Title: "تفاعل الأشعة مع المادة"

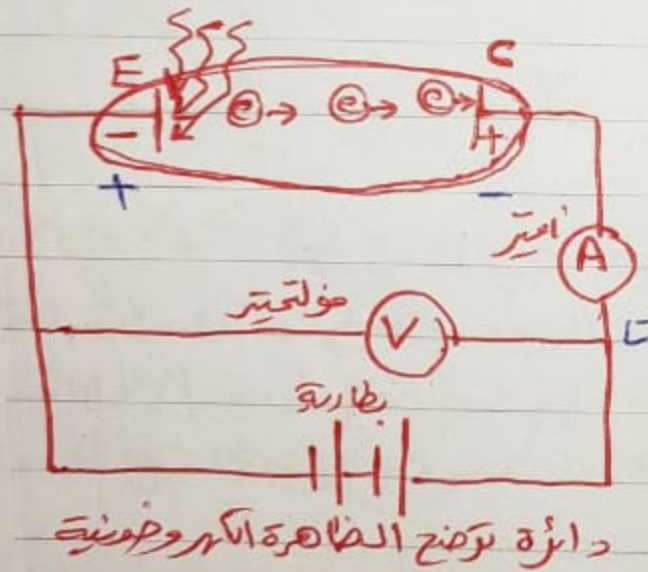
ذكرنا في المحاضرة السابقة بأن ماكس بلانك افترض أن الاشعاع الكهرومغناطيسي هو صورة من صور الطاقة تنبعث بتردد معين وطاقتها $E = h\nu$ وتتواجد في شكل كمات عند سقوط الأشعة على المادة ، تمتص المادة طاقة الفوتونات كلها أو جزء منها وبناءً عليه يحدث التفاعل مما يؤثر على خصائص هذه المادة

- عليه للأشعة أن تتفاعل مع المادة عدة طرق مختلفة هي:-

أولاً: الظاهرة الكهروضوئية "The photoelectric effect"

- في عام ١٨٨٧ م قام العالم هيرتز بعمل تجارب للتأكد من وجود الأمواج الكهرومغناطيسية فاكتشف أنه عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على أقطاب أنبوبة تفريغ كهربي فإنه ينطلق جسيمات مشحونة من سطح القطب

- اكتشف لينارد أن هذه الجسيمات مشحونة بشحنة سالبة (الالكترونات) وتسمى بالالكترونات الضوئية وأطلق على هذه الظاهرة اسم الظاهرة الكهروضوئية

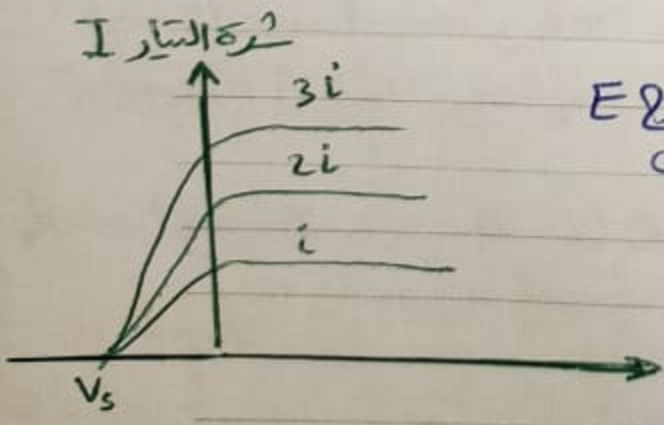


دائرة توضح الظاهرة الكهروضوئية

- يتكون الجهاز من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء بها لوحين معدنيين أحدهما يوصل بالقطب السالب من البطارية والآخر بالموجب وفولتميتر وأمتير

- عند سقوط الأشعة على اللوح E فإن الالكترونات تتحرر من سطح المعدن متجهة نحو القطب الآخر وعندها يمر تيار كهربي يقاس باستخدام الأمتير

- ولكن نلاحظ الآتي :-



1. بزيادة شدة الاشعاع الساقط (حيث $i < 2i < 3i$) على اللوح E تزداد عدد الالكترونات الضوئية المنبعثة منه وبالتالي تزداد شدة التيار مع فرق الجهد حتى تصل إلى قيمة تسمى حالة التشبع وعند عكس الأقطاب لابد للالكترونات أن يكون لها طاقة حركية كافية تمكنها من الوصول للهبط السالب للتغلب على التنافر

SHOT ON MI 9 LITE
AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

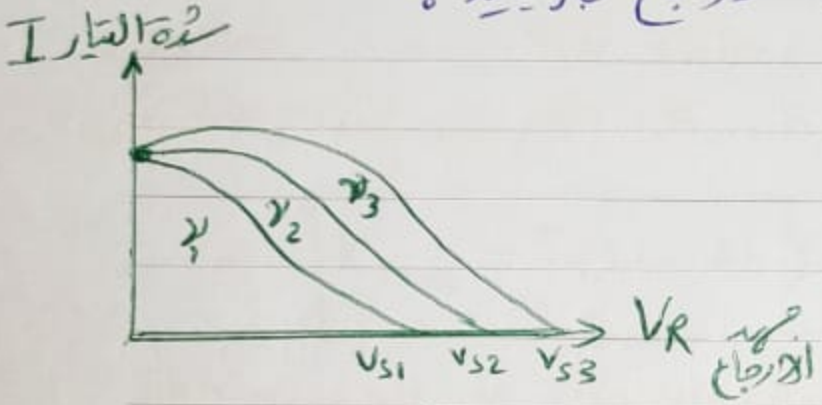
2 الجهد السالب للمهبط قد يرد بعض الالكترونات الضوئية ذات الطاقة المنخفضة ويسمى هذا الجهد (جهد الارجاع V_R) بزيادة هذا الجهد يقل عدد الالكترونات التي تصل إلى المهبط وبالتالي تقل شدة التيار حتى تنعدم.

ويعرف جهد الايقاف بأنه الجهد التي تنعدم عندها شدة التيار وعندها يكون

$$K_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = e V_s$$

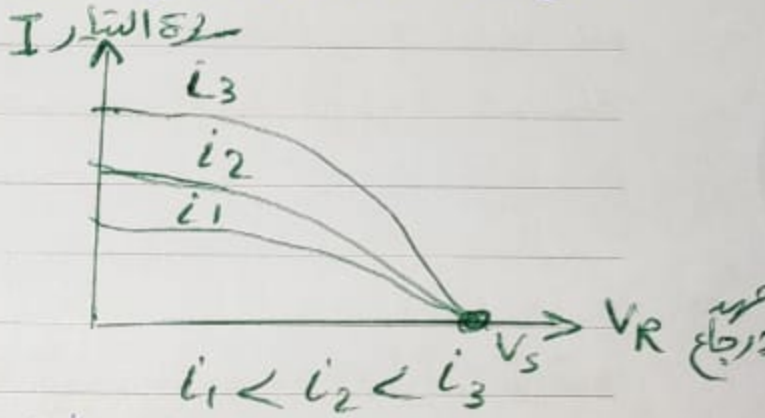
K_{max}: طاقة الحركة العظمى للالكترونات الضوئية
v_{max}: أقصى سرعة عندها الالكترونات
V_s: جهد الايقاف

وعند دراسة العلاقة بين شدة التيار وجهد الارجاع بطريقتين:



$\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$

بتثبيت شدة الاشعاع وزيادة التردد فالرغم من أن شدة التيار المقصود لهم جميعاً متساوية إلا أن قيمة جهد الايقاف تزداد بزيادة تردد الأشعة الساقطة

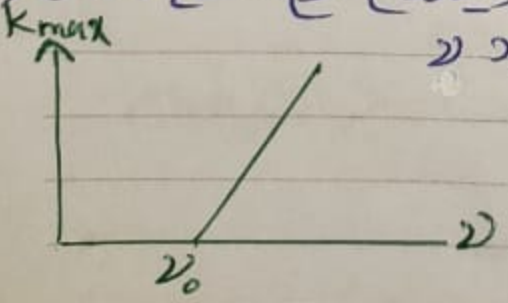


$i_1 < i_2 < i_3$

بثبات التردد وزيادة شدة الأشعة الساقطة نجد أن جميعهم لم تفقد قيمة جهد الايقاف وبالتالي جهد الايقاف لا يعتمد على شدة الأشعة الساقطة

- وبناءً عليه نجد أن طاقة حركة الالكترونات الضوئية العظمى تعتمد على تردد الأشعة الساقطة ولا يعتمد على شدة الاشعاع الساقط وهذا ما فشلت في تفسيره النظرية الكلاسيكية

3 ونجد أيضاً أنه لا تنبعث إلكترونات من السطح إلا إذا كان تردد الاشعاع الساقط أكبر من تردد معين يسمى تردد العتبة (التردد الحرج) ν_0 ويعتمد على نوع سطح المعدن وكذلك طاقة الحركة العظمى تتناسب خطياً مع التردد ν إذا كان أكبر من قيمة ν_0



4 تحدث عملية تحرر الالكترونات مباشرة عند سقوط الأشعة على المعدن مهما كانت شدته ضعيفة طالما أنه له تردد أكبر من التردد الحرج

BUE The British University in Egypt
ICTP The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics
Alexander von Humboldt Stiftung/Foundation
SHOT ON MI 9 LITE AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

⇐ نظرية أينشتين الكمية حول التأثير الكهروضوئي:-

بعد فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية استخدم أينشتين افكار بلانك حول الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي عبر صورة كمات سماها بالفوتونات

وطاقة الفوتون E تتناسب مع تردده ν $\quad E = h\nu$

- واقترح أينشتين المعادلة التالية لتفسير التأثير الكهروضوئي

$$E = K_{max} + W$$

حيث E تمثل طاقة الفوتون الساقط ويساوي $h\nu$ و K_{max} تمثل طاقة الحركة العظمى للالكترون و W تمثل دالة الشغل وتساوي $h\nu_0$.

⇐ عندما يمتص الالكترون على سطح المعدن فوتون طاقته $h\nu$ فإنه جزء طاقة الفوتون تستنفذ لتحرير الالكترون من سطح المعدن $(h\nu_0)$ والجزء الآخر يظهر كطاقة حركة للالكترون

$$\therefore \boxed{K_{max} = h(\nu - \nu_0)}$$

مثال:-

سقطت أشعة فوق بنفسجية ذات طول موجي 350 nm على سطح معدن دالة شغله تساوي 2.2 eV ، أحسب الطاقة الحركية القصوى للالكترونات الضوئية التي تنبعث من سطح المعدن .

الحل:-

طاقة فوتون الأشعة $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.6\times10^{-34} \times 3\times10^{8}}{350\times10^{-9}}$

$$= 5.6\times10^{-19}\ J$$

$$= \frac{5.6\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 3.5\ eV$$

$\therefore$ طاقة الحركة الضوئية $K_{max} = E - h\nu_0 = 3.5 - 2.2 = 1.3\ eV$

[أسئلة تقويم ذاتي]

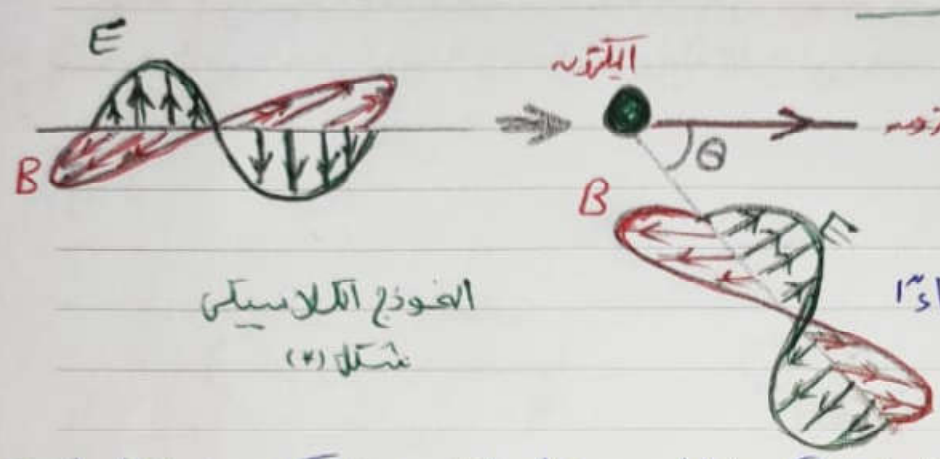
1- تحدث عن التأثير الكهروضوئي

2- ما هو اقتراح أينشتين عن التأثير الكهروضوئي

SHOT ON MI 9 LITE
AI TRIPLE CAMERA

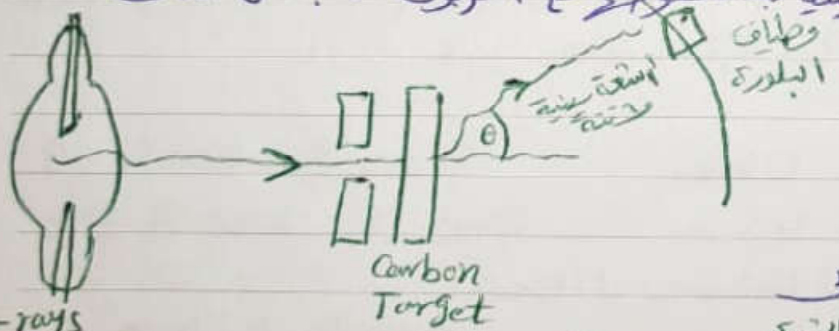
Title: _____

ثانياً: تأثير كومبتون The Compton effect



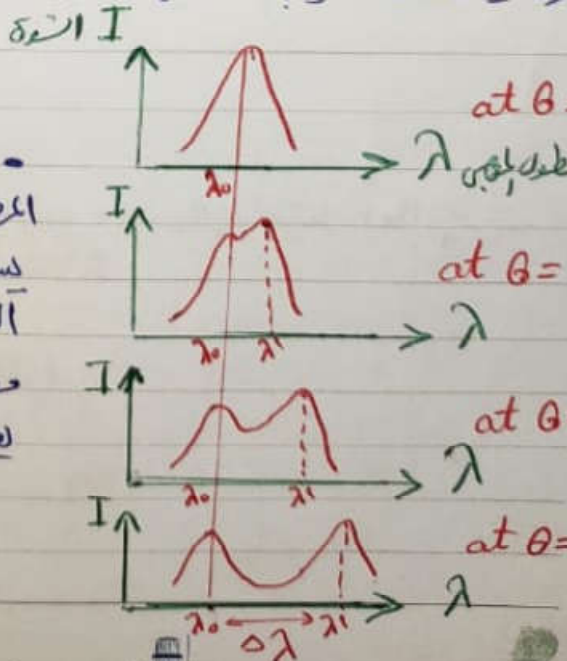
النموذج الكلاسيكي
شكل (٢)

قدم العالم طومسون نظرية لاستطارة (تشتت) الأشعة السينية خلال المواد وبناءً على نظرية الفيزياء الكلاسيكية فإنه إذا سقطت الأشعة السينية على الإلكترون فإن المجال الكهرومغناطيسي يعمل على تسارع الإلكترون في اتجاه الموجة ويجبر الإلكترون على الاهتزاز بنفس تردد الأشعة الساقطة فتصدر أشعة سينية بنفس التردد في جميع الاتجاهات ولكن جاء العالم آرثر كومبتون عام ١٩٢٣ مستخدماً وطيف لدراسة الأشعة السينية بعد سقوطها على الكربون كما بالشكل التالي



جهاز كومبتون لدراسة استطارة X-rays

- باستخدام وطيف بلوري يتحرك على محيط دائرة درس الأشعة السينية المشتتة عند زوايا مختلفة فوجد الشكل التالي



- نلاحظ أن الأشعة السينية المشتتة التي التقطها المطياف البلوري لها تركيبة إحداها طولها الموجي يساوي طول موجة الأشعة الساقطة λ_0 والمركبة الثانية لها طول موجي أكبر (طاقتها أخفض) مقدار الإزاحة (الفرق في الطول الموجي) $\Delta\lambda$ يعتمد على زاوية الاستطارة

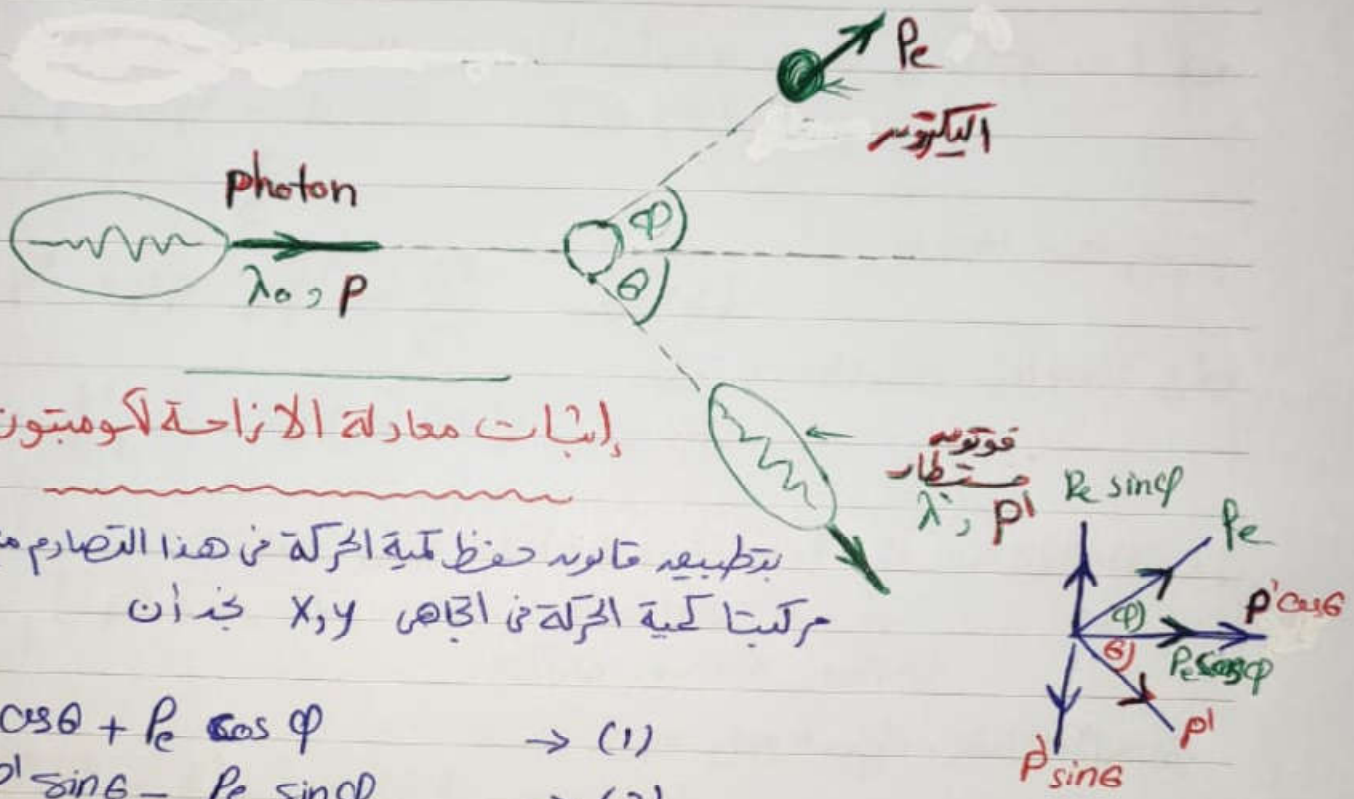
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta)$$

معادلة الإزاحة لكومبتون

BUE The British University in Egypt
ICTP The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics
Alexander von Humboldt Stiftung/Foundation
SHOT ON MI 9 LITE AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

- استخدم كومبتون أفكار بلانك وأينشتين عند تكميم الطاقة لتفسير هذه الظاهرة وأفترض أن الأشعة تتفاعل مع المادة على صورة كمات منفصلة (فوتون) وتعامل معها على أنها جسيمات وتصادم مع الالكترون كتصادم جسيمات مادية كما بالشكل التالي



إثبات معادلة الإزاحة لكومبتون

بتطبيق قانون حفظ كمية الحركة في هذا التصادم مع ملاحظة مركبتا كمية الحركة في اتجاهي x,y نجد أن

$$P = P'\cos\theta + P_e\cos\varphi \quad \rightarrow (1)$$

$$0 = P'\sin\theta - P_e\sin\varphi \quad \rightarrow (2)$$

للتخلص من φ نعيد كتابة المعادلات على الصورة:

$$P_e\cos\varphi = P - P'\cos\theta$$

$$P_e\sin\varphi = P'\sin\theta$$

بتربيع المعادلتين وجمعهم نحصل على

$$P_e^2(\sin^2\varphi + \cos^2\varphi) = (P - P'\cos\theta)^2 + P'^2\sin^2\theta$$

$$P_e^2 = P^2 - 2PP'\cos\theta + P'^2(\cos^2\theta + \sin^2\theta)$$

$$\therefore P_e^2 = P^2 + P'^2 - 2PP'\cos\theta \quad \rightarrow (3)$$

SHOT ON MI 9 LITE AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

في الخطوة التالية نوضح أنه عند سقوط فوتون طاقته E على الإلكترون حر فإنه يفقد جزء من طاقته يكتسبها الإلكترون في صورة طاقة حركية والجزء الآخر يخرج بطاقة أقل E'

$$\therefore E = E' + k \quad \rightarrow (4)$$

الطاقة الكلية للفوتون الساقط — طاقة الفوتون المشتتة — طاقة حركة الإلكترون

وعلماً أن $E = cp$ حيث p هي كمية الحركة (من المحاضرة السابقة)

$$\therefore cp - cp' = k \quad \rightarrow (5)$$

$$\therefore p - p' = \frac{k}{c}$$

بتربيع هذه المعادلة

$$p^2 - 2pp' + p'^2 = \frac{k^2}{c^2} \quad \rightarrow (6)$$

بطرح المعادلتين (3) و (6) نجد أن

$$p^2 - \frac{k^2}{c^2} = 2pp'(1 - \cos\theta) \quad \rightarrow (7)$$

ومن المحاضرة السابقة أوضحنا أن الطاقة الكلية تعطى بالعلاقة

$$E = \sqrt{c^2p^2 + m_e c^2}$$ ، $E = m_0 c^2 + k$

طاقة الحركة — طاقة السكون — طاقة كلية

بتربيع المعادلتين وطرحهم نحصل على

$$c^2p^2 = k^2 + 2m_e c^2 k \quad \div c^2$$

$$\therefore p^2 - \frac{k^2}{c^2} = 2m_e k = 2m_e c(p - p') \quad \leftarrow (5) \text{ من معادلة}$$

$$\hookrightarrow (8)$$

بمقارنة المعادلتين (8) و (7) نجد أن

$$2m_e c(p - p') = 2pp'(1 - \cos\theta)$$

$$\therefore \frac{p - p'}{pp'} = \left(\frac{1}{p'} - \frac{1}{p}\right) = \frac{1}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$\therefore \boxed{\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)} \quad //$$

$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 0.0243\ \text{Å}$ يسمى ← الطول الموجي لموجة كومبتون

SHOT ON MI 9 LITE
AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

مثال :-

فوتون طول موجته $1^{\circ}A$ إصطدم بإلكترون ساكن، إذا كانت زاوية الاستطارة للفوتون هي 90°

1- احسب التغير في طول موجة الفوتون
2- التغير في طاقته بعد التصادم
3- احسب الطاقة الحركية للإلكترون

الحل :-

- التغير في الطول الموجي $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta)$

$$= 0.0243(1-\cos 90) = 0.0243\ ^{\circ}A$$

- طاقة الفوتون قبل التصادم $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.6\times10^{-34}\times 3\times10^{8}}{1\times10^{-10}}$

$$= 1.98\times10^{-15}\ J$$

- طاقة الفوتون بعد التصادم $\Rightarrow \because \Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 \Rightarrow \lambda' = 1.0243\ ^{\circ}A$

$$\therefore E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{6.6\times10^{-34}\times 3\times10^{8}}{1.0243\times10^{-10}} = 1.93\times10^{-15}\ J$$

- الطاقة الحركية للإلكترون $K = E - E' = 0.05\times10^{-15}\ J \simeq 313\ eV$

SHOT ON MI 9 LITE
AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

Pair production إنتاج الزوج

في البداية دعونا نتكلم عن مضادات الجسيمات (antiparticles). يبدو لنا بأن كل جسيم ضمن الكون يمتلك جسيم آخر يشاركه معه في الكثير من الخصائص ولكنه يمتلك عدد من الخصائص الأخرى التي تماثل وتضاد وتعاكسه للأولى ونطلق عليها اسم مضادات الجسيمات في الجدول التالي نوضح بعض من هذه الجسيمات

particle	antiparticle
electron ⊖	Poistron ⊕
proton ⊕	Antiproton ⊖
neutron ⊘	Antineutron ⊘

- فعلى سبيل المثال: فإن الإلكترون له شحنة سالبة بينما الجسيم المضاد له يسمى بوزيترون (Poistron) وهو جسيم يشبه الإلكترون في جميع خواصه إلا أن شحنته موجبة ولكنه مقدارها مساوٍ لشحنة الإلكترون

وقد اكتشف العالم كارل أندرسون عام ١٩٣٢ وجود البوزيترون في الأشعة الكونية وأيضاً تنشأ هذه الجسيمات أثناء انحلال أنوية عناصر مشعة.

- تحدثنا أيضاً عن قانون تكافؤ الطاقة والكتلة $E=mc^2$ وأنه يمكن تحويل الكتلة إلى طاقة والعكس ولكنه بشرط تحقيق قانون الحفاظ على الشحنة والطاقة وكمية الحركة.

⇐ تحويل الطاقة إلى مادة (Pair Production)

بما أن الفوتون ليس له شحنة فإن الجسم الناتج يجب أن يكون زوج من الجسيمات مختلفة الشحنة. أي أن لا يمكن أن يتحول فوتون إلى إلكترون متعزل ولكنه يتولد إلكترون وبوزيترون أحدهما سالب والآخر موجب بزيترون وذلك للحفاظ على الشحنة الكلية وتسمى هذه العملية بعملية انتاج الزوج.

- حتى تحدث عملية انتاج الزوج لابد أنه تكون أقل طاقة يمتلكها الفوتون مساوية لطاقة تكوينية (الطاقة المكونة) لكلا من الجسيمين للحفاظ على الطاقة

طاقة الفوتون $E = E_1 + E_2$

$E_1 = mc^2 = 0.51$ MeV ،

$h\nu = m_e c^2 + m_e c^2$

فإن أقل طاقة للفوتون تمتلكها حتى تحدث العملية هي

$h\nu = 1.02$ MeV

SHOT ON MI 9 LITE AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

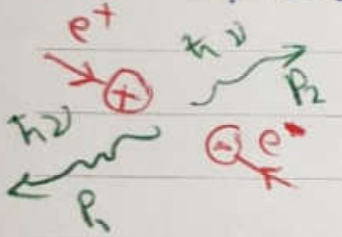
- إذا اكلم الفوتون يمتلك طاقة أكبر من طاقة السكونية لجسيم فإنه الطاقة الإضافية ستظهر في شكل طاقة حركية يكتسبها الجسيمات وعليه كتابة قانون حفظ الطاقة على الصورة:

طاقة الفوتون — الطاقة الكلية e^+ — الطاقة الكلية e^-

$$h\nu = E_1' + E_2'$$
$$= (m_e c^2 + E_{k1}) + (m_e c^2 + E_{k2})$$
$$= 2 m_e c^2 (E_{k1} + E_{k2})$$

← تحول المادة إلى طاقة "pair annihilation"

ظاهرة تحول أو تلاشي زوج من الجسيمات إلى فوتون هي الظاهرة العكسية لانتاج الزوج. وتحدث ظاهرة تلاشي الزوج عندما يصطدم جسيم بجسيم آخر مضاد له مثل اصطدام الإلكترون والبوزترون فيتلاشيان ويظهر بدلاً منهما زوج من فوتونات أشعة جاما



- وعليه يكون مبدأ ثبوت الطاقة هو

$$2 m_e c^2 = h\nu_1 + h\nu_2$$

حيث ν_1 و ν_2 هما تردد الفوتونين الناتجين

- من قانون حفظ كمية الحركة فإن

$$0 = P_1 - P_2$$

$$0 = h\nu_1 - h\nu_2$$

$$\therefore \nu_2 = \nu_1 = \nu$$ لابد أن

SHOT ON MI 9 LITE
AI TRIPLE CAMERA

Title: _____

مثال:

طاقة فوتون أشعة جاما تساوى 4.022 eV ، إذا تلاشى هذا الفوتون في مجال نواة إحدى الذرات

١- هل يتم إنتاج زوج من الإلكترون ؟علل.
٢- احسب الطاقة الحركية للجسيمات الناتجة.
٣- احسب الطاقة الكلية للجسيمات الناتجة.

الحل

١- لا يمكن إنتاج نوع واحد من الشحنات لابد من إنتاج جسيم وضده حيث أن هذا يتعارض مع قانون حفظ الشحنة.

٢- الطاقة الكلية

$$E_{\text{فوتون}} = E_{electron} + E_{positron}$$

$$= 2m_e c^2 + 2E_k$$

$$\therefore E_k = \frac{E - 2m_e c}{2} = \frac{4.022 - (1.022)}{2} \quad MeV$$

$$E_k = 1.5 \ MeV$$

٣- من قانون الطاقة النسبية في الفصل الأول

$$E = m_e c^2 + E_k$$
$$= (0.511 + 1.5) \ MeV = 2.011 \ MeV$$

SHOT ON MI 9 LITE AI TRIPLE CAMERA