

نشریه تابش و فناوری هسته ای، دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶

بررسی، تحلیل و شبیه سازی تکفام سازی طیف انرژی بتای گسیلی از چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ با استفاده از میدان مغناطیسی یک حلقه

حسین صادقی^{۱*}، سید مجتبی مستجاب الدعواتی^۲، اکبر اسحاقی^۳، داوود رهی^۴

^۱ دانشیار گروه فیزیک بهداشت دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

^۲ استادیار گروه مهندسی هسته ای دانشگاه اصفهان

^۳ دانشیار دانشکده مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

^۴ دانشجوی دکتری گروه مهندسی هسته ای دانشگاه اصفهان

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۴)

خلاصه:

در این تحقیق، چشمه بتازای $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ مورد بررسی قرار گرفته است که چگونه می توان با استفاده از میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه حامل جریان، آن را تکفام نمود. سپس با توجه به انحراف الکترون در میدان مغناطیسی، طیف انرژی خروجی از پنجره خروجی حلقه حامل جریان، با استفاده از کد شبیه ساز مونت کارلو MCNP به دست آمده است

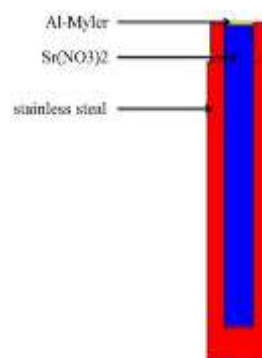
واژه های کلیدی: میدان مغناطیسی، چشمه بتازا، تکفام سازی انرژی، MCNP

* اصفهان، شاهین شهر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر، گروه فیزیک بهداشت.

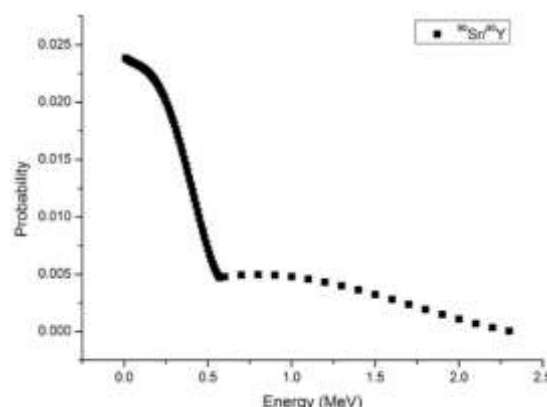
پست الکترونیکی: hsadghi@mut-es.ac.ir

۱. مقدمه

چشمه پرتوزای $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ گسیلنده پرتو بتا است. طیف انرژی بتا گسیلی، یک طیف پیوسته است (شکل ۱ و ۲) [1].



شکل ۱: نمایی از چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ۱۳ mCi



شکل ۲: طیف انرژی بتای به دست آمده از شبیه سازی با کد

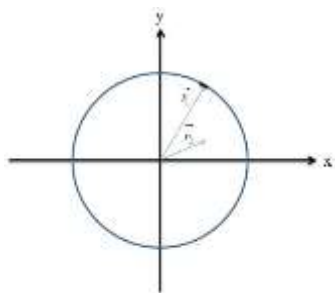
MCNP

یکی از پرکاربردترین استفاده های این چشمه، در موارد بتاولتائیک با دیود سیلیکون کریستالی است. آستانه تخریب این ماده با ذره الکترون در انرژی ۱۴۰ keV است. از طرفی دیگر، برای مقاصد گوناگون مثل پزشکی و آنالیز مواد، نیاز به یک طیف تک انرژی است. یکی از بهترین راه ها، استفاده از طیف سنج مغناطیسی است. یکی از ساده ترین راه ها از نظر فنی برای ساخت، استفاده از حلقه شامل جریان الکتریکی است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱- شبیه سازی میدان مغناطیسی یک حلقه

میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه حامل جریان پادساعت گرد از قانون بیوساوار محاسبه می شود (شکل ۳) [2, 3].



شکل ۳: نمایی از حلقه حامل جریان پادساعت گرد

$$\vec{B}(\vec{r}_2) = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l}_1 \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} \quad (1)$$

المان جریان از رابطه (۲) به دست می آید.

$$d\vec{l} = a d\theta (-\vec{i} \sin\theta + \vec{j} \cos\theta) \quad (2)$$

رابطه (۳) و (۴) به ترتیب مکان محاسبه میدان مغناطیسی و مکان حضور جریان است.

$$\vec{r}_2 = x\vec{i} + y\vec{j} \quad (3)$$

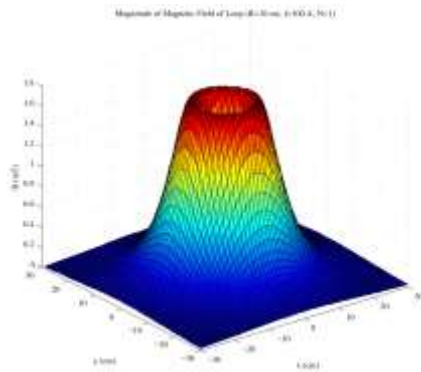
$$\vec{r}_1 = a \cos\theta \vec{i} + a \sin\theta \vec{j} \quad (4)$$

$$d\vec{l}_1 \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1) = (a - y \sin\theta - x \cos\theta) \vec{k} \quad (5)$$

$$\vec{B}(x, y) = \frac{\mu_0 a I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(a - y \sin\theta - x \cos\theta) \vec{k}}{((x - a \cos\theta)^2 + (y - a \sin\theta)^2)^{3/2}} d\theta \quad (6)$$

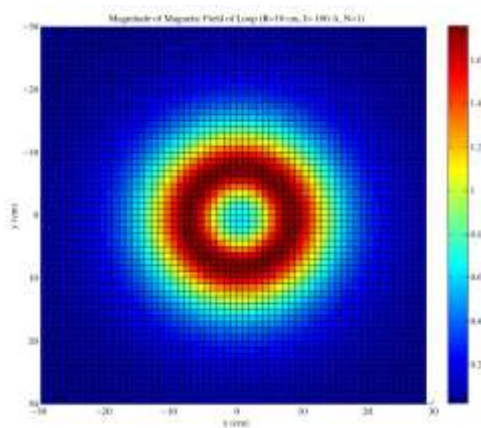
با حل عددی معادله (۶) میدان مغناطیسی یک حلقه در صفحه ی خود حلقه محاسبه می شود.

معادله (۶) از روش های عددی معمول قابل حل نیست. زیرا مخرج در بعضی از نقاط صفر می شود. بنابراین مخرج معادله (۶) تا جمله ی هشتم بسط تیلور داده می شود تا انتگرال با خطای بسیار کمی محاسبه شود.



شکل ۴: بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه به شعاع

۱۰ cm، جریان ۱۰۰ A



شکل ۵: همان شکل ۴ از زاویه عمود بر صفحه x-y

معادلات بالا با استفاده از برنامه Borland Delphi 7 حل عددی می شود (شکل ۶). ورودی این برنامه عبارت از انرژی الکترون برحسب keV، جریان پاد ساعت گرد برحسب آمپر، تعداد دورهای سیم پیچ، شعاع حلقه برحسب cm، زمان ردیابی زمان برحسب ns و تعداد بازه های مورد نیاز برای حل عددی معادلات دیفرانسیل به روش رانگ کوتا ۲ گامی است.

البته ذکر این نکته الزامی است که ذره در میدان مغناطیسی به خاطر تغییر جهت سرعت، دارای حرکتی شتاب دار است و شروع به تابش می کند و این تابش منجر به کاهش انرژی ذره می شود. در محاسبات این نکته به منظور سادگی در نظر گرفته نشده است.

$$\frac{1}{((x - a \cos \theta)^2 + (y - a \sin \theta)^2)^{3/2}} = \quad (7)$$

$$\frac{1}{(x^2 + y^2 + a^2 - 2a(x \cos \theta + y \sin \theta))^{3/2}} \quad (8)$$

$$\frac{1}{(x^2 + y^2 + a^2)^{3/2} \left(1 - \frac{2a(x \cos \theta + y \sin \theta)}{x^2 + y^2 + a^2}\right)^{3/2}} \quad (9)$$

$$u = \frac{2a(x \cos \theta + y \sin \theta)}{x^2 + y^2 + a^2} \quad (10)$$

$$\frac{1}{(1-u)^{3/2}} = 1 - \frac{3}{2}u + \frac{15}{8}u^2 - \frac{35}{16}u^3 + \frac{945}{384}u^4 - \frac{10395}{3840}u^5 + \frac{135135}{46080}u^6 - \frac{2027025}{645120}u^7 \quad (10)$$

با این بسط تیلور داده شده، معادله (۶) قابل حل می شود.

با حل عددی معادلات بالا، میدان مغناطیسی یک حلقه به شعاع ۱۰ cm، جریان ۱۰۰ A و $N=1$ محاسبه شده است (شکل ۴ و ۵).

همان طور که در شکل های ۴ و ۵ مشاهده می شود، حداکثر شدت میدان مغناطیسی در حدود $x=10$ و $y=10$ سانتی متری رخ می دهد. البته ذکر این نکته الزامی است که شکل ۵ همان شکل ۴ است. ولی از محور z به صفحه $x-y$ نگاه می شود.

۲-۲- معادلات حرکت الکترون در میدان مغناطیسی

بدون در نظر گرفتن تابش الکترون

معادلات حرکت الکترون در میدان مغناطیسی از روابط زیر به دست می آید. معادلات زیر با این فرض حل می شود که نسبیتی هستند و حرکت الکترون فقط در صفحه $x-y$ است [2, 3].

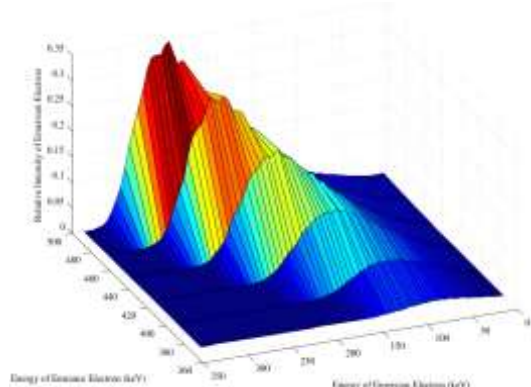
$$\frac{d}{dt}(\gamma m \vec{r}) = q \vec{r} \times \vec{B} = -q(\vec{x} \vec{t} + \vec{y} \vec{t}) \times B \vec{k} \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

معادله ۱۱ را می توان به این صورت نوشت که:

$$\gamma m \frac{d^2 x}{dt^2} = -q \dot{y} B \quad (13)$$

$$\gamma m \frac{d^2 y}{dt^2} = -q \dot{x} B \quad (14)$$



شکل ۷: انرژی الکترون خروجی از ۱ mm رزین سیلیکونی

از طرفی اگر ردیابی الکترونی‌هایی با انرژی ۳۷۵، ۴۰۰، ۴۲۵، ۴۵۰، ۴۷۵ و ۵۰۰ کیلو الکترون‌ولت انجام شود، مشاهده می‌شود که حداکثر جداسازی این انرژی‌ها در انحراف ۹۹۰ انجام می‌شود (جدول ۱). محاسبات پایین با این فرض انجام شده است که حلقه در صفحه‌ی x-y و در مبدأ مختصات قرار دارد. جهت الکترون ورودی از نقطه (۰، R) و با جهت سرعت $-V_y$ است.

جدول ۱: زاویه خروجی الکترون با انرژی E از یک حلقه با N

دور، جریان ۶۰ A و شعاع ۲۰ cm

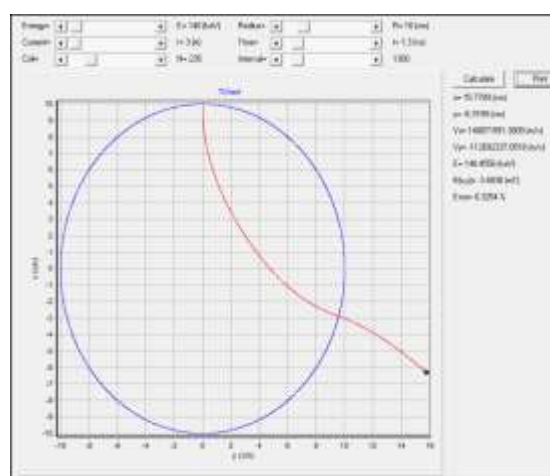
		N=20	N=29	N=50
E (keV) ↑	375	-20.0340°	5.5447°	39.0728°
	400	-22.6525°	2.6460°	37.0003°
	425	-25.0740°	-0.1119°	34.9594°
	450	-27.3192°	-2.7350°	32.9492°
	475	-29.4064°	-5.2298°	30.9685°
	500	-31.3515°	-7.6024°	29.0172°
		$\Delta\theta=11.3175^\circ$	$\Delta\theta=13.1471^\circ$	$\Delta\theta=10.0556^\circ$

جدول ۲: زاویه خروجی الکترون با انرژی E از یک حلقه با N

دور، جریان ۶۰ A و شعاع ۱۰ cm

		N=20	N=29	N=50
E (keV) ↑	375	-20.2211°	5.3254°	39.0696°
	400	-22.8362°	2.4241°	36.9092°
	425	-25.2535°	-0.3344°	34.8648°
	450	-27.4950°	-2.9584°	32.8508°
	475	-29.5784°	-5.4524°	30.8668°
	500	-31.5193°	-7.8241°	28.9124°
		$\Delta\theta=11.2982^\circ$	$\Delta\theta=13.1495^\circ$	$\Delta\theta=10.1572^\circ$

همان‌طور که در شکل ۶ مشهود است، خروجی این برنامه مکان ذره، سرعت ذره، انرژی ذره، شدت میدان مغناطیسی و خطای محاسباتی است. یک راه برای اینکه بتوان متوجه درستی حل عددی را امتحان کرد این است که کار نیروی مغناطیسی برابر با صفر است و انرژی ذره فرقی نمی‌کند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، انرژی ذره فرقی نمی‌کند و تفاوتی هم که با انرژی اولیه دارد، به خاطر خطای محاسباتی است.



شکل ۶: برنامه حل عددی حرکت الکترون در میدان مغناطیسی

حاصل از یک حلقه حامل جریان پادساعت‌گرد

۲-۳- پنجره خروجی الکترون در طیف‌سنج مغناطیسی

چون داخل حلقه حامل جریان خلأ وجود دارد، پنجره خروج الکترون از جنس رزین سیلیکونی $\rho=1.2 \text{ g/cm}^3$ $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}_2$ انتخاب می‌شود. با استفاده از کد MCNP، انرژی الکترون خروجی از ۱ mm رزین سیلیکونی محاسبه شده است (شکل ۷).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای اینکه الکترون 140 keV از پنجره خارج شود، باید الکترون در حدود 420 keV ردیابی شود تا به پنجره خروجی برسد.

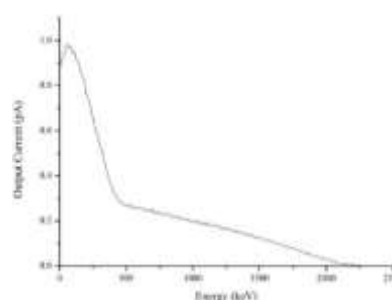
جدول ۳: زاویه خروجی الکترون با انرژی E از یک حلقه با N

دور، جریان A ۶۰ و شعاع ۵ cm

	N=20	N=29	N=50
375	-20.2451°	5.2976°	39.0445°
400	-22.8597°	2.3961°	36.9707°
425	-25.2766°	-0.3630°	34.9285°
450	-27.5176°	-2.9869°	32.9170°
475	-29.6001°	-5.4813°	30.9353°
500	-31.5410°	-7.8527°	28.9829°
	$\Delta\theta=11.2959^\circ$	$\Delta\theta=13.1503^\circ$	$\Delta\theta=10.0616^\circ$

همان طور که در جدول های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می شود، بیشترین جداسازی بیم الکترونی در انحراف ۹۰° صورت می گیرد تا الکترون خروجی از طیف سنج تکفام تر باشد. همچنین مشاهده می شود که زاویه خروجی فرق زیادی نمی کند و از طرفی هرچه شعاع بزرگ تر باشد، جداسازی راحت تر امکان پذیر است زیرا طول کمان برای تعبیه سوراخ راحت تر می شود. به طور مثال برای حلقه به شعاع ۲۰ cm، سوراخی به طول ۴،۵۸۹ cm و برای حلقه ۵ cm، سوراخی به طول ۱،۱۴۷ cm برای جداسازی بیم الکترونی ۵۰۰-۳۷۵ keV مورد نیاز است.

از طرفی اگر از چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ استفاده شود، جریان خروجی مطابق با شکل ۸ می باشد.



شکل ۸: جریان خروجی از طیف سنج مغناطیسی بدون پنجره

خروجی

برای مثال اگر انرژی ۴۲۰ keV انتخاب شود، جریان خروجی بدون پنجره در حدود ۰،۳۳ pA خواهد بود. اگر به شکل ۷ توجه شود، احتمال خروج انرژی ۱۴۰ keV برای بیم الکترونی

فرودی ۴۲۰ keV در حدود ۰،۲ است. بنابراین جریان خروجی از طیف سنج مغناطیسی با پنجره رزین سیلیکونی در حدود pA ۰،۰۶۶ خواهد بود.

۲-۴- زاویه فضایی خروجی برای طیف سنج مغناطیسی

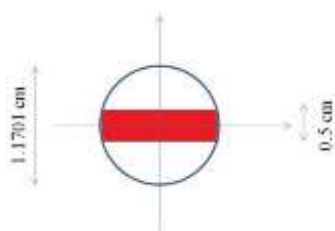
در محاسبات بالا، ضخامت جداره حلقه منظور نشده بود. از طرفی برای اینکه احتیاجی به تکرار محاسبات در فضای ۳ بعدی نباشد، با یک تریب به نسبت مناسب، زاویه فضایی در محاسبات وارد می شود. زاویه خروجی فضایی برای یک حلقه به شعاع ۵ cm، جریان A ۱۰۰ و ضخامت ۵ mm به صورت زیر محاسبه می شود.

اگر انرژی را از بازه ۲۵۰ keV تا ۲۰۰۰ keV در نظر گرفته شود، پنجره آن یا طول کمان جارو شده توسط الکترون، در حدود ۱۳،۴۰۸۴ درجه است، بنابراین طول آن برابر با ۱،۱۷۰۱ cm است. ورودی برابر با $x=0$ و $y=5$ و مکان خروجی برابر با $x=0.864$ و $y=-4.9425$ است. بنابراین فاصله برابر با ۹،۹۷۹۹ cm است. زاویه θ در دستگاه قطبی برابر با 86.639° خواهد شد. بنابراین زاویه فضایی برابر است با:

$$\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{86.639^\circ} \sin\theta d\theta d\varphi = 0.617^\circ \quad (15)$$

ولی این موضوع برای دایره ای ۰،۵۸۵۰۵ cm برقرار است. ولی ضخامت حلقه برابر با ۰،۵ cm است (شکل ۹).

مساحت ناحیه قرمز برابر با 0.52271 cm^2 و مساحت کل دایره برابر با 1.07531 cm^2 است. نسبت این ۲ ناحیه برابر با ۰،۴۸۶۱۶ است. بنابراین:

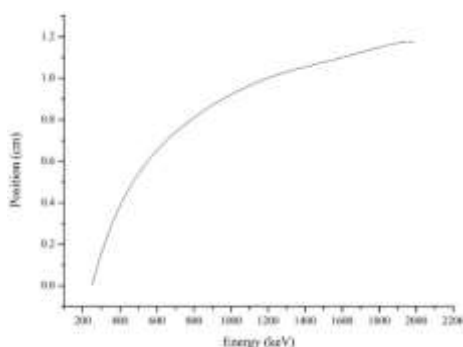


شکل ۹: ناحیه قرمز، ناحیه خروج الکترون های منحرف شده در میدان مغناطیسی است.

230	1	500	-78.6106	300	1	500	-75.2886
230	1	600	-80.0298	300	1	600	-76.9939
230	1	700	-81.0427	300	1	700	-78.3155
230	1	800	-81.8553	300	1	800	-79.3756
230	1	900	-82.5242	300	1	900	-80.2483
230	1	1100	-83.5653	300	1	1100	-81.6064
230	1	1400	-84.6618	300	1	1400	-83.0369
230	1	1700	-85.4307	300	1	1700	-84.0399
230	1	2000	-86.0021	300	1	2000	-84.7852

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش شدت میدان مغناطیسی اختلاف زاویه انرژی ۲۵۰ keV و ۲۰۰۰ keV بیشتر می‌شود. این موضوع چندان مطلوب نیست. زیرا پنجره خروج الکترون خیلی بزرگ می‌شود و یک بیم بسیار واگرا ایجاد می‌شود. بنابراین برای کم کردن این واگرایی از یک میدان مغناطیسی ضعیف و در نتیجه از یک پنجره کوچک استفاده می‌شود. بنابراین حلقه‌ای به شعاع ۵ cm، جریان ۲۳۰ A و یک دور در نظر گرفته می‌شود.

در قسمت بالا زاویه خروجی و طول کمان محاسبه شد. در اینجا شعاع حلقه برابر با ۵ cm فرض می‌شود. بنابراین طول کمان برابر با ۱٫۱۸ cm می‌شود. ابتدا توزیع انرژی بر حسب مکان کمان جارو شده توسط الکترون به دست می‌آید که در شکل ۱۰ مشاهده می‌نمایید.



شکل ۱۰: مکان خروجی هر الکترون بر حسب انرژی برای

شبیه‌سازی با کد MCNP

$$\frac{\Omega}{2\pi} = 1.6644 \times 10^{-3} \quad (16)$$

معادله (۱۶) نشان‌دهنده کسر زاویه فضایی محل خروج الکترون‌ها از طیف‌سنج مغناطیسی است. البته علت اینکه زاویه فضایی تقسیم‌بر 2π شد، این است که چشمه از یک جهت تابش می‌کند و در همه‌ی جهت‌ها نیست.

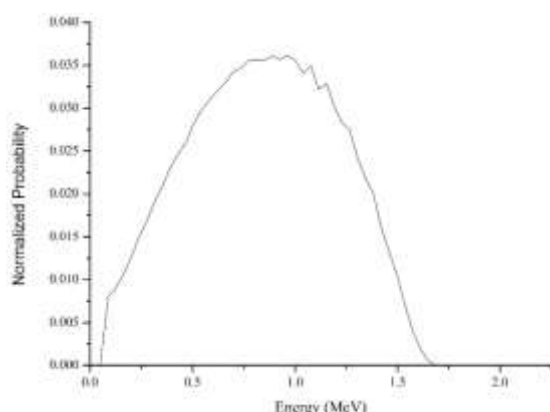
۲-۵- پنجره خروجی الکترون با ضخامت متغیر

یکی از معایب پنجره خروجی با ضخامت ثابت، شار الکترون بسیار پایین از طیف‌سنج است. به‌طور مثال جریان الکترون خروجی در قسمت ۲-۳ بدون در نظر گرفتن زاویه فضایی در حدود ۰٫۶۶ pA است. اگر زاویه فضایی در نظر گرفته شود، جریان برابر با ۰٫۱۰۹۹۸ fA یا ۶۸۷ e/s خواهد بود. این جریان عملاً صفر خواهد بود و هیچ خروجی منطقی مشاهده نمی‌شود. یکی از راهکارها این است که پنجره‌ای با ضخامت‌های متغیر با توجه به زاویه و انرژی الکترون خروجی انتخاب شود. یعنی این‌که ضخامت پنجره در جایی که محل خروج الکترون keV ۱۰۰۰ است، بیشتر از جایی باشد که محل خروج الکترون keV ۴۰۰ است.

ابتدا باید این نکته بررسی شود که شدت میدان مغناطیسی باید کم باشد یا زیاد؟ با استفاده از شبیه‌سازی، زاویه خروجی جریان برای انرژی‌های مختلف در جریان‌های مختلف محاسبه شده است. شعاع حلقه برابر با ۱۰ cm در نظر گرفته شده است. ولی اگر این محاسبات برای حلقه‌ای با شعاع ۵ cm تکرار شود، تا رقم دوم اعشار همین نتایج تکرار می‌شود.

جدول ۴: زاویه الکترون خروجی در جریان ۲۳۰ A و ۳۰۰ A

I (A)	N	E (keV)	Theta (deg)	I (A)	N	E (keV)	Theta (deg)
230	1	250	-72.5368	300	1	250	-67.2166
230	1	300	-74.3674	300	1	300	-69.6054
230	1	375	-76.4029	300	1	375	-72.2615
230	1	420	-77.3561	300	1	420	-73.5052



شکل ۱۳: نمودار احتمال خروج الکترون با انرژی E برای R=5

cm y1=0.2 cm, y2=0.95 cm

میانگین انرژی خروجی برابر با ۲۳۵ keV و با احتمال خروج الکترون از این پنجره طیف‌سنج مغناطیسی برابر با ۰,۲۷۹ است.

۲-۶- شدت جریان خروجی از طیف‌سنج مغناطیسی

یکی از ایرادهای وارد بر برنامه ردیابی مکان الکترون در میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه جریان پادساعتگرد این است که در ۲ بعد به ردیابی الکترون می‌پردازد. بنابراین برای برطرف کردن این عیب، کمیت زاویه فضایی محاسبه شد که تا حدودی زیادی این ایراد را برطرف می‌کند. زیرا ذرات را می‌توان تقریباً در یک جهت و هم‌راستا در نظر گرفت.

برای محاسبه شدت جریان خروجی از طیف‌سنج مغناطیسی باید پارامترهای زیر محاسبه و در هم ضرب شود:

(۱) زاویه فضایی

(۲) تعداد ذرات گسیلی از چشمه‌ی بتازای $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ در

بازه‌ی انرژی ۲۵۰-۲۰۰۰ keV

(۳) احتمال عبور از پنجره طیف‌سنج مغناطیسی

(۴) زاویه فضایی $\frac{\Omega}{2\pi}$ در قسمت‌های قبل محاسبه شد و برابر با $10^{-4} * 1,6644$ است.

(۵) تعداد ذرات گسیلی در بازه‌ی انرژی ۲۵۰-۲۰۰۰ keV از

چشمه بتازای $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ برابر با $2,2 * 10^8$ است.

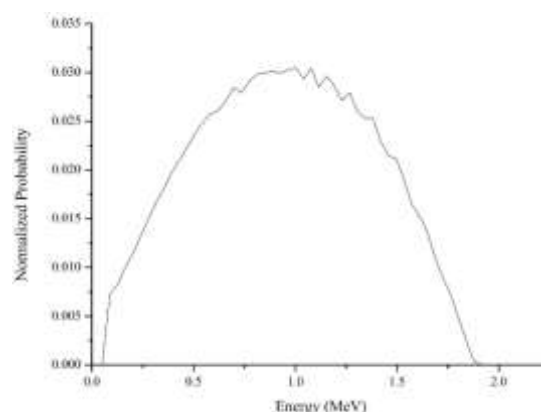
این توزیع انرژی برحسب مکان به عنوان چشمه در کد MCNP وارد می‌شود. بازه انرژی از محدوده ۲۵۰ keV تا ۲۰۰۰ keV در نظر گرفته شده است. حفاظ در نظر گرفته شده به صورت شکل ۱۱ می‌باشد.



شکل ۱۱: حفاظ متغیر در نظر گرفته شده

ابتدا y1=0.08 cm و y2=0.95 cm فرض می‌شود. توزیع انرژی

خروجی از این پنجره ورودی در طیف‌سنج مغناطیسی را می‌توانید در شکل ۱۲ مشاهده نمایید.



شکل ۱۲: نمودار احتمال خروج الکترون با انرژی E برای

MCNP, R=5 cm, y1=0.08 cm, y2=0.95 cm

میانگین انرژی خروجی برابر با ۵۷۲ keV و با احتمال خروج الکترون از این پنجره طیف‌سنج مغناطیسی برابر با ۰,۶۰۴ است. اگر y1=0.2 cm و y2=0.95 cm باشد، توزیع انرژی خروجی از این پنجره ورودی در طیف‌سنج مغناطیسی را می‌توانید در شکل ۱۳ مشاهده نمایید.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان گرمای تولیدشده در هر مرحله به نسبت قابل توجه است. که این گرمای تولیدشده منجر به ذوب شدن پلاستیک اطراف سیم مسی می‌شود.

۳. نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تکفام‌سازی طیف پیوسته انرژی ذرات بتای گسیلی از چشمه $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ پرداخته شد. سپس ردیابی الکترون در میدان مغناطیسی انجام شد و مسیر حرکت با دقتی مناسب با روش‌های حل عددی به دست آمد. سپس با استفاده از نتایج شبیه‌سازی قبلی و کد مونت کارلو MCNP، شدت و انرژی ذرات الکترون خروجی از پنجره خروجی میدان مغناطیسی تعیین شد. در نهایت با استفاده از تمام نتایج جریان الکترون بر حسب انرژی برای پنجره‌های متفاوت به دست آمد.

مراجع

- [1] W. G. Cross, H. Ing and N. Freedman, A short atlas of beta-ray spectra, Phys. Med. Biol., Vol. 28, No. 11, 1251-1260, 1983.
- [2] J. D. Jackson, Classical electrodynamics, John Wiley & Sons, Ink, Third Edition, 1999.
- [3] J. R. Reitz, J. Frederick et al, Foundations of electromagnetic theory, Addison-Wesley publishing company, Inc, 1960

۶) احتمال عبور از پنجره نازک و ضخیم، به ترتیب ۰,۶۰۴ و ۰,۲۷۹ است.

تعداد ذرات خروجی از پنجره نازک طیف‌سنج مغناطیسی برابر با $2,208 \times 10^6 \text{ e/s}$ یا $35,3 \text{ fA}$ با انرژی 572 keV است. تعداد ذرات خروجی از پنجره ضخیم طیف‌سنج مغناطیسی برابر با $1,02 \times 10^6 \text{ e/s}$ یا $16,3 \text{ fA}$ با انرژی 235 keV است.

البته جریان الکترون خروجی در حدود ۳۲۰ و ۱۴۵ برابر در مقایسه با پنجره تک‌انرژی افزایش داشته است و این موضوع یک موفقیت بسیار بزرگ است. ولی باز هم به عنوان یک چشمه بسیار قوی به منظور کاهش تخریب باتری هسته‌ای بتاولتائیک خیلی مناسب نیست.

۷-۲- رابطه بین ولتاژ و جریان موردنیاز در سیم پیچ و

گرمای تولیدشده در آن

برای اینکه جریان I در سیم‌پیچی به مقاومت R جریان داشته باشد، نیاز به ولتاژ V است. رابطه بین ولتاژ و جریان در سیم‌پیچ از قانون اهم به دست می‌آید [2, 3].

$$V = IR \quad (17)$$

میزان گرمای تولیدشده برابر با میزان اتلاف در درون خود سیم‌پیچ است. که از رابطه (۱۸) به دست می‌آید.

$$Q = RI^2 \quad (18)$$

اگر شعاع سیم‌پیچ برابر با 5 cm و یک سیم مسی به قطر 5 mm و 2 mm انتخاب شود ($\rho = 1.67 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)، نتایج را می‌توانید در جدول ۸-۱۸ مشاهده نمایید.

جدول ۶: رابطه بین ولتاژ، جریان، مقاومت و گرمای تولیدشده در

سیم مسی

I (A)	N	In. Radius (m)	Ex. Radius (m)	R (ohm)	V (volt)	Q (w)
230	1	0.0025	0.05	0.000269	0.061824	14.219
230	1	0.001	0.05	0.00168	0.3864	88.872

Investigation, analyzing and simulation of single energy making of continues spectrum of beta particle of $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ by using magnetic field of coil

H. Sadeghi¹, S. M. Mostajaboddavati², A. Eshaghi³, D.Rahi⁴

¹ Assistant Professor, Health Physics Department, Malek-ashtar University Of Technology, Shahin-shahr, Isfahan, Iran

² Assistant Professor, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

³ Assistant Professor, Faculty of Materials Science and Engineering, Malek-ashtar University of Technology, Shahin-shahr, Isfahan, Iran

⁴ Ph. D student, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

*Corresponding author's E-mail: hsadghi@mut-es.ac.ir

(Received: 04/09/2017- Accepted: 15/12/2017)

Abstract:

In this research, the beta source of $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ has been investigated. In this paper, the way of single energy making of continuous spectrum of beta particle has been investigated by using magnetic field of a coil. Then, by considering the deviation of electron in magnetic field, energy spectrum of electron from output window has been obtained by MCNP code.

Keywords: Magnetic field, Beta source, Single energy making, MCNP