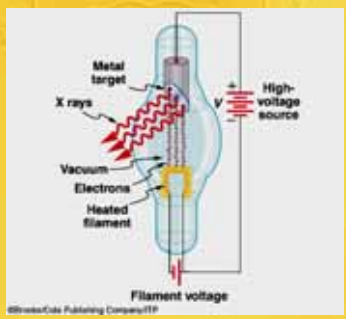
طيف أشعة اكس x-ray spectrum

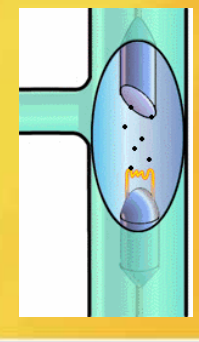
مقدمة

أكتشف رونجن (Roentgen) (1895) الأشعة السينية أنه عند تسليط الكترونات سريعة على سطح معدني فإن هناك أشعة تصدر. ولم يعرف أحد فى ذلك الوقت ماهية هذه الأشعة وبالتالى أطلق عليها أشعة أكس حيث أن الحرف أكس (x) يطلق على الشىء المجهول.

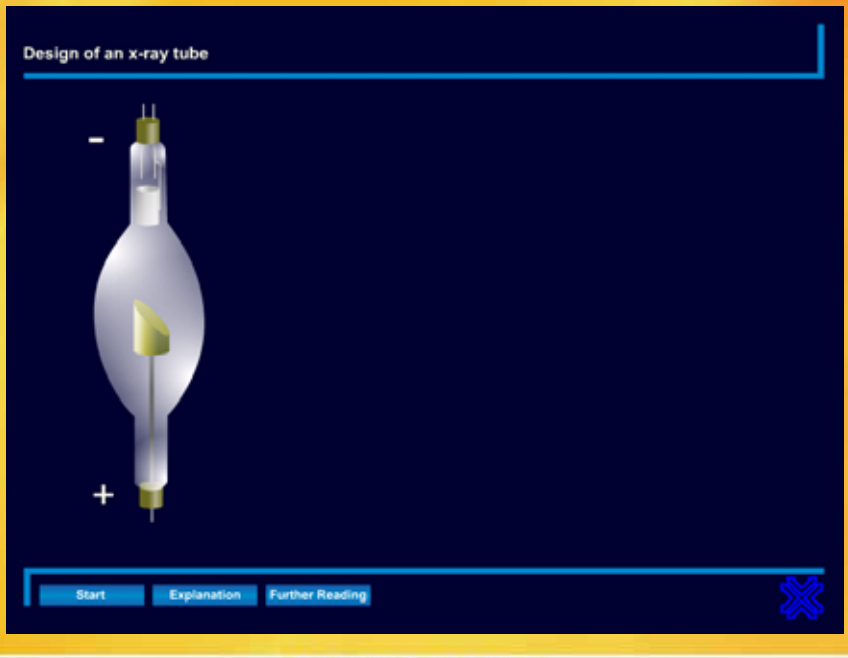
إنتاج أشعة اكس

لإنتاج الأشعة السينية يستخدم الجهاز الموضح في الشكل التالي:



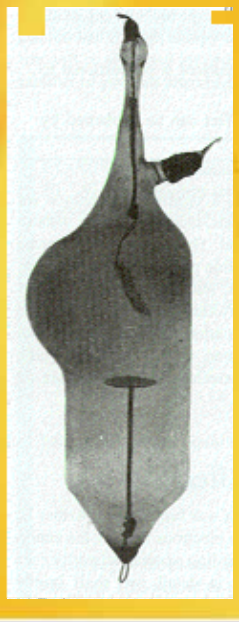


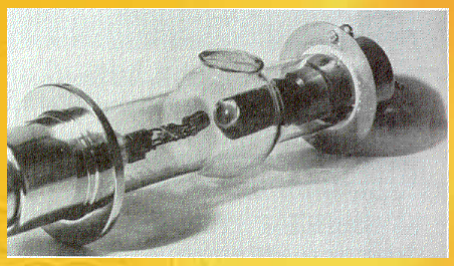
353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 1



353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 2

Early *x*-ray tube





x-ray tube from ~1950

Modern *x*-ray tubes have much higher operating voltages and *x*-ray intensities, but the basic design is essentially unchanged

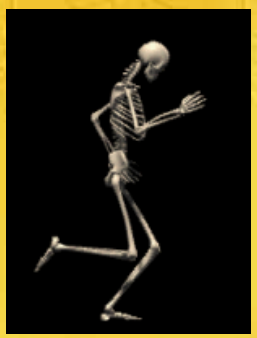
- تعتمد فكرة جهاز إنتاج أشعة اكس على توفير مصدر الكتروني ليتم تعجيله بواسطة فرق جهد كبير لتصطدم بالهدف وهو عبارة عن معدن ثقيل له درجة حرارة انصهار عالية مثل التنجستن أو المولبدنيم.
- يمر التيار الكهربي في الفتيلة F لتسخن الكاثود (المهبط) C فتنطلق منه الالكترونات (انبعاث أيوني حراري Thermo-ionic emission) في اتجاه الهدف Target تحت تأثير فرق جهد كهروستاتيكي يتراوح من 30000 – 50000 فولت في داخل أنبوبة مفرغة لمنع اصطدام الالكترونات المعجلة في جزيئات الهواء.
- تصطدم هذه الالكترونات السريعة بالهدف (T) (الأنود) بطاقة حركية تعطى من المعادلة:

$$E_k = eV \qquad (2)$$

حيث أن e شحنة الإلكترون و V فرق جهد التعجيل المطبق بين الكاثود والأنود.

طرق قياس شدة الأشعة السينية:

- قياس شدة التوهج الذي تحدثه في بعض المواد
- مدى إسوداد ألواح التصوير
- الإرتفاع في درجة حرارة بعض المواد مثل الرصاص
- قياس التأين الذي تحدثه الأشعة في غاز معين والذى يمكن قياسه بأجهزة مثل غرفة التأين

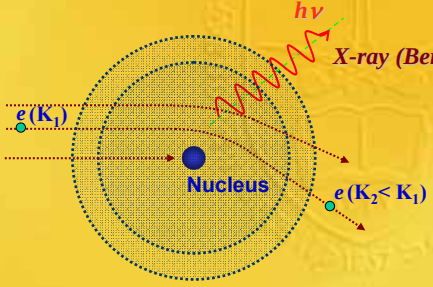


353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 5

كيف تتحول طاقة حركة الإلكترون إلى فوتون

ويمكن فهم عملية إنتاج الأشعة السينية كالتالي:

إستناداً الى النظرية الكهرومغناطيسية ،فعندما ينطلق إلكترون بسرعة كبيرة مقترباً من نواة (موجبة الشحنة) ذرة عنصر ثقيل فإنه توجد قوة تجاذب بين الإلكترون السالب الشحنة ونواة الذرة الموجبة كما هو مبين في الشكل:



قوة التجاذب هذه تجعل الإلكترون ينحرف عن مساره المستقيم ليتحرك في مسارمنحني. وبالتالي يحدث إلى تغيير تباطأ أو تسارع الإلكترون . وبما أن الإلكترون عانى من هذا التباطأ أو التسارع فإنه يصدر إشعاعـــــا كهرومغناطيسيا بطاقة مساوية *hν* والتي تسمى *x-ray*.

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 6

ويطلق على عملية الإشعاع الناتج من تعجيل الجسم المشحون بـ (Bremsstrahlung) وهو مصطلح ألماني يعني إشعاع التوقف (slowdown radiation) أو إشعاع الفرملة (Breaking radiation).

يكتسب كل الكترون خلال إنتقاله من الكاثود الى الأنود طاقة حركة (K = eV)

فإذا كانت الطاقة الحركية للإلكترون المقترب من النواة هي K_1 ويترك منطقة التصادم بطاقة حركية K_2 نتيجة لانطلاق فوتون طاقته $h\nu$ ، فحسب قانون بقاء الطاقة فإن:

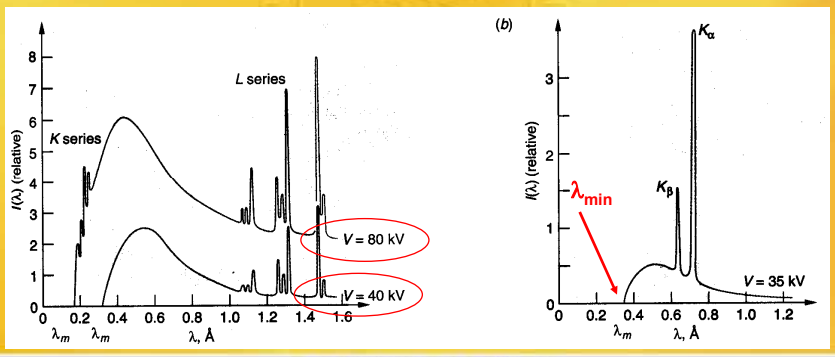
$$K_1 - K_2 = h\nu \qquad (1)$$

وحيث أن كتلة النواة اكبر بحوالي 2000 مرة كتلة الإلكترون فإنه يمكن إهمال الطاقة الناتجة من إرتداد النواة في هذه الحالة.

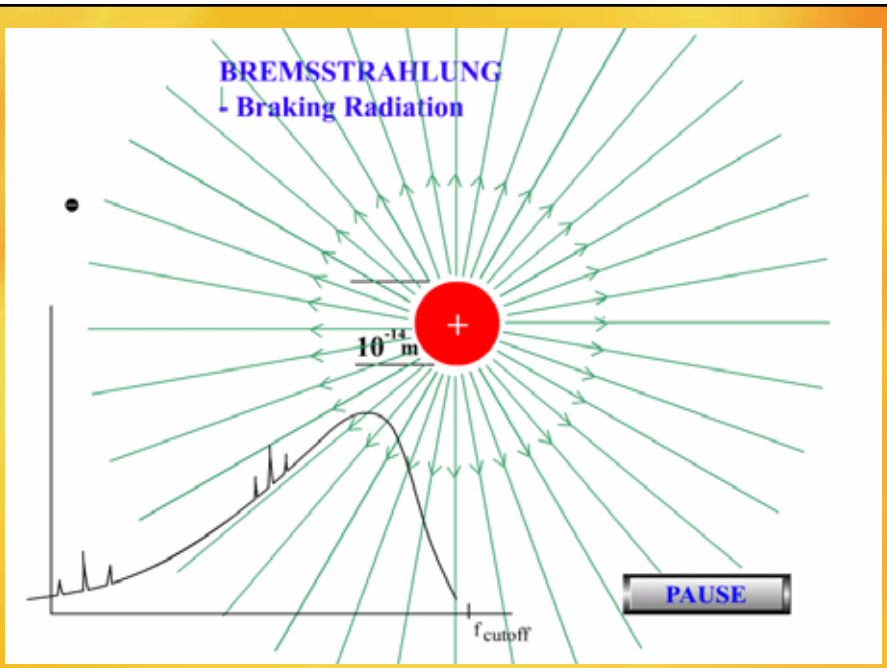
إن الإلكترونات الساقطة على الهدف تفقد 98% من طاقتها الحركية وبالتالى ينتج عن هذا التصادم طاقة حرارية .

طيف الأشعة السينية:

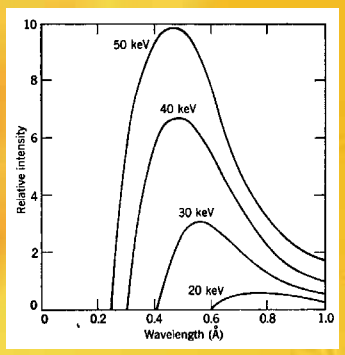
- بدراسة العلاقة بين الطول الموجي للفوتونات المنبعثة من جهاز إنتاج أشعة اكس وشدة هذه الأشعة يمكن الحصول على توزيع الفوتونات بدلالة الطول الموجي كما في الشكل التالي:



353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 9



353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 10



- أما في حالة تغيير الجهد المطبق فإنه يمكن الحصول على الشكل المجاور

يلاحظ من النتائج السابقة التالي :

- يتكون طيف أشعة اكس من طيف متصل(continuous spectrum) طيف خطي (Line spectrum)
- الطيف المتصل له قيمة صغرى عند λ_{min} وهذه القيمة تعتمد على فرق جهد التعجيل أي أن:

$$\lambda_{min} \propto \frac{1}{V} \Rightarrow \lambda_{min} V = \text{constant}$$

- الطيف الخطي والمتمثل في الخطين الموضحين في الشكل أعلاه لا يعتمدان على فرق جهد التعجيل إنما على مادة الهدف لذا يعتبر الطيف الخطي لأشعة اكس وسيلة للتعرف على نوع مادة الهدف.

لقد تمكنت النظرية الكهرومغناطيسية التقليدية تفسير أصل الطيف المستمر بالطريقة السابقة التي تنص على أن الأشعة السينية تنبعث نتيجة تعجيل (تسريع) الإلكترونات في المجال الكولومي لنويات ذرات الهدف (Bremsstrahlung) ولكنها لم تستطع تفسير وجود القيمة الصغرى للطول الموجي (λ_{min}) وتغيرها مع فرق الجهد المطبق .

ولكن النظرية الكمية أو فرضية الفوتون أعطت تفسيراً لذلك:

فالإلكترون الساقط على الهدف يمكن أن ينتج من ذلك أعدادا من الفوتونات . ولكن إذا تحوّلت طاقة حركة الإلكترون كلها إلى طاقة كهرومغناطيسية لفوتون واحد بعد أن يكون قد سكن هذا الإلكترون يعد عملية تصادم واحدة أي أن:

$$E_1 = eV \quad , \quad E_2 = 0$$

$$\therefore h\nu_{max} = eV$$

وحيث أن e و h ثوابت كونية فإنه من الممكن كتابة العلاقة السابقة على الصورة:

$$\frac{\nu_{max}}{V} = \frac{e}{h} = \text{constant}$$

حيث v_{max} هي أقصى تردد لفوتونات الأشعة السينية المتولدة.

وحيث أن $\lambda\nu = c$ فإن:

$$\frac{c}{\lambda_{min} V} = \frac{e}{h}$$

$$\boxed{\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}}$$

وهذه المعادلة تبين وجود قيمة محددة لطول الموجة (λ_{min}) وهي تتناسب عكسيا مع فرق الجهد V بالإضافة الى عدم إعتمادها على نوع مادة الهدف (لايوجد ذكر لـ Z فيها). ويمكن إستخدام هذه العلاقة لحساب (*e/h*)

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 13

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 14

مثال:

يتباطأ إلكترون متحرك من سرعة 1×10^7 m/s إلى 0.5×10^7 m/s وينتج عن ذلك فوتون . إحسب تردد وطول موجة الفوتون الصادر .

since $v^2 << c^2 \Rightarrow$ *do not need relativistic equations*

$$K_i - K_f = h\nu$$

$$\frac{1}{2}m_0(v_i^2 - v_f^2) = h\nu$$

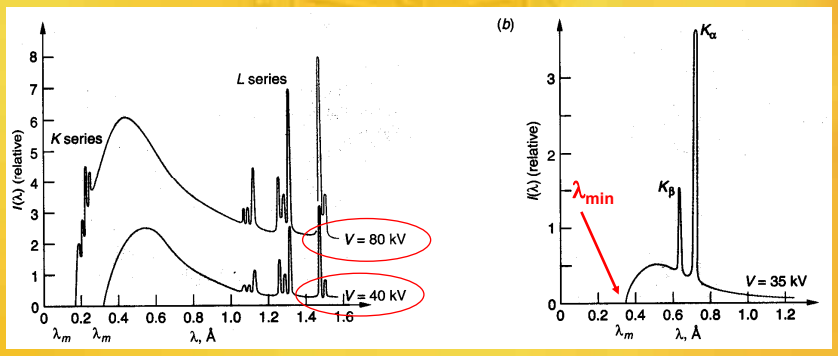
$$\therefore \ \nu = \frac{m_0}{2h}(v_i^2 - v_f^2) = 5.2\times10^{16} \text{ Hz}$$

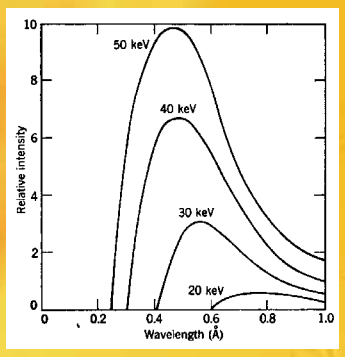
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 5.8 \text{ nm}$$

خواص الطيف الخطي للأشعة السينية CHARACTERISTIC X-Ray Lines

طيف الأشعة السينية:

- بدراسة العلاقة بين الطول الموجي للفوتونات المنبعثة من جهاز إنتاج أشعة اكس وشدة هذه الأشعة يمكن الحصول على توزيع الفوتونات بدلالة الطول الموجي كما في الشكل التالي:





- أما في حالة تغيير الجهد المطبق فإنه يمكن الحصول على الشكل المجاور

يلاحظ من النتائج السابقة التالي :

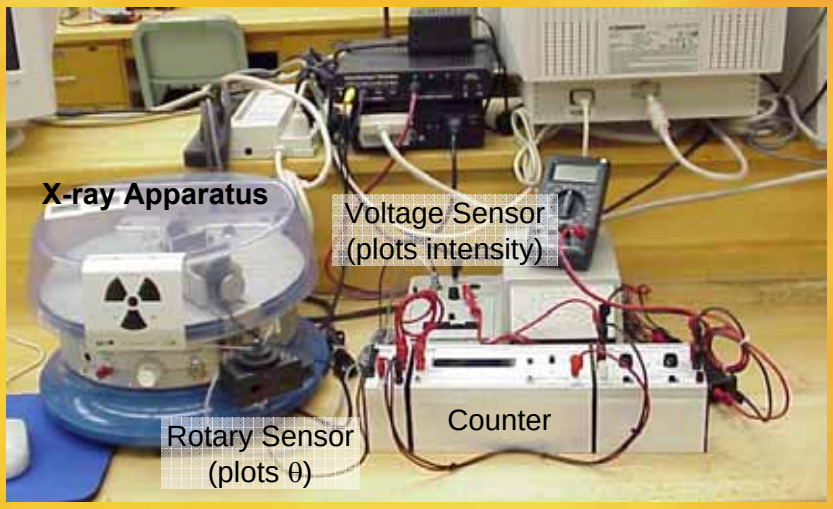
- يتكون طيف أشعة اكس من طيف متصل(continuous spectrum) طيف خطي (Line spectrum)
- الطيف المتصل له قيمة صغرى عند λ_{min} وهذه القيمة تعتمد على فرق جهد التعجيل أي أن:

$$\lambda_{min} \propto \frac{1}{V} \Rightarrow \lambda_{min} V = \text{constant}$$

- الطيف الخطي والمتمثل في الخطين الموضحين في الشكل أعلاه لا يعتمدان على فرق جهد التعجيل إنما على مادة الهدف لذا يعتبر الطيف الخطي لأشعة اكس وسيلة للتعرف على نوع مادة الهدف.

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 17

X-ray Diffraction: Modern Physics Lab

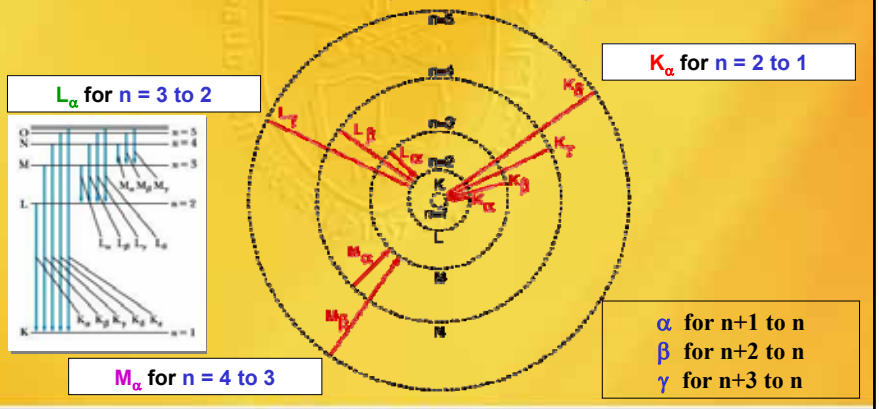


353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 18

تمكن موزلي (Moseley) في سنة 1913 من قياس طيف الأشعة السينية المميز لأربعين عنصراً .

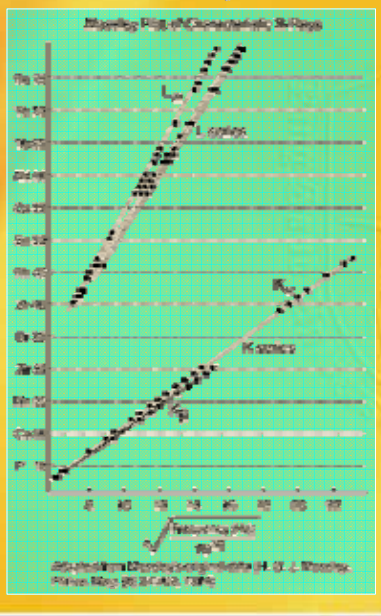
إقترح أن توزيع الإلكترونات في الذرات متعددة الإلكترونات يكون في قشر (shells) كل قشرة تمثل عدد الكم n

لاحظ وجود سلسلة لمستويات طاقة الأشعة السينية وسميت بـ K, L, M, . . . والتي تماثل تلك السلاسل لذرة الهيدروجين (ليمان وبالمر وباشن)



353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 19

قام موزلي بقياس اطوال الأشعة السينية المميزة لعدة عناصر وحصل علي العلاقة التالية:



$$\sqrt{\nu} = B(Z - a)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = B^2(Z - a)^2$$

حيث B و a ثوابت يمكن إيجادها من ميل الخط والجزء المقطوع.

a يسمي ثابت الحجب shielding factor

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 20

ويمكن تطبيق نتائج ذرة الهيدروجين على الطيف الخطي للأشعة السينية مع ملاحظة الفرق بين الحالتين. ففي حالة درة الهيدروجين يكون الألكترون واقعاً تحت تأثير النواة (البروتون) بصورة مباشرة. أما في حالة المدارات الداخلية للذرات الثقيلة التي تعطي أطياف الأشعة السينية فتكون شحنة النواة محجوبة بصورة جزئية عن الألكترون المنتقل من مدار لآخر. ففي حالة المدار K مثلاً يوجد الكترون آخر في نفس المدار ويعمل كحاجب أو ساتر بين النواة والألكترون المنتقل. وتزداد أهمية ظاهرة الحجب في حالة المدار L حيث يوجد الكترونات في المدار K وبعض الكترونات نفس المدار التي تعمل على حجب الأكترون المنتقل عن النواة. وهكذا يزداد تأثير ظاهرة الحجب مع الإبتعاد عن النواة وزيادة عدد الألكترونات التي تعمل على حجب الألكترون المنتقل من مدار لآخر عن النواة

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 21

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 22