

اشعه ایکس و تهیه آن

اشعه ایکس در سال 1895 توسط رونتگن Rontgen کشف شد. این دانشمند ضمن آزمایش هایی که درباره فلورسانس انجام می داد، مشاهده نمود که اگر جداره لوله کروکس را با کاغذ سیاهی بپوشاند، تشعشع حاصل به هنگام تخلیه الکتریکی در داخل لوله کروکس، صفحه و فیلم عکاسی موجود در خارج لوله کروکس پوشانده شده با کاغذ سیاه را متأثر می سازد. یعنی در اثر بمباران ماده توسط الکترون، اشعه ای حاصل می شود که از اجسام کدر عبور می نماید. چون در ابتدای امر طبیعت این اشعه مجهول بود آن را اشعه ایکس نامید. امروزه اشعه ایکس را می توان توسط لامپ های یونی و لامپ های الکترونی تهیه نمود.

۱- لامپ های یونی: لامپ های یونی از حباب شیشه ای که دارای دو الکتروود می باشد و فشار هوای داخل آن در حدود 0.5 میلیمتر جیوه می باشد درست شده است. به طوریکه در صورت ایجاد اختلاف پتانسیل نسبتاً زیاد بین دو الکتروود یا دو قطب اشعه کاتودیک حاصل شده و در اثر برخورد این اشعه کاتودیک بر آند، که آن را آنتی کاتد می نامیم، اشعه ایکس تولید می - شود. چون قسمت اعظم انرژی الکترون ها به صورت حرارت در آنتی کاتد ظاهر می شود، لذا برای جلوگیری از ذوب آنتی کاتد آن را از فلزات دیرگداز مانند پلاتین و یا تنگستن می سازند در شکل زیر نمونه ای از یک لامپ یونی را مشاهده می کنید.

۲- لامپ های الکترونی یا لامپ های کولیج Coolidge :

این لامپ در 1912 توسط کولیج ساخته شده است . مکانیسم این لامپ مانند یک لامپ دو قطبی می باشد بدین ترتیب که یک فیلمان یا رشته سیم از جنس تنگستن با استفاده از ولتاژ 6.3 ولت گرم شده و فلز دهنده الکترون را طبق پدیده ترمیونیک گرم می نماید . الکترون های به وجود آمده تحت تأثیر پتانسیل DC بالا که بین همین فلز دهنده الکترون (کاتد) و فلز آند (آنتی کاتد) الکترون ها سرعت نزدیک به ثلث تا نصف سرعت نور به خود اختصاص می دهد ، که ضمن برخورد با آنتی کاتد نیز متوقف شده و در نتیجه تمام انرژی آن به حرارت تبدیل می شود لذا ضمن این که آنتی کاتد از فلزات دیر گداز نظیر مس - آهن - کبالت - کرم - مولیبدن - تنگستن و نقره می سازند و آن را توسط جریان هوا یا آب خنک می نمایند . لامپ های مولد اشعه ایکس که براساس لامپ کولیج شناخته شده بر دو نوع :

الف - تیوپ بسته

ب - تیوپ های جدا شدنی

می باشد که هر دو در خلأ کار می کنند و بازده این نوع لامپ ها از رابطه زیر به دست می آیند :

$$\eta = 1.1 \times 10^{-9} Z V$$

که در آن Z عدد اتمی آنتی کاتد و V اختلاف پتانسیلی است که بین آند و کاتد بسته می شود مثلاً بازده لامپ اشعه ایکس تنگستنی که با 100kv کار می کند برابر 0.8 درصد و لامپ اشعه ایکس مسی که با 30kv کار می کند برابر 0.2 درصد می باشد .

در زیر، شکل و اجزای تشکیل دهنده تیوپ های بسته مولد اشعه ایکس را ملاحظه می کنید که متشکل از یک محفظه شیشه ای با فشار داخلی 10^5 میلیمتر جیوه، یک کاتد و یک آند می باشد. نیمی از یک محفظه شیشه ای در یک غلاف فلزی قرار دارد که جنس آن از آلیاژ کووار (COVAR) (مس، فولاد، گرم و مولیبدن) است البته جنس شیشه طوری است که مانع عبور اشعه ایکس می باشد. در این لامپ فیلمان یا رشته سیم تولیدکننده گرما و الکترون با استفاده از پدیده ترمیونیک از جنس تنگستن انتخاب شده و به عنوان کاتد استفاده می شود، شیشه جوش خورده و انتهایش به طرف ولتاژ کم AC هدایت می شود. اطراف رشته سیم تولید کننده گرما را محفظه فلزی احاطه کرده که تولید کننده و متمرکز کننده الکترون های خروجی در اثر پدیده ترمیونیک بر روی سطح آنتی کاتد است اگر پتانسیل لازم بین کاتد و آنتی کاتد برقرار باشد. بنا بر این سطحی که محل برخورد الکترون ها با آنتی کاتد است کوچک می باشد. این سطح را «سطح کانونی» نامند. با تغییر شدت جریان گذرنده از رشته سیم تعداد الکترون های آزاد شده و همچنین شدت اشعه ایکس را تغییر داد. البته چون الکترون هایی که به آنتی کاتد برخورد می کنند توسط آنتی کاتد متوقف می شوند و در واقع انرژی جنبشی خود را از دست داده و تبدیل به حرارت می شود برای جلوگیری از ذوب شدن آنتی کاتد آن را با جریان هوا یا آب خنک می کنند. اشعه ایکس تولید شده از دریچه هایی که روی بدنه لامپ تعبیه شده است، خارج می شود، ایجاد این دریچه ها از نظر مکانی و از نظر جنس یکی از کارهای اساسی سازندگان مولد اشعه ایکس است.

از آن جایی که شیشه های معمولی مانع عبور اشعه ایکس بخصوص اشعه ایکس حاصل از آنتی کاتد مس و گرم هستند ، به جای شیشه معمولی ، ابتدا از شیشه « لن دومان » – که از عناصر سبک نظیر لیتیوم و بُر ساخته می شود - استفاده می کردند . ولی به خاطر جذب اشعه ایکس از آنتی گرم و جذب رطوبت زود از بین می رفت ، در لامپ های جدید از ورقه های نازک فلز برلیوم که بسیار محکم و در عین حال جاذب اشعه ایکس نیست ، استفاده می کنند که غالباً همراه با ورقه نازکی از میکا به کار برده می شود .

شکل و ابعاد سطح کانونی لامپ اشعه ایکس

مولدهای اشعه ایکس بر اساس قدرت تشعشی که دارند ، دسته بندی می شوند ، این قدرت تشعشی بر حسب جنس آنتی کاتد و ساختمان سطح کانونی آن بستگی دارد ، طبق تعریف و قرار داد ، سطح کانونی مساحتی از آنتی کاتد است که در معرض برخورد الکترون ها قرار می گیرد ، بنابراین می توان گفت که قدرت تشعشی یک مولد اشعه ایکس به قدرت تحمل سطح کانونی آن بستگی دارد . معمولاً مساحت سطح کانونی از مساحت مورد نیاز بیشتر است . با وجود آن ارزش لامپ های مولد اشعه ایکس به دو عامل اساسی بستگی دارد :

۱- سطح کانونی

در شکل زیر (الف) سطح کانونی حقیقی و سطوح کانونی ظاهری را در دو امتداد عمود برهم مشاهده می کنید که سطح کانون حقیقی لامپ مولد اشعه ایکس تجارتي مربع مستطیل به ابعاد 10×1 میلیمتر و سطح کانونی ظاهری

خطی آن به شکل مربع مستطیل به ابعاد 10×0.1 میلیمتر و سطح کانونی ظاهری نقطه آن به شکل مربع به ابعاد 1×1 میلیمتر می باشد.

۲- نحوه پخش بار الکترونی در روی سطح کانونی

این پخش باید تا حدّ ممکن یکنواخت باشد. که نحوه توزیع بار الکترونی در روی سطح کانونی در لامپ های بسته از مشخصات اصلی لامپ است. و تنها عاملی که تا حدودی در اختیار است زاویه شعاع های خروجی با سطح آنتی کاتد است.

پرتوهایی که به وسیله آنتی کاتد فرستاده می شوند، در تمام جهات، دارای شدت مساوی هستند. اگر α زاویه میانگین پرتوهای خروجی از دریچه S با سطح آنتی کاتد باشد (شکل

ب صفحه قبل)، طبق تعریف سطح مفید سطح کانونی برابر $S / \sin \alpha$ خواهد بود.

با توجه به این که مولد اشعه ایکس مانند یک منبع نورانی نیست و تغییر زاویه منبع نسبت به سطح ورودی دریافت کننده، سبب تغییر انرژی دسته اشعه ایکس نمی شود. یعنی

درخشندگی منبع مقدار ثابت بوده و به امتداد تابش بستگی ندارد « قانون لامبر »، لذا زاویه α را چه برای ازدیاد انرژی و چه برای ازدیاد سطح ظاهری کانون « $S / \sin \alpha$ » باید کوچک

کرد ولی چون ناهمواری سطح آنتی کاتد حتی در سطح میکروسکوپی باعث جذب شعاع های مماسی می شود، تقلیل α دارای حدی است.

زاویه α در بهترین تیوپ های بسته 1.5 درجه است، واضح است که در چنین مولد هایی سطح آنتی کاتد باید کاملاً صیقلی شده باشد.

معمولاً α در لامپ های تجارتي بين 4 تا 6 درجه تغيير مي کند. در اين نوع لامپ ها به جاي دو دريچه ، دو جفت دريچه درست مي کنند ، به طوريکه محور هر جفت دريچه بر محور جفت دريچه ديگر عمود باشد . البته مولدهايي نيز مي توان يافت که سطوح کانوني آن ها دوايري به قطريک ميليمتراست . بهترين مولد اشعه ايکس آن هايي هستند که توزيع و نحوه پخش الکترون روی آنتي کاتد آن ها يکنواخت باشد براي اين کار به هنگام تنظيم دستگاه يکي از دو آزمايش زير را انجام مي دهند :

صفحه سوراخ داري که حائل پرتو ايکس است و ابعاد سوراخ آن به مراتب از ابعاد سطح کانوني کوچکتر است (0.02 ميليمتر) در مسير دسته اشعه ايکس قرار مي دهند تا تصوير دايره اي شکل روی قطعه فيلم مستقر در پشت صفحه سوراخ دار که به نسبت P / S بزرگ شده است ، به دست آيد البته مي توان به جاي سوراخ دايره اي شکل يک شکاف مربع مستطيل قرار داد و تصوير سطح کانوني را در دو امتداد تهيه نمود و نحوه توزيع شدت تشعشع پرتو ايکس را در دو امتداد طولی و عرضی بررسی و اصلاح هاي لازم را جهت توزيع يکنواخت روی آنتي کاتد انجام داد . در مولدهاي تجارتي ، کمتر مي توان يک چنين مولدهاي اصلاح شده را به دست آورد . لازم به تذکر است که سطح کانوني ، به مرور کارکرد مولد شکل خود را از دست مي دهد ، و بدین ترتيب ازارزش مولد کاسته مي شود .

تهيه تصوير از سطح کانوني توسط سوراخ دايره اي شکل و شکاف مستطيل شکل

نمونه اي از تصاوير سطح کانوني يک تيوپ بسته

الف - سطح کانوني با وضعيت بد

ب- سطح کانوني مطلوب به ابعاد 1×0.6 ميليمتر

ج - سطح کانونی مطلوب ریز به ابعاد 0.5×0.05 میلیمتر

مکانیسم تولید اشعه ایکس

در پدیده فتوالکتریک در اثر تابش نور به سطح یک فلز، فوتون نور تمام انرژی الکترومغناطیسی خود را به الکترون فلز منتقل می سازد. قسمتی از این انرژی برای مقابله با پیوند اتصالی الکترون به هسته صرف می شود و قسمتی دیگر به صورت انرژی جنبشی در الکترون ظاهر می شود. عکس این پدیده در تولید اشعه ایکس اتفاق می افتد. در لامپ اشعه ایکس الکترون های آزاد شده در فیلمان و اطراف در اثر پتانسیل موجود بین آند و کاتد با سرعت نزدیک به سرعت نور به طرف آنتی کاتد کشیده شده و به آن برخورد نموده و در آن نفوذ کرده تا این که انرژی خود را از دست بدهد.

برای الکترونی که در داخل آنتی کاتد نفوذ کرده دو اتفاق می افتد:

۱- به علت عبور از کنار هسته اتم که بار مثبت دارد، از مسیر خود منحرف می شود (طبق شکل زیر) با وجود این که الکترون دارای سرعت ثابت است ولی در اثر این انحراف شتابی به خود می گیرد. طبق نظریه الکترومغناطیسی هر ذره باردار که دارای شتاب باشد تشعشع الکترومغناطیسی از خود ساطع می کند که به صورت فوتون ظاهر می شود. فرکانس این فوتون ν خواهد بود به طوریکه اگر انرژی جنبشی الکترون قبل از عبور از کنار هسته اتم K_1 و بعد از عبور K_2 باشد طبق اصل بقای انرژی می توان نوشت:

$$K_1 - K_2 = h\nu$$

که در آن h ثابت پلانک برابر 6.6262×10^{-34} j.s می باشد. از آن جایی که الکترون ها
حین نفوذ از فواصل متفاوت هسته عبور می کنند و به یک اندازه نقصان انرژی پیدا نمی نمایند
لذا اشعه ای که تولید شده یکرنگ نخواهد بود بلکه تشکیل طیف متصلی را می دهد.

اگر بار الکترون e و اختلاف پتانسیل بین آند

و کاتد V باشد، ماکزیمم انرژی که الکترون

می تواند آزاد سازد هنگامی است که در اثر

برخورد برهسته اتم توسط هسته اتم متوقف

شود در این حال انرژی آزاد شده مساوی eV

خواهد بود، بنا بر این :

$$eV = hc / \lambda \quad \text{یا} \quad eV = hv$$

خواهد بود واضح است که فرکانس چنین اشعه ای ماکزیمم و طول موج آن مینیمم می باشد

یعنی :

$$\lambda_{\min} = hc / eV \quad \text{و} \quad v_{\max} = eV / h$$

لذا اشعه ای که تولید شده از طرف طول موج های کوتاه محدود به λ_{\min} و از

طرف طول موج های بلند محدودیتی نخواهد داشت.

۲- زمانی که آنتی کاتد به وسیله الکترون های سریع بمباران می شود تعدادی از این الکترون

ها به علت سرعت زیادی که دارند داخل ساختمان اتمی شده و برخورد با الکترون های لایه

های K, L, M, \dots نموده و با خارج راندن الکترونی از این لایه ها به خارج لایه مذکور اتم

یونیزه شده و واضح است که به محض خارج شدن یک الکترون از لایه داخلی الکترون دیگری

از لایه های بالاتر فوراً سقوط کرده و حفره موجود را پر می نماید . چون هرچه الکترون در لایه های دورتر از هسته باشد ، دارای انرژی بیشتری است ، لذا سقوط یک الکترون از قشر بالاتر به قشر پایین تر مقدار انرژی آزاد می سازد و این انرژی نیز به صورت فوتون ایکس ولی یکرنگ ظاهر می شود. از این نظر در طیف اشعه ایکس علاوه بر یک طیف متصل که به طول موج λ_{min} محدود است چند تشعشع یکرنگ نیز که از خطوط مشخصه عنصر یا عناصر تشکیل دهنده آنتی کاتد خواهد بود ، دیده می شود . در شکل زیر طیف های پیوسته فلز مولیبدن را بر حسب ولتاژهای مختلف اعمال شده بین آند و کاتد و همچنین خطوط مشخصه آن را که مربوط به لایه K می باشد

ملاحظه می کنید .

اگر پتانسیل بین آند و کاتد را تغییر دهیم حد

طول موج λ_{min} تغییر می نماید ولی طول

موج خطوط مشخصه آنتی کاتد ثابت می -

ماند در صورتی که اگر آنتی کاتد عوض شود

با ولتاژ ثابت حد λ_{min} ثابت مانده و خطوط

مشخصه جدیدی ظاهر می شود که وابسته

به جنس آنتی کاتد است . اگر اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد مولد اشعه ایکس مساوی V باشد

، مقدار حداقل طول موج یعنی λ_{min} حاصل برابر خواهد بود با :

$$\lambda_{min} = hc / eV = (6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (1.6 \times 10^{-19} \times V) =$$

$$(12.4 \times 10^{-7}) / V \text{ (m)}$$

$$\lambda_{\min} = 12400 / V \text{ (Å)}$$

از رابطه فوق معلوم می شود که برای تهیه اشعه ایکس با طول موج کوتاه (یعنی اشعه ایکس سخت) لازم است که اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد زیاد باشد. در لامپ های یونی به علت وجود گاز نمی توان این اختلاف پتانسیل را زیاد بالابرد، زیرا در این حال تخلیه الکتریکی به صورت جرقه ظاهر می شود. از این نظر است که این مولدها فقط برای تهیه اشعه ایکس با طول موج بلند (اشعه ایکس نرم) بکار می رود. در طب و صنعت که نیاز به داشتن اشعه ایکس سخت است، از لامپ کولیج استفاده می شود.

طول موج خطوط مشخصه: در شکل زیر نمایشی از طول موج خطوط اصلی یک سری از عناصر بر حسب افزایش عدد اتمی را مشاهده می کنید. به روشنی از آن دو عمل اساسی نتیجه می شود: طیف های خیلی ساده، در برگیرنده غیر از یک عدد کوچک از خطوط با طیف های تمامی عناصر متشابه هستند. آن ها ساخته شده اند توسط گروه های خطوط به نام سری M, L, K, \dots هر سری شامل یک دسته از خطوط است که به صورت زاویه متقابل در طیف های همه عناصر جایگزین یکدیگر می شوند. شدت نسبی خطوط در تقریب اول برای عناصر مختلف یکسان است. فرکانس یک خط تعریف شده با عدد اتمی تغییر می کند بنا بر این قانون ساده موزلی:

$$\nu^{1/2} = C (Z - \sigma)$$

که در آن Z عدد اتمی و C و σ مقادیر ثابت هستند ($\sigma \sim 1$). در شکل زیر خطوط مشخصه واقع در ناحیه طول موج های به کار رفته در رادیو کریستالوگرافی را ملاحظه می کنید.

سری K خیلی مهم است : که شامل سه خط با شدت قابل ذکر است . دوتا با شدت زیاد یک خط دوگانه خیلی نزد هم $K\alpha_1$, $K\alpha_2$ را تشکیل می دهد ، به طوریکه دو مؤلفه دارای شدت قابل مقایسه هستند ($K\alpha_1$ ، دو مرتبه شدتش زیادتر از $K\alpha_2$ است و طول موج کوتاهتر دارد). اختلاف طول موج $\Delta\lambda$ تا اندازه ای برای تمامی عناصر ثابت است ، این که موجب می شود که مقدار نسبی $\Delta\lambda/\lambda$ افزایش پیدا می کند با عدداتی عناصر ($1.7/1000$ برای Cr و $23/1000$ برای W) . ولی در حالت خوب که در آن جا خط دوگانه حاکم نیست برای $K\alpha$ می پذیریم طول موج زیر را :

$$(2\lambda_{K\alpha_1} + \lambda_{K\alpha_1}) / 3$$

سومین خط قوی سری $K\beta$ نامیده می شود : دارای یک طول موج خیلی کوتاه تقریباً 10% ، و شدتی در حدود $1/7$ شدت $K\alpha$ می باشد . جدول زیر طول موج های سری K عناصر را می دهد که ، برای خواص فیزیکی آن ها ، آنتی کاتد خوب هستند و بنا براین خط K در ناحیه بکارگیری رادیو کریستالوگرافی است .

سری خطوط L شامل یک تعداد زیاد از خطوط است و این تنها برای عناصر سنگین است .



آنتی کاتد		طول موج (Å)		Vk
نام	عدد اتمی	Kα1 - Kα2	Kβ1	
Chromium	24	2.294-2.290	2.085	5950
Fer	26	1.940-1.936	1.757	7100
	27	1.793-1.783	1.621	7700
Cobalt	27	1.662-1.658	1.500	8300
	28	1.544-1.540	1.392	9000
Nickel	29	0.7135-0.7093	0.6323	20000
	42	0.6176-0.6132	0.5456	23400
Molybdenum	42	0.5898-0.5854	0.5205	24500
	45	0.5638-0.5594	0.4970	25600
Rhodium	46	0.2138-0.2090	0.1844	69500
Palladium	47			
Ag	74			
Tungsten				

پایین تر از کلسیم ، که در ناحیه طول موج عموماً قابل استفاده هستند . ماهیت و تشخیص اشعه ایکس

محققانی که بعد از رونتگن با اشعه ایکس کار می کردند مشاهده کردند که

بعضی از خواص اشعه ایکس مانند اشعه های نورانی و بعضی دیگر کاملاً از آن مجزا می باشد

، یعنی اشعه ایکس همانند اشعه های نورانی شیشه حساس عکاسی را متأثر می سازد و به خط

مستقیم نیز منتشر می شود ، از این رو معتقد شدند که ذات این اشعه باید مشابه اشعه

های نورانی باشد . تجربه دیگری که مؤید نظریه آنان بود ، منحرف شدن این اشعه در یک

میدان الکتریکی یا مغناطیسی است . پدیده تفرق بعثت کوچک بودن طول موج اشعه ایکس

غیر قابل ملاحظه است . یعنی زاویه تفرق نوار مرکزی ($\sin \alpha = \lambda / D$) قابل سنجش

نیست ، اشعه ایکس تقریباً منعکس نشده و انعکاس آن در شرایط مخصوص امکان پذیر است .

اشعه ایکس بر حسب شدت تشعشع و زمان تأثیر آن باعث ضعف و فاسد شدن سلولهای حیاتی

می شود . شدت اشعه ایکس به دو عامل یعنی طول موج تشعشع و تعداد الکترون هایی که در

زهان معینی از الکتروود (کاتد) خارج می شود بستگی دارد. عامل اول با اختلاف پتانسیل V بین

آند و کاتد و عامل دوم با مشخصات فیلمان (تولید کننده الکترون) تغییر می کند .

با پیشرفت علم ، کلیه خواصی که برای اشعه های نورانی پیدا شد ، برای اشعه ایکس نیز قطعیت

پیدا کرد ، مثلاً با توجه به نظریه الکترومانیتیک ماکسول برای اشعه نورانی ، اشعه ایکس نیز از

نوع اشعه الکترومانیتیک عرضی می باشد . یعنی انتشار امواج اشعه ایکس یا هر موج نوری ،

نتیجه انتشار یک میدان مغناطیسی (H) و یک میدان الکتریکی (E) عمود بر هم می باشد

. این دو بردار عمود بر هم سطحی را درست می کنند که عمود بر امتداد انتشار امواج است و به

نام سطح موج خوانده می شود، وقتی E در دستگاه $u \cdot e \cdot s$ و H در دستگاه $u \cdot e$ بیان شوند، با هم برابرند ولی بر همدیگر عمود می باشند. به خاطر شبیه بودن H و E از هر جهت مگر در راستا و سوی آن ها که برهم عمود هستند می توان فقط در مورد بردار E بحث نمود. اگر E به صورت یک تابع متناوب باشد:

$$E = a \sin(\omega t - \phi)$$

$$E = a e^{I(\omega t - \phi)}$$

و یا:

در این صورت شدت اشعه یا انرژی حمل شده توسط موج با مجذور دامنه متناسب است یعنی:

$$I = E \cdot E^* \quad \text{و یا} \quad I \sim a^2$$

که در آن E^* مزدوج E می باشد یعنی:

$$E = a \cos(\omega t - \phi) + ia \sin(\omega t - \phi)$$

$$E^* = a \cos(\omega t - \phi) - ia \sin(\omega t - \phi)$$

خواهد بود.

این نظریه در مورد تمام طول موج های نوری که در جدول زیر آمده صادق است. همان طوریکه در جدول مذکور ملاحظه می کنید طول موج اشعه ایکس به مراتب از طول موج مرئی کمتر است. حد فاصل بین اشعه ایکس و اشعه گاما و اشعه ماوراء بنفش را نمی توان به طور دقیق مشخص نمود. برای مثال با ایجاد 2×10^6 ولت بین آند و کاتد اشعه ایکس به طول موج 0.006 \AA و یا توسط بتاترون صد میلیون ولتی طول موجی در حدود 0.00012 \AA تولید نمود و یا برعکس اشعه ایکسی می توان تهیه کرد که طول موج آن ها از مرز طول موج های ماوراء بنفش بیشتر باشد ولی در بلورشناسی از اشعه های ایکسی استفاده می کنیم که طول

موج آن ها بین 0.5 تا 2.5 آنگسترم باشد و در رادیوگرافی از اشعه ایکس هایی با طول موج 0.5 تا 1 آنگسترم استفاده می شود .

باید توجه داشت که اشعه ایکس نیز مانند اشعه نورانی ، از خاصیت دوگانگی ذره بودن و موجی بودن برخوردار می باشد .

نوع اشعه	طول موج (A°)	منبع تولید	وسیله تشخیص
اشعه γ	0.001 تا 1.4 0.06 تا 0.5 که در رادیولوژی بکار می رود	فعل و انفعالات و تجزیه های هسته ای	نظیر وسایل تشخیص اشعه ایکس
اشعه ایکس	0.006 تا 1.19 با بتاترون می توان اشعه ایکس 0.0001 هم تهیه کرد	تصادم الکترونهاى سریع با اجسام و توقف ان ها توسط جسم	۱- فوتوگرافی ، ۲- فسفرسانس ۳- واکنش شیمیایی ۴- یونیزاسیون ۵- کنش فوتوالکتریک ۶- پراش توسط بلورها
اشعه ماوراء بنفش	136 تا 3900	اجسامی که در دماهای بالا تشعشع می کنند ، و تشعشع های حاصل از یونیزاسیون گازی	۱- فوتوگرافی و کنش فوتوالکتریک ۲- توری های ریز
اشعه مرئی	3900 تا 7700	تشعشع اجسام گرم و تشعشع حاصل از یونیزاسیون گازها	چشم ، منشور ، توری و غیره
اشعه مادون قرمز	7700 تا 4×10^6	تشعشع های حرارتی	ترموکوپل ، صفحات عکاسی مخصوص
تشعشعهای خورشیدی	2960 تا 53000		
امواج هرتز	10^6 تا 3×10^{14}	نوسانات حاصل از لامپهای سه قطبی تخلیه قوس الکتریکی (در مدار LC)	کوهروور
امواج کوتاه هرتز	10^6 تا 10^{11}		کوهروور ، انعکاس انکسار ، پراش
امواج رادیویی	10^{14} تا 3×10^{14} 2×10^{12} تا 5.5×10^{12}		تبدیل آن به جریان متناوب و بالاخره صوت
امواج الکتریکی	3×10^{14} تا 3.5×10^{16}	چرخش یک بوب در میدان الکتریکی	اثر حرارتی جریان متناوب روش مکانیکی یا الکتریکی

برای تشخیص اشعه ایکس همان طوریکه در جدول صفحه قبل مشخص شده چند راه وجود دارد که ما در اینجا به شرح چند تایی از آنها می پردازیم :

۱- با رؤیت - اشعه ایکس به علت کوتاهی طول موج خود نمی تواند شبکیه چشم را متأثر نماید . برای تشخیص آن از خاصیت فلورسانس اجسام استفاده می کنیم ، بدین معنی که اشعه ایکس را بر صفحه ای که قشری از یک ماده فلورسان یا فسفر بر روی آن کشیده شده است می تابانیم ، در نتیجه وجود اشعه ایکس به رنگ سبز مغز پسته ای دیده می شود ماده فلورسانس پلاتینوسیانورباریم است .

۲- با عکاسی - اشعه ایکس صفحات حساس عکاسی را متأثر می کند . برای تشدید تأثیر اشعه ایکس بر املاح نقره روی صفحات حساس را قشری از یک ماده فلورسانس می پوشانند .

۳- با یونیزه کردن گازها - اشعه ایکس گازها را یونیزه می کند . به طوری که هرگاه یک دسته اشعه ایکس را بین دو

صفحه خازن که در داخل گازی غوطه ور

است بتابانیم گاز یونیزه شده و با قراردادن

اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن جریانی

از مدار عبور می کند ، شکل روبرو .

با این دستگاه که اطاق یونیزاسیون نامیده می شود ، می توان شدت تشعشع را نیز اندازه گرفت زیرا اگر مشخصات گاز ثابت و اختلاف پتانسیل موجود بین دو سلاح معلوم باشد با اندازه گیری شدت جریان می توان شدت اشعه ایکس را به دست آورد . اگر اطاق یونیزاسیون برای اندازه گیری اشعه ایکس یا اشعه گاما به کار رود آنرا R-Meter (Rate-Meter) نامند

شدت اشعه ایکس را ممکن است با تاباندن اشعه ایکس بر ورقه ضخیمی از فلز و اندازه گیری ازدیاد درجه حرارت آن نیز تعیین نمود. شدت اشعه ایکس را با واحدی بنام واحد رونگتن یا واحد R اندازه می گیرند. طبق قراردادکنگره سال 1937 یک واحد رونگتن تشعشع اشعه ایکس یا اشعه گاما شدتی است که اشعه مذکور بتواند یک سانتیمتر مکعب هوا را در شرایط متعارفی یونیزه کند و تولید $1/3 \times 10^{-19}$ واحد الکترواستاتیک الکتریسیته مثبت یا منفی تهیه کند. محاسبات نشان می دهد که انرژی جذب شده به وسیله یک گرم از جسمی در اثر تابش یک رونگتن اشعه ایکس معادل (92) ارگ است. این مقدار انرژی جذب شده را با نماد (Rontgok equivalent Physical) نشان می دهند. بطور کلی می توان از 17

خاصیت مهم اشعه ایکس به شرح زیر نام برد :

- ۱- اشعه ایکس غیر مرئی است .
- ۲- اشعه ایکس به خط مستقیم منتشر می شود .
- ۳- میدان الکتریکی و مغناطیسی اشعه ایکس را منحرف نمی کند و این امر نشان می دهد که اشعه ایکس حامل الکتریسیته نیست .
- ۴ - تمام خواص مربوط به اشعه نورانی ، از جمله : انعکاس، پراش ، پلاریزاسیون ، ... را دارد .
- ۵ - سرعت آن ، برابر 3×10^8 m/sec می باشد .
- ۶ - ارتعاشات الکترومغناطیسی عرضی دارد .
- ۷ - طول موج اشعه ایکس گام وسیعی دارد .
- ۸ - اشعه ایکس به وسیله اجسام جذب می شود .

۹- با فرستادن اشعه کاتدی بر روی فلزات (بخصوص فلزات سنگین)، می توان اشعه ایکس را تهیه کرد . همچنین به وسیله متلاشی کردن هسته های اتمی توسط سیلیکون ها و بمب های اتمی نیز اشعه ایکس ایجاد می شود .

۱۰- بر روی صفحات حساس عکاسی اثر می گذارد. در بعضی اجسام می تواند خاصیت فسفرسانس یا فلورسانس ایجاد کند و در ضمن برخورد با بعضی از سنگها و مواد می تواند آن ها را رنگی کند . گازها را می تواند یونیزه کند و خواص الکتریکی مایعات و جامدات را تغییر دهد .
۱۱- اشعه ایکس می تواند فوتو الکترون آزاد کند ، همچنین می تواند با انرژی زیاد پوزیترون و مزون به وجود آورد .

۱۲- خاصیت فتوشیمی دارد .

۱۳- بر روی سلول های حیاتی اثر نموده و حتی باعث نابودی آن ها می شود .

۱۴- طول موج طیف پیوسته آن ، بستگی به اختلاف پتانسیلی دارد که روی مولد اشعه ایکس بسته می شود. طیف خطوط منفصل آن به وسیله اجسام مختلف ، متفاوت است . یعنی طول موج این خطوط منفصل تابع اجزای تشکیل دهنده آنتی کاتد می باشد.

۱۵- یک طیف جذبی دارد که از مشخصات شیمیایی اجسام است .

۱۶- ایجاد پدیده پراش اشعه ایکس توسط شبکه های بلوری

۱۷- ایجاد پدیده پراش اشعه ایکس توسط شبکه یا توری معمولی

از این ۱۷ خاصیت مهم اشعه ایکس بیشتر خاصیت شانزدهم است که در بلور- شناسی از آن استفاده می شود. قبل شرح به یک پدیده دیگر فیزیک به نام پدیده کمپتون که بیان آن فقط با اشعه ایکس امکان پذیر است ، می پردازیم .

پدیده کمپتون – Compton effect

یکی از پدیده هایی که صحت نظریه های فیزیک را تأیید می نماید پدیده کمپتون است که در سال 1923 توسط کمپتون کشف شده است. این دانشمند در آزمایش هایی که درباره پخش اشعه ایکس بعمل آورد مشاهده نمود که در کنار اشعه ایکس پخش شده که طول موج آن برابر اشعه ایکس تابش است اشعه دیگری با طول موج بلندتر ظاهر می شود. این پدیده را پدیده کمپتون نامیده اند. تعبیر علمی این پدیده به توسط خود کمپتون و دبای با توجه به تئوری نسبیت بیان شده است. حقیقت مسئله این است که در نتیجه اثر متقابل فوتون با الکترون جسمی، قسمتی از انرژی فوتون به الکترون منتقل شده و در نتیجه انرژی فوتون نقصان پذیرفته و طول موج آن زیاد می شود. دستگاهی که برای این آزمایش بکار می رود به شرح زیر است:

به وسیله مولد اشعه ایکس یک دسته اشعه ایکس به طول موج λ به موازات سطح بلور (C) می تابانیم. در این حال نقطه روشنی مانند P0 روی صفحه فلورسان ظاهر می شود. بلور (C) را آنقدر می چرخانیم تا طیف ردیف اول ($k=1$) λ در نقطه ای مانند P1 دیده شود اگر زاویه چرخش بلور θ باشد طبق قانون براگ خواهیم داشت $2d \sin \theta = \lambda$ که در آن d

فاصله صفحات رتیکولری بلور است با

سنجش θ و دانستن مقدار d طول

موج λ بدست می آید. شکل بالا

تشعشع λ معمولاً یکی از خطوط

مشخصه فلزی مانند مولیبدن است.

حال در مسیر اشعه ایکس جسم پخش کننده (مانند کریستال) در نقطه S قرار می - دهیم. تغییری در طیف ظاهر نمی شود. مولد اشعه ایکس را آنقدر دوران می - دهیم تا امتداد اشعه تابش با امتداد اولیه آن زاویه ای مانند ϕ درست کند. دستگاه را با چرخاندن بلور (C) دوباره تنظیم می نمائیم تا مجدداً روی صفحه فلورسانس طیف ردیف اول ظاهر شود. مشاهده می شود که به ازای $\phi = 0$ تنها یک خط به طول موج λ یعنی طول موج اشعه ایکس تابش دیده می شود. ولی به ازای مقادیر دیگر ϕ در مجاورت خط اصلی با طول موج λ خط دیگری به طول موج $\lambda > \lambda$ ظاهر می شود، به طوریکه $\Delta\lambda = \lambda - \lambda$ تنها وابستگی به زاویه پخش ϕ دارد و هیچگونه ارتباطی به طول موج تابش λ و جنس پخش کننده S ندارد. شکل زیر نمایش λ و λ را بر حسب مقادیر مختلف ϕ نشان می دهد.

ظهور این پدیده با توجه به اصول فیزیک کوانتیک به شرح زیر بیان می شود. هنگامیکه فوتونی با فرکانس ν و با انرژی $h\nu$ به ماده ای مانند S می تابد، انرژی آن به دو قسمت تقسیم می شود، قسمتی باعث جدا کردن الکترون و حرکت آن در امتداد SA و قسمت دیگر به شکل فوتونی به فرکانس ν و $h\nu$ در

امتداد SB ظاهر می شود شکل روبرو:

اگر E_0 و E انرژی الکترون، و eV انرژی لازم برای جدا کردن قبل از حرکت و بعد از حرکت باشد. الکترون از سطح جسم فرض شود (انرژی پیوندی یا تابع کار) طبق قانون بقای انرژی می توان نوشت:

$$h\nu + E_0 = h\nu + eV + E$$

چون فوتون های اشعه ایکس به علت زیاد بودن ν انرژی زیادی دارند می - توان در مقابل $h\nu$ از eV صرف نظر نموده و الکترون جسم را مانند الکترون آزاد (که قبل از برخورد فوتون ساکن باشد) فرض نموده و رابطه فوق را به شکل ساده زیر نوشت :

$$h\nu + E_0 = h\nu' + E$$

اگر برخورد فوتون با الکترون برخورد الاستیک فرض شود ، قانون بقای اندازه حرکت را نیز می

توان بکار برد. چون جرم فوتون مساوی $M = h\nu/c^2$ و مقدار حرکت آن $P = Mc$

الکترون در حال سکون E_0 $h\nu/c^2 = h\nu'/c^2 = h/\lambda = h/\lambda'$ است و انرژی

$= m_0 c^2$ و پس از برخورد و شروع به حرکت $E = m c^2$ است با توجه به اینکه طبق

فرمول نسبیت انیشتاین $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$ می باشد ، قوانین بقای انرژی و بقای

اندازه حرکت به صورت رابطه زیر در می آید :

$$h\nu = h\nu' + (E - E_0)$$

$$hc/\lambda = (hc/\lambda') + (E - E_0) \quad (1) \quad \text{و یا}$$

و تصاویر اندازه حرکت روی محورهای x و y ها عبارتند از :

$$h/\lambda = (h/\lambda') \cos \phi + P \cos \theta \quad (2) \quad \text{تصاویر روی محور } x \text{ ها}$$

$$0 = (h/\lambda') \sin \phi - P \sin \theta \quad (3) \quad \text{تصاویر روی محور } y \text{ ها}$$

که در آن $P = mV$ اندازه حرکت الکترون خواهد بود. اگر روابط (2) و (3) را مجذور کرده و

با هم جمع کنیم خواهیم داشت :

$$(h^2 \cos^2 \phi / \lambda^2) + (h^2 / \lambda^2) - 2(h^2 \cos \phi / \lambda \lambda) = P^2 \cos^2 \theta$$

$$h^2 \sin^2 \phi / \lambda^2 = P^2 \sin^2 \theta \quad (4)$$

$$P^2 = (h^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2 - 2\lambda \lambda \cos \phi)$$

$$E = (hC / \lambda \lambda) (\lambda - \lambda) + E_0$$

رابطه (1) نشان می دهد که :

$$E^2 = (h^2 C^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2) - 2(h^2 C^2 / \lambda \lambda) + 2(hC / \lambda \lambda) E_0 (\lambda - \lambda) + E_0^2$$

و یا :

$$E^2 - E_0^2 = (h^2 C^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2) - 2(h^2 C^2 / \lambda \lambda) + 2(hC / \lambda \lambda) E_0 (\lambda - \lambda) \quad (5)$$

چون $m = m_0 / (1 - V^2 / C^2)^{1/2}$ یعنی $m^2 C^2 - m^2 V^2 = m_0^2 C^2$ می باشد با ضرب کردن

$$E = mC^2 \quad \text{و} \quad E_0 = m_0 C^2$$

طرفین این معادله در C^2 و با توجه به اینکه $E_0 = m_0 C^2$ و $E = mC^2$

است ، نتیجه می گیریم که :

$$m^2 C^4 - m_0^2 C^4 = m^2 V^2 C^2 = P^2 C^2$$

$$E^2 - E_0^2 = P^2 C^2$$

و یا :

بنا بر این رابطه (5) به صورت زیر در می آید :

$$P^2 C^2 = (h^2 C^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2) - 2(h^2 C^2 / \lambda \lambda) + 2(hC / \lambda \lambda) E_0 (\lambda - \lambda)$$

(6)

حال اگر رابطه $(h^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2)$ از رابطه (4) استخراج و طرفین در C^2

ضرب کنیم خواهیم داشت :

$$(h^2 C^2 / \lambda^2 \lambda^2) (\lambda^2 + \lambda^2) = P^2 C^2 + 2(hC / \lambda \lambda) E_0 (\lambda - \lambda)$$

با جایگزینی این مقدار در رابطه (6) خواهیم داشت:

$$0 = 2(h^2 C^2 / \lambda \lambda) \cos \phi - 2(h^2 C^2 / \lambda \lambda) + 2(hC / \lambda \lambda) E_0 (\lambda - \lambda)$$

$$hC(1 - \cos \phi) = m_0 C^2 (\lambda - \lambda) = m_0 C^2 \Delta \lambda$$

و از آنجا:

$$(\lambda - \lambda) = \Delta \lambda = (2h / m_0 C) \sin^2(\phi / 2)$$

از این رابطه معلوم می شود که اختلاف طول موج تابش و اشعه پخش شده یعنی

$\Delta \lambda = \lambda - \lambda$ فقط تابع زاویه پخش ϕ می باشد. این اختلاف به ازای $\phi = 90^\circ$ مساوی است با:

$$\Delta \lambda_{\phi=90} = (2h / m_0 C) \times 1/2 = 0.02426 \text{ \AA}$$

چنانکه ملاحظه می شود اگر آزمایش در ناحیه نور مرئی مثلاً به طول موج $\lambda = 4000 \text{ \AA}$ انجام

می گرفت، با تغییرات طول موج در اثر پدیده کمپتون در حدود 0.006% خواهد بود

و تغییرات به هیچ وجه قابل تفکیک نمی باشد. در صورتیکه در ناحیه اشعه ایکس که طول

موجش 1 \AA می باشد، تغییرات $\Delta \lambda$ در حدود 2% خواهد بود که می توان آن را به راحتی

تشخیص داد. از این نظر است که پدیده کمپتون فقط با اشعه ایکس سخت و اشعه گاما قابل

رؤیت می باشد.

پدیده کمپتون وسیله ساده ای برای سنجش انرژی فوتون است. اگر انرژی جنبشی الکترون

پرتاب شده K باشد چنانکه گفته شد:

$$K = E - E_0 = h\nu - h\nu$$

$$K = h\nu \cdot (\Delta \lambda / \lambda + \Delta \lambda)$$

و یا:

بود و چون $\Delta\lambda$ فقط ارتباط به زاویه پخش ϕ دارد، انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده هنگامی ماگزیمم است که برخورد فوتون با الکترون برخورد متقابل مستقیم باشد (درست روبرو) یعنی در اثر برخورد الکترون در امتداد تابش فوتون تابیده ، و فوتون پخش شده در خلاف جهت فوتون تابش به حرکت درآیند . در این حال $\phi = 180$ درجه بوده و $\Delta\lambda = 2$ h / m_0c خواهد بود . بنابراین با توجه به رابطه

$$K = hv.(\Delta\lambda / \lambda + \Delta\lambda)$$

خواهیم داشت :

$$K_{max} = hv (2hv / m_0c^2) / (1+(2hv / m_0c^2))$$

یعنی اگر انرژی hv فوتون معلوم باشد ، می توان انرژی جنبشی الکترون پرتاب شده را به دست آورد و برعکس .

چنانکه قبلاً متذکر شده ایم در آزمایش کمپتون به ازای هر زاویه پخش (به غیر از $\phi=0$) دو تشعشع به طول موج λ و λ' دیده می شود. درابتدا چنین به نظر می رسد که به ازای هر مقدار ϕ باید یک اشعه به طول موج λ که مربوط به زاویه ϕ است ظاهر می گردد .

علت ظاهر شدن تشعشعی با طول موج اشعه تابش در هر امتداد این است که فوتون های تابش در الکترون های داخلی جسم نیز تأثیر می نمایند . چون این الکترون ها با هسته اتم پیوند قوی دارند ، لذا فوتون قادر به کندن الکترون نشده و در اثر برخورد فوتون سیستم اتم به حرکت در می آید ، لذا اشعه ای به طول موج $\lambda_1 = (2h/M_0c)\sin^2(\phi/2) + \lambda$ ظاهری می شود. که در آن M_0 جرم اتم است ، که چندین هزار برابر جرم الکترون می باشد . بنا براین ، این

اختلاف طول موج حاصل از طول موج اشعه پخش شده بسیار اندک خواهد بود و تشعشی به طول موج λ_1 که به ازای زوایای مختلف ϕ دیده می شود ، درحقیقت طول موج مربوط به حرکت اتم است که اختلاف آن با λ غیر قابل تشخیص است .

با توجه به پدیده کمپتون خاصیت ذره ای بودن نور معلوم و روشن می شود . یعنی ذرات فوتون نه تنها دارای انرژی معین $h\nu$ هستند بلکه اندازه حرکت آن ها نیز ثابت و مساوی h/λ می باشد . خلاصه انرژی یک دسته امواج الکترومغناطیس با طول موج ثابت λ مضرب صحیح از $h\nu$ است و اندازه حرکت آن نیز مضرب صحیحی از h/λ خواهد بود یعنی انرژی و اندازه حرکت امواج الکترومغناطیس هر دو کوانتیفیه (منقطع و پله ای) هستند.

پراش اشعه ایکس توسط شبکه های بلوری : قانون براگ

بدون شک مهمترین زمان تاریخی برای توسعه بلور شناسی 8 ژوئن 1912 می باشد زیرا در آن زمان مقاله ای تحت عنوان «پدیده های تداخل اشعه - های رونتگن» در آکادمی باواری (Bavaraise) مونیخ توسط لاه و همکارانش ارائه دادند که :

دراولین قسمت آن ، لاه (Laue) نظریه اصلی پراش اشعه ایکس را توسط یک شبکه بلوری اتم ها بیان نمود ، و در دومین قسمت مقاله ، فریدریش وکنیپینک اولین مشاهدات تجربی خود را در مورد پراش اشعه ایکس توسط بلورها را گزارش دادند . با این کار نه تنها طبیعت موجی بودن اشعه ایکس به خاطر توانایی تداخل ها گشوده شد ، بلکه به طور یقین ثابت گردید که بلورها از یک شبکه دوره ای اتمها تشکیل گردیده اند . و این سرآغاز توسعه علم بلور شناسی گردید . به طوریکه یک سال بعد براگ رابطه مشهود خود را در مورد بازتاب اشعه

ایکس توسط بلورهای ارائه داده توانست ساختار بلوری نمک های قلیایی را به دست آورد . در این راستا ، همان طوریکه در بخش اول گفته شده ، هر بلور از ذرات مشابهی که ممکن است اتم ، مولکول ، یون و یا موتیف باشد تشکیل شده است . این ذرات در فضای سه بعدی بطور بسیار منظم قرار گرفته اند که از حیث وضع می توان آن ها را به اشکال متعدد در روی سطوحی که صفحات رتیکولری نامیده ایم دسته بندی شوند . هنگامیکه یک دسته اشعه ایکس بر روی بلوری می تابد ، اشعه ایکس داخل بلور نفوذ کرده و در مسیر خود به ذرات متشکله بلور برخورد می نماید . در اثر برخورد هر ذره قسمتی از اشعه ایکس را منعکس می کند . و قسمت دیگر اشعه ایکس مسیر خود را ادامه می دهد تا توسط ذرات صفحه رتیکولری زیرین منعکس شود . شعاع های منعکسه در صورتی که اختلاف راه نوری آنها مضرب صحیح از λ طول موج اشعه ایکس باشد همدیگر را تقویت نموده پراش اشعه ایکس ظاهر می شود . برای

بیان مطلب دو صفحه رتیکولری (hkl) , P_1 , P_2 را با فاصله

d_{hkl} در نظری گیرییم (شکل مقابل) مقطع

این صفحات رتیکولری را با صفحه کاغذ

مشاهده می کنید. دو شعاع از اشعه ایکس

بر اتم های مستقر در نقاط A , B از

صفحات P_1 , P_2 برخورد نمود و منعکس می شود . شعاع های منعکسه زمانی همدیگر را

تقویت خواهند نمود که اختلاف راه نوری مضرب صحیحی از λ باشد :

$$\delta = HB + BH = n\lambda$$

اختلاف راه نوری

و چون $HB = BH = d_{hkl} \cdot \sin\theta_{hkl}$ می باشد بنابراین :

$$2dhkl \cdot \sin\theta_{hkl} = n\lambda$$

که همان رابطه براگ می باشد . باید متذکر شد که $n=1$ می باشد چرا که شدت اشعه ایکس منعکسه از صفحات رتیکولری زیرین بسیار ناچیز است . باید در نظر داشت که امتداد شعاع منعکسه اشعه ایکس ارتباط به وضوح قرار گرفتن ذرات بلور دارد ، یعنی مربوط به وضوح سطوح رتیکولری دارد و اگر سطوح رتیکولری مختلف را در نظر بگیریم برای هر سری از سطوح رتیکولری یک زاویه انعکاس و معین وجود خواهد داشت .

اندازه گیری طول موج اشعه ایکس

از رابطه براگ $2dhkl \sin\theta_{hkl} = \lambda$ معلوم می شود که برای سنجش طول موج اشعه ایکس لازم است که d_{hkl} یعنی فاصله صفحات رتیکولری $(h k l)$ را داشته باشیم . مطالعه انعکاس اشعه ایکس در سطوح رتیکولری نمک طعام نشان داده است که مراکز منعکس کننده عوض مولکولهای نمک طعام Na^+ و Cl^- هستند . اگر N عدد آووگادرو و M جرم مولکولی نمک طعام باشد هر مولکول گرم از آن $2N$ یون یعنی $2N$ مراکز منعکس کننده خواهد داشت. این مراکز یک در میان در رئوس مکعبهایی قرار دارد (ساختار نمک طعام) و حجم هر مکعب d^3 خواهد بود ، و چون هر مکعب دارای هشت رأس بوده و هر رأس در هشت مکعب مشترک است ، لذا در هر مولکول گرم نمک طعام $2N$ مکعب وجود دارد ، و در نتیجه حجم یک مولکول گرم برابر $2Nd^3$ خواهد بود . از طرف دیگر اگر ρ جرم مخصوص نمک طعام باشد ، حجم هر مولکول آن M/ρ خواهد بود یعنی : $M/\rho = 2Nd^3$ و از آنجا :

$$d = (M/2N\rho)^{1/3}$$

با توجه به اینکه $N=6.06 \times 10^{23}$ ، $M=58.455 \text{ gr}$ ، $\rho=2.1632 \text{ gr/cm}$

(در c 20) می باشد بنابراین :

$$d=58.455/(2 \times 6.06 \times 10^{23} \times 2.1632)=2.8144 \text{ \AA}=2814.4 \times U$$

می باشد. اگر زاویه انعکاس اشعه ایکس به طول موج λ در بلور نمک طعام در ردیف اول برابر

θ باشد طول موج اشعه ایکس برابر است با:

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

اثر اشعه ایکس بر روی اجسام (جذب)

اول - جذب اشعه ایکس

مطالعه پدیده جذب ، به علت کاربرد فراوان آن اهمیت وافری دارد . جذب اشعه ایکس به

وسیله اجسامی که چگالی نقاط مختلف آن بکثافت نیست متفاوت است . این پدیده ، پایه و

اساس استفاده گوناگون اشعه ایکس در پزشکی و صنعت می باشد .

تعریف ضریب جذب - وقتی که یک دسته اشعه ایکس از جسمی عبور می - کند ، شدت آن

درحین خروج کم می شود بدین معنی که تعداد فوتونهای خروجی از اشعه های ورودی کمتر

است. فوتونهای کم شده به یکی از دو صورت زیر تبدیل می شوند :

الف - فوتون ها جذب اتم گشته ، در نتیجه اتم ها یونیزه می شوند ، و این پدیده را اثر

فوتوالکتریک می نامند . در پدیده فوتوالکتریک ، اتم های یونیزه شده خود منبع تشعشع های

جدیدی خواهند شد که یکی الکترون و دیگری یک نوع تشعشع است به نام فلورسانس اشعه

ایکس . طول موج این اشعه تازه به هیچ وجه ارتباطی با طول موج شعاع تابش ندارد ، بلکه به مشخصات اتم های تحریک شده بستگی دارد.

ب - فوتونها به همان صورت اولیه خود باقی می مانند ولی تغییر مسیر داده از جسم خارج می شوند ، و اگر هنگام خروج انرژی آن ها ثابت مانده باشد ، به صورت شعاع های پراشیده در می آیند بی آنکه در طول موج آن ها تغییری حاصل شود. ولی اگر انرژی آن ها اندکی کم شود ، طول موج این اشعه خروجی تغییر می کند یعنی در واقع پدیده کمپتون به وقوع پیوسته است . جذب دسته اشعه ایکس ، تابعی است نهایی یعنی اگر شدت اشعه تابش را برابر I_0 (توجه داریم که در اینجا طبق تعریف ، شدت ، مقدار انرژی است که از واحد سطح عمود بر شعاع متوسط عبور می کند) و شدت اشعه خروجی را I و ضخامت جسم را dx فرض کنیم ، خواهیم داشت :

$$dI = I_0 - I = -\mu_0 I_0 dx$$

که در آن μ_0 ضریب جذب خطی جسم بوده و دارای بعد cm^{-1} می باشد . با انتگرالگیری از رابطه بالا خواهیم داشت :

$$I = I_0 e^{-\mu_0 x}$$

ولی اغلب به جای ضریب جذب خطی ، از ضریب جذب جرمی استفاده می - کنیم یعنی :

$$\mu = \mu_0 / \rho$$

$$I = I_0 e^{-\mu \rho x}$$

ولذا خواهیم داشت :

یعنی اگر جسمی داشته باشیم که جرم آن در هر سانتی متر مربع $1/\mu_0$ باشد شدت اشعه عبوری به اندازه $1/e = 0.35$ اشعه تابش خواهد بود .

ضریب جذب جرمی μ تابع ساده ای از عدد اتمی جسم جاذب است ، در صورتیکه برای ضریب جذب خطی نمی توان تابع ساده ای پیشنهاد کرد . گاهی به جای ضریب جذب جرمی ، از ضریب جذب اتمی که حاصلضرب μ_0 / ρ در جرم مطلق (N عدد آووگادرو/A جرم عدد اتمی) استفاده می کنند .

ضریب جذب جرمی $\mu = \mu_0 / \rho$ حاصل جمع دو کمیت τ/ρ و σ/ρ است ، که اولی ضریب جذب جرمی مربوط به فلورسانس و دومی مربوط به پراش است .

اغلب σ/ρ بسیار کوچک است و می توان در مقابل τ/ρ از آن صرفنظر کرد . در مورد اجسام سبک ، σ/ρ تقریباً مقداری است ثابت و در حدود 0.17 می باشد و با تغییر طول موج اشعه تابش تغییر آنچنانی نمی کند . برای اجسام سنگین ، σ/ρ به کمک تجربه به دست می آید و بررسی تغییرات آن با طول موج پیچیده است .

σ/ρ را ضریب جذب حقیقی نیز می نامند و چون جذب اشعه ایکس به وسیله اجسام ، یک پدیده اتمی است ، برای یک مخلوط یا آلیاژ ، ضریب جذب از حاصل جمع ضرایب اجزاء تشکیل دهنده جسم به دست می آید و به نحوه اتصال یا پیوند بین اجزاء تشکیل دهنده بستگی ندارد . زیرا انرژی زیاد اشعه ایکس باعث نفوذ آن داخل اتمها می شود . ضریب جذب جرمی اجسام را از روی تابلوی ضمیمه ۱۷ کتاب گینه می توان به دست آورد . برای محاسبه ضریب جذب جرمی اجسام دو حالت ممکن است پیش آید :

۱- فرمول شیمیایی ترکیب $Ay_1 By_2$ را می شناسیم ، در این صورت فرمول بکار رفته به شکل زیر می باشد :

$$\mu = (y_1 a \mu_1 + y_2 b \mu_2) / (y_1 a + y_2 b)$$

که در آن a, b جرم اتمی A, B می باشد.

۲- در حالی که ترکیب درصد اجسام شرکت کننده معلوم باشد، یعنی اگر x_1, x_2, \dots

عناصر تشکیل چنان باشد که

$$x_1 \% + x_2 \% + \dots = 100$$

گردد، در این صورت خواهیم داشت:

$$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2 + \dots) / 100$$

تغییرات ضریب جذب با طول موج

ضریب جذب هر جسم، تابعی از طول موج اشعه تابش و عدد اتمی آن است. ابتدا تغییرات

طول موج را برای یک جسم مشخص در نظر می گیریم. وقتی منحنی تغییرات طول موج λ را

با ضریب جذب رسم می کنیم مثل شکل زیر مشاهده می شود که این تغییرات پیوسته نیست

و در روی منحنی انفصال دیده می شود.

هرگاه λ طول موج اشعه تابش از مقدار مشخص کمتر باشد، ضریب جذب، ناگهان زیاد می شود، این مقدار مشخص را حد جذب λ_k و λ_L و ... غیره می خوانند، این انفصال ها را می توان ناشی از پدیده فوتوالکتریک دانست. یعنی برخورد فوتون ایکس با اتم، همانند الکترون و اتم است و این بحث به هنگام تشکیل طیف خطوط پیش آمده است. وقتی فوتون توسط اتمی جذب می شود، اتم یونیزه می شود و الکترونی از یکی از مدارات آن آزاد می گردد. برای این که این الکترون کنده شود باید انرژی فوتون بیشتر از انرژی اتصال الکترون باشد، مثلاً برای یونیزه کردن مدار K بایستی v فرکانس اشعه تابش از v_k (فرکانس الکترون مدار K) بیشتر باشد. حال اگر یک دسته اشعه ایکس به انرژی $h\nu$ ($\nu > \nu_k$) به اتمی برخورد نماید،

الکترون مدار K کنده شده و سرعتی برابر V پیدا می کند و در نتیجه خواهیم داشت

$$h\nu = h\nu_k + (1/2)mV^2$$

که در آن $W_k = h\nu_k$ تابع کار نامیده می شود. ولی اگر جسم را در معرض تابش اشعه ای قرار دهیم که انرژی $h\nu$ آن فقط برای جابجا کردن یک الکترون از مدار K به دیگر کافی باشد، $(1/2)mV^2$ برابر صفر خواهد بود.

رابطه فوق در این صورت نشان می دهد که، عمل جذب یکباره به ماکزیمم خود رسیده است و مادامی که طول موج اشعه تابش از λ_k کوچکتر باشد، این مقدار، ماکزیمم خواهد ماند. ولی به مجرد زیاد شدن λ مقدار $h\nu$ که مساوی W_k شده بود از آن کمتر می شود. لذا فوتون تابشی، انرژی کافی برای کندن الکترون نخواهد داشت و پدیده فوتوالکتریک به یکباره به طرف نابودی میل خواهد کرد. این بیان کلاسیک، اساس پدیده فوتوالکتریک و انفصال ها در پدیده

جذب است . با زیاد کردن λ می توان تراز LI را نیز یونیزه کرد و برای این تراز نیز خواهیم داشت :

$$h\nu = WLI + (1/2)mV^2$$

وانفصال در صورتی ایجاد می شود که نا مساوی $h\nu < WLI$ برقرار باشد. اگر بخواهیم پدیده فتوالکتریک را خلاصه و در نتیجه انفصال ها را بیان کنیم ، باید بگوئیم تا وقتی جذب رو به ازدیاد می رود مگر اینکه انرژی اشعه تابش برای یونیزه کردن مدارهای K , L , ... کافی باشد :

$$h\nu_k = W_k = RhC(Z-\sigma)^2$$

و از آنجا

$$(\nu_k)^{1/2} = (Z-\sigma)(RC)^{1/2}$$

با توجه به رابطه بالا ملاحظه می شود که بیان انفصال ها راه دیگری برای اثبات قانون موزلی است . از طرف دیگر λ_k می توان از رابطه زیر به دست آورد

$$h\nu_k = W_k = hc/\lambda_k \quad \lambda_k = hc/W_k = hc/eV_k = 12394/V_k \text{ (ولت)}$$

بعلاوه اگر از σ/ρ صرف نظر شود ، می توان رابطه بین تغییرات ضریب جذب (فتوالکتریک) با طول موج را به شکل زیر نوشت :

$$(\tau/\rho).(A/N_0) = CZ^4\lambda^3$$

بلاخره آخرین معادله ای که برای ضریب جذب جرمی هر جسم داده شده و با نتیجه آزمایش ها در حدود 1% اختلاف دارد، که در سال 1949 پیشنهاد شده است:

$$\mu/\rho = C\lambda^3 - D\lambda^4 + \sigma CN_0 Z/A$$

که در آن C ، D اعداد ثابتی هستند که به وسیله ویکتورین محاسبه شده است.

تغییرات ضریب جذب با طبیعت اجسام

حال اگر طول موج اشعه ای را ثابت نگه داریم و اجسام مختلفی را در معرض تابش آن قرار

دهیم، برای یک اشعه تکفام وقتی عدد اتمی (Z) بزرگ می شود μ نیز زیاد می گردد،

یعنی در اجسام آلی و عناصر نظیر Al که عدد اتمی آنها نسبتاً کوچک است، جذب اشعه

کمتر صورت می گیرد در شکل زیر

زیر منحنی تغییرات μ بر حسب Z را مشاهده می کنید (طول موج اشعه تابش 1.542

\AA می باشد). برای عناصری که عدد اتمی آن ها مساوی یا کمتر از 27 (کبالت) باشد،

طول موج اشعه تابش (1.54\AA) از طول موج انفصال آن ها کمتر، ولی از $k\lambda$ عنصر

بعدی نظیر نیکل بیشتر است. بنابراین، بین کبالت و نیکل یک جهش ناگهانی از ضریب جذب

خواهیم داشت. به همین ترتیب، اتصال دیگری بین عناصر با عدد اتمی 66 و 67 وجود دارد

. بلاخره باید گفت ضریب جذب بین دو انفصال L و K با توان سوم Z تغییر می کند.

موارد استعمال پدیده جذب در رادیو کریستالوگرافی

مطالب بالا باید به هنگام انتخاب آنتی کاتد ، برای مطالعه یک بلور مورد توجه قرار گیرد ، یعنی اگر طول موج اشعه ای که (مربوط به جنس آنتی کاتد است) به جسم می تابد کمی کوچکتر از λ_{kFe} (طول موج انفصال K) جسم باشد ، مقدار زیادی از اشعه جذب جسم خواهد شد و در نتیجه فلورسانس اشعه ایکس بسیار زیاد خواهد بود و در روی فیلم یک سیاهی پیوسته خواهیم داشت .

مثلاً اگر بخواهیم بلوری را که مقدار آهن یا کبالت آن زیاد است ، مطالعه کنیم، در صورتیکه آنتی کاتد ما مس باشد با توجه به این که $\lambda_{kCu} = 1.540 \text{ \AA}$

و $\lambda_{kFe} = 1.724 \text{ \AA}$ می باشد ، فتون های تابش توسط بلورهای آهن یا کبالت موجود در جسم جذب شده و تولید یک فلورسانس قوی خواهد نمود و زمینه فیلم را سیاه کرده و لذا این پدیده مانع به دست آوردن نتیجه دقیق و لازم خواهد بود ، البته این پدیده همانطوریکه قبلاً اشاره شد از بزرگتر بودن λ_{kCu} و λ_{kFe} (طول موج های دو عنصری که در جسم یا بلور مورد مطالعه وجود دارد) از آنتی کاتد مس می باشد. در صورتیکه اگر بجای آنتی کاتد آهن که λ_{kCu} آن برابر 1.940 \AA می باشد ، استفاده کنیم ، هیچگونه مزاحمتی از نظر تشعشع

فلورسانس بوجود نخواهد آمد. لذا تأکید می کنیم که در مطالعه ساختار بلوری اجسام توسط پراش اشعه ایکس این امر اساسی است ، وحتماً و بایستی مورد توجه قرار گیرد تا بتوان شکل های واضح و روشن از پراش اشعه ایکس توسط بلورها را تهیه کرد . شاید علت رونق مجدد لامپ های جدا شونده در غالب آزمایشگاه ها توجه به مطالب اساسی فوق است . زیرا در این نوع لامپ ها به آسانی می توان آنتی کاتد را با توجه به نوع نمونه تعویض کرد و طول موج دلخواه را

انتخاب نمود. در صورتیکه اگر لامپ های اشعه ایکس از نوع بسته باشد، ناگزیر باید مجموعه لامپ را عوض کرد و این کار به خاطر گرانی و تهیه آن برای نوع نمونه ای مقدور نیست و از طرفی، نگهداری لامپ های جدا شونده هم آسان نیست. بنابراین در غالب آزمایشگاه ها فقط لامپ اشعه ایکس بسته استفاده می کنند منتها برای حذف زمینه سیاه و پیوسته حاصل از پدیده فلورسانس، ورقه ای نازک از یک فلز سبک، مانند Al بین نمونه و فیلم قرار می دهند تا اشعه ایکس های نرمتر به وسیله آن جذب شود و از شدت اشعه های فلورسانس کاسته شود.

جذب به وسیله هوا

مسئله دیگری که باید در این مورد عنوان شود، جذب اشعه ایکس به وسیله هوا می باشد. این امر موجب پیدایش، که به نوع و جنس آنتی کاتد بستگی دارد، خواهد شد در ضمن باید افزود که ممکن است بین منبع اشعه ایکس و بلور، و همچنین بین بلورو دستگاه ثبات، غیراز هوا اجسام دیگری از قبیل کاغذ محافظ فیلم، پنجره های مربوط به لامپ اشعه ایکس وجود داشته باشد که اشعه ایکس را جذب می کنند که از یک طرف شدت اشعه ایکس را کم می - کنند و از طرف دیگر ایجاد تشعشع فلورسانس اشعه ایکس می دهند که زمینه را سیاه می کند. برای رفع این عیب معمولاً تمام دستگاه ثبات، نمونه و فیلم را در زیر سرپوش تخلیه شده از هوا یا یک گاز سبک قرار می دهند.

در جدول زیر ضریب عبور بعضی از عناصر را مشاهده می کنید.

نوع مانع	ضخامت به mm	Mo K α $\lambda=0.711 \text{ \AA}$	Cu K α $\lambda=1.542 \text{ \AA}$	Cr K α $\lambda=2.292 \text{ \AA}$
هوا شرایط طبیعی	100	0.99	0.89	0.68
آرگن شرایط طبیعی	100	0.79	0.13	1.4×10^{-3}
آلومینیوم	0.01	0.99	0.88	0.68
	0.1	0.87	0.27	0.018
	1	0.24	1.9×10^{-6}	0.2×10^{-17}
برلیوم	0.2	0.99	0.94	0.86
	0.5	0.91	0.86	0.79
کاغذ سیاه	0.1	0.99	0.93	0.8
مس	0.1	0.016	0.018	1.12×10^6
شیشه پیرکس	1	0.4	10^{-4}	10^{-10}
	0.1	0.93	0.5	0.1
شیشه لیندومان	1	0.85	0.23	0.01
	0.5	0.92	0.48	0.09
	0.1	0.99	0.86	0.62

صافی ها

همان طوریکه قبلاً بیان شده اشعه های $K\alpha$ و $K\beta$ از خطوط مشخصه هر آنتی کاتدی همراه

هم می باشند مثلاً برای آنتی کاتد مس: $\lambda_{K\alpha 1} = 1.540 \text{ \AA}$

$\lambda_{K\alpha 2} = 1.544 \text{ \AA}$ می باشد. معمولاً طول موج $K\alpha 1$ و $K\alpha 2$ چنان به هم نزدیک هستند که

می توان آن ها را بدون آنکه یکی مزاحم دیگری باشد به عنوان یک طول موج بکار برد. ولی

طول موج $K\beta$ با آن ها تفاوت نسبتاً قابل ملاحظه ای دارد و چنانکه فیلم طیفی از بلوری تهیه

شود در روی فیلم نمی - توان بین خطوط $K\alpha$ و $K\beta$ هیچ تفاوتی گذاشت و آنها را از هم تمیز

داد. در نتیجه تفسیر و نتیجه گیری از روی خطوط فیلم تقریباً غیرممکن خواهد بود. بنابراین

باید $K\beta$ را حذف کرد. برای این امر یک صافی مناسب باید در سر راه اشعه تابش قرارداد تا

$K\beta$ را بیشتر ولی $K\alpha$ را کمتر جذب کند. این کار باید با استفاده از پدیده جذب توسط

صافی ها صورت گیرد، بدین معنی که جنس صافی را طوری انتخاب می کنیم که $\lambda_{K\beta}$ مربوط

(طول موج انفصال K) بین $\lambda_{K\alpha}$ و $\lambda_{K\beta}$ اشعه تابش باشد، مثلاً برای آنتی کاتد مس،

صافی نیکل را انتخاب می کنیم که طول موج انفصال آن، برابر $\lambda_{K\text{Ni}} = 1.488 \text{ \AA}$ است. در

جدول زیر مشخصات صافی های تخصیص داده شده بر آنتی کاتدهای مختلف متداول را مشاهده

می کنید، محاسبه برای کاستن نسبت شدت خط $K\beta$ به خط $K\alpha$ تا $1/600$ انجام شده

است. این صافی ها تا حد ممکن توسط یک ورقه نازک از عناصر خالص، یا به وسیله یک لایه

آنتی کاتد	طول موج (A°)		صافی برای $I_{k\beta}/I_{k\alpha}=1/600$			ضریب عبور K α برای
	K α 1 K α 2	K β	نوع λ_k (A°)	ضخامت		
				Gr/cm ³	mm	
نقره	0.564 0.559	0.497	Rhodium $\lambda_k=0.534$	0.096	0.079	0.29
مولیبدون	0.714 0.709	0.632	Zirconium $\lambda_k=0.688$	0.069	1.108	0.31
مس	1.544 1.540	1.392	Nickel $\lambda_k=1.487$	0.019	0.021	0.40
کبالت	1.793 1.789	1.621	Fer $\lambda_k=1.743$	0.014	0.018	0.44
آهن	1.940 1.936	1.737	Manganees $\lambda_k=1.895$	0.012	0.016	0.46
کرم	2.294 2.290	2.085	Vanadium $\lambda_k=2.268$	1.009	0.016	0.50

چنانکه ملاحظه می کنید به کمک صافی فلزی نمی توان اشعه کاملاً تکفام با شدت مناسب تهیه کرد زیرا این نوع صافی ها طیف پیوسته اشعه ایکس را حذف نمی کنند، و در نتیجه در روی فیلم، زمینه سیاهی بوجود می آید، لذا برای خطوط پراش اشعه ایکس با شدت کم به خوبی در روی فیلم دیده نمی - شوند وغالباً نتایج کافی از اینگونه فیلم ها به دست نمی آید. یکی از روش های تهیه اشعه تکفام استفاده از صافی روس Roos می باشد.

توسط صافی روس، نوار باریکی از طیف اشعه ایکس را از بقیه طیف جدا می - سازند، بطوریکه اشعه های مورد نظر در این نوار قرار گیرد. بدین معنی که مثلاً دو فلز نیکل و کبالت را که دو عنصر متوالی از نظر عدد اتمی هستند، در نظر گرفته و منحنی جذب هریک را بر حسب طول موج، رسم می کنیم (شکل زیر)

در این شکل نواری را مشاهده می کنید که محدود به دو طول موج 1.607 \AA و 1.487 \AA می باشد. که در آن جا نسبت ضریب جذب کبالت به ضریب جذب نیکل، مقدار ثابت و برابر با $\mu_{\text{Co}}/\mu_{\text{Ni}} = 0.9$ می باشد. یعنی باید دو صافی را طوری بسازیم که در هر سانتی متر مربع آن ها جرم های P از کبالت و $0.9 P$ از نیکل باشد. در این صورت جذب دو فلز برای تمام تشعشع ها یکسان خواهند بود، به جز برای اشعه هایی که طول موجشان بین دو مقدار 1.488 \AA و 1.608 \AA می باشد. در این ناحیه، جذب، توسط صافی نیکل بسیار اندک و توسط کبالت بسیار زیاد خواهد بود. صافی مذکور برای مولد اشعه ایکس با آنتی کاتد مس که طول موج $K\alpha$ آن برابر 1.54 \AA می - باشد، بسیار مناسب است، زیرا این صافی دو گانه فقط $K\alpha$ و قسمت بسیار کوچکی از طیف پیوسته را از خود عبور می دهد و بقیه را جذب می

کند . شدت خط $K\alpha$ پس از عبور از این صافی به مراتب از شدت آن در حال عبور از صافی فلزی معمولی بیشتر است .

ضخامت فلزات صافی را می توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$\rho = (1/\mu_{Co} - 0.9\mu_{Ni}) \ln(\mu_{Co}/0.9\mu_{Ni})$$

که در آن ρ ضخامت صافی و یا مقدار جرمی است که در هر سانتی متر مربع فلز یافت می شود و μ_{Co} و μ_{Ni} ضریب جذب نیکل و کبالت برای اشعه ای که طول موج آن 1.54 \AA باشد .

روش های تجربی پراش اشعه ایکس توسط بلورها

طبق قانون براگ $2d \cdot \sin\theta = n\lambda$ که یک رابطه بین θ و λ برقرار می کند ، و برای بازتاب

اشعه ایکس با طول موج λ توسط یک بلور تحت هر زاویه اختیاری θ ممکن نیست مگر اینکه

شرایط قانون براگ برقرار شود ، یا بهتر بگوئیم برای اینکه بازتاب یا پراش داشته باشیم ، باید

اجازه بدهیم زاویه براگ (θ) یا طول موج تابش (λ) و یا هر دو با هم تغییر کنند . از این سه

حالت بخاطر امکانات تکنیکی معمولاً با تغییرات زاویه θ موافقت می شود چرا که تهیه اشعه

ایکس تکفام با استفاده از صافی های مناسب همانطوریکه شرح آن گذشت امکان پذیر است .

روش های بازتاب که برای بررسی ساختار بلور بکار می رود و از آن ها برای تجزیه تحلیل

ساختمان بلورها استفاده می شود معمولاً سه روش می باشد ، که گاهی با تغییرات زیادی در

تک تک این سه روش جهت تحقیقات خاص داده می شود .

۱- روش لاهه Laue

در این روش یک تک بلور ساکن در معرض تابش یک دسته اشعه ایکس مرکب (با طول موج پیوسته) قرار می گیرد. بلور تنها اشعه هایی را منعکس می کند که برای صفحات شبکه ای (رتیکولری) موازی به فاصله d زاویه تابش مثل θ وجود داشته باشد که در قانون براگ صدق کند. روش لاهه اجازه می دهد یک تعریف روشن از جهت گیری و از تقارن بلور را داشته باشیم. این روش را برای بررسی نقص بلوری بعد از طراحی مکانیکی و حرارتی بکار می برند. در شکل زیر طرح (اطاق) لاهه را برای یک تشعش پیوسته از اشعه ایکس و نمونه ای از یک تک بلور را مشاهده می کنید که اجازه می دهد بازتاب های لاهه را بدست آوریم.

در این طرح یک دسته اشعه ایکس با طول موج پیوسته λ از 0.2 تا 2 آنگسترم بعد از عبور از داخل لوله باریکی جهت هم محور شدن بر نمونه ای از یک تک بلور که بر روی گونیومتر قابل تنظیم قرار دارد برخورد نموده و اشعه های بازتاب فیلم های مسطح مستقر در A و B را که عمود بر محور لوله هم محور کننده است، متأثر می کند این بازتاب را برای بلور سیلیسیوم در راستای تقریبی [100] در شکل زیر مشاهده می کنید که تا حدودی برای دوران $\pi/2$ تغییر نمی کند. این تغییر نا پذیری گویای داشتن تقارن مرتبه 4 سیلیسیوم حول محور [100] می باشد. لکه سیاه روی فیلم بیانگر سوراخی است که روی فیلم جهت ثابت کردن آن روی دستگاه ایجاد شده است. لکه های سفید شکل پراش بلور سیلیسیوم است. ابعاد نمونه از یک میلیمتر تجاوز نمی کند.