

الفصل السابع

التصوير الشعاعي الصناعي

٧ - ١ المقدمة

أكتشف العالم رونتنجن في أحد جامعات المانيا عام ١٨٨٥ الأشعة السينية بطريقة الصدفة عندما كان يطور انابيب الاشعة الكاثودية ولاحظ انبعاث أشعة متفلورة من بعض المواد القريبة من هذه الأنابيب حتى عندما يحجز الاشعاع المنبعث من هذه الأنابيب بطبقة سميكة من الورق . واستطاع رونتنجن استخدام هذه الأشعة في الصناعة عندما قام بتصوير مجموعة من العيارات داخل صندوق معدني . استخدمت هذه الأشعة في الطب فبعد ستة أشهر من اكتشاف رونتنجن أستطاع مجموعه من الاطباء الجراحين تصوير أحد الطلقات النافذة في جسم أحد الجنود . ولم تستخدم الاشعة السينية في الصناعة بشكل واسع إلا بعد ١٩١٣ عندما صمم وصنع المهندس كولدم انبوية للاشعة السينية مفرغة من الهواء وتعمل تحت فرق جهد يصل الى ١ كيلو فولت. شكل (٧-١) .

شكل (٧ - ١) بدايات استخدام الاشعة السينية في التصوير الصناعي



وفي عام ١٩٣١ تقدم استخدام الاشعة السينية في الصناعة بتصنيع انابيب للاشعة السينية تعمل بجهد يصل إلى ٢٠٠ كيلو إلكترون فولط والتي في إمكانها تصوير قطع سميكة من الحديد. وفي نفس العام استطاعت الجمعية الأمريكية للهندسة الميكانيكية (ASME) من تصوير اللحام لأحد اوعية الضغط .

وبعد اكتشاف الاشعة السينية أكتشف العالم بيكرل عام 1896 أشعة أخرى وهي أشعة جاما المنبعثة عن بعض العناصر الطبيعية المشعة. أهم هذه العناصر هو مركبات اليورانيوم التي لها قابلية على اختراق الأجسام. وبطريق الصدفة وضع هذه المركبات مع ألواح فوتوغرافية في داخل أحد خزانات مكتبة وفي اليوم التالي وعندما قام بتحميم الألواح الفوتوغرافية وجد أنها تحتوي على بعض

الظلال السوداء، واستنتج بيكرل بأن أملاح اليورانيوم تبعث بإشعاعات ذات قوة اختراق كبيرة تؤدي إلى اسوداد الأفلام.

وفي نفس الفترة الزمنية اوبعدها بسنتين استطاعت عالمة كيوري اكتشاف عنصر مشع سمي البلونيوم نسبة إلى وطنها الأصلي بولونيا ثم اكتشفت كيوري عنصر مشع آخر هو الراديوم (العنصر المضيء) كل من البلونيوم والراديوم أكثر نشاطاً إشعاعياً من اليورانيوم.

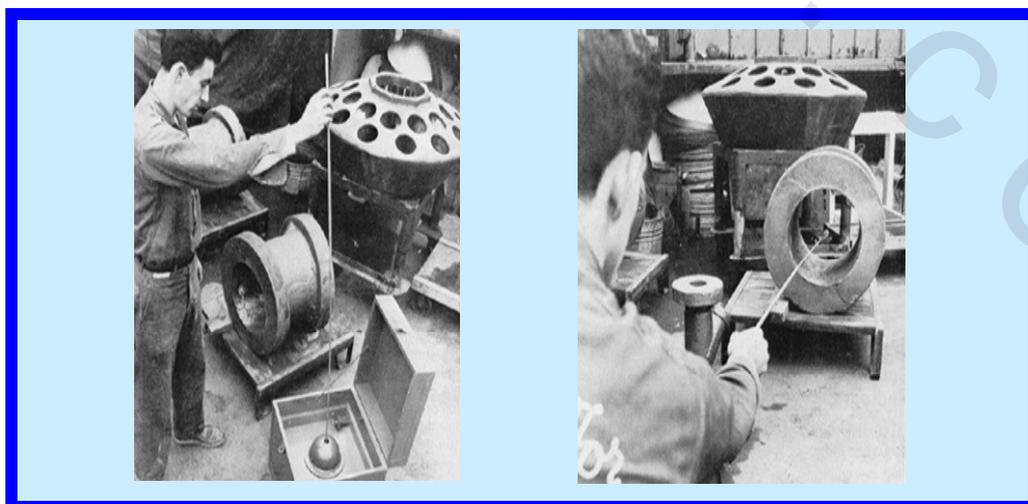
استخدم اليورانيوم كمصدر مشع باعث لأشعة جاما في الصناعة وخاصة خلال الحرب العالمية الثانية حيث تطور استخدام الإشعاع في الصناعة وخاصة في برنامج بناء السفن.

وبين الاعوام ١٩٣٠ - ١٩٤٦ استخدام المصدر المشع (Ra-226). وبعد ذلك استخدم الكوبلت - ٦٠ والإيريديوم - ١٩٢. شكل (٧ - ٢).

كل من الأشعة السينية وأشعة جاما كان لها استخداماً واسعاً في الصناعة وذلك لطاقتها العالية وقدرتها العالية على الاختراق.

وقد تطورت هذه الطرق بمرور الزمن ففي الوقت الحاضر يمكن الحصول على صور اشعاعية في الصناعة ذات نوعية جيدة باستخدام أفلام سريعة. ثم استخدم في الوقت الحاضر الطريقة الرقمية أي الحصول على صورة من خلال الحاسب بدلاً من الأفلام. وهذا التقدم التكنولوجي قدم للصناعة أجهزة صغيرة قابلة للحمل ، خفيفة يمكنها إنتاج صور ذات نوعية جيدة. واستخدمت هذه التقنيات في شتى الفحوصات ولم تقتصر على فحص اللحام فقط وإنما فحص المصبوبات والأمتعة في المطارات.

شكل (٧-٢) التصوير الصناعي بواسطة اشعة جاما في السنوات الأولى حيث استخدم بين الثلاثينيات والأربعينيات (Ra-226) وبعد الحرب العالمية الثانية استخدم الكوبلت - ٦٠ والإيريديوم - ١٩٢



تطور الفحص الصناعي باستخدام أشعة جاما للفحص بعد استخدام المصادر الصناعية مثل Co-60 والسيزيوم Cs-137 وتوظيف الحاسب بشكل كبير في التصوير والحصول على صور ذات نوعية جيدة يمكن إرسالها من خلال شبكة المعلومات إلى الزبائن .

اهم الطرق المستخدمة في التصوير الصناعي :

- ١ - التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام الأشعة السينية
- ٢ - التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام أشعة جاما
- ٣ - التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام المعجلات
- ٤ - التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام النيوترونات

٢ - ٧ التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام الأشعة السينية

١ - أنابيب الأشعة السينية المحمولة:

يوجد نوعين من اجهزة الاشعة السينية المحمولة المستخدمة في التصوير الصناعي.الاول يسمى الانبوب ذي التشعب المباشر - ألتجاهي (Direct Radiation). وتزود هذه الانابيب بمسدد لغرض تقليل حجم حزمة الاشعة وتركيزها للتصوير فقط. اما النوع الثاني فهو الانبوب ذو التصوير البانورامي شكل (٧ - ٣). يتصل كل أنبوب من الأنابيب بسلك (كيبل) إلى لوحة السيطرة لتزويد الجهاز بالجهد الكهربائي العالي (kV_p) وأقصى تيار (mA) زمن التعرض (S_i). تعتمد الجرعة التي يتعرض لها المصور الشعاعي على طول الكيبل الواصل بين الأنبوب ولوحة السيطرة والذي لا يقل عن ٢٠ متر لأجهزة سينية تعمل على ذروة فولتية ٣٠٠ فولط ويزداد الطول بزيادة ذروة الفولتية. يفضل ان يمتد الكيبل بشكل مستقيم لزيادة المسافة. كذلك تعتمد الجرعة على ثوابت الجهاز (ذروة الفولتية) (kV_p) ، أقصى تيار (mA) ، وزمن التعرض (S_i).

تحتوي لوحة السيطرة على مايلي : شكل (٧ - ٤)

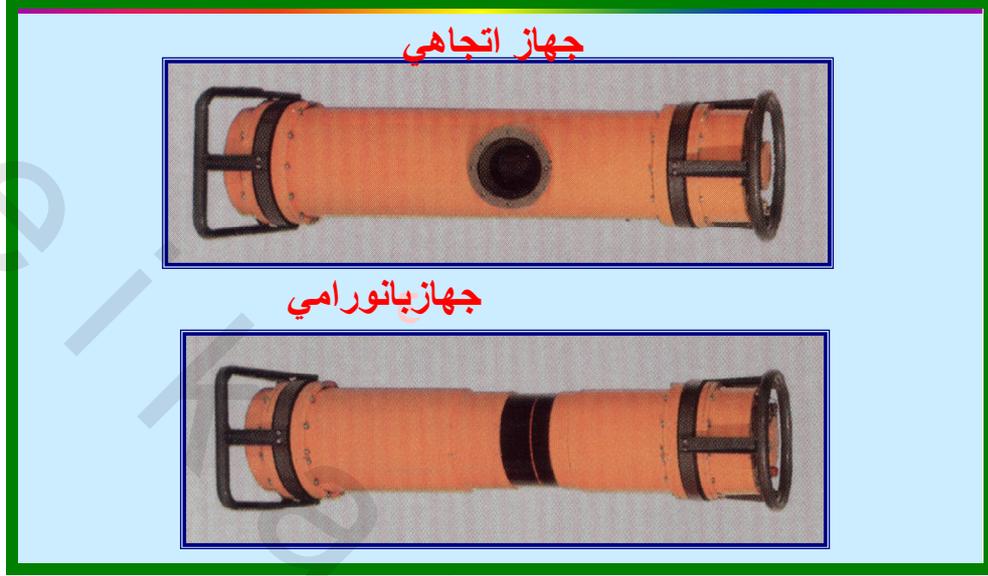
- ١ - لوحات تحذيرية من الاشعاع.
- ٢ - مفتاح لتشغيل الجهاز.
- ٣ - ضوء احمر اللون يضاء عند اشتغال الجهاز.
- ٤ - مؤقت للتحكم بزمن التعرض.
- ٥ - مفاتيح كهربائية لاختيار ثوابت الجهاز.

من العوامل المهمة التي يجب الانتباه لها عند تشغيل أجهزة الأشعة السينية:

١) عندما تكون الفولتية لجهاز الأشعة السينية كبيرة (أكبر من ٥٠٠ كيلوفولط) فاحتمال تسرب الإشعاع من جدار أنبوبة الأشعة السينية يكون كبيرا والذي يؤثر بجرعة إشعاعية على المصور

بالإضافة إلى جرعة الشعاع الرئيسي. معدل الجرعة العظمى المتسربة من الأجهزة التجارية تصل إلى ١٠٠ مايكروسيغرت/ساعة على بعد ١ متر من الجهاز.

شكل (٧ - ٣ -) الأنبوب ذي التصوير المباشر-الاتجاهي والأنبوب ذو التصوير البانورامي



شكل (٧ - ٤) لوحة السيطرة لأجهزة الأشعة السينية



(٢) منظومة أنبوبة الأشعة السينية مثبتة جدا لكي يبقى الجهاز في موضعه أثناء التشغيل حيث لا يهتز ولا يزاح من موقعه أو يتغير اتجاهه. وتكون لوحة السيطرة ومجهر الفولطية العالية مثبتة جيدا قرب الجهاز. شكل (٧ - ٥)

شكل (٧ - ٥) مجموعة من اجهزة الاشعة السينية المستخدمة في التصوير الصناعي ولوحة السيطرة وكيبل الفولطية العالية

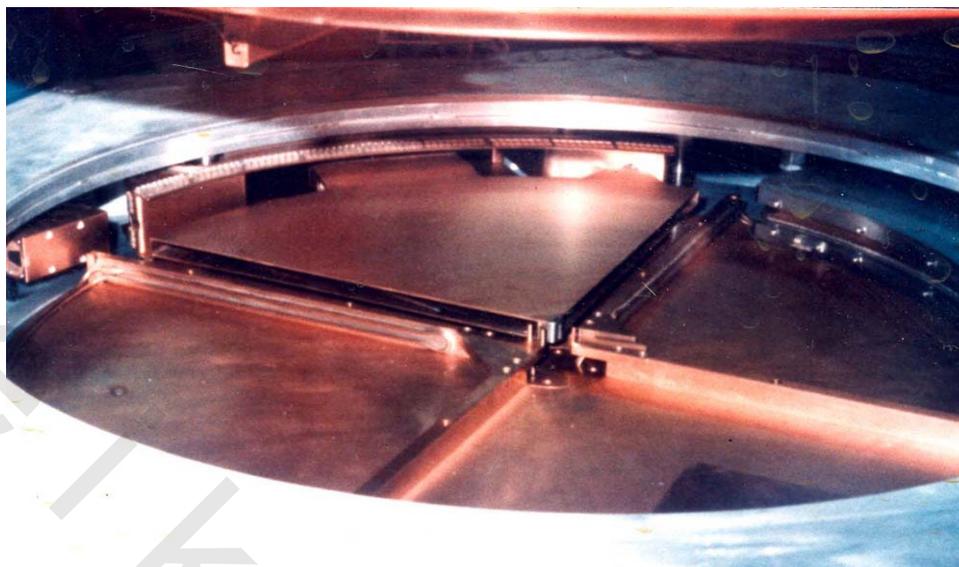


ب- الأشعة السينية المتولدة بواسطة المعجلات:

تستخدم المعجلات لتوليد أشعة سينية ذات طاقة عالية تصل إلى حوالي (٥MeV) لغرض فحوصات الأشعة السينية التي تتطلب قوة اختراق عالية. لغرض لحام المعدات الكبيرة السمكية والمعجلات على أنواع منها:

- ١- المعجل الخطي الذي يكون داخل غرفة مدرعة مجاورة لأجهزة التصوير.
- ٢- المعجل الدائري (السايلكترون) ويكون اصغر من المعجل الخطي ويستخدم لفحص اللحام للمعدات الكبيرة مثل الجسور حيث جرى الفحص في موقعها. ويبنى عملة على تعجيل الجسيمات المشحونة وإسقاطها على هدف فلزي لكي تنبعث منة الاشعة السينية بطاقة كبيرة. شكل (٧ - ٦)
- ٣- معجل متنقل : وهو معجل يمكن نقله إلى منطقة العمل بواسطة عربة نقل كبيرة ويثبت على منظومة متحركة (Gantry) لكي يتم توجيه الإشعاع بشكل دقيق. شكل (٧ - ٧)
- ٤- معجل البيئاترون وهو نوع من المعجلات الصغيرة التي يمكن نقلها على عربة صغيرة ولا تتجاوز كتلتها ١٠٠ كغم مع ملحقاتها.

شكل (٦ - ٦) مقطع عرضي للمعجل الدائري (السايلكترون) توضح اجزاء الديرز (Dees)



٣ - ٧ طبيعة الأشعة السينية:

الأشعة السينية عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تشابه الضوء المرئي ولكنها تتميز بأن طولها الموجي قصير جداً ويصل إلى حوالي $10000/1$ من الطول الموجي للضوء أو أقل من ذلك و ترددها كبير وطاقتها عالية لذلك تكون للأشعة السينية القابلية على اختراق الأجسام وامتصاصها أو انعكاسها من المادة. وتبعث الأشعة السينية من خارج النواة ونتيجة لإعادة ترتيب الالكترونات في مدار الذرة.

شكل (٧ - ٧) معجل محمول (بيتاترون) لتوليد الأشعة السينية للتصوير الصناعي أ - كبير ب صغير



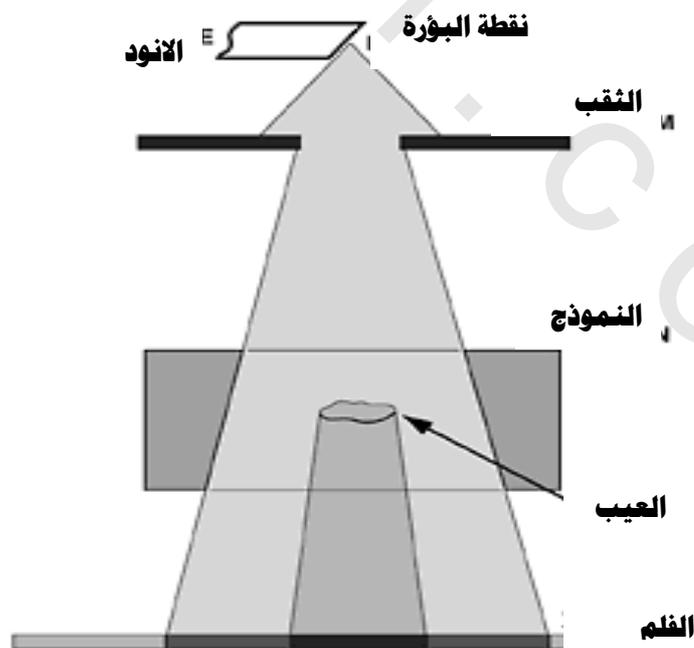
ب



أما أشعة جاما فهي موجات كهرومغناطيسية مشابهة تماما للأشعة السينية ولكن تردد أشعة جاما عالي جدا ومنشأها من داخل النواة، حيث تنبعث نتيجة لانحلال نوى الذرات المتهيجة الطبيعية مثل الراديوم أو الصناعية مثل Co-60 و Ir-192 ، و تستخدم المصادر الصناعية بشكل شائع في التصوير الفوتوغرافي.

تتولد الصور الإشعاعية نتيجة لمرور الأشعة السينية أو أشعة جاما خلال المواد وامتصاصها بنسب مختلفة ثم سقوطها على الأفلام وتكون صورة خفية للأجسام المارة خلالها على مستحلب الفلم. إن الجزء المعرض لأشعة جاما أو الأشعة السينية سوف تكون صور داكنة ويعتمد اسوداد الصورة على مقدار امتصاص الأشعة في الأجسام المارة خلالها. شكل (٧ - ٨).

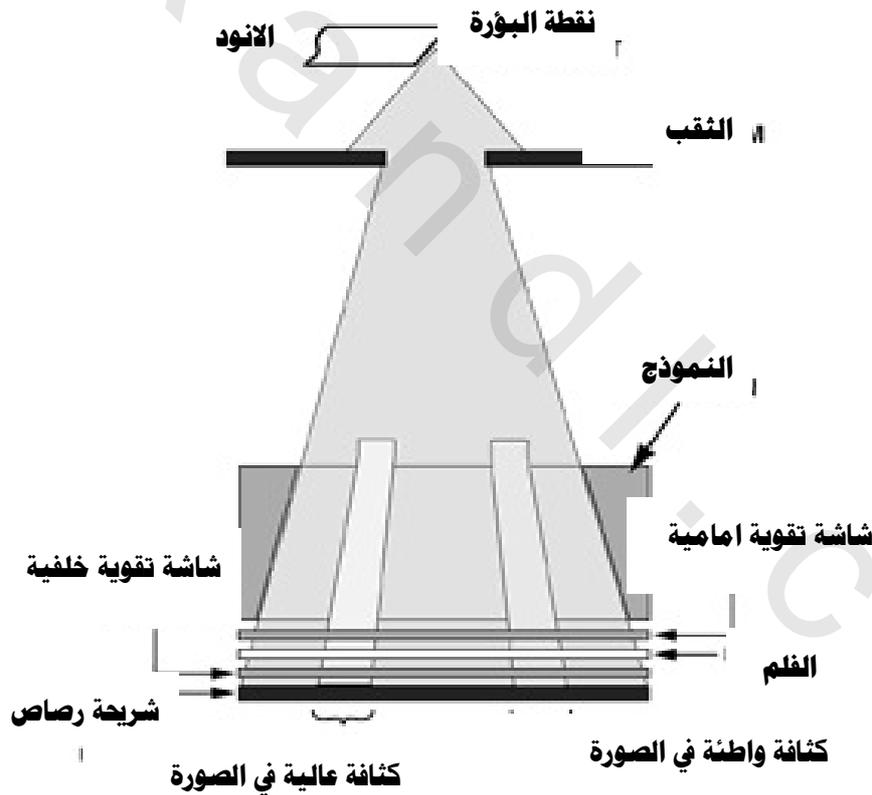
شكل (٧ - ٨) تكون الصورة على الفلم



الأفلام الفوتوغرافية تكون حساسة إلى السقوط المباشرة للأشعة السينية أو أشعة جاما ولكن التأثير الفوتوغرافي يزداد بشكل كبير وزمن التعرض يقل باستخدام ما يسمى بشاشة التقوية (Intensifying Screen) والتي تكون على جهتي الفلم. شكل (٧ - ٩)

وتتكون بعض شاشات التقوية من شريحة رقيقة من مكونات الرصاص والتي عندما تتهيح باستخدام الأشعة السينية أو أشعة جاما فإنها تبعث الكترونات حسب الظاهرة الكهروضوئية هذه الالكترونات تزيد من حساسية الفلم للإشعاع . وهناك نوع آخر من شاشة التقوية والتي تحتوي على مساحيق لها القابلية على الفلورة عند سقوط الأشعة عليها مثل هذه المواد تتكسنت الكالسيوم التي تمزج مادة لاصقة وتطلى على الجزء البلاستيكي للفلم، وبذلك تتحول الأشعة السينية أو أشعة كاما بواسطة هذه الشاشة إلى ضوء مرئي يكون الفلم حساس له جداً .

شكل (٧ - ٩) شاشة التقوية



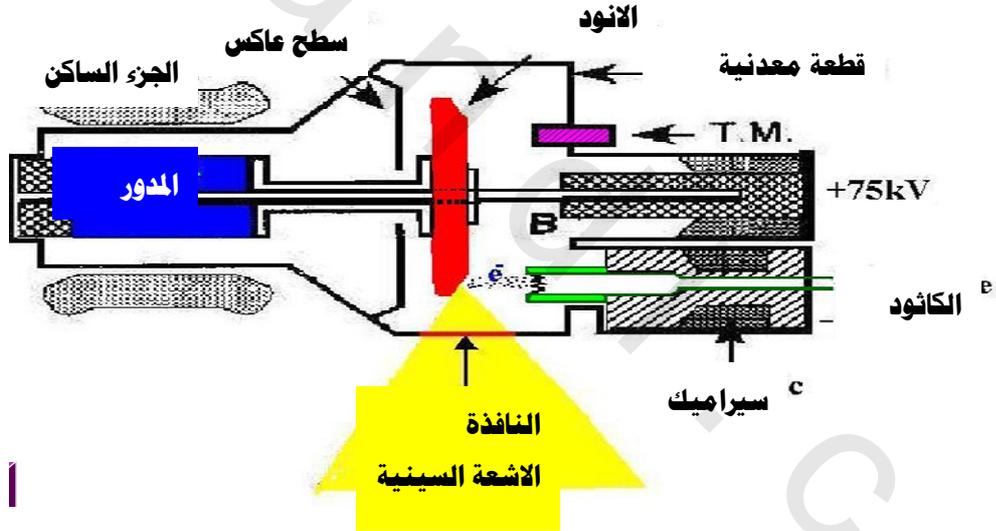
قسم كبير من الأشعة الساقطة على المادة ينفذ بعد أن يتوهن ويسقط على الفلم والقسم الآخر سوف يتشتت بجميع الاتجاهات من الجسم ويسقط على الفلم مكونا صور ضبابية تؤثر على وضوح

الصورة . وعند وضع شريحة من الرصاص بين أنبوبة الأشعة السينية والجسم أو بين الجسم والفلم فإن ذلك يؤدي إلى امتصاص للأشعة المتشتتة والحصول على صورة واضحة.
بعض الأفلام الفوتوغرافية تحتوي على شاشات تحتوي ألواح رصاصية والأخرى لا تحتوي على مثل هذه الألواح. بعض أفلام الأشعة السينية تكون مطلية بالمستحلب من الجهتين وأفلام أخرى مطلية من جهة واحدة فقط (Single -Coated Films).

٧ - ٤ توليد الأشعة السينية :

تتولد الأشعة السينية عندما تسقط الإلكترونات المعجلة على هدف فلزي أو تتحرف عن مسارها قرب الهدف . وتتولد الإلكترونات نتيجة لتسخين فتيل من التنكستن بتسليط فرق جهد منخفض حسب ظاهرة الانبعاث الأيوني الحراري ويسمى الفتيل بالكاثود. ويوجد قطب آخر هو الأنود يحتوي على مادة ذات عدد ذري عالي يسمى بالهدف وتطبيق على الهدف فولطية عالية جداً لتعجيل الإلكترونات وعند سقوط الإلكترونات على سطح الهدف تتبعث منه فوتونات الأشعة السينية (شكل ٧ - ١٠).

شكل (٧ - ١٠) أنبوبة الأشعة السينية

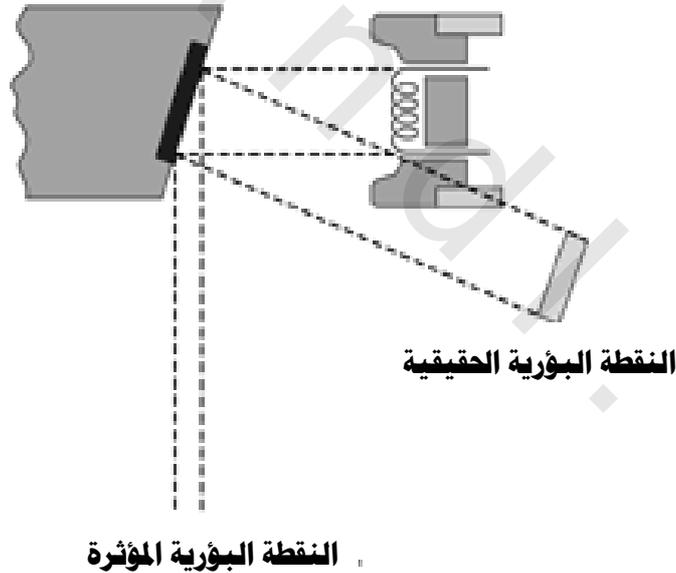


يوضح مخطط مكونات الأشعة السينية حيث أن الفتيل يسخن بتيار من بضع أمبيرات من مصدر للفولطية المنخفضة . ولكي نجعل الإلكترونات تشكل حزمة ضيقة نستخدم وعاء التوجيه (Focusing Cup) والذي يعمل على تركيز حزمة الإلكترونات على مساحة صغيرة من الهدف تسمى نقطة البؤرة. حزمة الإلكترونات المتجمعة تكون تيار الأنبوبة ويقاس عادة بالملي أمبير. وكلما ازدادت درجة حرارة الفلم ازداد تيار الأنبوب.

معظم طاقة الالكترونات الساقطة على الهدف تتحول إلى حرارة أما الجزء القليل الباقي يتحول إلى أشعة سينية . لذلك نستخدم الهدف من التنكستن الذي يتحمل درجات الحرارة العالية وكذلك فإن العدد الذري العالي للهدف يجعل كفاية الأشعة السينية عالية.

وللتخلص من هذه الحرارة العالية في الهدف وعدم ذوبانه نستخدم مجموعة من الأنابيب الملاصقة للهدف والتي يمر فيها زيت يقوم بامتصاص الحرارة من الهدف وإشعاعها نحو الخارج. بالإضافة إلى ذلك يوضع الهدف في قطعة كبيرة من النحاس وذلك لايصالته العالية للحرارة. لغرض الحصول على صورة واضحة فان نقطة البؤرة تكون أصغر مايمكن . مصنعي أجهزة الاشعة السينية يزودون المستهلك بمعلومات مهمة حول ذروة فولتية الانود وتيار الكاثود الألام لي عمل الجهاز بشكل امن، يعتمد العمر التشغيلي لجهاز الأشعة السينية على هذه المعلومات. للحصول على مساحة صغيرة لنقطة البؤرة نستخدم مايسمى بخط البؤرة (Line of Focus) و ذلك بجعل الزاوية بين مركز الشعاع الساقط والانود اصغر مايمكن (في الغالب ٢٠°) وبذلك تكون نقطة البؤرة المؤثرة قليلة مقارنة بنقطة البؤرة الحقيقية بدون استخدام خط البؤرة (شكل ٧ - ١١).

شكل (٧ - ١١) تقانة خط البؤرة



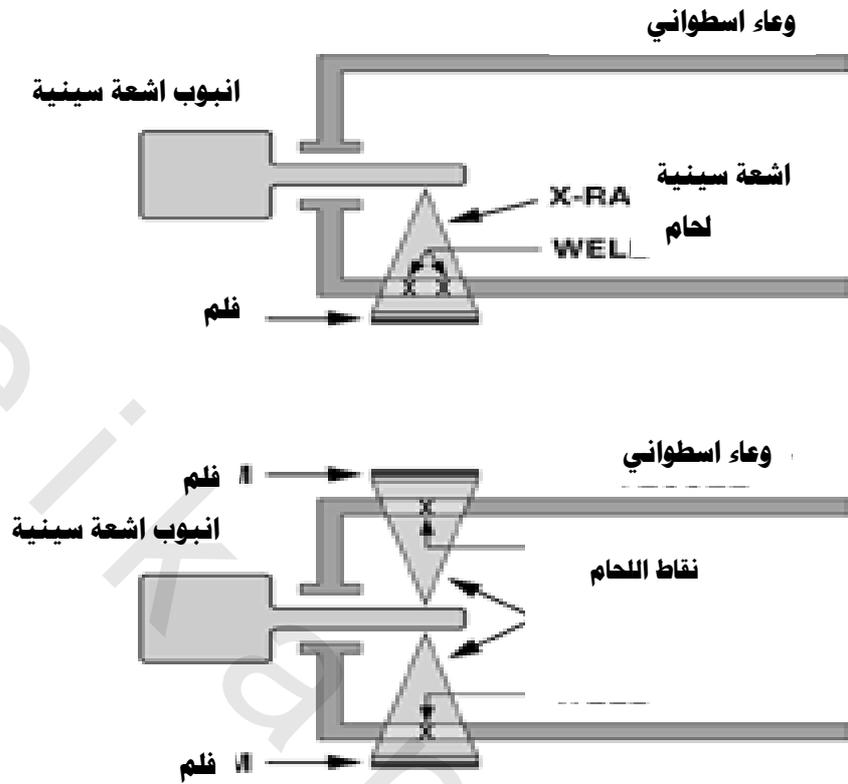
تؤدي زيادة فولتية الأنود إلى زيادة سرعة الالكترونات الساقطة على نقطة البؤرة وبذلك تكون طاقة الاشعة السينية المتولدة كبيرة أي طولها المؤثر قليل وقدرة اختراقها وشدتها عالية جدا، لذلك نستخدم لتصوير الأهداف السميكة. جميع أجهزة الأشعة السينية تحتوي لمجهزين للفولتية احدهما

واطنة للفتيل والأخرى عالية للأنود. مجهز القدرة لفتيل أنبوب الأشعة السينية يحتوي محولة حافظة للبولطية والتي يمكن التحكم بها باستخدام ملف خاص بذلك. أما مجهز الفولطية العالية فإنه يتكون من محولة ومقوم. يعتمد عمل كل من هذه المحولات على عدد لفات الملف الابتدائي والثانوي. في بعض الأجهزة يحتوي الأنود على عمود اسطوانتي إضافي وتسمى الأنبوبه في هذه الحالة "أنبوبة عمود الأنود". يستطيع أنود هذه الأنابيب أن يندفع خلال فتحات صغيره ليسهل بعض أنواع الفحص إذا كان الهدف عمودي على اتجاه حزمه الالكترونات فإنه يمكن استخدام هذا العمود للفحص خلال زاوية ٣٦٠ درجة وبذلك فإن جميع سطح الأنبوب يمكن فحص لحامه في تعرض منفرد واحد (شكل ٧ - ١٢).

بعض أجهزة الأشعة السينية مصممة لإعطاء حزمة من الأشعة السينية الكثيفة لوقت قصير جدا مما يتيح تصوير الأجسام بسرعة عالية جدا. مولدات الفولطية العالية لهذه الأجهزة تولد نبضة قصيرة جدا من الفولطية العالية والتي يمكن الحصول عليها من خلال تفريغ متسعة عبر الملف الابتدائي للبولطية العالية.

بعض أنابيب الأشعة السينية لا تحتوي على فتيل وإنما يصمم الكاثود بحيث أن مجال كهربائي شدته عالية يؤدي إلى انبعاث المجال أو الانبعاث البارد (Cold Emission) وبذلك يتولد تيار لحظي مقداره مئات أو آلاف الامبيرات .

شكل (٧ - ١٢) جهاز الأشعة السينية نوع أنبوبة عمود الانود.



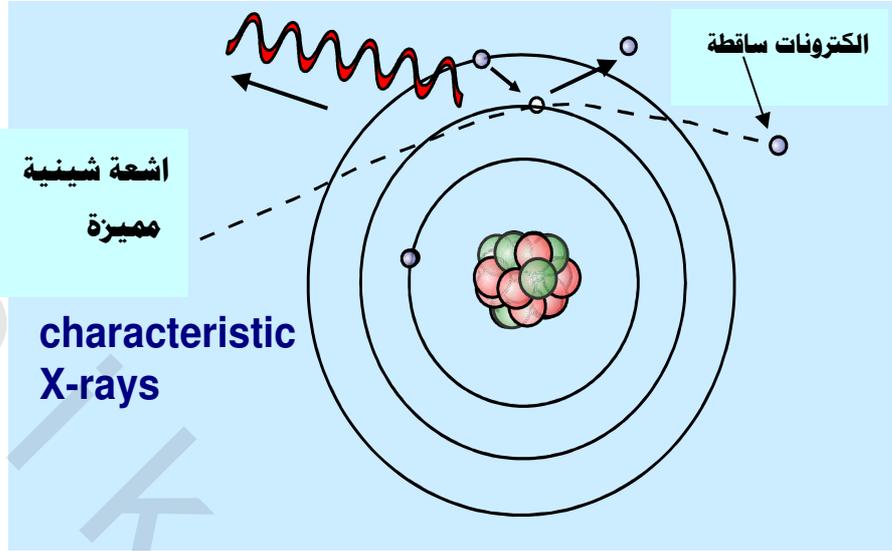
أجهزة الأشعة السينية إما أن تكون ثابتة أو متحركة معتمده على نوع الاستخدام فتكون ثابتة إذا كان بالإمكان نقل المواد المراد فحصها بسهولة، أما إذا كانت المواد المراد فحصها ثقيلة ومن الصعوبة نقلها فنستخدم لغرض الفحص أجهزة أشعة سينية متنقلة صغيرة الحجم.

٧ - ٥ أنواع الأشعة السينية

الأشعة السينية المميزة (Characteristic X-Ray)

عند سقوط الإلكترونات المعجلة على الذرات فان احتمال تفاعلها مع الإلكترون المرتبط بالذرة والواقعة بالمستوى K يكون كبيرا. يمتص الكترون المدار الطاقة من الإلكترونات المعجلة ويزاح عن مداره ويبقى مكانه فارغا والذرة في حاله متهيجة فينتقل الإلكترون من مدار أعلى (ذات طاقة كبيرة) ليحتل الفراغ في المدار K و فرق الطاقة بين المدارين يؤدي الى انبعاث فوتونات أشعة سينية شكل (٦). تعتمد طاقتها على نوع الهدف وتكون صفة مميزة له ويستفاد من هذا النوع من الأشعة لمعرفة نوع العناصر وتركيزها. يكون طيف هذه الأشعة بشكل ذروات منفصلة تقع فوق طيف الأشعة السينية المستمرة.

شكل (٧ - ١٣) الأشعة السينية ذات الطيف الخطي الحاد (الأشعة السينية المميزة)



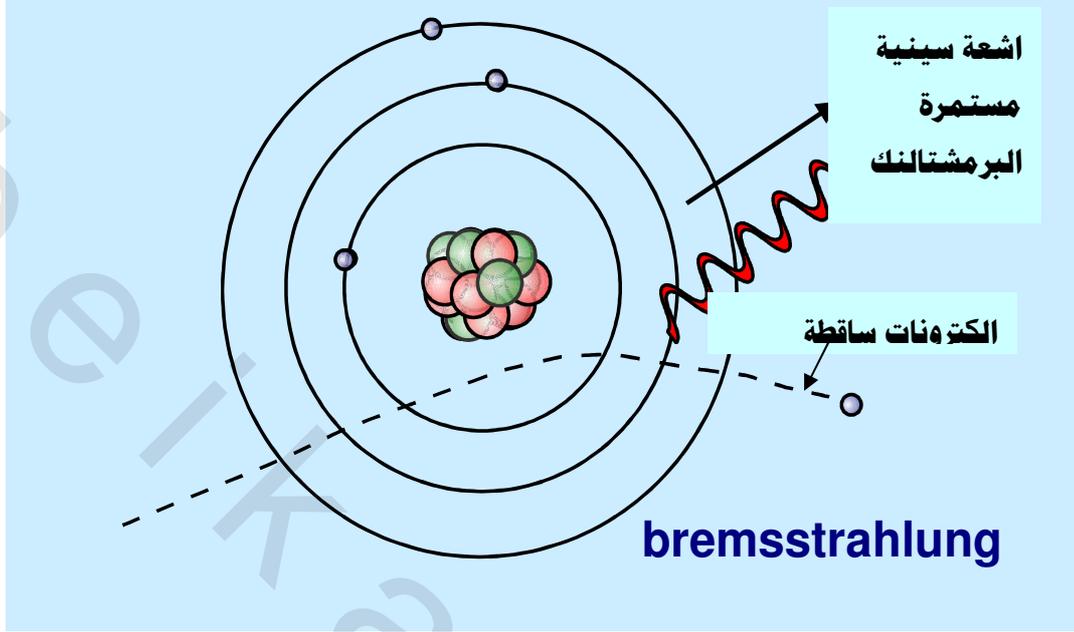
ب- الأشعة السينية ذات الطيف المستمر (البرمشالتنك):

يتولد هذا النوع من الإشعاع عندما تتفاعل الإلكترونات المعجلة مع ذرات الهدف أو عندما تمر الإلكترونات في مجال النواة وفي كلا الحالتين تتناقص طاقة الإلكترونات وهذا التناقص يظهر بشكل أشعة سينية ذات طيف مستمر طاقته تتراوح بين بضع كيلو إلكترون فولت إلى الطاقة العظمى للإلكترونات شكل (٧ - ١٤).

٧ - ٦ أساسيات التصوير بالأشعة السينية

الصور الإشعاعية هي خيال الأجسام التي وضعت في طريق الأشعة أسيينية أو أشعه جاما بين الانود والفلم أو بين مصدر أشعه جاما والفلم. وان هذه الصورة تعتمد على موقع الجسم والفلم واتجاه الأشعة لذلك فان معرفه أساسيات التصوير مهمة لغرض تفسير الصور الإشعاعية. كل من الأشعة السينية وأشعه جاما تشابه الضوء عند مرورها في الأجسام فان قسم من هذه الأشعه يخترق المادة والقسم الآخر يتشتت عنها ولكن التشتت في حالة الإشعاعات المؤينه كبيره جدا وبالرغم من ذلك فان القوانين الهندسية لتكون الصور في الضوء هي نفسها للإشعاعات المؤينه. الصور المتكونة للأجسام على الأفلام بعد مرور الأشعه السينية فيها تكون في الغالب مكبرة وتعتمد قوة التكبير على بعد المصدر عن الجسم (D) و (D₀) بعد المصدر المشع او الانود عن الفلم S₀ هو طول الجسم وS طول الصورة فان:

شكل (٧ - ١٤) الأشعة السينية ذات الطيف المستمر (البرمشتانك)



$$S_0/S = D_0/D$$

$$S_0 = S(D/D_0)$$

يسمى القانون أعلاه بقانون التكبير.

تعتمد شدة وضوح الصورة على مساحة الجسم وموقعه فعندما لا يكون الجسم بشكل نقطة فان الصورة لاتكون حادة المعالم لان كل نقطة تكون صورة خاصة بها وهذه الصورة تتداخل مع بعضها وتزاح قليلا عن موقعها مكونه صورة غير واضحة، وكذلك فان الصورة تختلف باختلاف ميل الجسم عن الشعاع الساقط عموديا. يسمى انحراف الصورة عن شكل الجسم الأصلي بالتشوه (distortion). وللحصول على صورة أكثر وضوحا يجب توفر الشروط التالية

والموضحة (شكل ٧ - ١٥) :

- ١- المصدر الباعث للإشعاع يكون نقطيا. (قارن بين شكل A&C)
- ٢- المصدر يكون ابعده ما يمكن عن الجسم. (قارن بين شكل B&C)
- ٣- يكون الفلم قريبا ما أمكن من الجسم. (قارن بين الشكل A&E)
- ٤- يكون الإشعاع عموديا على الفلم. (قارن بين الشكل A&E)
- ٥- مستوى الجسم ومستوى الفلم يجب أن يكونا متوازيين. (قارن بين الشكل A&E)

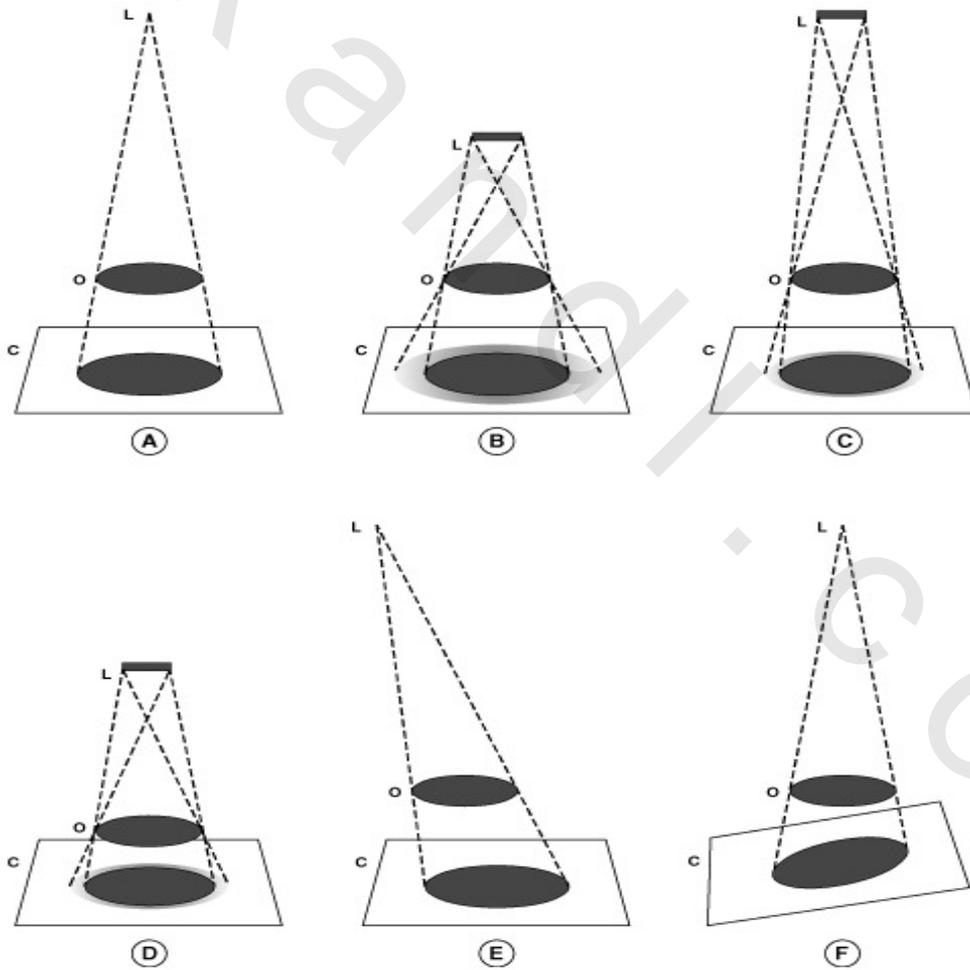
من أهداف التصوير الإشعاعي للعينات الحصول على صورة إشعاعية ذات خيال مشابه تماما لشكل العينة لمعرفة عيوب اللحام بشكل دقيق. يعتمد مقدار التشوه على المسافة بين المصدر والفلم حيث أن العين تحدد رؤية 0.5 ملم من شبه الظل والقيم الأكثر تؤدي إلى عدم جوده الصورة. يسمى العرض المحيط بالصورة من الخارج والغير واضح بعدم الوضوح الهندسي (U_g) أو شبه الظل. إذا كان عرض المصدر F ، وبعده عن الجسم D_0 ، وبعده عن الجسم عن الفلم t ، وعرض شبه الظل في الصورة (مقدار التشوه) (U_g) كما موضح في شكل (٧-١٦).

$$U_g/F = t/D_0$$

أو ان

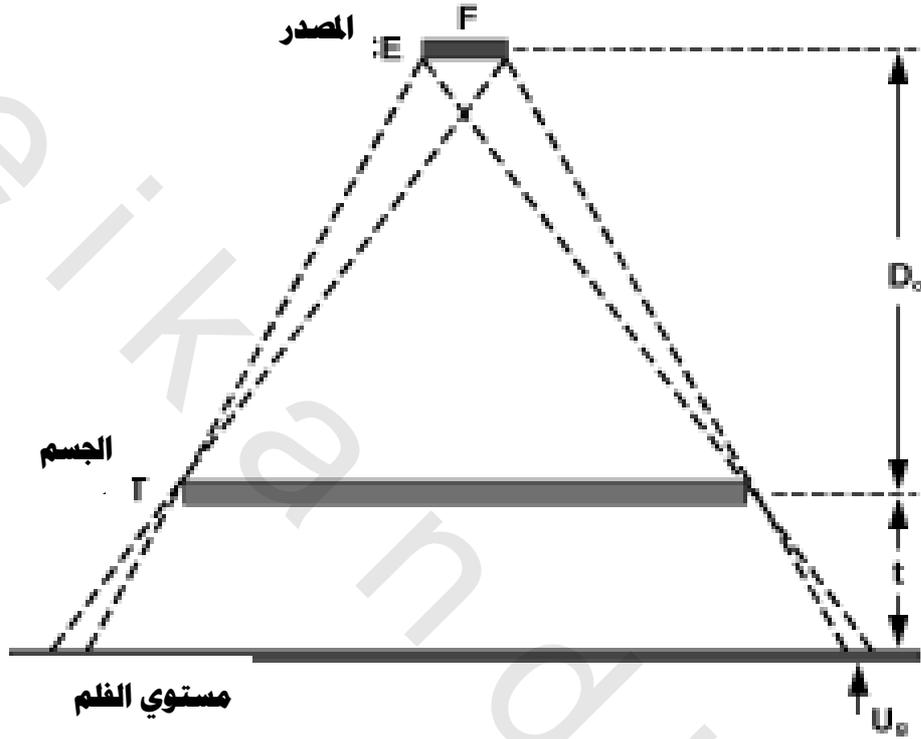
$$U_g = F(t/D_0)$$

(شكل ٧ - ١٥) شدة وضوح الصورة واعتمادها على مساحة الجسم المصور



ولغرض السرعة في الحصول على قيم لعدم وضوح الصورة عادة ماتستخدم خطوط بيانية ترسم بين عرض الجسم كدالة لعدم وضوح الصورة U_g شكل (٧ - ١٧) ولقيم مختلفة للمسافات بين المصدر والجسم.

شكل (٧- ١٦) حساب النشوة في الصورة



٧ - ٧ العوامل التي يؤثر بها التعرض الإشعاعي:

تعتمد شدة الصور الشعاعية على كمية الإشعاع التي يمتصها مستحلب الفلم

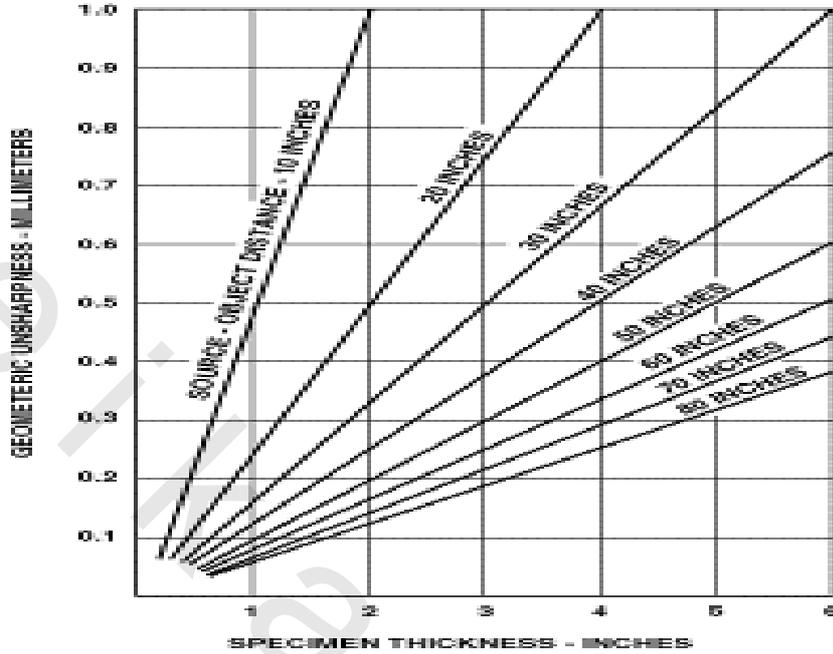
(Emulsion) وهذه الكمية من الإشعاع تعتمد على عدة عوامل منها :

١- كمية الإشعاع الكلية المنبعثة من المصدر المشع والواصلة إلى الجسم.

٢- كمية الإشعاع النافذة من الجسم .

٣- تأثير شاشة التقوية إن وجدت.

شكل (٧- ١٧) عرض الجسم كدالة لعرض الصورة

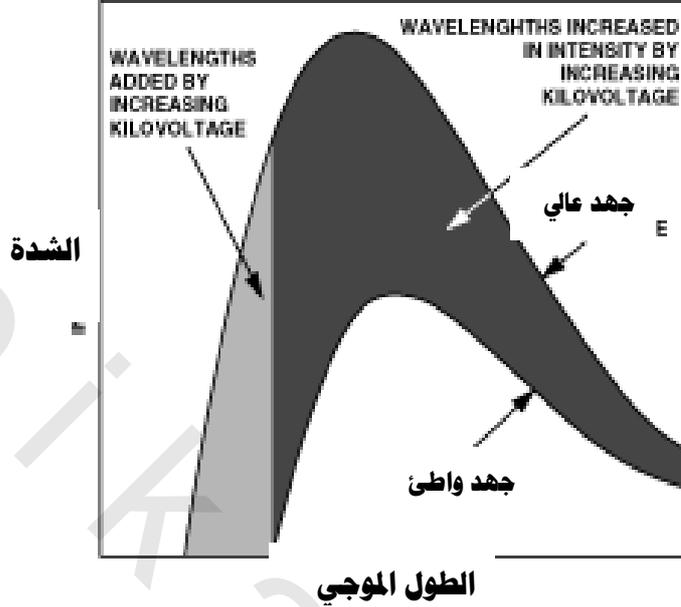


١- كمية الإشعاع:

كمية الإشعاع الكلية المنبعثة من أنبوب الأشعة السينية يعتمد على تيار الكاثود (mA) فولطيه الانود (kVp) وزمن التعرض (s) يسمى حاصل ضرب التيار والزمن بالتعرض الإشعاعي (mAs). يؤدي زيادة التيار إلى زيادة شدة الأشعة السينية المنبعثة وتتناسب معها طرديا. وكذلك تزداد كمية الإشعاع المنبعثة من المصدر مع زمن التعرض وتتناسب معها طرديا كذلك. لا تؤثر زيادة فولطية الانود في كمية الإشعاع الساقط فقط وإنما تؤثر كذلك على شدة الإشعاع فعند زيادة الفولطية (kVp) تزداد قدرة الأشعة في النفوذ ويقل طولها الموجي كما في الشكل (٧- ١٨).

والذي يوضح طيف الأشعة السينية عندما يعمل الأنبوب بفولطيات مختلفة ولكن التيار ثابت. ففي حالة الفولطية العالية يقل الطول الموجي للأشعة ويزداد نفوذها.

الشكل (٧- ١٨). الطول الموجي كدالة لشدة الاشعة لفولطيات مختلفة



أما في حالة أشعه جاما فان كمية الإشعاع المنبعث يعتمد على النشاط الإشعاعي للمصدر (مقاسا بالكيوري) و زمن التعرض (s) وتتناسب معها طرديا. كمية الإشعاع تبقى ثابتة مادام حاصل ضرب النشاط الإشعاعي و الزمن كمية ثابتة وهذا يسمح باستخدام التعرض الناتج عن الأشعه بوحدة (كيوري- ساعة) وليس بوحدة النشاط الإشعاعي أو الزمن على انفراد. عندما يسقط الإشعاع المؤين على المادة فان قسم من الإشعاع يمتص والقسم الآخر يمر خلال الجسم بدون إن ينحرف، ومع ذلك قد يزاح معظم الإشعاع من الحزمة فان الإشعاع ينفذ من الجسم وقد ينحرف الإشعاع أثناء مروره بالجسم عن اتجاهه الأصلي ويسمى ذلك بالتشتت (Scattered) أو إن قسما من طاقه الإشعاع تصرف في توليد الالكترونات من المادة.

٢ - قانون التربيع العكسي:

كمية الأشعة السينية أو أشعه جاما الواصلة إلى المصدر يعتمد على المسافة بين المصدر والجسم وتتناسب هذه الكمية عكسيا مع مربع المسافة ويسمى ذلك بقانون التربيع العكسي. لان كل من الضوء، الاشعة السينية وكذلك أشعه جاما فإنها تتفرج (Diverge) عندما تخرج من المصدر ويزداد الانفراج بزيادة المسافة.

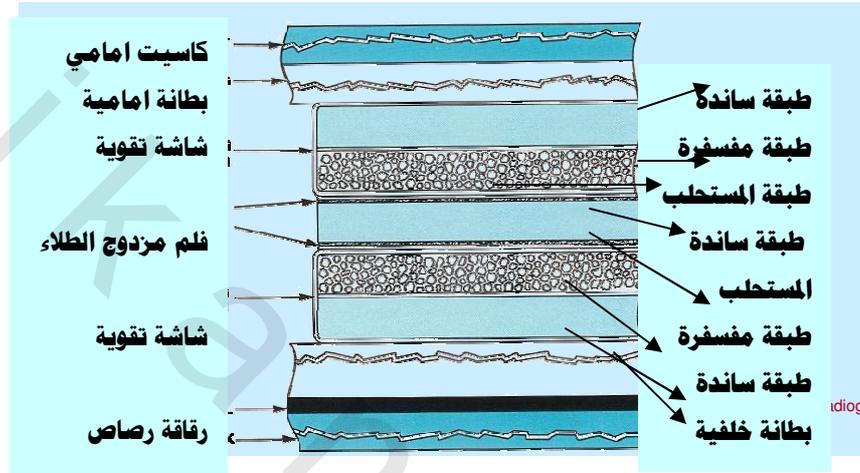
٧ - ٨ شاشات أو صفائح التقوية :

في التصوير أشعاعي الصناعي نستخدم ثلاثة أنواع من هذه الصفائح لتقوية حزم الاشعه السينية وأشعه جاما وزيادة فاعليتها وهذه الصفائح هي:

١ - شاشات التقوية الرصاصية :

صفائح سمكها يتراوح بين (0.02-0.25) ملم وتوضع هذه الصفائح على جانبي مستحلب الفلم كما في الشكل (٧ - ١٩)

الشكل (٧ - ١٩) مكونات الفلم وشاشات التقوية المستخدم في التصوير الفوتوغرافي



من أهم فوائد صفائح الوجه الأمامي:

١- يعمل كمرشح لامتناس الاشعه ذات الطاقات الواطئة والتي تمتص حسب الظاهرة الكهروضوئية. وهذا يؤدي الى تعزيز التأثير الكهروضوئي على الفلم نتبجه لزيادة الالكترونات المنبعثة (الكترونات كومبتون)، والالكترونات الثانوية المتحررة من طبقة الرصاص والتي تؤثر في مستحلب الطبقة الحساسة لفلم التصوير وتزيد من تعرضها وتؤين الذرات الحساسة في فلم التصوير أو ذرات بروميد الفضة. التماس بين هذه الصفائح وفلم الاشعه يجب أن يكون جيدا، لان وجود الفراغات يؤدي إلى زيادة الاشعه المتشتتة وبالتالي زيادة تشويه الصور الإشعاعية. تكون هذه الصفائح مفيدة لتعزيز وتقوية عمل الإشعاعات عند جهد أعلى من 150 كيلو إلكترون فولت. هذه الصفائح يجب أن تكون صقيلة ولا تحتوي على خدوش أو عيوب تظهر على الفلم عند تلميعه وتتداخل مع صور عيوب اللحم. إما صفائح الوجه الخلفي والتي تكون أكثر سمكا من صفائح الوجه الأمامي فهي تقوم بامتصاص الاشعه المتشتتة وبذلك تقل شدة هذه الاشعه الواصلة إلى الفلم. لذلك فان استخدام شاشات التقوية الرصاصية يقلل من زمن التعرض إلى النصف أو الثلث. عادة ماتخلف هذه الشاشات بغلاف خفيف من أوراق او كسيد الرصاص لغرض الحفاظ على نظافة شاشة تقوية

الرصاص لان بعض الأوساخ مثل الشعر وهباء التبغ التي تتواجد بين الرصاص والفلم تؤدي إلى توليد صورة غير واضحة.

٢ - الشاشات المتفلورة (Fluorescent Screen)

تحتوي الشاشات المتفلورة على بعض المركبات الكيميائية التي تقوم بإزاحة الأطوال الموجية للأشعة السينية أو أشعة جاما التي يمتصها إلى أطوال موجية للضوء المرئي، من أهم هذه المركبات تتكستات الكالسيوم. تفضل الشاشات الرصاصية على الشاشات المتفلورة وذلك لان الشاشات المتفلورة تؤدي الى انتشار الضوء باتجاهات مختلفة مما يقلل من نوعية الصورة. الشاشات المتفلورة مفيدة جدا عند تصوير عينات ذات سمك كبير نسبيا، تتكون المواد المتفلورة من مسحوق ناعم يخلط مع مادة رابطة مناسبة. وتطلى صفحة كارتونية أو بلاستيكية بهذه المادة على جهة الفلم. لذلك فان التأثير الفوتوغرافي هو مجموع تأثير الأشعة المستخدمة والضوء المنبعث من الشاشة المتفلورة. أن وجود هذه الشاشة يؤدي إلى تقليل زمن التعرض ولكن مساوئ هذه الطريقة هو:

١ - قلة تحديد الصورة (Definition) مقارنة مع شاشه التقوية الرصاصية. يعود قلة تحديد الصورة إلى تشتت الضوء من الشاشة والذي ينتشر إلى مساحه واسعه من الفلم .

ب - قلة استخدام هذه الطريقة في التصوير الفوتوغرافي هو تكون نقاط ملونه (Mottle) على الصورة النهائية. الشاشات المتفلورة قليلا ماتستخدم في حالة التصوير الصناعي باشعه جاما وخاصة في حالة فحص المعادن ذات الإعداد الذرية القليلة وذلك لقله عامل التقوية وزيادة زمن التعرض. العامل المهم والأساسي في استخدام شاشات التقوية هو التلامس المباشر بين الفلم وشاشات التقوية، لان عدم التلامس يؤدي إلى انتشار الضوء وتوليد صورة مشوهة للمواد المفحوصة. ويكمن الوصول إلى التلامس المباشر إما باستخدام كاسيت مفرغ من الهواء أو باستخدام نابض حلزوني يجعل الشاشة والفلم في حالة تماس. للتأكد من التماس يتم إجراء الفحص بين فترة وأخرى وذلك بأخذ صفيحة من أسلاك مشبكه ووضعها أفقيا ثم يوضع الفلم داخل الكاسيت ويعرض إلى الإشعاع، ثم نلاحظ الصورة فإذا كانت غير واضحة فان التلامس غير جيد وهذا الفحص يعاد في فترات زمنية مناسبة.

جميع الطرق المستخدمة لجعل الفلم يتلامس مع شاشه التقوية لها بعض المساوئ لان هذه الطرق لاتولد تماس منتظم لذلك فان تحديد الصورة يتغير من نقطة إلى أخرى على الفلم وهذا التغير في تحديد الصورة يولد تفسيراً غير دقيق للصور الفوتوغرافية .

أما العامل الثاني فان وسائل التماس قد تؤدي إلى تخريب ميكانيكي نتيجة للضغط على نقطة صغيره من الفلم وهذا يؤدي إلى تكوين نقاط مظلمة أو مضيئة على الفلم.

٣ - شاشات التقوية المعدنية المتفلورة (Fluormetallic Screen)

يجمع هذا النوع من الشاشات بين مميزات الشاشات الرصاصية وشاشات الفلورة حيث تقوم هذه الشاشات بامتصاص الطاقات الواطئة من إشعاع المصدر وتقوم المادة المتفلورة بتحويل الأشعة النافذة من المادة إلى ضوء مرئي للزيادة في تعريض فلم التصوير الإشعاعي.

٤- شاشة التصوير: Radiographic Screens

من العوامل المهمة المؤثرة على كثافة الصورة هو عامل تقوية الشاشة المستخدمة، لأن كل من الأشعة السينية وأشعة جاما يجعل شاشة التقوية المتفلورة تبعث ضوء بشدة معينة. أما شاشة الرصاص فانها تبعث الالكترونات التي تؤدي إلى التقليل من زمن التعرض. أن عامل التعرض وهو العامل الذي يوضح العلاقة بين التيار (أو شدة المصدر المشع) ، الزمن (S) والمسافة حيث أن:

$$\text{عامل التعرض} = S \times \text{mA}/D^2 \quad (\text{للأشعة السينية})$$

$$= A(\text{Ci}) \times S/D^2 \quad (\text{للأشعة جاما})$$

وتقاس كثافة التصوير بعض الأحيان بذروة الفولطية (kV_p) وعامل التعرض أو النشاط الإشعاعي . في هذه الحالة يضرب عامل التعرض بمربع المسافة لكي نحدد مقدار الكيوري - دقيقه أو الكيوري - ساعة.

٧ - أشعة جاما (Gamma-Ray) γ

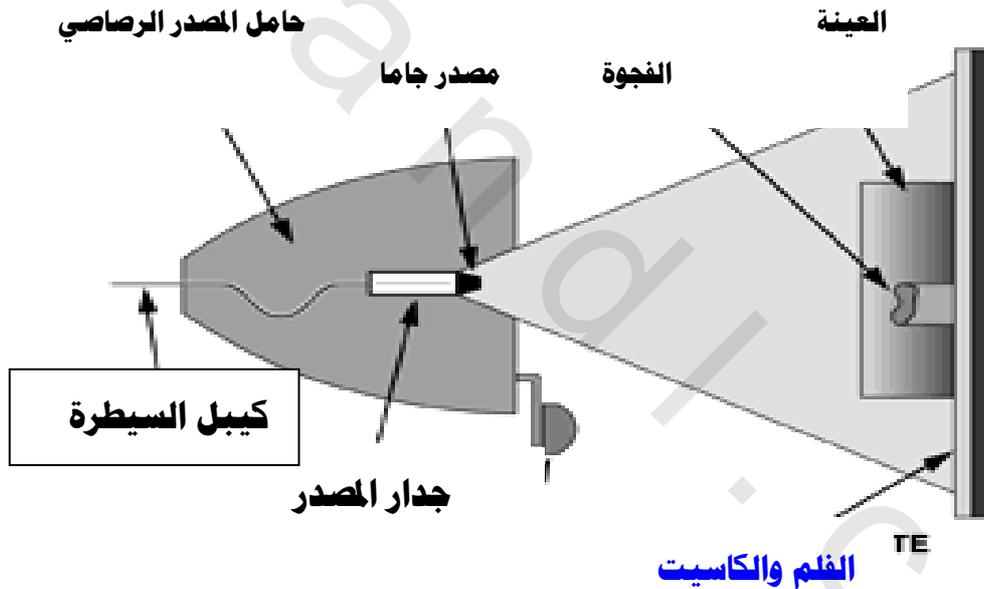
أشعة جاما عبارة عن موجات كهرومغناطيسية (مثل الأشعة السينية) ذات طول موجي قصير وطاقة عالية. وتتولد هذه الأشعة أثناء انحلال العناصر غير المستقرة والتي يكون فيها عدد النيوترونات أكبر أو أقل من عدد البروتونات لذلك فإن هذه العناصر تتحل تلقائيا باعثة أشعة جاما بطاقات محددة.

تنتقل النواة من الحالة غير المستقرة إلى الحالة المستقرة ببعث جسيمات ألفا α أو جسيمات بيتا β والتي دائما ما يصاحبها انبعاث أشعة جاما γ ويسمى ذلك بالانحلال الإشعاعي . ويقاس النشاط الإشعاعي لأي مادة بوحدة تسمى الكيوري والذي يعرف بأنه كمية المادة المشعة والتي تحتوي على 3.7×10^{10} ذرة لكل تحلل في الثانية الواحدة. في النظام العالمي للوحدات يقاس النشاط الإشعاعي بوحدة البيكرل (Bq) وهي كمية المادة المشعة والتي تولد تحللا واحدا في الثانية الواحدة.

يسمى النشاط الإشعاعي لوحدة الكتلة بالنشاط كيوري، وكل غرام من (Ir-192) يحتوي على (٣٥٠) كيوري. وبسبب ذلك يستخدم مصدر الاريديوم في التصوير الفوتوغرافي باستخدام أشعة جاما . يعود استخدام المصادر الباعثة لأشعة جاما لأنها تمتاز بصغر حجمها، بساطتها، وعدم حاجتها إلى طاقة كهربائية لذلك يمكن استخدامها للفحص في مناطق نائية لاتصالها بالطاقة الكهربائية. يتكون طيف أشعة جاما من ذروات محددة للطاقة تختلف من عنصر إلى آخر وهي تختلف عن طيف الأشعة السينية الذي يشع حزمة واسعة من الأطوال الموجية.

ومن أهم مصادر أشعه جاما المستخدمة في التصوير الإشعاعي هو Co^{60} الذي يبعث حزمتين من أشعه كما ذات طاقات 1170 الإشعاعي النوعي (Specific Activity). يحتوي الغرام الواحد من Co^{60} حوالي ٥٠، و1330keV ومصدر (Ir-192) الذي يبعث أشعه كما بطاقة 651 keV . يوضع المصدر المشع داخل درع من الرصاص شكل (٧-١٥) وعند اختراقه للمادة فتقل شدة الاشعه بشكل أسي. مصادر أشعه جاما تفقد نشاطها الإشعاعي بمرور الزمن. أن معدل التناقص في النشاط الإشعاعي يعتمد على نوع المصدر المشع فمثلا النشاط الإشعاعي إلى Co^{60} يقل إلى النصف بعد مرور ٥ سنوات تقريبا إما (Ir-192) فيقل نشاطه الإشعاعي إلى النصف بعد مرور حوالي 70يوم، وهذا النقصان في النشاط الإشعاعي يحتم على العاملين في المجال الصناعي استبدال هذه المصادر بأخرى بعد فترة من الزمن.

شكل (٧- ١٥) جهاز تصوير فوتوغرافي بأشعة جاما



٧-١٠ مقياس عوامل التعرض:

يمكن قياس عوامل التعرض بالأجهزة الكهربائية المناسبة في حالة الاشعه السينية يمكن قياس التيار باستخدام جهاز الملي أميتر والذي يمكن قياسه بأجهزة دقيقة يعتمد بعضها على خزن الشحنات في متسعة. ولكن الفولطية العالية للأنود يصعب قياسها بشكل دقيق.

ولغرض تحديد ذروة الفولطية المناسبة للتصوير الفوتوغرافي يفضل استخدام مخططات التعرض المجهزة من قبل الشركات المصنعة لأجهزة الأشعة السينية. يسجل المصور الشعاعي جميع المعلومات الخاصة

بالتعرض وأنواع الصور وفي هذه الحالة تكون لدية المعلومات الكافية لمعرفة القيمة المناسبة لذروه الفولطية لكل تقنية . تؤدي زيادة ذروة الفولطية إلى زيادة خرج الأشعة وزيادة اختراقها للمادة لذلك يجب السيطرة بشكل جيد على هذا العامل للحصول على صورة ذات كثافة متجانسة. معظم أنواع التصوير الفوتوغرافي الصناعي يجب ان تكون شروط تعرض ثابت من ناحية المسافة بين المصدر والفلم، التيار، وزمن التعرض. الجدول(٧ - ١) يبين النظائر المشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي

يوضح الجدول(٧ - ١) أهم النظائر المشعة المستخدمة في التصوير الإشعاعي:

النظير المشع	نصف العمر	طاقه أشعه كما (keV)	نصف السمك (سم) رصاص حديد	معدل جرعة أشعه كما	سمك مادة الفولاذ سم
الكوبلت 60	5.3سنة	1170و1330	1.2 2	1.35	150-50
السيزيوم 137	33سنة	6.62	-	0.39	١ 00-50
الاريديوم 192	74يوم	1400-200	0.6 1.3	0.55	70-10
الثاليوم 170	127يوم	540-84	-	-	اسم من الفولاذ
السييلينيوم 75	120يوم	970-120	0.11 0.8	-	28-4
الاتيрийوم 169	32يوم	310-8	0.3 0.95	-	15-2.5

من الناحية العملية يجب تغيير ذروة الفولطية اعتمادا على سمك المادة المراد فحصها والحصول على كثافة منتظمة للصورة. أما في حالة استخدام أشعه جاما فان العوامل المتغيرة التي تعتمد نوعية الصورة تكون اقل مما هي عليه في حالة الاشعه السينية، حيث إن كل من النشاط الإشعاعي ونوعية المصدر تكون ثابتة المقدار ولا يمكن تغييرها لذلك فان المقادير التي يمكن تغييرها هي المسافة بين المصدر والفلم، نوع الفلم، وزمن التعرض .ويتم ذلك بإجراء مجموعة من التجارب تغير فيها هذه العوامل وتسجل المعلومات

الأخرى لتحديد العوامل الصحيحة للتصوير الفوتوغرافي .

من أهم خواص الصور الإشعاعية:

١ - التباين (Contrast):

مقارنة درجة اسوداد الفلم في الأجزاء المختلفة للصورة أو اختلاف كثافة الصورة بين منطقة وأخرى من الجسم المصور تسمى بالتباين. وكلما ازداد التباين ازداد وضوح الصورة ولكن عند حدود معينة، لان زيادة التباين بشكل كبير يؤدي الى نقصان حقيقي في رؤية التفاصيل الدقيقة في كل من العينات السميكة أو الخفيفة. تكون صور العينات السميكة ذات كثافة واطئة جدا (داكنة) ولا يمكن الاستفادة منها وصور العينات النحيفة حيث تكون كثافتها عالية ولا يمكن رؤيتها (تكون بيضاء) . يعتمد تباين الصورة على كل من تباين العينة، شكلها الهندسي، وتباين الفلم الناتج من حبيبات الفلم.

تباين العينة:

يعرف تباين العينة بأنه النسبة بين أعلى وأوطأ كثافة إشعاعية ساقطة على الفلم و يعتمد على مدى كثافة الإشعاع النافذ منه . العينة المتقاربة الكثافة والسمك لها تباين مادة قليل لان الإشعاع النافذ متساوي الشدة. إما العينة التي تحتوي على تغير كبير في الكثافة والسمك فأن الاشعه النافذ منها تكون متغيرة الشدة يكون تباين الجسم كبيرا. يتأثر التباين بمقدار الإشعاع المشتت حيث أن نقصان التشتت يزيد من تباين الصورة . يمكن الحصول على تباين جيد باستخدام إشعاعات ذات طاقة واطئة ولكن خفض الطاقة كثيرا يؤدي إلى عدم نفوذ الاشعه من الأجزاء السميكة التي يمكن أن تحتوي على عيوب لا يمكن كشفها. كما وان استخدام أشعه ذات طاقة عالية يؤدي إلى اسوداد الفلم في الأجزاء السميكة وغير السميكة على السواء. قدرة الاشعه على اختراق سمك العينات تكون متساوية تقريبا مما يؤدي إلى انعدام التباين الناتج عن العينة.

تباين الفلم:

يعرف تباين الفلم بأنه قابلية الفلم في إظهار اختلاف في الكثافة الضوئية عند اختلاف محدد في التعرض للإشعاع. الاختلاف في الكثافة الضوئية ينتج عن نوع الفلم المستخدم، كيفية التعرض، معالجة الفلم. لكي يولد الفلم كثافة عالية للصورة يعني ذلك زيادة التعرض الإشعاعي أي أن المناطق الداكنة تصبح أكثر كثافة من المناطق البيضاء لأنه في أي فترة زمنية معينة يصل إلى المنطقة الداكنة أشعاع أكثر.

التباين الكلي هو عبارة عن مجموع التباين الناتج عن الفلم والناتج عن العينة ويعتمد التباين الكلي على طاقة الاشعه الساقطة، نوع الفلم ، وزمن التعرض، معالجة الفلم والشكل الهندسي للعينة وتأثير الاشعه المشتتة ونوع الشاشة .

يعتمد تباين الأفلام على نوع الأفلام لذلك فان الفلم ذو التباين العالي قد يولد صوراً ذات تباين واطئ إذا كان تباين الجسم قليل جداً، وبالعكس فان الأفلام ذات التباين الواطئ قد تولد صوراً ذات تباين عالي اذا كان الجسم كبير جداً.

وبشكل عام فان تباين الصورة يعتمد على ذروة الفولطية أو مقدار النشاط الإشعاعي للمصدر، تباين الفلم، نوع الشاشة، الكثافة التي تتعرض لها الصورة وعملية الغسل .

ويوضح الجدول (٧ - ٢) المقارنة بين العوامل التي تؤثر على تباين العينة وعلى تباين الفلم

الجدول (٦ - ٢) المقارنة بين العوامل التي تؤثر على تباين العينة و تباين الفلم

العوامل المؤثرة على تباين الفلم	العوامل التي تؤثر على تباين العينة
نوع الفلم إي حجم حبيبات المستحلب، المعاملة الكيميائية للفلم وكثافة المواد الكيماوية المضافة، زمن المعاملة، نوع الشاشة المستخدمة.	الاختلاف في امتصاص الأشعة في العينة، الطول الموجي للإشعاع الساقط الأولى، الإشعاع المشتت الثانوي .

٢ - التحديد (Definition):

هو مقدار وضوح معالم الخط الفاصل بين الأجزاء المختلفة الكثافة على الفلم ويعتمد التحديد على:

أ - العوامل الهندسية للعينة:

يعتمد تحديد الصور الفوتوغرافية في التطبيقات الصناعية على :

- ١ - حجم نقطة البؤرة فكلما كان حجم المصدر (النقطة البؤرية) نقطيا كان التحديد جيدا.
- ٢ - المسافة بين المصدر والفلم والتي يفضل أن تكون أكبر ما يمكن عمليا،
- ٣ - المسافة بين العينة والفلم ويفضل أن تكون أقل ما يمكن.
- ٤ - زاوية ميل الإشعاع عن العينة فإذا كانت الأشعة موازية لحافات العينة نحصل على تحديد جيد (صورة واضحة المعالم) أما إذا كان الإشعاع مائلا عن حافات العينة فان التحديد يكون قليلا.
- ٥ - التغير الحاد في سمك العينة أو كثافتها تؤدي إلى تحديد جيد مقارنة بالتغير التدريجي،
- ٦ - تحريك العينة أثناء التعرض يؤدي إلى قلة التحديد.

ب-علاقة التحديد بالفلم والشاشة:

يعتمد التحديد بشكل كبير على حجم حبيبات الفلم فان الحبيبات الصغيرة تولد صورة بتحديد أفضل مما لو كانت الحبيبات كبيرة . كذلك يعتمد التحديد على نوع الشاشة المستخدمة فعند استخدام شاشات متفلورة فان التحديد يكون قليلا. والسبب في ذلك تحول الأشعة السينية (أو أشعه جاما) الى ضوء ينتشر على مساحة أكبر قد تغطي مساحات لاتكون ضمن الأشعه الساقطة. كذلك فان الشاشات المتفلورة تتكون عليها نقاط ملونه (Mottle) ويمكن تحديد الفرق بين عوامل التحليل من الجدول (٧ - ٣).

جدول (٧ - ٣) مقارنة بين العوامل الهندسية وعوامل الفلم والشاشة المؤثرة على التحديد

عوامل الفلم والشاشة المؤثرة على التحديد	العوامل الهندسية المؤثرة على التحديد
١- نوع الفلم (حجم حبيبات الفلم).	١- حجم المصدر (حجم نقطة البؤرة).
٢- تكون النقاط الملونة عند استخدام الشاشة المتفلورة	٢- المسافة بين المصدر والفلم والعينة والفلم.
٣- الطول الموجي للإشعاع الابتدائي الساقط زمن المعاملة الكيميائية.	٣- حركة العينة أثناء التعرض. الزاوية بين المصدر وحافات العينة.
٤- زمن المعاملة الكيميائية والعوامل الأخرى لمعاملة الفلم.	٤- التغير المفاجئ في سمك (كثافة) العينة.

٢ - كثافة الصورة (Radiographic Density):

تعرف كثافة الصورة أو الفلم بأنها مقياس لدرجة اسوداد الفلم وهي مقدار لوغاريتمي يمثل النسبة بين لوغاريتم كثافة الإشعاع الساقط على الفلم (I_0) إلى كثافة الإشعاع النافذ من الفلم I وتسمى هذه النسبة بالنفوذية:

$$D = \text{Log } I_0/I$$

يوضح الجدول ٧ - ٤ كثافة الفلم لنسب نفوذية مختلفة ومن الجدول يتضح بان الكثافة ٢ تنتج عندما ينفذ من الإشعاع ١% من الكمية الكلية الساقطة.

وعموما تتراوح الكثافة الاشعاعية بين ٢-٤ لغرض رؤية هذه الصور وعندما تكون الكثافة أكثر من ٤ يعني إن الشعاع النافذ قليل (١ لكل ١٠٠٠٠) من الفوتونات الساقطة وبذلك تكون الصورة بيضاء. يزداد تباين الفلم بزيادة كثافة الفلم أي أن الكثافة العالية تولد صوراً جيدة.

٤ - الإمتداد Latitude :-

هو مدى سمك العينة التي يمكن تشخيصها بشكل واضح على الفلم فكما كان طول الأجزاء الواضحة على الفلم كبيراً كان الامتداد كبيراً. والامتداد عكس التباين فكما كانت الصورة الإشعاعية ذات تباين كبير تكون ذات امتداد ضعيف وبالعكس. من الممكن الحصول على امتداد جيد كلما كانت ذروة الفولطية كبيرة يكون التباين ضعيفاً وبالعكس.

٥ - عدم الحدة المتأصل (Inherent Unsharpness):

عدم الحدة المتأصل هو النقص الحاصل في تحديد وضوح حافات الصور الإشعاعية للعينة وذلك بفعل الالكترونات الحرة الناتجة من تفاعل فوتونات الاشعة السينية مع الطبقة الحساسة للفلم والتي تؤين الطبقة الحساسة للفلم، ونظراً لعدم تقليل اثر هذه الظاهرة فقد سميت عدم الحدود المتأصل.

الإشعاع المشتت يؤثر على قيمة التباين وتحديد الفلم للإشعاع المشتتة والتي تكون على ثلاث أنواع:

١-التشتت الداخلي (Internal Scatter):

ينتج التشتت الداخلي عند تغير في مسارات فوتونات الإشعاع المؤين ضمن العينة.

جدول (٧-٤) كثافة الفلم لنسب نفوذية مختلفة

كثافة الفلم ($\text{Log}I_0/I$)	النسبة المئوية للنفوذية	النفوذية (I_0/I) Transmittance
0	100%	1
1	10%	0.1
2	1%	0.01
3	0.1%	0.001
4	0.01%	0.0001

٢-التشتت الجانبي (Side Scattering):

التشتت الناتج عن اصطدام الفوتونات الأولية مع المواد الموجودة قرب العينة وضمن مسار الإشعاع المؤين.

٣-التشتت الخلفي :

التشتت الناتج من ارتداد الإشعاع المؤين عن المنطقة أو المتواجد خلف الفلم مباشرة.

١١-٧ مخططات تعرض الأفلام للإشعاع المؤين (Exposure Charts) :

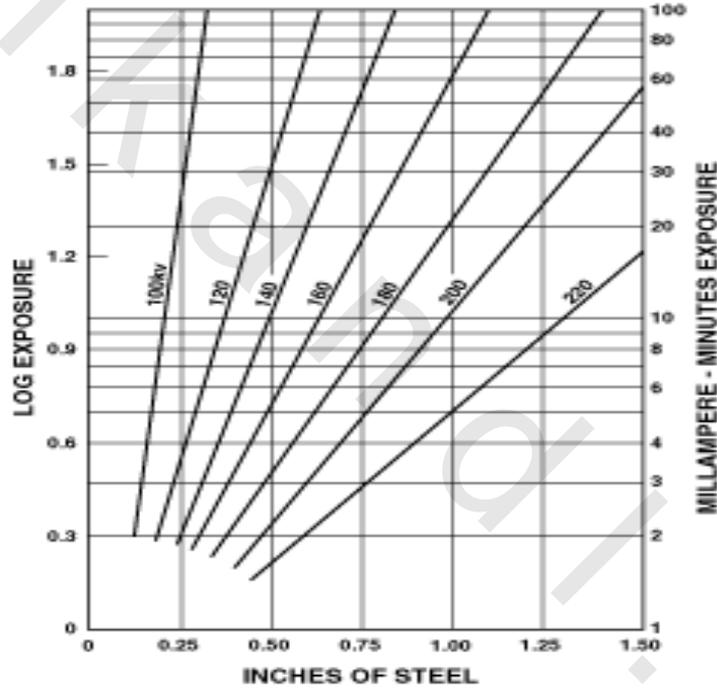
١ - مخطط التعرض للإشعاع السينية :

مخططات التعرض هي خطوط بيانية توضح العلاقة بين سمك العينة كدالة للفولطية المسلطة (kV) ومقدار التعرض . هذه المخططات مناسبة لتقدير التعرض في العينات المتجانسة ولكنها تكون غير دقيقة للعينات المختلفة السمك وخاصة عينات الصب (Casting).

والطريقة المثلى لرسم مخططات التعرض هو اخذ مجموعة من الصور لعينة متدرجة بشكل إسفيني تحتوي اسماك مختلفة ولزمن تعرض مختلف لكل فولطية. تعامل الأفلام المتعرضة بنفس الشروط (المواد الكيماوية ،الزمن،درجات الحرارة) ومشابهة للمعاملة الروتينية. كل صورة إشعاعية تحتوي على كثافات مختلفة للصورة حسب الإشعاع النافذة، فمثلا عند اختيار كثافة مقدارها ٢ كأساس لرسم المخطط نحدد من هذه الصورة مقدار سمك التدرج الإسفيني ، مقدار التعرض (ميلي أمبير-دقيقة)، الفولطية (kV) كما في الشكل (7-16). يرسم السمك عادة بالمقياس الخطي إما التعرض فيرسم بالمقياس اللوغاريتمي، وأي مخطط تعرض يرسم وفقا للشروط التالية:

- ١- جهاز الاشعة السينية المستخدم.
- ٢- المسافة بين المصدر والفلم.
- ٣- نوع الفلم المستخدم.
- ٤- شروط المعالجة الكيميائية للفلم.
- ٥- الكثافة أو درجة اسوداد التي على أساسها تم رسم المخطط.
- ٦- نوع الشاشات المستخدمة (إذا وجدت).

شكل (٧ - ١٦) مخطط لفحص الحديد بأفلام الاشعة السينية واستخدام شاشة بشكل شريحة رصاصية عندما تكون كثافة الفلم ٥ وبعد الفلم عن المصدر ١ متر



تستخدم هذه المخططات لكل حالة من الحالات الستة أعلاه وفي حالة تغير أي مقدار من هذه المقادير يجب تعيين معامل تصحيح جديد لكي نستطيع استخدام ذلك المخطط حسب التغير الجديد.

أهم عوامل التصحيح :

- ١ - من الصعوبة إيجاد معامل تصحيح لمخطط تعرض لأحد الأجهزة السينية من جهاز آخر ،لأن الأنواع المختلفة من أجهزة الاشعة السينية تعمل على نفس الفولطية العالية، و نفس التيار قد تولد كثافات مختلفة وكمية مختلفة من الإشعاع.

٢- التغيير في مساحة المصدر والفلم يمكن التعويض عنه باستخدام قانون التربيع العكسي أو أن بعض المخططات تسجل التعرض بمقدار عامل التعرض (Exposure Factor) وليس مللي أمبير - دقيقة أو مللي أمبير - ثانية. أن مخطط من هذا النوع يمكن استخدامه لأي مسافة بين المصدر والفلم.

٣- استخدام أنواع مختلفة من الأفلام يمكن تصحيحها بدلالة الاختلاف في مقدار التعرض الضروري لإعطاء نفس الكثافة على الفلمين من مخطط التعرض النسبي (شكل 7-17) . فمثلا الفرق في مقدار التعرض للفلم Y عن الفلم X وعند الكثافة 1.5 هو 0.6 وان عكس اللوغاريتم للمقدار 0.6 يساوي 3.99 تقريبا. وأن مقدار الفرق في مقدار التعرض يمكن إيجاده على مقياس (log) والذي يمثل معامل تعرض مقدار 3.99 على مقياس الكثافة (تقرأ مباشرة أسفل الفرق في (log E) ولغرض الحصول على نفس الكثافة في الفلم Y من الفلم X. نضرب التعرض الأصلي بالمقدار 3.99 للحصول على التعرض الجديد . أما إذا كان المطلوب على كثافة اقل أي نتيجة من الفلم Y إلى الفلم X فنقسم التعرض الأصلي على المقدار 3.99 للحصول على التعرض الجديد.

٤- عند تغيير طريقة المعالجة الكيميائية للفلم يؤدي إلى تغيير السرعة المؤثرة للفلم لذلك فان عامل التصحيح يمكن إيجاده من إجراء مجموعة من القياسات والتجارب.

٥- يوضح المخطط مقدار التعرض اللازم لتوليد كثافة معينة. فإذا كان المطلوب كثافات مختلفة فان عامل التصحيح يمكن حسابه من منحنى خواص الفلم .

٦- عند تغيير نوع الشاشة من الشاشة الرصاصية إلى الشاشة المتفلورة أو بالعكس فانه من الأفضل والأدق رسم مخطط جديدا بدلا من إيجاد عامل التصحيح ، لذلك فانه من الممكن إيجاد عامل التصحيح لمخططات التعرض عند تغير شرط أو أن من الشروط السابقة ماعدا الشرط الأول والأخير.

ب- مخطط التعرض لأشعة جاما:

في حالة رسم المخطط لمصدر باعث لأشعة جاما فان العوامل المتغيرة اقل مما هو حالة الاشعه السينية والتي يحكمها التغير في مقدار الفولطية لذلك فان مخططات أشعه جاما تحتوي على خط بياني واحد أو مجموعه خطوط تختلف في كثافة الأفلام شكل (7-17) والسبب في ذلك فان طاقة الفوتونات لأشعه جاما تكون ثابتة كما في Ir-192 ومن غير الممكن التحكم بها . لذلك فان المخططات تكون بسيطة وغير معقدة ويمكن إيجاد عامل التعرض (E_x) من العلاقة التالية:

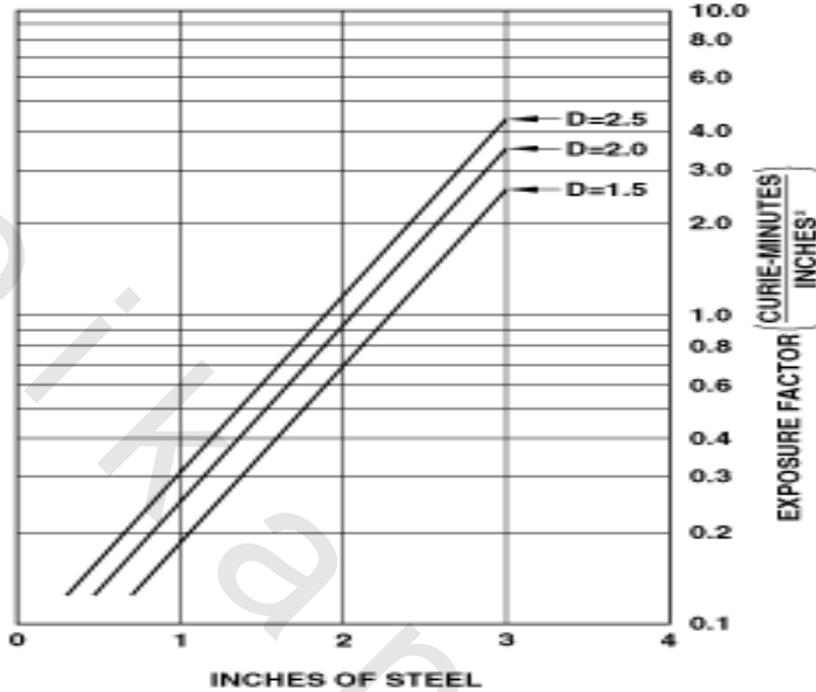
$$E_x = I.t/D^2$$

حيث أن:

I شدة المصدر المشع . t زمن التعرض D المسافة بين المصدر والفلم.

ويمكن تصحيح النشاط الإشعاعي للمصدر عند لحظة التصوير بحساب مقدار النشاط الإشعاعي للمصدر من تاريخ التصنيع إلى تاريخ الاستخدام باستخدام معادلة عمر النصف.

شكل (٧ - ١٧) مخطط التعرض لأشعة كاما لكثافات مختلفة



يبين الجدول (٧ - ٥) عامل التعرض المكافئ لمعادن مختلفة عند استخدام الأجهزة السينية وعند فولطية تتراوح بين ٥٠ - 200 كيلو إلكترون فولط حيث أعتبر الألمونيوم المعدن المرجعي في حالة الفولطية الواطئة والحديد في حالة الفولطيات العالية . يبين الجدول كذلك التصوير في حالة أشعة جاما والقيم التقريبية التي تستخدم كدليل. أما القيم الدقيقة لمقدار التعرض المكافئ فيعتمد على نوعية الأشعة السينية وسمك العينة . يلاحظ من الجدول بان الامتصاص النسبي للعينات لا يكون ثابتا ولكنه يتغير مع الفولطية المطلقة. فكلما ازدادت الفولطية فان فروقات التعرض المكافئ للعينات المختلفة تكون قليلة أي أن زيادة الفولطية تؤدي الى الامتصاص الإشعاعي للمواد والذي يتناقص تدريجيا كدالة للأعداد الذرية لمكونات النموذج.

جدول (٧- ٥) التعرض الإشعاعي المكافئ

أشعة جاما				فولطية الاشعه السينية (KV)								المادة
Radium	Co-60	Cs-137	Ir-192	2500-4000	2000	1000	400	220	150	100	50	
-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.5	0.6	0.6	منغنيز
0.4	0.35	0.35	0.35	-	-	-	-	0.18	0.12	1.0	1.0	ألنيوم
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	12	-	حديد
1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	-	-	1.4	1.4	1.6	18	-	نحاس
1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	-	-	1.3	1.3	1.4	-	-	زنك
1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	-	-	
20	2.3	3.2	4.0	3.0	2.5	5.0	-	12	14	-	-	رصاص
-	3.4	5.6	12.6	3.9	-	-	-	25	-	-	-	يورانيوم

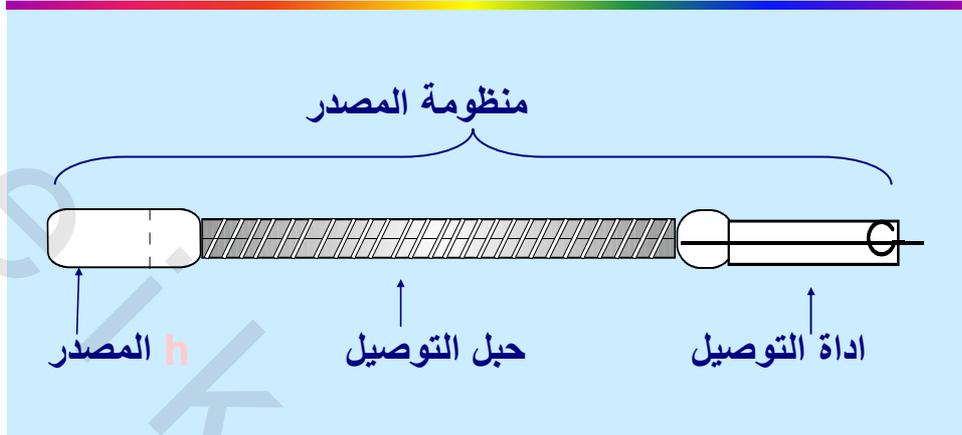
عندما تكون فولطية جهاز الاشعة السينية أكثر من ١٠٠٠ kV. والمواد لا تختلف كثيرا في العدد الذري (مثل الحديد والنحاس) فإن الامتصاص الإشعاعي لأي سمك يتناسب بشكل تقريبي مع كثافة العينة. في حالة الفولطيات العالية أو استخدام أشعه جاما ذات القدرة العالية للنفوذ فإن تأثير مكونات العينة على الامتصاص لا يمكن إهماله وخاصة للعينات ذات الأعداد الذرية المختلفة كثيرا. فمثلا الامتصاص في الرصاص عند فولطية ١٠٠٠keV تساوي خمسة أمثال ذلك في الحديد.

لنفس السمك مع أن كثافة الرصاص اكبر من كثافة الحديد بمقدار ٥.٥ مرة.

نستخدم نفس الفرضيات لامتنصاص مصادر أشعه جاما وخاصة Co^{60} و Cs^{137} لان كل من جاما والاشعه السينية إشعاعات كهرومغناطيسية. يعتمد مقدار الاشعه المتشتملة على حجم، شكل و تركيب العينة بحيث أن القانون الاسي للامتصاص لا يطبق عليها بالضبط. إما مصدر Ir-192 فإنه يبعث مدى واسع من طاقات أشعه جاما والذي يماثل الامتنصاص للاشعه السينية. يوضح الجدول (٧ - ٥) بان مقدار الامتنصاص لفولطيات عالية من الاشعه السينية وأشعه جاما تكون متشابه تقريبا.

يقوم المصنع في الغالب بإعطاء وثيقة تحدد العمر التشغيلي للمصدر. ولكن يمكن للسلطة الرقابية استخدامه بعد هذه الفترة ولكن بزيادة تكرار اختبار التسرب الإشعاعي وتقييم سلامة المصدر من قبل مختص مؤهل .:

الشكل (٧- ١٨) منظومة مصدر اشعة جاما



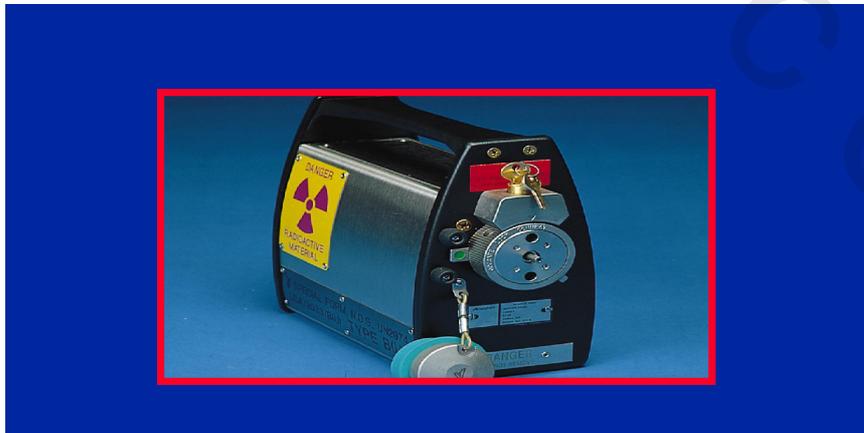
المصدر المشع يحفظ داخل حاوية التعرض (يسمى أحيانا بجهاز التعرض أو الكاميرا) ويمكن التحكم

بإخراج وادخال المصدر داخل حاوية التعرض بواسطة منظومة المصدر حيث يرتبط المصدر بناقض معدني يسمى حبل التوصيل ويتم التحكم به عن بعد بواسطة أداة التوصل شكل (٧ - ١٨). والوعاء يتواءم مع شكل المصدر وحامله. حاويات التعرض يجب ان تخضع الى تعليمات الهيئة الدولية للمقاييس (ISO3999). تصنف هذه الحاويات حسب نوع حركتها إلى الأنواع التالية

النوع : p

حاوية التعرض يمكن حملها من قبل شخص واحد أو أكثر . وان وزن الحاوية لهذا الصنف لا تتعدى ٥٠ كغم شكل (٧ - ١٩).

شكل (٧- ١٩) حاوية تعرض الصنف p



النوع M :

حاوية التعرض لا يمكن حملها ولكنها مصممة للنقل بواسطة عربة خاصة شكل (٧ - ٢٠).

شكل (٧-٢٠) حاوية التعرض المتحركة من النوع M



النوع F:

تكون حاوية التعرض أما ثابتة في الموقع أو يمكن تحريكها باتجاهات مختلفة داخل الموقع. الأنواع الثلاثة لحاويات التعرض يمكن أن تقوم بتشعيع المصدر حسب الصنفين التاليين:

I: الصنف الأول

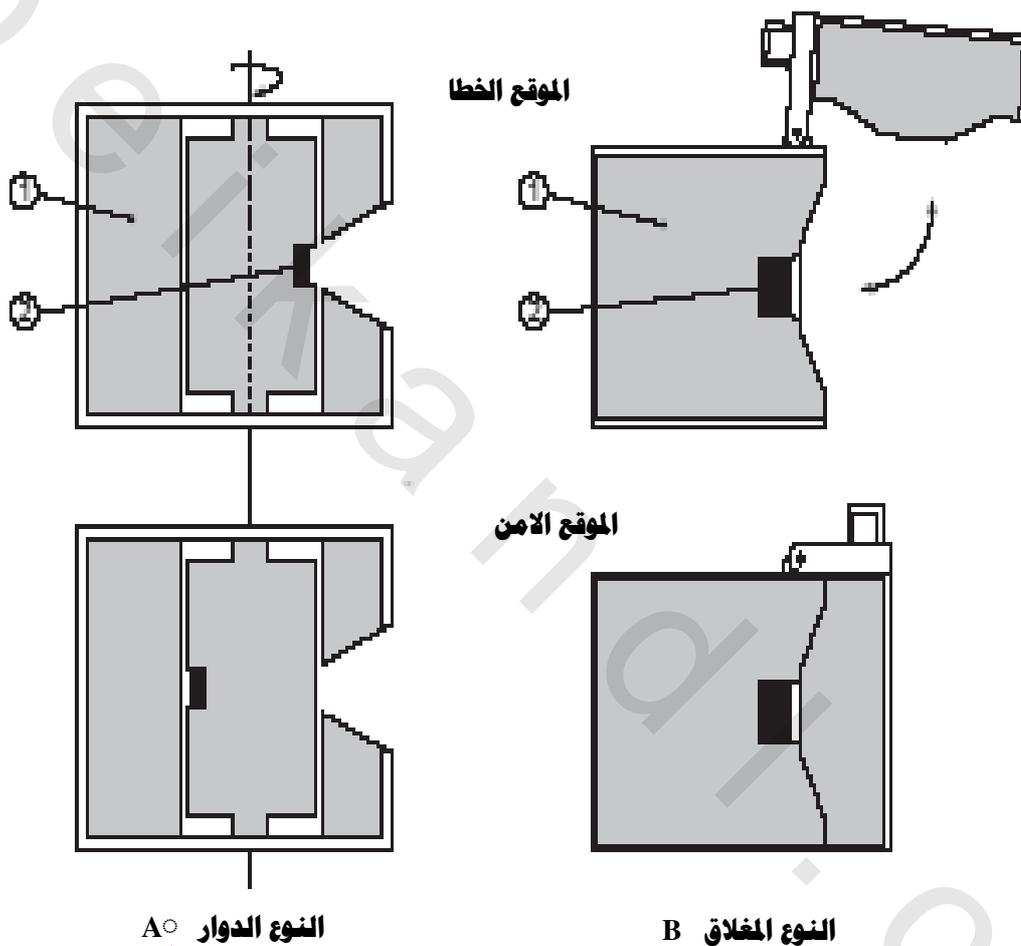
المصدر لا يخرج من حاوية التعرض لغرض التشعيع وإنما يحفظ في مركز كتلة من مادة الدرع حيث يمكن إزاحة جزء من الدرع. أو أن المصدر أو الدرع يتحرك لتعريض المصدر. الزاوية الصلبة للحزمة الإشعاعية لا يتعدى ٦٠°. تحدد الحاوية من أبعاد الحزمة بالإضافة إلى استخدام المسدد لغرض التحديد الإضافي للحزمة الإشعاعية وتقليل حجمها. الحركة يمكن السيطرة عليها بشكل مباشر أو عن بعد شكل (٧ - ٢١).

II: الصنف الثاني

أن منظومة المصدر تخرجه ميكانيكياً من حاوية التعرض ويتحرك خلال أنبوب التوجيه الذي يصل المصدر إلى منطقة التعرض. عملية الإخراج إما أن تكون يدوية أو بواسطة محرك يتحكم به المصدر الإشعاعي، يتحرك المصدر بواسطة كيبيل يدفع المصدر إلى نقطة التشعيع أو بعيدة إلى حاويته. ويكون موقع نهاية الأنبوب عند مسدد يضع المصدر في الموقع المناسب ويحدد حجم

الإشعاع إلى الحجم المحدد للتصوير. وتتوفر عدد كبير من المسدات لتحديد الحزمة إلى موقع التصوير شكل (٧-٢١ ب)

شكل (٧-٢١) حاوية التعرض الصنف الأول حيث ان الأرقام تشير (١) حاوية التعرض و (٢) المصدر المشع المغلق



شكل (٧- ٢١ ب) انواع مختلفة من المسدّات المستخدمة في التصوير الشعاعي



لا تعمل منظومة المصدر تحت الضغط السالب أو الجاذبية لغرض إعادة المصدر إلى حاويته لأن مثل هذه التصميمات غير آمنة في العمل الإشعاعي، ويوضح الشكلين (٧ - ٢٢ و ٧ - ٢٣) هذا الصنف.

لقد حددت الهيئة العالمية للمقاييس مقدار معدل الجرعة لمختلف أنواع حاويات التعرض الجدول ٧- ٦.

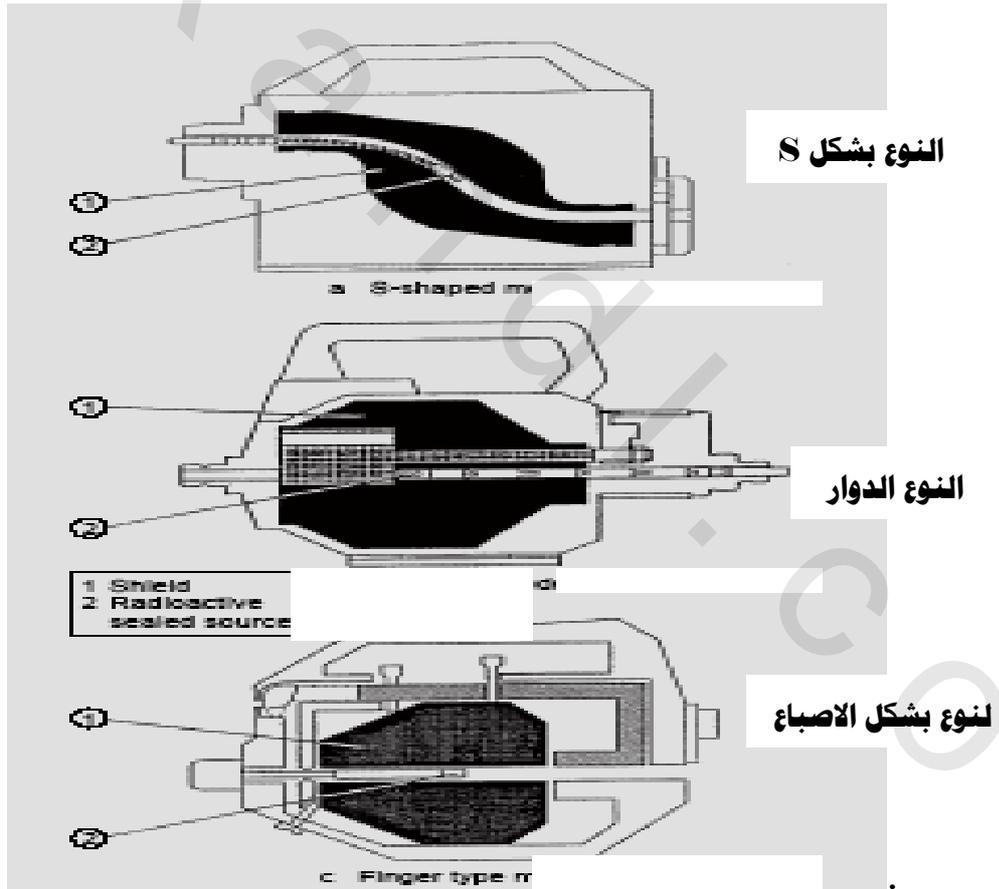
تصمم حاوية التعرض كطرد نقل نوع (B) والتي يجرى عليها اختبارات طرود النقل المعروفة مثل قوة الصدم ، الغمر في السوائل ، التعرض لدرجات حرارة عالية بدون أن يتأثر المصدر المشع أو الحاوية . جميع حاويات التعرض تجهز كلياً بأجهزة غلق تحافظ على المفتاح عندما يكون المصدر في حالة التشعيع. وعندما يتعطل المغلاق فهو لا يعيق عودة المصدر إلى وضع الأمان.

جدول (٧- ٦) معدل مكافئ الجرعة الأعظم المسموح به لكل نوع من أنواع الحاويات (٣٩٩٩) ISO .

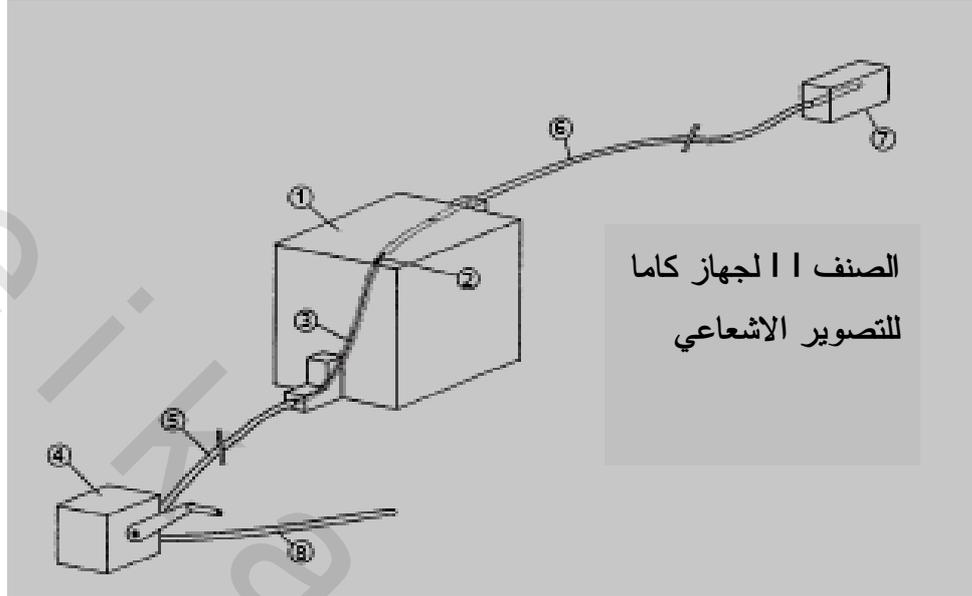
معدل مكافئ الجرعة الأعظم uSv\h			النوع
على بعد ١ ملم من الحاوية	على بعد ٥٠ ملم من السطح الخارجي	على السطح الخارجي للحاوية	
20	500	2000	P
50	1000	2000	M
100	1000	2000	F

- كل حاويات التعرض تحتوي على صفيحة معدنية مثبتة على الحاوية تحتوي المعلومات التالية:
- ١) علامة الإشعاع الموصى بها عالمياً.
 - ٢) كلمة إشعاع (Radioactive) بحروف ارتفاعها لا يقل عن ١٠ ملم.
 - ٣) النشاط الإشعاعي للمصدر بوحدات البيكرل.
 - ٤) اسم مصنع حاوية التعرض والرقم التسلسلي للمنظومة.
 - ٥) نوع، صنف، والكتلة الكلية لحاوية التعرض.
 - ٦) كتلة اليورانيوم المنضب المستخدم كحاوية إذا كان ذلك معلوماً أو يشار إلى أن الحاوية تحتوي على اليورانيوم المنضب.
 - ٧) الرمز الكيميائي للمصدر وعدده الكتلي.

شكل (٧-٢٢) الصنف II لحاوية التعرض ١ - الدرع ٢ - المصدر المشع المغلق



شكل (٧ - ٢٣) الصنف II لجهاز كاما للتصوير الإشعاعي حيث ان الأرقام التالية تشير
 ١- حاوية التعرض ٢ - المصدر المشع المغلق ٣- حبل التوصيل ٤ - التحكم ٥ - حبل التحكم
 ٦ - سلك اخراج المصدر ٧ - رأس التعرض



من المفضل استخدام حاويات تعرض حديثة تحتوي منظومات لسلامة وأمان التعرض من الإشعاع وقد وضعت هيئة المقاييس عام (١٩٩٤) خواص مثل هذه الحاويات. أن حاويات الصنف الثاني II تتضمن منظومات تؤمن المصدر اتوماتيكيا وتعيده إلى موقعه داخل الحاوية بعد كل تعرض. مثل هذه الحاويات لا تعمل إلا عندما يحصل الاتصال الآمن بين منظومة المصدر وكيبيل السيطرة، وبين كيبيل التحكم عن بعد وحاوية التعرض، اوبين أنبوبة التوجيه وحاوية التعرض. مثل هذه المنظومات متوفرة حاليا في الأسواق. المعدات الإضافية مثل كيبيلات السيطرة وأنبوبة التوجيه متوفرة حاليا لزيادة المسافة بين المصور الشعاعي والمصدر. الطول المثالي لكيبيل السيطرة يتراوح بين ٧ - ١٥ متر ولأنبوب التوجيه ٢ - ٦.٥ متر.

بعد انتهاء عمر المصدر المشع لتصوير أشعة جاما فان هذا المصدر أما أن ينقل إلى موقع خزن مؤقت لحين إرجاعه إلى الشركة المصنعة مع حاويته التي تتكون من اليورانيوم المنضب والذي يمتاز بسميته ونشاطه الإشعاعي.

وإذا كان المطلوب تغيير المصدر المشع فقط فإن منظومات تبديل المصدر تستخدم لنقل المصدر الجديد من المصنع إلى الجهة المستفيدة.المصدر القديم ينقل بواسطة منظومة التبديل إلى حاوية أخرى لغرض إرجاعه إلى الشركة المصنعة.

٧ - ١٢ أنواع أخرى للتصوير الإشعاعي بأشعة جاما

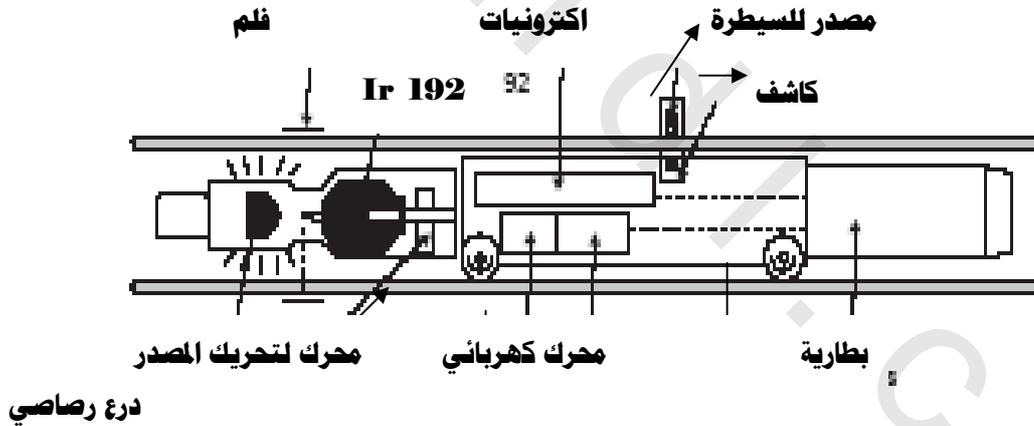
١ - التصوير الإشعاعي للتصوير تحت الماء:

- تجهز حاوية التعرض بأجهزة أمان إضافية عند التصوير تحت الماء والتي تتضمن:
- ١- جهاز لقياس العمق ويوضح العمق الأعظم الذي عنده تكون الحاوية بأمان من ضغط الماء.
 - ٢- سدادة محكمة لغرض منع دخول الغازات والماء لبعض أجزاء الجهاز.

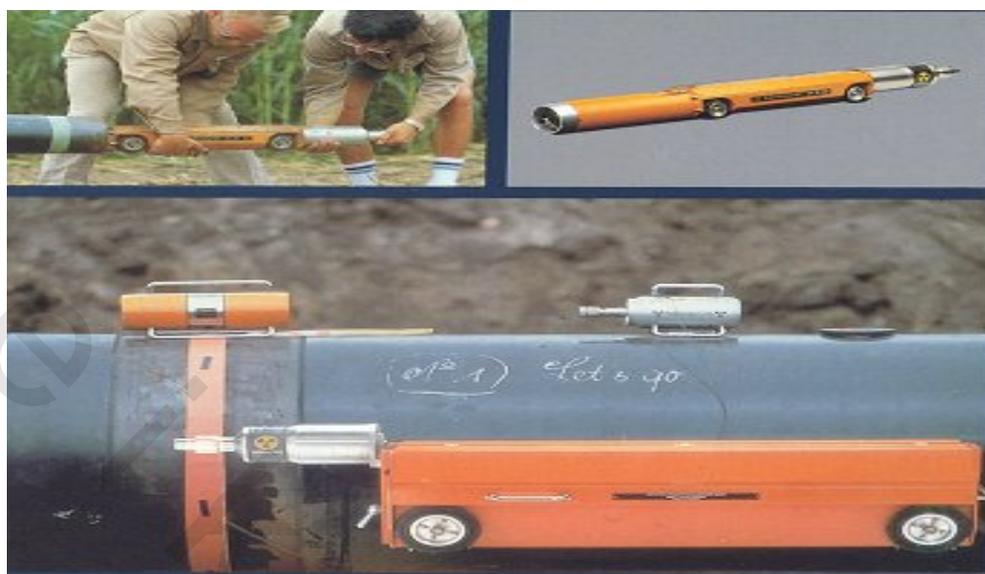
٢- أجهزة التصوير الإشعاعي الزاحفة في الأنابيب:

تستخدم هذه الأجهزة لغرض تصوير اللحام من الداخل. وتستخدم منظومة اشعة سينية أو مصدر لأشعة جاما والتي تحمل على عربة تتحرك داخل الأنبوب، شكل (٧ - ٢٤ و ٧ - ٢٥). ويعمل محرك العربة ببطارية أو بواسطة كابل يتصل إلى مولد خارجي ويمكن السيطرة على حركة العربة من قبل المصور الإشعاعي من خارج الأنبوب باستخدام مصدر مشع مغلق ذات نشاط إشعاعي واطئ من السيزيوم- ١٣٧. يتحرك على الأنبوب من الخارج لغرض تحريك العربة والسيطرة عليها وإيقافها عند النقطة المراد فحص لحامها.

شكل (٧ - ٢٤) مقطع عرضي للمنظومات الزاحفة في الأنابيب



شكل (٧- ٢٥) تطبيقات مختلفة للمنظومات الزاحفة في الأنابيب



٤- التصوير الشعاعي المتفلور (radioscopy)

بعض هذه الأجهزة تستخدم في الوقت الحاضر على نطاق ضيق وهي في طور التطوير. الغرض منها اللحام السريع وعلى مستوى إنتاجي. هذا النوع من التصوير لا يستخدم الأفلام وإنما يستخدم التصوير الرقمي حيث تظهر صورة ذات نوعية جيدة على شاشة. يوضع رأس أنبوب الأشعة السينية مقابل للكاشف الإشعاعي وتتحرك منظومة الأشعة السينية أو أشعة جاما كحزمة ناقلة أو أن المصدر والكاشف يدوران حول الجسم المراد تصويره بواسطة محرك تتم السيطرة عليه باستخدام حاسبة. يقوم المصور بتغيير الصورة الإشعاعية الموضحة على الشاشة ويقرر قبول اللحام أو رفضه قبل الانتقال إلى لحم الجزء الآخر. ويسمى هذا الحام أحيانا الزمن الحقيقي للحام (Real Time Radiography) شكل (٧ - ٢٦ أ و ب).

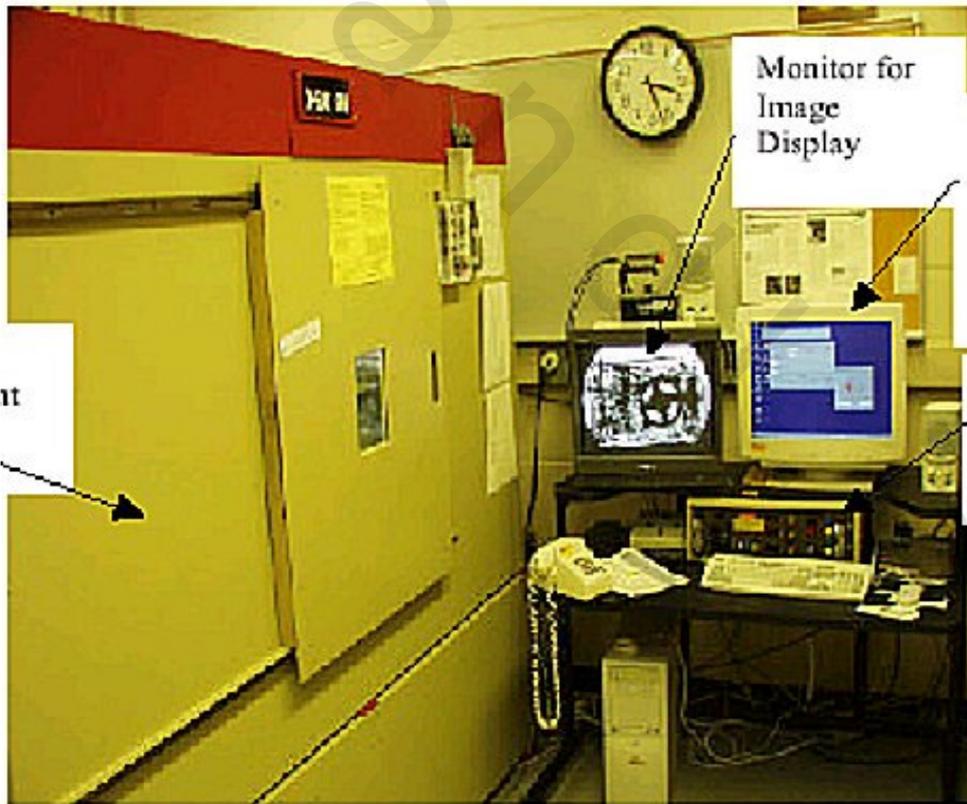
٧-١٣ التصوير الصناعي باستخدام النيوترونات:

هذا النوع من التصوير الصناعي لا يزال في مرحلة البحث والتطوير وتعتبر من التقانات الواعدة في التصوير الصناعي لغرض فحص اللحام لأجزاء سميكة وكبيرة وذلك للنفوذ العالية للنيوترونات كونها عديمة الشحنة. وفحص المواد هيدروجينية التركيب كون النيوترونات السريعة تفقد طاقتها (تتهدا) بواسطة ذرات الهيدروجين. والنيوترونات المستخدمة قد تكون سريعة أو حرارية وفوق الحرارية. المصادر النيوترونية قد تتولد من المعجلات أو النظائر المشعة المتهيجة مثل الكاليفورنيوم-٢٥٢.

شكل (٧ - ٢٦ أ) منظومة الزمن الحقيقي للحام (Real Time Radiogra)

شاشة عرض الصور
الحاسب

حاوية الأشعة السينية



شكل (٧ -- ٢٦ ب) منظومة الزمن الحقيقي للحام (Real Time Radiography) للحام

جسر

