

م/ تفاعل الاشعاع مع المادة

إعداد الأستاذ: محمد شهاب أحمد الخزرجي

مقدمة:

الإشعاع النووي هو ظاهرة فيزيائية تحدث في الذرات غير المستقرة للعناصر ، وفيه تفقد النواة الذرية بعض جسيماتها وتتحول ذرة العنصر إلى عنصر آخر أو إلى نظير آخر من العناصر ذاتها.

التفاعل النووي ظاهرة كونية غير مستقرة ينتج عنها طاقة كبيرة يمكن أن تستغل سلباً أو إيجاباً والإشعاع النووي ينقسم إلى:-

-أشعة ألفا : أيون الهليوم:(He)

-أشعة غاما (أشعة كهرومغناطيسية ولها مسمى آخر الأشعة الكونية.)

-أشعة بيتا وتنقسم إلى : أ/ الكترون)السالبه (ب/ يوزترون)الموجبه. (

يسبب التعرض للأشعة النووية تغيرات كيميائية في أنسجة الكائنات الحية ، مما يؤدي

إلى أضرار كبيرة للجسم وتزداد درجة تلك التغيرات الكيميائية تبعاً لمقدار جرعة

الإشعاع التي تم امتصاصها بواسطة الجسم ، ولا يظهر مقدار الإصابة أو الضرر

للشخص عند تعرضه للإشعاع إلا بعد فترة من الزمن تعرف بدورة الكيمون أو فترة

الحضانة ، وقد تتأخر الآثار المبكرة لبعض أنواع التعرض الإشعاعي إلى سنوات ويحدد

نوع ومصدر الإشعاع نوع الإصابة التي ينتج عنه.

يطلق أسم الإشعاعات المؤينة على جميع الإشعاعات النووية وهي شكل من أشكال الطاقة

لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة لكي يمكن التعرض لها كما انه لا يمكن للإنسان أن يحس بها كأحساسه بدرجة حرارة الشمس والناثر مثلاً فيمكنه الإبتعاد عنها وإنما تسلسل هذه الإشعاعات المؤينة إلي الجسم وتنتقل طاقتها إليه والتي تؤدي إلي أضرار تتراوح بين عدة ساعات وعشرات السنوات على حسب كمية الجرعة التي يتعرض لها جسم الكائن الحي.

ويقصد بالإشعاع المؤين تلك الأشعة التي لها القابلية لتفكك الذرات والجزئيات التي تتكون منها المادة ومن ضمنها أجسام الكائنات الحية وتشمل جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما والنيوترونات.

يتعرض الكائن الحي للإشعاع المؤين من مصدرين أساسيين هما النظائر الطبيعية والنظائر المشعة الصناعية وللوقاية من الإشعاع يجب تجنب التعرض لهذه الأشعة وذلك بإتباع برامج الوقاية

تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة:

ان الجسيم المشحون اثناء دخوله في وسط مادي معين فانه اما ان يتفاعل مع الالكترونات الذرية او مع نواة الذرة من خلال تأثير الجسيم بقوة كولوم ومع ان كل الكترون يعترض الجسيم يؤدي الى خسارة في طاقة الجسيم الحركية بمقدار لايتجاوز بضعة eV فان التأين وتهيج الذرات يسبب اكبر مقدار للخسارة في الطاقة لكل وحدة طول من مسار الجسيم . ان الخسارة في الطاقة الحركية من جراء اعتراض نوى الذرات للجسيم تكون اكبر بكثير من اعتراض الذرات نفسها ولكن احتمال تصادم الجسيم بنوى الذرات هو قليل جدا بالمقارنة مع احتمال تصادمه بالذرات لان الذرة اكبر 10^8 مرة من نواة الذرة ان احتمالية التصادم (التفاعل) يتناسب طرديا مع المساحة

أي ان التفاعل مع النواة يحدث مره واحده لكل 100 مليون تفاعل مع الذرة لذلك يعتبر هذا التفاعل مهملا كوسيلة من وسائل فقد الطاقة لذا ستركز دراستنا لتفاعلات الجسيم المشحون على التصادمات مع الالكترونات الذرية فقط. ولكن عند زيادة الطاقة الحركية للجسيمة تزداد احتمالية تفاعلها مع النواة .

عندما ينفذ شعاع ما إلى داخل المادة، يحدث تأثيرات متبادلة مميزة عن طريق تبادل الطاقة بين الشعاع

وذرات الوسط. وتتميز دراسة هذه التأثيرات بتحقيق حالتين مختلفتين وهما:

الحالة الأولى: إعتبار الحزمة مكونة من جسيمات مشحونة مثل b^{++} ، a و b^{+} أو أيونات ثقيلة.

وبما أن المادة مكونة من إلكترونات سالبة وأنوية موجبة فإن الجسيمات المشحونة ستجذب بواسطة فعل

الكهرباء الساكنة أو تتدافع من قبل الوسط الماص. وبهذه الحالة يقال بأن هذه الجسيمات مؤينة بشكل **directly ionizing radiation** مباشر

الحالة الثانية: إعتبار الحزمة مكونة من جسيمات غير مشحونة مثل النيوترونات أو

الفوتونات. يقال عن هذه الجسيمات أنها مؤينة بشكل غير مباشر وذلك لأن الطاقة المودعة في المادة تتم بواسطة جسيمات ثانوية (فوتونات أو إلكترونات)

أنواع التأثيرات المتبادلة بين الأشعة والوسط المادي:

Types of mutual effect between the rays and the material medium:

عندما يجتاز جسيم ما وسط مادي ويتبادل التأثير معه قد تحدث إحدى التأثيرات التالية:

أ – تصادم مرن مع الغلاف الإلكتروني لذرات الوسط المادي.

ب – تصادم غير مرن مع ذرات أو أنوية الوسط حيث ينتقل جزء من الطاقة الحركية لهذا الجسيم إلى إحدى ذرات أو أنوية الوسط المادي، ويبقى الإنخفاض في الطاقة مستمراً إلى أن تتساوى مع الطاقة الحركية الحرارية لذرات الوسط المادي، وبعدها تتوقف عن الحركة بعد أن تكون قد عدلت شحنتها

ج – تصادم غير مرن مع إلكترونات الوسط المرتبطة، حيث تتحول طاقة هذا الجسيم إلى طاقة إثارة للذرة.

د - تصادم غير مرن مع إلكترونات أو نواة إحدى ذرات الوسط المادي ويؤدي ذلك إلى تباطئ حركة

الجسيمات المشحونة في الحقل الكولوني للإلكترونات أو النواة. وبذلك فإن الجسيمات المتباطئة تشع الطاقة على شكل أشعة تسمى بإشعاعات الكبح أو أشعة برامستر اهلفغ .bremsstrahlung radiation.

ه - قد تؤدي التصادمات مع نوى ذرات الوسط المادي إلى إثارة هذه النوى إلى مستويات طاقة مختلفة ناتجة عن التشتت الكولوني أو التشتت غير المرن أو حدوث أي نوع من أنواع التفاعلات النووية.

القدرة التثريدية والقدرة النفاذية لجسيمات الإشعاع الفعال:

The ionic power and the penetration power for effective ray particles:

تتبادل جسيمات الإشعاع الفعال (ألفا وبيتا وفوتونات غاما) ذات الطاقة الحركية الكبيرة عند اقترابها من وسط مادي التأثير مع إلكترونات ذرات الوسط المادي مما يؤدي إلى انتزاع هذه الإلكترونات من مداراتها.

وبالتالي إلى تأين ذرات الوسط المادي إضافة لذلك تثار الذرات أثناء ذلك مما يؤدي إلى إصدار الإشعاعات الواقعة في المجال المرئي كما يحدث تفعيل لجزيئات الوسط المادي مما يؤدي إلى تفاعلات كهركيميائية. تتناقص طاقة الإشعاع الفعال بمقدار ما ينفذ هذا الإشعاع داخل الوسط المادي وذلك بعد سلسلة من التصادمات المتتالية مع ذرات وجزيئات الوسط المادي، وما أن تصبح هذه الطاقة مساوية إلى القيمة الموافقة للمستوى الطاقى لحركتها (طاقتها الحركية) يتوقف تأثيرها على الوسط المادي. من ذلك نستنتج أنه كلما كانت القدرة التثريدية للإشعاع الفعال كبيرة تتناقص قدرتها النفاذية والعكس صحيح.

تتصف القدرة النفاذية بطول مسارها الحر في الهواء أي بالمدى الكبير الذي يمكن أن تنفذ إليه في الهواء. أما القدرة التثريدية للإشعاع الفعال فتتناسب طردياً مع

طاققتها. وتتعين القدرة التشريرية بواسطة التشررد النوعي وهو بالتعريف عبارة عن عدد أزواج الشوارد المتشكلة في الهواء على امتداد 1 cm

من المسار الحر للإشعاع الفعال ويرمز لها بالرمز IS . يرتبط التشررد النوعي specific ionization

بطبيعة الوسط المادي الذي يخضع للتشررد الإشعاعي، وكذلك بنوع الجسيمات التي تجتاز هذا الوسط

المادي، فكلما كان العدد الذري لهذا الوسط المادي كبيراً وكذلك كثافته كان تشررده النوعي كبيراً ومدى

نفوذية الإشعاع الفعال صغيراً. فإذا اعتبرنا أن الطاقة اللازمة لتشكيل زوج واحد من الشوارد في الهواء تساوي وسطياً 34 eV استطننا بعد معرفة طاقة الإشعاع

الفعال حساب عدد الشوارد التي من الممكن أن تتشكل في الهواء على طول المسار الحر لهذا الإشعاع، وإذا قسمنا العدد الأخير على طول المسار الحر للإشعاع الفعال حصلنا على التشررد النوعي

يعرف المدى الذي تبلغه الجسيمات المشحونة الم شكلة للإشعاع الفعال داخل الوسط المادي والذي يرمز له بالرمز R بأنه عبارة عن المسافة التي يقطعها الجسيم المشحون داخل الوسط المادي حتى يفقد طاقته تماماً ثم يتوقف.

يمكن الحصول على هذا المدى إذا رسمنا العاقبة بين عدد الجسيمات المشحونة الساقطة والتي لها نفس الطاقة وبين المسافة التي تقطعها هذه الجسيمات داخل الوسط المادي. وبالتالي يمكن أن نعرف طول المدى هنا بأنه عبارة عن المسافة التي يقطعها الجسيم المشحون داخل الوسط المادي حتى يتناقص عدد الجسيمات إلى نصف عددها البدائي .

تفاعلات أشعة غاما مع الأوساط المادية

Reaction Between Gama and Material Medium

تختلف آليات تفاعل أشعة غاما مع الأوساط المادية التي تمر عبرها اختلافاً جذرياً عن تلك التي

تعرفنا عليها في تفاعلات إشعاع ألفا أو بيتا.

ففي حالة جسيمات ألفا أو بيتا يمكن الحديث عن المسافات التي تقطعها هذه الجسيمات في المادة حيث أن الجسيمات المشحونة تعطي طاقتها إلى الوسط بشكل تدريجي عبر عمليات التأيين التي تستمر حتى تؤول الطاقة بأكملها إلى الوسط الماص. أما أشعة غاما تقطع مسافات طويلة وغير منتظمة بين تفاعل وآخر، ولا يمكن للوسط أن يمتص كامل طاقتها وإنما أن يضعف فقط من شدتها. تتفاعل أشعة غاما مع المادة عبر آليات ثلاث رئيسة هي التالية :

1- Photoelectric Effect المفعول الكهروضوئي

2 - Compton Effect مفعول كومبتون

3- توليد أزواج إلكترون – بوزيترون Pair Production Effect

يحدث كل من هذه التفاعلات تأييناً في ذرات الوسط يشار إليه باسم التأيين الأولي. بعد ذلك تقوم الإلكترونات المتولدة في حوادث التأيين الأولية (والتي تحمل قدراً كافياً من الطاقة) بمتابعة تأيين ذرات أخرى في الوسط الماص عبر سلسلة من حوادث التأيين يشار إليها كحوادث تأيين ثانوية. إن حادثة تأيين أولية وحيدة من شأنها أن تطلق عدداً كبيراً جداً من حوادث التأيين والتهيج الثانوية. ومن المهم أن نذكر هنا أن التفاعلات الثانوية هي المسؤولة الأولى عن نقل الجزء الأكبر من الطاقة إلى مادة الوسط الماص، وآلية حدوث هذه التفاعلات في النسيج البيولوجي في جسم الإنسان هي المعيار الأساسي للقدرة التخريبية التي تحملها الأشعة الكهروضوئية. تصنف تفاعلات أشعة غاما مع المادة ضمن الظواهر التي ترجع إلى الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهروضوئي، ولذلك فإننا سنعمد هنا إلى تفسير هذه التفاعلات استناداً على الطبيعة الجسيمية للفوتونات.

(Photoelectric Effect) المفعول الكهروضوئي

يمكن للفوتون ذي الطاقة المنخفضة نسبياً (أقل من 1 ميغا إلكترون فولط) أن يعطي طاقته كلها دفعة واحدة إلى واحد من إلكترونات المدارات الداخلية القريبة من النواة، الأمر الذي يؤدي إلى نزع هذا الإلكترون من مداره ليغادر الذرة وينبعث في الوسط حاملاً فائض الطاقة

وبطبيعة الحال فإن هذا الإلكترون، والذي يشار إليه باسم الإلكترون الضوئي، سوف يحدث تأيناً وتهيجاً لذرات الوسط على امتداد مساره.

بالنسبة للطاقات العادية للفوتونات فإن المدار الداخلي الأول أو ما يعرف بالطبقة K يمثل المصدر الرئيس للإلكترونات الضوئية في ظاهرة المفعول الكهروضوئي. يترك المفعول الكهروضوئي الذرة في حالة مثارة نتيجة أيون موجب إلكترون ضوئي فوتون إحداث ثغرة في أحد مداراتها الداخلية، لكنها سرعان ما تعمد إلى سد هذه الثغرة عبر أسر واحد من الإلكترونات الحرة، أو عبر إعادة ترتيب باقي إلكتروناتها المدارية. في الحالة الأخيرة ينتقل أحد إلكترونات الطبقات الخارجية ذات السويات الطاقة الأعلى إلى الطبقة الداخلية (ذات السويات الطاقة الأدنى) ليسد الثغرة التي خلفها الإلكترون الضوئي. ويرافق ذلك إصدار فارق الطاقة على شكل أشعة إكس المميزة للذرة. تجدر الإشارة إلى رجحان المفعول الكهروضوئي لدى ذرات المواد ذات الأعداد الذرية الكبيرة، لذلك فإن عنصراً ثقيلًا كالرصاص $(Z) = 82$ يمثل مادة فعالة لأغران التدريع ضد الفوتونات منخفضة الطاقة. أما في حالة المواد ذات الأعداد الذرية الصغيرة كالألومنيوم على سبيل المثال، فإن دور المفعول الكهروضوئي يكون هامشيًا إذا ما قورن مع آليات التفاعل الأخرى.

بموجب هذا المفعول يفقد الفوتون الغاموي (أو السيني) كامل طاقته نتيجة للتصادم المباشر بين الفوتون والساقط وأحد الإلكترونات المرتبطة بذرة من ذرات الوسط المادي حيث يمنحها لهذا الإلكترون لينطلق تاركاً ذرته، وليفنى بالمقابل الفوتون الساقط. ويطلق على هذا الإلكترون المنطلق إسم الإلكترون الضوئي

وتُحدد طاقته الحركية $E_k(e)$ (بالعاقبة التالية) $E_k(e) = E\gamma \text{ (or X)} - EB$:

حيث $E\gamma \text{ (or X)} = hu$: تمثل طاقة الفوتون الوارد و EB تمثل طاقة ارتباط الإلكترون المعتبر على مداره. تعاني الذرة نتيجة لإقتناع الإلكترون بواسطة المفعول الكهروضوئي من عدم إستقرار، مما يستلزم إعادة

ترتيب إلكتروني مترافق بإصدار حزم من الأشعة الفلوريسينية تختلف فيما بينها بحسب نوع الذرة حيث نجد:

من أجل الذرات الثقيلة يكون هناك إصدار لحزمة من الأشعة السينية. أما من أجل الذرات الخفيفة

يكون هناك إصدار لحزمة من الأشعة فوق بنفسجية.

باستثناء المواد الماصة ذات العدد الذري المنخفض يكون المفعول الكهروضوئي مسيطراً عند الطاقات المنخفضة، فمن أجل الطاقات ($0.1 \rightarrow 1 \text{MeV}$) غالباً ما يحدث

المفعول الكهروضوئي مع الإلكترونات الأكثر ارتباطاً بالذرة

أي مع إلكتروني الطبقة K. أما من أجل الطاقات الأخفض من 0.1MeV

يمكن للمفعول الكهروضوئي أن يحدث مع الكترونات الطبقات العليا (أي مع

الإلكترونات الأقل ارتباطاً

بالذرة.) وأما من أجل الطاقات الأعلى من 1MeV يتناقص احتمال حدوث المفعول

الكهروضوئي مع ازدياد طاقة الفوتونات.

تتصف احتمالية التأثير المتبادل بواسطة المفعول الكهروضوئي بمعامل تخامد كتلي

μ_{phel} (mm). وتكون هذه الإحتمالية كبيرة بقدر ما تكون طاقة الفوتون الوارد أكبر بقليل

من طاقة ارتباط إلكترون على مداره.

لقد تمكن كل من العالمان براغ وبيرس من وضع قانون يهتم بدراسة تابعة معامل التخامد

الكتلي العائد للمفعول الكهروضوئي لطاقة أو للطول الموجي للشعاع الوارد وكذلك

بطبيعة الوسط المادي

في حال كان الوسط المادي مكون من عناصر ذرية مختلفة، يجب أن نأخذ

في هذه الحالة العدد الذري الفعال Z_{eff} للوسط المادي وذلك انطلاقاً من الأعداد الذرية

للعناصر البسيطة

المكونة لهذا الوسط وبحسب نسبة وجودها فيه.

ب) مفعول كومبتون Compton Effect

يقصد بتبعثر كومبتون التفاعل الذي يحدث لدى اصطدام الفوتون بواحد من إلكترونات الطبقات

الخارجية في الذرة، حيث يعطي الفوتون في حادثة الصدم هذه جزءاً فقط من طاقته إلى الذرة. أما

الإلكترون فيترك مداره ويغادر الذرة (تأيين أولي) ليشق طريقه في الوسط الماص محدثاً تأييناً /

تهييجاً ثانوياً على امتداد مساره. ومن جهته فإن الفوتون الذي يرتد عن الذرة حاملاً الجزء المتبقي

من طاقته قد يعاود التفاعل من جديد مع واحدة أخرى من ذرات الوسط الماص.
يقدم الشكل رسماً توضيحياً لتبعثر كومبتون يظهر فيه أن الفوتون الوارد يصطدم بواحد من
إلكترونات الطبقة الخارجية في الذرة فينتزعه من مداره ويرتد عنه حاملاً الجزء المتبقي من
طاقته تتعلق زاوية ارتداد الفوتون بكل من طاقته الأصلية من جهة، والطاقة التي يعطيها إلى
الإلكترون من جهة أخرى.

في حالة الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة تكون الطاقة المنقولة إلى الإلكترون المنزوع صغيرة جداً،
بينما تأخذ

زاوية الارتداد قيمة كبيرة نسبياً. أما الفوتونات عالية الطاقة (10 إلى 100 ميغا إلكترون فولط)
فتعطي جزءاً كبيراً من طاقتها إلى الإلكترون،

لكنها غالباً ما ترتد بزوايا صغيرة نسبياً محافظة إلى حد ما على اتجاهها الأصلي.
يعتبر مفعول كومبتون التفاعل الأكثر أهمية بالنسبة للفوتونات التي تقع طاقتها في المجال من ٠,٢
ميغا إلكترون فولط إلى 5.0 ميغا إلكترون فولط. ومن جهة أخرى فإن احتمال مفعول كومبتون يكبر
مع ارتفاع العدد الذري لمادة الوسط.

بازدياد طاقة الفوتونات الأشعة الغاماوية أو السينية (الطاقات العالية) يكون التأثير
المتبادل الأكثر احتمالاً مع الإلكترونات الأقل ارتباطاً بالذرة (إلكترونات الطبقات
الخارجية) أو الإلكترونات الحرة ويتلخص هذا المفعول في أنه عندما يسقط الفوتون
ذات الطاقة العالية على إلكترون حر يكتسب هذا الإلكترون
جزء من طاقة الفوتون فينطلق بسرعة مبتعداً بينما يفقد الفوتون هذا الجزء من
الطاقة ويحدث نتيجة لذلك تشتت لكل من الإلكترون والفوتون الوارد.
تحدد الطاقة الحركية لهذا الإلكترون بالعلاقة التالية:

$$E_k(e) = E_x - E_B$$

تمثل

حيث $E = h\nu$: تمثل طاقة الفوتون الوارد و $E = h\nu$ تمثل طاقة الفوتون المشتت و E_B
طاقة ارتباط الإلكترون المعتبر على مداره. لنفرض أن الإلكترون المتشتت يصنع مع
خط الأفق زاوية

، Φ بينما ينحرف الفوتون الوارد عن مساره الأصلي بزاوية θ)
 في أغلب الأحيان تهمل EB أمام الطاقات الأخرى . بناء على ذلك نستنتج، بأن مفعول
 كومبتون ما هو إلا عبارة عن تشتت مع تغير في الطول الموجي. يعطى هذا التغير في
 الطول الموجي بالعلاقة التالية:

$$\Delta\lambda \text{ (nm)} = \lambda' - \lambda = 0.0024 \times (1 - \cos\theta)$$

بشكل عام لدينا $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ و $0 \leq \Phi \leq 90^\circ$

يوجد حالتين حديتين للتأثير المتبادل هما:

أ - الصدم الجبهي (الأمامي) حيث $\theta = 180^\circ$ و $\Phi = 0^\circ$ وهو يوافق التغير الأعظمي في
 الطول الموجي.

ب - الصدم المماسي حيث $\theta = 0^\circ$ و $\Phi = 90^\circ$ لا يحدث أي تغير في الطول الموجي.
 وعلى عكس المفعول الكهروضوئي، لا تلعب طاقة ارتباط الإلكترون في الذرة أي دور،
 حيث نجد وباحتمال كبير جداً حدوث عملية التشتت مع الكترونات حرة ساكنة
 عندما تكون طاقة الفوتون عالية

بشكلٍ كافٍ. بانخفاض طاقة الفوتون الوارد عن طاقة ارتباط الإلكترون المعتبر على
 مدارة يظهر شكل آخر من التشتت يسمى تشتت تومسون التقليدي. تتصف احتمالية
 التأثير المتبادل بواسطة مفعول كومبتون بمعامل تخامد كتلي C (mm) يمكن تجزئته
 إلى معاملين، يعزى الأول للطاقة المنقولة إلى الإلكترون، والثاني إلى طاقة التشتت.

ج) توليد أزواج إلكترون - بوزيترون Pair Production Effect

يحدث هذا النوع من التفاعل لدى تأثر فوتون تفوق طاقته 1.02 ميغا إلكترون فولط بالحقل
 الكهربائي الشديد الذي يسود الجوار المباشر للنوى الثقيلة في مادة الوسط، حيث يتم توليد إلكترون
 وبوزيترون (إلكترون موجب) على حساب طاقة الفوتون.

تمثل هذه العتبة الطاقية (1.02 ميغا إلكترون فولط) الطاقة المكافئة لمجموع كتلتي

الإلكترون والبوزيترون

$E = mc^2$) (أما ما يزيد على ذلك من طاقة الفوتون فتوزع على كلا الجسيمين الوليدين كطاقة حركية، وقد يذهب جزء من فائض الطاقة هذا إلى النواة مسبباً ارتدادها داخل الوسط

بعد ذلك ينطلق الإلكترون والبوزيترون عبر مادة الوسط مبتعدين عن بعضهما البعض ليعطيا طاقتهما الحركية تدريجياً إلى ذرات الوسط الماص عبر سلسلة من حوادث التأيين الثانوية. وما أن يخسر البوزيترون الجزء الأكبر من طاقته حتى يلتحم مع واحد من الإلكترونات المدارية في ذرات الوسط الماص في عملية تعرف باسم الإفناء.

في هذه العملية يفني كلا الجسيمين بعضهما البعض ويتحولان كلياً إلى فوتونين متعاكسين تماماً في اتجاه الانتشار طاقة كل منهما 0.51 ميغا إلكترون فولط. يطلق على هذين الفوتونين اسم فوتونا الفناء. بالنسبة للفوتونات التي تفوق طاقتها طاقة العتبة فإن احتمال حدوث تفاعل توليد زوج إلكترون – بوزيترون يزداد بازدياد طاقة الفوتون.

إن عملية توليد الأزواج تبدأ بازدياد بطيء نسبياً في المجال من 1.02 إلى حوالي 5 ميغا إلكترون فولط ثم تزداد بعد ذلك بشكل متسارع، الأمر الذي يعطي تفاعل توليد الأزواج سيادة شبه مطلقة بالنسبة للفوتونات عالية الطاقة لاسيما في حالة المواد ذات الأعداد الذرية الكبيرة.

إذا تجاوزت طاقة الفوتون الوارد ضعف طاقة الإلكترون في حالة السكون (أي أكبر من 1.02 MeV) واجتاز هذا الفوتون المجال القريب من نواة الذرة فإن ذلك يؤدي إلى فناء الفوتون في المجال الكهربائي الشديد لنواة الذرة مع إنتاج زوج من الجسيمات المشحونة وهي عبارة عن «إلكترون وبوزيترون» يساوي

مجموع طاقتيهما في حالة السكون أيضاً 1.02 MeV وتعتبر هذه الطاقة أصغر طاقة يجب أن يمتلكها الفوتون لإنتاج هذا الزوج من الجسيمات. أما إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من ذلك، فإن الطاقة الزائدة

(ما عدا جزء منها ينتقل إلى نواة الذرة) يكتسبها كل من الجسيمين على شكل طاقة حركية تمكنهما من الانتقال بنفس جهة الفوتون. يتم إنتاج زوج إلكترون – بوزيترون باحتمال كبير نسبياً في الإتجاه الجبهي الأمامي، أي في إتجاه الفوتونات الواردة، وتتناقص القيمة الوسطى للزاوية بين كلاً من الجسيمين بازدياد طاقة الفوتونات الواردة

تتصف احتمالية التأثير المتبادل بواسطة مفعول إنتاج الأزواج بمعامل تخامد كتلي p (mm)

Remarks: ملاحظات

- 1- يلعب المفعول الكهروضوئي دوراً أكثر أهمية في المواد الثقيلة منها في المواد الخفيفة.
- 2- من أجل الطاقات العالية يكون مفعول كومبتون هو المسيطر، أما من أجل الطاقات المنخفضة فيعتبر المفعول الكهروضوئي هو المسيطر.
- 3- لا يأخذ مفعول كومبتون بالإعتبار العدد الذري للأوساط المادية الماصة ولكن فقط كثافتها الإلكترونية.
- 4- تجدر الإشارة أيضاً إلى أن المفعول الكهروضوئي يحدث في نفس وقت حدوث مفعول كومبتون من دون أن يكون هناك أي ترابط بين هذين المفعولين.
- 5- يرتبط معامل التخميد الكتلي الإجمالي بثلاث معاملات تخامد كتلية فرعية ناتجة عن المفعول الكهروضوئي، مفعول كومبتون، ومفعول تشكل الأزواج. بناء على ذلك، يمكن أن نعبر عن معامل التخميد الكتلي الإجمالي بالعلاقة التالية
$$P + C + \text{phel} = (mm) t$$

Review Of the Interaction between . ملخص تفاعلات الفوتونات مع المادة

Photons with Mater

عند تفاعل الفوتون مع مادة الوسط الماص تحدث في الواقع سلسلة معقدة من العمليات قد تضم ثلاثين تفاعلاً أو أكثر قبل أن تنتقل طاقة الفوتون بأكملها إلى مادة الوسط .

مسائل

س1- فوتون طاقته 350keV يعاني استطارة كومبتون من قبل الكترون حر . فاذا كانت الطاقة الحركية للالكترون المرتد هي 200keV, فما هو الطول الموجي للفوتون المستطار.

ان طاقة الفوتون الساقط تساوي $E = hu = hc/\lambda$ -----

وطاقة الفوتون المستطار تساوي $E^- = hu^- = hc/\lambda^-$ -----

$$E^- = 350 - 200 = 150 \text{ keV}$$

$$hc/\lambda^- = 150 \rightarrow \lambda^- = (6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (0.150 \times 1.6 \times 10^{-13}) = 0.0827 \text{ \AA}$$

س2- / ماهو سمك الرصاص المطلوب لتخفيف شدة اشعة كما المنبعثة من عنصر

الثوريوم الى 0.01 من قيمتها الاصلية . اعتبر ان $\mu = 0.45 \text{ cm}^{-1}$.

$$I/I_0 = e^{-\mu t}$$

$$\ln(I/I_0) = e^{-\mu t}$$

$$\ln(1/100) = -0.45t$$

$$-4.6 = -0.45t$$

$$T = -4.6 / -0.45 = 10.22 \text{ cm}$$

س3 / قارن بين الظاهرة الكهروضوئية وتشتت كومبتن:

- تعد الظاهرة الكهروضوئية منافسة لاستطارة كومبتن فالفوتون الساقط يمتلك طاقة عالية وتكون كافة لخلع الالكترون من الذرة وعندما يقوم الفوتون بهذا العمل فانه يمتص اي ان الفوتون زال كلاً.
- اما في استطارة كومبتن فان الفوتون يبقى ولكن بطاقة اقل وتحدث الظاهرة الكهروضوئية عندما تكون طاقة الفوتون الساقط اكبر من اومساوية لطاقة الربط .

• وان احتمالية الظاهرة الكهروضوئية يزداد كلما ازداد العدد الذري للهدف

س4 / ما الفرق بين الظاهرة الكهروضوئية والاشعة السينية ؟

• ج/ ان تولد الاشعة السينية تعد ظاهرة كهروضوئية عكسية لانه في حالة تولد الاشعة السينية

تنبعث فوتونات من مادة معينة عندما تصطدم بها الكترونات سريعة ،بُنما في الظاهرة

الكهروضوئية تنبعث الالكترونات من مادة معينة عند تفاعلها

(إضائتها بفوتونات ترددها متغير) .