جامعة الانبار
كلية التربية الأساسية / حديثة
قسم العلوم العامة / فرع الفيزياء

اسم التدريسي: م.م. عبدالرحمن ظافر صباح

المرحلة الدراسية: الثالثة

الفصل الدراسي: الاول

اسم المادة باللغة العربية: ميكانيك الكم

اسم المادة باللغة الإنكليزية: Quantum Mechanics

اسم المحاضرة باللغة العربية: ظاهرة كومتن والطبيعة الجسيمية للإشعاع

اسم المحاضرة باللغة الإنكليزية:

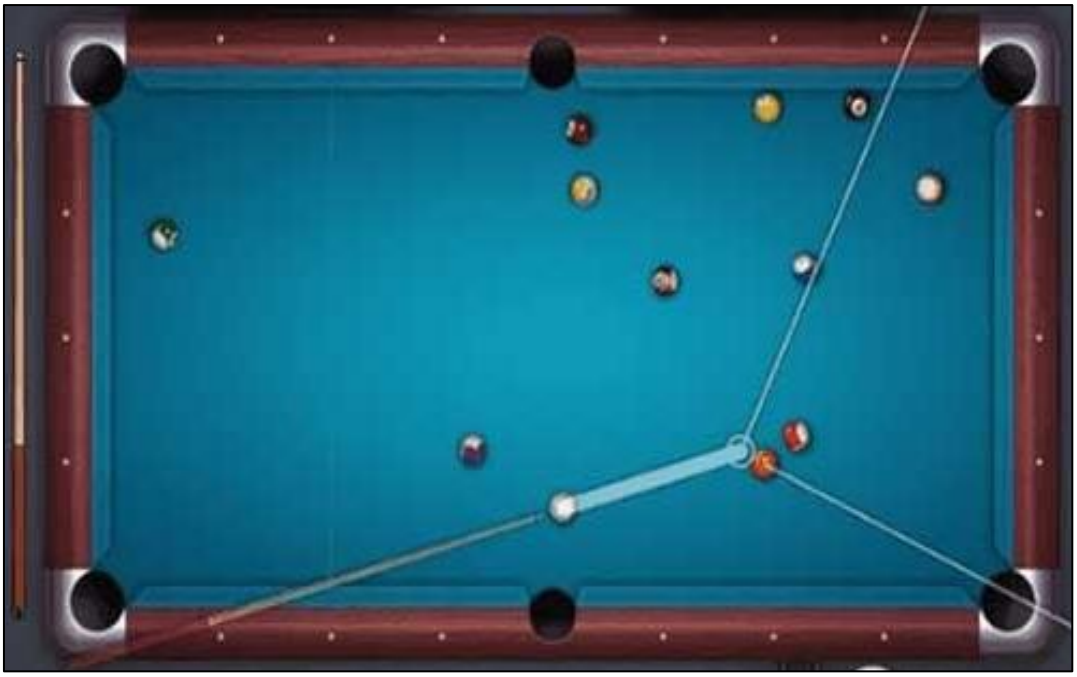
Compton effect and the particle nature of radiation

رابعاً: تأثير كومتن (The Compton Effect):

ظاهرة كومتن أو تأثير كومتن (Compton Effect) وتعرف كذلك باستطارة كومتن والتي هي عبارة عن ظاهرة يحدث فيها تشتت للفوتون نتيجة تصادمه مع جسيم مشحون حر مثل الالكترون. وهي ظاهرة كمومية تؤكد الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي (الفوتون) ولا يمكن ان تفسر هذه الظاهرة بالاعتماد على الفيزياء الكلاسيكية.

التصادم المرن وظاهرة كومتن:

عندما تلعب لعبة البلياردو مثلا فانت تعرف بحكم الممارسة اين يجب ان توجه عصا البلياردو وتتحكم بزاوية التصادم وتقدر السرعة المطلوبة لتسقط الكرة المحددة في المكان المخصص لها. بمراقبة لعبة البلياردو سوف تكتشف ان المباراة تعتمد على مبدأ التصادم المرن! فاللاعب يقوم بتزويد الكرة البيضاء بطاقة حركية بواسطة عصا البلياردو التي بدورها تتصادم مع كرة ملونة (الكرة الحمراء) بزاوية محددة فتكتسب الكرة الحمراء طاقة حركية، وتتحرك على حساب الطاقة الحركية للكرة البيضاء. تفقد الكرة البيضاء اما كل طاقتها الحركية فتتوقف او تفقد جزء من طاقتها الحركية وتنحرف عن مسارها قبل التصادم. وتستمر اللعبة بهذه الطريقة. ويكون هذا النوع من التصادم هو تصادم مرن يتم فيه الحفاظ على طاقة وكمية الحركة قبل وبعد التصادم. أي ان طاقة الحركة وكمية الحركة محفوظة.



شكل (8): التصادم المرن وظاهرة كومتن في لعبة البلياردو

لاحظ ان عصا البلياردو في الشكل (8) تنقل طاقة الحركة إلى الكرة البيضاء والتي بدورها تنقلها إلى الكرة الحمراء.

ما يحدث في ظاهرة كومتن هو ما يحدث على طاولة البلياردو حيث يقوم الفوتون (الكرة البيضاء) بالتصادم مع الكترون حر (الكرة الحمراء). يكتسب الالكترون الحر طاقة حركية ويفقد الفوتون جزء او كل طاقته. فقدان الفوتون للطاقة هو نقصان في تردده بمعنى زيادة في طوله الموجي.

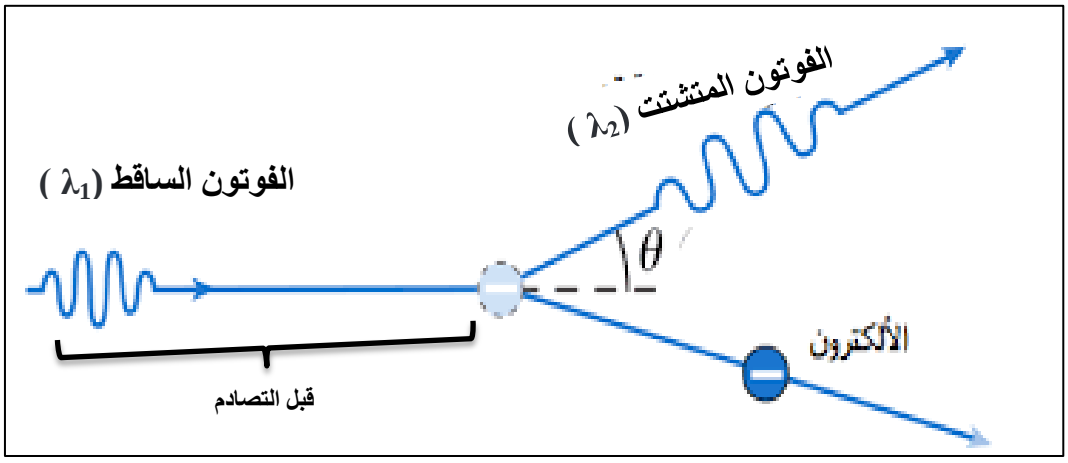
H.W : ما الفرق بين التصادم المرن والتصادم غير المرن ؟

ظاهرة كومتن والطبيعة الجسيمية للإشعاع (الفوتون):

اعتبرت ظاهرة تأثير كومتن طفرة فيزيائية في مطلق القرن العشرين، حيث أكدت على الطبيعة الجسيمية للإشعاع. شرح كومتن الخواص الجسيمية للإشعاع من خلال تجربته في التشتت.

وجدت التجربة زيادة في الطول الموجي للإشعاع المتشتت. اكتشف أيضًا أن الفوتون المتشتت قد انحرف عن زاويته الأولية (زاوية السقوط). هذا التشتت هو ناتج عن تصادم مرن ونعلم ان التصادم هو طبيعة جسيمية، وهنا احتار العلماء في تفسير هذا التصادم بناء على النظرية الموجية للإشعاع.

تجربة توضح ظاهرة كومتن



شكل (9): ظاهرة كومتن

عندما تسقط أشعة اكس ذات الطول الموجي (λ_1)، على إلكترون حر، فان أشعة اكس المتشتتة المتصادمة مع الالكترون الحر يكون لها طول موجي مختلف وليكن (λ_2) وجد كومتن من خلال تجاربه ان هناك دائما زيادة في الطول الموجي لِأشعة اكس المتشتتة.

تشتت اشعة اكس بواسطة الالكترون يتوافق تماما مع ما عرفناه سابقا بالتصادم المرن، وبالتالي فان هذا يؤكد الطبيعة الجسيمية للإشعاع.

بالاعتماد على خصائص الفيزياء الكلاسيكية لا يمكن باي حال من الأحوال تفسير الزيادة الملحوظة في الطول الموجي للإشعاع المتشتت عن الالكترون الحر، وبالاستعانة بفرضية اينشتاين بان طاقة الاشعاع لا تنتشر بشكل متصل بل تنتشر في صورة كمات محدودة من الطاقة أطلق عليها اسم الفوتون وان طاقة كل فوتون تعتمد على تردده. وحيث ان اشعة اكس ما هي الا اشعة كهرومغناطيسية وإنها تتصرف في ظاهرة كومتن كما لو كانت جسيمات منفصلة من الطاقة أي فوتونات، فانه يسهل تفسير ما يحدث في تجربة كومتن.

بتطبيق قوانين حفظ الطاقة وكمية الحركة للأجسام المتصادمة قبل وبعد التصادم يمكن إيجاد علاقة تحسب مقدار التغير في الطاقة للإشعاع المتشتت (الفوتون) او بمعنى اخر إيجاد التغير في طوله الموجي، وكذلك التغير في طاقة حركة الالكترون بعد التصادم.

توضح ظاهرة كومتن العلاقة بين الطول الموجي للفوتون الساقط والفوتون المتشتت بعد تصادمه مع الكترون حر.

تعطى المعادلة الرياضية التي تصف ظاهرة كومتن من خلال المعادلة ادناه:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_\circ c}(1 - cos(\theta)) \qquad \text{.....(7)}$$

λ_2 : طول الموجة الساقطة ، λ_1 : طول الموجة المستطارة ، m_0 : كتلة السكون للالكترون

و θ : زاوية الالكترون المستطارة .

$$p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$ ⟸ معادلة الزخم (p)

يمكن اعادة كتابة المعادلة (7) بالشكل التالي :

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{4\pi\hbar}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$\frac{\hbar}{mc} = \frac{1.054\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times3\times10^{8}} \approx 4\times10^{-13}\,m$$

$$\therefore \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 4\pi\times4\times10^{-13}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$\Delta\lambda = 16\pi\times10^{-13}\sin^2\frac{\theta}{2}.....(8)$$

مثال :ما اقصى خسارة في طاقة فوتون تبلغ طاقته 10 eV عند تصادمه مع الالكترون الساكن وماهي سرعة الالكترون بعد التصادم؟

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta)$$

اقصى خسارة عند $\theta = 180^0$

$$\Delta\lambda = \frac{6.623\times10^{-34}}{9.1\times10^{-31}\times3\times10^{8}}(1-\cos\pi)$$

$$= 4.86\times10^{-12}\,m$$

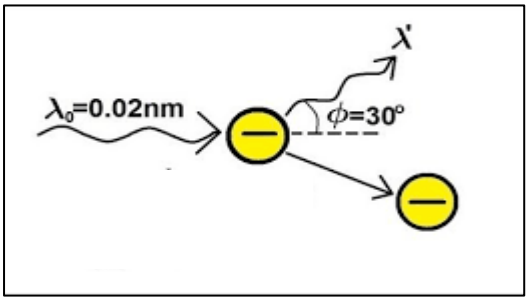
$$\Delta E = \frac{hc}{\Delta\lambda} = \frac{6.623\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{4.86\times10^{-12}} = 4.09\times10^{-14}\,Joule$$

$$\Delta E = \frac{4.09\times10^{-14}\,J}{1.6\times10^{-19}c} = 2.55\times10^{5}eV$$ اقصى خسارة بالطاقة

$$\because \Delta E = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\Delta E}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\times4.09\times10^{-14}}{9.11\times10^{-31}}} = 2.99\times10^{8}\,\frac{m}{\sec}$$ سرعة الالكترون بعد التصادم

H.W: من الشكل التالي اوجد الطول الموجي المتشتت



H.W: ما النتائج التي توصل لها كومتن من تجربته؟

H.W :احسب نسبة التغير في الطول الموجي الى الطول الاصلي عندما يعاني فوتون ضوء مرئي $\lambda = 5000A^{\circ}$ تأثير كومتن وينحرف بزاوية 90^{0} عند اصطامه بإلكترون ؟

H.W :ما هو االفرق بين التأثير الكهروضوئي و تأثير كومتن؟

H.W / هل التأثير الكهروضوئي وتأثير كومتن متشابهان؟ وضح ذلك

خامساً: الخط الطيفي للأشعة السينية (x-ray linear spectral) :

من المعلوم ان الالكترونات ذات الطاقات العالية في انبوب الاشعة السينية تستطيع ان تولد فوتونات اشعة سينية بطاقة عظمى محدده، وهي ظاهرة لا يمكن تفسيرها الا على اساس ان الاشعاع الكهرومغناطيسي يتصرف كفوتون عند تفاعله مع المادة. اذا تحرك الكترون بين فرق جهد مقداره V فان طاقته الحركية المكتسبة تساوي eV وعلى ذلك فان اكبر طاقة يستطيع أن يفقدها بطبيعة الحال هي ايضا eV والتي تتحول الى فوتون الاشعة السينية ذو الطاقة العظمى $(h\nu_{max})$ حسب نظرية الفوتونات للاشعاع. عندئذ يمكن كتابة:

$$\lambda_{min} = \frac{12394}{V} A^{\circ}$$

حيث λ_{min} : الطول الموجي للاشعة الصغرى