الفصل السابع

التصوير الشعاعي الصناعي

٧ – ١ المقدمة

أكتشف العالم رونتجن 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 رونتجن استخدام هذه الأشعة في الصناعة عندما قام بتصوير مجموعة من العيارات داخل صندوق معدني .استخدمت هذه ألأشعة في الطب فبعد ستة أشهر من اكتشاف رونتجن أستطاع مجموعه من الاطباء الجراحين تصوير أحد الطلقات النافذة في جسم أحد الجنود . ولم تستخدم الاشعه السينية في الصناعه بشكل واسع إلا بعد ١٩١٣ عندما صمم وصنع المهندس كولدج انبوية للاشعه السينية مفرغة من الهواء وتعمل تحت فرق جهد يصل الى من ١ كيلو فولت.شكل(٧–١).

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

وفي عام ١٩٣١ تقدم استخدام الاشعه السينية في الصناعه بتصنيع انابيب للاشعه السينية تعمل بجهد يصل إلى ٢٠٠ كيلوالكترون 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 آخرى 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 بتحميض 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 العالمة 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.

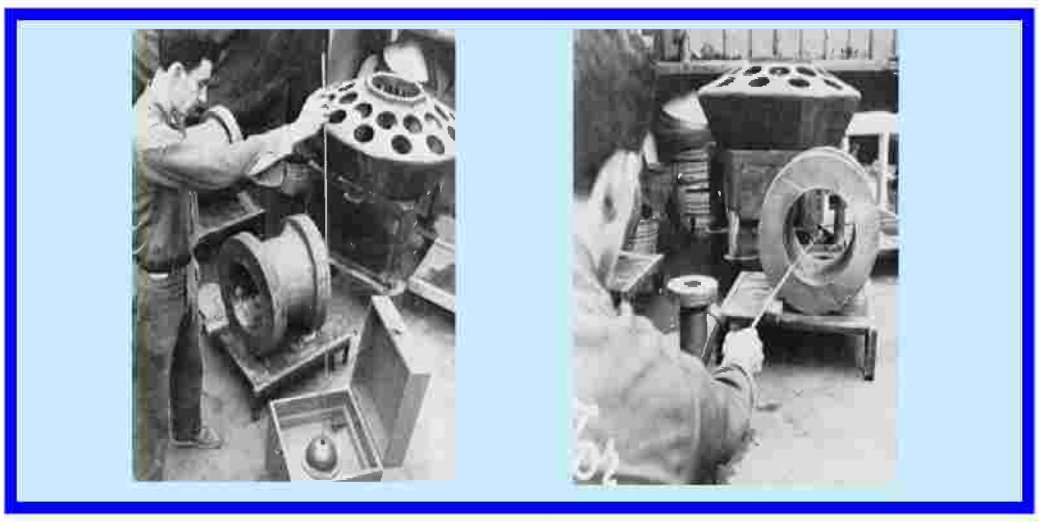
استخدم اليورانيوم كمصدر مشع باعث لأشعة جاما في الصناعة وخاصة خلال الحرب العالمية الثانية حيث تطور استخدام الإشعاع في الصناعة وخاصة في برنامج بناء السفن.

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 الاولى 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 الاشعة السينية

٢ – التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام اشعة جاما

٣ – التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام المعجلات

٤ – التصوير الشعاعي الصناعي باستخدام النيوترونات

٧ – ٢ التصوير ألشعاعي الصناعي باستخدام الاشعة السينية

ا – أنابيب الأشعة السينية المحمولة:

يوجد نوعين من اجهزة الاشعة السينية المحمولة المستخدمة في التصوير الصناعي.الاول يسمى الانبوب ذي التشعبع المباشر– ألاتجاهي **(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).

تعتمد الجرعة التي يتعرض لها المصور الشعاعي على طول الكيبل الواصل بين الأنبوب ولوحة السيطرة والذي لايقل عن ٢٠ متر لأجهزة سينية تعمل على ذروة فولطية ٣٠٠ فولط ويزداد الطول بزيادة ذروة الفولطية. يفضل ان يمتد الكيبل بشكل مستقيم لزيادة المسافة .كذلك تعتمد الجرعة على ثوابت الجهاز (ذروة الفولطية) (kV_p)، أقصى تيار (**mA**) ، وزمن التعرض (S).

تحتوي لوحة السيطرة على مايلى : 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.

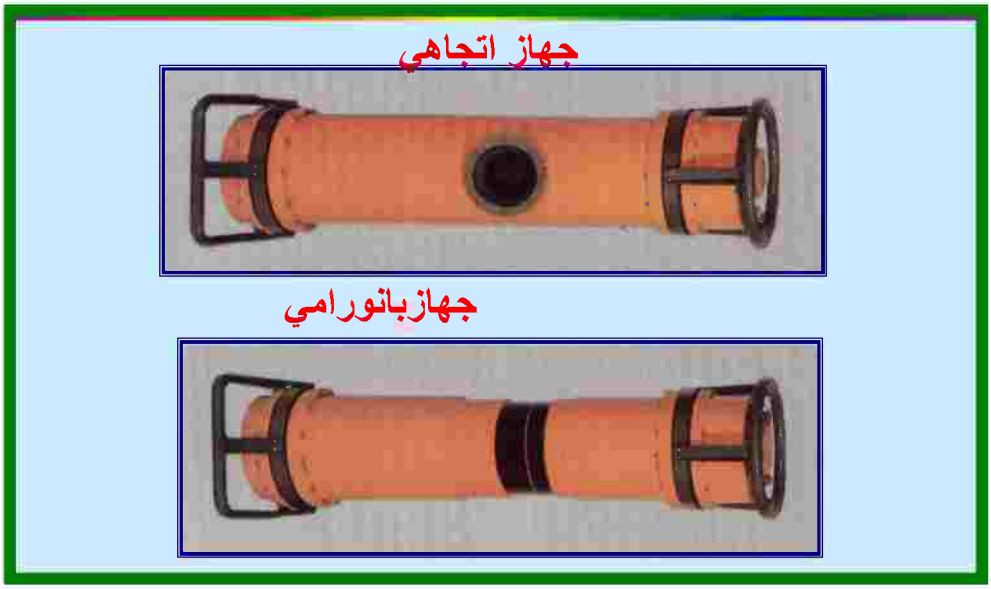
٥ – مفاتيح كهربائية لاختيارثوابت الجهاز.

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

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

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

شكل (٧ - ٣ -). الانبوب ذي التصوير المباشر-ألاتجاهي والأنبوب ذو التصوير البانورامي



شكل (٧ -٤)لوحة السيطرة لأجهزة الاشعة 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 ومجهز 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 السميكة والمعجلات على أنواع منها:

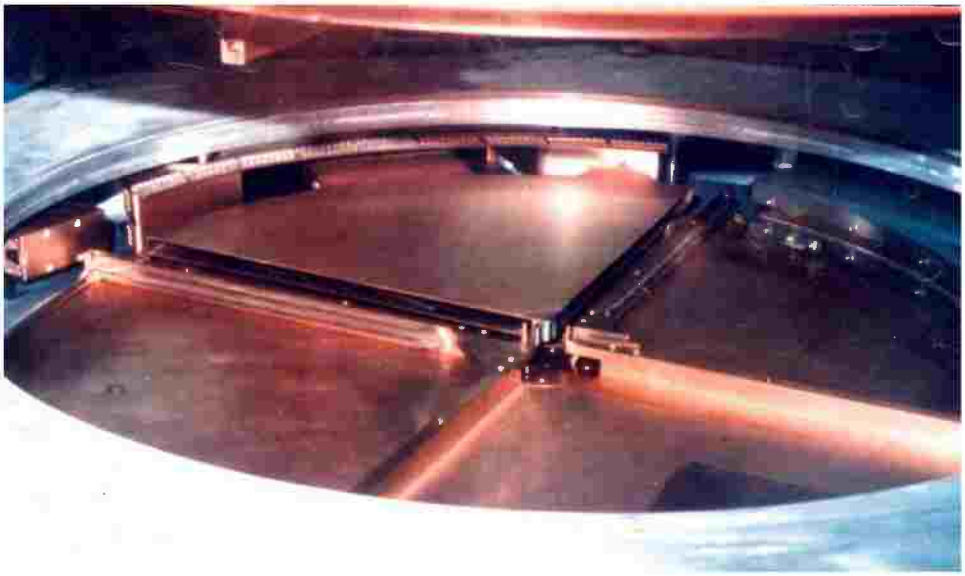
١- المعجل الخطي الذي يكون داخل غرفة مدرعة مجاورة لأجهزة التصوير.

٢-المعجل الدائري (السايكلترون) ويكون اصغر من المعجل الخطي ويستخدم لفحص اللحام للمعدات الكبيرة مثل الجسور حيث يجرى 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 البيتاترون وهو نوع من المعجلات الصغيرة التي يمكن نقلها على عربة صغيرة ولا تتجاوز كتلتها ١٠٠ كغم مع ملحقاتها.

شكل (٧ - ٦) مقطع عرضي المعجل الدائري(السايكلترون) توضح اجزاء الديز(Dees)



٧ - ٣ 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.

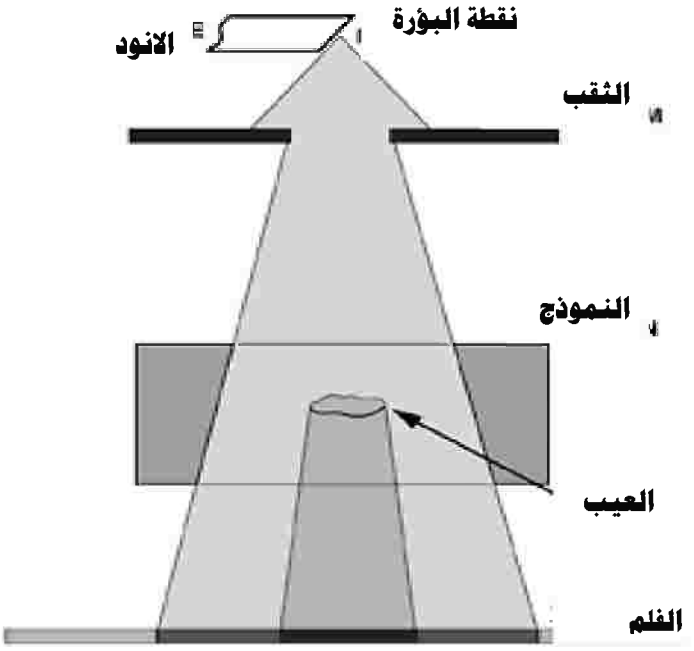
شكل (٧ - ٧) معجل محمول (بيتاترون) لتوليد الاشعة السينية للتصوير الصناعي أ – كبير ب صغير

ب

أما أشعة جاما فهي موجات كهرومغناطيسية مشابهه تماماً للأشعة السينية ولكن تردد أشعة جامـــا عالي جداً ومنشائها من داخل النواة، حيث تنبعث نتيجة لانحلال نوى الذرات المتهيجة الطبيعية مثل الراديوم أو الصناعية مثل Co-60 وIr-192 ، و تستخدم المصادر الصناعية بشكل شـــائع فـــي 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 الصـــورة على مقدار امتصاص الأشعة في الأجسام المارة خلالها.شكل(٧ – ٨).

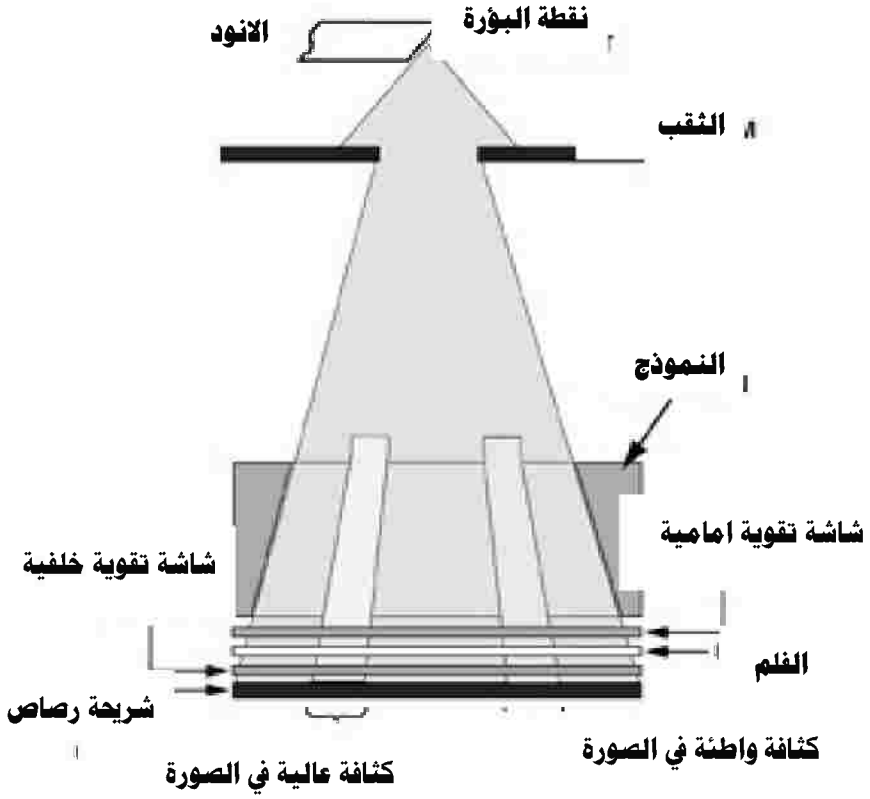
شكل (٧ - ٨) تكون الصورة على الفلم



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 تتهيج 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 تنكستات 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

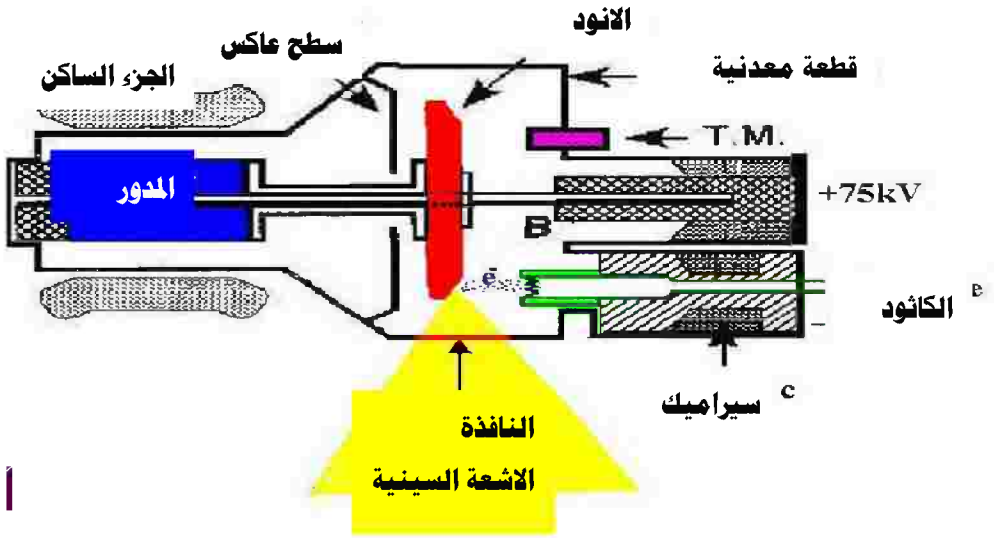
الصورة . وعند وضع شريحة من الرصاص بين أنبوبة الأشعة السينية والجسم أو بين الجسم والفلم فإن ذلك يؤدي إلى امتصاص للأشعة المتشتتة والحصول على صورة واضحة.

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 أخـــرى مطلية من جهة واحدة فقط (Single –Coated Films).

٧ – ٤ توليد الأشعة السينية :

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

شكل (٧ - ١٠) أنبوبة الأشعة السينية



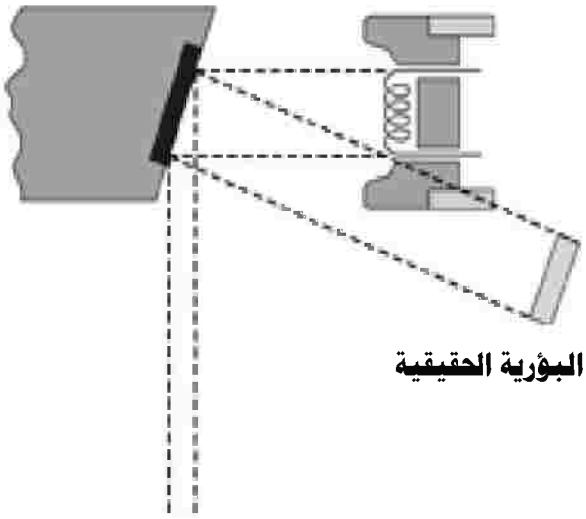
يوضح مخطط مكونات الأشعة السينية حيث أن الفتيل يسخن بتيار من بضع أمبيرات من مصدر للفولطية المنخفضة .ولكي نجعل الالكترونات تشكل حزمـــة ضـــيقة نســـتخدم وعـــاء التوجيـــه (Focusing Cup) والذي يعمل على تركيز حزمة الالكترونات على مساحة صغيرة من الهدف تسمى نقطة البؤرة. حزمة الالكترونات المتجمعة تكون تيار الأنبوبة ويقاس عادة بـــالملي أمبيـــر. 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 فـــإن 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 لايصاليته العاليـــة للحـــرارة. لغـــرض الحصول على صورة واضحة فان نقطة البؤرة تكون أصغر مايمكن . مصنعي أجهـــزة الاشـــعة السينية يزودون المستهلك بمعلومات مهمة حول ذروة فولطية الانود وتيار الكـــاثود ألازم ليعمـــل الجهاز بشكل امن، يعتمد العمر التشغيلي لجهاز الأشعة السينية على هذه المعلومات.

للحصول على مساحة صغيره لنقطة البؤرة نستخدم مايسمى بخط البؤرة (**Line of Focus**) و ذلك بجعل الزاوية بين مركز الشعاع الساقط والانود اصغر مايمكن (في الغالب٢٠ ْ)وبذلك تكون نقطة البؤرة المؤثرة قليلة مقارنة بنقطة البؤرة الحقيقية بدون استخدام خط البؤرة (شكل ٧ – ١١).

شكل (٧ – ١١) تقانة خط البؤرة



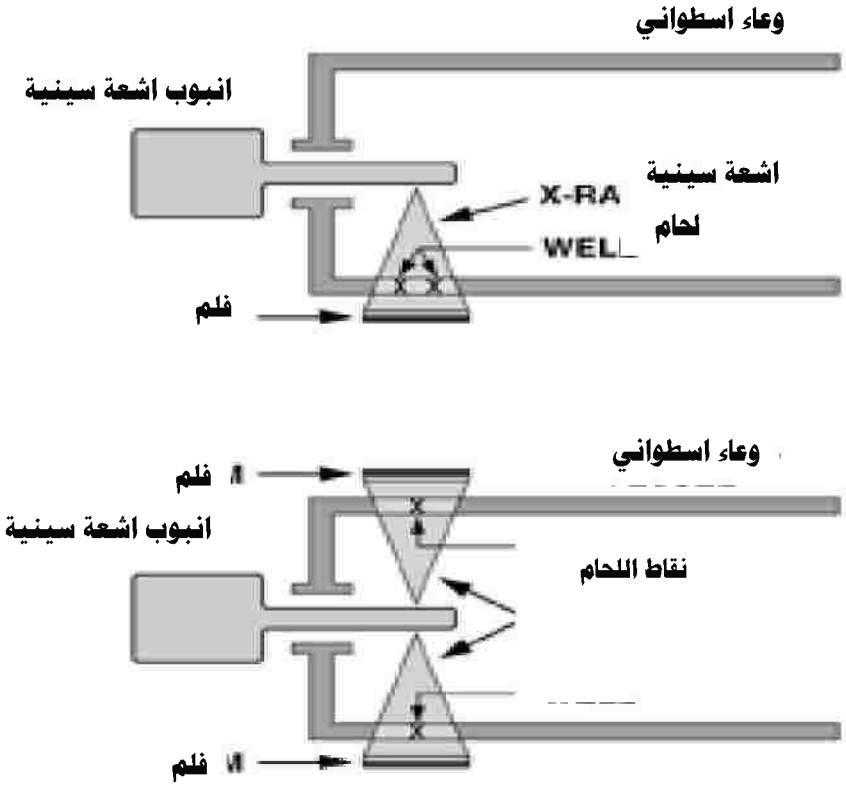
تؤدي زيادة فولطية ألانود إلى زيادة سرعة الالكترونات الساقطة على نقطة البؤرة وبذلك تكـــون طاقة الاشعة السينية المتولدة كبيرة أي طولها المؤثر قليل وقدرة اختراقها وشدتها عاليه جدا، لذلك نستخدم لتصوير الأهداف السميكة. جميع أجهزة الأشعة السينية تحتوي مجهزين للفولطية احـــدهما

واطئة للفتيل والأخرى عالية للانود. مجهز القدرة لفتيل أنبوب الأشعة السينية يحتوي محولة حافظة للفولطية والتي يمكن التحكم بها باستخدام ملف خاص بذلك. أما مجهز الفولطية العالية فانه يتكون من محوله ومقوم. يعتمد عمل كل من هذه المحولات على عدد لفات الملف الابتدائي والثانوي. في بعض الأجهزة يحتوي الانود على عمود اسطواني إضافي وتسمى الانبوبه في هذه الحالة "أنبوبة عمود الانود". يستطيع أنود هذه الأنابيب أن يندفع خلال فتحات صغيره ليسهل بعض أنواع الفحص إذا كان الهدف عمودي على اتجاه حزمه الالكترونات فانه يمكن استخدام هذا العمود للفحص خلال زاوية ٣٦٠ درجة وبذلك فان جميع سطح الأنبوب يمكن فحص لحامه في تعرض منفرد واحد (شكل٧ – ١٢).

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

بعض أنابيب الأشعة السينية لاتحتوي 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 الاشعة السينية نوع أنبوبة عمود الانود.



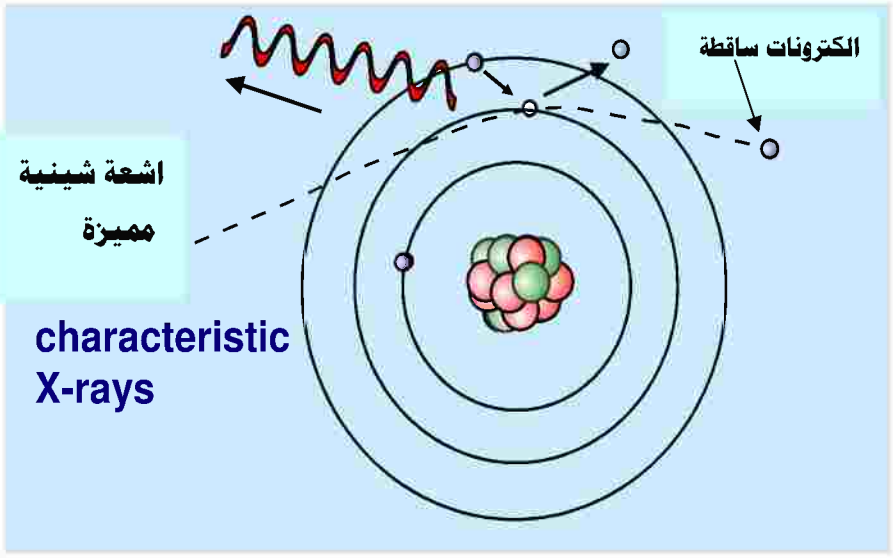
أجهزة الأشعة السينية إما أن تكون ثابتة أو متحركة معتمده على نوع الاستخدام فتكون ثابتة إذا كان بالإمكان نقل المواد المراد فحصها بسهولة، أما إذا كانت المواد المراد فحصها ثقيلة ومن الصعوبة نقلها فنستخدم لغرض الفحص أجهزة أشعه سينيه متنقلة صغيرة الحجم.

٧ – ٥ *أنواع الأشعة السينية*

الأشعة السينية المميزة (Characteristic X-Ray)

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

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



ب- الأشعة السينية ذات الطيف المستمر (البرمشتالنك):

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

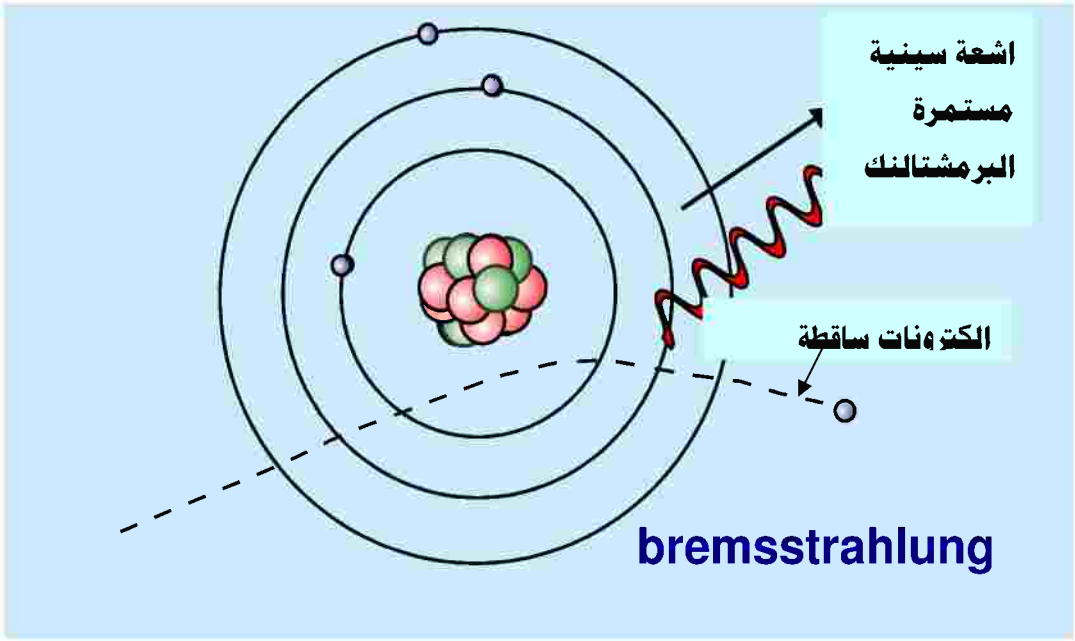
٧ – ٦ أساسيات التصوير بالأشعة السينية

الصور الإشعاعية هي خيال الاجسام التي وضعت في طريق الاشعه ألسينيه أو أشعه جاما بين الانود والفلم أو بين مصدر أشعه جاما والفلم.وان هذه الصورة تعتمد على موقع الجسم والفلم واتجاه الاشعة لذلك فان معرفه أساسيات التصوير مهمة لغرض تفسير الصور الإشعاعية.

كل من الاشعة السينية وأشعه جاما تشابه الضوء عند مرورها في الأجسام فان قسم من هذه الاشعه يخترق المادة والقسم الآخر يتشتت عنها ولكن التشتت في حاله الإشعاعات المؤينه كبيره جدا وبالرغم من ذلك فان القوانين الهندسية لتكون الصور في الضوء هي نفسها للإشعاعات المؤبنة.

الصور المتكونة للأجسام على الأفلام بعد مرور الاشعه السينية فيها تكون في الغالب مكبرة وتعتمد قوة التكبير على بعد المصدر عن الجسم (D) و(D_0) بعد المصدر المشع او الانود عن الفلم S_0 هو طول الجسم وS طول الصورة فان:

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



$$S_0/S = D_0/D$$

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

يسمى القانون أعلاه بقانون التكبير.

تعتمد شدة وضوح الصورة على مساحة الجسم وموقعه فعندما لايكون 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 ابعد 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.

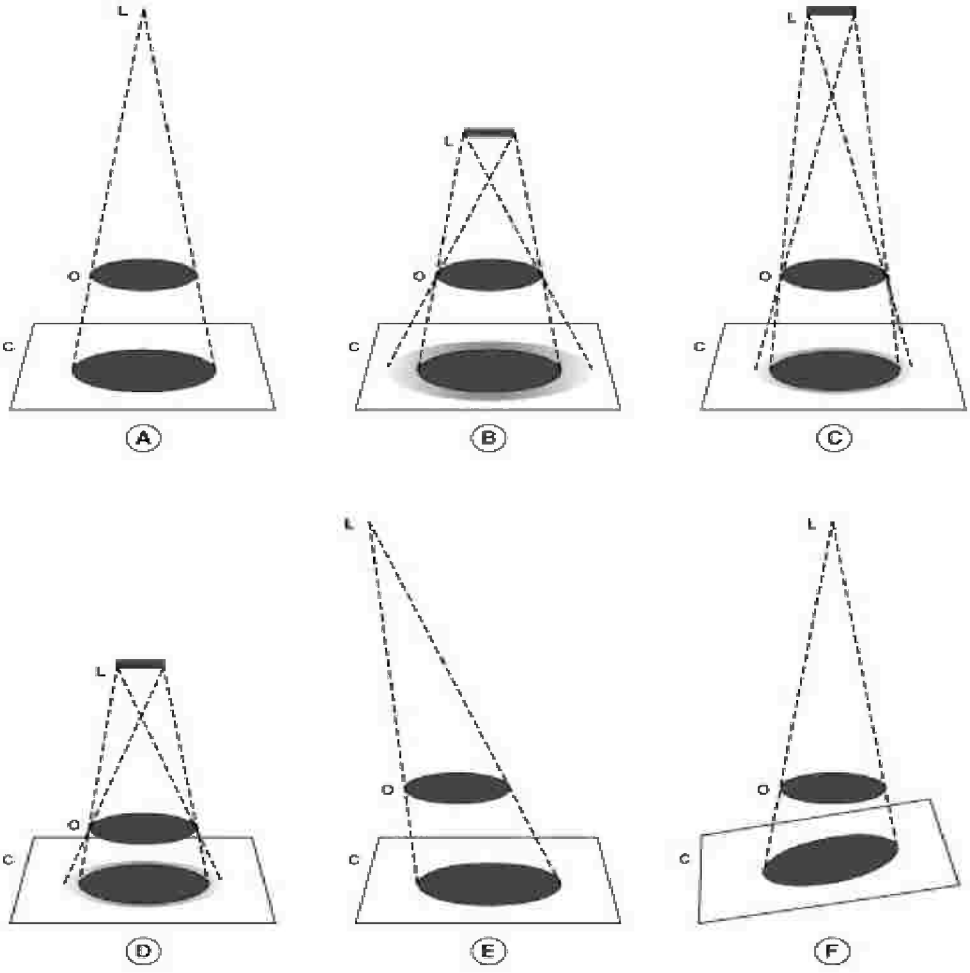
يسمى العرض المحيط بالصورة من الخارج والغير واضح بعدم الوضوح الهندسي (U_g) أو شـــبه الظل. إذا كان عرض المصدر **F**، و بعده عن الجسم D_0 ,وبعد الجسم عن الفلم **t** ، وعرض شـــبه الظل في الصورة (مقدار التشوه)(U_g) كما موضح في شكل (٧ –١٦).

$$U_g/F = t/D_0$$

او ان

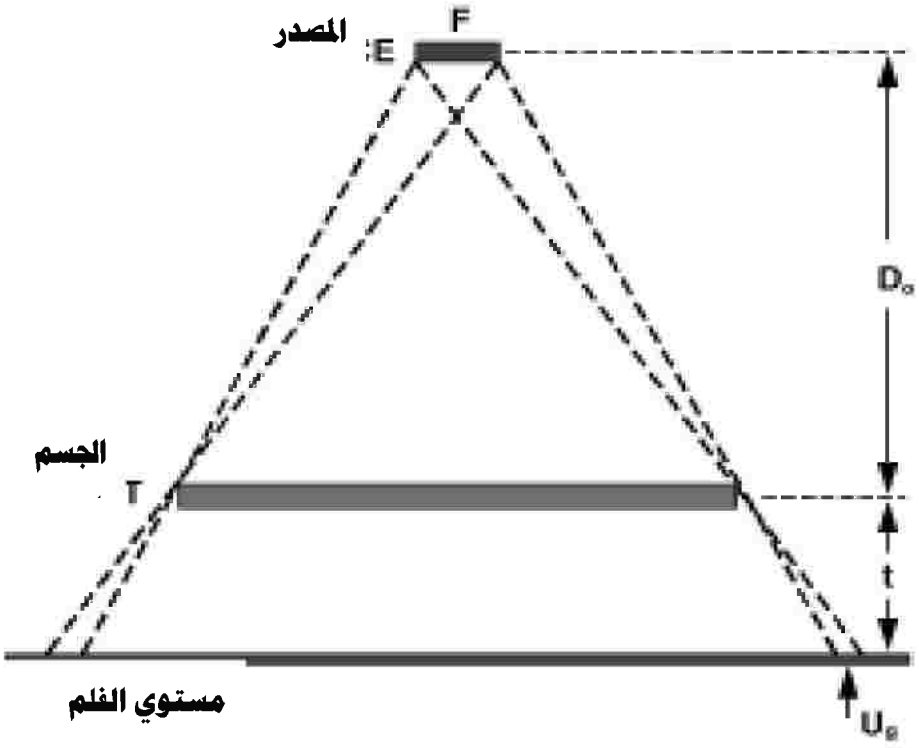
$$U_g = F(t/D_0)$$

(شكل٧ - 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:

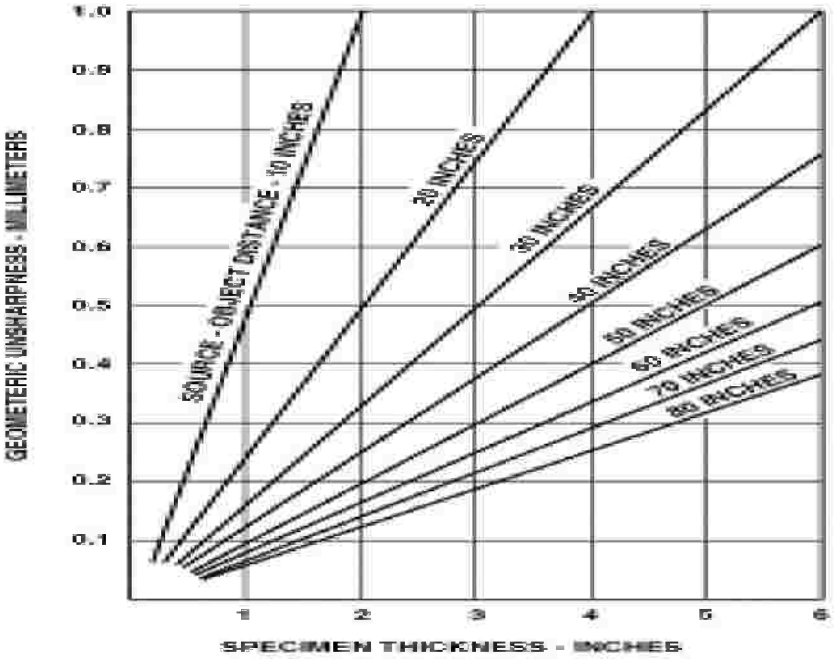
تعتمد شدة الصور الشعاعيه على كميه الإشعاع التي يمتصها مستحلب الفلم (Emulsion)وهذه الكميه من الإشعاع تعتمد على عدة عوامل منها :

١– كميه الإشعاع الكلية المنبعثة من المصدر المشع والواصلة إلى الجسم.

٢– كمية الإشعاع النافذة من الجسم .

٣– تأثير شاشه التقوية إن وجدت.

شكل(٧ -١٧)عرض الجسم كدالة لعرض الصورة

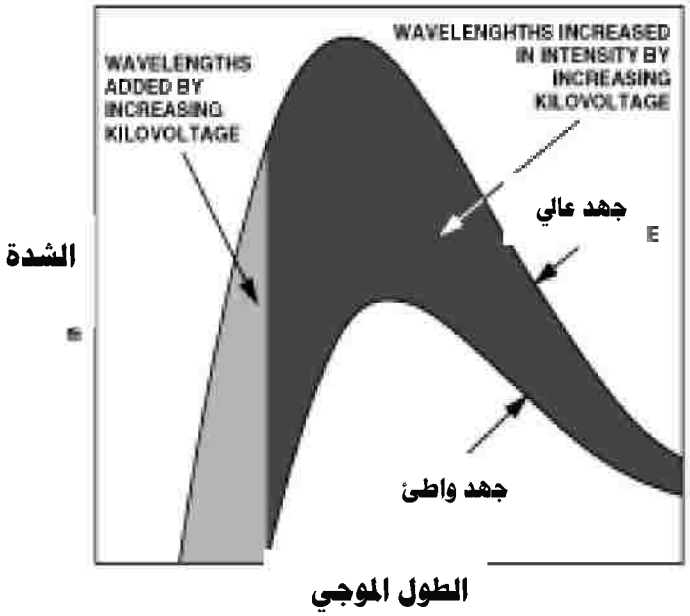


١- كمية الإشعاع:

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

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

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



أما في حالة أشعه جاما فان كمية الإشعاع المنبعث يعتمد على النشاط الإشعاعي للمصدر(مقاسا بالكيوري) وزمن التعرض (s) وتتناسب معها طرديا. كمية الإشعاع تبقى ثابتة مادام حاصل ضرب النشاط الإشعاعي والزمن كمية ثابتة وهذا يسمح باستخدام التعرض الناتج عن ألاشعه 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:

كميه الأشعة السينية أو أشعه جاما الواصلة إلى المصدر يعتمد على المسافة بين المصدر والجسم وتتناسب

هذه الكميه عكسيا مع مربع المسافة ويسمى ذلك بقانون التربيع العكسي.لان كل من الضوء ،الاشعة السينية وكذلك أشعه جاما فإنها تنفرج (Diverge)عندما تخرج من المصدر ويزداد الانفراج بزيادة المسافة.

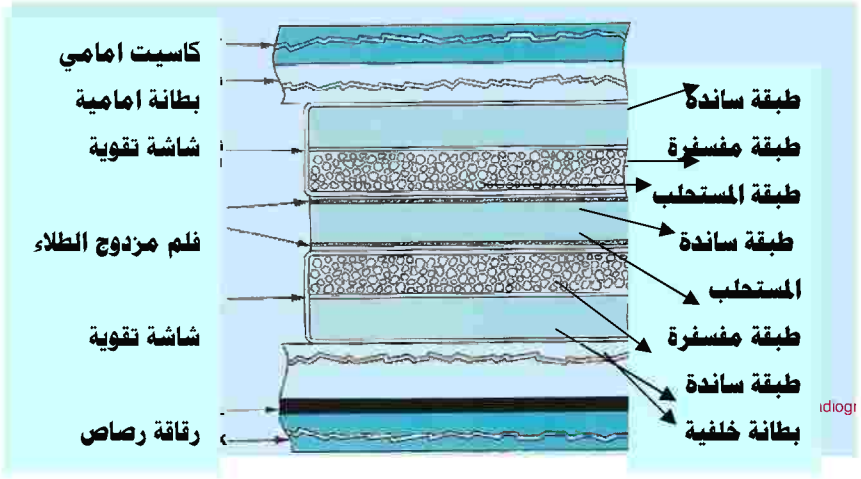
٧ – ٨ شاشات أو صفائح التقوية :

في التصوير ألشعاعي 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 لامتصاص الاشعه ذات الطاقات الواطئة والتي تمتص حسب الظاهرة الكهروضوئية .وهذا يؤدي الى تعزيز التأثير الكهروضوئي على الفلم نتيجه 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 تحميضة وتتداخل مع صور عيوب اللحام. إما صفائح الوجه الخلفي والتي تكون أكثر سمكا من صفائح الوجه الأمامي فهي تعقوم 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 ماتغلف 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 للاشعه السينية او أشعه جاما التي يمتصها إلى أطوال موجية للضوء المرئي، من أهم هذه المركبات تتكستات الكالسيوم. تفضل الشاشات الرصاصية على الشاشات المتفلورة وذلك لان الشاشات المتفلورة تودي 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 الاشعه المستخدمة والضوء المنبعث من الشاشة المتفلورة .أن وجود هذه الشاشة يؤدي إلى تقليل زمن التعرض ولكن مساوئ هذه الطريقة هو:

ا – قلة تحديد الصورة (Definition) مقارنة مع شاشه التقوية الرصاصية. يعود قلة تحديد الصورة إلى تشتت الضوء من الشاشة والذي ينتشر إلى مساحه واسعة 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 لقلة 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 تفسيرا 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 هـذه الشاشات بامتصاص الطاقات الواطئة من إشعاع المصدر وتقوم المادة المتفلورة بتحويل الاشـعه 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، لان كل مـن الاشعه السينية وأشعه جاما يجعل شاشة التقوية المتفلورة تبعث ضوء بشـدة معينـة.أمـا شاشـة الرصاص فانها تبعث الالكترونات التي تؤدي إلى التقليل من زمن التعرض. أن عامل التعـرض وهو العامل الذي يوضح العلاقة بين التيار(أو شدة المصدر المشع) ،الزمن(S) والمسافة حيث أن:

عامل التعرض= $S \times mA/D^2$ (للاشعه السينية)

$A(Ci)xS/D^2$ = (لأشعه 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 مقـدار الكيـوري- دقيقـه أو الكيوري- ساعة.

٧ – ٩ أشعة جاما (Gamma -Ray) γ

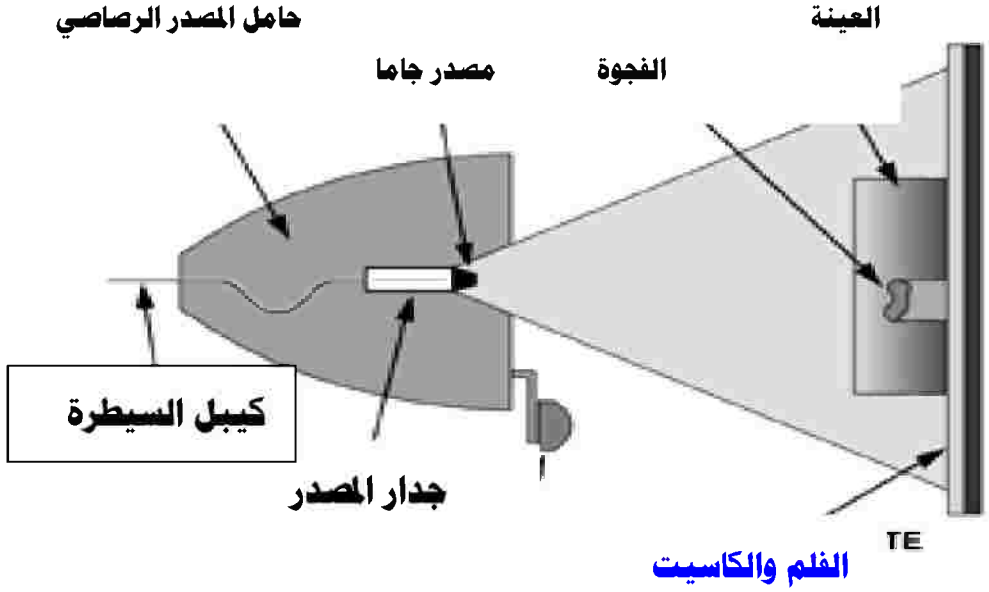
أشعة جاما عبارة عن موجات كهرومغناطيسية (مثل الاشعه السينية) ذات طول موجي قصير وطاقة عالية.وتتولد هذه الاشعه أثناء انحلال العناصر غير المستقرة والتي يكون فيها عدد النيوترونات اكبر أو اقل من عدد البروتونات لذلك فان هذه العناصر تنحل تلقائيا باعثة أشعه جاما بطاقات محددة.

تنتقل النواة من الحالة غير المستقرة إلى الحالة المستقرة ببعث جسيمات إلفا α أو جسيمات بيتا β والتي دائما مايصاحبها انبعاث أشعه جاما γ ويسمى ذلك بالانحلال الإشعاعي . ويقـاس النشـاط الإشعاعي لأي مادة بوحدة تسمى الكيوري والذي يعرف بأنه كميه المادة المشعة والتي تحتوي على $3.7x10^{10}$ 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) يحتـوي علـى (٣٥٠)كيوري. وبسبب لذلك يستخدم مصدر الاريديوم في التصوير الفوتوغرافي باستخدام أشـعه جاما .يعود استخدام المصادر الباعثة لاشعة جاما لأنها تمتاز بصغر حجمها، بساطتها، وعدم حاجتها إلى طاقة كهربائية لذلك يمكن استخدامها للفحص في مناطق نائية لاتصالها الطاقة الكهربائية. يتكون طيف أشعه جاما من ذروات محددة للطاقة تختلف من عنصر إلى آخر وهي تختلف عـن طيـف الاشعه 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 كاما ذات طاقات 1170 الإشعاعي النوعي (Specific Activity). يحتوي الغرام الواحد من Co^{60} حوالي ٥٠ ,keV1330 ومصدر(Ir-192) الذي يبعث أشعه كاما بطاقة651 keV . يوضع المصدر المشع داخل درع من الرصاص شكل(٧– ١٥) وعند اختراقه للمادة فتقل شدة الاشعه بشكل أسي. مصادر أشعة جاما تفقد نشاطها الإشعاعي بمرور الزمن.أن معدل التناقص في النشاط الإشعاعي يعتمد على نوع المصدر المشع فمثلا النشاط الإشعاعي إلى Co ٦٠ 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 فتره من الزمن.

شكل(٧ - ١٥) جهاز تصوير فوتوغرافي بأشعة كاما



٧ -١٠ *مقياس عوامل التعرض:*

يمكن قياس عوامل التعرض بالأجهزة الكهربائية المناسبة ففي 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 للانود يصعب قياسها بشكل دقيق.

ولغرض تحديد ذروة الفولطية المناسبة للتصوير الفوتوغرافي يفضل استخدام مخططات التعرض المجهزة من قبل الشركات المصنعة لأجهزة الاشعه السينية. يسجل المصـــور الشـــعاعي جميـــع المعلومات الخاصة

بالتعرض وأنواع الصور وفي هذه الحالة تكون لدية المعلومات الكافية لمعرفة القيمة المناسبة لـــذروه الفولطية لكل تقنية . تؤدي زيادة ذروة الفولطية إلى زيادة خرج الاشعه 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 كاما) keV	نصف السمك(سم)		معدل جرعة أشعه كاما	سمك مادة الفولاذ سم
			رصاص	حديد		
الكوبلت 60	5.3سنه	1330و1170	1.2	2	1.35	150-50
السيزيوم137	33سنة	6.62	-	-	0.39	١ 00-50
الاريديوم192	74يوم	1400-200	0.6	1.3	0.55	70-10
الثاليوم170	127يوم	540-84	-	-	-	اسم من الفولاذ
السيلينيوم75	120يوم	970-120	0.11	0.8	-	28-4
الاتيريوم169	32يوم	310-8	0.3	0.95	-	15-2.5

من الناحية العملية يجب تغيير ذروة الفولطية اعتمادا على سمك المادة المراد فحصها والحصـــول 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 ولايمكن تغيرها لذلك فان المقادير التي يمكن تغيرها 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) ولايمكن الاستفادة منها وصور العينات النحيفة حيث تكون كثافتها عالية ولايمكن 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 الجسيم 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 لايمكن 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 الاشعاعي أي أن المناطق الداكنة تصبح اكثر 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 صورا ذات تباين واطئ إذا كان تباين الجسم قليل جدا،وبالعكس فان الأفلام ذات التباين الواطئ قد تولد صوره ذات تباين عالي اذا كان الجسم كبير جدا.

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 (٧ – ٢) المقارنة بين العوامل التي تؤثر على تباين العينة و تباين الفلم

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

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 اكبر مايمكن عمليا،

٣ – المسافة بين العينة والفلم ويفضل أن تكون اقل مايمكن.

٤ – زاوية ميل الإشعاع عن العينة فإذا كانت الاشعه موازية لحافات العينة نحصل على تحديد جيد(صورة واضحة المعالم) أما اذا 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-عدم التحديد بالسم والشدة:

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 الاشعه السينية (أو أشعه جاما)الى ضوء ينتشر على مساحة اكبر قد تغطي مساحات لاتكون ضمن الاشعه 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

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

٣ - 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 صورا جيدة.

٤ - الامتداد Latitude :-

هو مدى سمك العينة التي يمكن تشخيصها بشكل واضح على الفلم فكلما كان طول الأجزاء الواضحة على الفلم كبيرا كان الامتداد كبيرا.والامتداد عكس التباين فكلما كانت الصورة الإشعاعية ذات تباين كبير تكون ذات امتداد ضعيف وبالعكس .من الممكن الحصول على امتداد جيد كلما كانت ذروة الفولطية كبيرة يكون التباين ضعيفا 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 الاشعه السينية مع الطبقة الحساسة للفلم والتي تؤين الطبقة الحساسة للفلم،ونظرا لعدم تقليل اثر هذه الظاهرة فقد سميت عدم الحدود المتأصل.

الإشعاع المشتت يؤثر على قيمة التباين وتحديد الفلم للاشعه المشتتة والتي تكون على ثلاث انواع:

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

النفوذية(I_0/I)Transmittance	النسبة المئوية للنفوذية	كثافة الفلم($LogI_0/I$)
1	%100	0
0.1	%10	1
0.01	%1	2
0.001	%0.1	3
0.0001	%0.01	4

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 هن ارتداد الإشعاع المؤين عن المنطقة أو المتواجد خلف الفلم مباشرة.

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

أ - مخطط التعرض للاشعه 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 الاشعه 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 الاشعه السينية المستخدم.

٢- المسافة بين المصدر والفلم.

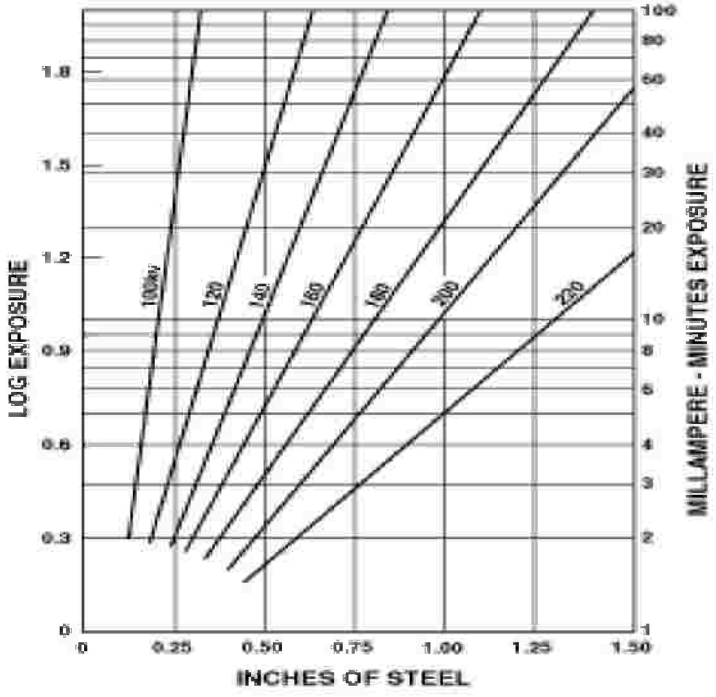
٣- نوع الفلم المستخدم.

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 و استخدام 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 ،لان ألانواع المختلفة من أجهزة الاشعه السينية تعمل على نفس الفولطية العالية، و نفس التيار قد تولد كثافات مختلفة وكمية مختلفة من الإشعاع.

٢- التغير 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 المصدروالفلم.

٣- استخدام انواع مختلفة من الافلام يمكن تصحيحها بدلالة الاختلاف في مقدارالتعرض الضروري لإعطاء نفس الكثافة على الفلمين من مخطط التعرض النسبي (شكل7- 17) . فمثلا الفرق في مقدار التعرض للفلم Yعن الفلم X وعند الكثافة 1.5 هو 0.6 وان عكس اللوغاريتم للمقدار 0.6 يساوي 3.99 تقريبا. اوأن 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 Yإلى الفلم X فنقسم التعرض الأصلي على المقدار 3.99 للحصول على التعرض الجديد.

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

ب- مخطط التعرض لأشعة جاما:

في حالة رسم المخطط لمصدر باعث لاشعه جاما فان العوامل المتغيرة اقل مما هوحالة 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:

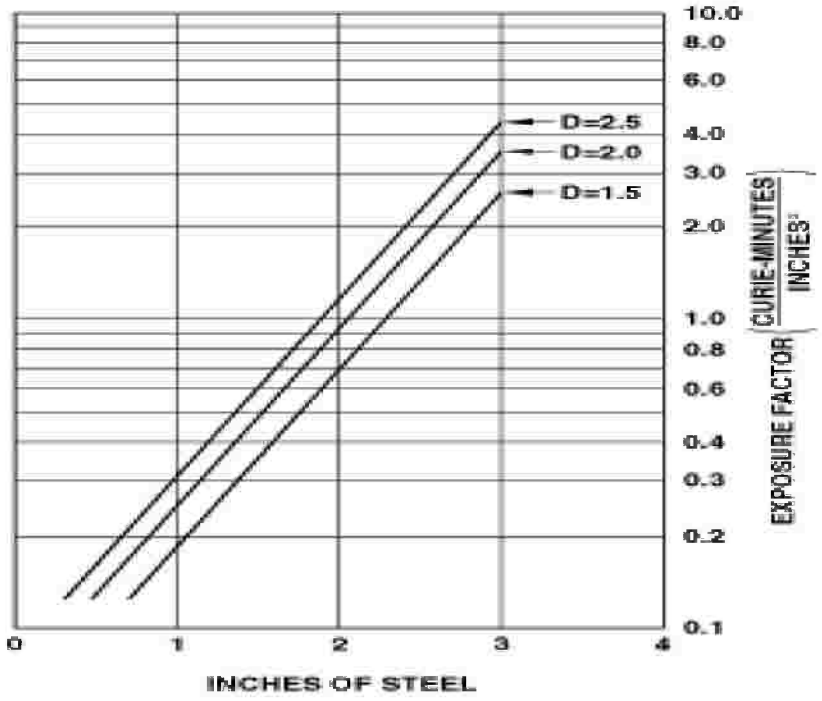
$$E_x = I.t/D^2$$

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 الاشعه السينية وسمك العينة . يلاحظ من الجدول بان الامتصاص النسبي للعينات لايكون ثابتا ولكنه يتغير مع الفولطية المسلطة. 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

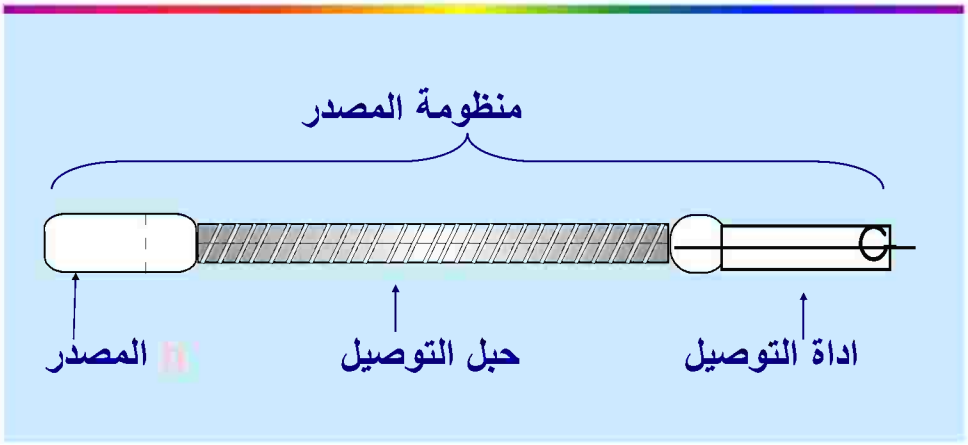
المادة	فولطية الاشعه السينية (KV)								أشعة جاما			
	50	100	150	220	400	1000	2000	2500-4000	Ir-192	Cs-137	Co-60	Radium
منغنيز	0.6	0.6	0.5	0.08	–	–	–	–	–	–	–	–
ألمنيوم	1.0	1.0	0.12	0.18	–	–	–	–	0.35	0.35	0.35	0.4
حديد	–	12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
نحاس	–	18	1.6	1.4	1.4	–	–	1.3	1.1	1.1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

عندما تكون فولطية جهاز الاشعة السينية أكثر من١٠٠٠ kV. والمواد لاتختلف كثيرا في العـــدد الذري (مثل الحديد والنحاس) فأن الامتصاص الإشعاعي لأي سمك يتناسب بشكل تقريبي مع كثافة العينة . في حالة الفولطيات العالية أو استخدام أشعه جاما ذات القدرة العالية للنفـــوذ فـــان تـــأثير مكونات العينة على الامتصاص لايمكن إهماله وخاصة للعينات ذات الأعداد الذرية المختلفة كثيرا .فمثلا الامتصاص في الرصاص عند فولطية ١٠٠٠keV تساوي خمسة أمثال ذلك في الحديـــد لنفس السمك مع أن كثافة الرصاص اكبر من كثافة الحديد بمقدار ٥.٥ مرة.

نستخدم نفس الفرضيات لامتصاص مصادر أشعه جاما وخاصة Co^{60} وCs^{137} لان كل من جاما والاشعه السينية إشعاعات كهرومغناطيسية .يعتمد مقدار الاشعه المتشتتة على حجم ، شكل و تركيب العينة بحيث أن القانون الاسي للامتصاص لايطبق عليها بالضبط . إما مصدر Ir-192 فانه يبعث مدى واسع من طاقات أشعه جاما والذي يماثل الامتصاص للاشعه السينية .يوضح الجدول(٧ – ٥) بان مقدار الامتصاص 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

باخراج وادخال المصدر داخل حاوية التعرض بواسطة منظومة المصدر حيث يرتبط المصدر بنابض معدني يسمى حبل التوصيل ويتم التحكم بة عن بعد بواسطة اداة 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:

الصنف الأول :I

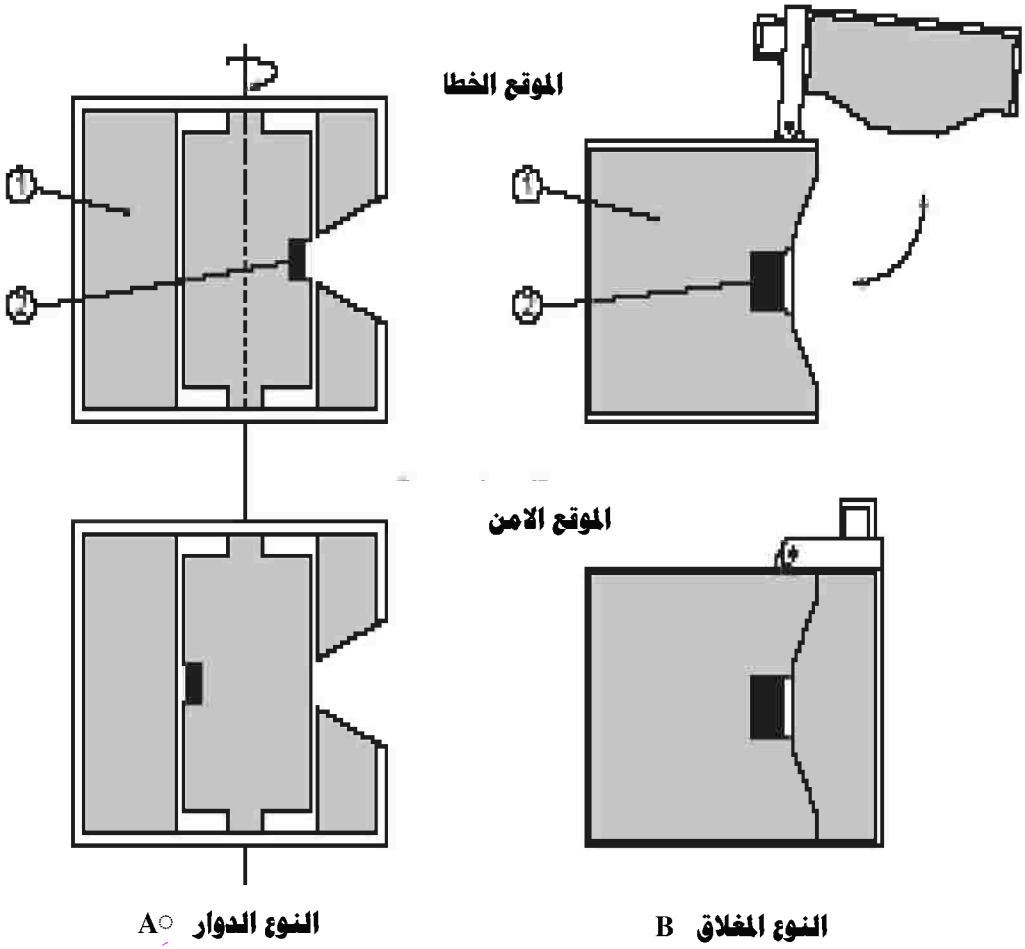
المصدر لا يخرج من حاوية التعرض لغرض التشعيع وانما يحفظ في مركز كتلة من مادة الدرع حيث يمكن ازاحة جزء من الدرع. أو أن المصدر أو الدرع يتحرك لتعريض المصدر. الزاوية الصلبة للحزمة الإشعاعية لا يتعدى ٦٠ ° . تحدد الحاوية من أبعاد الحزمة بالإضافة إلى استخدام المسدد لغرض التحديد الإضافي للحزمة الإشعاعية وتقليل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

الصنف الثاني :II

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

الإشعاع إلى الحجم المحدد للتصوير. وتتوفر عدد كبيرمن المسددات لتحديد الحزمة الـــى موقـــع التصوير شكل (٧ –٢١ ب)

شـكل (٧ -٢١ ا) حاويـة التعـرض الصـنف الأول حيـث ان الارقـام تشـير (١) حاويـة التعرض و (٢)المصدر المشع المغلق



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

لا تعمل منظومة المصدر تحت الضغط السالب أو الجاذبية لغرض إعادة المصدر إلى حاويته لان مثل هذه التصاميم غير أمينة في العمل الإشعاعي، ويوضح الشكلين (٧ – ٢٢ و ٧ – ٢٣) هـذا الصنف.

لقد حددت الهيئة العالمية للمقاييس مقدار معدل الجرعة لمختلف انوع حاويات التعرض الجـدول 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 كليا 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 انواع الحاويات (٣٩٩٩ ISO).

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

كل حاويات التعرض تحتوي على صفيحة معدنية مثبتة على الحاوية تحتوي المعلومات التالية:

١)علامة الإشعاع الموصى بها عالميا.

٢)كلمة إشعاع (Radioactive) بحروف ارتفاعها لا يقل عن ١٠ ملم.

٣)النشاط الإشعاعي للمصدر بوحدات البيكرل.

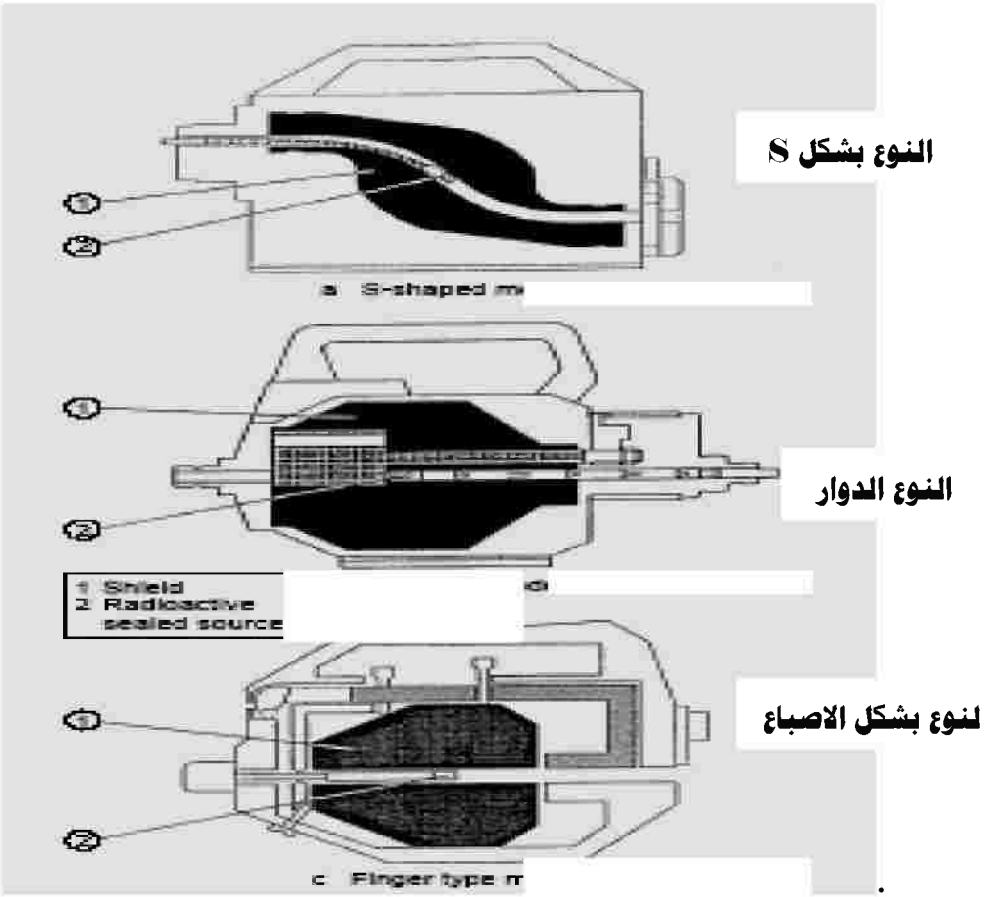
٤)اسم مصنع حاوية التعرض والرقم التسلسلي للمنظوقة.

٥)نوع ،صنف ،والكتلة الكلية لحاوية التعرض.

٦)كتلة اليورانيوم المنضب المستخدم كحاوية إذا كان ذلك معلوما أو يشار إلى أن الحاوية تحتوي على اليورانيوم المنضب.

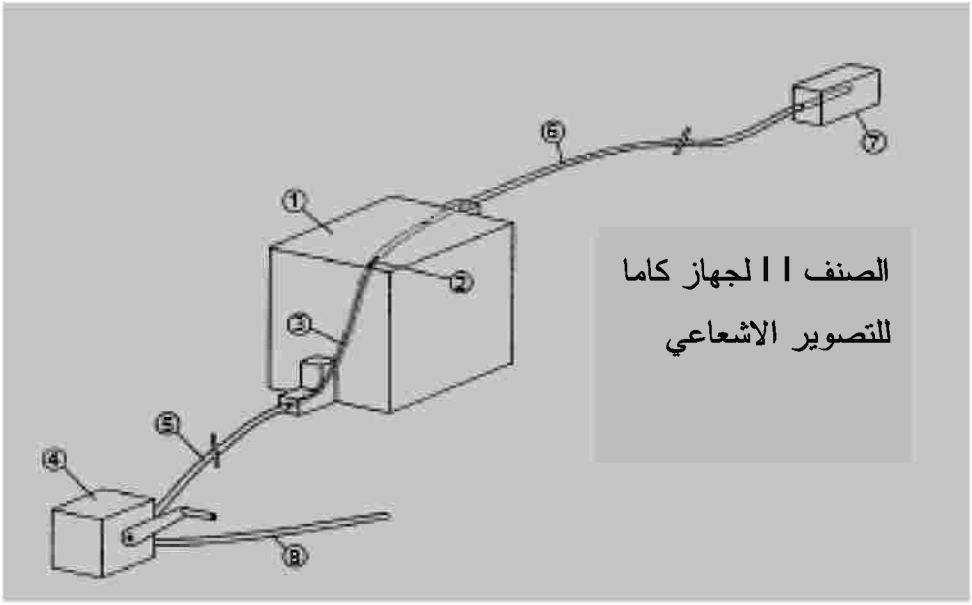
٧)الرمز الكيميائي للمصدر وعدده الكتلي.

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



.

شكل (٧ - ٢٣) الصنف I I لجهاز كاما للتصوير الاشعاعي حيث ان الارقام التالية تشير ١-حاوية التعرض ٢ – المصدر المشع المغلق ٣-حبل التوصيل ٤ – التحكم ٥ –حبل التحكم ٦ –سلك اخراج المصدر ٧ – راس 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 وكيبل السيطرة، وبين كيبل التحكم عن بعد وحاوية التعرض، اوبين أنبوبة التوجيه وحاوية التعرض. مثل هذه المنظومات متوفرة حاليا في الأسواق. المعدات الإضافية مثل كيبلات السيطرة وأنبوبة التوجيه متوفرة حاليا لزيادة المسافة بين المصور الشعاعي والمصدر. الطول المثالي لكيبل السيطرة يتراوح بين٧– ١٥ متر ولأنبوب التوجيه ٢– ٦.٥ متر.

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

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

٧ – ١٢ أنواع اخرى للتصوير الاشعاعي بأشعة جاما

١ - التصوير الشعاعي للتصوير تحت الماء:

تجهز حاوية التعرض بأجهزة أمان إضافيةعند التصوير تحت الماء والتي تتضمن:

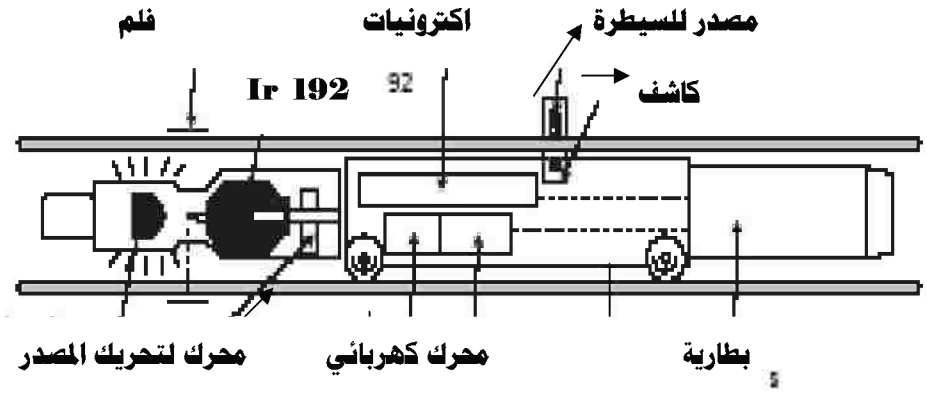
١– جهاز لقياس العمق ويوضح العمق الأعظم الذي عنده تكون الحاوية بأمان من ضغط الماء.

٢– سداد محكم لغرض منع دخول الغازات والماء لبعض أجزاء الجهاز.

٢ -أجهزة التصوير الشعاعي 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 و٧ – ٢٥) . ويعمل محرك العربة ببطارية أو بواسطة كيبل يتصل إلى مولد خارجي ويمكن السيطرة على حركة العربة من قبل المصور الإشعاعي من خارج الأنبوب باستخدام مصدر مشع مغلق ذات نشاط إشـــعاعي واطئ من السيزيوم– ١٣٧ . يتحرك على الأنبوب من الخارج لغرض تحريك العربة والســيطرة عليها وإيقافها عند النقطة المراد فحص لحامها.

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



درع رصاصي

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

٤- التصوير ألشعاعي 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 مقابلا للكاشف الإشعاعي وتتحرك منظومة الأشعة السينية اواشعة 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 لحام الجزء الآخر.ويسمى هذا الحام احيانا الزمن الحقيقي للحام (**Real Time Radiography**) شكل (٧ – ٢٦ أ وب).

٧-١٣ التصوير الصناعي باستخدام النيوترونات:

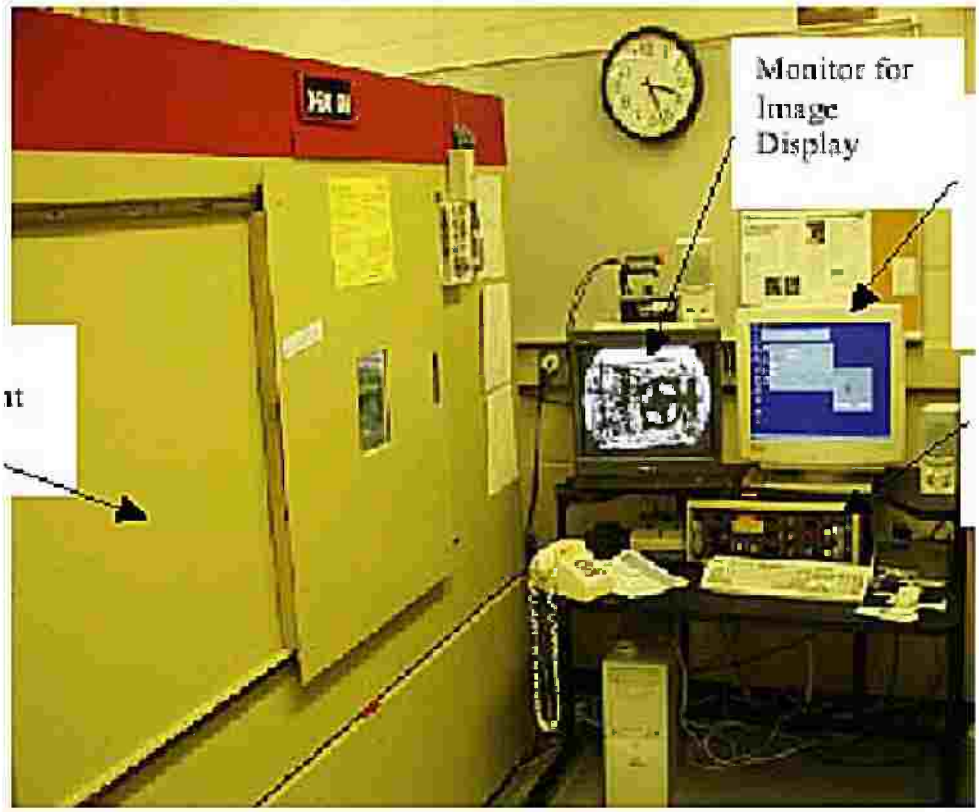
هذا النوع من التصوير الصناعي لايزال في مرحلة البحث والتطوير وتعتبر من التقانات الواعدة في التصوير الصناعي لغرض فحص اللحام لاجزاء سميكة وكبيرة وذالك للنفوذية العالية للنيوترونات كونها عديمة الشحنة. وفحص المواد هيدروجينية التركيب كون النيوترونات السريعة تفقد طاقتها (تنهدا) بواسطة ذرات الهيدروجين. والنيوترونات المستخدمة قد تكون سريعة اوحرارية وفوق الحرارية. المصادر النيوترونية قد تتولد من المعجلات او النظائر المشعة المتهيجة مثل الكاليفورنيوم– ٢٥٢.

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

شاشة عرض الصور

الحاسب

حاوية الاشعة السينية



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