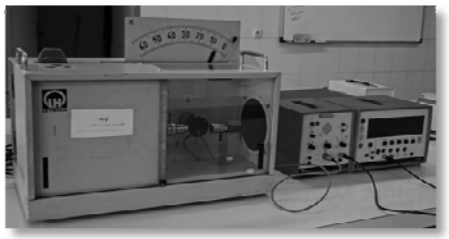
آشکارسازی و جذب اشعه X

هدف آزمایش:



آشنایی با روش تولید اشعه X

آشنایی با روش آشکارسازی اشعه X

بررسی وابستگی شدت عبوری اشعه X به ضخامت مانع

بررسی وابستگی شدت عبوری اشعه X به عدد اتمی (نوع) مانع

مقدمه:

۱- تولید اشعه X:

امروزه می‌دانیم که امواج الکترومغناطیسی نوسانات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هستند که آن‌ها را بر اساس بازه‌های فرکانسی دسته‌بندی می‌کنیم. شکل۱ این مطلب را نشان می‌دهد و در آن طول موج اشعه X در حدود آنگستروم مشخص است. اشعه X بعد از اشعه گاما پر انرژی‌ترین اشعه الکترومغناطیسی است که تا امروزه می‌شناسیم؛ لذا اشعه خطرناکی است و انسان نباید در معرض آن قرار بگیرد. مهم‌ترین روش تولید اشعه X کند شدن الکترون‌های پر انرژی در اثر برهم‌کنش با ماده است. بر اساس دینامیک برخورد، انرژی کاسته شده از الکترون به صورت فوتون تابش می‌شود و طیف پیوسته اشعه X را ایجاد می‌کند. روش دیگر تولید اشعه X، تولید فوتون در بازگشتن الکترون از حالت‌های برانگیخته پر انرژی به حالت‌های کم‌انرژی‌تر است. از آنجا که تفاوت انرژی تراز الکترونها در اطراف هسته گسسته است، طیف اشعه X در این حالت گسسته خواهد بود.

در شکل ۲ نمای یکی از ساده‌ترین لامپ‌های تولید اشعه X که در این آزمایش از آن استفاده می‌شود، نشان داده شده است.

۲- آشکارسازی اشعه X :

چشم ما نیز خود یک آشکارساز است؛ اما تنها بازه‌ای کوچک از امواج الکترومغناطیسی را به خوبی آشکار می‌کند که آن را به نام *ناحیه مرئی* می‌شناسیم (شکل ۱). برای آشکارسازی اشعه X در این آزمایش از آشکارسازی به نام آشکارساز گایگر استفاده می‌کنیم. گایگر(سال ۱۹۲۵) یک شیمی‌دان آلمانی بود که برای اولین بار آشکارساز خود را برای آشکارسازی ذرات آلفا پیشنهاد کرد. از آنجا که این آشکارساز به راحتی قابل ساخت و استفاده برای دیگر اشعه‌ها بود، سریع جای خود را در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی باز کرد. آشکارساز گایگر از دو استوانه هم محور تشکیل شده است و اختلاف پتانسیلی بین این دو استوانه بر قرار است (شکل ۳). در حالت عادی به دلیل عایق بودن گاز داخل استوانه هیچ جریانی از مدار عبور نمی‌کند. قاعده استوانه با پرده بسیار نازکی از جنس میکا پوشانده شده که ارتباط گاز درون محیط استوانه را با بیرون قطع می‌کند. چنانچه یک فوتون یا ذره‌ای از میکا وارد استوانه شود و انرژی آن در حد انرژی یونیزاسیون گاز درون استوانه باشد، گاز یونیزه شده و بدین ترتیب در لحظه بسیار کوتاهی انبوهی از بارهای مثبت و منفی بوجود خواهد آمد. به دلیل اختلاف پتانسیل خارجی اعمال شده (یک اختلاف پتانسیل DC اعمال می‌کنیم) یک پالس جریان در مدار اتفاق می‌افتد که می‌توان با شمردن این پالس‌ها و یا اندازه‌گیری جریان عبوری از مدار، معیاری از تعداد فوتون‌هایی که به آشکارساز رسیده، داشته باشیم. این شمارش توسط یک شمارنده انجام می‌گیرد. جریان عبوری به پتانسیل اعمال شده نیز بستگی دارد. هرچه این اختلاف پتانسیل بیشتر باشد، جریان عبوری بیشتر خواهد بود. اما در یک ناحیه خاص از ولتاژ این بستگی به حداقل خود می‌رسد و رابطه جریان بر حسب اختلاف پتانسیل خطی تقریبا راست می‌شود (شکل۴) که این ناحیه مطلوب کار کردن آشکارساز می‌باشد (چرا؟).

۳- جذب اشعه X:

شدت امواج الکترومغناطیسی به صورت‌های مختلف می‌تواند کاهش یابد که از چهار حالت زیر خارج نمی‌باشد:

۱- فوتوالکتریک (جذب کامل یک فوتون و انتقال انرژی آن به الکترون)
۲- کامپتون (پراکندگی فوتون که منجر به کاهش انرژی فوتون خروجی می‌شود)
۳- تامسون (پراکندگی الاستیک فوتون بدون کاهش انرژی فوتون خروجی)
۴- تولید زوج (تبدیل حداقل دو فوتون (چرا؟) به حداقل یک ذره و پاد ذره)

باید توجه داشت که در پدیده تامسون انرژی فوتون اولیه و ثانویه تفاوت ندارند، اما جهت پرتوی اولیه و ثانویه متفاوت است؛ لذا در عمل فوتون ثانویه از باریکه اصلی جدا شده و شدت پرتو را کاهش می‌دهد. در حقیقت تامسون همان پدیده کامپتون است که برای هسته‌های سنگین اتفاق می‌افتد. حال آنچه برای ما در این آزمایش مهم است، تاثیر مجموع این پدیده‌هاست که آن را به دو صورت بررسی می‌کنیم:

الف) وابستگی به ضخامت ماده:همانطور که بدیهی به نظر می‌رسد، توقع داریم که شدت عبوری از یک مانع مادی به ضخامت آن بستگی عکس داشته باشد. سوال این است که این بستگی چگونه می‌باشد؟ آنچه تئوری الکترومغناطیس پیش‌بینی می‌کند، رابطه نمایی است که ضریب نما به جنس ماده بستگی دارد:

که در آن I_0شدت اولیه و κ ضریب جذب است.

ب) وابستگی به نوع ماده: همانطور که در قسمت قبل نیز بیان شد، ضریب جذب به نوع ماده بستگی دارد. در حقیقت ضریب جذب تابعی از فرکانس و جنس ماده است $\kappa = \kappa(\omega, n)$ (چرا؟). البته این بستگی پیچیدگی‌های فراوانی دارد و در حوزه فیزیک ماده چگال مبحث مفصلی را به خود اختصاص می‌دهد؛ اما با در نظر گرفتن کلیات می‌توان رابطه نسبی را برای بستگی κ به عدد اتمی مانع بدست آورد. به نظر شما با افزایش nعدد اتمی مانع، شدت عبوری از مانع کم می‌شود یا زیاد؟ در این آزمایش درستی یا غلطی حدس خود را خواهید دید.

وسایل آزمایش:

وسایل این آزمایش را می‌توان به سه بخش اصلی محفظه تولید اشعه و آشکارساز گایگر، دستگاه تنظیم ولتاژ و تقویت گایگر و شمارنده تقسیم کرد.

۱– محفظه تولید اشعه و آشکارساز گایگر:

شکل ۵ و ۶ جزئیات دستگاه تولید اشعه X را نشان می‌دهند.

💣در کار کردن با اشعه X همیشه باید از قرار گرفتن در معرض تشعشع پرهیز کنید. به همین دلیل دستگاه تنها در حالت دربسته کار می‌کند. اگر در را باز کنید دستگاه خاموش می‌شود.

روش کار: بعد از اتصال دستگاه به برق و در حالت دربسته U_Aو I_{em}را کمینه کنید و دکمه روشن دستگاه را بزنید و سپس ولتاژ U_Aو جریان I_{em}را به مقدار دلخواه تنظیم کنید.

☚در صورتی که دکمه روشن دستگاه را در ولتاژی غیر از کمینهU_Aفشار دهید، دستگاه روشن نخواهد شد (نشانه روشن شدن دستگاه روشن شدن چراغ قرمز روی دستگاه است). لذا حتماًابتدا دستگاه را در $U_A=min$قرار داده و سپس ولتاژ را تنظیم کنید.

☚ تایمر دستگاه را روی ۱۲۰ دقیقه بگذارید و در صورت نیاز آن را تمدید کنید.

☚ فراموش نکنید که ولتاژ واقعی U_Aکه روی دستگاه با اعداد ۱ تا ۷ می‌بینید را با ولت‌متر تعیین کنید. ولتاژی که اندازه‌گیری می‌کنید، از ولتاژ واقعی بسیار کوچکتر است (چرا؟). پس برای تصحیح باید آن را در $1000 \times \sqrt{2}$ ضرب کنید.

۲- دستگاه تنظیم ولتاژ و تقویت گایگر(شکل ۷)

ولتاژ اعمالی کل از مجموع دو ولتاژ، از طریق تنظیم دو ولتاژ، یکی پیوسته و دیگری گسسته حاصل می‌شود.

۳- شمارنده

همانطور که قبلاً طرز کار آشکارساز گایگر توضیح داده شد، گایگر خروجی پالسی دارد که می‌توان با تقویت و تبدیل به صوت با بلندگو داده گرفت. اما اگر تعداد این پالس‌ها زیاد باشد، نیاز به یک شمارنده داریم. این شمارنده و اجزای آن در شکل۵ از آزمایش رادرفورد قابل مشاهده می باشد.

دیگر وسایل، ورقه زیرکونیم، دو نوع جذب کننده پرتو X که یکی با ضخامت‌های مختلف آلومینیم و دیگری از عناصر مختلف می‌باشد.

شرح آزمایش:

آزمایش ۱: بررسی ناحیه کار گایگر و کالیبره کردن آن

همانطور که در مقدمه توضیح داده شد، گایگر در یک محدوده پتانسیلی مطلوب کار می‌کند و فقط در این ناحیه جریان تقریبا به پتانسیل اعمالی بستگی ندارد (چرا؟). برای این آزمایش دستگاه تولید اشعه x و آشکارساز گایگر را طبق دستورالعمل توضیح داده شده در وسایل آزمایش روشن نمایید. فیلتر زیرکونیوم را جلوی منبع اشعه X قرار داده (شکل۸) و U_A را روی ۳ و I_{em} را روی ۱mA تنظیم نمایید. آشکارساز و شمارنده گایگر را نیز روشن نمایید و ولتاژ آشکارساز گایگر را از کمینه تا بیشینه زیاد کنید و جریان رسیده به آشکارساز را اندازه بگیرید.

- همانگونه که قابل حدس است، نقش زیرکونیوم (Z=40) فیلتر کردن اشعه X است. به طوری که از مشخصه فرکانسی برخوردار است که امواج با طول موج حدود ۰/۷۱ آنگستروم را به خوبی عبور می‌دهد. این موضوع در آزمایش کامپتون کاملتر توضیح داده شده است.
- ولتاژ گایگر حاصل از جمع دو ولتاژ روی دستگاه یکی از ۰ تا ۵۴۰ ولت و دیگری از ۰ تا ۲۰۰ ولت می‌باشد.
- پس از تعیین ولتاژ گایگر، برای بقیه آزمایش‌ها از آن استفاده کنید.

آزمایش ۲: بررسی شدت عبوری به ضخامت مانع:

آشکارساز را در زاویه صفر درجه بگذارید و مانع آلومینیومی با ضخامت‌های متفاوت را روی قسمت هدف ببندید (شکل۹). فیلتر زیرکونیوم را نیز جلوی آشکارساز بگذارید. ولتاژ U_Aرا بر روی ۷ تنظیم نمایید و شدت رسیده به آشکارساز را برای ضخامت‌های مختلف اندازه‌گیری کنید. داده‌ها را در جدول ۱ قرار دهید.

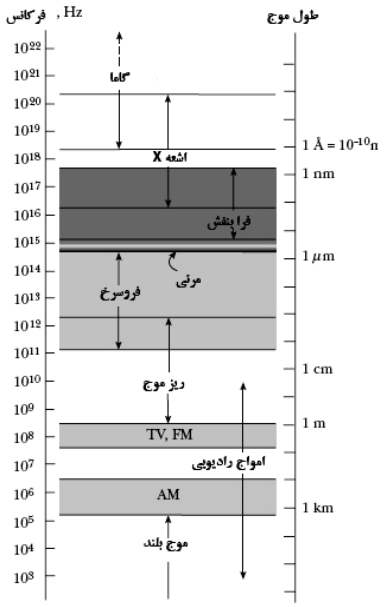
- در هم راستا بودن آشکارساز و مانع آلومینومی با راستای اشعه دقت کنید. چرا که اگر کمی هدف از نقطه مطلوب جابجا شود، باعث عدم دقت در ضخامت ماده و بدست آمدن نتایج غیر دقیق می‌شود.

آزمایش ۳: بررسی شدت عبوری به نوع مانع:

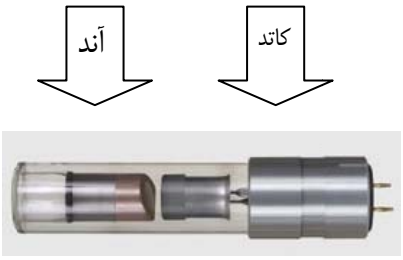
آشکارساز را در زاویه صفر درجه بگذارید و مانع با مواد متفاوت را روی قسمت هدف ببندید و فیلتر زیرکونیوم را نیز جلوی آشکارساز بگذارید. ولتاژ U_Aرا بر روی ۷ تنظیم نمایید و شدت رسیده به آشکارساز را برای مواد مختلف اندازه‌گیری کنید. نتایج را در جدول ۲ قرار دهید.به نکته مورد تذکر در آزمایش قبل توجه نمایید.

☚در آزمایش‌های ۲ و۳ اندازه‌گیری I_0 فراموش نشود. همچنین اندازه‌گیری مقدار واقعی ولتاژ آند فراموش نشود.

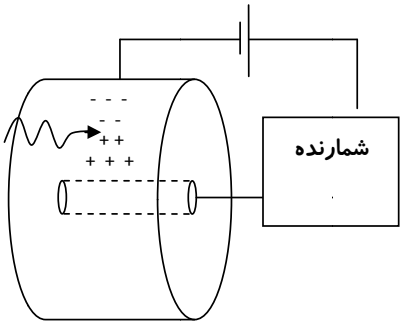
تصاویر:



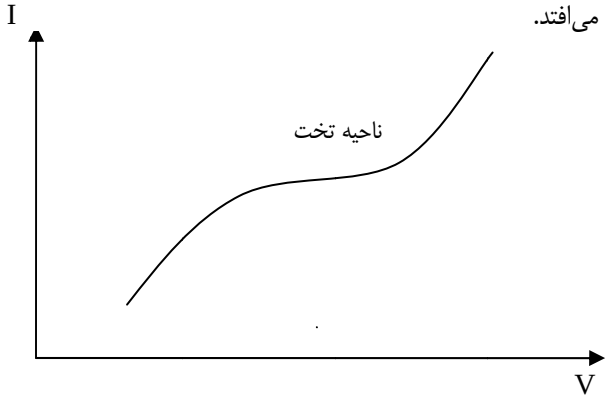
شکل ۱. دسته‌بندی حوزه‌های امواج الکترومغناطیسی



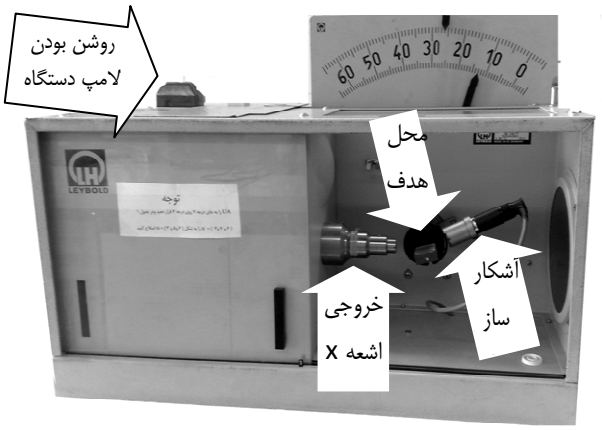
شکل ۲. شکلی از لامپ اشعه X، الکترون‌ها پس از شتاب گرفتن از کاتد، به آند که معمولا از جنس مولیبدن و یا مس است برخورد می‌کنند و اشعه X تولید می شود.



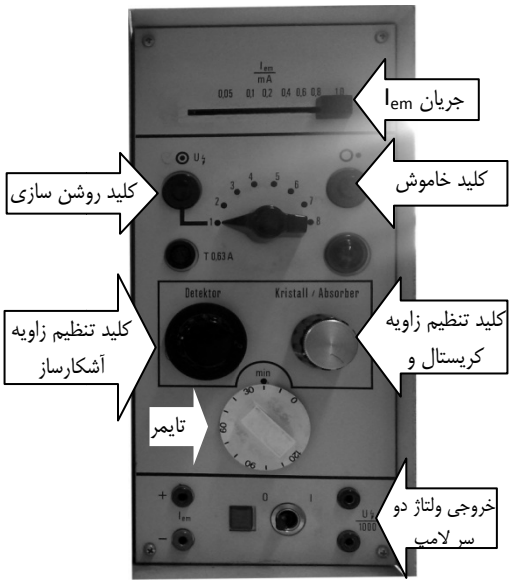
شکل ۳. شماتیکی از نحوه کار شمارنده و آشکارساز گایگر. به محض ورود یک فوتون پر انرژی به محفظه آشکارساز، گاز داخل استوانه یونیزه شده و به دلیل اختلاف پتانسیل خارجی که اعمال شده، یک پالس جریان در مدار اتفاق می‌افتد.



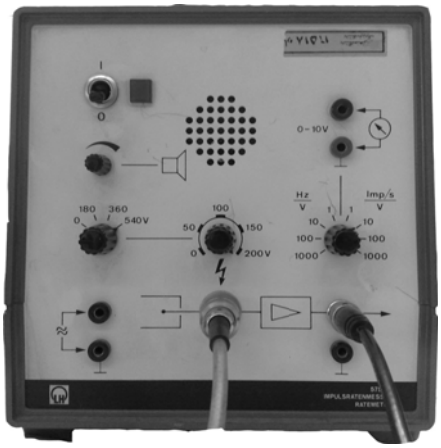
شکل ٤. نمودار جریان عبوری از گایگر بر حسب ولتاژ وناحیه مطلوب کار آن



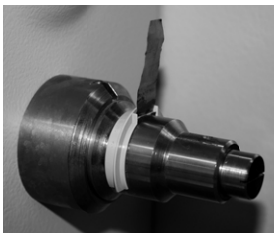
شکل ۵. محفظه تولید اشعه و چشم گایگر



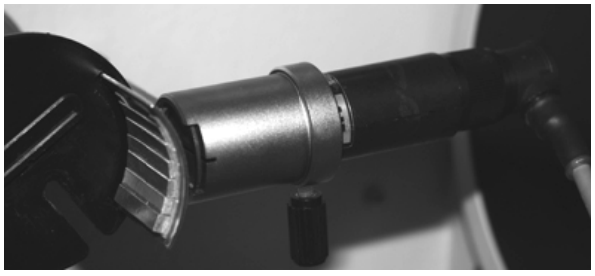
شکل ٦. پنل تنظیمات محفظه
تولید اشعه و چشم گایگر



شکل ۷ .دستگاه تنظیم ولتاژ و تقویت گایگر



شکل۸. ورقه زیرکونیم در مسیر پرتو اشعه X



شکل۹. ضخامت‌های مختلف آلومینیم در مسیر پرتو اشعه X و در مقابل آشکارساز گایگر

جداول و داده‌ها:

جدول۱ شدت دریافتی پس از عبور اشعهx از ضخامت‌های مختلف آلومینیم.

ضخامت(mm) / I	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳
بار اول						
بار دوم						
بار سوم						
شدت میانگین						

جدول۲ شدت دریافتی پس از عبور اشعهx از فلزات مختلف.

عدد اتمی / I	۶	۱۳	۲۶	۲۹	۴۰	۴۷
شدت						

پرسش‌ها:

در زمان انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱. با استفاده از آزمایش اول منحنی شدت رسیده به آشکارساز بر حسب ولتاژ گایگر را رسم کنید. هر ناحیه را تفسیر کرده و ناحیه کار گایگر را مشخص کنید. چرا در آزمایش‌های بعدی از این ناحیه استفاده می‌کنید؟

۲. با افزایش ضخامت ورقه آلومینیمی شدت اشعه X چه تغییری می‌کند؟

۳. آیا شدت دریافتی پس از عبور اشعه X از فلزات مختلف روندی منطقی دارد؟ نتایج را تفسیر کنید.

پاسخ سوالات زیر را در جلسه بعد تحویل دهید.

۱- با استفاده از داده‌های جدول۱ منحنی I/I_0 را بر حسب ضخامت آلومینیم در یک کاغذ نیم‌لگاریتمی رسم کنید. منحنی را تفسیر کنید. (ضریب جذب را برای طول موج $0.71A^\circ$ به‌دست آورید.)

۲- با استفاده از داده‌های جدول۲ منحنی I/I_0 را بر حسب عدد اتمی رسم کنید و منحنی را تفسیر کنید.

۳- عوامل خطا را ذکر کنید. خطای سیستماتیک را وارد نتیجه آزمایش کنید.

۴- نحوه ایجاد و کاربردهای اشعهx را توضیح دهید.

۵- از بررسی جذب اشعهx چه کمیاتی را می‌توان یافت؟ نتایج این آزمایش چه کاربردهایی دارد؟

۶- آیا جذب اشعهx به طول موج بستگی دارد؟ توضیح دهید.

۷- پالس‌های زمینه ناشی از چه منابعی هستند؟

۸- فوتون‌ها از طریق چهار فرایند متفاوت می‌توانند با اتمهای یک ورقه برهم‌کنش داشته باشند: فوتوالکتریک، تولید زوج، تامسون، کامپتون. دو فرایند اول فوتون‌ها را کاملا جذب می‌کنند، در حالی که دو فرانید آخر تنها آنها را پراکنده می‌کنند. البته تمام فرایندها فوتون‌ها را از باریکه‌ی موازی دور می‌سازند. اینکه تحت مجموعه‌ای از شرایط مفروض شانس وقوع کدام فرایند بیشتر است، از اهمیت نظری و عملی قابل توجهی برخوردار است. این شانس یا احتمال وقوع با چهار سطح مقطع بیان می‌شود.

الف) در مورد مفاهیم سطح مقطع پراکندگی، سطح مقطع فتوالکتریک، سطح مقطع تولید زوج و سطح مقطع کل بحث کنید.

ب) منحنی این چهار سطح مقطع را بر حسب انرژی فوتون فرودی رسم کرده و آن را تفسیر کنید.

یادداشت ----------