مقاله پژوهشی

لیزرپزشکی؛ ۱۳۸۹، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۱۵-۶.

شبیه سازی مونت کارلوی تخریب تابشی پلاستیک های CR-39 در اثر فعالیت رادن و دختران آن در هوا

محمدرضا رضایی[۱]
علی نگارستانی[۲]
سعید محمدی[۱]
داریوش افضلی[۳]

[۱]مرکز تخصصی دکتری پیام نور، تهران
[۲]دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان
[۳] مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ، کرمان

نویسنده مسئول: محمدرضا رضایی ، تلفن:۰۳۴۲۶۲۲۸۰۱۸-۰۹۱۳۳۴۲۵۹۳۸
پست الکترونیک: mohamadreza45@gmail.com

خلاصه

زمینه و هدف: ماده پلاستیکی CR-39 با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{18}O_7$ علاوه بر کاربردهای مختلف علمی و تحقیقاتی، بهترین گزینه برای عدسی‌های پزشکی می‌باشد. رنگ CR-39 در اثر تابش لیزر و فوتون‌های پر انرژی تغییر می‌کند. CR-39 به تابش‌های آلفا نیز بسیار حساس است. در اثر توقف ذرات آلفا ردپاهایی در آن ایجاد می‌شود. در طول مسیر هر ردپا جنس ماده CR-39 تغییر می‌کند و سطح آن مورد تخریب قرار می‌گیرد. هوا حاوی مقداری گاز رادن رادیو اکتیو است که خود آن و دخترانش به گسیل دهنده ذرات آلفا مشهورند. آلفای ناشی از واپاشی رادن و دختران، عملکرد پلاستیک‌های CR-39 را تحت تأثیر قرار می‌دهند و ردپاهای بجا مانده باعث تخریب آن می‌گردند. در این مقاله سعی می‌شود تا با استفاده از روش مونت کارلو، چگالی ردپاهای تخریبی و عمق تخریب ایجاد شده در پلاستیک‌های CR-39 در اثر فعالیت رادن و دختران آن شبیه سازی شود.

روش بررسی: در این شبیه سازی به داده‌های توان ایستانندگی آلفا در هوا و CR-39 نیاز داریم که این داده ها از نرم افزار SRIM 2008 استخراج می‌شوند. رادن موجود در هوا که در حال حرکت است در یک نقطه تصادفی، بصورت تصادفی واپاشی می‌کند. در نتیجه ذرات آلفایی که به CR-39 می‌رسند دارای طیف انرژی گسترده ای می‌باشند. با این شبیه سازی طیف انرژی و زاویه‌ای ذرات آلفای فرود آمده بر CR-39 بدست آمده است. عمق نفوذ ذره آلفا در CR-39 بستگی به انرژی ذره فرود آمده دارد. با ارائه روشی جدید سعی شده است تا برد ذره آلفا در CR-39 بصورت تابعی از انرژی ذره آلفای فرودی استخراج شود. فعالیت دختران رادن با فعالیت رادن مساوی نیست. نسبت فعالیت دختران به فعالیت رادن (یا ضریب تعادلی) در حالت واقعی در نظر گرفته شده است.

یافته ها: ردپاهای ایجاد شده، زاویه های مختلفی دارند ولی در ردپاهای با زاویه ۳۰ درجه بیشترین فراوانی بچشم می‌خورد. عمق تخریب ایجاد شده در اثر فعالیت روزانه رادن در حدود ۳۵μm مشاهده می‌شود. در عمق ۲۵μm-۱۵ که چگالی ردپاهای تخریبی افت و خیز کمتری دارد، هر ردپایی در اثر فعالیت روزانه رادن، معادل غلظت ۱۰۰Bq/m3 رادن خواهد بود. چگالی ردپاهای تخریبی در این شبیه سازی برابر (Track/cm2)/(Bq.d/m3) ۰/۱۴۲ است که منطبق بر نتایج آزمایشی است که توسط Lopez and et al ارائه شده است.

نتیجه گیری: تخریب‌های ایجاد شده در اثر فعالیت رادن و دختران آن بتدریج باعث کدر شدن عدسی، ازبین رفتن وضوح تصویر، تغییر ضریب شکست عدسی و در نتیجه پراکندگی نور لیزر در کاربردهای پزشکی پلاستیک‌های CR-39 می‌شود.

واژه های کلیدی: رادن، مونت کارلو، ذرات آلفا، عمق تخریب پلاستیک‌های CR-39

مقدمه

ماده CR-39 کاربرد زیادی در تمام شاخه‌های علوم و تکنولوژی دارد و بهترین گزینه برای عدسی‌های پزشکی می‌باشند [۱و۲]. ماده CR-39 در اثر فعالیت رادن موجود در هوا و تابش لیزر و فوتون‌های پرانرژی تخریب و تغییر رنگ می‌دهد [۳]. مطالعه انرژی و زاویه فرود ذرات آلفای ناشی از فعالیت رادن و دختران آن در هوا بر CR-39 و اطلاعات نفوذ آنها در CR-39 در حالت واقعی یکی از ابزارهای مهم جهت اندازه‌گیری عمق تخریب پلاستیک‌های CR-39 می باشد. قبلاً طیف ذرات آلفای رادن و دختران آن اندازگیری و شبیه سازی شده است. در طیف آلفای شبیه‌سازی شده هیچ شباهتی تا انرژی‌های ۵MeV با طیف اندازگیری شده مشاهده نمی‌شود [۴].

در این مقاله سعی بر این است تا با استفاده از روش مونت کارلو این عیب برطرف شود. چگالی رد آلفا در CR-39 در عمق مناسب نیز کمیت مهمی برای محاسبه غلظت رادن است [۵]. عمق مناسب عمقی است که تغییرات چگالی ردپا در واحد طول در آن عمق افت و خیز زیادی نداشته باشد. با رسم چگالی رد در ضخامت‌های مختلف CR 39 سعی می‌شود که این عمق مناسب معرفی شود. روش

Archive of SID

www.SID.ir

محاسبه برد و انرژی ذرات آلفا در فاصله d از محل گسیل با استفاده از داده‌های توان ایستانندگی و با استخراج ضرایب ۱۶گانه معادله برازش شده بر این داده ها و معرفی کد خاص محاسباتی توسط Nikezic et al ارائه شده است[۶]. در این مقاله سعی شده است تا با معرفی روشی جدید و کارآمد، برد و انرژی ذرات آلفا در فاصله d از محل گسیل محاسبه شود. در شبیه سازی‌های انجام شده از اعداد تصادفی با توزیع گوسی برای توصیف ذرات آلفا استفاده شده است [۷]. در این مقاله سعی می‌شود تا توزیع زاویه‌ای ذرات فردوی نیز شبیه‌سازی شود. از نرم افزار Origin pro 8 جهت رسم، برازش و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. جهت شبیه سازی ردپای ذرات آلفا با انرژی مختلف که از فضای اطراف CR 39 در زاویه های مختلف توسط رادن و دختران آن گسیل می‌شود، به داده های توان ایستانندگی نیاز است. از نرم افزار SRIM 2008 جهت استخراج این داده‌ها استفاده می‌شود. این نرم‌افزار مناسب‌ترین کد در مقایسه با کدهای ICRU و FLUKA می باشد [۸و ۹].

مواد و روش‌ها

محاسبه برد و انرژی ذرات آلفا در فاصله x از محل گسیل در هوا انرژی ذرات آلفا در هنگام عبور از محیط کاهش می‌یابد. توان ایستانندگی ذرات بار دار به صورت زیر است [۹].

$$f(E) = -\frac{dE}{dx} \quad (1)$$

در طول مسیر حرکت، انرژی ذره باردار آنقدر کاهش می‌یابد تا متوقف شود. رابطه انرژی ذرات آلفا با مسافت طی شده که از رابطه (۱) بدست می‌آید، بصورت زیر است.

$$dE = -f(E)dx \rightarrow \int_{E_0}^{E} dE = -\int_0^x f(E)dx \quad (2)$$

$$E - E_0 = -\int_0^x f(E)dx \rightarrow E = E_0 - \int_0^x f(E)dx \quad (3)$$

در صورتی که رابطه f(E) به صورت تابعی از x مشخص باشد رابطه E(x) بدست خواهد آمد. نرم افزار SRIM2008 توان ایستانندگی را نه صورت تابعی از فاصله بلکه به صورت تابعی از انرژی بیان می‌کند در نتیجه حل انتگرال (3) به سادگی امکان پذیر نیست.

مروری بر روش قبلی محاسبه انرژی ذرات آلفا در فاصله x از محل گسیل:

تاکنون برای محاسبه f(E) به صورت زیر عمل می شده است:

با توجه به معادله (1) مسافت طی شده توسط ذره در اثر کاهش انرژی ذره به اندازه dx برابر است با [۹]:

$$dx = -\frac{dE}{f(E)} = -g(E)dE \quad (4)$$

$$g(E) = \frac{1}{f(E)}$$

اگر انرژی ذره باردار از مقدار اولیه E0 به مقدار E برسد مسافت طی شده توسط آن برابر است با

$$\int_0^x dx = -\int_{E0}^{0} g(E)dE$$

$$x = -\int_{E0}^{E} g(E)dE \quad (5)$$

برای محاسبه x ابتدا تابع f(E) که از SRIM استخراج شده است با استفاده از عمل برازش به دست می‌آید. معادله برازش شده f(E) شکلی به صورت زیر دارد[۹]:

$$f(E) = \sum_{i=1}^{5} a_i E^{b_i} e^{c_i E} \quad (6)$$

با جای گذاری معادله (6) که با ۱۵ ضریب مشخص می‌شود در معادله (4)، معادله (5) برای انتگرال گیری بصورت زیر آماده می‌شود[9]:

$$x = -\int_{E0}^{E} \frac{dE}{(\sum_{i=1}^{5} a_i E^{b_i} e^{c_i E})} \quad (7)$$

حل این انتگرال مشکل است و باید به صورت عددی حل شود. در شبیه سازی‌ها، فاصله x به صورت تصادفی تولید می‌شود و بازه انرژی E0 تا صفر به بازه‌های خیلی کوچکی تقسیم می‌شود. انرژی E0 به اندازه بازه تعیین شده کاهش می‌یابد. میزان x به دست آمده از انتگرال (7) با عدد تصادفی تولید شده مقایسه می‌شود، در صورتی که کوچک تر باشد این عمل باید آنقدر تکرار شود تا با آن برابر شود. مقدار x و E در این لحظه ثبت می‌شود. این عمل برای هر ذره آلفا باید تکرار شود. در حالتی که تعداد ذرات پیگیری شده زیاد باشد زمان اجرای برنامه زیاد خواهد شد.

برای به دست آوردن E به صورت تابعی از x باید بازه صفر تا برد ذره به بازه‌های خیلی کوچکی تقسیم شود و اعمالی که در قسمت قبل توضیح داده شد تکرار شود. داده های E و x به دست آمده بایستی ترسیم شده و معادله‌ای بر آنها برازش شود تا رابطه E به صورت تابعی از x به دست آید. نمونه ای از کار انجام شده در شکل شماره (۱) نمایش داده شده است.

معرفی روش جدید محاسبه انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده:

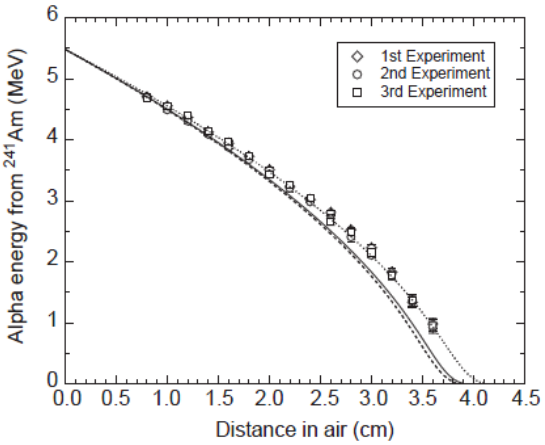
در روش جدید برای محاسبه انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده به صورت زیر عمل می‌شود:

Archive of SID
www.SID.ir

بتدا با توجه به معادله (5) برد ذرات آلفا به دست می آید.

$$R_0 = \int_0^{R_0} dx = -\int_{E_0}^{0} g(E)dE = \int_0^{E_0} g(E)dE \qquad (8)$$

برای هر ذره آلفا با انرژی اولیه E0 رابطه برد ذره با انرژی با استفاده از عمل برازش تابع بر داده های نرم افزار SRIM2008 بدست می آید.



شکل ۱- نمودار انرژی ذرات آلفای چشمه 241Am با انرژی اولیه 5.5 MeV بصورت تابعی از مسافت طی شده با استفاده از معادله ۱۵ پارامتری (6) و معادله(7)

$$R = a + bE + cE^2 + dE^3 \qquad (9)$$

معادله (5) را میتوان بصورت زیر نمایش داد:

$$x = \int_0^{x} dx = -\int_{E_0}^{E} g(E)dE = -\left[\int_{E_0}^{0} g(E)dE + \int_0^{E} g(E)dE\right]$$

$$= \int_0^{E_0} g(E)dE - \int_0^{E} g(E)dE = R_0 - R \qquad (10)$$

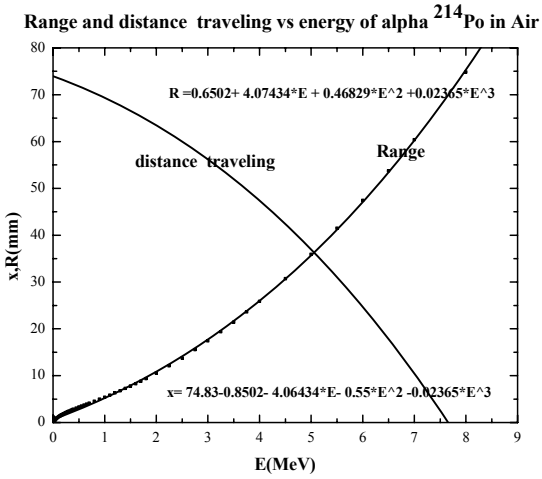
که R0 برد ذره آلفا با انرژی E0 و R برد ذره آلفا با انرژی E است در نتیجه با جایگذاری معادله (9) در معادله (10)، رابطه مسافت طی شده توسط ذره آلفا با انرژی در فاصله x از محل گسیل بصورت زیر بدست می‌آید:

$$x = R_0 - R = R_0 - a - bE - cE^2 - dE^3 \qquad (12)$$

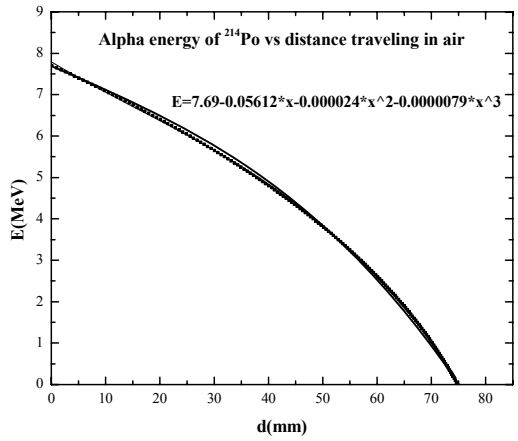
معکوس این معادله با استفاده از نرم افزار ORIGINPRO8، رابطه انرژی ذره آلفا با مسافت طی شده را بدست می‌دهد. با استفاده از این روش بسادگی می‌توان رابطه انرژی ذره آلفا با مسافت طی شده را بدست آورد.

نمونه‌ای از مراحل طی شده برای استخراج رابطه انرژی ذره آلفا با مسافت طی شده با استفاده از این روش برای ذرات آلفای 214Po بطور خلاصه بصورت زیر است.

ابتدا داده های برد ذرات آلفای 214Po با انرژی ۷/۶۹ MeV که از SRIM 2008 استخراج می‌شود، را رسم می‌کنیم. سپس معادله ای را بر این داده ها برازش می‌کنیم. معادله برازش شده را در معادله (12) جای گذاری می‌کنیم تا معادله مسافت طی شده با انرژی ذره آلفا بدست آید (شکل شماره ۲). با استخراج وارون این معادله، رابطه انرژی ذره آلفا بصورت تابعی از مسافت بدست خواهد آمد (شکل شماره ۳).



شکل ۲- نمودار برد و مسافت طی شده ذرات آلفای 214Po با انرژی اولیه 7.69 MeV بصورت تابعی از انرژی در هوا



شکل۳- نمودار انرژی ذرات آلفای 214Po با انرژی اولیه 7.69 MeV بصورت تابعی از مسافت طی شده در هوا با استفاده از تکنیک ارائه شده در این مقاله

www.SID.ir

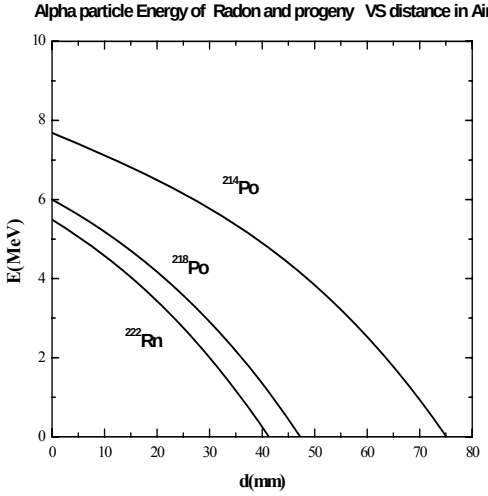
با تکرار این مراحل برای آلفای ۲۱۸Po و ۲۲۲Rn، نمودار انرژی ذرات آلفای رادن و دختران آن با مسافت طی شده برای سه ذره آلفای رادن و دختران در هوا بصورت زیر است (شکل شماره۴).

در نتیجه روابط انرژی ذرات آلفای رادن و دختران آن با مسافت طی شده در هوا با استفاده از این روش بصورت زیر استخراج می‌شود.

E214Po=7.69-0.05612x-0.000024x2-0.0000079x3

E218Po=6-0.07312x-0.00075x2-0.00000821x3(13)

ERn=5.49-0.081x-0.0009333x2-0.000007997x3



شکل ۴- نمودار انرژی ذرات آلفای رادن و دختران بصورت تابعی از فاصله طی شده

داده های ورودی و نکات کاربردی

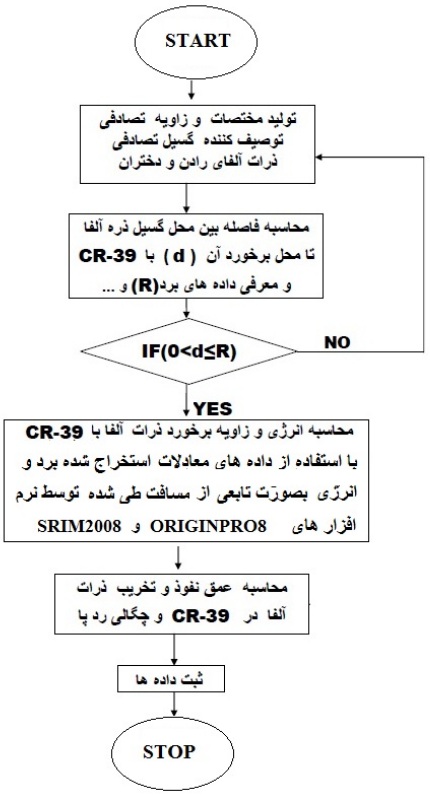
ضریب تعادلی (Equilibrium Factor) بین فعالیت رادن و دختران آن برای ۲۱۸Po برابر ۰/۷۲۳ و برای ۲۱۴Po برابر ۰/۲۱۷ در نظر گرفته شده است [۱۰]. انرژی ذرات آلفای رادن و دختران بصورت زیر گزارش شده است [۱۱]:

Rn(5.49MeV) ، 214Po (7.69MeV) و 218Po (6.0MeV)

اتم‌های رادن بصورت یکنواخت و همگن در هوا در حالت متعادل توزیع می شوند. در حالیکه ۲۱۸Po و ۲۱۴Po به تدریج روی سطوح می‌نشینند. به علت حرکت آرام دختران رادن برای نشستن روی سطوح می توان توزیع آنها را نیز یکنواخت فرض کرد. تمام ذرات ۲۱۴Po و ۲۰٪ از ذرات ۲۱۸Po روی سطوح می نشیند. به علت کوتاه بودن طول عمر آنها درصد خیلی زیادی از این مؤلفه‌ها قبل از نشستن، آلفای خود را گسیل خواهند کرد.

شبیه سازی مونت کارلو:

برای شبیه‌سازی اتفاقاتی که برای ذره آلفا در فضای اطراف CR-39 و داخل آن می‌افتد طبق فلوچارت ارائه شده زیر (شکل شماره ۵)



شکل ۵- فلوچارت کدمونت کارلو برای شبیه سازی عمق تخریب پلاستیک های CR-39 در اثر فعالیت رادن و دختران آن در هوا

عمل می‌کنیم.

با توجه به شکل شماره ۵، CR-39 مسطحی به ابعاد 1cm× 1cm را در نظر می‌گیریم و به فاصله برد از آن، اندازه برد آلفا در محیط گسترش می دهیم. چون خارج از این فضا، فاصله‌ها بزرگتر از برد خواهند شد و هیچ ذره آلفایی به CR-39 نمی‌رسد. در نتیجه حجم مفید اطراف CR-39 مکعبی به ابعاد R(1+2R)(1+2R) خواهد بود.

سپس یک نقطه تصادفی داخل فضای فعال ایجاد می کنیم (شکل شماره۶). از این نقطه ذره آلفایی در یک جهت تصادفی که با دو زاویه تصادفی θ و φ مشخص می شود، گسیل می شود.

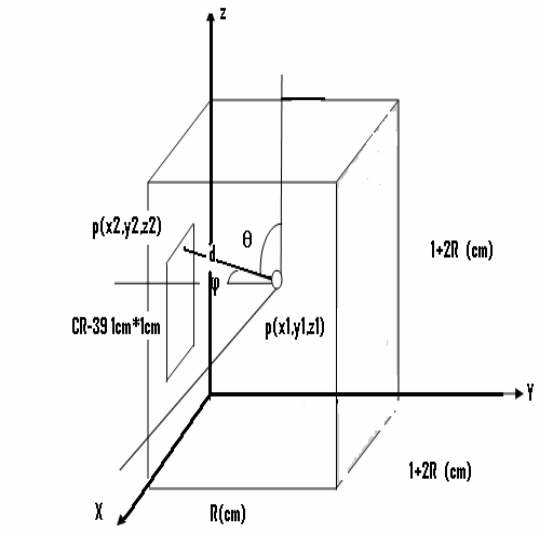
سه عدد تصادفی Y1.X1.Z1 را طوری تعیین می کنیم که نقطه p داخل مکعب باشد. اگر مسیر طی شده توسط ذره آلفا کوچکتر از برد آن در محیط باشد با انرژی کمتر از انرژی اولیه و تحت زاویه θ به سطح آشکارساز خواهد رسید. در نتیجه نقطه ثانویه در صورتی که

$$(R \le Z2, X2 \le (1+R)) \text{ و } d, y \le R \qquad (14)$$

باشد قابل قبول است. d فاصله طی شده توسط ذره آلفا و R برد آن

www.SID.ir

است. در صورتیکه شرایط بالا حاکم باشد، حتما ذره ای از هوا به CR-39 خواهد رسید. انرژی فرودی آن با توجه به مقدار d مشخص می‌شود. زاویه فرودی و محل فرود با مختصات (θ,Z2,X2) روی CR-39 نیز مشخص است.



شکل ۶- هندسه تخت استفاده شده برای شبیه سازی.
کمیت های x1,y1,z1,θ,φ بصورت تصادفی تولید می‌شوند. فاصله d نیز تصادفی خواهد بود. اطراف CR-39 به اندازه برد ذره آلفا (R) گسترش داده شده است.

برای یک روز فعالیت رادن تعداد ذرات آلفایی که باید ردیابی شوند بصورت زیر بدست می‌آید:

غلظت رادن در محیط (C) بر حسب Bq/m3 است. بکرل (Bq) واحد فعالیت است که برابر یک واپاشی در ثانیه می‌باشد. در نتیجه تعداد ذرات آلفایی که باید در زمان t(s) در حجم V(m3) ردیابی شوند برابر است با N=C(Bq/m3)×t(s)×V(m3) بعلت اینکه نصف ذرات آلفا بطرف CR- 39 و نصف دیگر برعکس گسیل می‌شوند مقدار N بایستی در ضریب ۰/۵ ضرب شود. برای فعالیت روزانه رادن t=86400s خواهد بود. حجم مفید اطر اف CR-39 را با توجه به شکل شماره شماره ۶ با V=R×(1+2R)2 نشان می‌دهیم. در این رابطه R برد ذرات آلفای ۲۲۲Rn , ۲۱۸Po و ۲۱۴Po برحسب متر است. بنابراین تعداد ذرات آلفای رادن قابل ردیابی در یکروز برابر است با:

$$N=0.5\times C(Bq/m3)\times 86400(s)\times R\times(1+2R)2(m3) \qquad (15)$$

در حالت تعادل فعالیت رادن و دختران آن یکسان نیست. ضریب تعادلیF رابطه فعالیت رادن و دختران آن را مشخص می‌کند. ضریب تعادلی نسبت فعالیت دختران رادن به فعالیت رادن است. بنابراین تعداد ذرات آلفای دختران رادن قابل ردیابی ازحاصل ضرب ضریب تعادلی F در معادله (15) بدست می آید.

$$N=0.5\times C(Bq/m3)\times 86400(s)\times R\times(1+2R)2(m3)\times F \qquad (16)$$

برای مشخص شدن عمق نفوذ و ردپاهای بجا مانده در CR-39 باید مراحلی که برای ذرات آلفا در هوا انجام شده است را عیناً تکرار کرد. تفاوت بررسی آن با هوا در این است که انرژی اولیه ذرات آلفای گسیل شده در هوا ثابت است ولی ذراتی که به CR-39 می‌رسند انرژی های مختلفی دارند. با رسم داده های استخراج شده توان ایستانندگی برای CR-39 با فرمول شیمیای C10H18O7، برد ذرات آلفا تا انرژی 10MeV استخراج می شود. برد ذره آلفا بصورت تابعی از انرژی در CR-39 بصورت زیر رسم شده است (شکل ۷).

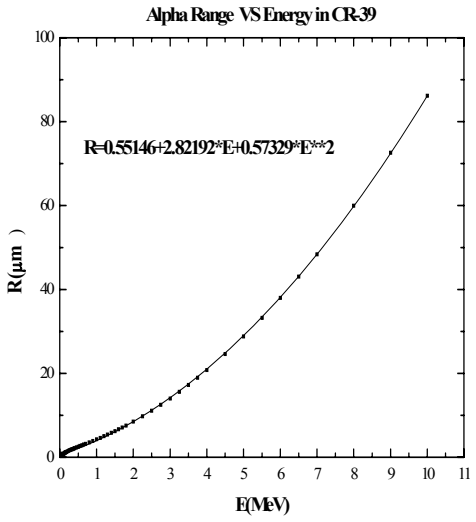
با این نمودار می توان با توجه به انرژی ذره فرودی برد آنرا در CR-39 بدست آورد. معادله ای برازش شده بصورت زیر است:

$$R = 0.55146 + 2.82192\times E + 0.57329\times E^2 \qquad (17)$$

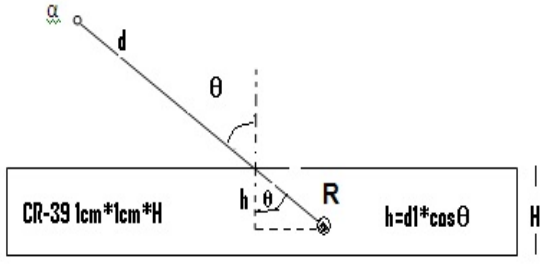
بعلت مشخص بودن زاویه برخورد، عمق نفوذ ذره در CR-39 نیز قابل محاسبه است (شکل ۸).

$$h=R\cos\theta \qquad (18)$$

برای محاسبه عمق نفوذ ذرات آلفا درCR-39 انرژی و زاویه برخورد در معادلات (۱۷) و (۱۸) جایگزین می‌شود.



شکل۷- برد ذره آلفا بصورت تابعی از انرژی در CR-39



شکل۸- عمق نفوذ ذره در CR-39

www.SID.ir

داده ها ونتایج بدست آمده

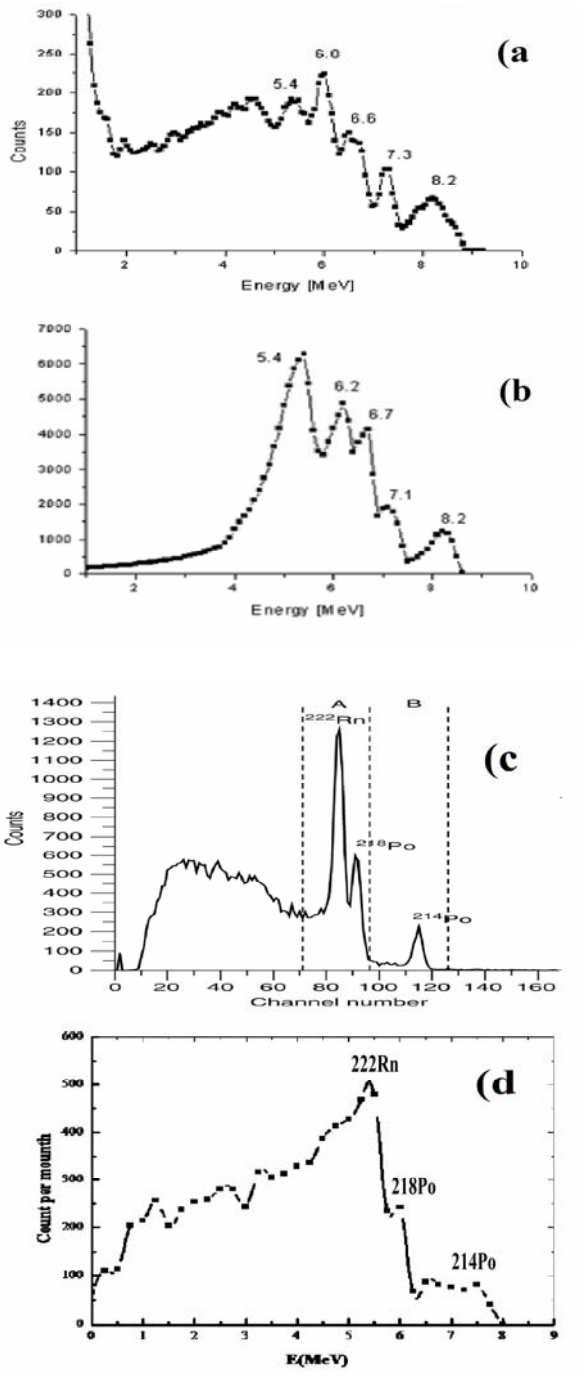
نتایج حاصل از شبیه سازی

کدمونت‌کارلوی نوشته شده، انرژی ذرات آلفایی که به آشکارساز CR-39 به ابعاد 1cm×1cm در اثر فعالیت 1KBq/m3 رادن و دختران می رسد را ارائه می‌دهد. فراوانی این داده ها را در انرژی های مختلف و در بازه‌های کوچک انرژی بدست می آوریم. نتیجه این عمل طیف انرژی ذرات آلفای رادن و دختران آن است (شکل شماره ۹d). شکل شماره (۹a) طیف عملی ذرات آلفای رادن(Rn)، دختران (۲۱۴Po، ۲۱۸Po) و تورن (۲۲۰Rn) به دست آمده توسط J.Rickards را نشان می دهد [۴]. طیف شبیه سازی شده توسط J.Rickards (شکل شماره ۹b)، تا انرژی 5MeV، با طیف عملی (شکل شماره ۹a) همخوانی ندارد. طیف شبیه سازی شده در این مقاله (شکل شماره ۹d) تا انرژی 5MeV، تطابق بیشتری با شکل شماره (۹a) نسبت به شکل شماره (۹b) دارد.

شکل شماره (۹c) طیف عملی ذرات آلفای رادن و دختران آن که توسط A.Vargas and et al بدست آمده است را نشان می دهد [۴]. در انرژی های بیشتر از 5MeV نیز طیف شبیه سازی شده در این مقاله با طیف شکل شماره (۹c) همخوانی خوبی دارد. بنابراین طیف شبیه سازی شده تا انرژی5MeV تقریباً منطبق بر طیف عملی J. Rickards و بیشتر از 5MeV تقریباً منطبق بر طیف عملی A.Vargas است. در طیف عملی J. Rickards افزایش فراوانی در انرژی های خیلی کم ناشی از آشکارسازی ذرات بتای ناشی از فعالیت رادن و دختران، توسط آشکارساز می‌باشد که با حذف آنها مشکل تطابق طیف شبیه سازی شده در این مقاله با طیف عملی در انرژی‌های کم برطرف می‌شود. با مقایسه شکل‌های شماره (۹a) و (۹c) مشاهده می‌شود که شکل طیف عملی به نوع آشکارساز بکارگرفته شده نیز بستگی دارد.

حجم مؤثر اطراف آشکار ساز در شکل شماره ۱۰ آمده است. با توجه به یکسان نبودن برد ذرات آلفای رادن و دختران آن، حجم مؤثر اطراف آشکار ساز به سه ناحیه تقسیم می شود. ناحیه فعالیت ۲۱۴Po (ناحیه ۱)، ناحیه فعالیتPo ۲۱۸ (ناحیه ۲) و ناحیه فعالیت ۲۲۲Rn (ناحیه ۳). آلفای ناشی از فعالیت ۲۱۴Po خارج از فضای ناحیه۱، آلفای ناشی از فعالیتPo ۲۱۸ خارج از فضای ناحیه ۲ و آلفای ناشی از فعالیت ۲۲۲Rn خارج از فضای ناحیه ۳ به CR-39 نمی‌رسند.

این نواحی شبیه به بیضیگون است. تصاویر دوبعدی ناحیه فعال اطراف CR-39 نیز این امر را تأیید می‌کند [۷]. قبلاً توزیع زاویه‌ای اعداد تصادفی برای توصیف ذرات آلفا نشان داده شده است [۱۲]. سعی می‌شود تا توزیع زاویه‌ای ذرات فردوی نیز ارائه شود. نمودار فراوانی برحسب زاویه فردوی برای دختران رادن نشان می‌دهد که فراوانی ذرات آلفای ۲۱۸Po با زاویه کمتر از ۵ درجه بیشترین مقدار و



شکل۹- طیف ذرات آلفای رادن و دختران آن: a) طیف عملی ذرات آلفای رادن(Rn)، دختران (۲۱۴Po، ۲۱۸Po) و تورن (۲۲۰Po) به دست آمده توسط J. Rickards [۴]

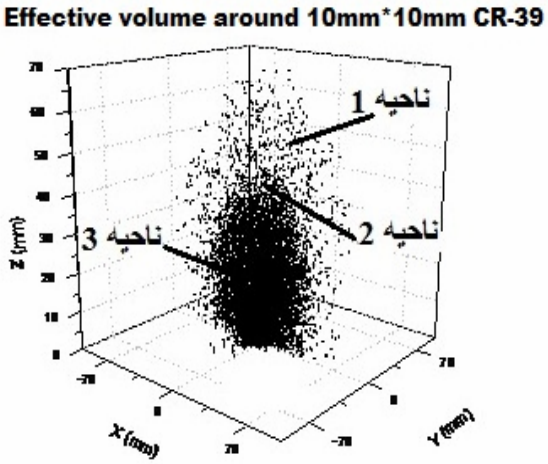
b) طیف شبیه سازی شده ذرات آلفای رادن (Rn) ، دختران (۲۱۴Po، ۲۱۸Po) و تورن(۲۲۰Po)[۴]

c) طیف عملی ذرات آلفای رادن و دختران آن که توسط Vargas and A.et al [۲۴]

d) طیف شبیه سازی شده ذرات آلفای رادن و دختران آن در این مقاله

www.SID.ir

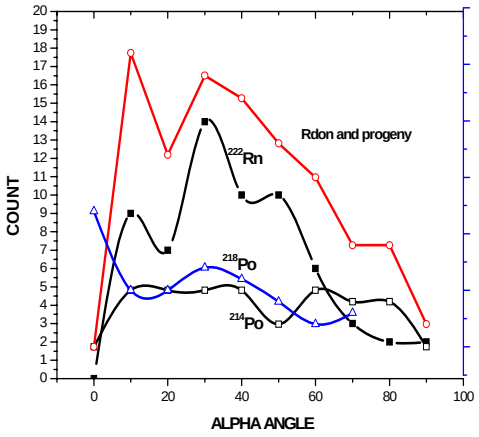
زاویه ۶۵ درجه کمترین مقدار را به خود اختصاص داده اند. فراوانی



شکل ۱۰- حجم مؤثر اطراف CR-39 موجود در صفحه Z=0

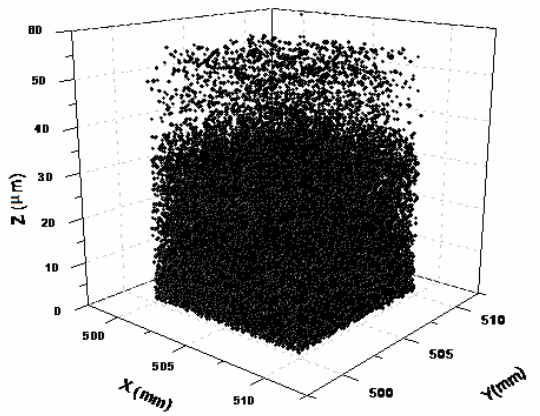
ذرات آلفا Po ۲۱۴ بین ۴۰-۱۰درجه ثابت می‌ماند ولی بین ۶۰-۴۰درجه افت زیادی پیدا می‌کند. در زاویه ۵۰ درجه کمترین فراوانی به چشم می خورد. آلفای رادن بیشترین فراوانی شان در زاویه فردوی ۱۰ درجه است و فروانی، تقریباً بصورت یکنواخت با افزایش زاویه فرودی کاهش می یابد. با استفاده از ابزارهای نوری توزیع زاویه ای بین ۴۰-۸۰ درجه ذرات آلفا تا انرژی ۴,۵MeV بررسی شده است که رفتاری مشابه نتایج فوق دارد [۱۳]. تعدا ردهای ذره آلفای رادن و «رادن و دختران» در زاویه‌های مختلف نیز بصورت زیر است (شکل شماره ۱۱).

برای رادن، ردپاهای با زاویه ۳۰ درجه بیشترین فراوانی را به خود نسبت داده‌اند. در مجموع برای رادن و دختران در ردهای با زاویه



شکل ۱۱- تعداد ردهای ذره آلفای رادن و دختران در زاویه های مختلف

۱۰درجه بیشترین فراوانی مشاهده می‌شود. میزان نفوذ و تخریب ذرات آلفای ناشی از فعالیت ۴۱۵KBq/m3 رادن و دختران آن در CR-39 به ابعاد 10mm × 10mm به مدت ۱ روز به صورت زیر شبیه سازی شده است (شکل ۱۲).



شکل۱۲- میزان نفوذ و تخریب ذرات آلفای رادن و دختران آن در R-39 (محور z)

با توجه به شکل شماره ۱۲ نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- درصد کمی از ذرات آلفا عمق نفوذ زیادی دارند (بین ۳۵µm تا ۵۵µm).

۲- بیشترین تخریب CR-39 تا عمق ۳۵µm انجام می‌پذیرد.

اطلاعات بیشتری از زاویه فرودی و عمق نفوذ ذرات آلفا داخل CR-39 در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که عمق نفوذ آلفای ۲۱۴Po در CR-39 بین ۷µm تا ۵۱µm در نوسان است. با توجه به شکل (7b) بیشترین فراوانی ۲۱۴Po مربوط به بازه زاویه‌ای ۴۰-۱۰درجه است. در نتیجه با توجه به جدول شماره ۱، ردپاهای مشاهده شده در عمق ۷-۱۲µm و با زاویه‌های۴۰-۱۰درجه مربوط به آلفای ۲۱۴Po خواهند بود.

ذرات آلفای ۲۱۸Po بیشتر در زاویه های ۵۵-۱۵ و ۵-۰ درجه با عمق نفوذ ۲۵-۵۲µm نفوذ می‌کنند. همچنین ذرات آلفای ۲۲۲Rn دارای عمق نفوذ ۰-۲۰µm و زاویه ۶۰-۰ قرار دارند. با توجه به شکل شماره ۱۱ بیشترین فراوانی آلفای ۲۱۸Po مربوط به بازه زاویه‌ای ۵-۰ درجه است. در نتیجه با توجه به جدول شماره ۱، ردپاهای مشاهده شده در عمق 32-52 µm و با زاویه‌های ۵-۰ درجه مربوط به آلفای ۲۱۸Po خواهند بود.

با توجه به شکل شماره ۱۱ بیشترین فراوانی ذرات آلفای ۲۲۲Rn در بازه زاویه‌ای ۵۰-۳۰ درجه است. در نتیجه با توجه به جدول شماره ۱، ردپاهای مشاهده شده در عمق ۴۲-۴۹µm و با زاویه‌های۵۰-۳۰ درجه مربوط به آلفای ۲۲۲Rn خواهند بود.

Archive of SID
www.SID.ir

در حالت کلی با توجه به جدول شماره ۱، ردپاهای با زاویه ۳۵-۵۶ درجه و عمق نفوذ ۴۹-۵۶μm، قطعاً مربوط به فعالیت آلفای ۲۱۴Po می‌باشند. چون بازه انرژی ۷/۴MeV- ۶/۴ مربوط به این عمق، نمی‌تواند ناشی از فعالیت آلفای ۲۱۸Po با انرژی ۶MeV و آلفای ۲۲۲Rn با انرژی ۵/۴۹ MeV باشد.

جدول۱- اطلاعات ذرات آلفا داخل CR-39 بصورت تابعی از زاویه فرودی و عمق نفوذ

ذرات آلفای رادن و دختران				
زاویه فرودی (درجه)	۰-۸۰	۳-۸۰	۵-۸۰	۳۵-۶۵
عمق نفوذ (μm)	۰-۲۸	۲۸-۴۲	۴۲-۴۹	۴۹-۵۶
انرژی (MeV)	۰-۳/۷	۳/۷-۵/۵	۵/۵-۶/۴	۶/۴-۷/۴
ذرات آلفای ۲۲۲Rn				
زاویه فرودی (درجه)	۲-۱۸	۳۰-۵۰	۲۰-۳۰	۷۵-۸۰
عمق نفوذ (μm)	۲۵-۳۰	۴۲-۴۹	۳۰-۳۸	۲۸-۴۲
ذرات آلفای ۲۱۴Po				
زاویه فرودی (درجه)	۰-۶۰	۲۵-۵۵	۳۰-۵۰	۷۰-۷۵
عمق نفوذ (μm)	۷-۱۲	۱۸-۲۵	۴۹-۵۱	۲۴-۴۴
ذرات آلفای ۲۱۸Po				
زاویه فرودی (درجه)	۳۰-۶۰	۳-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰-۷۰
عمق نفوذ (μm)	۲۵-۳۵	۳۲-۵۲	۵۱-۵۵	۱۴-۴۵

نتایج شبیه‌سازی شده شمارش رد ذرات آلفا در CR-39 ناشی از فعالیت رادن و دختران نشان میدهد که حداکثر عمق نفوذ حدود ۳۵μm است. این مقدار برای هندسه استوانه‌ای در حدود ۴۰μm گزارش شده است [۱۴]. حساسیت برای لایه ۲۵μm زیاد است [۱۵]. با توجه به شکل شماره ۱۳بهترین ضخامت برای لایه‌برداری در عمق‌های بین ۱۵μm تا ۲۵μm است. علت این است که تغییرات رد در این بازه خیلی کمتر از بازه ۰-۱۰μm است (جدول شماره ۲).

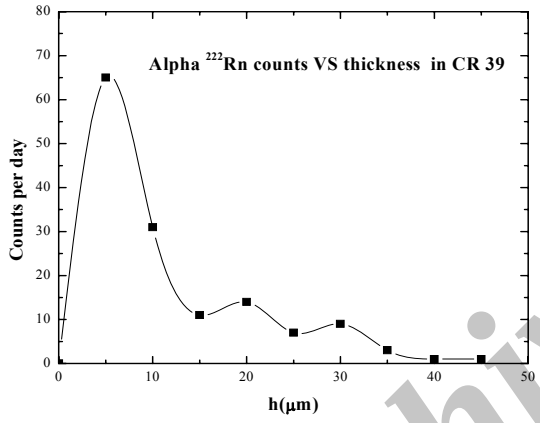
جدول۲- تغییرات رد در واحد طول در بازه های مختلف

بازه μm	$K = \left\lvert \frac{d\rho}{dx} \right\rvert_{\left(\frac{tr}{cm^2}\right)/(kBq\ d\ m/m^3)}$
0-5	13
5-10	۱۱
15-20	1.5
20-25	2

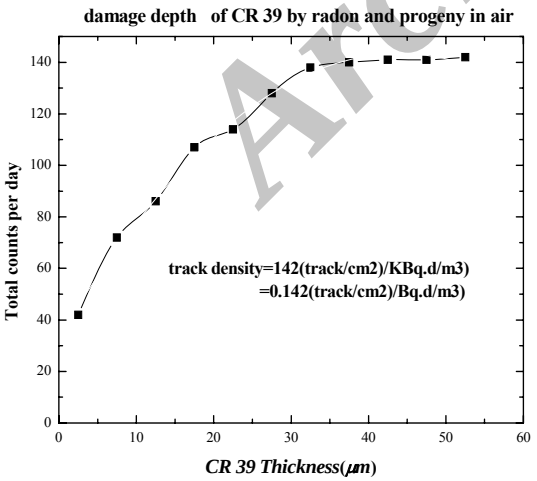
در این جدول $K = \left|\frac{d\rho}{dx}\right|$ تغییرات رد در واحد طول که کمیتی مناسب برای تعیین ضریب کالیبراسیون و (ρ) چگالی رد ذرات آلفا است.

اگر هدف بررسی عمق تخریب ذرات آلفا باشد شکل زیر نشان می دهد که عمق تخریب مناسب در حدود 25 μm است (شکل شماره ۱۴). در این عمق با توجه به شکل شماره (۱۳) همه ذرات آلفا نقش دارند و در تمام زاویه‌ها فرود می آیند. در نتیجه تا عمق ۲۵μm اگر لایه برداری یا خورش شیمیایی صورت گیرد هر ردپایی نشانگر غلظت ۱۰۰Bq/m3 برای رادن است. با توجه به شکل شماره ۱۳ و جدول شماره ۲، در حدود ۷۰٪ تخریب‌ها تا عمق ۱۵μm نفوذ می‌کنند و توزیع زاویه‌ای یکنواختی دارند.

با توجه به شکل شماره ۱۴ چگالی ردهای تخریبی ذرات آلفا در CR-39 برابر ۰/۱۴۲ (Track/cm2)/(Bq.d/m3) استخراج می‌شود که کمتر از حد بالای چگالی شمارش ذرات آلفا برای رادن و دختران آن که برابر ۰/۳۳۲ (Track/cm2)/(Bq.d/m3) گزارش شده [۱۳] و منطبق بر نتایج آزمایشی (Track/cm2)/(Bq.d/m3) ۰/۱۶۸ می‌باشد [۱۶].



شکل۱۳ – حداکثر عمق تخریب CR-39



شکل۱۴- عمق تخریب روزانه پلاستیک CR-39 در اثر ذرات آلفای رادن و دختران

Archive of SID
www.SID.ir

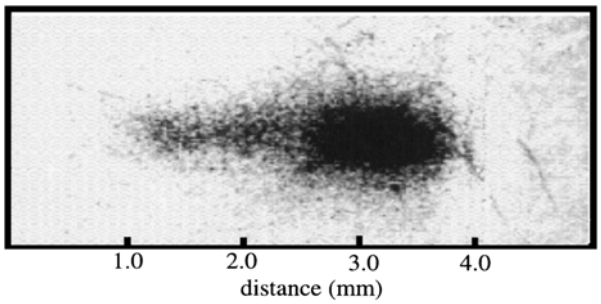
بحث

هدف از مطالعه حاضر شبیه سازی عمق تخریب پلاستیک های CR-39 در اثر فعالیت رادن و دختران آن در هوا است. با توجه به اینکه پلاستیک‌های CR- 39 بطور گسترده ای در پزشکی و ابزارهای نوری جهت تصویربرداری و لیزر درمانی استفاده می‌شود تاکنون تخریب و تغییر رنگ این پلاستیک‌ها که می‌تواند تشکیل تصویر و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد بصورت واقعی شبیه سازی نشده است. بعلت اینکه از CR-39 بطور گسترده ای برای اندازه‌گیری رادن با توجه به ردهایی که ذرات آلفای ناشی از فعالیت آنها بجا می‌گذارد استفاده می‌شود حدس می‌زنیم که ممکن است که رادن موجود در هوا نیز ردهایی در پلاستیک‌های CR-39 بجا بگذارد. تمام شبیه‌سازی‌هایی که روی CR-39 انجام شده است به نحوه خورش شیمیایی ردهای ایجاد شده می‌پردازد ولی نحوه فرود و نفوذ ذرات آلفای ناشی از فعالیت رادن و دختران آنها در CR-39 در حالت واقعی شبیه سازی نشده است. علت واقعی نبودن شبیه سازی‌های قبلی مشابه نبودن طیف ذرات آلفای اندازه‌گیری شده و طیف ذرات آلفای شبیه سازی شده است [۴]. برای شبیه سازی در حالت واقعی باید اطلاعات کاملی از نحوه فعالیت رادن و ضریب تعادلی بین رادن و دختران [۱۰] مشخص باشد. آلفای ارسال شده توسط رادن و دختران کاملاً تصادفی است. با تولید اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت میتوان زاویه و مکان تصادفی تولید کرد. توزیع حاکم بر فعالیت رادن توزیع یکنواخت است. ردهای بجا مانده در پلاستیک CR-39 بعلت تغییر ماده در طول رد ایجاد شده توسط ذرات آلفا توسط میکروسکوپ قابل مشاهده است. این ردپاها مسیر نور مرئی و نور لیزر را به علت تغییر ضریب شکست CR-39 در محل ردپا تغییر می‌دهد [۱۷]. بنظر می‌رسد که بعلت زیاد بودن چگالی ردپاها در سطح پلاستیک نسبت به عمق آن، ضریب شکست نور در نقاط مختلف سطح و عمق پلاستیک ثابت نیست و میکروکانال‌های ایجاد شده در اثر فعالیت رادن و تابش لیزر وضوح تصاویر را به هم میریزد و باعث پراکندگی نور لیزر می‌گردند [۱۸، ۱۹ و ۲۰] و زنگ خطری برای کاربردهای دقیق پلاستیک‌های CR-39 محسوب می‌شوند [۲۱، ۲۲ و ۲۳] (شکل شماره ۱۳).

عمق نفوذ، تعداد و زاویه ردپاهای ایجاد شده ذرات آلفا در پلاستیک‌های CR-39 نیز پارامترهای مهمی در مطالعه تخریب ناشی از فعالیت رادن و دختران آن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، طیف انرژی ذرات آلفای ناشی از فعالیت رادن و دختران شبیه سازی شده است که با طیف اندازگیری شده مطابقت دارد.



شکل ۱۳- میکروکانال‌های ایجاد شده در اثر برهمکنش لیزر هلیوم- نئون با CR-39 [۲۲]

برد ذرات آلفا بصورت تابعی از انرژی در پلاستیک‌های CR-39 نیز با یک روش ابتکاری محاسبه گردیده است. در نهایت چگالی ردپا، عمق تخریب، توزیع زاویه‌ای ردپاهای ذرات آلفای ناشی از فعالیت رادن و دختران آن بدست آمده است. چگالی ردهای تخریبی ذرات آلفا در CR-39 برابر (Track/cm2)/(Bq.d/m3) ۰/۱۴۲ استخراج می‌شود. حداکثر عمق تخریب درحدود ۳۵μm است. در حدود ۷۰٪ تخریب‌ها تا عمق ۱۵μm نفوذ می‌کنند و توزیع زاویه‌ای یکنواختی دارند. در نتیجه تخریب‌های ایجاد شده باعث کدر شدن و تغییر ضریب شکست پلاستیک می‌شوند که نتیجه آن از بین رفتن وضوح تصویر و پراکندگی نور لیزر در کاربردهای پزشکی پلاستیک‌های CR-39 می‌شوند. بعلت اینکه رادن در آب و مایعات دیگر قابل حل است در آینده میتوان تخریب ایجاد شده در پلاستیک‌های پلاستیکی توسط رادن محلول در این مایعات را نیز بررسی کرد.

منابع

1. Fazal-ur- Rehman. Experimental and Monte Carlo simulation studies of open cylindrical radon monitoring device using CR-39 detector. J. Environ Radioactivity 2003; 65: 243–54.
2. Peter G, Shaw-McMinn OD. Apply the medical model to rescribing spectacle lenses. Southern California College of Optometry.
3. Shahid S. Effect of CO2 laser irradiation on the track registration properties of CR-39. 31st EPS Conference on Plasma Phys 2004; 28:5.045.
4. Rickards J. A Monte Carlo study of radon detection in cylindrical diffusion chambers. Journal of Environmental Radioactivity 2010; 101: 333–7.

Archive of SID
www.SID.ir

5. Tokonami S, Sun Q, Akiba S, Zhuo W, Furukawa M, Ishikawa T, Hou C, Zhang S, Narazaki Y, Ohji B, Yonehara H, Yamada Y. Radon and Thoron Exposures for Cave Residents in Shanxi and Shaanxi Provinces. Radiat Res 2004; 162: 390–6.

6. Nikezic D. Absorbed dose delivered by alpha particles calculated in cylindrical geometry. J Environ Radioactivity 2002; 60:293–305.

7. Nikezic D, Yu K.N. Computer simulation of radon measurements with nuclear track detectors. ISBN 978-160021-595-7.

8. Paul H. A comparison of recent stopping power tables for light and medium-heavy ions with experimental data. Nucl Instr and Meth in Phys Res B 2006; 247: 166–72.n

9. Yu K.N. Comparison among alpha-particle energy losses in air obtainedfrom data of SRIM, ICRU and experiments. Applied Radiation and Isotopes 2003; 59: 363–6.

10. Nikezic´ D, Yu K.N. LR115 detector response to 222Rn in the presence of 220Rn. Health Physics April 2000; 78: 4.

11. Banjanac R, et al. Indoor radon measurement by nuclear track detector. Phy chem and tech 2006 l4(1): 93-100.

12. Nikezic D, Yu K.N. Incidence characteristics of alpha particles on detectors irradiated in a radon progeny atmosphere. Nucl Instr and Meth in Phys Res B 187 (2002) 492–498?

13. Law Y.L. Optical appearance of alpha-particle tracks in CR-39 SSNTDs.

14. Sima O. Monte Carlo simulation of radon SSNT detectors. Radiation Measurements 2001; 34: 181–6.

15. Vip wai yi. Retrospective radon progeny dosimetry. phd.thesis city university of hong kong Radiation Measurements 2008; 43: S128- 31.

16. López F.O, Canoba A.C. Passive Method for the Equilibrium Factor Determination between 222Rn Gas and its Short Period Progeny. 11th International Congress on the International Radiation Protection Association, Madrid España 2004; 23-28.

17. El-Ghandoor H, El-Fiki S. A, El-Zaiat S. Y. Interferometric investigation of the effect of gamma radiation on the refractive index of CR-39 polymer. Optics & Laser Technology 1996; 28(8): 585-7.

18. Fleischer R.L, Meyer N.R, Hadley S.A, MacDonald J, Cavallo A. Personal Radon Dosimetry from Eyeglass Lenses. Radiat Prot Dosimetry 2001; 97(3): 251-8.

19. Groetz J. E, Lacourt A, Meyer P, Fromm M, Chambaudet A, Potter J. A. New Method for Reading CR-39 by Using Coherent Light Scattering. Radiat Prot Dosim 1999; 85(1–4): 447–50.

20. Platzer H, Abmayr W, Paretzke H.G. Evaluation of Dielectric Track Detectors with Diffracted Laser Light. Atomkernergie 1972; 20: 162.

21. Moore M. E, Gepford H. J, Hermes R. E, Hertel N. E, Devine R. T. Laser illuminated etched track scattering (LITES) dosimetry system. Radiation Protection Dosimetry 2002; 101(1–4): 43-5.

22. Krushelnick K, Clark E. L. Multi-MeV Ion Production from High-Intensity laser Interactions with Underdense Plasmas. Imperial College of Science, Technology & Medicine 1999; 83(4):?.

23. Abu-Jarad, Durrani S.M.A, Islam M.A. Effect of 10.6 μm pulsed laser on the CR-39. Nuclear Tracks and Radiation Measurements 1993; 22(1-4): 253-6.

24. Vargas A, Ortega X. QA programme for radon and its short- lived progeny meaasuring instruments in nrpi prague. Radiat Prot Dosimetry 2007; 123:529-36.

Archive of SID

www.SID.ir