

الفصل التاسع

9. الأشعة السينية

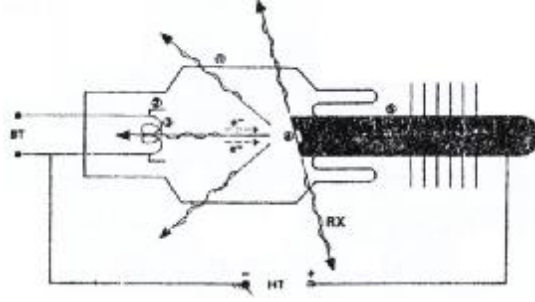
خواصها - تطبيقاتها

اكتشف العالم رونتجن الأشعة السينية عام 1885 وكان ذلك مصادفة عندما كان يجري تجاربه على أنابيب كروكس المخلاة من الهواء. الأشعة السينية هي أمواج كهرومغناطيسية قصيرة الطول الموجي وتتراوح قيمتها بين (0.01-200Å) تقريباً وهي تحتل موقعاً متوسطاً تقريباً بين الأشعة النووية وبين الأشعة فوق البنفسجية أما آلية الحصول عليها فهو نتيجة الكبح الفجائي للإلكترونات تخترق بسرعة ذرات معادن ثقيلة وتصل قريبة الطبقة المركزية في هذه الذرات تلك الإلكترونات تنشأ في أنبوب مفرغ من الهواء ونجعل بين المصعد والمهبط فرق كمون عالي يتراوح بين (10-150 KV)، وذلك عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف الموجب المثبت عليه بلورة ذات تركيب معدني محدد.

عند انطلاق الإلكترونات من المسرى السالب تكون سرعتها الابتدائية مساوية للصفر حتى تصل المسرى الموجب (الهدف) فتصبح سرعتها (U) أما طاقتها الحركية فتعطى بالعلاقة:

$$E_k = 1/2.mU^2$$

تساوي الطاقة الحركية E_k الطاقة الكهربائية التي قيمتها $E_v = 1/2.mU^2$ حيث e هي شحنة الإلكترون و V فرق الكمون بين المسريين الموجب والسالب، الشكل (9-1) يمثل رسماً توضيحياً لجهاز توليد الأشعة السينية.



الشكل (1-9). تمثيل تخطيطي للأنبوب المولد للأشعة السينية (من نمط كوليديج)

تتركب الأشعة السينية من أمواج كهرومغناطيسية إذن هي لا تتأثر بالحقول الكهربائية ولا حتى المغناطيسية ويكون انتشارها وفق خطوط مستقيمة وبما أنها تمتلك طاقة كبيرة فهذا يعني أن قدرتها على تأيين الغازات الموجود بمحيطها، وبذلك يتحول الوسط العازل الذي تجتازه أشعة X إلى ناقل ويدوم هذا لمفعول بدوام الأشعة وينتهي بانتهائها.

هنالك بعض المواد التي تمتص الأشعة السينية محولة إياها إلى ضوء مرئي وتسمى ظاهرة تغير الطول الموجي بظاهرة التآلق وبذلك نستطيع الكشف عن الأشعة السينية بإسقاطها على أحد مركبات الزنك -ككبريتات الزنك مثلاً- تلك المادة تتألق باللون الأخضر هذا يعني أن المادة تحول الطول الموجي القصير إلى مرئي فور سقوط الأشعة السينية عليه.

تعمل الأشعة السينية بطريقتين مختلفتين إحداها عن طريق الانعكاس للأشعة السينية وهنا يحدث لدينا أهداب تداخل تفيدنا في التعرف على طبيعة البلورة والطريقة الأخرى تسمى طريقة الفلورة للأشعة السينية. وبهذه الطريقة نتعرف على التركيب المعدني للمواد المختلفة.

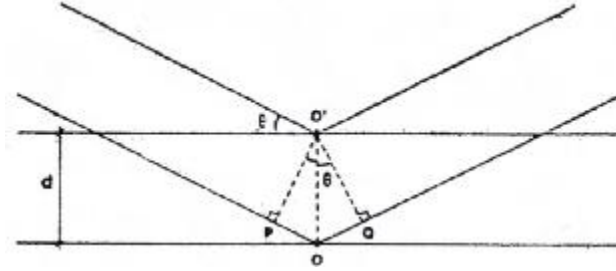
1.9. أهذاب التداخل للأشعة السينية

تعطينا تلك الطريقة فكرة عن طبيعة السطح الذي تعرض للأشعة السينية بطريقة الانعكاس ونستفيد من هذه الطريقة في تحديد الشروخ التي تحدث في جناح طائرة مثلاً أو في جسم سد يحتجز كمية من المياه أو بالتعرف على طبيعة بلورة معدنية أو شبكة عضوية مثلاً ويجب أن نذكر هنا أن أطباء الأسنان يستفيدون من هذه الطريقة في تحديد تسوس الأسنان والأضراس وتوضع الخراجات. نستخدم لهذه الطريقة قانون براغ ونستفيد بحدوث الانعكاسات المختلفة للأشعة الساقطة في الحصول على صورة تداخلية. يعطي قانون براغ بالعلاقة:

$$2d \sin q = n l$$

حيث n تمثل عدد صحيح. $n=1,2,3$

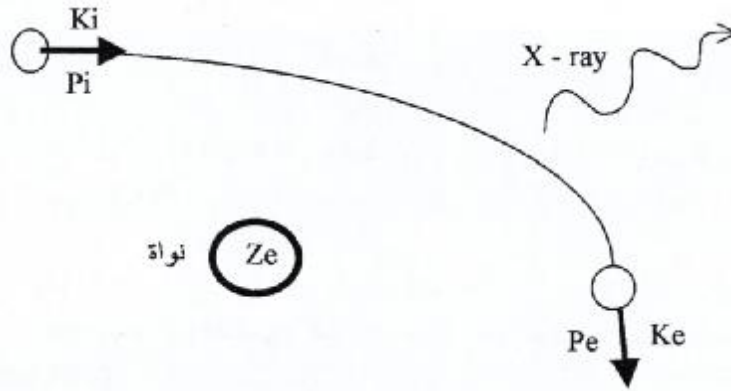
أما الحد $2d \sin q$ فهو يمثل فرق المسير بين شعاعين منعكسين ولكي يحدث تداخل بينهما يجب أن يساوي عدداً صحيحاً من أطوال الموجة وتكون صورة التداخل الحاصلة هي التي تعطينا فكرة عن البلورة المدروسة وفق الشكل (2-9)



الشكل (2-9). مسير الأشعة وفق براغ

2.9. الطيف المستمر

ونقصد بهذا الطيف ما يحصل من عملية كبح للإلكترون عندما يدخل مجال المدارات المختلفة الداخلية في الذرة فمن المعروف أن الإلكترونات التي تدخل الذرات الثقيلة تكون مسرّعة بفرق كمون عالٍ جداً يمكن هذا الإلكترون من اجتياز عدة طبقات إلكترونية، وكلما كانت طاقته أكبر كلما استطاع النفوذ إلى جهة الطبقة المركزية - فإذا علمنا أن الإلكترون المهاجم جسم مادي يحمل شحنة سالبة وكذلك الإلكترونات التي تدور حول النواة في ذرات الهدف (*Target*) هذا يؤثر بعملية كبح للإلكترون المهاجم وتكون هذه العملية مصاحبة بنشر أمواج ذات أطوال قصيرة (الأشعة السينية) وعديدة الأطوال أي لا تكون أحادية الطول الموجي وتلك هي الأمواج التي تشكل الخلفية لصورة الأشعة السينية وقلنا إنها تختلف بأطوالها من ($0.01-200 \text{ \AA}$) تقريباً وذلك كما يبين الشكل (3-9).



الشكل (3-9). يبين طريق تشكل الطيف المستمر

إن فرق الطاقة بين K_i و K_f هو طاقة الفوتون للأشعة السينية الصادرة

$$K_i - K_f = hu$$

وتلك هي طريقة بريمستر الونج (*Bremstrahlung*) التي تقول إنه يمكن للإلكترون الواحد أن يصدر عدة فوتونات مختلفة في طاقاتها قبل أن يفنى. هناك في صورة طيف الأشعة السينية أيضاً خطوط شديدة السواد يمكن أن تفسر على أنها طاقة إلكترون افتقدها مرة واحدة فأعطت خطأً وحيد اللون ويدعى هذا الطول الموجي بالأقصر طولاً لأنه كان قبل أن يفقد طاقته الأكثر تسارعاً والأكثر عنفاً في التباطؤ بشكل تتحول فيه كل طاقته الحركية إلى طاقة إشعاعية لذلك نستطيع أن نكتب بخصوص هذا العدد القليل من الإلكترونات:

$$1/2.m.U^2 = eV \quad (1-9)$$

حيث U السرعة العظمى للإلكترون

و u_0 التواتر الأعظمي

$$1/2.m.U^2 = hv_0 = \frac{hc}{I_0} \quad (2-9)$$

نجد من العلاقتين (1-9) (2-9) $eV = \frac{c.h}{I_0}$

$$I_0 = \frac{c.h}{eV} \quad (3-9)$$

c = سرعة الضوء، h = ثابتة بلانك، e = شحنة الإلكترون، u = فرق

الكمون المسرع ، بالتعويض في الثابت تصبح العلاقة (3-9):

$$I_0 (A) = \frac{12350}{v (volt)}$$

أما طول الموجة السينية التي تستخدم طبياً ونرمز لها Im = وهي

ترتبط بالطول الموجي الأقصر بالعلاقة:

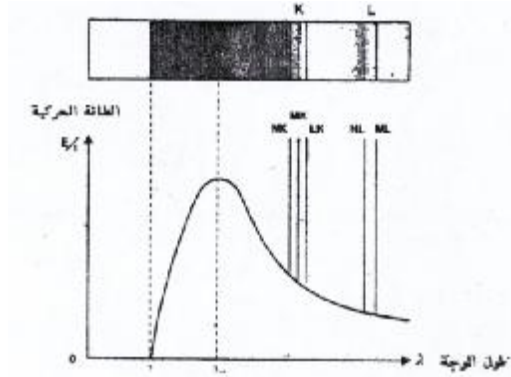
$$Im = 1.5I_0 \quad (4-9)$$

وهكذا يمكننا معرفة الطول الموجي الصادر عن أنبوب رونتجن إذا عرف فرق

كمون التغذية (V).

3.9. الطيف المميز

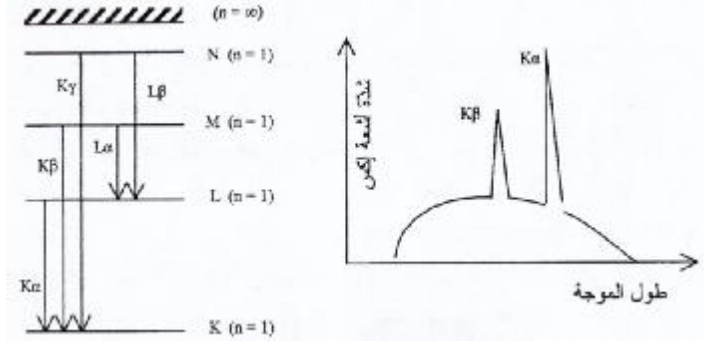
يدعى طيف الفلورة المميز إذ من خلال هذا الطيف نستطيع تحديد التركيب المعدني للمادة المدروسة. أما آلية توليد هذا الطيف فهو أن يكتسب إلكترون مهبطي (الإلكترون المسرع) سرعة كافية يستطيع بها طرد إلكترون من طبقة داخلية (عميقة) لذرة ثقيلة موجودة عند المصعد وتستعيد هذه الذرة المهيجة استقرارها من أحد الكترونها الموجودة في الطبقة ما قبل العميقة، كأن يكون الإلكترون أتى من الطبقة L أو M إلى الطبقة K كما في الشكل (4-9).



الشكل (4-9). المجال الطيفي وانتقالات M و L

إن التوقف المفاجئ للإلكترون محيطي عند طبقة عميقة يكون سبباً لإصدار فوتون ذي طول موجي مميز لهذه الفقرة من أجل مادة محددة للمصعد. الانتقالات إلى الطبقة $n=1$ أي الطبقة K : إذا كان الإلكترون قادماً من الطبقة L إلى الطبقة K فيسمى خطه الطيفي أو طوله الموجي K_α أما من الطبقة M إلى الطبقة K فيسمى K_β ومن الطبقة N إلى K فنسمى خطه K_γ . الانتقالات إلى الطبقة $n=2$ أي الطبقة L : يمكن أن تحدث انتقالات مشابهة إلى الطبقة (L) كما حدثت إلى الطبقة K ، أي هنالك انتقالات إلكترونية من الطبقة M إلى L وعندها يسمى L_α . أما من الطبقة N إلى L فيسمى الانتقال L_β [في الشكل

(5-9) بينما الخطوط المميزة K و L من الطبقات الإلكترونية التي تنطلق منها وإلى الطبقات الإلكترونية التي تصل إليها.



الشكل (5-9). أشعة رونتجن وانتقالات L_{β} و L_{α}

9.4 امتصاص الأشعة السينية

يعطى امتصاص الأشعة السينية لشعاع وحيد الطول الموجي I يجتاز مسافة x من المادة وذلك حسب العلاقة:

$$I = I_0 \times e^{-mx}$$

حيث I و I_0 تمثل شدتي الشعاع الوحيد الطول الموجي الوارد والنافذ بأخذ اللوغاريتم الطبيعي للطرفين:

$$\ln I = \ln I_0 - mx \ln e$$

$$m = \frac{\ln I_0 - \ln I}{x}$$

حيث μ تمثل معامل الامتصاص الخطي الكلي.

إن معامل الامتصاص الخطي الكلي للأشعة السينية يمكن أن يقسم إلى أجزاء مختلفة درست سابقاً ومنها معامل امتصاص تومسون-رايلي، وفيه يحدث تشتت في طول الموجة الواردة على سطح المادة، يسمى هذا المعامل بمعامل امتصاص رايلي، ويرمز له بالحد s/r حيث r تمثل الكتلة الحجمية

للمادة الممتصة للأشعة X .

امتصاص كومبتون: هذا المعامل يتعلق بمفعول كومبتون الذي يلخص على أنه: اقتراب فوتون الأشعة السينية ذي الطول الموجي من إلكترون في المادة الممتصة الذي يبدأ بالاهتزاز نتيجة امتصاصه لطاقة الفوتون وينتج فوتوناً جديداً يختلف في طول موجته عن فوتون الأشعة السينية الساقطة، وهو ذو طاقة أدنى وطول موجته $0 < l$ وله اتجاه جديد يختلف عن اتجاه فوتون (X) الوارد وهذا المعامل يسمى معامل فعل كومبتون الجزئي للامتصاص:

امتصاص الفلورة s^2 / r وفي هذا المفعول ينفذ فوتون أشعة (X) إلى طبقة عميقة وبفعل طاقته المرتفعة يستطيع طرد إلكترون من الطبقة المركزية لتعويضه بإلكترون من الطبقة المحيطة تلك القفزة تكون مصاحبة بإشعاع فوتون عالي الطاقة ولكن تبقى طاقته أدنى من طاقة الفوتون المهاجم أي فوتون (X).
تتمة للمفعول السابق يحدث أن يلتقي فوتون الفلورة أثناء اجتيازه للطبقات المحيطة للذرة إلكترونات آخر يمتص طاقته مولداً تأثيراً فوتوكهربياً ثانوياً ويسمى هذا بمفعول أوجيه ويرمز لهذا المفعول بـ $\pi\rho$.

ويبقى المفعول الأقوى بامتصاص الأشعة السينية هو مفعول التحول $\frac{t}{r}$ وهو تطبيق لعلاقة أينشتاين التي تنص على أن $E=mc^2$ ونتيجة حدوث هذا المفعول يتولد لدينا إلكترون سالب إلى جانب إلكترون موجب (بوزيترون) أما طريقة حدوثه فهي أن يصدم فوتون ذو طاقة عالية نواة ذرة المادة المهيجة - يتحرر عن هذا القادم طاقة عالية من مرتبة 1.22 ميغا إلكترون فولط فإذا علمنا أن الطاقة تكافئ المادة (نظرية أينشتاين) فهذا يعني أن تلك الطاقة يمكن أن تتحول إلى إلكترون وبوزيترون.

5.9 . قانون موزلي

في عام 1913، لاحظ موزلي أن تواترات الفلورة للانتقالات الحاصلة إلى الطبقة K وإلى الطبقة ما يمكن أن تعطى بالعلاقة:

$$u^{\frac{1}{2}} = A (Z - Z_0)$$

حيث Z هو العدد الذري للمادة التي تشكل الهدف (*Target*) أما Z_0 فهو ثابت يتبع قيمة الانتقالات الإلكترونية الملاحظة والمدروسة. فمن أجل جملة التواترات المرافقة للانتقالات الحادثة للطبقة K تكون قيمة $Z_0=1$ أما من أجل تواترات الانتقال إلى الطبقة L فتكون قيمة $Z_0=7.4$ أما قيمة الثابتة A فهي تختلف أيضاً حسب الانتقال الإلكتروني بحيث تكون مساوية:

$$A_{K_a} = \left(\frac{3}{4} CR_0 \right)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{3}{4} (3 \times 10^8 \text{ m/s}) (1.094 \times 10^7 \text{ l/m}) \right]^{\frac{1}{2}} = 4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}}$$

وكذلك:

$$A_{L_a} = \left(\frac{5}{36} CR \right)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{5}{36} (3 \times 10^8 \text{ m/s}) (1.094 \times 10^7 \text{ l/m}) \right]^{\frac{1}{2}} = 2.14 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}}$$

تطبيق (1): يعمل الأنبوب المهبطي لجهاز تلفزيون بفرق كمون قدره (20 kV) ككمون تسريع للإلكترونات، ما هي الطاقة العظمى للأشعة السينية المتولدة عن هذا الأنبوب.

الحل: إن الطاقة التي يتمتع بها الإلكترون في هذا الأنبوب تساوي:

$$E_p = eV = 20 \text{ KeV}$$

أما طول الموجة للأشعة السينية فتساوي:

$$l = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{h\nu} = \frac{12.4 \text{ KeV} \cdot \text{Å}}{20 \text{ KeV}} = 0.62 \text{ Å}$$

تطبيق (2): أوجد طول الموجة الناتجة عن خط الانتقال، K_α ، وذلك بالنسبة للعنصر $Z=42$ (الموليبدينوم)

$$\text{الحل: من قانون موزلي } u^{\frac{1}{2}} = A (Z - Z_0)$$

$$\text{نجد: } u^{\frac{1}{2}} = A (Z - 1) = (4.97 \times 10^7)(42 - 1) = 2.04 \times 10^9 \text{ Hz}^{1/2}$$

$$I = \frac{C}{u} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.04 \times 10^9 \text{ Hz}^{1/2}} = 0.721 \times 10^{-10} = 0.721 \text{ \AA}$$

أما الرقم التجريبي فيساوي 0.709.

تطبيق (3): عند القياس التجريبي للخط K_α من أجل عناصر مختلفة توصلنا إلى القيم التالية:

$$Fe: 1.66 \text{ \AA}, CO: 1.79 \text{ \AA}$$

$$Ni: 1.66 \text{ \AA}, Cu: 1.54 \text{ \AA}$$

- أوجد العدد الذري لكل عنصر من العناصر السابقة.

الحل: من قانون موزلي نجد:

$$u^{\frac{1}{2}} = (4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{1/2})(Z - 1)$$

أو نكتب:

$$Z = 1 + \frac{u^{\frac{1}{2}}}{4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{1/2}}$$

وبتعويض التواتر بقية $u = C / I$

$$Z = 1 + \frac{C^{\frac{1}{2}}}{I^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{1}{4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{1/2}} \right) = 1 + \frac{34.85}{I^{\frac{1}{2}}}$$

في الجدول التالي أدرجنا قيم Z للعناصر المختلفة

Z	$I (A^\circ)$	العنصر
$26.02 \approx 26$	1.94	الحديد (Fe)
$27.04 \approx 27$	1.79	الكوبالت (CO)
$28.04 \approx 28$	1.66	النيكل (Ni)
$29.08 \approx 29$	1.54	النحاس (Cu)

تطبيق (4): احسب القيمة الثابتة A في قانون موزلي وذلك من أجل الانتقال K_α والاستفادة من علاقة بور.

الحل: باستخدام علاقة بور:

$$\frac{1}{I} = \frac{u}{C} = R_\infty Z \times \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

أو

$$u^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \right] CR_\infty Z^*$$

حيث R_∞ يمثل ثابتة ريد برغ و n_e و n_f يمثلان أرقام الطبقتين الإلكترونية النهائية والبدائية Z^* يمثل الشحنة الموجبة المؤثرة على الإلكترونات. من أجل الانتقالات K_α و L_α يكون لدينا على التوالي: $n_e=3$ و $n_f=2$ وكذلك $n_e=2$ و $n_f=1$ بالتعويض نجد:

$$u_{K_\alpha}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) CR \right\}^{\frac{1}{2}} Z^* = \left(\frac{3}{4} CR \right)^{\frac{1}{2}} Z^* = \left(4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}} \right) Z^*$$

$$u_{L_\alpha}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) CR \right\}^{\frac{1}{2}} Z^* = \left(\frac{5}{36} CR \right)^{\frac{1}{2}} Z^* = \left(2.14 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}} \right) Z^*$$

من العلاقتين السابقتين نجد أن:

$$A_{L_{\infty}} = 2.14 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}}, \quad A_{K_{\infty}} = \left(4.97 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}} \right) Z^*$$

أما قيمة Z^* فيمكن استبدالها بالقيمة: $Z^* = Z - 1$ وبالتالي نصل إلى العلاقة:

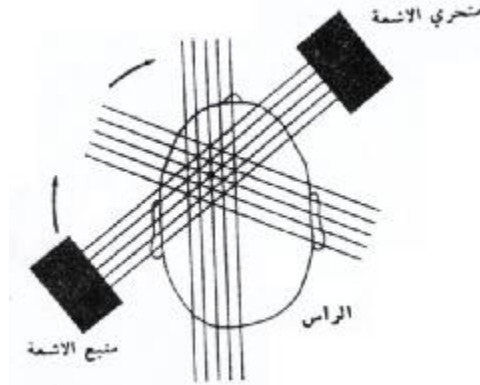
$$u_{K_z}^{\frac{1}{2}} = \left(4.978 \times 10^7 \text{ Hz}^{\frac{1}{2}} \right) (Z - 1)$$

6.9 . تطبيقات الأشعة السينية

يمكن الاستفادة من الأشعة السينية في تصوير العظام والكسور المختلفة التي قد تحدث بها، إذ يُعتمد على امتصاص هذه الأشعة في مختلف النسيج الحية ومن أجل تصوير الجمجمة عند الإنسان مثلاً نمرر حزمة من فوتونات الأشعة السينية عبر الجمجمة لتسقط بعدها على فلم حساس تظهر فيه شفافية النسيج المختلفة وفق علاقة تناسب عكسي مرتبطة بدرجة امتصاص هذه الأنسجة للأشعة السينية، أما المعلومات التي يقدمها هذا النوع من الصور فهي محدودة لأنه يصعب علينا تحديد المادتين البيضاء والسنجابية لأنهما لا تختلفان إلا قليلاً في درجة امتصاص الأشعة السينية، كذلك الأمر فإن عظام الجمجمة التي تمتص كميات كبيرة من الإشعاع تبدو فاتحة اللون في هذه الصور أما الأنسجة التي يتراكم فيها الكالسيوم مع تقدم العمر كالغدة الصنوبرية فإنها تمتص الإشعاع بشدة ويمكننا تحديد مكانها في الصور الدماغية البسيطة حيث تتوضع على الخط المتوسط الظهري للدماغ ولهذا فإنها تستخدم باعتبارها علاقة لبيان التناظر الدماغى الطبقي وذلك لأن الآفات الدماغية كالأورام والنزوف يمكن أن تزيح الغدة الصنوبرية عن موقعها على الخط المتوسط في الدماغ.

7.9 .التصوير الطبقي المحوري

التقنية الجديدة في هذه الطريقة هي أن نقوم بتصوير محيط العضو المراد تصويره وبذلك تحدد بدقة تركيب الأورام المختلفة وتوضعها إن كانت موجودة. الشرط هنا في وضوح الصورة أن لا يتحرك المريض الذي يمكن أن نخدره تخديراً عاماً في بعض الحالات. يبين الشكل (9-6) كيفية تصوير الدماغ مع مكان المرسل والمستقبل للأشعة السينية مهما يدوران حول الجسم بزواوية مقدارها 180° أو 360° . أما مستقبل الأشعة فهو لاقط إلكتروني شديد الحساسية لفوتونات الأشعة السينية يدور مع المنبع بحيث يبقى مقابلاً له في أثناء دورانه وبهذه الطريقة يتم تصوير المنطقة المدروسة بعدد كبير من الإسقاطات التي تدخل جميع نتائجها إلى الحاسوب، وبالتالي نحصل على سلسلة من القراءات تصل إلى حوالي 100 قراءة. وهكذا نرى أن مبدأ الجهاز يقوم على إرسال حزم ضيقة من الأشعة السينية التي تخترق الجسم المراد تصويره مما يؤدي إلى امتصاص هذه الحزمة في الأجزاء المختلفة وبالتالي تتناقص شدتها بشكل يتناسب وقدرة الأنسجة على اختراقها وتقاس شدة الحزم النافذة بواسطة حاسوب يقوم بمعالجة الصور وإظهارها.



الشكل (9-6). ويظهر فيه رسم تخطيطي لطريقة التصوير بالأشعة الطبقيّة المحورية