بررسی پراش اشعه X و اثر کامپتون

هدف آزمایش:

بررسی پراش اشعه X و تعیین ثابت پلانک

رسم منحنی عبور اشعه X از ورق مسی

مشاهده اثر کامپتون و اندازه گیری طول موج کامپتون

مقدمه:

۱- پراش اشعه X وتعیین ثابت پلانک:

یک 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. اگر الکترون ورودی تمام انرژی خود را از دست بدهد، فوتونی با انرژی الکترون اولیه تولید می‌شود. لذا بیشترین انرژی فوتون‌های ایجاد شده از برخورد باریکه‌ای از الکترون‌ها که از اختلاف پتانسیل V عبور کرده باشند، برابر است با:

$$E_{max} = K_e = eV$$

از طرفی با توجه به رابطه انرژی و فرکانس فوتون، خواهیم داشت:

$$E_{max} = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = eV \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{e}\frac{1}{V}$$

که در آن c سرعت نور، h ثابت پلانک، e بار الکترون و V پتانسیلی است که الکترون از آن عبور کرده، می‌باشند. این رابطه نشان می‌دهد که اگر نمودار λ_{min} را بر حسب $\frac{1}{V}$ داشته باشیم، از روی شیب نمودار می‌توانیم h را با داشتن e و c بدست بیاوریم.

اما چگونه می‌توان طول موج اشعه X را اندازه گرفت؟ آشکارساز گایگر که قبلا روش کار آن توضیح داده شد، تنها معیاری از تعداد فوتون‌ها به ما می‌دهد، نه انرژی و یا طول موج! برای اندازه‌گیری طول موج پرتو از یک تکنیک هوشمندانه استفاده می‌کنیم و آن پراش اشعه توسط یک بلور است. رابطه براگ شرایطی را پیش‌بینی می‌کند که پراش اشعه X از یک کریستال ممکن باشد. شکل۱ پرتوی ورودی را نشان می‌دهد که با زاویه θ بر سطح کریستالی با ثابت شبکه d فرود آمده است. همانگونه که نشان داده شده است، شرط تداخل سازنده دو پرتو بازتابیده

از صفحات متوالی این است که اختلاف مسیر دو پرتو ضریب صحیحی از طول موج باشد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود، این اختلاف مسیر مساوی $2d\sin\theta$ است. پس داریم:

$$2d\sin\theta = m\lambda$$

که این رابطه را براگ برای اولین بار بدست آورد و آن را به همین نام امروزه می‌شناسیم. در رابطه براگ به ازای m=1 شدت بیشینه می‌شود (چرا؟). لذا با اندازه‌گیری شدت اشعه X بازتابیده در زاویه θ از بلور شدت اشعه را برای طول موج $\lambda = 2d\sin\theta$ بدست آورده‌ایم.

۲- اثر کامپتون :

در سال ۱۹۲۰ کامپتون پراکندگی نور تکفام اشعه ایکس از مواد مختلف را مورد مطالعه قرار داد. او دریافت که طول موج حاصل از پراکندگی بزرگتر از طول موج اولیه است. امروزه می‌دانیم این تغییر طول موج بر اساس تئوری الکترومغناطیس کلاسیک قابل توجیه نیست. بر اساس مکانیک کوانتومی، فرض می‌کنیم که اشعه ایکس از ذراتی به نام فوتون با انرژی $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ و تکانه $P = \frac{h}{\lambda}$ تشکیل شده است. به طوری که پس از برخورد فوتون با الکترون، انرژی و تکانه آن به $E' = \frac{hc}{\lambda'}$ و $P' = \frac{h}{\lambda'}$ تقلیل می‌یابد (شکل۲).

با استفاده از قوانین بقاء انرژی و تکانه می‌توانیم تغییر طول موج $\Delta\lambda$، و E' انرژی پس از برخورد فوتون را به شکل زیر بیابیم:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - cos\,\theta) \qquad (۱)$$

$$E' = \frac{E}{1+E/m_0c^2(1-\cos\theta)} \qquad (۲)$$

که m جرم الکترون، θ زاویه پراکندگی و E انرژی نسبیتی الکترون می‌باشند. به دلیل کوچک بودن مقدار $\frac{h}{m_0 c}$ اصولاً $\Delta\lambda$ خیلی کم است و می‌بایستی زوایه θ، بزرگ انتخاب شود (شکل۳).

برای پیدا کردن λ. طول موج اولیه و λ' طول موج پراکنده شده کامپتون، از طریق تجربی، احتیاج به یک منبع تولید اشعه x تکفام و مجموعه‌ای که قادر به تشخیص $\Delta\lambda$ کوچک باشد، داریم (خطای اندازه‌گیری هر کدام باید از اختلاف آن‌ها کمتر باشد). اشعه x باید تکفام باشد؛ اما لامپ اشعه x طیف پیوسته‌ای تولید می‌کند. برای تکفام کردن اشعه x می‌توان طیف خروجی دستگاه که حاوی طیف پیوسته و منفصل است (شکل۴) را از ورقه زیرکونیم که لبه جذب نزدیک به پیک اصلی دارد(به صورت فیلتر عمل می‌کند) (شکل۵) عبور داده شود تا اشعه تقریباً تکفام و حاوی بیشینه طیف در طول موج ۰/۷۱ آنگستروم بشود(شکل۶).

پس از برخورد به هدف آلومینیومی، دو نوع پراکندگی کامپتون (غیر الاستیک) و تامسون (الاستیک) رخ می‌دهد. برای تشخیص دادن این دو دسته اشعه، از منحنی بستگی جذب یک ورقه فلزی (مثل ورقه مسی) به طول موج که تغییرات شدیدی دارد، استفاده می‌کنیم. زیرا مجموعه موجود در آزمایشگاه قادر به تشخیص دادن دو قله مربوط به λ و λ' نیست. چنانچه منحنی مقدار درصد عبور ورقه مس نسبت به طول موج را داشته باشیم، با اندازه‌گیری عبور اشعه برای طول موج تکفام شده قبل (یا بعد) از پراکندگی و انتقال آن به منحنی عبور ورقه مسی، می‌توانیم طول موج اولیه (یا طول موج کامپتون) را از طریق تجربی به دست آوریم. توجه به این نکته ضروری است که احتمال پراکندگی کامپتون و پراکندگی تامسون، همزمان در هر زاویه وجود دارد (چرا؟). به همین منظور، خواهید دید که درصد عبور $T'_2 = \frac{3T_2 - T_1}{2}$ را بجای T_2، برای یافتن طول موج کامپتون بر روی منحنی می‌بریم.

☚ در صورتی که این آزمایش را قبل از آزمایش طیف و جذب اشعه x انجام می‌دهید، حتماً بخش مقدمات آن را مطالعه کنید تا با اشعه X آشنا شوید. ضمناً بخش وسایل آزمایش آن نیز مشابه وسایل آزمایش کامپتون می‌باشد.

وسایل آزمایش:

دستگاه اشعه x که جزئیات مربوط به آن در آزمایش آشکارسازی و جذب اشعه x (شکل۵ و ۶ و بخش وسایل آزمایش آن) توضیح داده شده است. فیلتر زیرکونیوم، ورقه جاذب مسی، بلور Li F (d= ۲/۰۱ A)، قطعه آلومینیومی و شمارنده گایگر از دیگر وسایل این آزمایش‌اند.

☚ صفر دستگاه را در ابتدای آزمایش با دقت تنظیم کنید.

شرح آزمایش:

☚ در صورتی که با دستگاه‌ها آشنا نیستید، پس از مطالعه دقیق بخش وسایل آزمایش مربوط به آن دستگاه، از دستیار آزمایشگاه بخواهید که شما را یاری کند.

آزمایش ۱: بررسی طیف و پراش اشعه X

همانگونه که در مقدمه توضیح داده شد با تکنیک پراش اشعه X می‌توان طیف آن و بستگی λ_{min} به V را بدست آورد و از روی آن نیز ثابت پلانک را محاسبه کرد که هدف ما از این قسمت می‌باشد.

مرحله ۱: ابتدا دستگاه اشعه X را خاموش کنید، ولتاژ گایگر را در محدوده تخت قرار دهید و مقدار پالس ورودی N_0 را به ازاء $T = 100\ s$ بدست آورده و در جدول ۱ درج کنید. این مقدار را پالس زمینه[۱] می‌گوییم که از محیط ناشی می‌شود. در تمام مراحل آزمایش لازم است این مقدار را از داده‌های اندازه‌گیری شده کم کنیم (چرا؟).

مرحله ۲: بلور LiF را در محل هدف قرار دهید و دستگاه را روشن کنید. برای ولتاژهای ۳ و ۶ و۷ بلور را در زاویه‌های خواسته شده در جدول ۲ قرار دهید و آشکارساز را در زاویه دو برابر (چرا؟) تنظیم کنید. تعداد پالس رسیده به آشکارساز گایگر را در هر زاویه به ازاء $T = 10\ s$ تعیین کرده و مقادیر را N' بنامید. با کسر زمینه $N = N' - N_0$، مقدار شمارش را در جدول ۲ وارد نمایید. به این روش می‌توان بر اساس رابطه براگ که توضیح داده شد، شدت را برای $\lambda = 2dsin\theta$ های مختلف بدست آورد. از طرفی با استفاده از یک ولتمتر و اتصال آن به خروجی ولتاژ دو سر لامپ که در شکل ۶ آزمایش آشکارسازی و جذب اشعه x نشان داده شده است، می‌توان λ_{min} را بر حسب $\frac{1}{V}$ بدست آورد. البته باید توجه داشته باشید که خروجی، ولتاژ را ۱۰۰۰ برابر کوچک می‌کند و از آنجا که ولتاژ از نوع AC می‌باشد ولتاژ واقعی از رابطه $V_{\text{واقعی}} = \sqrt{2}V_{\text{ولتمتر}} \times 10^3$ بدست می‌آید.

آزمایش ۲- یافتن منحنی عبور اشعه x از ورق مسی

برای ولتاژ ۷ ورقه جاذب مسی را جلو گایگر قرار داده و شمارش پالس (M') را عیناً مانند آزمایش اول تکرار کرده و مقادیر فوق را وارد جدول۳ نمایید.

$$M = M' - N_0$$

آزمایش ۳

قسمت اول: قطعه آلومینیومی و فیلتر زیرکونیم را در مکان مناسب خود قرار دهید. سپس دستگاه اشعه ایکس را روشن کرده، U_A را بر روی درجه ۷ و $I_{em} = 1\ \text{mA}$ قرار دهید.

زاویه هدف با خط افق را بر روی θ=۲۰° و زاویه آشکارساز گایگر را ۱۲۵° قرار دهید (شکل۷).

سپس به ازاء $T = 100\ s$ تعداد پالس رسیده به گایگر را تعیین کنید. (این مقدار را N_1' بنامید)

قسمت دوم: ورقه جذب کننده مسی را قبل از آلومینیوم و بعد از فیلتر زیرکونیوم قرار داده، آنگاه تعداد پالس رسیده به گایگر را به ازاء $T = 100\ s$ تعیین کنید. (آن را N_2' بنامید)

۱- *Background Radiations*

قسمت سوم: ورقه جذب کننده مسی را بعد از آلومینیوم و جلو گایگر قرار داده و تعداد پالس رسیده به گایگر را به مدت $T = 100\ s$ تعیین کنید. (آن را $N_3^{'}$ بنامید)

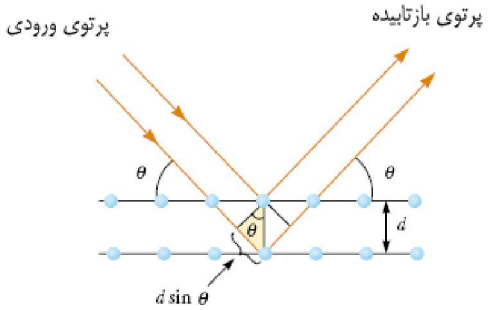
و مقادیر زیر را محاسبه کنید. مقدار زمینه را از شمارش‌ها کم کنید. یعنی:

$$N_i = N_i^{'} - N_0 \quad i = ۱ \text{ و } ۲ \text{ و } ۳$$

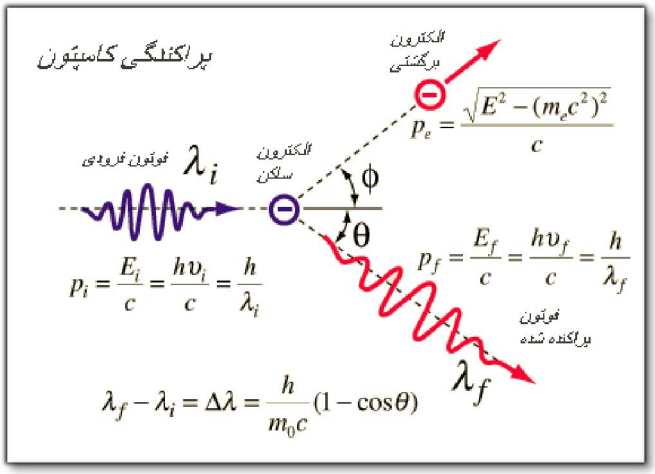
$T_1 = \frac{N_2}{N_1}$	$T_2 = \frac{N_3}{N_1}$	$T_2^{'} = \frac{3T_2 - T_1}{2}$

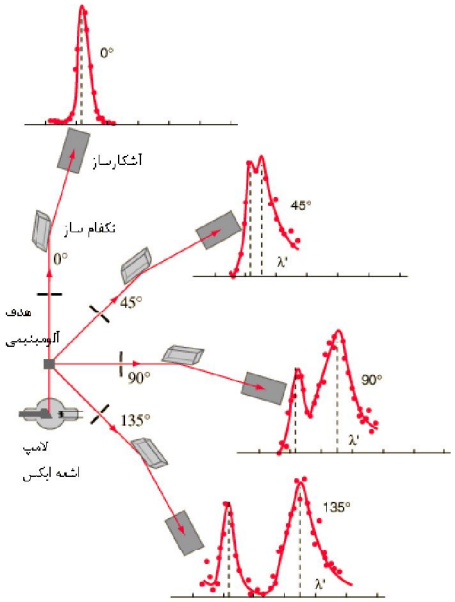
و مقادیر فوق را وارد جدول۴ نمایید. مشاهده می‌شود که T_1 و T_2 مساوی نیستند؛ با وجود اینکه اشعه X پس از تولید در لامپ، در هر دو آزمایش یک عبور از ورقه زیرکونیم، یک فرایند پراکندگی و یک عبور دیگر از ورقه مسی داشته است!

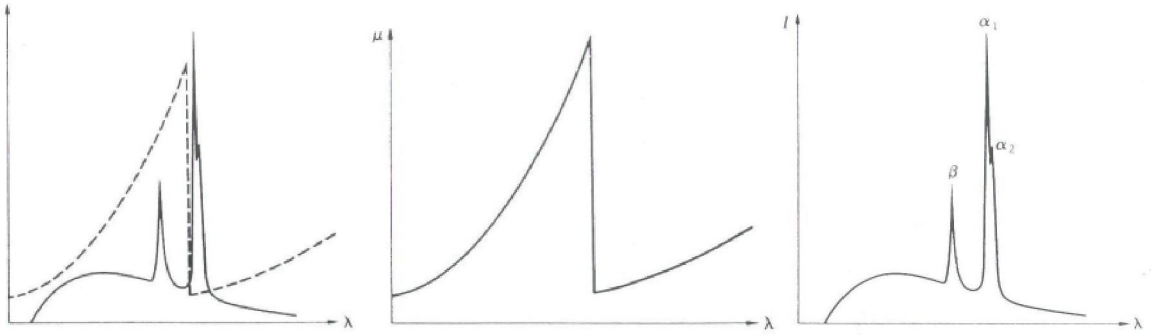
تصاویر:



شکل۱. پرتوی ورودی که با زاویه θ بر سطح کریستالی با ثابت شبکه d فرود آمده است. دو پرتوی مختلف از دو صفحه پشت سر هم از کریستال بازتابیده شده‌اند. شرط تداخل سازنده این دو پرتو این است که اختلاف مسیر دو پرتو ضریب صحیحی از طول موج باشد، پس داریم $2dsin\theta = m\lambda$ که به رابطه براگ معروف است.







شکل٦ شکل٥ شکل٤

شکل ۷. هدف در زاویه ۲۰ درجه آشکارساز در زاویه ۱۲۵ درجه

جداول و داده‌ها:

جدول۱ پالس زمینه

بار اول	بار دوم	بار سوم	متوسط

جدول۲ شدت دریافتی آشکارساز (N) پس از پراش در زاویه‌های مختلف برای سه مقدار ولتاژ مختلف دستگاه.

θ / u	۴	۵	۶	۷	۸	۸/۵	۹	۹/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۲
۳												
۶												
۷												

جدول۳ میزان عبور اشعه X از ورقه مسی در هر طول موج

θ	۴	۵	۶	۷	۸	۸/۵	۹	۹/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۲
N												
M												
$T = \frac{M}{N}$												
λ												

جدول۴ نتایج آزمایش۳

N_1	N_2	N_3	$T_1 = \frac{N_2}{N_1}$	$T_2 = \frac{N_3}{N_1}$	$T'_2 = \frac{3T_2 - T_1}{2}$

مقادیر دستگاه اشعه**X**:

زاویه آشکارساز= زاویه هدف= I_{em}= U_A=

در زمان انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱- در آزمایش اول، وقتی آشکارساز در زاویه ۲۰ درجه می‌باشد، شدت چه طول موجی را ثبت می‌کند؟ شدت آن برای سه مقدار ولتاژ آند چگونه تغییر می‌کند؟ چرا؟

۲- منحنی مقدار نسبی عبور مس را بر حسب λ رسم کنید.

پاسخ سوالات زیر را در جلسه بعد تحویل دهید.

۱- با استفاده از جدول۲ منحنی شدت رسیده به آشکارساز را بر حسب طول موج، برای ولتاژهای مختلف آند رسم کنید. از طریق قطع دادن هر منحنی با محور افقی λ_{min} را برای هر ولتاژ تعیین کنید.

۲- منحنی λ_{min} بر حسب $1/U_A$ را رسم کنید. ثابت پلانک را از روی منحنی با تقریب کمترین مربعات بدست آورید و منحنی را تفسیر کنید.

۳- در منحنی طیف‌ها چند نقطه بیشینه وجود دارد؟ هر کدام معرف چیست؟

۴- عوامل خطا را ذکر کنید و خطای سیستماتیک را وارد نتیجه آزمایش نمایید.

۵- تئوری الکترومغناطیس چه پیش‌بینی در مورد موج پراکنده شده می‌کند؟

۶- روابط ۱و۲ را بدست آورید.

۷- علت استفاده از بلور و ورقه مسی را در آزمایش دوم شرح دهید.

۸- در مورد T'_2 در جدول۲ توضیح دهید. اگر از پراکندگی تامسون صرفه نظر می‌شد ($T'_2 = T_2$)، $\Delta\lambda$ چقدر می‌شود؟

۹- با استفاده از نتیجه آزمایش سوم مقادیر طول موج اولیه عبور کرده از فیلتر زیرکونیم، $\lambda_\circ$، و طول موج پراکنده شده کامپتون، λ_c، را بیابید.

۱۰- $\Delta\lambda$ نظری را به ازای $\theta = 125^\circ$ محاسبه کرده و با مقدار آزمایشگاهی مقایسه کنید و در صد خطای نسبی را بیابید.

۱۱- با استفاده از بلورهای Li F به عنوان توری پراش (d=۲/۱Å) و استفاده از رابطه $\lambda = 2d\sin\theta$، مقدار θ در طول موج ۰/۷۱ آنگستروم و $\Delta\theta$ برای $\Delta\lambda$ محاسبه شده، بدست آورید. آیا می‌توان با دستگاه موجود این $\Delta\theta$ را مشاهده کرد.

۱۲- چرا مشاهده اثر کامپتون با اشعه X امکان پذیر است ولی برای نور مرئی دشوار می‌باشد؟