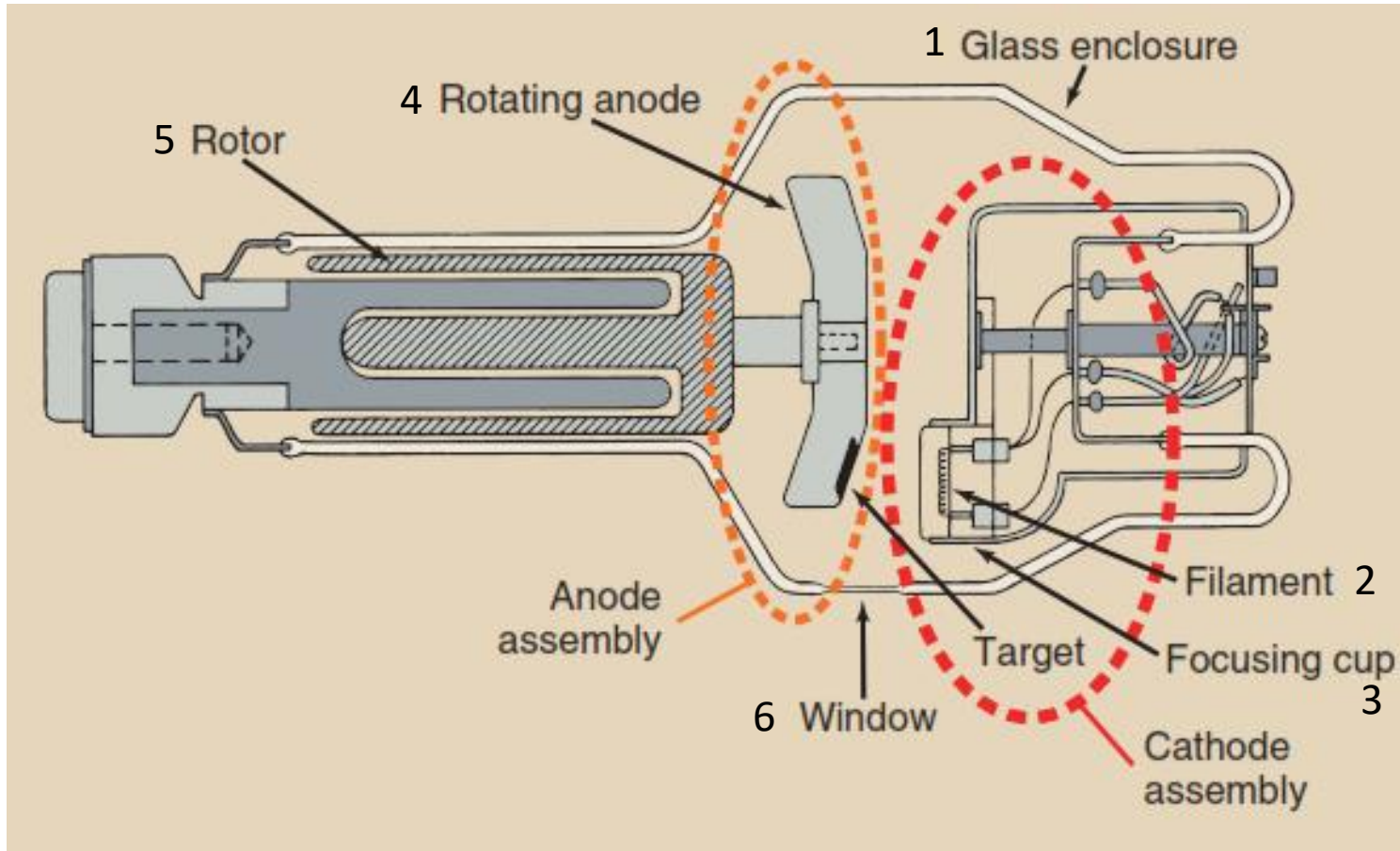


تولید بهینه فوتون به کمک لامپ اشعه ایکس



- ۱- محفظه شیشه ای
- ۲- فیلمان (کاتد)
- ۳- فنجان متمرکزکننده
- ۴- آند (دوار یا ثابت)
- ۵- روتور و استاتور
- ۶- پنجره

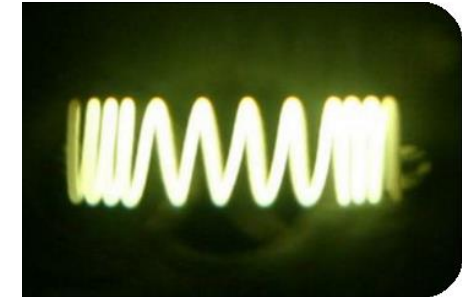
۱- محفظه شیشه‌ای

محفظة شیشه‌ای: تیوب مولد اشعه X، به طور ساده از یک محفظه شیشه‌ای از جنس پیریکس ساخته شده که درون آن از هوا تخلیه شده است و شامل دو الکترود می‌باشد. الکترودها طوری طرح شده‌اند که الکترونی‌هایی که در کاتد (الکترود منفی یا فیلمان) بدمت می‌آیند به وسیله یک اختلاف پتانسیل بالا، بطرف آند (الکترود مثبت یا هدف) شتاب می‌گیرند. سرعت دادن یک الکترون در هوا مشکل است زیرا تعداد الکترونهاي موجود در هوا بسیار زیاد است. (در حدود 4×10^2 در هر سانتیمتر مکعب) و پیش از اینکه الکترونی به حرکت در بیاید به الکترون دیگر برخورد می‌کند. بنابراین ضروری است که هوای داخل محفظه تخلیه شود تا الکترونها بتوانند بدون برخورد حرکت کنند. هوای درون محفظه شیشه‌ای تا ۰/۰۱ میلیمتر جیوه تخلیه می‌شود. علاوه بر این خلاء موجود در تیوب محیط کاملاً عایقی را بین آند و کاتد بوجود می‌آورد. ساختار تیوب باید به گونه‌ای باشد که خلاء در تمام طول عمر تیوب حفظ شود. شیشه از آن جهت که دارای جذب اشعه X کم، خاصیت عایق خیلی خوب و انتشار حرارتی خوب است، ماده‌ای مناسب در ساخت محفظه می‌باشد. یک نکته مهم در ساخت محفظه شیشه‌ای این است که اگر مقداری گاز در محفظه باشد، به جای اشعه بیشتر، گرمای بیشتر تولید می‌شود.



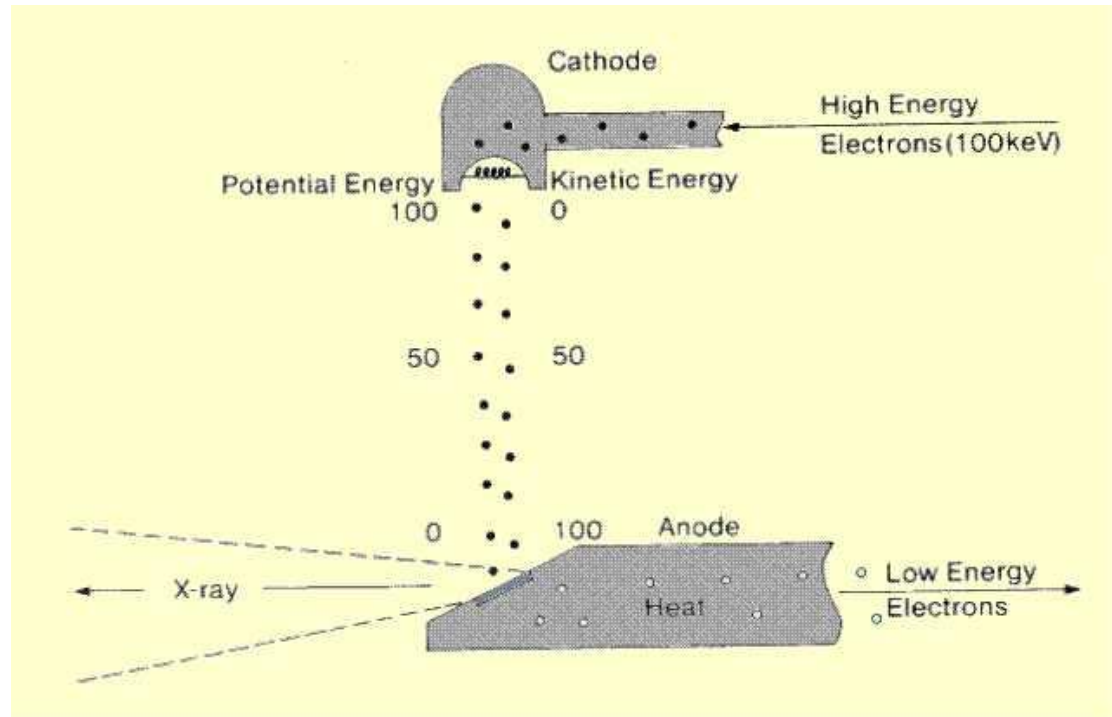
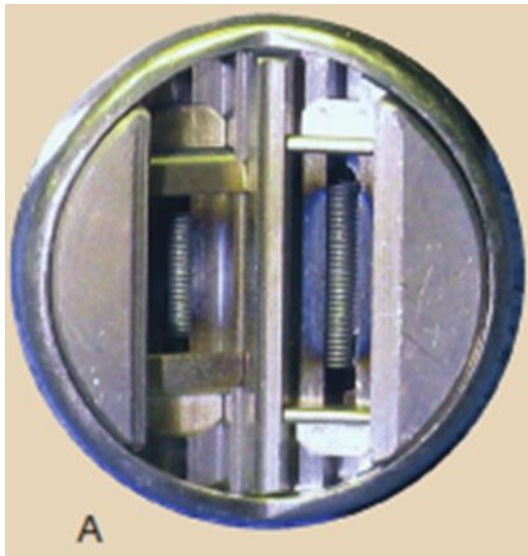
اگر مقداری گاز در محفظه باشد، به جای اشعه بیشتر، گرمای بیشتر تولید می‌شود.

۲- فیلمان



کاتد (Cathode) یا فیلمان (Filament): پایانه منفی تیوب اشعه X را کاتد یا فیلمان گویند.

فیلمان از سیستم تنگستن به قطر حدود 0.2 میلیمتر که به صورت یک مارپیچ به قطر 2 میلیمتر و طول 1 سانتیمتر یا کمتر پیچیده می‌شود، ساخته شده است. عبور جریان حدود 3 تا 3.5 آمپر فیلمان را گرم می‌کند و باعث می‌شود بعضی از الکترونها فلز به اندازه کافی انرژی بدست آورند تا از سطح فیلمان جدا شده و به فاصله کوتاهی از سطح فلز دور شوند. این جدا شدن الکترونها را تابش ترمیونیک (Thermionic Emission) می‌گویند که باعث ایجاد یک ابر الکترونی در اطراف فیلمان می‌شود. یک فیلمان تنگستن خالص باید لااقل تا 2200 درجه سانتیگراد گرم شود تا به تعداد قابل استفاده الکترون از خود بتواند. نقطه ذوب بالای تنگستن (حدود 3370) باعث می‌شود که بتوان آنرا به صورت یک سیم نازک قوی در آورد که تمایل کمی به تبخیر شدن دارد و میتواند طول عمر زیاد داشته باشد.



الکترونهايي که از فیلمان جدا می‌شوند، ابر کوچکی در اطراف فیلمان تشکیل می‌دهند که به آن بار فضایی (Space Charge) می‌گویند. این ابر بار منفی، از تابش سایر الکترونها از فیلمان جلوگیری می‌کند تا اینکه آنها به اندازه کافی انرژی حرارتی برای فائق آمدن بر نیرویی که به وسیله بار فضایی ایجاد می‌شود، پیداکنند. تمایل بار فضایی به محدود کردن تابش الکترونهاي بیشتر از فیلمان را اثر بار فضایی گویند. با اعمال ولتاژ بسیار زیاد بین کاتد و آند (الکترو مثبت)، می‌توان الکترونهاي کاتد را به طرف آند شتاب داد. در این حالت یک جریان بین آند و کاتد برقرار می‌شود که میزان آن بستگی به تعداد الکترونهاي رشته الکترونی دارد. عبور تعداد $6/25 \times 10^{18}$ الکترون در ثانیه معادل جریان یک آمپر تیوب خواهد بود. به سبب نیروی دافعه الکترونها نسبت به هم، رشته الکترونی ایجاد شده بین کاتد و آند تمایل به واگرا شدن دارد که هنگام برخورد به سطح آند یک سطح بزرگ غیرقابل قبول را ایجاد می‌کند، که این امر موجب تار شدن و کاهش وضوح تصویر می‌گردد.

۲- فیلمان

مدهای جریانی فیلمان

تبخیر آند و مشکلات

(۱) جریان "آماده به کار" یا "پیش گرم کننده" (Pre-heating) که معمولاً نصف جریان مورد نیاز در موقع ایجاد اشعه است. این جریان فیلمان را گرم نگه می دارد. در موقع تابش اشعه که جریان های فیلمان بالاتر مورد نیاز است، مدارات الکترونیکی تغذیه فیلمان، جریان آن را از مقدار "آماده به کار" تا مقدار مورد درخواست بالا می برند و بلافاصله بعد از تابش تا مقدار "آماده به کار" پایین می آورند.

(۲) جریان فیلمان در حالت فلوروسکپی که در آن جریان تیوب بین ۰/۱ تا ۵ میلی آمپر است.

(۳) جریان فیلمان در حالت رادیوگرافی

تنگستنی که از فیلمان و گاهی از آند تبخیر می شود به صورت یک پوشش بسیار نازک روی سطح داخلی دیواره شیشه ای تیوب رسوب می کند و باعث تغییر رنگ شیشه تیوب می شود. این پوشش تنگستن دو اثر دارد: یکی اینکه وجود اتمهای فلزی روی جدار داخلی شیشه امکان ایجاد قوس الکتریکی بین شیشه و الکترودها را در کیلوولتهای بالا افزایش می دهد که این امر باعث کشیده شدن جریان زیاد از ژنراتور ولتاژ بالا و همینطور باعث گرم شدن و ترک خوردن تیوب می گردد. به این حالت اصطلاحاً "گازی شدن" تیوب می گویند. دیگر اینکه این لایه فلزی مانند یک فیلتر در مقابل اشعه X عمل می کند.

از مباحث بالا نتیجه می شود که دو اشکال عمده که در تیوب های مولد اشعه X بوجود می آید، عبارتند از:

(۱) سوختن و قطع شدن یکی یا هر دو فیلمان در اثر عبور جریان زیاد و یا تبخیر تدریجی.

(۲) گازی شدن تیوب.

۳- فنجان متمرکز کننده

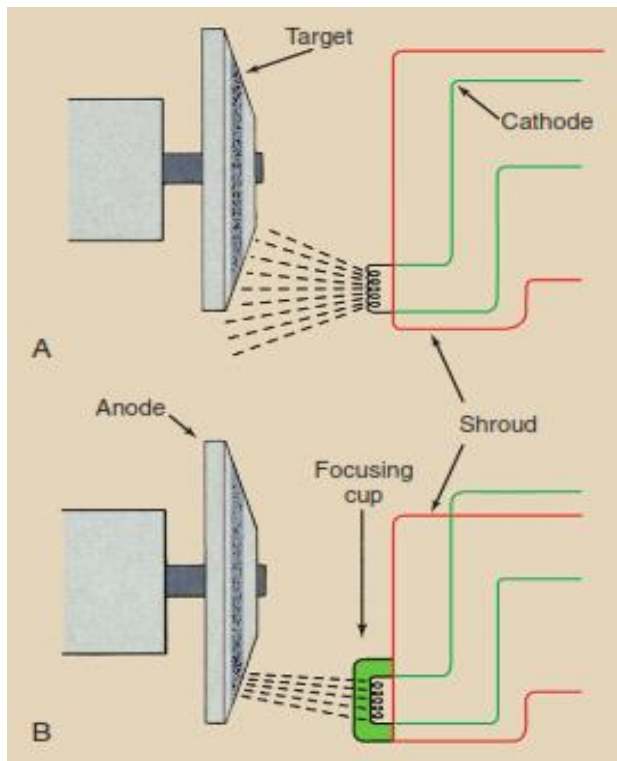
برای متمرکز کردن رشته

الکترونی، فیلمان را درون یک محفظه فنجانی شکل به نام محفظه متمرکزکننده (Focusing Cup) قرار می دهند. این محفظه که به همان پتانسیل منفی فیلمان وصل است، طوری طراحی شده که نیروهای الکتریکی اش باعث می شود تا جریان الکتریکی روی سطح آند به صورت شکل و اندازه مورد نظر متمرکز شود. این محفظه معمولاً از نیکل ساخته می شود.

در اغلب تیوبهای اشعه X دو فیلمان وجود دارد. هر فیلمان شامل یک سیم مارپیچی است که کنار هم نصب شده اند.

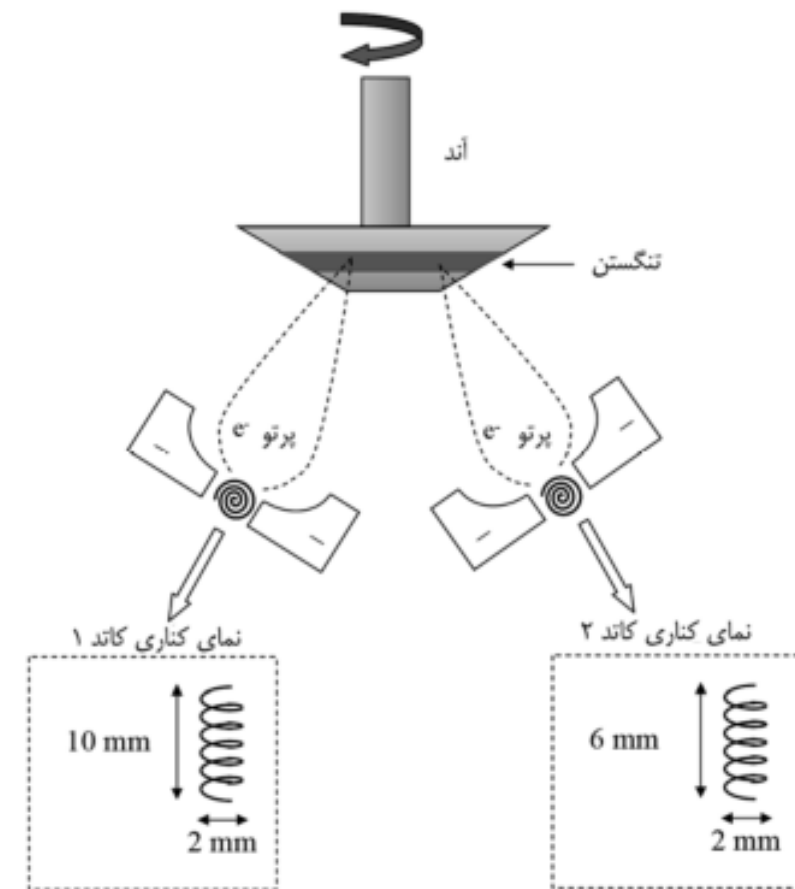
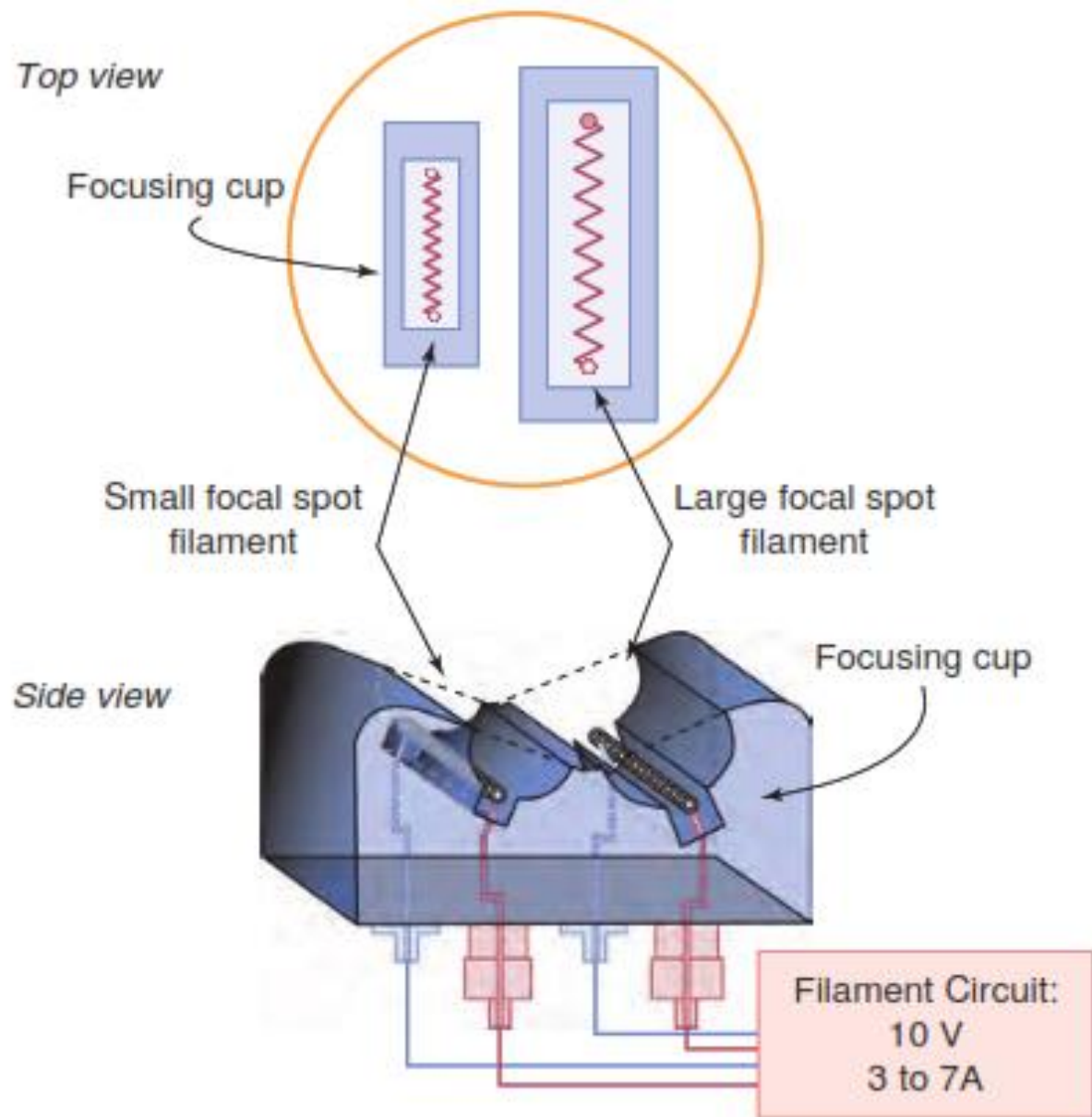
یکی از فیلمانها که بزرگتر است، به نام فیلمان فوکوس بزرگ (Large Focus) و دیگری که کوچکتر است به نام فیلمان فوکوس کوچک (Small Focus) خوانده می شود. در زمان تابش فقط یک فیلمان در

کار است. فیلمان بزرگ در جریانهای بالاتر (مثلاً بالاتر از ۲۰۰ mA) و فیلمان کوچک در جریانهای پایین تر (مثلاً ۲۰۰ mA و پایین تر) وارد کار می شوند. در شکل (۹-۲) دو فیلمان فوکوس کوچک و فوکوس بزرگ درون محفظه متمرکزکننده نشان داده شده اند. وجود تیوبی که بتواند اندازه های مختلف فوکوس را در اختیار بگذارد، مزیت بسیار مهمی به شمار می رود و به همین دلیل است که اغلب تیوبها دارای دو فوکوس هستند. فوکوس بزرگ باعث ایجاد سطح کانونی بزرگتر شده و میزان حرارت قابل تحمل توسط آند در این حالت بالاتر خواهد بود. در نتیجه می توان میلی آمپر بالاتری از تیوب



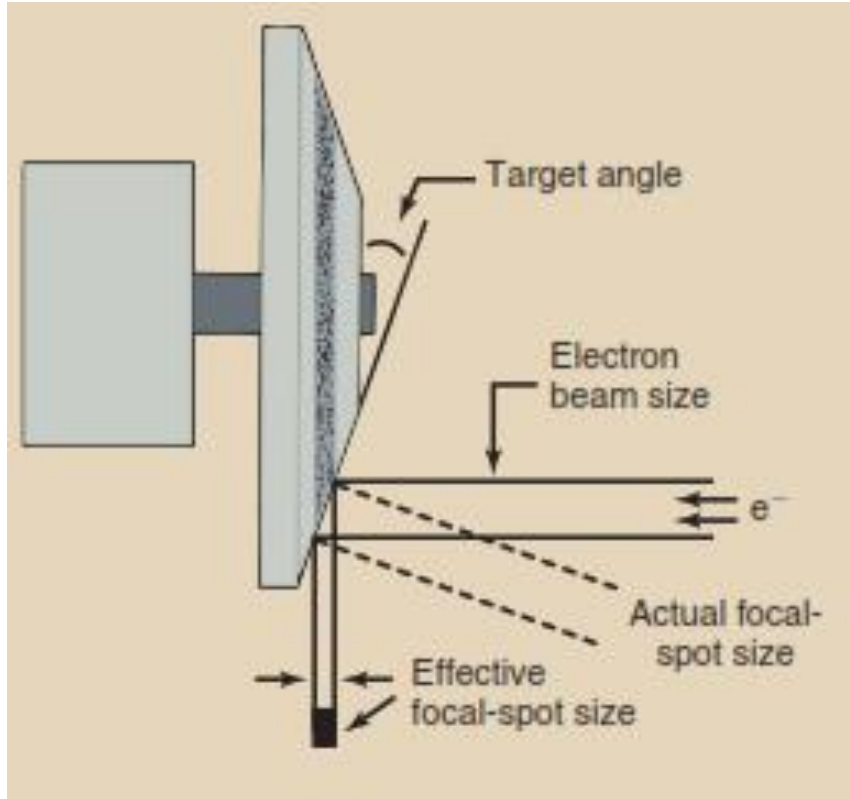
بدست آورد. با داشتن میلی آمپر بالاتر، زمان تابش می تواند کوتاهتر شود. رادیوگرافی از برخی اعضای بدن و در موارد خاص به زمان کوتاه نیاز دارد. از طرفی افزایش سطح نقطه کانونی به معنی تشعشع بزرگتر و در نتیجه عدم وضوح هندسی بیشتر در تصویر حاصله خواهد بود. از طرفی در برخی موارد رادیوگرافی به قدرت تفکیک بالا نیاز داریم. یعنی باید فوکوس کوچک کار کنیم. قساعتاً در این شرایط نمی توانیم میلی آمپر خیلی زیاد داشته باشیم.

تبخیر فیلمان در اثر گرما، باعث نازک شدن فیلمان و کم شدن طول عمر آن می گردد. میزان جریان فیلمان بایستی کاملاً تنظیم شده باشد. چرا که تغییر جریان فیلمان از مقدار مورد نیاز باعث تأثیر در کیفیت تصویر شده و افزایش ناگهانی و بیش از حد مجاز جریان باعث سوختن و از بین رفتن فیلمان می گردد. در دستگاههای رادیولوژی پیشرفته مدارات الکترونیکی دقیقی جهت تحویل جریان کاملاً تنظیم شده به فیلمان متناسب با میزان mA درخواستی اپراتور و محافظت از فیلمان به منظور جلوگیری از افزایش بی رویه جریان آن در اثر ایجاد یک اشکال در قسمتهای مختلف دستگاه، تعبیه شده است.



شکل ۴.۲ نمای بالا، اثر بشقاب متمرکزکننده را بر شکل پرتو الکترونی برخوردکننده با آنند در حال چرخش نشان می‌دهد. دو کاتد (که در نماهای کناری بزرگ‌نمایی شده‌اند) بسته به کاربرد موردنظر، پرتو باریک یا پهن تولید می‌کنند. جهت پرتو اشعه ایکس تولیدشده به سمت بیرون صفحه و در جهت خواننده است.

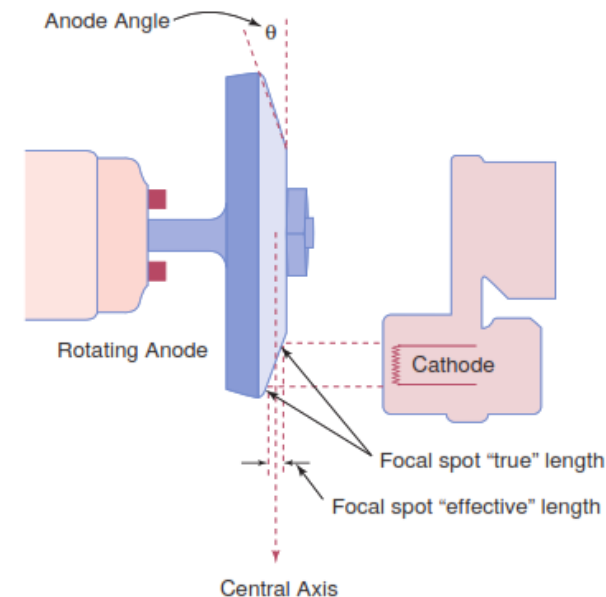
۴- آند



آندها یا (الکترودهای مثبت) تیوب اشعه X بر دو دسته‌اند: ثابت و دوار. در هر نوع سطح آند به گونه‌ای ساخته می‌شود که با خط عمودی زاویه ۶ تا ۲۰ درجه بسازد. علت شیب‌دار بودن سطح آند در زیر شرح داده می‌شود:

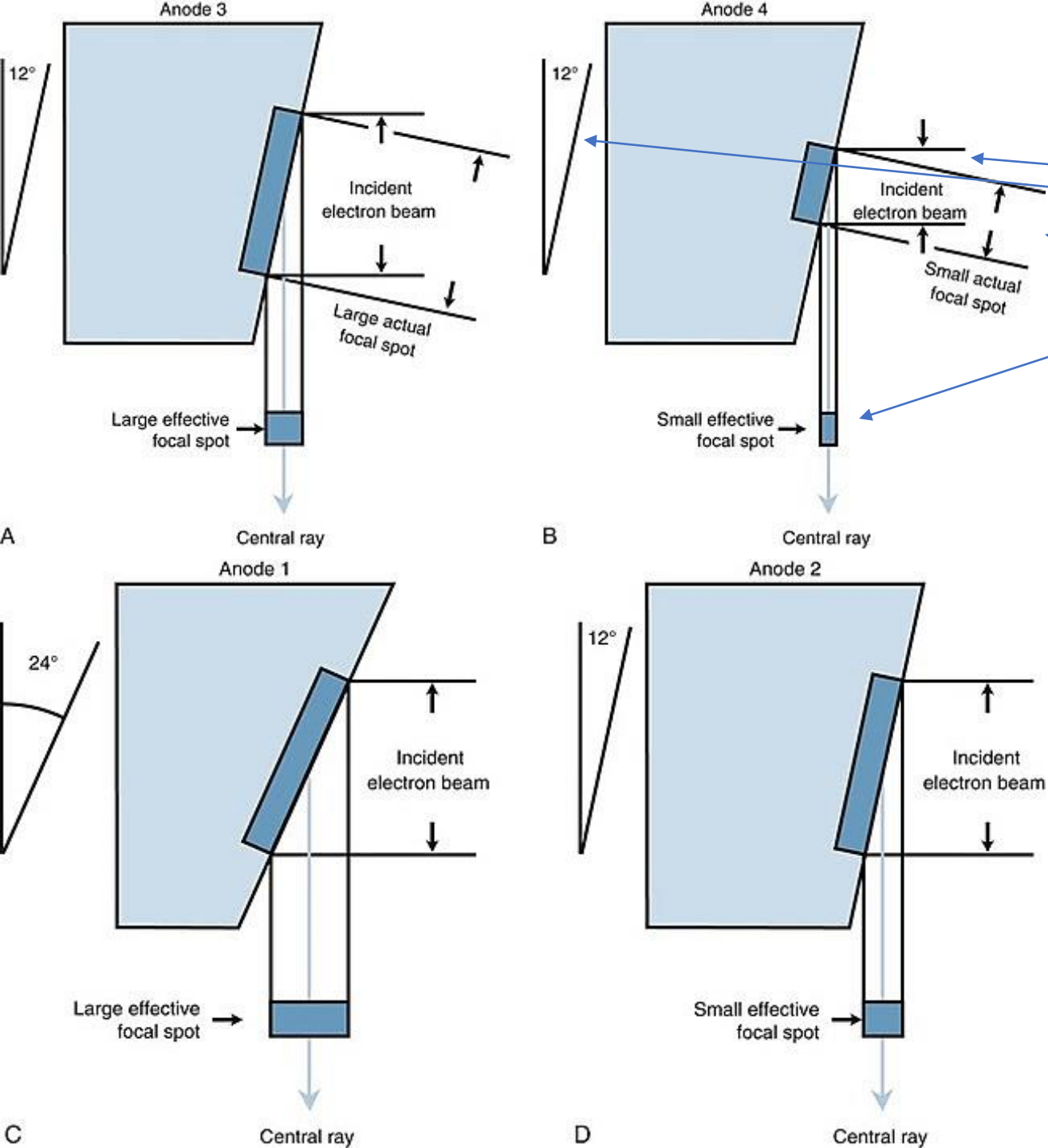
حدود ۹۹٪ انرژی الکترونها بعد از برخورد با سطح آند تبدیل به حرارت می‌شود. هر قدر ناحیه‌ای از آند که توسط الکترونها بمباران می‌شود (لکه کانونی) بزرگتر باشد، میزان بالا رفتن درجه حرارت سطح

آند و در نتیجه امکان خوردگی سطح آند کمتر خواهد شد. از طرف دیگر برای داشتن جزئیات بیشتر در تصویر رادیولوژی می‌بایست لکه کانونی کوچک شود. این دو نیاز متناقض با شیب‌دار کردن سطح آند به طور همزمان بر آورده می‌شود. به سبب این زاویه، وقتی سطح مایل لکه کانونی از جهتی که از آن اشعه X خارج می‌شود نگریسته شود، باریک شده و کوچک به نظر می‌آید. بنابراین واضح است که ضلع لکه کانونی واقعی است. در شکل (۷-۲) این مطلب نشان داده شده است. منظور از لکه کانونی، تصویر آن روی ناحیه خروج اشعه X است. اندازه‌های ۱/۳، ۱/۶، ۱/۱۰ و ۱/۲ میلیمتری برای اندازه لکه کانونی عموماً به کار می‌روند.



با کوچکتر شدن زاویه آند اندازه فوکوس نیز کوچک می‌شود (شکل ۸-۲). اما با این کار میدان تشعشع نیز محدود می‌گردد (شکل ۹-۲). بنابراین زاویه آند را نمی‌توان از یک حد کوچکتر کرد. زیرا در این صورت ابعاد آن برای کاربردهای تشخیصی مناسب نخواهد بود. بنابراین می‌بایست یک مصالحه بین ظرفیت حرارتی آند و ابعاد میدان تشعشع انجام داد. در عمل زوایای آند بین ۶ تا ۲۰ درجه انتخاب می‌شوند.

تأثير اندازه بیم و زاویه آند بر اندازه لکه کانونی واقعی و موثر



A and B, As the filament size decreases, both the actual and effective focal spots decrease in size. The line-focus principle results in an effective focal spot that is smaller than the actual focal spot. **C and D,** As the anode angle decreases, both the actual and effective focal spots decrease in size.

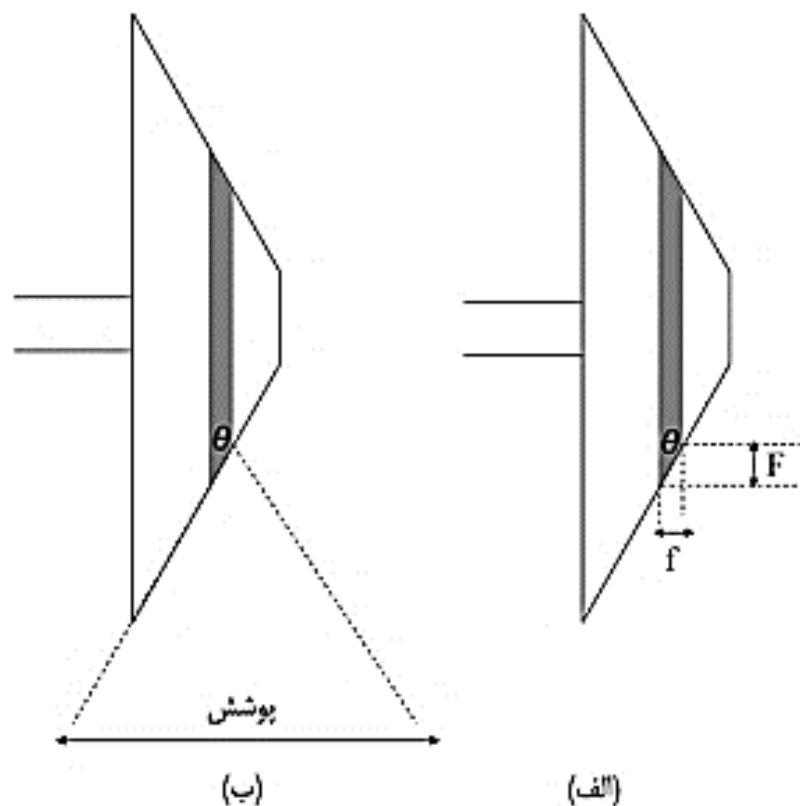
اندازه لکه کانونی واقعی و موثر و پوشش

هرچه زاویه کوچک‌تر باشد، اندازه نقطه کانونی موثر، کوچک‌تر می‌شود.

$$f = F \sin \theta$$

θ زاویه انحراف و F عرض پرتو الکترونی است. مقادیر اندازه نقطه کانونی موثر از 0.3 mm در ماموگرافی دیجیتالی بین 0.6 تا 1.2 mm در پرتونگاری سطحی و مقطع‌نگاری کامپیوتری متغیر است. همچنین زاویه انحراف پوشش پرتو اشعه ایکس را نیز، مطابق شکل ۵.۲ (ب)، تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پوشش به صورت زیر محاسبه می‌شود:

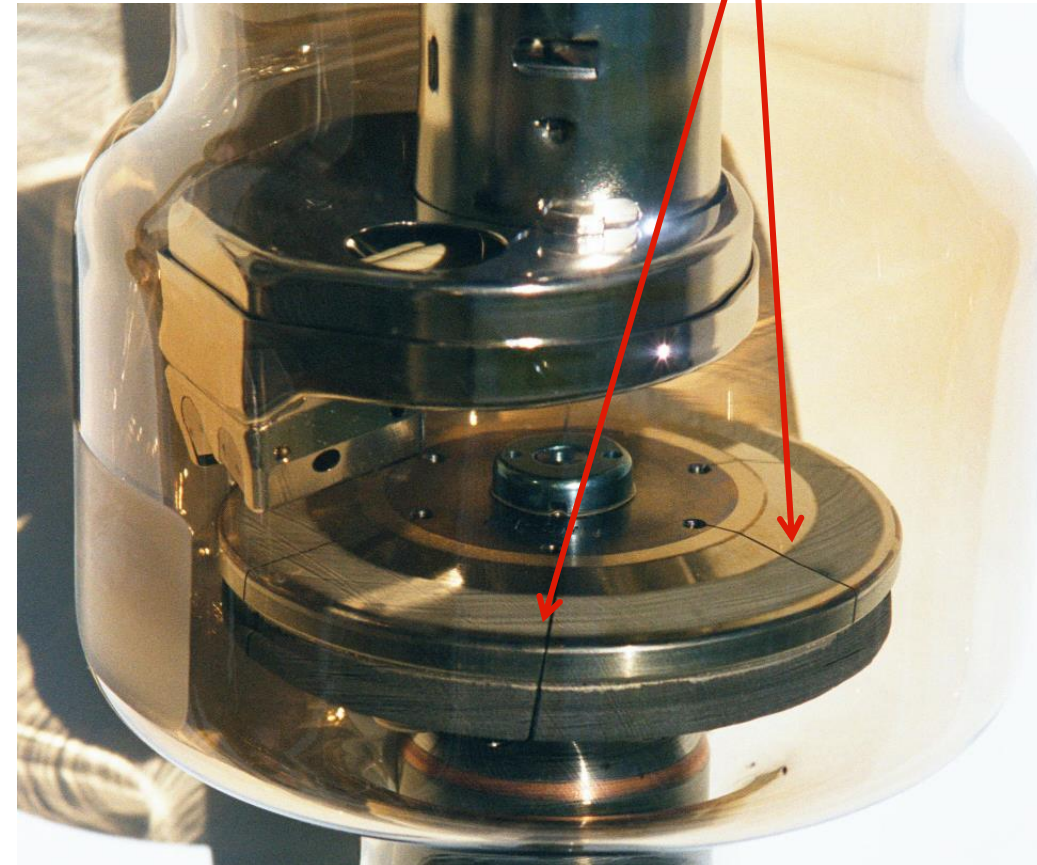
$$\text{پوشش} = 2 \times (\text{فاصل منبع تا بیمار}) \times \tan \theta \quad (2.2)$$



انواع آند

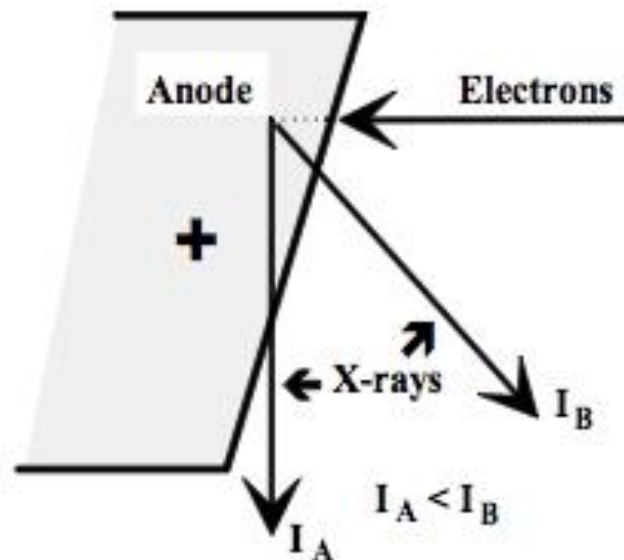
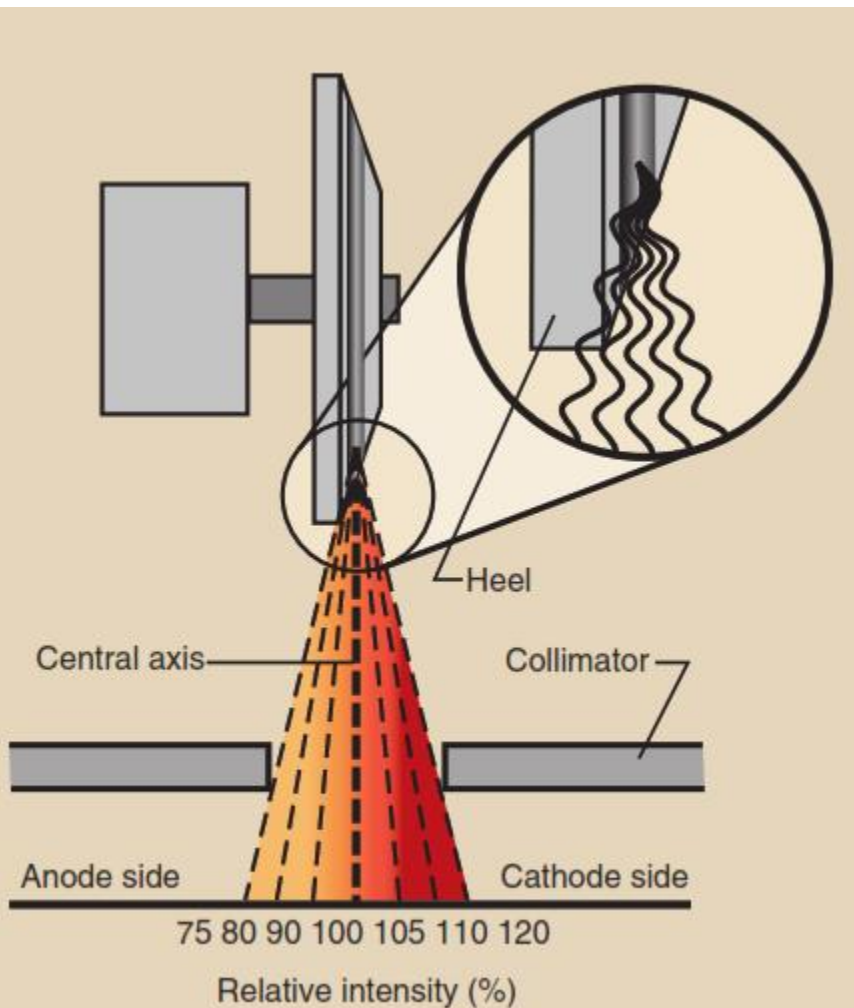
آندهای ثابت و دوار

برش های شعاعی برای ایجاد فضا
در حالت انبساط گرمایی

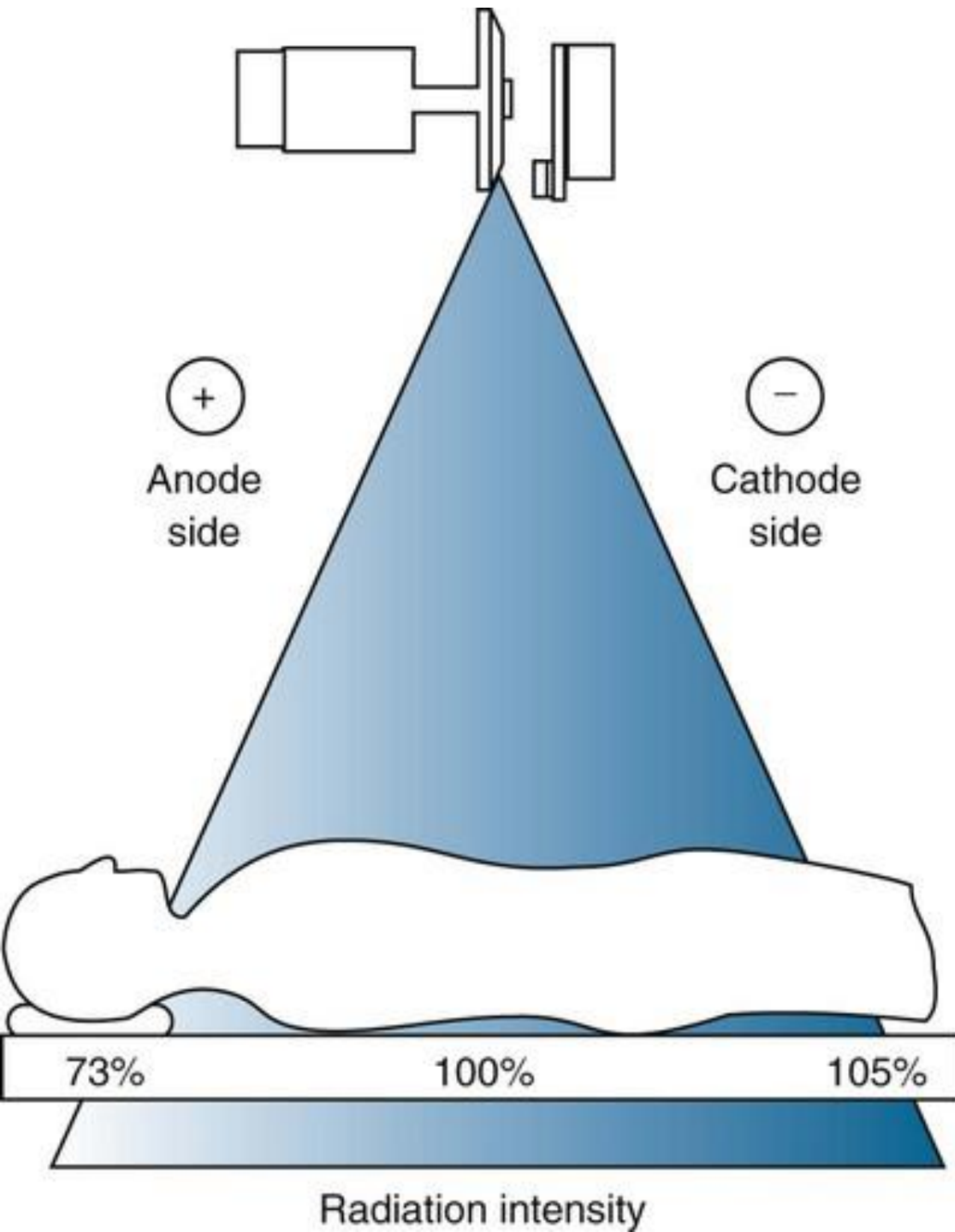


اثر پاشنه (heel effect)

تفاوت شدت تابش اشعه ایکس بر یک سطح صاف به سبب تضعیف متفاوت اشعه در زوایای مختلف، به نحوی که شدت در سمت آند کاهش می یابد. (خودجذبی متفاوت آند برای زوایای متفاوت، به سبب تفاوت مسافت پیموده شده توسط فوتون های زوایای متفاوت)



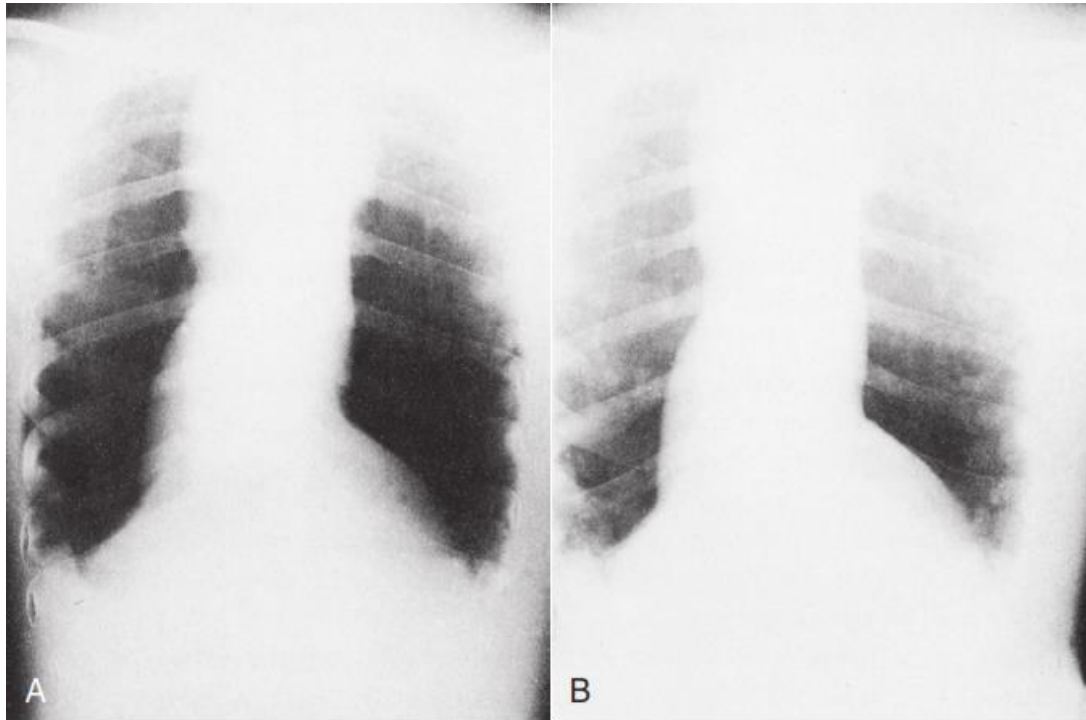
اثر پاشنه و راه حل آن



Almost all modern diagnostic x-ray machines exhibit the heel effect to some degree. Its effect on images is mostly avoided through consideration of patient positioning. For example, when imaging a foot which is thicker at the ankle end than the toes, the toes should be positioned towards the anode and the ankle towards the cathode.

There have also been some efforts to eliminate the heel effect through automatic software adjustment of pixel values.

اثر پاشنه (heel effect)



Posteroanterior chest images demonstrate the heel effect.

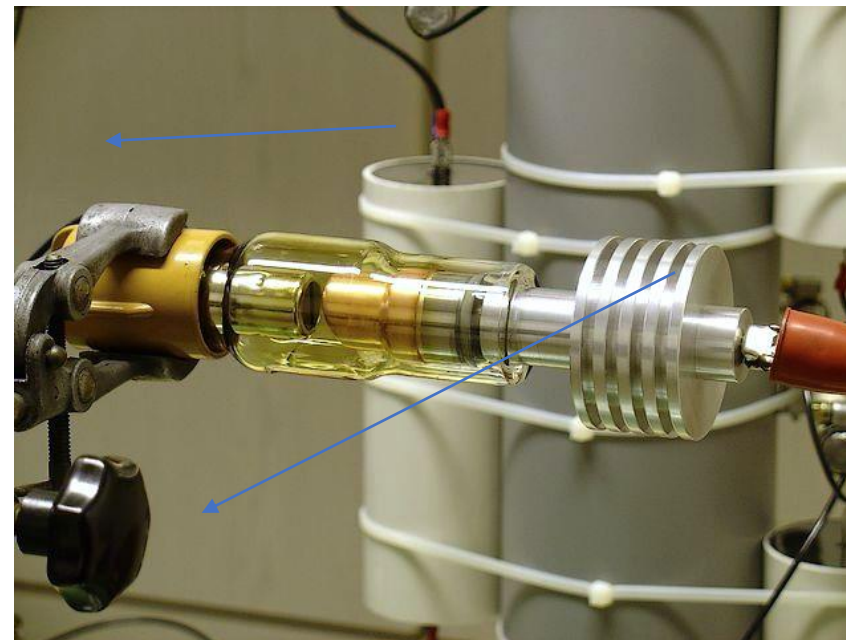
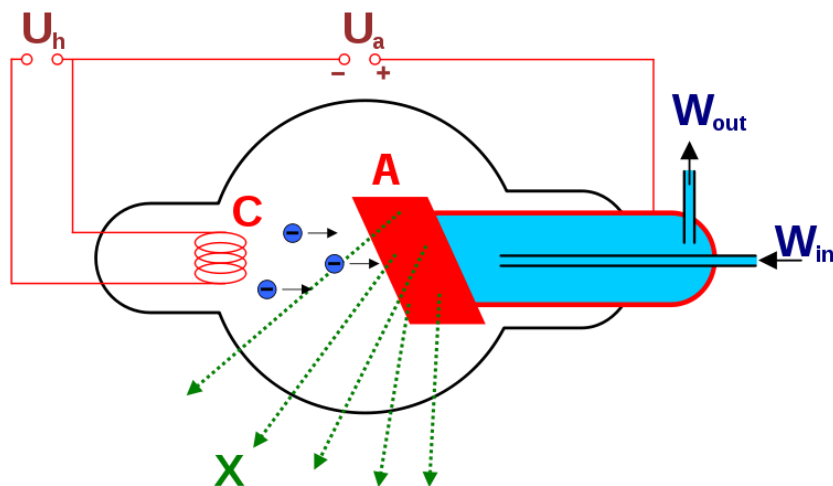
A, Images taken with the cathode up (superior).

B, Image with cathode down (inferior). More uniform radiographic density is obtained with the cathode positioned to the thicker side of the anatomy, as in B.

آند ثابت

دو نوع خنک سازی برای آند ثابت:
۱- گرما بر (Heat sink)

۲- گردش آب



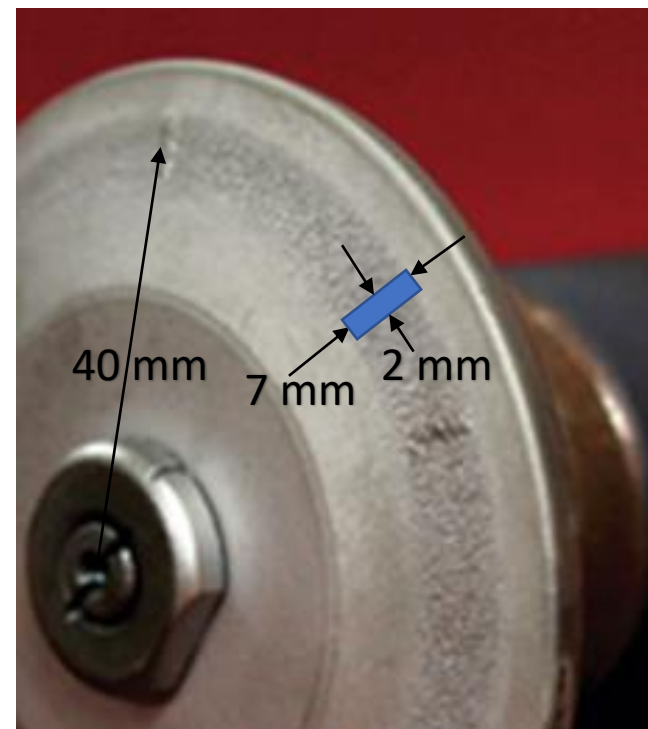
حرارت در آند

در آند ثابت، جنس آند از مس است که با یک صفحه به ضخامت ۲ تا ۳ میلیمتر از تنگستن پوشیده شده است. به پنج دلیل عمده تنگستن ماده مناسبی برای استفاده به عنوان پوشش سطح آند است: **اول** اینکه دارای عدد اتمی بالایی است (۴۷) که آنرا برای تولید اشعه X کارآمدتر می‌کند. **دوم** اینکه دارای نقطه ذوب بالایی است (۳۳۷۰ درجه) و قادر به ایستادگی در برابر حرارت بالای ایجاد شده است. در حالی که بیشتر فلزات بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه ذوب می‌شوند. **سوم** اینکه تنگستن ماده نسبتاً خوبی برای جذب حرارت و دور کردن سریع حرارت از سطح آند می‌باشد. **چهارم** اینکه در مقابل پدیده تصعید و یا تبخیر مقاوم است و بالاخره **پنجم** اینکه قابلیت چکش‌کاری و شکل‌پذیری مناسبی دارد.

مهمترین عامل در محدود شدن قدرت اشعه X تولید شده در یک تیوب، گرمایی است که در آند ایجاد می‌شود. به عنوان مثال میزان این گرما برای یک تیوب اشعه X، در جریان ۵۰۰mA و ولتاژ ۱۰۰kV تقریباً برابر با ۵۰ kW است. در تیوب‌های با آند ثابت، این گرما در سطحی به مساحت فقط چند میلیمتر مربع متمرکز می‌شود که باعث افزایش بیش از حد دمای سطح آند می‌گردد و حتی اگر به مدت یک ثانیه این توان روی یک ناحیه کوچک در سطح آند متمرکز شود، می‌تواند آن ناحیه را ذوب کند.

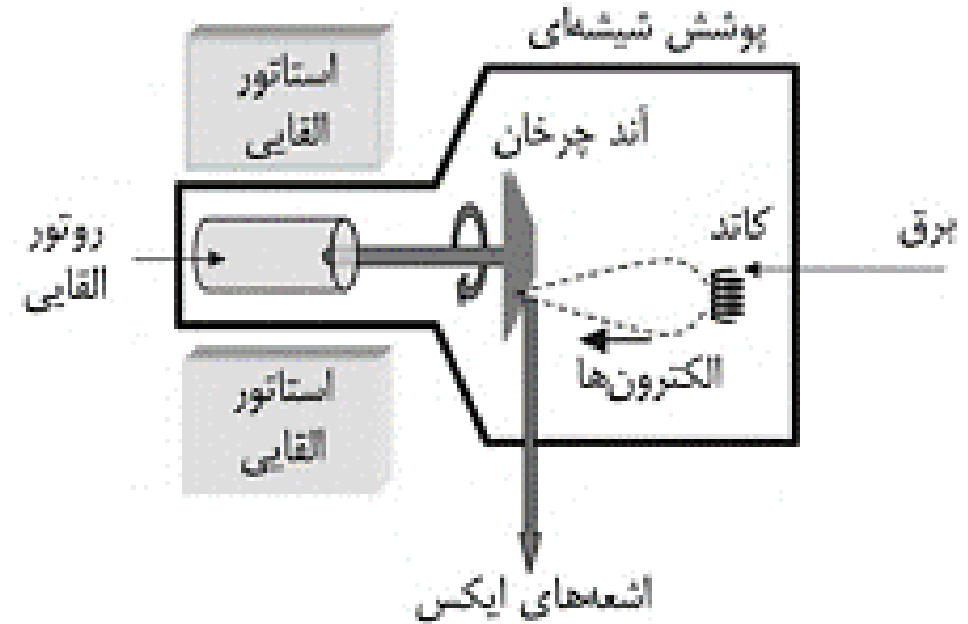
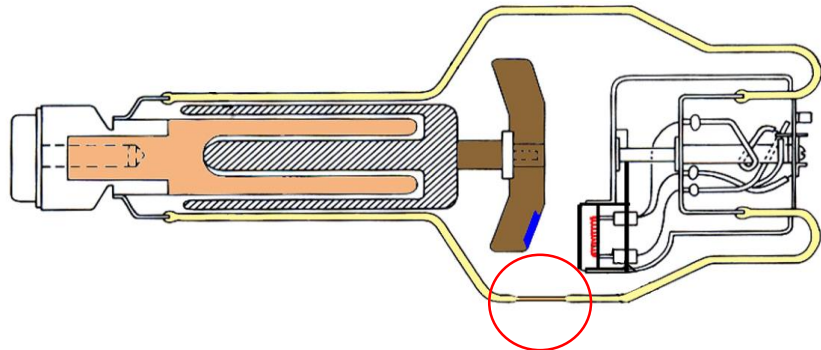
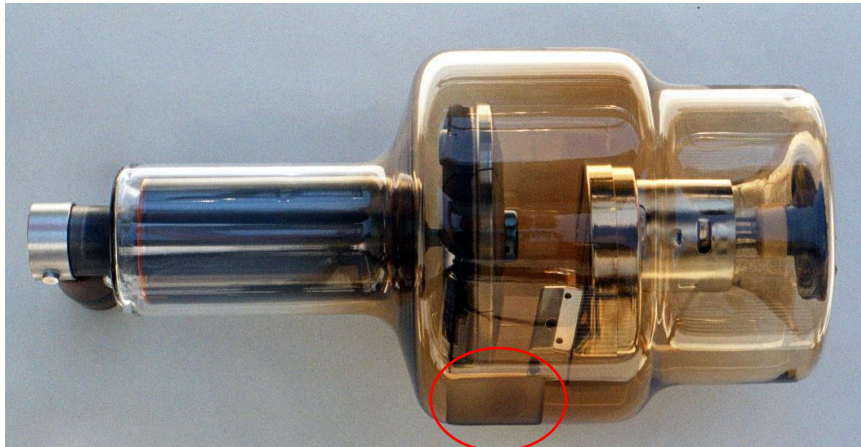
آند دوار

ساخته شدن تیوب اشعه X با آند دوار توسط "بورز" (Bouwers) در سال ۱۹۲۹، پیشرفت بزرگ در طراحی تیوب های مولد اشعه X بود. با چرخیدن آند، گرما روی سطحی وسیعی پخش می شود. موتور آندهای دوار اولیه که به آندهای با سرعت معمولی (normal speed) معروف هستند با برق شهر که دارای فرکانس ۵۰ Hz است کار میکنند و لذا سرعت چرخش آنها با در نظر گرفتن عوامل مکانیکی از قبیل لغزش بین روتور و بلبرینگ کمی کمتر از ۳۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) می باشد. اگر فرض کنیم که ناحیه بمباران شده به وسیله الکترونها ناحیه ای روی آند با ۷ میلیمتر ارتفاع و ۲ میلیمتر عرض است در تیوب با آند ثابت، کل توان حرارتی در ناحیه ای به مساحت ۱۴ میلیمتر مربع متمرکز می شود. اما اگر همین آند با سرعت مناسب بچرخد کل مساحت بمباران شده توسط الکترونها نواری با ضخامت ۷ میلیمتر و شعاع متوسط ۴۰ میلیمتر یعنی با محیط متوسط حدود ۲۵۰ میلیمتر خواهد بود. در این حال کل مساحت هدف عبارت خواهد شد با: $7 \times 250 = 1750 \text{ mm}^2$ (در مقابل ۱۴) به این ترتیب کل ناحیه تحمل حرارت حدود ۱۲۵ برابر می شود.



روتور و استاتور

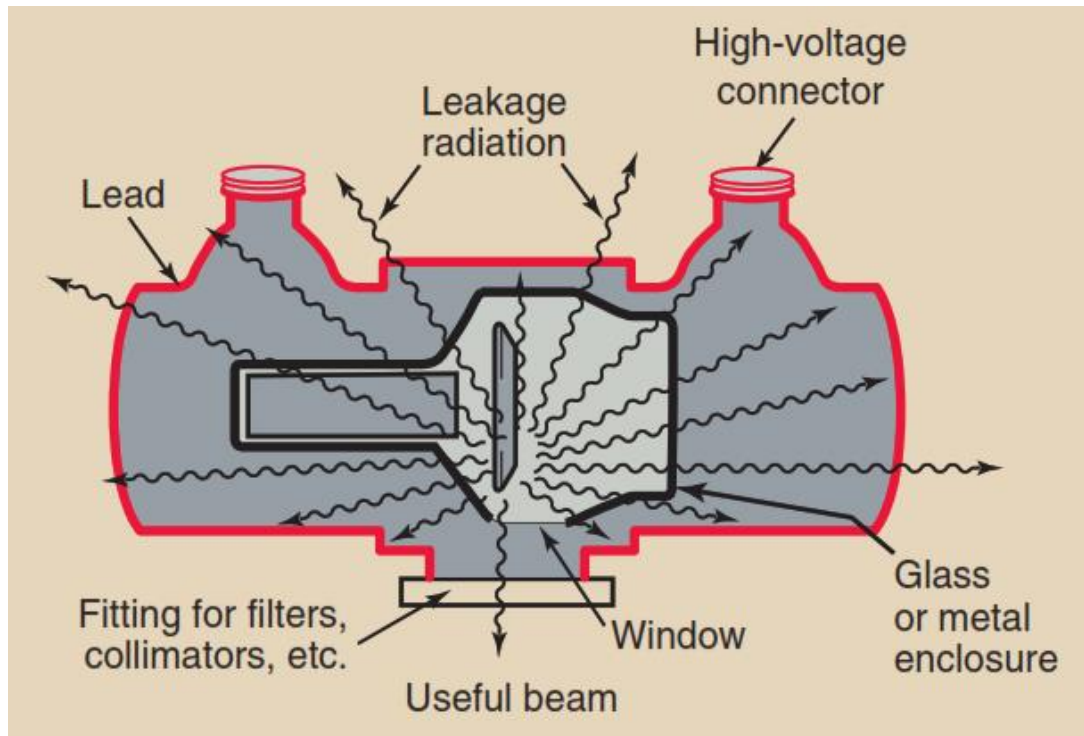
پنجره



نیروی لازم برای چرخش از طریق مجموعه‌ای از

روتوها و استاتورهای القایی، که در شکل ۳.۲ نشان داده شده است تأمین می‌شود. در عمل، هدف را از آلیاژی از تنگستن-رنیوم (۲ تا ۱۰٪ رنیوم) می‌سازند تا مقاومت مکانیکی فوق‌العاده‌ای داشته باشد.

محفظه فلزی / سربی لامپ



تیوب شیشه‌ای مولد اشعه X، می‌بایست درون یک محفظه فلزی که جدار داخلی آن با سرب پوشیده شده، فراگیرد تا اشعه X که کم و بیش در جهات مختلف پخش می‌شود توسط محفظه فلزی جذب و مانع از نشست اشعه گردد. کار دیگر محفظه فلزی تیوب ایجاد حفاظ برای ولتاژ بالایی است که بین کاتد و آنود تیوب اعمال می‌گردد. برای جلوگیری از هرگونه جرقه الکتریکی بین کابل‌های ولتاژ بالا، فاصله بین تیوب و محفظه فلزی با روغن غلیظی که در برابر ولتاژ الکتریکی کاملاً عایق است. پر می‌شود. محفظه باید کاملاً از هوا تخلیه شود. چون هوا وقتی گرم می‌شود، منبسط شده و می‌تواند با وارد کردن فشار به جداره شیشه‌ای تیوب باعث شکستن آن شود. روغن مورد استفاده علاوه بر خاصیت عایق الکتریکی دارای خواص خنک‌کنندگی نیز هست. اگر گرمای تیوب از حد مجاز بالاتر رود، انبساط روغن داخل محفظه باعث می‌شود تا یک کلید کوچک عمل کرده و اجازه تابش اشعه به دستگاه داده نشود.

پس بطور خلاصه می‌توان گفت که محفظه فلزی تیوب اعمال زیر را انجام می‌دهد :

- (۱) عایق کردن ولتاژ زیاد.
- (۲) خنک کردن تیوب.
- (۳) حفاظت در مقابل شکستن.
- (۴) حفاظت در مقابل تشعشع.