دانشکده مهندسی هسته ای

دستور کار

آزمایشگاه فیزیک هسته ای

تهیه کننده:

حمید جعفری

فهرست آزمایش ها

آزمایش شماره ۱: نحوه استفاده از چشمه های رادیواکتیو، دستگاه های آزمایشگاهی و تکنیک های اندازه گیری

آزمایش شماره ۲: آشنایی با گایگر مولر و بدست آوردن منحنی مشخصه آن

آزمایش شماره ۳: اندازه گیری قدرت تفکیک زمانی گایگر مولر

آزمایش شماره ۴: بررسی توزیع آماری تشعشعات رادیواکتیویته

آزمایش شماره ۵: تحقیق قانون عکس مجذور فاصله

آزمایش شماره ۶: اندازه گیری اکتیویته یک ماده رادیواکتیو مجهول

آزمایش شماره ۷: اندازه گیری ضریب جذب خطی

آزمایش شماره ۸: اندازه گیری برد ذرات بتا

آزمایش شماره ۹: اندازه گیری نیمه عمر به روش فعالسازی نوترونی

آزمایش شماره ۱۰: طیف نگاری پرتوهای گاما با استفاده از تحلیلگر تک کاناله (SCA)

آزمایش شماره (۱)

نحوه استفاده از چشمه های رادیواکتیو ، دستگاه های آزمایشگاهی و تکنیک های اندازه گیری

مقدمه:

در حالت عادی آن دسته از چشمه های پرتوزایی که در آزمایشگاه هسته ای با آنها سروکار خواهید داشت را می توان به چهار دسته عمده زیر تقسیم بندی کرد:

۱- گاما دهنده ها (^{60}Co , ^{137}Cs, ^{22}Na)

۲- بتا دهنده ها (^{204}Tl, ^{90}Sr)

۳- آلفا دهنده ها (^{226}Ra, ^{241}Am)

۴- چشمه نوترونی (Ra-Be)

با اینکه اکتیویته این چشمه های آزمایشگاهی در حد میکروکوری (μCi) می باشد با این حال بدلیل اینکه پرتوهای یونیزان می توانند آثار مخربی در بدن ایجاد کنند، باید نهایت دقت را در هنگام استفاده از آنها بکار برد.

همانطوریکه در آزمایش های آینده خواهیم دید ما از خاصیت یونیزه شدن مواد در هنگام برخورد پرتوهای ناشی از مواد رادیواکتیو با آنها استفاده کرده و برای آشکار کردن پرتوها به کمک اختلاف پتانسیل های مناسب، پالس الکتریکی تولید کرده و سپس آنها را به کمک شمارنده های مناسب شمارش می کنیم. شمارنده های موجود در آزمایشگاه همگی از نوع دیجیتال بوده که به همراه یک تایمر قادر به ثبت 9.999×10^3 پالس با ارتفاع بیش از 0.2 V می باشند. آهنگ ثبت پالس نیز می تواند تا ۲۰۰۰ پالس در ثانیه باشد. از دیگر دستگاه های موجود در آزمایشگاه هسته ای می توان به عنوان آشکارسازها، یونیت های

منبع تغذیه ولتاژ بالا (HV)، پیش تقویت کننده ها، تقویت کننده، تحلیل گرهای تک کاناله و چند کاناله و ... اشاره کرد.

نحوه انجام آزمایش:

جهت آشنا شدن با نحوه استفاده از چشمه های رادیواکتیو، جعبه حاوی چشمه ها را به سر میز گروه آورده و چشمه های رادیواکیتو موجود در آن را مشاهده کرده و با توجه به جداول موجود، نوع واپاشی و انرژی واپاشی آنها را تعیین نمایید. توجه داشته باشید که هرگز مستقیما در فاصله نزدیک به چشمه نگاه نکنید و آن را نیز به طرف خودتان یا شخص دیگری نگیرید. برای احتیاط بیشتر در مواجهه با چشمه های رادیواکتیو می توان از انبرک دسته بلند برای حمل آنها استفاده کرد.

حال یکی از چشمه های موجود در جعبه را برداشته و در مقابل یک تیوب گایگر که بوسیله کابل کواکسیال به شماره انداز دیجیتال وصل است، قرار دهید. سوکت ورودی با حروف G-M نشانه گذاری شده است. قبل از اتصال شمارنده به تیوب گایگر از صفر بودن مقدار HV آن مطمئن شوید. بعد از اتصال کابل آن، مقدار HV را با توجه به ولتاژ کاری نوشته شده بر روی تیوب گایگر، تنظیم کنید. اکنون با تنظیم زمان ۵ دقیقه با استفاده از دکمه های M و N و P بر روی دستگاه شمارنده و سپس فشار دادن دکمه start و روشن شدن چراغ آن، شمارش های چشمه رادیواکتیو مقابل گایگر را انجام دهید. پس از اتمام زمان شمارش، نوع چشمه و اکتیویته نوشته شده بر روی چشمه را یادداشت کرده شمارش های آن را در جدول (۱) وارد نمایید. سپس چشمه را در جعبه خود قرار داده و چشمه دیگری با مشخصات اکتیویته متفاوت برداشته و در همان مکان قبلی در مقابل تیوب گایگر قرار داده و همین آزمایش را برای آن تکرار نمایید و شمارش های آن را در جدول ثبت نمایید. از روی مقادیر شمارش ها و زمان ثبت، آهنگ شمارش ها (شمارش بر ثانیه) را نیز بدست آورید. همچنین یکبار دیگر شمارش ها را برای حالتی که هیچ چشمه ای در مقابل تیوب گایگر قرار ندارد برای مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام دهید و آن را با عنوان شمارش زمینه در جدول یادداشت کنید.

جدول (۱) : داده های اندازه گیری شده

مشخصات چشمه	آهنگ شمارش	شمارش	زمان	
				چشمه شماره ۱
				چشمه شماره ۲
				چشمه شماره ۳
				بدون چشمه

یاددآوری می شود قبل از خاموش کردن دستگاه لازم است HV آن را به صفر برسانید و سپس دکمه OFF را زده و اتصالات را از دستگاه جدا کنید.

سئوالات:

۱- از مقایسه مقادیر شمارش ها و آهنگ شمارش مربوط به چشمه های مختلف چه نتیجه ای می توان گرفت؟

۲- حفاظ سازی انواع چشمه های پرتوزا با اکتیویته های در حد میکرو کوری و میلی کوری چگونه انجام می شود؟

۳- برای تشخیص انواع پرتوهای هسته ای چه راه ها و چه ابزاری را پیشنهاد می دهید؟

آزمایش شماره (۲)

آشنایی با گایگر مولر و بدست آوردن منحنی مشخصه آن

هدف: تعیین ناحیه کاری گایگر و بدست آوردن نقطه کاری آن

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه پرتوزای گاما (^{137}Cs،^{60}Co)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

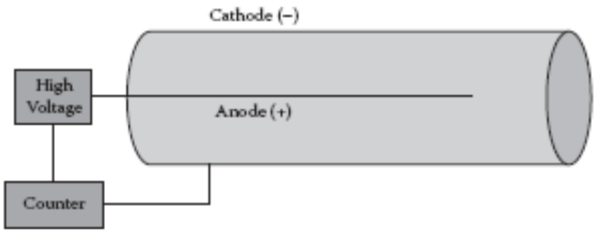
۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

آشکارساز گایگر برای اولین بار توسط هانس گایگر دانشمند آلمانی در سال ۱۹۱۲ اختراع گردید. گایگر در سال ۱۹۲۸ به کمک دانشمند آلمانی دیگری به نام والتر مولر اختراع خود را اصلاح کرد و این آشکارساز به نام شمارنده گایگر– مولر (GM) معروف شده است. این آشکارسازها اغلب استوانه ای شکل بوده و با قطرهای از ۲ میلیمتر تا چند سانتیمتر و به طول های از ۱ سانتیمتر تا حدود ۱ متر ساخته می شوند.

این آشکارساز شامل محفظه ای با دو الکترود و یک گاز مناسب می باشد. الکترود داخلی آن از سیمی به قطر تقریبی یک هزارم سانتی متر درست شده است. جنس این سیم اغلب از تنگستن می باشد و این بعلت استحکام و یکنواخت بودن سیم های این ماده با قطرهای بسیار کوچک است. الکترود دیگر که به عنوان کاتد

از آن استفاده می شود معمولا جزیی از محفظه آشکارساز است. اگر محفظه فلزی باشد، خود آن می تواند مستقیما به عنوان کاتد عمل نماید. چنانچه محفظه شیشه ای باشد، می توان سطح داخلی آن را با یک هادی پوشش داد بطوریکه تشکیل کاتد را بدهد. فولاد زنگ نزن، نیکل و یا سایر ماده های با تابع کار بالا در این پوشش مورد استفاده قرار می گیرند. در شکل (۱) نمایی از این آشکارساز نشان داده شده است.



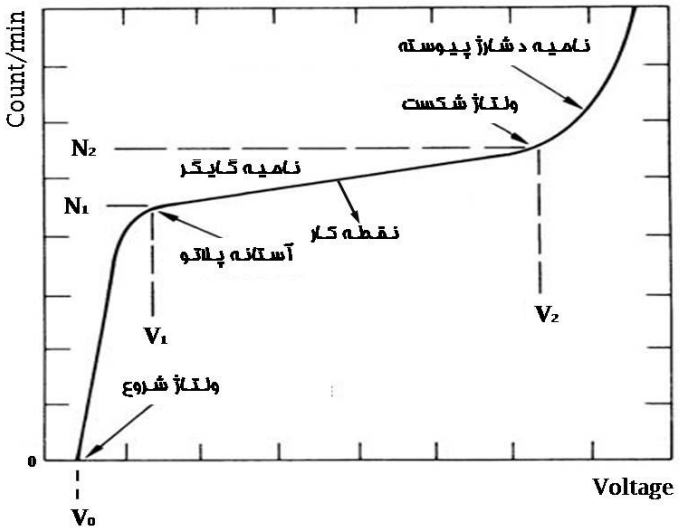
شکل۱: آشکارساز گایگر مولر

از رایج ترین گازهای مورد استفاده، گازهای نجیب به خصوص هلیم، آرگون و نئون می باشند. معمولا درصد کوچکی از گازهای آلی به نام گاز فرونشان به منظور جلوگیری از تخلیه دائم به گازهای فوق اضافه می کنند. معروفترین این مخلوط های گازی، ترکیب P10 است که شامل ۹۰درصد آرگون و ۱۰٪ گاز متان می باشد. سایر گازهایی که به طور موفقیت آمیزی برای گایگر مورد استفاده قرار گرفته اند شامل گازهای هیدروژن و نیتروژن هستند.

آشکارسازهای گایگر مولر را می توان برای شمارش هر نوع ذره هسته ای که عمل یونش را در داخل محفظه ایجاد نماید، بکار برد. گایگر برای شمارش الکترون ها، ذرات بتا، پرتوهای گاما و پرتوهای ایکس مورد استفاده فراوان دارد. ذرات آلفا و ذرات یونیزه کننده قوی نیز گاهی توسط گایگر آشکار می شوند. لیکن به علت برد کوتاه این ذرات، بایستی آنها را در داخل محفظه قرار داد. چون اندازه پالس خروجی از گایگر مستقل از یونیزاسیون اولیه می باشد، نمی توان آنها را برای اندازه گیری انرژی ذرات بکار برد. این آشکارساز با توجه به خصوصیت بیان شده برای طیف سنجی مناسب نیست و فقط بعنوان یک شمارنده مورد استفاده قرار می گیرد. آهنگ شمارش های آن، تابعی از اختلاف پتانسیل اعمال شده است. در ولتاژهای کم عملاً ذره‌ای

شمارش نمی‌شود ولی با افزایش ولتاژ تا ولتاژ آستانه، آهنگ شمارش ناگهان رشد می کند تا آستانه‌ی ناحیه-ی پلاتو که در آن نسبت به تغیرات ولتاژ حساسیت اندکی نشان می‌دهد. این ناحیه بهترین محدوده‌ی ولتاژ برای کار با شمارنده است. با افزایش بیشتر ولتاژ و ورود به ناحیه‌ی تخلیه‌ی الکتریکی، آهنگ شمارش، رشد دوباره ای پیدا می‌کند.) اگر فرایند تخلیه الکتریکی پیوسته برای مدتی ادامه یابد، باعث ایجاد آسیب می شود و بنابراین با مشاهده انتهای پلاتو باید بلافاصله ولتاژ را کاهش داد. در عمل این نقطه کاری با ثبت منحنی پلاتوی سیستم در شرایطی که چشمه تابش رخداد هایی با آهنگ ثابت ایجاد می کند، تعیین می شود.

همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، ناحیه بین N_1 و N_2 مطابق با ولتاژ V_1 و V_2 ناحیه کاری گایگر شناخته می شود و ولتاژهای بزرگتر از V_2 ناحیه به اشباع رسیدن آشکارساز شروع می شود (قرار گرفتن در این ناحیه کاری عمر آشکارساز را کاهش می دهد)



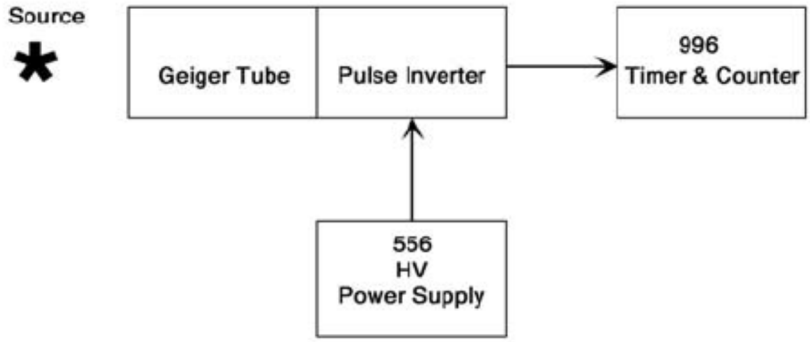
شکل ۲: منحنی مشخصه آشکارساز گایگر مولر

شیب نمودار فوق مطابق با رابطه (۱) بدست می آید که این مقدار باید کمتر از ۱۰٪ باشد.

$$slope = \left[\frac{(N_2 - N_1)}{N_1}\right]\left[\frac{100}{V_2 - V_1}\right]\% \qquad (۱)$$

نحوه انجام آزمایش:

وسایل مورد نیاز برای این آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است. مدار الکترونیکی را بگونه ای برقرار کنید که ابتدا منبع تغذیه ولتاژ بالا، تایمر و شمارنده را در BIN قرار داده و منبع تغذیه را توسط یک کابل SHV به معکوس کننده پالس[۱] (جهت تبدیل سیگنال منفی GM به یک پالس مثبت برای ورودی شمارنده) و از آنجا به خروجی آشکارساز وصل کرده و خروجی معکوس کننده پالس را به تایمر و شمارنده وصل کنید.



شکل ۳: الکترونیک شمارنده گایگر

دستگاه را روشن نموده ولتاژ اولیه منبع تغذیه را روی 300 V تنظیم می کنیم و سپس یک چشمه پرتوزای گاما (مانند ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na) را در جلوی پنجره ورودی آشکارساز در فاصله تقریبا 2 سانتی متری قرار دهید. شمارش های آشکارساز را برای یک بازه ۲ دقیقه ای بدست آورید. سپس ولتاژ منبع تغذیه را به صورت مرحله به مرحله تا 650 V افزایش داده (در هر مرحله 20 V) و شمارش های آن مرحله را در همان بازه زمانی مطابق با جدول زیر یادداشت کنید. سپس چشمه را از مقابل آشکارساز برداشته و شمارش های زمینه را برای همان ولتاژهای منبع تغذیه و در همان بازه های زمانی ثبت کرده و در نهایت شمارش های بدون زمینه (C) را بدست آورید.

[۱] Pulse Inverter

جدول (۱): داده های اندازه گیری شده

شمارش بدون زمینه (C)	زمینه	شمارش با زمینه	ولتاژ منبع تغذیه (V)
			۳۰۰
			۳۲۰
			.
			.
			.
			۶۵۰

اکنون منحنی تغییرات شمارش های بدون زمینه (C) را بر حسب ولتاژ رسم کنید. ناحیه کاری را معین کرده، ولتاژ کاری و همچنین شیب این ناحیه را بدست آورید. ولتاژ شروع برای شمارش های آشکارساز گایگر مولر را نیز تعیین کنید.

سوالات:

۱- چرا پلاتوی شمارش شیب دارد؟

۲- با اضافه کردن درصد کوچکی از گازهای آلی به گاز اصلی تیوب گایگر چگونه از تخلیه دائم جلوگیری می شود؟

۳- روش های دیگر فرونشانی در آشکارساز گایگر مولر کدامند؟ شرح دهید.

۴- اگر پلاریته HV برعکس اعمال شود چه اتفاقی می افتد؟

۵- آیا با کاهش ولتاژ آشکارساز گایگر می توان به ناحیه تناسبی یا یونش رسید؟ علت را توضیح دهید.

آزمایش شماره (۳)

اندازه گیری قدرت تفکیک زمانی گایگر مولر

هدف: تعیین زمان مرده آشکارساز گایگر برای بدست آورد آهنگ شمارش واقعی

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه پرتوزای گاما (^{137}Cs،^{60}Co)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

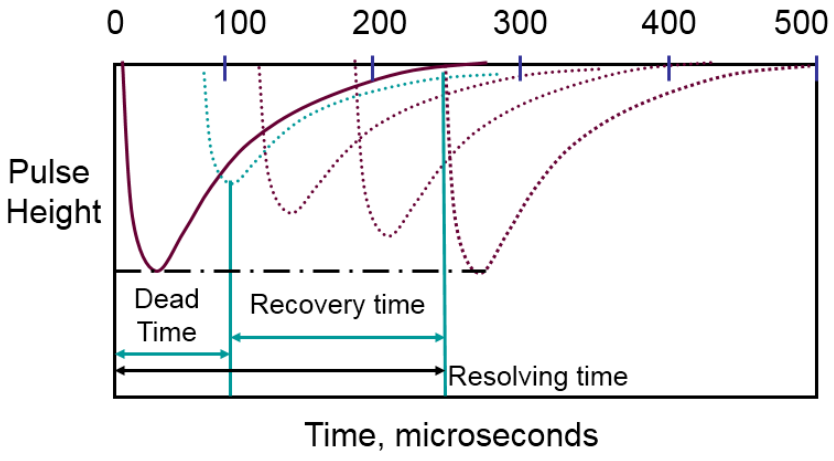
۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

برخورد پرتوی یونیزان به یک شمارنده گایگر مولر باعث ایجاد تعداد زیادی بهمن از زوج الکترون-یون ها در تمام حجم حساس آن خواهد شد. الکترون های منفی با سرعت زیادی به طرف آند حرکت کرده و جذب می شوند ولی یونهای مثبت به علت سنگینی با سرعت نسبی کمتری به سمت کاتد حرکت می کنند. در شرایطی که تمام الکترون ها جمع آوری شده اند، هنوز تعداد زیادی بار مثبت در همه جا از جمله در اطراف آند وجود دارد که نظیر یک پرده الکتریکی عمل نموده و از پتانسیل کاتد به طرز موثری می کاهد. در این شرایط، اگر پرتو جدیدی وارد آشکار ساز شود، میدان الکتریکی کافی برای جمع کردن الکترون و یون های تولید شده و تکثیر آنها وجود ندارد و لذا مدتی طول می کشد تا اینکه یون های مثبت فضای اطراف آند را

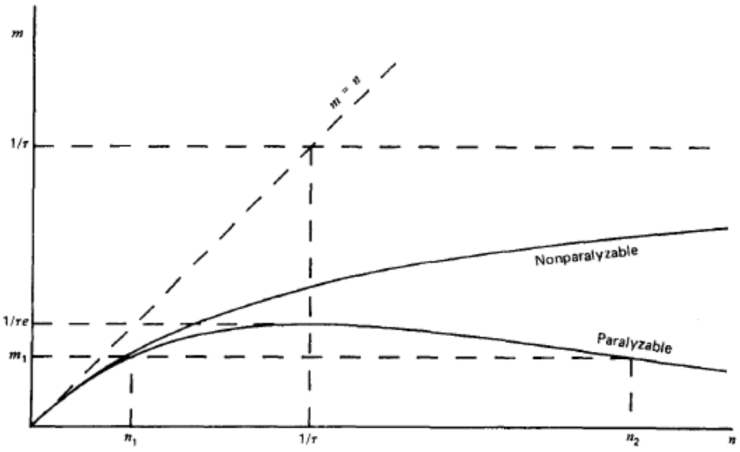
تخلیه نموده و شدت میدان به میزان کافی برای شمارش پرتو جدید افزایش یابد، این مدت زمان را زمان مرده یا زمان مرگ (dead time) می گویند. به عبارت دیگر زمان مرده، حداقل زمانی است که باید بین دو ذره متوالی فرودی وجود داشته باشد تا شمارنده قادر به شمارش هر دو باشد. زمان مرده اغلب سیستم های اندازه گیری به همان اندازه که به خصوصیات زمانی پالس های حاصل از آشکارساز بستگی دارد به الکترونیک پردازش پالس نیز وابسته است.

هرچه یون های مثبت بیشتری در کاتد جمع آوری شوند، اختلاف پتانسیل بین دو الکترود به مقدار اولیه نزدیکتر شده و در نتیجه چنانچه ذره ای در طول این مدت وارد شمارنده شود، شمارش می شود ولی ارتفاع پالس خروجی نسبت به پالس اولیه کوچک تر خواهد بود. به مرور زمان که غلاف حاوی یونهای مثبت در جهت شعاعی به سمت بیرون حرکت می کند اثر این غلاف بر روی میدان الکتریکی ایجاد شده توسط بارهای منفی کمتر می شود تا اینکه وقتی شعاع غلاف به شعاع بحرانی می رسد، میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترون ها به حدی بزرگ می شود که با اولین پرتو ورودی به آشکارساز، بهمن یونی اتفاق افتاده و تخلیه الکتریکی باعث ایجاد پالسی به بزرگی پالس اول خواهد شد. مدت زمان بین پایان پالس اول با دامنه کامل تا شروع پالس دوم با دامنه کامل را زمان بهبودی (recovery time) می نامند. زمان لازم برای بازگشت شمارنده به حالت اولیه و توانایی تولید پالس دوم با دامنه کامل را زمان تفکیک (resolving time) می نامند. شماتیکی از تشکیل پالس در آشکارساز گایگر مولر در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) : تشکیل پالس در شمارنده گایگر مولر

رفتاری که آشکارساز در بازه زمان مرده از خود نشان می دهد سبب می شود که تعداد پرتوهای ثبت شده توسط آشکارساز و تعداد پرتوهای واقعی وارد شده به آشکارساز با هم یکسان نیستند. در نتیجه می بایست برای بدست آوردن نتایج دقیق بایستی مقادیر اندازه گیری شده توسط آشکارساز گایگر را تصحیح نماییم که مهم ترین پارامتر مورد نیاز برای تصحیح دانستن اندازه زمان مرده آشکارساز می باشد. برای توضیح رفتار زمان مرده از دو مدل پاسخ فلج پذیر (paralyzable) و پاسخ فلج ناپذیر (non-paralyzable) استفاده می گردد. این مدل ها بیانگر رفتار ایده آلی از یک سیستم شمارش گر واقعی هستند که همانطوریکه در شکل (۲) نشان داده شده است، هر دوی آنها در نرخ رخدادهای پایین مشابه هم عمل کرده و تنها در زمان نرخ رخدادهای بالا با هم اختلاف پیدا می کنند.



شکل (۲) : تغییرات نرخ شمارش های ثبت شده بر حسب نرخ شمارش های واقعی برای دو مدل رفتاری زمان مرده

اگر m نرخ شمارش های ثبت شده در آشکارساز باشد، در این صورت کسری از زمان کل در مدل فلج ناپذیر که در آن شمارشگر دستگاه حساس نیست، برابر با $m\tau$ است که τ زمان مرده سیستم می باشد. در نتیجه تعداد شمارش های از دست داده شده در واحد زمان برابر با $nm\tau$ می باشد. از طرف دیگر اگر n برابر با نرخ برهمکنش های واقعی باشد، n-m برابر با نرخ از دست دادن شمارش های واقعی است. بنابراین نرخ برهمکنش های واقعی از رابطه زیر بدست می آید.

$$n = \frac{m}{1-m\tau} \qquad (۱)$$

این تصحیح به نام تصحیح زمان مرده مشهور است.

برای اندازه گیری زمان مرده و زمان تفکیک یک شمارنده گایگر می توان از روش ساده دو چشمه ای استفاده کرد. این روش شامل مقایسه نرخ شمارش نشان داده توسط دستگاه در هنگامی که دو چشمه همزمان با یکدیگر مقابل شمارنده گایگر باشند و نرخ شمارش تک تک چشمه ها به طور جداگانه است. به این منظور n_1 ، n_2 ، n_{12} و n_b به ترتیب نرخ شمارش حقیقی یونیزاسیون برای چشمه شماره (۱) به اضافه زمینه، نرخ شمارش چشمه شماره (۲) به اضافه زمینه، مجموع نرخ شمارش چشمه های (۱) و (۲) به اضافه زمینه و آهنگ شمارش زمینه هستند. همچنین m_1 ، m_2، m_{12} و m_b آهنگ شمارش نشان داده شده توسط دستگاه هستند. بنابراین خواهیم داشت:

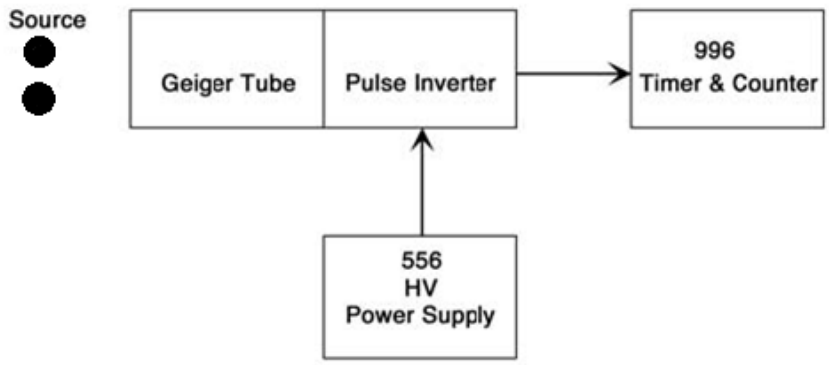
$$n_{12} + n_b = n_1 + n_2 \qquad (۲)$$

بنابراین با جایگذاری نرخ های شمارش از رابطه (۱) زمان مرده آشکارساز از رابطه زیر بدست می آید.

$$\tau = \frac{m_1 + m_2 - m_{12} - m_b}{m_{12}^2 - m_1^2 - m_2^2} \qquad (۳)$$

نحوه انجام آزمایش:

برای اندازه گیری زمان مرده لازم است که زمان آزمایش را حتی المقدور طولانی اختیار کنید. این زمان نباید کمتر از ۱۰ دقیقه باشد. الکترونیک آزمایش را مانند شکل (۳) برقرار می کنیم.



شکل(۳) : چیدمان آزمایش شمارش با استفاده از گایگر مولر

دو چشمه مشابه، یکی را بعنوان چشمه شماره (۱) و دیگری را بعنوان چشمه شماره (۲) نامگذاری کنید. ابتدا چشمه شماره یک را در درون محفظه نگه دارنده آشکارساز بگونه ای قرار بدهید که جای کافی برای قرار دادن چشمه شماره (۲) در کنار آن نیز وجود داشته باشد. آنگاه ولتاژ آشکارساز را مطابق با ولتاژ کاری بدست آمده از آزمایش قبلی قرار داده و مقدار m_1 را در بازه زمانی ۱۰ دقیقه اندازه گیری کنید. سپس چشمه شماره (۲) را کنار چشمه شماره (۱) قرار داده و به همان طریق فوق m_{12} را اندازه گیری کنید. سپس چشمه شماره (۱) را به آرامی و با احتیاط خارج کرده و m_2 را اندازه گیری کنید. در نهایت نیز یکبار نرخ شمارش های زمینه را بدون حضور هیچکدام از چشمه ها اندازه گیری کنید. با جایگذاری مقادیر فوق در فرمول (۳) زمان مرده آشکارساز را بدست آورید. آنرا بر حسب میکروثانیه بنویسید. حال با استفاده از فرمول (۱) تصحیح زمان مرده را بر روی مقادیر m_1 و m_2 و m_{12} انجام داده و شمارش های واقعی n_1 و n_2 و n_{12} را بدست آورید. درصد اختلاف را نیز در هر مورد محاسبه کنید.

سوالات:

۱- روش های دیگر اندازه گیری زمان مرده کدامند؟

۲- در آزمایش اندازه گیری زمان مرده چرا باید زمان آزمایش را طولانی اختیار کرد؟

۳- شمارش های واقعی را با استفاده از روش فلج پذیر (paralyzable) نیز بدست آورده و با داده های قبلی مقایسه کنید؟

آزمایش شماره (۴)

بررسی توزیع آماری تشعشعات رادیواکتیویته

هدف: تعیین میانگین و انحراف از معیار برای شمارش های اندازه گیری شده و بررسی طبیعت آماری تشعشعات رادیواکتیویته

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه پرتوزای گاما (^{137}Cs،^{60}Co)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

فرآیند گسیل ذره از چشمه یک فرآیند آماری و تصادفی می باشد که می توان آنرا توسط دستگاه های آشکارسازی بررسی نمود. هر اندازه گیری که در خصوص یک نمونه پرتوزا صورت می گیرد، مستقل از تمام اندازه گیری های قبلی است. همچنین برای تعداد زیادی از اندازه گیری های مستقل، آهنگ شمارش میانگین و انحراف از این مقدار میانگین قابل پیش بینی و محاسبه می باشد. اگر فرض کنیم N شمارش مستقل اندازه گیری کرده باشیم، آهنگ میانگین شمارش ها از رابطه (۱) بدست می آید:

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + ... + R_N}{N} \qquad (۱)$$

نتایج شمارش ها در هر اندازه گیری در اطراف این میانگین بر اساس تابع توزیعی که فرایند واپاشی را توصیف می نماید، توزیع می گردد. ماهیت این توابع در ادامه به طور خلاصه شرح داده شده اند.

گستردگی نوسانات آماری در اطراف مقدار میانگین را می توان برحسب پارامتر σ که به نام انحراف از معیار (standard deviation) مشهور است بیان نمود (رابطه ۲).

$$\sigma = \sqrt{\overline{R}} \qquad (۲)$$

کمیت σ^2 نیز واریانس (variance) نامیده می شود که از رابطه تقریبی (۳) بدست می آید.

$$\sigma^2 \cong \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(\overline{R} - R_i)^2 \qquad (۳)$$

توزیع دو جمله ای (Binomial Distribution):

توزیع دوجمله ای یک قانون آماری بنیادی است که بر اتفاقات تصادفی حاکم می باشد. اگر احتمال موفقیت را p و احتمال عدم موفقیت را q در نظر بگیریم. برای یک توزیع دوجمله q=1-p خواهد بود. بنابراین اگر تعداد کل رخدادهای را N_0 در نظر بگیریم در آن صورت W(n)، احتمال آن است که دقیقا n رخداد از N_0 رخداد منجر به موفقیت بوده است که برابر است با:

$$W(n) = \frac{N_0!}{(N_0 - n)!\,n!} P^n (1-P)^{N_0 - n} \qquad (۴)$$

رابطه (۴) به نام قانون توزیع دوجمله ای مشهور است.

برای استفاده از این توزیع در واپاشی های رادیواکتیویته، دستگاهی را در نظر بگیرید که حاوی N_0 اتم رادیواکتیو باشد. طبق قوانین واپاشی، احتمال آنکه اتمی در مدت زمان t واپاشی ننماید برابر با $e^{-\lambda t}$ می باشد که در آن λ ثابت واپاشی است. بنابراین احتمال p برای واپاشی برابر با:

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \qquad (۵)$$

بنابراین احتمال W(n) که n اتم در مدت زمان t واپاشی بنماید برابر است با:

$$W(n)=\frac{N_0!}{(N_0-n)!n!}(1-e^{-\lambda t})^n(e^{-\lambda t})^{N_0-n} \qquad (۶)$$

که برای $\lambda t<<1$ یعنی برای مواردی که زمان اندازه گیری خیلی کوتاه تر از زمان نیمه عمر جسم رادیواکتیو است، انحراف از معیار از همان رابطه (۲) بدست می آید.

توزیع پوواسن (Poisson distribution)

یک مدل ساده سازی شده از توزیع دوجمله ای است در شرایطی که احتمال موفقیت p کوچک وثابت باشد. در عمل این شرط به این معنی است که زمان مشاهده در مقایسه با نیمه عمر چشمه کوتاه انتخاب شود. بنابراین تعداد اتم های پرتوزا در مدت زمان مشاهده ثابت باقی می مانند و احتمال ثبت یک شمارش به دلیل واپاشی یک هسته مفروض در نمونه کوچک است. پس احتمال W(n) در توزیع پوواسن از رابطه (۷) تعیین می شود

$$W(n)=\frac{N_0P^n}{n!}e^{-PN_0}=\frac{\overline{R}^n e^{-\overline{R}}}{n!} \qquad (۷)$$

توزیع گاوسی یا نرمال (Gaussian distribution)

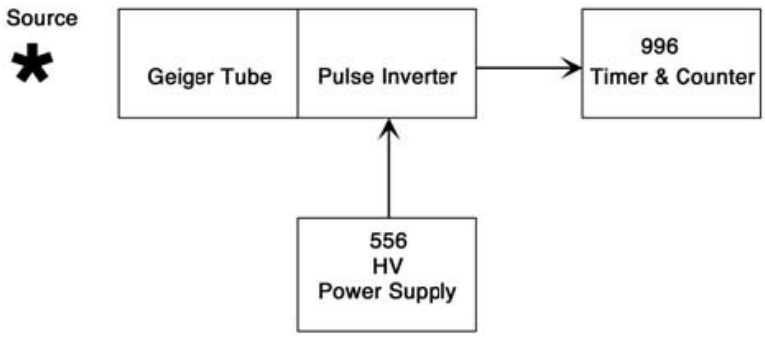
توابع توزیع های دوجمله ای و پوواسن هر دو در مورد متغیرهای ناپیوسته که می توانند مقادیر اعداد درست را اختیار نمایند (مثلا تعداد ذرات شمارش شده) قابل اجرا می باشد. از آنجاییکه آمار خطاها بر مبنای توزیع گاوسی قابل اجرا برای متغیر های پیوسته است، بنابراین عمومی تر بوده و در عین حال برای محاسبات تحلیلی نیز مناسب می باشد. با توجه به پیوسته بودن متغیرها در اینجا، W(n)dn نشان دهنده احتمال قرارگیری مقدار n بین n و n+dn می باشد. تابع توزیع گاوسی از رابطه (۸) بدست می آید.

$$W(n)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}e^{\left[\frac{(\bar{R}-n)^2}{2\sigma^2}\right]} \qquad (۸)$$

تابع توزیع گاوسی برای توصیف چگونگی توزیع داده های آشکارساز تابش های مختلف هسته ای، بسیار مفید است. مثلا در طیف نگاری تابش گاما، پرتوهای تک انرژی پالس هایی را با ارتفاع های توزیع شده در اطراف یک مقدار میانگین تولید می کنند که تابع توزیع گاوسی در بیشتر موارد توصیف کننده خوبی از آن است. قدرت تفکیک طیف نگارها برحسب پارامتر پهنا در نصف مقدار بیشینه (FWHM) تعریف می گردد که در توزیع گاوسی برابر با $FWHM = 2.35\ \sigma$ می باشد.

نحوه انجام آزمایش:

ابتدا مدار موردنظر را مطابق شکل زیر ببندید. ولتاژ کاری گایگر مولر را مطابق مقدار بدست آمده در آزمایش اندازه گیری منحنی مشخصه گایگر تنظیم کنید.



شکل(۱) : چیدمان آزمایش شمارش با استفاده از گایگر مولر

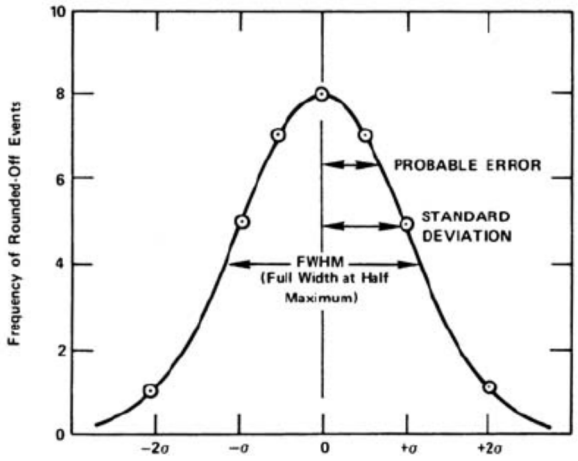
ابتدا قبل از اینکه چشمه را در مقابل آشکارساز قرار دهید، شمارش های زمینه را برای مدت ۲ دقیقه ثبت کنید. سپس چشمه پرتوزای Co-60 را جلوی پنجره گایگر و بر روی صفحه قرار داده و برای مدت زمان ۳۰ ثانیه شمارش های آن را ثبت کنید. بدون جابجایی چشمه، ۵۰ مرتبه این آزمایش را تکرار کنید. مقادیر آهنگ شمارش با کم کردن زمینه (R) را در جدول (۱) یادداشت نمایید. سپس مقدار آهنگ میانگین

شمارش ها را از رابطه (۱) محاسبه کرده و مقادیر $R-\overline{R}$ خواسته شده در جدول را بدست آورید (باید توجه داشت که این مقادیر ممکن است مثبت یا منفی شوند).

جدول (۱) : داده های مربوط به اندازه گیری

تعداد مرتبه شمارش	R	σ	$R-\overline{R}$	$(R-\overline{R})/\sigma$	$(R-\overline{R})/\sigma$ گرد شده
۱					
۲					
۳					
.					
.					
.					
۴۹					
۵۰					

انحراف از معیار شمارش ها (σ) را نیز محاسبه کرده و مقادیر $(R-\overline{R})/\sigma$ را تا دو رقم اعشار بدست آورید. سپس مقادیر $(R-\overline{R})/\sigma$ را به نزدیک ترین 0.5 گرد کنید و در جدول ثبت نمایید. سپس منحنی فراوانی مقادیر گرد شده $(R-\overline{R})/\sigma$ را بر حسب مقادیر گرد شده رسم کنید. شکل ۲ نشان دهنده یک نمونه از این منحنی می باشد.



شکل(۲): منحنی فراوانی شمارش های اندازه گیری شده

از روی منحنی رسم شده، مقدار FWHM را بدست آورید.

با استفاده از رابطه (۷)، W(R) برای توزیع پوواسن را حساب کرده و بر حسب R رسم کنید.

با استفاده از رابطه (۸)، W(R) برای توزیع گاوسی را حساب کرده و بر حسب R رسم کنید.

از روی هر کدام از این منحنی ها مقدار میانگین را تعیین کنید.

سئوالات:

۱- از مقایسه منحنی های رسم شده چه نتایجی استنباط می شود؟

۲- با استفاده از منحنی اول مشخص کنید که چند داده بین $\overline{R}+\sigma$ و $\overline{R}-\sigma$ و چند تا از آنها بین $\overline{R}+2\sigma$ و $\overline{R}-2\sigma$ قرار می گیرند و درصد این مقادیر را بدست آورید؟

۳- برای کاهش انحراف از معیار و FWHM چه راهکاری را پیشنهاد می کنید؟

آزمایش شماره (۵)

تحقیق قانون عکس مجذور فاصله

هدف: اثبات کاهش شدت پرتوها به ازای افزایش فاصله به صورت عکس مجذور آن

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه پرتوزای گاما (^{137}Cs،^{60}Co)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

ازآنجاییکه پرتوی نور معمولی و اشعه گاما، هردو از نوع تابش های الکترومغناطیسی هستند و از رابطه کلاسیکی زیر پیروی می‌کنند:

$$E = h\nu \qquad (۱)$$

که در آن E انرژی فوتون بر حسب ergs و ν فرکانس تابش بر حسب دور بر ثانیه و h ثابت پلانک (6.624×10^{-27} erg.s) می‌باشد. بنابراین، قانون عکس مجذور فاصله می بایستی در مورد اشعه گاما نیز برقرار باشد.

اگر فرض کنیم که یک منبع فوتونی همسانگرد، فوتون هایی را با آهنگ N_0 در تمامی جهت ها گسیل می دارد و آنرا در مرکز یک پوسته کروی قرار دهیم در این صورت می توان تعداد فوتون هایی که در هر ثانیه از

هر سانتیمتر مربع از پوسته کروی عبور می کنند را اندازه گیری کرد. این شدت از رابطه (۲) محاسبه می شود.

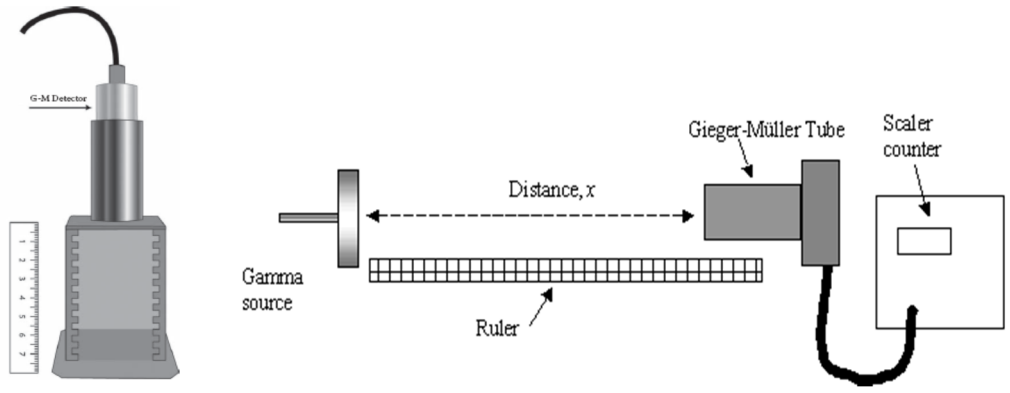
$$I_0 = \frac{N_0}{4\pi R_0^2} \qquad (۲)$$

که N_0 تعداد کل فوتون بر ثانیه ناشی از چشمه و R_0 شعاع کره است.

از آنجا که N_0 و 4π ثابت هستند ، I_0 به صورت $\frac{1}{R_0^2}$ تغییر می کند که به آن قانون عکس مجذور می گویند.

نحوه انجام آزمایش:

چیدمان شمارش با استفاده از آشکارساز گایگر را مطابق آزمایش های قبل برقرار کنید. ولتاژ کاری گایگر را در ناحیه مناسب انتخاب کنید و چشمه ^{60}Co یا ^{137}Cs را مانند شکل (۱) درفاصله $1\ cm$ از پنجره گایگر قرار دهید. شمارش را برای دوره زمانی به اندازه کافی طولانی برای رسیدن به آمار شمارش مناسب ادامه دهید (مثلا در حدود ۳۰۰۰ شمارش) و شمارش آشکارساز و زمان آن را در جدول (۱) وارد کنید. سپس چشمه را تا فاصله $10\ cm$ با گام های ۱ سانتی متری جابجا کرده و شمارش ها را برای داشتن آمار مناسب تکرار کنید و در جدول یادداشت کنید.



شکل (۱) : چیدمان آزمایش تحقیق قانون عکس مجذور فاصله

جدول ۱: داده های حاصل از اندازه گیری

مقدار K	آهنگ شمارش اصلاح شده	آهنگ شمارش	شمارش	زمان (min)	فاصله (cm)
					۱
					۲
					۳
					۴
					۵
					۶
					۷
					۸
					۹
					۱۰

شمارش های زمینه را نیز بدون حضور چشمه، در مدت زمان ۱۰ دقیقه اندازه گیری کنید و آهنگ شمارش های زمینه را نیز بدست آورید. آهنگ شمارش اصلاح شده را با توجه به کم کردن شمارش های زمینه همچنین اصلاح مربوط به زمان مرده (آزمایش شماره ۳) بدست آورده و در جدول یاداشت نمایید. سپس آهنگ شمارش های اصلاح شده را بر حسب فاصله رسم کنید.

از آنجاییکه برای آهنگ شمارش های اصلاح شده، رابطه (۳) برقرار است:

$$I = \frac{K}{R^2} \qquad (۳)$$

که R فاصله برای اندازه گیری، I آهنگ شمارش اصلاح شده و K یک ثابت است که از روی داده های ثبت شده در جدول (۱) بدست می آید. این مقدار را برای هرکدام از اندازه گیری ها محاسبه کرده و در ستون آخر جدول یادداشت کنید. سپس مقدار میانگین این K را بدست آورده و درصد اختلاف آن با دیگر مقادیر را محاسبه کنید.

سئوالات:

۱- دلایل اختلاف مقادیر K برای اندازه گیری های انجام شده چیست؟

۲- مقدار آهنگ شمارش های اصلاح شده را با مقدار اکتیویته چشمه مقایسه کنید. چه راه حل هایی برای نزدیک تر شدن این مقادیر به هم پیشنهاد می کنید؟

۳- با استفاده از رابطه نظری، مقدار شاری که از چشمه مورد آزمایش (با اکتیویته مشخص) در فاصله ۱ متری در یک دقیقه ایجاد می شود را حساب کنید. حال با توجه به نمودار رسم شده، آهنگ شمارش ها را بر سطح مقطع تقریبی آشکارساز گایگر تقسیم کرده و جواب خود را با شدت محاسبه شده مقایسه کنید. این داده ها در ارتباط با بازده آشکارساز گایگر شما چه چیزی را بیان می کند.

آزمایش شماره (۶)

اندازه گیری اکتیویته یک ماده رادیواکتیو مجهول

هدف: تعیین اکتیویته چشمه گاما نامعلوم با استفاده از آشکارساز گایگر مولر

وسایل مورد نیاز

۱- چشمه پرتوزای گاما (معلوم و نامعلوم)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

فعالیت (اکتیویته) یک چشمه پرتوزا به صورت آهنگ واپاشی آن تعریف می شود و نشان دهنده تعداد واپاشی ها بر واحد زمان است.

$$A = -\frac{dN}{dt}\Big|_{decay} = -\lambda N \qquad (۱)$$

که N تعداد هسته های رادیواکتیو موجود در نمونه در لحظه t است و λ تحت عنوان ثابت واپاشی تعریف می گردد.

$$\text{ثابت واپاشی رادیوایزوتوپ} = \lambda = \left(\ln 2 / T_{\frac{1}{2}}\right) \quad (۲)$$

با انتگرال گیری از رابطه بالا می توان به رابطه (۳) دست یافت.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (۳)$$

که از این طریق می توان با داشتن نیمه عمر یا ثابت واپاشی و اکتیویته اولیه، اکتیویته فعلی یک چشمه را محاسبه کرد.

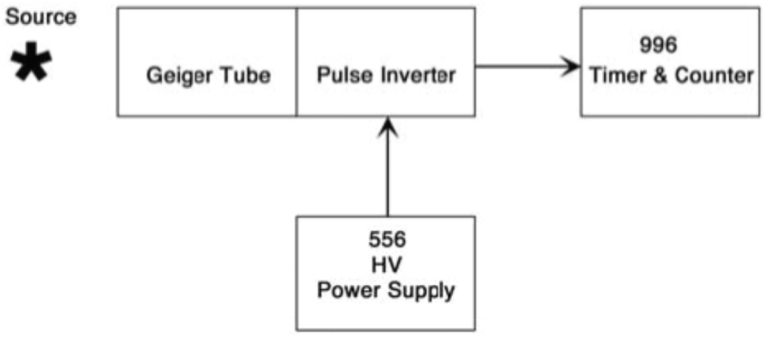
یکای قدیمی اکتیویته، کوری (Ci) بوده است و به صورت دقیقاً 3.7×10^{10} واپاشی بر ثانیه (dps) تعریف می شود که این تعریف از فعالیت یک گرم رادیم ۲۲۶ خالص منشاء گرفته است. مضارب آن، میلی کوری (mCi) یا میکرو کوری (μCi) اغلب یکاهای مناسب تری برای مقیاس های آزمایشگاهی چشمه های رادیواکتیو هستند. هرچند این یکا در متون بسیار استفاده می شود اما درحال جایگزین شدن تدریجی با معادل SI آن بکرل (Bq) است. بکرل بصورت یک واپاشی در ثانیه تعریف می شود که به یکای استاندارد اکتیویته تبدیل شده است. بنابراین رابطه آن با کوری بصورت:

$$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$$

می باشد. باید خاطر نشان کرد که اگرچه بکرل بصورت تعداد اتم های واپاشیده در هر ثانیه تعریف می شود، ولی ای یکا معیاری برای تعیین آهنگ واپاشی نیست. بکرل معیاری است که تنها برای تعیین مقدار ماده پرتوزا بکار می رود. عبارت " در هر ثانیه یک اتم واپاشیده می شود" که در تعریف بکرل بکار رفته است، مترادف با تعداد ذرات گسیل شده از ایزوتوپ پرتوزا در هر ثانیه نیست. لذا آگاهی از طرح واپاشی ایزوتوپ خاص برای به دست آوردن آهنگ گسیل تابش از اکتیویته لازم است. همچنین فروپاشی یک رادیوایزوتوپ می تواند موجب تولید یک محصول دختر گردد که اکتیویته آن نیز در محصول تابش از چشمه سهیم می شود.

نحوه انجام ازمایش:

چیدمان آزمایش را همانند شکل (۱) برقرار کنید. ولتاژ گایگر را در مقدار کاری خود تنظیم کنید.



شکل(۱) : چیدمان انجام آزمایش

برای استفاده از روش نسبی در تعیین مقدار اکتیویته، فرض کنید که انرژی چشمه مجهول، مشخص می باشد. به این منظور، یک چشمه ^{137}Cs با اکتیویته نامعلوم را بعنوان چشمه مجهول با U_1 و یک چشمه ^{137}Cs دیگری با اکتیویته معلوم را بعنوان چشمه استاندارد با S_1 انتخاب کنید.

ابتدا چشمه S_1 را در فاصله 4 cm از پنجره آشکارساز گایگر قرار داده و پس از علامت گذاری جای چشمه، شمارش آن را به مدت ۱۵ دقیقه انجام دهید. سپس چشمه استاندارد را از مقابل آشکارساز برداشته و چشمه U_1 را دقیقا در همان وضعیت قبلی در مقابل گایگر قرار داده و شمارش ها را برای ۱۵ دقیقه ثبت کنید. سپس چشمه مجهول را نیز از مقابل آشکارساز برداشته و شمارش زمینه (B) را برای مدت زمان ۱۵ دقیقه اندازه گیری کنید و تمامی این مقادیر را در جدول (۱) یادداشت کنید.

جدول (۱): داده های اندازه گیری شده

شمارش زمینه (N_B)	شمارش چشمه مجهول (N_{U1})	شمارش چشمه معلوم (N_{S1})	مدت زمان

با استفاده از رابطه (۱) مقدار اکتیویته چشمه مجهول U_1 را محاسبه کنید.

$$\frac{A_{U_1}}{A_{S_1}} = \frac{N_{U_1} - N_B}{N_{S_1} - N_B} \qquad (۱)$$

شمارش ها را با توجه به اعمال زمان مرده آشکارساز گایگر (آزمایش شماره ۳) اصلاح کنید و یکبار دیگر مقدار اکتیویته چشمه مجهول را محاسبه کنید.

خطای اندازه گیری ها را در محاسبات انجام شده، بدست آورید.

سئوالات:

۱- منابع خطا در اندازه گیری اکتیویته در آزمایش انجام شده چه مواردی می تواند باشد؟

۲- چنانچه بخواهیم بدون استفاده از یک چشمه استاندارد، اکتیویته یک چشمه رادیواکتیو مجهول را اندازه گیری کنیم با چه مشکلاتی روبرو هستیم؟ بطور کامل توضیح دهید.

۳- بغیر از واحد هایی که برای اکتیویته در متن ذکر کردیم چه واحد های دیگری برای اکتیویته وجود دارد؟ آنها را تعریف کنید.

۴- اگر چشمه های مورد آزمایش (معلوم و مجهول) در این روش اندازه گیری، از یک نوع ماده رادیواکتیو نباشد چه تاثیری بر اندازه گیری ها می گذارد؟

آزمایش شماره (۷)

اندازه گیری ضریب جذب خطی

هدف: تعیین ضریب جذب خطی، ضخامت نیم لایه (HVT) و ضخامت یکدهم لایه (TVT) برای مواد صفحات حفاظ

وسایل مورد نیاز

۱- چشمه پرتوزای گاما (معلوم و نامعلوم)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

۷- ورقه های جاذب

۸- محفظه قرار گیری ورقه ها

مقدمه:

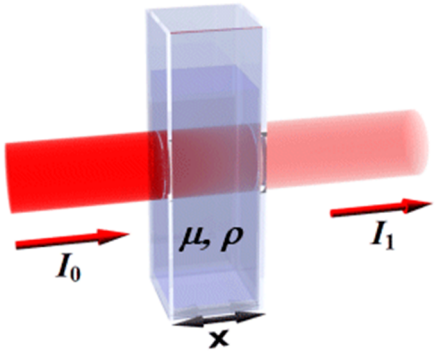
پرتوی گاما در طی عبور از ماده با واکنش های فوتوالکتریک، کامپتون و تولید زوج روبرو می شود. در این بین، شدت تابش به صورت تابعی از ضخامت ماده جاذب کاهش می یابد. به گونه ای که اگر یک دسته پرتوی گامای موازی تک انرژی از یک لایه نازک از ماده عبور کند، شدت تابش عبوری از ماده (I) از رابطه (۱) بدست می آید.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (۱)$$

که I_0 شدت باریکه ورودی، x ضخامت ماده جاذب و μ ضریب جذب خطی برای ماده جاذب است. این رابطه به قانون بیر-لمبرت مشهور است. با مرتب کردن دوباره این رابطه خواهیم داشت.

$$\ln(\frac{I_0}{I}) = \mu x \qquad (۲)$$

در شکل (۱) شماتیکی از تضعیف پرتوهای گاما بعد عبور از ماده نشان داده شده است.



شکل(۱): شماتیکی از تضعیف پرتوهای گاما

مقدار ضخامتی از ماده که در آن شدت به نصف کاهش می یابد، به نام HVL[۲] شناخته می شود و با جایگزاری در رابطه (۲) داریم $\ln(0.5) = -\mu x_{1/2}$. بنابراین با داشتن ضریب جذب خطی، ضخامت نیم مقدار را می توان از رابطه (۳) محاسبه نمود.

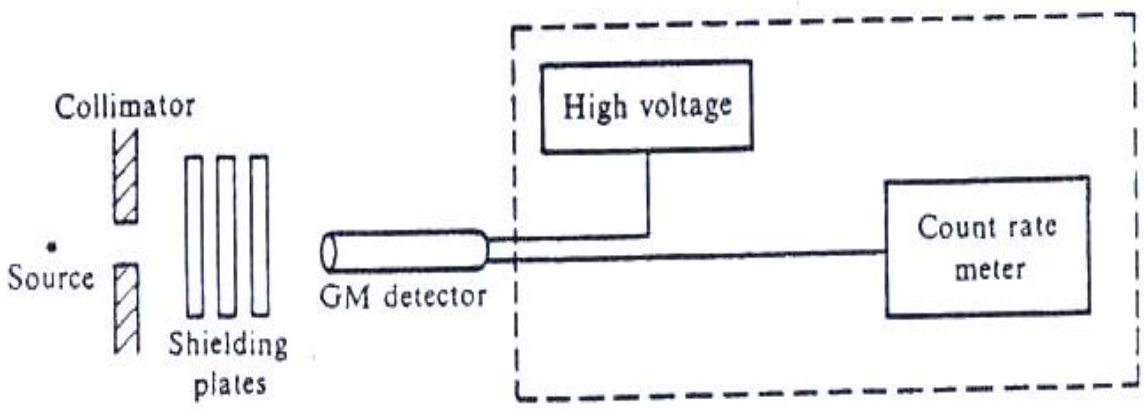
$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \qquad (۳)$$

چنانچه ضخامت x بر حسب cm بیان شود، آنگاه μ نیز بر حسب cm^{-1} بیان می شود که به آن ضریب جذب خطی می گویند. در اغلب اوقات نیز x بر حسب gr/cm^2 بیان می شود که در این صورت μ برحسب cm^2/gr تعریف می شود که به آن ضریب جذب جرمی می گویند.

[2] - half value layer

نحوه انجام آزمایش:

چیدمان آزمایش را همانند شکل (۲) برقرار کنید. ولتاژ گایگر را در مقدار کاری خود تنظیم کنید.



شکل(۲): چیدمان آزمایش اندازه گیری ضریب تضعیف خطی

یک چشمه ^{137}Cs را در فاصله مناسب از گایگر قرار داده و به مدت ۵ دقیقه شمارش های آنرا بعنوان I_0 ثبت کنید. سپس ورقه های سربی با ضخامت های مختلف موجود در جعبه مخصوص را هر بار بطور جداگانه در محفظه بین چشمه و پنجره گایگر قرار داده و بار دیگر در همان مدت زمان، شمارش ها را ثبت کرده را در جدول (۱) یادداشت کنید (بدون آنکه مکان چشمه و آشکارساز تغییر کند). یکبار نیز بدون حضور چشمه و ورقه های سربی، شمارش های زمینه را در همان مدت زمان ۵ دقیقه ثبت کرده و از تمامی شمارش ها کسر کنید. سپس مطابق با رابطه (۲)، منحنی تغییرات $\ln(\frac{I_0}{I})$ را بر حسب ضخامت لایه های سربی رسم کنید. به کمک این منحنی، ضریب جذب جرمی و ضریب جذب خطی پرتوی گامای حاصل از ^{137}Cs را در سرب اندازه گیری نمایید.

جدول (۱): داده های حاصل از اندازه گیری

ضخامت لایه ها	شمارش در زمان ثابت	شمارش منهای زمینه (I)	I_0 / I	$Ln (I_0 / I)$

همین آزمایش را برای ورقه های آلومینیومی هم تکرار کرده و ضریب جذب های جرمی و خطی پرتوی گامای حاصل از ^{137}Cs را در آلومینیوم هم اندازه گیری نمایید.

این مقادیر را با جدول ۲.۵ کتاب سمبر مقایسه کرده و درصد اختلاف آن را محاسبه کنید.

مقدار نیم ضخامت سرب و آلومینیوم را برای چشمه گامای آزمایش شده، بدست آورید.

سئوالات:

۱- ضریب جذب به چه عواملی بستگی دارد؟

۲- آیا رابطه (۱) برای هر جسمی با هر ضخامتی درست است؟

۳- دلایل اختلاف ضریب جذب های اندازه گیری شده با مقادیر موجود در کتاب سمبر چه مواردی می تواند باشد؟ چه راه حل هایی برای نزدیک تر شدن این مقادیر به هم پیشنهاد می کنید؟

آزمایش شماره (۸)

اندازه گیری برد ذرات بتا

هدف: بدست آوردن منحنی جذب ذرات بتا در ماده جاذب و اندازه گیری برد ذره بتا

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه بتازا (^{90}Sr, ^{204}Tl)

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

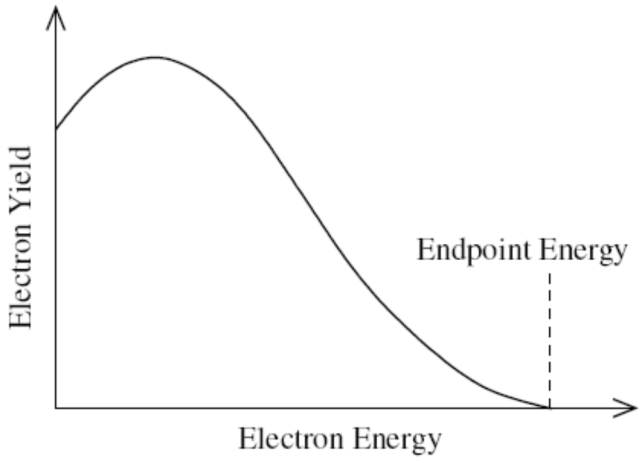
۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

مقدمه:

همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، ذرات بتا دارای طیف انرژی پیوسته هستند. این بدان معنی است که یک ذره بتا ممکن است که هر انرژی از صفر تا یک مقدار ماکزیمم E_{max} را داشته باشد. این مقدار ماکزیمم انرژی توسط تغییر جرم حاصل در واپاشی هسته ای تعیین می شود. انرژی متوسط (E_{mean}) تقریبا برابر با یک سوم انرژی ماکزیمم است. در محاسبه های مربوط به تعیین آهنگ دز از E_{mean} استفاده می شود در حالیکه قدرت نفوذ یا برد ذرات بتا به انرژی ماکزیمم بستگی دارد.



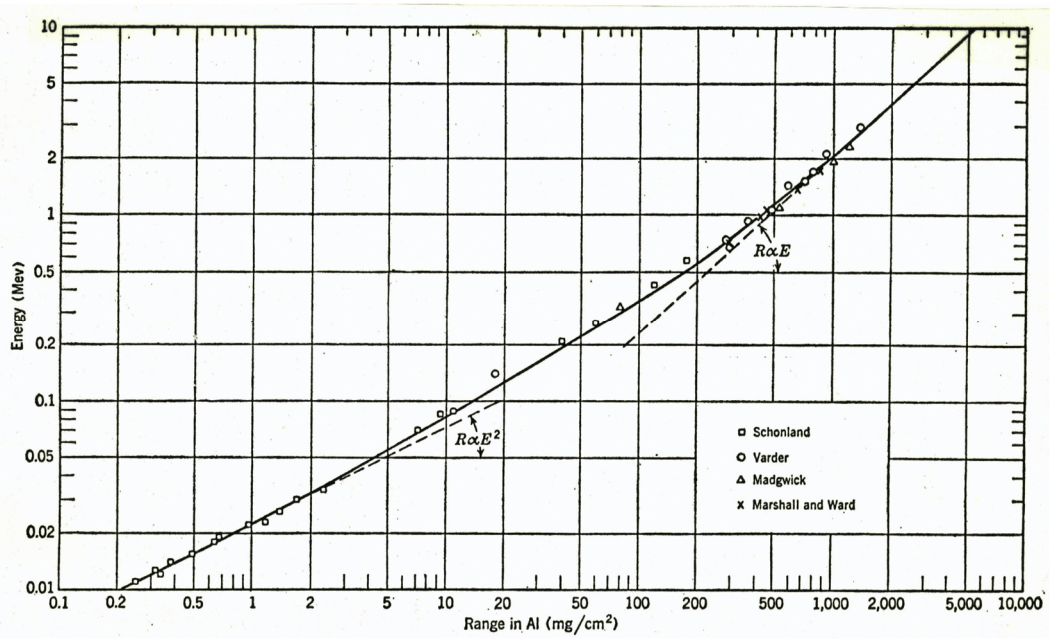
شکل(۱) : طیف انرژی ذرات بتا

یک ذره بتا با انرژی بیش از 0.5 MeV هسته را با سرعتی نزدیک به سرعت نور ترک می کند. اگر از نزدیکی الکترون های یک اتم عبور کند، منحرف می شود و انرژی از دست می دهد. هرچه قدر با تعداد اتم بیشتری برخورد کند، زودتر انرژی از دست می دهد تا آنکه به وسیله اتمی جذب شود. بنابراین هم چگالی و هم ضخامت ماده ای که الکترون از آن عبور می کند، بر فرایند کند شدن الکترون ها اثر دارند. برای مثال، ۱ سانتی متر هوا تقریبا همان اثری را دارد که 0.05 میلیمتر آلومینیوم دارد. جذب ذرات بتا اساسا به تعداد الکترون های موجود در مسیر بستگی دارد و برای اجسام با عدد اتمی پایین تقریبا متناسب با چگالی سطحی است. قدرت جذب ماده بر حسب mg/cm^2 بیان می شود. مقدار ماده لازم جهت متوقف کردن ذره ها بستگی به انرژی ماکزیمم آنها دارد و برد نامیده می شود. برای مثال، یک ذره بتا با انرژی 3 MeV تقریبا بوسیله 6.5 mm آلومینیوم متوقف می شود و برد آن حدودا $1500\ mg/cm^2$ است.

فرمولی که تا انرژی حدود 2.5 MeV صادق است و برد و انرژی را به هم مرتبط می سازد به صورت رابطه (۱) تعریف می شود.

$$R = 4.12E^{(1.265-0.0954\ln(E))} \qquad (۱)$$

که در آن R برد برحسب mg/cm^2 و E انرژی ماکزیمم برحسب MeV است. منحنی (۲) تغییرات برد برحسب انرژی برای ذرات بتا در آلومینیوم را نشان می دهد.



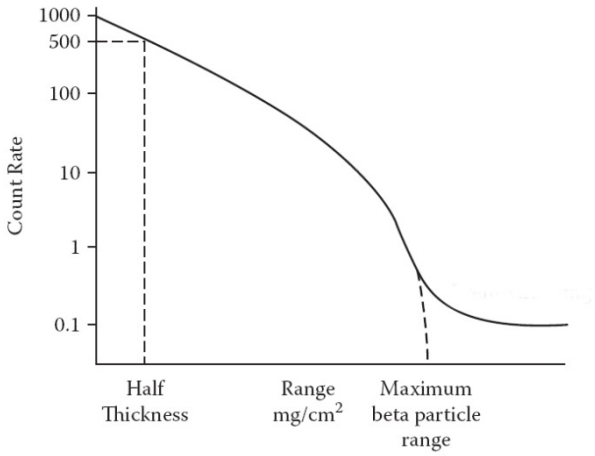
شکل(۲) : رابطه تجربی برد- انرژی برای ذرات بتای جذب شده در آلومینیوم

کمیت $d_{1/2}$ برای جذب ذره بتا، ضخامتی از ماده است که نیمی از ذرات بتا با انرژی ماکزیمم E جذب می شوند و مقدار آن تقریبا 0.1 تا 0.2 برد ذره بتا در آن ماده است و به نام نیم-ضخامت جذب کننده معروف است. آن را می توان از رابطه (۲) محاسبه کرد:

$$d_{1/2} = 45E^{1.5} \qquad (۲)$$

در این رابطه، E برحسب MeV و $d_{1/2}$ برحسب $mg.cm^{-2}$ است.

اگر ورقه هایی از یک ماده سبک (مثل آلومینیوم) بین چشمه گسیل کننده بتا و یک آشکارساز مناسب قرار داده شود، معلوم می شود که در ابتدا با افزایش ضخامت جذب کننده، آهنگ شمارش بتا سریعا کاهش می یابد و سپس میزان کاهش کندتر می شود. سرانجام به ضخامتی از جذب کننده می رسیم که تمامی ذرات بتا را متوقف می کند و از آن پس شمارشگر فقط شمارش زمینه ناشی از تابش محیط را ثبت می کند. منحنی تغییرات لگاریتم آهنگ شمارش برحسب ضخامت ماده جذب کننده به صورت شکل (۳) خواهد بود.



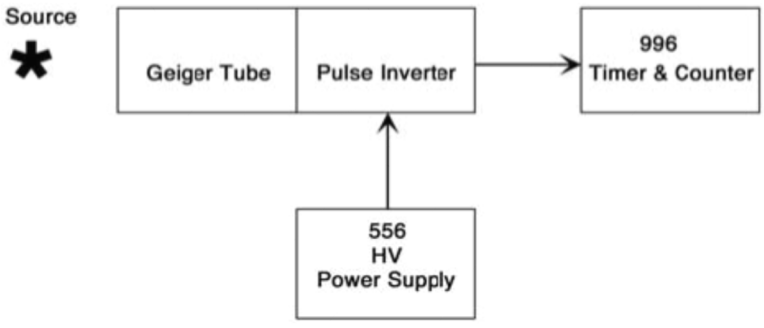
شکل(۳) : شمارش الکترون ها عبوری از ضخامت t ماده

نقطه انتهایی منحنی جذب، جایی که از آن پس دیگر هیچ کاهشی در آهنگ شمارش دیده نشود، نشان دهنده برد ذره بتا در ماده ای است که جذب کننده از جنس آن ساخته شده است. معمولا این برد را از برون یابی خطی منحنی عبور ذرات بتا تا نقطه تلاقی با شمارش های زمینه بدست می آورند.

شکل این منحنی به طیف انرژی بستگی دارد و برای الکترون های تک انرژی به صورت یک خط راست است.

نحوه انجام آزمایش:

در این آزمایش از آشکارساز گایگر دیواره نازک (thin wall) برای شمارش ذرات بتا استفاده خواهیم کرد. چیدمان آزمایش را همانند چیدمان گایگر معمولی در شکل (۳) برقرار کرده و ولتاژ منبع را برابر با ولتاژ کاری آشکارساز تنظیم نمایید.



شکل(۳) : چیدمان انجام آزمایش

چشمه بتا گسیل کننده ^{90}Sr یا ^{204}Tl را در مقابل آشکارساز قرار داده و شمارش های آن را برای مدت زمان ۲ دقیقه ثبت کنید سپس ورقه های آلومینیومی را از جعبه مخصوص برداشته و بطور جداگانه بین چشمه و آشکارساز قرار دهید و شمارش های ثبت شده در آشکارساز را برای همان مدت زمان ۲ دقیقه در جدول (۱) یادداشت کنید. شمارش های زمینه را نیز بدون حضور چشمه برای مدت زمان ۲ دقیقه اندازه گیری کنید سپس از شمارش های بدست آمده از هر ضخامت کسر نمایید.

جدول (۱) : داده های اندازه گیری شده

زمان ثبت شمارش	شمارش منهای زمینه	شمارش در زمان ثابت	ضخامت لایه ها

از روی این داده ها، منحنی تغییرات لگاریتمی شمارش ها را بر حسب ضخامت رسم کنید. سپس برد ذرات بتا با انرژی ماکزیمم را از روی منحنی تعیین کنید. با استفاده از منحنی (۲) انرژی ماکزیمم ذرات بتای چشمه مورد آزمایش را بدست آورید. در صورتیکه E_{max} مساوی یا کمتر از 2.5 MeV است، صحت رابطه (۱) را تحقیق کنید.

با استفاده از رابطه (۲) نیم-ضخامت برای جذب ذرات بتای چشمه فوق در ماده جاذب (آلومینیوم) را حساب کنید و نسبت نیم-ضخامت به برد ذرات بتا با انرژی ماکزیمم را تعیین کنید.

سئوالات:

۱- منحنی تغییرات لگاریتم آهنگ شمارش برحسب ضخامت ماده جذب کننده برای پوزیترون ها چه تفاوتی با منحنی الکترون ها دارد؟

۲- به کمک آزمایش فوق چگونه می توانید چشمه های پرتوزای β^+ را از چشمه های پرتوزای β^- تمیز دهید؟

۳- در منحنی جذب چشمه هایی که تنها از طریق تابش بتای خالص (بدون گاما) واپاشی می کنند دارای دمی است مانند آنچه در شکل (۳) نشان داده شده است. علت وجود این دم چیست؟

۴- طرح واپاشی چشمه هایی که تنها از طریق تابش بتای خالص واپاشی می کنند چگونه است؟

۵- برای حفاظت در برابر پرتوهای بتا چه نوع موادی بیشتر مناسب هستند؟ با ذکر دلیل.

آزمایش شماره (۹)

اندازه گیری نیمه عمر به روش فعالسازی نوترونی

هدف: تعیین نیمه عمر رادیوایزوتوپ های نقره با استفاده از فعالسازی نوترونی

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه نوترونی Ra-Be

۲- منبع HV

۳- آشکارساز گایگرمولر

۴- تایمر/شمارنده

۵- کابل های مخصوص اتصالات

۶- معکوس کننده پالس

۷- پولک نقره

مقدمه:

مواد رادیواکتیو را معمولا می توان با بمباران نمونه های مختلف با ذرات باردار یا نوترون ها تولید نمود. مرسوم ترین روش، استفاده از نوترون های حرارتی برای بمباران نمونه می باشد. برای حصول به شار بالای نوترونی باید از راکتورها استفاده کرد. شتابدهنده های مناسب نیز می توانند شار نوترونی نسبتا بالایی را تولید نمایند. نوع دیگری از چشمه های نوترونی، چشمه های رادیوایزوتوپی هستند که معمولا در آزمایشگاه های آموزشی به منظور فعالسازی و آزمایش های نوترونی مورد استفاده قرار می گیرند.

اگر نمونه ای یک ماده به منظور فعالسازی و تولید ماده رادیوکتیو توسط نوترون ها بمباران شود و ماده رادیواکتیوی با آهنگ یکنواخت Q تولید شود، آنگاه ماده رادیواکتیو با آهنگ $-\lambda N$ واپاشی می نماید (N تعداد هسته های رادیواکتیو موجود است). بنابراین آهنگ خالص تغییرات N برابر است با

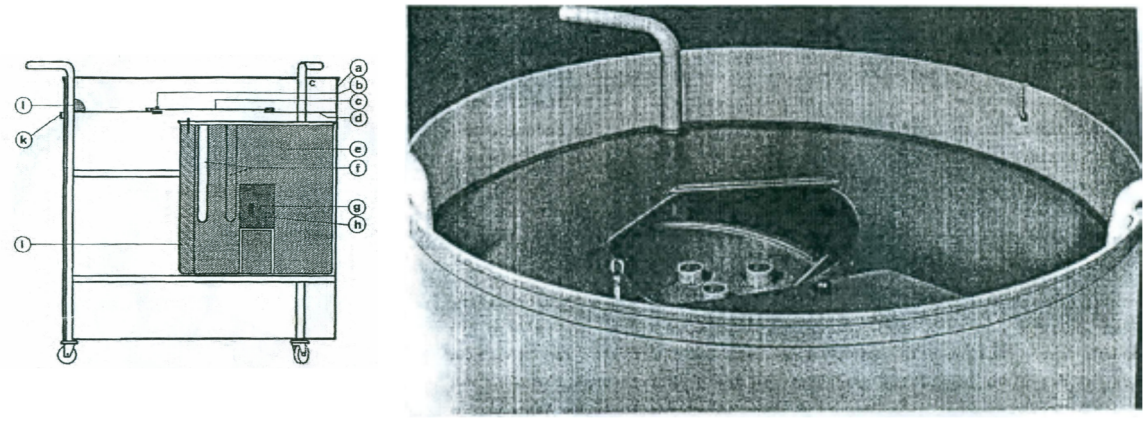
$$\frac{dN}{dt} = Q - \lambda N \qquad (۱)$$

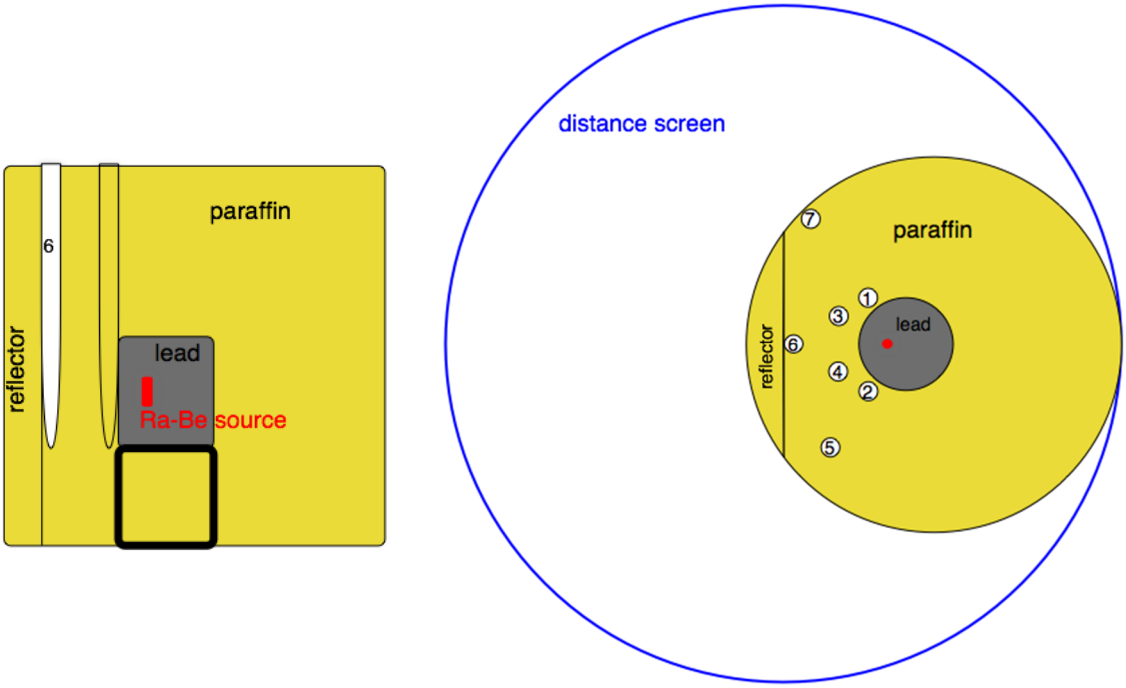
با تغییر متغیر و انتگرال گیری از این رابطه و همچنین با فرض اینکه در لحظه $t=0$ ، $N_0 = 0$ باشد، خواهیم داشت:

$$N = \frac{Q}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) \qquad (۲)$$

همانطوریکه از این معادله پیداست، چنانچه نمونه را به اندازه ۲ یا ۳ نیمه عمر بمباران کنیم، به ترتیب 0.75 یا 0.875 مقدار $\frac{Q}{\lambda}$ که همان N_{max} است، خواهد شد. بنابراین از نظر اقتصادی هم چندان به صرفه نیست که نمونه را بیش از ۳ برابر نیمه عمر بمباران کنیم. بدیهی است که ماده رادیواکتیو پس از قطع بمباران با توجه به ضریب ثابت واپاشی خود، واپاشی می نماید.

چشمه مورد استفاده در این آزمایش، چشمه نوترونی از نوع Ra-Be با اکتیویته ۳ میلی کوری می باشد. این چشمه در حدود 5×10^4 نوترون در ثانیه تولید می کند. همانطوریکه در شکل (۱) نشان داده شده است این چشمه در داخل یک مخزن استوانه قرار داده شده و برای کند کردن نوترون ها از پارافین استفاده شده است. ۷ کانال در اطراف چشمه جهت انجام آزمایش های مختلف تعبیه شده است. قطر کانال ها 3 cm و عمق آنها 20 cm می باشد. کانال های ۱ الی ۴ دارای شار نوترونی در حدود 10^2 n/cm^{2}s ، کانال های ۵ و ۶ دارای شار نوترونی 50 n/cm^{2}s و کانال ۷ دارای شار نوترونی حدود 25 n/cm^{2}s می باشند.





شکل(۱) : ساختار چشمه نوترونی Ra-Be موجود در آزمایشگاه مربوط به شرکت Leybold آلمان

نحوه انجام ازمایش:

در این آزمایش از نمونه نقره جهت بمباران نوترونی و ساخت ماده رادیواکتیو استفاده کرده و سپس نیمه عمر آن را اندازه گیری خواهید کرد. با توجه به اینکه نقره طبیعی دارای رادیوایزوتوپ های پایدار ^{107}Ag و ^{109}Ag است بنابراین نحوه برهمکنش نوترون های حرارتی با نقره بصورت زیر می باشد:

$$^{107}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{108}_{47}Ag + \gamma \qquad ^{107}Ag\ (n,\gamma)\ ^{108}Ag$$

$$^{109}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{110}_{47}Ag + \gamma \qquad ^{109}Ag\ (n,\gamma)\ ^{110}Ag$$

که ^{108}Ag دارای نیمه عمر 2.39 min و ^{110}Ag دارای نیمه عمر 24.6 s است.

در اینجا چون دو اکتیویته همزمان وجود دارد و کاملا مستقل از هم واپاشی انجام می دهند، لذا داریم:

$$N = N'_0 e^{-\lambda' t} + N''_0 e^{-\lambda'' t} \qquad (۳)$$

که در این رابطه N'_0 ، λ' ، N''_0 و λ'' به ترتیب کمیت های اولیه و ثابت های واپاشی برای دو ایزوتوپ نقره هستند. اندازه گیری آهنگ شمارش و رسم منحنی تغییرات آن بر حسب زمان برای یک نمونه بمباران شده به شما اجازه خواهد داد که نیمه عمر ایزوتوپ و یا ایزوتوپ های تشکیل شده را اندازه گیری کنید.

برای انجام این آزمایش ابتدا زمینه آزمایش را در مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از آشکارساز گایگر شمارش نمایید. با قرار دادن سرب در اطراف آشکارساز گایگر می توانید از مقدار زمینه تا حدود قابل توجهی بکاهید. یک نمونه نقره را در یکی از کانال های ۱ تا ۴ قرار دهید و پس از گذشت ۱۵ دقیقه، به سرعت نمونه را خارج کرده و در مقابل آشکارساز گایگر دیواره نازک قرار دهید. سپس هر ۱۰ ثانیه یکبار شمارش ها را به مدت ۱۰ دقیقه ثبت کنید. سپس نمونه نقره را در یکی از کانال های ۵ و ۶ قرار داده و پس از گذشت ۱۵ دقیقه، به سرعت نمونه را خارج کرده و در مقابل آشکارساز قرار داده و یکباردیگر شمارش های آن را برای مدت ۱۰ دقیقه ثبت کنید. همین عمل را با قرار دادن نمونه در کانال شماره ۷ انجام داده و اینبار پس از گذشت ۲۰ دقیقه، نمونه را خارج کرده و شمارش های آنرا در مدت زمان ۸ دقیقه ثبت کنید. شمارش ها را برای تابش زمینه و زمان مرده، اصلاح کنید و سپس آهنگ شمارش را بدست آورید. نتایج را در جدول (۱) یادداشت کنید.

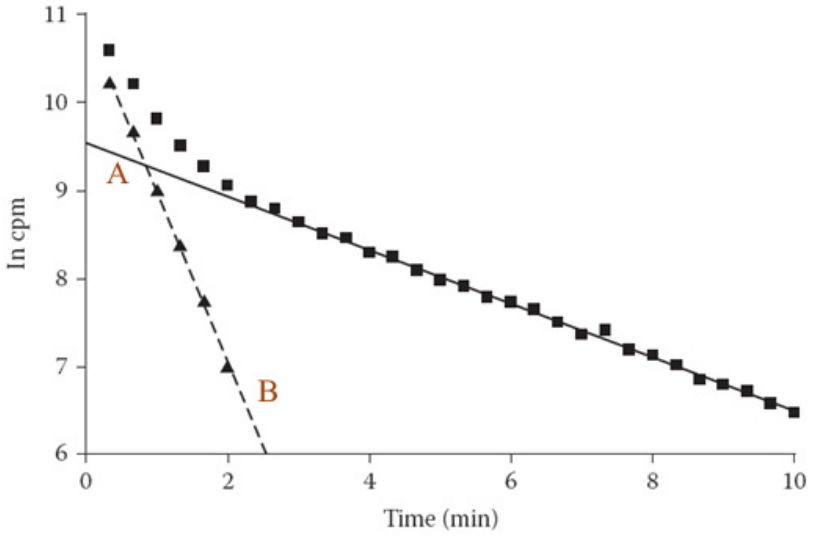
جدول (۱) : داده های حاصل از اندازه گیری

زمان	شمارش	آهنگ شمارش اصلاح شده (R)	Ln (R)

تغییرات $\ln(R)$ را بر حسب زمان رسم کنید. در اینجا آهنگ شمارش ها مربوط به مجموع اکتیویته ها رادیوایزوتوپ های نقره است که نمودار آن مانند شکل (۲) خواهد بود ($A_{total} = A_{Ag-108} + A_{Ag-110}$)

بهترین خط را از نقاط انتهایی منحنی عبور داده (داده های مربوط به بعد از ۳ دقیقه) و آن را ادامه دهید تا محور قائم را قطع کند (خط A مربوط به ایزوتوپ با نیمه عمر بیشتر). این خط را نقطه به نقطه از داده های مربوط به منحنی کلی کم کنید تا خط B (مربوط به ایزوتوپ با نیمه عمر کمتر) بدست آوید. در کم کردن داده ها دقت شود که شمارش های R از هم کم شود.

محل تلاقی این خطوط با محور عمودی، تعیین کننده اکتیویته های اولیه N'_0 و N''_0 بوده و شیب این خطوط، ضرایب ثابت واپاشی λ' و λ'' را ارائه خواهند داد. به کمک این ضرایب، زمان نیمه عمر ایزوتوپ های تولید شده نقره را محاسبه کنید.



شکل ۲: اکتیویته مربوط به دو هسته رادیواکتیو با واپاشی مستقل از هم بر حسب زمان

سئوالات:

۱- بعد از گذشت زمانی معادل با یک نیمه عمر، چند درصد از اکتیویته یک هسته پرتوزا باقی می ماند؟ بعد از گذشت هفت نیمه عمر چطور؟ بعد از گذشت ده نیمه عمر چطور؟

۲- اگر عنصر Nd مورد بمباران نوترونی قرار بگیرد، چه ایزوتوپ های پرتوزایی ممکن است تولید شوند؟

۳- آیا می توان این آزمایش را با استفاده از ورق گالیومی به جای نقره انجام داد؟ دلیل خود را توضیح دهید.

۴- با استفاده از داده های بدست آمده در آزمایش، اکتیویته ^{110}Ag را در ۳ دقیقه محاسبه کنید. آیا این مقدار در مقابل اکتیویته کل نقره قابل صرفه نظر است؟

۵- اگر یک عنصر مجهول توسط نوترون ها بمباران شود، چگونه می توان تشخیص داد که یکی یا بیش از یک نوع هسته رادیواکتیو تولید شده است؟

۶- پرتودهی در کانال های مختلف محفظه چشمه نوترونی در این آزمایش چه تفاوت هایی با هم دارند؟

آزمایش شماره (۱۰)

طیف نگاری پرتوهای گاما با استفاده از تحلیلگر تک کاناله (SCA)

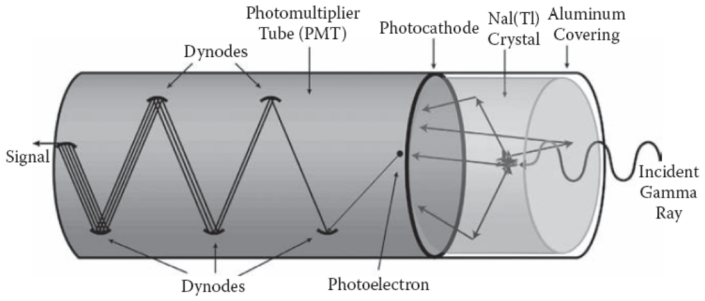
هدف: بدست آوردن طیف پرتوهای گامای ^{60}Co از طریق شمارش پرتوهای ثبت شده در آشکارساز سوسوزن NaI در و ثبت آنها توسط تحلیلگر تک کاناله

وسایل مورد نیاز:

۱- چشمه گامازای ^{60}Co
۲- آشکارساز سوسوزن NaI
۳- منبع HV
۴- دستگاه تایمر / شمارنده
۵- تقویت کننده
۶- کابل های مخصوص اتصالات
۷- تحلیلگر تک کاناله (SCA)

مقدمه:

آشکارسازهای سوسوزن، موادی به صورت جامد ، مایع و یا گاز هستند که وقتی تابش یونـنده از آن‌ها می گذرد تولید جرقه یا نور می‌کنند .این آشکارسازها در اندازه‌ها و اشکال گوناگونی قابل دسترسی هستند. در این آشکارسازها به منظور تبدیل نور تولید شده به پالس الکتریکی معمولا از PMT (تیوب تشدیدکننده نوری) استفاده می شود که در تماس مستقیم با ماده سوسوزن قرار می گیرد. نمایی داخلی از یک آشکارساز سوسوزن در شکل (۱) نشان داده شده است.



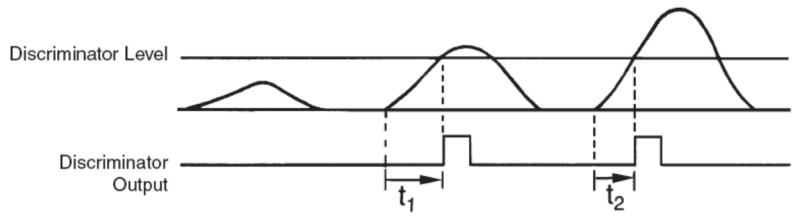
شکل ۱: نمایی از آشکارساز سوسوزن به همراه PMT و اجزای آن

در بین کلیه سوسوزن‌های رایج بلور NaI(Tl) که با تالیوم فعال شده است بیش‌ترین کـاربرد را دارد . اگرچـه این آشکارساز قدرت تفکیک انرژی خوبی ندارد اما بازده آن نسبت به انواع دیگر آشکارسازها زیاد است. پـالس خروجی آند این آشکارساز از مرتبه میکروثانیه است. از این آشـکار سـاز مـی تـوان بـه منظـور طیـف نگـاری پرتوهای هسته ای و تشخیص عناصر استفاده کرد.

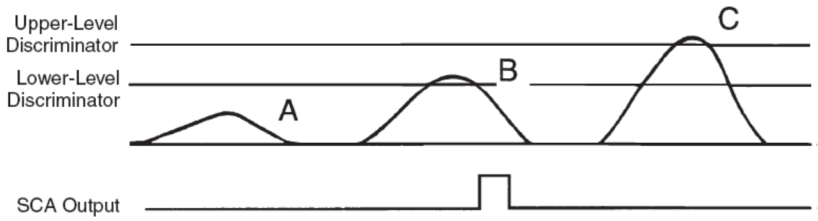
طیف سنج های هسته ای معمولا بر دو نوع هستند:تحلیل گر تک کاناله (SCA) و تحلیلگرهـای چنـد کانالـه (MCA). تحلیلگر تک کاناله (Single Channel Analyzer) دستگاهی است کـه پـالس هـا را بـر اسـاس ارتفاع آن‌ها ثبت و خیره می‌کند . یک واحد انباشت یا کانال در آن موجود می باشد. یعنی تمـام پـالس هـای دریافتی را در یک کانال قرار می دهد. نمایی از این دسـتگاه در مربـوط بـه کمپـانی ORTEC در شـکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲: نمایی از دستگاه تحلیلگر تک کاناله (SCA) ساخت کمپانی ORTEC

خروجی این دستگاه یک پالس منطقی به ازای پالس های ورودی است که بالاتر از سطح آستانه یا تبعیضگر آن باشند. این سطح تبعیضگر را می توان به دو طریق، سطح تبعیضگر انتگرالی و دیفرانسیلی مشخص نمود. همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده است، حالت انتگرالی که دارای یک سطح تبعیضگر می باشد را می توان با قرار دادن بر روی حالت INT تنظیم نمود و حالت دیفرانسیلی که دارای دو سطح تبعیضگر می باشد را می توان با قرار دادن بر روی حالت WINDOW تنظیم کرد. برای حالت دیفرانسیلی، دو سطح تبعیض مستقل از هم دارد و پالس خروجی آن تنها زمانی تولید می شود که دامنه پالس ورودی بین دوسطح تبعیض تعیین شده قراربگیرد. دو کلید برای تعیین این پنجره در پنل جلویی دستگاه تعبیه شده است. که یکی ولتاژ پایینی (LLD) و دیگری ولتاژ بالایی (ULD) این پنجره را تعیین می کند.



الف

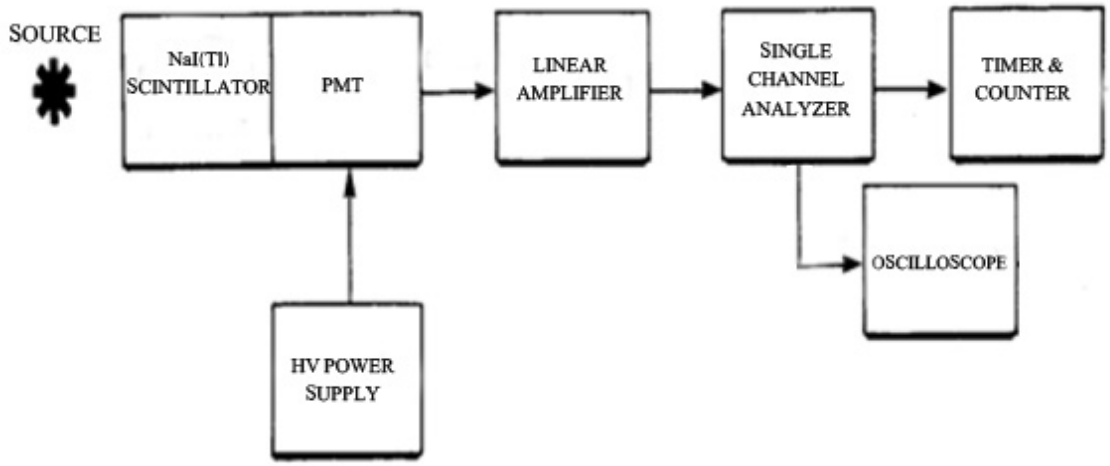


ب

شکل(۳): الف) خروجی تبعیضگر برای حالت انتگرالی ب) خروجی تبعیضگر برای حالت دیفرانسیلی

نحوه انجام آزمایش:

چیدمان آزمایش را همانند شکل (۴) برقرار کنید. ولتاژ آشکارساز NaI را با توجه به نوشته روی بدنه آن و با دقت زیاد در مثبت و منفی بودن آن تنظیم کنید.



شکل ۴: چیدمان بدست آوردن طیف چشمه با استفاده از تحلیلگر تک کاناله (SCA)

چشمه گامازای ^{60}Co را در مقابل آشکارساز سوسوزن قرار داده و سیگنال خروجی تقویت کننده را به یک اسیلوسکوپ دهید. پیچ بهره تقویت کننده را بگونه ای تنظیم کنید که حداکثر دامنه سیگنال مشاهده شده در اسیلوسکوپ به ۹ ولت برسد. سپس خروجی تقویت کننده را به SCA وصل نموده و پیچ تنظیم LLD و ULD را در کمترین حالت خود قرار دهید. سپس پیچ تنظیم ULD را به مقدار 0.1 V افزایش داده و شمارش های را برای مدت زمان ۳۰ ثانیه در شمارنده ثبت کنید. این افزایش سطح تبعیضگر به مقدار 0.1 V را تا ثبت ۱۰۰ اندازه گیری در بازه های زمانی ۳۰ ثانیه ادامه دهید و مقادیر را مطابق با جدول (۱) یادداشت کنید. از آنجاییکه شمارش ها در هر مرحله متناظر با مجموع پالس ها با دامنه بیشتر از LLD و کمتر از ULD است، بنابراین برای بدست آوردن شمارش در هر کانال، بایستی شمارش بدست آمده در هر مرحله را از مرحله قبل کم کنید. به این ترتیب تعداد شمارش هر کانال به دست می آید.

جدول ۱: داده های اندازه گیری شده

شمارش هر کانال	زمان	شمارش	ولتاژ

طیف پرتوهای گامای آشکارسازی شده در سوسوزن را با رسم نمودار شمارش بر حسب کانال نشان داده و قله های موجود در طیف را با توجه به اندرکنش های گاما، تحلیل نمایید.

سئوالات:

۱- آیا در آزمایش شماره ۹ می توان از NaI بجای گایگر مولر استفاده کرد؟ به طور خلاصه توضیح دهید.

۲- بازده ای آشکارساز NaI در مقایسه با آشگارساز گایگر-مولر چه مقدار است؟

۳- چگونه می توان به کمک طیف های بدست آمده در این آزمایش، انرژی گاماهای مختلف را اندازه گیری کرد؟

۴- آیا در طول آزمایش می توان مقدار تقویت سیگنال خروجی از آشکارساز را تغییر داد؟ دلیل خود را توضیح دهید.