

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت یک نمونه اتاقک گازی پرتو ایکس حساس به موقعیت

هاله کرمی^۱، مرتضی جعفرزاده خطیبانی^۲، جواد رحیقی^۲ و زهره کارگر^۱

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

۲. پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، طرح چشمه نور ایران

۳. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان

پست الکترونیکی: m_jafarzadeh@ipm.ir

چکیده

در این مقاله یک اتاقک پرتو ایکس حساس به موقعیت در یک بعد، که مبتنی بر روش چند سیمی و خطوط تأخیر دهنده سیگنال، طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است، تشریح می‌شود. این نوع از اتاقک‌ها عموماً در تصویر برداری پرتو ایکس نرم مورد استفاده قرار می‌گیرد و به سهولت قابل تعمیم به دو بعد هستند. قدرت تفکیک مکانی این اتاقک $23\ \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: اتاقک پرتو ایکس، خطوط تأخیر

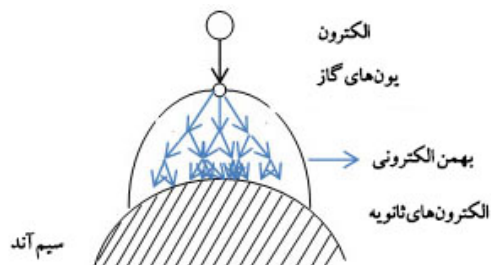
۱. مقدمه

استفاده از تابش سنکروترونی، پزشکی و یا در موارد دیگر همچون اختر فیزیک استفاده کرد. این اتاقک از یک محفظه گاز دارای پنجره ورودی، سیم‌های آند متصل به منبع ولتاژ زیاد و یک صفحه کاتد تشکیل می‌شود (شکل ۱). برای تابش ایکس با محدوده انرژی بین $1\ \text{keV}$ تا $10\ \text{keV}$ برهم‌کنش فوتوالکتریک مهم‌ترین برهم‌کنشی است که بین فوتون و ماده رخ می‌دهد. در محفظه گاز برهم‌کنش فوتوالکتریک بین فوتون ایکس کم انرژی و مولکول گاز باعث آزاد شدن یک الکترون می‌شود. این الکترون به دلیل قرار گرفتن در میدان الکترواستاتیکی حاصل از سیم‌های آند و صفحه کاتد- که به پتانسیل زیاد متصل هستند- انرژی بیشتری گرفته و در مسیر حرکت به سمت سیم‌های آند با

اتاقک تناسبی گازی چند سیمی^۱ حساس به موقعیت اولین بار توسط چارپاک^۲، در سال ۱۹۶۱ پیشنهاد شد. با پیشرفت این نوع اتاقک و استفاده از آن در شتاب دهنده‌ها پیشرفت بسیاری در علم فیزیک ایجاد شد تا آنجا که در سال ۱۹۹۲ جایزه نوبل فیزیک برای این ابداع به وی اهدا گردید. این اتاقک‌ها می‌توانند با رویش هم زمان تمامی نقاط یک صفحه با صرف زمان کم، دقت و قدرت تفکیک مکانی بالاتری را نسبت به دیگر اتاقک‌ها داشته باشند. لذا از آنها می‌توان برای تصویر برداری تابش ایکس در کاربردهای مختلف، همچون روش‌های گوناگون تحلیل مواد با

۱. Multi Wire Proportional Chamber

۲. Charpak



شکل ۲. فرایند تشکیل پدیده بهمنی در نزدیک سیم‌های آند.

نزدیکی هر سیم آند ایجاد می‌شود، در شکل ۲ پدیده بهمنی نشان داده شده است.

۱.۲. طراحی محفظه و هندسه اتاقک با استفاده از

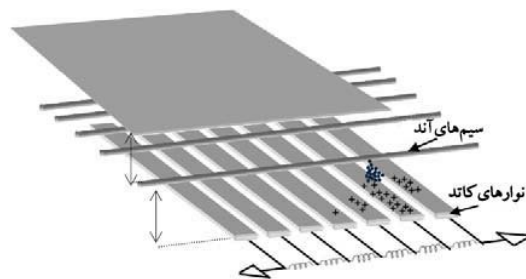
کدهای شبیه‌سازی

همچنان که پیشتر به آن اشاره شد در نتیجه جذب فوتون تابش ایکس تعداد زیادی از بارهای الکتریکی تولید و روی الکترودها جمع می‌شوند. میزان بارهای تولید شده در اطراف الکترودهایی که به پتانسیل مثبت متصل هستند و همینطور بارهایی که بر روی الکترودهای متصل به پتانسیل منفی القا می‌شوند و سیگنال‌های حاصل از آنها، به پروفایل میدان الکترواستاتیک و کیفیت حرکت ذرات باردار در داخل گاز وابسته است. پروفایل میدان الکترواستاتیک بین الکترودها نیز به نوبه خود به شدت متاثر از هندسه الکترودها و نحوه چینش آنها در کنار یکدیگر و پتانسیل الکتریکی اعمال شده به آنها است.

محفظه تناسبی چند سیمی در اصل یک لایه سطحی از محفظه‌های تناسبی تک سیمی بدون دیواره جدا کننده می‌باشد که در شکل ۱ طرح کلی از این اتاقک نشان داده شده است. اگر فاصله بین سیم‌های آند s باشد و موقعیت سیم‌ها در محفظه، به صورت $y=0, \pm 1s, \pm 2s, \dots$ باشد، توزیع تحلیلی میدان الکتریکی با استفاده از فرمول (۱) به دست می‌آید:

$$U(x, y) = \frac{CV}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{2\pi d}{s} - \ln \left[4 \left(\sin^2 \frac{\pi x}{s} + \sinh^2 \frac{\pi y}{s} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

که در آن d فاصله بین صفحه آند و کاتد، V ولتاژ اعمالی به سیم‌های آند و ϵ_0 ضریب گذر دهی ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$) و C ظرفیت در واحد طول می‌باشد، که توسط فرمول (۲) به



شکل ۱. طرح کلی اتاقک پرتو ایکس از نوع گازی حساس به موقعیت.

برخورد به اتم‌های گاز و یونیزه کردن تعدادی از آنها موجب بروز پدیده بهمنی در اطراف سیم‌های آند می‌شود، تجمع بارهای الکتریکی تولید شده در اطراف سیم‌های آند موجب القای بار الکتریکی روی صفحه کاتد می‌گردد. با تقسیم صفحه کاتد به نوارهای باریک و مقایسه سیگنال‌های به دست آمده از هر یک از نوارهای کاتد با یکدیگر می‌توان مکان تابش ورودی به محفظه را با دقت خوبی از مرتبه 100 میکرومتر (و یا بهتر) تعیین کرد.

این مقاله گزارشی است از طراحی، شبیه‌سازی و ساخت یک اتاقک پرتو ایکس تناسبی که می‌تواند مکان ورود پرتوهای ایکس در یک راستای مشخص را تعیین کند. در این اتاقک به منظور مقایسه سیگنال‌های به دست آمده از هر یک از نوارهای کاتد، از روشی موسوم به روش خطوط تأخیر استفاده شده است که در ادامه به آن اشاره می‌شود [۱]. این روش در مقایسه با سایر روش‌ها از پیچیدگی کمتری برخوردار است در عین حال که همچنان از نظر قدرت تفکیک مکانی با سایر روش‌ها برابری می‌کند.

۲. روش کار

مراحل ساخت و تست این اتاقک را به طور کلی می‌توان به سه بخش عمده تقسیم بندی کرد. که عبارتند: از طراحی محفظه و هندسه اتاقک با استفاده از کدهای شبیه‌سازی و ساخت اجزای مکانیکی، انتخاب روش بازخوانی سیگنال‌های به دست آمده از اتاقک به منظور استخراج مکان ورود پرتوهای ایکس و تعیین ادوات الکترونیکی مورد نیاز.

فرآیند ایجاد پدیده بهمنی در این آشکارسازها دقیقاً همانند محفظه‌های تناسبی است. از آن جا که توده‌ای از بار دقیقاً در

دست می‌آید:

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0}{2\left(\frac{\pi d}{s} - \ln \frac{2\pi r_i}{s}\right)} \quad (2)$$

در این رابطه r_i شعاع سیم‌های آند می‌باشد.

فرایند ایجاد پدیده بهمنی در این اتاقک‌ها دقیقاً همانند محفظه‌های تناسبی است. از آنجا که توده‌ای از بار دقیقاً در نزدیکی هر سیم آند ایجاد می‌شود، شکل پدیده بهمنی به صورت ۲ می‌باشد. سیگنال آند از حرکت آرام یون‌های مثبت به سمت صفحه کاتد به دست می‌آید. اگر بازخوانی این سیگنال به کمک اسیلوسکوپ با دقت زمانی بالا و یا با استفاد از مبدل آنالوگ به دیجیتال سریع، انجام شود، می‌توان الگوی مسیر یونش مسیر ذره را در محفظه تناسبی چند سیمی به دست آورد.

در حالت کلی از تمامی گازها و مخلوط آنها می‌توان به عنوان گاز شمارش گر^۱ استفاده کرد. هرچند برای عملکرد استاندارد محفظه‌های تناسبی، معمولاً از گازهای نجیب آرگون و یا زنون به همراه دی‌اکسیدکربن، متان و یا هیدروکربن‌های دیگر، استفاده می‌شود. برای داشتن پالس‌های سریع، بایستی از گازهایی با روان‌روی^۲ زیاد استفاده کرد.

در اکثر محفظه‌ها پردازش اطلاعات آنالوگ به دست آمده از سیم‌های آند خیلی سودمند نمی‌باشد و تنها آستانه‌ای برای ویژگی‌های سیگنال‌های ورودی را به دست می‌دهد. رعایت فاصله^۳ S بین سیم‌های آند برای آن است که دفع بار الکتروستاتیکی در راستای سیم‌های آند ایجاد نشود تا روابطی که برای ایجاد تعادل در کشش سیم‌های آند، برای مقابله با سایر نیروهایی که موجب تغییر شکل سیم‌ها می‌شود (همچون نیروی وزن و جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی) همچنان معتبر باقی بمانند. خم شدن سیم‌های آند در اتاقک باعث می‌شود فاصله آند-کاتد کم گردد و میدان الکتریکی غیر یکنواخت شود. به منظور جبران کم بودن قدرت تفکیک مکانی سیگنال‌هایی که از آند گرفته می‌شود، می‌توان صفحه کاتد را تقسیم بندی کرد و

سیگنال القایی را در هر یک از بخش‌های صفحه کاتد به دست آورد. یک روش تقسیم بندی صفحه کاتد، تقسیم آن به باریکه‌های موازی همانند شکل ۱ می‌باشد.

در این حالت آنچه که موجب افزایش قدرت تفکیک مکانی این اتاقک می‌شود، القای بیشترین مقدار بار به نزدیک‌ترین نوار یا باریکه روی سطح کاتد به محل تشکیل پدیده بهمنی و ورود پرتو ایکس است. هر چه اختلاف مقدار بار القا شده بر روی نوار نزدیک به محل ورود پرتو ایکس، با بار القا شده بر روی سایر نوارها بیشتر باشد، قدرت اتاقکی این اتاقک بهتر خواهد بود.

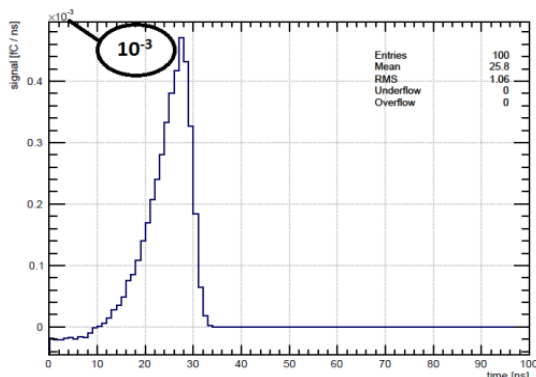
برای کسب بهترین نتیجه، پیش از ساخت ابتدا روش‌های تحلیلی که در موارد مشابه مورد استفاده قرار گرفته بود بررسی شد و ابعاد اتاقک‌های ساخته شده که در مراجع و مقالات مختلف اعلام شده بودند به عنوان تخمینی از مقادیر نهایی انتخاب شدند. سپس با استفاده از شبیه‌ساز اتاقک‌های گازی یعنی کد Garfield++ ابعاد اتاقک، ضخامت ناحیه فعال و تعداد بخش‌هایی که صفحه کاتد به آن تقسیم می‌شوند به نحوی مشخص شد که سیگنال به دست آمده از نوار کاتدی که در نزدیکی محل ورود فوتون به محفظه اتاقک بود با سیگنال‌های به دست آمده از نوارهای اطراف بیشترین اختلاف دامنه ممکن را داشته باشد. در شکل ۳ و شکل ۴ سیگنال‌های به‌هم‌نجار شده حاصل از القای بار بر روی دورترین و نزدیک‌ترین نوار به محل تولید فوتوالکترون که با استفاده از شبیه‌سازی به کمک Garfield++ به دست آمده آورده شده است. در این شبیه‌سازی فاصله^۳ بین این دو نوار ۳۰mm در نظر گرفته شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود نسبت باری که روی این دو قسمت از کاتد القا شده است از مرتبه ۱۰^{۱۸} متفاوت است. این مقدار برای دو نوار مجاور به نوار مرکزی حدود ۴۰٪ محاسبه شد.

این نرم افزار از ترکیب چندین برنامه برای محاسبه میدان الکتریکی، تعیین مشخصات انتقال الکترون و تعیین مسیر یونش تشکیل شده است. به عنوان مثال از برنامه^۳ مگبولز برای تعیین

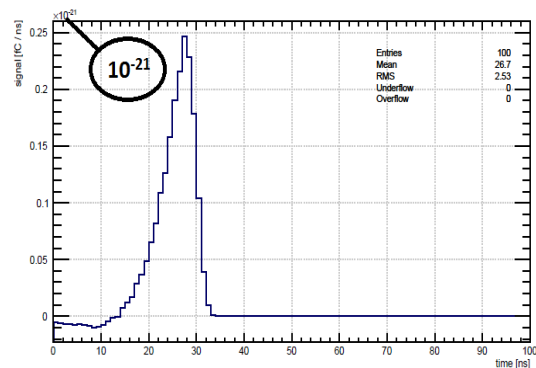
۱. Counting gas

۲. Mobility

۳. Magboltz



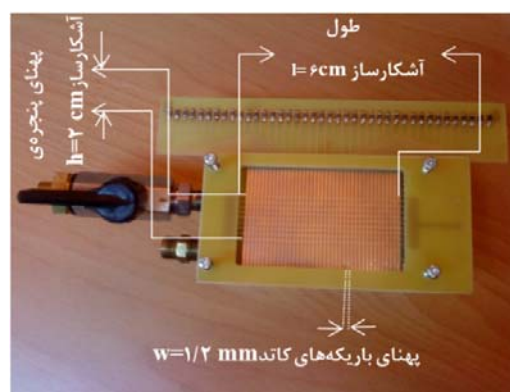
شکل ۴. سیگنال حاصل شبیه‌سازی برای نزدیک‌ترین نوار کاتد.



شکل ۳. سیگنال حاصل از شبیه‌سازی برای دورترین نوار کاتد.

ایکس را با کمترین مقدار جذب نوفه از محیط اطراف اتاقک داشته باشد. از این رو از آلومینایز مایلر ۷ میکرومتری به عنوان پنجره اتاقک استفاده شد. آلومینایز مایلر از یک لایه مایلر برای عبور حداکثری فوتون ایکس و پوششی آلومینیومی برای جلوگیری از ورود نوفه به محفظه اتاقک تشکیل شده است.

نوع و فشار گاز مورد استفاده در این اتاقک به میزان سریع بودن پالس و دقت اتاقک و برد انرژی فوتون مورد استفاده برای اتاقک بستگی دارد. به عنوان تخمین اولیه می‌توان نمودارهای بازدهی تبدیل تابش ایکس، برای گازهای مختلف بر حسب انرژی (طول موج) و ضخامت ناحیه فعال در دما و فشار معمولی را مورد بررسی قرار داد. با بررسی این نمودارها می‌توان دریافت که بیشترین بازدهی گاز زنون با ضخامت ۴ تا ۶ mm برای ناحیه فعال برای انرژی بین ۶ تا ۸ keV بین ۵۰٪ تا ۷۰٪ می‌باشد. گاز آرگون برای انرژی در حدود ۵ keV می‌تواند بازدهی بالایی داشته باشد. برای انرژی‌های بیشتر از ۱۵ keV بهتر است از کریپتون و یا زنون استفاده شود. همچنین برای گاز خاموش کننده از دی‌اکسیدکربن به علت نرخ کم تجزیه و نشت بسیار کم آن روی الکتروود و همچنین اشتعال پذیر نبودن آن استفاده شد. نکته دیگری که در هنگام انتخاب گاز اتاقک باید در نظر گرفته شود مقدار ضریب چسبندگی الکترون در ناحیه تکثیر می‌باشد. الکترون‌های جابه‌جا شده می‌توانند توسط ناخالصی‌های الکترونگاتیوی گاز جذب شوند. بزرگی این ضریب در فشار معین منجر به از دست دادن قسمتی



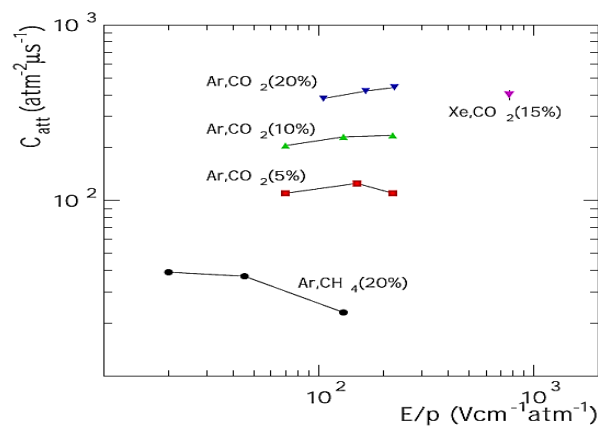
شکل ۵. ابعاد بهینه انتخاب شده برای اتاقک.

مشخصات گاز، از برنامه المر^۱ برای محاسبه میدان الکتریکی و از برنامه هید^۲ برای تعیین مسیر یونش ذره در محفظه استفاده می‌کند. به این ترتیب پهنای اتاقک ۲۰ mm، طول اتاقک برابر با ۶۰ mm، ضخامت ناحیه فعال اتاقک یعنی فاصله بین صفحه کاتد تا صفحه آند ۲ mm، فاصله بین سیم‌های آند برابر با ۲ mm و تعداد نوارهای صفحه کاتد ۲۰ نوار با پهنای ۱/۲ mm که در فاصله ۰/۳ mm از هم قرار می‌گیرند، به دست آمد (شکل ۵).

جنس محفظه اتاقک آلومینیومی در نظر گرفته شد و از سیم‌های برنزی با روکش مولیبدن به قطر ۰/۱۳ میکرون به عنوان سیم‌های آند استفاده شد. از آنجا که اتاقک برای فوتون‌های ایکس کم انرژی طراحی شده بود جنس و ضخامت پنجره اتاقک به نحوی انتخاب شدند که بیشترین درصد عبوری فوتون

۱. Elmer

۲. Heed



شکل ۶. ضریب چسبندگی الکترون برای ترکیبات مختلف گاز آرگون.

موقعیت، از اختلاف زمان انتشار از نقطه ورود به دو انتهای الکتروود به دست آید، در این صورت امپدانس این خط انتقال و در نتیجه ابعاد اتاقک باید به گونه‌ای طراحی شود که علاوه بر تولید میدان مناسب برای وقوع پدیده تکثیر بهمنی یون‌ها، سرعت انتشار سیگنال نیز در آن به اندازه‌ای باشد که توسط ادوات الکترونیکی متداول قابل اندازه‌گیری باشد. اما در عمل معمولاً زمان انتشار برای اتاقکی با ابعاد چند سانتی‌متر از مرتبه کسری از نانو ثانیه می‌باشد، و تعیین دقیق اختلاف زمان، به تجهیزات پیچیده‌تر و گران قیمت‌تری نیاز خواهد داشت.

به این ترتیب روش دیگری که منجر به افزایش زمان انتشار سیگنال و استقلال آن از هندسه اتاقک می‌شود، روش تقسیم صفحه کاتد به نوارهای باریک و اتصال هر یک از نوارها به خطوط انتقال تأخیری است (شکل ۱ و شکل ۷). همچنین می‌توان به جای استفاده از یک سیم آند، از چند سیم آند به موازات هم استفاده نمود و با اتصال هر یک از آنها به خطوط تأخیر دهنده سیگنال مکان تشکیل پدیده تکثیر بهمنی را در راستای عمود بر امتداد سیم‌های آند تخمین زد.

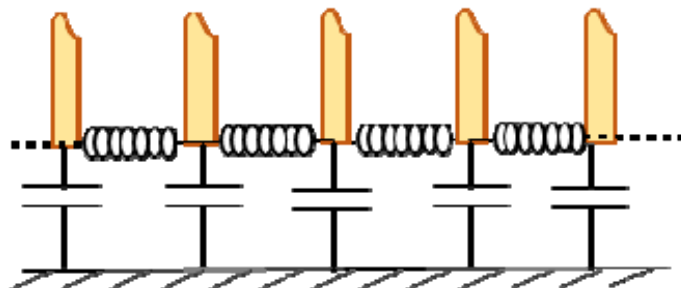
خطوط تأخیر از اتصال خازن و خود القا به صورتی که در شکل ۷ آمده تشکیل می‌شود. با انتخاب خازن مناسب می‌توان از تضعیف زیاد دامنه پالس که در این نوع از خط تأخیر ایجاد

از سیگنال شود. مقدار این ضریب به نوع مخلوط گاز وابسته می‌باشد شکل ۶ مقدار این ضریب را با استفاده از نرم‌افزار مگبولز برای سه ترکیب مختلف آرگون کربن دی‌اکسید نشان داده است. برای مخلوط ۹۰٪ آرگون و ۱۰٪ کربن دی‌اکسید میزان روان‌روی یون‌ها تقریباً $1/6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ است که در شرایط معمولی فشار و دما باعث تأخیر زمانی $1/6 \text{ ns}$ می‌شود. این عدد برای مخلوط زنون و کربن دی‌اکسید در حدود $0/8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ می‌شود که تأخیر $3/1 \text{ ns}$ را ایجاد می‌کند. در نتیجه اگر به جای آرگون از زنون استفاده شود سیگنال‌ها سه برابر سریع‌تر از هنگامی هستند که از آرگون استفاده شود.

۲.۲. انتخاب روش بازخوانی سیگنال‌ها برای تعیین مکان

ورود پرتوهای ایکس

استفاده از خطوط تأخیر برای بازخوانی موقعیت، در عین سادگی، دقت مکانی خوبی را نیز تولید می‌کند. نقطه ضعف این روش عدم امکان تشخیص ورود پرتوهای است که به طور هم زمان به داخل اتاقک می‌رسند. در بازخوانی به روش خط تأخیر، موقعیت تولید فوتوالکترون و در نتیجه موقعیت نسبی پرتوی ورودی عموماً از اختلاف زمان انتشار سیگنال‌های حاصل از بارهایی القایی بر روی الکتروود کاتد به دست می‌آید. اگر تنها از الکتروود اتاقک به شکل یک صفحه و به عنوان خط انتقال استفاده شود و در نظر باشد که



شکل ۷. نحوه اتصال نوارهای کاتد به خطوط انتقال و تأخیر دهنده سیگنال.

سیگنال بر روی نوار کاتد مرکزی القا شود، نیمی از سیگنال پس از عبور از ۲۰ خود القا و خازن و پس از گذشت زمان ۵۰۰ نانو ثانیه وارد مدار پیش تقویت کننده می شود و نیمی دیگر از سیگنال نیز به طور هم زمان با سیگنال قبلی از سمت دیگر وارد پیش تقویت کننده دوم می شود یعنی عملاً با اختلاف زمانی نزدیک به صفر، اما در صورتی که مطابق شکل ۱ پرتو ورودی مثلاً از سمت راست اتاقت وارد شود، و بار القایی بر روی دومین نوار کاتد القا شود، قسمت اعظم سیگنال با عبور از یک تأخیر، وارد پیش تقویت کننده سمت راست می شود و قسمت دیگری از سیگنال پس از عبور از ۳۹ خط تأخیر دهنده، و با تأخیر ۹۷۵ ns وارد پیش تقویت کننده سمت چپ می شود. اندازه گیری این اختلاف زمان منجر به تعیین مکان پرتو ایکس در راستای موازی با سیم های آند می شود.

۳.۲. تعیین ادوات الکترونیکی مورد نیاز

مطابق آنچه که در مثال قبل گفته شد، در این اتاقت اختلاف زمانی ۱ μsec به ازای جابه جایی مکانی معادل ۶۰ mm ایجاد می شود. به این ترتیب اگر اتاقت بتواند تغییرات جابه جایی مکان ورود پرتوهای ایکس را با دقتی از مرتبه مثلاً ۱۰۰ میکرون آشکار کند، در این صورت به ازای تغییر ۱۰۰ μm جابه جایی، اختلاف زمانی ایجاد شده بین ورود دو پالس از دو سر اتاقت معادل ۱/۶۶ ns تغییر می کند. مناسب ترین وسیله آزمایشگاهی که قادر است این اختلاف زمانی را ثبت و اندازه گیری کند ترکیبی از مدل های الکترونیکی است که در

می شود جلوگیری کرد. تأخیر ایجاد شده توسط این خطوط انتقال، از فرمول (۳) تبعیت می کند و به شدت با بسامد $\omega = \sqrt{L/C}$ افزایش پیدا می کند:

$$T = \frac{2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (3)$$

ω_0 بسامد بحرانی است که در آن تضعیف سیگنال در خطوط تأخیر بیش از تضعیف سیگنال در کابل های انتقال می باشد. از آنجا که پالس های ایجاد شده دارای زمان خیزش سریعی می باشند، باید مقدار تأخیر به اندازه ای باشد که کمترین تغییر بر روی شکل پالس ایجاد شود. تعداد بخش ها و نسبت زمان تأخیر T_D به خیزش پالس t_{rdl} به صورت رابطه (۴) به یکدیگر مربوط می باشد:

$$N \approx \left(\frac{T_D}{t_{rdl}}\right)^{1/36} \quad (4)$$

روابط بین ظرفیت و خود القای هر بخش تأخیری و مقاومت القایی به صورت زیر به دست می آید:

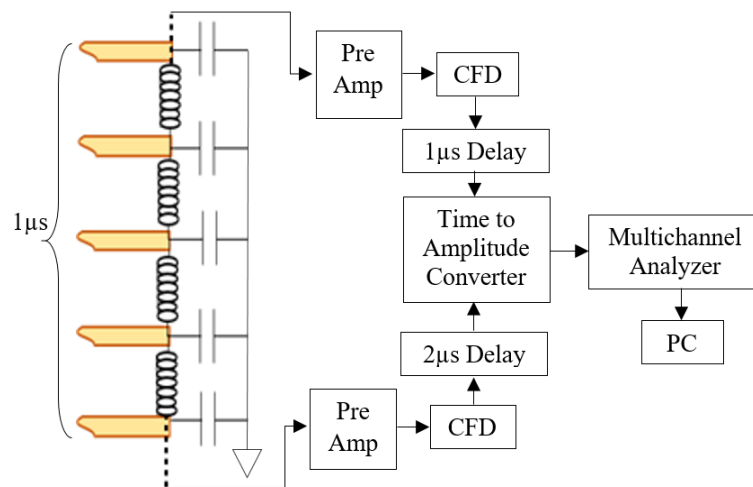
$$C_s = (1/N) T_D / Z_0 \quad L_s = (1/N) T_D Z_0 \quad (5)$$

که Z_0 امپدانس اتاقت با توجه به رابطه (۵) خازن و مقاومتی را که برای ایجاد تأخیر استفاده می شود می توان به دست آورد:

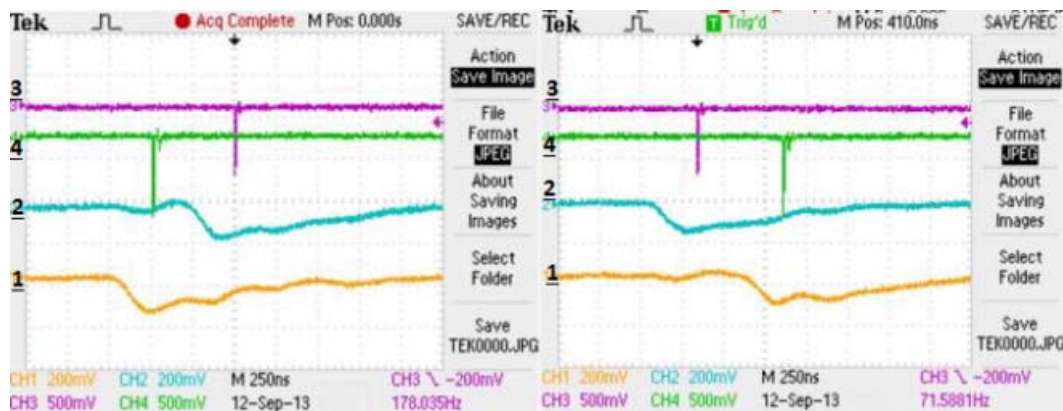
$$C_s = (1/40)(1 \mu\text{sec}) / 50 \Omega = 50 \text{ pF} ,$$

$$L_s = (1/40)(1 \mu\text{sec})(50 \Omega) = 12.5 \mu\text{H} .$$

در عمل از خازن ۴۷ pF و خود القای ۱۰ μH استفاده شد. به این ترتیب در هر بخش، تأخیر ۲۵ نانو ثانیه ای ایجاد شد و در کل تأخیر ۱ μs به وجود آمد. به این ترتیب زمانی که پرتو ایکس مثلاً در مرکز اتاقت تولید فوتوالکترون کند و بیشترین



شکل ۸. الکترونیک به کار رفته برای اتاقکی موقعیت پرتوهای ایکس.



شکل ۹. سیگنال‌های خروجی از اتاقک به ازای دو مکان مختلف چشمه ایکس، سیگنال‌ها به ترتیب از بالا خروجی مربوط به CFD_1 , CFD_2 , Pr eAmp_1 , Pr eAmp_2 .

ایکس کم انرژی بر روی پنجره ورودی اتاقک و مقایسه سیگنال‌های خروجی دو پیش تقویت کننده، تغییر اختلاف زمان بین پالس‌های سیگنال به وضوح بر روی صفحه نمایش اسپیلوسکوپ قابل مشاهده بود. (شکل ۹).

برای به دست آوردن قدرت تفکیک نسبی اتاقک، از یک موازی‌سازی با روزنه‌های به قطر ۱/۵ mm در مقابل چشمه استفاده شد. با جمع آوری طیف به دست آمده از تغییر مکان چشمه در فواصل یکسان ۷ mm پهنای نیم ارتفاع قله را تعیین کرده و با کم کردن آن از قطر موازی‌سازی قدرت تفکیک نسبی اتاقک محاسبه می‌شود. به ازای ۷ میلی‌متر جابه‌جایی چشمه،

طیف سنجی هسته‌ای به کار می‌روند. این مدل‌ها عبارتند از یک مبدل اختلاف زمان به ولتاژ (TAC)^۱، مدل تشخیص زمان ورود پالس با روشی موسوم به کسر ثابت (CFD)^۲ و تحلیل گر چند کاناله (MCA)^۳ که بتواند خروجی مدل تبدیل کننده اختلاف زمان به ولتاژ را ثبت کند (شکل ۸).

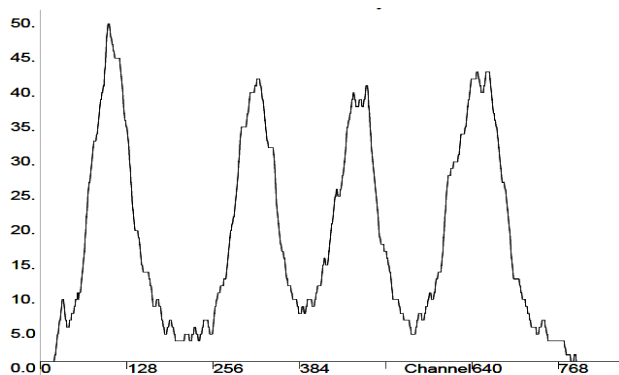
۳. نتایج تجربی

پس از ساخت اتاقک، در مرحله تست، با تغییر مکان چشمه

۱. Time to amplitude converter

۲. Constant Fraction Discriminator

۳. Multichannel Analyzer



شکل ۱۰. طیف حاصل از تغییر مکان چشمه ایکس در فواصل 1mm .

تفکیک نسبی

قدرت تفکیک پذیری مکانی مطلق این اتاقک تقریباً ۳۱ میکرون برابر با جابه جایی متناظر با هر کانال است، این مقدار مستقیماً با استفاده از موازی سازی با قطر ۳۲ میکرون قابل اثبات خواهد بود.

قله طیف ۱۰۰ کانال جابه جا شد یعنی هرکانال می تواند 0.031mm جابه جایی چشمه را نشان دهد پهنای نیم ارتفاع قله بخش ها (FWHM)، ۵۶ کانال می باشد لذا:

$$\frac{V}{225} = 0.031\text{mm} \Rightarrow FWHM = 56 \times 0.031 = 1.73\text{mm}$$

$$\text{روزنه قطر} - FWHM = \text{قدرت} = 1.73 - 1.50 = 0.23\text{mm}$$

مراجع

(1982) 93.

1. J Y R A Boie, *Nuclear Instruments and Methods*, 201