

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

*Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique*

*Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique*

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بسكيكدة

*Département de Physique et Chimie*

قسم الفيزياء و الكيمياء



*Mémoire de fin d'étude*

مذكرة التخرج

En vue de l'obtention du diplôme : Professeur d'enseignement moyen

لنيل شهادة : أستاذ التعليم المتوسط

التخصص: فيزياء

Spécialité: Physique

من إعداد :

شوية إيناس

بن باخة نهى

*Thème* الموضوع

الأشعة السينية وتطبيقاتها في مختلف المجالات

لجنة المناقشة

مشرفا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

فيصلي محمد

الأستاذ

رئيسيا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

بوبكري هاني

الأستاذ

ممتحنا

م.ع.أ.ت.سكيكدة

بونقجة بلال

الأستاذ

دفعة Promotion 2025

## إهداء

إلى من غرست في قلبي بذور الحنان، وسقتها بدموع السهر والدعاء، إلى من كانت الملاذ  
إذا ضاق الصدر، والنور إذا أظلمت الدروب... إلى من لا تكفيها الحروف، ولا توفيها  
الصفحات...

إليك يا أمي، يا جنّتي في الأرض، يا أنقى نعمة وهبني الله إياها... لكِ روحي، وعمري،  
وهذا العمل وكل ما سيأتي بعده.

وإلى رجلي الأول، إلى من كان حضوره أماناً، وصمته حكمة، إلى ذلك القلب العظيم الذي  
أودع فيّ القوة، وربّي فيّ العزيمة...

إليك أبي، يا من كنتَ سندي في كل خطوة، ما بين يديك تربّي حلبي، وعلى كتفك  
ارتكز أجلي، دمتَ نخرًا لا تنطفئ هيبته في قلبي . إلى نبض آخر من قلبي... إلى رفيقة الروح  
والسرّ،

إلى أختي نور الهدى، التي كانت الحزن الدافئ في لحظات الانكسار، وصوت الفرح الذي  
يسبقني دائماً... ول غيث إيان، ملائكا الصغير، الذي يكبر في قلبي كل يوم... ابتسامته  
وطن، ووجوده معنى جديد للحياة. إلى أخويّ العزيزين، أحمد وأنيس، أنتم الصمت الحنون،  
والدعم الذي لا يُطلب... وجودكما في حياتي أمان، فشكراً لأنكما دائماً الحصن والمرفأ.  
إلى رفيقات العمر والذاكرة، إلى من تقاسمن معي الدقائق والدموع والضحكات، عبور،  
شيماء، لينة، الأيات ، كنتنّ الضوء في عتمة الغربة، والحب في قلب الزحام... في  
حضوركن تزهو الأيام، وفي غيابكن يبقى الأثر طيباً لا يُنسى.

وإلى أول الحكاية، وأوفى القلوب... إلى صديقة الطفولة سارة، صوتك ظلّ معي كلما  
ابتعدت الحياة، وذكرياتنا جبل شدّني حين كنت على وشك السقوط... دمت لي كما كنتِ  
دوماً، وطناً صغيراً بحجم القلب إليكم جميعاً، أهدي هذا العمل المتواضع، فكلّ حرف فيه  
كُتب بفضل الله، ثم بفضلكم، أنتم الحكاية، وأنتم الختام الجميل.

بن باحة نهى

## إهداء

لحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تحققت الأمنيات، الحمد لله الذي سخر الأسباب، وذل الصعاب، ووهبني من لطفه وفضله ما عجز عنه جهدي وقصرت دونه قدرتي، الحمد لله الذي جبر ضعفي وأجاب دعائي وكتب لي هذا التوفيق بكرمه وجوده، له الحمد ملء السماوات والأرض وما بينهما، عدد ما كان وما سيكون.

إلى من سلم أمره لله، فكان صبره يقيناً، ورضاه إيماناً، وجعل من العزيمة جسراً يعبر به الصعاب، ومن الإرادة نوراً بيدد العثرات... إلى القلب الكبير الذي جاد بالعطاء بلا حدود، وسهر الليالي ليغرس فينا بذور الراحة والسعادة... إلى أبي العزيز، الغالي الذي ختم اسمي به ليظل شرفاً يرافقني ما حييت، ومصدر نخري وأول من تُهدى إليه ثمرة هذا النجاح.

إلى من كانت الحضن الأول والدعاء الدائم، إلى من نسجت روحي بخنائها، وسهرت الليالي من أجلي، تسمع عني التعب وترزع في قلبي الأمل... إلى أمي الحبيبة، الطاهرة الصافية، التي أحببت الجميع وزرعت الخير أينما حلت، معلتي الأولى في الحياة، وملهمتي في كل خطوة... إليك أهدي ثمرة هذا النجاح، فهو امتداد لعطائك الذي لا ينضب.

وإلى جدي العزيز "مصطفى"، التابع الحكيم الذي نهلت منه الكثير من القيم والمبادئ... أطال الله في عمرك وأدام عليك الصحة والعافية. وإلى جدي "محمد" وجدتي "فاطمة" وجدتي "خديجة" الذين سبقونا إلى رحمة الله، أبعث لكم محبتي ودعائي، فذكراكم الطيب لا يفارق قلبي، وأثر دعواتكم لا يغيب عن حياتي.

وإلى أخي الغالي "محمد شهاب"، الروح الصغيرة التي مرّت كنسمة هادئة ثم رحلت سريعاً، لم تمتك الحياة عمراً طويلاً، لكنك منحتني حباً لا يفنى، ولك في دعائي نصيب لا ينقطع... رحمك الله وجمعني بك في جناته.

إلى من لم تكن يوماً مجرد قريبة، بل الأخت التي وهبتها لي الحياة، والروح التي تشبهني في كل شيء... إلى بنت خالتي الحبيبة "مروة"، رفيقة لحظاتي الجميلة، وملجئي في كل حزن، التي لا تكتمل سعادتي إلا بوجودها... ستبقى دائماً الأقرب، ولك في كل نجاحي نصيب.

وإلى خوالي وخالاتي وعماتي جميعاً، الذين كانوا دائماً لي العائلة الساندة والمشجعة، وأحاطوني بدفء الحب والاهتمام، كنتم ولا زلت طوق أمان يحيطني بمحبتكم وصدقكم، أنتم امتداد حنان الأسرة وجمالها.

وإلى أبناء وبنات خالاتي وخوالي وعمتي، كل باسمه محفور في قلبي وذكريتي، أنتم فرح طفولتي، ودفء أيامي، ورفاق دربي الذين تقاسمت معهم لحظات لا تُنسى من الفرح والبساطة والصدق، كنتم وما زلت النبض الجميل الذي يرافقني في كل محطة من حياتي، وبكم اكتملت صورة العائلة في أجمل معانيها... لكم مني دعاء صادق ومحبة خالدة لا تنتهي.

وإلى صديقات الطفولة، نبع البراءة وأجمل البدايات، وإلى من جمعتني بهن مقاعد الدراسة، رفيقات السعي والطموح، لكل منكن مكانة خاصة في قلبي لا يغيرها زمان.

وإلى أساتذتي وكل من علمني حرفاً، علمتموني ان طريق العلم نور لا ينطفئ، جزاكم الله عني خير الجزاء وبارك في علمكم وعطائكم. إلى كل هؤلاء... أهدي ثمرة هذا الطريق الطويل الذي مضى بين العناء والأمل، ما كان ليتحقق لولا عون الله أولاً، وبركة دعائكم وحجكم، وصبر نفسي التي قاومت كل عثرة وتوكلت عليه في كل خطوة. وما هذا الإنجاز إلا نعمة من رحمته وكرمه، ثم ثمرة قلوبكم الصادقة التي منحتني القوة... لكم مني كل الشكر والامتنان، ولفضلكم أثر لا يُنسى.

شوية إيناس

## شكر و عرفان

بعد أن من الله علينا بإنجاز هذا العمل المتواضع فإننا نتوجه إلى سبحانه وتعالى أولاً وآخرأ بالشكر والحمد على فضله وكرمه الذي منحنا به فوقنا إلى ما نحن عليه راجين منه دوام نعمه وكرمه. وأرفع الصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين محمد صلوات ربي وسلامه عليه. "من لا يشكر الناس لا يشكر الله"، فإننا نتقدم بالشكر والتقدير والعرفان للأستاذ المشرف الدكتور فيصل محمد على إشرافه على هذه المذكرة وعلى الجهد الكبير الذي بذله معنا، وعلى نصائحه القيمة التي مهدت لنا الطريق لإتمام هذه الدراسة، فله منا فائق الحب والتقدير والاحترام. نخص بالشكر أيضاً لجنة المناقشة الذين سنتلقى شرف مناقشتهم لمذكرة تخرجنا: الدكتور بوبكري هاني، الدكتور بونقجة بلال. كما نتوجه في هذا المقام بالشكر الخاص لجميع أساتذة قسم الفيزياء الذين رافقونا طيلة مشوارنا الدراسي بالمدرسة العليا للأساتذة بسكيكدة- الذين قدموا يد العون لنا، كل التبجيل والتقدير لكم. كما نود بالشكر أيضاً لمدير المدرسة الأستاذ بوجعدار جمال الذي حرص دوماً على أن يضع مصلحة الطالب فوق كل اعتبار. وفي الختام، نشكر كل من ساعدنا وساهم في إتمام هذا العمل سواء من قريب أو بعيد، حتى ولو بكلمة طيبة أو ابتسامة عطرة.

# المحتويات

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

مقدمة عامة

1

3

1 عموميات حول الأشعة السينية

3

1.1 الإشعاع الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Radiation) . . . . .

4

1.1.1 التردد: (Frequency) . . . . .

4

1.1.2 الطول الموجي: (Wavelength) . . . . .

5

1.1.3 سرعة انتشار الموجة: . . . . .

6

1.2 الأشعة السينية . . . . .

6

1.2.1 خواص الأشعة السينية واكتشافها . . . . .

7

1.3 مصادر الأشعة السينية . . . . .

7

1.3.1 إنتاج الأشعة السينية (أنبوبة كولدج) . . . . .

8

1.4 طريقة العمل لأنبوبة إنتاج الأشعة السينية . . . . .

9

1.5 آلية انبعاث الأشعة السينية من المادة . . . . .

9

1.5.1 الطيف المستمر وبعض خصائصه Continuous Spectrum . . . . .

9

1.5.2 قانون دوان وهانت Law Hunt's and Duane . . . . .

12

1.6 الطاقة المشعة والاستطاعة المشعة لأنبوبة الأشعة السينية . . . . .

12

1.6.1 الطاقة المشعة . . . . .

12

1.6.2 الاستطاعة المشعة . . . . .

13

1.6.3 مردود أنبوبة الأشعة السينية . . . . .

14

1.7 تسمية الخطوط المميزة - Lines Characteristic the of Naming . . . . .

16

1.8 قانون موزلي وتردد بعض الخطوط المميزة  $K_\alpha$  و  $K_\beta$  . . . . .

17

1.8.1 تردد وطاقة الخطين  $K_\beta, K_\gamma$  ( $\sigma = 1$ ) . . . . .

17	1.8.1.1	التردد
18	1.8.1.2	الطاقة
18	1.8.2	تردد وطاقة الخطين $L_{\alpha}$ و $L_{\beta}$ ( $\sigma=4.7$ )
19	1.9	دراسة البلورات بالأشعة السينية (X-ray crystallography (XRC)
20	1.10	قوانين التوهين تخامد الأشعة السينية The laws of X-rays and rays attenuation
20	1.10.1	التخامد في الوسط المادي medium material in Attenuation
22	1.10.2	سمك النصف The half-thickness
23	1.10.3	التخامد في الخلاء
25	2	تطبيقات الأشعة السينية
25	2.1	التطبيقات العلمية للأشعة السينية
25	2.1.1	انظمة التحليل بالأشعة السينية
25	2.1.2	ميكروسكوب الأشعة السينية
26	2.1.3	تحليل طيفي متخصص للأشعة السينية
27	2.2	التطبيقات الطبية للأشعة السينية
27	2.2.1	التصوير الشعاعي (Radiography)
29	2.2.2	التصوير المقطعي المحوسب Scan CT
30	2.2.3	التصوير بالفلوروسكوبي Fluoroscopy
31	2.3	تطبيقات الأشعة السينية في مجال الصناعة
32	2.3.1	الفحص غير الإتلافي (NDT) لاكتشاف العيوب
32	2.3.2	تحليل التركيب الكيميائي والبنية البلورية
32	2.3.3	قياس السماكة والكثافة
33	2.3.4	ضمان سلامة الأغذية والأدوية
34	2.3.5	فحص الإلكترونيات والهياكل الدقيقة
34	2.3.6	التصنيع الإضافي (الطباعة ثلاثية الأبعاد)
34	2.3.7	قطاع الطاقة والصناعات الثقيلة
34	2.3.8	المراقبة الزمنية الحقيقية في خطوط الإنتاج
34	2.3.9	التطبيقات المتقدمة في البحث والتطوير
34	2.4	تطبيقات الأشعة السينية في مجال الأمن
35	2.4.1	فحص الأمتعة والطُراد داخل المباني الحكومية
35	2.4.2	التفتيش الأمني للأفراد في المنشآت الحساسة
35	2.4.3	فحص المركبات الداخلة إلى المواقع الحكومية
35	2.4.4	الكشف عن الأجهزة الإلكترونية المشبوهة

35	مراقبة البنى التحتية الحيوية	2.4.5
36	التحليل الجنائي للأدلة المادية	2.4.6
36	فحص الجدران والأسقف للكشف عن التلاعب الهيكلي	2.4.7
36	تأمين المناسبات الحكومية	2.4.8
36	الكشف عن المخدرات في الشحنات والأمتعة	2.4.9
36	تطبيقات الأشعة السينية في مجال الفلك	2.5
36	دراسة الأجرام السماوية عالية الطاقة (مثل الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية)	2.5.1
37	تحليل بقايا المستعرات العظمى (الانفجارات النجمية)	2.5.2
37	دراسة تجمعات المجرات والغاز الكوني	2.5.3
38	رصد النوى المجرية النشطة (مراكز المجرات النشطة)	2.5.4
38	فهم فيزياء الشمس والانفجارات الشمسية	2.5.5
38	اكتشاف الكويكبات والمذنبات	2.5.6
38	دراسة الكواكب خارج المجموعة الشمسية	2.5.7
38	الخلفية الكونية للأشعة السينية (الإشعاع الخافت المنتشر في الكون)	2.5.8
40	التفاعلات الفيزيائية للأشعة السينية مع المادة ودراسة تجريبية لإمتصاص الألمنيوم	3
40	آليات إمتصاص الأشعة السينية	3.1
40	الامتصاص عبر التأثير الكهروضوئي photoelectric Effect	3.1.1
41	تأثير كومبتون Compton scattering	3.1.2
41	إنتاج الأزواج إلكترون-بوزيترون Production Pair	3.1.3
41	العوامل المؤثرة على الامتصاص	3.1.4
42	تأثير الأشعة السينية على المواد	3.2
42	التغيرات البنيوية والذرية	3.2.1
43	التأثيرات الحرارية والكهربائية	3.2.2
44	التأثيرات البيولوجية	3.2.3
45	القياسات والجرعات الإشعاعية	3.3
45	مفاهيم الجرعة الإشعاعية	3.3.1
46	أجهزة قياس الإشعاع	3.3.2
49	حدود التعرض للإشعاع حسب المعايير الدولية	3.3.3
51	قياس تجريبي لمعامل امتصاص الألمنيوم لأشعة سينية ذات طاقات مختلفة	3.4
51	الأجهزة والمعدات المستعملة	3.5
51	جهاز الأشعة السينية	3.5.1
52	مطياف الأشعة السينية	3.5.2

52	3.5.3	مادة ماصة متعددة السمك (شرايح من الألمنيوم)
59	3.6	الوقاية من الإشعاع
59	3.6.1	مبادئ الحماية من الأشعة السينية
60	3.6.2	المواد المستعملة في الحماية من الأشعة السينية
61	3.6.3	تدابير السلامة في المجالات الطبية والصناعية

## جدول الإختصارات

## المصادر

## قائمة الأشكال

- 1.1 شكل يوضح الإشعاع الكهرومغناطيسي. . . . . 4
- 1.2 تركيب أنبوبة كولدج لإنتاج الأشعة السينية. . . . . 7
- 1.3 إنتاج الطيف المستمر بترددات مختلفة تبعا لتغير طاقة الإلكترون الحركية. . . . . 10
- 1.4 إنتاج الطيف المستمر من مادة هدف معدن من اجل قيم مختلفة للجهد المسرع لإلكترونات. . . . . 11
- 1.5 آلية خروج إلكترون من المدار  $K$  و  $L$  ليحل محله إلكترون من المدار  $M$  و  $L$  على الترتيب ليشتغل مكان الفراغ الذي تركه، مما ينتج إصدار الأشعة السينية نتيجة لفرق الطاقة بين المستويين. . . . . 14
- 1.6 تسمية الخطوط الطيفية المميزة لأشعة السينية. . . . . 15
- 1.7 طيف الأشعة السينية المستمر من التنغستين ( $W$ ) والليف المميز للموليبديوم  $Mo_{42}$  الذي تم الحصول عليه عند جهد مسرع  $35\text{ KV}$  . 35 KV . 405 . From CLAYTON T. ULREY, Physical Review 11, 405 (1918) . . . . . 15
- 1.8 مخطط موزي لخطوط  $K_{\alpha}$  و  $K_{\beta}$  بدلالة العدد الذري لبعض العناصر. . . . . 17
- 1.9 الطبقات الذرية وشرط التداخل البناء لأشعة عند اصطدامها بالبلورة. . . . . 20
- 1.10 رسم تخطيطي للتصوير الشعاعي لأشعة السينية: (a) التخماد من خلال وسط متجانس و (b) جمع التوهين من خلال وسط غير متجانس. . . . . 22
- 1.11 تناقص شدة الإشعاع بدلالة السمك. . . . . 23
- 2.1 جهاز التصوير الشعاعي Radiography . . . . . 27
- 2.2 صورة مقطعية ثنائية الأبعاد بجهاز scan CT . . . . . 30
- 2.3 جهاز التصوير الفلوروسكوبي Fluoroscopy . . . . . 31
- 2.4 جهاز تحليل خام المعادن بالأشعة السينية. . . . . 32
- 2.5 فحص لحامات انابيب النفط. . . . . 33
- 2.6 نظام فحص الأغذية بالأشعة السينية. . . . . 33
- 2.7 فحص الحقائق بالأشعة السينية. . . . . 35
- 2.8 دراسة الثقب الأسود بواسطة تلسكوب تشاندرا للأشعة السينية. . . . . 37
- 3.1 مقياس الأشعة السينية (البنية الخارجية). . . . . 51

52	مقياس الأشعة السينية (البنية الداخلية).	3.2
52	مطياف الأشعة السينية.	3.3
53	شراخ الألمنيوم بسلك مختلف.	3.4
55	منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند طاقات مختلفة.	3.5
56	منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند الطاقة 10 Kev.	3.6
57	منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند الطاقة 30 Kev.	3.7

## قائمة الجداول

- 1.1 جدول 1: بعض قيم معامل التخميد الخطي (وحدته:  $\text{cm}^{-1}$ ) ل الهواء، الماء، الخشب، النحاس بدلالة طاقة الإشعاع السيني عند قيم كثافة لهذه المواد على الترتيب: 8.6 , 2.2 , 0.5 , 1, 0.0013  $\text{g/cm}^3$  21
- 3.1 عدد النبضات عند كل سمك لطاقات مختلفة . . . . . 54
- 3.2 معدل العد عند كل سمك لطاقات مختلفة . . . . . 54
- 3.3 النفاذية النسبية لكل سمك عند طاقات مختلفة. . . . . 55
- 3.4 معامل الإمتصاص لكل طاقة . . . . . 58

## مقدمة عامة

شهدت نهاية القرن التاسع عشر اكتشافاً ثورياً تمثل في الأشعة السينية (X-rays) على يد الفيزيائي الألماني فيلهلم رونتغن عام 1895، وهو الإنجاز الذي نال عنه جائزة نوبل في الفيزياء بعد ست سنوات. تعتبر هذه الأشعة شكلاً من الإشعاع الكهرومغناطيسي عالي الطاقة (0.01-10 نانومتر) يتميز بقدرة فائقة على اختراق الأجسام، حيث تعتمد آلية عملها على التباين في امتصاص الأنسجة المختلفة، مما يجعلها أداة لا غنى عنها في التشخيص الطبي للكسور والأورام، وكذلك في الفحوصات الصناعية للكشف عن العيوب الهيكلية. ومع ذلك، يحمل التعرض غير المضبوط للأشعة مخاطر صحية جسيمة تتراوح بين الحروق الجلدية والطفرات الجينية وصولاً إلى زيادة احتمالية الإصابة بالسرطان، كما حدث لمكتشفها نفسه.

لذلك تفرض المعايير الدولية حدوداً صارمة للجرعات الإشعاعية، حيث لا يجب أن تتجاوز 50 ملي سيفرت سنوياً للعاملين في المجال و1 ملي سيفرت فقط للأفراد العاديين، مع ضرورة تطبيق إجراءات الوقاية مثل تقليل زمن التعرض واستخدام الدروع الواقية. وهكذا تظل الأشعة السينية نموذجاً لاكتشاف العلمي الذي يجمع بين الفوائد الجمّة والمخاطر المحتملة، مما يستدعي توازناً دقيقاً بين الاستفادة من تطبيقاتها وضمان السلامة من أضرارها. هذا ما أدى بنا إلى طرح موضوع هذه المذكرة المتواضعة والمختصرة تحت عنوان "الأشعة السينية وتطبيقاتها في مختلف المجالات وطرق الوقاية منها". وقد قسمنا بحثنا إلى ثلاثة فصول:

**الفصل الأول:** تقديم نظرة شاملة حول الأساسيات الفيزيائية للأشعة السينية، من خلال التطرق إلى طبيعتها، وطرق إنتاجها، وخصائصها الفيزيائية، إضافة إلى أنواعها المختلفة.

**الفصل الثاني:** فقد تناولنا تطبيقات الأشعة السينية في مختلف المجالات كالباحث العلمي والأمن واستعمالها المهم في الطب.

**الفصل الثالث:** يتناول الفصل آليات امتصاص الأشعة السينية وتأثيرها على المواد، إلى جانب مفاهيم القياسات والجرعات الإشعاعية. يشمل أيضاً مبادئ الوقاية من الإشعاع، ويختتم بقياس تجريبي لمعامل امتصاص الألمنيوم لأشعة سينية مختلفة الطاقة.



# الفصل الأول

عموميات حول الأشعة السينية



# الفصل 1

## عموميات حول الأشعة السينية

### تمهيد

تعتبر طبيعة الطاقة التي تشعها المواد إحدى المسائل التي اهتم بها العلماء لوقت غير قصير لتفسيرها علمياً، وقد تقبل العلماء في القرن الثامن عشر النظرية التي تبناها نيوتن (Newton) في تفسير الضوء، حيث اعتبر أن الضوء المرئي مكوناً من جسيمات دقيقة متناهية في الصغر.

في مطلع القرن التاسع عشر، نشر العالم توماس يونغ (Thomas Young) بعض النتائج العلمية التي ترحح كفة النظرية الموجية للضوء. وظل الجدل على هذا الحال إلى قرب نهاية القرن التاسع عشر، حين اكتشف العالم رونتجن (Roentgen) نوعاً مجهولاً من الأشعة أسماه الأشعة السينية (X-Ray) التي تعني الأشعة المجهولة.

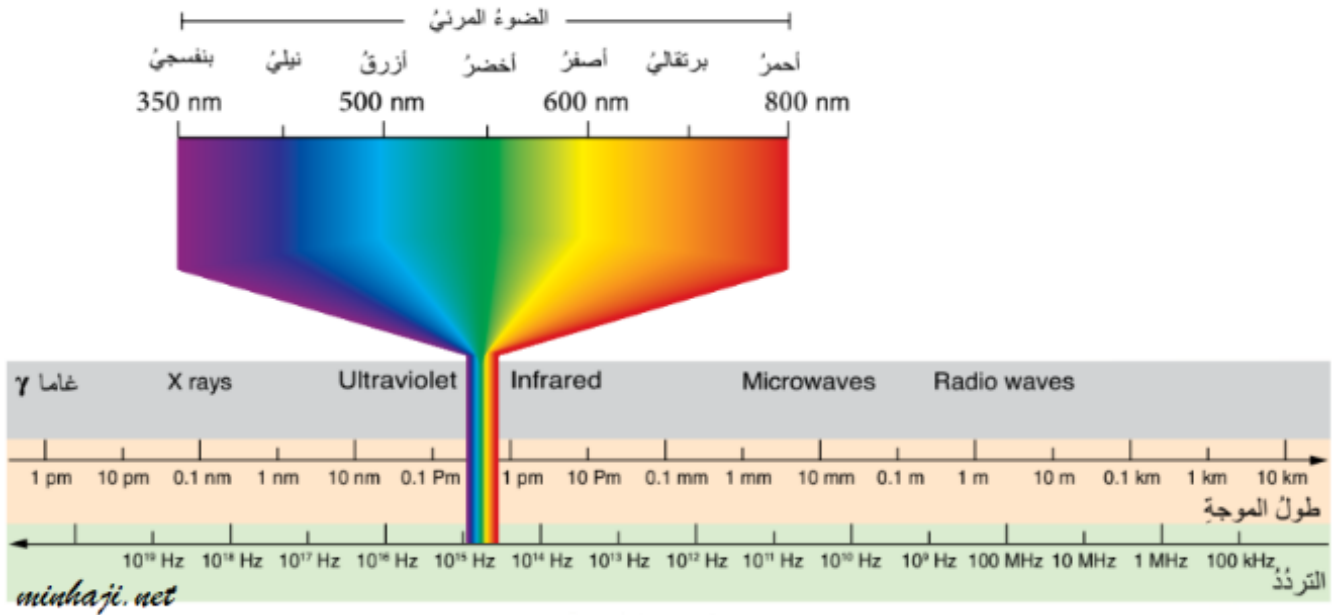
ثم اكتشف العالم بيكريل (Becquerel) ظاهرة النشاط الإشعاعي للمواد (Radioactivity). بعد ذلك، اكتشف العالم طومسون (Thompson) الإلكترون (Electron). بعد هذه الاكتشافات المهمة، اتضح جلياً قصور وفشل النظرية الموجية في تفسير بعض النتائج العملية والعديد من الظواهر العلمية الخاصة بالضوء والإشعاع، وعلى رأسها ظاهرة إشعاع الجسم الأسود (Black Body Radiation).

لذلك أصبحت الحاجة ملحة وضرورية إلى نظرية بديلة يمكن بواسطتها تفسير ما عجزت عن تفسيره النظرية الدقاتية لنيوتن والنظرية الموجية لتوماس يونغ.

### 1.1 الإشعاع الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Radiation)

الإشعاع الكهرومغناطيسي هو أحد صور الطاقة ويتميز بأن له طبيعة موجية وينتقل في الفراغ بسرعة هائلة. يختلف عن بعض الظواهر الموجية الأخرى مثل الصوت في أنه لا يحتاج إلى وسط مادي (كالهواء والماء) لانتقاله، بل ينتقل بسهولة في الفراغ.

الشمس هي المصدر الرئيسي للإشعاع الكهرومغناطيسي، ويتألف من عدة أنواع من الأشعة كما هو موضح بالأشكال التالية:



شكل 1.1: شكل يوضح الإشعاع الكهرومغناطيسي.

### 1.1.1 التردد: (Frequency)

يرمز له بالرمز اللاتيني ( $\nu$  نيو)) وهو عبارة عن عدد الذبذبات أو الترددات في الثانية الواحدة؛ والتردد لا يعتمد على طبيعة الوسط الذي تنتقل فيه الموجة. ويقاس بوحدات الزمن كالساعة والدقيقة والثانية ( $Sec^{-1}$ ) أو الهرتز ( $Hz$ ).

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ Sec}^{-1}$$

$$1 \text{ kiloHz} = 1000 \text{ Hz} = 10^3 \text{ Hz}; \quad 1 \text{ megaHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

### 1.1.2 الطول الموجي: (Wavelength)

ويرمز له بالرمز اللاتيني ( $\lambda$  لامبدا) وهو عبارة عن المسافة الطولية بين نهايتين متماثلتين لموجتين متطابقتين. ويقاس بوحدات الطول كالتر والسنتيمتر والميليمتر وأجزائه الأصغر.

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dcm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ \AA}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}; \quad 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}; \quad 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}; \quad 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}; \quad 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

### 1.1.3 سرعة انتشار الموجة :

ويرمز لها بالرمز (C) وسرعة انتشار الموجة تعتمد على الوسط الذي تنتقل فيه الموجة وتعتبر من المقادير الثابتة، وتساوي  $3 \times 10^8$  m/Sec بوحدة المتر، وتساوي  $3 \times 10^{10}$  cm/Sec بوحدة السنتيمتر. وترتبط هذه المقادير الثلاثة بالعلاقة التالية:

$$C = \lambda \cdot \nu$$

أما طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي (E) فتساوي:

$$E = h \cdot \nu; \quad E = h \cdot \frac{C}{\lambda}$$

حيث أن  $h$  هو ثابت بلانك ويساوي:

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{Sec} = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ ev} \cdot \text{Sec}$$

ويتضمن طيف الأشعة الكهرومغناطيسية (المنبعث من الشمس التي تعتبر المصدر الرئيسي والطبيعي للأشعة الكهرومغناطيسية) على مدى واسع من الأطوال الموجية من  $10^{-12}$  cm إلى  $10^9$  cm. وفيما يلي المناطق الطيفية المختلفة المكونة للإشعاع الكهرومغناطيسي:

1. أشعة كاما ( $\gamma$ ):

$$0.01 \text{ nm} >$$

وهي نوع من الأشعة الضارة للخلايا الحية لجسم الإنسان والحيوان وتستخدم في عدة مجالات مثل علاج الأمراض السرطانية بالتشعيع وتحسين بعض أنواع البذور بواسطة تشعيعها بهذا النوع من الأشعة.

2. الأشعة السينية (X-Rays):

$$10 \text{ nm} - 0.01 \text{ nm}$$

وهي أيضاً من الأشعة الضارة للإنسان مع أنها تستخدم في المجال الطبي للكشف عن العظام المكسورة.

3. الأشعة فوق البنفسجية :

$$400 \text{ nm} - 10 \text{ nm}$$

وهي من الأشعة التي تضر خلايا جسم الإنسان إلا أنها مصدر طبقة الأوزون في الطبقات العليا من الجو كما أنها تستخدم في الأجهزة المخبرية لقياس تركيز وتشخيص المركبات الكيميائية المختلفة كما تستخدم في تعقيم الأدوات الطبية في العيادات وعيادات طب الإنسان وكذلك في تعقيم المياه.

4. الأشعة المرئية :

$$700 \text{ nm} - 400 \text{ nm}$$

وهي أشعة مهمة جداً للإنسان فبواسطتها تستطيع عين الإنسان رؤية الأشياء وتتألف من عدة ألوان تعرف بطيف الأشعة المرئية (الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، البنفسجي).

5. الأشعة تحت الحمراء:

$$10^6 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$$

تستخدم في الأجهزة المختبرية لتشخيص المركبات الكيميائية العضوية المختلفة.

6. الموجات الراديوية :

$$10^9 \text{ nm} - 10^6 \text{ nm}$$

وهي مستخدمة في البث الخاص لقنوات أجهزة التلفاز والراديو وتتألف من عدة أنواع:

(أ) الموجات الراديوية القصيرة.

(ب) الموجات الراديوية العريضة.

(ج) الموجات الراديوية الطويلة.

(د) الموجات الراديوية المتوسطة.

## 1.2 الأشعة السينية

### 1.2.1 خواص الأشعة السينية واكتشافها

الأشعة السينية جزءاً من الأشعة الكهرومغناطيسية غير المرئية، تقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما ذات الطول الموجي القصير الذي يتراوح بين  $10^{-3} \text{ nm}$  إلى  $10 \text{ nm}$ .

اكتشفت عام 1895 بواسطة الفيزيائي الألماني رونجن (Roentgen) (1845 – 1923) أثناء تجاربه لدراسة الخواص الكهربائية لأشعة الكاثود مستخدماً جهازاً مشابهاً لجهاز ج. ج. طومسون. قد صادف أن كان بجوار أنبوبة أشعة الكاثود لوح مطلي بمادة فلورية (متألقة) خضراء، وهي إسانيد الباريوم، فلاحظ أن اللوح قد توهج. فظن أنها أشعة فوق بنفسجية انبعثت من الأنبوبة، ولذلك غطى أنبوبة أشعة الكاثود بورق كرتون، لكنه وجد أن اللوح لا يزال يتوهج بنفس الضوء الأخضر. فأدرك أنه إشعاع من نوع جديد لا تعرف طبيعته، ولذلك سماه أشعة X (أشعة مجهولة).  
قد درست بعض خواص تلك الأشعة، وأهمها:

• أطوالها الموجية في حدود  $1 \text{ \AA} - 0.01$  وبالتالي فهي ذات تردد عالٍ.

• لا تتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية.

• لها القدرة على اختراق المواد حسب كثافة هذه المواد.

• تؤثر على الألواح الفوتوغرافية حتى المعزولة بالورق.

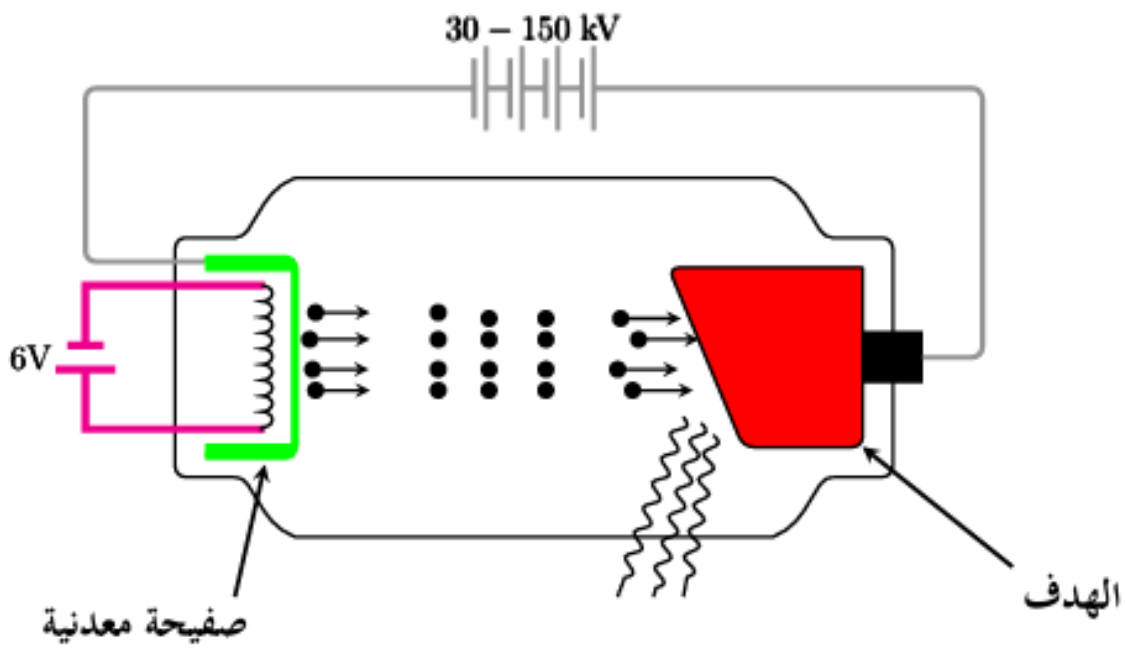
• تسبب فلورة بعض الأجسام (إسانيد الباريوم البلاتيني).

### 1.3 مصادر الأشعة السينية

مصادر الأشعة منذ إكتشافها الى يومنا هذا في مجموعتين رئيسيتين هما : مصادر طبيعية تتمثل في النجوم ، و مصادر صناعية مثل انابيب انتاج الأشعة السينية والتي تتكون من ثلاث مكونات اساسية باعث إلكتروني مصنوع من المعدن ،وسيلة تسريع لتسريع هذه الإلكترونات، وجسم صلب لإصطدام الإلكترونات المسرعة وإنتاج الأشعة.

#### 1.3.1 إنتاج الأشعة السينية (أنبوبة كولدج)

يوضح الشكل (1 . 2) المكونات الأساسية لأنبوبة كولدج لإنتاج الأشعة السينية:



شكل 1.2: تركيب أنبوبة كولدج لإنتاج الأشعة السينية.

الأداة (العنصر)	التركيب	الوظيفة
الأنبوبة الزجاجية	من البيركس يتميز بمعامل تمدد حراري عالي ومفرغة من الهواء يصل تفريغه إلى 10 mmHg	حتى لا تعيق حركة الإلكترونات، ولا تؤكسد الفتيلة وبالتالي لا تنقص من كفاءة سطحها، ومن ثم تنقص كثافة فيض الإلكترونات المنبعثة
الفتيلة لولبية حتى تضمن انتشار حراري سريع لنزع الإلكترونات	تسخن بإمرار تيار متصل بالكاثود تصنع من التنجستين أو مادة لها عدد شحني كبير أي غنية بالإلكترونات	تلعب دور مصدر الإلكترونات
المجال الكهربائي مولد توتر عالي يصل الجهد حتى 50kv		إعطاء الإلكترونات طاقة حركية لتسريعها والتحكم في الطول الموجي للطيف الأشعة
مادة الهدف أو المصعد	من عنصر عدده الذري كبير مثل التنجستين (W) أو الموليبدنيوم (Mo) أو النحاس (Cu)	العدد الذري الكبير يساعد في فقد طاقة الإلكترونات مما يؤدي إلى انبعاث أشعة X ذات طاقة عالية
التيار الكهربائي	مصدر تسخين الفتيلة	
عوارض التبريد داخل العنصر	أنابيب نحاسية لتبريد مادة الهدف المصعد بواسطة زيت أو ماء	التبريد
اسطوانة التركيز مشحونة سلبا	محاطة بالفتيلة	تجنب تشتت الإلكترونات على مادة الهدف من أجل رفع المردود

## 1.4 طريقة العمل لأنبوبة إنتاج الأشعة السينية

تنتج الأشعة السينية عندما تصطدم إلكترونات سريعة بسطح مادة صلبة تسمى مادة الهدف كما هو موضح في الشكل (1.3). والتي تتكون من أنبوبة زجاجية مفرغة تحتوي على كاثود (مهبط) يتضمن فتيلة تتمتع بدرجة انصهار عالية تترشح بمرور تيار كهربائي فتنبعث منها الإلكترونات متجهة إلى الأنود (الهدف) بسرعة حيث تسرع بوجود فرق جهد عالي بين المصعد والمهبط.

وعندما تصطدم الإلكترونات السريعة ذات الطاقة العالية بسطح مادة الهدف وعادة تكون من مادة درجة انصهارها عالية مثل التنجستين أو الموليبدنيوم فإن جزءاً كبيراً من طاقة هذه الإلكترونات يتحول إلى حرارة نتيجة تصادماتها مع ذرات مادة الهدف، ولذلك يجب تبريده باستمرار بدائرة فيها تيار ماء بارد أو زيت.

أما الجزء الآخر من طاقة الإلكترونات السريعة فهي التي تسبب في إنتاج الأشعة السينية وذلك بنقل طاقتها الحركية بطريقتين ينتج عنها نوعين من الأطياف.

• الطيف المستمر

• الطيف المميز (خطي).

## 1.5 آلية انبعاث الأشعة السينية من المادة

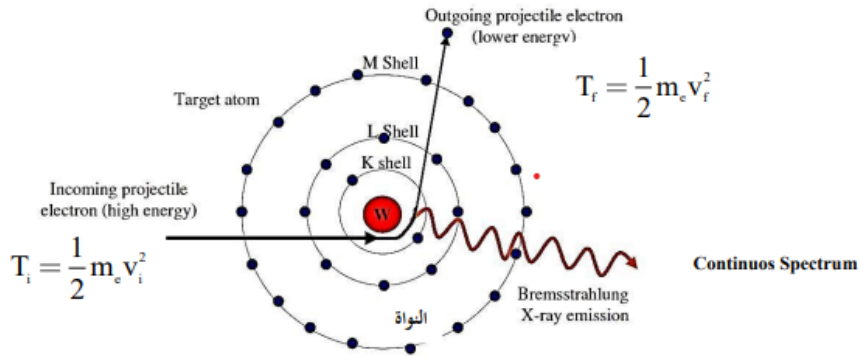
### 1.5.1 الطيف المستمر وبعض خصائصه Continuous Spectrum

تنتج الأشعة السينية المستمرة عندما يحدث تفاعل بين الإلكترونات المسرعة مع المجال الكهربائي الناتج حول أنوية ذرات مادة الهدف. فينتج عن ذلك انحراف مفاجئ لمسار الإلكترون نتيجة تجاذبه مع تلك الأنوية، وفقدان جزء من طاقته أو كلها بسبب عملية "الفرملة" (braking or slow down)، . حيث تنتشر الطاقة التي يفقدها الإلكترون في الفراغ على شكل موجات كهرومغناطيسية، وفقاً لنظرية ماكسويل العامة للإشعاع الكهرومغناطيسي. قد يتناقص تسارع الإلكترون الواحد أكثر من مرة على طول مساره في مادة الهدف. وكل تفاعل من هذا النوع قد ينتج عنه فقدان جزء من طاقة الإلكترون أو كلها. ومن ثم، فإن الفوتونات الناتجة قد تمتلك أي مقدار من الطاقة حتى قيمة عظمى تساوي الطاقة الأصلية للإلكترون المسرع، أي أن الأشعة السينية الناتجة تكون متصلة ومحصورة في مدى معين. ولذلك، سميت "الأشعة السينية المستمرة". كما يعتمد اتجاه انبعاث الفوتون على طاقة الإلكترون. وكلما زادت طاقة الإلكترون، يصبح اتجاه انبعاث الفوتون أقرب إلى اتجاه الإلكترون المسرع قبل التأثر بالمجال الكهربائي لبروتونات النواة.

### 1.5.2 قانون دوان وهانت Law Hunt's and Duane

بفرض أن أحد الإلكترونات الصادرة عن فتيل التسخين يمتلك طاقة حركية قدرها  $T_i$  تمكنه من الوصول إلى جوار النواة. عندما يقترب من النواة بشكل كافٍ، سوف ينحرف عن مساره فاقدًا جزءاً من طاقته بسبب فرملته من طرف قوى التجاذب الكولونية للنواة، وتصبح طاقته الحركية هي  $T_f$  كما هو موضح في الشكل (1.3).

النية نقصان تسارع حركته الإلكترونات نتيجة فرملتها وإنتاج الطيف المستمر



شكل 1.3: إنتاج الطيف المستمر بترددات مختلفة تبعاً لتغير طاقة الإلكترون الحركية.

إن طاقة الفوتونات الناتجة من الأشعة السينية المنبعثة هي الفرق في الطاقة الحركية للإلكترون الصادر من الفتل وبعد فرملته من قبل النواة وتكتب على الشكل:

$$(1-1) \quad h\nu = \Delta T = \frac{1}{2} m_e v_i^2 - \frac{1}{2} m_e v_f^2$$

ولذا إذا توقف الإلكترون تماماً بالداخل فإن الأشعة السينية المنتجة يكون لها أقصى تردد وبالتالي طول موجي أصغر ما يمكن:

$$(2-1) \quad h\nu_{\max} = |\Delta T| = \frac{1}{2} m_e v_i^2 - \frac{1}{2} m_e v_i^2 = eV$$

بمعنى أن أقصى طاقة للأشعة السينية المستمرة تساوي جداء شحنة الإلكترون في فرق الجهد الكهربائي بين الكاثود والأنود. بمعنى أن كل طاقة الإلكترون المنطلق من الفتل والمسرع من قبل فرق الجهد تتحول إلى فوتون عند توقف الإلكترون تماماً.

$$(3-1) \quad \epsilon_{\max} = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eV$$

حيث إن:

$$\bullet \quad h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \text{ وهي ثابت بلانك.}$$

$$\bullet \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \text{ سرعة الضوء.}$$

$$\bullet \quad V \text{ فرق الجهد للأشعة السينية المستمرة المنبعثة من الإلكترون.}$$

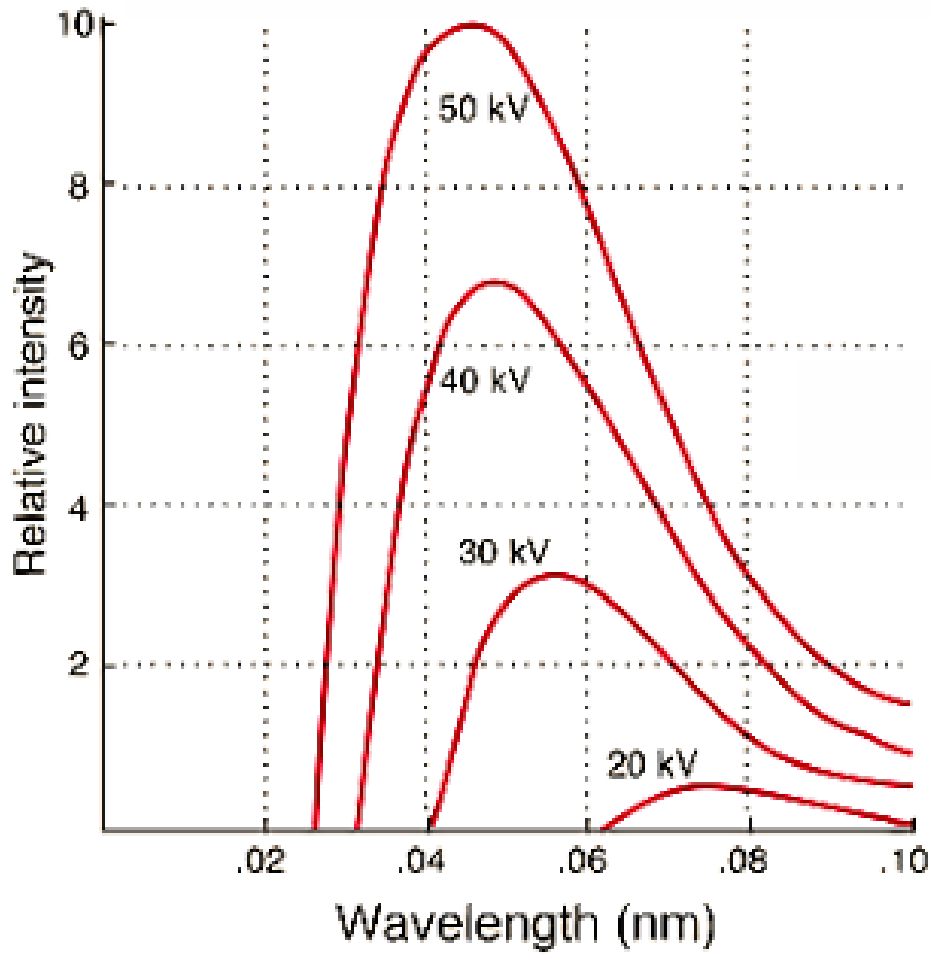
$$\bullet \quad e \text{ شحنة الإلكترون.}$$

$$\bullet \quad \lambda_{\min} \text{ أقل طول موجي للأشعة السينية المستمرة المنبعثة من الأنبوب.}$$

بتعويض هذه الثوابت نجد علاقة قانون دوران وداوت في شكلها المبسط:

$$(4-1) \quad \lambda_{\min}(\text{Å}) = \frac{hc}{eV} = \frac{12.4}{V(\text{keV})}$$

ويُوضح من العلاقة (4-1) أن طول موجة الأشعة السينية يتناسب عكسياً مع فرق الجهد بين الأنود والكاثود، ولا يعتمد على نوعية مادة الهدف المستخدم. ويتضح من المعادلة السابقة أنه بزيادة قيمة فرق الجهد  $V$  تقل قيمة  $\lambda_{\min}$  للطيف المستمر، ما يمكن مشاهدته عملياً عند تصادم إلكترونات مسرعة عند جهود مختلفة من سطح من التنغستن، حيث تقل قيمة  $\lambda_{\min}$  مع زيادة قيمة فرق الجهد المطبق.



شكل 1.4: إنتاج الطيف المستمر من مادة هدف معدن من أجل قيم مختلفة للجهد المسرع لإلكترونات.

## ملاحظات:

- الطيف المستمر للأشعة السينية مستقل عن طبيعة مادة المصعد (مادة الهدف)، فهو مرتبط أساساً بقيمة الجهد المسلح (لاحظ العلاقة (1-4))، ويستخدم هذا الطيف في المجال الطبي للتصوير والمعالجة الإشعاعية.
- يزداد إشعاع الطيف المستمر بزيادة العدد الذري  $Z$  حيث تكون كثافة الإشعاع أكبر في العناصر الثقيلة كالرصاص والتنتالوم من العناصر الخفيفة كالحديد والألمنيوم.
- يكون إشعاع الفرملة متعامد مع اتجاه حركة الإلكترونات من أجل الطاقات الضعيفة، ويكون موازي من أجل الطاقات المرتفعة.
- من أجل جهد مسرع محدد فإن الطول الموجي الأكثر احتمال (more probability) التدفق الصادر هو  $\lambda_m$  ويدعى بالطول الموجي الحامل الطاقى الأكبر من الفوتونات في وحدة الزمن أو يملك أكبر شدة إشعاعية. عليه يمكن تقريب العلاقة التالية:

$$\lambda_m = \frac{3}{2} \lambda_{\min}$$

## 1.6 الطاقة المشعة والاستطاعة المشعة لأنبوبة الأشعة السينية

tube X-rays for power radiant and energy Radiant

### 1.6.1 الطاقة المشعة

تتسبب الطاقة المشعة بالجول طرداً مع: زمن التشغيل للجهاز، العدد الذري  $Z$  لمادة المصعد، مربع الجهد المسلح  $V$  وعدد الإلكترونات الصادرة ووحدة الزمن  $I$  أو ما يعرف أيضاً بشدة التيار المصعدي، وذلك بإهمال الضياع الإشعاعي الناتج عن امتصاص زجاج الأنبوبة.

$$(5-1) \quad R(\text{joule}) = k \cdot I \cdot Z \cdot V^2 \cdot t$$

حيث  $k = 9 \times 10^{-10} SI$  ثابت مميز للأنبوبة.

### 1.6.2 الاستطاعة المشعة

الاستطاعة المشعة وحدتها الواط تعطى بالعلاقة:

$$(6-1) \quad \dot{R}(\text{watts}) = \frac{dR}{dt} = k \cdot I \cdot Z \cdot V^2$$

### 1.6.3 مردود أنبوبة الأشعة السينية

#### Tube Rays X of Returns

المردود بالتعريف هو حاصل قسمة الطاقة المشعة إلى الطاقة المستهلكة  $E$  ضمن أنبوبة الأشعة السينية، أو حاصل قسمة الاستطاعة المشعة إلى الاستطاعة الكهربائية المستهلكة  $\dot{P}$ ، وتكتب بالعلاقة التالية:

$$(7-2) \quad \eta = \frac{\dot{R}}{\dot{P}} = \frac{R}{E} = \frac{k \cdot I \cdot Z \cdot V^2 \cdot t}{R \cdot I^2 \cdot t} = k \cdot Z \cdot V = 9 \times 10^{-10} \cdot Z \cdot V$$

#### ملاحظة:

- كفاءة الأنبوبة تكون ككراج صغيرة جداً حوالي 2% لأن أغلب الطاقة الناتجة طاقة حرارية.
- مردود إنتاج الشعبة السينية يعتمد على العدد الذري لمادة الهدف وكذلك فرق الجهد الكهربائي بين المصعد والمهبط.
- هذا القيمة الصغيرة للمردود تؤدي إلى ارتفاع سريع في درجة حرارة مادة الهدف ولذلك يستعمل مصعد دوار للمحافظة على سلامة الجهاز.

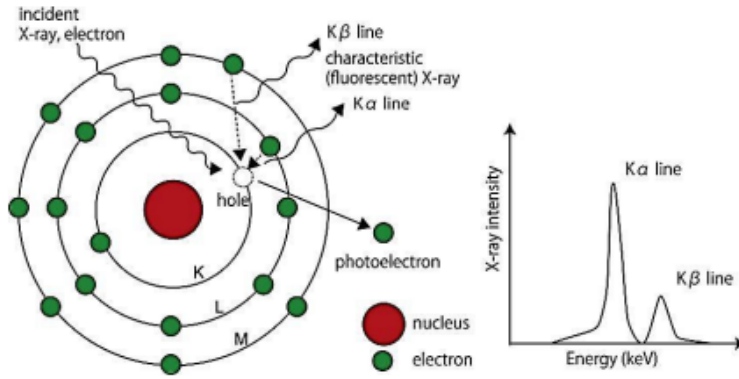
#### الطيف المميز أو طيف الخطوط

#### Characteristic spectrum

عندما يصبح الجهد العالي المطبق كافياً نلاحظ ظهور خطوط تتركب على الطيف المستمر مشكلة قمم، وهذه الخطوط تكون مميزة لذرات مادة المصعد كما هو موضح في الشكل (5-1). يمكن تفسير ذلك كما يلي: عندما تمر الإلكترونات المُسرَّعة مختربة المدارات الداخلية لذرة المصعد مثل L-M - K فإنها تفقد إلكترونات هذه المدارات الداخلية من مكانها. وذلك تبعاً لطاقتها الحركية المكتسبة بعد ذلك تصبح الذرة مثارة ولكي تعود إلى استقرارها السابق يحصل إعادة ترتيب إلكتروني، وذلك بملء الفراغ بالإلكترون يهبط من الطبقات الأعلى أو بواسطة إلكترون حر. وهذا ما يتسبب في انبعاث خط سيني مميز أحادي الطاقة ذو تردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$(8-1) \quad v = \frac{m(Z-1)^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n_f^2} + \frac{1}{n_i^2} \right)$$

من الملاحظ أننا استعانا بنظرية بور في كتابة عبارة تردد الإشعاع السيني المنبعث.



شكل 1.5: آلية خروج إلكترونات من المدار  $K$  و  $L$  ليحل محله إلكترونات من المدار  $L$  و  $M$  على الترتيب ليشتغل مكان الفراغ الذي تركه، مما ينتج إصدار الأشعة السينية نتيجة لفرق الطاقة بين المستويين.

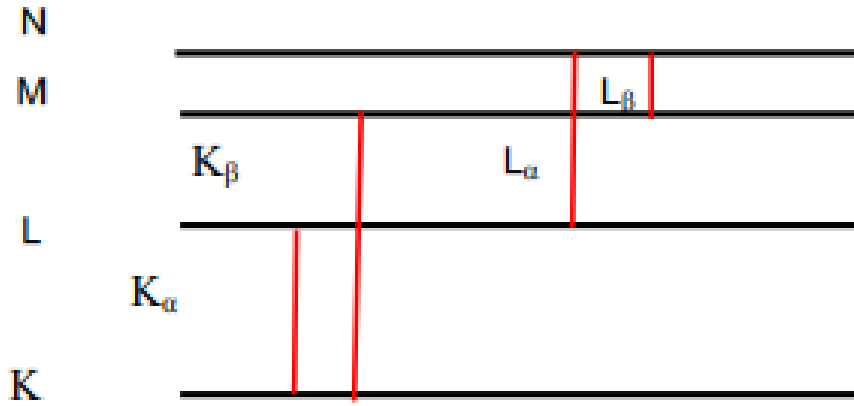
## 1.7 تسمية الخطوط المميزة - Naming the Characteristic Lines

نذكر بترميز الطبقات تبعاً للعدد الكمي الرئيسي  $n$  وهذا وفق نموذج الطبقات لبور:

...	4	3	2	1	$n$
...	N	M	L	K	ترميز الطبقة

في الحقيقة أن فرق الجهد في الأنبوبة يصل إلى 50kv أو أكثر بعملية حسابية بسيطة فإن طاقة الإلكترونات التي تصطدم مع المصعد (الأنود) تبلغها 50Kev فإن بعضها يستطيع أن يتنزع أحد الإلكترونات الموجود في المدار  $K$  ذو العدد الكمي الرئيسي  $n = 1$  وسيحل محل هذا الإلكترون إلكترون آخر من الطبقة  $L$ . وفقاً لهذا الانتقال ينبعث خط طيفي مميزاً لمادة الهدف طالما أن تردده مرتبط بالشحنة الفعلية المؤثرة على الإلكترون لاحظ العلاقة (8-1) يرمز لهذا الخط بالرمز  $K_{\alpha}$  شكل (6-1). أما إذا حل محله الإلكترون من المدار  $M$  فإن خط الطيف المميز الصادر يسمى  $K_{\beta}$ . إذا ملأ مكان هذا الإلكترون بإلكترون من المدارات الخارجية البعيدة فإن الخط الطيفي المتبعث يكون طوله الموجي أقل قليلاً من  $K_{\beta}$  يرمز له بالرمز  $K_{\gamma}$ .

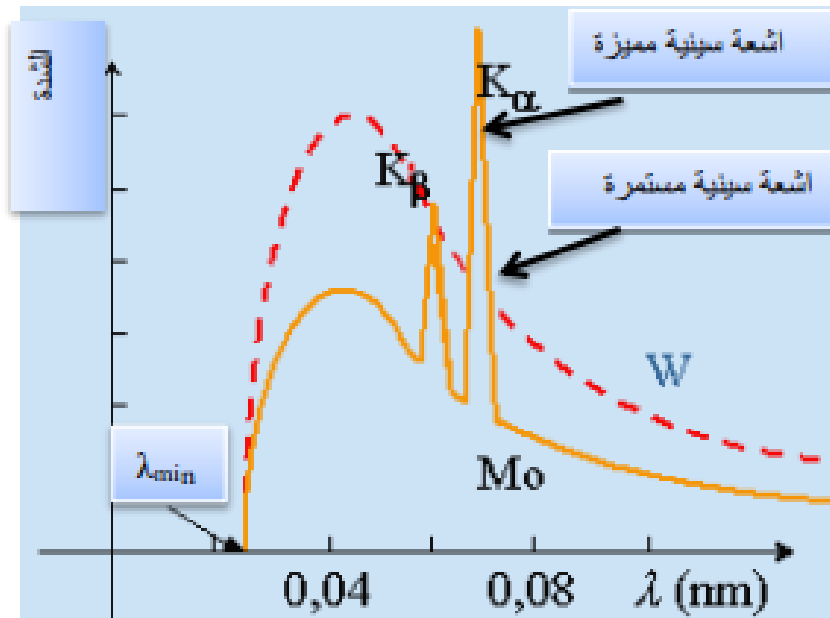
تسمى مجموعة الخطوط الطيفية  $K_{\alpha}, K_{\beta}, K_{\gamma}$  بالأشعة السينية القاسية (X-rays hard) ذات طاقة عالية وطول موجي قصير في حين أن المجموعة  $L_{\alpha}, L_{\beta}$  فإن طاقتها أقل وطولها الموجي أكبر مقارنة بخطوط المجموعة  $K$  وتسمى الأشعة السينية اللينة (X-rays soft) وهي التي تستخدم في التصوير الإشعاعي.



شكل 1.6: تسمية الخطوط الطيفية المميزة لأشعة السينية.

شكل (7-1) يوضح أطيف الأشعة السينية ممثلة بدلالة الطول وشدها المنتجة في ثبوت قيمة الجهد المسرع عند 35KV ويمثل طيف التنجستين طيفاً مستمراً للإشعاع الصادر من الأنبوبة الأشعة السينية، وأمکن كذلك الحصول على طيف الموليبيديوم تحت ظروف مشابهة، وبه خطين مميزين ومتراكبين على الطيف المستمر، ويعرفان بالخطين  $K_{\beta}$  و  $K_{\alpha}$  للموليبيديوم بطاقة في حدود 19.7keV ، 17.6keV ، للخط  $K_{\beta}$ ،  $K_{\alpha}$  على الترتيب.

وإذا أردنا الحصول على الخطين المميزين للتنجستين فإنه يتعين علينا رفع فرق الجهد إلى القيمة 70 KV. كذلك من المهم تحديد الظروف التجريبية لزيادة نسبة شدة الخط المميز إلى شدة الطيف المستمر حتى يكون الطيف المميز أكثر شدة. تستخدم هذه الخطوط المميزة في علم البلورات.



شكل 1.7: طيف الأشعة السينية المستمر من التنجستين (W) والطيف المميز للموليبيديوم  $Mo_{42}$  الذي تم الحصول عليه عند جهد مسرع 35 KV .

From CLAYTON T. ULREY, Physical Review 11, 405 (1918)

## ملاحظة

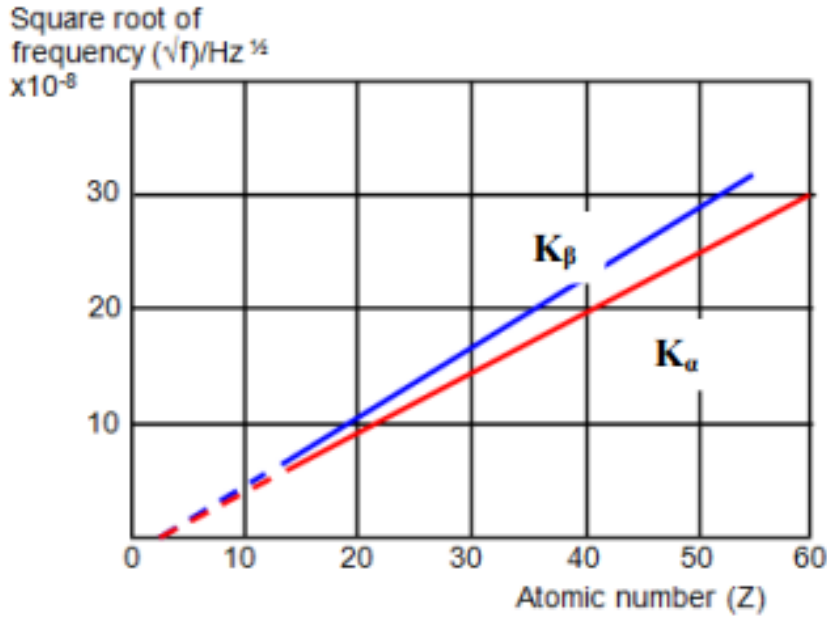
- من خلال الشكل يتبين أن الخط  $K_\beta$  أكبر طاقة من  $K_\alpha$  وعليه فإن تردد الخط  $K_\beta$  هو الأكبر.
- نحتاج إلى فرق جهد أعلى من أجل الحصول على طيف الخطوط المميزة لعنصري الكروم  $Cr_{24}$  والتنجستين  $W_{74}$ .
- لا يتغير الطول الموجي للخط المميز بتغير قيمة الجهد المطبق ما لم تغير مادة الهدف.
- قيمة الطول الموجي الأدنى  $\lambda_{\min}$  ثابتة بالنسبة لجميع العناصر بسبب ثبوت قيمة الجهد المسرع .
- انزياح خطوط الطيف المميزة جهة الأطوال الموجية القصيرة بزيادة العدد الذري لذرات مادة الهدف.

## 1.8 قانون موزلي وتردد بعض الخطوط المميزة $K_\alpha$ و $K_\beta$

في غضون بضعة أشهر وفي نفس العام الذي تم فيه إطلاق النموذج الذري الكوكبي لبور إلى العالم، استفاد الكيميائي الإنجليزي هاري موزلي من قوانين حيود الأشعة السينية المكتشفة حديثاً التي اكتشفها الإخوة براغ (أبناء بلده) أجرى دراسة على طيف الأشعة السينية لمجموعة متنوعة من العناصر المستعملة في صناعة الانود، وهو جهد توج بانتصار كبير للفيزياء الحديثة عندما كشف موزلي في عام 1913 عن قانون موزلي الشهير والذي يكتب كما يلي :

$$\sqrt{\nu} = A(Z - \sigma) \quad (9-1)$$

حيث  $Z$  هو العدد الذري للمادة المستهدفة، و  $A$  و  $\sigma$  عبارة عن ثوابت تعتمد على الانتقال الذي يتم ملاحظته، بينما على الجانب الأيسر لدينا الجذر التربيعي لتردد الأشعة السينية المنتجة مثل  $K_\beta$  أو  $K_\alpha$ .  
أظهر موزلي أن ترتيب العناصر وفقاً للعدد الذري  $Z$  الذي تم الحصول عليه من الرسم البياني لقانونه كما هو موضح في الشكل (8-1) وليس وفقاً لكثافتها الذرية (كما كان في أول المر عندما تم اعداده على يد مندليف) يتوافق تماماً مع الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمختلف العناصر.



شكل 1.8: مخطط موزلي لخطوط  $K_\beta$  و  $K_\alpha$  بدلالة العدد الذري لبعض العناصر.

بمساعدة نظرية بور المتعلقة بذرة الهيدروجين، إذا اعترفنا بأن الإلكترون الساقط يخرج إلكترونًا من الذرة الموضوعية على الطبقة  $n_i$ ، يأتي الإلكترون الموضوع على الطبقة  $n_f$  ليحل محله، ويطلق الطاقة في شكل تردد كهرومغناطيسي:

$$(10-1) \quad v = \frac{mZ^2e^4}{8\varepsilon_0^2h^3} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

وقد أجرى موزلي تجاربه على نظرية بور لذرة الهيدروجين وبين أن تردد الخط  $L$  و  $K$  لا بد أن يكتب بالصيغة التالية، بعد أن يطرح العدد الذري  $Z$  من كمية ثابتة يمكن كتابة العلاقة (1-10) بدلالة الشحنة الفعالة.

$$(11-1) \quad v = \frac{m(Z - \sigma)^2e^4}{8\varepsilon_0^2h^3} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = Rc(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

حيث  $c$  سرعة الضوء و  $R$  ثابت ريدبرغ،  $Z$  العدد الذري،  $\sigma$  يدعى ثابت الحجب (Shielding-Constant) وهذا المقدار يتغير حسب عدد الإلكترونات التي تحجب النواة عن الإلكترون القادم من المدار الخارجي.

### 1.8.1 تردد وطاقة الخطين $K_\beta, K_\gamma$ ( $\sigma = 1$ )

#### 1.8.1.1 التردد

عندما يقفز الإلكترون من المدار ذو العدد الكمي الرئيسي  $n = 2$  (الطبقة  $L$ ) إلى المدار ذو العدد الكمي  $n = 1$  (الطبقة  $K$ )، بوضع  $Z - 1$  بدلاً من  $Z$  في العلاقة (1-10). وتفسير ذلك أن الإلكترون المنتقل من  $L$  إلى  $K$  يتحرك في مجال شحنة النواة الموجبة ( $+Ze$ ) والشحنة السالبة ( $-e$ ) المتبقي في المدار  $K$ ، وعليه فالإلكترون يخضع لمجال شحنة موجبة

قيمتها  $Z_{\text{eff}} = Z - 1$ . وهذا ما يعرف بالشحنة الفعالة ويقال هنا أن الإلكترون في الطبقة  $K$  يحجب النواة ويجعل شحنتها الفعالة أقل من شحنتها الأصلية. وبالتالي نكتب عبارة تردد انخط  $K_{\alpha}$  بالعلاقة التالية:

$$(12-1) \quad v_{K_{\alpha}} = \frac{m(Z-1)^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = Rc(Z-1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

من أجل انخط  $K_{\beta}$  ينتقل الإلكترون من  $(n=3 \rightarrow n=1)$

$$(13-1) \quad v_{K_{\beta}} = \frac{m(Z-1)^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = Rc(Z-1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

### 1.8.1.2 الطاقة

بالنسبة للطاقة من خلال العلاقة  $E = h\nu$ ، وبعد إجراء التطبيق العددي ( $R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ) نحصل على التعبير التالي لطاقة انخط  $K_{\alpha}$ :

$$(14-1) \quad \text{for } K_{\alpha} \rightarrow E(\text{eV}) = 10.2(Z-1)^2$$

### 1.8.2 تردد وطاقة الخطين $L_{\alpha}$ و $L_{\beta}$ ( $\sigma=4.7$ )

في هذه الحالة الإلكترون المقتلع هو أحد إلكترونات الطبقة  $L$  وعند انتقال الإلكترون من المدار ذو العدد الكمي الرئيسي  $n=3$  إلى المدار  $n=2$ ، يبعث فوتون تردده يساوي تردد انخط  $L_{\alpha}$  ويظهر في العلاقة (1-15)  $Z - 7.4$ ، بسبب ذلك يعود إلى أن الإلكترونات في الطبقة  $L$  منتشرة أكثر من إلكترونات الطبقة  $K$  ولذا فإن جميع هذه الإلكترونات لا تحجب النواة عن الإلكترونات في الطبقة  $M$  كما تفعل في الطبقة  $K$  وعليه قيمة الشحنة الفعالة هي  $Z - 7.4$  عوض القيمة  $Z - 9$ .

إن الكلام النظري أن الإلكترون في الطبقة  $M$  يتأثر بشحنة النواة الفعالة التي تعتمد على عدد الإلكترونات في الطبقة  $K$  و  $L$  والتي تحجب النواة عنه بعدد إجمالي من الإلكترونات قدره

$$8_L + 2_K - 1_L = 9$$

كحجب الإلكترون القادم من الطبقة  $M$  إلى أن الحقائق التجريبية الأقرب إلى الحقيقة بينت أن  $Z_{\text{eff}} = Z - 7.4$  وهي الشحنة المؤثرة للنواة (Effective Nuclear Charge) التي يحس بها إلكترون يقفز من  $M$  إلى  $L$ .

$$(15-1) \quad v_{L_{\alpha}} = \frac{m(Z-7.4)^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = Rc(Z-7.4)^2 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

### ملاحظات

• من بين الاستعمالات الهامة لخطوط الأشعة السينية المميزة مجال دراسة البلورات. (Crystallography)

- من الممكن للفوتون السيني الصادر عن ذرة الهدف أن ينزع إلكترونًا مدارياً من نفس الذر ويكسبه طاقة حركية يُطلق عليه اسم إلكترون أوجر (Auger's electron) والظاهرة الحادثة هي مفعول أوجر (Auger effect).
- لنفرض على سبيل المثال أن إلكترون أوجر من الطبقة  $M$  بواسطة فوتون الخط المميز  $K_\alpha$  تكون الطاقة الحركية للإلكترون أوجر هي:

$$T_{\text{Auger}} = h\nu_{K_\alpha} - E_M$$

حيث  $E_M$  طاقة نزع الإلكترون من الطبقة  $M$ .

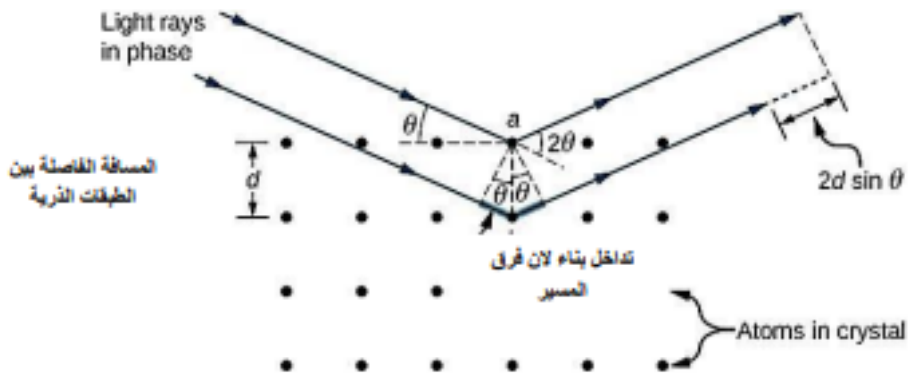
- لا تظهر الخطوط المميزة عند فرق جهد منخفضة نسبياً

## 1.9 دراسة البلورات بالأشعة السينية (XRC) X-ray crystallography

الامواج التي تنعكس عن نفس الطبقة من الذرات تكون متفقة في الطور أي لا يوجد بينها فرق مسير. أما الأشعة التي تنعكس عن الطبقة الواقعة أسفل الطبقة الأولى مباشرة فتكسب فرقاً في المسير بينها يساوي  $2d \sin \theta$ ، ويحدث التداخل البناء كما هو موضح في الشكل (1-9) بين هذه الأشعة المنعكسة وفي اتجاهات محددة، عندما يكون فرق المسير بين موجتين منعكستين على طبقتين متتاليتين من الذرات مساوياً عدداً صحيحاً من الطول الموجي للأشعة المستخدمة أي  $n\lambda$ ، ويعبر عن ذلك بشرط أو قانون براغ للانعراج (Bragg Law):

$$(16-1) \quad n\lambda = 2d \sin \theta$$

- $d$ : المسافة العمودية الفاصلة بين المستويات الذرية.
- $\theta$ : زاوية ورود الأشعة السينية على المستويات الذرية.
- $n$ : رتبة انعراج أو حيود الأشعة السينية نهم بالرتبة الأولى أي  $n = 1, 2, 3, \dots$ .



شكل 1.9: الطبقات الذرية وشرط التداخل البناء للأشعة عند اصطدامها بالبلورة.

### ملاحظة

- شرط حدوث انعكاس براغ يجب أن يكون طول موجة الأشعة السينية المستخدمة أقل أو يساوي  $\lambda \leq 2d$ .
- الشرط السابق يبين بوضوح أن الأشعة المرئية لا يمكن أن تستخدم في دراسة البنية البلورية.
- هذه العلاقة البسيطة تمكننا من إعطاء معلومات كافية عن مواقع الذرات والبعد الفاصل بينها في البناء البلوري.

## 1.10 قوانين التوهين تخامد الأشعة السينية The laws of X-rays and rays attenuation

### 1.10.1 التخامد في الوسط المادي medium material in Attenuation

عندما تسقط حزمة من الأشعة السينية عبر وسط مادي، يمكن أن يتفاعل جزء كبير من الفوتونات مع ذرات المادة مسببة امتصاص الفوتونات من الأشعة. وهذا يؤدي حتماً إلى انخفاض شدة الأشعة السينية المرسل في المقام الأول عن طريق التأثير الكهروضوئي وتشتت كومبتون ومفعول إنتاج الزوجية. أما الجزء الصغير من الأشعة المتبقي ينعكس عن ذلك الوسط المادي.

### شدة الأشعة أحادية اللون

شدة الأشعة أحادية اللون (يتكون من طول موجي واحد) للأشعة السينية بعد أن اخترقت مسافة  $x$  من مادة معينة يعطي بالعلاقة التالية:

$$(17-1) \quad I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad \text{or} \quad I(x) = I_0 \exp(-\mu_m \cdot \rho \cdot x)$$

حيث:

•  $\mu$  يمثل معامل التخماد الخطي (Linear Attenuation Coefficient) للمادة (وحدة  $m^{-1}$ ).

•  $I_0$  الشدة الإشعاعية الواردة  $I$  الشدة المتبقية بعد اختراقها سمك  $x$  من المادة المستهدفة من قبل الأشعة السينية.

معامل التخماد الكلي  $\mu_m$  (Mass Attenuation Coefficient) ويرتبط مع معامل التخماد الخطي بالعلاقة  $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$  و  $\rho$  تمثل الكتلة الحجمية للمادة وبالتالي وحدة  $m^2/kg$ .

وفيما يلي جدول يبين قيم معامل التخماد الخطي عند القيمة 100keV من طاقة الأشعة السينية:

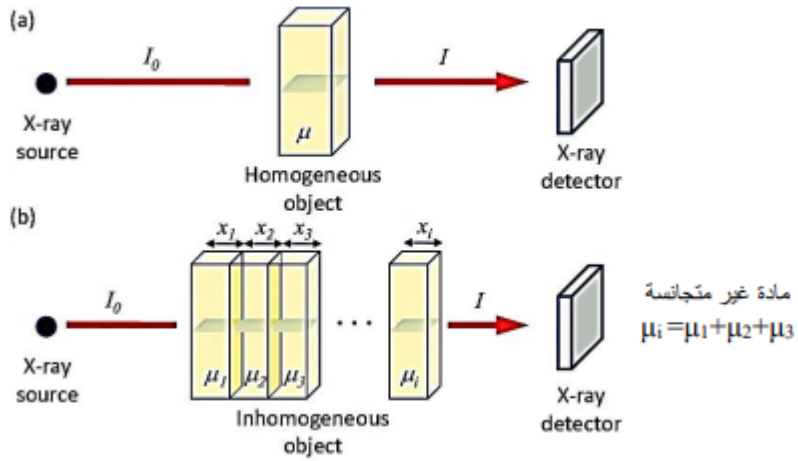
جدول 1.1: جدول 1: بعض قيم معامل التخماد الخطي (وحدته:  $cm^{-1}$ ) ل الهواء، الماء، الخشب، النحاس بدلالة طاقة الإشعاع السيني عند قيم كثافة لهذه المواد على الترتيب: 8.6 , 2.2 , 0.5 , 1, 0.0013  $g/cm^3$

Copper	Wood	Water	Air	E(keV)
1577	15	45	0.052	5
1840	1.8	5.1	0.0067	10
631	0.6	1.65	0.00021	15
288	0.31	0.8	0.001	20
93	0.2	0.37	0.00046	30
41	0.15	0.27	0.00033	40
22	0.12	0.22	0.00027	50
13.5	0.11	0.205	0.00023	60
6.5	0.094	0.18	0.00022	80
3.9	0.085	0.17	0.0002	100
1.9	0.08	0.15	0.00018	150

المصدر: <https://www.ndt.net/article/v05n01/cesareo/cesareo.htm>

### ملاحظة عامة

- إن قيم معاملات الامتصاص الخطية لمختلف العناصر مرتبطة بكثافة هذه المواد فهي تزداد بزيادة كثافة المادة.
- بزيادة طاقة الإشعاع تنقص قيم معاملات الامتصاص لأنه بزيادة الطاقة ينقص الطول الموجي وبالتالي إمكانية اختراق المادة من قبل الفوتونات تزداد وهذا يقود إلى نقصان معاملات الامتصاص.
- في حالة مادة غير متجانسة، معامل التخماد الخطي لها هو مجموع مختلف المعاملات المكونة للمادة كما هو موضح في الشكل (9-1).



شكل 1.10: رسم تخطيطي للتصوير الشعاعي لأشعة السينية: (a) التخامد من خلال وسط متجانس و (b) جمع التوهين من خلال وسط غير متجانس.

### 1.10.2 سمك النصف The half-thickness

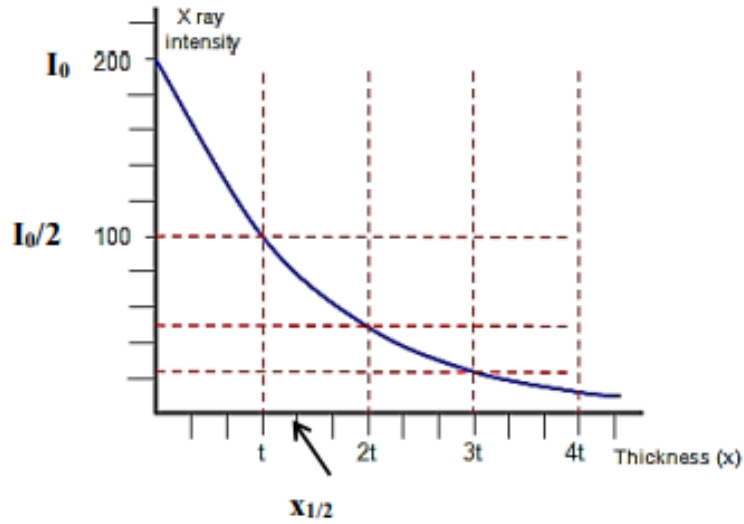
نعرف سماكة النصف لوسط مادي هو السمك الذي يخفض شدة الإشعاع إلى النصف ونكتب:

$$I(x_{1/2}) = \frac{I_0}{2}$$

بالتعويض في العلاقة (16-1) نجد:

$$(18-1) \quad I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \rightarrow I(x_{1/2}) = I_0 \exp(-\mu x_{1/2}) = \frac{I_0}{2}$$

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (1 - 18)$$



شكل 1.11: تناقص شدة الاشعاع بدلالة السمك.

### 1.10.3 التخميد في الخلاء

تكتب عبارة شدة الإشعاع على بعد  $d$  من المنبع النقطي للإشعاع السيني الذي يصدر في جميع الاتجاهات وبشكل متجانس بالعلاقة التالية:

$$(19-1) \quad I = \frac{I_0}{d^2} \quad (4 - 18)$$

### ملاحظات

- هذه العلاقات صالحة كذلك في مجال الإشعاع  $\gamma$ .
- إن قيمة سماكة النصف تلعب دوراً هاماً في مجال صناعة الشروط الوقاية من الإشعاع.
- من أجل  $x = nx_{1/2}$  يمكن أن تطبق العلاقة التالية  $I = \frac{I_0}{2^n}$ .



# الفصل الثاني

تطبيقات الأشعة السينية



## الفصل 2

# تطبيقات الأشعة السينية

### 2.1 التطبيقات العلمية للأشعة السينية

#### 2.1.1 انظمة التحليل بالأشعة السينية

تُستخدم التقنيات القائمة على قياس طيف الأشعة السينية كأدوات تحليلية لتصنيف الأنواع المختلفة من المواد، وتُستخدم في العديد من تخصصات العلوم والتكنولوجيا، بما في ذلك علم الآثار وعلم الفلك والهندسة والصحة. يتم استخدام هذه الطرق بشكل مستقل أو مع لإنشاء صورة أكثر اكتمالاً للمواد أو الأجسام التي قيد التحليل. وتعتمد عموماً طرق التحليل بالأشعة السينية على الأسس الفيزيائية التالية:

- امتصاص الأشعة السينية: حيث أن تركيز المادة يتناسب مع طاقة الأشعة السينية الممتصة الناتجة من انتزاع إلكترون من مداره.
- انبعاث الأشعة السينية:
  - يتم قياس طاقة الأشعة السينية المنبعثة عن قفزات الإلكترون.
- الإستشعاع بالأشعة السينية (الفلورة): عندما نسلط الأشعة السينية على بلورة ، فإنها تفقد إلكترونات، والإلكترون الأعلى ينزل ويرسل اشعاعات، هذه الأشعاعات تكون متفلورة ، هذه الظاهرة العشوائية تُستخدم في تحليل العناصر والتحليل الكيمائي خاصة في اكتشاف المواد والزجاج والسيراميك و في أبحاث الجيوكيميا. تعد مطيافية الاستشعاع بالأشعة السينية اوسع استخداماً في التحليل الكمي.

#### 2.1.2 ميكروسكوب الأشعة السينية

ميكروسكوب الأشعة السينية يعمل باستخدام حزمة من الأشعة السينية بدلاً من الضوء المرئي، حيث تُستغل هذه الأشعة ذات الطول الموجي القصير جداً (بين 10 نانومتر و1 ميكرومتر) لتكوين صور دقيقة جداً للعينات على مستوى دقيق للغاية عمل ميكروسكوب الأشعة السينية

- إنتاج الأشعة السينية: في أنبوب خاص يحتوي على مهبط (كاتود) وأنود (قطب موجب)، عند تسخين المهبط ينبعث عدد كبير من الإلكترونات التي تُسرَّع نحو الأنود، وعند تصادمها بالأنود تؤدي إلى إنتاج الأشعة السينية.
- تركيز الأشعة السينية : على عكس الضوء المرئي، لا تتعكس او تنكسر بسهولة، لذلك لا يمكن استخدام عدسات عادية لتركيزها، بدلا من ذلك يستخدم ميكروسكوب الأشعة السينية او ما يُعرف بـ"صفحة المنطقة" plate Zone ، وهي عبارة عن حلقات دقيقة مصنوعة من معادن مثل الذهب أو النيكل على ركازة من ثنائي أكسيد السليكون وتعمل على تركيز الأشعة السينية لتكوين صورة.
- مرور الأشعة عبر العينة: يُسلط حزمة أشعة سينية مُركَّز على العينة، حيث تخترقها وتمتص بدرجات متفاوتة حسب تركيب المادة وكثافتها. تلتقط الأشعة المارة عبر العينة بواسطة كاشف، مثل جهاز اقتران الشحنة (CCD) أو فيلم خاص، لتكوين صورة دقيقة تُظهر التفاصيل الداخلية للعينة.
- تكوين الصورة: تعتمد الصورة على اختلاف امتصاص الأشعة السينية في أجزاء مختلفة من العينة. تظهر المواد الكثيفة، مثل المعادن أو العظام، بيضاء اللون أو فاتحة اللون، بينما تظهر المواد الأقل كثافة رمادية أو داكنة.

### 2.1.3 تحليل طيفي متخصص للأشعة السينية

- التحليل الطيفي للأشعة السينية هي تقنية متخصصة تستخدم لقياس وتفسير فوتونات الأشعة السينية المنبعثة من المواد عندما تكون مثارة، بهدف تحديد تركيبها العنصري والكيميائي والبنوي بدقة عالية.
- عمل التحليل الطيفي بالأشعة السينية عند إثارة الذرة في العينة بواسطة طاقة عالية (مثل الإلكترونات أو أشعة إكس)، ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة داخلي إلى مستوى أعلى، وعندما يعود الإلكترون إلى مستوى أدنى، يبعث فوتون أشعة سينية ذو طاقة مميزة، تعبر عن العنصر الكيميائي الموجود.
- يتم تجميع هذه الأشعة السينية المنبعثة وتحليل طيفها، حيث لكل عنصر طيف مميز يمكن من خلاله التعرف على نوع العنصر وكميته في العينة.
- هناك طريقتان رئيسيتان للتحليل:

- التحليل الطيفي بالأشعة السينية المشتت للطول الموجي (WDS) يستخدم بلورة لتحليل الأشعة السينية المنبعثة حسب الطول الموجي بدقة عالية، ويعتمد على قانون براغ لتشتت الأشعة.
- التحليل الطيفي بالأشعة السينية المشتت للطاقة (EDS) يستخدم كاشفاً أغلبه موصلات لتحليل طاقة الإلكترونات مباشرة، وهو أسرع وأسهل لكنه أقل دقة من WDS.

#### 1. التطبيقات والاستخدامات:

يُستخدم التحليل الطيفي بالأشعة السينية في مجالات متنوعة، مثل علم الآثار لتحليل القطع الأثرية، وعلم الفلك،

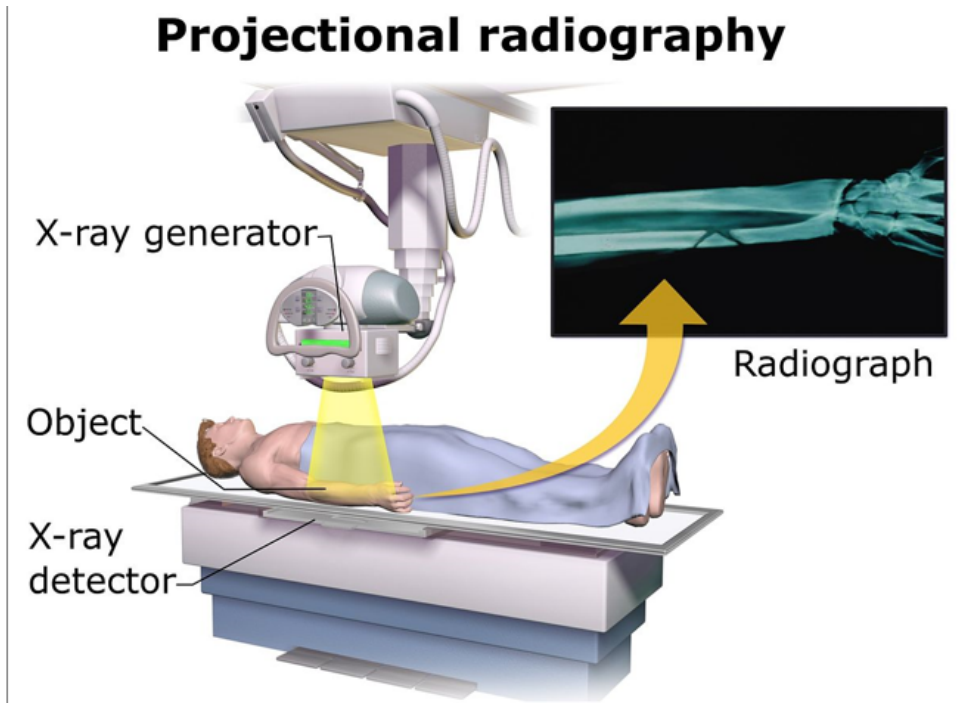
والهندسة، وعلوم البيئة، والطب، وعلوم المواد. ويمكنه تحليل المواد في حالاتها المختلفة: الصلبة، والسائلة، والمتجمدة، والمسخنة، في ظل ظروف بيئية متنوعة، مثل الفراغ، والضغط الجوي. ويُستخدم لدراسة البنية البلورية، والتحليل الكيميائي، وتوزيع العناصر، والتفاعلات الذرية داخل المواد.

## 2. مميزات التقنية:

-توفر دقة مكانية عالية تصل إلى عشرات النانومترات.  
-إمكانية تحليل عينات كبيرة أو صغيرة جداً.  
-غير مدمرة للعينات في معظم التطبيقات  
-يمكن دمجها مع تقنيات أخرى مثل: الانعكاس بالأشعة السينية، الأشعة السينية الرامان، التصوير المجهرى بالأشعة السينية لزيادة المعلومات.

## 2.2 التطبيقات الطبية للأشعة السينية

### 2.2.1 التصوير الشعاعي (Radiography)



شكل 2.1: جهاز التصوير الشعاعي Radiography

التصوير بالأشعة السينية هو تقنية طبية تستخدم الأشعة السينية لتصوير الأعضاء والأنسجة داخل الجسم من أجل اكتشاف الأمراض أو الإصابات التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.

### 1. مبدأ العمل

يُصدر جهاز التصوير الطبقي حزمة من الأشعة السينية التي تخترق جسم المريض، حيث يتم امتصاص الأشعة بدرجات متفاوتة حسب كثافة الأنسجة. تُسجل الأشعة التي تمر عبر الجسم على لوح تصوير خاص أو على حساس رقمي خلف المريض، فتتكون صورة باللونين الأبيض والأسود بدرجات رمادية تعكس كثافة الأنسجة.

- العظام والمواد الكثيفة تظهر بيضاء لأنها تمتص معظم الأشعة.
- الأنسجة الرخوة تظهر بدرجات رمادية.
- الهواء الموجود في الرئتين يظهر أسوداً بسبب قلة امتصاص الأشعة.

### 2. الاستخدامات الطبية

- العظام والأسنان: تشخيص الكسور، الالتهابات، هشاشة العظام، وتركيبات الأسنان.
- الصدر: الكشف عن أمراض الرئة مثل السل، الالتهابات، سرطان الرئة، وأمراض القلب.
- البطن والحوض: تشخيص مشكلات الأمعاء، التهابات المسالك البولية، والأجسام المعدنية داخل الجسم.
- العمود الفقري والجمجمة: الكشف عن الكسور، التشوهات، الأورام، والاندزاقات.
- التصوير المقطعي المحوسب (CT): نوع متقدم من التصوير الطبي يوفر صوراً مقطعية ثلاثية الأبعاد للأعضاء.

### 3. التطورات التقنية

- التصوير الشعاعي الرقمي (Radiography Digital) يستخدم حساسات رقمية بدلاً من الأفلام، مما يُحسّن جودة الصور ويقلل من جرعة الإشعاع.
- الأجهزة المحمولة: تسمح بإجراء التصوير في غرف الطوارئ أو للمرضى غير القادرين على الحركة.
- التصوير الطبي للثدي (Mammography): الكشف المبكر عن سرطان الثدي، مع تقنيات حديثة مثل التصوير ثلاثي الأبعاد (Tomosynthesis).
- الذكاء الاصطناعي: يُستخدم لتحليل الصور بسرعة ودقة أكبر، مما يساعد في التشخيص المبكر.

### 4. مزايا التصوير الشعاعي

- فحص سريع وغير مؤلم.
- دقة عالية في تشخيص الكسور والأمراض.
- إمكانية متابعة تطور المرض.
- تقليل الحاجة إلى الجراحة الاستكشافية.

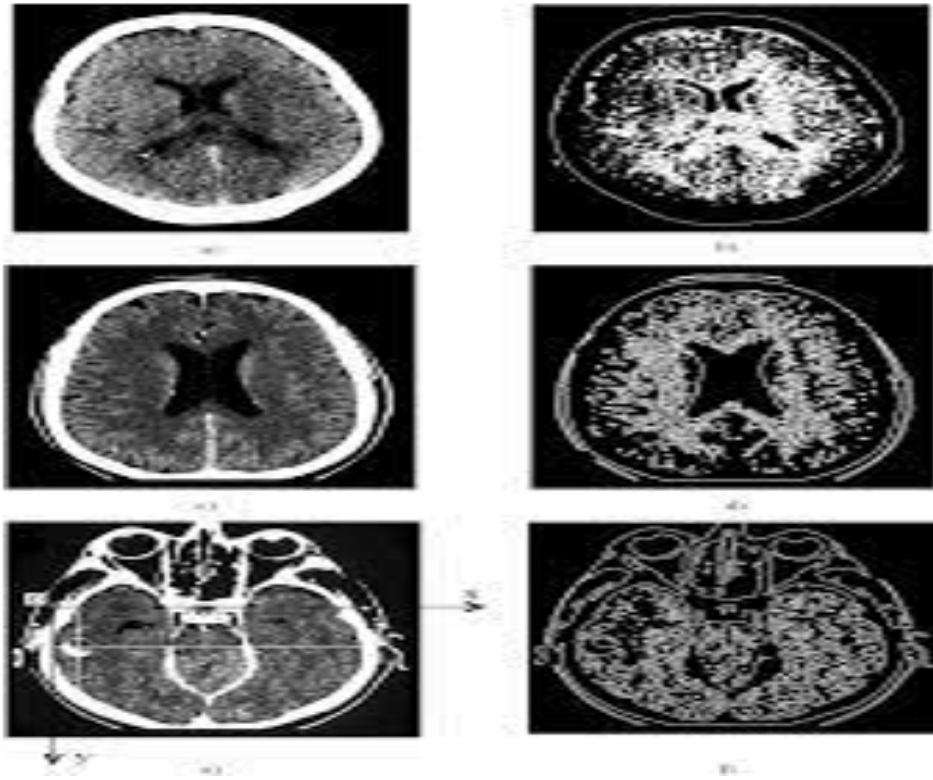
## 5. المخاطر والاحتياطات

- التعرض للأشعة السينية يحمل مخاطر صحية مثل احتمال زيادة خطر الإصابة بالسرطان عند التعرض المتكرر أو المزمّن.
- يجب تقليل التعرض خصوصاً للأطفال والحوامل.
- إزالة المجوهرات والأشياء المعدنية أثناء التصوير لتجنب تشويش الصورة.

## 2.2.2 التصوير المقطعي المحوسب Scan CT

1. مبدأ العمل يدور جهاز التصوير المقطعي المحوسب حول المريض، حيث يصدر حزمة من الأشعة السينية من زوايا متعددة. تمر هذه الأشعة عبر الجسم بدرجات امتصاص تختلف حسب كثافة الأنسجة المختلفة. ثم تسجل أجهزة الكشف كمية الأشعة التي تم امتصاصها، ويحلل الكمبيوتر هذه البيانات لتكوين صوراً مقطعية ثنائية الأبعاد (شرائح عرضية) يمكن تجميعها لاحقاً لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد دقيقة للبنى الداخلية كما هو موضح في الشكل (2.2).
2. مميزات التصوير المقطعي المحوسب

- دقة عالية جداً في تصوير العظام والأنسجة الصلبة، تفوق دقة التصوير بالأشعة السينية التقليدية.
- إمكانية فصل العضو المصور عن الأعضاء المجاورة له، مما يساعد في تشخيص دقيق دون تشريح.
- سرعة الفحص، حيث تستغرق العملية عادةً من 15 إلى 20 دقيقة، ويمكن أن تكون أقل في الأجهزة الحديثة.
- إمكانية استخدام مواد تباين وريدية لتحسين رؤية الأوعية الدموية والبنى الداخلية.



شكل 2.2: صورة مقطعية ثنائية الأبعاد بجهاز scan CT

### 2.2.3 التصوير بالفلوروسكوبي Fluoroscopy

هو تقنية تصوير طبية تستخدم الأشعة السينية لإنشاء صور متحركة حية في الوقت الفعلي للأعضاء والأنسجة داخل الجسم، مما يسمح للأطباء بمراقبة العمليات الداخلية أثناء حدوثها بدقة وديناميكية، على عكس التصوير التقليدي الذي ينتج صوراً ثابتة.

#### 1. عمل التصوير بالفلوروسكوبي

- يصدر جهاز الأشعة السينية حزمة مستمرة من الأشعة التي تخترق الجسم، ويتم امتصاصها بدرجات مختلفة حسب كثافة الأنسجة.
- الأشعة الخارجة تلتقط بواسطة جهاز تكثيف الصورة (Intensifier Image) الذي يحول الأشعة السينية إلى ضوء مرئي مكثف، ثم تُعرض الصور على شاشة مراقبة أو تُسجل إلكترونياً، مما ينتج رؤية حية متحركة للأعضاء الداخلية.
- لتحسين رؤية بعض الأعضاء، يستخدم المريض مواد تباين مثل الباريوم أو اليود، التي تبرز الأوعية الدموية أو الجهاز الهضمي أثناء التصوير.
- في التصوير الفلوروسكوبي الرقمي، تستخدم تقنيات رقمية متقدمة لمعالجة الصور وتحسين التباين والدقة، مما يسهل رؤية التفاصيل الدقيقة مثل تدفق مادة التباين داخل الأوعية.

## 2. الاستخدامات الطبية للتصوير الفلوروسكوبي

- مراقبة حركة الأعضاء مثل حركة الطعام في الجهاز الهضمي، حركة القلب، والتنفس.
- توجيه الإجراءات الطبية والجراحية مثل إدخال القسطرة، تصوير الأوعية الدموية، (Angiography) وإزالة الأجسام الغريبة.
- تشخيص أمراض الجهاز الهضمي، الأوعية الدموية، والمفاصل.
- تصوير قنوات الرحم والرحم باستخدام مواد تباين خاصة لتقييم الخصوبة.

## 3. مميزات التصوير الفلوروسكوبي

- يوفر صوراً ديناميكية متحركة تسمح بمراقبة الوظائف الحيوية للأعضاء.
- يسمح بالتشخيص المباشر وتوجيه الإجراءات العلاجية في الوقت الفعلي.
- تطورت التقنية مع استخدام أجهزة تكثيف الصورة والفلوروسكوبي الرقمي لتحسين جودة الصور وتقليل جرعة الإشعاع.



شكل 2.3: جهاز التصوير الفلوروسكوبي Fluoroscopy

## 2.3 تطبيقات الأشعة السينية في مجال الصناعة

في العقود الأولى بعد اكتشاف الأشعة السينية، اقتصر استخدامها على المجال الطبي، لكن الحرب العالمية الأولى شهدت تحولاً جذرياً، حيث استُخدمت لفحص جودة الذخائر والمركبات العسكرية. ومع التقدم التكنولوجي في القرن العشرين

توسعت التطبيقات الصناعية للأشعة السينية، ونذكر منها ما يلي:

### 2.3.1 الفحص غير الإتلافي (NDT) لاكتشاف العيوب

تُستخدم بالأشعة السينية لفحص المواد دون إتلافها عبر اختراقها للمادة وتسجيل التباين في امتصاص الإشعاع، مما يُظهر التشققات أو الفراغات في الصور الإشعاعية. مثال: فحص لحامات هياكل الطائرات أو أنابيب النفط باستخدام التصوير الإشعاعي أو التصوير المقطعي المحوسب.

### 2.3.2 تحليل التركيب الكيميائي والبنية البلورية

تعتمد على تفاعل الأشعة مع الذرات، حيث تحدد البنية البلورية عبر حيود الأشعة (XRD) وتكشف الفلورية عبر (XRF) عن التركيب الكيميائي عبر قياس الطاقة المنبعثة. مثال: تحليل سبائك المعادن أو تحديد نقاء المواد الخام.



شكل 2.4: جهاز تحليل خام المعادن بالأشعة السينية.

### 2.3.3 قياس السماكة والكثافة

تعتمد على قدرة الأشعة السينية على الاختراق، حيث تُقاس شدة الإشعاع الممتص لتحديد السماكة أو الكثافة لمراقبة جودة الطبقات أو المواد أثناء الإنتاج. مثال: مراقبة تآكل الأنابيب الصناعية أو قياس سماكة طلاء السيارات.



شكل 2.5: فحص لحامات انابيب النفط.

#### 2.3.4 ضمان سلامة الأغذية والأدوية

تُكشف العيوب والشوائب مثل المعادن أو الزجاج أو العيوب في المنتجات عبر التباين في الامتصاص بين المادة الغذائية والجسم الغريب.  
مثال: فحص عبوات الأغذية المصنَّعة أو فحص أقراص الأدوية للتأكد من عدم وجود تشققات.



شكل 2.6: نظام فحص الأغذية بالأشعة السينية.

### 2.3.5 فحص الإلكترونيات والهياكل الدقيقة

تُستخدم أنظمة الأشعة السينية عالية الدقة لفحص المكونات الإلكترونية المعقدة والصغيرة عبر تكبير الصور وفحص التفاصيل الدقيقة.

مثال: فحص اللحامات في الدوائر الإلكترونية أو تحليل رقاقات أشباه الموصلات.

### 2.3.6 التصنيع الإضافي (الطباعة ثلاثية الأبعاد)

سخر الأشعة السينية في التصوير المقطعي لفحص الأجزاء المطبوعة داخلياً دون تدميرها، للكشف عن الفراغات أو التشوهات ولضمان جودة الأجزاء المطبوعة.

مثال: فحص مكونات طائرات مصنعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

### 2.3.7 قطاع الطاقة والصناعات الثقيلة

تُستخدم تقنيات التصوير الإشعاعي لفحص وصيانة البنى التحتية الحرجة عبر تسجيل العيوب في اللحامات أو الهياكل.

مثال: فحص الآلات في محطات الطاقة النووية أو مراقبة جودة أنابيب الغاز.

### 2.3.8 المراقبة الزمنية الحقيقية في خطوط الإنتاج

تُستخدم تقنيات الأشعة السينية عالية الطاقة لدراسة الخصائص المجهرية للمواد لتطويرها وللحصول على تقنيات جديدة.

مثال: مراقبة عملية تعبئة العبوات الدوائية في الوقت الفعلي أو ضمان اتساق المنتجات في صناعة السيارات.

### 2.3.9 التطبيقات المتقدمة في البحث والتطوير

تعتمد على أنظمة الأشعة السينية السريعة لفحص المنتجات أثناء التصنيع في الوقت الفعلي لتحسين الكفاءة وتقليل الهدر، عبر تحليل تدفق الإشعاع.

مثال: تحليل المواد النانوية ودراسة خصائصها أو تحسين تصميم المكونات الهندسية الدقيقة.

## 2.4 تطبيقات الأشعة السينية في مجال الأمن

تستخدم الأشعة السينية في مجال الأمن للكشف عن المواد الخطرة والمنوعة المخبأة داخل الأمتعة، المركبات، أو حتى الأفراد. تعتمد على تقنيات تصوير متقدمة تميز بين أنواع المواد وتنتج صوراً تفصيلية، مما يجعلها ركيزة أساسية في تأمين المطارات، المنافذ الحدودية، المباني الحكومية والمنشآت العسكرية وذلك من خلال كشف المحتويات الخفية دون الحاجة لفتحها ومن أبرز تطبيقاتها في هذا المجال مايلي:

#### 2.4.1 فحص الأمتعة والطرود داخل المباني الحكومية

تُستخدم الأشعة السينية لفحص الحقائق والطرود الداخلة إلى المباني الحكومية للتأكد من خلوها من أسلحة أو مواد خطيرة. تعتمد على تقنية التصوير ثنائي الطاقة لتمييز المواد العضوية (كالمفجرات) عن المعدنية، وتُظهر الصور ألواناً مميزة للكشف السريع.



شكل 2.7: فحص الحقائق بالأشعة السينية.

#### 2.4.2 التفتيش الأمني للأفراد في المنشآت الحساسة

تُوجه أشعة سينية منخفضة الجرعة نحو الجسم لرسم خريطة سطحية تُظهر الأجسام الخبئة تحت الملابس، مثل أسلحة أو أجهزة تجسس، باستخدام تقنية التشتت الخلفي.

#### 2.4.3 فحص المركبات الداخلة إلى المواقع الحكومية

تُستخدم شاشات مُجهزة بأنظمة أشعة سينية عالية الطاقة لمسح المركبات المشتبه بها، مثل السيارات أو الشاحنات، للكشف عن تجاوزات مخفية أو مواد ممنوعة.

#### 2.4.4 الكشف عن الأجهزة الإلكترونية المشبوهة

تُساعد الأشعة السينية في تحليل المكونات الداخلية للأجهزة (مثل أجهزة الكمبيوتر أو الهواتف) للكشف عن أجزاء غير طبيعية أو متفجرات مخفية باستخدام التصوير عالي الدقة.

#### 2.4.5 مراقبة البنى التحتية الحيوية

يتم فحص الأنابيب أو الجدران أو الأنظمة الكهربائية في المباني الحكومية بالأشعة السينية للكشف عن تلفيات أو عبوات ناسفة محتملة عبر تقنية التصوير الطبقي المقطعي (CT).

#### 2.4.6 التحليل الجنائي للأدلة المادية

تُستخدم الأشعة السينية لفحص أدلة جنائية (مثل أسلحة أو أجهزة تفجير) دون لمسها، عبر تصويرها بدقة وتحديد مكوناتها الداخلية.

#### 2.4.7 فحص الجدران والأسقف للكشف عن التلاعب الهيكلي

تُستخدم الأشعة السينية لفحص الجدران والأسقف للكشف عن فراغات أو مواد ممنوعة (مثل أسلحة أو أجهزة تنصت) مخبأة داخل الهياكل الإنشائية.

#### 2.4.8 تأمين المناسبات الحكومية

تُصنّب أجهزة أشعة سينية متنقلة عند مداخل الفعاليات الحكومية (كالمؤتمرات أو القمم) لفحص الحقائب والهدايا المقدمة للشخصيات المهمة.

#### 2.4.9 الكشف عن المخدرات في الشحنات والأمتعة

تُستخدم الأشعة السينية لفحص الشحنات والأمتعة داخل المباني الحكومية أو المنافذ الحدودية للكشف عن مواد مخدرة مخبأة. تعتمد التقنية على التمييز بين المواد بناءً على الكثافة والعدد الذري، حيث تظهر المواد العضوية (كالمخدرات مثل الكوكايين أو الهيروين) بألوان مميزة (كالأحمر أو البرتقالي) في الصور الإشعاعية، بينما تظهر المعادن أو المواد الأخرى بألوان مختلفة.

تساعد هذه التقنية في اكتشاف المخدرات حتى لو كانت مخبأة داخل طبقات متعددة من المواد الأخرى، مثل الحقائب ذات الجيوب السرية أو داخل المنتجات الثقيلة.

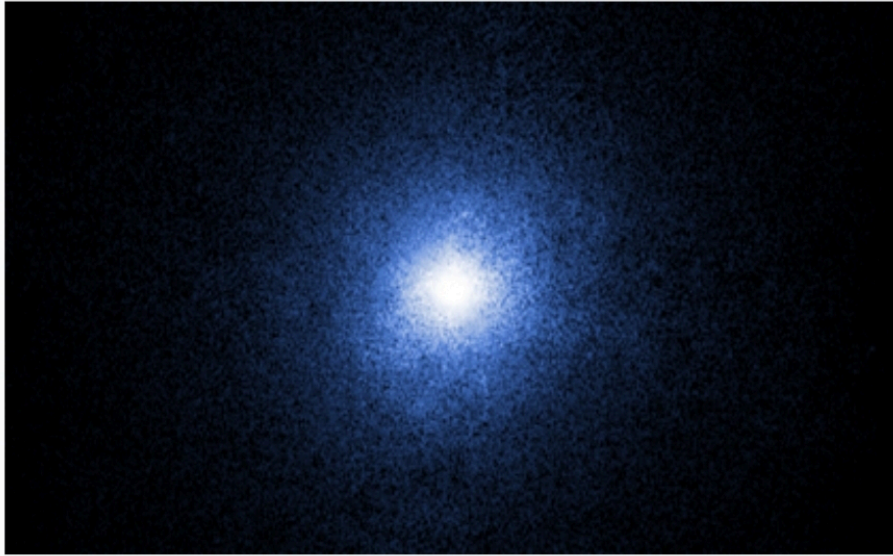
### 2.5 تطبيقات الأشعة السينية في مجال الفلك

تعتبر الأشعة السينية نافذةً استثنائيةً لرصد الكون في حالته الأكثر تطرفاً، حيثُ كشف الظواهر الفلكية التي تنفجر بالطاقة ولا يُمكن رؤيتها بالتلسكوبات التقليدية. ولها تطبيقات عديدة في مجال دراسة الفلك و نذكر منها مايلي :

#### 2.5.1 دراسة الأجرام السماوية عالية الطاقة (مثل الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية)

تُستخدم الأشعة السينية لرصد الأجسام التي تنتج طاقة هائلة بسبب جاذبيتها أو مجالاتها المغناطيسية القوية. عند سقوط الغاز من نجم مرافق على ثقب أسود أو نجم نيوتروني، يسخن هذا الغاز إلى ملايين الدرجات بسبب الاحتكاك، فيصدر

أشعة سينية. تساعد هذه الأشعة في معرفة كتلة الثقب الأسود وسرعة دورانه، أو دراسة سطح النجوم النيوترونية التي تصدر إشعاعات سينية عند دورانها السريع.



Chandra X-ray of Cygnus X-1.

شكل 2.8: دراسة الثقب الأسود بواسطة تلسكوب تشاندرا للأشعة السينية.

### 2.5.2 تحليل بقايا المستعرات العظمى (الانفجارات النجمية)

عندما ينفجر نجم ضخم (مستعر أعظم)، تنتج موجات صدمية تسخن الغازات المحيطة إلى درجات حرارة عالية، مما يجعلها تطلق أشعة سينية. تُدرس هذه الأشعة لفهم نوع الانفجار وتوزيع العناصر الثقيلة (مثل الحديد) التي تشكلت خلاله، والتي تعتبر لبنات بناء الكواكب والحياة.

### 2.5.3 دراسة تجمعات المجرات والغاز الكوني

تحتوي تجمعات المجرات على غاز ساخن جداً (ملايين الدرجات) يُصدر أشعة سينية. يُحلل هذا الإشعاع لقياس: - كمية الغاز الكوني.

- كتلة التجمع المجري.

- وجود المادة المظلمة (مادة غير مرئية تساهم في الجاذبية).

كما تكشف الأشعة السينية عن تفاعلات المجرات داخل هذه التجمعات العملاقة.

#### 2.5.4 رصد النوى المجرية النشطة (مراكز المجرات النشطة)

تحتوي مراكز بعض المجرات على ثقوب سوداء فائقة الكتلة تبتلع الغاز والنجوم، مما يُنتج قرصاً دواراً من المادة الساخنة (يُسمى القرص المتراكم) وإشعاعات سينية قوية. تُستخدم هذه الأشعة لفهم:

- كيفية تغذية الثقوب السوداء.
- تأثيرها على المجرة المضيفة، مثل إطلاق رياح نافثة من الجسيمات عالية السرعة.

#### 2.5.5 فهم فيزياء الشمس والانفجارات الشمسية

تُصدر الطبقة الخارجية للشمس (الهالة) أشعة سينية بسبب الحرارة العالية الناتجة عن التفاعلات المغناطيسية. تُراقب هذه الأشعة لدراسة:

- التوهجات الشمسية (انفجارات ضخمة على سطح الشمس). - تأثيرها على الأرض، مثل:
- تعطيل الاتصالات.
- إحداث الشفق القطبي.

#### 2.5.6 اكتشاف الكويكبات والمذنبات

عند اقتراب الكويكبات أو المذنبات من الشمس، تتفاعل مع الرياح الشمسية (جسيمات مشحونة من الشمس)، مما يُنتج أشعة سينية ضعيفة. تُستخدم هذه الإشارات لتحديد:

- حجم هذه الأجرام.
- تركيبها الكيميائي.

#### 2.5.7 دراسة الكواكب خارج المجموعة الشمسية

عندما تعبر الكواكب الخارجية أمام نجومها المضيفة، يتم تحليل أشعة X المنبعثة من النجم لدراسة:

- تأثير الغلاف الجوي للكوكب على امتصاص هذه الأشعة.
- معدل فقدان الغلاف الجوي بسبب الإشعاع النجمي.

#### 2.5.8 الخلفية الكونية للأشعة السينية (الإشعاع الخافت المنتشر في الكون)

تُستخدم التلسكوبات الحساسة لتحليل الإشعاع السيني الخافت المنتشر في الكون، والذي ينبعث من:

- الثقوب السوداء القديمة في المجرات البعيدة.
- المجرات الأولى التي تشكلت في الكون المبكر.



# الفصل الثالث

التفاعلات الفيزيائية للأشعة  
السينية مع المادة



## الفصل 3

# التفاعلات الفيزيائية للأشعة السينية مع المادة و دراسة تجريبية لإمتصاص الألمنيوم

### تمهيد

تعد الأشعة السينية من أهم الأدوات المستعملة في مجالات الطب والصناعة، لكنها تحمل معها مخاطر صحية ناتجة عن التعرض المفرط لها، مثل تلف الخلايا ورفع احتمال الإصابة بالأمراض السرطانية. لهذا السبب، يتم تحديد جرعات إشعاعية مسموحة بدقة لكل فئة من فئات العاملين في المجال، وتُحسب بوحدة الميلي زيفرت (mSv) سنوياً. فعلى سبيل المثال، لا يجب أن تتجاوز الجرعة السنوية المسموحة للعاملين في المجال الطبي 20mSv في المتوسط على مدى 5 سنوات، حسب توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) في هذا السياق، تلعب مواد الحماية الإشعاعية دوراً جوهرياً في تقليل تأثير هذه الأشعة على جسم الإنسان. ومن بين هذه المواد، يُعتبر الألمنيوم من المواد التي تُستخدم بشكل شائع في ترشيح الأشعة السينية. والسبب في ذلك هو قدرته على امتصاص جزء من الفوتونات والتي لا تساهم في تكوين الصورة الطبية، بل تزيد فقط من الجرعة الإشعاعية غير الضرورية. من خلال هذا العمل التطبيقي، نقوم بقياس معامل الامتصاص الخطي لمعدن الألمنيوم عند طاقات مختلفة من الأشعة السينية من (10keV إلى 25Kev) هذا المعامل يصف مدى قدرة المادة على تقليل شدة الأشعة السينية حسب علاقة التخامد في وسط مادي .

### 3.1 آليات إمتصاص الأشعة السينية

#### 3.1.1 الامتصاص عبر التأثير الكهروضوئي photoelectric Effect

يحدث عندما يتفاعل فوتون الأشعة السينية مع إلكترون مرتبط بإحكام في غلاف داخلي لذرة المادة، حيث يمتص الفوتون طاقته بالكامل ويُطرد الإلكترون من الذرة، ويسمى هذا الإلكترون بالإلكترون الضوئي. يتم امتصاص الفوتون بشكل كامل في هذه العملية، مما يؤدي إلى إضعاف شعاع الأشعة السينية أثناء مروره عبر المادة.

بعد فقدان الإلكترون الداخلي، تملأ الإلكترونات من الأغلفة الخارجية الفراغ، مما يؤدي إلى انبعاث إشعاع مميز (فوتون أشعة إكس) أو إلكترون أوجيه.

يعتمد احتمال التأثير الكهروضوئي على العدد الذري للمادة ( $Z$ ) حيث يزداد الامتصاص مع زيادة  $Z$  بشكل أسّي (تقريباً  $Z^3$ )، وعلى طاقة الفوتون ( $E$ ) حيث يقل الامتصاص مع زيادة الطاقة تقريباً  $1/E^3$ . هذا التأثير هو المهيمن عند طاقات فوتونات منخفضة نسبياً (حتى حوالي 30 كيلو فولت في الأنسجة البشرية).

### 3.1.2 تأثير كومبتون Compton scattering

هو تفاعل ينتج عن تصادم فوتون الأشعة السينية مع إلكترون حر أو ضعيف الارتباط في الذرة، حيث يفقد الفوتون جزءاً من طاقته وينتشر في اتجاه مختلف، بينما يطرد الإلكترون. هذا التأثير يؤدي إلى تشتت الفوتونات وليس امتصاصها الكامل، ويكون مهيماً عند طاقات فوتونات متوسطة إلى عالية، وعند طاقات فوق 30 كيلو فولت في الأنسجة البشرية. تأثير كومبتون يعتمد بشكل أقل على العدد الذري مقارنة بالتأثير الكهروضوئي، ويحدث غالباً في الأنسجة ذات العدد الذري المنخفض.

### 3.1.3 إنتاج الأزواج إلكترون-بوزيترون Production Pair

يحدث عندما يكون للفوتون طاقة عالية جداً (لا تقل عن 0.1022 ميغا إلكترون فولت)، حيث يتفاعل الفوتون مع المجال الكهربائي القوي لنواة ذرة ثقيلة، فيختفي الفوتون ويُنتج زوجاً من جسيمين: إلكترون وبوزيترون. طاقة الفوتون تتحول إلى كتلة السكون للجسيمين (كل منهما 1.01150 mev) بالإضافة إلى طاقتهم الحركية. لا يمكن أن يحدث إنتاج الأزواج إلا بوجود نواة أو جسيم آخر للحفاظ على حفظ الزخم والطاقة. بعد إنتاج البوزيترون، يتحد مع إلكترون مجاور في ظاهرة تسمى "إفناء إلكترون-بوزيترون"، حيث يتحول الجسيمان إلى فوتونين طاقتهم 0.115 MeV كل منهما، ينتشران في اتجاهين متعاكسين. إنتاج الأزواج يصبح العملية السائدة عند طاقات فوتونات عالية جداً فوق (1.022 MeV) وخاصة في المواد ذات العدد الذري العالي، وهو سبب استخدام مواد ثقيلة في الحماية من الإشعاع.

### 3.1.4 العوامل المؤثرة على الامتصاص

العوامل المؤثرة على امتصاص الأشعة السينية متعددة، وتشمل عوامل متعلقة بخصائص الأشعة نفسها، وخصائص المادة التي تمر بها. يمكن تلخيصها كما يلي:

- طاقة الأشعة السينية (طول الموجة أو التردد)

كلما زادت طاقة الفوتونات (أي زادت تردد الأشعة أو قلت طول موجتها)، قلت نسبة الامتصاص عبر التأثير الكهروضوئي وزاد تأثير كومبتون، وعند طاقات عالية جداً يبدأ إنتاج أزواج إلكترون-بوزيترون.

التأثير الكهروضوئي يزداد مع انخفاض طاقة الأشعة السينية، بينما تأثير كومبتون يزداد مع ارتفاع الطاقة إلى حد معين.

#### -العدد الذري للمادة (Z)

الامتصاص عبر التأثير الكهروضوئي يزداد بشكل كبير مع زيادة العدد الذري للمادة تقريباً يتناسب مع  $Z^3$  ، لذلك المواد الثقيلة (مثل اليود في عوامل التباين) تمتص الأشعة السينية أكثر من المواد الخفيفة. تأثير كومبتون أقل اعتماداً على العدد الذري، ويحدث بشكل أكبر في الأنسجة ذات الأعداد الذرية المنخفضة كالأنسجة الرخوة.

#### -كثافة المادة وسمكها

كلما زادت كثافة المادة وسمكها، زاد امتصاص الأشعة السينية، لأن عدد الذرات التي يمكن أن تتفاعل مع الأشعة يزداد. هذا هو السبب في أن العظام (ذات كثافة عالية) تظهر بيضاء في صور الأشعة السينية بينما الأنسجة الرخوة تظهر بدرجات رمادية.

#### -وجود عوامل تباين ظليلة للأشعة

استخدام مواد تحتوي على عناصر ثقيلة مثل اليود أو الباريوم يزيد من امتصاص الأشعة السينية، مما يحسن التباين في الصور الطبية لتوضيح الأوعية الدموية أو الجهاز الهضمي.

#### -الخصائص الفيزيائية للمادة

حالة المادة (صلبة، سائلة، غازية) تؤثر على امتصاص الأشعة، حيث تختلف الكثافة والتركيب الكيميائي. وجود سوائل، دهون، أو هواء في الأنسجة يؤثر على امتصاص الأشعة ويغير من درجة التباين الظاهر.

## 3.2 تأثير الأشعة السينية على المواد

تأثير الأشعة السينية على المواد يتجلى في عدة جوانب تشمل التغيرات البنوية والذرية، التأثيرات الحرارية والكهربائية، والتأثيرات البيولوجية .

### 3.2.1 التغيرات البنوية والذرية

الأشعة السينية تؤدي إلى تغييرات بنوية وذرية في المواد من خلال تفاعلها مع إلكترونات الذرات داخل المادة،

#### 1. التفاعل مع الإلكترونات وتأثيره على البنية الذرية

-الأشعة السينية هي فوتونات عالية الطاقة تتفاعل بشكل رئيسي مع الإلكترونات في الذرة، حيث تصطدم الفوتونات بالإلكترونات مسببة إما تبعثر فوتونات الأشعة السينية أو امتصاصها، مما يؤدي إلى تأين الذرات بإخراج إلكترونات

من مداراتها الداخلية.

-عند امتصاص فوتون الأشعة السينية طاقته بالكامل من قبل إلكترون مرتبط، يُطرد هذا الإلكترون من الذرة (تأثير كهروضوئي)، مما يخلق فراغاً في الغلاف الإلكتروني الداخلي، ويؤدي إلى إعادة ترتيب إلكترونات أخرى من الأغلفة الخارجية لملء الفراغ، مصحوباً بإصدار فوتونات فلورية أو إلكترونات أوجيه، وهذا يغير من التركيب الإلكتروني للذرة مؤقتاً.

-التغير في توزيع الإلكترونات داخل الذرة يؤثر على الروابط الكيميائية والخصائص الفيزيائية للمادة، وقد يؤدي إلى تغييرات في التركيب البلوري أو البنية الجزيئية، خاصة عند تعرض المادة لأشعة ذات طاقة عالية لفترات طويلة.

## 2. التغيرات البنيوية والبلورية

-الأشعة السينية تستخدم في تقنية حيود الأشعة السينية لدراسة البنية الذرية والبلورية للمواد، حيث إن طول موجة الأشعة السينية يقارب أبعاد الذرات، مما يسمح لها بالتفاعل مع الترتيب الدوري للذرات في البلورات وإعطاء معلومات عن التوزيع الإلكتروني والترتيب البنيوي.

-عند تعرض المواد لأشعة سينية قوية، يمكن أن تحدث تغييرات في البنية البلورية مثل تكوين شوائب، إجهادات داخلية، أو تغييرات في حجم الحبيبات البلورية، نتيجة التآين وإعادة ترتيب الذرات.

-هذه التغيرات البنيوية قد تؤثر على الخواص الميكانيكية والكهربائية للمادة.

## 3. التآين والتفاعلات الذرية

-التآين الناتج عن الأشعة السينية يسبب فقدان إلكترونات من الذرات، مما يؤدي إلى تكوين أيونات وجسيمات مشحونة، وهذا يمكن أن يغير من التوازن الإلكتروني داخل المادة ويؤدي إلى تفاعلات كيميائية جديدة أو تحلل جزيئي.

-في المواد العضوية أو البيولوجية، يمكن أن يؤدي هذا التآين إلى تلف الجزيئات الحيوية مثل الحمض النووي والبروتينات، مما يسبب تغييرات جزيئية كبيرة.

## 3.2.2 التأثيرات الحرارية والكهربائية

### 1. التأثير الحراري

-عند اصطدام فوتونات الأشعة السينية بالإلكترونات في المادة، يتم امتصاص جزء من طاقتها وتحويلها إلى طاقة حرارية، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المادة.

-في أنابيب إنتاج الأشعة السينية، حوالي 99% من الطاقة الكهربائية تتحول إلى حرارة، و1% فقط تتحول إلى أشعة سينية، مما يتطلب أن يكون هدف الأنود مصنوعاً من مواد ذات درجة انصهار عالية (مثل التنجستن) مع نظام تبريد فعال لتفريغ الحرارة المتولدة.

-زيادة الحرارة الناتجة عن امتصاص الأشعة السينية قد تؤدي إلى تغييرات في الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة، خاصة عند التعرض لجرعات عالية أو لفترات طويلة.

## 2. التأثير الكهربائي

- الأشعة السينية تسبب تأين الذرات في المادة عبر طرد الإلكترونات من مداراتها، مما يؤدي إلى تكوين أيونات وجسيمات مشحونة كهربائياً.
- هذا التأين يولد شحنات كهربائية حرة داخل المادة، مما يمكن أن يغير من التوصيل الكهربائي للمادة، خصوصاً في المواد العازلة ونصف الموصلة.
- في بعض الحالات، تؤدي الأشعة السينية إلى تشريد الغازات داخل المادة وجعلها ناقلة للتيار الكهربائي، مما يؤثر على الخصائص الكهربائية.
- هذه الظاهرة تُستخدم في بعض التطبيقات التقنية مثل الكشف الإشعاعي وتحليل المواد.

## 3.2.3 التأثيرات البيولوجية

1. تلف الخلايا والأنسجة الأشعة السينية تحمل طاقة عالية قادرة على اختراق الأنسجة والتفاعل مع جزيئات الخلايا، مما يؤدي إلى تحطيم الروابط الكيميائية في الحمض النووي والبروتينات، وبالتالي تلف الخلايا أو موتها. هذا التلف قد يسبب تغيرات في وظائف الخلايا أو يؤدي إلى موتها، خاصة في الأنسجة الحساسة مثل نقي العظام، الجهاز الهضمي، والجلد.
2. الأعراض الحادة الناتجة عن التعرض لجرعات عالية التعرض لجرعات عالية من الأشعة السينية يمكن أن يسبب متلازمات إشعاعية حادة مثل:
  - متلازمة النسيج المكونة للدم: تؤثر على نقي العظام، وتسبب نقصاً في خلايا الدم البيضاء والحمراء والصفائح، مما يؤدي إلى زيادة خطر العدوى، النزيف، وفقر الدم.
  - المتلازمة المعوية المعدية: تؤدي إلى تلف الخلايا المبطنة للأمعاء، مما يسبب غثياناً، تقيؤاً، إسهالاً دمويًا، وتجنفاً شديداً، وقد تتطور إلى عدوى خطيرة.
  - المتلازمة الوعائية الدماغية: تحدث عند جرعات عالية جداً (>20-30 غراي) وتؤدي إلى أعراض عصبية خطيرة مثل تشوش ذهني، نوبات اختلاجية، ووفاة سريعة.
3. التأثيرات الجلدية التعرض الموضعي لأشعة عالية يؤدي إلى تغيرات في الجلد مثل الاحمرار، تقشر البشرة، تساقط الشعر، وظهور قرحات أو أوردة عنكبوتية، وقد يحدث تندب دائم.
4. تأثيرات على الأعضاء الحيوية يمكن أن تسبب الأشعة السينية التهاباً في الرئتين (التهاب رئوي إشعاعي) وتليفاً في نسيج الرئة، مما يؤدي إلى ضيق التنفس. تأثيرات على القلب تشمل التهاب التأمور وألم الصدر. التعرض المكثف للعمود الفقري قد يسبب شللاً وفقدان الإحساس.
5. التأثيرات الجينية والسرطانية الأشعة السينية قد تسبب طفرات في المادة الوراثية، مما يزيد من خطر الإصابة بالسرطانات المختلفة مثل سرطان الثدي والرئة والغدة الدرقية، خاصة مع التعرض المتكرر أو الجرعات العالية.

قد تؤدي إلى أضرار وراثية تنتقل إلى الأجيال القادمة.

يمكن أن تؤدي المعالجة الشعاعية إلى ظهور أورام سرطانية جديدة بعد سنوات من التعرض.

6. تأثيرات على الأجنة في حالة الحمل، خاصة في الشهور الأولى، يمكن للأشعة السينية أن تسبب تشوهات في الجنين بسبب تأثيرها على انقسام الخلايا ونقل المورثات.

7. الأعراض العامة المؤقتة قد يشعر بعض الأشخاص بعد التعرض للأشعة باضطرابات مثل الغثيان، الدوار، الإرهاق، وحكة الجلد، وهذه الأعراض غالباً ما تكون مؤقتة.

### 3.3 القياسات والجرعات الإشعاعية

#### 3.3.1 مفاهيم الجرعة الإشعاعية

1. التعريض (Exposure) : يرمز للتعريض بالرمز  $X$  وهو يعبر عن عدد الأيونات التي تتولد في حجم معين من الهواء عند تعرضه للأشعة السينية. يتم قياسه بوحدة كولوم لكل كيلوغرام (C/kg) حسب النظام الدولي للوحدات. هذا المفهوم يصف كمية الإشعاع المنتقلة في الهواء فقط، ولا يمثل كمية الإشعاع التي تدخل إلى جسم الإنسان أو تمتصها الأنسجة.

2. الجرعة الممتصة Dose Absorbed : يرمز للجرعة الممتصة بالرمز  $D$ ، وهي تعبر عن كمية الطاقة التي تمتصها وحدة الكتلة من المادة أو الأنسجة عند تعرضها للإشعاع. تقاس الجرعة الممتصة بوحدة الجراي (Gray, Gy)، حيث أن 1 جراي يعادل 1 جول لكل كيلوغرام من المادة. كما أن هناك وحدة تقليدية لها وهي الراد (rad)، حيث أن 1 جراي يساوي 100 راد. وتستخدم هذه الجرعة بشكل أساسي لقياس كمية الطاقة الممتصة من الأشعة السينية في الأنسجة الحية.

3. الجرعة المكافئة Dose Equivalent : ترمز للجرعة المكافئة بالرمز  $H$ ، وهي تأخذ في الاعتبار نوع الإشعاع وتأثيره البيولوجي المختلف على أنسجة الجسم. يتم حسابها باستخدام العلاقة:

$$Q \times D = H$$

حيث:  $D$  هي الجرعة الممتصة.

$Q$  هو عامل الجودة الذي يميز نوع الإشعاع، وللأشعة السينية عادة يكون  $Q = 1$ .

تقاس الجرعة المكافئة بوحدة سيفرت (Sievert, Sv)، أو بالوحدة التقليدية ريم (rem)، حيث أن 1 سيفرت يعادل 100 ريم. تعبر هذه الجرعة عن التأثير البيولوجي للجرعة الممتصة في الجسم.

#### 4. الجرعة الفعالة Dose Effective :

يرمز للجرعة الفعالة بـ  $D_{\text{effective}}$ ، وهي تجمع بين الجرعة المكافئة وحساسية الأعضاء المختلفة في الجسم للإشعاع، إذ أن كل عضوله وزن نسبي حسب أهميته وتأثره بالإشعاع. يتم حسابها باستخدام العلاقة:

$$D_{\text{effective}} = \sum (w_i \times H_i)$$

حيث:  $w_i$  هو الوزن النسبي لكل عضو.  
 $H_i$ : هي الجرعة المكافئة لذلك العضو. تُستخدم الجرعة الفعالة لتقييم المخاطر الصحية الإجمالية الناتجة عن التعرض للإشعاع على الجسم بالكامل.

### 3.3.2 أجهزة قياس الإشعاع

1. غرفة التأين **Chamber Ionization**: تعد من أهم وأدق الأجهزة المستخدمة في قياس الأشعة السينية، خاصة في المجال الطبي والصناعي.  
تتكون من حجرة مملوءة بغاز (غالباً الهواء أو غازات خاصة)، وعند مرور الأشعة السينية من خلالها تقوم بتأين جزيئات الغاز، أي تفصل الإلكترونات عن الذرات. يتم جمع هذه الإلكترونات بواسطة أقطاب كهربائية داخل الغرفة لتوليد تيار كهربائي صغير يتناسب مع شدة الإشعاع.  
هذا التيار يقيس بدقة كمية الإشعاع الممتص خلال فترة زمنية معينة، ولذلك فهي مثالية لقياس الجرعة الإشعاعية الفعلية التي يتعرض لها الإنسان أو الجهاز.

-مميزاتها:

-دقيقة جداً.

-تقيس الجرعة بشكل مباشر.

-معتمدة في المستشفيات لمعايرة أجهزة الأشعة السينية.

-تتأثر قليلاً بتغيرات الطاقة داخل المجال المحدد لها.

-عيوبها:

-تحتاج إلى صيانة ومعايرة دورية.

-حساسيتها للإشعاعات منخفضة الطاقة أقل قليلاً من بعض الأنواع الأخرى.

2. عداد جيجر-مولر **Counter Geiger-Müller** هو من أشهر وأبسط أجهزة قياس الإشعاع وأكثرها استخداماً ميدانياً للكشف عن وجود الأشعة السينية.

يعمل بنفس مبدأ التأين، حيث يحتوي على أنبوب مملوء بغاز وعندما تمر الأشعة السينية تسبب تأين هذا الغاز. لكن في هذا الجهاز، كل حدث تأين يعطي نبضة كهربائية واحدة بغض النظر عن طاقة الإشعاع، لذلك فهو لا

يقيس الطاقة بل عدد الأحداث فقط.

-مميزاته:

- بسيط وسريع في الكشف عن وجود الإشعاع.
- سهل الحمل والتنقل.
- رخيص الثمن مقارنة ببعض الأنواع الأخرى.

-عيوبه:

- لا يستطيع قياس جرعة الإشعاع بدقة كبيرة.
- لا يميز بين الأنواع المختلفة للإشعاعات.
- أداؤه في الكشف عن الأشعة السينية منخفضة الطاقة أضعف مقارنة بالكواشف الأكثر دقة.

3. الكاشف الوميضي **Detector Scintillation** يعتمد على مواد وميضية مثل كريستالات اليوديد، (NaI(Tl))

التي تضيء عند امتصاص الأشعة السينية.

يتم التقاط هذه الومضات الضوئية بواسطة أنبوب مضاعف للضوء Tube Photomultiplier الذي يحولها إلى إشارات كهربائية تقاس بدقة.

-مميزاته:

- حساس جداً للإشعاعات منخفضة وعالية الطاقة.
- يمكنه قياس طاقة الإشعاع، أي يعطي طيف طاقة الأشعة السينية.
- يستخدم في التطبيقات التي تتطلب دقة طيفية أقل من كواشف أشباه الموصلات ولكن أعلى من جيجر.

-عيوبه:

- يحتاج إلى معدات إلكترونية مصاحبة (مضخم، عداد، محلل طيفي).
- حساس للرطوبة والتلف في بعض الحالات.

4. كاشف أشباه الموصلات **HPGe - Detector Semiconductor** يستخدم مواد شبه موصلة مثل الجرمانيوم

عالي النقاوة HPGe - Germanium Purity High .

عندما تدخل الأشعة السينية إلى البلورة، تخلق أزواج من الإلكترونات والفجوات في المادة. يتم جمع هذه الأزواج وتوليد إشارة كهربائية دقيقة تعكس طاقة الإشعاع الساقط بدقة عالية جداً.

-مميزاته:

- أعلى دقة طيفية متاحة.
- يمكن تحليل طيف الأشعة السينية بالتفصيل (تحديد الخطوط الطيفية بدقة عالية).
- مفيد جداً في التطبيقات البحثية والمخبرية المعقدة.

-عيوبه:

- مرتفع التكلفة.
- يحتاج إلى التبريد الشديد (عادةً باستخدام النيتروجين السائل) للحفاظ على كفاءته.

#### 5. شارات الجرعات **Badges Dosimeter** :

هي أجهزة صغيرة تُردى لقياس الجرعة التراكمية للإشعاع التي يتعرض لها العاملون في بيئات مشعة مثل أقسام الأشعة السينية. تنقسم إلى عدة أنواع رئيسية:

#### (أ) شارة الفيلم **Badge Film** :

تعتمد على فيلم فوتوغرافي يتغير لونه حسب كمية الإشعاع.

-مميزاتها:

بسيطة ورخيصة.

-عيوبها:

تتأثر بالحرارة والرطوبة، دقتها أقل من الأنواع الحديثة.

#### (ب) الجرعة الحرارية الضوئية **Dosimeter Thermoluminescent - TLD** : تستخدم بلورات تخزن الطاقة

الإشعاعية وتطلقها عند تسخينها.

-مميزاتها:

أكثر دقة واستقراراً من الفيلم، لا تتأثر كثيراً بالظروف البيئية.

-عيوبها:

تحتاج إلى أجهزة خاصة للقراءة بعد الاستخدام.

(ج) الجرعة بالتألق الضوئي المحفز OSL - Luminescence Stimulated Optically : تعتمد على إطلاق الطاقة المخزنة باستخدام الضوء بدلاً من الحرارة.

-مميزاتها:

دقيقة جداً، يمكن قراءتها أكثر من مرة، أكثر استقراراً من TLD.

-عيوبها: أعلى نسبياً من TLD.

(د) الجرعات الإلكترونية Dosimeters Electronic :

أجهزة رقمية تعطي قراءات لحظية ومستمرة للجرعة.

-مميزاتها:

تعطي إنذار مباشر، تسجل الجرعة لحظة بلحظة.

-عيوبها:

مكلفة وتحتاج إلى صيانة.

### 3.3.3 حدود التعرض للإشعاع حسب المعايير الدولية

تُعتبر الأشعة السينية من أنواع الإشعاعات المؤينة، أي أنها تملك طاقة كافية لإحداث تغيرات في الخلايا والأنسجة البشرية، وقد تسبب أضراراً صحية إذا تجاوز التعرض لها الحدود الآمنة. لذلك، قامت منظمات دولية بوضع معايير وحدود للتعرض للإشعاع تهدف لحماية العاملين في مجال الأشعة والمرضى والعموم من المخاطر الصحية المحتملة.

1. الجهات الدولية المسؤولة عن وضع الحدود:

من أبرز الهيئات التي تحدد هذه المعايير:

\*اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP)

\*الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)

\*منظمة الصحة العالمية (WHO)

\*الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP)

هذه الهيئات تدرس نتائج الأبحاث العلمية وتحدد الجرعات المسموحة بناءً على تقييم دقيق للأخطار والفوائد.

2. حدود التعرض للعاملين المهنيين:

العاملون في مجال التصوير بالأشعة السينية مثل الأطباء، الفنيين، وأخصائي الأشعة يتعرضون لمستويات متفاوتة من الإشعاع يومياً. حسب توصيات ICRP، الحدود المسموحة لهم كالتالي:

-الجرعة الفعالة السنوية:

لا يجب أن تتجاوز 20mSv ملي سيفرت (mSv) في المتوسط على فترة 5 سنوات، بحيث لا تتجاوز 50mSv في أي سنة واحدة.

-الجرعة للأسجة الحساسة:

عدسة العين: 20mSv في السنة (تم تخفيضها مؤخراً من 150mSv بسبب حساسيتها العالية). الجلد، اليدين، والقدمين: حتى 500mSv في السنة.

هذه الحدود تأخذ بعين الاعتبار أن العاملين قد يتعرضون للإشعاع لفترات طويلة خلال مسيرتهم المهنية.

3. حدود التعرض للعامة:

الأشخاص غير المهنيين الذين قد يتعرضون للإشعاع بشكل عرضي أو خلال الفحوصات الطبية لكنهم ليسوا جزءاً من الطاقم الطبي، لهم حدود أكثر صرامة:

-الجرعة الفعالة السنوية:

لا تتجاوز 1mSv في السنة.

مع ملاحظة أن هذه الحدود لا تشمل التعرض الطبي (أي الجرعة الناتجة عن الفحص الطبي نفسه) وإنما التعرض العرضي المحيط.

-التعرض الطبي للمرضى:

في حالة المرضى الذين يخضعون لفحوصات الأشعة السينية، لا يتم وضع حد صارم للجرعة، بل يُطبق مبدأ: الجرعة تكون مبررة ومحسنة لأقصى فائدة بأقل جرعة ممكنة وهو يعتمد على:

-التبرير: (Justification)

لا يُجرى الفحص إلا إذا كانت فائدته تفوق مخاطره.

-التحسين:

استخدام أقل جرعة تحقق الهدف التشخيصي.

ويتحمل الفريق الطبي مسؤولية تحقيق هذا التوازن، مع الاعتماد على تقنيات متطورة لتقليل الجرعة.

-حالات خاصة (الحمل والحوامل):

في حالة المرأة الحامل العاملة في المجال الإشعاعي، توصي ICRP بالألا تتجاوز الجرعة الجنينية mSv طوال فترة الحمل. يجب اتخاذ احتياطات إضافية لتجنب تعريض الجنين للأشعة غير الضرورية.

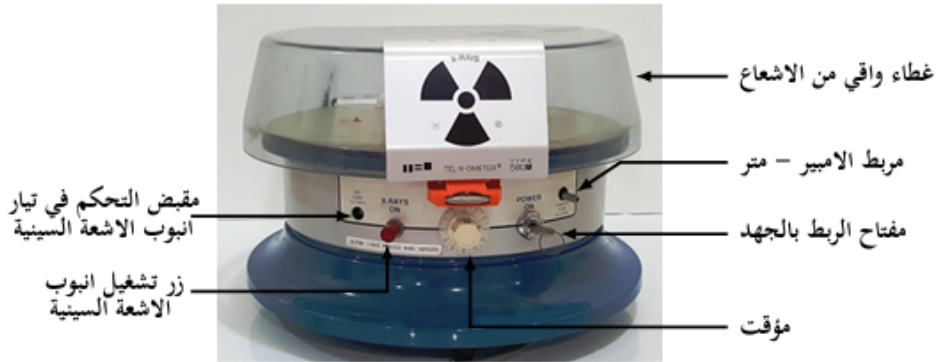
### 3.4 قياس تجريبي لمعامل امتصاص الألمنيوم لأشعة سينية ذات طاقات مختلفة

### 3.5 الأجهزة والمعدات المستعملة

#### 3.5.1 جهاز الاشعة السينية

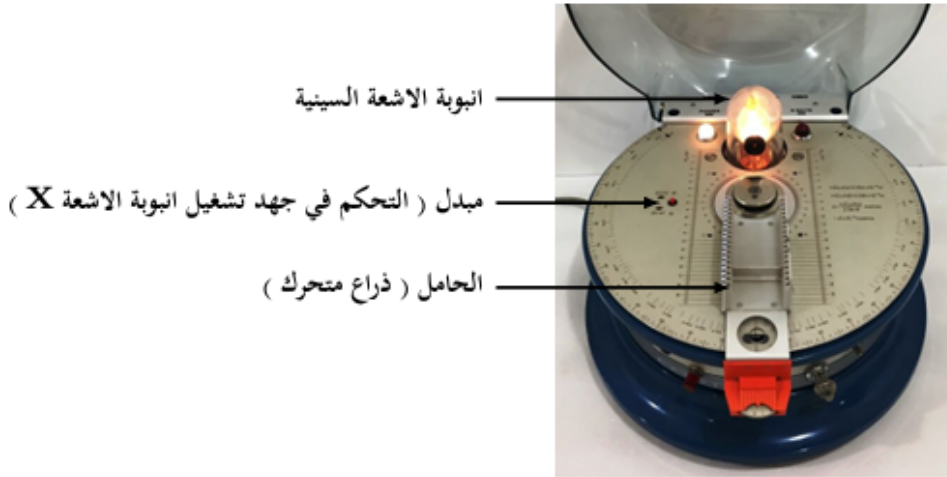
نوع المنتج: X-Ray Apparatus (230 v, 50/60 hz) 1000657

مبدأ العمل: البنية الخارجية تشمل غطاءً واقياً من الإشعاع مصنوعاً من مواد عالية الكثافة مثل الرصاص، ومرسا الأمبير لتثبيت المكونات الداخلية، ومفتاح ربط بالجهود الكهربائية لضمان التشغيل الآمن. كما يتضمن نظام تحكم في تيار أنبوب الأشعة السينية، وزر تشغيل الأنبوب، وموقت لضبط مدة التعرض للإشعاع. هذه المكونات تعمل معاً لتوفير حماية وكفاءة أثناء استخدام الجهاز. كما هو موضح في الشكل (3.1):



شكل 3.1: مقياس الأشعة السينية (البنية الخارجية).

وتتكون البنية الداخلية لمقياس الأشعة السينية من مبدل لضبط اتجاه انبعاث الأشعة، وحامل متحرك لتوجيه الأنبوب بدقة، بالإضافة إلى أنبوب الأشعة السينية الذي يحتوي على كاثود وأنود لتوليد الإشعاع. كما يشمل الجهاز نظام تبريد لمنع ارتفاع الحرارة ودوائر كهربائية لضبط الجهد والتيار، مما يضمن تشغيلاً آمناً ودقيقاً للجهاز. كما هو موضح في الشكل (3.2):



شكل 3.2: مقياس الأشعة السينية (البنية الداخلية).

### 3.5.2 مطياف الأشعة السينية

هو جهاز يحلل طيف الأشعة السينية بدقة لدراسة خصائص المواد. يعمل بواسطة كواشف خاصة (مثل أشباه الموصلات أو البلورات) لقياس شدة الأشعة عند طاقات مختلفة، فيُميز بين الطيف المستمر والخطوط المميزة للعناصر. يُستخدم في مجالات علمية وصناعية وطبية لتحليل العناصر ودراسة البلورات، ويتميز بدقته العالية وقدرته على تحليل كميات ضئيلة من المواد، رغم تكلفته المرتفعة وتعقيد تشغيله. و هو كما موضح في الشكل (3.3) :



شكل 3.3: مطياف الأشعة السينية.

### 3.5.3 مادة ماصة متعددة السمك (شراخ من الألمنيوم)

كما هو موضح في الشكل التالي :



شكل 3.4: شرائح الألمنيوم بسماك مختلف.

## خطوات العمل

1. ضبط الجهاز حسب المعطيات التالية:

### • الإعدادات الفيزيائية:

- استخدام فتحة دائرية أولية بقطر 1 mm (Primary Circular Collimator).
- توصيل الجهاز من خلال منفذ Basic Port.
- الكاشف المستخدم لقياس طاقة الأشعة السينية هو E.S.25.
- مصدر الأشعة المستخدم هو TEL-X-Ometer بطاقة 30 kV.
- تيار أنبوب الأشعة السينية مضبوط على 5  $\mu$ A.
- تم تثبيت الذراع الحاملة للكاشف بزاوية  $0^\circ$ .

### • إعدادات البرمجية:

- باستخدام برنامج (MCALab).
- نمط العرض مضبوط على التمثيل الطاقوي (Energy Representation).
- زمن العد مضبوط على 100 ثانية.
- عدد القنوات المعتمد لقراءة الطيف هو 500 قناة.

2. أدخلت مرشحات من الألمنيوم بسماكات: 0، 0.1، 0.25، 0.5، 1.0، 2.0، 2.5 mm بين الكاشف والمصدر.

3. سُجِلت شدة الإشعاع تسجيل شدة الشعاع  $I_0$  دون وضع الألمنيوم، ثم إدخال شريحة ألمنيوم بسماكة معينة وتسجيل الشدة  $I$  تكرر الخطوات مع سماكات مختلفة لنفس الطاقة، وحُفظت النتائج في ملف من نوع .mca.

4. تم تحويل البيانات إلى صيغة tsv لمعالجتها كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول 3.1: عدد النبضات عند كل سمك لطاقت مختلفة

KeV 30	KeV 25	KeV 20	KeV 15	KeV 10	(mm) Thickness Filter	(s) Time
4065	1361	426	411	306	0.0	100
14447.953	421.7739	130.4838	121.0806	90.0864	0.1	100
770.724	210.955	64.2408	45.621	30.0492	0.25	200
342.6795	111.0576	27.8604	25.7697	6.7014	0.5	300
113.82	26.6756	6.9864	4.274	1.224	1	400

5. حسب معدل العد  $N = \frac{N}{t}$  لكل مرشح، حيث  $N$  هو عدد العدات و  $t$  زمن القياس كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول 3.2: معدل العد عند كل سمك لطاقت مختلفة

I at 30 Kev	I at 25 Kev	I at 20 Kev	I at 15 Kev	I at 10 Kev	Filter Thicknes (mm)
3.54	4.15	4.3	5.1	0.12	0.0
14.47	4.21	1.3	1.21	0.9	0.1
3.85	1.05	0.32	0.225	0.15	0.25
1.14	0.37	0.09	0.0833	0.02	0.5
0.2825	0.065	0.015	0.01	0.0025	1

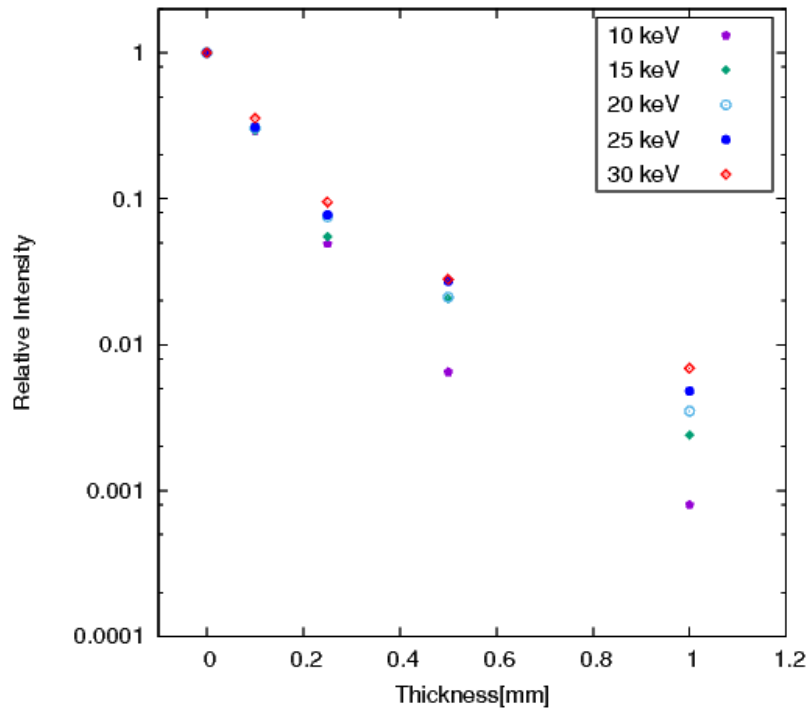
6. تم حساب النفاذية النسبية  $\frac{I}{I_0}$  بقسمة كل قيمة  $I$  على  $I_0$  قيمة عند سمك صفر، وكانت النتائج كما يوضح الجدول التالي:

جدول 3.3: النفاذية النسبية لكل سمك عند طاقات مختلفة.

Relative transmission at 30 KeV	Relative transmission at 25 KeV	Relative transmission at 20 KeV	Relative transmission at 15 KeV	Relative transmission at 10 KeV	Filter Thickness (mm)
0.3560	0.3093	0.3052	0.2944	0.2941	0.1
0.0947	0.0750	0.0750	0.0547	0.0490	0.25
0.0280	0.0272	0.0211	0.0207	0.0065	0.5
0.0069	0.0048	0.0035	0.0024	0.0008	1.0

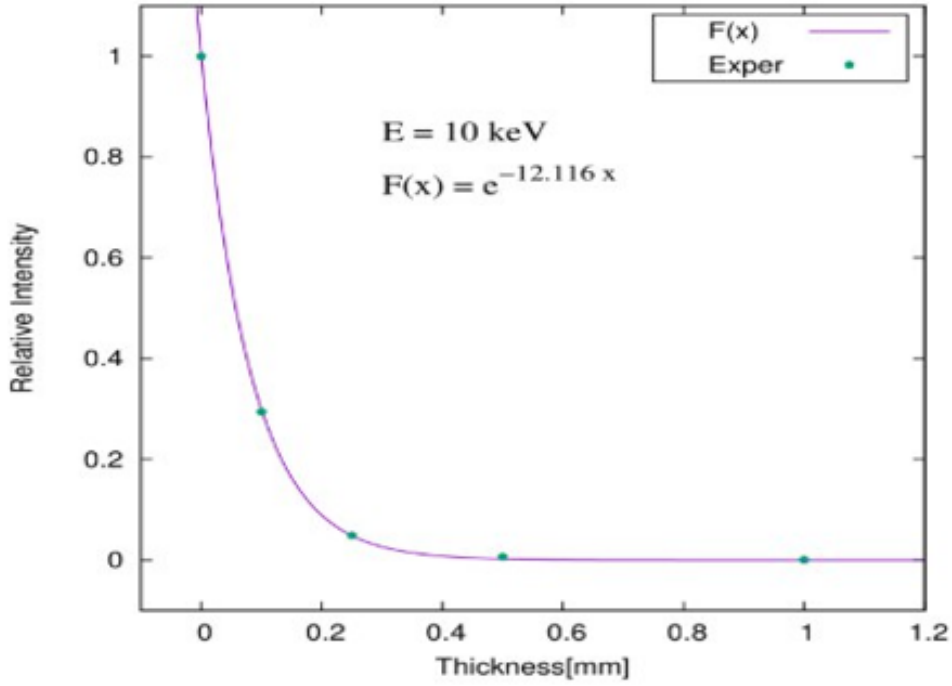
## النتائج

بالإعتماد على الجدول (3.3) تم رسم المنحنيات البيانية لنفاذية النسبية للأشعة السينية بدلالة السمك عند طاقات مختلفة بإستعمال السلم اللوغارتمي ببرمجية Gunplot كما هو موضح في الشكل التالي :

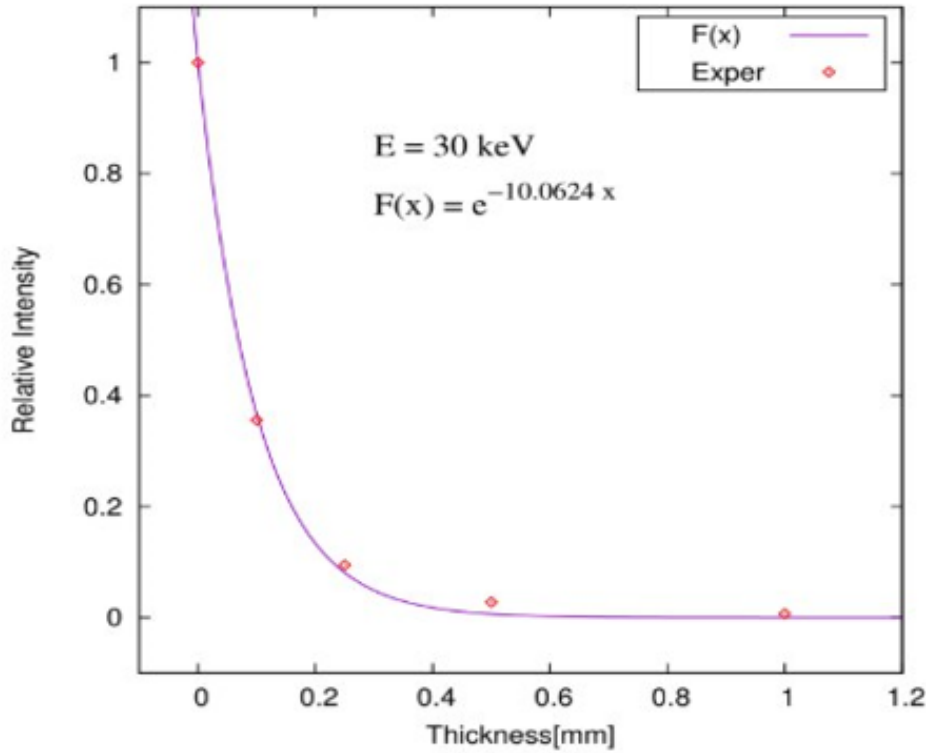


شكل 3.5: منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند طاقات مختلفة.

- تحديد قيم  $\mu$  معامل الإمتصاص الخطي لكل طاقة، من خلال عملية الموائمة fitting بإستعمال برنامج Gnuplot كما هو موضح في الشكلين (3.6) و(3.7).



شكل 3.6: منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند الطاقة 10 KeV.



شكل 3.7: منحنى النفاذية النسبية بدلالة سمك الممتص عند الطاقة 30 Kev.

## التعليق على المنحنيات

يُظهر المنحنى سلوكاً تناقصياً أسياً لشدة الإشعاع النسبي مع زيادة سماكة المرشح، وهو ما يتوافق مع العلاقة النظرية للامتصاص الخطي للأشعة السينية التي يحكمها قانون بير-لامبرت:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

من خلال المنحنى الخاص بطاقة 10 keV ، نلاحظ أن شدة الإشعاع تنخفض بسرعة مع تزايد السماكة، مما يدل على قيمة عالية لمعامل الامتصاص الخطي عند هذه الطاقة. في المقابل، عند طاقة 30 keV ، يظهر المنحنى تناقصاً أسياً أقل حدة، حيث تنخفض الشدة بشكل أبطأ مع زيادة السماكة، وهو ما يعكس انخفاض قيمة معامل الامتصاص الخطي عند الطاقة الأعلى. هذا التفاوت بين المنحنيين يؤكد العلاقة العكسية بين طاقة الفوتونات ومعامل الامتصاص، حيث تقل قدرة المادة على امتصاص الفوتونات كلما ارتفعت طاقتها. -تم تجميع معاملات الإمتصاص المتحصل عليها في جدول يلخص العلاقة بين الطاقة ومعامل الإمتصاص، كما هو موضح في الجدول (3.4).

جدول 3.4: معامل الإمتصاص لكل طاقة

	معامل الإمتصاص	الإرتياب المطلق	الإرتياب النسبي
at 10 Kev	-12.2091	+/- 0.08647	%0.7083
at 15 Kev	-12.1169	+/- 0.3567	2.944%
at 20 Kev	-11.5626	+/- 0.4761	4.118%
at 25 Kev	-11.4108	+/- 0.5433	4.761%
at 30 Kev	-10.0624	+/- 0.3883	3.858%

## تحليل النتائج:

- تبين من خلال التجربة أن شدة الإشعاع تتناقص مع زيادة سماكة المرشح (Filter Thickness)، وذلك نتيجة امتصاص المادة لأشعة X عند عبورها، وفقاً للعلاقة الأسية التي يصفها قانون بير-لامبرت.
- كلما ازدادت طاقة الأشعة السينية، قل الطول الموجي وزادت قدرة الفوتونات على اختراق المادة، مما يؤدي إلى انخفاض احتمال تفاعلها مع إلكترونات الذرات وامتصاصها.
- هناك علاقة عكسية بين معامل الامتصاص الخطي وطاقة الأشعة السينية: فكلما ارتفعت الطاقة، قل معامل الامتصاص نتيجة لانخفاض مقطع التفاعل بين الفوتونات والمادة.
- لوحظ أن معامل الامتصاص يقل بشكل ملحوظ عند الطاقات العالية، مما يؤكد أن الفوتونات ذات الطاقة المرتفعة تمتلك قدرة اختراق أكبر وتعرض لامتصاص أقل أثناء عبورها المواد المختلفة.

## الإستنتاج

من خلال هذه التجربة تم التأكد أن معامل الامتصاص الخطي للألمنيوم يتناقص بزيادة طاقة الأشعة السينية، وهو ما يتطابق مع المبادئ الفيزيائية لتفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة، وبخاصة في نطاق طاقات أشعة X المستخدمة. يمكن استغلال هذه النتائج عملياً في حساب وتصميم سمكات الحماية المناسبة في التطبيقات الطبية والصناعية، حيث تساعد معرفة سلوك معامل الامتصاص في اختيار مواد الوقاية المناسبة لكل مجال طاقي.

هذا الاستنتاج له تطبيق مباشر في مجال الحماية من الإشعاع، لأن المواد تُختار ك واقٍ إشعاعي بناءً على:

- معامل الامتصاص الخطي  $\mu$ .

- الطاقة المستعملة للأشعة.

- السماكة المطلوبة لحجب كمية معينة من الأشعة.

وحساب السماكة اللازمة لحماية فعالة، نستعمل علاقة السماكة النصفية (Half-Value Layer - HVL):

$$HvL = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

أي أن:

•  $HvL$  هي السماكة التي تقلل شدة الإشعاع إلى النصف.

• كلما كان  $\mu$  أكبر، كانت المادة أكثر قدرة على الحماية، وكانت  $HvL$  أقل.

وفي الأخير الألمنيوم يعتبر واقياً جيداً من الأشعة السينية حيث :

- في الطاقات المنخفضة أقل من 30 KEV : الألمنيوم يمكن أن يوفر حماية نسبية لأنه لديه  $\mu$  عالي نسبياً.
- في الطاقات المتوسطة والعالية أكثر من 60 Kev : يصبح الألمنيوم غير فعال كواقٍ، لأن  $\mu$  يصبح ضعيف، وتُستخدم مواد ذات عدد ذري أكبر مثل الرصاص (Pb).

## 3.6 الوقاية من الإشعاع

### 3.6.1 مبادئ الحماية من الأشعة السينية

تشكل الأشعة السينية خطراً على صحة الإنسان عند التعرض لها بشكل غير منضبط، لذلك تعتمد الحماية الإشعاعية على عدة مبادئ أساسية لضمان السلامة وتقليل المخاطر. وفيما يلي شرح مفصل لكل مبدأ:

#### 1. تقليل زمن التعرض: (Time)

كلما قلّ زمن التعرض للأشعة، قلت الجرعة الإشعاعية الممتصة في الجسم. لهذا يجب على العاملين التقليل من زمن التعرض قدر الإمكان دون التأثير على جودة الصورة أو نتيجة الفحص. يتم ذلك عبر ضبط الأجهزة بشكل دقيق، وتجهيز كل شيء قبل بدء التصوير لتجنب التكرار أو التأخير.

#### 2. زيادة المسافة عن مصدر الإشعاع: (Distance)

تتناقص شدة الأشعة كلما زادت المسافة من مصدرها حسب قانون التربيع العكسي. لذلك، يجب على العاملين الابتعاد عن مصدر الأشعة عند التشغيل، واستخدام أدوات التحكم عن بعد أو التواجد في غرف مراقبة محمية لتقليل الجرعة الممتصة.

#### 3. استخدام الحواجز والدرع الواقية: (Shielding)

تُستخدم مواد واقية مثل الرصاص لتقليل كمية الإشعاع التي تصل إلى الجسم. وتشمل هذه الوسائل:

- دروع واقية رصاصية.
- الواقيات الدرقية.
- الحواجز الثابتة أو المتحركة.
- أبواب وأسطح الغرف المبطنة بالرصاص. تُعطى هذه الوسائل أهمية خاصة في حماية الأعضاء الحساسة والعاملين في المجال.

#### 4. المراقبة المستمرة: (Monitoring)

من المهم إجراء مراقبة مستمرة لقياس الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها العاملون مع الفحوصات الدورية للأجهزة للتأكد من سلامتها وعدم تسرب الإشعاع منها. تساعد هذه المراقبة في اكتشاف أي تجاوز للحدود المسموحة واتخاذ الإجراءات التصحيحية اللازمة.

#### 5. التدريب والتأهيل (Training) and (Qualification)

يُعد التأهيل العلمي والتدريب المستمر للعاملين من أساسيات الحماية الإشعاعية. يجب أن يتلقى جميع العاملين دورات تدريبية متخصصة تتضمن:

- أساسيات الإشعاع وطرق انتشاره.
- مبادئ الحماية وطرق الوقاية.
- الإجراءات الطارئة في حال وقوع حوادث إشعاعية. التدريب المستمر يضمن الحفاظ على مستوى عالٍ من الوعي والكفاءة المهنية.
- مبدأ ALARA أقل جرعة ممكنة بشكل معقول:

يقوم هذا المبدأ على بذل أقصى جهد ممكن لتقليل الجرعة الإشعاعية مع الحفاظ على جودة التشخيص أو العلاج. ويجمع هذا المبدأ بين جميع النقاط السابقة، ليضمن الاستخدام الآمن والمناسب للأشعة السينية بما يحقق الفائدة الطبية مع أدنى مستوى من المخاطر.

### 3.6.2 المواد المستعملة في الحماية من الأشعة السينية

#### 1. الرصاص: (Pb)

يُعد الرصاص من أكثر المواد استخداماً في الحماية من الأشعة السينية بسبب كثافته العالية وعدده الذري الكبير، ما يجعله فعالاً جداً في امتصاص الأشعة ومنع نفاذها. لذلك يُستخدم في صناعة السترات الواقية، الحوائط المبطنة في غرف الأشعة، الستائر الواقية، وكذلك في النوافذ الخاصة المزودة بزجاج مرصص بالرصاص.

#### 2. التنغستن: (W)

يتميز التنغستن بكثافة عالية جداً وعدد ذري كبير، مما يجعله فعالاً للغاية في امتصاص الأشعة السينية وحتى الأشعة ذات الطاقة العالية مثل أشعة غاما. يُستخدم التنغستن في بعض الأجهزة الطبية كمادة حاجزة، وكذلك في صناعة حواجز الحماية في المعدات الإشعاعية، وأحياناً في تصنيع أنابيب الأشعة السينية نفسها كهدف لأنبوب الأشعة بفضل تحمله العالي للحرارة.

### 3. الخرسانة:

تُستخدم الخرسانة في بناء جدران غرف التصوير بالأشعة السينية. ويمكن تعزيز فعاليتها بإضافة مواد مثل الباريوم أو الحديد لجعلها أكثر قدرة على امتصاص الأشعة خاصة في المراكز الطبية والمستشفيات حيث تتطلب الحماية مستويات أعلى.

### 4. الباريوم (Ba):

يُستخدم الباريوم بشكل أساسي على شكل كبريتات الباريوم في خلطات الحماية، حيث يضاف إلى الخرسانة أو الدهانات الواقية لزيادة فعاليتها في امتصاص الأشعة بفضل عدده الذري العالي. كما يُستعمل في الفحوص الطبية كعامل تباين في التصوير الإشعاعي للجهاز الهضمي.

### 5. الزجاج المرصص بالرصاص:

يتيح هذا النوع من الزجاج رؤية داخل غرف الأشعة مع توفير حماية فعالة ضد تسرب الأشعة السينية. يُستخدم في النوافذ الفاصلة بين غرف الفحص وغرف المراقبة، ويُصنع من مزيج من الزجاج والرصاص لتوفير كل من الشفافية والحماية.

6. البولي فينيل كلورايد المدعم بالرصاص (PVC) يستخدم هذا النوع من المواد في صناعة الستائر الواقية والسترات الخفيفة التي يرتديها العاملون في أقسام الأشعة. يجمع بين مرونة البوليمر والقدرة العالية للرصاص على امتصاص الأشعة مما يوفر حماية مناسبة مع راحة في الاستخدام.

## 3.6.3 تدابير السلامة في المجالات الطبية والصناعية

### 1. تدابير السلامة في المجال الطبي:

تبدأ إجراءات السلامة من الأشعة السينية في المجال الطبي بتطبيق مبدأ التبرير، والذي ينص على ضرورة إجراء الفحوص الإشعاعية فقط عندما تكون الفوائد المرجوة تفوق المخاطر المحتملة على المريض. وبذلك يتم تجنب التصوير غير الضروري أو المتكرر الذي قد يزيد من الجرعة الإشعاعية دون مبرر طبي واضح. يأتي بعد ذلك مبدأ التقنين أو ما يعرف بمبدأ "خفض الجرعة إلى أدنى حد ممكن بشكل معقول"، (ALARA)

حيث يتم ضبط جميع معايير الجهاز كالفولتية، وشدة التيار، وزمن التعرض وفقاً لحالة كل مريض، مع الحفاظ على جودة الصورة المطلوبة لتشخيص دقيق. هذا يضمن تقليل كمية الإشعاع التي يتعرض لها المريض دون التأثير سلباً على فعالية التشخيص.

تعتبر وسائل الحماية الشخصية جزءاً أساسياً من نظام الأمان، حيث يتم استخدام الدروع الواقية مثل الدروع الرصاصية، وواقيات الغدة الدرقية، والنظارات الواقية أثناء التصوير، كما يتم اتخاذ احتياطات خاصة لحماية النساء الحوامل، مثل تأجيل التصوير أو تعديل بروتوكول الفحص وفق الحاجة. بالنسبة للعاملين، يتم الالتزام بمبدأ المسافة الآمنة مع الاستعانة بالحواجز الرصاصية أو الزجاجية التي تحجب الأشعة عنهم أثناء التشغيل. من الضروري أيضاً متابعة مستويات التعرض الإشعاعي بصفة دورية، وذلك من خلال استخدام شارات قياس الجرعات (Dosimeters) التي تتيح مراقبة كمية الإشعاع التي تعرض لها العاملون. كما تخضع الأجهزة المستخدمة لصيانة دورية وفحوص جودة دورية لضمان كفاءتها ومنع أي تسرب إشعاعي قد يحدث نتيجة أعطال أو أقدمية المعدات. ويكتمل نظام الحماية من خلال تدريب الطاقم الطبي تدريباً علمياً دقيقاً على أسس الوقاية من الإشعاع. يتم ذلك من خلال برامج تدريبية مستمرة تشمل تعليم أحدث تقنيات التشغيل الآمن للأجهزة وطرق الحد من الجرعات الإشعاعية مع الحفاظ على جودة التشخيص الطبي.

## 2. تدابير السلامة في المجال الصناعي:

تبدأ إجراءات السلامة من الأشعة السينية في المجال الصناعي بوضع خطة تقييم مخاطر شاملة قبل البدء في أي نشاط إشعاعي، مع الحصول على التراخيص اللازمة من الجهات التنظيمية المختصة، وذلك لضمان الالتزام بالمعايير الوطنية والدولية الخاصة بالسلامة الإشعاعية.

تشكل الحماية الهندسية خط الدفاع الأول ضد مخاطر الإشعاع الصناعي، حيث يتم تصميم أجهزة التصوير الصناعي وأنظمة العمل بحيث تحصر الإشعاع داخل أنظمة مغلقة أو باستخدام حواجز واقية تمنع تسرب الأشعة خارج المناطق المحددة. كما يتم تزويد الأجهزة بأنظمة أمان متقدمة تشمل أنظمة إيقاف الطوارئ وأجهزة الإنذار للكشف المبكر عن أي خلل أو تسرب محتمل.

إضافة إلى ذلك، يُلزم جميع العاملين بارتداء معدات الحماية الشخصية المناسبة، كالمرابيل الرصاصية، والنظارات الواقية، والقفازات الخاصة، فضلاً عن تقليل زمن التعرض قدر الإمكان والابتعاد عن مصادر الإشعاع خلال التشغيل الروتيني للأجهزة.

وتُراقب مستويات الإشعاع بشكل مستمر من خلال تركيب أجهزة مراقبة ثابتة في أماكن العمل، إلى جانب استخدام أجهزة قياس الجرعات الشخصية لكل عامل، مما يسمح برصد أي تجاوز لمستويات الأمان المقررة والتدخل السريع عند الضرورة.

كما يتم إعداد خطط طوارئ مفصلة توضح إجراءات التعامل مع الحوادث الإشعاعية المحتملة مثل تسرب الأشعة أو تعرض غير متعمد للعاملين، ويتم تدريب جميع الأفراد العاملين على تنفيذ هذه الخطط بكفاءة عالية لضمان حماية الجميع في حالات الطوارئ.

## ملخص

الأشعة السينية هي إشعاع كهرومغناطيسي يتميز بخصائص فيزيائية فريدة، مثل القدرة على اختراق المواد وامتصاصها بدرجات متفاوتة حسب الكثافة والعدد الذري. تُنتج عادة باستخدام أنبوب كوليديج وتستخدم بشكل واسع في دراسة البلورات عبر تقنيات الحيود بالأشعة السينية (XRD). تشمل تطبيقاتها التصوير الطبي كالتصوير الشعاعي والمقطعي، وعلاج الأورام، إضافة إلى مجالات صناعية مثل الفحص غير المتلف ومراقبة الجودة، وفي الأمن لتفتيش الأمتعة. من الناحية الفيزيائية، تتفاعل الأشعة السينية مع المادة عبر الامتصاص والتشتت، خاصة من خلال التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون، حيث يعتمد التفاعل على الطاقة، الطول الموجي، والكثافة. تُعد الجرعة الإشعاعية عاملاً حاسماً لسلامة الاستخدام، مما يستدعي تقنيات دقيقة للوقاية من الإشعاع. وقد أُجريت دراسة تجريبية لقياس معامل الامتصاص الخطي لعنصر الألمنيوم عند تغير طاقة الأشعة السينية، بهدف تقييم فعاليته كحاجز واقٍ إشعاعي.

**كلمات مفتاحية:** الأشعة السينية، أنبوب كوليديج، التفاعل مع المادة، الامتصاص الخطي، تأثير كومبتون، التأثير الكهروضوئي، التصوير الطبي، الحيود، XRD، الجرعة الإشعاعية، الوقاية من الإشعاع، الألمنيوم، الطول الموجي، الطاقة.

## Abstract

X-rays are a form of electromagnetic radiation characterized by unique physical properties, such as the ability to penetrate and be absorbed by materials to varying degrees depending on their density and atomic number. They are commonly produced using a Coolidge tube and widely employed in crystal analysis through X-ray diffraction (XRD) techniques. Their applications include medical imaging—such as radiography and computed tomography—as well as radiation therapy. Industrial uses involve non-destructive testing and quality control, while in security, X-rays are used for luggage inspection. Physically, X-rays interact with matter through absorption and scattering, particularly via the photoelectric effect and Compton effect, with the interaction influenced by factors like energy, wavelength, and material density. Radiation dose is a critical aspect for safe usage, necessitating precise radiation protection techniques. An experimental study was conducted to measure the linear attenuation coefficient of aluminum as a function of X-ray energy, aiming to evaluate its effectiveness as a radiation shielding material.

**Keywords:** X-rays, Coolidge tube, interaction with matter, linear attenuation, Compton effect, photoelectric effect, medical imaging, diffraction, XRD, radiation dose, radiation protection, aluminum, wavelength, energy.

## جدول الإختصارات<sup>1</sup>

CCD	جهاز اقتران الشحنة
EDS	التحليل الطيفي بالأشعة السينية المشتت للطاقة
WDS	التحليل الطيفي بالأشعة السينية المشتت للطول الموجي
CT	التصوير المقطعي المحوسب
NDT	الفحص غير الإتلافي
XRD	حيود الأشعة السينية
XRF	فلورية الأشعة السينية

## المصادر

- [1] F. K. Richtmyer and E. H. Kennard. *Introduction to Modern Physics (International Series in Physics)*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, .1942
- [2] M. Arumugam. *Essentials of Modern Physics*. S. Chand Publishing, New Delhi, .2005
- [3] R. M. Eisberg. *Fundamentals of Modern Physics*. John Wiley & Sons, New York, .1961
- [4] H. Semat and J. R. Albright. *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*. Holt, Rinehart and Winston, New York, .1972
- [5] R. A. Serway, C. J. Moses, and C. A. Moyer. *Modern Physics*. Thomson Learning, 3 edition, .2005
- [6] A. Beiser. *Concepts of Modern Physics*. McGraw-Hill, 6 edition, .2003
- [7] B. E. Warren. *X-Ray Dffraction*. Dover Publications, New York, .1969
- [8] N. A. Dyson. *X-Rays in Atomic and Nuclear Physics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2 edition, .1990
- [9] 1994. جدة، العزيز، عبد الملك جامعة منشورات. والجزئية الذرية الفيزياء أدرّب. محمد بّطان،
- [10] 1994. جدة، العزيز، عبد الملك جامعة منشورات. الحديثة الفيزياء في محاضرات أحمد. محمد الجلاّلي،
- [11] E. B. Podgorsak. *Radiation Physics for Medical Physicists*. Springer, Berlin, Heidelberg, .2010
- [12] J. I. Pfeffer and S. Nir. *Modern Physics: An Introductory Text*. Imperial College Press, .2001
- [13] R. H. Halmshaw. *X-ray Inspection: Theory and Practice*. No further publication info provided.

- [14] University of Anbar. الإشعاعية. والوقاية المؤنَّ الإشعاع حول أساسية معلومات <https://www.uoanbar.edu.iq/eStoreImages/Bank>. Accessed June ,13 ,2025
- [15] NASA Chandra X-ray Center. Chandra x-ray observatory: Education and public outreach. <https://chandra.harvard.edu>. Accessed June ,13 ,2025
- [16] Scitek Instruments. *TEL-X-Ometer User Manual (Version (0.1*. Accessed June ,13 ,2025
- [17] Noor Book. 2. والمخاطر الفوائد السينية: الأشعة متولي. محمد صالح د.
- [18] 2024. آمن؟، الإجراء هذا وهل الطبية السينية الأشعة استخدامات أندلسية. مستشفيات
- [19] 2024. وتطبيقاتها، السينية الأشعة أجهزة أنواع. Perlove Medical.
- [20] B. D. Cullity and S. R. Stock. *Elements of X-ray Dffraction*. Prentice Hall, 3 edition, ,2001
- [21] XraysSecurity.com. 5030g-6-2 security screening equipment.
- [22] H. R. Verma. *Atomic and Nuclear Analytical Methods: X-ray Fluorescence (XRF) and Particle-Induced X-ray Emission (PIXE)*. Springer, ,2007
- [23] NASA. Black holes. <https://science.nasa.gov/universe/black-holes/>. Accessed ,2025
- [24] Encyclopaedia Britannica. Black hole. <https://www.britannica.com/science/black-hole>. Accessed ,2025
- [25] IAEA. الإشعاعية. والجرعات الإشعاع مجال في العمل تعليمات [https://inis.iaea.org/collection/\\_Public](https://inis.iaea.org/collection/_Public).
- [26] V. Thirion-Merle. Spectrométrie de fluorescence x, archéométrie et archéologie.
- [27] J.-L. Basdevant and J. Dalibard. *Mécanique quantique*. ,2002 Cours de l'École Polytechnique, février ,2002 pp. ,18-17
- [28] Pasco Scientfic. *Electron Charge-to-Mass Ratio Model SE-9629: Instruction Manual -012* (14265A.
- [29] UFR Faculté des Sciences. Travaux pratiques de licence l3 – mécanique quantique ii.
- [30] B. Cagnac and J. Pebay-Peyroula. *Physique atomique 1*. Number 8 TPI. Dunod, ,1971
-

- [31] J. Dohm. *TEL-X-Ometer X-Ray System Manual*. Rev. ,0.1 edited by S. Starling, February ,26 ,2014
- [32] University of Anbar. الإشعاعية. الجرعات قياس وحدات <https://www.uoanbar.edu.iq>.
- [33] International Atomic Energy Agency (IAEA). وأمان الإشعاعية المصادر الإشعاعات: من الوقاية معايرها. <https://www-pub.iaea.org/publications/PDF>.
- [34] International Commission on Radiological Protection. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures (publication (113 [arabic translation], [https://www.icrp.org/docs/P113\\_Arabic.pdf?utm\\_source=perplexity](https://www.icrp.org/docs/P113_Arabic.pdf?utm_source=perplexity).
- [35] Jean-Louis Basdevant and Jean Dalibard. *Mécanique quantique*. ,2002 Cours de l'École Polytechnique, février ,2002 pp. ,18-17
- [36] Pasco Scientific. *Electron Charge-to-Mass Ratio Model SE-9629: Instruction Manual*. n.d.
- [37] UFR Faculté des Sciences. Travaux pratiques de licence l3 – mécanique quantique ii. n.d.
- [38] Bernard Cagnac and Jean Pebay-Peyroula. *Physique atomique 1*. Number No. 8 TPI. Dunod, ,1971
- [39] J. Dohm. *TEL-X-Ometer X-Ray System Manual*, February ,2014