# 02 مطيافية الاشعة السينية (Spectroscopie des rayons X)

**تمهيد**

**1- تعريف الاشعة السينية (les raoun X)**

**2- أنتاج الأشعة السينية**

**3- طرق التحليل بالأشعة السينية.**

**4- استخدام الأشعة السينية في علم البلورات**

**5- تقنية التحليل اليفي باستخدام الاشعة السينية الفلورة (XRF):**

**6- استخدام الأشعة السينية في التصوير الاشعاعي la radiographie**

**تمهيد:**

مطيافية الاشعة السينية هو مصطلح عام لعدة تقنيات طيفية لتوصيف المواد بالستخدام الاشعة السيينية. تعتمد في مبدائها على كشف و قياس الفوتونات، او جسيمات الضو، التي لها اطوال موجية في نطاق الاشعة السينية من الطيف الكهرومغناطيسي. تستخدم لمساعدة العلماء على فهم خصائص العناصر الكيميائية لاي جسم.

اكتشفها العالم الألماني وليام رونتجن عام 1896 في جامعة فورتسبورغ، ونال عنها جائزة نوبل في الفيزياء في عام 1901. لاحظ ان هناك اشعاعات قوية تخترق المواد تنبعث عند تصادم الكترونات سريعة على هدف من مادة معدنية ثقيلة، ولعدم معرفته بطبيعتها و خواصها و سبب انبعاثها فقد اسماها الاشعة السينية (المجهولة) (X-Ray).

إن الهدف من هذا الفصل دراسة مطيافية الأشعة السينية عن طريق دراسة خصائصها،طريقة انتاجها و فهم الطرق التجريبية المستخدمة في انعراجها، و معرفة أهم تطبيقاتها والميادين المستخدمة فيها هذه التطبيقات.

## 1 تعريف الاشعة السينية (les Rayons X)

الأشعة السينية (أشعة أكس )هي نوع من أنواع الموجات الكهرومغناطيسية وهي مشابهه للضوء ولكن ذات تردد أقصر حيث تنتقل بخطوط مستقيمة منبعثة من مصدرها و لا تنحرف عن اتجاهها عند مرورها خلال المجالات المغناطيسية و الكهربائية و لذلك فهي ليست دقائق مشحونة بالكهرباء.

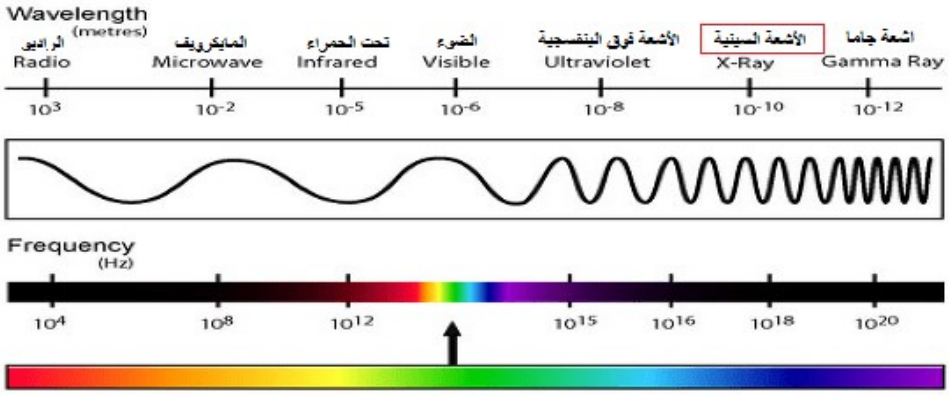
تعتبر الأشعة السينية مع أشعة جاما أشعة مؤينة وهذا هو سبب القلق من مخاطر الأشعة السينية، على عكس الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء وحتى موجات الراديو فهي تعتبر غير مؤينة. تتميز بطول الموجة من 10 إلى 0.01 نانومتر أي أن طاقة أشعتها بين 120 إلكترون فولت (eV) و 120 ألف إلكترون فولت (keV). وتتعين طاقة الأشعة السينية طبقا لطولها الموجي من العلاقة :

$$E = h\nu$$

حيث: E: طاقة الفوتون $\nu$: تواتر الموجة $h$: ثابت بلانك

$$\nu = C/\lambda$$

$C$: سرعة الضوء. $\lambda$: الطول الموجي.




**الشكل 1: الطيف الكهرومغناطيسي**

## 2- أنتاج الأشعة السينية

في الظاهرة الكهروضوئية كان سقوط فوتون على سطح معدن يؤدي الى تحرير الكترون و لكن في عملية انتاج اشعة اكس يحدث العكس حيث ان جزء من طاقة حركة الالكترون تتحول الى فوتون هو الاشعة اكس. وبهذا فإن عملية انتاج اشعة اكس عكس الظاهرة الكهروضوئية.
يتم تكوين وصنع أشعة أكس داخل **أنبوبة الأشعة X-ray tube.**

### 1.2- مكونات أنبوبة الأشعة:

✓ **أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء:** توجد بداخله جميع أجزاء أنبوبة الأشعة الداخلية الأخرى ويمنع من وجود أي هواء داخل أنبوبة الأشعة فهذا سيؤثر على إنتاج الأشعة السينية.

#### i. المهبط أو الكاثود Cathode

وظيفته هي إنتاج الإلكترونات التي سيتحول جزء منها لاحقاً إلى أشعة سينية. الكاثود هو سالب الشحنة. يتكون الكاثود من جزئين رئيسيين:
*الأول هو الفتيلة filament*. عندما يتعرض الكاثود إلى فرق جهد تسخن الفتيلة وتولد الإلكترونات وتنطلق بسرعة عالية نحو الأنود. وفرق الجهد هو الطاقة الازمة لجعل الإلكترونات تتحرك من القطب السالب إلى القطب الموجب. عادة يكون فرق الجهد في الأشعة التشخيصية مابين 20 إلى 150 كيلوفولت kv. وكلما زاد فرق الجهد زادت كمية الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة.
*الجزء الثاني هو الموجه* ودوره فقط توجيه الإلكترونات نحو الأنود

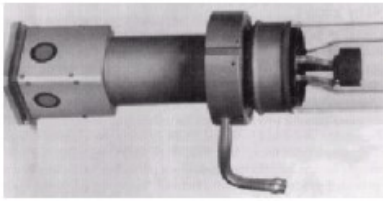
#### ii. المصعد أو الأنود Anode ( الهدف)

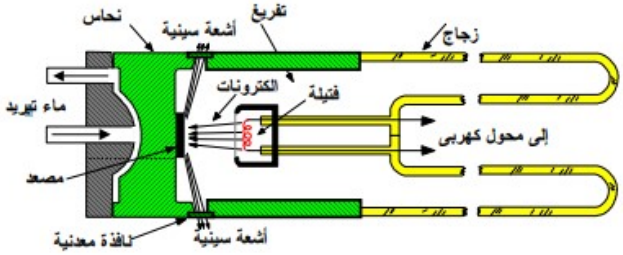
هذا هو الجزء الذي ينتج الأشعة السينية. وهو يتكون من مادة فلزية (التنجستن Tungsten.) تصطدم الإلكترونات القادمة من الكاثود بمعدن الهدف في الأنود مما يولد الأشعة السينية التي تنبعث منه لتخرج من فتحة جانبية (نافذة) عبارة عن غشاء رقيق من معدن. الأنود هو موجب الشحنة. ويتكون من جزئين:

*الجزء الأول هو الهدف الفلزي* وظيفته تحويل الإلكترونات القادمة بسرعة عالية جداً من الكاثود إلى أشعة سينية. اذ ان الإلكترونات القادمة من الكاثود تتوجه نحو الهدف بسرعة عالية وتكتسب طاقة حركية. عندما تصطدم يحدث توقف مفاجئ للإلكترونات وتتحول الطاقة الحركية إلى نوعين آخرين من الطاقة هما أشعة سينية

وطاقة حرارية. (99 % طاقة حرارية و1 % لتوليد أشعة) يجب أن يصنع المصعد من معدن له درجة انصهار عالية ويجب أن يكون ذو كتله كبيرة لإطالة عمر التشغيل وزيادة الفعالية.

*<u>الجزء الثاني هو القاعدة النحاسية</u>* مزودة بنظام تبريد ولديه القدرة على امتصاص الطاقة الحرارية من المعدن الفلزي. يتم تبريد المصعد بواسطة دائرة تبريد (مائية) للتخلص من الحرارة المتولدة الزائدة. يكون فرق الجهد بين المهبط والمصعد كبيرا ويتراوح بين 1 و 50 كيلو فولت (وأحيانا أكثر من ذلك).






**الشكل 2: صورة ومخطط توضيحي يوضح مكونات أنبوبة الأشعة الداخلية لإنتاج الأشعة السينية**

### 2. 2- خصائص طيف الأشعة السينية

عند دراسة حزمة من الأشعة السينية الصادرة من الهدف ما الى مكوناتها من الاطوال الموجية المختلفة وجد أنها تتكون من طيف متصل (يحتوى على جميع الأطوال الموجية للأشعة السينية) وطيف خطى (عبارة عن فوتونات ذات أطوال موجية محددة). تتغير شدة الأشعة المتولدة للطيف المتصل مع الطول الموجى للفوتونات، كما هو مبين بالشكل 3 .

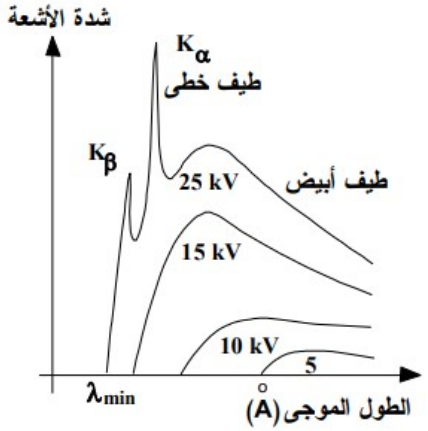
- ✓ **<u>الطيف الخطى (المتقطع):</u>** هو طيف مميز لذرات مادة الهدف المستخدم في توليد الأشعة (أي يختلف باختلاف مادة الهدف).

ينتج الطيف الخطي اذا اصطدم الالكترون بأحد الكترونات القريبة من النواة في مادة الهدف. حيث يكتسب هذا الاخير كمية كبيرة من الطاقة، فيقفز الى مستوى طاقة اخر من احد المستويات الخارجية ذات الطاقة الاعلى. و يظهر فرق الطاقة على شكل اشعاع موجي محدد و يلاحظ ان:

- الطول الموجي للأشعة المميزة لا تتوقف على فرق الجهد المستخدم و لكن يتوقف على نوع العنصر فكلما زاد العدد الذري للمادة الهدف نقص الطول الموجي للإشعاع المميز.
- عند فروق الجهد المنخفضة قد لا تظهر الاشعة المميزة.
- يمكن حساب الطول الموجي للاشعة السينية او الشديدة من العلاقة: $E\Delta = h\,C/\lambda$

- ✓ **<u>الطيف المتصل. (المستمر):</u>** يشار إليه بالطيف الأبيض (أو طيف الفرملة) وينتج نتيجة تناقص سرعة الكترونات ذرات مادة الهدف فتقل طاقتها نتيجة التصادم و التشتت، و تصدر اشعاعات كهرومغناطيسية بناءا على نظرية ماكسويل-هرتز و تنبعث هذه الطاقة المفقودة في شكل فوتونات أشعة سينية. لذلك يسمى هذا الاشعاع الاشعاع المستمر او المتصل او اشعة الكبح

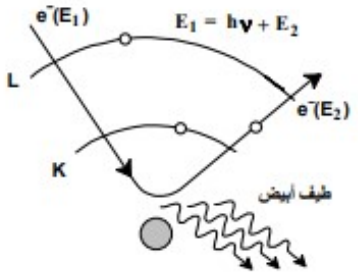
الفرق بين طاقة الالكترونات الاصلية و طاقتها بعد مرورها في مادة الهدف يظهلر على شكل اشعاع كهرومناطيسي يحتوي على جميع الاظوال الموجية الممكنة لان الالكترونات تفقد ظاقتها على دفعات و بدرجات متقاربة.




**الشكل 3: اعتماد طيف الأشعة السينية لهدف من المولبديوم (Mo) على فرق الجهد المطبق بين المصعد و المهبط**

بفرض أن طاقة حركة الكترون قبل التصادم $E_1$ وبعد التصادم تصبح $E_2$ نتيجة انطلاق فوتون طاقته $h\upsilon$ تعطى بالعلاقة:

$$E_1 - E_2 = h\upsilon$$




**الشكل 4: منشاء الطيف المستمر (الابيض)**

**2 .3- تفسير ظاهرة الطيف الخطى**

بخصوص تفسير الطيف الخطى فقد كان العالم كوسيل ( Kossel. W) أول من اقترح تفسيرا لمنشئه طبقا لنظرية بوهر للمستويات الإلكترونية عام 1920 .تفترض هذه النظرية أن الإلكترونات تترتب في مدارات K ، L، M، N طبقا للعدد الكمي الرئيسي1 =n ، 2 ، 3 ، 4، ...الخ.
تتنبأ هذه النظرية بأن فروق الطاقة بين المدارات المتتالية تتزايد مع تناقص العدد n وأن انتقال الإلكترون من المدار n= 2 إلى المدار n= 1 يصاحبه انطلاق إشعاع قوى (فوتون ذات طول موجي قصير)، كما هو مبين بالشكل 5.

عند تصادم الالكترون المعجل بالإلكترون مداري للذرة(قريب من النوات) يكتسب الطاقة الازمة لتحريره من مداره ليترك فراغا بالمدار و عندها يتحرك الكترون من مدار ذات مستوى طاقة اعلى ($E_i$) لملئ الفراغ في المدار الادنى طاقته ($E_f$).

يصاحب انتقال الالكترون من المدار ذات طاقة الاعلى ($E_i$) الى الادنى ($E_f$) انبعاث فوتون طاقته $E\Delta$:

$$E\Delta = E_f - E_i = h\upsilon = h\,C/\lambda$$

(في حدود الطول الموجي للأشعة السينية)

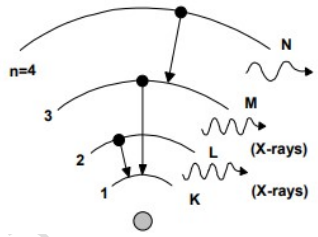
$$\because E_n\,(eV) = -\frac{13.6}{n^2}\,Z^2$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) Z^2$$

كمثال لذلك العدد الذري Z $\longrightarrow Z = 42 \quad \rightarrow \lambda_{2\rightarrow 1} = 0.069\ nm$

عند انتقال الكترون من المدار الثاني *L* الى المدار الاول *k* فانه يعطي الطيف الخطي المميز $k_\alpha$ و عند الانتقال الكترون من المدار الثالث *M* الى المدار الاول *k* انه يعطي الطيف الخطي $k_\beta$ وعلى ذلك فان طول موجة ($k_\beta$) اصغر من طول موجة ($k_\alpha$) . حسب الشكل 5.

وحيث ان هذه الخطوط تعتمد على العدد الذرى Z، فان كل عنصر له طول موجة خاص به عند تلك الخطوط المميزة.

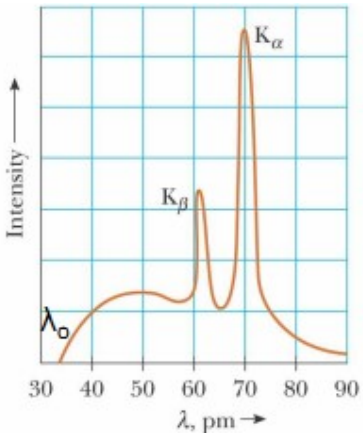



**الشكل 5: اشعة سينية متولدة بواسطة انتقالات الالكترونات بين المدارات الداخلية**

ووجد تجريبيا ان:

$$\frac{1}{\lambda_\alpha} = \frac{3}{4} R\,(Z_{eff})^2$$

$$Z_{eff} = Z - 1 \longrightarrow \text{العدد الذري الفعال}$$




**الشكل 6: موجة ($k_\beta$) اصغر و موجة ($k_\alpha$) لطيف الخطي لاشعة سينية**

## 3- طرق التحليل بالأشعة السينية

تُستخدم التقنيات القائمة على قياس طيف الأشعة السينية كأدوات تحليلية لتوصيف الأنواع المختلفة من المواد و تستخدم في العديد من تخصصات العلوم و التكنولوجيا، بما في ذلك علم الاثار و علم الفلك و الهندسة و الصحة. يمكن استخدام هذه الطرق بشكل مستقل او معا لإنشاء صورة اكثر اكتمالا للمواد او الاجسام التي تكون قيد التحليل. وتعتمد عموما طرق التحليل بالأشعة السينية على احدى المبادئ التالية:

- ✓ **امتصاص الأشعة السنية**: حيث ان تركيز المادة يتناسب مع طاقة الأشعة السينية الممتصة الناتجة من انتزاع الالكتروني من مداره.
- ✓ **انبعاث الأشعة السنية**: وفيها يتم قياس للأشعة السينية المنبعثة عن قصف النموذج.
- ✓ **الاستشعاع بالأشعة السينية ( الفلورة )**:عندما نسلط الاشعة السينية على البلورة، فانها تفقد الكترونات، والالكترون الاعلى ينزل ويرسل اشعاعات، هذه الاشعاعات تكون متفلورة، هذه الظاهرة العشوائية تستخدم في تحليل العناصر و التحليل الكيميائي خاصة في اكتشاف المواد و الزجاج و السيراميك و في ابحاث الجيوكيمياء و الابحاث المتقدمة و علم الاثار. تعد مطيافية الاستشعاع بالأشعة السينية أوسع استخداما في التحليل الكمي.

## 4. استخدام الأشعة السينية في علم البلورات

تستخدم تقنية الاشعة السينية لمعرفة طبيعة التركيب البلوري و الاطوار البلورية الرئيسية و معلومات اخرى تخص بنية المادة. ولقد تطور العمل بهذا المجال بشكل واسع و كبير لمعرفة التركيب الذري حتى ازدادت طرق استخدام الاشعة السينية في اكثر من مجال. حدد العالم الفيزيائي لوي( ) خلال 1962 انطلاقا من شبكية بلورية طول موجة الاشعاعات . وبالتالي اصبح من الممكن القيام بالحالة العكسية اي تحديد المسافة بين الذرات بواسطة هذه الاشعة.

### 1.4. مبداء انعراج الاشعة السينية X :

تعتبر هذه الطريقة حديثة حيث تعتمد اساسا على تعريض العينة ( متعددة البلورات) الى اشعة سينية احادية الطول الموجي، جزء من هذه الحزمة ينعكس عن طريق المستويات الذرية البلورية وبشدات مختلفة ، و هذا تبعا لتوجيه المستويات وعددها، في الواقع الموجات المنعكسة من نفس العائلة تتداخل مع بعضها تداخل بناء ثم تقاس بالكاشف.

قمم الحيود للاشعة السينية تنتج من التداخلات البناءة لحزمة الاشعة السينية احادية الطول الموجي المنعكسة عند زوايا محددة من مجموعة من المستويات البلورية ، للمادة معينة. يتم تسجيل شدة الاشعة المنعكسة بدلالة زاوية الانحراف 2θ لشعاع يستند مبداء هذه الطريقة بقانون براغ

### 2.4. قانون براغ

تمكن براغ من فرض نموذج بسيط للتركيب البلوري يمكن بواسطة معرفة اتجاه حيود الأشعة السينية من البلورة بعد سقوطها عليها، وفي هذا النموذج افترض براغ ان المستويات المختلفة التي تتكون من ذرات البلورة يمكن ان تعكس الأشعة السينية ويبين الشكل التالي الطريقة التي استنتج بها براغ قانونه:

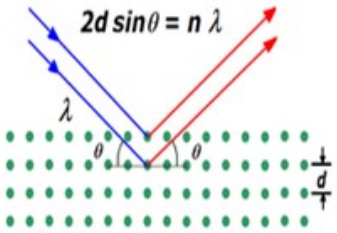
$$2\,d\sin\theta = n\,\lambda$$

حيث θ :زاوية سقوط الأشعة (الانحراج)

λ :الطول الموجي للأشعة

n :رتبة الانحراج

d: المسافة البينية لمجموعة المستويات (hkl)

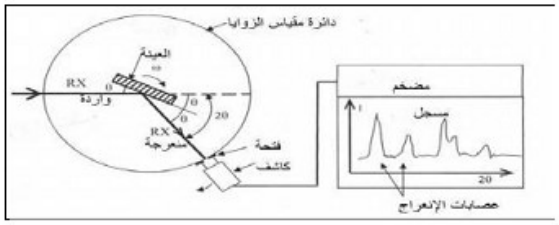



**الشكل 6: انعراج الاشعة السينية في المستويات الذرية**

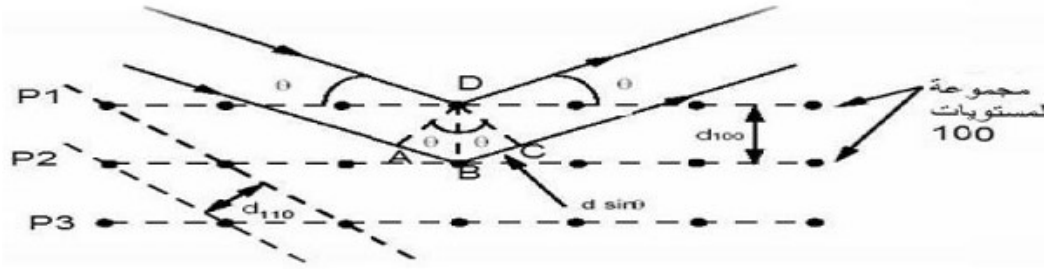
يشترط أن يكون الطول الموجي $\lambda \leq 2\,d$ لحدوث انعكاسات براغ ويفيد تطبيق معادلة براغ في إيجاد أبعاد خلية الوحدة للشبكة البلورية.

و انعكاس براغ يحدث فقط عندما يكون الطول الموجي في المعادلة المستخدم للحصول على انعكاس للمستوي له احداثيات (hkl) اصغر او مساوية لضعف المسافة البينية بين مستويين بلوريين متعاقبين كما هو موضح في الشكل ()، ولهذا السبب لا يمكن استخدام الضوء المرئي لدراسة البينية البلورية أي ان براغ للانعكاس هو:

$$\lambda \leq 2d_{hkl}$$




شكل 7):رسم تخطيطي يوضح آلية انعراج الأشعة السينية

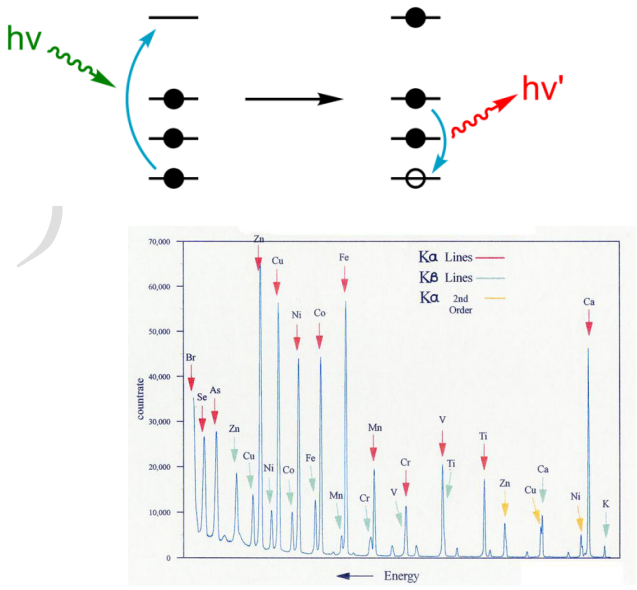



شكل 8):رسم توضيحي لقانون براغ يوضح المسافة بين مستويين متعاقبين

## 5. تقنية التحليل اليفي باستخدام الاشعة السينية الفلورة (XRF):

فلورية الأشعة السينية يرمز لها XRF من (X-ray fluorescence ) هي إصدار تلقائي ومميّز للأشعة السينية الثانوية (أو الفلورية (من المادة، وذلك عند تعريضها لمصدر مرتفع الطاقة يؤدي إلى التهييج أو الإثارة، مثل أشعة سينية مرتفعة الطاقة، أو أشعة غاما .
تستخدم هذه التقنية التحليلية من أجل تحليل العناصر بشكل خاص أو في المجالات المختلفة في التحليل الكيميائيمثل تحليل الفلزات ومواد البناء، أو في مجالات الجيوكيمياء وعلم الأدلة الجنائية وعلم الآثار.

**المبداء:**
عند خضوع المادة إلى الأشعة مرتفعة الطاقة ذات الأطوال الموجية القصيرة، تتعرض الإلكترونات الداخلية للتهيج، وتقفز إلى المدارات الخارجية بعد التغلب على الحاجز الطاقي الذي يربطها بالنواة .نتيجة لذلك يصبح التشكيل الإلكتروني لذرات المادة غير مستقراً، بحيث تقوم إلكترونات الغلاف الخارجي بتغطية النقص والعودة إلى المدارات الداخلية لملء المكان الشاغر، وتصدر بذلك إشعاعاً مميزاً للعنصر المكون للمادة.

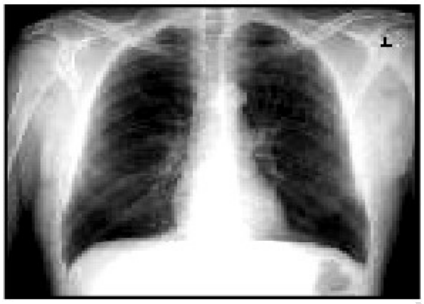



**الشكل 9:تمثيل للمبدأ الفيزيائي لفلورية الأشعة السينية**

## 6. استخدام الأشعة السينية في التصوير الاشعاعي la radiographie

التصوير بااشعة السينية او باشعة كاما هى احدى الرق المهمة في مجال فحوصات اللااتلافية في الكشف عن العيب الداخلية التي تكون في داخل المواد او الجزاء المصنعة وكذلك التي تكون على السطح، وهي من اقدم الطرق المستعملة في الفحوصات حيث ان الستعمالها يعود الى العشرينات من هذا القرن وهي الان من اوسع الطرق استعمالا نتيجة للنتائج الجيدة التي يمكن الحصول عليها بمعرفة مدى خلوالاجزاء من العيوب، و الفكرة وراء استعمال الاشعة السينية في الكشف عن العيوب هو تعرض النموذج المراد فحصه والفلم الفتوغرافي الى الاشعة السينية فتظهر نتائج الفحوصات بعد غسل الفلم الفوتغرافي الى تغير في الشدة الاشعة عند د مرورها خلال المواد المختلفة بسبب العيوب مثل الفجوات الصغيرة واختلاف تركيز المواد والشقق ...الخ، فيظهر الفلم اكثر سوادا عند الشقوق والفجوات و اقل سوادا عند زيادة تركيز المواد ووجود الخبث ...الخ. توضح الاشكال التالية تصوير الاشعة السينية لنماذج صناعية و كائنات حية مختلفة:

**في الطب:** تستخدم الأشعة السينية على نطاق واسع لعمل المرسمة الإشعاعية (صور الأشعة السينية) للعظام وأعضاء الجسم الداخلية. ويستفيد الأطباء من المرسمة الإشعاعية في كشف الحالات الشاذة وحالات الأمراض، مثل العظام المكسورة أو أمراض الرئة، داخل جسم المريض، ويستفيد أطباء الأسنان من صور الأشعة السينية للكشف عن الفراغات والأسنان المحشوة.



**في الصناعة**: تستخدم الأشعة السينية لفحص المنتجات المصنعة من أنواع مختلفة من المواد، منها الألومنيوم والصلب وغيرها من الفلزات المصبوبة. تكشف الصور الإشعاعية عن الشروخ والعيوب الأخرى في هذه المنتجات، التي لا تظهر على السطح. وكثيرًا ما تستخدم الأشعة السينية لفحص جودة اللحامات في الصلب والتركيبات الفلزية الأخرى. كما تستخدم الأشعة السينية لفحص جودة العديد من المنتجات المصنعة بكميات ضخمة مثل الترانزستور والنبائط الإلكترونية الصغيرة الأخرى. وتعمل بعض نبائط فحص الفلزات باستخدام الأشعة السينية، مثل الماسحات المستخدمة في المطارات للبحث عن الأسلحة في الأمتعة.