

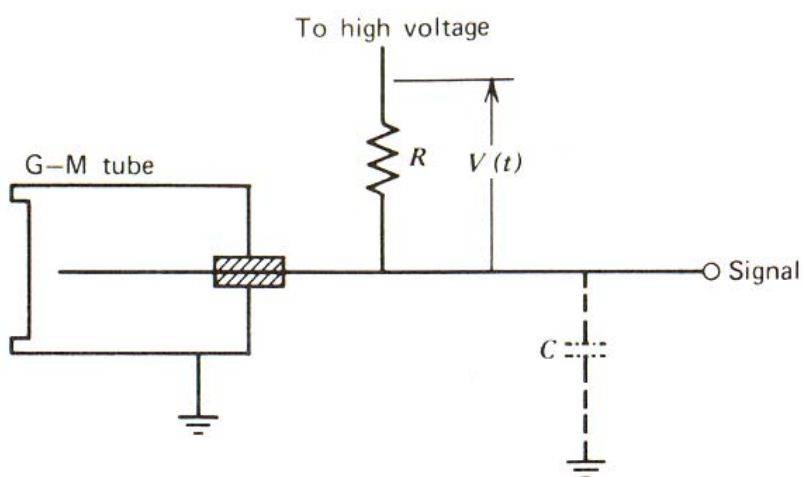
آزمایش ۱ - آشنایی با آشکار ساز گایگر مولر و تعیین ناحیه کار آن

وسایل مورد نیاز :

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو

تئوری آزمایش :

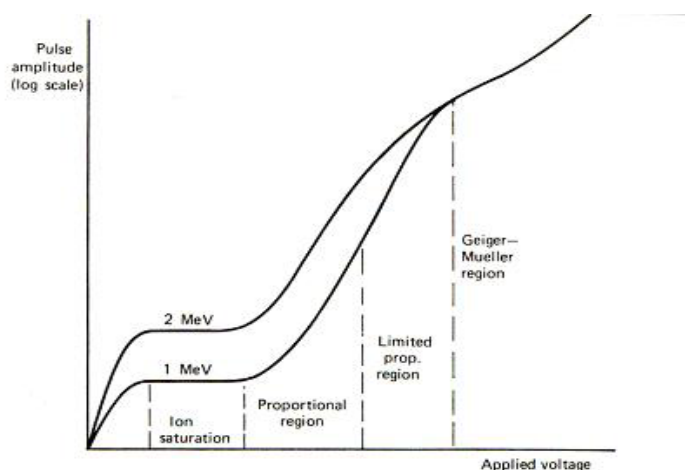
آشکار ساز گایگر مولر (GM) معمولاً به صورت یک استوانه فلزی (کاتد) با یک سیم مرکزی (آند) است و با مخلوط یک گاز بی اثر مانند آرگون و مقدار کمی از یک گاز هالوژن یا الکل اتیلیک پر شده است.



شکل ۱

اشعه تابشی گاز داخل آشکار ساز را یونیزه کرده و یونهای مثبت و منفی بوجود می آورد. در صورتی که اختلاف پتانسیلی بین آند کاتد وجود نداشته باشد هیچ نیرویی یونهای بوجود آمده را به آند و

کاتد هدایت نمی‌کند و بنابراین یونهای بوجود آمده با هم ترکیب شده و جریانی از مقاومت I عبور نمی‌کند. در صورتی که یک پتانسیل ضعیف به الکترودها اعمال شود (V) نیروی Ve یونهای مثبت و منفی را به قطبهای مخالف می‌راند و ترکیب مجدد کمتر اتفاق می‌افتد و جریان ضعیفی از مدار عبور می‌کند. مقدار این جریان به تعداد یونیزاسیونهای اولیه یعنی میزان انرژی منتقل شده از اشعه به گاز داخل آشکار ساز بستگی دارد. به این ناحیه ولتاژ، ناحیه ترکیب مجدد می‌گویند.

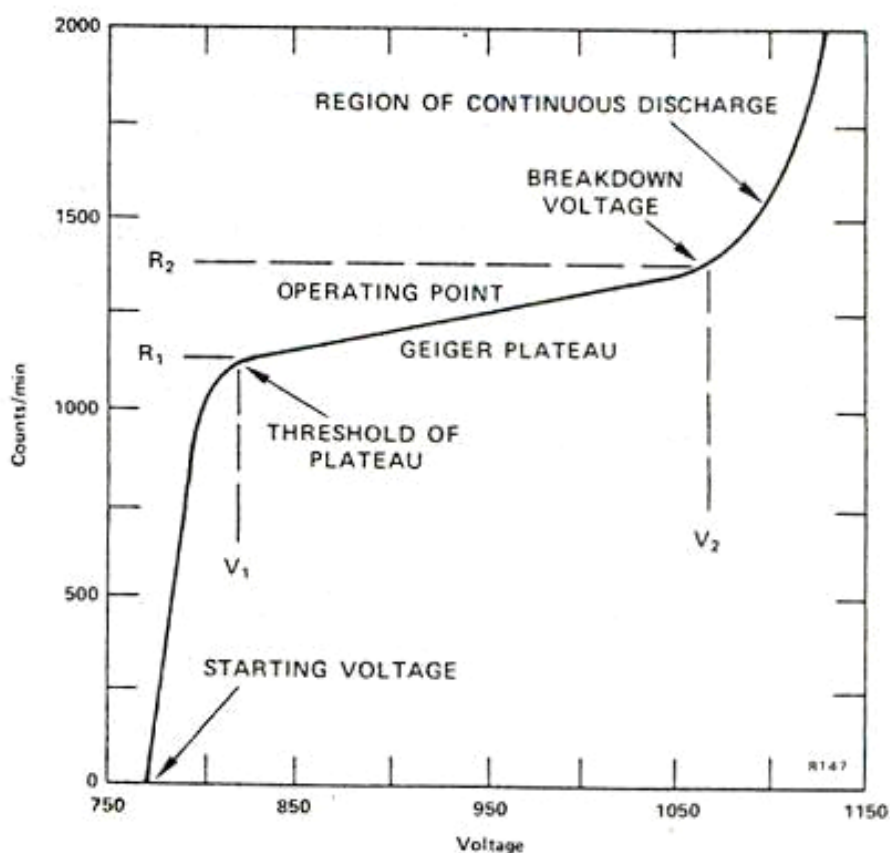


شکل ۲- یون های جمع آوری شده به وسیله الکترودها بر حسب ولتاژ متصل به الکترودها. منحنی بالایی برای تابش با 2meV انرژی و منحنی پایینی مربوط به تابش با 1MeV انرژی می باشد. ناحیه های مختلف عبارتند از: (۱) ترکیب مجدد. (۲) یونیزاسیون. (۳) تناسبی. (۴) تناسب محدود. (۵) گایگر و (۶) ناحیه تخلیه الکتریکی.

با افزایش ولتاژ امکان ترکیب مجدد از بین می‌رود تا جایی که تمام بارهای بوجود آمده به آند و کاتد می‌رسند که به آن ناحیه اشباع می‌گویند. اتفاقهای یونیزاسیون در این ناحیه کار می‌کنند. با افزایش بیشتر ولتاژ پدیده یونیزاسیون ثانویه یا تکثیر اتفاق می‌افتد به این ترتیب که انرژی یونهای شتاب گرفته به اندازه‌ای است که می‌توانند اتمهای خنثی را نیز یونیزه کنند. با افزایش تعداد یونهای جمع-آوری شده ارتفاع پالس بوجود آمده در خروجی افزایش می‌یابد. در اینجا میزان انرژی عبور کرده از

مدار و در نتیجه ولتاژ خروجی رابطه خطی با میزان انرژی منتقل شده از اشعه به آشکار ساز (تعداد یونیزاسیون اولیه) و نیز ولتاژ بین آند و کاتد دارد و به آن ناحیه تناسبی می‌گویند. از ناحیه تناسبی محدود رابطه خطی بین میزان جریان و تعداد یونهای اولیه از بین می‌رود و در نهایت در ناحیه ۵ میزان جریان یا ارتفاع پالس خروجی به علت تخلیه کامل گاز در مجاورت آندبه ماکزیمم خود رسیده که متشکل از تعداد یونیزاسیون اولیه است. در این ناحیه که به ناحیه گایگر معروف است بهمنی از الکترونها در مجاورت سیم مرکزی گسترش می‌یابد. با بالا بردن بیشتر ولتاژ تخلیه دائمی گاز داخل محفظه حتی بدون وجود تشعشع انجام می‌شود و این باعث خرابی آشکار ساز خواهد شد.

آشکار ساز گایگر در مورد انرژی اشعه ورودی اطلاعی بدست نمی‌دهد و از آنجا که پالسی با ارتفاع بالا ایجاد می‌کند احتیاج به تقویت کننده ندارد. منحنی مشخصه گایگر مشابه شکل ۳- است.



شکل ۳- منحنی مشخصه آشکار ساز گایگر

قسمت افقی منحنی که نسبت به ولتاژ تغییر زیادی نشان نمی‌دهد به سکو یا پلاتوی گایگر معروف است و ولتاژ کار آشکار ساز برابر است با :

$$V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \quad (1)$$

هر چه شیب سکو کمتر باشد نشان دهنده پایداری بیشتر آشکار ساز در مقابل تغییرات احتمالی ولتاژ کار است. شیب گایگر با درصد تغییرات شمارش در صد ولت بیان میشود:

$$S = \frac{R_1 - R_2}{R_1} * \frac{100}{V_2 - V_1} \% \quad (2)$$

مزایای آشکار ساز GM حساسیت بالا برای تشعشعات مختلف و ارتفاع پالس بالا و نیز قیمت پایین آن است و از معایب آن عدم امکان دسترسی به انرژی ذره تابشی و نیز زمان مرگ بالا می‌باشد.

آزمایش ۱-ب- رسم منحنی مشخصه گایگر و تعیین ولتاژ کار

روش انجام آزمایش:

- ۱- مدار آزمایش را ببندید و یک چشمه رادیو اکتیو را در فاصله ثابتی از آشکار ساز قرار دهید.
- ۲- ولتاژ را به آرامی و در هر مرحله ۲۰ ولت افزایش دهید و تعداد شمارش را در مدت ۳۰ ثانیه یادداشت کنید. دقت کنید وقتی شمارش‌ها یکباره افزایش یافت ولتاژ به ناحیه تخلیه آشکار ساز رسیده است و دیگر ولتاژ را افزایش ندهید.
- ۳- منحنی شکل ۳ را در کاغذ میلیمتری رسم کنید.
- ۴- شیب سکوی آشکار ساز و ولتاژ کار آن را پیدا کنید.

آزمایش ۲- مطالعه زمان مرگ گایگر

وسایل مورد نیاز :

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو

یکی از معایب بزرگ آشکار ساز گایگر زمان مرگ یا Dead time می باشد که در ذیل علت پدید آمدن آن توضیح داده می شود.

هنگامیکه پرتوهای یون ساز به اتمهای گاز بی اثر موجود در محفظه کنتور گایگر برخورد می کنند باعث یونیزاسیون گاز در حجم حساس می شوند، بدلیل اعمال ولتاژ خارجی به سیستم، یونهای حاصله از یونیزاسیون بسوی قطب های الکتریکی مخالف روانه می شوند. با توجه به سرعت زیاد الکترونها نسبت به یونهای مثبت، الکترونها سریعاً جذب آند می شوند و اطراف آند و در مرحله تکثیر بارهای مثبت باقی مانده، مجتمع می شوند. تجمع بارهای مثبت در اطراف آند، میدان الکتریکی ناشی از اعمال ولتاژ خارجی را کاهش می دهد. برای آنکه یونهای مثبت از اطراف آند دور شوند و میدان الکتریکی به مقدار اولیه باز گردد یک فاصله زمانی پیش می آید که به آن زمان تفکیک (Resolving time) (زمانی که طول میکشد تا این یونها جذب کاتد شوند) می گویند، که از رابطه زیر بدست می آید:

$$t = \frac{(b^2 - a^2)p \ln b/a}{2V}$$

شعاع کاتد (cm) = b

شعاع آند (cm) = a

فشار گاز داخل کنتور (mmHg) = p

ولتاژ اعمالی (v) = V

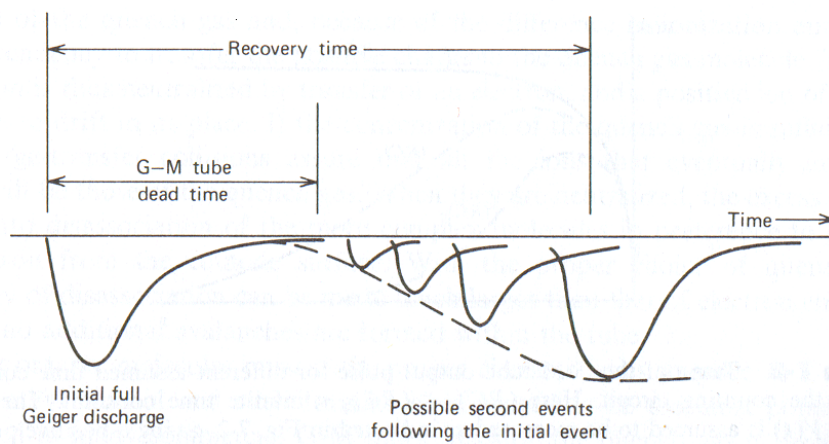
کاهش ولتاژ خروجی موجب می‌شود تا کنتور قدرت عکس‌العمل در برابر پرتوهای بعدی را نداشته و تولید پالس با دامنه مناسب را نکند. با حرکت کردن یونهای مثبت بسوی کاتد شدت میدان الکتریکی بتدریج زیاد می‌شود تا در نقطه‌ای دوباره آشکار ساز میتواند یک پالس تشکیل دهد. زمان لازم برای رسیدن به این شدت میدان الکتریکی را زمان مرگ آشکار ساز گایگر گویند. پس از این مرحله با افزایش شدت میدان بتدریج ارتفاع پالس نیز افزایش یافته تا به حد پالس گایگر برسد. پالسهای با ارتفاع کوچکتر توسط یک سطح تبعیض گر (Discriminator) حذف می‌شوند. فاصله زمانی بین زمان مرگ و زمان باز یابی (Recovery time) گویند.

Resolving time=Recovery time +Dead time

$$T_d = t_r + t_d$$

برای کنتور های گایگر این زمان بین 100-150 μ sec

وابستگی بین زمان مرگ، زمان تفکیک و زمان باز یابی به حالت اولیه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴

T_d زمان مرگ موثر مجموع t_d و قسمتی از t_r است به طوری که شمارنده دو اشعه متوالی را از هم تفکیک کند. هر چقدر مقدار T_d بزرگتر باشد شمارش‌های از دست رفته بیشتر می‌شود. به علت زیاد بودن T_d در آشکار ساز گایگر، لازم است شمارش‌های انجام شده تصحیح شود. فرض می‌کنیم N تابش در ثانیه وارد آشکار ساز شده و n تا از آنها شمرده شود. بنابراین این زمان مرگ یا خاموشی کل در یک ثانیه nT_d است و کل زمانی که در آن شمارش انجام شده $(1 - nT_d)$ است. به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$n = N \left(\frac{1 - nT_d}{1} \right) \Rightarrow N = \frac{n}{1 - nT_d} \approx n(1 + nT_d)$$

آزمایش ۲-ب: اندازه‌گیری زمان مرگ آشکار ساز GM

یکی از روشهای اندازه‌گیری زمان مرگ آشکار ساز گایگر روش دو چشمه ای است.

- ۱ - مدار آزمایش یک را ببندید و ولتاژ را تا ولتاژ کار که در قسمت قبل به دست آوردید بالا ببرید.
- ۲ - ابتدا یک چشمه رادیو اکتیو در مقابل آشکار ساز قرار دهید بطوری که حداکثر شمارش را به دست آورید و به مدت ۵ دقیقه شمارش کنید.
- ۳ - چشمه دوم را بدون دست زدن به چشمه اول و در کنار آن قرار دهید و شمارش را در این حالت به مدت ۵ دقیقه انجام دهید.
- ۴ - چشمه اول را بدون تکان دادن چشمه دوم بردارید و شمارش را تکرار کنید.
- ۵ - زمان مرگ را از رابطه زیر حساب کنید که در آن n_1, n_2, n_{12} میزان شمارش چشمه اول، چشمه دوم، دو چشمه و B میزان شمارش زمینه است.

$$T_d = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - B}{(n_{12})^2 - (n_1)^2 - (n_2)^2} \quad (4)$$

۶- با توجه به زمان مرگ بدست آمده شمارش‌ها را تصحیح کنید.

تمرین:

۱- رابطه (۴) را به دست آورید

آزمایش ۳: آمار شمارش و خطاهای اندازه‌گیری

وسایل مورد نیاز:

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو

تئوری آزمایش:

تجزیه هر اتم مجزا به طور اتفاقی در یک لحظه غیر قابل پیش بینی اتفاق می‌افتد. ولی وقتی تعداد اتمهای رادیو اکتیو زیاد باشد زمان متوسط تجزیه قابل پیش بینی است. با این وجود در اندازه‌گیری‌های مکرر نتایج متفاوتی بدست می‌آید که حول مقدار میانگین پراکنده شده‌اند و از یک تابع توزیع پیروی می‌کنند. دقت نهایی قابل حصول در شمارش ذرات هسته‌ای به طبیعت اتفاقی واکنش هسته‌ای محدود می‌باشد. بنابراین توانایی در انجام محاسبات مربوط به عدم قطعیت در آزمایشات مربوط به شمارش اهمیت دارد. در اینجا به اختصار سه توزیع مهم آماری را شرح می‌دهیم.

توزیع دو جمله‌ای: مجموعه‌ای متشکل از اجزایی از دو نوع A و B را در نظر می‌گیریم،

احتمال اینکه یک نمونه انتخابی (اتفاقی) از این مجموعه از نوع A باشد، P فرض می‌شود و

احتمال اینکه از نوع B باشد $q = (1-p)$ خواهد بود بنابراین احتمال اینکه x تا از n انتخاب از نوع A

باشد برابر است با

$$P_{(x)} = \frac{N!}{x!(N-x)!} P^x (1-P)^{N-x}$$

که به قانون دو جمله ای مرسوم است زیرا در واقع عبارتست از جمله X ام از بسط دو جمله ای

$$(p+q)^N = [P + (1-P)]^N = 1$$

و به دو پارامتر P و n بستگی دارد. با انجام محاسبات مقدار میانگین و واریانس داده ها معلوم می

شود:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N X_i P_{(X_i)} = PN \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i)^2 P_{(X_i)} = NP(1-P) = \bar{X}(1-P) = X^2 - \bar{X}^2 \quad (2)$$

توزیع پواسون: برای حالتی که $P \ll 1$ باشد، بطوری که PN حدود ۵ و یا کمتر از آن باشد خواهیم

داشت:

$$\frac{N!}{(N-X)!} \approx N^X$$

$$(1-P)^{N-X} \approx e^{-P(N-X)} \approx e^{-PN}$$

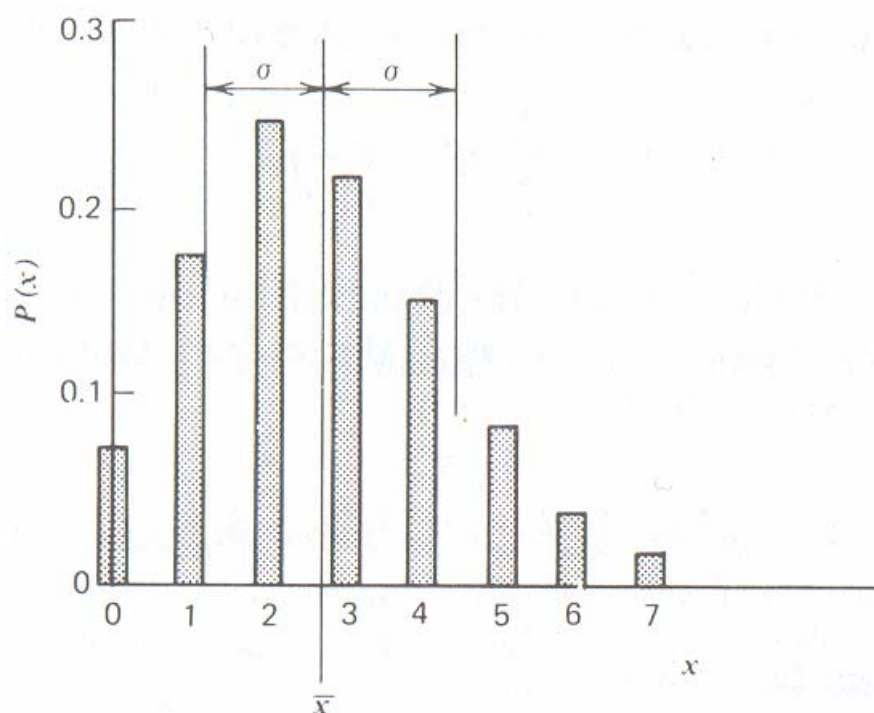
$$P_{(X)} = \frac{N^X P^X}{X!} e^{-PN} = \frac{(\bar{X})^X e^{-\bar{X}}}{X!} \quad (3)$$

در این توزیع تنها یک پارامتر $PN = \bar{X}$ دخالت دارد. برای مقادیر $\bar{X} < 20$ توزیع نا متقارن

است (شکل ۵)

در این حال

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i)^2 P_{(X)} = PN = \bar{X} \quad (4)$$



شکل ۵

توزیع نرمال یا گوسی: اگر روی توزیع پواسن محدودیت $X > 20$ اضافه شود توزیع گوسی بدست می‌آید.

$$P_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma^2}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X-\bar{X})^{-2}}{2\bar{X}}\right] \quad (5)$$

$P_{(x)}$ عبارتست از دانسیته احتمال یا احتمال در واحد طول X و $P_{(x)} d_x$ عبارت است از احتمال

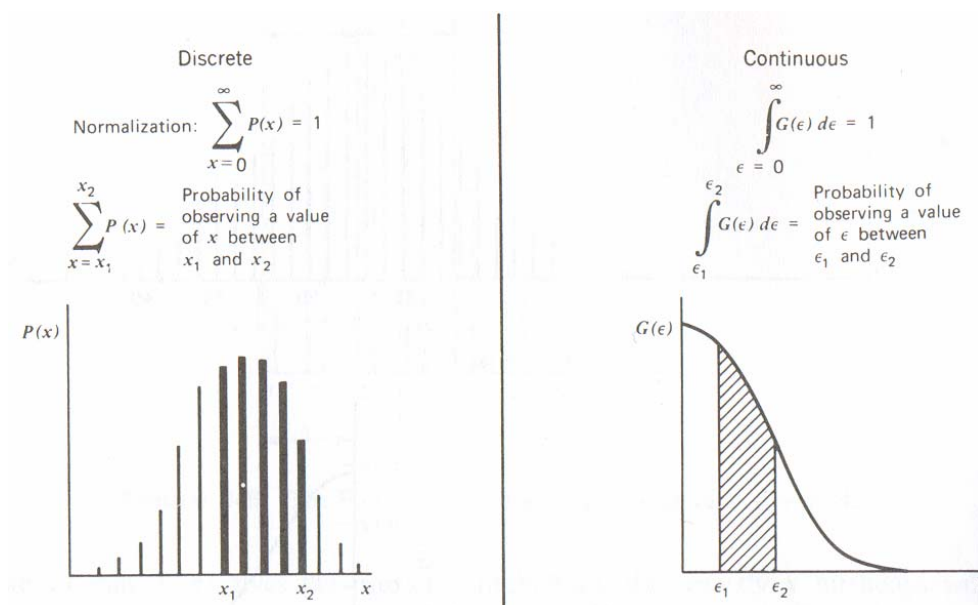
$$X \pm \frac{1}{2} d_x \text{ در فاصله}$$

این توزیع نیز با یک پارامتر $\bar{X} = PN$ مشخص می‌شود. از آنجا که $P_{(x)}$ حول X متقارن است و به

اختلاف $\varepsilon = (X - \bar{X})$ بستگی دارد ترجیح داده می‌شود که تابع زیر بکار رود.

$$G_{(\varepsilon)} = \sqrt{\frac{2}{\pi \bar{X}}} e^{-\varepsilon^2 / 2\bar{X}} \quad (6)$$

در اینجا $G_{(\varepsilon)} d_{\varepsilon}$ احتمال دیفرانسیلی است که انحراف $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = d_{\varepsilon}$ حول ε دیده شود (شکل ۶).



شکل ۶

$$\int_0^{\varepsilon} G_{(\varepsilon)} d_{\varepsilon} = f_{(\varepsilon)}$$

احتمال داشتن انحرافی کمتر از ابر است با

که اگر ε در واحد σ محاسبه شود $f_{(\varepsilon)}$ بستگی به پارامترهای این توزیع ندارد و می‌توان جدول

زیر را در مورد تمام آنها نوشت :

ε	0	0.675σ	1σ	1.64σ	1.96σ	2.58σ	3σ
f_{ε}	0	0.5	0.68	0.9	0.95	0.99	0.997

به عنوان مثال ۶۸٪ داده‌ها در فاصله 1σ از مقدار میانگین قرار دارد.

تست Chi :

یک مسئله مهم در آمار شمارش این است که آیا یک مجموعه اندازه گیری از یک کمیت فیزیکی مقدار نوسانات داخلی که با پیشگویی آماری سازگار باشد را نشان می دهد ، به این معنی که سیستم شمارش در حال کار عادی و سالم است یا خیر دوم اینکه در یک بار اندازه گیری چه میزان دقت صورت گرفته است .

در مورد اول ابتدا باید یک سری اندازه گیری انجام شده و \bar{x} و σ و $f(x)$ (فرکانس یا توزیع شمارشها) را بدست آوریم . حال باید این داده ها را با یکی از مدل‌های توزیع گوسی یا پواسن (بسته به مقدار \bar{x}) تطبیق داد. یک راه مستقیم این است که $f(x)$ را رسم کرده و آنرا با $P(x)$ (تابع توزیع گوسی یا پواسن) مقایسه کنیم . اما بهتر آن است که کمیتی پیدا کنیم که برای مقادیر اندازه گیری شده و استاندارد قابل مقایسه باشد .

این مقدار می توانست \bar{X} باشد ولی از آنجا که \bar{X} تجربی را با مقدار متوسط واقعی برابر گرفتیم این امکان و جود ندارد . می توان مقدار برای اندازه گیریها را با مقدار مشابه برای توزیعهای استاندارد (S) مقایسه کرد .

اما راه بهتر استفاده از تست χ^2 (chi) است که بشکل زیر تعریف می شود :

$$\chi^2 = \frac{1}{\bar{X}} \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i)^2 = \frac{(N-1)^2 S}{\bar{X}} \quad (7)$$

$$\text{یا} \quad \sqrt{\frac{\chi^2}{N-1}} = \frac{S}{\sigma} \quad (8)$$

که در آن S انحراف استاندارد توزیع تجربی و σ انحراف استاندارد توزیع پیش بینی شده است .

در حالت ایده آل کسر طرف راست رابطه ۸ برابر واحد است و مقدار انحراف آن از واحد نشان دهنده میزان تفاوت میان انحراف معیار اندازه گیری شده از مقدار پیش بینی شده است .

در جداولی حداقل با درجه اطمینان p را در اندازه گیریهای N تایی داده اند . مثلاً "در جدول نمونه زیر گفته می شود که اگر در یک توزیع کامل پواسن ۲۰ اندازه گیری صورت گیرد ، به احتمال ۹۰٪ مقدار X از ۱۱/۶۵ بزرگتر و فقط با احتمال ۵٪ بزرگتر از ۳۰/۱۴ است (جدول ۱)

تعداد اندازه گیری N	تعداد اندازه گیری				
	P=0.95	0.90	0.50	0.10	0.05
10	3.32	4.17	8.34	14.68	16.92
20	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14
30	17.17	19.77	28.34	39.09	42.56

خطای اندازه گیری :

توزیع پواسن غالباً در فیزیک هسته ای بکار رود (احتمال تجزیه در واحد زمان یک هسته $\lambda \gg 1$)

و بنا براین انحراف استاندارد مقدار میانگین در یک سری بوسیله $\sigma = \sqrt{x}$ داده می شود و در صورتی که مقدار یک شمارش انجام شود انحراف استاندارد آن \sqrt{x} خواهد بود گاهی اوقات میزان شمارش در واحد زمان (t) به جای شمارش در یک مدت معین R استفاده می شود . خطای میزان شمارش برابر است با

$$\sigma_r = \frac{\sigma_R}{t} = \frac{\sqrt{R}}{t} = \sqrt{\frac{r}{t}}$$

انحراف استاندارد مجموع یا تفاصل هر دو شمارش R_1 و R_2 :

$$\sigma(R_1 + R_2) = [\sigma^2(R_1) + \sigma^2(R_2)]^{\frac{1}{2}}$$

روش انجام آزمایش :

الف - بررسی تجربی توزیع پواسون

۱ - سیستم شمارش گایگر را آماده کنید و ولتاژ را تا حد ولتاژ کار آشکار ساز که در آزمایش اول به دست آوردید بالا ببرید .

۲ - بدون قرار دادن چشمه ، صد شمارش را به مدت ۱۰ ثانیه انجام دهید و یادداشت کنید .

۳ - جدولی مشابه زیر پر کنید که در آن n_i تعداد شمارش در هر مرتبه و f_e فرکانس یا تعداد دفعاتی است که n_i به دست آمده است .

n_i	0	1	2	3	4	19	20
f_e تجربی	0	1	1	3	10	1	0
f_{th} تئوری	0.05	0.3	1.2	3.2	6.3	0.36	0.16

ردیف سوم فرکانس شمارش بر طبق پیشگویی توزیع پواسون برای شمارش‌ها کم است و از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$f_{th}(n_i) = N * P_{(n_i)} = N * \frac{\binom{\bar{n}}{n_i} e^{-\bar{n}}}{n_i!}$$

مقدار \bar{n} نیز از رابطه زیر بدست می آید :

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i f_e(n_i)$$

و در اینجا $N=100$ انتخاب شده است .

۴- منحنی توزیع شمارشهای تجربی و پیش بینی شده را در کاغذ میلیمتری رسم کنید .

ب - بررسی تجربی توزیع گوسی

۱- مراحل قبل را با قرار دادن چشمه و در شمارش های زیاد (حدود ۱۰۰۰ شمارش در ۱۰ ثانیه) تکرار کنید .

۲- جدول زیر را پر کنید . در اینجا فرکانس توزیع گوسی را از رابطه زیر پیدا کنید .

$$f_{th}(n) = N * p_{(n)} d_n$$

که در آن $N=100$ و d_n و $p_{(n)}$ از رابطه ۵ به دست می آید .

d_n	1060	1070	1080	1180	1190
محدوده شمارش ها	1069	1079	1089	1189	1199
n_i	1065	1073 1078	1080 1086 1088	1186 1189	1195
f_e	1	2	3	2	1
f_{th}	0.5	1.8	3.1	1.9	0.8

۳- نمودار ستونی توزیع شمارش های تجربی و تئوری را در کاغذ میلیمتری رسم کنید .

ج - تست chi :

۱ - سی عدد اتفاقی از شمارش‌های انجام شده در مرحله قبل را برداشته و مقدار χ^2 را طبق روابط زیر حساب کنید .

$$\chi^2 = \frac{(N-1)S^2}{\bar{n}}$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{n} - n_i)^2$$

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

$$N=30$$

تمرین :

۱ - از روی توزیع شمارش در قسمت ب، در صد شمارش‌ها با انحراف کمتر از 1σ و 2σ و 3σ از مقدار میانگین را پیدا کنید .

۲ - مقدار X^2 بدست آمده در قسمت ج را با جدول ۱ مقایسه کنید و در میزان تطابق شمارش‌ها با یک توزیع پواسن بحث کنید .

۳ - چه تعداد شمارش باید داشته باشیم تا خطای متحمل (1σ) 5% داشته باشیم؟

۴ - یک نمونه به مدت ۱۰ دقیقه، میزان متوسط ۲۸ شمارش در دقیقه را بدست داده است . زمینه به

مدت ۲۰ دقیقه شمرده شده و میزان متوسط ۱۷ شمارش در دقیقه می دهد . میزان شمارش خالص

چشمه و خطای متحمل (σ) آن چقدر است؟

آزمایش ۴: بررسی قانون عکس مجذور فاصله

وسایل مورد نیاز :

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو - خط کش - پایه آشکار ساز

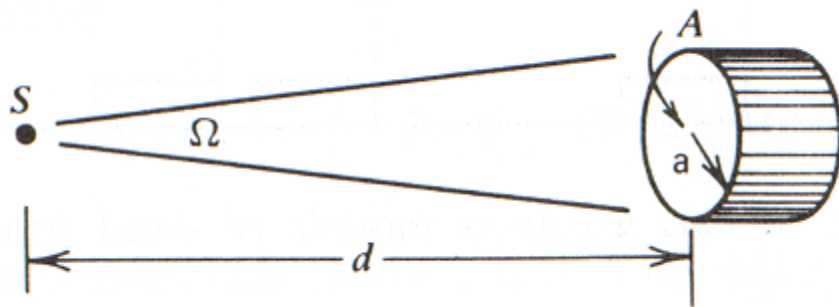
تئوری آزمایش :

تجزیه و انتشار پرتو از هر هسته مجزا بصورت اتفاقی در یک لحظه و جهت غیر قابل پیش بینی اتفاق می افتد ولی وقتی تعداد اتمهای رادیو اکتیو زیاد باشد زمان متوسط تجزیه و تعداد متوسط تشعشعات در یک جهت خاص قابل پیشگویی است .

در مورد یک چشمه ایزوتروپیک نقطه ای، پرتوهای تابشی در تمام جهات فضا (4π) انتشار می یابد . شدت پرتو در هوا و در فاصله d از چشمه از قانون عکس مجذور فاصله تبعیت می کند . با فرض عدم جذب و پراگندگی ذره تابشی می توان گفت تمام پرتوها از سطح هر کره ای که مرکز آن بر چشمه منطبق است عبور می کند . اگر اکتیویته یا تعداد تجزیه در ثانیه چشمه N_0 فرض شود تعداد تابشهایی که به شمارنده می رسند (N) به نسبت زاویه فضایی مقابل آشکار ساز به کل زاویه فضایی است

$$N = N_0 G = N_0 \frac{\Omega}{4\pi} \quad (1)$$

که در آن G ضریب تصحیح فضایی و Ω زاویه فضایی مقابل چشمه است که آشکار ساز را در بر می گیرد.



شکل ۷

مقدار Ω از رابطه کلی زیر حساب میشود که در آن dA المان سطح مورد نظر و r فاصله آن از محل چشمه و α زاویه بین شعاع r و المان سطح dA است .

$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (2)$$

برای شکل ۱ خواهیم داشت :

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}}\right) \quad (3)$$

در حالی که $a \ll d$ خواهیم داشت :

$$\Omega = \frac{A}{d^2}$$

$$N = \frac{N_0 * A}{4\pi d^2} = \frac{K}{d^2} \quad (4)$$

که در آن K مقدار ثابتی است . در عمل مقدار d شامل طولی از آشکار ساز نیز هست زیرا سطح موثر آشکار ساز در واقع در داخل آشکار ساز قرار دارد و سطح ظاهری جلوی آن نمی باشد .

$$N = \frac{K}{(d' + d_0)^2}$$

در اینجا d' فاصله چشمه تا سطح جلو آشکار ساز و d_0 عمق متوسط نفوذ اشعه در داخل آشکار ساز است. با جذر گرفتن و معکوس کردن این رابطه خواهیم داشت:

$$\frac{1}{\sqrt{N}} = \frac{1}{\sqrt{K}} d' + \frac{1}{\sqrt{K}} d_0 \quad (5)$$

این معادله خطی $\frac{1}{\sqrt{N}}$ بر حسب d' ، با ضریب زاویه $\frac{1}{\sqrt{K}}$ و عرض از مبدا $\frac{1}{\sqrt{K}} d_0$ می باشد. با شمارش یک چشمه در فواصل مختلف d' و بدست آوردن مقدار $\frac{1}{\sqrt{N}}$ در هر مورد، می توان چند نقطه از این خط را بدست آورده و بهترین خط را از میان آنها عبور داد و از آنجا مقدار K و d_0 را پیدا کرد.

روش انجام آزمایش:

۱ - سیستم آشکار ساز GM را وصل کنید.

۲ - یک چشمه را در فواصل مختلف در مقابل آشکار ساز قرار دهید و جدول زیر را پر کنید.

d' (cm)	t_0 مدت شمارش	تعداد شمارش	N میزان شمارش تصحیح شده	$\frac{1}{\sqrt{N}}$
5				
7				
10				
.				
.				
20				

توجه کنید که N میزان شمارش تصیح شده برای زمان مرگ و زمینه است. برای تصیح زمینه، چشمه را برداشته و شمارش زمینه را را به دقت نسبی حداقل ۱۰٪ بدست آورید.

۳- مقادیر $\frac{1}{\sqrt{N}}$ بر حسب d' را در کاغذ میلیمتری مشخص کنید و سپس بهترین خط را از میان آنها عبور دهید. ضریب زاویه و عرض از مبدا این خط را پیدا کنید و از آنجا d_0 و k را حساب کنید.

تمرین :

۱- رابطه (۳) را بدست آورید.

۲- اگر در این آزمایش مقدار اکتیویته چشمه معلوم باشد به چه طریق می توان شعاع آشکار ساز را از نتایج بدست آمده استخراج کرد.

آزمایش ۵: برد اشعه β در آلومینیم و تعیین انرژی ماکزیم آن

وسایل مورد نیاز:

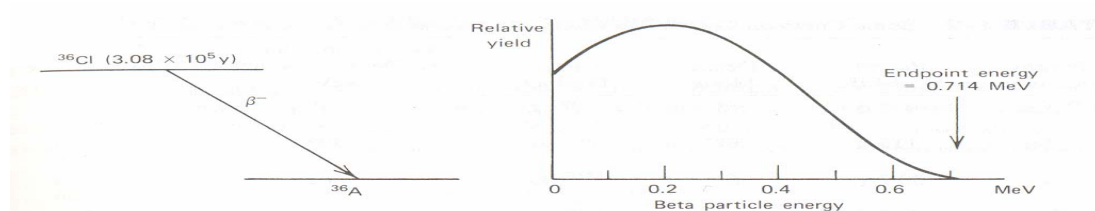
آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو - خط کش - پایه آشکار ساز - کیت جاذب

تئوری آزمایش:

بیشتر هسته های رادیواکتیو با واپاشی β تجزیه می شوند. تلاشی β وقتی اتفاق می افتد که یک هسته نسبت به هسته ایزوبار پایدار دیگری تعداد نوترون زیادی داشته باشد.

به عنوان مثال با تابش β به تبدیل می شود. برای رسیدن به حالت پایدار یکی از نوترونها تبدیل به پروتون می شود $n \rightarrow p + \beta' + \nu$ که در آن ذره خنثی و حامل انرژی و جرم در حال سکون صفر به نام پادنوترینو است.

از آنجا که انرژی تحرکی آزاد شده بین سه ذره تقسیم می شود، بسته به زاویه انتشار هر یک، انرژی متفاوتی (بطور پیوسته) برای بدست می آید که ماکزیم آن E_{\max} است



شکل ۸

بطور مشابه، تجزیه β' یا پوزیترون بصورت زیر است

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$$

بدنبال تجزیه β^\pm معمولاً "بدلیل اینکه هسته دختر در حالت تحرکی است گاما نیز ساطع می‌شود. همانطور که گفته شد طیف β پیوسته می‌باشد با اینحال در در بسیاری از هسته‌های β دهنده پیکهای مشخص نیز دیده می‌شود که بدلیل فرایند متفاوت تبدیل داخلی است، به این ترتیب که بدلیل احتمال عبور تابع موج الکترون مداری از هسته، انرژی تحرکی هسته به جای ساطع شدن بصورت گاما، به این الکترون داده می‌شود. انرژی این الکترون به اندازه انرژی پیوندی آن از انرژی تحرکی کمتر است:

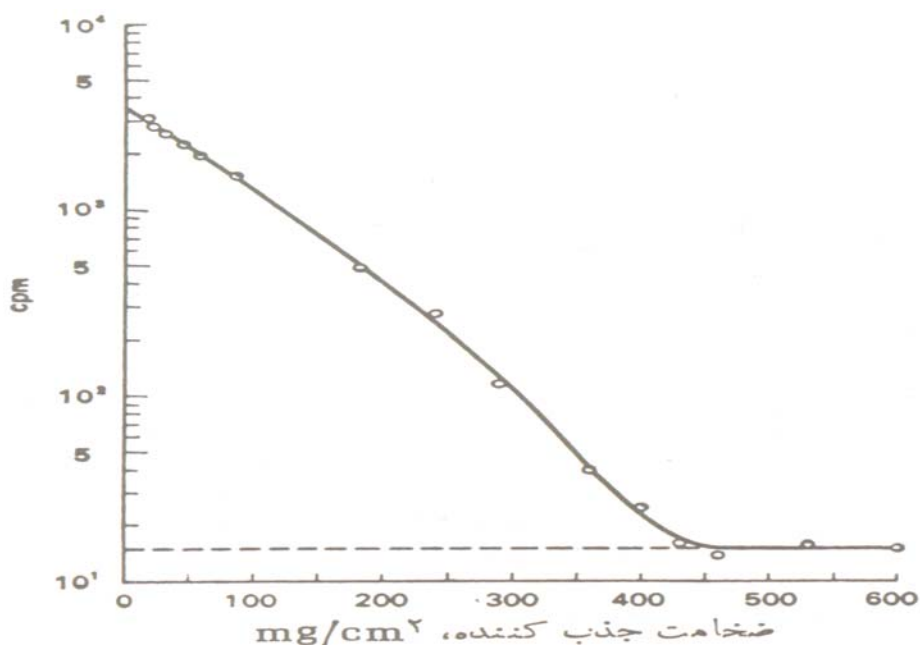
$$E_e = E_\gamma - E_b$$

که در آن E_e انرژی الکترون تبدیل داخلی، E_γ انرژی تحرکی یا انرژی گاما و E_b انرژی پیوندی الکترون است.

اندر کنش β بصورت برخورد الاستیک و غیر الاستیک با هسته یا الکترونهای اتم محیط است. در برخورد غیر الاستیک ممکن است انرژی جنبشی الکترون صرف یونیزاسیون، تحریک و تابش ترمزی شود.

ضخامتی از جاذب که برای توقف ذرات با انرژی ماکزیمم لازم است به برد ماکزیمم (R) موسوم است (شکل 9) و از روابط تجربی زیر بدست می‌آید:

$$E = 1.85R + 0.245$$



شکل ۹

در روابط بالا E انرژی ماکزیمم β و بر حسب MeV و R برد ماکزیمم بر حسب $\frac{\text{gr}}{\text{cm}}$ است .

رابطه تجربی میان ضخامت جذب $l_{(cm)}$ و تعداد ذرات β قبل و بعد از عبور از جذب را می توان بصورت زیر نوشت .

$$N = N_0 e^{-\mu l} \quad (۳)$$

که در آن μ ضریب جذب خطی و بر حسب $\frac{1}{\text{cm}}$ است . ضریب جذب جرمی بصورت $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$

تعریف میشود که ρ دانسیته جذب است . μ_m مستقل از عدد جرمی است و با افزایش عدد اتمی بع آرامی افزایش می یابد . اگر در رابطه (۳) μ_m بکار رود در این صورت l نیز بصورت ضخامت جرمی $(l_m = l \cdot \rho)$ جایگزین خواهد شد .

رابطه تجربی زیر بین انرژی β ماکزیمم و ضریب جذب جرمی برقرار است .

$$\mu_m \left(\frac{\text{m}^2}{\text{Kg}} \right) = 1.7 E_{Max}^{-1.14} \quad (۴)$$

روش انجام آزمایش :

۱ - مدار سیستم گایگر را ببندید .

۲ - چشمه β را در مقابل آشکار ساز در نقطه ثابتی قرار داده و تعداد شمارش‌ها را در ۱۰۰ ثانیه بدست آورید (ضخامت صفر). سپس ضخامت‌های مختلف را بترتیب مقابل آشکار ساز قرار دهید و شمارش را تکرار کنید . در ضخامت‌های بالا به علت کاعش میزان شمارش ، زمان شمارش را افزایش دهید .

۳ - وقتی تعداد شمارش‌ها با افزایش ضخامت تغییر نکرد (ناحیه افقی در شکل - ۲) بدون برداشتن جاذب چشمه را برداشته و شمارش زمینه را در مدت ۳۰۰ ثانیه بدست آورید .

۴ - میزان شمارش تصحیح شده برای زمان مرگ و زمینه را بدست آورید و جدول زیر را پر کنید . به

ازای هر سانتیمتر از هوا ضخامت $1.3 \frac{mg}{cm^2}$ و به ازای دریچه آشکار ساز ضخامت $2 \frac{mg}{cm^2}$ در نظر

بگیرید .

ضخامت جرمی $1 \left(\frac{mg}{cm^2} \right)$	زمان شمارش	شمارش	N میزان شمارش تصحیح شده	ln(N)

۵ - منحنی $\ln(N)$ بر حسب ضخامت جرمی مطابق شکل 2b و در کاغذ میلیمتری رسم کنید و از

روی آن برد ماکزیمم β را برای چشم مورد نظر پیدا کنید .

۶ - از رابطه (۲) انرژی ماکزیمم بتا را برای چشمه مورد نظر حساب کنید .

تمرین :

۱ - مقدار μ_m و μ را از منحنی بدست آمده پیدا کنید (چگالی آلومینیم $2.7 \frac{gr}{cm^3}$)

۲ - مقدار μ_m را با استفاده از انرژی بتای ماکزیمم که بدست آورده اید و جایگزینی در رابطه (۴) حساب کنید.

آزمایش ۶: اندازه‌گیری ضریب جذب اشعه گاما و تعیین نیمه ضخامت در سرب

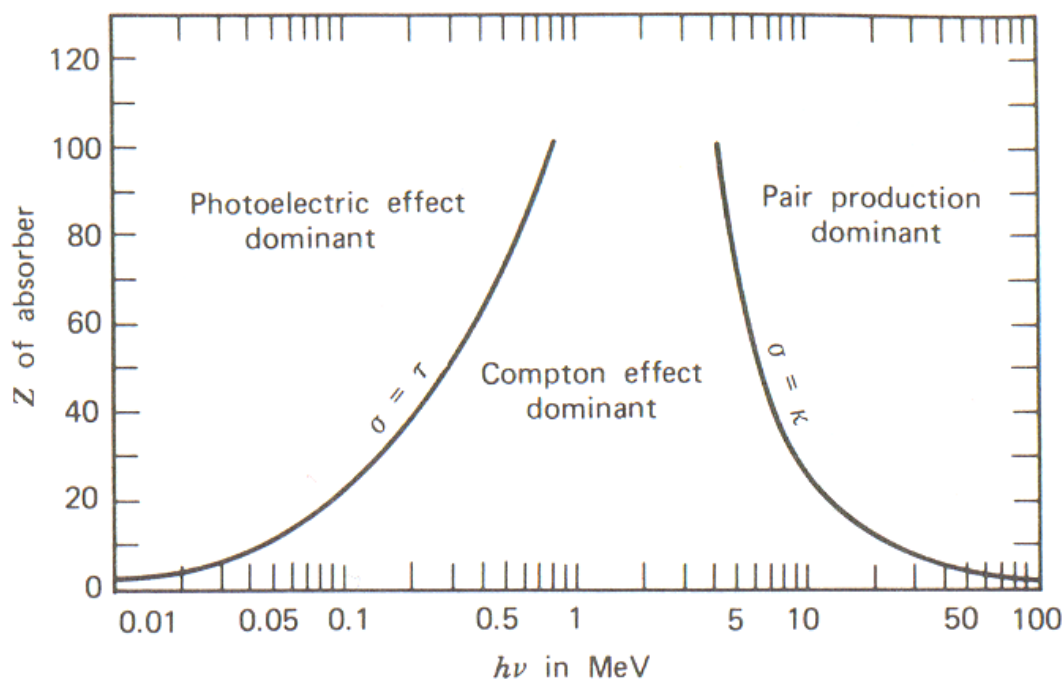
وسایل مورد نیاز:

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه رادیو اکتیو - خط کش - پایه

آشکار ساز - کیت جذب

تئوری آزمایش:

وقتی اشعه گاما از یک محیط جذب عبور می‌کند به سه طریق فتوالکتریک، کمپتونو تولید جفت اندر کنش انجام می‌دهد. شکل ۱۰ اهمیت نسبی هر یک از این سه روش را در انرژی و اعداد اتمی متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۱۰

احتمال کل واکنش در واحد طول مسیر گاما با $\mu(\frac{1}{m})$ نشان داده می‌شود و به آن ضریب تضعیف خطی می‌گویند که برابر است با مجموع احتمالات واکنشهای فتو الکتریک، کمپتون و تولید جفت.

$$\mu(m^{-1}) = \tau + \sigma + \kappa$$

اگر یک باریکه تک انرژی اشعه گاما با شدت I_0 از میان جاذبی به ضخامت t عبور کند کسر اشعه عبور کرده بٹون اینکه هیچگونه اند کنشی انجام دهد $e^{-\mu t}$ است.

$$I = I_0 \times e^{-\mu t}$$

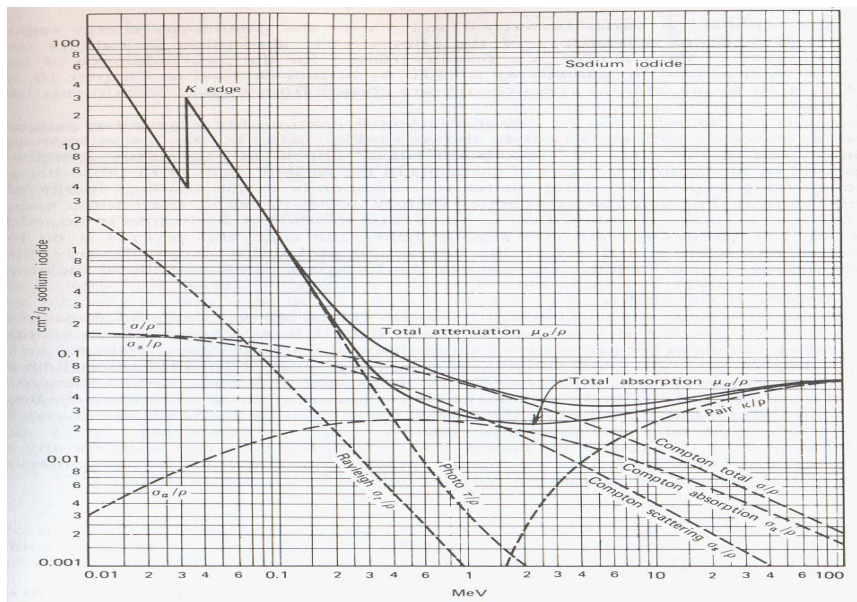
گاهی μ را بر حسب $\frac{m^2}{kg}$ و یا $\frac{cm^2}{kg}$ (ضخامت چگالشی) داده می‌شود و مزیت آن در رابطه بالا این است که دیگر دانسیته ماده جاذب تاثیری در آن نمی‌گذارد.

$$\mu_m \left(\frac{m^2}{kg} \right) = \frac{\mu(m^{-1})}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

ضریب جذب جرمی کل برای مواد مرکب، از ضریب جذب جرمی عناصر متشکله با توجه به درصد وزنی (W_i) آنها بدست می‌آید.

$$\mu_m = \sum W_i \times \mu_{mi}$$

در شکل ۱-۱۱ ضریب جذب جرمی سرب در انرژی‌های متفاوت و سهم هر یک از پدیده‌ها در تضعیف گاما مشخص گردیده است.



شکل ۱۱

ضخامتی از جاذب که شدت گامای اولیه را به نصف کاهش می‌دهد، نیمه ضخامت نام دارد و برابر است با:

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$$

روش انجام آزمایش:

- ۱- مدار سیستم آشکار ساز گایگر را ببندید و ولتاژ کار بدست آمده در آزمایش قبلی را به آن اعمال کنید.
- ۲- چشمه را در فاصله مناسب از آشکار ساز قرار دهید و با اضافه کردن ضخامت‌های مختلف سرب میزان شمارش و مدت زمان شمارش را در هر مرحله یادداشت نمایید.
- ۳- منحنی لگاریتم شمارش بر حسب ضخامت را رسم کرده و نیم ضخامت و μ_m را بدست آورید.
- ۴- مراحل بالا را برای چشمه دوم نیز انجام دهید.

۵- کلیه مراحل را برای ضخامت‌های مختلف آلومینیوم نیز انجام دهید.

۶- مقادیر بدست آمده ضریب تضعیف و نیم ضخامت را با جداول مرجع مقایسه کنید.

آزمایش ۷: فعال سازی پولک ایندیم بوسیله نوترونهای حرارتی و محاسبه نیمه عمر

راديو ايزوتوپ حاصله

وسایل مورد نیاز :

آشکار ساز گایگر مولر (NT-910) - دستگاه NT-112 - چشمه راديو اکتیو - خط کش - پایه آشکار ساز - پولک ایندیم

تئوری آزمایش :

فعال سازی عناصر (Neutron Activation) برای شناسایی کمی و کیفی مواد بکار می روند . از تجزیه و تحلیل نتایج فعال سازی میتوان به مشخصات زیر درمورد عناصر پرتو زایی برد .

۱ - نوع تابش ماده راديو اکتیو ۲ - انرژی تابشی ۳ - شدت تابش ۴ - نیمه عمر ماده راديو اکتیو کاربرد روش فعال سازی اولین بار توسط هوسی و لوی در سال 1963 انجام گرفت . در فعال سازی با نوترون باید به نکات زیر توجه نمود :

۱ - انتخاب بهترین واکنش هسته ای در آنالیز ایزوتوپ مورد نظر

۱-۱ - مدت زمان فعال سازی به اندازه کافی زیاد باشد تا ایزو توپ مورد نظر به حداکثر فعالیت خود برسد .

۱-۲ - نیمه عمر عنصر خیلی کوتاه (در حد ثانیه) نباشد و حداقل بیش از چند دقیقه باشد و سطح مقطع انجام

۱-۳ - نوع و انرژی اشعه تایش متعدد نباشد بطوریکه پیچیدگی در کار پیش آید .

۱-۴ - حداقل واکنش هسته ای با ماده انجام پذیرد .

۲- آماده سازی نمونه برای تابش دهی

برای آماده سازی نمونه آزمایش و انتخاب نوع ظرف و شرایط بسته بندی تکنیکهای ظریفی وجود دارد که تنها به ذکر نکاتی در مورد انتخاب ظرف اکتفا می گردد .

الف- ظرف محتوی نمونه باید در برابر اشعه و گرما مقاوم باشد .

ب - ظرف محتوی نمونه خود فعال شود و یا دارای نیمه عمر کوتاهی باشد .

ج - ارزان و در دسترس باشد .

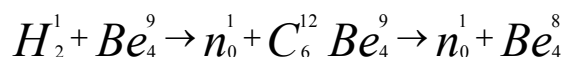
از جمله این مواد میتوان به ظروف پلی اتیلنی ، سیلیکا و آلومینیم اشاره نمود .

۳- بمباران نوترون نمونه مورد نظر

برای فعال نمودن نمونه نیاز به چشمه نوترونی می باشد تا بوسیله آن بتوان اتمهای موجود در نمونه را فعال نمود . چشمه هایی که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از :

الف - چشمه های نوترونی : منبع تولید نوترونها راکتورهای اتمی شتابدهنده ها و چشمه های رادیو ایزوتوپی هستند . راکتورها نوترون با فلاکس (شار) بالا تولید می کنند .

شتابدهنده ها نوترونهای سریع (انرژی بالا) تولید می کنند و چشمه های رادیو ایزوتوپی در اثر تجزیه خود بخودی مواد رادیو ایزوتوپ مانند $Cf-252$ نوترون تولید می کنند . همچنین در اثر برهم کنش هسته ای ذرات α یا β با هسته ما نیز میتوان تولید نوترون نمود که از این قبیل واکنشها می توان به موارد زیر اشاره نمود .



ب - چشمه های ذرات باردار : این چشمه ها غالبا" در شتابدهنده ها تولید می شوند یعنی منبع تولیدشان شتابدهنده ها میباشد .

نکته مهم بعدی در مورد فعال سازی مدت زمان لازم برای پرتو دهی می باشد که با توجه به آن میتوان مقدار فعالیت نمونه را به میزان دلخواه مورد نظر رسانید .

میزان تغییرات اکتیویته نمونه طبق فرمول زیر وابسته به زمان می باشد که در این رابطه $A_{(t_0)}$ میزان فعالیت بعد از پرتو دهی نمونه به مدت t_0 می باشد .

$$A_{(t_0)} = a_i m \frac{N_A}{A_i} \sigma_i \phi (1 - e^{-\lambda t_0})$$

جرم نمونه m جزء وزنی ایزوتوپ $a_i = i$

ثابت تجزیه λ = سطح مقطع واکنش σ_i = عدد آووگادرو N_A

شار نوترون ϕ = جرم اتمی نمونه A_i

فرمول فوق در صورتی صادق است که :

۱ - تعداد اتمهای هدف ثابت بمانند . $\ll 1$ $\sigma_i \phi t$

۲ - سطح مقطع ایزوتوپ حاصل کوچک باشد. $\ll \lambda_{i+1} \phi \sigma_{i+1}$

۳ - شار نوترون در حجم هدف یکنواخت باشد .

در حالیکه نیمه عمر رادیو ایزوتوپ تولید شده خیلی کوچکتر از t_0 باشد تقریباً " به حد اشباع خواهد رسید. (A_{SAT})

$$A_{(sat)} = a_i m \frac{N_A}{A_i} \sigma_i \phi$$

میزان جرم نمونه با توجه به ملاحظات زیر انتخاب می شود ۱ - ماکزیمم اکتیویته مجاز ۲ - ابعاد ظرف نمونه ۳ - ابعاد آشکار ساز ۴ - خود جذبی (برای تابش نمونه بوسیله نمونه)

محاسبه نیمه عمر رادیو ایزوتوپ حاصل از فعال سازی:

عنصر رادیو اکتیو به عنصری اطلاق می شود که هسته آن پایدار نبوده و در اثر تلاشی به عنصر دیگری تبدیل می شود . در این تبدیل ذراتی مثل α, β و γ گسیل می شود .

واپاشی یک عنصر رادیو اکتیو از یک پدیده آماری تبعیت می‌کند و بنابراین واپاشی آن طبق یک احتمال که آنرا ثابت واپاشی $\lambda(\text{sec})^{-1}$ (Decay constant) می‌نامیم تبعیت میکند .

به این ترتیب از لحاظ ریاضی احتمال اینکه یک نمونه رادیو اکتیو با N اتم اکتیو واپاشی کند برابر $N\lambda$ است که به آن اکتیویته یا فعالیت می‌گوئیم.

$$A = \left(\frac{dis}{sec}\right) = N\lambda$$

از طرفی میتوان واپاشی یک ماده رادیو اکتیو را به صورت زیر نمایش داد:

$$A = \frac{d_N}{d_t} \quad (2)$$

اکتیویته یا رشد تلاشی اتمها نسبت به زمان

با تلفیق روابط ۱ و ۲ رابطه تعداد اتمهای اکتیو نسبت به زمان بصورت زیر در خواهد آمد :

$$-\frac{d_N}{d_t} = \lambda N \Rightarrow \int_{N_0}^{N_1} \frac{d_N}{N} = \int_0^t \lambda dt \Rightarrow \ln \left| \frac{N}{N_0} \right| = -\lambda t$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t_d} \quad (3)$$

با ضرب نمودن λ در طرفین رابطه (۳) میتوان اکتیویته ایزوتوپ موردنظر در هر زمان را بصورت زیر نوشت :

$$A = A_0 e^{-\lambda t_d} \quad (4)$$

برای سهولت در محاسبات پارامتری به نام نیمه عمر $T_{\frac{1}{2}}$ تعریف می‌شود که برابر است با مدت زمانی میزان فعالیت ماده رادیو اکتیو به نصف مقدار اولیه خود میرسد . به این ترتیب رابطه بین نیمه عمر یک رادیو ایزوتوپ و ثابت واپاشی آن طبق روش زیر بدست خواهد آمد

$$t = T_{\frac{1}{2}} \Rightarrow A = \frac{1}{2} A_0 \Rightarrow \frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (5)$$

برای اندازه‌گیری نیمه عمر یک نمونه اکتیو به روش تجربی، بدین ترتیب عمل می‌شود که فرض کنیم اکتیویته اولیه در زمان $t_0 = 0$ برابر A_0 باشد در اینصورت طبق رابطه ۴ اکتیویته آن در زمان T برابر $A = A_0 e^{-\lambda t}$ خواهد شد بنابراین با دانستن A در زمانهای مختلف و رسم لگاریتم A نسبت به زمان مقدار λ (شیب خط) را تعیین می‌کنیم و سپس با استفاده از رابطه ۵ مقدار $T_{\frac{1}{2}}$ را محاسبه می‌کنیم. از آنجا که اندازه‌گیری دقیق A در زمان t تقریباً غیر ممکن است بنابراین مقدار میانگین آن که به روش زیر به دست می‌آید مورد استفاده قرار می‌دهیم. شمارش کل بدست آمده (C) توسط آشکار ساز برابر است با:

$$C = \int_{t_2}^{t_1} A dt$$

که در آن t_1 زمان شروع و t_2 زمان خاتمه شمارش است. اگر \bar{A} مقدار میانگین A بین دو زمان فوق باشد می‌توان نوشت:

$$C = \bar{A} (t_2 - t_1)$$

$$\bar{A} = \frac{C}{t_2 - t_1}$$

زمان متوسط با تقریب برابر خواهد شد با:

$$t' = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

بنابراین رابطه عمل مورد استفاده در آزمایش بصورت زیر خواهد بود:

$$\bar{A} = A_0^{-\lambda t'}$$

روش انجام آزمایش:

۱ - سیستم الکترونیکی مدار شمارش را متصل می‌کنیم.

۲ - ولتاژ مناسب برای اینکه آشکار ساز گایگر در ناحیه کار قرار گیرد را به آن اعمال می‌کنیم

۳- چشمه مورد آزمایش را بسته به میزان قدرت آن در فاصله ای مناسب از پنجره آشکار ساز قرار دهیم .

۴- زمان شروع میزان شمارش و دیگر اطلاعات را در جدول زیر وارد کنید .

۵- بعد از اینکه زمان مشخص توقف مجدداً" (پیشنهاد مسئول آزمایشگاه) شمارش را انجام داده و نتایج را یادداشت کنید.

زمان شروع t_1	زمان پایان t_2	زمان متوسط t'	$t_2 - t_1$	شمارش کل C	اکتیویته متوسط \bar{A}	$\ln \bar{A}$

۶- منحنی تغییرات $\ln \bar{A}$ را نسبت به t رسم کنید .

۷- نیمه عمر چشمه مورد آزمایش را تعیین کنید .

تمرین:

۱- برای انتخاب $\Delta t = t_1 - t_2$ مناسب چه عاملی را باید در نظر بگیریم ؟ چرا؟