

## مقارنة بين التصوير الشعاعي بالأشعة السينية و أشعة غاما

### 1. عيوب طريقة الاختبار بالتصوير الشعاعي:

- ✓ المخاطر الصحية
- ✓ حساسة لاتجاه انتشار العيوب
- ✓ محدودية اكتشاف الكسور الدقيقة جداً
- ✓ يجب الوصول لكلا الجهتين من الجسم
- ✓ محدودة بثخانات محدّدة
- ✓ تتطلب مهارة بتفسير العيوب
- ✓ بطيئة نسبياً
- ✓ تكاليف تأسيسية و تشغيلية مرتفعة

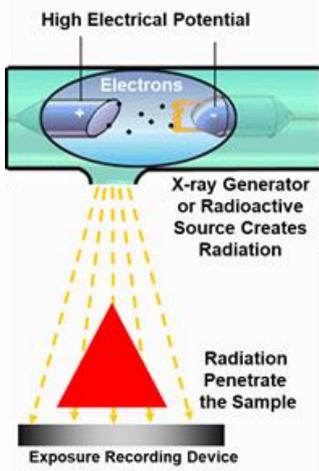
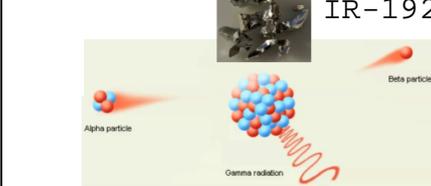
يعتمد اختيار واستخدام أي طريقة لاستخدامها في التصوير الشعاعي على عدد من الاعتبارات نذكرها بشكل عام:

- حجم وشكل واتجاه وتوزيع العيوب في اللحم.
- الأبعاد والعوامل الهندسية والخصائص الفيزيائية لـ اللحم والمادة.
- حساسية التصوير الشعاعي التي تتطلبها المواصفة أو المواصفات.
- تكلفة التصوير الشعاعي.
- المكان الذي سيتم فيه إجراء التصوير الشعاعي.

التصوير الشعاعي مناسب للكشف عن العيوب من النوع الحجمي. في ظل الظروف المؤكدة ، فهو مناسب أيضاً للكشف عن نقص الانصهار والشقوق والعيوب المستوية الشبيهة بالتشقق والتي يكون اتجاهها في اتجاه حزمة الإشعاع ؛ ومع ذلك ، يجب أن نتذكر أن قدرة التصوير الشعاعي على اكتشاف مثل هذه العيوب المستوية تتضاءل مع الاتجاه غير الموازي للحزمة. يعتمد الاستخدام الناجح للتصوير الشعاعي على طاقة مصدر الإشعاع ، (سواء كان أشعة سينية أو غاما) ، وعلى توفير إشعاع كافٍ لاختراق المادة وإنتاج صورة ذات تباين وحدودية مقبولين على الفيلم الشعاعي المعالج ، باستخدام معيار مقبول و زمن اقتصادي. تقل أيضاً قدرة التصوير الشعاعي على اكتشاف العيب مع زيادة سماكة اللحم ، ويكون التأثير أكثر وضوحاً للكشف عن الانقطاعات المستوية الدقيقة. تُعدُّ طرق الفحص غير التخريبي المختلفة مكتملة لبعضها البعض ويتم النظر عموماً في استخدام أشكال أخرى مناسبة من الاختبارات غير التخريبية إذا كانت حساسية طريقة التصوير الشعاعي غير كافية.

## 2. الأشعة السينية و أشعة غاما

في الأساس الأشعة السينية وأشعة غاما من نفس النوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي و لكن يكمن الفرق بين صورة الأشعة السينية و صورة أشعة غاما في جودة الإشعاع الناتج , الذي يعتمد على أصله واختلاف أطيف الطاقة الخاصة به. تولّد مصادر الأشعة السينية مجالاً مستمراً من الطاقات يصل إلى الحد الأقصى والذي يعتمد على جهد التشغيل بالكيلوفولت (kV) ، بينما تنتج مصادر أشعة غاما أطيف خط ثابت عند طاقات فوتونات و غزارة محدّدتين. تُوهن المادة موضوع التصوير حزمة الإشعاع عن طريق امتصاص طاقة الفوتونات المنخفضة بما يتناسب مع نوع المادة وسماكتها. تعتمد جودة الصورة الشعاعية وقدرتها على اظهار العيب على الإجراء المستخدم الذي يشمل عدة عوامل مثل الإعداد ونوع و فئة الفيلم وطاقة الإشعاع المستخدمة ونوع المصدر وحجمه و على المسافة من المصدر إلى الفيلم والمسافة بين الجسم والفيلم وعلى معالجة الفيلم أيضاً. يعتمد اختيار تقنية التصوير الشعاعي المناسبة لتطبيق معين في التصوير الشعاعي الصناعي على القيود الموضوعه للكشف عن أي خلل يعتبره العميل و المعيار غير مقبولاً. من الناحية العملية، قد يكون من الصعب الوصول لهذا الهدف. لذلك ، سيكون الإجراء و تقنية التصوير الشعاعي المختاران بمثابة حل وسط بين الجودة المطلوبة والعوامل الاقتصادية مثل الإعداد و زمن التعريض. إذاً، الاختلاف الأول هو طبيعة الإشعاع نفسه (طبيعي - صناعي)

الأشعة السينية	أشعة غاما
	
<p>الأشعة السينية هي نوع آخر من الإشعاع الكهرومغناطيسي. يمكن إنتاجها في حزم من الطاقة تسمى الفوتونات. هناك نوعان من العمليات الذرية المختلفة التي يمكن أن تنتج فوتونات الأشعة السينية. أحدهما يسمى Bremsstrahlung وهو مصطلح ألماني يعني "الكبح". و الآخر يسمى انبعاث K-shell. يمكن أن يحدث كلاهما في ذرات التنغستن الثقيلة. غالباً ما يكون التنغستن هو المادة المختارة للهدف أو المصدع لأنبوب الأشعة السينية. تتضمن كلتا الطريقتين لعمل الأشعة السينية تغييراً في حالة الإلكترونات.</p>	<p>شعاع غاما هو نتاج الذرات المشعة، اعتماداً على نسبة النيوترونات إلى البروتونات داخل نواتها ، قد يكون نظير عنصر معين مستقراً أو غير مستقراً. عندما لا تكون طاقة الربط قوية بما يكفي لتماسك نواة الذرة معاً ، يُقال إن الذرة غير مستقرة. الذرات ذات النوى غير المستقرة تتغير باستمرار نتيجة لاختلال توازن الطاقة داخل النواة. بمرور الوقت تتفكك نوى النظائر غير المستقرة تلقائياً أو تتحوّل ، في عملية تُعرف باسم التفكك الإشعاعي. قد تنبعث أنواع مختلفة من الإشعاع المخترق من النواة و/أو الإلكترونات المحيطة بها. تسمى النوكليدات (Nuclides) التي تخضع للاضمحلال الإشعاعي بالنوكليدات المشعة. أي مادة تحتوي على كميات قابلة للقياس من واحد أو أكثر من النوكليدات المشعة هي مادة مشعة.</p>

ما هي مزايا و عيوب التصوير بأشعة غاما عند مقارنتها بالأشعة السينية للفحص الشعاعي؟

مزايا أجهزة أشعة غاما مقارنة بأجهزة الأشعة السينية:

- ✓ لا حاجة لتمديدات كهربائية أو مائية
- ✓ تجهيزاتها أصغر وأخف وزناً
- ✓ أكثر قابلية للحمل
- ✓ معداتها أبسط وأكثر قوة
- ✓ الوصول إليها بسهولة أكبر
- ✓ تشتت أقل
- ✓ المعدات في البداية أقل تكلفة
- ✓ قوة اختراق أكبر
- ✓ دورة التشغيل (duty cycle) أكبر
- ✓ متعددة الاتجاه (Panoramic & Directional)

### 3. أجهزة إشعاع غاما

مصدر إشعاع غاما الأكثر شيوعاً هو **الإيريديوم 192 (Ir 192)** ولكن نظراً لأطراف الطاقة الإشعاعية العالية ، فإن تطبيقه يقتصر على عمليات التفتيش على الجدران السمكية ، عادةً ما توصي بعض المعايير كالمواصفة AS 2177 مثلاً بسماكة لا تقل عن 10 مم بينما ينص ASME القسم الخامس على أن طاقة الإشعاع يجب أن تحقق الصورة الكثافة ومتطلبات الـ IQI الواردة في ASME القسم الخامس المادة 2.

يتوفر منذ عدة سنوات منبع آخر لإشعاع غاما و هو **السيلينيوم 75 (Se 75)**. تكون حاويات المصدر ذات حجم مماثل لتلك المستخدمة في الـ Ir 192 ، لكن وزنها أقل. ملاحظة: ثابت غاما لـ Se75 (0.200) يساوي تقريباً نصف ثابت Ir-192 (0.48) :

Gamma constant of Se75:	9.55 mR/hr per 1 mCi at 30 cm
Gamma Constant of Ir-192:	5.6mrem/hr at 30 cm from 1 mCi

[1.5E-3 mSv/hr at 30 cm from 1 MBq]

عمر النصف لـ Se 75 هو 120 يوماً مقابل 74 يوماً لـ Ir-192. نلاحظ من طيف غاما لـ Se-75 ، أن نطاق تطبيقه يتراوح فيما يتعلق بسماكة المادة بين الإيريديوم Ir-192 والإيتربيوم Ytterbium 169 (Yb-169). متى يمكن استخدام Se 75 لاستبدال الأشعة السينية؟ تم قياس خصائص الصورة الشعاعية لـ Se 75 مثل التباين المحدد وجودة الصورة ومقارنتها مع Ir-192 والأشعة السينية لتحديد نطاق سماكة الجدار المناسب. و تم قياس الخصائص بفئات مختلفة من الأفلام ذات شاشات الرصاص. كما تمت مقارنة قياسات اختبار اللحامات لإثبات الاستخدام المحتمل لـ Se 75.

تجدر الإشارة إلى أنه نظراً للقياسات التي أجراها الكثيرون ، فإن المعيار الدولي ISO 5579 ، والمعيار الأوروبي EN 1435 (فحص اللحام) يتضمن استخدام Se 75 للتصوير الشعاعي.

النظير المشع الكوبالت **Cobalt-60 (Co-60)** للتصوير الشعاعي بأشعة غاما. يقتصر استخدامه على الثخانات العالية. نطاق طاقة غاما: 1.17-1.33 ميغا إلكترون فولت.

#### 4. خصائص مصادر غاما

يعتمد التطبيق العملي واستخدام التصوير الشعاعي بأشعة غاما على الخصائص الأساسية لمصادر غاما بالإضافة إلى توافر حاويات مصدر العمل وملحقاتها. يعطي الجدول أدناه قيم مصادر غاما 169 Yb و 75 Se و 192 Ir التي تم أخذها في الاعتبار في المعيار EN 1435 و ISO 5579. فيما يتعلق بثابت غاما وعمر النصف ، هناك ثلاثة مصادر فقط لها أهمية عملية كبيرة بالنسبة للتصوير الشعاعي الصناعي ، وهي: السيلينيوم 75 (Se 75) ، إيريديوم 192 (Ir 192) ، و الإيتريبيوم 169 (Yb 169). يعتمد نطاق التطبيق كتابع لسماكة الجدار على طيف غاما. يجب تطبيق Se-75 على فحص المكونات ذات سماكة جدار أرق مما هي مناسبة لـ Ir 192.

نطاقات الطاقة المكافئة لـ Se 75 و Ir 192 و Co 60 مقارنةً بالتصوير الشعاعي بالأشعة السينية موضحة أدناه.

❖ طاقة 10 كيوري غاما ← X-ray 200 Kv

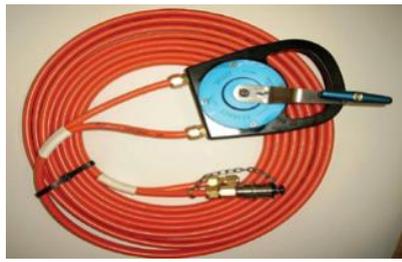
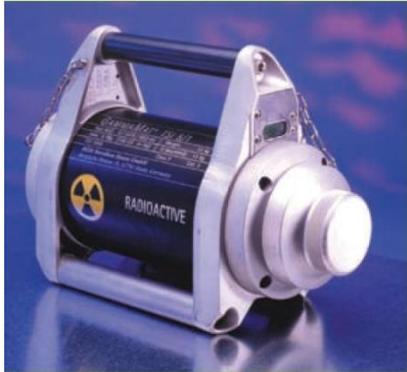
❖ X-ray 400 Kv ← Ir 192

❖ X-ray 1300 Kv ← Cobalt 60

الجدول 1 طيف أشعة غاما للمصادر المستخدمة في التصوير الشعاعي الصناعي

إيريديوم 192-Ir	السيلينيوم 75-Se	الإيتريبيوم 169-Yb	
612-206	401-66	308-008	طاقة غاما (kVp)
74	120	32	عمر النصف (أيام)
0.48	0.203	0.125	ثابت غاما

نماذج لكاميرات أشعة غاما باستخدام الإيريديوم 192 source Ir



## كاميرا أشعة غاما باستخدام السيلينيوم - 75



## كاميرات أشعة غاما باستخدام الكوبالت 60



## أجهزة الأشعة السينية



عيوب أجهزة أشعة غاما مقارنة بأجهزة الأشعة السينية

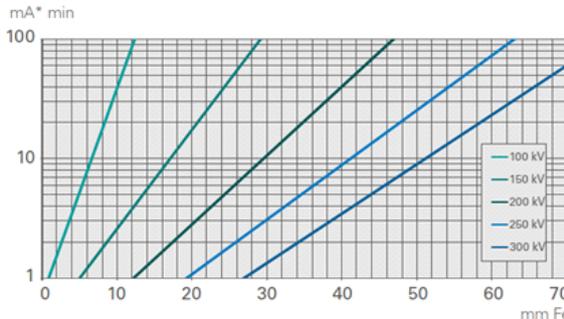
- ❖ التعامل معها يدوي و تشغيلها ميكانيكي
- ❖ تدابير الأمن أكثر تشدداً
- ❖ صور شعاعية رديئة الجودة نسبياً
- ❖ حدودية أقل
- ❖ يمكن أن تكون أزمدة التعريض أطول (بحسب النشاط)
- ❖ المنابع بحاجة إلى استبدال
- ❖ لا يمكن إيقاف الإشعاع
- ❖ التعامل عن بعد ضروري
- ❖ الصيانة الوقائية للمعدات أكثر تشدداً

## 5. اختيار الطاقة الإشعاعية:

### 1- للأشعة السينية (كيلو فولت)

بمجرد اختيار المسافة المناسبة من المصدر المشع إلى الفيلم ، يمكن تحديد جهد الكيلوفولت الصحيح من مخطط التعريض .  
تختلف أهمية اختيار جهد الكيلوفولت الدقيق بشكل كبير مع مراعاة مجال جهد الكيلوفولت. بالنسبة للأشعة السينية التي تقل عن 150 كيلو فولت ، يكون الاختيار حرجاً بشكل معقول ويصبح أكثر أهمية عند الكيلوفولت المنخفض.  
تم تحديد جهد الكيلوفولت المطلوب تطبيقه في معايير (EN) .  
يعطي الجدول 2 قيماً تجريبية مفيدة للقاعدة التجريبية للصور الشعاعية للأجسام المصنوعة من الألمنيوم ، و الفولاذ أو الأجسام بلاستيكية.

700 mm FFD / D7-type + Pb / D = 2,0



Material	kV-value
Steel	100 kV + 8 kV/mm
Aluminium	50 kV + 2 kV/mm
Plastics	20 kV + 0.2 kV/mm

الجدول 2. قيم قاعدة الاختيار للجهد بالكيلوفولت

أمثلة :

15 مم فولاذ:  $220 = 8 \times 15 + 100$  كيلو فولت  
12 مم ألومنيوم:  $74 = 2 \times 12 + 50$  كيلو فولت  
10 مم بلاستيك:  $22 = 0.2 \times 10 + 20$  كيلو فولت

في المجال 200-400 كيلو فولت ، فقط تغيير كبير في الجهد ، على سبيل المثال 30-40 كيلو فولت ، سيؤدي إلى حدوث اختلاف ملحوظ في تمييز العيب.

## 2- اختيار مصدر غاما

نظراً لأنه لا يمكن تغيير طاقة الإشعاع المنبعثة من مصدر أشعة غاما ، فهو كذلك ضروري للإشارة إلى مجال السماكة الذي يمكن فحصه بشكل مرضٍ لكل نوع من النظائر المشعة.  
يتم تحديد الحد الأعلى من خلال قوة المصدر المشع المتاحة تجارياً والحد الأقصى لزم التعريض المسموح به : يتم تحديد الحد الأدنى من خلال الانخفاض في التباين وما يرتبط به من انخفاض في جودة الصورة.  
لذلك ، يعتمد الحد الأدنى على الدرجة المطلوبة لتمييز العيب.

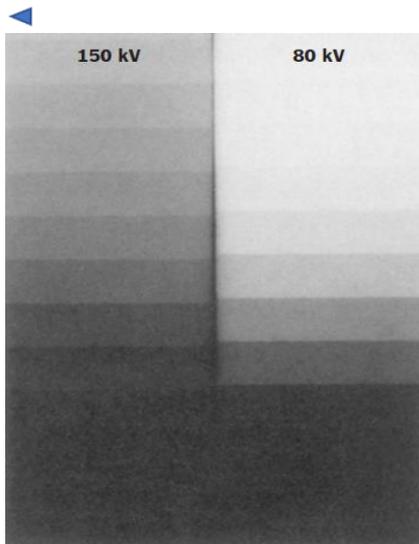
عندما يكون هذا غير كافٍ بالمقارنة مع ما يمكن تحقيقه باستخدام معدات الأشعة السينية ، يمكن اختيار نوع آخر من النظائر يُوفّر طاقة إشعاع منخفضة. يوضح الجدول 3 مجال السماكة الموصى به عادةً لمصادر غاما المختلفة. ينطبق الجدول على الفولاذ. إذا تم استخدام أشعة غاما على عينات رقيقة يمكن أيضاً تصويرها بالأشعة السينية لأسباب تتعلق بالراحة أو للسهولة، فيجب أن يكون مفهوماً أن الصور الشعاعية الناتجة ستكون أقل جودة مقارنة بالأشعة السينية.

Source type	Standard sensitivity technique in mm	High sensitivity technique in mm
Co60	30 - 200	60 - 150
Ir192	10 - 80	20 - 70
Se70	5 - 40	10 - 30
Yb169	1 - 15	3 - 10
Tm170	1 - 10	4 - 8

الجدول 3 مجال السماكة بالمليمتر لفحص الفولاذ مع الأنواع المعتادة لمصادر غاما.

ملاحظة: تسمح الحساسية القياسية (Standard sensitivity) بجودة صورة أضعف قليلاً من الحساسية العالية (high sensitivity). وبالتالي يمكن فحص مجال سماكة أكبر للتوافق مع متطلبات الجودة.

## 6. قساوة الإشعاع وتباين الفيلم Radiation hardness and film contrast



عندما تزداد قساوة الإشعاع ، تزداد أيضاً سماكة نصف القيمة (Half-Value Thickness (HVT). هذا هو السبب في تباين الصورة في جسم ذي سماكة مختلفة عندما تزداد قساوة الإشعاع. يوضح الشكل 6-1 هذا بوضوح. يتم تصوير الجانب الأيسر من المسطرة المدرجة بـ 150 كيلو فولت ، بينما يتم تصوير الجانب الأيمن بـ 80 كيلو فولت. يظهر الجانب الأيمن التباين الأكبر بين درجتي خطوة، يظهر على اليسار مجال تباين أكبر.

الشكل 6-1. أشعة سينية لمسطرة متدرجة بـ 150 كيلو فولت (يسار) و 80 كيلو فولت (يمين).

## 7. مجال سماكة الجدار

باستخدام Se 75 يمكن تصوير سماكة جدار 5 مم كحد أدنى من الفولاذ و القصوى تبلغ 30 مم كسماكة اقتصادية. تفوق مصادر أشعة غاما عموماً مصادر الأشعة السينية من حيث التباين لسماكة الجدار التخينة فقط. ومع ذلك ، يجب النظر في المزايا العملية والاقتصادية لمصادر غاما مقارنة بالأشعة السينية.

تم قبول انخفاض التباين من أجل استخدام الـ Ir 192 عندما تستخدم النظائر لاختبار الجدران المنخفضة السماكة. يمكن أن يوفّر الـ Se 75 نفس التباين عند سماكة جدار أقل عند مقارنته بالـ Ir 192 ، أو يوفّر قيمةً محسّنةً لنفس سماكة المادة.

السماكات التقريبية عند استخدام الـ Ir 192 بالتصوير الشعاعي:

الخرسانة: ما يصل إلى ~ 8 إنش ( 200 مم )

الفولاذ: ( 0.39 - 3.54 ) إنش ( 10 - 90 مم ) وفقاً لمعيار ISO 5579: 2013.

النظير المشع Cobalt-60 (Co-60) للتصوير الشعاعي بأشعة غاما.

سماكة الفولاذ: 2.0–6.0 إنش (50-150 مم)

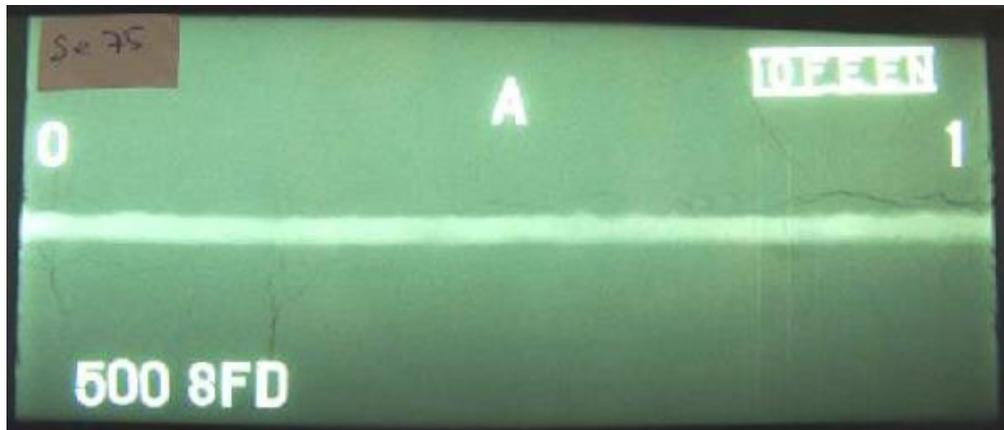
سماكة الخرسانة: من 10 إلى 40 إنش (200-1000 مم)

Isotope	Se-75	Ir-192	Co-60	Yb-169	Cs-137
Gamma Energy Range	66-401keV	206-612keV	1.17-1.33MeV	8-308keV	N/A
Half-Life	120 Days	74 Days	5.27 Years	32 Days	30 Years
Approximate Steel Working Thickness	3-29mm	12-63mm	50-150mm	2-20mm	N/A

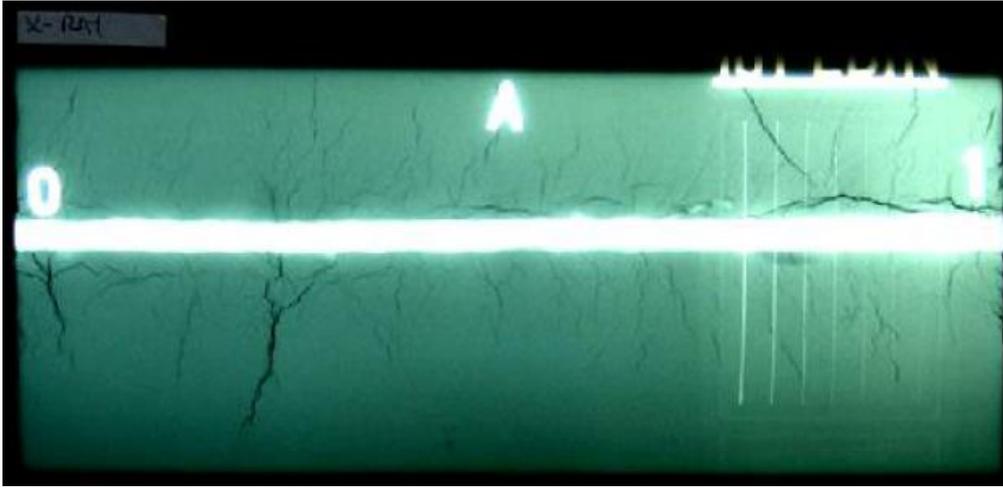
الجدول 4 منابع غاما و خواصها

تُظهر القياسات باستخدام Se 75 أن عدم الوضوح الهندسي (الضبابية أو نقص التحديد الناتج عن حجم المصدر) يفي بمتطلبات AS 2177 و ASME V.

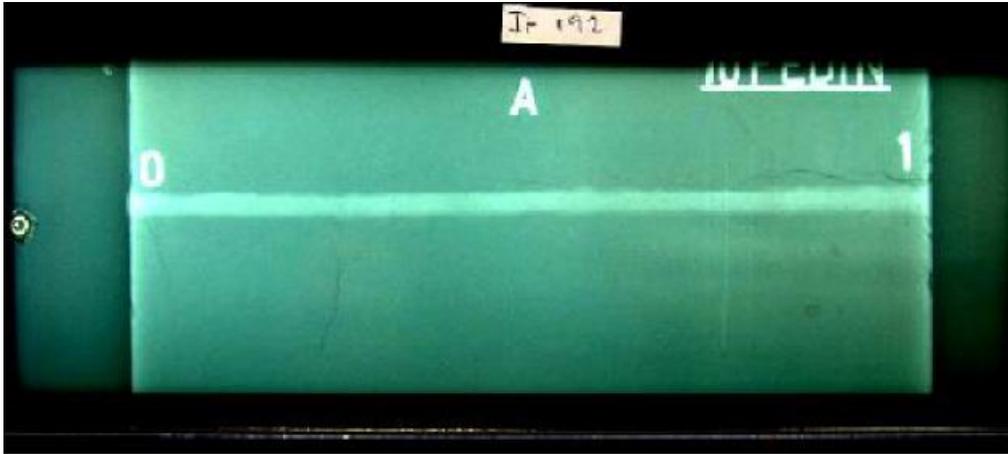
تؤكد القياسات باستخدام Se 75 ومؤشرات جودة الصورة السلكية (IQI) المقابلة لـ AS 2314 نتائج قياسات التباين. علاوة على ذلك ، تُظهر هذه النتائج ميزة تناسبية مفرطة لـ Se 75 مقارنةً بـ Ir 192 في مجال سماكات الجدران المنخفضة. يمكن تفسير ذلك من خلال انخفاض عدم الوضوح المتأصل للفيلم لإشعاع الـ Se 75 نظراً لانخفاض طاقته الطيفية مقارنةً بالـ Ir 192.



العينة 1 - صورة شعاعية بالـ Se 75



العينة 2 - صورة شعاعية بالأشعة السينية



العينة 3 - صورة شعاعية بالـ Ir 192

الشكل 7-1. اختلاف التباين باختلاف المنبع

$\sqrt{^*}$  تم ملاحظة خيال الكسر/ حدوديته بشكل أكثر وضوحاً ، والتفسير كان أسهل مقارنةً بالـ Ir 192 ولكن لم يتم تحديده جيداً و ملاحظته مثل صورة الأشعة السينية.  
 $\sqrt{^{**}}$  تم ملاحظة الكسر (SCC) ولكنه بأقل وضوحاً من الصور الشعاعية بالأشعة السينية للصفحة. تُظهر الصورة الشعاعية بالـ Se 75 تحسّن التباين مقارنة بصورة الأشعة الـ Ir192.

أظهرت النتائج تحسناً في الكشف عن عيوب اللحام باستخدام الـ Se 75 مقارنةً بالـ Ir 192. ويمكن ملاحظة أن نتائج التصوير الشعاعي بالـ Se 75 تتفوق على بالـ Ir 192 في التصوير الشعاعي للمواد الرقيقة (5 مم).

يعتبر التصوير الشعاعي بالأشعة السينية متفوقاً في الكشف عن التشققات مقارنة بكلٍ من الـ Se 75 و الـ Ir 192.

كما تم إجراء تصوير شعاعي إضافي على عينات مختلفة. توضح نتيجة ذلك أيضاً زيادة حساسية التصوير الشعاعي والتباين في الـ Se 75 مقارنةً بالـ Ir 192

## 8. وضوح العيب وجودة الصورة Defect discernibility and image quality

تتحكم ثلاثة عوامل في تمييز العيوب في التصوير الشعاعي:

1. التأثيرات الهندسية:

- حجم المصدر المشع
- المسافة من المصدر إلى الجسم
- المسافة بين العيب والفيلم

2. خصائص الفيلم (تحكم جودة الصورة):

• الحبيبية (Graininess)

• التباين (Contrast)

• الضبابية (Fog)

• عدم الوضوح المتأصل

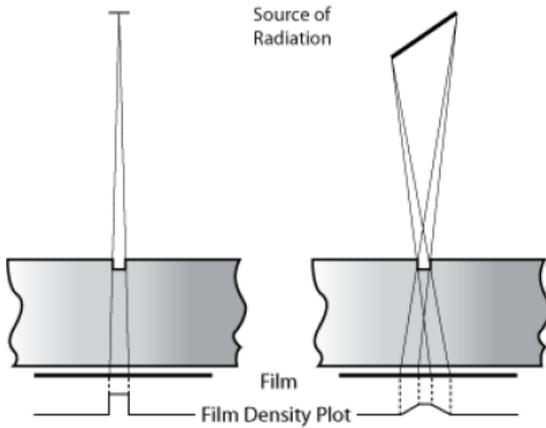
3. جودة الإشعاع المطبق.



الشكل 8-1. عدم وضوح هندسي

## 1.8 عدم الوضوح (حدودية سيئة) Unsharpness

### 1.1.8 عدم وضوح هندسي Geometric unsharpness



الشكل 8-2 عدم وضوح هندسي, بسبب قطر المنبع ، S

يحدث القليل جداً من عدم الوضوح الهندسي في الصورة. بينما في الفيلم الثاني ، يكون حجم المنبع أكبر والمسارات المختلفة التي يمكن أن تأخذها حزمة الإشعاع من نقطة الأصل في المنبع تتسبب في أن تكون حواف

الأخدود أقل تحديداً.

العوامل الثلاثة التي تتحكم في عدم الوضوح هي:

حجم المنبع، ومسافة المنبع إلى الجسم، ومسافة الجسم إلى الفيلم. نحصل على حجم المنبع من خلال الرجوع إلى مواصفات الشركات المصنعة لمنبع معين للأشعة.

غالباً ما تحتوي أنابيب الأشعة السينية الصناعية على أحجام محرقية تبلغ 1.5

مم<sup>2</sup>.

الشكل 8-3 البؤرة المحرقية في جهاز الأشعة السينية

## Portable Constant Potential X-Ray Units

SMART System	160E/0.4	160E/1.5	160W	200	200E	200GH	200PC	225	225X	300HP
Typical applications/ Special benefits	- Designed for very short FFD e.g. aircraft industry - Especially suited for detection of smaller defects in radioscopic systems	- Suitable for inspection of composite materials, plastics and other easily penetrable materials	- Water cooling - Designed for very short FFD e.g. aircraft industry - Especially suited for detection of smaller defects in radioscopic systems	- Designed for medium-sized steel welds and thick aluminum parts	- Economical version of the SMART 200 with reduced duty cycle performance	- Crawler tubehead meant for OEM-applications - Controlling of the tubehead via customer equipment	- Panoramic X-ray tubehead - Especially suitable for pipeline applications	- Designed for medium-sized steel welds and thick aluminum parts	- Like SMART 225 with an extended kV range down to 25 kV	- Designed for thick-sized steel welds
High voltage Adjustment range Adjustment increments	10-160 kV 1 kV/step	10-160 kV 1 kV/step	10-160 kV 1 kV/step	60-200 kV 1 kV/step	60-200 kV 1 kV/step	50-200 kV 1 kV/step	50-200 kV 1 kV/step	70-225 kV 1 kV/step	25-225 kV 1 kV/step	60-300 kV 1 kV/step
Tube current Adjustment range Adjustment increments	2.0-6.0 mA 0.1 mA/step	2.0-6.0 mA 0.1 mA/step	2.0-6.0 mA 0.1 mA/step	0.5-4.5 mA 0.1 mA/step	0.5-4.5 mA 0.1 mA/step	0.5-4.5 mA 0.1 mA/step	0.5-4.5 mA 0.1 mA/step	0.5-4.0 mA 0.1 mA/step	0.5-4.0 mA 0.1 mA/step	0.5-3.0 mA 0.1 mA/step
Max. power	640 W	960 W	640 W	900 W	900 W	600 W	600 W	900 W	900 W	900 W
Local spot size Acc. IEC 336 Acc. EN12543	0.4 mm 1.0 mm	1.5 mm 3.0 mm	0.4 mm 1.0 mm	1.5 mm 3.0 mm	1.5 mm 3.0 mm	0.3 x 3.0 mm 4.0 mm (0.4 mm x 4.0 mm)	0.3 x 3.0 mm 4.0 mm (0.4 mm x 4.0 mm)	1.5 mm 3.0 mm	1.5 mm 3.0 mm	1.5 mm 3.0 mm

الشكل 8-4 تنوع أحجام البؤرة المحرقة في أجهزة الأشعة السينية

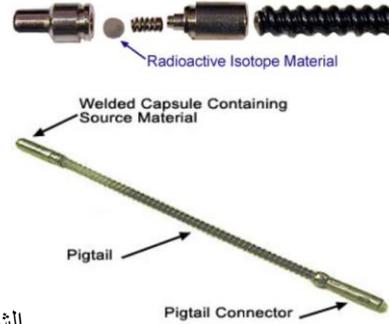
### Activity & Dimensions

#### Nominal Activity: Max Active Dimensions:

120 Ci	Ø3 mm x 3.0 mm
100 Ci	Ø3 mm x 2.5 mm
80 Ci	Ø3 mm x 2.0 mm
70 Ci	Ø3 mm x 2.0 mm
60 Ci	Ø3 mm x 2.0 mm
50 Ci	Ø3 mm x 2.0 mm
40 Ci	Ø2 mm x 1.5 mm
30 Ci	Ø2 mm x 1.0 mm

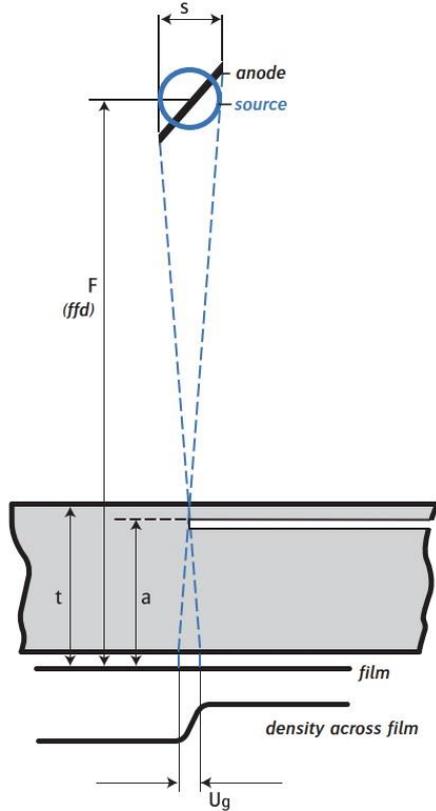
### Specifications – Ir. 192

- Sources: high purity Iridium > 99.9%
- Capsule: Stainless Steel 316 L
- Half-life: 74.0 days
- Special fleet of Type B (u) transport containers
- Type A + B transport containers meet the IAEA transport regulations



الشكل 8-5 تنوع أحجام منابع أشعة غاما و حامل المنبع

مع انخفاض حجم المنبع، يتناقص عدم الوضوح الهندسي أيضاً. بالنسبة لمنبع بحجم معين ، يمكن أيضاً تقليل عدم الوضوح عن طريق زيادة مسافة المنبع إلى الجسم، ولكن هذا يأتي مع انخفاض في شدة الإشعاع.



الشكل 8-6. عدم وضوح هندسي، يظهر قطر المنبع، S ، كبير جداً للوضوح.

عادةً ما يتم التوافق ما بين مسافة الجسم إلى الفيلم بأن تكون كبيرة بقدر الإمكان للمساعدة في تقليل عدم الوضوح الهندسي و الاحتفاظ بزمان تعريض مناسب. تسمح الأشكال أدناه بتخيل عدم الوضوح الهندسي مع تنوع حجم المنبع ومسافة المنبع إلى الجسم ومسافة المنبع إلى الفيلم. المنطقة ذات الكثافة المتغيرة على حافة التفاصيل التي تنتج بسبب العوامل الهندسية تسمى penumbra شبه الظل هو المنطقة الرمامدية التي تظهر في الشكل الصغير.

تتطلب النظم والمعايير المستخدمة في التصوير الشعاعي الصناعي أن تكون الدقة الهندسية محدودة. بشكل عام ، المقدار المسموح به هو 100/1 من سماكة المادة بحد أقصى 1.016 مم (0.040) إنش. تشير هذه القيم إلى درجة ظل الـ penumbra في الصورة الشعاعية.

نظراً لأن الظلال غير محددة جيداً تقريباً كما هو موضح في الشكل (8-7)، فمن الصعب قياسها في صورة شعاعية. لذلك يتم حسابها عادةً. يجب الحصول على حجم المنبع من الشركة المصنعة للمعدات أو قياسه. ثم يمكن حساب عدم الوضوح باستخدام القياسات التي تم إجراؤها من الإعدادات.

في الشكل 8-6 ، بسبب الأبعاد المحدودة للبؤرة المحرقة أو حجم المصدر المشع.

يُعطى حجم عدم الوضوح ،  $U_g$  ، بالمعادلة التالية:  
حيث:

$$U_g = \frac{s \cdot a}{F - a}$$

$s$  هو حجم التركيز الفعال (focus) (أو المنبع)  
 $F$  هي المسافة من التركيز إلى الفيلم (أو من المصدر إلى الفيلم)  
 $a$  هي المسافة من العيب إلى الفيلم

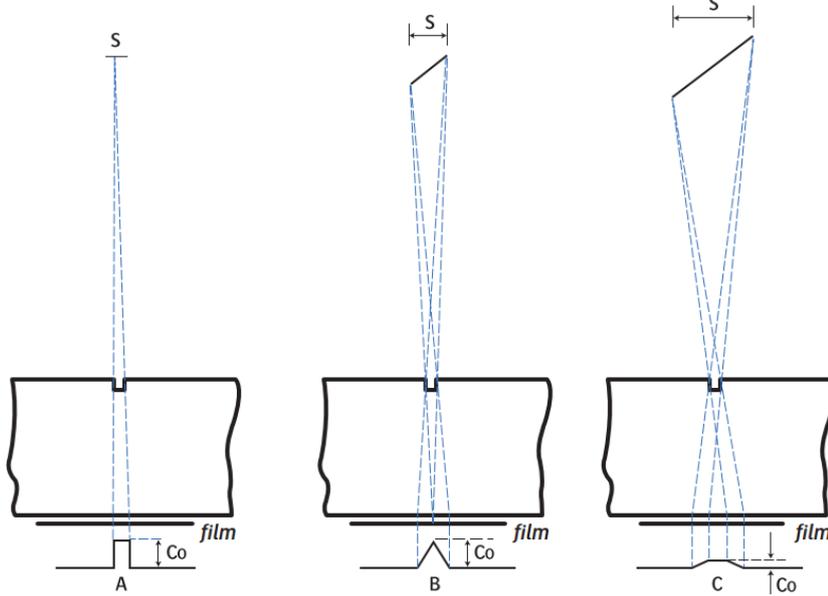
يمكن حساب القيمة القصوى لـ  $U_g$  المرتبطة بعيب يقع على مسافة قصوى من الفيلم (والتي من أجلها  $a = t$ ) من الصيغة:

$$U_g (max) = \frac{s \cdot t}{F - t}$$

حيث:  $t =$  سماكة الجسم

وبالتالي ، يمكن تقليل  $U_g$  إلى أي قيمة مطلوبة عن طريق زيادة مسافة المصدر إلى الفيلم. ومع ذلك ، في ضوء قانون التربيع العكسي ، لا يمكن زيادة هذه المسافة دون قيود ، حيث قد ينتج عن ذلك فترات تعريض طويلة للغاية. تشير الصيغة أيضاً إلى أن عدم الوضوح الهندسي يكتسب أهمية متزايدة مع زيادة المسافة بين العيب والفيلم.

يوضح الشكل 7-8 تأثير عدم الوضوح الهندسي على صورة عيب أصغر من حجم المنبع (التركيز - focus).



- A حجم التركيز نقطي -  $s$  :- لا يوجد عدم وضوح هندسي - نرى العيب على الصورة حاد  
B. حجم التركيز الصغير -  $s$  :- عدم وضوح هندسي  $U_g$  - صورة عيب غير واضحة  
C. زيادة حجم التركيز المحرقى -  $s$  :- لا يزال  $U_g$  كبير - صورة عيب ضبابية وفقدان التباين -  $C_o$  أقل من A و B  
 $C_o =$  التباين

الشكل 7-8. عدم وضوح هندسي: التأثير على صورة عيب صغير.

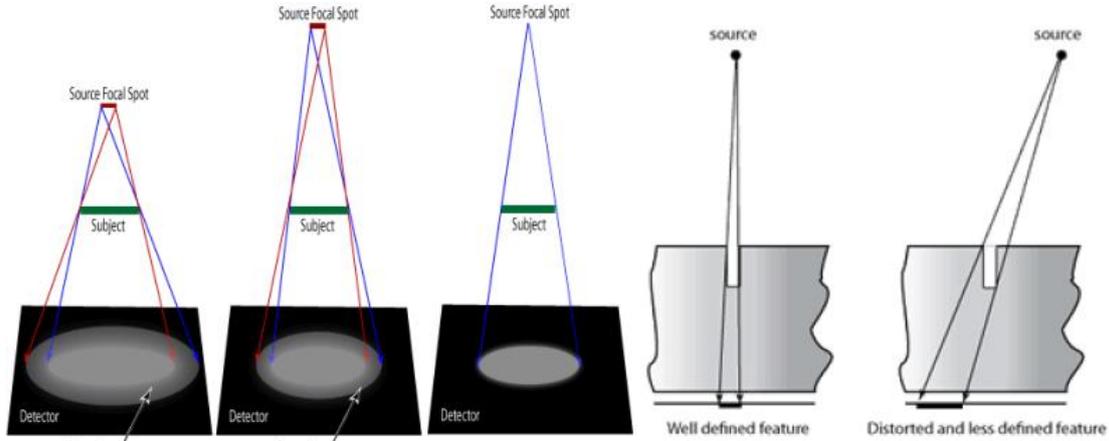
في هذه الحالة ، قد تتداخل الصور غير الواضحة لكل من حافتي العيب ، كما هو موضح في المثال C. والنتيجة هي أن الصورة C لا تصبح غير حادة فحسب ، بل أيضاً تعاني من انخفاض في التباين مقارنة بالصورة A ، المصوّرة من مصدر نقطي و الصورة B المصوّرة من مصدر صغير نسبياً .

**2.8 العوامل الهندسية Geometric Factors** تمت تغطية تأثير حجم المنبع والمسافة من المنبع إلى الفيلم ومسافة العينة إلى الفيلم بالتفصيل في الحديث عن عدم الوضوح الهندسي. ولكن باختصار ، لانتاج أعلى مستوى من التحديد، يجب أن يكون حجم المنبع أقرب ما يكون إلى منبع نقطي قدر الإمكان ، ويجب أن تكون مسافة المنبع إلى الفيلم كبيرة قدر الإمكان ، ويجب أن تكون مسافة العينة إلى الفيلم صغيرة وعملية. يظهر هذا بيانياً في الأشكال أدناه.

يكون للزاوية بين الشعاع وبعض النقاط على الجسم (التفاصيل) تأثير أيضاً على التحديد. إذا كان الشعاع موازياً لحافة أو انقطاعاً بشكل خطي ، فسيتم رؤية حد واضح ومتميز في الصورة. ومع ذلك ، إذا لم يكن الشعاع موازياً للانقطاع ، فستظهر آثاره (التفاصيل) مشوهة ، خارج الموضع الصحيح وأقل تحديداً في الصورة.

ستظهر التغييرات المفاجئة في السماكة و/ أو الكثافة بشكل أكثر تحديداً (وضوحاً) في صورة الأشعة من مناطق التغيير التدريجي. على سبيل المثال الشكل (الشكل 8-8)، نفترض وجود ثلم. أكبر أبعاده سيكون طول الخط الذي يمر عبر المركز. عندما يتم ابعاد المنبع عن خط المركز، تزداد السماكة تدريجياً. من الصعب أحياناً تحديد حافة الفجوة بسبب هذا التغيير التدريجي في السماكة.

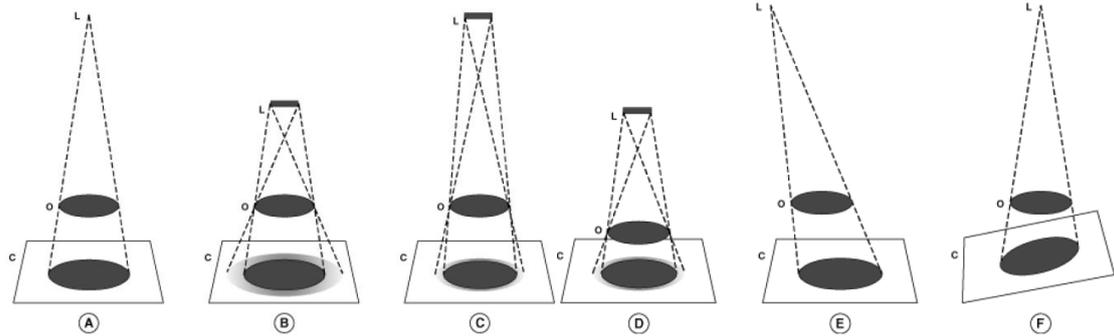
أخيراً ، ستؤدي أي حركة للعينة أو المصدر أو الفيلم أثناء التعريض إلى تقليل التحديد. على غرار التصوير الفوتوغرافي ، ستؤدي أي حركة إلى تشويش الصورة. قد يكون الاهتزاز من المعدات القريبة مشكلة في بعض حالات الفحص.



الشكل 8-8. عدم وضوح هندسي اختلاف موقع المنبع

الشكل 8-9. عدم وضوح هندسي اختلاف حجم المنبع و موقعه

يوضح الشكل 8-10 ، من A إلى F ، تأثير تغيير حجم المصدر وتغيير المواضع النسبية للمصدر والجسم مع الفيلم. من فحص هذه الرسومات ، سيتبين أنه يجب استيفاء الشروط التالية لإنتاج الظل الأكثر حدة وحقيقية للجسم:



1. يجب أن يكون المصدر صغيراً ، أي أقرب شكل نقطي يمكن الحصول عليه. قارن على الشكل A و C.
2. يجب أن يكون المصدر بعيداً عن الجسم بقدر ما هو عملي. قارن على الشكل B و C .
3. يجب أن يكون الفيلم قريباً من الجسم قدر الإمكان. قارن على الشكل B و D.
4. يجب توجيه الأشعة بشكل عمودي على سطح الفيلم. انظر على الشكل A و E.
5. يجب أن يكون مستوى الجسم ومستوى الفيلم متوازيين. قارن على الشكل A و F.

الشكل 8-10. توضيح المبادئ الهندسية العامة لتشكيل الخيال

### 3.8 عدم الحدودية المتأصلة Inherent

ليس فقط بلورات هاليد الفضة المعرّضة مباشرة للإشعاع تتشكّل إلى حبيبات من الفضة ، ولكن أيضاً (وإن كان بدرجة أقل) الحجم المحيط للمستحلب. تمثل هذه المنطقة المقطعية "عدم الحدودية المتأصلة" أو "عدم حدودية الفيلم"  $U_f$  .

لذلك ، حتى في حالة عدم وجود عدم حدودية هندسية، إذا كانت طاقة الإشعاع عالية بما فيه الكفاية، يمكن أن يحدث عدم حدودية في الفيلم: ما يسمى "عدم الحدودية المتأصلة". إذا تم تصوير صفيحة اختبار فولاذية ذات انتقال سماكة حاد بأشعة سينية عالية الطاقة ، فسيكون هناك انتقال تدريجي لكثافة الفيلم عبر صورة "الدرجة" من A إلى B.

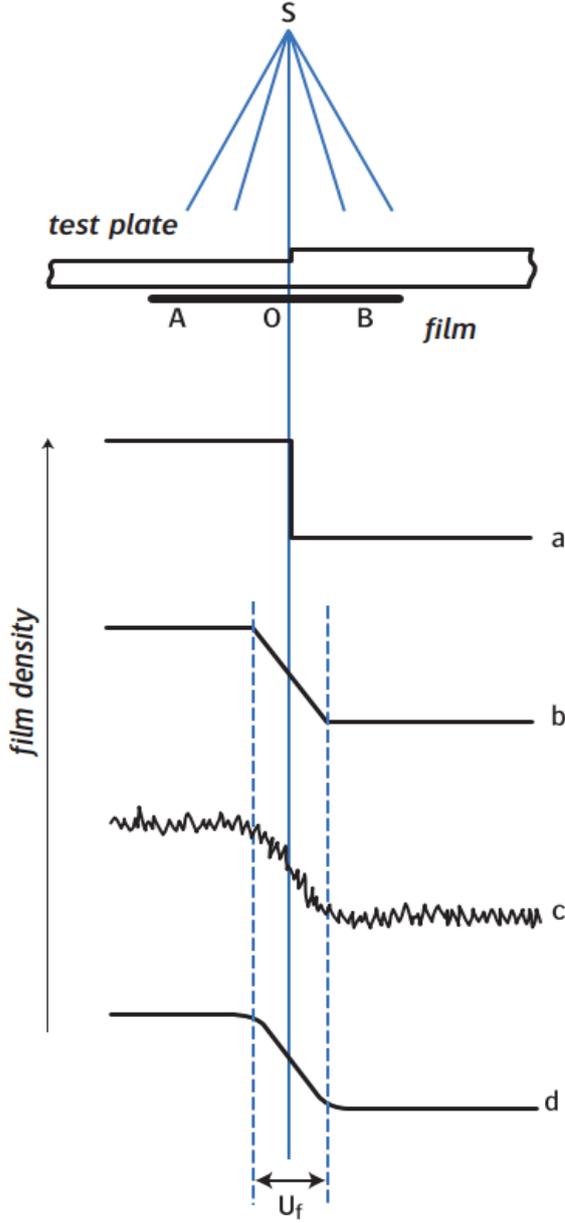
بدون عدم وضوح متأصل ، سيُظهر الفيلم انتقالاً حاداً تماماً بين كثافتين ، كما هو موضح في الشكل 8-11 a.

من أجل الوضوح ، يتم تكبير منحنيات الكثافة على طول المحور السيني.

(a) توزيع الكثافة عبر صورة الحافة الحادة ، بافتراض  $U_f = 0$

(b) و (c) توزيع الكثافة بسبب عدم حدودية الفيلم

(b) النظرية ؛ (c) مع الحبيبية ؛ (d) منعمة.

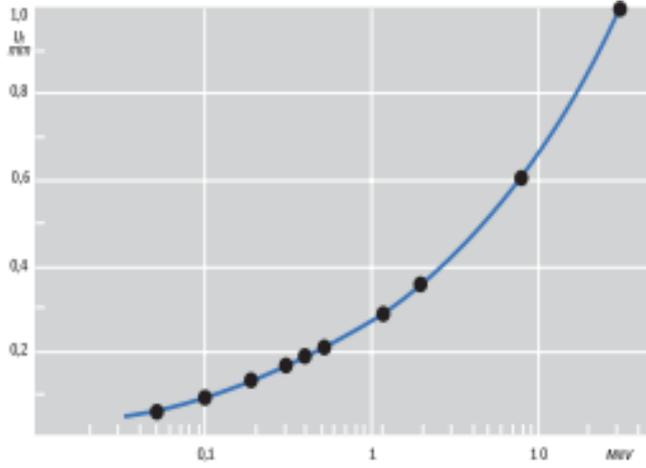


الشكل 8-11. عدم وضوح (فيلم) متأصل في الأشعة السينية وغاما.

في الممارسة العملية ، تتغير الكثافة عبر الصورة كما في الشكل 8-11 (b, c, d). عرض هذه المنطقة الانتقالية ( $U_f$ ) ، معبراً عنه بالمليمتر ، هو مقياس لعدم وضوح الفيلم. يوضح الجدول 5 والشكل 8-12 القيم المحددة تجريبياً لعدم الحدودية المتأصلة للفيلم المعرّض عند مستويات طاقة إشعاعية مختلفة.

تستند هذه القيم إلى استخدام المرشحات وشاشات التعزيز الرصاصية الرقيقة ؛ تنتج الشاشات الأكثر سمكاً قيمة أعلى قليلاً. في حالة عدم استخدام شاشات الرصاص ، يكون  $U_f$  أصغر بـ 1.5 إلى 2 مرة. تتأثر  $U_f$  بشكل أساسي بكثافة الإشعاع ونوع شاشات التعزيز المستخدمة؛ لا يكاد يكون لنوع الفيلم أي نتيجة.

المسافة بين الفيلم وشاشة التعزيز ذات أهمية كبيرة لقيمة  $U_f$  . يُعد الاتصال الجيد بين الفيلم والشاشة التعزيز أمراً ضرورياً ويمكن تحقيقه عن طريق التعبئة الفراغية (vacuum-) (packing) للفيلم والشاشات معاً.



Radiation energy	U <sub>f</sub> in mm
50 kV	0.05
100 kV	0.10
200 kV	0.15
400 kV	0.20
2 MeV	0.32
8 MeV	0.60
31 MeV	1.00
Se75 (320 keV)	0.18
Ir192 (450 keV)	0.25
Co60 (1.25 MeV)	0.35

الشكل 12-8. تمثيل رسومي للجدول 11-1. قيم U<sub>f</sub> لـ الأشعة X - وأشعة غاما عند زيادة طاقات الإشعاع

الجدول 5. القيم التجريبية لعدم وضوح حدودية الفيلم U<sub>f</sub> عند طاقات إشعاعية مختلفة باستخدام شاشة تعزيز الرصاص

من المعلومات الواردة أعلاه يمكن استنتاج أن U<sub>f</sub> يزداد مع الطاقات الإشعاعية العالية.

#### 4.8 عدم الوضوح الكلي Total unsharpness

يتم تحديد Total film unsharpness U<sub>t</sub> من خلال الجمع بين U<sub>f</sub> و U<sub>g</sub>. لا يمكن إضافة القيمتين فقط للوصول إلى رقم لـ U<sub>t</sub>. من الناحية العملية، تنتج الصيغة التالية أفضل تقريب لعدم الوضوح الكلي للفيلم U<sub>t</sub>:

$$U_t = \sqrt{U_g^2 + U_f^2}$$

بشكل عام، إذا كانت إحدى قيم عدم الوضوح (U<sub>f</sub> أو U<sub>g</sub>) أكثر من ضعف القيمة الأخرى، فإن إجمالي عدم الوضوح يساوي أكبر قيمة مفردة؛ إذا كانت قيمتا عدم الوضوح متساويتين، يكون عدم الوضوح الكلي حوالي  $1.4 = \sqrt{2}$  القيمة الفردية. إذا لزم الأمر، يمكن تقليل U<sub>g</sub> عن طريق زيادة مسافة المنبع إلى الفيلم (focus-to-film). لا يمكن القيام بذلك إلا على مجال محدود لأنه، بسبب قانون التربيع العكسي، ستصبح أزمنا التعريض طويلة للغاية. كحل وسط، يتم اختيار المسافة (focus-to-film) المثلى للفيلم F بحيث يكون U<sub>f</sub> = U<sub>g</sub>.

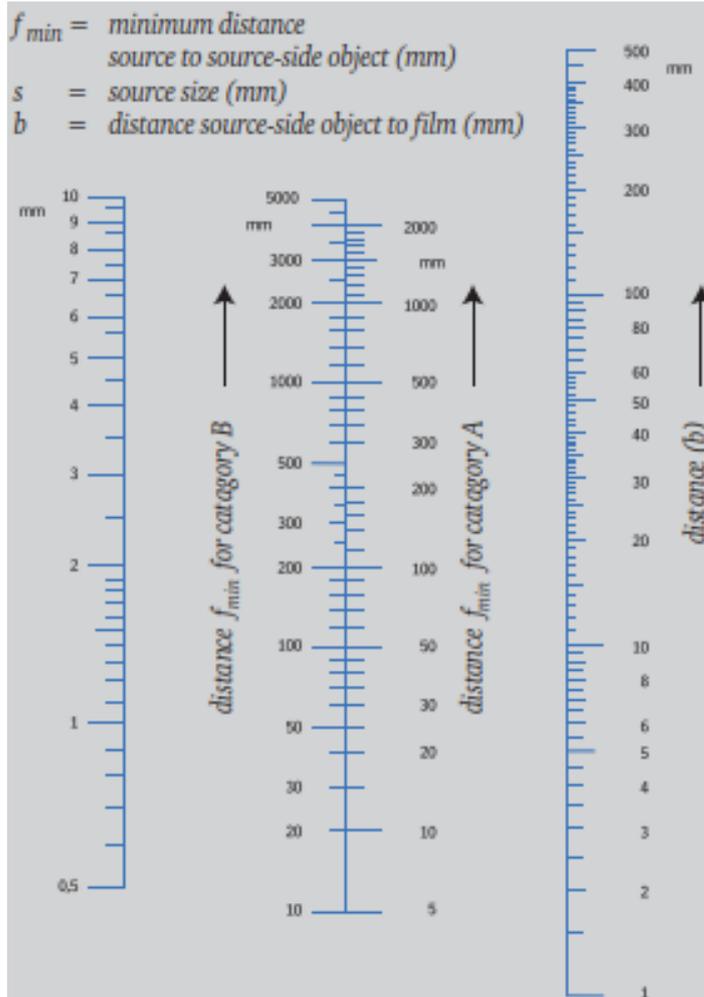
#### 5.8 تحديد المسافة من المصدر المشع إلى الفيلم

درسنا تأثيرات عدم الوضوح الهندسي وإمكانية التأثير على ذلك من خلال ضبط المسافة من المصدر المشع إلى الفيلم. لذلك يمكن القول بأنه: يجب الحفاظ على عدم الوضوح الكلي إلى أدنى حد ممكن للحصول على صورة شعاعية حادة قدر الإمكان، لإظهار أقصى قدر من التفاصيل، ومرشدنا لذلك هو مستوى الطاقة الإشعاعية المحدد لصنع الصورة الشعاعية. بعد كل شيء، يحدّد من قبل سماكة المادة المراد تصويرها شعاعياً، وهو في نفس الوقت مسؤول عن عدم وضوح الفيلم U<sub>f</sub> أيضاً، والذي يمكن استخراجه من الجدول 5 و / أو الشكل 12-8.

لا فائدة من محاولة إبقاء عدم الوضوح الهندسي U<sub>g</sub> أقل بكثير من قيمة U<sub>f</sub>، في هذه الحالة، تحدد U<sub>f</sub> عدم الوضوح الكلي U<sub>t</sub> على أي حال. إذا كان الهدف هو جعل عدم الوضوح الهندسي U<sub>g</sub> مساوياً لقيمة U<sub>f</sub>، فإن مسافة الفيلم إلى المصدر المشع (F) المطلوبة يمكن حسابها من الصيغة التالية:

$$F = \frac{t(U_t + 1.4s)}{U_t}$$

حيث: F = المسافة من المصدر المشع إلى الفيلم



$U_t$  = عدم الوضوح الكلي  
 $t$  = سماكة الجسم  
 $s$  = حجم المصدر المشع الفعّال  
 جميع القياسات بالمليمتر.  
 بدلاً من حساب  $F$  ، تُوفّر الاجراءات والإرشادات المختلفة المستندة إلى الكود رسومات بيانية يمكن من خلالها تحديد الحد الأدنى للمسافة ( $F_{min}$ ). يوضح الشكل 8-13 مخططاً توضيحياً على أساس EN 1435 ، والذي يمكن من خلاله استخلاص الحد الأدنى لمسافة التركيز لمستويين من الجودة (الفئة A و B).

$f_{min}$  = المسافة الدنيا من المنبع إلى الجسم جهة المنبع (مم)  
 $s$  = حجم المصدر المشع (مم)  
 $b$  = المسافة من الجسم جهة المنبع إلى الفيلم (مم)

الفئة A - تطبيقات أقل أهمية (تقنيات عامة)  
 الفئة B - تقنيات ذات متطلبات عالية للتمييز التفصيلي

الشكل 8-13. مخطط للحد الأدنى من مسافة المصدر المشع إلى الفيلم  $f_{min}$  وفقاً لمعايير EN 1435.

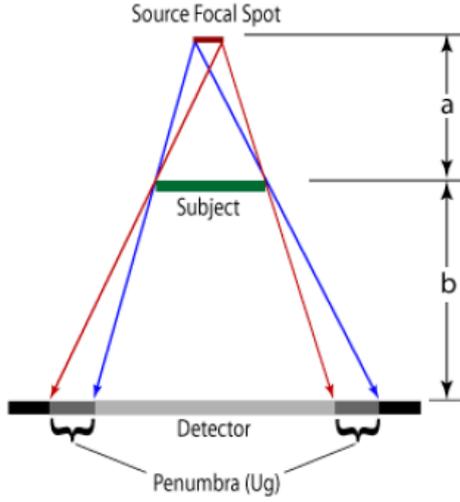
## 9 ملخص العوامل التي تؤثر على جودة الصورة

العوامل التي تؤثر على جودة الصورة هي:

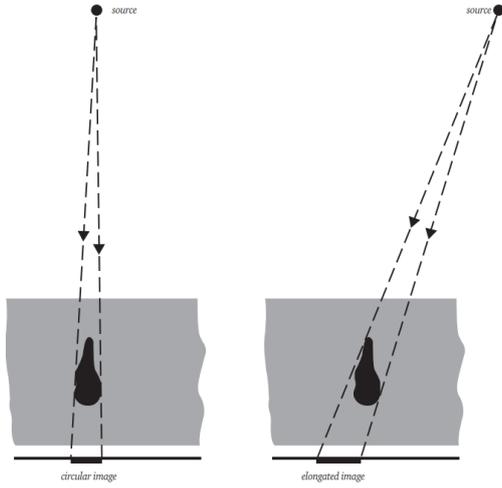
1. التباين Contrast

2. عدم وضوح الحدود Unsharpness

3. الحبيبية Graininess



الشكل 9-1. عدم وضوح الحدود



الشكل 9-2. تشوه خيال تجويف الغاز بسبب اتجاه الحزمة

1 يعتمد التباين على:

- طاقة الإشعاع (القساوة)
- اختلاف السماكة
- التشتت و التبعثر الخلفي
- الشاشة الأمامية والخلفية
- تركيبية فيلم – الشاشة

• اتصال الشاشة بالفيلم

• موقع العيب والعمق والاتجاه

2 يعتمد عدم وضوح الحدود على:

- حجم المصدر
- سماكة الجسم
- المسافة من المصدر المشع إلى الفيلم
- طاقة الإشعاع (القساوة)
- تركيبية فيلم – الشاشة
- اتصال الشاشة بالفيلم

3 تعتمد الحبيبية على:

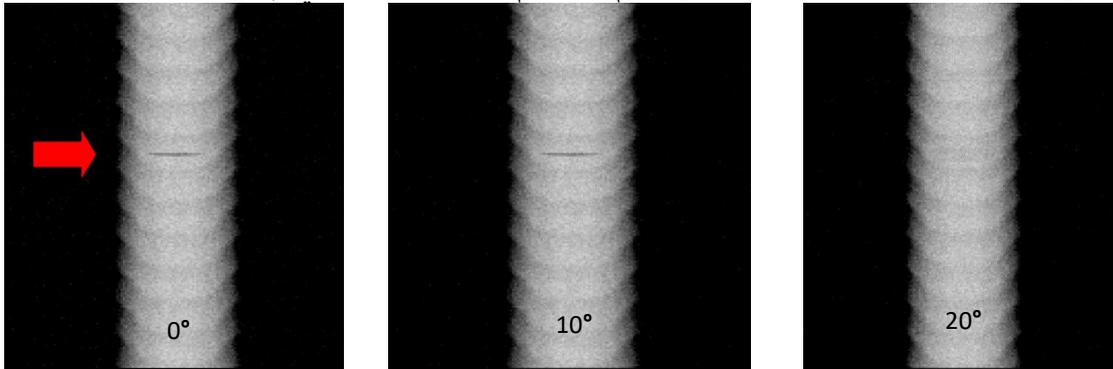
- نوع الفيلم
- نوع الشاشة

• إجراءات التحميض

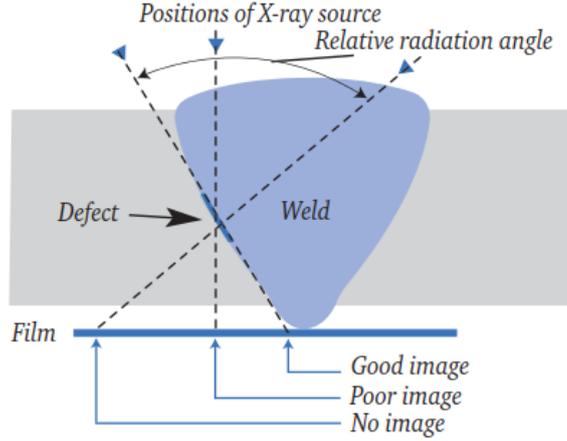
• طاقة الإشعاع (القساوة)

### 1.9 اتجاه العيب:

نظراً لأن الزاوية بين حزمة الإشعاع والكسر أو أي عيب خطي آخر أمر بالغ الأهمية ، يجب أن يكون اتجاه العيب معروفاً جيداً إذا كان سيتم استخدام التصوير الشعاعي لإجراء الفحص.



الشكل 9-3. عدم رؤية خيال كسر بسبب اتجاه الحزمة

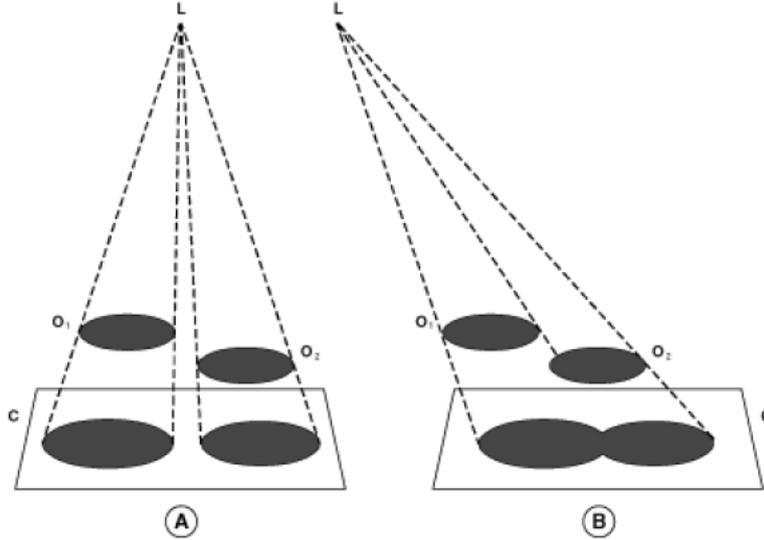


الشكل 9-4. تكوين الصورة مقابل زاوية الإشعاع النسبية

### 3.9 الظلال الإشعاعية (الخيال):

يجب إعطاء المبادئ الأساسية لتشكيل الظل الاعتبار الأساسي من أجل ضمان الحدة المرضية في الصورة الشعاعية والتحرر الأساسي من التشويه. ستوجد درجة معينة من التشويه الطبيعي في كل صورة شعاعية لأن بعض الأجزاء ستكون دائماً بعيدة عن الفيلم أكثر من غيرها ، ويكون أكبر تكبير واضحاً في صور تلك الأجزاء على أكبر مسافة من سطح الفيلم (انظر الشكل 9-5).

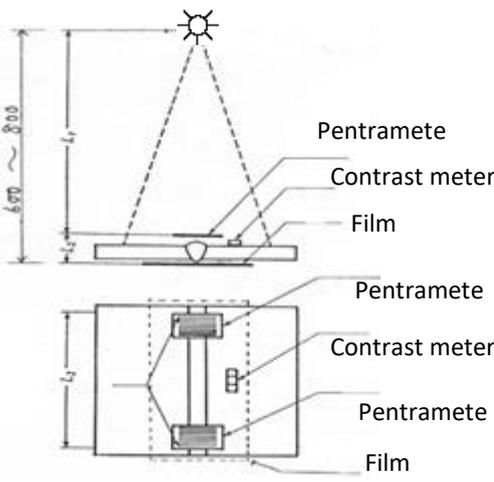
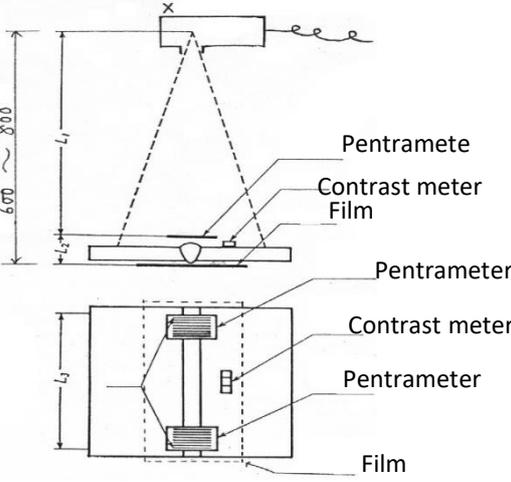
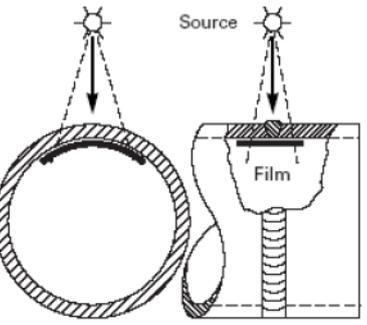
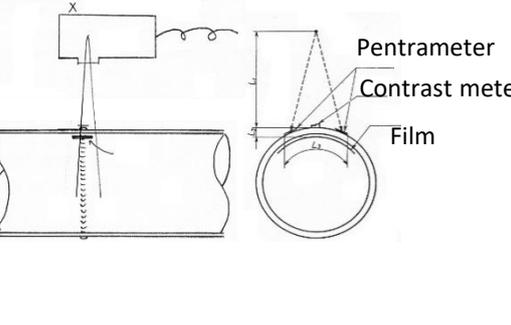
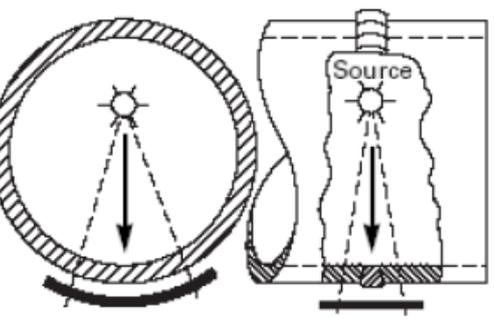
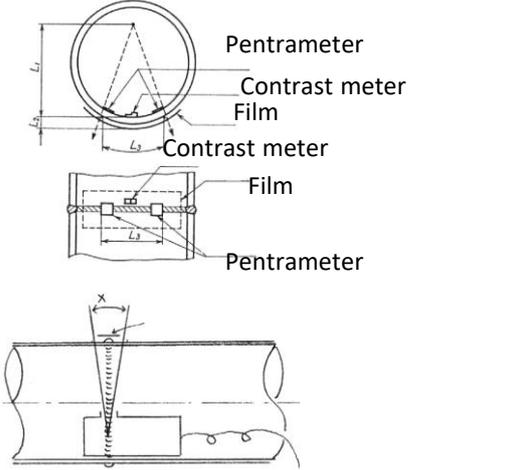
لاحظ أيضاً أنه لا يوجد تشويه للشكل في الشكل 9-5 A . تم عرض جسم دائري كظل دائري. ومع ذلك ، في ظل ظروف كتلك الموضحة بالشكل السابق 7-8 ، من الممكن تشويه العلاقات المكانية. في الشكل 9-4 ، يمكن اظهار الجسمين الدائريين إما كدائرتين (انظر الشكل 9-5 A) أو كظل على شكل قطع ناقص (الشكل 9-5 B). يجب ملاحظة أن كلا قسمي القطع الناقص لهما مخطط دائري مشوه متداخل.

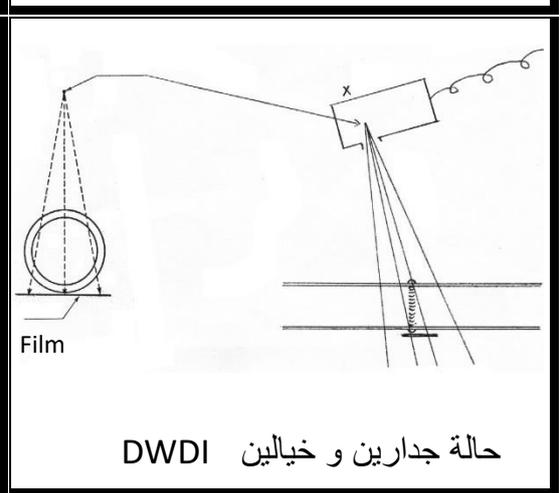
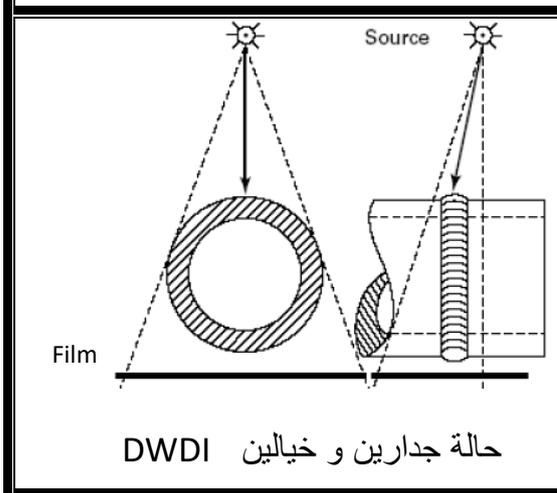
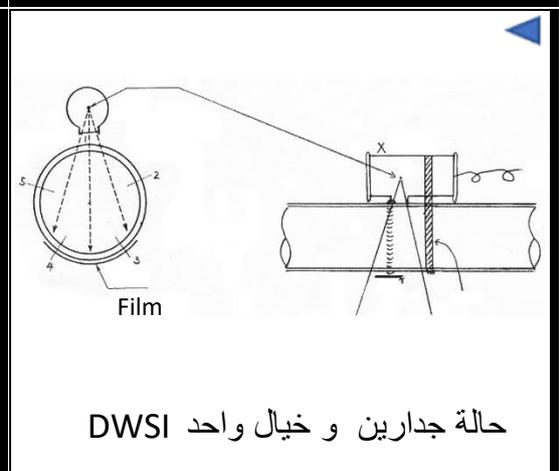
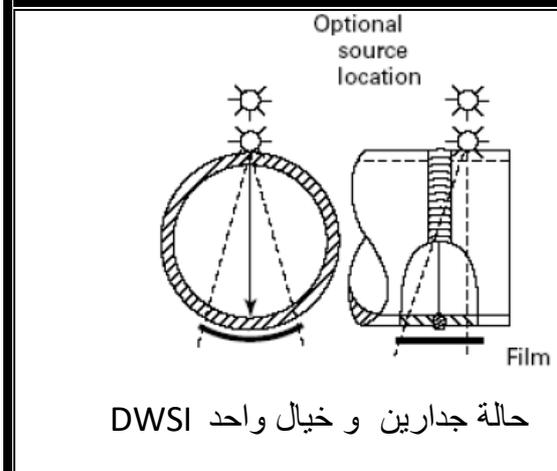
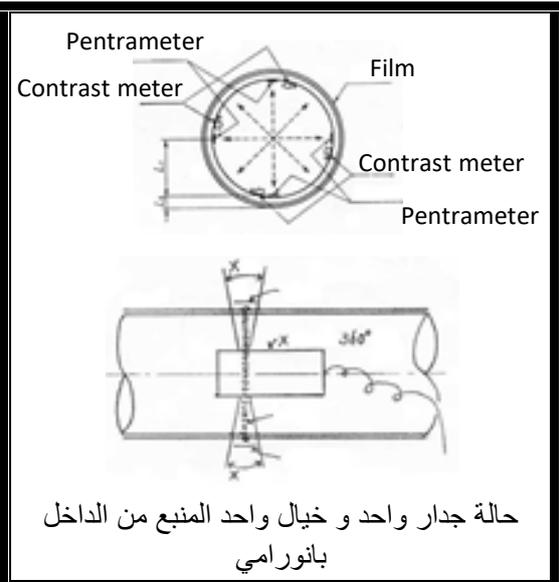
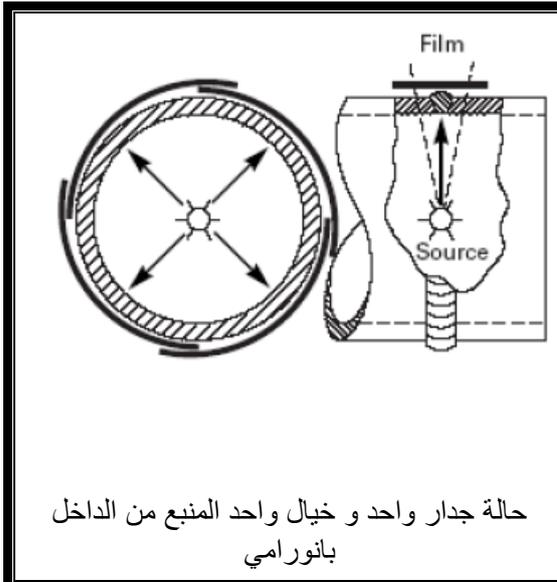


الشكل 9-5: يمكن عرض جسمين دائريين في شكل دائرتين منفصلتين (A) أو دائرتين متداخلتين (B) ، حسب اتجاه الإشعاع.

لا يمكن القضاء على التشويه تماماً ، ولكن باستخدام مسافة مناسبة من فيلم إلى المصدر ، يمكن تقليله إلى درجة لن يكون فيها موضع اعتراض في الصورة الشعاعية.

10. تقنيات التعريض الشعاعي بأجهزة الأشعة السينية و كاميرات أشعة غاما:

تقنيات التصوير بكاميرات أشعة غاما:	تقنيات التعريض الشعاعي بأجهزة الأشعة السينية
 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد - SWSI</p>	 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد - SWSI</p>
 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد - SWSI</p>	 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد - SWSI</p>
 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد الفيلم من الداخل</p>	 <p>حالة جدار واحد و خيال واحد الفيلم من الداخل</p>





الشكل 5-12: كاميرا غاما في الموقع



الشكل 6-12: كاميرا أشعة سينية في الموقع