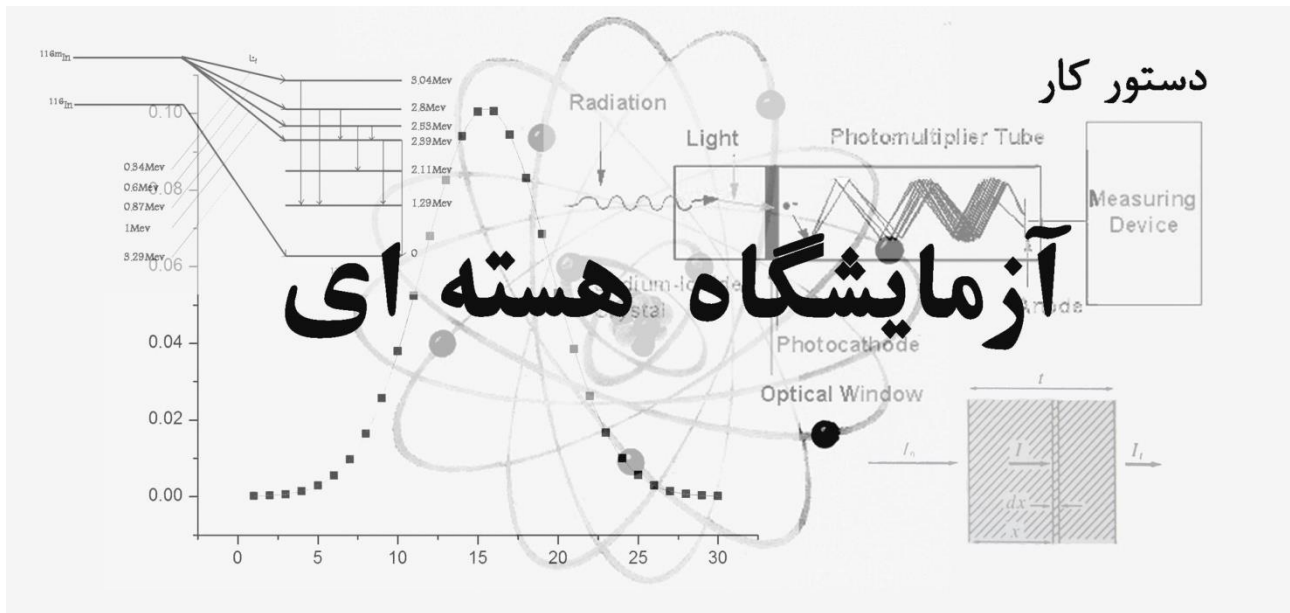


بسمه تعالی



دانشگاه اصفهان

دانشکده فیزیک



مخصوص دانشجویان:

«کارشناسی فیزیک»

تهیه و تنظیم

محمد رضا عبدی

مجید شکرانه

۱۳۹۹

به نام خدا

پیش‌گفتار

آزمایشگاه هسته‌ای از جمله آزمایشگاه‌هایی است که به وسیله‌ی آزمایش‌هایی نه چندان پیچیده، ما را با مفاهیم پیچیده رخدادهای هسته‌ای آشنا می‌کند. هدف کلی از انجام آزمایش‌ها، آشنایی عملی با مفاهیم فیزیک هسته‌ای و آشکارسازهای تابش است که در دروس نظری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

به دلیل آن که دستورکار قبلی از سال ۱۳۷۵ تاکنون بدون تجدید نظر و اصلاح مورد استفاده قرار گرفته بود، در نتیجه در تابستان ۱۳۸۶ بر آن شدیم تا تجدید نظر کلی و تغییرات اساسی را در این دستور کار صورت دهیم. این دستورکار در پاییز ۱۳۹۹، ویرایش، حروف‌چینی و صفحه‌آرایی مجدد گردیده است.

دستورکار پیش روی شما شامل ۱۲ آزمایش است و به گونه‌ای مرتب شده اند که نتایج هر آزمایش در آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به خصوص نتایج آزمایش‌های اول و دوم که تقریباً در تمام آزمایش‌های بعدی مورد استفاده است. آزمایش‌های ۸ تا ۱۰ نیز به گونه‌ای تنظیم شده است که دانشجو هر چند مختصر با نحوه‌ی کار با دستگاه MCA و آشکارساز سوسوزن آشنا شود. اگرچه نتایج عددی به دست آمده از آزمایش‌ها اهمیت دارد ولی هدف اصلی در این آزمایشگاه درک فرآیند آزمایش، نحوه آنالیز داده‌ها، یافتن عوامل خطا، اندازه‌گیری میزان خطا و یافتن راه‌حلی برای کاهش خطا است. بنابر این خواسته‌ها و پرسش‌های آزمایش‌ها بر این اساس تنظیم شده است.

با توجه به گسترش روزافزون استفاده از کامپیوتر در فعالیت‌های آزمایشگاهی، لازم است تا دانشجویان با کاربرد نرم افزارهای مختلف محاسباتی در آنالیز داده‌ها آشنا شوند. اگرچه به ظاهر ممکن است در بسیاری از آزمایش‌های این دستور کار نیازی به استفاده از نرم‌افزارهای محاسباتی احساس نشود، ولی بهتر است حتی‌الامکان برای انجام محاسبات، رسم نمودارها و برازش منحنی‌ها از این گونه نرم‌افزارها بهره‌گیری شود. به خصوص در آزمایش ۳ و آزمایش‌های ۸ تا ۱۰ که نیاز به برازش نمودارها با منحنی‌های پیچیده‌تر هستید، نرم‌افزار Origin توصیه می‌شود.

اگر چه در تنظیم این دستور کار دقت و وقت زیادی گذاشته شده است و دستورکار هر آزمایش بعد از انجام دقیق آزمایش و آنالیز داده‌های آن تنظیم شده است، ولی مسلماً خالی از اشکال نخواهد بود. لذا از شما دانشجویان و اساتید محترم تقاضا می‌کنیم تا در صورت هر گونه کاستی و نارسایی، با راهنمایی خود ما را آگاه نمایید تا در اسرع وقت نسبت به تصحیح آن اقدام نماییم.

باتشکر

محمدرضا عبدی

عضو هیئت علمی دانشکده‌ی فیزیک

پاییز ۱۳۹۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	۲
فهرست مطالب.....	۳
مقدمه.....	۴
الف) چشمه‌های رادیواکتیو.....	۴
ب) آشکارسازهای تابش هسته‌ای.....	۶
ج) حفاظت در برابر پرتو.....	۱۰
آزمایش شماره‌ی ۱: تکنیک‌های اندازه‌گیری با شمارنده‌ی گایگرمولر.....	۱۳
آزمایش شماره‌ی ۲: اندازه‌گیری قدرت تفکیک زمانی آشکارساز گایگرمولر.....	۱۷
آزمایش شماره‌ی ۳: توزیع آماری تشعشعات حاصل از مواد رادیواکتیو.....	۲۱
آزمایش شماره‌ی ۴: اندازه‌گیری اکتیویته‌ی مجهول ماده‌ی رادیواکتیو (روش نسبی).....	۲۷
آزمایش شماره‌ی ۵: تحقیق قانون عکس مجذوری فاصله.....	۳۱
آزمایش شماره‌ی ۶: بررسی جذب پرتو گاما در سرب آلومینیوم.....	۳۶
آزمایش شماره‌ی ۷: اندازه‌گیری برد ذرات آلفا در هوا.....	۴۲
آزمایش شماره‌ی ۸: طیف‌نگاری پرتوی گاما با استفاده از آشکارساز سوسوزن.....	۴۵
آزمایش شماره‌ی ۹: اندازه‌گیری اکتیویته‌ی مجهول ماده‌ی رادیواکتیو به کمک طیف انرژی گاما.....	۵۲
آزمایش شماره‌ی ۱۰: اندازه‌گیری ضریب جذب جرمی با استفاده از طیف پرتوی گاما.....	۵۶
آزمایش شماره‌ی ۱۱: برد ذرات بتا و انرژی ماکزیمم آن‌ها.....	۵۹
آزمایش شماره‌ی ۱۲: رادیواکتیو القایی و محاسبه‌ی نیمه عمر.....	۶۵
پیوست «الف»: نحوه‌ی نوشتن گزارش کار.....	۶۹
پیوست «ب»: دستگاه شمارنده‌ی دیجیتالی.....	۷۰
پیوست «ج»: تحلیل گرهای چندکاناله (MCA).....	۷۲
منابع.....	۷۷

مقدمه

الف) چشمه‌های رادیواکتیو

بیش از ۹۲ عنصر در طبیعت وجود دارند که عناصری ناپایدارند و می‌توانند به عناصر دیگری تبدیل شوند. تابش‌هایی که از این هسته‌ها گسیل می‌شود، به شکل ذره یا موج است و باعث می‌شود تا عنصر به حالت پایدارتری برسد. تابش‌ها بر اساس خاصیت یونیدگی آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. تابش‌های الکترومغناطیسی که طول موج‌هایی در حدود 10 nm و بیشتر دارند تابش‌های غیریوننده بوده و تابش‌هایی که در محدوده‌ی پرتوهای گاما و ایکس قرار می‌گیرند و همچنین برخی از ذرات اتمی و زیراتمی مانند الکترون، آلفا و ... را نیز شامل می‌شوند، تابش‌های یوننده هستند. در آشکارسازهای هسته‌ای با این نوع از تابش‌ها سر و کار داریم. در زندگی روزمره با مواد پرتوزای زیادی برخورد می‌کنیم. در جدول ۱ برخی از مواد رادیواکتیو و کاربرد آن‌ها را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱: نمونه‌ی کاربردهای رادیوایزوتوپ‌ها

نمونه‌ی کاربرد	رادیوایزوتوپ
<ul style="list-style-type: none"> ■ استفاده در آشکارسازهای خانگی دود ■ اندازه‌گیری میزان سرب 	^{241}Am
<ul style="list-style-type: none"> ■ تحقیقات مربوط به سرطان ■ شناسایی مواد منفجره در اماکن عمومی ■ اندازه‌گیری رطوبت خاک ■ راه‌اندازی فعالیت رآکتور 	^{252}Cf
<ul style="list-style-type: none"> ■ درمان سرطان ■ استریل کردن وسایل جراحی ■ تست نقاط جوشکاری شده ■ بررسی عیوب داخلی اجسام 	^{60}Co
<ul style="list-style-type: none"> ■ نشانه‌گذاری در پزشکی 	^{131}I
<ul style="list-style-type: none"> ■ آزمایش یکپارچگی در لوله‌های انتقال، بویلرها و قطعات هواپیما 	^{131}Ir
<ul style="list-style-type: none"> ■ رنگ‌های درخشان ■ نشانه‌گذاری مولکول‌ها در تحقیقات علمی 	^3H

اما چشمه‌ها را می‌توان از جهت نوع پرتوهای گسیلی دسته‌بندی کرد:

- **چشمه‌های فوتونی:** این دسته از چشمه‌ها شامل ایزوتوپ‌ها، واکنش‌های هسته‌ای و تابش ترمزی است. بسیاری از رادیوایزوتوپ‌ها پرتوی گاما گسیل می‌کنند که از آن جمله می‌توان به ^{60}Co و

^{22}Na اشاره کرد. اگر نیاز به پرتوهای گاما با انرژی بیش‌تری باشد آن را با واکنش‌های هسته‌ای تولید می‌کنند. از این نمونه می‌توان به ^3H اشاره کرد که انرژی در حدود 19.8 Mev دارد. تابش‌های ترمزی با استفاده از شتاب‌دهنده‌ها ایجاد می‌شود؛ مثلاً الکترون‌ها را تا میزان معینی شتاب می‌دهند و به هدف می‌تابانند. از این روش برای فعال سازی نمونه‌های بسیار بزرگ بهره می‌گیرند.

- **چشمه‌های ذرات باردار:** بجز برخی از رادیوایزوتوپ‌ها که پرتوی آلفا از خود گسیل می‌کنند، مابقی چشمه‌ها می‌توانند هر نوع ذره‌ی باردار را گسیل کنند.
- **چشمه‌های نوترون:** شامل رآکتورها و شتاب‌دهنده‌هاست. رآکتورهای هسته‌ای کاربرد زیادی دارند و شاری از نوترون، که عموماً نوترون گرمایی‌اند، ایجاد می‌کنند. با پرتودهی یک نمونه‌ی ایزوتوپی می‌توان آن را فعال کرد. شتاب‌دهنده‌ها نیز با استفاده از ذرات باردار، نوترون‌های سریع تولید می‌کنند. اما چشمه‌های ایزوتوپی عموماً از طریق شکافت خودبه‌خودی، نوترون گسیل می‌کنند. ^{252}Cf تنها چشمه‌ی گسیلنده‌ی خودبه‌خودی نوترون است.

چشمه‌های موجود در آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای دانشگاه اصفهان به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- چشمه‌های آلفا مانند ^{241}Am و ^{226}Ra .
- چشمه‌های بتا مانند ^{90}Sr .
- چشمه‌های گاما مانند ^{60}Co و ^{22}Na .
- چشمه‌های نوترونی از نوع Pu-Be و Am-Be.

این چشمه‌ها از نوع قلمی، نقطه‌ای و معمولی هستند و همگی از انواع چشمه‌های بسته‌اند که در صورت رعایت نکات ایمنی خطر آلودگی ندارد (شکل ۱ و ۲). چشمه‌های معمولی به دلیل اکتیویته‌ی بالاتر در حفاظ‌های سربی و چشمه‌های قلمی در یک جایگاه سربی نگهداری می‌شوند. حداکثر اکتیویته‌ی اسمی چشمه‌های گاما در این آزمایشگاه، ۱۰ میکروکوری است.



شکل ۲: نمونه‌ای از چشمه‌های قلمی



شکل ۱: نمونه‌ای از چشمه‌های نقطه‌ای

ب) آشکارسازهای تابش هسته‌ای

اصول اساسی کار اغلب آشکارسازها یکسان است. ابتدا تابش وارد آشکارساز می‌شود، با اتم‌های ماده‌ی آشکارساز برهم‌کنش می‌کند. در این میان بخشی از انرژی خود را از دست داده و تعداد زیادی الکترون را از مدارهای اتمی آزاد می‌کند. سپس این الکترون‌ها جمع‌آوری می‌شوند و به منظور تحلیل توسط دستگاه‌های الکترونیکی به صورت یک تپ ولتاژ یا جریان در می‌آیند.

انتخاب نوع ماده‌ی مناسب برای آشکارسازها به نوع تابش و در نتیجه به نوع چشمه بستگی دارد. برای ذرات آلفای حاصل از واپاشی‌های رادیواکتیو و یا ذرات باردار حاصل از واکنش‌های هسته‌ای در انرژی‌های کم، آشکارسازهای بسیار نازک کافی است. زیرا برد این ذرات در جامدات اغلب از $100 \mu\text{m}$ تجاوز نمی‌کند. برای الکترون‌ها و ذرات بتا، ضخامت آشکارسازها باید در حدود $0.1-1 \text{ mm}$ باشد. این مقدار برای پرتوهای گاما قدری متفاوت است زیرا به علت برد زیاد آن‌ها حتی آشکارسازهایی با ضخامت 5 cm هم ممکن است کافی نباشد و پرتوی گاما بدون آن که آشکارسازی شود از آشکارساز عبور کند.

در آشکارسازها باید ماده‌ای انتخاب شود که تعداد الکترون‌های آزاد شده در خلال فرآیند آشکارسازی زیاد باشد تا با از دست رفتن تعدادی از آن‌ها در شمارش، توانایی ما در تعیین انرژی چندان تغییر نکند (این در حالتی است که بخواهیم انرژی تابش را محاسبه کنیم)؛ اما در صورتی که بخواهیم زمان گسیل تابش را محاسبه کنیم باید ماده‌ای را برگزینیم که در آن الکترون‌ها سریع‌تر به تپ تبدیل شوند؛ و در نهایت اگر قصد ما از آشکارسازی تعیین نوع ذره است باید ماده‌ای در آشکارساز به کار رفته باشد که جرم یا بار ذره در آن اثر خاصی ایجاد کند. حال که کلیتی از اصول کار آشکارسازها را بیان کردیم، دسته‌بندی انواع آشکارسازها به صورت زیر است:

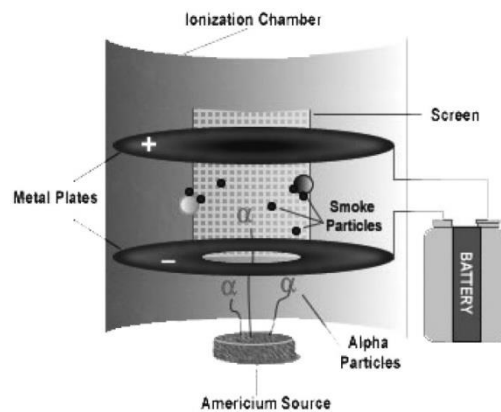
۱) آشکارسازهای گازی

آشکارسازهای گازی با استفاده از یونش ایجاد شده توسط تابش هنگام عبور از میان یک گاز، کار می‌کنند. این شمارنده از دو الکتروود تشکیل شده است که بین آن‌ها یک اختلاف پتانسیل برقرار می‌شود. فضای بین این دو الکتروود را از یک گاز پر می‌کنند. تابش فرودی با عبور از میان این گاز بخشی از انرژی خود را از دست داده و زوج‌های یون-الکترون ایجاد می‌کند. این زوج‌ها باعث ایجاد جریان در الکتروودها می‌شود که قابل اندازه‌گیری است. آشکارسازهای اتاقک یونش، تناسبی و گایگرمولر از این نوع هستند.

• **اتاقک یونش:** ساده‌ترین آشکارساز از نوع گازی است. می‌توانیم آن را خازنی با صفحات موازی

در نظر بگیریم که فضای خالی بین صفحات آن از هوا پر شده است. وجود میدان الکتریکی باعث می‌شود تا یون‌ها باز ترکیب نشود. در واقع الکترون‌ها به سمت صفحه‌ی مثبت و توده‌ی یون‌های مثبت به سمت صفحه‌ی منفی حرکت می‌کند. انرژی متوسط لازم برای تولید یک یون در هوا 34 eV است و در نتیجه یک تابش با انرژی 1 MeV می‌تواند 3×10^4 یون تولید کند. اما تپ ایجاد شده بسیار کوچک است و باید تقویت شود. دامنه‌ی این علامت متناسب با تعداد یون‌های تولیدی و مستقل از ولتاژ بین صفحات است. ولتاژ مورد استفاده تنها سرعت سوق را تغییر می‌دهد. اتاقک یونش برای شمارش تپ‌ها

وسیله‌ی مناسبی نیست اما می‌توان از آن برای دیده‌بانی تابش استفاده کرد و اکثر آشکارسازهای تجارتهی این گونه‌اند.



شکل ۳: طرحی از یک اتاقک یونش

- **شمارنده‌ی تناسبی:** برای استفاده از یک شمارنده‌ی گازی جهت مشاهده تپ‌های منفرد، تقویت قابل ملاحظه‌ای لازم است. یک راه آن افزایش ولتاژ تا حدود 1000 V است. این کار باعث می‌شود تا الکترون‌ها شتاب گیرند و در نتیجه‌ی برخورد ناکشسان با اتم‌ها، یونیدگی جدید صورت گیرد. این تقویت سریع با یونش‌های ثانویه، بهمین راه به وجود می‌آورد. اگر چه این یونش‌های ثانویه از مرتبه‌ی 10^3 یا 10^4 برابر یونش اولیه است، اما با یونش‌های اولیه متناسب است. به این دلیل به آن شمارنده‌ی تناسبی می‌گویند.

- **شمارنده‌ی گایگرمولر:** اگر باز هم ولتاژ را زیاد کنیم، بهمین‌های ثانویه ایجاد می‌شوند و فوتون‌های حاصل از آن در تمام طول استوانه، حرکت کرده و در نتیجه، کل حجم لوله در آن شرکت می‌کند. به



شکل ۴: آشکارساز گایگرمولر

این علت است که کلیه تپ‌های خروجی دارای انرژی یکسانی هستند و هیچ اطلاعاتی راجع به انرژی تابش اولیه به دست نمی‌دهند. این نوع آشکارساز در دستگاه‌های قابل حمل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این آشکارساز، علاوه بر گاز اصلی که معمولاً از مولکول‌های ساده تشکیل شده است از گاز دومی هم استفاده می‌کنند که به گاز فرونشانی معروف است و از مولکول‌های آلی پیچیده‌تر یا هالوژن‌ها تشکیل شده است.

۲) آشکارسازهای نیم رسانا

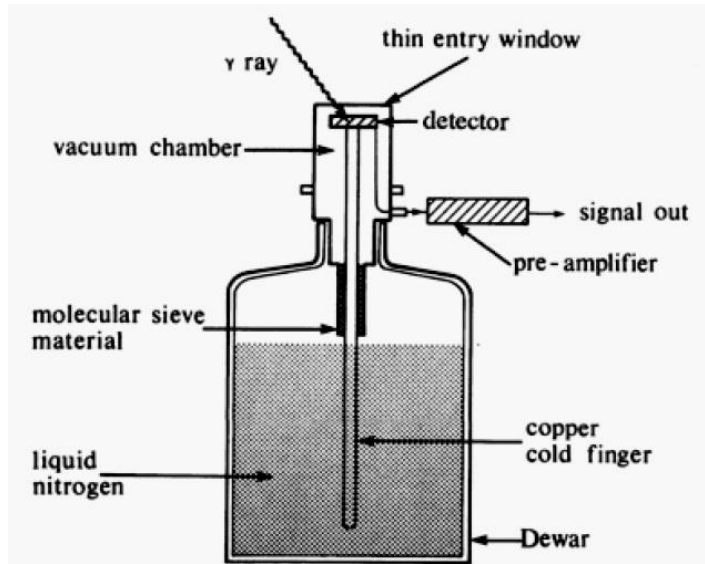
آشکارسازهای گازی، مشکل ما را در مواجهه با بیش‌تر پرتوهای هسته‌ای حل نمی‌کند. زیرا پرتوهایی مانند گاما، برد زیادی داشته و احتمال جذب آن‌ها در جامدات به مراتب بیش‌تر از گازهاست. اما این قطعه‌ی جامد باید دو خصوصیت عمده داشته باشد:

۱- میدان الکتریکی بالا را تحمل کند و نیز در غیاب میدان نوفه‌ای در حد صفر داشته باشد.

۲- الکترون‌های زیادی از آن جدا شده و به آسانی در آن جابه‌جا شوند.

شرط اول، استفاده از نارسانا را بیان می‌کند و شرط دوم، خصوصیتی از نارسانا را متضمن می‌شود؛ در نتیجه، از نیم‌رساناها استفاده می‌شود.

معمولاً عناصری مانند Ge یا Si استفاده می‌شود که با ماده‌ی آلاینده‌ای مانند As و Sb ترکیب شده است و نیم‌رسانای نوع n یا p را ایجاد می‌کند. اتصال این دو به هم ناحیه‌ای در میان آن ایجاد می‌کند که تهی‌گاه نام دارد. زمانی که تابش هسته‌ای وارد ناحیه‌ی تهی می‌شود، زوج الکترون-حفره ایجاد می‌کند. نتیجه به اتافک یونش شباهت زیادی دارد. به دلیل آن که آشکارساز با بایاس معکوس کار می‌کند، بازده‌ی گردآوری، زیاد شده و ناحیه‌ی تهی نیز بیش‌تر می‌شود در نتیجه، حجم حساس آشکارساز بزرگ‌تر می‌گردد. برای آن که آشکارساز کم‌ترین نوفه را داشته باشد، آن را در دماهای پایین نگه‌داری می‌کنند (شکل‌های ۵ و ۶). ضخامت لایه‌ی نوع n در آشکارسازهای SiLi و GeLi در حدود 1 mm است که اجازه‌ی ورود پرتوهای گاما را به ناحیه‌ی تهی می‌دهد. در مقابل چون برد ذرات باردار کم است، باید لایه‌ی نوع n آشکارساز مورد استفاده، خیلی نازک باشد.



▲ شکل ۵: طرحی از یک آشکارساز نیم‌رسانا

◀ شکل ۶: نمونه‌ای از یک آشکارساز HPGe (High Pure Ge) دانشگاه اصفهان

به طور خلاصه می‌توان خصوصیات این آشکارسازها را این گونه بیان کرد:

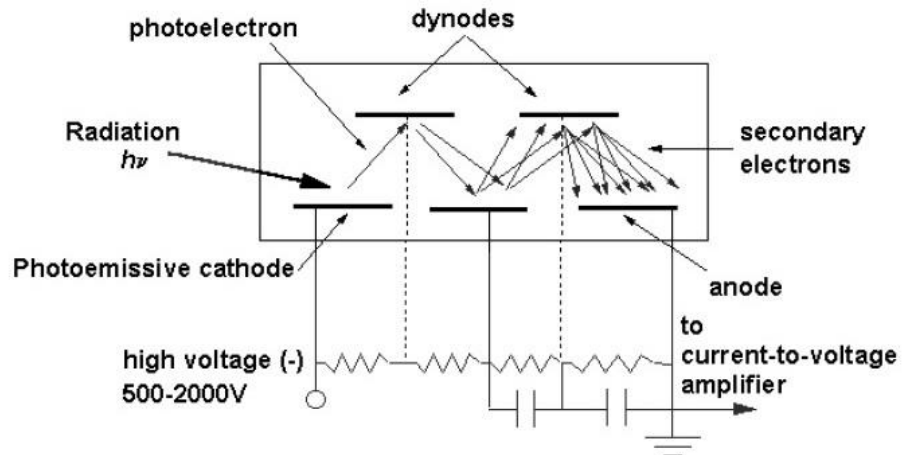
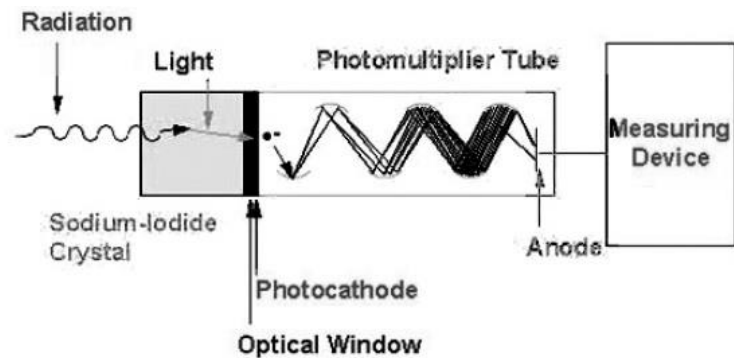
- قدرت تفکیک بالا
- پاسخ خطی
- امکان ساختن آن به اشکال هندسی خاص
- زمان خیزش سریع تپ

- توانایی کار در خلأ

- حساس نبودن به میدان‌های مغناطیسی

۳) آشکارسازهای سوسوزن (سینتیلایسون)

تا اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰، دسترسی به نیم‌رساناهایی که پاسخگوی نیازهای آشکارسازها باشد مقدور نبود. به همین دلیل نوع دیگری آشکارساز ساخته شد که سوسوزن نام دارد. شمارنده‌های سوسوزن نیاز ما را در انتخاب مواد به صورت زیرکانه‌ای حل می‌کند. الکترون‌های تولید شده در فرآیند یونش آن‌هایی نیستند که تپ را ایجاد می‌کنند. رابط بین الکترون‌های مولد تپ و الکترون‌های یونش، نور معمولی است. فرآیند کار را می‌توان به صورت زیر توضیح داد.



شکل ۸: آشکارساز سوسوزن از

نوع NaI به همراه PMT

شکل ۷: طرحی از یک آشکارساز سوسوزن و PMT

تابش فرودی وارد آشکارساز می‌شود و طی برهم‌کنش‌های بسیار متعدد، اتم‌ها را برانگیخته می‌کند. حالات برانگیخته، باعث گسیل نور فلورئوسان می‌شود. نور به سطح حساس به فوتون برخورد کرده و به ازای آن یک فوتوالکترون آزاد می‌شود. این الکترون‌ها تکثیر شده و پس از خروج از لوله‌ی تکثیر فوتونی (PMT) به صورت تپ ظاهر می‌شوند (شکل ۷).

آشکارسازهای سوسوزن مورد استفاده در آزمایشگاه‌ها بسیار متنوع است و عواملی چون نور خروجی، بازده، مسئله زمان و تفکیک انرژی در انتخاب آنها موثر است. برای مثال NaI در مجاورت محیط مرطوب، خواص نوری متفاوتی از خود نشان می‌دهد؛ بنابراین باید در محل‌های در بسته استفاده شود (شکل ۸).

اتفاقی که در یک لوله‌ی تکثیر فوتونی می‌افتد این است که تعداد کمی الکترون در فوتوکاتد آزاد می‌شوند، سپس این الکترون‌ها توسط الکترودهایی به نام داینود، تکثیر و کانونی می‌شوند. اختلاف ولتاژ داینودهای مجاور 100 V است. داینودها را از موادی می‌سازند که احتمال آزادسازی الکترون زیادی دارند. برای آزاد شدن یک الکترون، ۲ یا ۳ ولت انرژی نیاز است، در نتیجه، در هر بار برخورد الکترون‌ها با ضریب ۳۰ تا ۵۰ برابر افزایش می‌یابند و در نهایت، چیزی در حدود 10^7 الکترون خواهیم داشت.

برای طیف‌سنج انرژی، دو خصوصیت اهمیت زیادی دارد، خطی بودن و پایداری. خطی بودن یعنی تناسب مستقیم دامنه‌ی تپ‌های خروجی با تعداد وقایع سوسوزنی. به دلیل وابستگی تعداد الکترون‌ها به ولتاژ اعمال شده به داینودها، باید منبع تغذیه را پایا نگه داشت. به طور کلی می‌توان این آشکارسازها را به سه دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی کرد:

- **سوسوزن‌های غیرآلی:** این دسته از سوسوزن‌ها، اکثراً بلورهای فلزات قلیایی هستند؛ به ویژه ترکیبات یدور این عناصر که کمی ناخالصی را هم در بر می‌گیرد. از این نمونه می‌توان به $\text{CaI}(\text{Na})$ ، $\text{CsI}(\text{Ti})$ ، $\text{NaI}(\text{Ti})$ و ... اشاره کرد. عنصری که در داخل پرانتز نوشته می‌شود همان ناخالصی است. با آن که مقدار این ناخالصی بسیار کم است (10^3 بر مول) ولی همین مقدار هم برای فعال‌سازی بلور کافی است.
- **سوسوزن‌های آلی:** مواد این رده از سوسوزن‌ها از دسته‌ی مواد معطر هستند. این مواد از مولکول‌هایی با حلقه‌های بنزنی تشکیل شده است (مانند تولوین). یکی از اختلاف‌های مهم بین سوسوزن‌های آلی و غیرآلی، در زمان پاسخ آن‌هاست. در مورد سوسوزن‌های آلی، این زمان در حدود ۱۰ نانوثانیه است در حالی که در مورد سوسوزن‌های غیرآلی حدود ۱ میکروثانیه است. این تفاوت باعث می‌شود تا از آن‌ها در اندازه‌گیری‌های سریع استفاده شود.
- **سوسوزن‌های گازی:** این دسته از آشکارسازهای سوسوزن از ترکیب گازهای بی‌اثر ساخته می‌شوند. نور گسیل شده در این فرآیند در ناحیه‌ی فرابنفش است؛ در نتیجه از ترکیب گاز ازت برای جابه‌جایی طول موج بهره می‌گیرند. عمده‌ی ویژگی‌های این دسته سوسوزن‌ها بدین شرح است:
 - زمان واپاشی خیلی کوتاه
 - بازدهی بسیار پایین
 این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا از سوسوزن‌های گازی در آشکارسازی ذرات باردار سنگین استفاده شود.

ج) حفاظت در برابر پرتو

به طور کلی، اصل بر این است که تابش به دو طریق متفاوت می‌تواند بر سلول‌های زنده اثر بگذارد: اولاً تأثیر مستقیم ناشی از تأثیر اولیه‌ی تابش؛ ثانیاً تأثیر غیرمستقیم ناشی از واکنش‌های شیمیایی؛ اما برای اندازه‌گیری میزان تابش‌ها و تعیین خطرات آن‌ها نیاز داریم تا واحدهایی را تعریف کنیم. اثر تابش را بر حسب «پرتوگیری» یا بر حسب «دز» می‌سنجند. «پرتوگیری» به صورت بار آزاد شده در واحد جرم هوا تعریف می‌شود و به آن رونتگن

(R) می‌گویند و «دز» به صورت انرژی جذب شده در واحد جرم ماده تعریف می‌شود که در SI به آن گری (Gy) می‌گویند.

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} \left(\frac{C}{Kg} \right)_{Air}$$

$$1 Gy = 1 \left(\frac{J}{Kg} \right)$$

$$1 R = 8.8 \text{ mGy}$$

اثرهای زیست‌شناختی بر حسب دز جذب شده، نوع تابش و نقطه‌ی پایانی تابش می‌توانند به صورت گسترده‌ای تغییر کنند. برخی از اثرها ممکن است بسیار سریع رخ دهند و برخی دیگر ممکن است پس از چندین سال نمایان شوند. هر فرد در طول عمر خود، در معرض پرتوهای یونیزه کننده‌ی متعددی قرار می‌گیرد که از محیط متصاعد می‌شوند. تأثیر پرتو بر بدن را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- تأثیر بر کل بدن؛ ۲- تأثیر محلی. در این جا به اختصار خطرهای ناشی از پرتوگیری با دزهای مختلف را بیان می‌کنیم:

- **تأثیر بر کل بدن:** اگر دز پرتوگیری در یک دوره‌ی زمانی ۲۴ ساعته، از میزان 100 R بیشتر باشد، علائم حاد بیماری را در شخص ایجاد می‌کند. این تابش‌ها عموماً پرتوهای X و گاما را شامل می‌شود. اگر میزان تابش کمتر از این مقدار باشد، علائم کمی بر جای می‌گذارند؛ ولی در مجموع صدمات شدیدی را به گلبول‌های سفید وارد می‌آورند. این کار باعث کاهش قدرت دفاعی بدن می‌شود. اگر شخصی در برابر پرتویی با دزهای بین 300-600 R قرار گیرد، زندگی او در معرض خطر قرار خواهد گرفت و باید سریعاً تحت درمان قرار گیرد.

اگر دز پرتو بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ رونتگن باشد، شانس زنده ماندن بعد از پرتوگیری بسیار کاهش می‌یابد و شخص به دلیل عفونت، خونریزی و کاهش سلول‌های مغز استخوان خواهد مرد ولی چند ماه به طول می‌انجامد.

اگر دز تابش بیش از ۱۰۰۰ رونتگن باشد، سلول‌های پوشاننده‌ی روده‌ی کوچک می‌میرند و دیگر جایگزین نخواهند شد. در نتیجه شخص بر اثر عفونت و از دست رفتن مایعات بین دیواره‌ی روده‌ها پس از چند روز خواهد مرد.

- **پرتوگیری محلی:** آثار پرتوگیری محلی بستگی به میزان تابش و محل آن دارد. برخی از ارگان‌های بدن مانند پوست، همواره در معرض تابش قرار دارند و برخی دیگر تنها زمانی که هدف قرار گیرند، آلوده می‌شوند.

اما در کل می‌توان سرطان‌ها را به عنوان عام‌ترین بیماری ناشی از قرار گرفتن در معرض پرتو در نظر گرفت؛ زیرا پرتوهای یونیزان باعث تخریب DNA می‌شوند.

استانداردهای مشخص حفاظت در برابر پرتو توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت پرتوشناختی (ICRP) و شورای ملی اندازه‌گیری‌ها و حفاظت در برابر پرتو (NCRP) پیشنهاد می‌شود و عموماً در مورد استفاده‌ی صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای می‌باشد. در واقع، این شورا افراد را به ۳ دسته طبقه‌بندی می‌کند:

۱- اشخاص در معرض پرتو (پرتوگیری شغلی)

۲- افراد جامعه

۳- جامعه به صورت عام

ضمن آن که میزان مخاطره‌آمیز بودن این پرتوها به سن افراد نیز ارتباط دارد و افراد با سن کم‌تر از ۱۸ سال نباید در معرض پرتوگیری شغلی قرار گیرند.

بحث‌های مربوط به حفاظت در برابر پرتو بخش مهمی از پزشکی هسته‌ای را تشکیل می‌دهند؛ ولی می‌توان با رعایت نکاتی، از بروز اثرات سوء این تابش‌ها جلوگیری کرد:

۱- سعی کنید از پرتوگیری داخلی جلوگیری کنید. خطر ناشی از ورود مواد پرتوزا به داخل بدن از راه زخم، دهان و تنفس، به مراتب بیش‌تر از صدمه‌ی پوستی آن است.

۲- حتی‌الامکان، زمان ایستادن در مقابل چشمه را کاهش دهید.

۳- در صورت نیاز از روپوش‌های محافظ استفاده نمایید.

۴- چشمه را درون ظرف مناسب قرار دهید.

۵- حتی‌الامکان، از چشمه فاصله بگیرید زیرا قدرت یک چشمه با عکس مجذور فاصله، کاهش می‌یابد.

۶- از حفاظ‌های مناسب و متناسب با نوع تابش استفاده نمایید.

اما همان‌طور که گفته شد، چشمه‌های مورد استفاده در آزمایشگاه هسته‌ای، دارای اکتیویته‌ی پایین و از نوع بسته هستند و شما با رعایت چند نکته‌ی ساده می‌توانید از بروز مشکل جلوگیری کنید:

۱- چشمه‌ها و وسایلی که به طور مستقیم با چشمه در ارتباطند را با انبر مخصوص بردارید.

۲- هرگز چشمه را به چشم یا دهان خود نزدیک نکنید.

۳- پس از اتمام کار، چشمه را به درون جعبه‌ی مخصوص نگه‌داری، بازگردانید.

آزمایش شماره‌ی ۱:

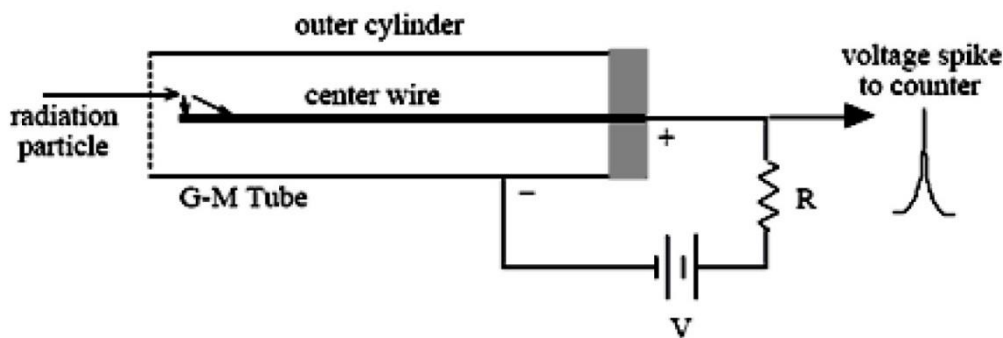
تکنیک‌های اندازه‌گیری با شمارنده‌ی گایگر-مولر

هدف آزمایش: رسم منحنی مشخصه‌ی شمارنده‌ی گایگر-مولر و اندازه‌گیری مشخصات شمارنده

۱-۱) زمینه‌ی نظری

همان طور که در مقدمه بیان شد، لامپ گایگر-مولر وسیله‌ای است که از مدت‌ها قبل جهت آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای استفاده می‌شود. این لامپ‌ها اغلب استوانه‌ای شکل است و با قطرهایی از ۲ میلی‌متر تا چند سانتی‌متر و به طول‌های از ۱ سانتی‌متر تا حدود ۱ متر ساخته می‌شوند. در ساختن آن‌ها هیچ گونه محدودیتی از نظر اندازه وجود ندارد.

آشکارساز گایگر برای شمارش هر نوع ذره هسته‌ای که عمل یونش را در داخل لامپ ایجاد نماید، کار برد دارد. لامپ گایگر برای شمارش الکترون‌ها، ذرات بتا، پرتوهای گاما و پرتوهای ایکس استفاده‌ی فراوان دارد. ذرات آلفا و ذرات یونیزه کننده‌ی قوی نیز گاهی توسط لامپ گایگر آشکار می‌گردند. ولی به علت برد کوتاه این ذرات، باید آن‌ها را در داخل لامپ یا محفظه‌ی خلأ قرار داد. شکل ۱-۱ مدار کامل لامپ گایگر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: نمایش مدار الکتریکی شمارنده‌ی گایگر-مولر

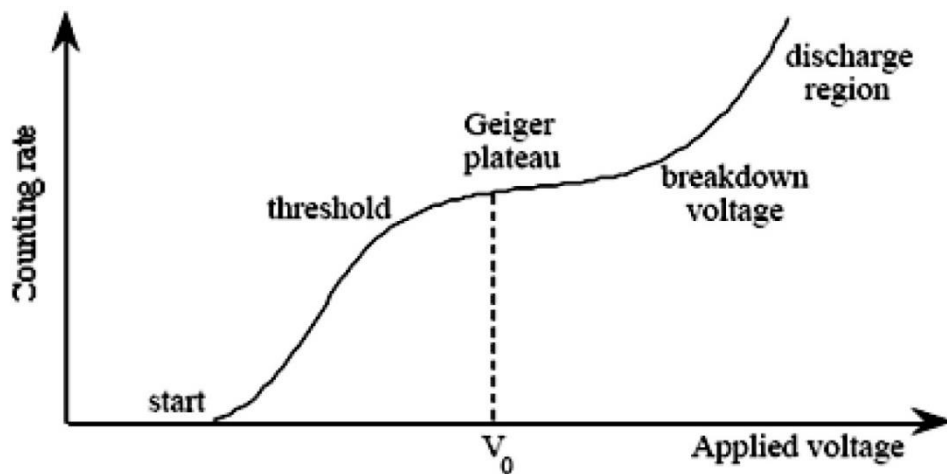
که در آن مقاومت R برای شکل دادن به پالس به کار رفته است. معمولاً ارتفاع پالس به اندازه‌ای است که نیاز به تقویت ندارد و می‌تواند مستقیماً آن‌ها را توسط دستگاه شمارنده، شمارش کرد.

خصوصیات شمارنده‌ی G-M:

- به کم‌ترین تابش حساس است.
- برای انواع تابش‌های هسته‌ای استفاده می‌شود.
- ارتفاع پالس خروجی آن بزرگ است و نیازی به تقویت ندارد.
- ارتفاع پالس خروجی مستقل از یونیزاسیون اولیه است. بنابراین در این شمارنده نمی‌توان اطلاعاتی از نوع تابش هسته‌ای و انرژی آن به دست آورد.

معمولاً ولتاژ کار شمارنده‌ی G-M از طرف کارخانه‌ی سازنده‌ی آن مشخص می‌شود ولی تعیین ولتاژ کار و دیگر مشخصات شمارنده، از روی منحنی مشخصه‌ی آن بهتر است؛ زیرا ولتاژ کار مناسب، می‌تواند به دستگاه

الکترونیکی و منبع ولتاژ متصل به شمارنده نیز بستگی داشته باشد. به طور کلی مرغوبیت یک شمارنده‌ی G-M از روی منحنی مشخصه‌ی آن تشخیص داده می‌شود. نمونه‌ای از این منحنی را در شکل ۲-۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۱: نمودار آهنگ شمارش بر حسب ولتاژ شمارنده‌ی گایگر-مولر

۲-۱) روش انجام آزمایش

وسایل آزمایش: لامپ گایگر-مولر، دستگاه شمارنده، زمان‌سنج، چشمه‌های بتا و گاما

با راهنمایی استاد یا کارشناس آزمایشگاه و مطالعه‌ی پیوست «ب»، لامپ گایگر را توسط سیم به شمارنده متصل کنید. دقت کنید دستگاه قبل از اتصال لامپ حتماً خاموش باشد. E. H. T. دستگاه را روی OFF قرار دهید و سپس شمارنده را روشن نمایید. مدتی صبر کنید تا دستگاه گرم شود. چشمه‌ی رادیواکتیو بتایی را انتخاب کرده و در مقابل شمارنده در فاصله‌ی حدود ۲ سانتی‌متری قرار دهید. ولتاژ را روی ماکزیمم ولتاژ دستگاه قرار داده و شمارش آن را به ازای ۲ دقیقه ثبت کنید. هر بار ولتاژ را ۲۰ ولت کاهش داده و تعداد شمارش‌ها را در جدول ۱-۱ ثبت کنید. اگر داده‌ها را به صورت نموداری مانند شکل ۲-۱ رسم نمایید، مشاهده می‌کنید در ابتدا با افزایش ولتاژ، افزایش سریعی در شمارش مشاهده می‌شود. این ولتاژ را **ولتاژ آستانه** می‌نامند. پس از آستانه، تغییر قابل ملاحظه‌ای در شمارش رخ نمی‌دهد. این بخش از منحنی، **ناحیه‌ی پلاتو** نام دارد. اگر ولتاژ افزایش بیشتری یابد، دوباره افزایش شدیدی در شمارش ملاحظه کنیم. این ناحیه را **ناحیه‌ی تخلیه‌ی الکتریکی** می‌نامند و به کار بردن شمارنده در این ناحیه به آن آسیب می‌رساند.

نمودار آهنگ شمارش (شمارش در دقیقه) بر حسب ولتاژ را رسم کنید و از روی منحنی، ناحیه‌ی پلاتو را مشخص کنید. ولتاژ آستانه و ولتاژ V_1 و V_2 (ولتاژ ابتدا و انتهای پلاتو) را از روی منحنی مشخص کنید.

ولتاژ کار شمارنده باید نزدیک به ولتاژ آستانه انتخاب شود تا عمر شمارنده افزایش یابد. معمولاً ولتاژ کار را در فاصله‌ی ۲۵٪ طول پلاتو بعد از V_1 (ولتاژ ابتدای پلاتو) انتخاب می‌کنند (طول پلاتو معمولاً ۲۰۰ تا ۳۰۰ ولت است). اگر طول ناحیه‌ی پلاتوی نمودارتان کم‌تر از این میزان بود، باید ۲۵٪ طول پلاتوی واقعی را که همان ۲۰۰ تا ۳۰۰ ولت بعد از V_1 نمودارتان است، به عنوان ولتاژ کار انتخاب کنید).

جدول ۱-۱: آهنگ شمارش برای چشمه‌ی بتازا

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۵۰۰		
۴۸۰		
۴۶۰		
۴۴۰		
۴۲۰		
۴۰۰		

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۳۸۰		
۳۶۰		
۳۴۰		
۳۲۰		
۳۰۰		

با وجود آن که در ناحیه‌ی پلاتو، شمارش تقریباً ثابت است ولی از ابتدا تا انتهای آن، افزایش مشاهده می‌شود. شیب این پلاتو نشانه‌ای از قابلیت یک شمارنده‌ی G-M است. یک شمارنده‌ی خوب باید شیبی کم‌تر از ۱۰٪ ولت داشته باشد. درصد شیب را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$\text{درصد شیب ولت} = \frac{100 (R_2 - R_1) / R_1}{(V_2 - V_1)} \times 100 \quad 1-1$$

در این رابطه، R_1 و R_2 به ترتیب آهنگ شمارش در نقاط ابتدا و انتهای پلاتو است.

آزمایش را برای دو چشمه‌ی گامازا مانند ^{60}Co و ^{60}Cs تکرار نمایید و تمام مراحل را که برای چشمه‌ی بتازا انجام دادید، برای این چشمه‌ها نیز تکرار و نتایج را در جدول‌های ۱-۲ و ۱-۳ ثبت کنید.

جدول ۲-۱: آهنگ شمارش برای چشمه‌ی گامازا I

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۵۰۰		
۴۸۰		
۴۶۰		
۴۴۰		
۴۲۰		
۴۰۰		

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۳۸۰		
۳۶۰		
۳۴۰		
۳۲۰		
۳۰۰		

نمودار آهنگ شمارش (شمارش در دقیقه) بر حسب ولتاژ این دو چشمه را نیز رسم کنید. با مقایسه‌ی این نتایج، آیا تغییری مشاهده می‌کنید؟ منحنی‌های مشخصه و شیب پلاتو برای این سه چشمه را با هم مقایسه کنید.

جدول ۱-۳: آهنگ شمارش برای چشمه‌ی گاما II

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۵۰۰		
۴۸۰		
۴۶۰		
۴۴۰		
۴۲۰		
۴۰۰		

ولتاژ	شمارش در ۲ دقیقه	آهنگ شمارش
۳۸۰		
۳۶۰		
۳۴۰		
۳۲۰		
۳۰۰		

۳-۱) پرسش‌ها

- ۱- با اضافه کردن درصد کوچکی از گازهای اضافه به گاز اصلی لامپ گایگر، چگونه از تخلیه‌ی دائم جلوگیری می‌شود؟
- ۲- در منحنی مشخه‌ی کل شمارنده‌های گازی، نواحی دیگری نظیر ترکیب مجدد، یونیزاسیون و تناسبی نیز وجود دارند. چرا در این آزمایش این نواحی مشاهده نشده‌اند؟
- ۳- چرا ولتاژ کار در ناحیه‌ی پلاتو انتخاب می‌شود؟
- ۴- چرا آهنگ شمارش در ناحیه‌ی پلاتو تقریباً ثابت است؟
- ۵- علت وجود شیب در ناحیه‌ی پلاتو چیست؟
- ۶- علت تفاوت شیب پلاتو برای چشمه‌های مورد آزمایش چیست؟
- ۷- چرا ولتاژهای بالاتر از ناحیه‌ی پلاتو برای شمارنده ضرر دارد؟

آزمایش شماره‌ی ۲

اندازه‌گیری قدرت تفکیک زمانی آشکارساز گایگر-مولر

هدف آزمایش: تعیین زمان تفکیک آشکارساز G-M

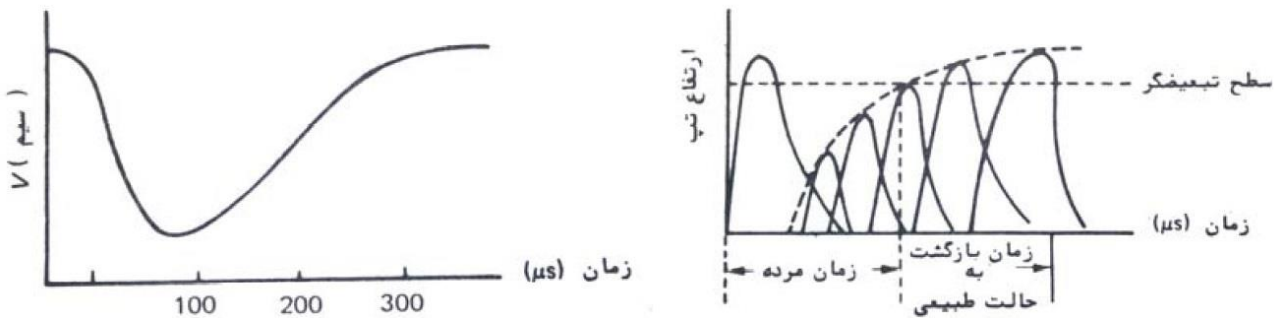
۱-۲) زمینه‌ی نظری

تپ ایجاد شده توسط یک شمارنده‌ی گایگر-مولر بسیار شبیه به تپ شمارشگر تناسبی است. تپ در شمارنده‌های گایگر-مولر، نتیجه‌ی حاصل جمع سهم‌های تمامی یون‌های مثبت تولید شده در حجم شمارنده است. هنگامی که یک تابش یونیزه کننده به داخل آشکارساز گازی وارد می‌شود، در طول مسیر حرکت خود اتم‌های گاز را یونیزه و در نتیجه، یون‌های مثبت و الکترون تولید می‌کند. جرم الکترون‌ها کم است در نتیجه، سریعاً به سمت آند شتاب می‌گیرند و در نزدیکی آند به علت به وجود آمدن میدان قوی، یونیزاسیون ثانویه رخ می‌دهد. الکترون‌ها سریعاً جذب آند می‌شوند؛ در حالی که خیزش یون‌های مثبت به علت جرم بیشتر، ۱۰۳ برابر کندتر از الکترون‌هاست. به همین دلیل یون‌های مثبت در این مدت، چندان جابه‌جا نمی‌شوند و لایه‌ای در اطراف آند تشکیل می‌شود که به آن پوشش فضایی می‌گویند. به این دلیل، شدت میدان الکتریکی در اطراف آند کاهش یافته و مانع تکثیر گازی می‌شود. با کم شدن این پوشش دوباره شدت میدان الکتریکی افزایش می‌یابد.

شکل و ارتفاع تپ در آشکارساز G-M چندان اهمیتی ندارد. زیرا تپ فقط برای اعلام حضور تابش به کار می‌رود و نه چیز دیگر. با این حال چگونگی تأثیر تپ بر تشکیل آن اهمیت دارد. چنان چه گفته شد میدان در خلال حضور یون‌های مثبت در اطراف آند به شدت کاهش می‌یابد. اگر در خلال این دوره، یک تابش وارد آشکارساز شود، هیچ تپی ثبت نخواهد شد زیرا شمارنده حساس نیست. این عدم حساسیت، برای مدت زمانی که به زمان مرده‌ی شمارنده موسوم است، به طول می‌انجامد. زمان مرده‌ی یک شمارنده به صورت زمان کمینه‌ای که باید بین ورود پی‌درپی دو تابش به آشکارساز بگذرد تا دو تپ متمایز تولید شود، تعریف می‌شود. به این ترتیب، زمان مرده، زمان لازم بین لحظه‌ی برخورد ذره به آشکارساز و لحظه‌ای است که تپ ولتاژی و یک شمارش ثبت می‌شود. آن چه مهم است زمان مرده‌ی کل دستگاه است نه فقط آشکارساز.

به علت زمان مرده‌ی شمارنده، این امکان وجود دارد که بعضی از تابش‌ها ثبت نشوند؛ زیرا شمارنده تپ جدید ایجاد نخواهد کرد و در واقع مشغول شکل‌بندی تپ‌های ذراتی است که از قبل ایجاد شده است. آشکارساز به آهستگی به حالت طبیعی باز می‌گردد و ارتفاع تپ در مدت زمان دوره بازگشت به حالت طبیعی به طور نمایی افزایش می‌یابد. این زمان‌ها در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.

در واقع از میان پالس‌های محدوده‌ی زمان بازگشت به حالت طبیعی، آن چنان که در شکل ۱-۲ دیده می‌شود، آشکارساز تنها تپ‌هایی را نشان خواهد داد که از حد آشکارسازی شمارنده بیش‌تر باشد. فاصله‌ی زمانی تا این پالس را زمان تفکیک می‌گویند.



شکل ۱-۲: نمایش تغییرات ولتاژ آند و ارتفاع تپ بر حسب زمان

از دست دادن تابش، در آهنگ شمارش بالا اهمیت پیدا می‌کند. در این جا به روش تصحیح زمان مرده می‌پردازیم. اگر τ زمان تفکیک دستگاه و g آهنگ شمارش مشاهده شده باشد. کسری از زمان که در خلال آن دستگاه حساسیت آشکارسازی ندارد $g\tau$ است. اگر فرض کنیم n آهنگ آشکار شمارش واقعی باشد، آن گاه:

$$n = \frac{g}{1 - g\tau} \quad ۱-۲$$

۲-۲) روش انجام آزمایش

وسایل آزمایش: لامپ گایگرمولر، دستگاه شمارنده، زمان‌سنج، دو چشمه‌ی گاما‌زای مشابه

برای اندازه‌گیری زمان مرده، لازم است که از دو چشمه‌ی یکسان به ترتیبی که توضیح داده می‌شود استفاده کنید. زمان آزمایش را طولانی انتخاب کنید. زمان برای تمام اندازه‌گیری‌های این آزمایش، ۱۵ دقیقه است. ابتدا منبع تغذیه را بر روی ولتاژ کاری که در آزمایش شماره‌ی ۱ به دست آوردید، قرار دهید و Range را روی ۱۰۰ بگذارید. چشمه‌ی ۱ را در برابر آشکارساز به گونه‌ای قرار دهید که بدون جابه‌جا کردن آن بتوانید در مرحله‌ی بعدی، چشمه‌ی دیگر را در کنارش قرار دهید. آهنگ شمارش را با چشمه‌ی ۱ ثبت کنید (g_1). سپس چشمه‌ی ۲ را در کنار چشمه‌ی اول قرار دهید و دقت کنید چشمه‌ی اول جابه‌جا نشود. آهنگ شمارش را با دو چشمه ثبت کنید (g_{12}) حال چشمه‌ی ۱ را به دقت از کنار چشمه‌ی ۲ بردارید و آهنگ شمارش را به همان ترتیب قبل و این بار فقط برای چشمه‌ی دوم ثبت کنید (g_2). اکنون چشمه‌ی دوم را نیز بردارید و آهنگ شمارش زمینه را به همین منوال اندازه‌گیری کنید (g_b) مقادیر به دست آمده را در جدول ۱-۲ ثبت کنید.

جدول ۱-۲: آهنگ شمارش برای پیکربندی‌های مختلف در ۱۵ دقیقه

آهنگ شمارش	شمارش در ۱۵ دقیقه	
		چشمه‌ی ۱
		هر دو چشمه
		چشمه‌ی ۲
		زمینه

حال اندازه‌گیری‌های مرحله‌ی قبل را یک بار دیگر و این بار به ازای ۵ دقیقه در جدول ۲-۲ ثبت کنید.

جدول ۲-۲: آهنگ شمارش برای پیکربندی‌های مختلف در ۵ دقیقه

آهنگ شمارش	شمارش در ۱۵ دقیقه	
	چشمه‌ی ۱	
	هر دو چشمه	
	چشمه‌ی ۲	
	زمینه	

اگر $n_1, n_2, n_{1,2}$ و n_b به ترتیب آهنگ‌های شمارش واقعی چشمه‌ی ۱، چشمه‌ی ۲، هر دو چشمه و زمینه باشند، خواهیم داشت:

$$(n_1 - n_b) + (n_2 - n_b) = (n_{1,2} - n_b)$$

یا

$$n_1 + n_2 = n_{1,2} + n_b$$

۲-۲

اگر معادله‌ی ۱-۲ را جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{g_1}{1-g_1\tau} + \frac{g_2}{1-g_2\tau} = \frac{g_{1,2}}{1-g_{1,2}\tau} + \frac{g_b}{1-g_b\tau} \quad ۳-۲$$

همچنین تقریب‌های زیر را به کار می‌بریم:

$$\frac{g_b}{1-g_b\tau} \cong g_b, \quad \frac{g}{1-g\tau} \cong g + g^2\tau \quad ۴-۲$$

با جایگذاری رابطه‌ی ۴-۲ در رابطه‌ی ۳-۲ می‌توان τ را به دست آورد:

$$\tau = \frac{g_1 + g_2 - g_{1,2} - g_b}{g_{1,2}^2 - g_1^2 - g_2^2} \quad ۵-۲$$

با استفاده از نتایج جدول‌های ۱-۲ و ۲-۲، τ را برای هر دو حالت به دست آورید و خطای آن را محاسبه کنید. با استفاده از رابطه‌ی ۱-۲ مقدار آهنگ‌های شمارش واقعی n_1, n_2 و n_{12} را محاسبه کنید و خطای آن را نیز به دست آورید. درصد اختلاف آهنگ‌های شمارش واقعی را با آهنگ شمارش دستگاه محاسبه کنید.

۳-۲ پرسش‌ها

۱- در آزمایش زمان مرده چرا باید زمان آزمایش را طولانی اختیار کرد؟

۲- رابطه‌ی ۵-۲ را به دست آورید؟

۳- تغییر ارتفاع پالس‌ها با ولتاژ به چه علت است؟

- ۴- اختلاف زمان مرده حاصل از جدول ۱-۲ و ۲-۲ ناشی از چیست؟
- ۵- برای افزایش دقت آزمایش چه نکاتی باید رعایت شود؟
- ۶- آیا وضعیت قرارگیری چشمه‌های ۱ و ۲ نسبت به آشکارساز در مقدار τ موثر است؟
- ۷- استفاده از جفت چشمه‌هایی با شدت بیش‌تر در مقایسه با شدت کم‌تر نتایج را چگونه تغییر می‌دهد؟

آزمایش شماره‌ی ۳

توزیع آماری تشعشعات حاصل از مواد رادیواکتیو

هدف آزمایش: بررسی توزیع آماری تشعشعات چشمه‌ی رادیواکتیو و مقایسه‌ی آن با توزیع پواسون و گاوسی

(۱-۳) زمینه‌ی نظری

حدود پنج سال بعد از کشف رادیو اکتیویته، دانشمندان پی بردند که واپاشی یک ماده‌ی رادیواکتیو دارای طبیعت آماری است. یعنی پیش‌بینی زمان فروپاشی یک اتم غیرممکن است و متوجه شدند که مقادیر به دست آمده دارای تغییرات آماری حول یک مقدار میانگین است. بررسی واپاشی‌های رادیواکتیو برای تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که این واپاشی از توزیع پواسون پیروی می‌کند. این نوع توزیع بر رویدادهایی اعمال می‌شود که احتمال رخداد آن‌ها کم و ثابت است و در واقع حالت حدی توزیع دو جمله‌ای است. در این توزیع احتمال P_n برای آن که n واپاشی در مدت زمان معینی وجود داشته باشد برابر است با:

$$P_n = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!} \quad 1-3$$

که در آن μ میانگین واقعی در این توزیع است. انحراف معیار σ به طور کلی به صورت

$$\sigma = \sqrt{(n - \mu)^2} \quad 2-3$$

تعریف می‌شود که برای توزیع پواسن انحراف معیار برابر است با:

$$\sigma = \sqrt{\mu} \quad 3-3$$

اگر تنها یک اندازه‌گیری از واپاشی رادیواکتیو انجام شود می‌توان آن مقدار را به عنوان تقریبی از میانگین به کار برد و انحراف معیار برای مقدار اندازه‌گیری شده n تقریباً برابر است با:

$$\sigma_n = \sqrt{n} \quad 4-3$$

اگر بخواهیم N بار این اندازه‌گیری انجام شود، مقدار میانگین تجربی \bar{n} به مقدار میانگین واقعی μ نزدیک خواهد شد و هر چه N بزرگ‌تر باشد \bar{n} به μ نزدیک‌تر می‌شود.

توزیع دو جمله‌ای و حالت حدی آن یعنی توزیع پواسون هر دو در مورد متغیرهای گسسته کاربرد دارند. در حالی که اغلب متغیرهای کاتوره‌ای که در آزمایشگاه با آن‌ها سر و کار داریم پیوسته‌اند. ضمن آن که استفاده از توزیع‌های گسسته ما را وادار به استفاده از رشته‌های طولانی در محاسبه‌ی پارامترهایی نظیر میانگین و انحراف معیار می‌کند. پس به کار بردن تابع توزیع بر متغیرهای پیوسته، یعنی توزیع گاوسی یا بهنجار بهتر است.

توزیع گاوسی به این صورت است:

$$g_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu}} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\mu}} \quad 5-3$$

در اینجا n یک متغیر پیوسته و μ میانگین واقعی است. بین توزیع گاوسی و پواسون اختلاف کمی وجود دارد؛ زیرا برخلاف توزیع پواسون، توزیع گاوسی حول مقدار میانگین متقارن است. البته هر چه مقدار n بزرگ‌تر باشد این اختلاف کم‌تر می‌شود.

انحراف معیار برای توزیع گاوسی هم مانند توزیع پواسون است. مقدار $n - \mu$ در واقع اختلاف میان مقدار اندازه‌گیری شده‌ی n و مقدار میانگین μ است. برای راحتی این اختلاف را بر حسب σ بیان می‌کنند و به آن خطای نسبی τ می‌گویند.

$$\tau = \frac{n - \mu}{\sqrt{\mu}} \quad ۶-۳$$

توزیع گاوسی برحسب τ به این صورت در می‌آید:

$$g_{\tau} d\tau = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\tau^2}{2}} d\tau \quad ۷-۳$$

این رابطه، احتمال g_{τ} برای آن که خطای نسبی در اندازه‌گیری بین τ و $\tau + d\tau$ باشد را به دست می‌دهد. اگر بخواهیم احتمال g_{τ} را بین $+\tau$ و $-\tau$ به دست آوریم، باید از رابطه‌ی بالا انتگرال بگیریم.

این احتمال برای مقادیر مختلف τ محاسبه گردیده و معمولاً به صورت جدولی ارائه می‌شود. جدول ۱-۳ این احتمال را برای چند مقدار τ نمایش می‌دهد. احتمال آن که خطای نسبی بین τ_1 و τ_2 باشد به سادگی قابل محاسبه و برابر $G_{\tau_2} - G_{\tau_1}$ است. در جدول ۲-۳ این احتمال‌ها نیز داده شده است.

جدول ۱-۳

τ	احتمال G_{τ}
0.5	0.383
1	0.6826
1.5	0.8626
2	0.9544
2.5	0.9876
3	0.9974

جدول ۲-۳

$\tau_1 < \tau < \tau_2$	احتمال
$0 < \tau < 0.5$	0.383
$0.5 < \tau < 1$	0.300
$1 < \tau < 1.5$	0.182
$1.5 < \tau < 2$	0.088
$2 < \tau < 2.5$	0.033
$2.5 < \tau < 3$	0.0098

این جدول در حقیقت فراوانی مقادیر اندازه‌گیری شده را حول مقدار میانگین نشان می‌دهد. برای مثال به ازای $\tau = 1$ داریم $G_{\tau} = 0.6826$ یعنی احتمال 0.6826% وجود دارد که خطای نسبی کم‌تر از یک باشد یا به بیان دیگر از ۱۰۰ اندازه‌گیری ۶۸ اندازه‌گیری به اندازه‌ی کم‌تر از یک σ از مقدار میانگین انحراف دارند.

FWHM که معمولاً با نماد Γ نشان داده می‌شود، پهنای توزیع گاوسی در نیم بیشینه است. این مقدار اندکی بیش از 2σ و برابر است با:

$$\Gamma = (2\sqrt{2\ln 2})\sigma = 2.35 \sigma \quad ۸-۳$$

پهنای نیم بیشینه، پارامتر مهمی در اندازه‌گیری توزیع انرژی ذرات است.

توزیع گاوسی، مهم‌ترین توزیع برای کاربرد در اندازه‌گیری‌هاست. زیرا هر نوع اندازه‌گیری که به تعداد زیاد انجام شود از این توزیع پیروی خواهد کرد. توزیع پواسون نیز در بعضی از شرایط به توزیع گاوسی تبدیل می‌شود. نتیجه‌های اندازه‌گیری تابش در اکثر موارد به صورت شمارش ثبت می‌شود. این شمارش‌ها حکایت از آن دارد که ذرات با یک آشکارساز برهم‌کنش کرده و یک تپ تولید می‌کنند که ثبت می‌شود. گسیل ذره، دارای طبیعت آماری است و همان طور که گفته شد از توزیع پواسون پیروی می‌کند. با این حال زمانی که میانگین تعداد شمارش‌ها از یک میزان خاصی بیش‌تر می‌شود، توزیع پواسون به توزیع گاوسی میل می‌کند.

۲-۳) روش انجام آزمایش

وسایل آزمایش: آشکارساز گایگرمولر، دستگاه شمارنده، چشمه‌ی ^{60}Co

ابتدا دستگاه شمارنده را روی ولتاژ کاری مناسب قرار دهید. سپس پیچ مخصوص تغییر وضعیت شمارش دستگاه را بر روی حالت Rate قرار دهید. همان طور که قبلاً گفته شد، در این حالت دستگاه هر ۲,۵ ثانیه یک شمارش ثبت می‌کند. حال یک چشمه‌ی ^{60}Co را در فاصله‌ای قرار دهید که دستگاه در هر بار به طور متوسط حدود ۱۰ شمارش نشان دهد. بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ شمارش ثبت کنید. از رابطه‌ی زیر مقدار میانگین را به دست آورید:

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i f_i}{N} \quad ۹-۳$$

که در آن n و f به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و فراوانی تجربی \bar{n} است. همان طور که گفته شد در تعداد شمارش‌های بالا n به μ بسیار نزدیک می‌شود. پس می‌توانید آن را جایگزین میانگین واقعی کنید. با این فرض انحراف معیار را مطابق رابطه‌ی ۳-۳ به دست آورید.

فراوانی هر یک از شمارش‌های به دست آمده را در جدول ۳-۳ یادداشت کنید. با استفاده از رابطه‌ی ۱-۳ احتمال متناظر با هر شمارش را حساب کنید. چون این رابطه به ۱ بهنجار شده لذا باید در N ضرب شود. به این ترتیب فراوانی تئوری به دست می‌آید.

N :	\bar{n} :	$\sigma = \sqrt{\bar{n}}$:
-------------	-------------------	-----------------------------------

نمودار توزیع فراوانی (فراوانی بر حسب شمارش) را برای داده‌های تجربی رسم کنید. با استفاده از داده‌های به دست آمده، منحنی توزیع پواسون را بر روی نمودار داده‌های تجربی رسم کنید. آیا این دو با هم توافق دارند؟

جدول ۳-۳

مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی n	فراوانی تجربی	فراوانی تئوری NP_n
۰		
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		
۸		
۹		
۱۰		
۱۱		
۱۲		
۱۳		
۱۴		

مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی n	فراوانی تجربی	فراوانی تئوری NP_n
۱۵		
۱۶		
۱۷		
۱۸		
۱۹		
۲۰		
۲۱		
۲۲		
۲۳		
۲۴		
۲۵		
۲۶		
۲۷		
۲۸		
۲۹		

حال توزیع گاوسی را با استفاده از رابطه‌ی ۳-۵ برای مقادیر شمارش شده به دست آورید و خطای نسبی را نیز محاسبه کنید. نتایج حاصل را در جدول ۳-۴ ثبت نمایید.

اکنون با توجه به مقادیر جدول ۳-۴، جدول ۳-۵ را کامل کنید. با استفاده از داده‌های جدول ۳-۲ می‌توانید فراوانی توزیع گاوسی را محاسبه کنید.

نمودار فراوانی تجربی را نظیر قسمت قبل رسم کنید. منحنی توزیع گاوسی را با استفاده از فراوانی‌های تئوری بر روی همین نمودار مشخص کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

جدول ۳-۴

n	فراوانی	g_n	$ n - \bar{n} $	$\tau = \frac{ n - \bar{n} }{\sqrt{\bar{n}}}$
۰				
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				
۸				
۹				
۱۰				
۱۱				
۱۲				
۱۳				
۱۴				

n	فراوانی	g_n	$ n - \bar{n} $	$\tau = \frac{ n - \bar{n} }{\sqrt{\bar{n}}}$
۱۵				
۱۶				
۱۷				
۱۸				
۱۹				
۲۰				
۲۱				
۲۲				
۲۳				
۲۴				
۲۵				
۲۶				
۲۷				
۲۸				
۲۹				

نمودار g_n بر حسب n را رسم کنید و نیم پهنای بیشینه را با استفاده از رابطه‌ی ۳-۸ به دست آورید.

جدول ۳-۵

$\tau_1 < \tau < \tau_2$	فراوانی تجربی	احتمال تئوری	فراوانی تئوری
$0 < \tau < 0.5$			
$0.5 < \tau < 1$			
$1 < \tau < 1.5$			
$1.5 < \tau < 2$			
$2 < \tau < 2.5$			
$2.5 < \tau < 3$			

۳-۳) پرسش‌ها

- ۱- معمولاً مقدار یک کمیت اندازه‌گیری شده را به صورت $n \pm \sigma_n$ می‌نویسند. σ_n را خطای معیار کمیت اندازه‌گیری شده می‌گویند. این خطا چه مفهومی دارد؟
- ۲- FWHM توزیع تجربی را به دست آورید و با مقادیر گاوسی و پواسون مقایسه کنید. علت تفاوت را توصیف کنید.
- ۳- سطح زیر توزیع را به دست آورید و با مقادیر گاوسی و پواسون مقایسه کنید. آیا تفاوتی می‌بینید؟ چرا؟

آزمایش شماره‌ی ۴

اندازه‌گیری اکتیویته‌ی مجهول ماده‌ی رادیواکتیو (روش نسبی)

هدف: تعیین اکتیویته‌ی ماده‌ی مجهول با استفاده از دو چشمه‌ی رادیواکتیو توسط آشکارساز گایگرمولر به روش نسبی (روش مقایسه‌ای)

۱-۴) زمینه‌ی نظری

برخی از خواص هسته‌ای وابسته به زمان هستند. یکی از این خواص، واپاشی پرتوزاست. پرتوزایی می‌تواند «خود به خود» (واپاشی) یا به صورت «غیرخودبه‌خودی» (واکنش هسته‌ای) رخ دهد. این که فرآیند «خودبه‌خودی» است یا نه، به انرژی بستگی دارد. اگر انرژی سیستم نهایی در نهایت کم‌تر از سیستم اولیه باشد، گذار می‌تواند به صورت «خودبه‌خودی» رخ دهد و هر چه این اختلاف بیش‌تر باشد، آهنگ گذار بیش‌تر است. تقریباً سه سال بعد از کشف رادیواکتیویته در سال ۱۸۹۶ مشاهده شد که آهنگ واپاشی یک ماده‌ی پرتوزای خالص با گذشت زمان تقریباً به صورت نمایی کاهش می‌یابد.

اگر N هسته‌ی پرتوزا در زمان t در یک نمونه وجود داشته باشد (با فرض این که هیچ هسته‌ی جدیدی وارد نشود)، dN هسته‌ای که در زمان dt واپاشیده می‌شوند با N متناسب است؛ در نتیجه:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad 1-4$$

که در آن λ ثابت واپاشی است. اگر از معادله‌ی ۱-۴ انتگرال بگیریم، رابطه‌ی نمایی واپاشی به دست خواهد آمد که برابر است با:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad 2-4$$

و N_0 تعداد هسته‌های اولیه است. «نیمه عمر» هسته برابر خواهد بود با:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad 3-4$$

اندازه‌گیری تعداد واپاشی N بسیار مشکل است. از این رو، اکتیویته (A) یا آهنگ واپاشی را اندازه می‌گیرند.

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad 4-4$$

با توجه به رابطه‌ی ۴-۴، می‌توان چنین به دست آورد:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad 5-4$$

که A_0 اکتیویته در $t=0$ است.

آهنگ واپاشی معمولاً به صورت تعداد واپاشی بر ثانیه (dps) تعریف می‌شود. در آزمایشگاه کم‌تر پیش می‌آید که هر واپاشی که رخ می‌دهد توسط دستگاه ثبت شود. در نتیجه رابطه‌ی بین واپاشی مطلق A و آهنگ واپاشی مشاهده شده، چنین است:

$$R = \Psi A \quad 6-4$$

Ψ ضریب تناسب است و به آن راندمان شمارش می‌گویند. این ضریب به عواملی چون نوع آشکارساز، وضعیت هندسی جهت انجام شمارش، نوع و انرژی پرتوهای ناشی از واپاشی بستگی دارد. Ψ مقداری بین 0.1 تا 0.5 دارد. معادله‌ی 6-4، تنها زمانی صادق است که زمان اندازه‌گیری، از «نیمه عمر» ماده‌ی رادیواکتیو کم‌تر باشد. یک نمونه رادیواکتیو ممکن است متشکل از چند نوع هسته‌ی پرتوزای مختلف باشد که در این صورت آهنگ شمارش آشکارساز R را این گونه حساب می‌کند:

$$R = R' + R'' \quad 7-4$$

$$R = \Psi' A'_0 e^{-\lambda't} + \Psi'' A''_0 e^{-\lambda''t}$$

بدیهی است که در شرایط مناسب می‌توان آشکارساز را به صورتی انتخاب کرد که یک نوع پرتو دلخواه را شمارش کند.

واحدهای اکتیویته

اکتیویته‌ی یک نمونه‌ی رادیواکتیو درست برابر تعداد واپاشی‌های نمونه در واحد زمان است. تعداد واپاشی در ثانیه یکای مناسبی است. یکای مناسب برای اکتیویته، کوری (Ci) است که در ابتدا نماینده‌ی اکتیویته‌ی یک گرم رادیوم بوده است ولی اکنون به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ واپاشی بر ثانیه}$$

واحد اکتیویته در دستگاه SI بکرل (Bq) است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ واپاشی بر ثانیه}$$

توجه کنید که اکتیویته فقط تعداد واپاشی در ثانیه را بدون هیچ گونه اطلاعی از نوع تابش‌های گسیلی و یا انرژی آن‌ها به دست می‌دهد. اگر بخواهیم اثرات تابش را بر سیستم‌های زیست‌شناختی مورد بررسی قرار دهیم، اکتیویته واحد مناسبی نخواهد بود.

یکی از روش‌های دقیق اندازه‌گیری اکتیویته‌ی ماده‌ی مجهول، استفاده از روش مقایسه‌ای است. در این روش از یک چشمه‌ی استاندارد معلوم که وضعیتی دقیقاً مشابه با ماده‌ی مجهول دارد، استفاده می‌کنیم. در این صورت می‌توان از رابطه‌ی 6-4 چنین بهره برد:

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{\Psi_x A_x}{\Psi_s A_s} \quad 7-4$$

اندیس x مربوط به خصوصیات ماده‌ی با اکتیویته‌ی مجهول و اندیس s مربوط به خصوصیات نمونه‌ی استاندارد است. در صورتی که وضعیت هندسی و سایر شرایط هر دو نمونه با هم برابر باشند، Ψ_x و Ψ_s با هم برابر هستند و در نتیجه رابطه‌ی 8-4 به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{A_x}{A_s}$$

۹-۴

۲-۴) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: دو چشمه گامازای مشابه، آشکارساز گایگرمولر و دستگاه شمارنده‌ی مربوطه، زمان‌سنج

ابتدا با هماهنگی استاد یا کارشناس آزمایشگاه، دو چشمه‌ی گامازای مشابه را بردارید. یکی از این چشمه‌ها نقش چشمه‌ی استاندارد و دیگری نقش چشمه‌ی مجهول را دارد. دقت کنید چشمه‌ها باید از یک نوع و هم انرژی باشند. مشخصات مربوط به چشمه‌ها را می‌توانید از روی درب جعبه‌های حاوی چشمه‌ها در جدول ۱-۴ یادداشت کنید.

جدول ۱-۴: مشخصات چشمه‌ها

چشمه	استاندارد	مجهول	با انرژی متفاوت
شماره سریال			
سال تولید			
نیمه عمر			
اکتیویته			
خطای اکتیویته			

ابتدا چشمه‌ای را که به عنوان چشمه‌ی استاندارد انتخاب کرده‌اید در مقابل لامپ گایگر در فاصله‌ی ۴ سانتیمتری از آن قرار دهید. شمارنده را روی ولتاژ کاری که قبلاً به دست آوردید، قرار دهید و محل چشمه را علامت‌گذاری کنید.

برای مدت ۱۵ دقیقه شمارش‌های مربوط به چشمه را ثبت کنید. سپس چشمه را برداشته و چشمه‌ی مجهول را دقیقاً در همان وضعیت و همان مکان که قبلاً علامت‌گذاری نمودید، قرار دهید و ۱۵ دقیقه شمارش آن را نیز ثبت کنید. پس از آن، چشمه را برداشته و زمینه را نیز برای ۱۵ دقیقه اندازه بگیرید و جدول ۲-۴ را کامل کنید.

جدول ۲-۴: آهنگ شمارش چشمه‌ها برای فاصله‌ی ۴ سانتیمتری

	شمارش در ۱۵ دقیقه	شمارش با کسر زمینه	آهنگ شمارش
چشمه‌ی استاندارد			
چشمه‌ی مجهول			

حال مراحل بالا را با قرار دادن چشمه در فاصله‌ی ۲ سانتیمتری تکرار کنید و در جدول ۳-۴ ثبت کنید.

جدول ۴-۳: آهنگ شمارش چشمه‌ها برای فاصله‌ی ۲ سانتیمتری

آهنگ شمارش	شمارش با کسر زمینه	شمارش در ۱۵ دقیقه
		چشمه‌ی استاندارد
		چشمه‌ی مجهول

آهنگ شمارش‌های به‌دست آمده به ترتیب همان R_s و R_x است. با استفاده از داده‌های جدول ۴-۱ و با به‌کارگیری رابطه‌های ۴-۳ و ۴-۵ اکتیویته‌ی ماده‌ی استاندارد را محاسبه کنید و با استفاده از رابطه‌ی ۴-۸ و جدول ۴-۲ و ۴-۳ اکتیویته‌ی ماده‌ی مجهول را به ازای فواصل ۲ و ۴ سانتیمتری به دست آورید. آیا تفاوتی در نتایج این دو حالت دیده می‌شود؟ چرا؟ خطای محاسبه را در هر مرحله در نظر بگیرید و دقت A_x را نیز محاسبه کنید.

به کمک داده‌های جدول ۴-۱، A_x را از فرمول‌های ۴-۳ و ۴-۵ نیز محاسبه کنید و این مقدار را با مقداری که در قسمت قبل به دست آمده مقایسه کنید. علت اختلاف این دو مقدار در چیست؟

حال این آزمایش را برای چشمه‌ی گاما با انرژی متفاوت با چشمه‌ی جدول ۴-۳ انجام دهید. برای این منظور ابتدا اطلاعات مربوط به این چشمه را از روی درب جعبه‌ی حاوی چشمه‌ها در ستون آخر جدول ۴-۱ وارد کنید. شمارش را برای ۱۵ دقیقه و در فاصله‌ی ۲ سانتیمتری در جدول ۴-۴ درج نمایید و با اطلاعات نامی چشمه و آهنگ شمارش محاسبه شده، مقدار Ψ را برای هر کدام به دست آورید و ارتباط Ψ با انرژی را بررسی کنید.

جدول ۴-۴: تابع Ψ برای چشمه‌هایی با انرژی متفاوت در فاصله‌ی ۲ سانتیمتری

Ψ	آهنگ شمارش	شمارش در ۱۵ دقیقه
		چشمه‌ی استاندارد جدول ۴-۳
		چشمه با انرژی متفاوت با جدول ۴-۳

۴-۳ پرسش‌ها

- ۱- علت استفاده از روش مقایسه‌ای در این آزمایش چیست و چرا از روش اندازه‌گیری مطلق استفاده نمی‌کنیم؟
- ۲- همان طور که گفته شد واحدهای دیگری هم برای اکتیویته وجود دارد؛ آن‌ها را تعریف کنید؟
- ۳- وابستگی Ψ به پارامترهایی چون انرژی تابش، فاصله‌ی چشمه تا آشکارساز، سطح مقطع پنجره‌ی آشکارساز و ابعاد چشمه چگونه است؟
- ۴- آیا استفاده از ^{60}Co به عنوان استاندارد و ^{57}Co به عنوان مجهول امکان‌پذیر است؟
- ۵- با استفاده از مقادیر نامی جدول ۴-۱ و نتایج جدول‌های ۴-۲ و ۴-۳، Ψ را برای فاصله‌های ۴ و ۲ سانتیمتر به دست آورید و علت تفاوت آن‌ها را توضیح دهید؟

آزمایش شماره‌ی ۵

تحقیق قانون عکس مجذوری فاصله

هدف: به دست آوردن رابطه‌ی بین فاصله و شدت حاصل از چشمه‌ی رادیواکتیو

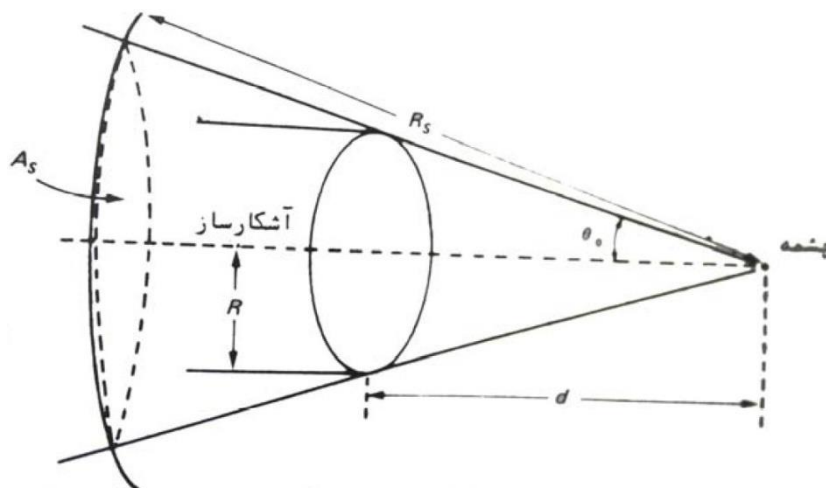
۱-۵) زمینه‌ی نظری

در شرایط عادی یک چشمه‌ی رادیواکتیو در تمام جهات به صورت همسانگرد تابش می‌کند؛ اما به دلیل محدودیت‌های متعددی تنها بخشی از تابش توسط آشکارساز، نمایان می‌شود. تعداد این ذرات با دهانه‌ی ورودی آشکارساز و فاصله‌ی چشمه تا آشکارساز مرتبط است.

دسته‌ای از این آثار، آثار هندسی^۱ نام دارند. اصطلاح هندسی در واقع به این دلیل به کار می‌رود که این اثرها، به اندازه و شکل چشمه و شکل روزنه‌ی آشکارساز بستگی دارند.

به طور کلی آثار هندسی می‌توانند به دو طریق بر اندازه‌گیری‌ها موثر باشند: ۱- محیط بین آشکارساز و چشمه ممکن است عامل پراکندگی و جذب ذرات باشد (این عامل بیش‌تر در مورد ذرات باردار نمود پیدا می‌کند)؛ ۲- اندازه و شکل چشمه و آشکارساز و فاصله‌ی بین آنها تعیین می‌کند که چه کسری از ذرات وارد آشکارساز می‌شوند. حال می‌خواهیم این مقدار را محاسبه کنیم:

در آزمایشگاه متداول‌ترین نوع چشمه، چشمه‌ی همسانگرد نقطه‌ای است که در فاصله‌ی معینی از یک آشکارساز با روزنه‌ی گرد قرار دارد. طبق تعریف، Ω نسبت تعداد ذراتی است که در هر ثانیه وارد ناحیه‌ی فعال آشکارساز می‌شوند به تعداد ذرات گسیل شده از چشمه در هر ثانیه.



شکل ۱-۵: نمایش هندسی چشمه و آشکارساز

چشمه‌ی نقطه‌ای همسانگردی به قدرت S_0 ذره در ثانیه را که در فاصله‌ی d از آشکارساز قرار دارد، در نظر بگیرید. اگر کره‌ای به مرکز چشمه و شعاع R_s که بزرگ‌تر از d است، رسم کنیم، تعداد ذرات بر متر مربع در هر

1. geometric effect

ثانیه بر روی سطح کره، عبارت است از $\frac{S_0}{4\pi R_s^2}$. ذراتی که به داخل آشکارساز وارد می‌شوند، آن‌هایی هستند که در درون قطاعی از این کره قرار می‌گیرند. در نتیجه تعداد ذراتی که در هر ثانیه وارد آشکارساز می‌شوند $A_s \left(\frac{S_0}{4\pi R_s^2} \right)$ است. با استفاده از تعریف Ω خواهیم داشت:

$$\Omega = \frac{A_s \left(\frac{S_0}{4\pi R_s^2} \right)}{S_0} = \frac{A_s}{4\pi R_s^2} \quad ۱-۵$$

A_s مساحت آن قطاع از کره است که با استفاده از انتگرال‌گیری می‌توان آن را به دست آورد. اما اگر فاصله‌ی چشمه تا آشکارساز در مقایسه با شعاع دهانه‌ی ورودی آشکارساز خیلی بیش‌تر باشد، می‌توان Ω را چنین نوشت:

$$\Omega = \frac{A}{4\pi d^2} \Rightarrow \Omega \propto \frac{1}{d^2} \quad ۲-۵$$

که A مساحت روزنه‌ی آشکارساز است؛ در نتیجه، تعداد ذرات شمارش شده نیز با عکس مجذور فاصله تغییر می‌کنند:

$$\Omega = \frac{K}{d^2} \quad ۳-۵$$

که در آن n تعداد ذرات شمارش شده، d فاصله‌ی چشمه‌ی نقطه‌ای تا شمارنده و K ضریب ثابت است.

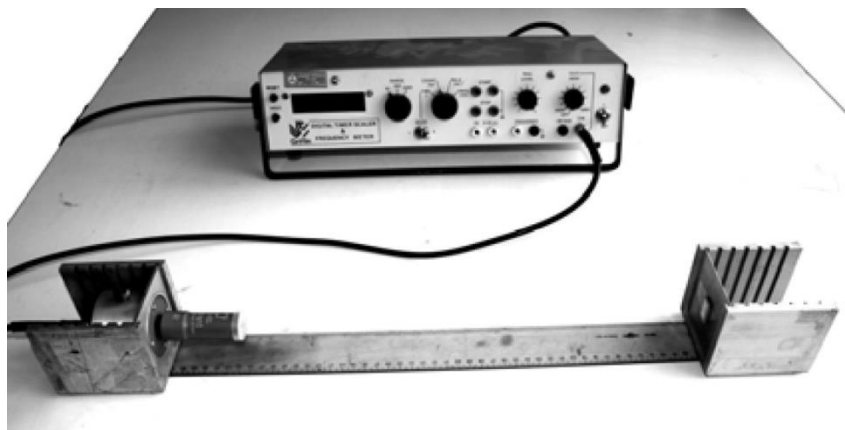
رابطه‌ی ۳-۵ زمانی درست است که محیط میان آشکارساز و چشمه، نقش زیادی در جذب ذرات نداشته باشد. برای پرتوهای آلفا و بتا که ذرات باردار هستند، همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، محیط در پراکندگی و جذب ذرات مؤثر خواهد بود و در واقع K مقدار ثابتی ندارد و با فاصله تغییر می‌کند.

واقعیتی که تا این جا بیان شد در واقع یکی از راه‌های حفاظت در برابر پرتو است که در مقدمه نیز به آن اشاره شد.

۲-۵ روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز گایگرمولر و دستگاه شمارنده‌ی مربوطه، چشمه‌های بتازا و گامازا، زمان‌سنج

ابتدا شمارنده‌ی گایگرمولر را به صورت افقی روی پایه‌ی مخصوص قرار داده و روی میز بگذارید. یک چشمه‌ی گامازا را پس از هماهنگی با استاد یا کارشناس آزمایشگاه، از گاوصندوق برداشته و آن را روی یک صفحه بچسبانید و درست در مقابل آشکارساز و در فاصله‌ی ۱ متری از آن قرار دهید. دقت کنید در تمام طول آزمایش، چشمه و آشکارساز درست در یک راستا قرار داشته باشند و چشمه، درست روبروی پنجره‌ی آشکارساز باشد. دستگاه شمارنده را روشن نموده و ولتاژ آن را به آرامی روی ولتاژ کاری که قبلاً به دست آوردید قرار دهید.



شکل ۲-۵: مدار آزمایش

با انتخاب مقدار مناسب را برای Range، شمارش‌ها را برای مدت ۷ دقیقه ثبت نمایید. برای فواصل دیگر مندرج در جدول ۱-۵ نیز این کار را تکرار کنید. بر اساس زمان مرده‌ای که در آزمایش ۲ برای شمارنده‌ی خود به دست آوردید، تصحیح زمان مرده را برای شمارش‌های به دست آمده اعمال کنید تا شمارش‌های واقعی را به دست آورید. پس از آن تصحیح تابش زمینه را نیز در نظر بگیرید. دقت کنید که خطاگیری را در تمام مراحل انجام دهید.

جدول ۱-۵: داده‌های مربوط به چشمه‌ی گاما

نام چشمه:					
d (cm)	شمارش در ۷ دقیقه	شمارش با تصحیح زمان مرده	شمارش با تصحیح زمان مرده و کسر تابش زمینه	آهنگ شمارش	$\frac{1}{d^2}$
100					
75					
50					
30					
15					
7.5					
زمینه			_____	_____	_____

نمودار آهنگ شمارش برحسب $\frac{1}{d^2}$ را رسم کنید. آیا این نمودار خطی است؟ بهترین خط را رسم کنید.

حال چشمه‌ی گاما را برداشته و به جای آن چشمه‌ی بتازا جایگزین کنید و تمام مراحل قبل را برای این چشمه تکرار و نتایج را در جدول ۲-۵ درج نمایید.

جدول ۵-۲: داده‌های مربوط به چشمه‌ی بتازا

نام چشمه:					
d (cm)	شمارش در ۷ دقیقه	شمارش با تصحیح زمان مرده	شمارش با تصحیح زمان مرده و کسر تابش زمینه	آهنگ شمارش	$\frac{1}{d^2}$
100					
75					
50					
30					
15					
7.5					
زمینه			_____	_____	_____

نمودار آهنگ شمارش برحسب $\frac{1}{d^2}$ را برای چشمه‌ی بتازا هم رسم کنید. این دو نمودار را با هم مقایسه کنید. از مقایسه‌ی آن‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

حال با استفاده از داده‌های جدول ۵-۱، برای یک چشمه‌ی گامازای همسانگرد، می‌دانیم که پراکنندگی پرتوی گاما در اطراف خیلی ناچیز است. پس روابط زیر همواره برقرار است:

$$I_1 = \frac{I_0}{R_1^2} \quad ۴-۵$$

$$I_2 = \frac{I_0}{R_2^2} \quad ۵-۵$$

که I_1 و I_2 شدت در فواصل R_1 و R_2 است. بنابراین داریم:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \Rightarrow I_1 = I_2 \frac{R_2^2}{R_1^2} \quad ۶-۵$$

اگر I_2 را آهنگ شمارش در فاصله‌ی ۱ متری تعریف کنیم می‌توانید با قرار دادن مقادیر مختلف به جای R_1 شدت نظری را در فواصل دیگر به دست آورید.

منحنی تغییرات شدت نظری بر حسب فاصله را به همراه منحنی تغییرات داده‌های آزمایشگاهی در یک نمودار رسم کنید و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمایید.

چه راه‌حلی‌هایی وجود دارد که منحنی داده‌های آزمایشگاهی به منحنی شدت نظری نزدیک شود؟

جدول ۳-۵: شدت نظری برحسب فاصله‌ی ۱ متر

شدت نظری	آهنگ شمارش	d (cm)
		100
		75
		50
		30
		15
		7.5

۳-۵ پرسش‌ها

- ۱- چه عواملی برای دو چشمه‌ی بتا و گاما باعث انحراف از قانون عکس مجذوری فاصله می‌شود؟
- ۲- انرژی ذرات بتا چه اثری بر آزمایش دارد؟
- ۳- در این آزمایش برای کم کردن شمارش‌های ناشی از پراکندگی چه راه‌حلهایی پیشنهاد می‌کنید؟
- ۴- آیا محیط بین چشمه و آشکارساز در قانون عکس مجذور فاصله، مؤثر است؟
- ۵- اگر آزمایش‌ها را در خلأ انجام دهیم، آیا نتایج متفاوت خواهد بود؟ تفاوت برای کدام تابش‌ها بیش‌تر است؟
- ۶- آیا این آزمایش برای چشمه‌های آلفا امکان‌پذیر است؟

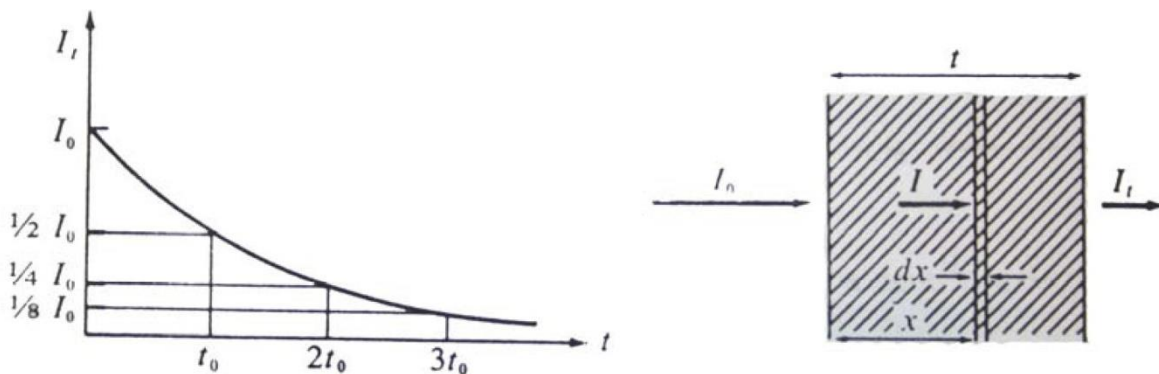
آزمایش شماره‌ی ۶

بررسی جذب پرتوی گاما در سرب و آلومینیوم

هدف: اندازه‌گیری ضریب جذب جرمی و خطی

۱-۶) زمینه‌ی نظری

هنگامی که پرتوی گاما از میان یک جاذب عبور می‌کند شدت آن به طور نمایی با ضخامت کاهش می‌یابد. فرض می‌کنیم باریکه‌ای از پرتوهای گاما با شدت I_0 عمود بر یک ماده به ضخامت t بتابد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶: تضعیف پرتو گاما در جاذب

اگر در ضخامت x از درون این جاذب، شدت باریکه برابر I باشد، میزانی از پرتوی گاما که در ضخامت dx جذب می‌شود برابر است با:

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad 1-6$$

که در آن μ ضریب تضعیف خطی با واحد cm^{-1} است. اگر از رابطه‌ی ۱-۶ انتگرال بگیریم برای جاذبی به ضخامت t داریم:

$$I_t = I_0 e^{-\mu t} \quad 2-6$$

که در آن I_t شدت باریکه‌ی دست نخورده است. ضخامتی که در آن شدت به نصف میزان اولیه‌اش کاهش می‌یابد، ضخامت نیم‌مقدار^۱ گویند و برابر است با:

$$t_{\text{HVL}} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \quad 3-6$$

تضعیف را فرآیندهای مستقلی مانند پراکندگی کامپتون^۲، اثر فوتوالکتریک^۳ و تولید زوج^۴ می‌تواند ایجاد کند.

در نتیجه:

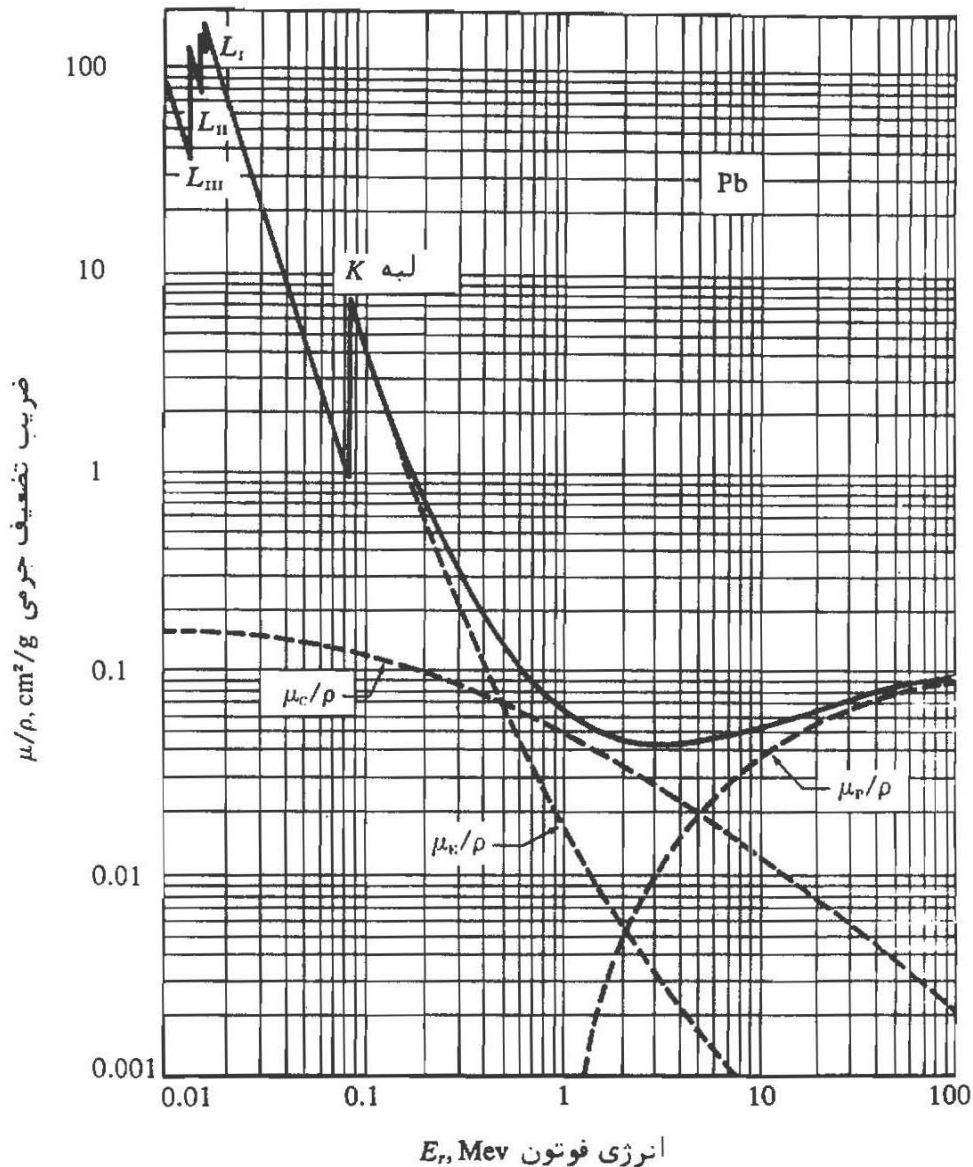
$$\mu = \mu_C + \mu_E + \mu_P \quad 4-6$$

1. Half Value Layer (HVL)
2. Compton scattering
3. Photoelectric effect
4. Pair production

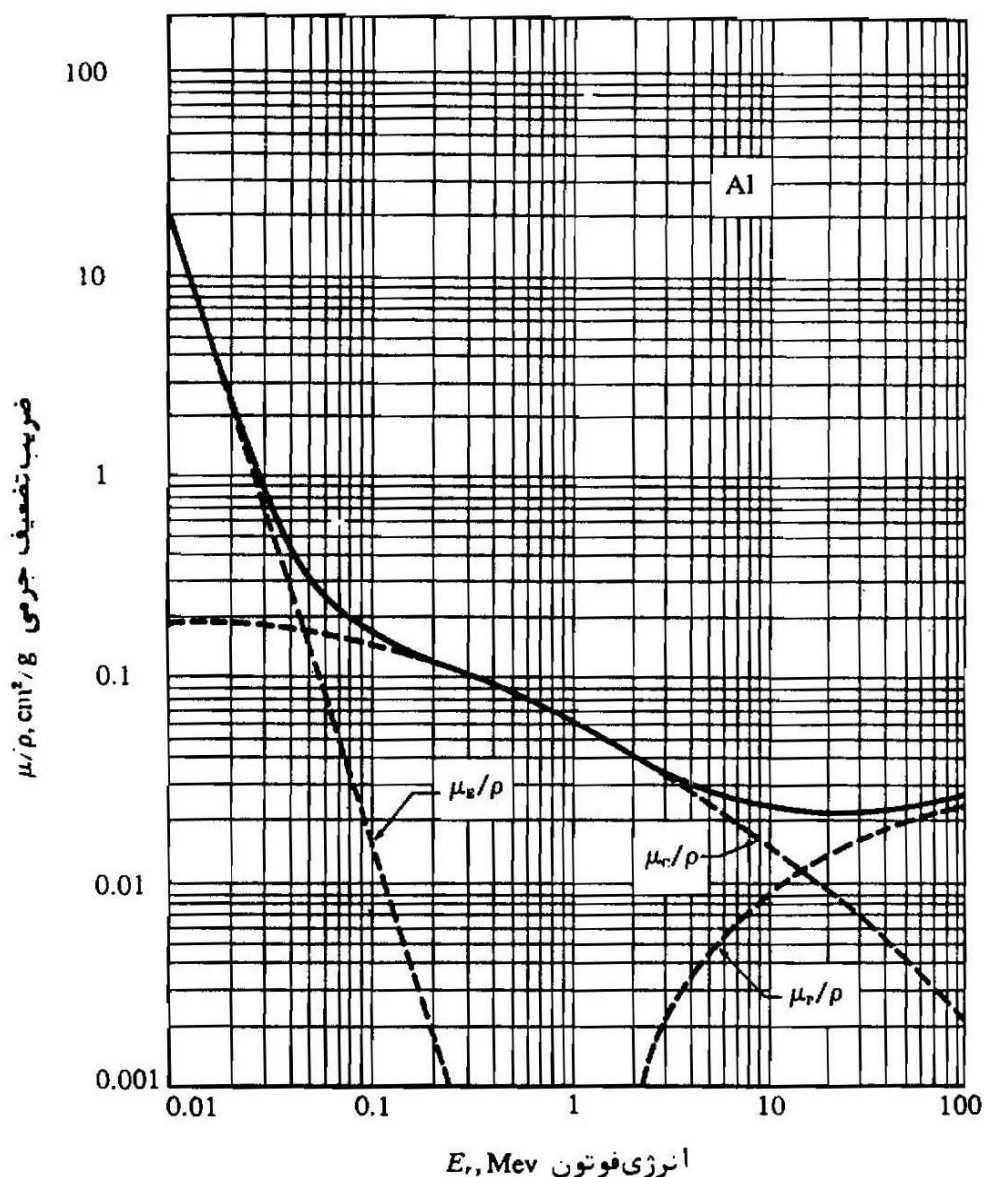
در واقع ضریب تضعیف جرمی با احتمال وقوع هر یک از فرآیندهای خاص متناسب است. در عمل، ما ضریب جذبی را مورد استفاده قرار می‌دهیم که مستقل از حالت فیزیکی جاذب باشد. از این رو $\frac{\mu}{\rho}$ را ضریب جذب جرمی تعریف می‌کنند. به این ترتیب معادله‌ی ۲-۶ تبدیل می‌شود به:

$$I_t = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho t} \quad ۵-۶$$

ρt حاصل ضرب ضخامت در چگالی است که چگالی سطحی خوانده می‌شود و واحد آن $\frac{g}{cm^2}$ است. شکل‌های ۲-۶ و ۳-۶ ضریب‌های جذب جرمی پرتوهای گاما به ترتیب در سرب و آلومینیوم را به صورت تابعی از انرژی پرتوهای گاما نشان می‌دهند. ضرایب مربوط به «اثر فوتوالکتریک»، «اثر کامپتون» و «تولید زوج» نیز به طور مجزا نشان داده شده‌اند. برای به دست آوردن ضرایب برحسب cm^{-1} ، آن‌ها را باید برای شکل ۲-۶ در چگالی سرب $(11.35 \frac{g}{cm^3})$ و برای شکل ۳-۶ در چگالی آلومینیوم $(2.70 \frac{g}{cm^3})$ ضرب نمایید.



شکل ۲-۶: ضریب جذب جرمی برای پرتوهای گاما در سرب



شکل ۳-۶: ضریب جذب جرمی برای پرتوهای گاما در آلومینیوم

۲-۶ روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز گایگرمولر و دستگاه شمارنده‌ی مربوطه، چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs ، جاذب‌های سربی و آلومینیومی با ضخامت‌های مختلف، زمان‌سنج

قسمت اول: ابتدا شمارنده را روی ولتاژ کاری مناسب قرار دهید و آن را روشن کنید. سپس چشمه‌ی ^{137}Cs را روی صفحه‌ای زیر آشکارساز قرار دهید و صفحه‌ی سربی با کم‌ترین ضخامت را بین چشمه و آشکارساز قرار دهید. شمارش را به ازای ۵ دقیقه ثبت کنید. این کار را برای صفحاتی با ضخامت‌های دیگر انجام دهید (می‌توانید برای ضخامت‌های زیادتر برای آن که در شمارش افت چندانی ایجاد نشود، زمان را کمی افزایش دهید). برای حفظ وضعیت هندسی سیستم، صفحه‌ی نگهدارنده‌ی جاذب را باقی بگذارید و تابش زمینه را برای ۱۰ دقیقه اندازه بگیرید و یک بار هم بدون هیچ گونه جاذبی اندازه‌گیری را تکرار کنید. جدول ۱-۶ را کامل نمایید.

جدول ۱-۶: شمارش‌های چشمه‌ی ^{137}Cs در حضور جاذب‌های سربی

شمارش زمینه در ۱۰ دقیقه:						
آهنگ شمارش زمینه (R_p) :						
ضخامت جاذب $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}\right)$	زمان شمارش	شمارش	شمارش با تصحیح زمان مرده	شمارش با تصحیح زمان مرده و کسر تابش زمینه	آهنگ شمارش R	$\ln R$

تصحیح زمان مرده را در شمارش‌ها اعمال کنید و آهنگ شمارش را به دست آورید. اگر از رابطه‌ی ۵-۶، لگاریتم بگیریم، داریم:

$$\ln I = \ln I_0 - \left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right) \rho t \right] \quad ۶-۶$$

I_0 در این جا آهنگ شمارش بدون حضور جاذب و I آهنگ شمارش چشمه در حضور جاذب‌ها با ضخامت‌های مختلف t است. نمودار $\ln R$ را برحسب ρt (ستون اول جدول ۱-۶) رسم کنید. آیا تغییرات خطی است؟ شمارش بدون جاذب را در نمودار وارد نکنید. خط بهترین شیب را رسم کنید و از روی آن $\frac{\mu}{\rho}$ را محاسبه کنید. ضریب جذب خطی (μ) و ضخامت نیم‌مقدار را نیز محاسبه کنید. در تمام مراحل، خطاگیری را انجام دهید $\left(\rho_{\text{Pb}} = 11.35 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$. با توجه به انرژی گامای چشمه‌ی ^{137}Cs و نمودار شکل ۲-۶، ضریب جذب به دست آمده را با مقدار مربوط به نمودار مقایسه کنید.

با استفاده از خط بهترین شیب، آهنگ شمارش بدون جاذب را به دست آورده و با مقدار اولیه که به دست آوردید مقایسه کنید. آیا تفاوت دارند؟ علت چیست؟

آزمایش را برای همان صفحات سربی تکرار کنید ولی این بار از چشمه‌ی ^{60}Co استفاده نمایید. مراحل را تکرار کرده و جدول ۲-۶ را کامل کنید. با توجه به انرژی گامای چشمه‌ی ^{60}Co و نمودار شکل ۲-۶، ضریب جذب به دست آمده را با مقدار مربوط به نمودار مقایسه کنید.

جدول ۲-۶: شمارش‌های چشمه‌ی ^{60}Co در حضور جاذب‌های سربی

شمارش زمینه در ۱۰ دقیقه:							آهنگ شمارش زمینه (R_b):						
ضخامت جاذب $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}\right)$	زمان شمارش	شمارش	شمارش با تصحیح زمان مرده	شمارش با تصحیح زمان مرده و کسر تابش زمینه	آهنگ شمارش R	$\ln R$							

قسمت دوم: بار دیگر چشمه‌ی ^{137}Cs را قرار داده و مانند قسمت اول، آزمایش را تکرار کنید اما این بار از صفحات آلومینیومی به عنوان جاذب استفاده کنید و جدول ۳-۶ را کامل نمایید.

جدول ۳-۶: شمارش‌های چشمه‌ی ^{137}Cs در حضور جاذب‌های آلومینیومی

شمارش زمینه در ۱۰ دقیقه:							آهنگ شمارش زمینه (R_b):						
ضخامت جاذب $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}\right)$	زمان شمارش	شمارش	شمارش با تصحیح زمان مرده	شمارش با تصحیح زمان مرده و کسر تابش زمینه	آهنگ شمارش R	$\ln R$							

نمودار $\ln R$ را بر حسب ρt رسم کنید. ضریب جذب خطی (μ) و ضخامت نیم‌مقدار (t_0) را نیز محاسبه کنید $\left(\rho_{\text{Al}} = 2.70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$. با توجه به انرژی گامای چشمه‌ی ^{137}Cs و نمودار شکل ۳-۶، ضریب جذب به دست آمده را با مقدار مربوط به نمودار مقایسه کنید.

۳-۶ پرسش‌ها

- ۱- با قرار دادن اولین جذب کننده در مقابل چشمه ^{137}Cs ، شمارش‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چرا؟ چه روشی را می‌توان برای برطرف نمودن آن از ابتدا انجام داد؟
- ۲- برای شمارش بدون جذب کننده‌های سربی، چرا نباید صفحه‌ی نگهدارنده‌ی جذب‌ها را برداشت؟
- ۳- با استفاده از نتایج به دست آمده در آزمایش، ضخامت آجرهای سربی برای آن که شدت پرتوی گاما با انرژی 0.662 Mev را به 0.1 کاهش دهد را محاسبه کنید؟
- ۴- ضریب جذب به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۵- چه عواملی باعث ایجاد خطا در نتایج آزمایش بوده‌اند؟
- ۶- نتایج حاصل از ^{60}Co و ^{137}Cs را با هم مقایسه کنید. تفاوت‌های مشاهده شده را بنویسید و علت آن را توضیح دهید.

آزمایش شماره‌ی ۷

اندازه‌گیری بُرد ذرات آلفا در هوا

هدف: اندازه‌گیری گستره‌ی ذرات آلفا در هوا با استفاده از آشکارساز حالت جامد

۱-۷) زمینه‌ی نظری

همان طور که در مقدمه آزمایش ۵ بیان شد، آهنگ شمارش با عکس مجذور فاصله متناسب است:

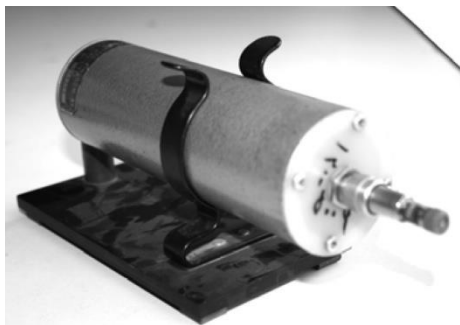
$$n = \frac{K}{r^2} \quad 1-7$$

نکته‌ی مهم این است که در این رابطه، $K(r)$ وابسته به فاصله است. در واقع بستگی به درجه‌ای دارد که ذرات آلفا در برخورد با مولکول‌های هوا متوقف می‌شوند. مطالعات با استفاده از اتاقک ابر نشان می‌دهد که تمام ذرات آلفای تابشی از یک چشمه‌ی تک انرژی، در فاصله‌ی یکسانی از چشمه متوقف می‌شوند که بستگی به انرژی اولیه‌ی این ذرات دارد.

شار ذرات حاصل از چشمه که در فاصله r از آشکارساز قرار دارد، متناسب با nr^2 است. با رسم نمودار تغییرات شار ذرات بر حسب r می‌توان فواصلی که طی آن گروه‌های ذرات آلفا با انرژی‌های مختلف، متوقف شده‌اند را مشخص کند. اما اندازه‌گیری مقدار مطلق r کار بسیار مشکلی است؛ زیرا نه محل دقیق چشمه مشخص است و نه محل دقیق سطح حساس آشکارساز. رابطه‌ی ۱-۷ را به صورت زیر تغییر می‌دهیم:

$$\frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{r}{\sqrt{K(r)}} \quad 2-7$$

همان طور که از رابطه‌ی ۲-۷ پیداست، منحنی تغییرات $\frac{1}{\sqrt{n}}$ بر حسب r می‌تواند ناپیوستگی‌های موجود در



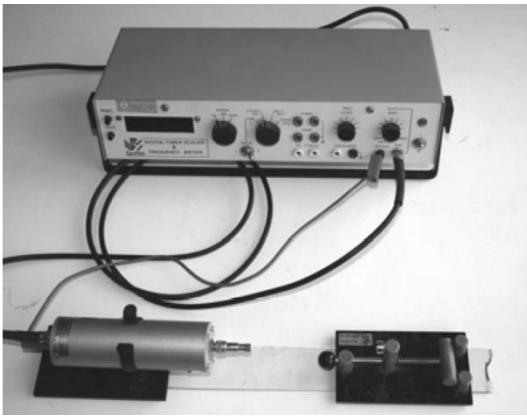
شکل ۱-۷: آشکارساز حالت جامد

تابع $K(r)$ را مشخص کند. برای فواصل نزدیک به چشمه، مقدار ثابتی است. در نتیجه، قسمت اول نمودار، باید خط مستقیمی باشد که از مبدأ می‌گذرد.

در این آزمایش ما از یک آشکارساز حالت جامد استفاده می‌کنیم. مزیت این آشکارساز این است که تنها نسبت به پرتوهای آلفا حساس است؛ در نتیجه چشمه‌هایی که چندین نوع تابش مختلف دارند، تنها تابش‌های آلفای آن‌ها شمرده خواهد شد.

۲-۷) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز حالت جامد و دستگاه شمارنده‌ی مربوطه، چشمه‌های ^{226}Ra و ^{241}Am یا ^{239}Pu ، کولیس، زمان‌سنج



شکل ۲-۷: مدار آزمایش

ابتدا آشکارساز را مطابق شکل ۲-۷ به یک دستگاه شمارنده متصل نمایید. اطمینان حاصل کنید که دستگاه خاموش باشد. سپس نگهدارنده‌ی چشمه را به گونه‌ای در مقابل آشکارساز قرار دهید که چشمه و قسمت حساس آشکارساز در یک راستا و دقیقاً روبه‌روی هم باشند. مطمئن شوید کلید E. H. T. خاموش است (در این آزمایش نیازی به ولتاژ E. H. T. ندارید). سپس آشکارساز را با یک سیم به خروجی 6 v شمارنده وصل کنید. دستگاه را در حالت Count قرار داده و Range را روی پله‌ی

100 بگذارید. ابتدا چشمه ^{226}Ra را در نگهدارنده قرار داده و فاصله‌ی چشمه و آشکارساز را ۱ سانتیمتر انتخاب کنید. دستگاه را روشن کرده و شمارش را به ازای ۱ دقیقه ثبت کنید. فاصله‌ی بین چشمه و آشکارساز را مطابق جدول ۱-۷ با استفاده از کولیس افزایش دهید. زمان اندازه‌گیری را به گونه‌ای افزایش دهید که در هر مرحله حداقل بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ شمارش ثبت کنید. این کار باعث می‌شود تا دقت اندازه‌گیری‌ها بالاتر رود و اثر تابش زمینه نیز کم‌تر شود. برای این منظور، زمان را حداکثر تا ۵ دقیقه افزایش دهید (در فواصل دور تعداد شمارش‌ها به شدت افت می‌کند و در نتیجه، افزایش زمان بیش از این، تعداد شمارش‌ها را افزایش چندانی نخواهد داد).

جدول ۱-۷: شمارش‌ها برای چشمه‌ی ^{226}Ra

فاصله (cm)	زمان (min)	شمارش	n (آهنگ شمارش)	$\frac{1}{\sqrt{n}}$
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				
3.2				
3.4				
3.6				
3.8				
4.0				
4.2				
4.4				
4.6				

فاصله (cm)	زمان (min)	شمارش	n (آهنگ شمارش)	$\frac{1}{\sqrt{n}}$
4.8				
5.0				
5.2				
5.4				
5.6				
5.8				
6.0				
6.2				
6.4				
6.6				
6.8				
7.0				
7.2				

از رابطه‌ی ۷-۲ خط‌گیری نموده و نمودار تغییرات $\frac{1}{\sqrt{n}}$ برحسب r را رسم کنید. نقاط ناپیوستگی را مشخص کنید. علت به وجود آمدن آن‌ها چیست؟ خط بهترین شیب را برای قسمت اول نمودار رسم کنید و شیب آن را به دست آورید.

چشمه‌ی ^{226}Ra را برداشته و یک چشمه‌ی آلفای دیگر مانند ^{241}Am یا ^{239}Pu را جایگزین نمایید. فاصله‌ی چشمه و آشکارساز را طبق جدول ۷-۲ تنظیم و آزمایش را مانند مرحله‌ی قبل تکرار کنید.

جدول ۷-۱: شمارش‌ها برای چشمه‌ی

فاصله (cm)	زمان (min)	شمارش	n (آهنگ شمارش)	$\frac{1}{\sqrt{n}}$
1.0				
1.5				
2.0				
2.2				
2.4				
2.6				
2.8				
3.0				
3.2				
3.4				
3.6				
3.8				
4.0				

فاصله (cm)	زمان (min)	شمارش	n (آهنگ شمارش)	$\frac{1}{\sqrt{n}}$
4.2				
4.4				
4.6				
4.8				
5.0				
5.2				
5.4				
5.6				
5.8				
6.0				
6.2				
6.4				
6.6				

نمودار تغییرات $\frac{1}{\sqrt{n}}$ برحسب r را رسم کنید و آن‌ها را با هم مقایسه نمایید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۷-۳) پرسش‌ها

- ۱- آیا انتخاب نوع آشکارساز در نتیجه‌ی برد آلفا تأثیر دارد؟
- ۲- آیا فشار، دما و شرایط محیطی در برد آلفا تأثیرگذار است؟
- ۳- توزیع انرژی تابش آلفا چگونه در برد آلفا تأثیر می‌گذارد؟

آزمایش شماره‌ی ۸

طیف‌نگاری پرتوی گاما با استفاده از آشکارساز سوسوزن

هدف: طیف‌نگاری انرژی پرتوی گاما با استفاده از آشکارساز سوسوزن NaI(Tl) و تحلیل‌گر چندکاناله (MCA)

۸-۱) زمینه‌ی نظری

طیف‌نگاری در واقع اندازه‌گیری توزیع انرژی گسیلی است. برای اندازه‌گیری طیف انرژی گسیل شده از یک چشمه به کمک یک آشکارساز، توزیع تپ‌های تولید شده از این ذرات را اندازه می‌گیریم. رویدادهایی که انرژی را به تپ ولتاژ تبدیل می‌کنند دارای طبیعت آماری هستند. در نتیجه حتی اگر تمام ذرات دقیقاً انرژی یکسانی در آشکارساز ذخیره کنند، تپ‌های خروجی یکسان نبوده بلکه توزیع معینی خواهند داشت. در هر اندازه‌گیری دو طیف نقش دارد:

۱- طیف چشمه؛ که طیف گسیلی از چشمه است.

۲- طیف اندازه‌گیری شده؛ که توزیع ارتفاع تپ اندازه‌گیری شده است.

چگونگی عمل یک آشکارساز که برای اندازه‌گیری انرژی به کار می‌رود، با پهنای توزیع تپ یک چشمه‌ی تک‌انرژی مشخص می‌شود. همان طور که در آزمایش ۳ بیان شد، این پهنای در نیم بیشینه اندازه‌گیری می‌شود (Γ). با تعریف این پارامتر می‌توان قدرت تفکیک یک آشکارساز که در واقع توانایی آشکارساز در شناسایی ذرات با انرژی متفاوت است را به دست آورد:

$$R(E_0) = \frac{\Gamma}{E_0} \quad ۸-۱$$

پهنای (Γ) بر حسب انرژی است در حالی که $R(E_0)$ به صورت درصد است. از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر قدرت تفکیک، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- افت و خیز در تعداد حامل‌های بار تولید شده در آشکارساز

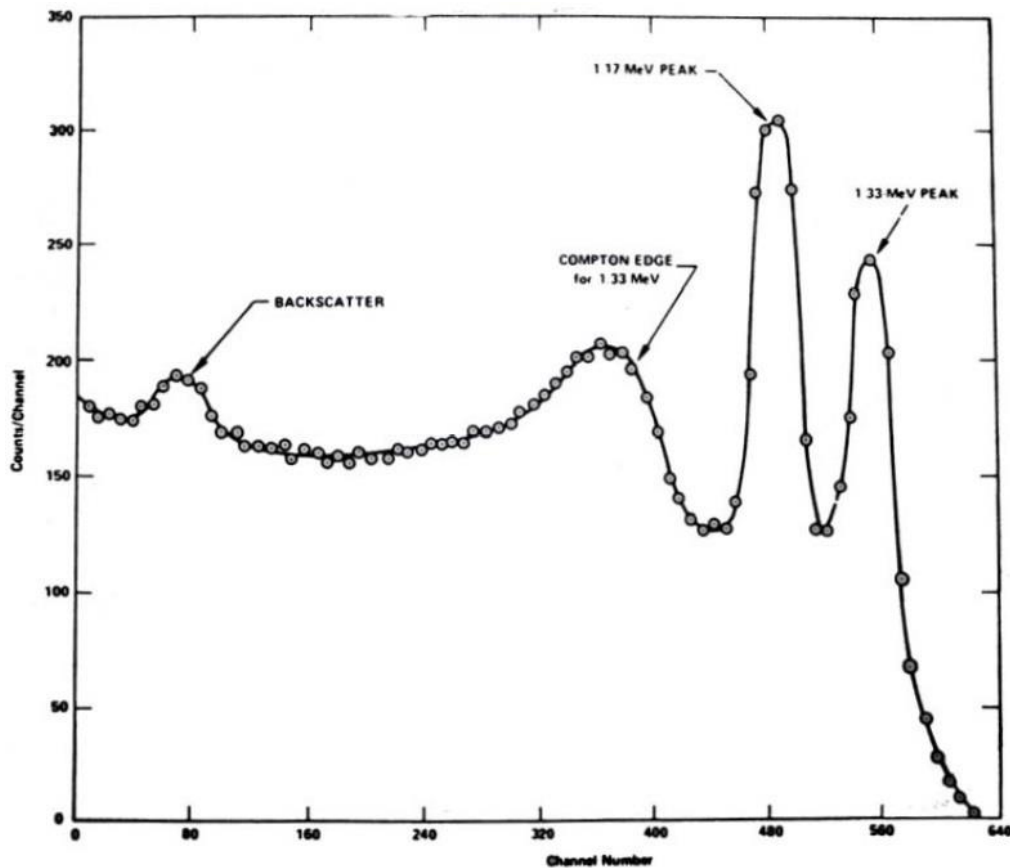
۲- نوفه‌ی الکتریکی در آشکارساز و الکترونیک آن

۳- گردآوری ناقص بارهای تولید شده در آشکارساز

زمانی که یک پرتوی گاما وارد یک آشکارساز می‌شود می‌تواند فرآیندهای مختلفی را ایجاد کند. همان طور که می‌دانیم، زمانی که فوتون وارد می‌شود، می‌تواند در اثر پدیده‌ی کامپتون، پراکنده شده و مقداری از انرژی خود را از دست بدهد و یک الکترون آزاد کند. در ادامه، یا به پراکندگی خود ادامه می‌دهد یا این که آن قدر به لبه‌های بلور نزدیک می‌شود که در اثر پراکندگی از آن خارج شود. اگر فوتون کاملاً جذب شود، انرژی ایجاد شده با فوتون فرودی برابر است؛ اما اگر پراکنده شود، به زاویه‌ی پراکندگی وابسته است.

در صورتی که فوتون، بازتابیده شود، انرژی جذب شده توسط بلور، با زاویه متغیر است و در نتیجه به صورت طیف پیوسته‌ای است که پیوستار کامپتون خوانده می‌شود و محدوده‌ی آن از انرژی صفر تا یک بیشینه با نام لبه‌ی کامپتون خواهد بود.

فوتوپیک نیز در واقع متناظر با جذب کامل فوتون در بلور است. بر اثر فرآیند نابودی زوج نیز دو فوتون تولید می‌شود که اگر هر دو فوتون فرار کنند، قله‌ی دوفراری و اگر یکی از فوتون‌ها بتواند فرار کند، قله‌ی تک‌فراری خواهیم داشت. شکل ۱-۸، نمونه‌ای از طیف به دست آمده از MCA برای چشمه‌ی ^{60}Co را نشان داده است.



شکل ۱-۸: نمودار شمارش بر حسب کانال برای چشمه‌ی ^{60}Co

همان طور که در شکل ۱-۸ مشخص است، علاوه بر فوتوپیک‌ها و پیک مربوط به لبه‌ی کامپتون، یک پیک دیگر به نام پیک پس‌پراکندگی^۱ نیز دیده می‌شود که بر اثر برهمکنش کامپتون پرتوی گاما با موادی که آشکارساز را احاطه کرده است، به وجود می‌آید.

انرژی پرتوی گاما را می‌توانید از رابطه‌ی زیر محاسبه کنید:

$$E_{\gamma'} \cong \frac{E_{\gamma}}{1 + 2E_{\gamma}(1 - \cos \theta)} \quad ۲-۸$$

که در آن $E_{\gamma'}$ انرژی پرتوی گامای پراکنده شده بر حسب Mev، θ زاویه‌ی پراکندگی γ' و E_{γ} انرژی پرتوی گامای فرودی است. اگر $\theta = 180^{\circ}$ باشد، رابطه‌ی ۲-۸ تبدیل به رابطه‌ی

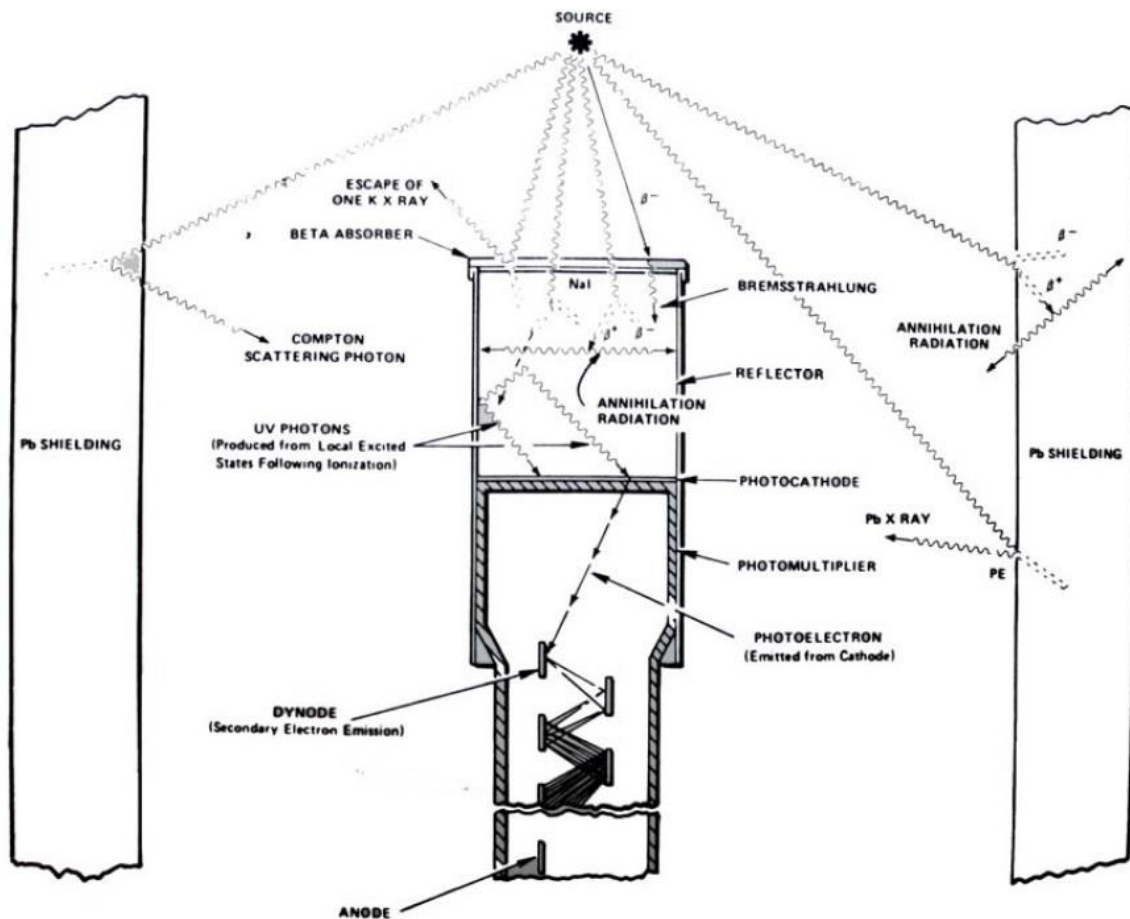
$$E_{\gamma'} \cong \frac{E_{\gamma}}{1+4E_{\gamma}} \quad ۳-۸$$

می‌شود. انرژی لبه‌ی کامپتون در واقع اختلاف بین انرژی پرتوی گامای اولیه و ثانویه است:

$$E_C = E_{\gamma} - E_{\gamma'} \quad ۴-۸$$

نمونه‌ی رخدادهایی که در یک آشکارساز ممکن است اتفاق بیفتد را به صورت طرح‌وار در شکل ۲-۸

می‌بینید.



شکل ۲-۸: نمونه‌ی طرح‌وار از رخدادها در موقع برخورد فوتون با آشکارساز NaI

همان طور که در پیوست «ج» این دستورکار نیز آمده، می‌توان به کمک دستگاه MCA، نموداری از تعداد شمارش‌ها برحسب کانال ترسیم کرد؛ اما برای استفاده‌ی عملی، ما نیاز داریم انرژی را بدانیم. برای این منظور باید دستگاه را درجه‌بندی کنیم تا بتوانیم رابطه‌ی بین شماره‌ی کانال و انرژی بیابیم:

$$E = a_1 + a_2C + a_3C^2 \quad ۵-۸$$

C شماره‌ی کانال و a_1 ، a_2 و a_3 مقادیر ثابت هستند. اکثر دستگاه‌های آشکارساز، خطی هستند و این باعث می‌شود تا معادله‌ی ۵-۸ به شکل زیر ساده شود:

$$E = a_1 + a_2C \quad ۶-۸$$

برای محاسبه قدرت تفکیک انرژی می‌بایست نیم پهنای بیشینه را برای انرژی E محاسبه کنیم و با توجه به

رابطه‌ی ۱-۸ قدرت تفکیک را محاسبه نمایید:

$$R = \frac{\Gamma}{E} = \frac{(a_1 + a_2 C_R) - (a_1 + a_2 C_L)}{E} = \frac{a_2 (C_R - C_L)}{E} \quad \text{۷-۸}$$

که در آن C_L و C_R ، شماره‌ی کانال‌های دو سمت قله در نیم‌پهنای بیشینه است.

بین تمام سوسوزن‌های رایج در بازار، بلور NaI که با تالیوم فعال شده است، کاربرد زیادی دارد. این نوع آشکارساز، بیش‌ترین کاربرد را در آشکارسازی پرتوی گاما دارد و این آشکارساز زمانی استفاده می‌شود که قدرت تفکیک انرژی، مهم‌ترین عامل در اندازه‌گیری مورد نظر نباشد. برخی از خصوصیات آن در زیر آمده است:

۱- می‌توان آنها را در هر شکل و اندازه‌ای تهیه کرد.

۲- دارای بازده‌ی بالایی است.

۳- ارزان‌تر از آشکارسازهای نیم‌رسانا است.

یکی از معایب شمارنده‌های سوسوزن، علاوه بر قدرت تفکیک پایین آنها در مقایسه با آشکارسازهای Si(Li) و Ge(Li) لزوم سوار کردن آنها بر روی «لوله‌ی تکثیر کننده فوتونی»^۱ است. امروزه در بازار، آشکارسازهای NaI(Tl) را به صورت بلورهایی با اندازه‌ی دلخواه مشتری و یا به صورت مجموعه‌ای همراه با یک PMT (لوله‌ی تکثیر کننده فوتونی) به فروش می‌رسانند. این مجموعه را معمولاً در یک پوشش آلومینیومی قرار داده و روی آن را لایه‌ای از آب کروم می‌دهند و جلوی این مجموعه را یک پنجره‌ی بسیار نازک تعبیه می‌کنند. «لوله‌ی تکثیر کننده فوتونی» را نیز با یک لایه‌ی ضد مغناطیس می‌پوشانند تا افت‌وخیزهای بهره‌ی دستگاه در اثر میدان مغناطیسی را کاهش دهد.

۸-۲) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز سوسوزن از نوع NaI(Tl) ، تحلیل‌گر چندکاناله (MCA)، چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{22}Na .

با راهنمایی استاد یا کارشناس آزمایشگاه و مراجعه به پیوست «ج»، دستگاه را آماده نمایید. سپس برای مدت ۱۵ دقیقه طیف مربوط به زمینه را ثبت کنید (دقت کنید هنگامی که دستگاه در حال ثبت شمارش‌ها است، چشمه‌ی دیگری در اطراف آشکارساز نباشد). پس از اتمام زمان، اگر از دستگاه MCA شرکت ORTEC استفاده می‌کنید، با جابجا کردن نشانگر بر روی صفحه‌ی نمایش، شمارش‌ها را به ازای کانال‌های مختلف ثبت کنید. با توجه به تعداد زیاد کانال‌ها، از کانال شماره‌ی صفر هر بار ۱۰ کانال جابجا شده و شمارش‌ها را به ازای آن کانال ثبت نمایید. در صورت استفاده از مجموعه‌ی طیف‌سنجی همراه با رایانه، اطلاعات شمارش کانال‌ها را در قالب یک فایل اکسل ذخیره کنید.

حال چشمه‌ی ^{137}Cs را در زیر آشکارساز قرار دهید و دستگاه را برای کار آماده کنید. برای آن که پیک مربوط به پس‌پراکندگی مشخص‌تر شود، در اطراف آشکارساز صفحات سربی قرار دهید. طیف را برای ۱۵ دقیقه

1. PMT (Photo Multiplier Tube)

ثبت نمایید و سپس اگر از دستگاه MCA مدل 7150 شرکت ORTEC استفاده می‌کنید، شمارش‌ها را برای همان کانال‌هایی که برای زمینه‌ی یادداشت کردید، ثبت نمایید و در صورت استفاده از مجموعه‌ی طیف‌سنجی همراه با رایانه، کل اطلاعات طیف را مجدداً به صورت یک فایل اکسل ذخیره کنید. همین کار را برای چشمه‌های ^{60}Co و ^{22}Na نیز انجام دهید.

با اصلاح شمارش‌های زمینه، نمودار شمارش بر حسب کانال را برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{22}Na رسم کنید. بر روی این نمودارها فوتوپیک‌ها، لبه‌ی کامپتون و پیک مربوط به پس‌پراکندگی را مشخص کنید. پیک‌های نمودارها را با استفاده از منحنی گاوسی برازش کنید. برای این کار می‌توانید از نرم‌افزارهایی مانند Origin بهره بگیرید. با استفاده از همین برازش، شماره‌ی کانال در بیشینه‌ی پیک‌ها، پهنای نیم بیشینه و مساحت سطح زیر پیک‌ها را به دست آورید. مقادیر اسمی برای انرژی پیک‌های مختلف برای چشمه‌های مختلف در جدول ۱-۸ داده شده است.

جدول ۱-۸: مقادیر اسمی انرژی پیک‌ها

انرژی (Mev)	فوتوپیک‌ها
1.17	فوتوپیک اول ^{60}Co
1.33	فوتوپیک دوم ^{60}Co
0.663	فوتوپیک ^{137}Cs
0.511	فوتوپیک اول ^{22}Na
1.274	فوتوپیک دوم ^{22}Na

برای آن که بتوانیم از اطلاعات طیف‌ها استفاده کنیم باید شماره‌ی کانال‌ها را برحسب انرژی مقیاس‌بندی کنیم. برای این کار می‌توان از یک چشمه‌ی استاندارد با انرژی معلوم استفاده کرد. در این آزمایش برای مقیاس‌بندی (کالیبراسیون) انرژی از چشمه‌ی ^{60}Co که دو فوتوپیک دارد استفاده می‌کنیم. شماره کانال‌های دو فوتوپیک چشمه‌ی ^{60}Co را در جدول ۲-۸ ثبت نمایید.

جدول ۲-۸

شماره‌ی کانال	فوتوپیک‌های ^{60}Co
	فوتوپیک اول
	فوتوپیک دوم

با استفاده از طیف‌هایی که رسم کرده‌اید، ستون مربوط به شماره‌ی کانال را در جدول ۳-۸ کامل کنید.

جدول ۳-۸

انرژی (Mev)	شماره‌ی کانال	محل مورد نظر از طیف‌ها
		فوتوپیک ^{137}Cs
		فوتوپیک اول ^{22}Na
		فوتوپیک دوم ^{22}Na
		لبه‌ی کامپتون ^{137}Cs
		لبه‌ی کامپتون فوتوپیک اول ^{60}Co
		لبه‌ی کامپتون فوتوپیک دوم ^{60}Co
		پس‌پراکندگی ^{137}Cs
		پس‌پراکندگی ^{60}Co

با استفاده از مقادیر مربوط به فوتوپیک‌های چشمه‌ی ^{60}Co در جدول ۲-۸ و به کمک رابطه‌ی ۶-۸، ضرایب a_1 و a_2 را به دست آورید و به وسیله‌ی آن‌ها، انرژی فوتوپیک ^{137}Cs را محاسبه و در جدول ۳-۸ ثبت کنید. این مقدار را با انرژی اسمی فوتوپیک ^{137}Cs جدول ۱-۸ مقایسه نمایید.

نمودار انرژی برحسب شماره‌ی کانال برای این سه مقدار (دو فوتوپیک ^{60}Co و یک فوتوپیک ^{137}Cs) رسم کنید و خط بهترین شیب را رسم نمایید. مقادیر انرژی را برای فوتوپیک‌های ^{22}Na از روی نمودار به دست آورید و در جدول ۳-۸ درج کنید. این مقادیر، چه قدر با مقادیر اسمی نشان داده شده در جدول ۱-۸، تفاوت دارند؟ به کمک همین نمودار، انرژی سایر موارد جدول ۳-۸ را نیز به دست آورید.

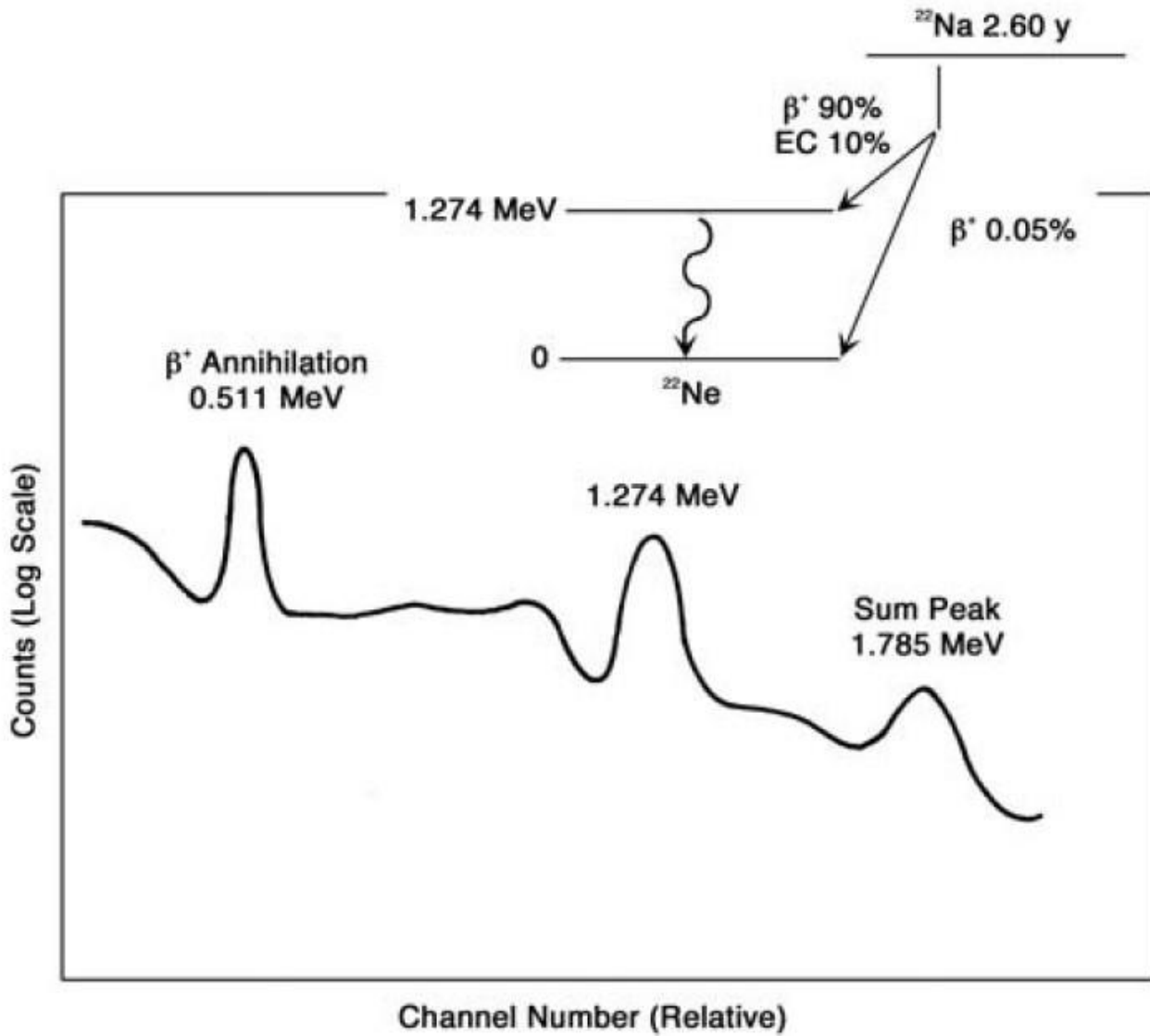
با استفاده از رابطه‌های ۳-۸ و ۴-۸، انرژی لبه‌ی کامپتون را برای ^{137}Cs محاسبه نمایید. این مقدار را با آن چه از روی اندازه‌گیری در جدول ۳-۸ به دست آوردید مقایسه کنید. این کار را برای لبه‌ی کامپتون فوتوپیک‌های ^{60}Co نیز انجام دهید.

با استفاده از رابطه‌ی ۳-۸، انرژی پس‌پراکنی را برای ^{60}Co و ^{137}Cs به دست آورید. این مقادیر را نیز با آنچه از آزمایش به دست آوردید (جدول ۳-۸) مقایسه کنید.

رابطه‌ی ۱-۸ را می‌توان به این صورت نوشت:

$$R = \frac{\delta E}{E} \times 100 \quad ۸-۸$$

که در آن δE ، پهنای نیم بیشینه در فوتوپیک و E شماره‌ی کانال مربوط به فوتوپیک است. از این رابطه می‌توانید قدرت تفکیک آشکارساز را در انرژی‌های مختلف به دست آورید. این کار را برای فوتوپیک ^{137}Cs انجام دهید.



شکل ۸-۳: نمودار شمارش بر حسب کانال برای ^{22}Na

۳-۸ پرسش‌ها

- ۱- آیا نتایج تئوری و تجربی این آزمایش همخوانی دارند. چرا؟
- ۲- ابعاد کریستال NaI در کدام نتایج تأثیر می‌گذارد؟
- ۳- DT چگونه در محاسبات طیف‌سنجی اعمال می‌شود؟
- ۴- چه عواملی در راندمان طیف‌سنج تأثیر دارد؟
- ۵- سطح زیر طیف، معرف کدام پارامتر از چشمه است؟

آزمایش شماره‌ی ۹

اندازه‌گیری اکتیویته‌ی مجهول ماده‌ی رادیواکتیو به کمک طیف انرژی گاما

هدف: اندازه‌گیری اکتیویته‌ی مجهول ماده‌ی رادیواکتیو به روش نسبی و مطلق با استفاده از آشکارساز سوسوزن NaI(Ti) و تحلیل‌گر چندکاناله (MCA)

۱-۹) زمینه‌ی نظری

همان طور که در آزمایش شماره‌ی ۴ انجام دادید، اکتیویته‌ی مجهول یک ماده‌ی پرتوزا را می‌توان با روش مقایسه با یک چشمه‌ی استاندارد و با به‌کارگیری یک شمارنده‌ی گایگر-مولر به دست آورد. در این روش، به دلیل آن که اندازه‌گیری‌ها به صورت مطلق نیست، درصد خطا کم می‌شود. در این آزمایش سعی داریم با همان پایه‌های علمی و این بار با استفاده از طیف انرژی پرتوی گاما که توسط یک آشکارساز سوسوزن و یک تحلیل‌گر چندکاناله ثبت شده است، اکتیویته‌ی مجهول یک ماده را به روش نسبی و مطلق به دست آوریم.

همان طور که در آزمایش ۴ دیدیم، در روش نسبی، رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{A_x}{A_s} \quad 1-9$$

تنها تفاوت موجود این است که در این جا به دلیل آن که با یک طیفی از انرژی سر و کار داریم، باید اکتیویته را از روی طیف انرژی به دست آوریم که در واقع میزان شمارش‌ها در فوتوپیک است؛ اما به دلیل آن که پیک‌های موجود در طیف، به دلایل مختلفی دچار پهن‌شدگی می‌شوند، باید سطح زیر فوتوپیک را محاسبه کنیم:

$$\frac{A_x}{A_s} = \frac{\Sigma_x}{\Sigma_s} \quad 2-9$$

که منظور از Σ_x و Σ_s به ترتیب، سطح زیر فوتوپیک مربوط به چشمه‌ها با اکتیویته‌ی معلوم و مجهول هستند. اما در روش مطلق، تمام اندازه‌گیری‌ها را برای یک چشمه‌ی با اکتیویته‌ی مجهول انجام می‌دهیم. همان طور که قبلاً گفته شد، در این حالت، عواملی چون شکل هندسی آشکارساز، فاصله‌ی چشمه از آشکارساز و خصوصیات محیط بین آشکارساز و چشمه نیز در محاسبه‌ی اکتیویته، دخیل می‌شود. برای این کار می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد:

$$A_x = \left(\frac{\Sigma_x}{t} \right) \frac{1}{G \varepsilon_p f} \quad 3-9$$

در این رابطه Σ_x سطح زیر فوتوپیک، t زمان آزمایش، ε_p بازدهی ذاتی برای پیک و f کسر واپاشی است و عامل هندسی G از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

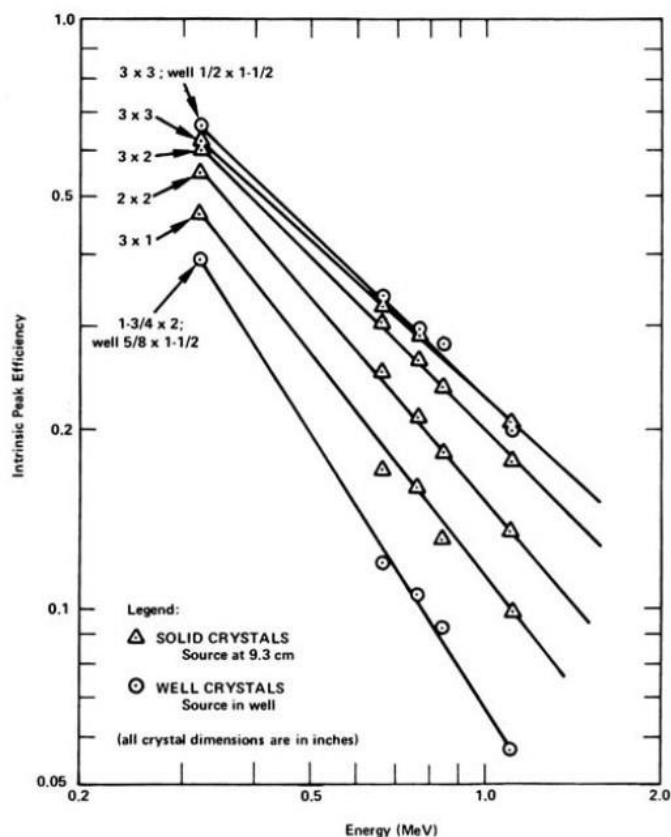
$$G = \frac{a}{4\pi s^2} \quad 4-9$$

که a مساحت آشکارساز به سانتی‌متر مربع و s فاصله‌ی چشمه تا آشکارساز برحسب سانتی‌متر است. برخی از این پارامترها برای آشکارسازهای مختلف به صورت جدول تنظیم شده است. در جدول ۱-۹ مقادیر f برای

انرژی‌های مختلف انواع چشمه داده شده است و نمودار شکل ۹-۱، ϵ_p را به ازای اندازه‌های مختلف بلور آشکارساز در انرژی‌های مختلف به دست می‌دهد.

جدول ۹-۱: کسر واپاشی برای انرژی‌های مختلف

ایزوتوپ	انرژی گاما (Mev)	f
^{137}Cs	0.662	0.92
^{51}Cr	0.323	0.09
^{60}Co	1.17	0.99
^{60}Co	1.33	0.99
^{22}Na	1.276	0.99
^{22}Na	0.511	0.99
^{54}Mn	0.842	1.00
^{65}Zn	1.14	0.44



شکل ۹-۱: نمودار بازده ذاتی برای انرژی‌های مختلف و اندازه‌های مختلف بلور آشکارساز

۲-۹) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز سوسوزن از نوع NaI(Tl)، تحلیل‌گر چندکاناله (MCA)، دو چشمه‌ی ^{137}Cs .

قسمت اول: یکی از چشمه‌ها را به عنوان چشمه‌ی با اکتیویته‌ی معلوم و دیگری را به عنوان چشمه با اکتیویته‌ی مجهول قرار داده و جدول ۲-۹ را کامل کنید.

جدول ۲-۹

چشمه	با اکتیویته‌ی معلوم	با اکتیویته‌ی مجهول
شماره‌ی سریال		
سال تولید		
نیم عمر		
اکتیویته		
خطای اکتیویته		

چشمه‌ی ^{137}Cs با اکتیویته‌ی معلوم را زیر آشکارساز قرار دهید و فاصله‌ی سطح آشکارساز را تا چشمه ۴ سانتی‌متر تنظیم کنید. شمارش‌ها را به همان صورت که در آزمایش قبل توضیح داده شد به ازای کانال‌های مختلف برای ۱۵ دقیقه ثبت کنید. سپس چشمه‌ی معلوم را برداشته و چشمه‌ی با اکتیویته‌ی مجهول را قرار دهید و مجدداً برای ۱۵ دقیقه، طیف گاما و شمارش‌ها را ثبت کنید. سپس چشمه‌ی مجهول را نیز برداشته و ۱۵ دقیقه طیف زمینه را بگیرید. نمودارهای ^{137}Cs با اکتیویته‌های معلوم و مجهول را با کسر تابش زمینه رسم کنید. با استفاده از روش برازش منحنی، یک منحنی گاوسی روی این نمودارها برازش کنید. از روی این منحنی‌ها، مساحت سطح زیر فوتوپیک را حساب کنید. مقادیر به دست آمده را در رابطه‌ی ۹-۱ قرار دهید و اکتیویته‌ی مجهول چشمه را به دست آورید.

قسمت دوم: همان چشمه‌ای را که در قسمت قبل به عنوان چشمه‌ی مجهول انتخاب کردید، زیر آشکارساز قرار دهید. فاصله‌ی چشمه و آشکارساز را حدود ۹ سانتی‌متر انتخاب کنید. مانند قسمت قبل برای ۱۵ دقیقه طیف پرتوی گاما برای این چشمه و زمینه (یا همان شمارش‌ها به ازای کانال‌های مختلف) را ثبت کنید. نمودار شمارش برحسب شماره‌ی کانال را برای چشمه‌ی مجهول رسم کنید. یک منحنی گاوسی را روی آن برازش کنید و سطح زیر فوتوپیک آن را محاسبه نمایید. با توجه به ابعاد بلور که روی بدنه‌ی آشکارساز نوشته شده است، ϵ_p برای آشکارساز خود و همچنین مقدار f را از جدول ۹-۱ به دست آورید. مقادیر به دست آمده را در رابطه‌ی ۹-۳ قرار دهید.

A_x محاسباتی از قسمت اول و دوم را با هم مقایسه کنید. اکتیویته‌ی مجهول چشمه‌ی ^{137}Cs به کمک رابطه‌ی ۵-۴ و با استفاده از جدول ۲-۹ به دست آورده و با این داده‌ها مقایسه کنید. آیا اختلافی می‌بینید؟ دلیل آن چیست؟ مقدار خطا را به دست آورید.

۳-۹ پرسش‌ها

- ۱- آزمایشی ذهنی را جهت به دست آوردن نمودار شکل ۱-۹ پیشنهاد کنید.
- ۲- از طیف به دست آمده چگونه می‌توانیم f جدول ۲-۹ را به دست آوریم؟
- ۳- اگر چشمه‌ای با اکتیویته‌ی مجهول دارای چند پیک انرژی باشد، استفاده از کدام پیک برای اندازه‌گیری اکتیویته مناسب‌تر است؟ آیا می‌توان از تمام پیک‌ها استفاده کرد؟ چگونه؟
- ۴- در فرآیند مقایسه، آیا حذف طیف زمینه نتیجه‌ی متفاوتی به دست می‌دهد؟

آزمایش شماره‌ی ۱۰

اندازه‌گیری ضریب جذب جرمی با استفاده از طیف پرتوی گاما

هدف: اندازه‌گیری ضریب جذب جرمی از روی طیف انرژی با استفاده از آشکارساز سوسوزن NaI(Ti) و تحلیل‌گر چندکاناله (MCA) برای انرژی 0.663 Mev

۱-۱۰) زمینه‌ی نظری

زمانی که پرتوی گاما با ماده برخورد می‌کند، برهمکنش‌های مختلفی رخ می‌دهد. این برهمکنش‌ها می‌تواند از نوع کامپتون، فوتوالکتریک یا نابودی زوج باشد. ضریب جذب جرمی در واقع مجموع احتمال رخ دادن این برهمکنش‌هاست. همان‌طور که در آزمایش شماره‌ی ۶ مشاهده کردید، طبق قانون لمبرت:

$$I_t = I_0 e^{-\mu t} \quad ۱-۱۰$$

که در آن I_t شدت باریکه‌ی دست نخورده، I_0 شدت اولیه، t ضخامت جذب و μ ضریب تضعیف خطی با واحد cm^{-1} است. و همان‌طور که گفته شد، ضخامت نیم‌مقدار نیز از رابطه‌ی

$$t_{\text{HVL}} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \quad ۲-۱۰$$

به دست می‌آید.

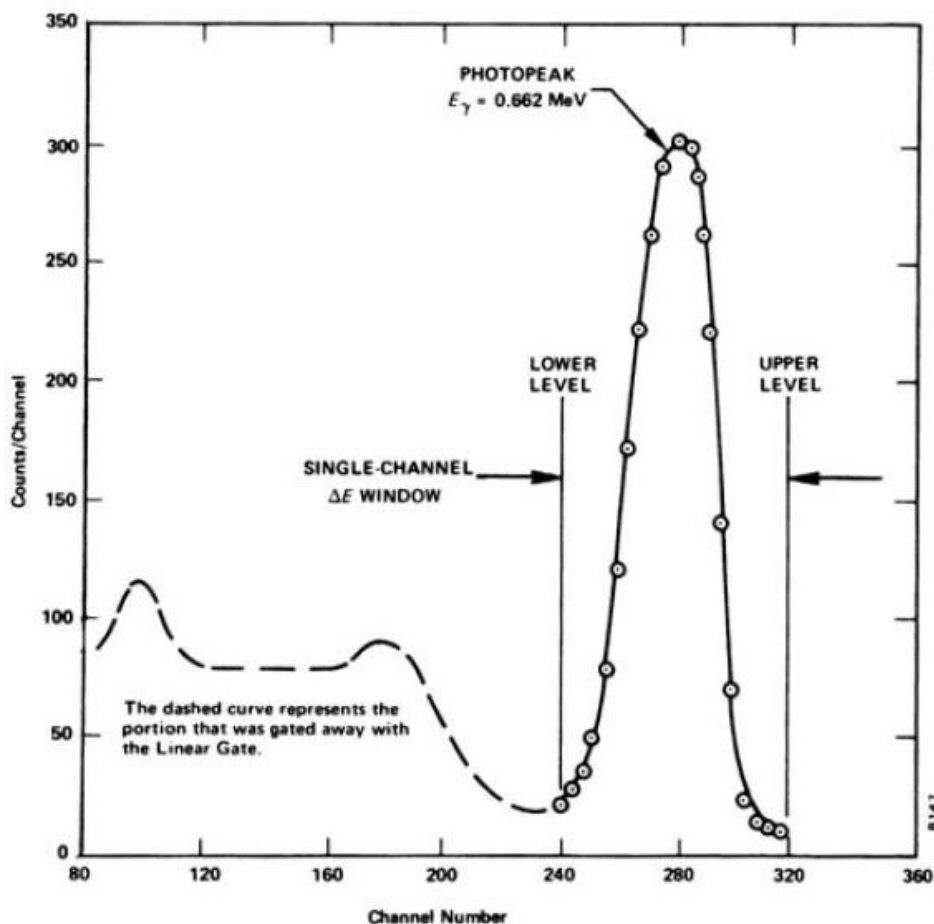
۲-۱۰) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: آشکارساز سوسوزن از نوع NaI(Ti)، تحلیل‌گر چندکاناله (MCA)، جاذب‌های سربی با ضخامت‌های مختلف، چشمه‌ی ^{137}Cs .

ابتدا چشمه‌ی ^{137}Cs را در زیر آشکارساز قرار داده و فاصله‌ی آشکارساز و چشمه را ۵ سانتی‌متر انتخاب کنید. برای مدت ۱۰ دقیقه، طیف گرفته و شمارش‌ها را به ازای کانال‌های اطراف فوتوپیک ثبت کنید. آن چنان که در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است، کانال‌هایی که برای ثبت شمارش‌ها لازم هستند باید در محدوده بین دوخط اطراف فوتوپیک انتخاب شوند.

پس از پاک کردن شمارش‌های قبلی، چشمه را بردارید و برای ۱۰ دقیقه، طیف تابش زمینه را ثبت کنید. ما نیاز به شمارش‌ها در همان محدوده‌ی کانال فوتوپیک در قسمت قبل داریم.

اکنون جاذب‌های سربی را با همان ضخامت که در آزمایش ۶ مورد استفاده قرار گرفت، انتخاب نموده و از جاذب با ضخامت کمتر کار را آغاز کنید. جاذب را به کمک نگه‌دارنده‌ی پلاستیکی موجود، در فاصله‌ی بین چشمه و آشکارساز قرار دهید و مانند قبل طیف را برای ۱۰ دقیقه ثبت نمایید. شمارش‌ها را به ازای همان کانال‌ها ثبت یا ذخیره کنید.



شکل ۱-۱۰: طیف ^{137}Cs و محدوده‌ی اطراف فوتوپیک برای محاسبه‌ی مساحت زیر پیک

پس از اصلاح تابش زمینه، نمودار فوتوپیک‌ها را برای هر یک از طیف‌هایی که به ازای جاذب‌های مختلف به دست آمده، رسم کنید. با استفاده از روش برازش منحنی، یک منحنی گاوسی روی هر یک از این منحنی‌ها برازش کنید. مساحت سطح زیر پیک را حساب کرده و جدول ۱-۱۰ را کامل کنید.

جدول ۱-۱۰: شمارش‌ها به ازای جاذب‌های سربی

ضخامت جاذب $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}\right)$	زمان شمارش t	Σ_{Cs}	Σ_{b}	$I = \Sigma_{\text{Cs}} - \Sigma_{\text{Cs}}$	آهنگ شمارش $R = \frac{I}{t}$

نمودار $\ln R$ بر حسب ضخامت جاذب را رسم کنید. خط بهترین شیب را رسم کرده و از روی آن ضریب جذب جرمی را محاسبه نمایید. با توجه به آن که چگالی سرب $\frac{g}{cm^3}$ 11.35 است، ضریب جذب خطی را به دست آورید. با استفاده از رابطه‌ی ۱۰-۲، ضخامت نیم‌مقدار را محاسبه کنید. از روی نمودار، میزان شمارش‌های بدون جاذب را به دست آورید و با مقداری که در آزمایش به دست آمد (طیف چشمه بدون جاذب) مقایسه کنید. درصد خطا چه قدر است؟

داده‌های به دست آمده را با آن چه در آزمایش شماره‌ی ۶ به کمک آشکارساز گایگر-مولر به دست آمد، و نیز مقدار مربوط به نمودار ۶-۲ مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱۰-۳ پرسش‌ها

- ۱- در انرژی 663 Kev کدام پدیده‌ها باعث جذب تابش می‌شوند؟
- ۲- در صورتی که از ^{60}Co استفاده کنیم، آیا نتیجه متفاوت خواهد شد؟ چرا؟
- ۳- در فوتوپیک انرژی ^{60}Co ، کدام پدیده‌ها باعث جذب تابش می‌شود؟
- ۴- آیا جاذب، FWHM و کانال فوتوپیک را تغییر می‌دهد؟

آزمایش شماره‌ی ۱۱

برد و انرژی ماکزیمم ذرات بتا

هدف: بررسی جذب اشعه‌ی بتا در ماده و تعیین برد انرژی آن

۱-۱۱) زمینه‌ی نظری

ذرات بتای تابش شده از چشمه‌های رادیواکتیو مشابه الکترون‌ها هستند ولی منشأ آن‌ها، هسته‌ی اتم است و برخلاف ذرات آلفا که دارای انرژی‌های مشخص می‌باشند، اشعه‌های بتا دارای طیف انرژی پیوسته از صفر تا یک مقدار انرژی ماکزیمم هستند که این انرژی از مشخصات ایزوتوپ گسیل کننده می‌باشد. الکترون‌ها از طریق برهم کنش‌های زیر انرژی از دست داده و جذب می‌شوند.

۱- برخورد الکترون‌ها با الکترون‌های مقید اتم که منجر به تحریک یا یونیزاسیون اتم گردد.

۲- انحراف الکترون در میدان کولنی هسته که منجر به تابش اشعه‌ی X می‌شود. این فرآیند، تابش ترمزی نام دارد.

کاهش انرژی در واحد طول مسیر برای الکترون‌ها برابر مجموع کاهش انرژی ناشی از یونیزاسیون (I) و

تابش (rad) است:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right) = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_I + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} \quad ۱-۱۱$$

تابش ترمزی در ماده متناسب با z^2 است که z عدد اتمی هسته‌ی هدف است؛ اما کاهش انرژی ناشی از

یونیزاسیون متناسب با z می‌باشد. نسبت کاهش انرژی از طریق تابش به کاهش انرژی از طریق یونیزاسیون با

رابطه‌ی تقریبی زیر که به طور تجربی به دست آمده است، داده می‌شود:

$$\frac{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}}}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_I} \approx \frac{Ez}{1600 mc^2} \quad ۲-۱۱$$

که E انرژی ماکزیمم ذرات بتا و mc^2 برابر 0.5 Mev می‌باشد. اگر باریکه‌ای موازی از الکترون‌های تک انرژی به طور عمودی به سطح یک جذب کننده برخورد کنند و تعداد ذرات عبور کرده از آن توسط آشکارساز شمارش شود، نمودار تغییرات تعداد ذرات به ضخامت جذب کننده شبیه شکل ۱۱-۱الف خواهد بود.

الکترون‌ها به دلیل جرم کم خود، تحت پراکندگی با زوایای بزرگ قرار گرفته‌اند و از مسیر اولیه‌ی تابش

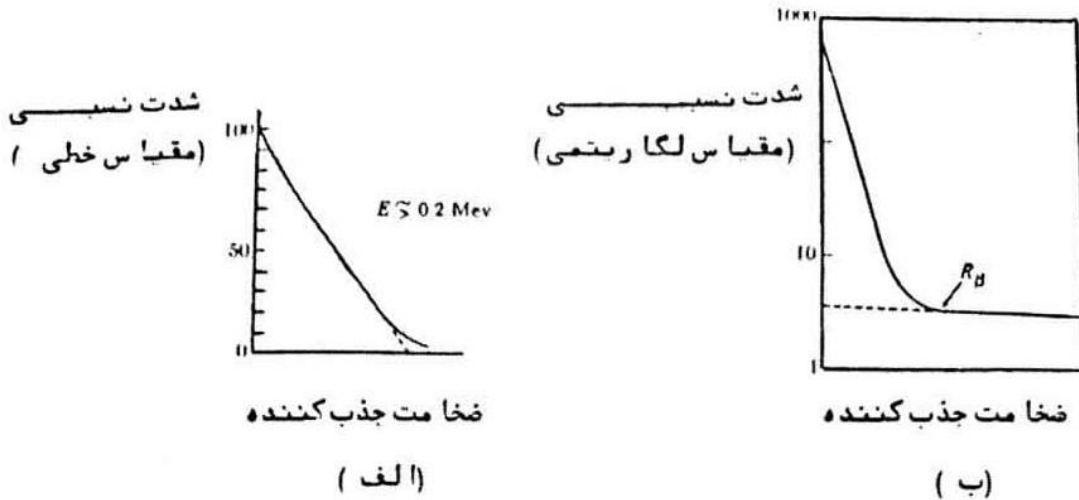
منحرف می‌شوند به طوری که حتی مقدار کمی از ضخامت جذب کننده، منجر به کاهش تعداد آن‌ها می‌شود.

همچنین برخلاف ذرات آلفا که پراکندگی کمی پیدا کرده و مسیر تقریباً مستقیمی را در داخل جذب کننده طی

می‌کنند، مسیر الکترون‌ها در داخل ماده، بسیار پیچیده است؛ به طوری که مفهوم برد برای الکترون‌ها کم‌تر معین

است. بنابراین برد الکترون‌ها را از روی منحنی جذب آن‌ها تعیین می‌کنند. برای الکترون‌های تک انرژی، منحنی

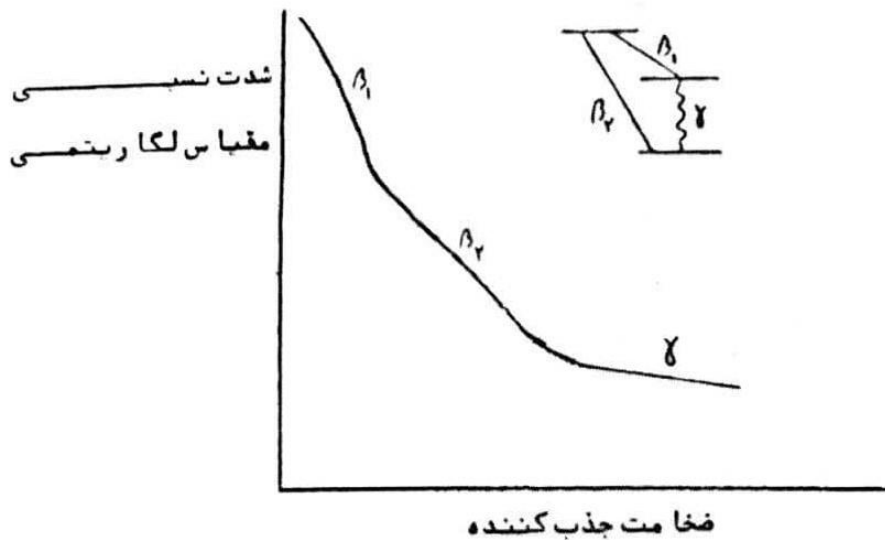
جذب، یک قسمت خطی دارد. با برون‌یابی این قسمت خطی به صفر، بُرد به دست می‌آید و ضخامت‌ی را نشان می‌دهد که تقریباً هیچ الکترونی از آن نفوذ نکند. منحنی جذب اشعه‌ی بتای ناشی از چشمه‌های رادیواکتیو به علت پیوسته بودن طیف انرژی، از منحنی جذب برای الکترون‌های تک انرژی، بسیار متفاوت است. ذرات بتای کم انرژی سریعاً جذب می‌گردند؛ به طوری که حتی در ضخامت‌های کم کاهش زیادی وجود دارد. منحنی جذب تقریباً شکل نمایی دارد که در انتهای آن از حالت نمایی خارج می‌گردد (شکل ۱۱-۱).



شکل ۱۱-۱: جذب الکترون‌ها در ماده برای الف) الکترون‌های تک انرژی؛ ب) ذرات بتا

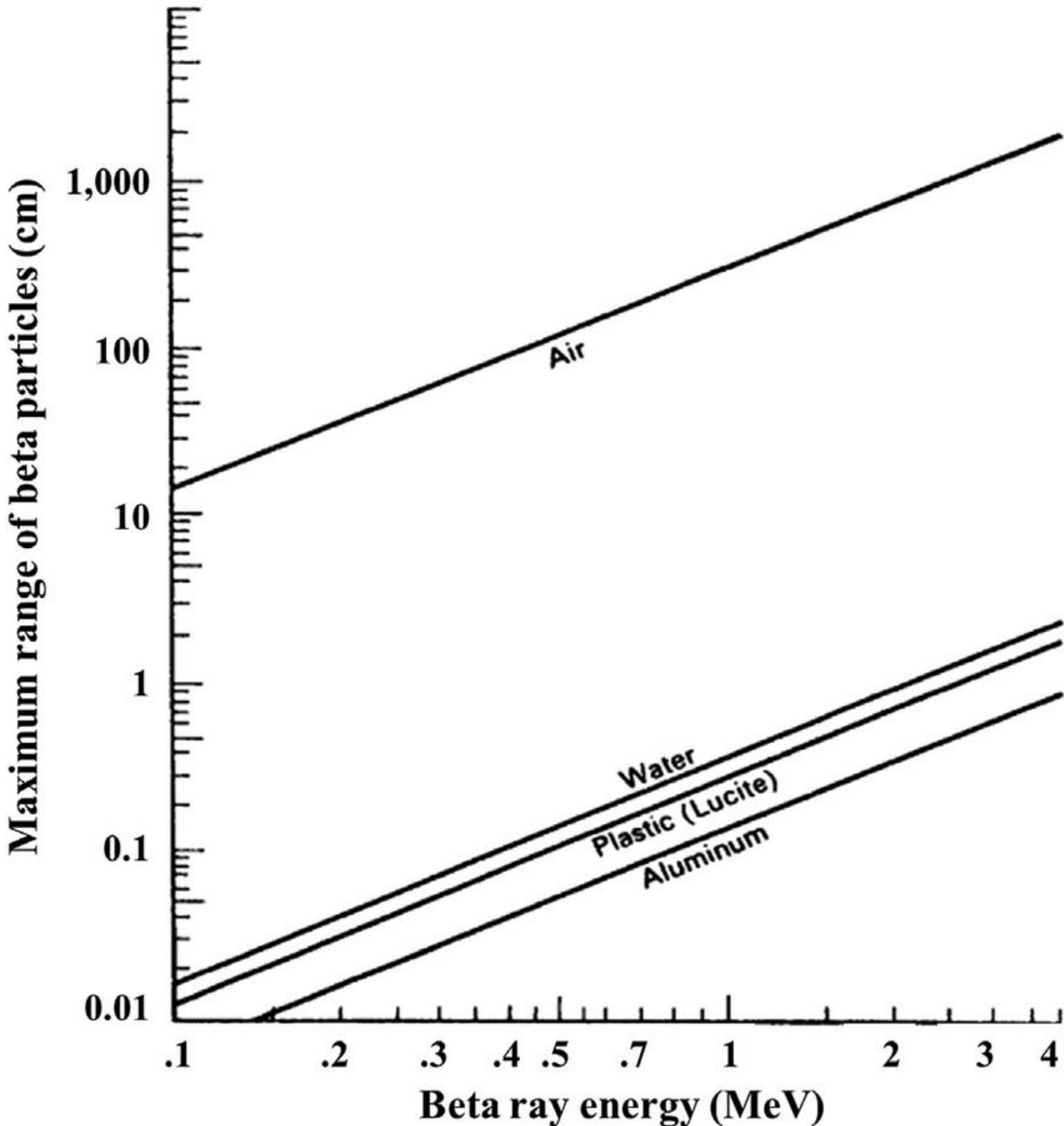
در منحنی جذب ذرات بتا، نقطه‌ای که منحنی جذب به حد زمینه می‌رسد، بُرد بتا R_B نام دارد. روابط تجربی زیادی ارائه شده است که بُرد بتا را با انرژی ماکزیمم آن‌ها مربوط می‌کند. هر یک از این روابط را در محدوده‌ی خاصی از انرژی می‌توان به کار گرفت.

در این روابط R_B بر حسب $\frac{mg}{cm^2}$ و E انرژی ماکزیمم ذرات بتا بر حسب Mev می‌باشد. چنان چه چشمه، دارای دو دسته یا بیش‌تر از ذرات باشد، منحنی جذب نظیر شکل ۱۱-۲ خواهد بود.

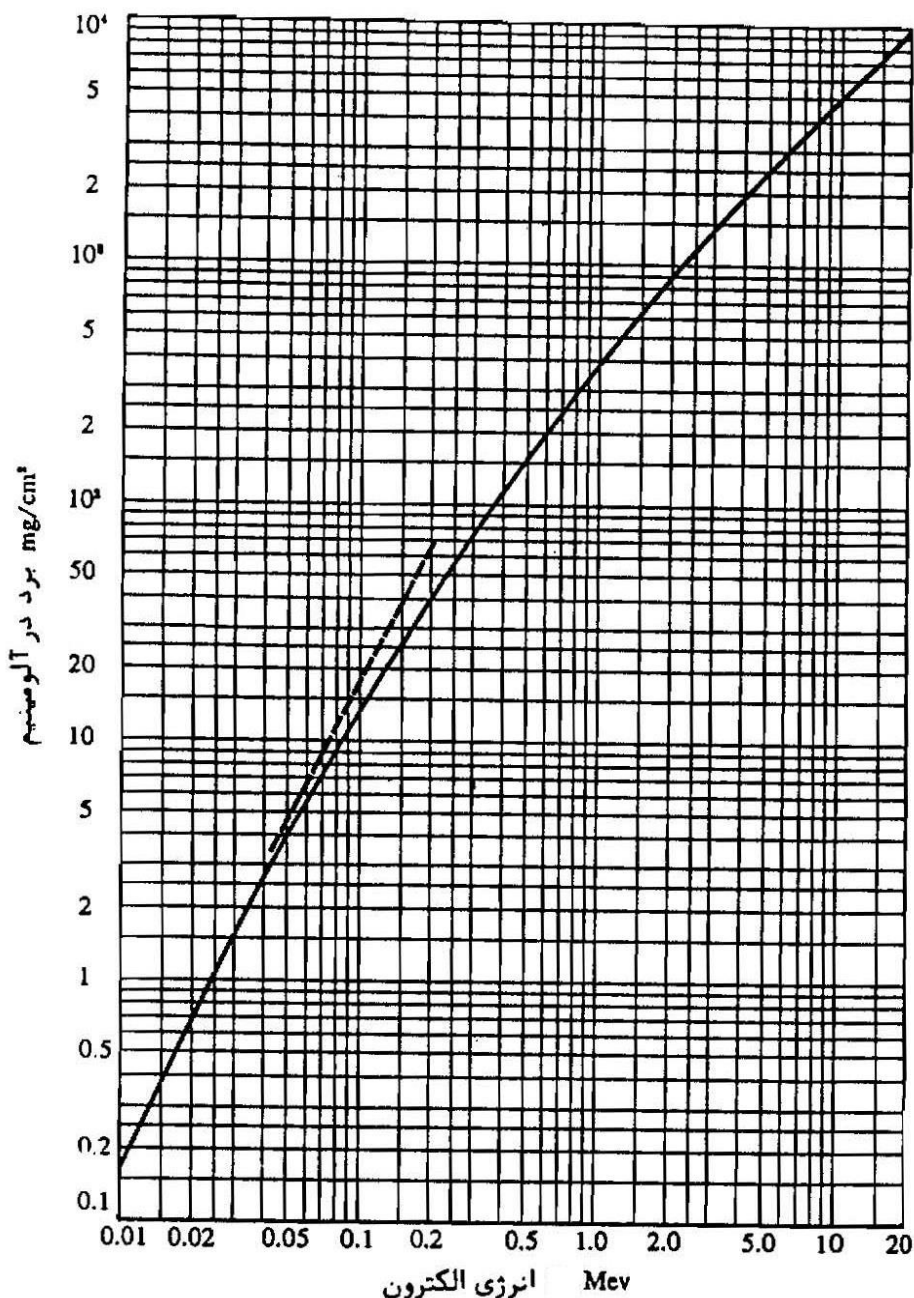


شکل ۱۱-۲: جذب اشعه گاما و بتا

منحنی جذب بتا بستگی زیادی به شکل هندسی آزمایش دارد. پراکندگی الکترون‌ها از هوا، سطح میز، حفاظ اطراف شمارنده و خود جذب کننده می‌تواند تأثیر زیادی بر روی شکل منحنی بگذارد. به همین دلیل برای بعضی از چشمه‌های بتا باید از کولیماتور برای موازی نمودن اشعه استفاده کرد. در شکل ۱۱-۳، نمودار بُرد-انرژی در چند ماده‌ی مختلف نمایش داده شده است. نمودار شکل ۱۱-۴ تغییرات برد الکترون‌ها برحسب انرژی در آلومینیوم را نشان داده است و برای به دست آوردن بُرد برحسب cm از این نمودار، باید بُرد برحسب $\frac{mg}{cm^2}$ را بر چگالی آلومینیوم $\left(\rho = 2700 \frac{mg}{cm^3}\right)$ تقسیم نمود. خط چین روی نمودار، خط $R \sim E^2$ می‌باشد.



شکل ۱۱-۳: نمودار بُرد-انرژی برای برخی از مواد



شکل ۱۱-۲: نمودار بُرد-انرژی برای الکترون‌ها در آلومینیوم

۱۱-۲) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: سیستم شمارنده‌ی گایگرمولر، چشمه‌ی رادیواکتیو بتای خالص (^{90}Sr) و چشمه‌ی بتاگاما (^{241}Am)، جذب کننده‌های آلومینیومی، موازی کننده اشعه (کولیماتور).

قسمت اول: چشمه‌ی رادیواکتیو بتا (^{90}Sr) را در مقابل شمارنده‌ی گایگرمولر قرار دهید. با راهنمایی استاد یا کارشناس آزمایشگاه از کولیماتور استفاده کنید. بدون جذب کننده برای مدت زمان مناسبی شمارش کنید و نتیجه را در جدول ۱۱-۱ ثبت کنید (در صورت استفاده از کولیماتور، شدت اشعه کاهش می‌یابد و باید زمان شمارش را بیش‌تر در نظر گرفت). کم‌ترین ضخامت از جذب کننده‌های آلومینیومی را میان چشمه و دهانه‌ی آشکارساز (حتی‌الامکان در نزدیک دهانه‌ی آشکارساز) قرار دهید و مجدداً شمارش نموده و نتایج را در جدول ۱۱-۱

آزمایش شماره‌ی ۱۲

رادیواکتیو القایی و محاسبه‌ی نیمه عمر

هدف: تعیین نیمه عمر ایزوتوپ رادیواکتیو ^{116}In

۱-۱۲) زمینه‌ی نظری

یک هسته‌ی رادیواکتیو با آهنگ خاصی که مشخصه‌ی آن ماده می‌باشد، تجزیه می‌شود. اگر تعداد هسته‌ها (N) زیاد باشد، تعداد هسته‌هایی که در واحد زمان تجزیه می‌شوند، متناسب با تعداد کل آن‌ها خواهد بود؛ یعنی:

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad ۱-۱۲$$

عامل تناسب، ثابت تجزیه نام دارد که مشخصه‌ی ماده‌ی رادیواکتیو می‌باشد. با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱۲، $N(t)$ تعداد هسته‌ها پس از زمان t ، برابر خواهد بود با:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad ۲-۱۲$$

که N_0 ، تعداد در لحظه‌ی $t=0$ است.

فعالیت ماده‌ی رادیواکتیو به صورت $\frac{dN}{dt}$ تعریف می‌شود و با توجه به رابطه‌ی ۱-۱۲، می‌توان دید که فعالیت یا آهنگ شمارش اندازه‌گیری شده از چشمه نیز متناسب با $N(t)$ تعداد هسته‌ها می‌باشد؛ به طوری که

$$\frac{n(t)}{n(0)} = \frac{N(t)}{N(0)} \quad ۳-۱۲$$

که $n(t)$ آهنگ شمارش چشمه در لحظه‌ی t است. بنابراین داریم:

$$\text{Ln}[n(t)] = \text{Ln}[n(0)] - \lambda t \quad ۴-۱۲$$

لذا اگر لگاریتم آهنگ شمارش‌ها بر حسب زمان رسم شود، خط راستی با شیب $-\lambda t$ نتیجه می‌شود که از آن می‌توان ثابت تجزیه λ را تعیین کرد. نیمه عمر ماده‌ی رادیواکتیو از رابطه‌ی

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln } 2}{\lambda} \quad ۵-۱۲$$

به دست می‌آید. چنان چه، ماده‌ی رادیواکتیو شامل هسته‌های مختلفی باشد که به طور مستقل تجزیه می‌شوند، با تعیین نیمه عمرهای مختلف از روی تغییر آهنگ شمارش با زمان می‌توان نوع هسته‌ها را شناسایی کرد. در این آزمایش، نیمه عمر ایزوتوپ رادیواکتیو $^{116\text{m}}\text{In}$ را تعیین می‌کنیم.

ایندیوم طبیعی دارای درصد ترکیباتی از ^{113}In و ^{115}In است. ورقه‌ی ایندیومی با قرار گرفتن در داخل کند کننده‌ی نوترون‌های سریع، توسط نوترون‌های حرارتی فعال خواهد شد که به آن فعال‌سازی به کمک نوترون (Neutron Activation) می‌گویند. با تابش نوترون حرارتی در مدت زمان مناسب به این دو ایزوتوپ ایندیوم، ایزوتوپ‌های دیگری از آن فعال خواهند شد که مهم‌ترین آن‌ها در جدول ۱-۱۲ آمده است.

جدول ۱۲-۱: فعال سازی In طبیعی به کمک نوترون حرارتی

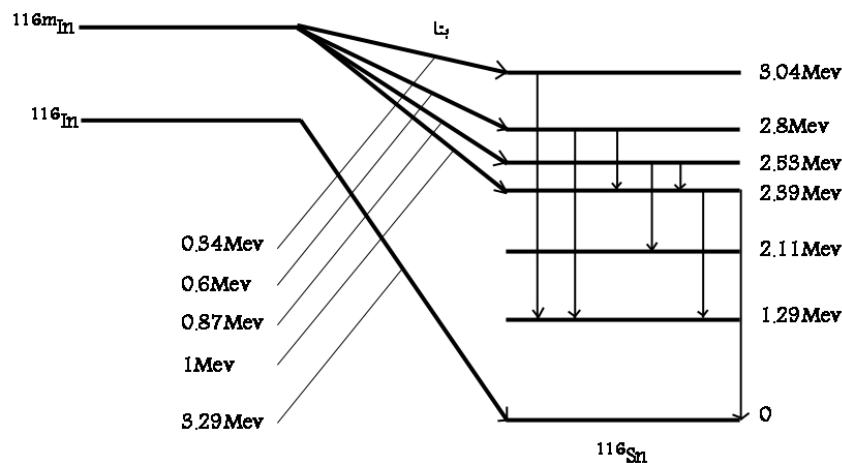
نام عنصر	ایزوتوپ	درصد فراوانی	محصول فعال سازی	نیمه عمر محصول
ایندیوم طبیعی	$^{113}_{49}\text{In}$	4.2 %	$^{114m}_{49}\text{In}$	۵۰ روز
			$^{114}_{49}\text{In}$	۷۲ ثانیه
	$^{115}_{49}\text{In}$	95.8 %	$^{116m}_{49}\text{In}$	۲ ثانیه
			$^{116m}_{49}\text{In}$	۵۴ دقیقه
			$^{116}_{49}\text{In}$	۱۴ ثانیه

فعال سازی ^{113}In

از فعال شدن ^{113}In ، ایزوتوپ‌های ^{114}In و ^{114m}In تولید می‌شود. ^{114}In به طور عمدۀ از طریق تابش بتا با ماکزیمم انرژی 1.98 Mev و نیمه عمر ۷۲ ثانیه واپاشی می‌کند. ^{114m}In از طریق فرآیندهای تابش گاما (96.5 %) و گیراندازی الکترون^۱ (3.5 %) با نیمه عمر ۵۰ روز واپاشی می‌کند.

فعال سازی ^{115}In

با فعال شدن ^{115}In ، ایزوتوپ‌های ^{116}In و ^{116m}In تولید می‌شود. ^{116}In با تابش بتا (ماکزیمم انرژی 3.29 Mev) و نیمه عمر ۱۳ ثانیه واپاشی می‌کند. ^{116m}In دارای واپاشی پیچدهی بتا و گاما می‌باشد. شکل ۱۲-۱، سطوح انرژی مربوط به واپاشی آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱: نمودار واپاشی ^{116}In و ^{116m}In

1. Electron capture

در این آزمایش با توجه به فراوانی ایزوتوپ‌های ایندیوم طبیعی، نیمه عمر ^{116m}In را تعیین خواهیم کرد.

۲-۱۲) روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز: سیستم شمارنده‌ی گایگرمولر (یا سیستم شمارنده‌ی سوسوزن)، چشمه‌ی نوترون، ورقه‌ی ایندیوم.

ابتدا شمارش زمینه را برای مدت مناسبی ثبت کنید. ورقه‌ی ایندیوم را که قبلاً توسط چشمه‌ی نوترون فعال گردیده است، در مقابل شمارنده قرار داده و مطابق روش زیر، یک سری اندازه‌گیری انجام دهید:

جدول ۲-۱۲

آهنگ شمارش زمینه:			
زمان اولین شمارش:			
زمان t	شمارش	آهنگ شمارش تصحیح شده R	$\text{Ln } R$

هر بار به مدت یک دقیقه (و یا در صورت کم بودن شمارش‌ها به مدت دو دقیقه) شمارش نمایید. فاصله‌ی زمانی بین هر دو شمارش متوالی را ۵ دقیقه در نظر بگیرید. مبدأ زمان را نیم دقیقه پس از زمان اولین شمارش اختیار کنید. اولین شمارش، به طور متوسط، مربوط به لحظی صفر، دومین شمارش مربوط به دقیقه‌ی ۶، سومین شمارش مربوط به دقیقه‌ی ۱۲ خواهد بود. این اندازه‌گیری‌ها را به مدت ۲ ساعت ادامه دهید. شمارش‌ها را برای تابش زمینه و زمان مرده تصحیح کنید و سپس آهنگ شمارش را به دست آورید. نتایج را در جدول ۱۲-۲ یادداشت کنید. تغییرات $\ln R$ را برحسب زمان بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید. با به دست آوردن معادله‌ی خط بهترین شیب، ثابت تجزیه λ و نیمه عمر را به دست آورید.

با استفاده از این نمودار، شمارش‌های مربوط به چشمه را در لحظه‌ی خارج نمودن ورقه‌ی ایندیوم از داخل چشمه‌ی نوترون به دست آورید. زمان خارج نمودن ورقه از چشمه‌ی نوترون را از استاد یا کارشناس آزمایشگاه سؤال کنید.

۱۲-۳) پرسش‌ها

- ۱- برای تعیین نیمه عمر ^{116m}In بهتر است پس از خارج کردن ورقه‌ی ایندیوم از چشمه‌ی نوترون، برای مدت چند دقیقه صبر نمود؟ چرا؟
- ۲- چند نمونه عنصر دیگر برای آزمایش معرفی کنید.
- ۳- درصد خلوص ورقه‌ی ایندیوم در نتیجه آزمایش چگونه اثر می‌گذارد؟
- ۴- آیا شار و انرژی تابش نوترونی در این آزمایش تاثیر دارد؟

پیوست «الف»

نحوه‌ی نوشتن گزارش کار

گزارش کار می‌بایست به ترتیب زیر تهیه شود:

الف) در صفحه‌ی اول گزارش کار حتماً باید موارد زیر ذکر شود:

نام آزمایش:

تاریخ انجام آزمایش:

نام استاد:

نام دانشجوی نویسنده:

روز و ساعت کلاس:

نام همکاران:

شماره‌ی دانشجویی:

گروه آزمایشگاهی:

ب) هدف آزمایش.

ج) وسایل و چشمه‌های مورد نیاز.

د) مقدمه و تئوری آزمایش که شامل شرح قوانین و فرمول‌های به کار برده شده می‌باشد.

ه) شرح کوتاهی از روش محاسبه.

و) انجام محاسبات و درج اعداد به دست آمده در جداول (می‌توان برای انجام راحت‌تر و مطمئن‌تر محاسبات، از نرم‌افزارهایی مانند اکسل استفاده کرد).

ز) رسم نمودارهای خواسته شده (می‌توان برای ترسیم نمودارها از کاغذ میلی‌متری یا هر نرم‌افزار دلخواهی استفاده نمود).

ح) محاسبه‌ی خطا و نتیجه‌گیری از آزمایش به کمک اعداد اندازه‌گیری شده.

ط) مقایسه‌ی نتایج آزمایش با تئوری و توجیه اختلاف آن‌ها.

ی) پاسخ به سؤالات پایان آزمایش در دستورکار (و یا سؤالات مطرح شده در کلاس).

پاکیزگی و دقت شما در نوشتن گزارش کار سهم مهمی در بالا بردن ارزش کار شما دارد. سعی کنید تمام قسمت‌های گزارش کار را از انشای خودتان تهیه نمایید زیرا کپی‌برداری از جملات دستور کار (بجز جداول) به مقدار زیادی از ارزش کار شما خواهد کاست.

پیوست «ب»

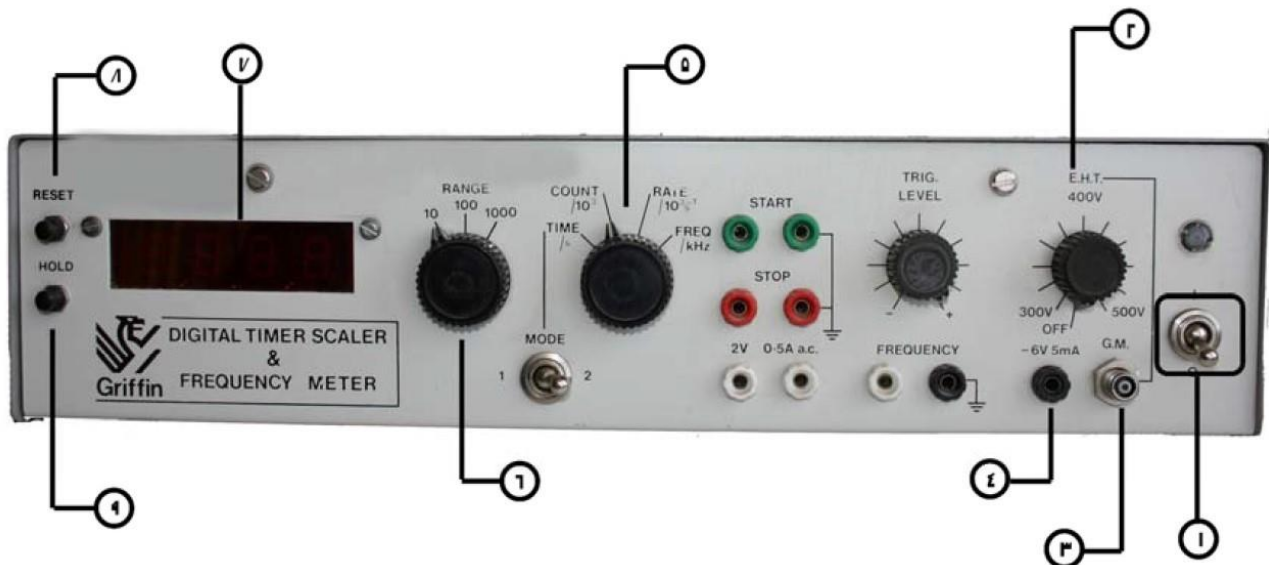
دستگاه شمارنده‌ی دیجیتالی

ب-۱) معرفی دستگاه

دستگاه شمارنده‌ای که در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع دیجیتالی و ساخت شرکت Griffin است که می‌تواند 999.9×10^3 پالس را که ارتفاعشان بیش از 0.2 ولت باشد، ثبت کند. آهنگ ثبت پالس می‌تواند تا دو هزار پالس در ثانیه باشد. آشکارسازها توسط یک کابل کوکسیال به این دستگاه متصل می‌شوند.

ب-۲) نحوه‌ی کار و قسمت‌های مختلف دستگاه

در این جا، مختصری درباره‌ی نحوه‌ی کار با این شمارنده و برخی از قسمت‌های مختلف آن آشنا می‌شوید (شکل ب-۱).



شکل ب-۱: دستگاه شمارنده‌ی دیجیتالی

(۱) **Power**: برای روشن و خاموش کردن دستگاه شمارنده استفاده می‌شود. توجه داشته باشید که قبل از روشن یا خاموش کردن دستگاه، ولتاژ E. H. T. روی حالت OFF باشد. دقت کنید در انتهای آزمایش حتماً دستگاه را خاموش نمایید.

(۲) **E. H. T.**: پیچ مخصوص تنظیم ولتاژ اعمال شده به آشکارساز که از ۳۰۰ تا ۵۰۰ ولت قابل تغییر است.

(۳) **G. M.**: ورودی مربوط به اتصال آشکارساز گایگرمولر.

(۴) خروجی ۶ ولت که برای استفاده از آشکارسازهایی مانند آشکارساز حالت جامد که دارای یک پیش تقویت کننده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(۵) پیچ مخصوص تغییر وضعیت که با استفاده از آن می‌توان نوع داده‌ای که قرار است نمایش داده شود را انتخاب کرد. اگر این پیچ را در وضعیت $\text{Count} / 10^3$ قرار دهید، در واقع صفحه‌ی نمایش، تعداد شمارش‌ها

را نشان می‌دهد. دقت داشته باشید در این وضعیت باید هر عددی را که نمایشگر نشان می‌دهد در 10^3 ضرب کنید. اما اگر پیچ را در وضعیت $\text{Rate}/10^3 \text{ s}^{-1}$ قرار دهید، شمارنده آهنگ شمارش (تعداد شمارش‌ها بر ثانیه) را هر 2.5 ثانیه یک بار، بر روی صفحه‌ی نمایش نشان می‌دهد. در این حالت نیز باید عدد نمایش داده شده را در 10^3 ضرب کنید.

(۶) Range: با تنظیم این پیچ می‌توانید عدد نمایش داده شده بر روی صفحه‌ی نمایش و در نتیجه دقت شمارش‌ها را تغییر دهید. با انتخاب پله‌ی ۱۰، عدد نمایش داده شده بر روی نمایشگر با ۳ رقم اعشار خواهد بود و در نتیجه پس از ضرب در هزار کردن، دقت شمارش ۱ است. همین طور، زمانی که عدد ۱۰۰۰ را انتخاب کنید، صفحه‌ی نمایشگر، عدد را با یک رقم اعشار نشان می‌دهد و در نتیجه دقت شمارش ۱۰۰ است. زمانی که میزان شمارش‌ها زیاد است Range را روی ۱۰۰۰ و اگر شمارش‌ها کم بود Range را روی ۱۰ قرار دهید.

(۷) نمایشگر عددی

(۸) Reset: با فشردن و تا پیش از رها کردن این کلید، شمارش دستگاه صفر خواهد بود.

(۹) Hold: با نگهداشتن این کلید عددی که بر روی صفحه‌ی نمایش نشان داده می‌شود، تغییر نمی‌کند و به شما امکان می‌دهد تا آن عدد را یادداشت نمایید. با نگه‌داشتن این کلید، شمارش متوقف نمی‌شود و بعد از رها کردن آن، شمارش‌های جدید نشان داده می‌شود و صرفاً صفحه‌ی نمایش عددی، متوقف می‌شود.

پیوست «ج»

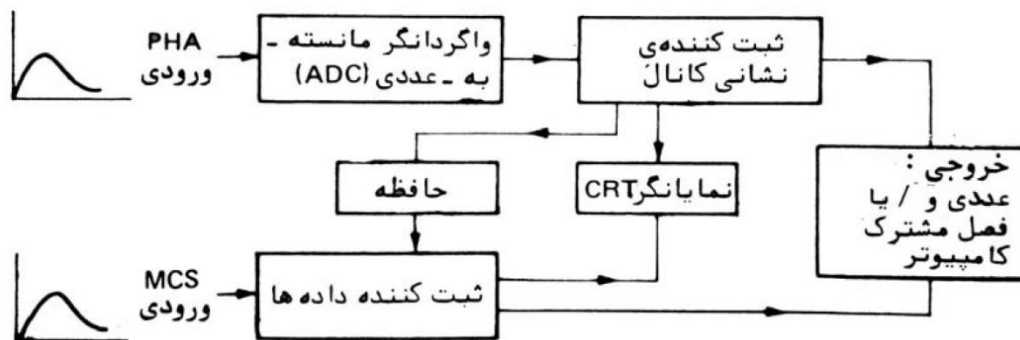
تحلیل‌گرهای چندکاناله (MCA)

گاهی نیاز است طیف انرژی یک چشمه‌ی پرتوزا را ثبت کنیم. این کار به وسیله‌ی یک تحلیل‌گر چندکاناله صورت می‌گیرد. در این آزمایشگاه امکان استفاده از دو مدل MCA فراهم است:

ج-۱) دستگاه MCA ساخت شرکت ORTEC

در گذشته به دلیل نیاز به نمایش طیف و انجام برخی محاسبات روی آن و به خاطر فراگیر نبودن استفاده از رایانه‌های شخصی، برای سهولت استفاده، دستگاه‌هایی از این دست، همراه با یک نمایشگر CRT و کلیدها و امکانات جانبی جهت انجام محاسبات، حذف شمارش زمینه، کالیبراسیون انرژی، ذخیره طیف در حافظه و غیره ساخته می‌شدند. این دستگاه، علاوه به داشتن خروجی I/O، درگاه LPT و ... دارای امکان اضافه کردن ماژول‌هایی برای اتصال به دستگاه‌های دیگر مانند رایانه یا چاپگر نیز هست.

این تحلیل‌گر در دو مُد کار می‌کند: مُد تحلیل ارتفاع-تپ (PHA) و مُد نرده‌بندی چندکانالی (MCS). مُد PHA کار سنتی است که MCA انجام می‌دهد و در واقع ارتفاع تپ‌های ایجاد شده بر حسب حافظه که شماره‌ی کانال خوانده می‌شود ثبت می‌شود. مُد MCS در واقع برای شمارش رویدادها بر حسب زمان استفاده می‌شود. شکل ج-۱ نمودار ساده‌ای از کار را نمایش می‌دهد.



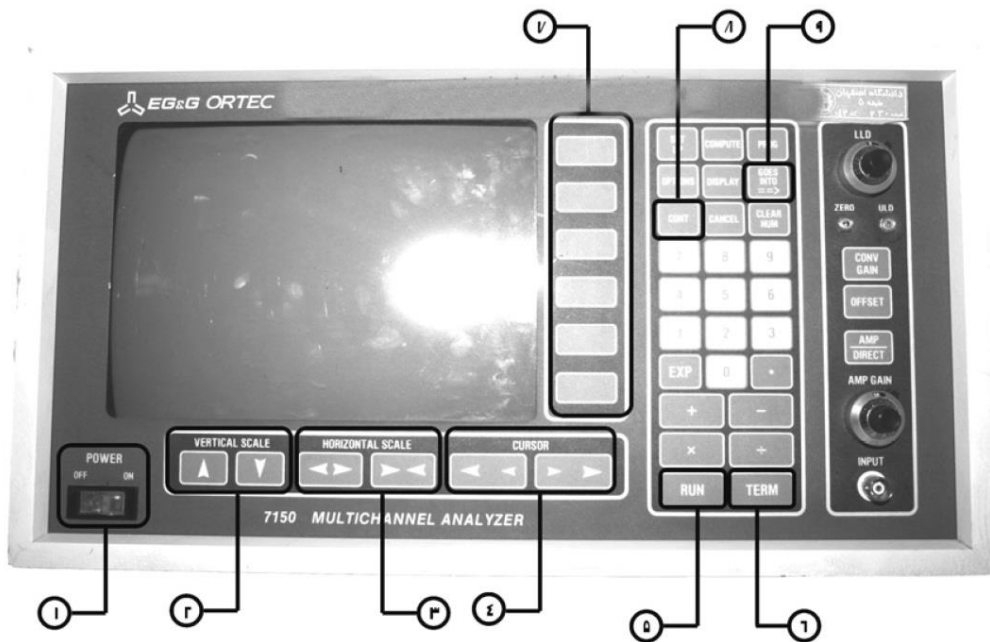
شکل ج-۱: نمای شماتیک MCA ساخت شرکت ORTEC

در مُد PHA، تپ ورودی وارد ADC می‌شود که دامنه‌ی تپ را عددی می‌کند و عددی تولید می‌کند که متناسب با ارتفاع تپ است. اندازه‌ی ADC که بر حسب تعداد کانال داده می‌شود، قدرت تفکیک مطلق دستگاه را می‌دهد. در حال حاضر ADCهای تجارته‌ی حداکثر ۸۱۹۲ کانال دارند. در آزمایشگاه هسته‌ای دانشگاه اصفهان از تحلیل‌گرهای ۱۰۲۴ کاناله، ۲۰۴۸ کاناله و ... استفاده می‌شود.

ج-۱-۱) قسمت‌های مختلف دستگاه MCA ساخت شرکت ORTEC

این دستگاه، از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است (شکل ج-۲). دکمه‌هایی که روی آن‌ها یا کنارشان عبارت یا علامتی درج شده، به عنوان کلیدهای ثابت و به صورت مشخص شده‌اند و کلیدهای بدون حرف

و علامت سمت چپ صفحه‌ی نمایش (کلیدهای شماره ۷ در شکل ج-۲) که عملکردشان به صورت نمایش داده شده است. کاربرد برخی از قسمت‌ها در ادامه آمده است:



شکل ج-۲: نمایی از دستگاه MCA ساخت شرکت ORTEC و قسمت‌های آن

- ۱- کلید **POWER** جهت روشن و خاموش کردن دستگاه استفاده می‌شود.
- ۲- کلیدهای **VERTICAL SCALE** مقیاس محور عمودی را در صفحه‌ی نمایشگر تغییر می‌دهد.
- ۳- کلیدهای **HORIZONTAL SCALE** مقیاس محور افقی دستگاه را تغییر می‌دهد.
- ۴- کلیدهای **CURSOR** خط نشان یا مکان‌نما را بر روی صفحه‌ی نمایشگر جابه‌جا می‌کند.
- ۵- کلید **RUN** با فشردن آن، فرآیند مورد نظر اجرا و دستگاه شروع به ثبت طیف می‌کند.
- ۶- کلید **TERM** مخفف عبارت Terminate است و با زدن آن، ثبت طیف متوقف می‌شود.
- ۷- کلیدهای **Soft Keys** کلیدهای غیرثابت که بنا به نوع کار انجام شده توسط دستگاه و دستوری که در کنار آن‌ها بر روی صفحه‌ی نمایشگر نوشته می‌شود، تغییر وظیفه می‌دهند.
- ۸- کلید **CONT** خلاصه‌ی عبارت Continue است که پس از اتمام هر مرحله و با نمایش پیغامی در پایین نمایشگر مبنی بر فشردن آن جهت ادامه‌ی کار، باید برای ورود به مرحله‌ی بعد، این کلید فشرده شود.
- ۹- کلید **GOES INTO** جهت انجام برخی از فرامین از جمله، پاک کردن حافظه‌ی دستگاه جهت ثبت طیف جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۱۰- کلید **CANCEL** جهت حذف هر دستور یا پیغام خطا در خط فرمان استفاده می‌گردد.

استفاده‌ی پشت سر هم برخی از کلیدها، دارای عملکرد خاصی می‌باشند. در این جا، برخی از کلیدهای ترکیبی پرکاربرد در جدول ج-۱ آمده است.

جدول ج-۱

کلیدها (از سمت چپ به راست)	شرح عملیات
0 → GOES INTO → ALL	پاک کردن صفحه از شمارش‌های قبلی (صفر کردن)
RUN → PHA	شروع شمارش
OPTION → TIME	مشاهده‌ی زمان‌های LR و LT پس از توقف شمارش
→ بردن مکان‌نما با زدن CURSOR در کانال ابتدای محدوده DISPLAY → ROI → → بردن مکان‌نما با زدن CURSOR در کانال انتهای محدوده ROI	تعریف کردن یک ROI ^۱
DISPLAY → ERASE → ROI	حذف کردن اولین ROI از سمت راست شاخص مکان‌نما
COMPUTE → INT → GOES INTO	محاسبه‌ی سطح زیر طیف یک ROI (مجموع شمارش‌های کلیدی کانال‌های یک ROI)
COMPUTE → NET → GOES INTO	محاسبه‌ی سطح زیر طیف یک ROI نسبت به یک Baseline یا به عبارتی محاسبه‌ی سطح زیر منحنی منهای زمینه (محاسبه‌ی Net Area)
→ بردن مکان‌نما توسط CURSOR روی کانال انرژی اول DISPLAY → ROI → CANCEL → → بردن مکان‌نما توسط CURSOR روی کانال انرژی دوم DISPLAY → ROI → CANCEL → → وارد کردن عدد انرژی اول → OPTION → CALB → → وارد کردن عدد انرژی دوم → CONT → CONT	کالیبراسیون انرژی بر اساس دو نقطه
OPTION → CHAN/ENRGY	تغییر نمایش شمارش بر اساس کانال یا انرژی

1. Region Of Interest

ج-۱-۲) نحوه‌ی کار با دستگاه MCA ساخت شرکت ORTEC

برای استفاده از دستگاه تحلیل‌گر چندکاناله، ابتدا باید منبع تغذیه ولتاژ بالا و تقویت‌کننده‌ی مربوطه و سپس MCA را روشن کنید تا دستگاه شروع به کنترل قسمت‌های مختلف خود کند. سپس کلید «ادامه بده» **CONT** را فشار دهید تا صفحه‌ای با دو خط عمود بر هم بر روی نمایشگر دستگاه ظاهر شود. پس از آن کلید «اجرا کن» **RUN** را فشار دهید. بر روی نمایشگر، در کنار مجموعه کلیدهای غیرثابت **Soft Keys** (کلیدهای شماره‌ی ۷ شکل)، مدهای مختلف دستگاه مانند PHA و MCS که در ابتدا توضیح داده شده، نمایش داده می‌شود. کلید کنار مد PHA را فشار دهید تا دستگاه شروع به ثبت طیف کند. در بالای صفحه نمایشگر متغیرهایی وجود دارند که مرتب در حال تغییر هستند که بدین شرح می‌باشند:

- RT: مدت زمان حقیقی (Real Time) که از شروع طیف‌نگاری گذشته است را نمایش می‌دهد.
- LT: مخفف (Live Time) بوده و آن بخش از زمان حقیقی است که آشکارساز فعال بوده و موفق به تولید پالس برای ذرات ورودی و ثبت طیف آن‌ها شده است.
- DT: زمان مرده (Dead Time) آشکارساز را به صورت درصد، محاسبه کرده و نمایش می‌دهد.
- Cursor Channel: شماره‌ی کانال روی محور افقی را نمایش می‌دهد.
- Count: شمارش‌ها به ازای هر کانال روی محور عمودی را نمایش می‌دهد.

اگر در حین ثبت طیف انرژی، تعداد شمارش‌ها به اندازه‌ای زیاد شد که در صفحه‌ی نمایشگر جا نمی‌گرفت و یا آن قدر کم بود که مشاهده نمی‌شد، می‌توان با استفاده از کلید **VERTICAL SCALE** مقیاس محور عمودی را تغییر داد.

بعد از گذشت زمان مورد نیاز جهت ثبت طیف، برای متوقف کردن کار و انجام محاسبات، کلید **TERM** را فشار دهید. در این حالت می‌توانید مقدار شمارش‌ها را به ازای هر یک از کانال‌ها مشاهده کنید. برای این کار کافی است با استفاده از کلید **CURSOR** خط چین یا مکان‌نمای روی صفحه‌ی نمایشگر را جابجا کنید تا در بالای نمایشگر، شماره‌ی کانال و شمارش ثبت شده به ازای آن را مشاهده نمایید.

اگر نیاز دارید طیف را به صورت جزئی‌تر بررسی کنید، با استفاده از کلیدهای **VERTICAL SCALE** و **HORIZONTAL SCALE** می‌توانید مقیاس‌های محورهای عمودی و افقی را تغییر دهید.

زمانی که می‌خواهید طیف دیگری را ثبت کنید، می‌بایست ابتدا طیف قبل را از حافظه دستگاه پاک کنید و سپس اقدام به ثبت طیف جدید نمایید. برای این کار ابتدا کلید 0 را فشار دهید، سپس کلید **GOES INTO** را بزنید. در این حالت در کنار کلیدهای غیرثابت **Soft Keys** چند فرمان ظاهر می‌شود. کلید کنار عبارت ALL را فشار دهید. این کار دستگاه را آماده‌ی ثبت طیف جدید می‌کند. سپس می‌توانید با زدن کلید **RUN** و انتخاب مد PHA دوباره کار را آغاز کنید.

ج-۲) مجموعه‌ی طیف‌سنجی همراه با رایانه

مجموعه‌ی طیف‌سنجی می‌تواند به گونه‌ای استفاده شود که بخش‌های مختلف آن قابلیت تعویض و جایگزینی با ماژول‌های مختلف را داشته باشد. این مجموعه پرکاربردتر و در سال‌های اخیر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. قسمت‌های مختلف این دستگاه و نحوه‌ی کار با نرم‌افزارهای مربوطه در زمان خود توسط استاد درس توضیح داده خواهد شد.

منابع

- [۱] کرین، کنت، "آشنایی با فیزیک هسته‌ای"، ترجمه: منیژه رهبر و ابراهیم ابوکاظمی، (تهران، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ سوم، ۱۳۸۴).
- [۲] میرهوف، والتر، "مبانی فیزیک هسته‌ای"، ترجمه: محمدفرهاد رحیمی، (مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۹).
- [۳] سولفانیدیس، نیکلاس، "اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای"، ترجمه: رحیم کوهی، (مشهد، کتابستان مشهد، ۱۳۷۱).
- [۴] راستی‌کردار، صمد؛ نادری، محمدحسین، "مبانی حفاظت در برابر پرتوها"، (اصفهان، دانشگاه اصفهان، ۱۳۷۹).
- [۵] پرنیانپور، حسن، "مبانی فیزیک پرتوها و پرتوزاها"، (تهران، موسسه‌ی الست، ۱۳۷۰).
- [۶] پرستون، دریل، "هنر فیزیک تجربی"، ترجمه: محمد لامعی رشتی، (تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۳).
- [۷] عبدی، محمدرضا؛ راجی، حمیدرضا، "کارایی سامانه‌ی آشکارسازهای هسته‌ای"، (سمینار ۲ کارشناسی ارشد هسته‌ای، گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۶).
- [8] "Introduction To Radioactive Materials", Department of Energy U.S
<http://hss.energy.gov/nuclearsafety/NSEA/fire/trainingdocs/radem3.pdf>
- [9] "Security of Radioactive Sources", International Atomic Energy Agency, June 2003
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1165_web.pdf
- [10] www.ortec-online.com/application-notes/an34/exp03.pdf
- [11] "Handbook on Nuclear Activation Cross-Sections", International Atomic Energy Agency, Vienna, 1974, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 156.
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/06/177/6177102.pdf