

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

بهبودسازی شرایط سونش آشکارساز CR-39

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

مائده ظفرزاده

اساتید راهنما

دکتر محمد حسن علامت‌ساز

دکتر نورا نصیری مفخم



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک هسته‌ای خانم مائده ظفرزاده
تحت عنوان

بهینه‌سازی شرایط سونش آشکارساز CR-39

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۷ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- اساتید راهنمای پایان‌نامه دکتر محمد حسن علامت ساز

۲- اساتید راهنمای پایان‌نامه دکتر نورا نصیری مفخم

۳- استاد مشاور پایان‌نامه خانم رعنا سلیمی

۴- استاد داور دکتر احمد شیرانی

۵- استاد داور دکتر اکبر پروازیان

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر مجتبی‌اعلایی

شکر و قدردانی

حمد و سپاس بی‌کران خدایی را که به ما نعمت هستی و والاتر از آن تفکر را ارزانی داشت و به بهشتینی با اهل علم و اندیشه مفتخر نمود.

اکنون و در پایان این مرحله، شایسته است از تمام کسانی که در این راه مرایاری کردند، سپاسگزاری نمایم.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر علامت‌ساز و سرکار خانم دکتر نصیری منمختم به خاطر راهنمایی‌های گرانبه‌شان کمال شکر و سپاس را دارم و برایشان آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون می‌نمایم.

از استاد ارجمندم سرکار خانم سلیمی که با مشاوره‌ی ارزشمندشان راهگشای اینجانب بوده‌اند، بسیار سپاسگزارم و از خدای بزرگ موفقیت و بهروزشان را خواستارم.

از پدر و مادر نازنین و خانواده‌ی عزیزم که در تمام مراحل تحصیل مشوق من بوده‌اند و از بیچ‌لفظی فروگذار نکرده‌اند، نهایت شکر و سپاس را دارم و سلامتی و سرفرازشان را از درگاه الهی تمنای کنم.

و به پاس زحمات و راهنمایی‌های تمام کسانی که به من علمی را آموختند، خدای متعال را شاکرم و برایشان بهترین‌ها را آرزو مندم.

مانده نظریات

زمستان ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
صنعتی اصفهان است.

تقدیم بہ:

پیشگاہ یگانہ منجی عالم،

دل دریایی پدرم و نگاہ مہربان مادرم

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
هشت	فهرست مطالب.....
۱	چکیده.....
	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ تاریخچه‌ی آشکارسازی رد ذرات باردار در مواد جامد.....
۶	۲-۱ هدف و روش کار.....
۷	۳-۱ محتوای پژوهش.....
	فصل دوم: برهم کنش ذرات باردار سنگین با ماده
۸	۱-۲ انواع منابع پرتوزا.....
۹	۲-۲ چشمه‌ی ذرات باردار سنگین پر انرژی.....
۹	۱-۲-۲ واپاشی آلفا.....
۱۱	۲-۲-۲ شکافت خود بخود.....
۱۲	۳-۲-۲ شتاب‌دهنده‌ی ذرات باردار.....
۱۲	۴-۲-۲ فرآیند حاصل از برهم کنش نوترون.....
۱۲	۳-۲ اتلاف انرژی ذرات باردار سنگین.....
۱۳	۱-۳-۲ اتلاف انرژی در اثر برخورد هسته‌ای.....
۱۴	۲-۳-۲ اتلاف انرژی در اثر برهم کنش با الکترون‌های محیط.....
۱۷	۳-۳-۲ مشخصه‌های اتلاف انرژی.....
۲۰	۴-۳-۲ رفتار پاره‌های شکافت.....
	فصل سوم: رد ذرات باردار در مواد جامد
۲۱	۱-۳ انواع آشکارسازهای پرتو یونساز.....
۲۳	۱-۱-۳ آشکارساز رد هسته‌ای حالت جامد (SSNTD).....
۲۴	۲-۱-۳ کاربردهای آشکارساز رد هسته‌ای حالت جامد.....
۲۵	۲-۳ تشکیل رد پنهان در جامدات.....
۲۵	۱-۲-۳ معیارهای تشکیل رد.....
۲۹	۲-۲-۳ خصوصیات شیمیایی و فیزیکی محیط مناسب برای تشکیل رد.....
۳۲	۳-۲-۳ معرفی آشکارساز CR-39.....
۳۲	۴-۲-۳ الگوی تشکیل رد.....
۳۴	۳-۳ روش‌های توسعه‌ی رد موسوم به "سونش یا خورش".....
۳۶	۴-۳ هندسه‌ی رد.....
۳۸	۱-۴-۳ هندسه‌ی توسعه‌ی رد با V_t ثابت.....

۴۳	هندسه‌ی توسعه‌ی رد با V_i متغیر	۲-۴-۳
۴۹	بازده آشکارسازی	۳-۴-۳
۵۰	آهنگ سونش حجم V_b	۵-۳
۵۰	روش‌های اندازه‌گیری غیر مستقیم V_b	۱-۵-۳
۵۱	روش‌های اندازه‌گیری مستقیم V_b	۲-۵-۳
۵۲	آهنگ سونش رد V_i	۶-۳
۵۵	عوامل مؤثر بر آشکارسازی رد	۱-۶-۳
فصل چهارم: شبیه‌سازی تراپرد ذرات باردار		
۵۷	کد SRIM و TRIM	۱-۴
۵۹	کد MCNPX	۲-۴
۶۰	کد TRACK_TEST	۳-۴
۶۱	برنامه‌ی TRACK_VISION	۴-۴
۶۱	برنامه‌ی CR39	۵-۴
فصل پنجم: نتایج		
۶۴	شرح آزمایش	۱-۵
۶۴	پرتودهی آشکارساز	۱-۱-۵
۶۵	فرآیند سونش	۲-۱-۵
۶۶	مشاهده‌ی رد	۳-۱-۵
۶۸	محاسبه‌ی بازده	۲-۵
۶۹	شرایط بهینه‌ی سونش آشکارساز CR-39	۳-۵
۷۴	محاسبه‌ی خطا	۱-۳-۵
۷۵	اندازه‌گیری آهنگ سونش حجم	۴-۵
۷۹	سنجش نتایج با کدهای مختلف	۵-۵
۸۰	محلول سونش مناسب	۶-۵
۸۱	بررسی نتایج	۷-۵
۸۲	بحث و نتیجه‌گیری	۸-۵
۸۳	پیشنهادها	۹-۵
۸۵	پیوست: انتشار خطا	
۸۶	مراجع	

چکیده

آشکارسازی و اندازه‌گیری انواع تابش‌های محیطی، از سال‌ها پیش مورد توجه بوده است. در میان روش‌های مختلفی که به این منظور پیشنهاد شده است، آشکارسازی رد ذرات باردار در مواد جامد، به دلیل مزیت‌های منحصر بفردش از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. آشکارسازی رد منوط به فرآیندی شیمیایی است، که موجب گسترش رد پنهان می‌شود. این فرآیند که به "سونش آشکارساز" موسوم است، امکان مشاهده‌ی رد را با میکروسکوپ نوری فراهم می‌کند. برای داشتن بیشترین بازده آشکارسازی لازم است فرآیند سونش در شرایط خاص صورت گیرد. غلظت و دمای محلول شیمیایی و همچنین مدت زمان انجام فرآیند، مؤلفه‌هایی هستند که باید با توجه به ویژگی‌های پرتو و جنس آشکارساز مشخص شوند، که تعیین این شرایط برای آشکارساز CR-39، یکی از اهداف پژوهش حاضر است. برای این منظور رد ذرات آلفای مربوط به چشمه‌ی ^{241}Am ، با انرژی 5.48 MeV به وسیله‌ی آشکارساز CR-39 آشکار شد. که در این مورد بهترین شرایط سونش محلول NaOH با غلظت ۶ نرمال در دمای 70°C حاصل شد. بیشترین مقدار بازده آشکارسازی پس از حدود ۶ ساعت و ۳۰ دقیقه سونش در این شرایط ۷۵/۹ درصد بود که به روش شمارش تعداد ردهای قابل مشاهده در سطح آشکارساز به دست آمده است. به علاوه، سایر شرایط انجام فرآیند مذکور، از جمله استفاده از همزن در محلول، نوسانات دمایی و یا تغییرات غلظت باید مورد توجه قرار گیرند. در این روش آشکارسازی هندسه‌ی رد اطلاعات مفیدی راجع به پرتو فرودی به همراه دارد، که دستیابی به آنها با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف رد میسر می‌باشد. عمق رد و قطر دهانه‌ی آن، از جمله‌ی این پارامترها هستند؛ که کمیت‌هایی نظیر انرژی و جرم یون فرودی را می‌توان به آنها مربوط دانست. در نهایت کدهای شبیه‌سازی رد از جمله TRACK_TEST و CR39 که امکان دسترسی به پارامترهای مختلف رد را فراهم می‌کنند، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج تجربی با خروجی این برنامه‌ها ارزیابی شد، که با کد CR39 هم‌خوانی بهتری را نشان می‌داد. همچنین برد ذرات آلفا با استفاده از کدهای MCNPX و SRIM محاسبه شد، که توافق خوبی را نشان می‌داد. یکی از عواملی که در شکل‌گیری رد نقش اساسی دارد، آهنگ سونش حجم آشکارساز، V_b است. این کمیت به عوامل مختلفی از جمله شرایط سونش بستگی دارد، از همین جهت روش‌های اندازه‌گیری V_b مورد بررسی قرار گرفت و محدودیت‌ها و شرایط به کارگیری هر یک ارزیابی شد.

واژگان کلیدی: ۱- آشکارساز رد هسته‌ای حالت جامد ۲- SSNTD ۳- CR-39 ۴- سونش شیمیایی ۵- ذرات آلفا ۶- ذرات باردار

سنگین

فصل اول

مقدمه

معرفی

آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد (¹SSNTDs)، دسته‌ای از مواد جامد دی‌الکتریک هستند که ذرات باردار هنگام عبور از آنها از خود ردی پایدار به جا می‌گذارند. این مواد ممکن است شیشه‌ای، معدنی و یا پلاستیکی باشند. رد حاصل که به رد پنهان موسوم است، در شرایط مطلوب فقط به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده می‌باشد. برای مشاهده‌ی رد به وسیله‌ی میکروسکوپ نوری، لازم است رد پنهان در اثر فرآیندی بزرگ شود. به فرآیند مذکور که با قرار گرفتن ماده‌ی آشکارساز در محلول شیمیایی مناسب انجام می‌گیرد سونش² گفته می‌شود [۱، ۲].

با توجه به جنس ماده‌ی آشکارساز، امکان آشکارسازی پروتون، ذره‌ی آلفا و یا یون‌های پر انرژی سنگین‌تر از جمله پاره‌های شکافت با این تکنیک وجود دارد [۱، ۲].

¹ Solid State Nuclear Track Detectors

² Etching

شرایط سونش از جمله نوع و غلظت محلول، دما و مدت زمان انجام فرآیند، در بازده آشکارسازی، نقش تعیین کننده‌ای دارند. ضمن این که وضوح رد و قابل مشاهده بودن آن به این شرایط وابسته است. پس کمیت مهمی که در تعیین شرایط بهینه‌ی سونش باید مد نظر قرار گیرد، بازده آشکارساز است. این کمیت با داشتن پارامترهای مختلف از جمله نسبت سرعت سونش در طول رد به سرعت سونش حجم آشکارساز، حداقل زاویه‌ی فرودی ذره برای آشکارسازی و یا نسبت تعداد رد آشکار شده به تعداد کل ذرات فرودی به سطح آشکارساز قابل محاسبه می‌باشد [۲، ۳].

محلول مناسب سونش برای آشکارسازهای پلاستیکی، از نوع قلیایی و برای آشکارسازهای معدنی از نوع اسیدی می‌باشد. دورانی و بال^۱ جدولی را به عنوان محلول‌های مناسب سونش آشکارسازهای مختلف به همراه غلظت‌ها و دماهای مربوطه تهیه کرده‌اند [۲].

آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد کاربردهای گسترده‌ای از جمله در زمینه‌ی فیزیک فضایی، زمین شناسی، پزشکی، زیست شناسی، حفاظت در برابر پرتو و صنعت دارند. از مزیت‌های این نوع آشکارسازها می‌توان به قیمت مناسب، قابل تهیه بودن در اندازه‌های مختلف، پایداری ردهای ثبت شده نسبت به زمان و شرایط محیطی، عدم حساسیت نسبت به نور و اشعه β ، γ و ایکس، عدم نیاز به ابزار الکترونیکی و فواید بسیار دیگر اشاره کرد [۴].

۱-۱. تاریخچه‌ی آشکارسازی رد ذرات باردار در مواد جامد

این تکنیک در سال ۱۹۵۸ میلادی توسط یانگ^۲ معرفی شد. او اولین رد ذرات را در کریستال لیتیوم فلوئورید (LiF) پس از این که در یک محلول خورنده قرار گرفته بود مشاهده کرد. بر طبق گزارش یانگ که در نشریه‌ی نیچر^۳ آن زمان منتشر شده بود، کریستال مذکور پیش‌تر در مجاورت ورقه‌ی اورانیوم تابش دیده به وسیله‌ی نوترون‌های کند قرار گرفته بود [۱]. یک سال بعد سیلک و بارنز^۴ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری^۵، رد ذرات باردار سنگین را در میکا مشاهده کردند.

¹ Durrani & Bull

² Young

³ Nature

⁴ Silk & Barnes

⁵ transmission electron microscope

پس از این فلاشر و پرایس^۱ تحقیقات گسترده‌ای را در این زمینه انجام دادند و این روش را در مورد موادی چون میکا و دیگر مواد معدنی، پلاستیک‌ها و شیشه‌ها به کار بردند [۱، ۳]. آنها در سال ۱۹۶۳ به همراه واکر^۲ آشکارسازهای رد هسته‌ای را به عنوان دزیمتری نوترون معرفی کردند [۴].

توماسینو^۳ در سال ۱۹۷۰ روش سونش شیمیایی را با اعمال میدان الکتریکی قوی تلفیق کرد و پایه‌گذار سونش الکتروشیمیایی شد. سهرابی در سال ۱۹۷۴ روش سونش الکتروشیمیایی را برای آشکارسازی رد ذرات پس پراکنده شده در مواد پلیمری پیشنهاد داد و کاربرد آن را در دزیمتری نوترون معرفی کرد [۵].

در سال ۱۹۷۸ کارترایت^۴ و همکارانش CR-39 را که یک نوع پلی کربنات است به عنوان آشکارساز رد ذرات باردار سنگین معرفی کردند [۴].

توصیف فرآیند تشکیل رد مورد توجه شمار بسیاری از محققین قرار گرفت. فلاشر، پرایس و واکر در سال ۱۹۶۵، مکانیزم میله‌ی انفجاری یون را برای تشکیل رد ارائه دادند [۶]. پس از آن کتز^۵ تشکیل رد ذرات در پلاستیک‌ها [۷] و کوسیس^۶ و همکارانش تشکیل رد یون‌های سنگین را در CR-39 مورد بررسی قرار دادند [۸]. ریازانوف^۷ و همکارانش اثر دما و اتلاف انرژی را در تشکیل رد بررسی و توسعه‌ی غیرهمسانگرد رد در مواد آمورف را توصیف کردند [۹]. مقدار آستانه‌ی پارامترهای مختلف برای تشکیل رد توسط فلاشر، بنتون^۸، پارتز^۹ و دیگران بررسی شد و بر این اساس معیارهایی از قبیل اتلاف انرژی کل، یونش اولیه، اتلاف انرژی محدود^{۱۰}، چگالی رویداد خطی^{۱۱} و معیارهای دیگر تشکیل رد پیشنهاد شد [۲].

افراد مختلف توسعه‌ی رد و تغییر پارامترهای مختلف آن را در طول سونش بررسی کرده‌اند. از جمله‌ی آنها سامچی و ژالای^{۱۲} [۱۰]، فروم^{۱۳} و همکارانش [۱۱] و نیکزیک و یو^{۱۴} [۱۲] بر اساس این بررسی‌ها مدل‌هایی را برای توصیف شکل رد ارائه داده‌اند. همچنین افرادی نحوه‌ی تغییرات کمیت V را به صورت تابعی از برد باقیمانده‌ی ذره در طول رد پیشنهاد داده‌اند [۲، ۱۳-۱۵].

¹ Fleischer & Price

² Walker

³ Tommasino

⁴ Cartwright

⁵ Katz

⁶ Kocsis

⁷ Ryazanov

⁸ Benton

⁹ Paretzke

¹⁰ Restricted energy loss

¹¹ Lineal event-density

¹² Somogyi & Szalay

¹³ Fromm

¹⁴ Nikezic & Yu

برنامه‌های رایانه‌ای مختلف جهت ترابرد و یا محاسبه‌ی برد و اتلاف انرژی ذرات باردار در مواد ارائه شده است. هنک^۱ و بنتون در سال ۱۹۶۸ [۲]، زیلر^۲ و همکارانش در سال ۱۹۸۵ [۱، ۱۶] چنین برنامه‌هایی را نوشته‌اند. کد MCNP^۳ نیز یک بسته‌ی نرم‌افزاری می‌باشد که قابلیت‌هایی فراتر از موارد فوق را دارد. این کد که توسط مؤسسه-ی لوس آلاموس^۴ در دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی ایجاد شده، در دو دهه‌ی اخیر گسترش یافته و تحت عنوان MCNPX^۵ ارائه شده است [۱۷]. همچنین بر اساس توابع ریاضی مختلفی که برای توصیف چگونگی توسعه‌ی رد پیشنهاد شده است، برنامه‌هایی برای شبیه‌سازی نحوه‌ی توسعه‌ی رد طی فرآیند سونش نوشته شده است. از جمله‌ی این برنامه‌ها می‌توان به TRACK_TEST، TRACK_VISION و CR39 اشاره کرد [۱۸-۲۰].

از آنجا که فرآیند سونش تعیین‌کننده‌ی بازده آشکارسازی رد می‌باشد، افراد زیادی برای تعیین بهترین شرایط سونش، تحقیقاتی را انجام داده‌اند [۲۱، ۲۲]. فرآیند سونش تحت شرایط مختلف از جمله وجود همزن، اضافه کردن الکل به محلول سونش، تغییر آهنگ سونش حجم با عمق آشکارساز و غیره توسط گروه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثرات محیطی در تمام مراحل پس از تولید آشکارساز تا مشاهده‌ی رد مورد توجه بسیاری از محققین بوده است [۱، ۲۳].

به دلیل اینکه در بسیاری از کاربردها، شمارش تعداد رد آشکارشده در سطح آشکارساز در تعیین پارامترهای دلخواه لازم می‌باشد، روش‌های مختلف شمارش رد مورد توجه برخی از محققین قرار گرفته است. چون شمارش رد به طور مستقیم و توسط کاربر کار زمان‌بر و طاقت فرسایی است، شمارش به صورت خودکار و به وسیله‌ی نرم‌افزارهای پردازنده‌ی تصویر به طور گسترده‌ای رواج یافته است [۲۴-۲۷]. شمارش رد به هر روشی که انجام می‌گیرد باید با دقت قابل قبولی همراه باشد. تشخیص ردهایی که با ردهای مجاور همپوشانی دارند، گاهی اوقات بسیار دشوار است. همچنین برخی عوارض موجود در سطح آشکارساز ممکن است به عنوان رد واقعی مورد شمارش قرار گیرند [۲۸-۳۰].

¹ Henke

² Ziegler

³ Monte Carlo N-Particle Transport Code System

⁴ Los Alamos National Laboratory

⁵ MCNP eXtended

۲-۱ هدف و روش کار

در فرآیند آشکارسازی رد ذرات هسته‌ای در مواد جامد، فرآیندهای آماده‌سازی، پرتودهی و سونش شیمیایی نقش تعیین کننده‌ای دارند. ممکن است افراد تحت شرایط یکسان نتایج مختلفی را به دست آورند، دلیل این امر عدم توجه به جزئیات کار می‌باشد. شرایط نگهداری آشکارساز از هنگام تولید تا به کارگیری آن، شرایط محیطی در طول پرتودهی و پس از آن، شرایط سونش و روش اندازه‌گیری پارامترهای رد باید به طور کامل شرح داده شوند تا امکان مقایسه‌ی نتایج وجود داشته باشد [۳۱].

با توجه به کاربردهای گسترده‌ی آشکارساز CR-39 در زمینه‌های مختلف، تعیین بهترین شرایط سونش این آشکارساز مورد توجه قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی بهتر ویژگی‌های این آشکارساز و روش‌های مختلف اندازه‌گیری پارامترهای تعیین کننده در آشکارسازی رد ذرات از جمله آهنگ سونش حجم، مجموعه آزمایشاتی طراحی و انجام شد. در این تحقیق سعی شده است، عوامل مختلف مؤثر در فرآیند سونش شیمیایی آشکارساز CR-39 بررسی شود. ضمن این که آهنگ سونش ناحیه‌ی پرتو ندیده‌ی آشکارساز (آهنگ سونش حجم) به چند روش مختلف اندازه‌گیری شده است و میزان دقت و اعتبار آنها نسبت به هم سنجیده شده است.

برای به دست آوردن بهترین شرایط سونش آشکارساز CR-39 در محلول NaOH آبی، از یک چشمه‌ی نازک آزمایشگاهی ^{241}Am با فعالیت ۰/۰۹۵۸ میکروکوری استفاده شد. به طوری که با انتخاب زمان پرتودهی ثابت، چگالی رد قابل مشاهده در سطح آشکارساز پس از سونش در غلظت‌های مختلف این محلول اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به بازده آشکارسازی در این شرایط، بهترین غلظت محلول سونش تعیین شد. ابزار مشاهده و اندازه‌گیری چگالی شامل میکروسکوپ نوری، دوربین CCD و تلویزیون بود.

پس از انتخاب غلظت بهینه‌ی محلول سونش، این فرآیند در دماهای مختلف انجام گرفت تا دمای بهینه‌ی سونش نیز به دست آید. مدت زمان سونش نیز طی مراحل قبلی مورد ارزیابی قرار گرفت. می‌توان گفت زمان نیز یک معیار ارزیابی بهترین شرایط سونش می‌باشد.

برنامه‌های رایانه‌ای مختلف جهت برآورد کمیت‌های مختلف رد توسط سایر محققین ارائه شده است. ضمن معرفی برخی از این برنامه‌ها، نتایج تجربی با نتایج آنها سنجیده شده است. با استفاده از کد MCNPX و SRIM برد ذره‌ی آلفا با انرژی ۵/۴۸ MeV در آشکارساز CR-39 محاسبه شد.

۳-۱ محتوای پژوهش

با توجه به این که هدف، آشکارسازی رد ذرات باردار سنگین می‌باشد، ابتدا در فصل دوم مروری بر انواع منابع تابش ذرات باردار خواهیم داشت. سپس برهم کنش‌های ممکن بین ذرات باردار پرنرژی و محیط و روابط اتلاف انرژی آنها را بررسی می‌کنیم.

معرفی آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد و بررسی تشکیل رد ذرات باردار در محیط جامد موضوع بحث فصل سوم می‌باشد. همچنین هندسه‌ی رد طی سونش آشکارساز به طور مفصل در این فصل مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در ادامه پارامترهای مهم تشکیل رد و روش‌های مختلف اندازه‌گیری آنها معرفی خواهند شد. فصل چهارم به مروری اجمالی بر نرم‌افزارهای مختلف که به منظور ترابرد ذرات و انجام محاسبات مربوط به توقف آنها در محیط ایجاد شده‌اند اختصاص دارد. به علاوه چند برنامه‌ی رایانه‌ای که امکان شبیه‌سازی پروفایل رد و محاسبه‌ی پارامترهای مربوط به آن را فراهم می‌سازند، در این فصل معرفی شده است.

نتایج آزمایش‌های انجام شده برای حصول بهترین شرایط سونش آشکارساز CR-39 در محلول آبی NaOH به منظور آشکارسازی رد ذرات آلفای چشمه‌ی ^{241}Am در فصل پنجم ارائه شده است. همچنین روش انجام محاسبات مربوطه در این فصل به طور مفصل تشریح شده است و نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در نهایت با توجه به امکانات موجود، پیشنهادهایی جهت پژوهش بیشتر ارائه شده است.

فصل دوم

فصل دوم: برهم کنش ذرات باردار سنگین با ماده

مقدمه

روش‌های آشکارسازی پرتوهای یون‌ساز، با توجه به نوع و برهم کنش آنها با محیط می‌تواند مختلف باشد. در این میان ردیابی ذرات باردار سنگین در محیط به خاطر برهم کنش مستقیم آنها به طور دقیق تری میسر می‌باشد. در ادامه به معرفی انواع چشمه‌های پرتوزا و به خصوص منابع تولید ذرات باردار سنگین پرداخته می‌شود. برهم کنش ذرات باردار سنگین موضوع اصلی مورد بحث در این فصل است.

۱-۲ انواع منابع پرتوزا

منابع تابش طبیعی را می‌توان به چند دسته‌ی مختلف تقسیم کرد. نوع اول اشعه‌ی کیهانی و خورشیدی است که از فضا می‌آید و به قسمت خارجی اتمسفر زمین برخورد می‌کند. این پرتوها شامل پروتون، هسته‌های سبک و الکترون‌ها می‌باشد، که در پی برخورد با جو ذرات ثانویه، از جمله مزون^۱ و موئون^۲ تولید می‌شود. مطالعه‌ی ترکیب و انرژی تابش اولیه‌ی کیهانی در نواحی بالای جو انجام می‌گیرد [۳۲].

¹ meson

² muon

منبع دیگر تابش طبیعی که در سال ۱۸۹۶ توسط بکرل^۱ در سنگ معدنی اورانیوم کشف شد، چشمه‌های رادیواکتیو طبیعی است. رادیوایزوتوپ‌ها به طور طبیعی، آلفا، بتا و یا گاما ساطع می‌کنند. در اثر تونل زنی ذرات آلفا از میان سد کولنی هسته‌های سنگین، اشعه‌ی آلفای تک انرژی گسیل می‌شود. تابش اشعه‌ی بتا در پی تبدیل هسته‌ی A_ZX با تعداد Z پروتون و $A-Z$ نوترون به هسته‌ی دیگر نظیر ${}^{A+1}_{Z+1}Y$ صورت می‌گیرد، که در نتیجه‌ی آن یک الکترون e^- و یک پاد نوترینو $\bar{\nu}$ گسیل می‌شود. طیف انرژی الکترون گسیلی پیوسته است. اشعه‌ی گاما نیز در پی انتقال هسته‌ی برانگیخته به ترازای دیگر از همان هسته، ساطع می‌شود. پرتو گامای منتشر شده تک انرژی و در ناحیه-ی مگا الکترون ولت می‌باشد.

منابع پرتوزا به طور مصنوعی نیز تولید می‌شوند. هسته‌های ناپایدار تولید شده در رآکتورهای هسته‌ای، نمونه-ای از چشمه‌های مصنوعی رادیواکتیو می‌باشند. با استفاده از نوترون‌های رآکتور، عناصر بتازا با طول عمر یک ثانیه تا 10^5 سال تولید می‌شود. اکثر چشمه‌های بتازا، گاما نیز گسیل می‌کنند، که در پی تابش بتا و انتقال هسته‌ی دختر به حالت پایه رخ می‌دهد. از دیگر منابع پرتوزای مصنوعی، می‌توان به شتاب‌دهنده‌ها اشاره کرد [۳۲].

۲-۲ چشمه‌ی ذرات باردار سنگین پر انرژی

۱-۲-۲ واپاشی آلفا

گسیل ذره‌ی آلفا (هسته‌ی هلیم-۴) از هسته‌های سنگین برای پایداری انرژی بیشتر به طور خود بخود صورت می‌گیرد. احتمال واپاشی آلفا با وسیله‌ی مکانیزم تونل زنی ذره‌ی آلفا از سد پتانسیل هسته قابل محاسبه می‌باشد و رابطه‌ی نمایی بین انرژی ذره و آهنگ واپاشی به این روش به دست می‌آید [۳۳]. نیمه عمر چشمه‌های مفید از چند روز تا چند هزار سال متغیر است، که معادل با ذرات آلفا با انرژی ۴-۶ مگا الکترون ولت می‌باشد؛ ذرات آلفا با انرژی بیشتر، نیمه عمر واپاشی کوتاه‌تری دارند و برعکس. اگر نیمه عمر خیلی طولانی باشد، فعالیت حاصل در موارد کاربردی بسیار پایین خواهد بود و چشمه به خاطر شدت کم مناسب نخواهد بود. فرآیند واپاشی به طور خلاصه به صورت زیر نوشته می‌شود؛

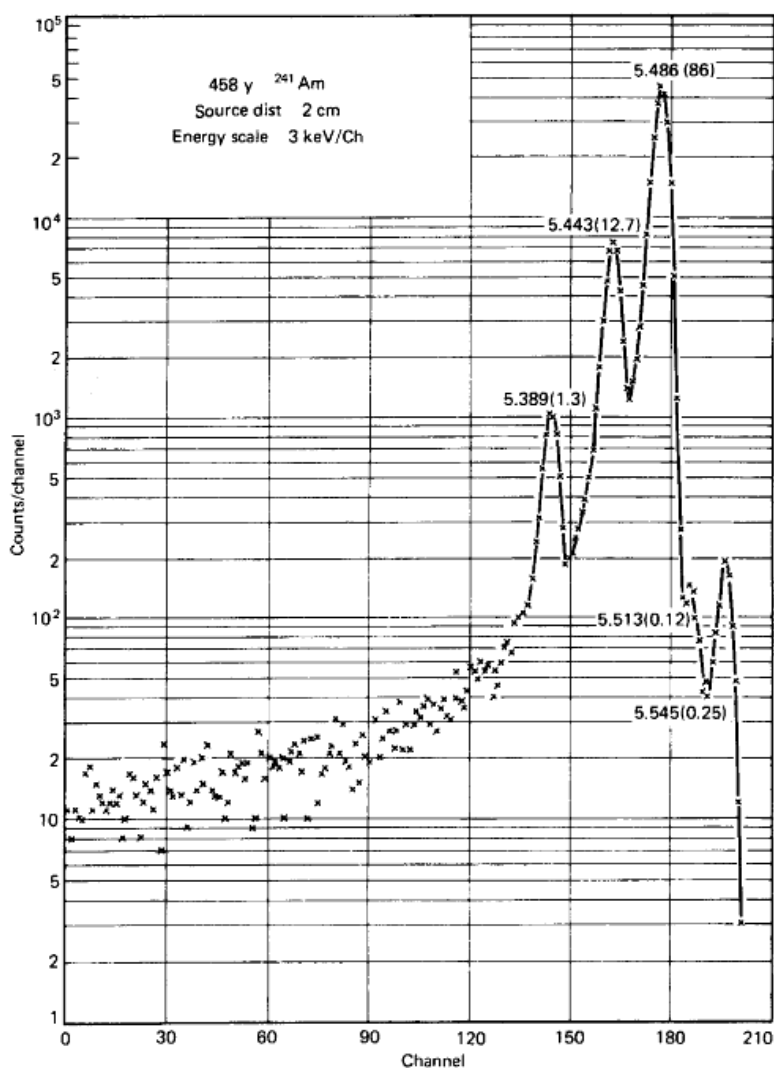


که در آن X و Y به ترتیب هسته‌ی نوع ابتدایی و نهایی می‌باشند.

¹ Becquerel

ذرات آلفا در یک یا چند گروه انرژی ظاهر می‌شوند، که برای اهداف آزمایشگاهی چشمه‌های آلفای تک انرژی با نیمه عمر متوسط مفید می‌باشند. در هر واپاشی مشخص، اختلاف انرژی بین هسته‌ی اولیه و نهایی مقداری ثابت است که با عنوان Q واکنش شناخته می‌شود. اگر این انرژی بین ذره‌ی آلفا و هسته‌ی پس زده شده به یک روش واحد تقسیم شود، هر ذره‌ی آلفا همیشه با یک انرژی $Q(A-4)/A$ ظاهر می‌شود. نمونه‌های زیادی از گسیل ذرات آلفای تک انرژی وجود دارد. مثال‌های دیگر از جمله ^{238}Pu بیش از یک انتقال انرژی دارند، پس ذرات آلفا در گروه‌های انرژی با شدت‌های مختلف گسیل می‌شوند.

رایج‌ترین چشمه با نیمه عمر متوسط، به منظور کالیبراسیون آشکارسازهای حالت جامد سیلیکونی، ^{241}Am است. در شکل ۱-۲، مدهای بالای واپاشی طیف ذرات آلفای این چشمه را که به وسیله‌ی آشکارساز سد سطحی با قدرت تفکیک بالا به دست آمده است، مشاهده می‌کنیم [۲۷].



شکل ۱-۲- مدهای بالای واپاشی طیف ذرات آلفای چشمه‌ی ^{241}Am ، حاصل از آشکارساز سد سطحی با قدرت تفکیک بالا [۲۷].

از آنجا که ذرات آلفا خیلی سریع انرژی‌شان را در مواد از دست می‌دهند، چشمه‌های تک انرژی ذرات آلفا به صورت خیلی نازک ساخته می‌شوند. به طور معمول این نوع چشمه‌ها، به وسیله‌ی لایه‌نشانی مواد رادیواکتیو بر روی بستری مناسب تولید می‌شوند و به وسیله‌ی لایه‌ای بسیار نازک فلزی پوشانده می‌شوند تا انرژی اولیه و خاصیت تک انرژی آلفای گسیلی حفظ شود [۲۷].

۲-۲-۲ شکافت خود بخود

فرآیند شکافت تنها منبع گسیل خود بخود ذرات باردار پر انرژی سنگین تر از آلفا می‌باشد. در نتیجه پاره‌های شکافت برای کالیبراسیون و تست آشکارسازهایی که عموماً برای اندازه‌گیری یون‌های سنگین به کار می‌روند، مفید می‌باشند. فرآیند شکافت به وسیله‌ی تابش نوترون به هسته‌های سنگین نیز میسر است.

تمام هسته‌های سنگین در برابر شکافت خود بخود به دو پاره‌ی سبکتر ناپایدارند. اما به خاطر وجود سد پتانسیل بزرگ در برخی از آنها، این فرآیند اتفاق نمی‌افتد. برای خروج هسته از حالت پایدار و از بین رفتن شکل شبه کروی‌اش، لازم است این سد پتانسیل شکسته شود. پس شکافت خود بخود بجز برای برخی ایزوتوپ‌های سنگین‌تر از اورانیم با عدد جرمی خیلی بزرگ، برای دیگر هسته‌ها فرآیند چشمگیری نیست. پرکاربردترین نمونه، ^{252}Cf است، که اگر شکافت تنها فرآیند واپاشی آن باشد، نیمه عمری حدود ۸۵ سال خواهد داشت. اما از آنجا که هسته‌های سنگین‌تر از اورانیم واپاشی آلفا را نیز متحمل می‌شوند، برای ^{252}Cf نیز احتمال واپاشی آلفا بیشتر از شکافت خود بخود است. بنابراین نیمه عمر واقعی این ایزوتوپ ۲/۶۵ سال می‌باشد. عناصر دیگری از جمله ^{238}U ، نیز دچار شکافت خود بخود می‌شوند که نیمه عمر مربوط به آن بسیار طولانی است.

در هر شکافت برای پایستگی تکانه، دو پاره در دو جهت مخالف گسیل می‌شوند. چون چشمه‌های شکافت خود بخود عموماً به صورت لایه‌ای نازک روی بستری تخت می‌باشند، در هر شکافت تنها یک پاره از سطح فرار می‌کند و دیگری در اثر جذب در ناحیه‌ی پشتی از دست می‌رود.

پاره‌های شکافت یون‌های مثبت با وزن متوسط می‌باشند که غالباً توزیع جرمی نامتقارن دارند، به دو دسته‌ی گروه سنگین با عدد جرمی میانگین ۱۴۳ و گروه سبک با عدد جرمی میانگین ۱۰۸ تقسیم می‌شوند. متوسط انرژی‌ای که بین دو پاره تقسیم می‌شود، حدود ۱۸۵ مگا الکترون ولت می‌باشد. توزیع انرژی نیز نامتقارن است، به طوری که پاره‌ی سبکتر انرژی بیشتری دریافت می‌کند.

در ابتدا پاره‌ی شکافت به صورت یونی مثبت با بار خالص نزدیک به عدد اتمی‌اش ظاهر می‌شود. هنگامی که پاره‌ی شکافت (یون سنگین) در طول مسیرش و در اثر برهم‌کنش با ماده، کند می‌شود، الکترون‌های محیط را جذب

می‌کند. در نتیجه بار مؤثر آن کاهش می‌یابد و اتلاف انرژی علاوه بر کاهش سرعت به کاهش بار آن وابسته است (در بخش‌های بعدی این فصل به طور کامل به این مورد پرداخته می‌شود) [۲۷].

۳-۲-۲ شتاب‌دهنده‌ی ذرات باردار

امروزه به وسیله‌ی شتاب‌دهنده‌های مختلف، ذرات باردار در گستره‌ی وسیعی از انرژی‌ها قابل تولید می‌باشند. به عنوان مثال شتاب‌دهنده‌ی واندوگراف الکتروستاتیکی، سیکلوترون کانونی کننده‌ی ضعیف و سینکروسیکلوترون، ذرات پروتون را به ترتیب تا انرژی‌های ۱۵، ۲۰ و ۵۰۰ مگا الکترون ولت در سیستم آزمایشگاه شتاب می‌دهند. برخورد دهنده‌ی هادرونی بزرگ^۱ واقع در مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا^۲ قادر است پروتون‌ها را تا انرژی ۷ ترا الکترون ولت شتاب دهد. یون‌های سنگین پر انرژی نیز امروزه به وسیله‌ی شتاب‌دهنده‌های پر قدرت قابل تولید می‌باشند [۳۲].

۴-۲-۲ فرآیند حاصل از برهمکنش نوترون

از دیگر فرآیندهایی که می‌تواند موجب گسیل ذرات باردار سنگین شود، برهم‌کنش نوترون حرارتی با هسته‌های محیط می‌باشد. محصولات احتمالی این برهم‌کنش می‌تواند، هسته‌ی پس پراکنده شده، پروتون، ذره‌ی آلفا و یا پاره‌های شکافت باشد. همه‌ی این فرآیندها، به جز پراکندگی کشسان ($Q=0$) گرمازا می‌باشند و انرژی جنبشی محصولات تنها با انرژی واکنش حاصل می‌شود و به انرژی ورودی ناچیز نوترون بستگی ندارد. برهم‌کنش‌های مذکور ممکن است در اثر پراکندگی کشسان یا ناکشسان نوترون رخ دهند [۲۷].

۳-۲ اتلاف انرژی ذرات باردار سنگین

توان توقف خطی S برای ذره‌ی باردار در یک ماده‌ی جاذب مشخص به صورت اتلاف انرژی دیفرانسیلی ذره تقسیم بر طول دیفرانسیلی مسیر طی شده‌ی متناظر در آن ماده تعریف می‌شود:

$$S = - \frac{dE}{dx}$$

این مقدار در طول مسیر ذره به عنوان اتلاف انرژی ویژه ذره یا آهنک اتلاف انرژی آن معرفی می‌شود [۲۷].

¹ Large Hadron Collider

² CERN