بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

دراسة تأثير الأشعة السينية في مجال الصناعي

A study of X-ray Effects in an Industrial Field

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء العامة

إعداد الطالب :

فيصل موسى علي مالك

إشراف الدكتور:

أحمد الحسن الفكي

2020م

الإستهلال

قال الله تعالى :

﴿وَوَصَّينَا الإِنسانَ بِوالِدَيهِ إِحسانًا حَمَلَتهُ أُمُّهُ كُرهًا وَوَضَعَتهُ كُرهًا وَحَملُهُ وَفِصالُهُ ثَلاثونَ شَهرًا حَتّى إِذا بَلَغَ أَشُدَّهُ وَبَلَغَ أَربَعينَ سَنَةً قالَ رَبِّ أَوزِعني أَن أَشكُرَ نِعمَتَكَ الَّتي أَنعَمتَ عَلَيَّ وَعَلى والِدَيَّ وَأَن أَعمَلَ صالِحًا تَرضاهُ وَأَصلِح لي في ذُرِّيَّتي إِنّي تُبتُ إِلَيكَ وَإِنّي مِنَ المُسلِمينَ﴾

[الأحقاف: ١٥]

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على أداء هذا الواجب ووفقنا إلى إنجاز هذا العمل .

نتوجه بجزيل الشكر والإمتنان إلى جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا متمثلة في كلية الدراسات العليا قسم الفيزياء التي وهبنا هذا الإنجاز كما نوجه الشكر إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز هذا العمل وفي تذليل ما واجهناه من صعوبات ونخص بالذكر الأستاذ المربي الفاضل الدكتور / أحمد الحسن الفكي الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته ونصائحه القيمة التي كانت عوناً لنا في إتمام هذا البحث.

إهداء

إن الحمد لله نستعينه ونستغفره ونستهديه والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين .

أهدي هذا العمل إلى:

من ربتني وأنارت دربي وأعانني بالصلوات والدعوات إلى أغلي إنسان في هذا الوجود أمي الحبيبة.

إلى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح وأوصلني إلى ما أنا عليه أبي الكريم أدامه الله لي.

إلى جميع أخوتي وأخواتي نسأل الله أن يحفظهم .

إلى من يساندني دوما دون مقابل إلي زوجتي العزيزة.

إلى جميع أصدقائي.

إلى جميع أساتذة قسم الفيزياء إلى كل طلبة الدفعة 15.

المستخلص

يهدف البحث لدراسة آثار واستخدامات الأشعة السينية في الصناعة متمثلة في كشف عن الشروخ والعيوب التي لا تظهر على السطح. في هذا البحث أُتبعت الطريقة الوصفية للتعرف على الأشعة السينية واستخداماتها وآثارها في الصناعة ومقارنتها مع الأشعة غاما من حيث الجودة. وتناولت هذه الدراسة ماهية الأشعة السينية والأشعة الكهرومغناطيسية وخصائصها وتأثيراتها الصحية، كما تم التطرق على الأشعة السينية مصادرها ومكوناتها وخواصها الفيزيائية والكيميائية.وايضاً وضحت الدراسة تطبيقات الأشعة السينية في الصناعة.

من خلال الدراسة تم التوصل إلي عدة نتائج منها: أستخدمت الأشعة السينية في الصناعة لكشف عن الهنات والشقوق في القوالب المعدنية والأخشاب المستعملة في الصناعة الزوارق. وايضاً أستخدمت الأشعة السينية لكشف العناصر الداخلة في تركيب المواد المختلفة وتحليلها وأيضاً أستخدم في تمييز بين العناصر الكيميائية. أوصت الدراسة إلى استخدام الحواجز من الرصاص لأن الأشعة السينية لا تتمكن من إختراق الرصاص، كما أوصت أيضاً إلى توجيه الأشعة السينية نحو البقعة المستهدفة فقط بدل التهاون في إستخدامها عشوائياً.

Abstract

This research aims to study the effect and uses of x-rays in the industry represented in the detection of cracks and defects that do not appear on the surface. In this research the descriptive method was followed to identify x-ray. Their uses and effects in industry and compeer them with gamma rays in terms of quality.

The study dealt with the nature of x-rays and electromagnetic rays their properties and the health effect and the source components and the physical and chemical properties of x-rays. Also clarified the applications of X-rays in industry. Through the study there are several result were obtained including x-rays used in industry to detect the cracks in the metal molds and wood used in the boats industry. X-rays were used to detect and analyze the elements involved composition of different materials and also it used to distinguish between chemical elements. The study recommended the use of lead barriers because x-ray cannot penetrate the lead and it is recommended to direct x-rays towards the target spot only instead of using them randomly.

الفهرس

الترقيم	الموضوع	الصفحة
	الأية	I
	الشكر والتقدير	II
	الإهداء	III
	مستخلص البحث	IV
	Abstract	V
	الفهرس	VI

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1-1	تمهيد	1
1-2	مشكلة البحث	2
1-3	أهداف البحث	2
1-4	مشكلة البحث	2
1-5	هيكل البحث	3
1-6	الدراسات السابقة	3

الفصل الثاني

الأشعة الكهرومغناطيسية

2-1	المقدمة	4
2-2	منشأ الأشعة الكهرومغناطيسية	4
2-3	خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية	5
2-4	تأثيرات الإشعاع الكهرومغناطيسية	6
2-5	إضرار الموجات الكهرومغناطيسية	6
2-6	إمتصاصات الإشعاعات الكهرومغناطيسية	7
2-7	حدود التعرض في حالات الضرورة	7
2-8	التأثيرات الصحية للإشعاع الكهرومغناطيسية	7
2-9	مخاطر تعرض الإنسان للإشعاعات الكهرومغناطيسية	8

الفصل الثالث

الأشعة السينية وخصائصها

3-1	الأشعة السينية	10
3-2	المكونات الرئيسية لأنبوب الأشعة السينية	11
3-2-1	الفتيلة مصدر الإلكترون	11
3-2-2	المصعد مجمع الإلكترونات	12
3-2-3	الهدف	12
3-3	مصادر الأشعة السينية	13
3-4	خواص الأشعة السينية	14
3-4-1	الخواص الفيزيائية	14
3-4-2	الخواص الكيميائية	14
3-5	خواص الأشعة الحيوية وتأثيراتها	15
3-5-1	التأثيرات الكيميائية	15
3-5-2	التاثيرات الخلوية	15
3-5-3	التأثيرات الوراثية	15
3-6	أنابيب الاشعة السينية	15
3-7	انابيب المعدن والزجاج/المعدن والخرف	18
3-8	آليات إنبعاث الأشعة السينية من المادة	18
3-8-1	الأشعة السينية المستمرة	18
3-8-2	الأشعة السينية المميزة	19
3-9	المرشحات	21
3-10	مصادر أخرى للأشعة السينية	22
3-10-1	المعجل الخطي	22
3-10-2	السينكروتون	25
3-11	رصد وقياس الأشعة السينية	26

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

4-1	المقدمة	27
4-2	الصور الإشعاعية	27
4-3	الأشعة السينية وضمان وجودة	27
4-4	إختباردقة كاميرا التصوير بالأشعة السينية	28
4-5	إختبار لحام المعادن بالاشعة السينية	28
4-6	فحص الأنابيب وخطوطها	28
4-7	فحص أقراص والقطع والتجليخ	28
4-8	تأمين الجودة وفحص الإطارات	29
4-9	إختبار الدوائر الكهربية	29
4-10	إختبار شرائح الدوائر الإلكترونية	29
4-11	مستجدات التصوير بالأشعة السينية	29
4-12	قياس الأبعاد الدقيقة بالأشعة السينية	30
4-13	إستخدامات آخرى بالأشعة السينية في مجال الصناعي	31
4-14	الخاتمة	32
4-15	التوصيات	32
	قائمة الجداول	33
	قائمة الاشكال	34
	المصادر والمراجع	35

الفصل الأول

مقدمة عن الاشعة السينية

1.1 تمهيد:

الأشعة السينية تسمى أيضا أشعة أكس . وهي من أكثر أنواع الطاقة فائدة قد إكتشفها العالم الفيزيائي الألماني (روتجن) في عام 1895م بينما كان يجري تجربة تسليط الشعاع إلكتروني علي أنبوبة تأين غازي لاحظ عالم روتجن أن الشاشة الفسفورية في المختبر بدأت تتوهج عند سقوط الشعاع الإلكتروني عليها , وقام روتجن أحاط الأنبوبة المفرغة بالألواح السوداء السميكة لتتمكن من حجب الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الأنبوبة المفرغة كما وضع عدة أجسام بين الأنبوبة والشاشة الفسفورية وكانت النتيجه أن الشاشه الفسفورية لا زالت تتوهج وحتي يتأكد من أن هنالك أشعة جديدة هي التي إخترقت تلك الأجسام ووصلت للشاشه الفسفورية قام روتجن بتجربة إضافية وهي أنه وضع يده أمام الأنبوب المفرغة وشاهد علي الشاشة الفسفورية صورة لعظام يده [1].

والآن يعرف العلماء أن الأشعة السينية هي نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يتضمن الضوء المرئي ،وموجات الراديو وأشعة غاما .وتشترك الأشعة السينية بسرعة الضوء 299,792كم/ث، كما أن كلاً من الأشعة السينية والضوء المرئي ،يتحاركان في خطوط مسستقيمة على هيئة طاقة كهربائية وطاقة مغناطيسية مرتبطتين بعضهما ببعض تسببان معاً الموجات الكهرومغناطيسية. ومن جهة أخرى فإن الأشعة السينية تعتم أفلام التصوير الضوئي مثلما يفعل الضوء. ومع ذلك فإن الضوء الأشعة السينية والضوء يختلفان في طول الموجي وهو المسافة بين ذُروتين لموجة كهرومغناطيسية فالطول الموجي للأشعة السينية أقصر كثيراً من الطول الموجي للضوء، ولهذا السبب يمكن للأشعة السينية أن تخترق مواد كثيرة لا ينفذ منها الضوء. وقد أدت قوة الإختراق بالأضافة إلى خصائص أخرى أن تكون الأشعة السينية ذات فائدة قصوى في الطب والصناعة والبحث العلمي[2].

حيث أن الأشعة السينية شكل من أشكال الطاقة تنسب الى مجموعة الإشعاعات حيث تتكون الموجات الكهروطيسية من وحدات من الطاقة يدعى فوتون ليس لها كتلة ولا وزن .

الأشعة السينية هي شديدة النفاذة التي تتميز بطول الموجي قصير جداً وتشابه في طبيعتها الإشعاعات فوق البنفسجية وإشعاعات غاما , وقد لاحظ رونتجن أن هذه الأشعة ذات الطبيعة نافذة تؤثر في الواح التصوير الحساسة للضياء على الرغم سترها بطبقات متعددة من الورق المقوي , وإنها تنطلق من جدران الأنبوب زجاجي مفرغ من الهواء تمر بين طرفيه شرارة كهربائية .

وتنتج الأشعة السينية طبيعياً في الشمس والنابضات ونجوم أخرى، وأجسام سماوية معينة أخرى. وأغلب الأشعة السينية التي تنشأ عن المصادر في الفضاء ويتم إمتصاصها في الغلاف الجوي قبل أن تصل إلى سطح الأرض . وتنتج الأشعة السينية آلياً بواسطة أنابيب الأشعة

السينية التي تمثل جزءاً رئيسياً من أجهزة الأشعة السينية. كما أن النابض التي تسرع الجسيمات الذرية تنتج أيضاً الأشعة السينية وتتضمن هذه النابض البيتاترونات، والمعجلات الخطية.

في الصناعة تستخدم الأشعة السينية لفحص المنتجات المصنعة من أنواع مختلفة من المواد، منها الألمونيوم والصلب وغيرها من الفلزات المصبوبة. تكشف الصور الإشعاعية عن الشروخ والعيوب الأخرى في هذه المنتجات ، التي لا تظهر على السطح . وكثيراً ما تستخدم الأشعة السينية لفحص جودة اللحامات في الصلب والتركيبات الفلزية الأخرى. كما تستخدم الأشعة السينية لفحص جودة العديد من المنتجات المصنعة بكميات ضخمة مثل الترانزستور والنبائط الإلكترونية الصغيرة الأخرى. وتعمل بعض نبائط فحص الفلزات بإستخدام الأشعة السينية، مثل الماسحات المستخدمة في المطارات للبحث عن الأسلحة في الأمتعة. ويعالج الصناع أنواعاً معينة من اللدائن بالأشعة السينية حيث تحدث الأشعة تغييراً كيميائياً في هذه المواد فتجعلها اقوى. في علم دراسة الأجسام الصلبة، إذ إنه باستخدام إنعراج الأشعة السينية اتضح وجود تناظر معين في بعض انواع الجوامد (البلورات). كانت تلك بداية انطلاقة جبارة في دراسة خصائص الجوامد والتركيب البلوري، ومعرفة تركيب الذري للعناصر تستخدم أشعة اكس في الأبحاث العلمية لدراسة التركيب البلوري للمواد والمعرفة المواد الداخلة في تركيب مادة مجهولة مثل كشف المواد المكونة للخليط الذي أستخدمه الفراعنة للتحنيط. في مجال الفن استخدمت للتعرف على أساليب الرسامين والتميز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيفة، ذلك لأن الألوان المستعملة في اللوحات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنية التي تمتص الأشعة السينية، وأما الألوان المستعملة في اللوحات الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الأشعة السينية بكميات أقل[3].

1.2مشكلة البحث

تضمنت مشكلة البحث تعريف فيما يلي :

- ما هو أثر الأشعة السينية في التطبيقات الصناعية ومعرفة فوائدها في المجال الصناعي عند إستخدام هذه الأشعة.
- الأثار الناجمة عند إستخدام الأشعة السينية ومقارنتها مع أشعة قاما.

1.3أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى :

- تحقق من تطبيقات الأشعة السينية في مجال الصناعي.
- تحديد الأثار الناجمة عند إستخدام هذه الأشعة ومقارنتها مع إستخدام أشعة قاما في مجال الصناعي.

1.4منهج البحث:

يتبع هذا البحث المنهج الوصفي وكل ما تقتضيه الدراسة من مصادر ومراجع علمية.

1.5هيكل البحث

يحتوي هذا البحث على أربعة فصول حيث يشمل الفصل الأول مقدمة, والفصل الثاني الأشعة الكهرومغنطيسية, أما الفصل الثالث فيشمل إنتاج الأشعه السينية, ويشمل الفصل الرابع تطبيقات الأشعة السينية في المجال الصناعي والنتائج والمناقشة والمصادر والمراجع.

1.6الدراسات السابقة

1- سعداوي فتحية/بن ميرة زيتوني حياة,الأشعة السينية وتطبيقاتها – القيمة القديمة الجزائر- 2010م.

2- ممدوح برو- توصيف نوعيات الأشعة المستخدمة في الأشعة السينية التشخيصية – هيئة الطاقة الذرية سوريا – 2013م.

الفصل الثاني

الأشعة الكهرومغناطيسية

2.1مقدمة:

الطيف الكهرومغناطيسي أو الأشعة الكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعنى الفيزيائى وحين نتحدث عن جزء خاص من هذا الطيف الكهرومغنطيسي مثل الضوء المرئي والمايكرويف وأشعة أكس وأشعة جاما وموجات التلفزيون والراديو هي عبارة عن أشعة تعرف بإسم الأشعة الكهرومغنطيسية (ELECTROMAGNETIC RADIATION) وكلها لها نفس الخصائص ولكنها تختلف في طول الموجي wavelength أو التردد (frequency) أي أنه كل ما زاد الطول الموجي قل التردد والعكس. كما نعلم فإن الموجات أي الأمواج المتكون في الوسط مثل الماء فإن جزيئات الوسط (الماء) هي التي تتذبذب فتنتج إضطرابات تنتشر في وسط الماء ، وكذلك الحال في الأمواج الصوتية حيث أن الصوت ينتقل من خلال إضراب في جزيئات الهواء علي شكل تضاغط وتخلخل ينتشر في الفراغ. ولكن الحال مختلف في الأمواج الكهرومغنطيسية حيث أن الذي يتموج (يتذبذب) في هذه الحالة هو المجال الكهربي الذي ينشئ من تذبذب الجسيمات المشحونة مثل الإلكترون ذو شحنة سالبة أو البروتون ذو شحنة موجبة . إذا إفترضنا شحنة سالبة الإلكترون مرتبطة بزنبرك لنجعلها تتذبذب تحت تأثير قوة الزنبرك حيث أن زيادة قوة الزنبرك وإعطاء الشحنة السالبة إزاحة صغيرة وتركها تتذبذب فينتج عن ذلك إنبعاث أشعة كهرومغنطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء وتتأثر بها الشحنة الموجبة علي الطرف المقابل. وهذا السبب تكون الاشعة الكهرومغنطيسية حيث ان تذبذب الشحنات المكونة للذرة يؤدي إلي إنبعاث الطيف الكهرومغنطيسي والذي يقوم بدور الزنبرك هو درجة الحرارة التي تمد الشحنات بالطاقة أو أي نوع من أنواع الإثارة (Excitation) مثل التصادمات وغيره. ويعتمد الطول الموجي للأشعة الكهرومغنطيسية علي درجة إثارة الشحنة ومن هنا نجد أن الطيف الكهرومغنطيسي له مدي واسع وللتميز بين الأطوال الموجية أعطيت أسماء مختلفة مثل أشعة المايكرويف والأشعة المرئية وأشعة أكس وأشعة قاما.

2.2منشأ الأشعة الكهرومغناطيسية:

تنشأ الأشعة الكهرومغناطيسية عن الشحنات الكهربية المتحركة ضمن حقول غير مرئية خاصة، ويكون إتجاه الطيف الكهرومغناطيسي بعيداً عن تلك الشحنات وهذا يجعل إمتصاص الموجة الكهرومغناطيسية غير مؤثر على سلوك الشحنات الكهربائية المتحركة، وينتج عن حركة الشحنات الكهربائية نوعان من الحقول غير المرئية يسمى أحدهما بالحقل القريب والآخر بالحقل البعيد[4].

2.3خصائص الأشعة الكهرومغنطيسية:

الأشعة الكهرومغنطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة ثابتة وهي سرعة الضوء وقيمتها (3×10^8m\s) تنتقل هذة الأشعة في الفراغ وتنقل الطاقة من المصدر (Source) إلي المستقبل (Receiver) تم إكتشاف هذة الأشعة علي مراحل حيث كان العالم هيرتز (Hertz)عام 1887 م أول من عمل في هذا المجال وكان في ذلك الوقت فقط أشعة الراديو والأشعة المرئية ومن ثم تم إكتشاف باقي الطيف الكهرومغنطيسي من خلال الملاحظات والظواهرالفيزيائية .الأشعة الكهرومغنطيسية لها طول موجي λ وتردد V ويحدد خصائصها وترتبط سرعة الأشعة الكهرومغنطيسية مع تردد وطول موجي من خلال المعادل:

$$C = v\lambda \qquad (2.1)$$

كما هو موضح في الشكل الطيف الكهرومغنطيسي حيث يبدأ من أمواج الراديو ذات الطول الموجي الطويل والتردد المنخفض ثم منطقة الأشعة المايكرويف ومنطقة الأشعة تحت الحمراء ثم منطقة الأشعة المرئية ثم منطقة الأشعة البنفسجية ثم منطقة أشعة أكس ثم منطقة أشعة جاما. وهذا التسلسل هوائيا لزيادة تردد هذه الموجات . ولكل منطقة من مناطق الطيف الكهرومغنطيسي خصائص تميزها عن بعضها البعض وبناء عليه تنبعث تطبيقات مختلفة لهذة الأشعة وللعلم فإن منطقة الطيف المرئي هي التي منحنا الله سبحانه وتعالى القدرة علي رؤيتها وهي المنطقة التي تستجيب لها شبيكة العين لتتمكن من رؤية الأشياء من حولنا .

جدول (1.1) بعض خصائص الطيف الكهرمغناطيسي

Region	*Wavelength Angstroms*	*Wavelength Centimeters*	*Frequency HZ*	*Energy E v*
Radio	$> 10^9$	*>10*	$<3x10^9$	$<10^{-5}$
Microwave	$> 10^9_10^6$	*10 _ o.o1*	$3x10^9$-$3x10^{12}$	10^{-5}_*0.01*
Infrared	0007_10^6	*0.01_7x*10^{-5}	$3x10^{12}$-$4.3x10^{14}$	*0.01 _ 2*
Visible	*7000_4000*	*7x* $10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3x10^{14} - 7.5x 10^{14}$	*2 _ 3*
Ultraviolet	*4000_10*	*4x*10^{-5} _ 10^{-7}	$7.5x10^{14}$-$3x10^{17}$	*3 _* 10^3
X-rays	*10 _ 0.1*	10^{-7}- 10^{-9}	$3x10^{17}$_ $3x10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma rays	*< 0.1*	$< 10^{-9}$	*>3x* 10^{19}	$>10^5$

تجدر الإشارة إلي أن الأشعة الكهرمغناطيسية لها طاقة تعطي بالمعادلة :

$$E = h n \qquad (2.2)$$

حيث h هو ثابت بلانك

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \quad J.s$$

وتستخدم وحدة إلكترون فولت للتعبير عن طاقة الأشعة الكهرومغنطيسية

$$1\ e\ v = 1.6 \times 10^{-19} \quad J$$

نستنتج من ذلك أنه كلما زاد التردد إزداد الطاقة , عليه فإنه طاقة الأشعة جاما أكبر ما يمكن في الطيف الكهرومغناطيسي وكما نعلم أن جسم الإنسان يتحمل الطاقة أقصاها طاقة الطيف المرئي , وتعتبر طاقة الطيف فوق االازرق ضارة , وتسبب حرق لخلايا الجسم وكذلك طاقة اشعة اكس تستطيع اختراق جلد البشري والتعرض لها يسبب خطورة كبيرة [4].

2.4تأثيرات الاشعاع الكهرومغناطيسية:

علي النظم الحية والعديد من النظم الكيميائية في ظروف درجة الحرارة وضغط قياسية تعتمد علي كل من قوة وتردد الشعاع .

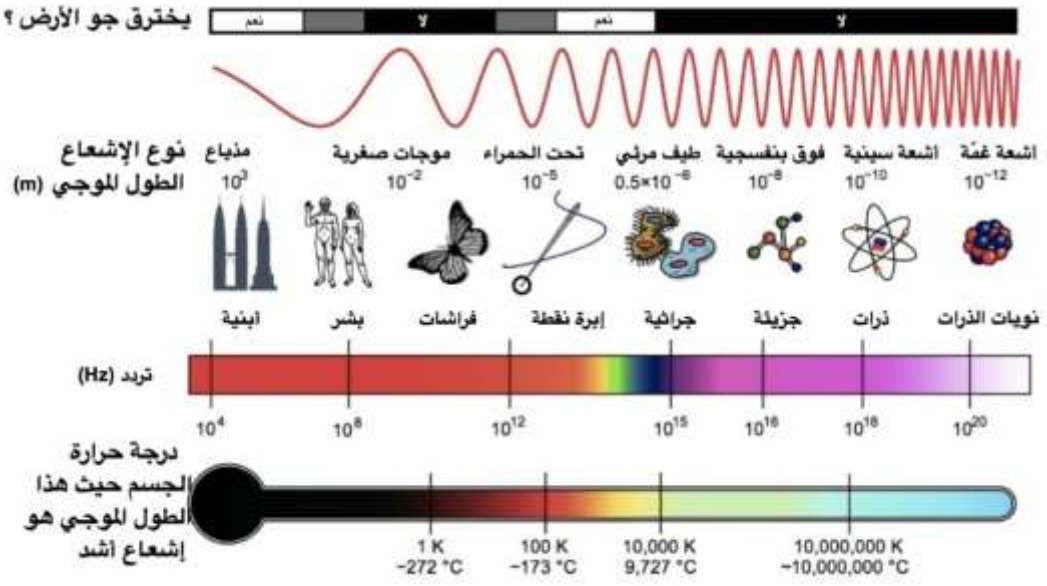
تنحصر تأثيرات الشعاع الكهرومغناطيسي المنخفض التردد وصولا إلي التردد و الضوء المرئي علي الخلايا والمواد العادية بالحرارة والتسخين وبالتالي تعتمد علي قوة الإشعاع . وبالعكس للإشعاع ذو تردد الأعلي كالتردد والاشعة فوق البنفسجية والأعلي منها , فإن الضرر للمواد الكيميائية والخلايا الحية يكون أكبر بكثير من مجرد تسخين بسيط بسبب قدرة الفوتونات المفردة في مثل هذه الترددات علي تدمير الجزيئات الفردية كيميائيا[5].

2.5 أضرار الموجات الكهرومغناطسية:

تشكل المنظومات الكهربائية المستخدمة في المنازل والتي تفتقر إلي التوصيلات الأرضية الفعالة في كثير من البلدان , مصادر لمجالات المغناطيسية تتراوح شدتها بين (8 - 0.5) جاوس , وتردد موجاتها بين (50-5) هيرتز, وتصاحب هذه المجالات مجالات كهربية لها نفس الترددات وتتراوح شدتها علي سطح بعض هذه الاجهزة بين (30 - 20) كيلو فولت علي المتر. ويصل المجال الكهربي علي سطح التلفزيون 22 بوصة حتي 30 كيلو فولت علي المتر وترددات تصل الي 12 كيلوهيرتز[6].

2.6إمتصاصات إشعاعات الكهرومغناطيسية:

أوضحت الدراسات أن معدل إمتصاص الجسم للطاقة الكهرومغناطيسية يعتمد بقدر كبير على توجه المحور الأكبر لجسم الإنسان بالنسبة لمجال الكهربي ويبلغ معدل الإمتصاص قيمته عندما يكون طول الجسم مساوياً لـ 5 - 4 تقريبا من الطول الموجة وعند تذبذبات تتراوح قيمتها 80 - 70 ميجا هيرتز " الذبذبة الرنينية "وعندما يكون الانسان معذولا عن التلامس الارضي . وقد لوحظ أن ملامسة الإنسان للأرض تحت هذة الظروف تنخفض الذبذبات إلي ما يقرب من النصف "40 - 35 ميجاهيرتز" ، ويوضح ذلك أهمية العناية بإقامة نظم التوصيلات الأرضية في الشبكات الكهربائية بالمدارس والمنازل ومنشآت العمل المختلفة[7].



شكل (2-1) يوضح امتصصات اشعاعات الكهرومغناطيسية

2.7 حدود التعرض في حالات الضرورة:-

تعتمد حدود التعرض الممكن السماح بها علي تعرض الجسم الكلي لمعدل امتصاص نوعي (Specific Absorption Rate) لفترة زمنية قدرها 6 دقائق ، وتشير النتائج الدراسية إلي أن يمكن للإنسان أن يتعرض للإشاعات الكهرومغنطيسية وبصورة متكررة حتي هذا المستوي دون حدوث تأثيرات صحية ضارة ، ويعبر عن هذا الحد بمتوسط كثافة[8].

2.8 التأثيرات الصحية للإشعاع الكهرومغناطيسية:-

تتركز شكوي التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية في الصداع المزمن والتوتر والرعب والانفعالات غير السوية والإحباط وزيادة حساسية بالجلد والصدر والعين والتهاب المفاصل وهشاشة العظام والعجز الجنسي وإضطرابات القلب وأعراض الشيخوخة المبكرة.

تتفق العديد من البحوث العلمية الإكلينيكية علي أنه لم يستدل علي أضرار صحية مؤكدة نتيجة التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية بمستويات أقل من 0.5 ملى وات/سم2 ، إلا أن

التعرض لمستويات أعلي من هذة الإشعاعات وبجرعات تراكمية قد يتسبب في ظهور العديد من الأعراض المرضية ومنها:

أعراض عامة: وتشمل الشعور بالارهاق والصداع والتوتر.

أعراض عضوية: وتظهر في الجهاز المخي العصبي وتتسبب في خفض معدلات التركيز الذهني والتغيرات السلوكية والإحباط والرغبة في الإنتحار، وأعراض عضوية وتظهر في الجهاز البصري والجهاز القلبي الوعائي والجهاز المناعي.

- ظهور الأورام السرطانية .
- الشعور بتأثيرات الوقتية منها النسيان وعدم القدرة علي التركيز وزيادة الضغط العصبي وذلك بعد التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية بمستويات 0.01 إلي 10 ملى وات /سم2 وسميت تلك الأعراض بالتغيرات السيكولوجية.
- التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية يتسبب في إختلال عمليات التمثيل الغذائي بالأنسجة والخلايا الحية ويرجع ذلك للحمل الحراري الزائد.

أوضحت الدراسات أن التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية يؤثر في النظام العصبي المركزي ، ويرتب علي ذلك تأثيرات في العصب السمعي والعصب البصري.

التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية بمستويات تبدأ من 120 مللى وات /سم2 يؤثر في وظيفة إفراز الهرمونات من الغدة النخامية ، الأمر الذي قد يؤثر في مستوي الخصوبة الجنسية.

بتخيل المتعرضون للإشعاعات الكهرومغناطيسية يلحق الضرر بشبكية العين وعدسة العين البلورية وأن إرتفاع درجة حرارة عدسة العين الي حوالي 41 درجة مئوية يمكن أن يؤدي إلي ظهور عتامات في عدسة العين. رغم عدم توفر دراسات كافية في تأثير الإشعاعات الكهرومغناطيسية في المعادن ، إلا أنه ينصح بعدم تعرض للمستويات المؤثرة لهذه الاشعاعات، وذلك لمرضي كسور العظام الحاملين للشرائح أو المسامير المعدنية المستخدمة في تثبيت الكسور.

يتزايد القلق في شأن تأثير التعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية علي ميكانيكية التنبيه العصبي بمنظومات الجسم الحي ، إذا ما أخذ في الإعتبار نتائج البحوث العلمية علي تأثير الإشعاعات المنبعثة من المحمول علي الرقائق الإلكترونية المنظمة لعمل عدادات محطات طلمبات البنزين والتشويش الذي يحدثه في التحكم الإلكتروني في إقلاع وهبوط الطائرات[9].

2.9مخاطر تعرض الإنسان للإشعاعات الكهرومغناطيسية:-

المستويات المتفق عليها دوليا للتعرض الأمن للإشعاعات لا تضمن عدم إستحداث الأضرار الإحتمالية جسدية كانت أم وراثية ، والتي قد تنشأ بعد فترات زمنية طويلة نسبيا سواء في الأفراد الذين تعرضو لهذه المستويات أو في أجيالهم المتعاقبة وتنشأ الأضرار القطعية للجرعات الإشعاعية العالية والمتوسطة في خلال دقائق إلي أسابيع معدودة وتتسبب في الإختلال الوظيفي والتركيبي لبعض خلايا الجسم الحي والتي قد تنتهي في حالات الجرعات الإشعاعية العالية إلي

موت الخلايا الحية، أما التعرض لجرعات إشعاعية منخفضة التي قد لاتتسبب في أمراض الجسدية سريعة ، إلا أنها تحفز سلسلة من التغيرات علي المستوي تحت الخلوي وتؤدي إلي الأضرار بالمادة الوراثية بالخلية الجسدية مما قد تترتب علي إستحداث الأورام السرطانية التي قد يستغرق ظهورها عدة سنوات ، أما الإضرار بالمادة الوراثية بالخلية التناسلية فيتسبب في تشوهات خلقية وأمراض وراثية تظهر في الأجيال المتعاقبة للأباء أو الأمهات ضحايا التعرض الإشعاعي وتعرف الأضرار الجسدية أو الوراثية متأخرة الظهور بالأضرار الإحتمالية للتعرض الإشعاع[10].

الفصل الثالث

الأشعة السينية وخصائصها

3-1 الاشعة السينية:

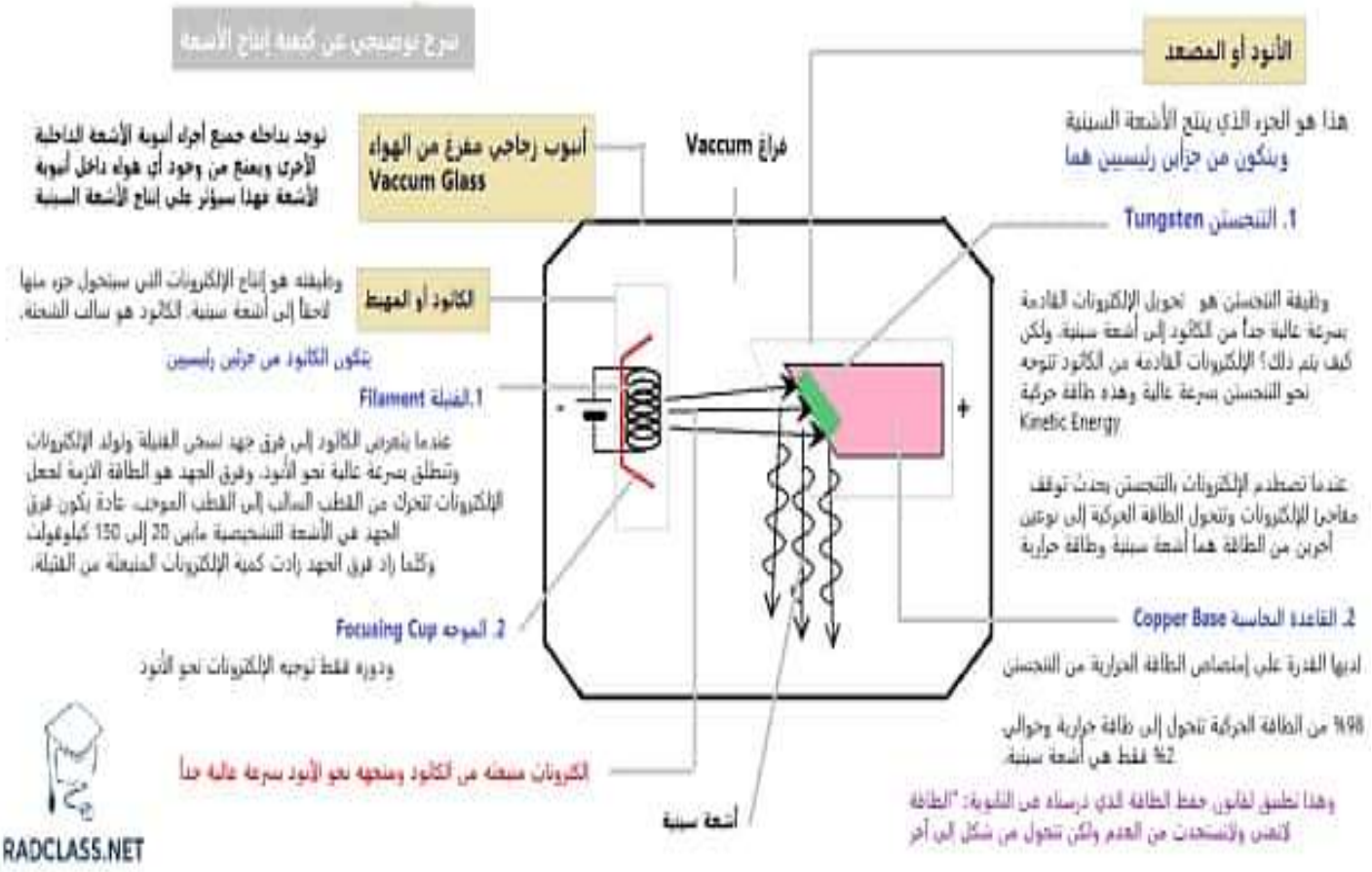
تعد هذه الأشعة جزء من الأشعة الكهرمغناطيسية إكتشفت في العام 1895م بواسطة العالم الفيزيائي الألماني وليام روتجن، وتنطلق الاشعة السينية في الفراغ بسرعة تقترب كثيرا في ثلاثمائة الف كيلومتر في الثانية وطاقتها تقريبا ($3\times10^8 m\backslash s$) وتقدر طاقة الاشعة السينية بوحدات تسمي إلكترون فولت.

ويتراوح طول موجة الاشعة السينية الأكثر استخداما مابين 10 إلي 0.001 نانومتر2، ومن ثم فهي تمتلك ترددات في المدي المتراوح مابين 3×10^{16}الى3×10^{20}هيرتز أي فإن طاقة الأشعة السينية تتراوح مابين 120 إلكترون فولت إلى 1.2 مليون إلكترون فولت .وعلي الرغم من أن الأشعة السينية والضوء العادي ينطلقان بالسرعة نفسها في الفراغ ويؤثران في الألواح الفوتوغرافية إلا أن الأشعة السينية غير مرئية وتتميز بقدرة عالية علي المرور في المواد المختلفة المعتمة للضوء مثل جسم الإنسان والخشب والشرائح رفيعة نسبيا ، من المعادن كالألمونيوم والرصاص .

وكل الموجات التي تشكل طيف الأشعة الكهرومغناطيسية ذات تردد أقل من الأشعة السينية المستخدمة في حياتنا اليومية من أجهزة مخصصة لإنتاجها ، في حين نحصل علي أشعة غاما من المصادر المشعة ، ومعظم أشعة غاما المنطلقة من المصادر المشعة المختلفة ذات طاقة أعلي من الأشعة السينية لذلك فإنها تمتلك قدرة أكبر مما تمتلكه الأشعة السينية للمرور عبر المواد ذات الكثافة العالية ، حيث تعتمد قدرة اختراقها المواد المختلفة علي طاقتهما وطبيعة المادة التي يمر من خلالها والاشعة السينية شأنها شأن أشعة غاما إذ لايمكن إستشعارهما بواسطة حواس الإنسان ولا يمكن رؤيتهما ، أو لمسهما ، أو شمهما ، أو تذوقهما ، أو سماعهما كما لايمكن تغيير مسارهما المستقيم في الفراغ بواسطة المجالات الكهربية ، أو المغناطيسية المعتادة يبدا ان كلتيهما من الممكن ان تحيدا عن مسارهما عند السطح الفاصل بين مادتين مختلفين ، او عند تصادم من الجسيمات الاولية ، مثل الالكترونات وتمثل الاشعة السينية واشعة غاما والشريحة العليا في الطاقة الاشعة الفوق البنفسجية فصيلة الجزء المؤين من طيف الموجات الكهرومغناطيسية (القادرة علي طرد اللكترونات من ذرة المادة ، في حين ان الجزء المتبقي من الطيف الكهرومغناطيسية مثل الضوء المرئي والاشعة تحت الحمراء وموجات الاذاعة والتلفزيون والاتصالات والملاحة يمثل فصيلة الاشعة غير المؤينة.

وعلي الرغم من التشابه بين الاشعة السينية واشعة غاما في خصائص كثيرة وتطابقهما في مدي محدود من التردد والطاقة فان الاختلاف الجوهري بينهما يمثل بالمنشأ حيث ان الاشعة السينية تنشأ خارج نواة الذرة ولذلك تسمي الاشعة الذرية اما اشعة غاما فتنشأ داخل نواة الذرة ولذلك تسمي اشعة نووية او الاشعة الذرية باعتبار ان النواة جزء من الذرة[11].

3.2 المكونات الرئيسية لأنبوب الأشعة السينية:-



الشكل (1-3)يوضح المكونات الرئيسية لـأنبوبة الاشعة السينية

3.2.1 الفتيلة: مصدر الالكترون:

تختار مادة الفتيلة الأشعة السينية من بين الفلزات التي تتمتع بدرجة إنصهار مرتفعة وتستخدم فتيلة مصنوع من سلك رفيع من التنجستن في معظم أنابيب الأشعة السينية حيث تبلغ درجة حرارة إنصهارها 3422 درجة مئوية ، والسلك الرفيع يعمل علي مقاومة مرور التيار الكهربي خلاله ، ولذلك ترتفع درجة حرارة السلك مع زيادة شدة التيار الكهربي المار فيه ، وقد تصل إلى أمبيرات عدة تتحرر الإلكترونات من السطح الفتيلة الساخنة بمعدل يتزايد مع زيادة شدة التيار الكهربي وتنطلق الإلكترونات المسرعة نحو المصعد تحت تأثير فرق جهد كهربي كبير حيث تصطدم ببقعة صغيرة من مادة الهدف التي تسمي بقعة التجمع ((أو البقعة البؤرة)) وهي مساحة تسقط عليها الالكترونات المعجلة وتنطلق منها الاشعة السينية.

وكما إنحصر إصطدام الإلكترونات المعجلة في بقعة صغيرة من الهدف ، كان أداء الأشعة الصادرة فضل عند إستخدام مثل الحصول علي صورة إشعاعية أكثر وضوحا" ولذلك يؤخذ في الحسبان أثناء تصميم الأنبوب صورة الإنطلاق الإلكترونات من الفتيلة علي شكل حزمة رفيعة جدا" وتثبت الفتيلة داخل غلاف المعدني سالب الشحنة لإتمام هذا الهدف، وهذا الغلاف يعمل علي تنظيم حركة الإلكترونات في شكل الشعاع بواسطة قوة التنافر الكهرواستاتيكية بين الغلاف

المعدني والإلكترونات سالبة الشحنة ويطلق علي الفتيلة والغلاف المعدني معا" دائرة الكاثود (أو القطب السالب[11].

3.2.2 المصعد مجمع الإلكترونات:

المصعد قضيب إسطواني من النحاس تحتوي نهايته المواجهة القطب السالب (الكاثود) علي شريحة مادة الهدف وإصتطدام الإلكترونات المعجلة بمادة الهدف في بقعة صغيرة نسبيا" يؤدي الي إرتفاع درجة الحرارة الهدف ولذلك بعد التخلص من هذه الحرارة أحد المطلبات المهمة عند تصيم مادة الهدف.

ويتلخص من الحرارة الناتجة أثناء التشغيل بأكثر من طريقة حسب التصميم ، والغرض من إستخدام الأنبوب ويمكن التخلص من الحرارة بواسطة التوصيل الحراري عبر قضيب المصعد الى خارج الأنبوب ، لتتم عملية التبريد بالزيد أو أي وسيلة أخرى مثل رغائف التبريد ، وخاصتا في أنابيب المصعد الثابت ، إما شريحة الأنابيب التي تحتوي علي المصعد دوار يتحرك دائرية سريعة، فتوزع الحرارة المتولدة علي أكبر مساحة ممكنة من مادة الهدف ، وترسل هذه الحرارة الى مخزن من الزيت المحيط بالأنبوب وهذا المتخزن يؤدي وظيفتين ، الوظيفة الأولي : تبريد الحرارة المتولدة في مادة الهدف ، الوظيفة الثانية : عزل الأنبوب عن مصدر الجهد الكهربي العالي ، يكون المصاعد الثابتة لدي بعض أنابيب الأشعة السينية محاطة بتطبيقات متداخلة في شكل أقنعة من النحاس والتنجستن لمنع الإلكترونات الشاردة من الإصطدام بالغلاف الزجاجي أو أي مكونات أخرى بالأنبوب ، والإلكترونات الشاردة هي : الإلكترونات الثانوية التي تبحث عن مادة الهدف عند إصطدام الالكترونات الى التحلق إتجاه القطب السالب عندما تصبح مادة الهدف ساخنة جدا" في حين أن قناع التنجستن المحيط بالنحاس يمتص الأشعة السينية المتولدة في قناع النحاس ، او بالأحرى ينخفض كثافة الشعاع الأشعة السينية في الإتجاهات الأخرى وهي غير مرغوب فيها، والفتحات الموجودة في القناع ضرورية لكونها تسمح للإلكترونات المعدلة للوصول الى الهدف كما تسمح أيضا" للأشعة السينية أن تنبعث في الإتجاه المطلوب[11].

3.2.3 الهدف:

الهدف شريحة معدنية توضع ضمن المصعد في مسار الإلكترونات المعدلة القادمة من الكاثود وتستخدم في العادة شريحة من التنجستين كهدف معدني في أنابيب الأشعة السينية المستخدمة في التطبيقات المختلفة ، وخاصة التطبيقات الطبية، لأنها يتحمل درجات حرارة العالية ، نظرا" لإرتفاع درجة إنصهارها ، وعلى رغم من ذلك فإن إرتفاع حرارة مادة الهدف بدرجة كبيرة أثناء التشقيل قد يتسبب في حدوث نتؤات أوتشقوقات تعمل علي تقليل كفاءة إنتاج الأشعة السينية بعد فترة زمنية قد تطول أو تقصر من تاريخ بداية التشغيل ، وهذا التحلل يتطلب إستبدال التنجستن النقي بسبيكة الرنينيوم (rhenium) ، والتنجستن، ويشكل الرنينيوم فيها نسبة 10 - 5% وتتميز هذه السبيكة بمقاومة عاليه ضد حدوث تشققات وذلك عند الرغبة في الحصول علي الأشعة السينية ذات الطاقة العالية (الأشعة السينية القاسية). وتستخدم شرائح من الموليديوم (Mo ,Z=42) او الروديوم (Rh ,Z=45) كمادة الهدف في بعض التطبيقات

الخاصة للأشعة السينية منخفضة الطاقة (الأشعة السينية اللينة – الناعمة) مثل : الفحص الإشعاعي للثدي (Mammography) في حين عند إستخدام الأشعة السينية في تحليل البلورات (Crystallography) فإن المادة الهدف في الأنبوب تكون في الغالب مصنوعة من النحاس (Z = 29) مع استخدام الكوبالت (Z = 27) وذلك عندما يكون مستوي أشعة ظاهرة الفلورية الصادرة عن الحديد الموجود في العينة عاليا" ، من ما قد يسبب مشكلة.

وتؤثر مادة الهدف في الأنبوب الأشعة السينية في كثافة أو كمية الأشعة الناتجة عند فرغ جهد كهربي معين بين طرفي الأنبوب بغرض ثبات شدة التيار ولذلك تختلف مادة الهدف تلك بناء علي نوع التطبيق للأشعاع [11].

3.3 مصادر الأشعة السينية:

تنحصر مصادر الاشعة السينية منذ اكتشافها الي يومنا هذا في مجموعتين المصادر الطبيعية والمصادر الصناعية فاما المصادر الطبيعية فتتمثل في النجوم الملتهبة الموجودة في انحاء متفرقة من الكون مثل النجوم الموجودة في البرج العقرب (Scorpiusx-1) الواقع باتجاه مركز درب التبانة في نصف الكرة الجنوبي ، التي تم اكتشافها عام 1962م. يتعرض الانسان سنويا الي ما يعادل 360 ملي راد من الاشعة المؤينة تأتي من المصادر الطبيعية مثل الفضاء الخارجي والصخور والتربة والتي تختلف نسبة الاشعة فيها باختلاف المكان وارتفاع عن سطح البحر. تنتج الأشعة السينية طبيعياً في الشمس والنابضات ونجوم أخرى ، وأجسام السماوية معينة أخرى. وأغلب الأشعة السينية التي تنشأ عن المصادر في الفضاء يتم إمتصاصها في الغلاف الجوي قبل أن تصل إلي الأرض.

في أواخر السبعينات أكتشف العلماء الفلك اجراما تصدر اشعة السينية متألقة غير عادية , وكان يعتقد ان مصادر هذه الاشعة فائقة السطوح تحتوي علي ثقوب السوداء الا ان كتلة هذه الثقوب السوداء مغذية لتلك المصادر , تنشأ معظم الثقوب السوداء خلال الاحتضار العنيف للنجوم الهائلة , ورغم أن مثل هذه الثقوب السوداء ذات كتلة نجمية تزن حوالي من 3 إلي 100 ضعف شمسنا . إلا أنه من الصعب أن نراها إذ أن سحب جاذبيتها الشديد يجذب أي شئ شارد منها حتى الضوء .

حيث تتمثل المصادر الصناعية للاشعة السينية في اجهزة خاصة صنعها الانسان لتتوافق مع الاغراض الجانبية المختلفة، وجدير بالذكر انه مهما اختلف تصميم الاجهزة فان مقومات الحصول علي الاشعة السينية ثلاثة: مصدر الالكترونات ، ووسيلة لزيادة طاقة حركة تلك الإلكترونات بالاضافة الي جسم مادي صلب تصطدم به الكترونات بعد تاجيلها ويسمي "الهدف" وهذه المكونات الثلاثة توجد في ابسط صورها داخل انابيب مفرغة من الهواء الي اقصي حد ممكن ولذلك فإن هذه الانابيب تمثل الجزء الرئيسي في اجهزة انتاج الاشعة السينية العادية وتختلف الانابيب التي تنتج الاشعة في الشكل او ربما في التفاصيل الداخليه طبقا لنوع التطبيق ولكنها تتفقد في اساس العمل [11].

3.4 خواص الاشعة السينية:

3.4.1 الخواص الفيزيائية:

1- تنتشر بخط مستقيم وسرعة 300 كم /ث.

2- تتناسب شدة الاشعة عكسياً مع المربع المسافة.

3- لا تحمل شحنة الكهربائية وليس لها الكتلة ولا تتاثر بالمجال الكهربي أو المغناطيسي.

4- الأشعة السينية المنتجة بفرق كمون منخفض تكون طويلة الموجة وبالتالي قليلة النفاذ تسمى بالاشعة الرخوة, أما الأشعة القاسية فهي قصيرة الموجة وشديدة النفوذ وتنتج بفرق كمون عالي.(12)

3.4.2 الخواص الكيمائية:

1- يمكن ان توهج بعض الأجسام.

2- تؤثر في المركبات الكيميائية وتساعد في إرجاعها وخاصة زهرة هالوجين الفضية.

3- يمكن أن تشرد الغازات وتجعلها ناقلة للتيار الكهربائي.

3.5 خواص الأشعة الحيوية وتأثيراتها:

يشمل تأثير الأشعة على كل من جزيئات الجسم التركيبية الخلايا بمختلف أنواعها , الأعضاء , وتكمن الخطورة الأكبر بأن تأثيرها لن يظهر قبل مضي وقت طويل بعض التعرض والذي يدعى بالفترة الخفية .

فيما يلي أهم التأثيرات الحيوية :

3.5.1 التأثيرات الكيميائية:

حيث أن الأشعة قادرة على تشريد الجزيئات العضوية وبالتالي تحليل الروابط الكيميائية فيها وبالتالي الأشعة قادرة على تفكيك عديد من جزيئات أخلاط الجسم ، معظم الجسم يتركب من الماء والذي تحلله الأشعة إلي هيدروجين ، أوكسجين وهيدروكسيل حيث يعاد اتحاد ويتشكل ماء اكسجين أو أن تتحد الجذور مع الجذور الأخري مؤدية إلي نواتج ضارة .

3.5.2 التأثيرات الخلوية:

تعتبر الخلايا التي في طور الإنقسام من أشد الخلايا تأثيراً بالأشعة بالتالي يعتبر تعرض الجسم في طور النمو أمر خطير لذلك تولدت فكرة معالجة الأورام الخبيثة لأنها ذات الخلايا ناشطة تتأثر بالأشعة أكثر من الخلايا الطبيعية وهذا مبدأ المعالجة للأشعة .

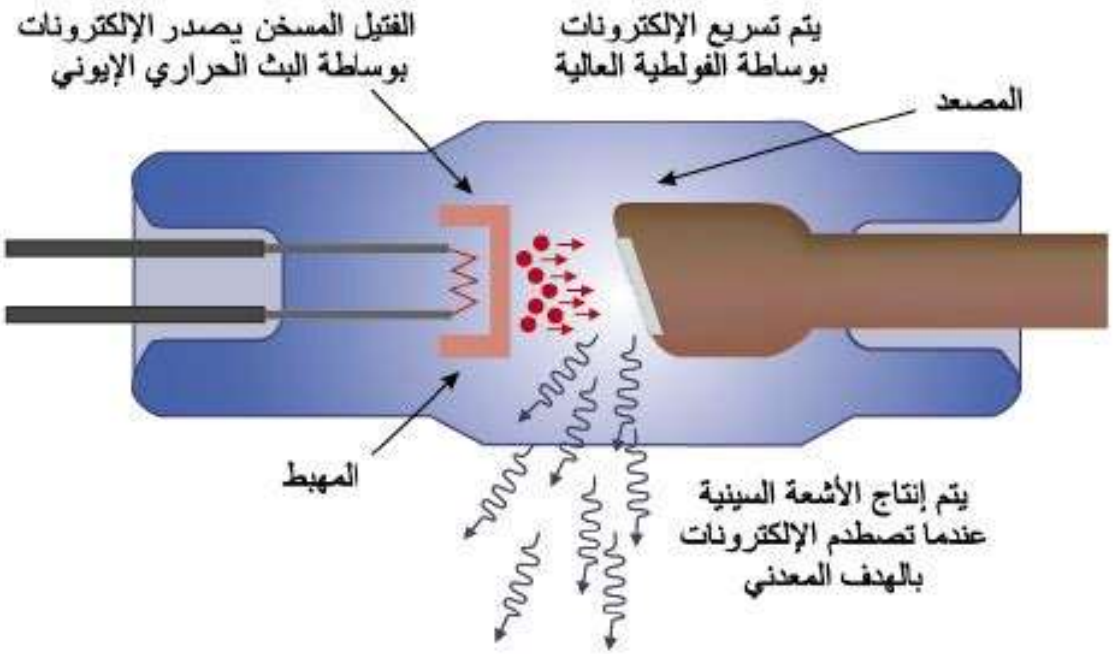
3.5.3 التأثيرات الوراثية:

يمكن للأشعة أن تحدث طفرات في الشفيرة الوراثية في معظم الخلايا وبالذات المولدة للدم . إن تأثير الضارعلى المورثات ينتقل إلي أجيال بعيدة . تأثيرات الجسدية في الشخص نفسه (تقرحات الجلد – إصابة العين بالساد – تأثيرات الجنينية ووراثية) .

3.6 أنابيب الأشعة السينية:

انابيب الاشعة السينية اما ان تكون محكمة الغلق واما ان تكون متصلة بمضخة علي نحو مستمر لحفظ الضغط الداخلي عند قيمة معينة حيث ان المكونات الاساسية لانابيب الاشعة السينية من الغلاف الزجاجي محكم الغلق مصنوع عادة من زجاج خاص يحتوي دائرة الكاثود والمصعد، وذلك تحت ضغط منخفض جدا (اقل من 0.01 ميللمتر زئبق حيث ان الضغط الجوي عادي يكافئي 760 ميللمتر زئبق ودائرة الكاثود تتضمن فتيلة مغلقة بقناع الكاثود (الفتيلة عبارة عن سلك رفيع جدا من مادة تتمتع بدرجة انصهار عاليه حتي لاتتلف بسرعة مع ارتفاع درجة حرارتها) واما المصدر فيتضمن مادة الهدف في مواجهة الكاثود ويضاف الي ذلك ضرورة وجود مصدر مستمر للطاقة الكهربية يسبب فرق الجهد الكهربي كبير بين طرفي الانبوب اثناء التشغيل بشرط ان يكون المصعد موجبا بالنسبة للكاثود ، فرق الجهد الكهربي يصل الي عشرات الألاف من الفولت كل الف فولت يسمي ب (كيلوفولت) عند تسخين الفتيلة ينطلق منها فيض من الالكترونات ذات الطاقة حركة صغيرة وتكتسب هذه الكترونات طاقة كبيرة جدا بسبب تعرضها لفرق جهد كهربي اثناء انطلاقها إتجاه الهدف ويسمي سيل الالكترونات المعجلة "بتيار الانبوب" وعند اصطدام الإلكترونات المعجلة بمادة "الهدف" تنتج

"الاشعة السينية" حيث تنطلق من مادة الهدف الي جميع الاتجاهات تقريبا لذلك تستعمل المحزمات (collimators) كقيد لتقييد الاتجاهات الاشعة السينية الناتجة نحو اتجاه محدد ومن ثم تشكيل حزمة من اشعة متوازنة يمكن استخدامها في تطبيقات مفيدة مختلفة ولكي تعمل انابيب الاشعة السينية بكفاءة عاليه لابد ان يكون ضغط الهواء داخل الغلاف الزجاجي منخفض جدا "تفريغ الهواء عالي جدا" وذلك لمنع إلكترونات المعجلة من التصادم والتفاعل مع ذرات الهواء بالأنبوب، ومن ثم تفقد جزءا من طاقتها التي تستخدم للحصول علي الاشعة بالكثافة المطلوبة كما ان تفريغ الهواء من الانبوب يحفظ الفتيلة الساخنة من تغير كفاءة سطحها يسبب الاكسدة ، ومن ثم تنقص كثافة فيض الإلكترونات المنبعثة من سطح الفتيلة.

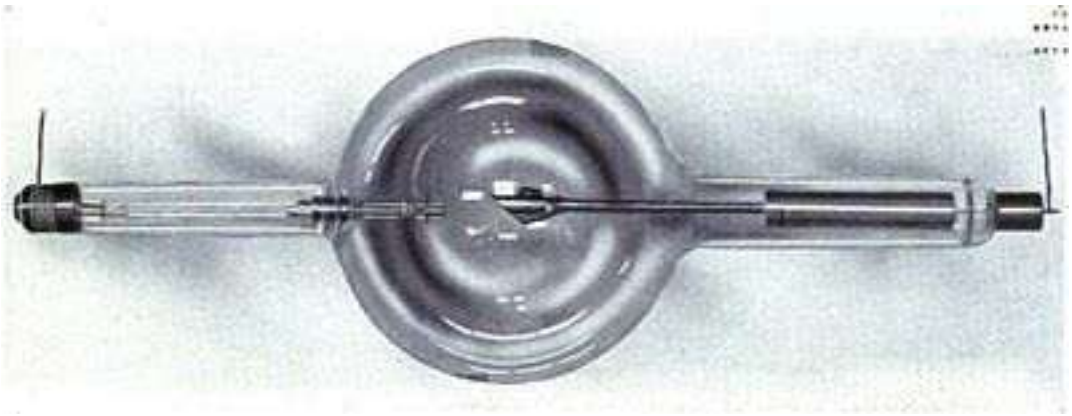


الشكل (2-3) يوضح انبوبة الاشعة السينية

ويقلع الهواء المحبوس في مكونات انبوب الاشعة السينية اثناء التصنيع بواسطة دورات التسخين المتتالية لضمان بقاء درجة تفريغ الهواء اما علي اثر استعمالها لفترات زمنية طويلة واما بعدم كون لحام الانبوب مع الوصلات الطرفية عبر الغلاف الزجاجي متتالية وبصرف النظر عن سبب وجود الهواء فان الفتيلة تتحطم بسرعة في الانابيب التي تحتوي علي الهواء وحتي ان كان فتيلا ومن ثم يصبح الانبوب معدوم الفائدة وتضمنت اكثر انابيب الاشعة السينية مصيدة ايونات نشطة لازالة ذرات وجزيئات الهواء التي تظهر في الانابيب بصرف نظر عن مصدرها ومن ثم التغلب علي هذه المشكلة.

الغلاف الزجاجي لانبوب الاشعة السينية يستطيع امتصاص بعض الاشعة السينية منخفضة الطاقة لاحتوائه علي عنصر السليكون ، وقد صنعت نافذة من عنصر البريليوم في بعض انابيب الاشعة السينية للتغلب علي هذه المشكلة والغرض من هذه النافذة هو سماح اكبر نسبة من الاشعة السينية منخفضة الطاقة بالمرور خلال الغلاف الي خارج الانبوب الذي يعمل عند فرق جهدي كهربي منخفض نسبيا" ، والسبب في اختيار البريليوم يرجع الي كون السيليكون اعلي كثافة من البريليوم (كثافة السيليكون = 2.33جرام/سم3 ، بينما كثافة البريليوم =

1.85جم/سم3) بالاضافة الي احتواء ذرة السيليكون علي اربعة عشر الكترونا" في حين ان ذرة البريليوم تحتوي علي اربعة الكترونات فقط لذلك يمتص البريليوم مقدارا" اقل بكثير مما يمتصة السليكون من الاشعة السينية المنخفضة الطاقة[11].



شكل (3-3) يوضح غلاف زجاجي لأنبوبة الاشعة السينية

3.7 أنابيب المعدن والزجاج / المعدن والخزف:-

تتبخر أعداد هائلة من ذرات مادتي الكاثود والمصعد تحت تأثير الجهد الكهربي العالي والتشغيل لفترات طويلة ، والذرات المبخرة تترسب علي الغلاف الزجاجي للانبوب وتكون طبقة معدنية رقيقة تغلل من قيمة خاصية العزل الكهربي للزجاج ومن ثم تؤثر سلبا" في الفترة الزمنية لتشغيل الانبوب بالكفاءة المطلوبة ولتجنب هذا التأثير وإطالة عمر الانابيب يصنع الجزء الاوسط للغلاف الزجاجي في بعض الانابيب من مادة معدنية لإنشاء جهد كهربي محدد، قيمته اقل من الجهد الكهربي بين الكاثود والمصعد ، ويعمل الجزء المعدني من غلاف الانبوب علي تجميع الذرات المتبخرة الشاردة وايضا" ازالة جزء من الكترونات الثانوية المنبعثة من المصعد تحت التاثير الكترونات الثانوية المنبعثة من المصعد تحت التاثير الكترونات المعجلة القادمة من الكاثود ومن ثم تقليل تشتت الأشعة السينية نتيجة إصتطدامها بالإلكترونات الثانوية في الفراغ أمام مادة الهدف قد أدت أبحاث كثيرة حول تطوير تركيب أنبوب الأشعة السينية الى ظهور أنبوب معدني والخزف (السيراميل وهذا الأنبوب يتمثل بإسطوانية من الفولاذ مثبتة وملحومة بأحكام مع عوازل خزفية عند نهايتها، العوازل الخزفية مصنوعة من مجموعة أكاسيد المعدنية مثل أكسيد الالمونيوم وتحمل هذه العوازل مكونات القطب السالب ((الكاثود)) في أحد الطرفين والقطب الموجب ((المصعد)) مثبت في الطرف الأخر ، وتتميز الأنابيب المعدنية الخزفية بصغر الحجم ، وعظم المتانة مقارنة بالأنابيب الزجاجية المكافئة في أداء كما تتيح هذه الانابيب مرونة أكثر في مجموعة الدوائر الكهربية المرتبطة بالأنبوب.[11]

3.8 آليات إنبعاث الأشعة السينية من المادة:

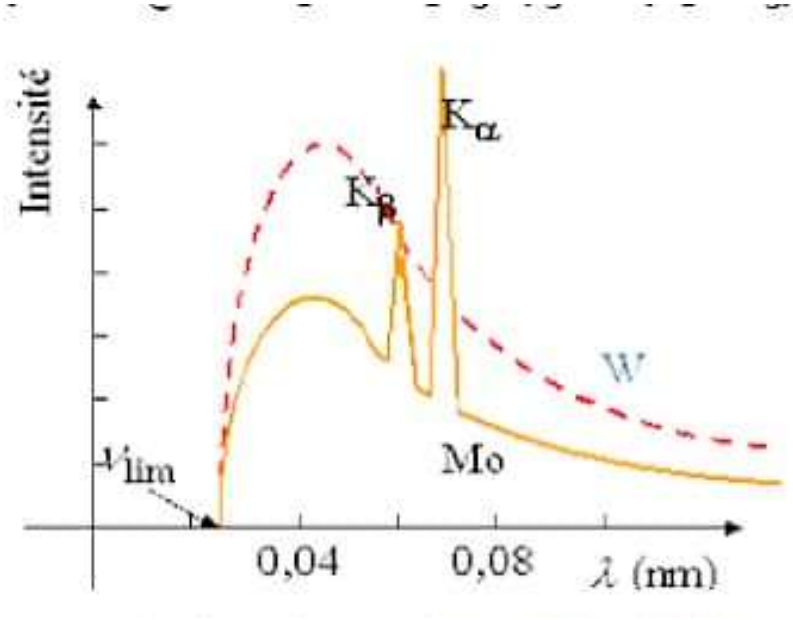
يوجد آليتان مختلفتان لإنتاج الأشعة السينية من المادة حيث تسمي الأولي : آليه الفرملة نسبة الي الكمية المائية Bremsstrahlung ، وتنتج منها أشعة سينية مستمرة تسمي أيضا" أشعة فرملة إما الآلية الثانية فتنتج منها الأشعة السينية المميزة.

3.8.1 الأشعة السينية المستمرة:-

تنتج الأشعة السينية المستمرة عندما يحدث تفاعل بين الإلكترونات المعجلة عاليه الطاقة مع أنويه ذرات مادة الهدف وعندما يمر الإلكترون المعجل بالقرب من النواة يحدث تفاعل بين المجال الكهربي لكليهما فينتج عنه إنحراف مفاجئ لمسار الإلكترون وفقد جزء من طاقتة بسبب تنافص تسارع الحركة، وهو ما يسمي بعملية (الفرملة) والطاقة التي يفقدها الإلكترون ينتشر في الفراغ بواسطة المجالات الكهرومغناطيسية أي في شكل موجات كهرومغناطيسية طبقا" لنظرية ماكسويل العامة للإشعاع الكهرومغنطيسي وقد يتناقص تسارع الإلكترون الواحد أكثر من مرة علي طول مسارة في مادة الهدف وكل تفاعل من هذا النوع قد ينتج عنه فقدان جزء من الطاقة الإلكترون أو كلهما، ومن ثم فإن الفوتونات الناتجة قد تمتلك أي مقدار من الطاقة حتي قيمة عظمي تساوي الطاقة الأصلية للإلكترونات المعجلة ، أي أن طاقة الأشعة السينية الناتجة قد تكون متصلة ومحصورة في مدي معين، ولذلك سميت بالأشعة السينية المستمرة ويعتمد إتجاه إنبعاث الفوتون علي طاقة الإلكترون أيضا . وكلما زادت طاقة الإلكترون يصبح إتجاه إنبعاث الفوتون أقرب الى إتجاه الإلكترون المعجل قبل التأثير بالمجال الكهربي لبرتونات النواة لذلك

عندما تبلغ طاقة إلكترون ملايين عدة من الإلكترون فولت، كما يحدث في معجلات الجسيمات تقصف الإلكترون المعجلة مادة الهدف من جانب واحد فتنبعث الأشعة السينية الناتجة في جانب الهدف نفسه، وتكون عادة عموديا" علي إتجاه شعاع الإلكترونات المعجلة القادمة من الكاثود .

وتعتمد كفاءة إنتاج الأشعة السينية علي العدد الذري لمادة الهدف وفرق الجهد الكهربي بين المصعد والمهبط والكاثود، علي النحو التالي (الكفاءة = 9×10^{-10} ×العدد الذري × فرق الجهد) ومثلا" إذا كانت مادة الهدف هي التنجستن (Z = 74) وفرق الجهد حوالي 100كيلوفولت فإن الكفاءة تكون أقل من 1% ومن ثم تكون نسبة الطاقة المتحولة الى حرارة في أنبوب الأشعة السينية أكثر من 99% لذلك ينبقي أن تتم وسيلة التخلص من هذه الحرارة المرتفعة بالكفاءة العاليه بالإضافة الى إختيار مادة الهدف ذات درجة حرارة إنصهار مرتفعة بقدر الأمكان من مرعاة الخصائص الأخرى التي يجب أن تتمتع بها.



الشكل (4-3) يوضح الاشعة السينية المستمرة

3.8.2 الأشعة السينية المميزة:

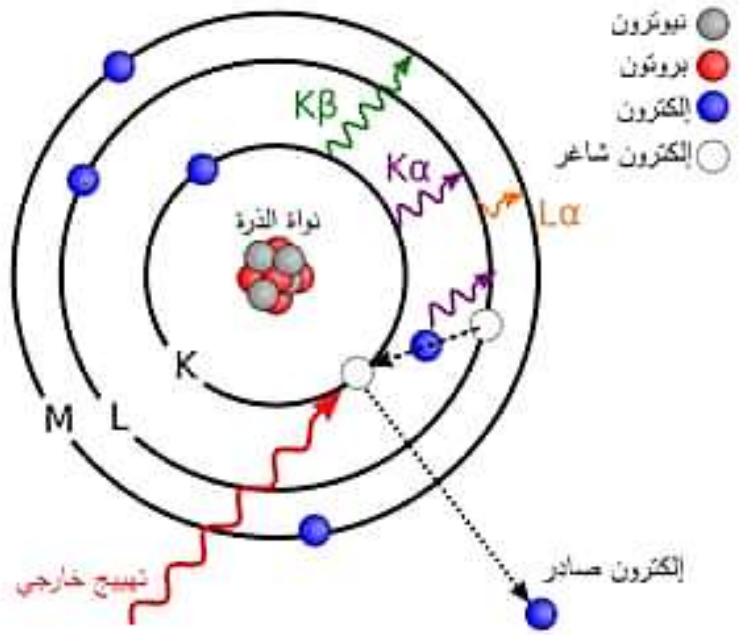
لا تعاني كل الإلكترونات المعجلة التي تنصف مادة الهدف من تناقص تسارع الحركة نتيجة لأقترابها من أنوية الذرات ولكن من هذه الإلكترونات يصطدم بالإلكترونات في المدارات القريبة من النواة ويترتب على هذا الإصطدام إخراج بعض الإلكترونات عن مداراتها الى خارج الذرة ومن ثم تتأين هذه الذرات، من حيث تنقص طاقة كل إلكترون من الإلكترونات الأصلية المعجلة بمقدار ما فقده في التصادم وهو يساوي ما أكتسبه الإلكترون المخرج من الطاقة وجزء من هذه الطاقة ينفقه الإلكترون المخرج في التغلب علي إرتباطه بنواة الذرة ويتحرك بالجزء المتبقي من الطاقة بعيداً عن الذرة تاركاً فجوة في المدار الذي كان يشغله،

بمجرد تكون فجوة في المدار يتهاوي أحد الإلكترونات من المدارات الخارجية البعيدة عن النواة ليملا المكان الشاغر ويفقد إلكترون المتهاوي أثناء إنتقاله جزء من طاقته ليتناسب ما يملكه من طاقة الموضع الجديد من حيث أن الطاقة التي فقدها تنتشر في شكل إشعاع كهرومغناطيسي تختلف طاقته من عنصر لأخر لذلك تدعى (الأشعة المميزة) أي مميزة للذرات المكونة مادة الهدف والمدارات التي إنتقلت الإلكترونات بينها وعندما تكون مادة الهدف ذات عدد ذري كبير مثل التنجستين وتتم إنتقالات بين المدارات الداخلية فإن الأشعة السينية المميزة تمتلك طاقة في نطاق الأشعة السينية من الطيف الكهرومغناطيسي ولذلك تسمي بالأشعة السينية المميزة وطاقة الأشعة السينية المميزة تكون دائما في مدي طاقة الأشعة السينية المستمرة.

ويرجع السبب في ذلك أن الإلكترونات الأولية المعجلة تمتلك ذرات طاقة وقد تفاعلت بطريقتين مختلفين مع ذرات مادة الهدف لإنتاج نوعية الأشعة لذلك تزداد كثافة الأشعة عند طاقات محددة للفوتونات المنبعثة تلك الطاقات تكافئ الفرق بين طاقة المدارات الداخلية القريبة من الأنوية ذرات مادة الهدف والتي تختلف من عنصر لأخر.

نظراً لإتساع مدى طاقة الأشعة السينية المنبعثة من أي مصدر فإن كل الفوتونات لا تتمتع بقدرة نفسها علي النفاذ من خلال أي مادة سواء كانت مادة صلبة أو رقوة كجسم الإنسان ، وكلما ذات طاقة الفوتونات كانت قدرتها علي النفاذ أكبر، ومن ثم عند توجه شعاع الى الجسم البشري مثلا فإننا نجد إرتداد بعض الفوتونات ذات الطاقة منخفضة نحو الخلف (تنعكس) ومن ثم يمتص الجزء الباقي بالقرب من سطح الجسم في حين أن الأشعة السينية وأن الطاقة المتوسطة تمتص في الجزء الداخلي وإما ذات الطاقة العالية فيستطيع المرور عبر كل الجسم إلى الجانب الأخر فإذا كانت الغرض من إستخدام الأشعة السينية تصوير المكونات الداخلية للجسم أو أي مادة واقعة تحت الفحص فإن الأشعة النافذة هي المناسبة ومن ثم تصبح الأجزاء الممتصة في الجسم من الأشعة الساقطة معدومة الفائدة وربما تسبب ضرراً يتمثل بعرقلتها أو إستخدام هذه الأشعة بطريقة مثالية.

وتطلب معظم التطبيقات أشعة سينية محددة الطاقة ولكن الأشعة المنبعثة تكون غالبا في مدى واسع عند الكثافة النسبية المنخفضة لذلك تستخدم المرشحات المختلفة لإنتقاء جزء محدد من الطاقة الأشعة السينية الناتجة عن المصدر لتلائم التطبيق المنشود وذلك بالتخلص من الفوتونات منخفضة الطاقة من الأشعة قبل إستخدامها.



شكل (5-4) يوضح الاشعة السينية المميزة

3.9المرشحات

المرشح شريحة من مادة ماسة للأشعة السينية، وتوضع في مسارها؛ لكي تخفض كثافة الأشعة طويلة الموجة (منخفضة الطاقة). والأشعة السينية تعبر أوساطًا مادية عديدة قبل أن تصل إلي حيز التطبيق، وهذه المخفضات تمتص بعض الأشعة السينية الناتجة، وهي تجعل الأشعة قاسية:أي: تُضيق مدى طاقتها نحو الطاقة المرتفعة؛ ولذلك يُطلق على على هذه العملية ((الترشيح الذاتي لأنبوب الأشعة السينية)). وربما لا تكفي عملية الترشيح الذاتي في كثير من التطبيقات:لذا تستخدم مرشحات أُخذت من مركبات مختلفة، بحيث توضع في مسار الأشعة قبل أن تصل إلى موضع الإستخدام. والترشيح الكلي يكافي مجموع العمليتين.

وتكمن وظيفة المادة المرشح في إزالة الفوتونات منخفضة الطاقة بأفضل كفاءة وأقل تأثير ممكن في الفوتونات عالية الطاقة: لذلك فإن إضافة المرشحات يساعد على تناقص العدد الكلي للفوتونات: لأنها تمتص الفوتونات منخفضة الطاقة: أي: تنقص كثافة حزمة الأشعة. وهكذا يزيد متوسط طاقة الفوتون. والمرشح مناسب لابد أن تتوفر فيه ثلاثة شروط أساسية هي: أن يتفاعل مع الأشعة، ما يسمى التأثير الكهروضوئي، وألا تكون حافة الإمتصاص (مستوى الطاقة الأقرب لنواة الذرة) قريبة من طاقة الفوتونات المرغوب فيها. وأن تكون سُمك المادة المرشح منظماً وخالياً من الفجوات، مع العلم أن أية عيوب من الممكن أن تؤثر في وظيفته. إن حواف الإمتصاص تختلف من عنصر إلى أخر كما أن لكل غرض طاقة تناسبه. وهذا يعني إمكانية إستخدام أكثر من مادة كمرشح, مثل: النحاس, والزركونيوم, والفضة, والإنديوم, والمولديوم, والحديد, والرصاص, والقصدير, والنحاس, والألمونيوم.

3.10 مصادر أخرى للأشعة السينية:

تُنتج الأشعة السينية في الوقت الحاضر لعدد من التطبيقات الطبية وغير الطبية وذلك بواسطة أجهزة الإنتاج التقليدية سواء أكانت المتنقلة أو الثابتة (التي تعتمد على أنبوبة الاشعة السينية) بالإضافة إلى المعجلات الجسيمات المشحونة. مثل المعجلات الخطية linear accelerators، ومعجلات البتاترون Betatron، والسيكلوترون Cyclotron، والسينكروترونCynchrotron، ذات التجهيزات الضخمة المعقدة من حيث التصميم والمكونات. يعجل شعاع من الإلكترونات إلى طاقات عالية جداً: لأغراض مختلفة وعند الضرورة يسمح للإلكترونات المعجلة في أنواع الثلاثة الأولى بالإصطدام شريحة معدنية (مادة الهدف). تتمتع بعدد ذرري كبير، ودرجة إنصهار عالية: كالتنجستين، ومن ثم تفقد هذه الإلكترونات معظم طاقتها؛ لتظهر شكل أشعة سينية مستمر ذات مدى أوسع، وطاقة أعلى من تلك التي تنتجها الأجهزة التقليدية؛ لتلبي متطلبات شريحة عريضة من التطبيقات المفيدة.

ونقدم هنا فكرة مبسطة عن أثنين من تلك المصادر العملاقة للاشعة السينية الإصطناعية وهما المُعجل الخطي، والسينكروترون؛ نظراً لإرتباط الاشعة الصادرة عنهما بمعجلات عدة.

3.10.1المُعجل الخطي:

المعجل الخطي الجسيمات(Linear accelerator lince) من أقدم الوسائل للتعجيل الجسيمات دون الذرية، إلى سرعات عالية جداً تقترب من سرعة الضوء. حيث تم اختراعه في عام 1928 بواسطة رولا فيدروي Rolf wideroe(11 يوليو 1920 – 11 أكتوبر1996).

المعجلات الخطية تختلف كثيراً في الطول؛ حيث تبدأ من أنبوب أشعة الكاثود المعروفة، للأغراض الطبية، والصناعية، والعلمية، وغيرهم. تصميم المعجل الخطي يعتمد على نوع الجسيمات التي تم تعجيلها، مثل: البروتونات، والإلكترونات، أو الأيقونات.

المكونات والتشغيل:

يتكون المعجل الخطي للجسيمات من الأجزاء التالية:

مصدر الجسيمات: تصميم المصدر يعتمد على خصائص الجسيمات المطلوب تعجيلها. :

يتكون المعجل الخطي للجسيمات من الأجزاء التالية:

مصدر الجسيمات: تصميم المصدر يعتمد على خصائص الجسيمات المطلوب تعجيلها. مثلاً: يتم توليد الإلكترونات بواسطة الكاثود البارد، أو الكاثود الساخن، أو الكاثود الضوئي، وأما الجسيمات الموجبة يتم تجهيزها بطرق أخرى.

مصدر للجهد الكهربائي العالي: وذلك بغرض الحقن الأولي للجسيمات المطلوب تعجيلها في حين أنه، إذا أستخدم الجهاز كحاقن مغذي للمعجلات ذات الطاقة العليا، مثل: السينكروترون synchrotron، فقد يصل طوله إلي عدة أمطار. إما إذا كانت الغرض منالجهاز

التعجيل الأولى للجسيمات بهدف إجراء فحوص للجسيمات النووية، فإن طول المعجل قد يصل إلى ألاف عدة من الأمتار.

أقطاب كهربية معزولة، إسطوانية الشكل، داخل الغرفة المفرغة: يختلف طول الأقطاب حسب موقعها على طول الأنبوب، حيث بعتمد طول كل قطب كهربي على التردد وقدرة مصدر الجهد الكهربي، وكذلك طبيعة الجسم المطلوب تعجيله. ودائماً تتزايد أطوال الأقطاب بالتتابع من مصدر حتى الوصول إلى الهدف الذي ستصطدم به الجسيمات المعجلة. إن خصائص الجسم المعجل ذات أثر مباشر، وكبير في تحديد طول الأقطاب الاسطوانية، فمثلاً: الإلكترونات أصغر في الكتلة من البروتونات بنسبة 1إلى1836، ولذلك فإنها تتطلب مقاطع أقصر كثيراً من الأقطاب الاسطوانية؛ حيث أنها تكتسب سرعة أعلى في زمن أقل، على رغم من أن طاقة حركتها تكوت أقل كثيراً من البروتونات التي تمتلك نفس السرعة. مصدر طاقة واحد، أو أكثر، ذو تردد راديو للاتصال بالأقطاب الاسطوانية؛ في حالة المعجلات العالية الطاقة، يستخدم مصدر واحد منفصل لكل قطب على حده. وينبغي أن تكون قدرة المصدر، وتردده، وحالة الطور متوافقة على حسب تسلسل موقع القطب الاسطواني في السلسلة، من نوع الجسيم تحت التعجيل؛ حتى نحصل على أعلى قيمة من الطاقة عند نهاية المسار.

مادة هدف مناسبة: يستخدم هدف من التنجستين المبرد بالماء، إذا كان المطلوب إنتاج أشعة سينية بواسطة جسيمات معجلة. كما يستخدم مواد أخرى عد، كمادة للهدف، عندما يكون الجسيم المعجل هو البروتون أو أيونات أخرى؛ إعتماداًعلى نوع الفحوصات المطلوبة.

غرفة مفرغة على هيئة أنبوب مجوف: يختلف طول الغرفة والأنبوب طبقاْ لنوع التطبيق، حيث؛ إذا كان الجهاز سيستخدم لإنتاج الأشعة السينية للفحص، أو للعلاج، فإن الأنبوب قد يتراوح طوله بين نصف متر إلى مترونصف.

فكرة عمل المعجل الخطي للجسيمات :

كل اسطوانة ذات جهد كهربي محدد، أقل في القيمة من التي تليها، ابتداءً من مصدر الجسيمات حتى مادة الهدف. وهذا يعني أن سطح سطح كل اسطوانة متساوي في الجهد، ومن ثم لا يكتسب الجسيم المشحون أي طاقة اثناء عبوره أحد الاسطوانات (لا يحدث تعجيل للجسيمات داخل أنابيب الإنجراف–الأقطاب الكهربية) لعدم وجود مجال كهربي فيها، ولكن عند مرور الجسيم بين اسطوانتين متتاليتين (أي في فجوة بين قطبين متتاليين)، يكتسب الجسيم مزيداً من السرعة(الطاقة) ، في أتجاه واحد، تحت تأثير المجال الكهربي في تلك الفجوة، وبالتالي تصير سرعته أكبر، مما يعني أنه في الاسطوانة التالية سوف يستغرقزمن أقل عند مروره خلالها إذا كانت متساوية في الطول مع سابقتها. نظراً لتوافق الزمني لتغير فرق الجهد الكهربي، فإن هذا يستدعى أن تكون الاسطوانات المتتالية متزايدة في الطول، بحيثإذا وصل الجسيم المشحون عند نهاية الاسطوانة، يحدث تغير في اتجاه الجهد الكهربي ليصير اتجاه فوق المجال الكهربي دائماً في اتجاه حركةالشحنة. وعندما تزداد سرعة الجسيمات، لتقترب من سرعة الضوء، فإن مقدار السرعة المكتسبة سيكون صغيراً؛ نظراً لزيادة في كتل الجسيمات طبقاً لنظرية النسبية الخاصة وهذا يتطلب أن تكون أنابيب الإنجرافمتقاربة في الطول قرب نهاية مسار الجسيمات المعجلة.

تضاف عناصر كعدسات كهروستاتيكيةأو مغناطيسية، لتأمين بقاء شعاع الجسيمات على محور الأنبوبة المفرغة وكذلك الأقطاب الكهربية

المعجلات الطويلة جداً قد تحافظ وتُبقي على اصطفاف دقيق لمكوناتها، من خلال استعمال أنظمة آلية. المؤازرة، التي تكون موجهة بواسطة شعاع من الليزر.

مميزات المعجلات الخطية:

1. المعجلات الخطية ذات التصميم المناسب تمون قادرة على تعجيل الايونات الثقيلة إلى طاقات تتخطى تلم المتاحة في المعجلات من النوع الدائري مثل السيكلوترون، والتي تكون مقيدة بشدة بالمجالات المغناطيسية المطلوبة لبقاء الأيونات في مسر دائري.
2. المعجلات الخطية ذات القدرة العالية، يمكن أيضاً تطويرها لإنتاج إلكترونات تمتلك سرعات قريبة من سرعة الضوء. وهذا نوع من المعجلات مطلوب، حيث أن الإلكترونات السريعة المتحركة في شكل قوس، سوف تفقد جزء من طاقتها خلال أشعة السينكروترون. وهذا بالطبع سوف يحد من القيمة العظمى للطاقة التي أن تمتلكها الإلكترونات في السينكروترون.
3. المعجلات الخطية قادرة أيضاً على إنتاج سيل متقارب شبه متصل من الجسيمات المعجلة، ومن ثم فإن الفترات الزمنية بين نبضات الأشعة السينية الناتجة تكون قصيرة للغاية وهذا مفيد جداً للعديد من التطبيقات.
4. المعجلات الخطية المستخدمة في المجال الطبي تعجل الإلكترونات باستخدامتجويف متناغم كمُوجه موجة wave guide ، حيث أن مصدر الموجات الراديوية تنشئ موجات موقوفة. في حين أن بعض المعجلات الخطية تحتوي على موجهات موجة قصيرة مركبة عمودياً، بينما الأجهزة ذات النبضات الأعلى تميل إلى استخدام موجهات موجةطويلة، وأفقية، ومغناطيس انحناء لإدارة الشعاع بشكل عمودي نحو المريض.
5. المعجلات الخطية الطبية تستخدم أشعة مت الإلكترونات وحيدة الطاقة فيما بين 4 حتى 25 مليون بإلكترون فولت، منتجة أشعة سينيةمستمرة، لطيف من الطاقات حتى طاقة الإلكترون، عندما يتم توجيه الإلكترون إلى هدف عالي الكثافة مثل: التنجستين. الإلكترونات والأشعة السينية يمكن أن يستخدما في علاج في علاج كل من الأورام الحميدة والخبيثة.
6. يتميز الشعاع الناتج عن المعجلات الخطية، بدرجة عالية من المرونة والدقة جعلته أداة علاجية ممتازة للأورام، ولذا يمكن أن تستخدم بدلاً من العلاج بالكوبالت المشع. إضافة إلى ذلك، يمكن إيقاف الجهاز عند عدم استخدامه، ولا يوجد مصدر مشع يتطلب حماية إشعاعية مكثفة – على الرغم من أن الاستخدام المطول للأجهزة عالية الطاقة(أعلى من 18 مليون إلكترون فولت) يمكن أن تسبب كمية كبيرة نسبياً من الأشعة داخل الأجزاء المعدنية، في رأس الجهاز، بعد فصل التيار عنه (أي أن الأجزاء المعدنية صارت مصدراً نشطاً للأشعة، ولذلك يجب أخذ الاحتياطات الضرورية).

عيوب المعجلات الخطية :-

محدودية طول المعجل الخطي؛ طبقاً للمكان الذي سيوضع فيه.

يتطلب المعجل الخطي على عدداً كبيراً من الأجهزة المزودة، ومصادر القدرة الكهربية المصاحبة لها، مما يعني مزيداً من نفقات التركيب والصيانة لهذا النوع من الأجهزة.

إذا صنعت جدران الفجوات المعجلة من مواد توصيل عادية، وكانت المجالات المعجلة مبررة، فإن المقاومة الكهربية للجدران تحول الطاقة الكهربية إلى حرارة بسرعة. وعلى جانب الآخر، فإن المادة الفائقة التوصيل تمتلك قيوداً متعددة، إضافة إلى كونها باهظة التكلفة خاصة عند بناء المعجلات الخطية الكبيرة جداً.

3.10.2 السينكروترون:

السينكروترون أجهزة ضخمة بالغة التعقيد، وعالية التقنية، وتكون السينكروترونات عادةً في مراكز قومية وذلك لكبر حجمها، ودرجة تعقيدها، وإرتفاع تكلفة تشغيلها. والسيكروترون نوع خاص من المعجلات الدائرية للجسيمات، حيث يتزامن المجال المغناطيسي الذي يسبب دوران الجسيمات في مسار دائري، والمجال الكهربي الذي يسبب تعجيل الجسيمات، بدقة مع شعاع الجسيمات المتحركة. أن الجسيمات المشحونة سواء أكانت إلكترونات أو بوزيترونات (إلكترونات موجبة الشحنة) ، تحقن داخل حجرة حلقية الشكل مفرغة من الهواء لدرجة عالية جداً، قد تصل إلي حوالي (10)-9 تورشيللي. (التورشيللي وحدة، لقياس الضغط تساوي ميليمتر زئبق واحد). واستدارة الغرفة المجوفة غير كاملة، ولكن تتكون من سلسلة أقواس متصلة فيما بينها بواسطة اقسام مستقيمة.

وتدخل الجسيمات الحلقة عن طريق مغناطيس الحقن، ثم تتحرك حول الحلقة بسرعة تقترب من سرعة الضوء، ويؤثر فيها سلسلة من المغانطالتي تعمل على تقوس مسار الجسيمات المشحونة، حيث يتحرك الجسيم المشحون في مسار دائري عند التأثير عليه بمجال مغناطيسي منتظم عمودي على مسار الحركة. أثناء انتقال جسيمات حول الحلقة تفقد تلك الجسيمات جزءاً من طاقتها. وتُعوض الطاقة التي فقدتها الجسيمات عند انتقالها خلال تجاويف راديوية التردد، حيث تمنح الحقول الكهرومغناطيسية المتزامنة طاقة للجسيمات؛ لإبقائهافي حالة دوران حول الحلقة بسرعة تقترب من سرعة الضوء.

تنبعث أنواع من الأشعة الكهرومغناطيسية، مثل: الأشعة تحت الحمراء، والمرئية، وفوق البنفسجية، والأشعة السينية، عندما تمر الجسيمات المشحونة عبر مغانطالإنحاء أو خلال أجهزة الإدخال. وتسمح أجهزة الإدخال للأشعة بالدخول إلى محطات إجراء التجارب، وهي حجرات ذات دروع حماية تستخدم لوضع تجهيزات تجارب معينة. والحلقة نفسها واقعة خلف جدار خرساني كثيف يستخدم كدرع حماية، وكل الأنابيب التي ترسل إشعاعاً، وكذلك كل المحطات التجريبية التي تحتوي على أجهزة وتجهيزات تُحمي بكثافة، ويتحكم فيها، وتُغلق إغلاقاً آلياً.وعندما تدور الجسيمات حول حلقة التخزين، فإنها تصطدم بجزيئات الغاز للمتبقية في الغرفة المفرغة؛ مما ينتج عنه فقد تيار شعاع الجسيمات تدريجياً؛ لذلك تنخفض كثافة الأشعة السينية الناتجة بمرور الوقت حتى تصل إلى الحد الأدنى. ويتخلص من الجسيمات الباقية عند

هذه النقطة، ثم يعاد ملء الحلقة مرة أخرى، وتكرار الدورة. وتستغرق عملية إعادة ملء الحلقة بالجسيمات فترة زمنية تقترب من ساعة واحدة أو أقل من ذلك.
وتتميز السينكروترونات التي تدوربوزيترونات في الغالب بفترة أطول للشعاع عن تلك التي تُدور الإلكترونات. وتتضمن الأولى للتعقيدات إضافية؛ لإنتاج البزويترونات وذلك ببساطة تركيب مصادر الإلكترونات؛ إن مجرد تسخين سلك رفيع جداً بتيار كهربي كبير يكفي لتوفير مصدر للإلكترونات بشرط أن يكون في بيئة مفرغة الهواء؛ لضمان عدم أكسدته يأو احتراقه.
في حين يتم الحصولعلى البوزيترونات كنواتج لبعض التفاعلات النووية، حيث تعجل البروتونات إلى طاقات عالية، والسماح لهم باصطدام ببعض نظائر العناصر حيث تصبح انويتهاغنية بالبروتونات، ومن ثم تصير تلك النظائر مشعة مصدراً للبوزيترونات لتحلل البروتونات الزائدة، وتحولها إلى نيوترونات، ومن ثم انطلاق جسيمات البوزيترون.
تتميز الأشعة السينية المنتجة بواسطة السينكروترونبكونها بشكل شعاع رفيع جداً ذي شكل مخروطي، وزاوية رأسه صغيرة، ومن ثم تكون الأشعة متوازية، وذات كثافة عالية ونطاق واسع من الطاقة، مما يؤهلها للاستخدام في مجالات غاية في الدقة والأهمية.

3.11 رصد وقياس الأشعة السينية:

عند استخدام الأشعة السينية، لا تكفي توجيهها إلى موضع التطبيق فترة من الزمن فقط، ولكن، من الأهمية بمكان، معرفة مقدار ما تم امتصاصه من تلك الأشعة داخل المواد التي وجهت إليها مثل جسم الإنسان أو حاوية بضائع؛ لأن ذلك يحمل كمية من المعلومات المطلوبة حول التركيب الداخلي لتلك المواد. فمنذ اكتشاف الأشعة السينية عام 1895، تم اختراع وتطوير العديد من التقنيات للكشف عن ورصد الأشعة السينية. ولقد كانت أفلام التصوير هي الوسيلة المتاحة آنذاك؛ للقيام بمهمة الكشف عن الكثافة الأشعة السينية النافذة من الأجسام الكثيفة، وتوزيعها، مثل: التصوير الإشعاعي الطبي وغيره. وللكشف عن الأشعة السينية ورصدها يحتاج المرء إلى مادة قادرة على امتصاص الأشعة السينية الواردة، وتحويل طاقة فوتونات الأشعة إلى إشارات كهربائية. وهناك طريقتان: لتحقيق هذا الهدف؛ طريقة مباشرة وطريقة غير مباشرة. تستخدم في الطريقة غير المباشرة مواد تسمى الوميضات scintillators ، وتتميز بقدرتها على تحويل الأشعة السينية إلى فوتونات الضوء المرئي. ويكشف عن الضوء الناشئ عن هذه العملية باستخدام الكواشف البصرية التقليدية. أما الطريقة المباشرة فتستخدم فيها كواشف من أشباه الموصلات التي لديها القدرة على تحويل فوتونات الأشعة السينية مباشرة إلى إشارات كهربائية.

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

4.1 مقدمة:

في هذا الباب نوقشت الصور الإشعاعية وجودة وضمان الأشعة السينية في مجال الصناعي وكذلك إختيار لحام المعادن وفحص الأنابيب وأقراص وتستخدم الأشعة السينية في مجال الصناعي بكثافة كوسيلة مساعدة لضمان جودة المنتج أو حفاظ عليه معقماً، حيث يعد التصويربالاشعة السينية في كثير من الصناعات حجر أساس؛ لرؤية التفاصيل غير المرئية بالوسائل التقليدية، كالفحص البصري، ومن ثم دراستها؛ لتحديد أماكن العيوب أثناء مراحل الإنتاج، أو في منتج النهائي دون تلفه، أو أخذ عينة منه.

4.2الصور الإشعاعية:

الصورة الغشعاعية تتمثل بفيلم تصوير خاص عُولج بعمليتي التحميض والتثبيت بعد تعرضه للأشعة السينية، أو أشعة جاما أثناء عملية التصوير ويمكن عرض الصور الإشعاعية على صندوق ضوئي مخصص لهذا الغرض، أو تحويلها إلي الشكل الرقمي، ومن ثم عرضها شاشة عالية الدقة، كما أصبح شائعاً الآن؛ وذلك لأن شروط العرض الجيدة مهمة جداً عند تفسير الصور الإشعاعية. كما أن ظروف المشاهدة يمكن ان تُحسن التفاصيل الدقيقة في الصور الإشعاعية، أو تخفضها.

ومحتويات الفيلم الإشعاعي تظهر على هيئة تغير فجائي أو متدرج في درجة الشفافية على سطح الفيلم. وتتراوح بين السواد القاتم والشفاف. ويتاثر هذا التدرج بمجموعة من العوامل، مثل:المسافة بين مصدر الأشعة السينية والعينة وفيلم أثناء التصوير. الحركة النسبية للمصدر والعينة والفيلم اثناء التصوير. الزاوية بين المصدر والعينة والفيلم. مساحة المنطقة التي تتأثر بالأشعة.التغيير المفاجئ في سمك العينة أو كثافة المناطق المختلفة في العينة المطلوب تصويرها. المعدات المستخدمة بما في ذلك نوعية الفيلم.إذا أختير نوع جيد للفيلم ، وثبتت كل العوامل المساعدة،فإن ذلك سيؤدي إلي ظهور التغيرات المفاجئة في سمك العينة أو في كل الأجزاءالمختلفة تحديداً داخل المناطق ذات التغيير التدريجي. ويمكن إكتشاف مناطق الخلل عند وجود تغير في توزيع درجة الشفافية والسواد على سطح الفيلمعن الصورة المثالية المتوقعة.

4.3الاشعة السينية وضمان وجودة:

تستخدم الأشعة السينية في فحص المنتجات المصنعة من مواد مختلفة؛ وذلك للكشف عن العيوب الداخلية: كالشروخ، والشقوق، ومواضع عدم الإتصال، وغيرها من العيوب التي لا تظهر أثراًعلى سطح المنتجات، وخاصة إذا كانت دقيقة، وتُصنع بكميات ضخمة،مثل: المكونات الإلكترونية الدقيقة.

4.4إختبار دقة كاميرا التصوير بالأشعة السينية:

قبل البدء باستخدام وحدة التصوير الصناعي بالاشعة السينية يجب التأكد من قوة التحليل المكاني للكاميرا المستخدمة، وذلك بفحص عينة سلك.

4.5اختبار لحام المعادن بالأشعة السينية:

النقطة الرئيسية لتأمين الجودة في أكثر عمليات الإنتاج الصناعي تكمن في نوع اللحام عند خطوط او نقاط الاتصال. والجودة كافية ليست سهلة المنال بالطرق التقليدية غالباً، بل يمكن إتمامها بسرعة ودقة يعتمد عليها بإستعمال تقنية التصوير بالأشعة السينية. حيث تحديد مناطق الشقوق، والمسام، وعيوب التركيب، ولحام غير كافي. وتكون مناطق اللحام في هياكل الطائرات والسفن العملاقة طويلة إلي حد ما؛ وذلك تستخدم أفلاماً في عملية التصوير بالأشعة السينية. وهذه الأفلام على شكل لفات مغلقة تسمح للمصولر الإشعاعي أن يقطع لفيلم عند طول المطلوب. وتقدم هذه الأفلام ميزة إقتصادية عظيمة. حيث تسمح بفحص منطقة كبيرة أثناء عملية التصوير واحدة. فعلى سبيل المثال: يلف الفيلم حو جسم الطائرة من الاخارج مع إتخاذ كافة إجراءات تأمينه من التلف في حين يوضع مصدر الإشعاع ويُركب على محور بالداخل مصمم بطريقة تضمن تحريك مصدر الأشعة بكل سهولة في مواجهة مواضع اللحام المطلوب فحصها.

4.6فحص الأنابيب وخطوطها:

ينبغي أن تُختبر الانابيب ليث أثناء الإنتاج فقط، ولكن أيضاً بعد التركيب، وأثناء انتظام العمل: ضمان الأمن والسلامة في الصناعات الكيماوية، وصناعة البترول والبتروكيماويات، وكذلك في محطات الطاقة النووية. ويعد التصوير الرقمي بالأشعة السينية في أغلب الأحيان من أرخص الطرق،وربما يكون هذا النوع من التصوير الوحيد القابل للتطبيق في هذه الاختبارات غير الهدامة، وخاصة عندما تكون الأنابيب مغطاة أو معزولة عن البيئة الخارجية. كما يتيح قياس سمك جدران الأنابيب التأكد من وجود شقوق وفجوات، أو زيادة في المسامات، أو تآكل في الجدران.

4.7 فحص أقراص والقطع والتجليخ:

يُعد تأمين المنتج ضرورة مُلحة؛ لضمان سلامة تشغيل المعدات وخاصة التي تستخدمها العمالة مباشرة، مثل: أقراص القطع أو التجليخ. وقد يبدو القرص خالياً من العيوب بالفحص البصري؛ ولكن الصورة الأشعة السينية تُظهِر إظهاراً واضحاً عيباً خطيراً على هيئة ضعف في دُعامة الليف الزجاجي، ومن ثم قد يؤدي إلي كسر القرص القاطع أثناء التشغيل في أي لحظة؛ مما يسبب خطراً شديداً على العامل.

4.8 تأمين الجودة وفحص الإطارات:

تخضع الإطارات لمعايير الامان الغالية؛ لضمان سلامة المركبات والمسافرين، ولتحقيف ذلك تُحتبر جودتها أثناء وبعد عملية الإنتاج بفحصها عبر صورة الأشعة السينية ويمثل فحص الصور الرقمية بالأشعة السينية أحد مفردات منظومة متكاملة في عملية الإنتاج؛بسبب دقتها وسرعتها. ولقد طورت آلة تصوير على شكل حرف U خصيصاً لفحص الإطارات؛ للتعرف على موقع الهيكل والحزام وحالة الأسلاك واتجاهها؛ ووجود فجوات الهوائية؛ أو مواد غير مرغوب فيها ضمن الشريط المطاطي. كما يعالج الصناع أنواعاً معينة من اللدائن بالأشعة السينية؛ ولتقويتها. حيث تُحدث الأشعة تغييراً كيميائياً على اثر التفاعل مع هذه اللدائن.

4.9 اختبار الدوائر الكهربية:

تتطلب صناعة السيارات ضمان جودة العالية في كل المراحل؛ ولذا يستخدم التضوير الرقمي بالأشعة السينية في البحث والتطوير والإنتاج.ومن أمثلة ذلك: اختبار التأكد من التجميع الصحيح، واكمال مكونات مفتاح السيارة، إذ تفحص في هذه الحالة صورة المفتاح بالأشعة السينية: للتحري من مدى وجود تمزق في السلق، وأماكن الاتصال المعيبة، والمكونات المفقودة، والعيوب التجميع، والتمزق في أجزاء الزنبرك، وكذلك عيوب لحام المفاصل.

لا يمكن رصد الاجزاء المتحركة ونقاط الاتصال في قاطع الكهرباء الآليبعد اكمال المنتج باحتباره عملياً، أو بالتصوير الإشعاعي. ويمكن تطبيق أساليب الفحص نفسها مع مصباح توفير الطاقة. وتتميز طريقة التصوير الرقمي بالأشعة السينية بإمكانية تطبيقها أثناء المراحل المختلفة للإنتاج، ومن ثم تقلل الخسائر المادية المترتبة على استكمال تلك المراحل على رغم من حدوث خلل في إحداها. بحيث لا يتمكن من اكتشافه في الوقت المناسب.

4.10 اختبار شرائح الدوائر الإلكترونية:

تضمن تكنولوجيا الصور الرقمية بالأشعة السينية المرتبطة ببرامج التقييم الذاتي، الجودة الآلية عند التجميع الأوتوماتيكي للوحات الدوائر إلكترونية الخاصة بشرائح البطاقات النقدية، والدوائر الإلكترونية المطبوعة، سواء أكانت بسيطة ، أم متعددة الطبقات. تتميز الأفلام المستخدمة بالحساسية أو الجودة العالية؛ لأن التوصيلات الداخلية رفيعة جداً وتقاس بالميكرومتر. ويستخدم الفحص في البحث عن فواصل اللحام المعيبة، وماضع القع في مسارات التوصيل، ودم إكتمال التركيب المكونات اكتمالاً صحيحاً على اللوحة.

4.11 مستجدات التصوير بالأشعة السينية:

الصور التقليدية للأشعة السينية تُخزن على الأفلام الفوتوغرافية ولا تظهر تلك الصور إلا بعد المعالجة كيميائية؛ لتظهير وتثبيت الصورة. وفي ثمانينات القرن العشرين تم إكتشاف ألواح التصوير بالأشعة السينية مما أدى إلى عهد جديد من التصوير بالاشعة السينية الرقمية تعتمد ألواح التصوير هذه على عنصر الايوروبيوم europium المُطعم بمادة الفسفور؛ لتخزين الصورة، حيث تُخزن صورة الأشعة السينية كتركيز فراغي متفاوت لأزواج محصورة من

الإلكترونات – الفجوات، وتُقرأ نقاط الصورة عادة بواسطة شعاع ليزر مُركز لمسح لوح التصوير، ومن ثم يحدث تحفيز ضوئي وتلألؤ مستحث يتناسبان مع كمية الاشعة السينية التي سقطت على اجزاء اللوح. وقد أدى هذا التلألؤالمستحث إلى المضخم الضوئي.

وتتمتع ألواح التصوير بمجموعة من المزايا على الفيلم التقليدي، مثل: مدى ديناميكي واسع، وزيادة في التباين والحساسية، وغعادة الاستخدام والتصوير الرقمي. استخدامات ألواح التصوير ليست محصورة في التطبيقات الطبية وطب الاسنان ولكن أيضاً في التطبيقات العلمية من خلال الاجهزة العلمية وعند إجراء الاختبارات غير مدمرة للمادة، بالإضافة إلى أجهزة فحص الأمتعة وحاويات البضائع واجهزة مراقبة جودة المنتجات. يعود السبب في الإنتشار الواسع لاستخدام ألواح التصوير إلى أنها أجهزة بسيطة لا تؤثر على خصائص المواد المفحوصة على النقيض من الاجهزة المستخدمة في التكنولوجيا المنافسة الحالية.فإن نظام القراءة المرتبط بألواح التصوير غالية الثمن نسبياً نظراً لأنها تتضمن عمليات مسح كهروميكانيكية دقيقة ومعقدة وحساسة، وهذا أيضاً يجعل النظام أقل ملاءمة للتطبيقات الميدانية مقارنة بتقنية الفيلم البسيط. لذلك فإن المحاولات مستمرة من خلال الأبحاث العلمية لتطوير طرق أسهل وأقل تكلفة لقراءة ألواح التصوير الفوسفورية وجعل الصور أكثر وضوحاً.

تتمثل إحدي طرق قراءة ألواح التصوير، في غمر لوح التصوير بضوء أحمر محفز ثم تُسجل صورة الأشعة السينية الناتجة مع كاميرا للتصوير الفوتوغرافي الرقمي من خلال أحد الألياف البصرية المناسبة. وعلى رغم من أن تلك التقنية كانت مهملة من الناحية العلمية إلا أن التحسينات الجذرية في الكاميرات الرقمية بخصوص قوة الوضوح، وعدم الحساسية للضوء، مع وجود الجيل الثاني من ألواح التصوير التي تعتمد على الأيوروبيوم المطعم بمادة بروميد السيزيوم؛ جعلت تلك الطريقة مناسبة تماماً لهذا الغرض.

4.12 قياس الأبعاد الدقيقة بالأشعة السينية:

تستخدم الألواح المعدنية في طيف واسع من الصناعات. وتتنوع الالواح حسب المقاسات الهندسية، والمعادن التي تُصنع منها. وتحدد نوع الاستخدام المطلوب مكونات مادة اللوح المعدني، وسمكه، فمثلاً: تستخدم ألواح الحديد أو الصاج المجلفن دقيقة السُمك في صناعات الهياكل الخارجية للثلاجات، والسيارات. واما الألواح ذات السثمك الكبير فتستخدم في صناعة هياكل سُفُن الشحن العملاقة.

ويُختبر سُمك الالواح ومدى تجانس مادتها بواسطة الأشعة السينية قبل الدخول في مرحلة الاستخدام المباشر؛ وذلك لضمان جودتها. وتسقط الأشعة السينية سقوطاً عمودياً على اللوح أثناء سحبه عبر ماكينات تحديد السُمك المحدد مسبقاً حسب الطلب. وتُستقبل الأشعة النافذة من الجانب الآخر بواسطة عداد مناسب(مثل عداد جايخر)، وحساب سُمك اللوح على طول مساره. وفي الماكينات المزودة بنظام التغذية العكسية للمعلومات، تتخذ عند اختلاف السُمك عن القيمة المطلوبة الإجراءات اللازمة لضبطه تلقائياً. وتُحدد خصائص المادة المفحوصة وطاقة الأشعة السينية المستخدمة ما يسمى ب"معامل التوهين الخطي للأشعة" (ويمكن حساب سُمك m . شدة الأشعة السينية الساقطة على اللوح، I0 حيث تمثل I=I0e-mx) بمعادلة بسيطة xالعينات(

تُمثل شدة الأشعة السينية النافذة من اللوح. بفرض أن اللوح المعدني مصنوعمن إفي حين أن المعدن نفسه أو السبيكة نفسها، فإن زيادة سُمك اللوح يؤدي إلي تناقص شدة الأشعة النافذة ومن ثم تناقص كثافة السواد الذي يعتري الفيلم الإشعاعي، ومن ناحية أخرى، فإن سُمك طبقة رقيقة (فيلم) من مادة ما على ركيزة، من الأهمية بمكان للعديد من التطبيقات الصناعية، مثل: المصنوعات ذات الصلة بالأوراق، والمنسوجات، والشرائط اللاصقة، ولتحقيق هذا الهدف، أُبتكرت العديد من تقنيات القياس التي تعتمد على ظواهر فيزيائية مختلفة، مثل: تقنيات القياس التي تعتمد على ظاهرة التداخل الضوئي، وقياس السعة الكهربية ، والمقاومة، والممانعة، والهواء المضغوط، وقياسات بصرية، والموجات فوق الصوتية والنيوترونات، وأشعة بيتا، وأشعة غاما، بالاضافة إلى الأشعة السينية. ونظراًللتداعيات التي قد تترتب على استخدام جسيمات بيتا والنيوترونات، فهي تستخدم عامة في الظروف الصناعية القاسية، ومع ذلك؛ فإنها تخضع لتنظيمات صارمة للامن والسلامة. ولذلك، فإن اجهزة القياس المستخدمة لأنبوب الأشعة السينية تكون جذابة لأنها تتيح جانب الأمن نظراً لقدرتنا على إيقاف تشغيل الانبوب وقتما نريد.

4.13 استخدامات أخرى للأشعة السينية في المجال الصناعى:

1- تحسين خصائص الاحجار الكريمة حيث تستخدم عمليات التشعيع سواء كانت بالأشعة السينية أو بأشعة غاما؛ لتحسين خصائص الكوارتز عديم اللون، وبعض الأحجار الكريمة الأخري؛ لزيادة قيمتها الإقتصادية بعد إكسابها ألواناً جذابة تناسب رغبات المستهلكين.

2- السيطرة على عمليات خط الإنتاج في مصانع الصلب، وتكرير المعادن، وخلافه.

3- السيطرة على تحمل الماكينات عن طريق تحليل فلورية زيوت التشحيم.

4- معايرة سُمك الألواح المعدنية دقيقة السمك؛ المستخدمة في صناعات محددة.

5- تحديد تركيب السبائك والمواد المجهولة.

6- فحص المادة المحفزة بعد عملية الاحتراق في صناعة السيارات.

7- فحوصات كيمياء الغذاء،مثل: التأكد من خلو الغذاء النيئ أو بعد التجهيز من العناصر الثقيلة أو السامة، ووجود إضافات سواء مرغوب أو غير مرغوب فيها[11] .

4.14 الخاتمة:

خلاصة القول أن الأشعة السينية والموجات الكهرمغناطيسية وقد أصبحت في وقتنا الحالي أهمية كبرى في شتى مجالات الحياة وأهمها في مجال الصناعي فنجد أن الأشعة السينية تستخدم في المطارات في تفتيش الحقائب وتحقق من جودة المنتجات واستخدمت الصور الإشاعية وجودة وضمان الأشعة السيلية في المجال الصناعي وكذلك أخنبار لحام المعادن وفحص الأنابيب وتستخدم أيضاً في سيطرة على عمليات خط الإنتاج في مصانع الصلب، وتكرير المعادن وخلافه، كما أنها تستخدم في الكشف عن الآثار وتنظيم البلورات .

4.15 التوصيات:

أوصى هذا البحث في:

1– إستخدام الحواجز من الرصاص لأن الأشعة السينية لا تتمكن من إختراق الرصاص.

2- توجيه الأشعة السينية نحو البقعة المستهدفة فقط بدل التهاون في إستخدامها عشوائياً.

3- لا يجوز إستخدام الأشعة السينية إلا بعد توفير الحماية الكافية للأشخاص العاملين جميعهم.

قائمة الجداول :-

الرقم	الجدول	رقم الصفحة
1-1	الطيف الكهرومغناطيسي	5

قائمة الاشكال :-

الرقم	الشكل	رقم الصفحة
2-1	امتصاصات الاشعة الكهرومغناطيسية	7
3-1	المكونات الرئسية لأنبوبة الاشعة السينية	11
3-2	انبوبة الاشعة السينية	16
3-3	غلاف زجاجي لانبوبة الاشعة السينية	17
3-4	الاشعة السينية المستمرة	19
3-5	الاشعة السينية المميزة	21

المراجع والمصادر :

1- أحمد أحمد السروى – الأشعة السينية Introduction of x-Rays

1-WWW.syrianclinic.com,18\11\2018,03:21

2- محمود نصرالدين- الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها- الهيئة العربية للطاقة الذرية – تونس- 2008م

3-Introduction of X-Rays WWW.syriunclinic.com 18\11\2018,03:40

4- رنا مصلى- أروى أحمدي - سارة الروقي- زينب الروقي-الأشعة الكهرمغناطيسية –جامعة أم القرى كلية العلوم التطبيقية قسم الكيمياء -2015م.

5 - أحمد ناصر الليبي – الموجات الكهرمغناطيسة وتأثير على الصحة الإنسان والبيئة _ جامعة بنغازي ليبيا _ 2013م.

6-Hadayekelkoba.ahlamontada.net/t22/5 –topic,19\11\2019,19:45.

7- . www.colorado.edu/physics/2000/index.pl,19\11\2019,20:10

8- موقع شركة أنفورما للأبحاث -2019/3/1م – الساعة 11ص.

9- موقع وزارة الصحة بريطانيا – 2019/3/1م – الساعة 2ظ.

10- موقع المجلة الدولية للإشعاعات الحيوية – 2019/3/3م – الساعة 5م.

11- د. صالح محمد متولي – الأشعة السينية الفوائد والمخاطر – الرياض – 2015 م