2.3	2.4	2.66	2.97	3.47	4.64	5.13	5.02	4.52
2	2.16	2.38	2.37	2.82	3.66	4.08	4.49	4.8	5.55	6.52	8.06	11.47	12.58	11.35	9.31
3	2.57	2.82	3.3	4.16	5.85	6.69	7.53	8.23	9.86	11.71	15.38	22.3	24.38	20.02	15.19
4	3.23	3.61	4.26	5	7.74	9.94	11.47	12.71	15.86	19.27	25.85	37.83	40.7	30.9	22.07
5	3.92	4.53	5.2	6.36	10.42	13.4	16.19	18.48	22.39	28.94	40.09	60.59	60.34	44.67	29.92
6	4.38	4.67	5.9	7.21	13.4	15.83	21.65	24.54	30.89	40.95	50	95.54	90.82	60.77	39.85
7	4.87	5.34	6.82	8.76	16.49	20.35	28.11	32.03	41.8	55.85	83.3	133.35	128.55	80.6	50.17
8	5.33	5.83	7.53	10.31	19.34	25.3	34.34	40.96	54.1	73.43	110.1	182.74	171.91	102	57.4
10	6.34	6.94	9.09	13.2	26.79	31.89	49.8	61.55	83.52	118.04	203.81	325	278.93	153.28	85.7

برای داده‌های اضافی مراجع مکحدوی (۲) مراجع  $MeV$  اشاره شده است.



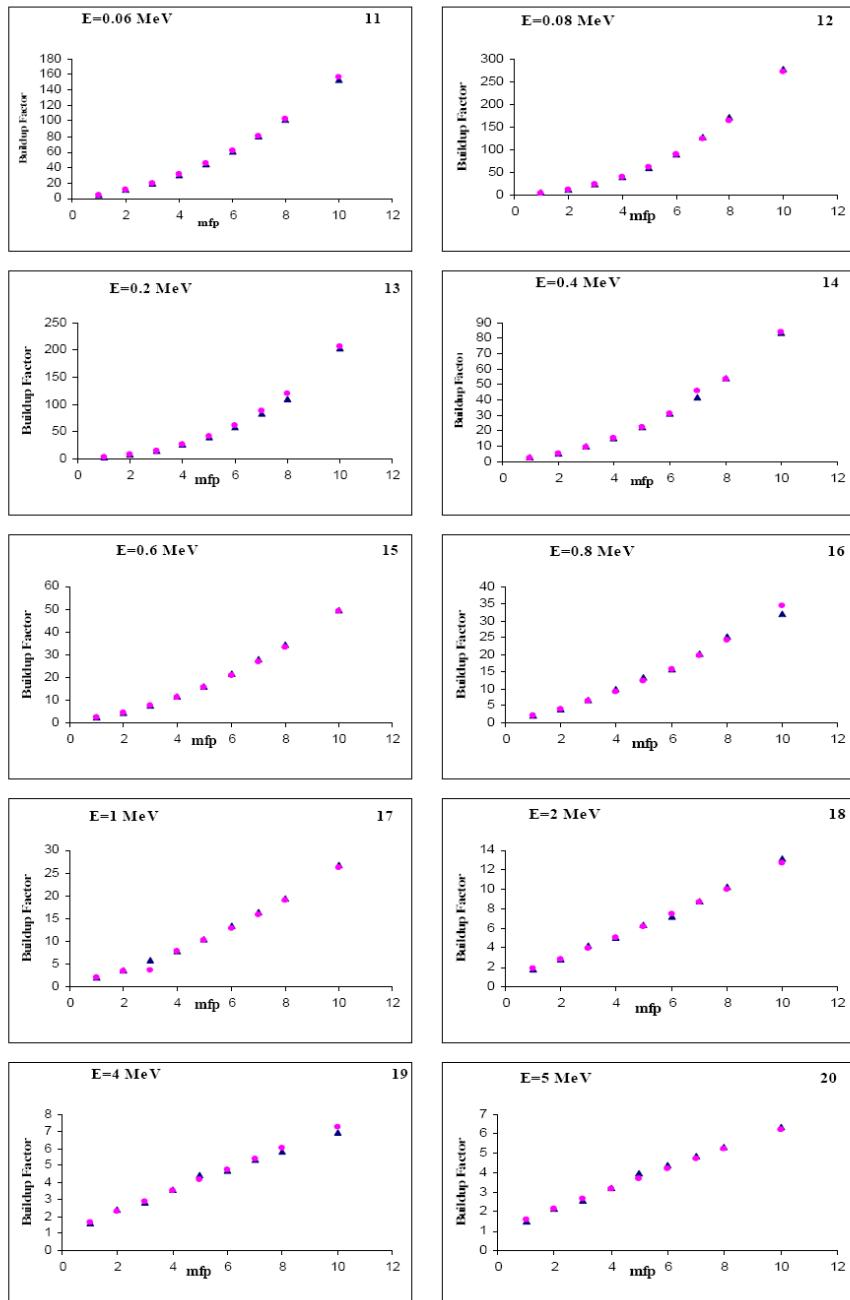
دانشگاه شهرد

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران





دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



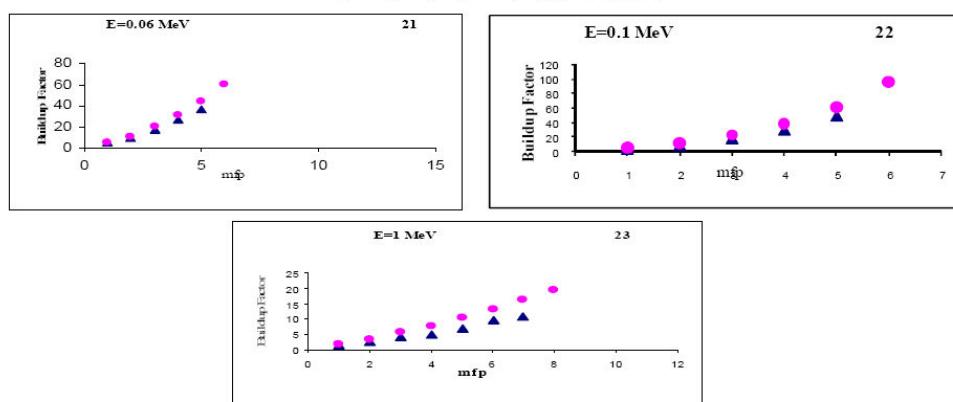
انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

$E(MeV)$	$mfp$				
	1	2	3	4	5
0.06	4.93	9.32	17.77	27.11	37.12
0.1	3.87	8.92	18.09	29.69	48.76
1	1.7	2.73	4.16	5.13	7.07

نمودارهای ۲۰-۲۱-۲۲-۲۳. مقایسه ضرایب انباشت بدست آمده در این کار با مرجع [۷] نشان می‌دهند. علامت‌های  $\blacktriangle$  و  $\bullet$  بترتیب ضرایب انباشت اینکار با مراجع را نشان می‌دهند.

جدول (۳) ضرایب انباشت در محیط‌های محدود



نمودارهای (۲۱،۲۲،۲۳) مقایسه ضرایب انباشت بدست آمده با مرجع برای محیط‌های محدود. علامت‌های  $\blacktriangle$  و  $\bullet$  بترتیب ضرایب انباشت را برای محیط‌های محدود و بی‌نهایت نشان می‌دهند.



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران

### References

- [1] Shimizu, A. 2002. Calculation of gamma-ray buildup factors up to depths of 100 mfp by the method of invariant embedding (I). *J. Nucl. Sci. Technol.* 39, 477
- [2] Shimizu, A. and Hideo Hirayama, 2003. Calculation of gamma-ray buildup factors up to depths of 100 mfp by the method of invariant embedding (II). *Nucl. Sci. Technol.* 192-200
- [3] American National standard, 1991. Gamma-ray attenuation coefficients and buildup factors for engineering materials. ANSI/ANS-6.4.3.
- [4] Shimizu, A., Onda, T. and Sakamoto, Y. 2004. Calculation of gamma-ray buildup factors up to depths of 100 mfp by the method of invariant embedding (III). Generation of an improved Data Set, *Nucl. Sci. Technol.* 413-424
- [5] Hubbell, J.H. 1969. Photon cross section, attenuation coefficients and energy absorption coefficients from 10KeV to 100GeV. NSRDS-NBS-29, National Bureau of Standards
- [6] Jeffrey, A.S. 1985. The Effect of Source Size on the Buildup Factor Calculation of Absolute Volume. *Nucl. Med.* 26, 1319-1322.
- [7] Jeffrey, A.S., Raymond, K.W. and Alan, H.M. 1985. The buildup factor: Effect of Scatter on Absolute Volume Determination. *Nucl. Med.* 26, 390-394.
- [8] Chilton, A.B., Shultz, J.K. and Faw, R.E. 1984. Principles of radiation shielding. Prentice- Hall. 337.
- [9] Chilton, A. B., Artor, B. and Shultz, J.K. 1985. Principal of radiation shielding.
- [10] Photon interaction cross section library. Radiation shielding information center data package C136/PHOTX, National Institute of Standards and Technology.
- [11] Briesmeister, J.F. 2000. (Ed.), MCNP – A general Monte Carlo N Particle Transport Code. Version 4C, LA-13709-M.
- [12] Hirayama, H. 1995. *Nucl. Sci. Technol.* 32, 1201.