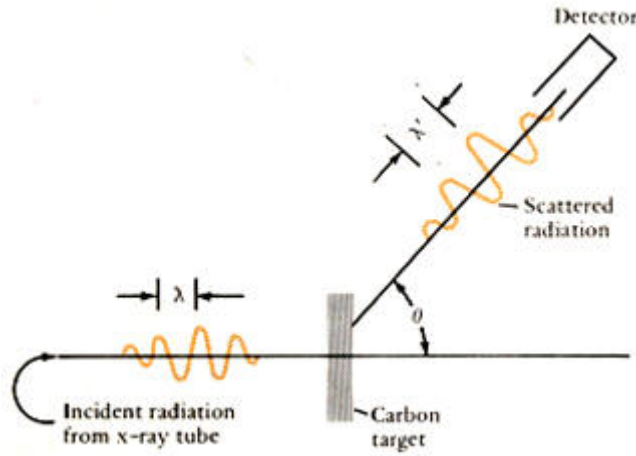


## ظاهرة كمبيون

في الظاهرة الكهروضوئية يعطي الفوتون كامل طاقته للإلكترون المرتبط بسطح المادة، ولكن في بعض الأحيان يمكن أن يعطي الفوتون جزء من طاقته إلى إلكترون حر وهذا النوع من التفاعل بين الشعاع الكهرومغناطيسي والإلكترون يسمى بتشتت الفوتونات بواسطة الإلكترون Scattering وتعرف هذه الظاهرة في علم ميكانيكا الكم بظاهرة كمبتون Compton Effect.

تعتمد ظاهرة كمبتون في تفسيرها على أن الضوء يتكون من فوتونات لها طاقة وكمية حركة ولا يمكن تفسيرها على اعتبار النموذج الموجي للضوء. تم التحقق من هذه الظاهرة عملياً في عام 1923 في جامعة سانت لويس من قبل العالم آرثر كمبتون وذلك بإسقاط أشعة اكس على لوح من الكربون كما هو موضح في الشكل التالي:



وكانت نتائج التجربة على النحو التالي:

وجد أن الأشعة المشتتة لها طولين موجيين هما  $\lambda$  و  $\lambda'$  بالرغم من أن الشعاع الساقط يحتوي على طول موجي وحيد  $\lambda$ .

تم قياس الفرق في الطول الموجي للفوتونات المشتتة ووجد إنها تعتمد على زاوية تشتت الأشعة المشتتة حيث ان هذا الفرق يكون أكبر ما يمكن عندما تكون الزاوية 180 درجة.

$$DI = I' - I$$

إذا ما تم الاعتماد على النموذج الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية لا يمكن إيجاد تفسير للزيادة في الطول الموجي للأشعة المشتتة من لوح الكربون لأن حسب النظرية الكلاسيكية فإن الإلكترونات ذرات الكربون سوف تتذبذب بنفس تردد الفوتونات الساقطة ولا يحدث في هذه الحالة أية زيادة تطراً على الطول الموجي للفوتونات المشتتة بل انها سوف تحتوي على نفس الطول الموجي.

ولتفسير هذه الظاهرة اعتمد كمبتون على ان الاشعة الساقطة تتكون من سيل من الفوتونات لها طاقة وكمية حركة

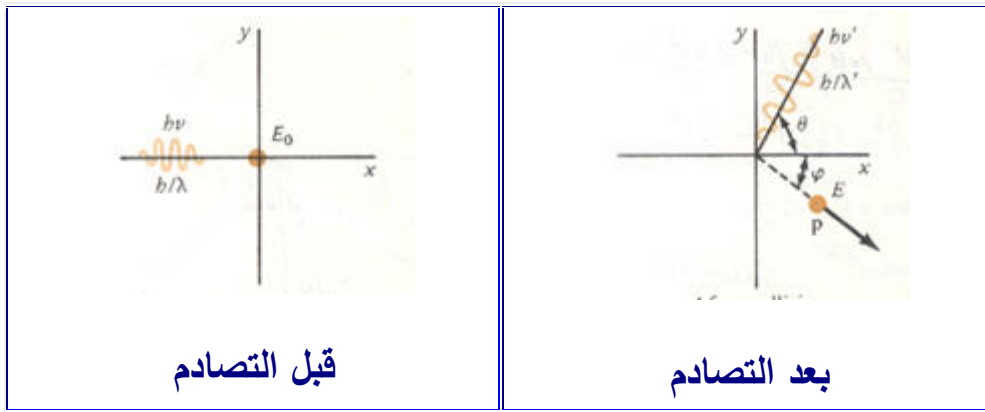
$$\text{Energy of the photon } E = hn = hc/\lambda$$

$$\text{Momentum of the photon } P = h/\lambda$$

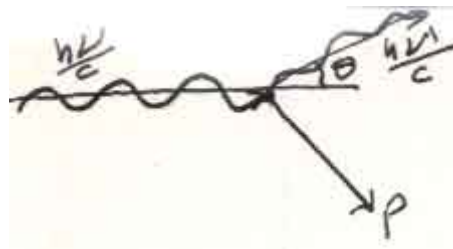
وعندما تتصادم بعض من هذه الفوتونات مع الإلكترونات في لوح الكربون فإنها تفقد جزء من طاقتها كما أن الجزء الآخر من الفوتونات يصطدم بالإلكترونات تصادم مرناً فلا تفقد طاقتها وهذا ما يؤدي إلى الحصول على طولين موجيين..

وحيث أن الفوتونات المشتتة تفقد جزء من طاقتها فإن ذلك يؤدي إلى أن الطول الموجي للفوتونات المشتتة أكبر من الطول الموجي للفوتونات الساقطة أي أن

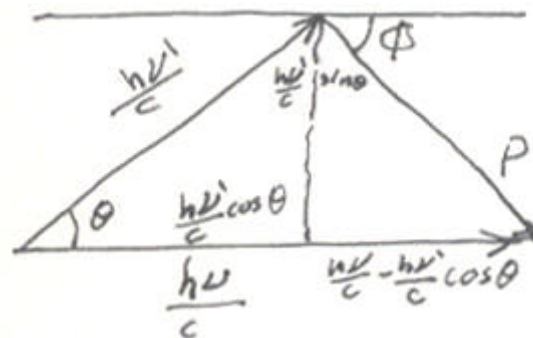
ولتفسير هذه النتيجة وإيجاد علاقة رياضية تربط بين التغير في الطول وزاوية التشتت فإننا نعتبر التصادم بين فوتون وإلكترون حر على النحو التالي:



بتطبيق قانون الحفظ على الطاقة والحفاظ على كمية الحركة نجد أن



وبإعادة ترتيب متجهات كمية الحركة للفوتون والإلكترون الحر بعد التصادم كما في الشكل التالي:



بتطبيق قاعدة فيثاغورس على المثلث القائم الزاوية نجد أن

$$p^2 = \left(\frac{h\nu' \sin \theta}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu}{c} - \frac{h\nu' \cos \theta}{c}\right)^2$$

بالضرب في مربع السرعة

$$p^2 c^2 = (h\nu')^2 + (h\nu)^2 - 2h^2 \nu \nu' \cos \theta$$

من قانون الحفظ على الطاقة حيث أن الطاقة قبل التصادم تساوي الطاقة بعد التصادم

$$E_o = m_o c^2$$

$$hn + E_o = hn' + E$$

بعد التصادم      قبل التصادم

$$hn - hn' = E - E_o$$

بتربيع طرفي المعادلة نحصل على

بالتعويض عن  $E^2$  بالمعادلة

$$(h\nu')^2 + (h\nu)^2 - 2h^2\nu\nu' = 2E_o^2 + p^2c^2 - 2EE_o$$

بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلة (2) نحصل على

$$p^2c^2 = 2E_o^2 + p^2c^2 - 2EE_o + 2h^2\nu\nu' - 2h^2\nu\nu' \cos \theta$$

$$2h^2\nu\nu'(1 - \cos \theta) + 2E_o^2 - 2EE_o = 0$$

$$h^2\nu\nu'(1 - \cos \theta) = E_o(E - E_o)$$

هذه هي المعادلة الرياضية لظاهرة كمبتون والتي توضح العلاقة بين التغير في الطول الموجي للفوتونات المتشتتة DI وزاوية التشتت q. تعتمد قيمة DI على كتلة  $m_o$  السكون للجسم (الإلكترون) وثابت بلانك وسرعة الضوء وزاوية التشتت q.

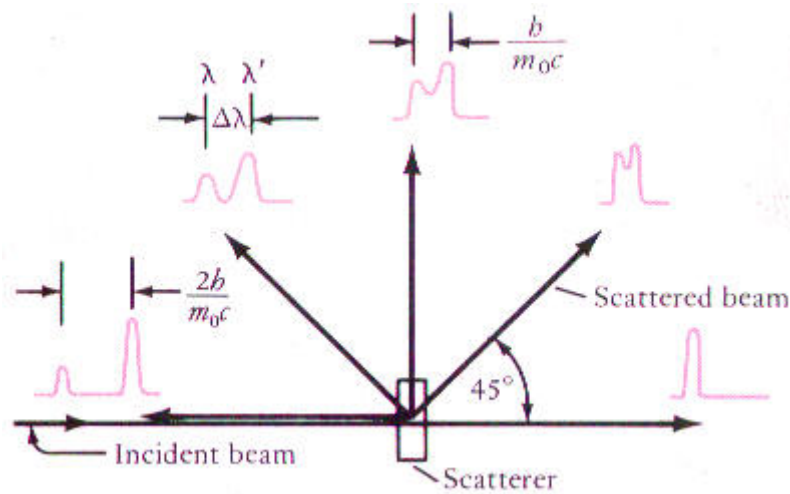
المقدار  $\frac{h}{m_0 c}$  يسمى بالطول الموجي لكمبتون **compton wavelength** حيث ان لهذا المقدار وحدة طول. وبالتعويض عن قيمة الثوابت نجد أن:

$$h/m_0 c = 0.024\text{\AA}$$

ولهذا فإن عند التعويض في معادلة كمبتون عن قيم مختلفة للزاوية  $q$

$DI = 0$	$q = 0$
$DI = 0.024\text{\AA}$	$q = 90$
$DI = 0.048\text{\AA}$	$q = 180$

لاحظ أن في حالة الزاوية 180 يكون التغير في الطول الموجي اكبر ما يمكن وعندها يكون التصادم بين الفوتون والإلكترون هو تصادم مباشر **head-on-collision**.



### ملاحظات

يمكن فقط قياس التغير في الطول الموجي عندما يكون الفوتون ذو طول موجي صغير أي في مدى أشعة اكس والأشعة الأصغر منه. فمثلاً إذا كان الطول

الموجي للفوتون 4000 انجستروم (الضوء المرئي) فإن الزيادة في الطول  
الموجي نتيجة لظاهرة كمبتون

$$\text{for } \lambda = 4000\text{\AA} \quad \Delta\lambda/\lambda = 0.006\%$$

وهذا التغير صغير جدا ولا يمكن قياسه أما إذا كان الطول الموجي للفوتون الساقط  
1 انجستروم (اشعة اكس) فإن الزيادة في الطول الموجي نتيجة لظاهرة كمبتون

$$\text{for } \lambda = 1\text{\AA} \quad \Delta\lambda/\lambda = 0.3\%$$

وبهذا فإننا نلاحظ ظاهرة كمبتون عند الأطوال الموجية الصغيرة

**مثال**

إذا كان طول موجة أشعة اكس الساقطة على لوح الكربون تساوي 0.01  
انجستروم فما طول موجة أشعة اكس التي تنتشت عند زاوية 30 درجة.

بالتعويض في معادلة كمبتون

$$\lambda' = 0.013\text{\AA}$$