



# بیت ویکین کنفرانس هشتای ایران

۷۰۶ اسفندماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## آشکارسازی رد یون های نیتروژن گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از آشکارساز رد هسته ای CR-39

مزروعی، مرضیه؛ نصری نصرآبادی، مهدی\*؛ جمالی، حشمت اله؛ مرادی، فرزانه

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه مهندسی هسته ای

### چکیده:

در این تحقیق از آشکارساز رد پلاستیکی CR-39 برای آشکارسازی رد یون های نیتروژن گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی در شرایط ولتاژ و فشار کار 20 kV و 0.8 mbar استفاده گردید. نمونه ی آشکارساز پس از پرتودهی، به منظور فرایند خورش شیمیایی جهت توسعه ی ردهای تولیدی، به مدت سه ساعت در محلول آبی 6 N NaOH در دمای 70°C قرار گرفت و سپس رد یون ها با استفاده از میکروسکوپ نوری مشاهده شدند. تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ نوری، رد یونها را با شکل دهانه های رد مختلف نشان داد. این اختلاف در شکل دهانه های رد ناشی از اختلاف در زاویه ی فرود ذرات به سطح آشکارساز می باشد. همچنین نشان داده شد که چگالی رد ذرات در زوایای مختلف به دلیل ناهمسانگردی در گسیل یون از دستگاه های پلاسمای کانونی، متفاوت می باشد.

**کلید واژه:** آشکارساز رد هسته ای CR-39، پلاسمای کانونی، یون نیتروژن، خورش شیمیایی

### مقدمه:

در تحقیقات فعلی در حوزه ی دستگاه های مولد پرتوهای گداخت مثل توکامک های بزرگ، استلراتورها، Z پینچ ها و حتی لیزر- پلاسماها تعداد زیادی از یون ها از طریق واکنش های هسته ای، فرایندهای شتابدهی و گرمایش پلاسما (با پرتاب باریکه های خنثی و یا سایر تکنیک های گرمایشی) تولید می شوند. از آنجا که یون های تولید شده و محصولات گداخت حاصل از برهم کنش ها، منبعی غنی و سرشار از اطلاعات درباره ی پلاسما هستند، اغلب از آنها به عنوان سیستم های تشخیصی پلاسما استفاده می شود.

در دهه های اخیر آشکارسازهای زیادی برای ثبت رد ذرات باردار استفاده شده است. این مجموعه شامل آشکارسازهای رد هسته ای رد پلاستیکی (مثل CR-39)، امولسیون های هسته ای، فیلم ها (برای مثال فیلم های رادیوکروماتیک RCFs)، سوسوزن ها، آشکارسازهای چرنکوف و فنجان های فارادی است [1]. ویژگی منحصر به فرد آشکارسازهای رد هسته ای حالت جامد که آنها را از سایر آشکارسازهای یونی متمایز کرده است، عدم حساسیت نسبت به انواع تابش های دیگر از جمله گاما، ایکس و الکترون است. بعلاوه در آزمایش های پلاسماهای داغ، اندازه گیری ذرات باردار داخل پلاسما با مشکلاتی همراه بوده و نیاز به آشکارسازهای خاصی است که



## بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

آشکارساز رد به خوبی بر این مشکلات غلبه نموده و تبدیل به ابزاری مفید برای اندازه گیری های مختلف یونی شده است.

آشکارساز ردنگار هسته ای حالت جامد اولین بار در سال ۱۹۵۸ وقتی که یانگ اولین ردها را در یک بلور لیتیم فلوئورید که در کنار یک ورقه ی اورانیومی تحت تابش نوترون های حرارتی بود، مشاهده کرد، پا به عرصه وجود گذاشت. تقریباً تا دو دهه پس از کشف این آشکارسازها، تحقیقات روی کاربردهای گوناگون آنها در حوزه های مختلف از جمله فیزیک هسته ای، شکافت هسته ای، فیزیک ذرات بنیادی، علوم فضایی، شتابدهنده ذرات و راکتور، مطالعه ی سنگ های آسمانی، علم مواد، زمین شناسی، باستان شناسی، پزشکی و بیولوژی ادامه پیدا کرد، به طوری که امروزه کمتر شاخه ای از علم و تکنولوژی را می توان یافت که روش آشکارسازی رد هسته ای حالت جامد در آن کاربرد واقعی و یا پتانسیل کاربردی نداشته باشد. از آن پس یعنی تقریباً از سال ۱۹۸۰ به بعد محوریت تحقیقات بر روی ابداع روش های جدید برای بهبود کیفیت و افزایش دقت در اندازه گیری ها متمرکز شد [2].

از جمله مزیت های دیگر این آشکارسازها که باعث گستردگی کاربرد آنها در علوم مختلف شده است می توان به سهولت استفاده، دوام و ماندگاری ردهای ثبت شده برای مدت زمان های طولانی، بازیابی اطلاعات خارج از محیط پرتوگیری، امکان تهیه ی قطعات آشکارساز در ابعاد مختلف و عدم نیاز به هیچ گونه مدار الکترونیکی برای بازیابی اطلاعات اشاره کرد. چند نمونه از کاربردهای آشکارسازهای رد هسته ای در علوم هسته ای، شامل استفاده از آشکارسازهای رد در شناسایی محصولات واکنش ها، دزیمتری نوترون، اندازه گیری میزان آلودگی رادون محیطی و عمرسنجی پاره های شکافت می باشد [3].

### عملکرد آشکارسازهای رد هسته ای حالت جامد

عملکرد آشکارسازهای رد بر اساس آسیب ناشی از تابش است. هنگامی که یک ذره ی باردار از میان یک ماده ی جامد دی الکتریک عبور می کند، با از دست دادن انرژی در آن ماده متوقف شده و دنباله ی تخریبی باریکی در گستره ی  $100 - 30 A^0$  که به "رد پنهان" موسوم است، در ماده ی جامد شکل می گیرد. رد ذره پس از انجام فرایند خورش با استفاده از یک میکروسکوپ نوری قابل مشاهده می باشد. در فرایند خورش، آشکارساز که تحت تابش بوده و حاوی رد ذرات است در حلال شیمیایی مناسب قرار گرفته و سطح آشکارساز به وسیله ی حلال خورده می شود. از آنجا که قسمت آسیب دیده، نسبت به سطح سالم آشکارساز در حالت انرژی آزاد بیشتری قرار دارد و از نظر شیمیایی فعال تر است، خوردگی آشکارساز در نواحی آسیب دیده با سرعت بیشتری انجام می شود. به خاطر دو سرعت خورش متفاوت در راستای مسیر ذره ( $V_{Track}$ ) و سرعت حذف شدن سطح سالم آشکارساز ( $V_{Bulk}$ )، مسافتی که خورنده در زمان یکسان  $t$ ، به ترتیب در راستای مسیر عبور ذره و نواحی سالم آشکارساز طی می کند ( $V_{Track} > V_{Bulk}$ )، برابر ( $V_{Tt}$ ) و ( $V_{Bt}$ ) می باشد. همین عامل باعث ایجاد حفره های مخروطی



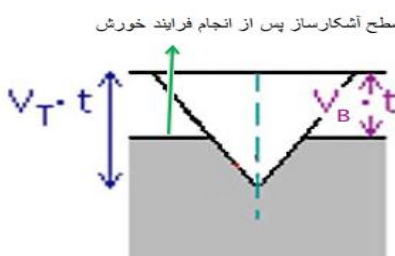
## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

شکل با دهانه ی بیضوی (در حالت برخورد عمودی ذره به سطح آشکارساز شکل دهانه ی رد دایره ای می باشد) در موقعیت هایی که ذرات به سطح برخورد کرده اند و گسترش رد در راستای شعاعی می شود (شکل ۱). وقتی که ابعاد مسیرها بزرگتر از طول موج نور مرئی شد، می توان آنها را زیر یک میکروسکوپ نوری مشاهده کرد. موادی که اثر حاصل از عبور ذرات باردار در آنها پایدار باقی می ماند، معمولا پلیمرها، شیشه های غیر آلی و بلورهای معدنی هستند. در میان این مواد، پلاستیک ها (پلیمرها) نسبت به سایر مواد از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و آشکارساز CR-39 رایجترین آشکارساز رد هسته ای به شمار می رود [2, 4].

شکل ۱- تکامل پروفایل رد ذره به عنوان تابعی از زمان خورش برای یک ذره در حالت فرود عمودی روی سطح آشکارساز

وسایل	دستگاه	آزمایشگاهی
الف -	دستگاه	پلاسمای
کانونی	دستگاه پلاسمای	کانونی (PF)،
یک	نمونه	آزمایشگاهی از
دستگاه های ایجاد		کننده شرایط



پلاسمای جهت راکتورهای همجوشی هسته ای است. این دستگاه از مجموعه ای از الکترودهای هم محور تشکیل شده که یک تخلیه ی الکتریکی پر قدرت بین آنها باعث برقراری جریانی از مرتبه ی چند صد کیلو آمپر و تشکیل یک لایه پلاسمای داغ می شود. نیروی مغناطیسی حاصل از این جریان، لایه جریان را به سمت انتهای محفظه ی تخلیه شتاب داده و سپس آن را به صورت یک ستون پلاسمای داغ و چگال در انتهای الکترودهای مرکزی جمع آوری می کند. این پلاسمای فشرده، منبع غنی ای از انواع مختلف پرتوها شامل الکترون، یونهای پر انرژی با انرژی بیشتر از چند صد کیلو الکترون ولت تا دهها مگا الکترون ولت و نوترون (در صورت استفاده از گاز دوتریم)، طیف وسیعی از تابش های UV و ... است. آشکارسازی و اندازه گیری یون های گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی، علاوه بر فهم مکانیزم گسیل یون به دلیل کاربردهای تکنولوژیکی یون ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است [5].

ب- آشکارساز رد هسته ای CR-39



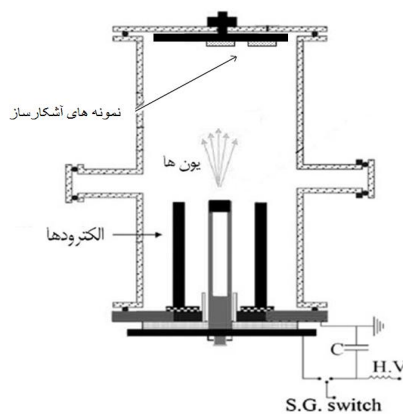
# بیست و یکمین کنفرانس هفتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

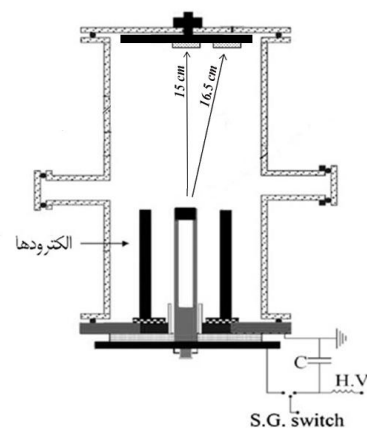
آشکارساز رد هسته ای CR-39 پلاستیکی سخت، بدون رنگ و شفاف با چگالی  $1.30 \frac{g}{cm^3}$  و فرمول مولکولی  $(C_{12}H_{18}O_7)_n$  است و از رزین پلی آلایل دی گلیکول کربنات ساخته شده است. این ماده قبلا به عنوان عدسی عینک استفاده می شد، اما از سال ۱۹۸۰ میلادی به عنوان یک آشکارساز رد هسته ای حالت جامد به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. هسته های سنگین نیز همانند ذرات سبکی چون پروتون و ذرات آلفا با انرژی بیش از 100 keV، به هنگام عبور از آشکارساز رد هسته ای از خود رد قابل سونش به جا می گذارند.

## روش انجام کار

در این آزمایش از دستگاه پلاسمای کانونی 5.4 kJ دانشگاه اصفهان به عنوان چشمه ی یونی استفاده شده است. برای اندازه گیری رد یون های گسیلی از دستگاه، دو قطعه آشکارساز رد CR-39 با ضخامت 1 mm و ابعاد  $2 \times 3 \text{ cm}^2$  مطابق شکل در فواصل 15 cm و 16.5 cm از محور الکتروود مرکزی دستگاه قرار داده شد. به منظور جلوگیری از هر گونه خراشی روی سطح آشکارساز دو طرف صفحه ی آشکارساز با ماسک هایی پوشانده شد. پوشش سمتی از آشکارساز که در معرض تابش یون ها قرار داشت، قبل از پرتودهی برداشته شد و پوشش طرف دیگر قبل از فرایند خورش برداشته شد. شکل (۲) نمودار طرح وار دستگاه پلاسمای کانونی به همراه نمونه های آشکارساز



نمودار طرح وار پلاسمای کانونی به نمونه ی آشکارساز پرتودهی نمونه ابتدا دستگاه تا 0.05 mbar و سپس گاز نیتروژن با



شکل ۲- دستگاه همراه برای ها، فشار تخلیه

فشار 0.8 mbar به داخل دستگاه تزریق شد. ولتاژ کار دستگاه نیز 20 kV انتخاب و پرتودهی نمونه ها با یک "تک شات" انجام شد. سپس نمونه های آشکارساز برای انجام فرایند خورش، داخل محلول 6N NaOH در دمای



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

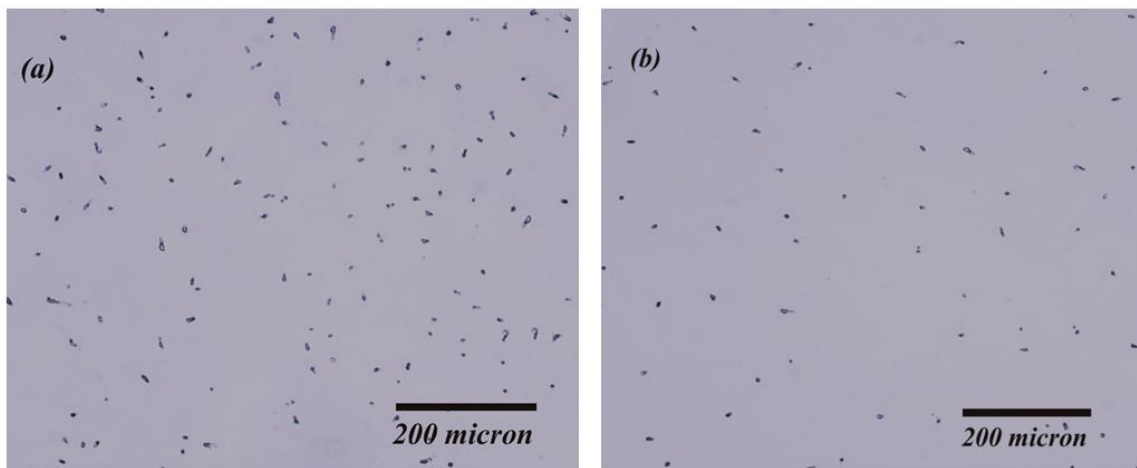
70°C قرار گرفتند. مدت زمان انجام فرایند خورش، بر طبق شرایط دقیق خورش (درجه حرارت و غلظت خورنده) و ماهیت ذرات تشکیل دهنده ی رد تغییر می کند و معمولاً با روش سعی و خطا تعیین می شود. به همین منظور فرایند خورش در بازه های زمانی یک ساعته متوقف شده و نمونه های آشکارساز برای بررسی رد یون ها زیر میکروسکوپ قرار می گرفتند.

## نتایج

شکل (۲) تصویر رد یون های نیتروژن پس از سه ساعت فرایند خورش شیمیایی را نشان می دهد. زمان خورش به اندازه ای در نظر گرفته شده که ردها به راحتی قابل مشاهده باشند.

شکل ۳- تصویر رد یون های نیتروژن در فواصل (a) 15 cm و (b) 16.5 cm از سر آند

از جمله عوامل موثر بر پاسخ آشکارساز، انرژی و زاویه ی فرود ذرات به سطح آشکارساز می باشد؛ به گونه ای که ذرات با انرژی های متفاوت، قطر دهانه ی رد متفاوتی دارند و شکل دهانه ی رد ذرات، بسته به این که برخورد



ذرات به سطح به طور عمودی یا مایل باشد، به ترتیب دایروی و بیضوی شکل می باشد. تفاوت در شکل دهانه ی رد ذرات در تصاویر فوق به خوبی مشاهده می شود. بعلاوه، تفاوت در چگالی رد ذرات در تصاویر فوق، به دلیل ناهمسانگردی در گسیل یون از دستگاه پلاسمای کانونی می باشد. گسیل ناهمسانگرد یون ها را می توان بر اساس این واقعیت که منشا تولید آنها از میکروسورس های مختلفی است که در ستون پلاسمای چگال تشکیل می شوند، توضیح داد. این میکروسورس ها لزوماً نسبت به محور Z متقارن نیستند. ساختار میکروسورس ها بستگی به پیکربندی (وضعیت و موقعیت) پینچ دارد که با طراحی آند، انرژی بانک خازنی، گاز کاری و فشار گاز کنترل می شود [2, 6, 7].



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش از آشکارساز رد پلاستیکی CR-39 برای آشکارسازی یون‌های نیتروژن استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان دادند که روش آشکارسازی رد هسته‌ای حالت جامد (SSNTD) در عین حال که ساده و کم هزینه است، ابزاری مفید برای اندازه‌گیری‌های یونی است. در این پژوهش هدف تنها آشکارسازی رد یون‌های نیتروژن گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی بود، ولی با انجام تحقیقات بیشتر بر روی این دستگاه امکان آن وجود دارد که در مراحل بعدی با شمارش تعداد ردها در واحد سطح نمونه‌ی آشکارساز، چگالی رد یون‌ها و توزیع زاویه‌ای یون‌ها را نیز تعیین نمود. همچنین استفاده از فیلترهای آلومینیوم با ضخامت‌های مختلف در مقابل نمونه‌های آشکارساز راهکاری ساده و مناسب برای تعیین طیف انرژی یون‌های گسیلی از دستگاه می‌باشد. این تحقیق مقدمه‌ای برای پژوهش‌های بعدی و زمینه‌ساز استفاده از یون‌های گسیلی دستگاه PF در کاربردهایی نظیر لایه‌نشانی و کاشت یونی می‌باشد.

## مراجع:

- [1] S. Gaillard, J. Fuchs, N. Renard-Le Galloudec, T. E. Cowan, Study of saturation of CR-39 nuclear track detectors at high ion fluence and of associated artifact patterns, *Review of Scientific Instruments* 78, (2007) 013304
- [2] D. Nikezic, K.N. Yu, Formation and growth of tracks in nuclear track materials, *Materials Science and Engineering* 46 (2004) 51–123
- [3] H.A. Khan, I.E. Qureshi, SSNTD Applications in Science and Technology a Brief Review, *Radiation Measurements* 31 (1999) 25-36
- [4] S.A. Durruni, R.K. Bull, Solid state nuclear track detection principle, *Methods and application*, Pergamon Press, OXFORD, 1987
- [5] M. Sadowski, Z. Ebrowski, R. Ydygier, J. Kucinski, Ion Emission from Plasma-Focus Facilities, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 30 (1988) 763-769.
- [6] Behjat Ghasemi, Hamed Rouhi, Fereydoun Abbasi Davani, Zahra Shahbazi Rad, Energy and Angular Distributions of High-Energy Nitrogen Ion of Plasma Focus Device SBUMTPF1 by Aluminum Filters Coated
- [7] R. Ahmad, M. Hassan, G. Murtaza, A. Waheed, M. Zakauallah, Study of Lateral Spread of Ions Emitted from 2.3 kJ Plasma Focus with Hydrogen and Nitrogen Gases, *Journal of Fusion Energy*, 21 (1998) 187-199.