

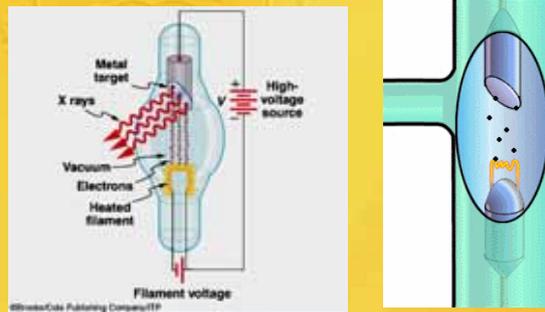
## طيف أشعة اكس x-ray spectrum

مقدمة

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

إنتاج أشعة اكس

لإنتاج الأشعة السينية يستخدم الجهاز الموضح في الشكل التالي:



353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 1

## Design of an x-ray tube



Start

Explanation

Further Reading

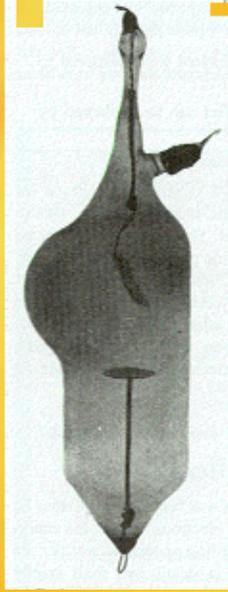


353 PHYS

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

تتعمد 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 الكهربائي في الفتيلة F لتسخن الكاثود (المهبط) C فتنتقل 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.

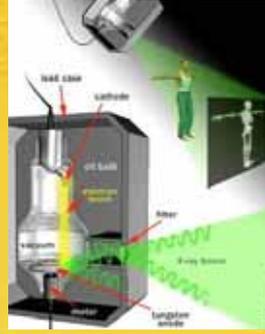
تصطدم هذه الالكترونات السريعة بالهدف (T) (الأنود) بطاقة حركية تعطى من المعادلة:

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

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 والذي يمكن قياسه بأجهزة مثل غرفة التأين



353 PHYS

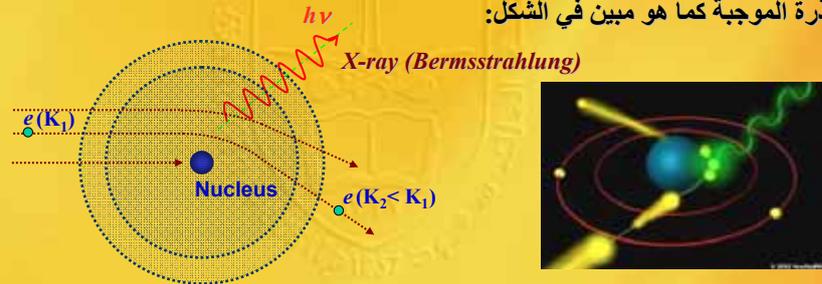
Dr. Abdallah M. Azzeer

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 مسار منحنى. وبالتالي يحدث إلى تغيير تباطؤ أو تسارع الإلكترون. وبما أن الإلكترون عانى من هذا التباطؤ أو التسارع فإنه يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً بطاقة مساوية  $h\nu$  والتي تسمى  $x$ -ray.

353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 6



353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 7

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 إلكترون خلال إنتقاله من الكاثود إلى الأنود طاقة حركة ( $K = eV$ ) فإذا كانت الطاقة الحركية للإلكترون المقرب من النواة هي  $K_1$  ويترك منطقة التصادم بطاقة حركية  $K_2$  نتيجة لانطلاق فوتون طاقته  $h\nu$  ، فحسب قانون بقاء الطاقة فإن:

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

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

353 PHYS

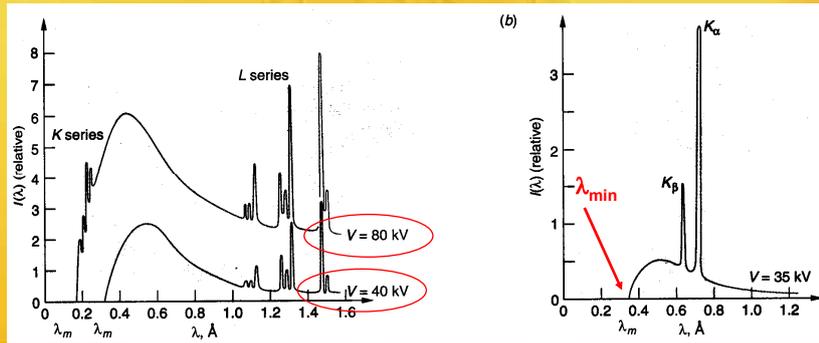
Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 8

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

#### طيف الأشعة السينية:

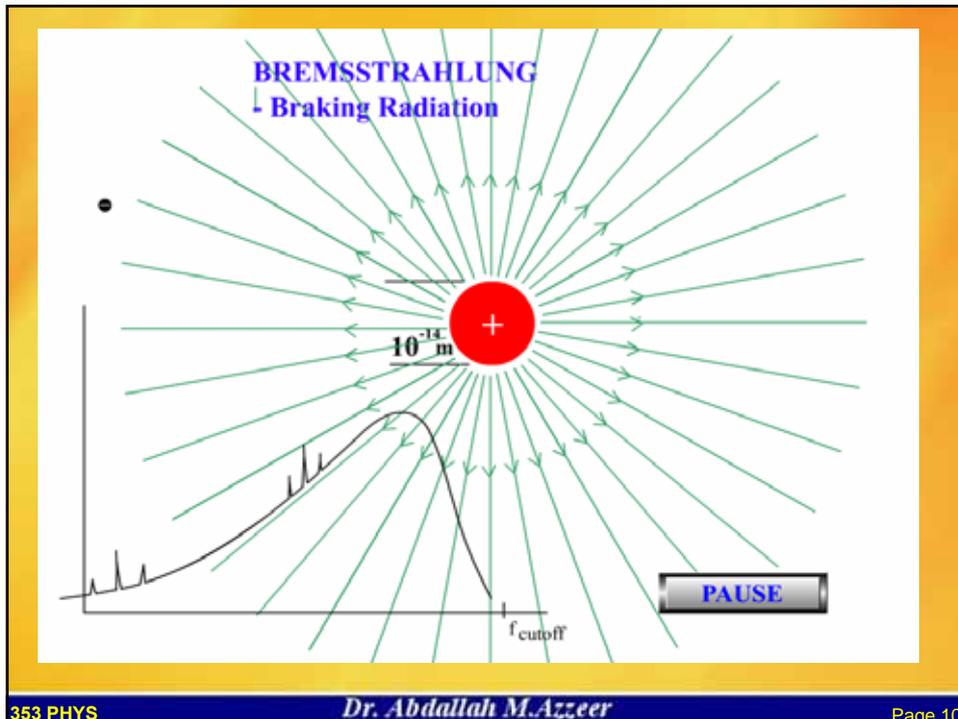
● بدراسة العلاقة بين الطول الموجي للفوتونات المنبعثة من جهاز إنتاج أشعة اكس وشدة هذه الأشعة يمكن الحصول على توزيع الفوتونات بدلالة الطول الموجي كما في الشكل التالي:



353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

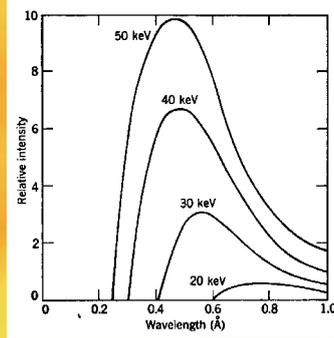
Page 9



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  $\lambda_{min}$  وهذه القيمة تعتمد على فرق جهد التعجيل أي أن:

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

◆ 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 ( $\lambda_{min}$ ) وتغيرها مع فرق الجهد المطبق .

ولكن النظرية الكمية أو فرضية الفوتون أعطت تفسيراً لذلك:

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

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

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

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

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

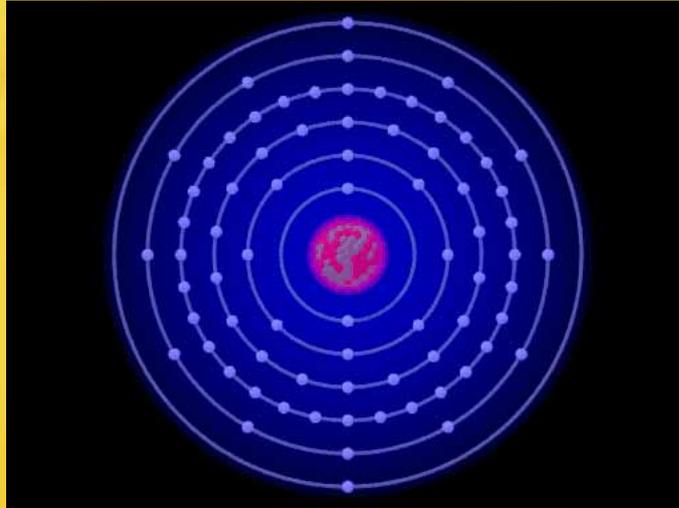
حيث  $\nu_{\max}$  هي أقصى تردد لقوتونات الأشعة السينية المتولدة.

وحيث أن  $\lambda\nu = c$  فإن:

$$\frac{c}{\lambda_{\min}} = \frac{eV}{h}$$

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

وهذه المعادلة تبين وجود قيمة محددة لطول الموجة ( $\lambda_{\min}$ ) وهي تتناسب عكسيا مع فرق الجهد  $V$  بالإضافة الى عدم اعتمادها على نوع مادة الهدف ( لا يوجد ذكر لـ  $Z$  فيها). ويمكن استخدام هذه العلاقة لحساب ( $e/h$ )



مثال:

يتباطأ إلكترون متحرك من سرعة  $1 \times 10^7 \text{ m/s}$  إلى  $0.5 \times 10^7 \text{ m/s}$  وينتج عن ذلك فوتون .  
احسب تردد وطول موجة الفوتون الصادر .

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

$$K_i - K_f = h\nu$$

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

$$\therefore \nu = \frac{m_0}{2h} (v_i^2 - v_f^2) = 5.2 \times 10^{16} \text{ Hz}$$

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

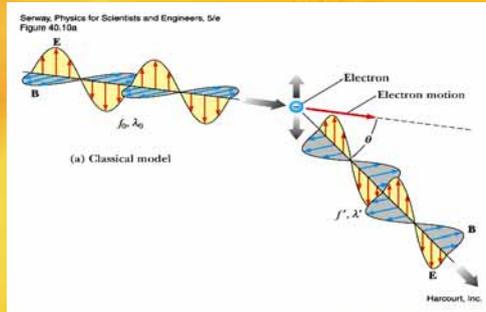
353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 15

### Photon: خواص الفوتون Quantized Energy Particle

مقدمة:



في الفيزياء التقليدية ، عندما تسقط موجة كهرومغناطيسية ذات تردد  $\nu$  على جسيم مشحون ، فإن المجال الكهربائي المتذبذب للموجات الكهرومغناطيسية يؤثر بقوة عند ذلك التردد  $\nu$  على الجسيم . وعليه فإن الجسيم المشحون سوف يتذبذب بنفس التردد ومن ثم يشع طاقة في جميع الاتجاهات عدا اتجاه ذبذبه وهذه الظاهرة تفسر الإنعكاس في المرايا بدون تغير في اللون.

ولكن عندما تسقط أشعة سينية على مادة تحتوي إلكترونات حرة فإن الشعاع المتشتت له طول موجتين وترددين عند زوايا معينة (ظاهرة كومتن).

ماهي خصائص الفوتون????

353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 16

### Photon: خواص الفوتون Quantized Energy Particle

يتحرك الإلكترون بسرعة الضوء (c)

حسب النظرية النسبية ( $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$ ) فإن كتلته ( $m = m_0/0 = \infty$ ) وهذا غير معقول.

ولكن بافتراض أن ( $m_0 = 0$ ) وهذا يؤدي إلى أن ( $m = 0/0$ ) وهي قيمة غير محددة.

في الحقيقة عدم معرفة كتلة الفوتون الساكنة ( $m_0$ ) غير مهمة نظراً لعدم وجود الفوتون ساكناً بشكل مطلق. فإما يوجد متحركاً بسرعة  $c$  أو لا يوجد.

إذا تحرك فوتون طاقته  $E = h\nu$  فإنه حسب النظرية النسبية تكون طاقته وكتلته على الصورة:

$$E = mc^2 = h\nu$$

$$\Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$$

353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 17

وحيث أن :

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

وبافتراض أن  $m_0 = 0$  صحيحاً فإن طاقة الفوتون تكون  $E = pc$

$$\Rightarrow p = E/c = \frac{mc^2}{c} = mc$$

$$p = E/c = \frac{h\nu}{c}$$

لذلك إذا اعتبرنا فوتون ذو تردد  $\nu$  كجسيم فإن:

$$m_0 = 0, E = h\nu, m = h\nu/c^2, p = h\nu/c = h/\lambda$$

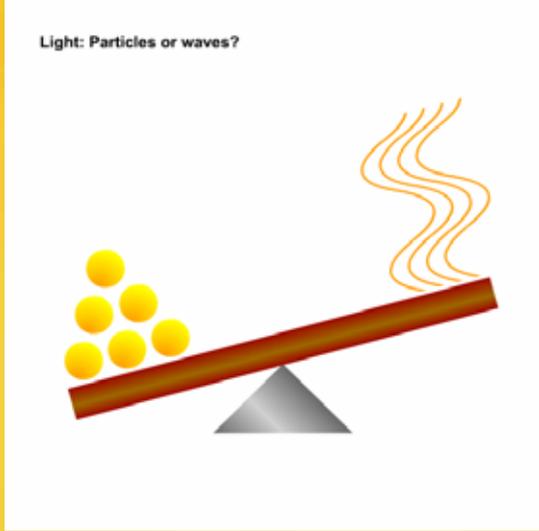
وسوف نرى أن هذه الخواص للفوتون مهمة عندما نتطرق إلى الحديث عن ظاهرة كومبتون والتي دعمت نظرية الفوتون.

353 PHYS

Dr. Abdallah M. Azzeer

Page 18

Light: Particles or waves?



353 PHYS *Dr. Abdallah M. Azzeer* Page 19

**Example:**  
Find the rest mass, rest energy, mass, and energy of a 100 pm photon

$$m_0 = 0 ,$$

$$E_0 = 0 ,$$

$$E = h\nu = hc/\lambda = 1.99 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$$m = E/c^2 = 2.21 \times 10^{-32} \text{ kg} ,$$

Note that ( $m_{0e} / m_{\text{photon}(\lambda=100 \text{ pm})} \approx 40$ )

$$p = h\nu/c = h/\lambda$$

353 PHYS *Dr. Abdallah M. Azzeer* Page 20