الفصل الاول

اساسيات الاشعاع المؤين

obeikandl.com

١ – ١ أساسيات الإشعاع:

الإشعاع هو كل طاقة متحركة في الفضاء دون وجود سلك أو أي حامل مادي. و هو على أصناف مختلفة، منها ما يمكن تحسسه بحواسنا، و بعضها الآخر لا يمكن تحسسه، و لكن يمكن كشفه و قياسه بأجهزة خاصة كالإشعاعات الصادرة عن المواد المشعة الطبيعية.

الإشعاع في الطبيعة نوعان الأول إشعاعات غير مؤبنة أي ليس لها القدرة على تحويل جزيئات المادة الى ايونات، فبعضها على شكل إشعاعٍ حراري أو ضوئي من مختلف الأطوال الموجية الذي يصدر عن الشمس أو اللهب وهذه تمثل المصادر الطبيعية للإشعاع. والثاني الإشعاع المؤبن ذات الأطوال الموجية القصيرة والطاقة العالية والتي لها القدرة على تغيير خواص ذرات المادة عن طريق تحويلها إلى الحالة الأيونية . يتعرض كل ما هو موجود على سطح الأرض باستمرار لتأثير الإشعاعات المؤبنة الطبيعية، كالأشعة الكونية و المواد المشعة الطبيعية الموجودة في باطن الأرض ، أو المصادر الصناعية كالإشعاعات الصادرة عن أجهزة التصوير ألإشعاعي الطبي والصناعي والعناصر المشعة المستخدمة في الطب النووي.

تحمل جميع أنواع الإشعاعات طاقة، و عندما تصطدم بالمادة و تتوغل فيها، فإنها تخسر طاقتها تدريجياً، محولة عددا من ذراته إلى أيونات. و لهذا تسمى مثل هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة. و يمكن أيضاً أن يُحْدِث الإشعاع المؤين تغيرات في الخلايا الحية أو في البنية البلورية للمواد الصلبة. يتوقف التخريب الناتج على طبيعية المادة الماصة للإشعاع، وطاقة الإشعاع و شدته، و تكون الآثار كبيرة في الجزيئات العضوية المعقدة كالأنسجة الحية. هذة الاشعاعات بعضها دقائقي والاخر موجي.

١ – ٢ الذرة (Atoms):

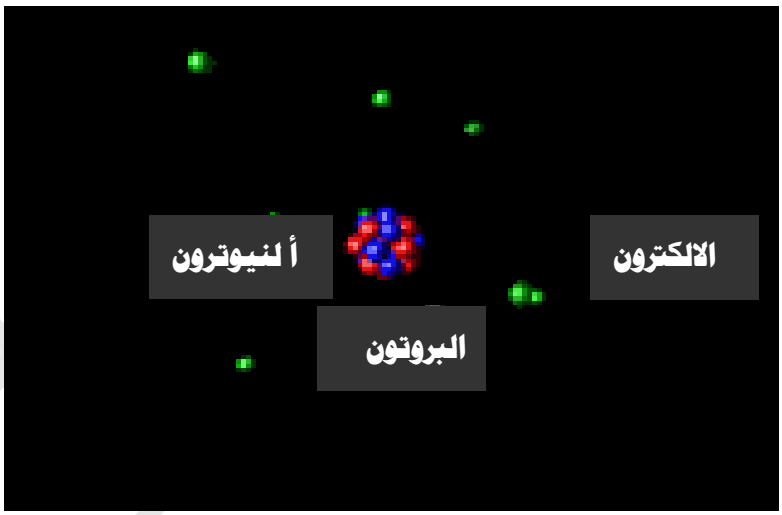
تعرف الذرة بأنها اصغر جزء في المادة ويحمل الخواص الكيميائية لتلك المادة وان اتحاد الذرات يولد الجزيئات والمركبات الكيميائية .

تتكون جزيئات العناصر من وحدات متشابهة ، ومتناهية في الصغر تسمى الذرات وتختلف العناصر باختلاف ذراتها. تتكون ذرة العنصر من النواة ويدور حولها عدد من الالكترونات .

وضعت عدة نماذج للذرة فقد وضع العالم رذرفورد عام ١٩١٥ اول نموذجا تجريبيا عن الذرة عندما قصف رقائق الذهب بجسيمات الفا ، فلاحظ انحراف هذه الجسيمات في مركز الرقائق. فاستنتج بان الذرة تتكون من جزء مركزي موجب الشحنة يسمى بالنواة تحاط بغيمة من الجسيمات سالبة الشحنة تسمى الالكترونات شكل(1-1).

ولقد فشل نموذج رذرفورد للذرة لسببين:

شكل(1-1) مكونات الذرة



الاول: عندما تتحرك الالكترونات بتعجيل فانها تفقد طاقة وتقترب من النواة فينهار حجم الذرة وهذا غير ممكن لان حجم الذرة ثابت .

الثاني: عندما تتناقص طاقة الإلكترونات تدريجيا يتولد طيف مستمر بينما أثبتت التجارب إن طيف ذرة الهيدروجين هو طيف خطي براق .

لذلك وضع العالم بور عام (١٩١٣) نموذجا يعتمد على الميكانيك الكمي سمي بنموذج بور والذي ينص على ان الالكترون في أي مستوى يملك طاقة محددة في ذلك المستوى وعندما يكتسب طاقة فانه يقفز من ذلك المدار الى مدار اعلى . تسمى مدارات الالكترونات **N ،M, L, K,** من الاقرب الى الابعد عن النواة ،حيث ان **K** المدار الاول و **L** المدار الثاني و هكذا . وفي معظم الـــذرات المستقرة فأن الالكترونات المدارية تحتل المدارات القريبة من النواة فمثلا الكاربون يتكون من ستة الكترونات اثنان منهما في المدار **K** واربعة في المدار**L** . ولكي يتحرر الالكترون من مداره يجب ان يجهز بطاقة مساوية الى طاقة ربطه مع النواة والتي تسمى طاقة الربط النووي (**binding energy**) لذلك المستوى،عندما ينتقل الالكترون من مستوى عالي للطاقة الى مستوى أوطأ فأنـــه يبعث فوتونات طاقتها تساوي الفرق بين طاقة المدارين. ويحصل ذلك عند اكتساب احد الالكترونات الداخلية للذرة طاقة فأنه يزاح من مداره ويبقى مكانه فارغا فينتقل الكترون من مدار اعلى ليحـــل محل الالكترون المزاح والفرق بالطاقة يظهر بشكل فوتونات للاشعة السينية تسمى بالاشعة السينية المميزة . او ان الطاقة الفائضة نتيجة لانتقال الكترون من مدار اعلى الى المستويات القريبة مـــن النواة تنتقل الى احد الالكترونات وتقلعه من مداره وتسمى هذه العملية بتأثير اوجـــي (**Eeffect Auger**) والالكترون يسمى الكترون اوجـــي **(Auger Electron)**. وبـــذلك يحصـــل تـــأين مضاعف للذرة .

3-1 النواة

الجزء المركزي للذرة والذي تتركز فية كتلة الذرة. تتكون نواة الذرة من جسيمات موجبة الشحنة هي البروتونات واخرى عديمة الشحنة هي النيوترونات:

البروتون :

جسيم صغير يتواجد في نوي الذرات تبلغ كتلته (٦٧. ١ × ١٠$^{-٢٤}$ غم) أي أنه أكبر من الالكترون بحوالي ١٨٣٩ مرة. يحمل البروتون شحنة كهربائية موجبة مساوية لشحنة الالكترون ، مما يجعل الذرات في حالتها الطبيعية متعادلة كهربائيا.

النيوترون:

هو عبارة عن جسيم متعادل الشحنة ، كتلته تساوي تقريبا كتلة البروتون (تزيد عنها قليلا) ولها قدرة كبيرة على اختراق الجسم .مجموع كل من البروتونات والنيوترونات تسمى بالنيوكليونات ، يوضح الشكل (١-٢) نوى بعض الذرات.

من اهم خواص مكونات الذرة:

١- كتلة البروتون تساوي تقريبا كتلة النيترون . $m_p = m_n$

٢- كتلة البروتون تساوي تقريبا ١٨٣٦ مرة كتلة الالكترون $m_p = ١٨٣٦\ m_e$

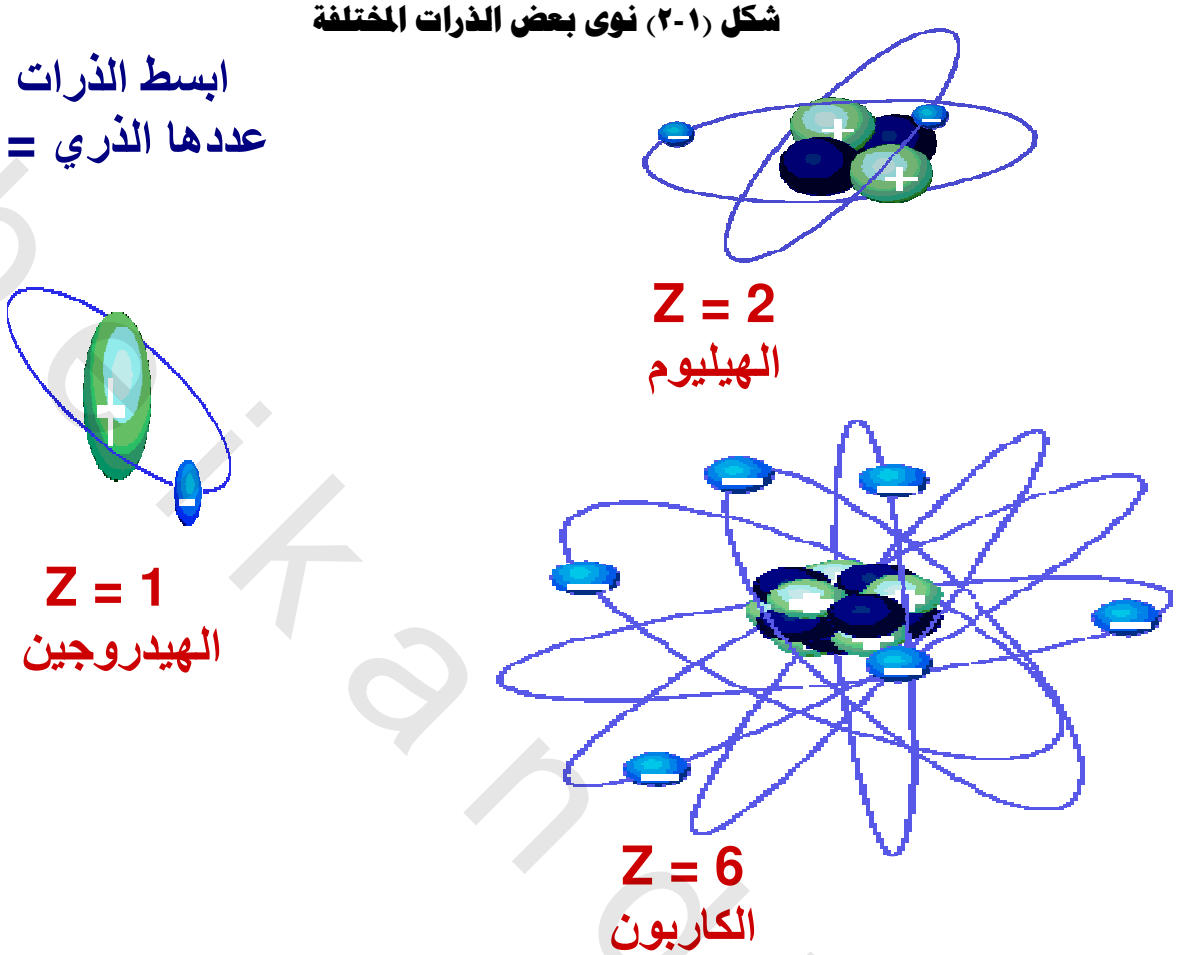
ومن ذلك نستنتج مايلي :

١-معظم الكتلة الذرية لاي عنصر تتركز في النواة لان كتلة الالكترون صغيرة جدا ا مقارنة بكتلة كل من البروتون والنيوترون لذلك تعتبر كتلة نواة الذرة معادلة لكتلة الذرة تقريبا.

٢- لما كانت شحنة الالكترون مساوية في المقدار لشحنة البروتون ومخالفة لها في النوع ولما كان عدد البروتونات في نواة الذرة مساويا لعدد الالكترونات في المدارات فاننا نستنتج ان الـــذرة فـــي الظروف المعتادة متعادلة من الناحية الكهربائية .

obeikandl.com

شكل (١-٢) نوى بعض الذرات المختلفة



ويطلق على كل من البروتون والنيوترون في النواة اسم (النيوكليون).كما يطلق على (عدد البروتونات في النواة) اسم (العدد الذري للعنصر) (Atomic Number) ويرمز له بالرمز Z اما عدد النيوكليونات في النواة فيطلق عليه اسم (العدد الكتلي للعنصر Mass Number ويرمز له بالرمز A

ومن ذلك يتضح ان $A = Z + N$

وعليه فان عدد النيوترونات في النواة = العدد الكتلي – العدد الذري $(N = A - Z)$ والرموز التي اعتاد الكيميائيون على كتابتها للتعبير عن ذرات العناصر هي نفسها التي يستخدمها الفيزيائيون للتعبير عن انوية هذه العناصر . ولكي يكون الرمز معبرا عن تركيب النواة تعبير تام فقد جرت العادة على كتابة العدد الذري اسفل الرمز جهة اليسار .والعدد الكتلي اعلى الرمز جهة اليسار ايضا .فالرمز ${}_{1}^{1}H$ مثلا يدل على ذرة الهيدروجين الاعتيادي عدده الذري (١) وعدده الكتلي (١) . والرمز ${}_{2}^{4}He$ يدل على نواة الهليوم عددها الذري (٢) وعدده الكتلي (٤) وهكذا.الشكل (١ – ٣).

تتركز كتلة الذرة في النواة ، التي يبلغ طول نصف قطرها حوالي (١٠ $^{-١٣}$ سم) في حين يصل قطر الذرة الى نحو (١٠ $^{-٨}$ سم) وتتركب النواة من بروتونات ونيوترونات وباستثناء ذرة الهيدروجين حيث تتكون النواة من بروتون واحد.

لاحظ العالم شادوك انبعاث اشعاع عند قصف البريليوم بجسيمات الفا ذات الطاقة العالية. هذا الاشعاع ليس له قدرة على التأين المباشر لذلك فانها لا تحمل شحنة ما، لذلك سميت بالنيترونات (المتعادلة) وكتلتها قريبة من كتلة البروتونات.

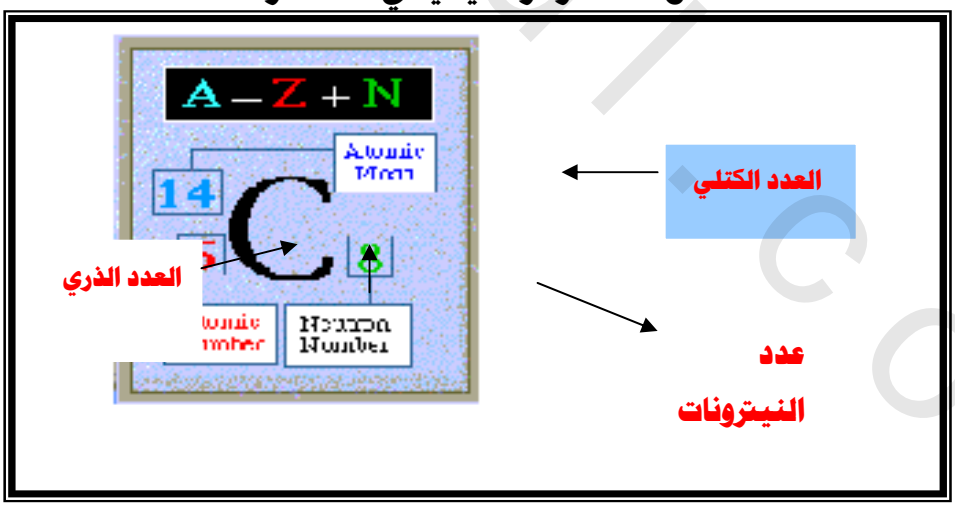
ان عدد البروتونات = العدد الذري للذرة (Z) والذي يساوي عدد الالكترونات في الذرات المتعادلة وهذا العدد يحدد الصفات الكيمياوية للعنصر الذي تعود له الذرة

اما العدد الكلي للنيوكليونات فيسمى بالعدد الكتلي (A), و الفرق بين العددين (A, Z) فهو عدد النيوترونات لذلك فأن التعبير عن المكونات الذرية والنووية يكتب $^{A}_{Z}X_{n}$ فمثلا ان الذرة التي تتكون من 55 بروتون 78 نيوترون ومجموعهما يمثل عدد النيوكليونات(133) وعدد الالكترونات يساوي55 اما عدد النيوترونات = 133 –55 =78

تختلف العناصربعضها عن البعض الاخر باختلاف مكوناتها لذلك توجد بعض المصطلحات للعناصر وهي :

النظائر(Isotopes) : ذرات لعنصر واحد تختلف في العدد الكتلي وتتساوى في العدد الذري مثل نظائرالهيدروجين ^{1}H ، ^{2}H ، ^{3}H . اي هي ذرات لنفس العنصر تتساوى في العدد الذري Z وتختلف في العدد الكتلي A. شكل (١– ٤).

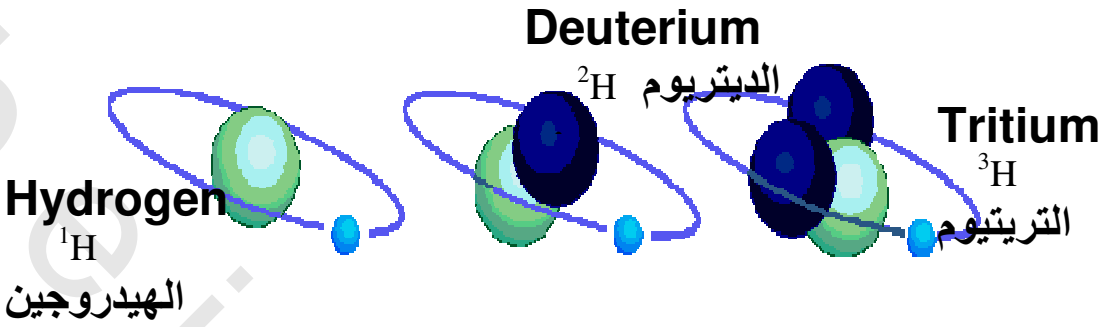
شكل ١- ٣ الرمز الكيميائي للعناصر



وبعض العناصر لها نظيرين أو ثلاثة ، بينما يصل عدد النظائر في عناصر أخرى إلى نحو ٣٠ عنصرا ، والخواص الكيميائية لجميع نظائر العنصر الواحد متشابهة.وهذا يعني انها تتساوى في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات ونتيجة لذلك يكون لها نفس الخواص الكيميائية ولكن

تختلف في الخواص الفيزيائية.والنظائر اما ان تكون طبيعية واما تكون صناعية يتم الحصول عليها من التفاعلات النووية.

شكل (١- ٤) نظائرالهيدروجين



بعض العناصر ليس لها نظائر طبيعية وبعضها لها عدة نظائر والنظائر عموما اما ان تكون مستقرة (غير مشعة) او مشعة ومعظم النظائر الصناعية تكون مشعة فالكلور له نظيران طبيعيان مستقران ، والهيدروجين لة ثلاث نضائر احدهما مستقر.

الايزوبار (Isobars).هي العناصر التي لها نفس العدد الكتلي وتختلف في العدد الذري مثل $^{40}_{19}Ca$ و $^{40}_{18}K$.

الايزوتون: العناصر التي تختلف في العدد الكتلي وتختلف في العدد الذري ويكون لها نفس عدد النيوترونات مثل $^{133}_{78}CS$, $^{132}_{78}X$, $^{131}_{78}I$

4-1 وحدة الكتل الذرية

هناك نظامان للتعبير عن الكتلة احدهماالنظام الدولي الذي يقيس الكتلة بلكيلوغرام والنظام الاخر هو مايعرف بنظام الكتل الذرية. ولان كتلة الذرة (أي ذرة) صغيرة جدا لذلك لايفضل تقديرها بوحدة الكتل الاساسية (كغم) فعمد العلماء منذ اكتشاف مكونات الذرة الى اختيار وحدة عيارية مناسبة لتقدير وقياس كتل ذرات العناصر وكتل مكوناتها وقد طلق على هذه الوحدة اسم (وحدة الكتل الذرية) Atomic Mass Unit – ويرمز لها بالرمز (amu) وقد اتفق العلماء على اعتبار كتلة ذرة الكربون ($^{12}_{6}C$) مساوية (١٢)amu أي أن هذه الكتلة تساوي (١٢/١) من كتلة نظيرالكربون – ١٢ ، وبهذا فانها تساوي (١.٦٥٥× ١٠$^{-٢٤}$)غم. تقاس بالغرام او بوحدة تسمى بوحدة الكتل الذرية (amu) حيث ان:

كتلة الكاربون = كتلة الكاربون (غم) لكل مول/عدد افوكادرو

= ٦.٠٢٧×١٠^{٢٣} /١٢=١.٩٩×١٠$^{-٢٣}$ غم كتلة الكاربون

openkanal.com

ولتحويلها الى وحدة الكتل الذرية نقسمها على ١٢ فنحصل على

وحدة الكتل الذرية (amu) = ١.٩٩×١٠$^{-٢٣}$ / ١٢

= ١.٦٥×١٠$^{-٢٤}$ غم

وعلى هذا الاساس فان كتلة النيترون، البروتون، الالكترون هي ١.٠٠٨٩، ١.٠٠٧٦ او ٠.٠٠٠٥ وحدة كتل ذرية على التوالي. يوضح الجدول (١-١) خواص مكونات الذرة . وحدة قياس الطاقة في النظام المتري هي الجول و نظرا لصغر كمية الطاقة في الذرة الواحدة أصبح من الانسب استخدام وحدات صغيرة لقياس الطاقة هو الالكترون فولت (eV).

الجدول (١-١) خواص مكونات الذرة

المكون	الرمز	الكتلة كغم	علاقتها بوحدة الكتل الذرية	الشحنة	الكتلة بوحدات كتلة الالكترون
الالكترون	e	9.1x10 $^{-31}$	0.000549	–	١
البروتون	p	1.6726x10 $^{-27}$	1.007276	+	1836.1
النيوترون	n	1.675x10 $^{-27}$	1.008665	صفر	1836.6
وحدة كتلة ذرية	u	1.660565x10 $^{-27}$	١		–

ويعتبر الالكترون فولت الوحدة المستخدمة في المجالات الذرية والنووية وتبلغ قيمة الالكترون فولت (١ . ٦ × ١٠$^{-١٩}$) من الجول ، ولهذا فهي وحدة صغيرة جدا وفي كثير من الأحيان تستخدم مضاعفات هذه الوحدة وهي كيلو الكترون فولت (k e V) وتساوي (١٠٠٠) الكترون فولت ، والميكا الكترون فولت (Me V) ويساوي مليون الكترون فولت وبالنظر لتكافؤ الطاقة والكتلة حسب نظرية اينشتين فان وحدة كتلة ذرة واحدة تعادل (٩٣١) ميكا الكترون فولت.

تحتوي نوى الذرات على عدد من البروتونات الموجبة الشحنة يتراوح ما بين (١) إلى (١١١) بروتونا". وبما أن الشحنات متشابهة فانها تتنافر ، وتتناسب قوة التنافر تناسبا عكسيا مع مربع المسافة بينها بموجب قانون التربيع العكسي وحيث أن المسافات داخل نوى الذرات قصيرة جدا . فانه من المتوقع أن تكون قوة التنافر عالية جدا وهذا يؤدي إلى تفكك النواة. غير أن هناك قوى تحافظ على تماسك النواة.

وتعرف هذه بالقوى النووية, والتي تؤثر بشكل تجاذبي بين البروتونات مع بعضها والنيوترونات مع بعضها وكذلك بين البروتونات والنيوترونات. لقد اثبتت التجارب العملية أن كتلة معظم النوى أصغر من العدد الكتلي لتلك النوى او مجموع كتل مكوناتها أي ان كتلة النواة اصغر

من مجموع كتل الجسميات المكونة لها . ان سبب النقصان في الكتلة يعود الى الطاقة المتحررة اثناء تشكيل او تكوين النواة والذي يسمى طاقة الربط النووية (ΔE) حيث ان

$$\Delta E = Z_{mp} - N_{mn} - m$$

Z : عدد البروتونات التي كتلتها m_p

N : عدد النيوترونات التي كتلتها mn

m : كتلة النواة الكلية

ويمكن ايجاد هذه الطاقة بتطبيق علاقة انشتاين في تكافؤ الكتلة والطاقة

$$E_b = \Delta m\, C^2$$

حيث ان Δm : الفرق في الكتلة او الكتلة المختفية.

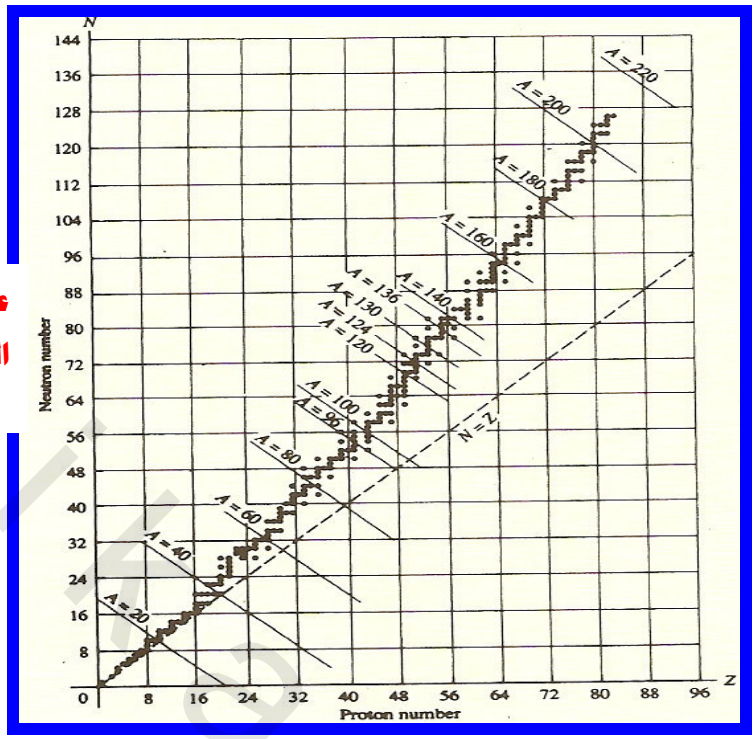
ان طاقة الارتباط تزداد خطيا مع العدد الكتلي (A) (عدد النيوكليونات) لان زيادة عدد النيوكليونات في النواة يصاحبه تحرر طاقة .

١-٥ الاستقرار النووي (Nuclear Stability):

عند رسم الخط البياني بين عدد البروتونات كدالة لعدد النيوترونات فتحصل على خط مستقيم بالنسبة للعناصر المستقرة والتي يتساوى عدد بروتوناتها مع عدد نيوتروناتها. اما العناصر التي تقع خارج هذا الخط فهي عناصر غير مستقرة وتسمى بالعناصر المشعة وهذه العناصر تبعث الفوترونات او الجسيمات لكي تتحول الى نظائر مستقرة بعملية الانحلال الاشعاعي.شكل (١- ٥ أ) فأذا كان ($N \approx Z$) فان النوى تكون مستقرة وتقع على خط الاستقرارية . اما العناصر الثقيلة فان عدد البروتونات لا يساوى عدد النيوترونات فان العناصر لاتقع على هذا الخط فان وقعت اعلى الخط (الى جهة اليسار) فان عدد النيوترونات اكثر من عدد البروتونات لذلك يتحول النيوترون الى بروتون والكترون . ان النظائر المستقرة (تتكون من نوى زوجية- زوجيه) وهي التي تحتوي على عدد زوجي من البروتونات وكذلك عدد زوجي من النيوترونات هي الاكثر وتصل الى ١٦٥ نظير، اما النظائر التي تحتوى على نوى زوجية ــ فردية وفيه يكون عدد البروتونات زوجية والنيوترونات فردية او بالعكس وعدد هذه النظائر(١٠٩) نظير مثل $_{5}^{11}Be$ ، $_{4}^{9}Be$.

اما النظائر التي تحتوي على النوى الفردية ــ فردية وهي النواة التي تحتوي على عدد فردي من البروتونات وكذلك عدد فردي من النيوترونات وعددها اربعة من النظائر المستقرة ($_{7}^{14}N$ ، B $_{5}^{10}$ ، $_{3}^{6}Li$ ، $_{1}^{2}H$) جدول(١-٢)

شكل (١- ٥ أ) عدد البروتونات كدالة لعدد النيوترونات



عدد النيوترونات

عدد البروتونات

وهناك بعض النظائر المستقرة التي تحتوي نواها على ما يسمى بالاعداد السحرية وهي النوى التي تحتوي ٢، ٨، ٢٠، ٥٠، ٨٢، ١٢٦ من البروتونات او النيوترونات .

ان النوى التي تحوي على الاعداد السحرية تكون مستقرة وخاملة ولاتتفاعل بسهولة عند قصفها بالنيوترونات.

وعند رسم العلاقة بين العددالكتلي كدالة لمتوسط طاقة الربط النووية شكل (١– ٥ ب) نجد مايلي:

أ– يتراوح متوسط طاقة الربط النووية للعناصر بين الصفر للهيدروجين و٨.٧ للحديد وهي اكثر العناصر استقرارا. العناصر اكثر استقرارفي الجدول الدوري تتراوح اعدادها الكتلية بين ١٢٠ – ٤٠.وتسمى العناصر المتوسطة.

ب – العناصر التي يزيد عددها الكتلي عن ١٢٠ فتسمى بالعناصر الثقيلة ويكون متوسط طاقة الربط النووية لها اقل لذلك فانها تكون اقل استقرارا من العناصرالمتوسطة.ففي حالة اليورانيوم– ٢٣٨

فمتوسط طاقة الربط النووية لة تساوي ٧.٦ MeV لذلك تميل هذة العناصر الى تقليل اعدادها الكتلية عن طريق بعث جسيمات الفا او الانشطار Fission والاقتراب من انوية العناصر المتوسطة لتكون اكثر استقرار.

شكل (١- ٥ ب) العدد الكتلي كدالة لمتوسط طاقة الربط النووية

ت – العناصر التي يقل عددها الكتلي عن ٤٠ فتسمى بالعناصر الخفيفة وتكون اقل استقرارا من العناصرالمتوسطة لذلك تميل هذة العناصر الى الاندماج، أي ان الانوية الخفيفة تندمج مع بعضها لتوليد نواة اثقل وكتلتها اقل من كتل النوى المندمجة لذلك فاتها تبعث طاقة هائلة ويسمى هذة الحالة يالاندماج

.Fusion

ث – تكون طاقة الربط النووية لكل نيوكليونات قليلة جدا للعناصر ذات الاعداد الذريـــة الواطئـــة ولكنها تزداد بشكل سريع حتى تصل الى اكثر من (8 MeV) لكل نيوكليون ثم تقل بعد ذلـــك. الزيادة في الطاقة مع العدد الكتلي تزداد بشكل منتظم عدا النظائر($_2{}^4He$) ، ($_6{}^{12}C$) ، ($^{16}_8O$) حيث توجد لها نهايات عظمى أي ان طاقة الربط كبيرة جدا وهي تحتوي على عدد زوجي من البروتونات والنيوترونات. بينما النظائر (^6_3Li) ،($_5{}^{10}B$) لها نهايات صغرى أي ان طاقـــة الربط قليلة لانها تتكون من عدد فردي من البروتونات وعدد فردي من النيوترونات .

جدول (١-٢) اعداد البروتونات والنيوترونات وعلاقتها باستقرار الذرة

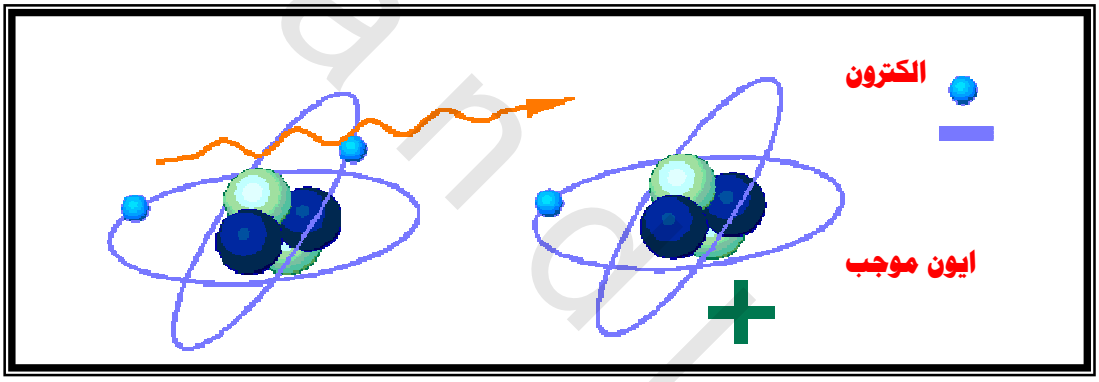
A	Z	N	عدد الذرات المستقرة

زوجي	زوجي	زوجي	١٦٥
زوجي	فردي	فردي	٤
فردي	فردي	زوجي	٥٠
فردي	زوجي	فردي	٥٥

١-٦ الإشعـــاع : ▪

يعرف الإشعاع بأنه عملية انتقال الطاقة من المصدر إلى المادة بشكل دقائق او بشـــكل موجـــات وعندما تكون لهذه الإشعاعات القابلية على تأين ذرات المادة وذلك بفقدانها أو اكتسابها لإلكترون أو اكثر فتسمى هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة و يوضح الشكل (١-٦) عملية التأين. يتعرض كل ما هو موجود على سطح الأرض باستمرار لتأثير الإشعاعات المؤينة، التي يكون مصادرها طبيعيا، كالأشعة الكونية و المواد المشعة الطبيعية،او صناعيا كما في التطبيقات الصناعية والطبية.

شكل(١-٦) تأين الذرات و تحولها الى الكترون و ايون موجب

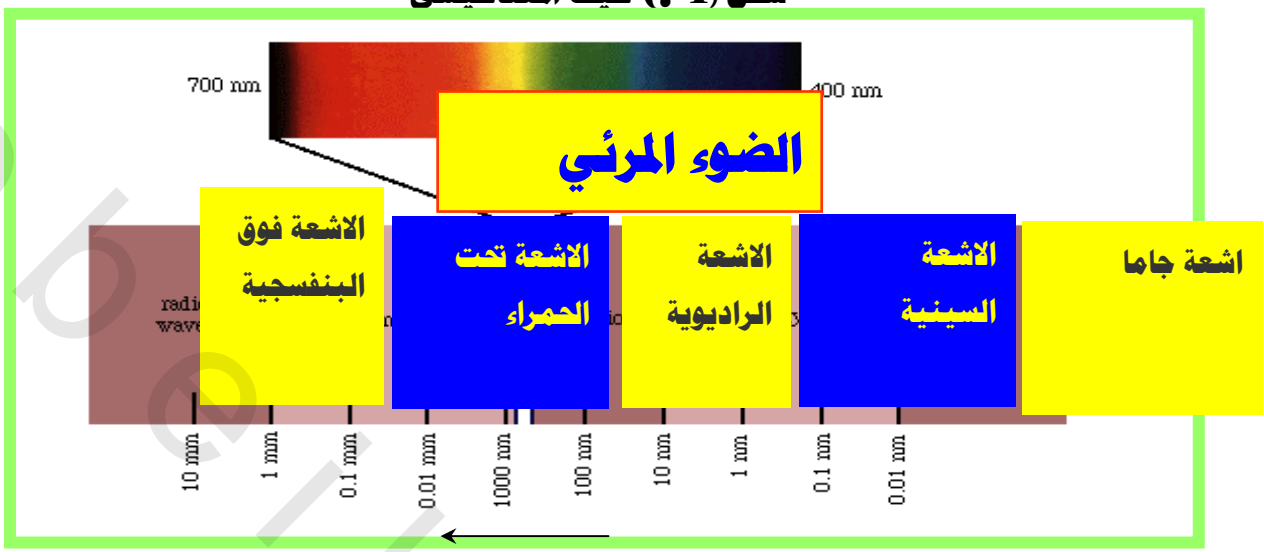


وتقسم الاشعاعات المؤينة الى :

١ - الفوتونات:

وهي اشعاعات كهرومغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين الاول كهربائي والثاني مغناطيسي ينتشران بصورة عمودية على خط انتشار الموجة وتتحرك جميع الفوتونات بسرعة واحدة تساوي سرعة الضوء في الفراغ والتي تساوي ٣×١٠^{٨} متر/ثا. وهذه الاشعاعات بعضها غير مؤين مثل الاشعاعات الراديوية والضوئية شكل (١ – ٧) وبعضها مؤين وذلك لطاقته العالية وطول موجه القصير ومن اهم الفوتونات المؤينة الاشعة السينية واشعة جاما وهي اشعاعات تؤين الجسم بصورة غير مباشرة.

شكل (1-7) طيف المغناطيسى



أ-الأشعة السينية (X-Ray):

موجات كهرومغناطيسية ترددها يفوق تردد الاشعة فوق البنفسجية وأطوالها الموجية قصيرة.تم اكتشافها في تشرين الثاني عام ١٨٩٥ وأثناء تجارب العالم الألماني رونتجن على سلوك الإلكترونات داخل أنبوب مفرغ جزئيا من الهواء عند تسليط فولطية عالية بين طرفي الأنبوب لاحظ ضوء باهت نتيجة لتأين جزيئات الهواء المتبقية بواسطة الإلكترونات السريعة . وعند تسليط فولطية عالية ومنع مرور الضوء داخل المختبر لاحظ ضوء باهت (تألق) على قطعة ورق صغيرة مغطاة بسيانيد البوتاسيوم موضوعة على منضدة تبعد (١) متر عن الأنبوب وسبب الضوء الباهت هو فلورة (fluorescence) سيانيد البوتاسيوم . و درس سبب هذا التألق وتوصل الى انه لا يعود إلى الإلكترونات المنبعثة من الكاثود لأنها لا تخترق زجاج الأنبوب و ليس من الضوء الناتج عن عملية التفريغ لان الأنبوبة مغلقة بقطعة سميكة من الورق الأسود . لذلك استنتج بان هذه الأشعة غير معروفة تولدت نتيجة لتسليط جهد عالي بين الكاثود والانود لها قابلية على اختراق الزجاج وفلورة بعض المواد وعندما وضع في طريق هذه الأشعة عدة مواد فلاحظ.

ان شدة الفلورة تختلف باختلاف نوع المادة وكانت دهشة كبيرة عندما لاحظ صورة عظام يد زوجته على الشاشة يوم ٢٢ مما جعله يسميها الأشعة السينية (X - RAY) أي الأشعة المجهولة. من أهم خواصها :

- موجات كهرومغناطيسية طول موجتها قصير جدا (يتراوح بين ١٠ $^{-٥}$ – ١٠٠ انجستروم (A^{o}) (الانجستروم = ١٠ $^{-١٠}$ متر).
- تصدر هذه الأشعة من مدارات الذرات وليس النواة ويمكن الحصول عليها عن طريق تعجيل الدقائق والذرات المؤينة في مجال كهربائي أو مغناطيسي كما تصدر هذه الأشعة

عند فقدان الذرات المهيجة بعض طاقتها نتيجة هبوط الالكترونات الى مدارات أقرب الى النواة.

ب-اشعة جاما (Gamma Ray):

وهي موجات كهرومغناطيسية تنبعث من نوى الذرات غير المستقرة وطاقتها عالية جدا وتعــود الذرة المتأينة الى حالة الاستقرار عندما تبعث الطاقة الفائضة على شكل اشعة جاما. شكل (١-9) من اهم خواص اشعة جاما:

١ – موجات كهرومغناطيسية قصيرة طول الموجة (حوالي١٠$^{-٨}$–١٠$^{-١١}$ سم) أو اقل .

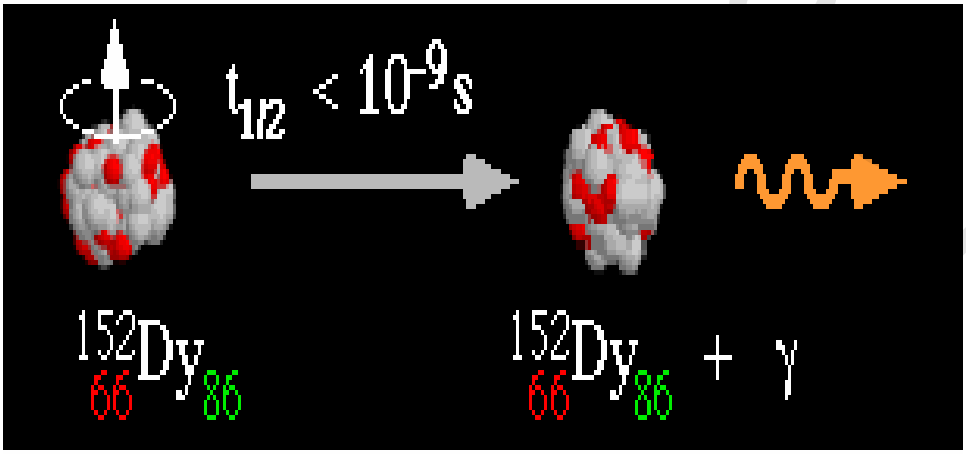
٢ – لا تؤثر على الخصائص الفيزيائية أو الكيماوية للعنصر الذي تنطلق منه لأنها ليست دقــائق مادية .٣– لا تنحرف في المجالين الكهربائي والمغناطيسي ولا تحدث تأيناً مباشراً.

٤ –سرعتها نفس سرعة الضوء

شكل (١ -٨) اكتشاف الاشعة السينية

ويليام رونتجن

صورة شعاعية لليد، يعتقد أنها



٥- طيف طاقة اشعة جاما ليس مستمرا كطيف الاشعة السينية بل هو اشعاع احادي الطاقة او اعداد من طاقات منفردة متميزة ومن اهم المصادر الباعثة لاشعة جاما هو Co^{60} , Cs^{137} .وتسمى النواة المتهيجة ذات العمر الطويل نسبيا بالنوى شبة المستقرة مثل Tc^{99m}.

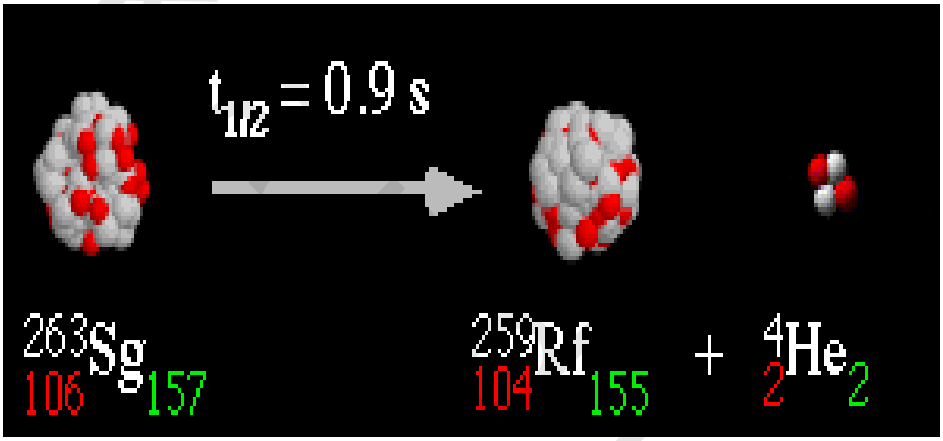
٢- الجسيمات المشحونة:

الدقائق التي لها شحنات موجبة واخرى سالبة وتنبعث من نوى الذرات المشعة وهي على نوعين:

ا- جسيمات الفا α :

تعرف جسيمات الفا بأنها نواة ذرة الهليوم التي تحتوي على طاقة كبيرة و ذات شحنة موجبة تحتوي على بروتونين ونيوترونين يرتبطان مع بعضهما بقوة ويسلكان وكأنهما جسم واحد (شكل ١-١٠).

شكل(١-١٠) الاتحلال بجسيمات α و التي تتكون من نيوترونين و بروتونين



تبعث جسيمات الفا من نوى النظائر المشعة عندما تكون النسبة بين النيوترونات الى البروتونات قليلة جدا ونتيجة لانبعاث جسيمات الفا تتكون نواة وليدة عددها الذري اقل باثنين من العدد الذري للام وعددها الكتلي اقل باربعة عن العدد الكتلي للام.

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{z-2}Y^{A-4} + Q$$

كما في حالة البولونيوم ــ ٢١٠

$$Po^{210m} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{206} + Q$$

حيث ان Q الطاقة الناتجة عن الانحلال .

ففي هذا المثال فان النسبة بين النيوترونات الى البروتونات في (Po^{210}) تساوي (126 / 84) وتساوي (1/1.5) وبعد انحلالها تنبعث جسيمات الفا و يتولد الرصاص المستقر (Pb^{206}) والذي تكون نسبة النيوترونات الى البروتونات (1/1.5) .

ان الطاقة الناتجة عن الانحلال بجسيمات إلفا ناتجة عن النقص الكلي في الكتلة نتيجة لتولد جسيمات الفا أي ان :

$$M_X = M_Y + M_\alpha + 2M_e + Q$$

حيث ان M_x , M_y , M_α , M_e هي كتل إلام ، البنت، جسيمات α ، وكتلة الإلكترون على التوالي ، Q الطاقة الكلية الناتجة عن التفاعل ففي حالة مثال(Po^{210}) فان:

$$Q = M_X - M_Y - M_\alpha - 2M_e$$

$$= 210.048 - 206.0388 - 4.0028 - 2 \times 0.00055$$

$$= 0.0058 \text{ atomic mass units}$$

ولتحويلها إلى وحدات طاقة نضرب في المعامل 931 MeV/amu

أي أن $Q = 0{,}0058 \times 931 = 5{,}4$ MeV

إن هذه الطاقة تتوزع بين جسيمات إلفا والنواة الوليدة (البنت) لعدم انبعاث أشعة جاما في هذا التفاعل . نظرا لثقل جسيمات إلفا فان قوة اختراقها تكون قليلة أي ان مداها في هذه المادة قليلة لذلك فان التعرض الخارجي منها يكون غير ضار لأن الجلد يمكن ان يمتص هذه الإشعاعات ولكنها خطرة جدا عند دخولها إلى الجسم لأنها تقوم بترسيب طاقتها بالأنسجة الحية .

ب- جسيمات (β):

هي عبارة عن الكترونات معجلة بطاقة كبيرة جدا تبعث من داخل النواة لبعض العناصر المشعة. شحنة هذه الجسيمات تساوي (١.٦×١٠^{-١٩}) كولوم ،وكتلته قليلة تساوي (٠.٠٠٠٥٥) وحدة كتل ذرية .

تتولد جسيمات (β) نتيجة لتحول النيوترونات الفائضة إلى بروتونات كما في

$$_0n^1 \rightarrow {}_1P^1 + \beta\,(_{-1}e^0) + \upsilon$$

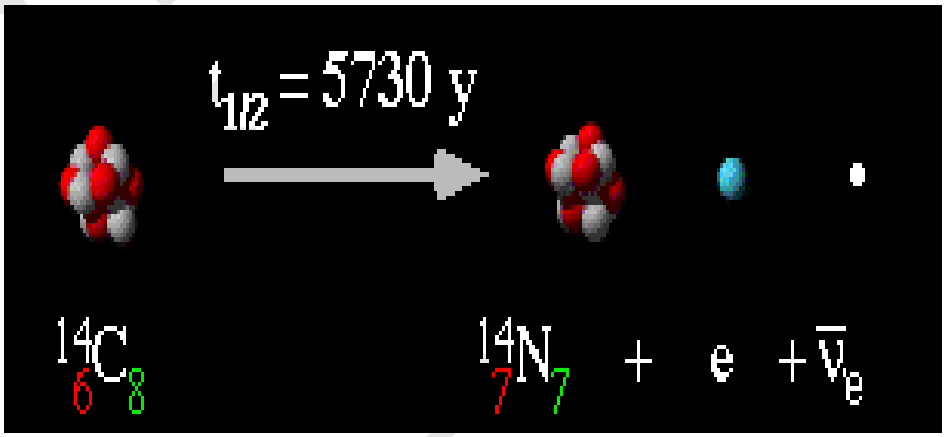
إن الطاقة الناتجة عن الانحلال بجسيمات β تتولد كذلك نتيجة لاختلاف الكتلة الأصلية للام ومجموع كتل النواة البنت وجسيمات بيتا، وفي هذا الانحلال تتحول النواة إلام إلى نواة البنت التي تمتلك شحنة تزيد عن شحنة الأم بواحد.

$$_ZX^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + \beta^- + \upsilon$$

$$_{15}{}^{32}P \rightarrow {}_{16}{}^{32}S + (\,{}_{-1}{}^{0}e)\ \beta + 1.71\ MeV$$

وفي المثال السابق فان طاقة الانحلال الناتجة عن جسيمات β للفسفور المشع تساوي **1.71 MeV** ولكن معظم جسيمات بيتا طاقتها اقل من ذلك حيث ان معدل الطاقة يبلغ **0.7 MeV** والذي يمثل **41%** من الطاقة العظمى لجسيمات بيتا وبشكل عام فان معدل طاقة جسيمات بيتا لمعظم النظائر الباعثة لهذه الجسيمات يتراوح بين **(30% ــ 40%)** من الطاقة العظمى .كذلك تحلل الكاربون المشع حيث تنبعث جسيمات بيتا والنيوترينو من النواة ويتولد النيتروجين شكل (١ – ١١)

شكل (١ - ١١) الانحلال بجسيمات (β) نتيجة انحلال الكربون المشع (β) المنبعثة من النواة



طاقة جسيمات (β) تشكل طيف مستمر يبدأ بطاقة الصفر حتى المقدار الأعظم للطاقة. انحلال جسيمات (β) لايتفق مع قانون حفظ الطاقة والزخم ولأجل الحفاظ على قانون حفظ الطاقة افترض وجود جسيمات تصاحب انبعاث جسيمات بيتا تسمى بالنيوترينيو(υ)، والذي طاقته تساوي الفرق بين الطاقة الحركية لجسيمات بيتا والطاقة العظمى لتوزيع طيف الطاقة للنواة إلام . والنيوترينيو عديم الشحنة وذات كتلة صغيرة جدا.

الفسفور (P^{32}) والنظائر (H^3 . C^{14} . Sr^{96}) تعتبر من النظائر الباعثة لجسيمات β غير المصحوبة بأشعة جاما أي من بواعث (β) النقية. معظم النظائر تبعث جسيمات β وجاما للوصول إلى حالة الاستقرار.

جسيمات β لها القابلية على اختراق الأجسام إذا كانت طاقتها كبيرة ويكون مداها اكبر بكثير من مدى جسيمات α . ولكن يمكن إيقافها وامتصاصها بدروع واقية بسيطة مثل اللدائن أو رقائق الألمنيوم شكل (١ –١٢ أ) .وبشكل عام فان جسيمات بيتا التي طاقتها اقل من **200 MeV** تكون غير خطرة من ناحية التعرض الخارجي مثل S^{32}, C^{14} . ولكن جسيمات بيتا عند تفاعلها مع الدروع الوقائية قد تولد اشعه سينيه ذات طيف مستمر (برمشتالنك) والتي يكون تأثيرها كبير. لذلك

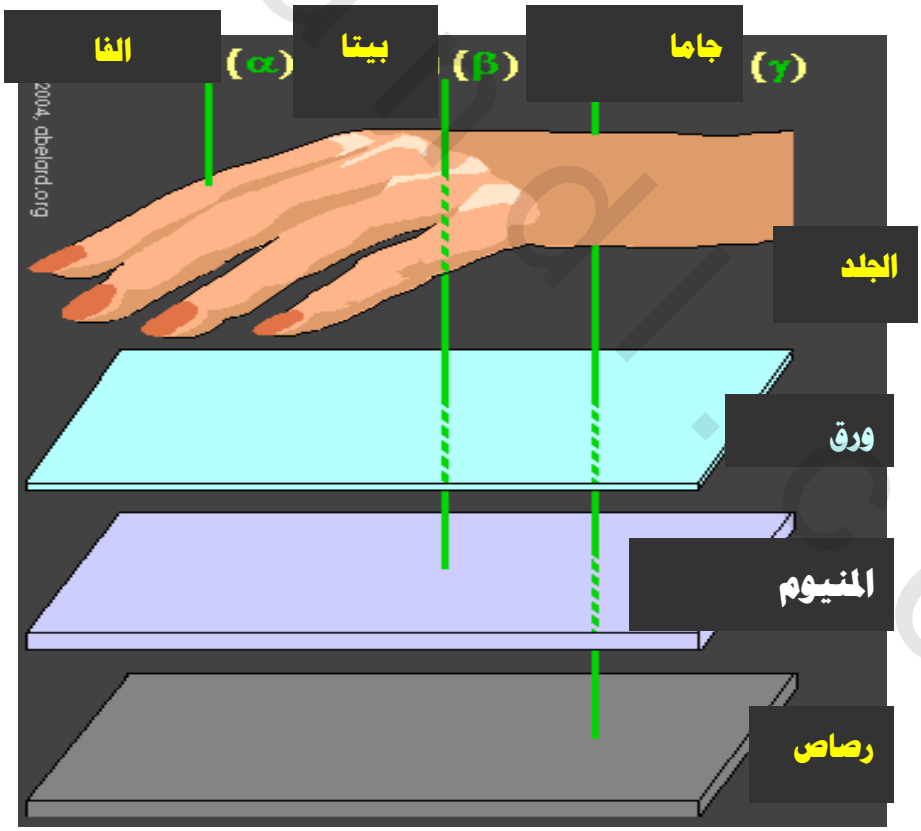
يجب اختيار وتصميم الدروع الواقية من جسيمات β بشكل يمنع تولد أشعة البرمشتالنك وكذلك فان أي نظير باعث لجسيمات (β) يكون خطرا عندما يدخل إلى داخل الجسم .

يصعب الكشف عن النظائر الباعثة لجسيمات β فقط وقياسها في التطبيقات العملية للطب النووي وذلك لأنها تمتص في سمك قليل من المادة الصلبة حيث أنها تمتص في بضع مليمترات من الأنسجة الحية . لذلك لا يجوز استخدامها عند القياس داخل الجسم الحي أما النظائر التي تبعث جسيمات β بالإضافة إلى أشعة جاما فلا توجد مشاكل في قياسها لذلك لها تطبيقات مهمة في الطب النووي.

1- 7 أنواع الانحلال الإشعاعي:

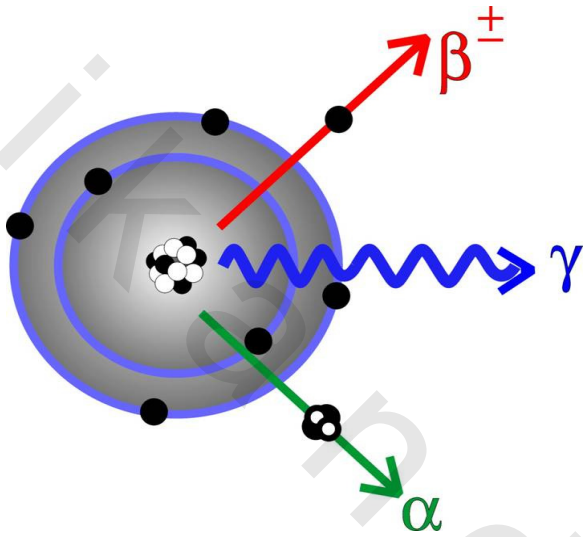
تبعث العناصر غير المستقرة(المشعة) الطاقة الفائضة فيها نتيجة للتحول النووي التلقائي وتتكون عناصر جديدة وتسمى العناصر الوليدة (البنت) (Daughter) وقد تكون الوليدة مستقرة او مشعة فتكون وليدات جديدة اما العنصر الأصلي فيسمى بالأم (Parents).وتنبعث الجسيمات المشحونة او أشعة جاما من النواة المتهيجة شكل (١- 12 ب)

شكل 1-12 (أ) اختراق الاشعاعات المؤينة المختلفة للجسم



قد يحصل التحول التلقائي الى عناصر جديدة بدون جسيمات الفا وكل هذا التحلل قد يكون ولايكون مصحوبا باشعة جاما. ان خاصية النشاط الاشعاعي تتعلق بخواص نوى العناصر فقط وليس لها علاقة بالوضع الكيميائي او الفيزيائي للنظير المشع. لذلك فان التحول الاشعاعي يعتمد على عاملين الاول خاصية عدم الاستقرار النووي والذي يعتمد على النسبة بين عدد النيوترونات الى عدد البروتونات والثاني العلاقة بين الكتلة والطاقة للنواة الام، نواة البنت والجسيمات المنبعثة .

شكل (١- 12 ب) الانواع الثلاث للاشعاع المنبعثة من النواة



ومن اهم حالات الانحلال الاشعاعي الاخرى هي:

أ- الانحلال بانبعاث البوزوترون:

البوزوترون هو عبارة عن جسيمات بيتا ذات الشحنة الموجبة وتتولد نتيجة لتحول البروتونات الفائضة إلى نيوترون وبوزوترون(β^+) وجسيمات مصاحبة تسمى أنتي نيوترينو لغرض الحفاظ على قانون حفظ الطاقة والزمن.

البوزوترون له نفس شحنة الإلكترون ولكنها موجبة ونفس كتلة الإلكترون، وعندما تبعث الام البوزوترون فان البنت المتولدة سيقل عددها الذري بمقدار واحد ويبقى عددها الكتلي بدون تغير

$$_{11}Na^{22} \rightarrow {}_{10}Ne^{22} + {}_{-}e^{o} + \upsilon -$$

وبعد انبعاث البوزوترون فانه يفقد طاقته نتيجة لتصادمه مع ذرات المواد المحيطة به في زمن قصير جدا ثم يتحد مع احد الالكترونات الذرية ويفني كلاهما متحولان إلى طاقة لأشعة جاما طاقتهما تساوي مكافئ كتلته كل من البوزترون والإلكترون **0.511MeV** ولان العدد اقل بمقدار

واحد فان البنت يجب ان تفقد احد الكتروناتها المدارية بعد التحول النووي . لذلك تتحول المعادلـــة السابقة بالشكل الاتي

$$M_p \rightarrow M_d + 2Me + Q$$

حيث ان:

M_p, M_d, M_e هي كتلة الام، البنت، البوزوترون على التوالي، Q الطاقة الناتجة عن الانحلال من أشعة جاما باتجاهين متعاكسين و تكون طاقة الانحلال البالغة 1.277MeV كما في التفاعل الأتي:

$$M(Ne^{22}) \rightarrow M(Na^{22}) - 2Me + Q$$
$$\rightarrow 22.0014 - 2 \times 0.00055 - 0.549 + 1.27/931$$
$$\rightarrow 21.998 \text{ amu}$$

ومخطط الانحلال لهذا التفاعل والنظائر الباعثة للبوزوترون مهمة في تطبيقات الطب النووي وذلك بسبب انبعاث أشعاعين باتجاهين متعاكسين وان الاتجاهين المتعاكسين للفوتونات المنبعثة مهمة جدا في تطبيقات عد التزامن.

ب ـ الانحلال بأسر الإلكترون (ELECTRON CAPTURE):

إن النظائر المشعة التي يكون فيها عدد البروتونات اكبر من عدد النيوترونات (نقصان في عـــدد النيوترونات) يتحول فيها البروتون إلى نيوترون وبوزترون ولكي يحصل هذا التحول فان كتلة إلام يحب ان يزيد عن كتلة البنت بمقدار كتلة إلكترونين وإذا لم تتوفر مثل هذه الحالة فان النقصان في عدد النيوترونات يمكن التغلب عليه بعملية تسمى الأسر الالكتروني أو الآسر في الطبقة (K) . ففي هذا التحول الإشعاعي فان أحد إلكترونات المدار(K) يؤسر من قبل النواة ويتحد مع أحـــد بروتونات النواة ويولد نيوترون حسب المعادلة التالية :

$$_{-1}e^{o} + {}_{1}H^{1} \rightarrow {}_{0}n^{1} + \upsilon$$

فنتيجة لفراغ احد مواقع الالكترونات فتبعث كذلك أشعة سينية أو إلكترون اوجي .

إن الأسر الالكتروني مشابه للتحول الإشعاعي بواسطة البوزوترون حيث ان العدد الذري للبنت يقل بمقدار واحد عن الأم بينما يبقى العدد الكتلي ثابتا .

ويمكن كتابتها كما في الشكل الأتي :

$$M_p + M_e \rightarrow M_d + Q$$

حيث إن Q هي طاقة ربط الإلكترون المؤسر.

obeikandl.com

إن الأشعة السينية المميزة المنبعثة من البنت أو ان التحول بعد عملية الأسر الالكتروني قد تكون مناسبة لقياس هذا النوع من التحول الإشعاعي الذي يكون مصحوبا بانبعاث أشعة جاما والتي يمكن قياسها بواسطة كواشف الإشعاع .

ولان كل من التحولات بواسطة البوزوترون أو الأسر الالكتروني متشابهة تماما وتولد نفس النتيجة فان العناصر الخفيفة بشكل عام تتحول إشعاعا بواسطة البوزوترون بينما العناصر الثقيلة فإنها تتحول إشعاعيا بواسطة الأسر الالكتروني لان الالكترونات المدارية في حالة العناصر الثقيلة تكون قريبة جدا من النواة وبذلك من السهولة أسرها.

ت- الانحلال يبعث أشعة جاما :

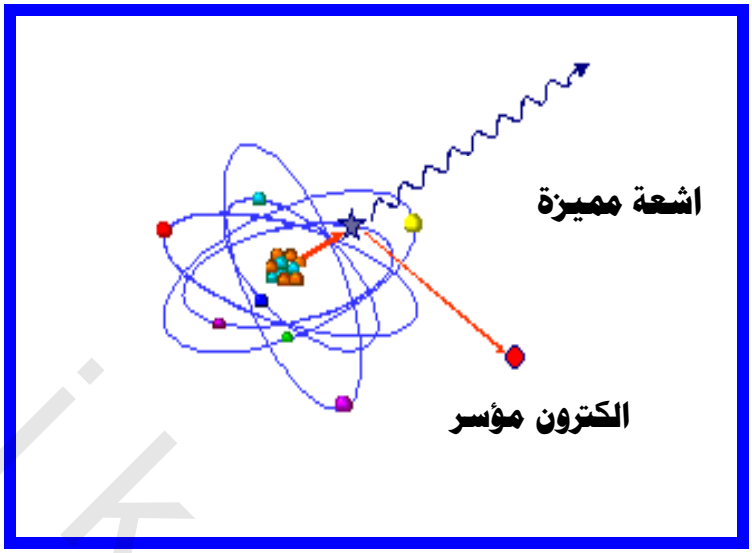
أشعة جاما عبارة إشعاع كهرومغناطيسي يبعث من نوى العناصر المشعة طبيعيا او صناعيا للوصول الى حالة الاستقرار، ويكون تردد هذه الموجات كبيرا وطولها ألموجي قصير، لذلك فان طيف أشعة جاما يستخدم لمعرفة النظائر المختلفة، وتمتاز هذه الأشعة بقدرتها العالية على الاختراق وهي لاتتاثر بالمجال الكهربائي أو المغناطيسي، الانحلال بواسطة البوزترون يكون مصحوبة بانبعاث أشعة جاما.

ث ـ الانحلال بالتحول الداخلي:

احد الطرق التي بواسطتها تفقد النوى المتهيجة طاقتها للوصول الى حالة الاستقرار . وفي هذا الانحلال يمتص احد الالكترونات الداخلية للذرة (في المدار **K**) طاقة تهيج النواة ويغادر الذرة إن طاقة الإلكترون المتحرر تساوي الفرق بين طاقة فوتونات أشعة جاما المنبعثة من النواة المتهيجة وطاقة ارتباط الإلكترون المتحرر بالذرة. يعتبر التحول الداخلي بأنه ظاهرة كهر وضوئية داخلية حيث ان فوتونات أشعة جاما تتفاعل مع الالكترونات المرتبطة بقوة بالذرة وتعطيها جميع طاقتها لكي يتحرر الإلكترون شكل **(1-13)** التحول الداخلي مشابه للانحلال بواسطة جسيمات بيتا حيث ان كليهما يؤدي إلى انبعاث الالكترونات ولكن الفرق الأساسي بين العمليتين هو:

١ـــ في حالة الانحلال بواسطة جسيمات بيتا فان الالكترونات تبعث من النواة إما في حالة التحول الداخلي فان الإلكترون المتحول يبعث من المدارات الخارجية

شكل (13-1) الانحلال بالتحول الداخلي



٢ ــ طيف جسيمات بيتا يكون طيف مستمر بينما طيف عملية التحول الداخلي يحتوي على طاقات محددة، ان هذا التحول مفيد جدا في تطبيقات الطب النووي حيث ان النويدات المشعة الشبه مستقرة لها عمر طويل نسبيا لذلك يمكن فصلها عن إلام والحصول على نويدات مشعة باعثة لأشعة جاما فقط

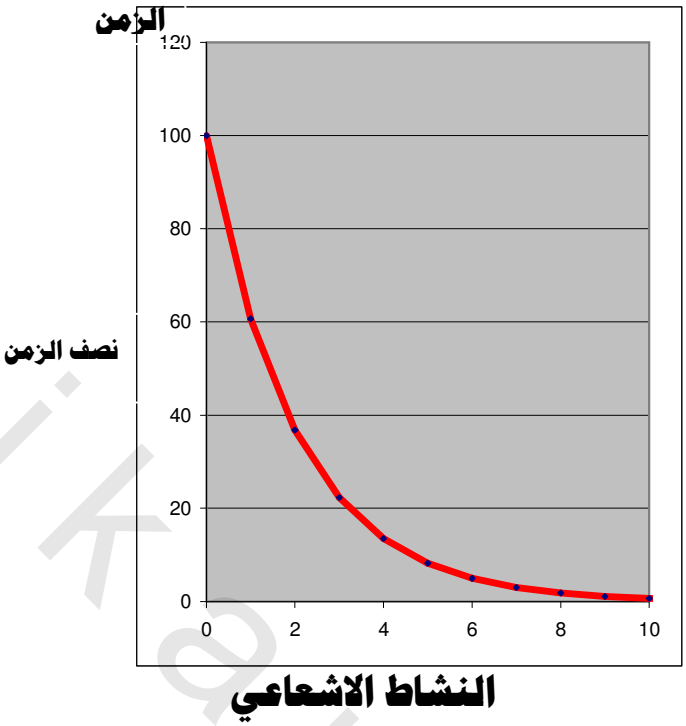
١ – ٨ بعض المصطلحات الإشعاعية :

١ – عمر النصف (HALF LIFE) $T_{1/2}$

عمر النصف لأي نظير مشع بأنه الزمن اللازم لأي نظير مشع ليقل نشاطه الإشعاعي إلى نصف قيمته الأصلية . ونصف العمر من صفات النظير الإشعاعي فعند رسم النشاط الاشعاعى على المحور الصادي بمقياس لوغاريتمي والزمن على المحور السيني بمقياس اعتيادي نحصل على خط مستقيم .اما عند الرسم بمقياس اعتيادي نحصل على علاقة آسية، والمقدار الذي يصبح فيه النشاط الإشعاعي نصف قيمته الأصلية هو عمر النصف للنظير شكل(1-14)،

obeikandi.com

شكل (14-1) العلاقة بين النشاط الإشعاعي و الزمن



يتناسب عمر النصف عكسيا مع ثابت يسمى ثابت الانحلال λ ، والذي يعرف بأنه ذلك الجزء من الذرات في نموذج النويدات المشعة والذي يحصل إشعاعيا في وحدة الزمن. إن وحدة ثابت الانحلال هي مقلوب الزمن .

٢ - النشاط الإشعاعي (Radioactivity) :

يتمتع الكثير من العناصر المشعة طبيعيا او صناعيا بخاصية تعرف بالنشاط الاشعاعي وتعود هذة الخاصية نتيجة لعدم استقرار هذة العناصر وتحولها تلقائيا الى ذرات مستقرة نتيجة لبعثها الاشعاع .وعملية التحول هذة تسمى بالتحلل او الاضمحلال (decay) . يصاحب عملية التحـــول انبعـــاث جسيمات الفا وبيتا واشعة جاما. يُعرف النشاط الإشعاعي بانة عملية الانحلال الاشعاعي التي تحدث في نواة ذرات العناصر المشعة فتنحل مصدرة اشعة جاما او جسيمات ألفا و بيتا . و يسمى نظير العنصر الباعث لهذه الإشعاعات بالنظير المشع. أما جسيمات ألفا فتعطي طاقتها للوسط الذي تعبر فيه مسافةً قصيرة جداً، و لهذا فإنه يمكن إيقاف مثل هذه الجسيمات بسهولة خلال عدَّة سنتيمترات من الهواء،او قطعة من الورق، وحتى سطح الجلد يعتبر درع واقي من هذة الجسيمات . لذلك فأن جسيمات الفا غير خطرة عند تعرض الجسم لها خارجيا، و لكنها ذات مخاطر كبيرة عند التلوث الداخلي عن طريق التنفس أو الابتلاع. أما جسيمات بيتا فهي دقائق ذات كتلة و شـــحنة مماثلـــة للإلكترون. تصدر هذه الجسيمات عادة بطاقة أقل من طاقة الجسيمات ألفا، لكن لديها القدرة علـــى

الاختراق لمسافة أكبر، و هي ذات خطر خارجي و داخلي. أما اشعة جاما التي ترافــق انبعــاث جسيمات ألفا و بيتا في معظم الأحوال .وتنبعث هذة الأشعة من نوى الذرات المتهيجة و هي تماثل الاشعة السينية و لكنها ذات طاقتها عالية، و هي أشد أنواع الإشعاعات اختراقاً. و الأخطار الناجمة عنها كبيرة إذا تعرض لها الإنسان مباشرة.. و يبين الجدول (١) مدى هذه الاشعاعات في كل من الهواء و الخلايا الحية.

الجدول (١ - ١) مدى الإشعاعات المؤينة، في الهواء و الخلايا الحية

نوع الإشعاع	المدى في الهواء	المدى في الخلايا
جسيمات ألفا	٣ سم	٠.٠٤ ملم
جسيمات بيتا	حتى ١٠ م	٠.٥ ملم
اشعاع جاما	حتى ١٠٠ م	كامل الجسم

والانحلال الإشعاعي عبارة عن علاقة آسية

أي إن $A= A_o e^{-\lambda t}$

(A_o) العدد الأصلي للذرات المشعة التي تحتوي النموذج

(A) عدد الذرات المشعة بعد الانحلال في زمن مقداره t

λ ثابت الانحلال الإشعاعي

لكي يصبح عدد الذرات (A) بعد زمن مقداره (t) نصف عدد الذرات الأصلية (A_o)

$$A/ A_o = e^{-\lambda t} \rightarrow 1/2 = e^{-\lambda t}$$

$$Log2= \lambda t_{1/2} \quad then \quad t_{1/2}= log2/ \lambda \qquad t_{1/2} = 0.693/ \lambda$$

وحدة النشاط الإشعاعي القديمة هي الكيوري وقد عرف الكيوري بأنه النشاط الإشعاعي وعدد الانحلالات في الغرام الواحد من Ra^{226} ولكن هذا التعريف تغير بعد عدة سنوات من وضعه وتم تعريفة بأنه عدد من الانحلالات مقداره $(3.7x10^{10})$ انحلال / ثانية. إما الوحدة الحالية في النظام العالمي للنشاط الإشعاعي فهي البيكرل.(1 Ci = 37 GBq).

٣- معدل العمر (τ):

ان معدل العمر لأي ذرة يعتمد على ثابت الانحلال وقيمته صفة من صفات النويدات المشعة ويستفاد منه في حساب الجرعة الإشعاعية في النماذج الرياضية للجهاز التنفسي والجهاز المعدي والمعوي. ويعرف معدل العمر بأن مجموع إنصاف الأعمار للذرات المفردة مقسوما على العدد الكلي للذرات الموجودة أصلا.

معدل الانحلال لنظير مشع يحتوي على ذرات عددها N يساوي λN وخلال زمن dt فان العدد الكلي للانحلال هو $\lambda N dt$ وان مجموع أعمار النصف لجميع الذرات والتي يتحلل خلال الزمن t إلى t+dt يساوي $t\,\lambda N dt$.

ضمن تعريف معدل العمر τ يمكن كتابته بالصورة التالية:

$$\tau = 1/No \int_0^\infty t\,\lambda N dt$$

حيث ان عدد الذرات المشعة N_o عند الزمن t=0

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

$$\text{Then } \tau = 1/No \int_0^\infty t\,\lambda\, N_o e^{-\lambda t}\, dt$$

وبأخذ تكامل المعادلة فان:

$$\tau = 1/\lambda = T_{1/2}/0.693 = 1.45\, T_{1/2}$$

يتضح من المعادلة ان معدل العمر لذرات النويدات المشعة اكبر قليلا من عمر النصف.

٤- النشاط الإشعاعي النوعي (Specific activity):

يعرف النشاط الاشعاعي النوعي بأنه العلاقة بين النشاط الاشعاعي للمادة وكتلتها وتقاس بالبيكرل/كغم أو البيكرل/م^3 ويمكن حساب النشاط الاشعاعي النوعي كما يلي:

فإذا كانت λ هي ثابت الانحلال فان عدد الانحلالات لوحدة الزمن هي λN حيث ان N عدد الذرات.

N= عدد افوكادرو/ العدد الكتلي = $A/6.03x10^{23}$.

لذلك فان النشاط الاشعاعي لوحدة الكتلة (النشاط الاشعاعي النوعي S_A) هو النشاط الاشعاعي النوعي $(S_A) = \lambda N = \lambda\, xA\, /6.03x10^{23}$ بكرل/غم.

١ – ٩ الجسيمات غير المشحونة:

وهي النيوترونات، حيث اكتشف العالم شادوك عام ١٩٣٢ هذه الجسيمات، عندما كان يقصف هدف من البريليوم بجسيمات إلفا ذات الطاقة العالية. حيث لاحظ انبعاث إشعاعات لها قدرة على التأين غير المباشر وبأنها تحرر بروتونات سريعة عندما تتفاعل مع المواد الحاوية على الهيدروجين. وتوصل إلى ان هذه الأشعة ليست بفوتونات وإنما جسيمات عديمة الشحنة ذات كتلة قريبة من البروتونات سميت بالنيوترونات. وتوضح المعادلة التالية انبعاث النيوترون حسب تجارب شادوك

$$^{9}Be + {}^{4}He \longrightarrow {}^{1}n + {}^{12}C$$

حيث ان n هو النيوترون والذي يبلغ عدده الكتلي ١، والنيوترونات تنبعث عادة من النواة وتملك طاقة عالية جدا تسمى بالنيوترونات السريعة وعند مرورها في المواد الخفيفة (التي تحتوي على

obeikandl.com

كمية من الهيدروجين) فإنها تتهدأ مولدة نيوترونـــات ذات طاقـــة قليلـــة(0.025eV) تســـمى النيوترونات الحرارية وهذه النيترونات خطرة على الجسم البشري لقدرتها على تنشيط المواد أي تحويلها من مواد مستقرة إلى مواد مشعة.

من أهم خواص النيوترون :

١- دقائق مادية ثقيلة نسبياً كتلة الواحد منها ١ .٠٠٨٩٨ وحدة كتل ذريـــة أو ١.٦٧ × ١٠$^{-٢٧}$ كغم.

2 - ليس لها شحنة كهربائية

3 - لا تنحرف في المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

٤ – مصدره من النواة وقد تنتج من اتحاد بروتون مع إلكترون.

٥ – أقوى على الاختراق من الدقائق المشحونة إلفا وبيتا والبروتونات.

٦ – لا تحدث تأينا مباشرا في المادة عند مرورها فيها ولذلك يصعب رصـــدها إلا باســـتخدام أسلوب غير مباشر كأن يسمح لها بالتفاعل مع بعض المواد لإنتاج أشعة مؤبنة مثـــل إلفـــا والبروتونات:

١ – ١٠ المصادر النيوترونية:

يمكن توليد النيوترونات من نوى الذرات بعد تزويدها بطاقة كبيرة جدا تفوق طاقة ربط النيوترنات بها.

ويكفي لتهيج النواة ،وهذة طاقة كبيرة جدا لاتنشا في عمليلت الانحلال الاعتيادية،لـــذلك لايمكـــن الحصول على مصدر طبيعي يبعث النيوترونات .ولكن توجد مصادر صناعية لتوليد النيوترونات من أهمها:

١- المصادر النيوترونية من النظائر المشعة:

تحتوي هذه المصادر نظير مشع باعث لجسيمات الفا وعنصر مستقر، حيث يقصف عنصر مستقر مثل البريليوم بجسيمات الفا المنبعثة من عنصر مشع. أن جسيمات ألفا المنبعثة يجـــب أن لا تقـــل طاقتها عن 3.7 MeV لبدء التفاعل . ومن النظائر التي تؤدي الغرض هـــي البلوتيـــوم– ٢١٠ الراديوم– ٢٢٦، الامريشبوم ٢٤١ و البلوتونيوم ٢٣٩.في هذا النوع من المصادر تمزج كمية معينة من النظير المشع مع البرليوم المستقر ونتيجة لقصف جسيمات الفا للبريلوم تنبعث النيوترونات.

$$^{9}Be + ^{4}He \longrightarrow ^{1}n + ^{12}C$$

تستقر جسيمات الفا المنبعثة من المصدر المشع في الهدف ولايتفاعل منها الا جزء قليل.

تمتاز هذه النظائر بعمرها الطويل، كلفتها القليلة وصغر حجمها.لكن حجم الدرع يكـــون كبيـــرا.

تستخدم هذة المصادر بشكل واسع في معظم التطبيقات النووية.جدول(١ – ٢)

obeikandl.com

٢- المصادر الصناعية للنيوترونات ذات الانشطار التلقائي:

معظم النويات المشعة الثقيلة لها القدرة على الانشطار الذاتي والذي ينتج عدد من النيوترونات لكل انشطار.من أهم هذه المصادر هو مصدر الكالفورينوم-٢٥٢ هو من العناصر ما بعد اليورانيوم لة عمر نصف مقدارة ٢.٦٥ سنة وهو العنصر رقم ٩٨ في الجدول الدوري.ويتم انتاجة صناعيا في المفاعلات النووية . ويتحلل بالانشطار انحلالا واحد لكل ٣١ انحلال لجسيمات الفا .

جدول(١ - ٢)انواع المصادر النيوترونية من النظائر المشعة:

المصدر	عمر النصف	المردود النيتوتروني المحسوب لكل ١٠ ٢ من جسيمات الفا الاولية MeV	طاقة جسيمات الفا	النسبة المئوية المحسوبة للمردودعندما تكون طاقة الفا اكبر من MeV١.٥
$^{239}Pu \setminus Be$	٢٤٠٠٠ سنة	5.14	٦٥	١١
$^{210}Po \setminus Be$	١٣٨سنة	5.30	٧٣	١٣
$^{241}Am \setminus Be$	٤٣٣ سنة	5.48	٨٢	١٤
$^{244}Cm \setminus Be$	١٨ سنة	5.79	١٠٠	١٨
$^{242}Cm \setminus Be$	١٦٣ يوم	6.10	١١٨	٢٢

الانشطار الحاصل بالنواة يكون مصحوبا بانبعاث عدد قليل من النيوترونات والذي يختلف لكل انشطار . عدد النيوترونات المنبعثة يساوي ٠.١٣٦ نيوترون لكل ثانية لكل ذرة ، حسب التفاعل التالي

$$^{252}Cf \longrightarrow ^{251}Cf + ^{1}n$$

أي انة بالامكان الحصول على فيض نيوتروني مقدارة ٢.٣ x ١٠ ٦ نيوترون لكل ثانية لكل مايكرو جرام من المادة، لذلك يتكون المصدر النيوتروني من بضع مايكرو جرامات في حاوية مدرعة.

٣-المصادر النيوترونية الفوتونية:

يمكن استخدام النظائر الباعثة لاشعة جاما لتوليد النيوترونات عند مزجها مع مادة مناسبة تسمى بالهدف.تقوم اشعة جاما المنبعثة من المصدر المشع بتزويد ذرات الهدف بطاقة كافية لاانبعاث النيوترونات منة.اهم الاهداف المستخدمة هي البريليوم والديتريوم،حسب التفاعل التالي:؛

$$^{2}H + \gamma \longrightarrow ^{1}H + ^{1}n$$

$$^{9}Be + \gamma \longrightarrow {}^{8}Be + {}^{1}n$$

اهم مزايا هذة المصادر ان النيوترونات المنبعثة منها تكون احادية الطاقة اذا كانت اشعة جاما الساقطة على الهدف احادية الطاقة كذلك اما مساوئها فهوالخلفية الاشعاعية العالية.شكل (١ –٣)

شكل (١ -٣) النظائر الباعثة لاشعةجاما المستخدمة في المصادر النيوترونية

بواعث اشعة جاما	عمر النصف	طاقة اشعة جاما MeV	اشعة جاما لكل تحلل	الهدف	معدل طاقة النيوترونMeV
^{24}Na	١٥ ساعة	٢.٧٥٧	١.٠٠	Be	٩٦٩
^{76}As	٢٦.٧ ساعة	١.٧٧	٠.٢	Be	٩٣
^{88}Y	١٠٤ يوم	١.٨٥٣	٠.٩٩٥	Be	١٦٦
^{116}La	٤٠.٢ ساعة	٢.٥١	٠.٠٤٠	Be	٧٤٧
^{124}Sb	٦٠ يوم	١.٦٩١	٠.٥	Be	٢٣

٤- المولد النيوتروني:

المصادر النيوترونية المهمة والتي تولد نيوترونات سريعة طاقتها MeV ١٤ تتولد نتيجة لقصف هدف من التريتيوم بسيل من نوى الديتيريوم التي تصل طاقتها إلى keV ١٥٠ وتندمج النواتان مكونتين نواة الهليوم. $^{2}H + {}^{3}H \longrightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$

تتميز هذة المصادر بكلفتها الواطئة نسبيا مقارنة مع كلفة المفاعلات.

٥- المفاعلات النووية:

وهو من أهم المصادر النيوترونية وتتولد النيوترونات نتيجة انشطار اليورانيوم ٢٣٥ حيث ان عدد النيوترونات المتولدة نتيجة لكل انشطارتساوي حوالي ٢.٥ نيوترون. وعملية التفاعل تكون مستمرة في حالة تشغيل المفاعل وهذه العملية تولد طاقة مقدارها MeV٢٠٠ لكل انشطار.

١ – ١١ تفاعل الاشعاع مع المادة

لمعرفة الاسس الفيزياوية للكشف عن الاشعاع او الدروع الواقية يجب فهم طريقة التفاعل بين الاشعاع والمادة، والتي يتم خلالها انتقال الطاقة من الاشعاع الى المادة التي يتفاعل معها. وهذا التفاعل قد يحصل بين الاشعاع والكترونات الذرة، وبين الاشعاع ونواة الذرة، واخيرا بين الاشعاع والذرة بأجمعها. ان نوع التفاعل وقدرة اختراق الاشعاع للمادة يعتمد على نوع وطاقة ذلك الاشعاع وطبيعة المادة التي يتفاعل معها الاشعاع .

obeikandl.com

المقصود بالتفاعل بين الاشعاع والذرات او الجزئيات او الالكترونات هو القوة الكهربائية المتبادلة بين الاشعاع والمادة والتي تتضمن قوة تجاذب او تنافر وليس المقصود بها التماس الميكانيكي بين الاشعاع والمادة. وينتج عن ذلك ظاهرة التأين او التهيج وتنقل الطاقة الى المادة والتي يتحول معظمها الى حرارة نتيجة لاهتزاز الذرات والجزيئات. وتقسم التفاعلات الى قسمين اساسين هما تفاعل الاشعاع مع الجسيمات المشحونة وتفاعله مع الفوتونات .

١ـ تفاعل الاشعاع مع الجسيمات المشحونة

الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية مثل جسيمات α وجسيمات βعند تفاعلها مع المادة فانها تفقد طاقتها نتيجة لهذا التفاعل وتحصل ظاهرة التأين او التهيج . ونتيجة لذلك تنبعث الكترونات باشكال مختلفة حيث تكون بشكل جسيمات بيتا الموجبة او السالبة او تفاعل التحول الداخلي او الكترونات اوجي وبالاضافة الى ذلك فان الالكترونات تتولد عند تفاعل اشعة جاما والاشعة السينية مع المادة وتقسم جميع هذه التفاعلات الى ما يلي :

أ) التأين:

عندما تتفاعل جسيمات بيتا مع المادة فان طاقتها تستثمر للتغلب على طاقة ربطها بالذرة والباقي من الطاقة يكون بشكل طاقة حركية لهذه الالكترونات (الالكترونات الثانوية)، واذا كانت طاقة الالكترونات الثانوية كبيرة فانها قد تؤين ذرات او جزئيات اخرى من الوسط وتسمى مثل هذه الالكترونات باشعة الدلتا.

ب) التهيج :

يحصل هذا التفاعل عندما تكون طاقة جسيمات بيتا غير كافية لحصول ظاهرة التأين .لذلك فان الالكترونات المدارية ترتفع من مستوى استقرارها الى مستوى استقرارا أعلى فتكون الذرة في حالة تهيج. وتفقد الذرة طاقة التهيج بشكل اهتزاز للجزئيات ونتيجة لدلك تنبعث اشعة تحت الحمراء، اشعة مرئية او اشعة فوق البنفسجية .

ت) التفاعل مع مجال النواة :

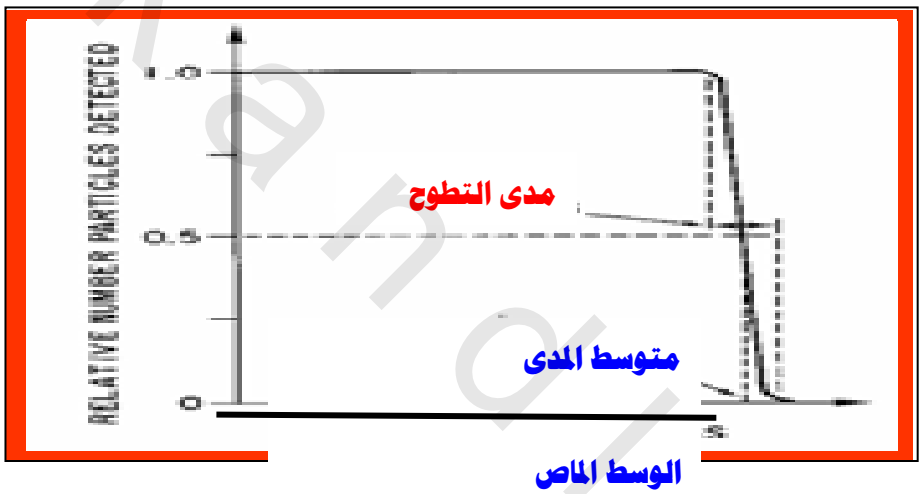
عندما تكون طاقة جسيمات بيتا كبيرة فان الجسيمات المشحونة تخترق الغيمة الالكترونية وتقترب من المجال الكهربائي للنواة. وذلك يؤدي الى تباطئ الجسيمات المشحونة وفقدانها للطاقة فتبعث هذه الجسيمات الطاقة المفقودة بشكل اشعاعات كهرومغناطيسية تسمى باشعاعات الكبح او الحد من السرعة (البرمشتالنك) ان طاقة اشعاعات البرمشتالنك تتراوح بين الصفر(عندما يكون تباطئ الجسيمات قليلا) الى اعظم ما يمكن من الطاقة والذي يساوي طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة وتسمى هذه التفاعلات بتفاعلات فقدان الاشعاع.

مدى الجسيمات المشحونة:

أ-مدى جسيمات α

جسيمات α هي الجسيمات التي يكون اختراقها للمادة قليلا وذلك بسبب كبر كتلتها وتسمى المسافة التي تخترقها الجسيمات المشحونة داخل المادة بالمدى. ولثقل جسيمات α فان انحرافها يكون قليل جدا عند تفاعلها مع الكترونات المادة ويكون مداها مستقيما وبسبب هذا المدى القليل فانها تمتص بعد بضع سنتمترات من الهواء. يكون مداها في الانسجة الحية بالمايكرون ويكون المدى لجسيمات α على نوعين. الاول متوسط المدى (Mean range) والثاني امتداد المـــدى(Extrapolation range). يوضح الشكل (15-1) المنحني لامتصاص جسيمات α والمرسوم بين النشاط الاشعاعي والمدى لجسيمات α .

شكل (15-1) مدى الجسيمات α



يكون مدى جسيمات α في المادة مستقيما وذات قيمه ثابته تقريبا.

يلاحظ من الشكل ان النشاط الاشعاعي يبقي ثابتا حتى يصل الى اعظم مدى، سبب هذا الثبات ان جسيمات α احادية الطاقة وزيادة سمك الوسط (x) يقلل طاقة جسيمات α فقط داخل الوسط .عدد جسيمات α يبقى ثابتا حتى يصل المدى الاعظم وبعدها يهبط فجائيا الى الصفر وتسمى المســـافة الافقية الى نقطة الهبوط بمعدل اومتوسط المدى والذي يمثل سمك الوسط الذي يمتص ٥٠% مـــن الاشعاع الساقط. يكون التطوح في المدى (Range straggling) قليلا ويساوي ١% تقريبيا وان مدى الامتداد نحصل عليه بالامتداد المستقيم لمنحني الامتصاص لجسيمات α الى الطاقة صفر.

المعادلة التقريبية لحساب المدى في الهواء R_a يعتمد على طاقة جسيمات α ويكتب كما يلي :

$$R_a = 0.325\ E^{3/2}$$

اما مدى جسيمات α في أي وسط فيمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$R_m = 3.2\times 10^{-4}\,(A/\rho)R_a$$

حيت ان A العدد الكتلي و ρ كثافة الوسط

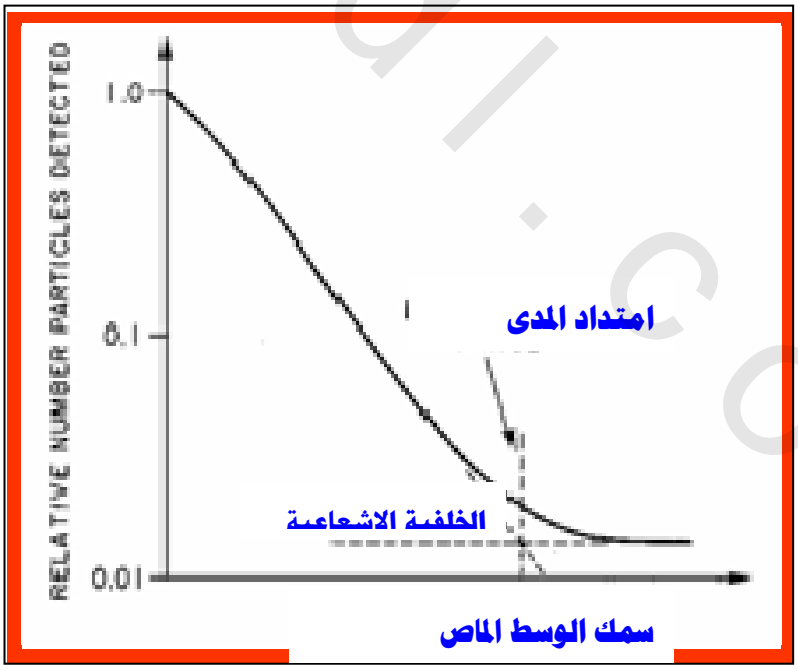
_مدى جسيمات (β) :

مدى جسيمات (β) لا يكون ثابتا ويختلف من عنصرالى اخر حتى وان كانت الكترونات جسيمات (β) لها نفس الطاقة ونفس الوسط الماص. والسبب في ذلك هو صغر كتلة جسيمات (β) (الالكترون).على العكس من مدى جسيمات α والتي يكون مداها ثابتا ودقيقا وبشكل مستقيم. عند تفاعل جسيمات(β) مع الكترونات المادة فانها تتشتت أي تستطار والاستطارة الحاصلة في مدى الالكترون نتيجة للتفاعلات النووية او تولد اشعة البرمشتالنك تؤدي الى انحراف الالكترون بزاوية كبيرة او ايقافه كليا .

يبين منحني الامتصاص لجسيمات بيتا وعلى مقياس شبه لوغارتيمي بان المدى يتناقص نتيجة زيادة سمك الوسط الماص. لانه مهما كان سمك الوسط فانه يستطيع امتصاص جزء من جسيمات β ويكون بشكل خط مستقيم ثم بعد ذلك يصبح ثابتا تقريبا عند الخلفية الاشعاعية .ان الامتداد المستقيم للمنحني وتقاطعه مع سمك الوسط الماص يسمى امتداد المدى هذا المدى اقل من المدى الاعظم قليلا كما موضح

في الشكل (16-1) وبشكل تقريبي فان سمك الوسط اللازم لامتصاص نصف كمية جسيمات بيتا يساوي تقريبا ثمن (٨/١) مدى جسيمات بيتا.

الشكل (16-1) مدى جسيمات (β)



٢ - تفاعل اشعة جاما مع المادة:

يختلف تفاعل فوتونات اشعة جاما و الاشعة السينية عن تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة حيث ان الفوتونات لا تستطيع تأين ذرات الوسط مباشرة كما هو الحال للجسيمات المشحونة.لانها اشعة مؤينة بصورة غير مباشرة أي ان الفوتونات تقوم بقذف احد الالكترونات للذرات القريبة من الوسط او الوسط نفسه. تقوم الالكترونات او الازواج الايونية بتأين جزيئات الوسط لذلك يبنى عمل الكشف عن الاشعاعات الموئنة او التأثير البايولوجي لها على هذا الاساس .بالاضافة الى ذلك فان تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة يؤدي الى امتصاصها وايقافها كليا عندما يكون سمك الحاجز كافيا لذلك فيكون لها مدى محدد داخل المادة. ولكن الفوتونات تتناقص في الشدة بزيادة سمك الوسط الماص ولكن الشدة لاتصبح صفرا لذلك يكون لها مدى غير محدد في المادة .

يتضمن تفاعل الفوتونات مع المادة تسعة انواع من التفاعلات ولكن الشائع منها خمسة انواع اهمها .

أ- الظاهرة الكهروضوئية . (Phto electric)

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة نسبيا (ولكنها اكبرمن طاقة ربط الالكترون بالذرة) أي ان طاقة الفوتونات اقل من طاقة كتلة السكون للالكترون (m_0c2) حيث ان الذرة تمتص طاقة الفوتون الساقط بأجمعها وتقذف احد الالكترونات الداخلية للذرة الى الخارج ويسمى الالكترون المقذوف بالالكترون الضوئي والذي طاقته الحركية يساوي الفرق بين طاقة الفوتون (hf) الساقط وطاقة ربط الالكترون بالذرة (Φ) شكل (١-١٧)

$$K.E_e = hF - \Phi$$

او ان الالكترون المنبعث يتفاعل مع احد الكترونات الذرة ويزيحة من مكانة ويسمى الكترون اوجي فيحصل تاين مضاعف وتنبعث اشعة سينيه مميزة او الكترون اوجي .

يعتمد حصول الظاهرة الكهروضوئية على العدد الذري للوسط الماص ويتناسب معه طرديا وكذلك على طاقة الفوتونات ويتناسب عكسيا حيث ان الطاقة الواطئة للاشعاع والعدد الذري العالي للوسط الماص

تجعل الظاهرة الكهروضوئية اكثر احتمالا حيث ان المقطع العرضي للتفاعل يتغير تقريبا حسب ($Z^4 \lambda^3$) حيث ان (Z) العدد الذري (λ) الطول الموجي للاشعاع الساقط .

ولهذا السبب يستخدم الرصاص او اليورانيوم المنضب كدروع واقية من الاشعة السينية واشعة جاما،لان العدد الذري العالي للرصاص كبير تجعل الظاهرة الكهروضوئية اكثر احتمالا فتمتص الفوتونات من قبل الدروع الواقي.

ب ـ استطارة كومتن :

تكون طاقة الفوتونات الساقطة كبيرة نسبيا ، في هذا التفاعل تتفاعل الفوتونات مع الالكترونات الخارجية للذرة والتي تكون قوة ارتباطها ضعيفة جدا بحيث يمكن اعتبارها الكترونات حرة. يعتبر التصادم بين الفوتونات والالكترونات تصادما مرنا . فان الفوتون يفقد جزء من طاقته وينحرف عن مساره بزاوية Φ . إما الإلكترون فانه يكتسب جزء من طاقه الفوتونات الساقطة ويزاح عن الذرة مكونا الإلكترون المرتد . وبتطبيق قانون حفظ الطاقة فان طاقة الفوتون الساقط E تساوي

$$E=E_s' - E_e \quad \text{---------- 1}$$

حيث ان

E_s طاقة الفوتون المستطار

E_r طاقة الالكترون المرتد شكل (١-١٧)

عند تطبيق قانون حفظ الزخم في المستوى الافقي والشاقولي .

$$P=P' \cos \Phi + P_e \cos \quad \text{---------- 2}$$

$$0= -P' \sin \Phi + P_e \sin \quad \text{---------- 3}$$

ولأن $P= mv \rightarrow P= 2E/m$ حيث ان P زخم الفوتون

وبحل المعادلات ١ و٢ و ٣ ينتج

$$\lambda - \lambda' = h/m_o c (1-\cos \Phi)$$

جـ- ظاهرة توليد الازواج:

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات كبيرة واكثر من (1.02 MeV) وفي هذه الحالة تمر الفوتونات قرب النواة ويؤثر المجال الكهربائي القوي للنواة على الفوتونات ويختفي الفوتون .وتستخدم طاقته لتوليد زوج الكترون وبوزترون وكل منهما له طاقة مقدارها(0.511MeV) شكل (١- ١٧). لذلك فتكون اقل طاقة لازمة لحصول هذه الظاهرة هي 1.022MeV. يفقد الالكترون طاقتة بالتأين او التهيج. اما البوزوترون فانة يفقد جميع طاقته ويتحد مع احد الالكترونات مولدا زوجين من الفوتونات ذات الطاقة 0.511 MeV .باتجاهين متعاكسين وتسمى هذه الظاهرة بالفناء لذلك فان طاقة زوجي الفوتونات والبالغة 1.022MeV وحدها التي تترسب في موقع التفاعل .

ان المقطع العرضي للتفاعل (احتمالية التفاعل) لتوليد زوج الكترون ــ بوزوترون تتناسب بشكل تقريبي مع $Z^2 + Z$ لذلك فهي مهمة للوسط الماص ذات العدد الذري الكبيرنسبيا ويزداد كذلك المقطع العرضي للتفاعل بشكل قليل بزيادة الطاقة.

د- تفاعل الاستطارة المحورة:

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة جدا واقل من طاقة ربط الالكترون بالذرة ويحصل التفاعل بين الفوتون والذرة بأجمعها ولكبر كتلة الذرة فان الطاقة الممتصة تكون قليلة جدا لذلك ينحرف الفوتون بدون ان تتغير طاقته كثيرا وتكون هذه الظاهرة مهمة في بعض التطبيقات وخاصة في قياسات حيود الاشعة السينية.

هـ- تفاعل الانحلال الفوتوني:

تحصل هذه الظاهرة في الطاقات العالية للفوتونات(اشعة جاما ذات الطاقة العالية) حيث تتفاعل هذه الفونونات مع النواة التي تاسرها وتبعث النيوترونات من النواة، وتتراوح الطاقة الازمة لاحداث هذا التفاعل بين ٢ – ٨ MeV، ما عدا الباريوم الذي تحصل فيه ظاهرة مهمة جدا لتوليد النظائر المشعة في المجالات الطبية.

١ - ١٢ توهين الفوتونات : **attenuation**

عند مرور الفوتونات خلال أي وسط ماص يحصل تفاعل بين الفوتونات والالكترونات او ذرات ذلك الوسط يعتمد هذا التفاعل على طاقة الفوتون ونوع وسمك الوسط الماص. حيث ان الوسط الاكثر سمكا هو الاكثر احتمالا للتفاعل فعند سقوط فوتون شدته ١ (فوتون / سم^2) على سطح ماص سمكه x فأن التفاعل يمتص قسم من الفوتونات ويوهن القسم الاخر . فاذا كانت حزمة الفوتونات الساقطة حزمة ضعيفة ورسمت العلاقة على مقياس شبه لوغارتيمي بين شدة الفوتونات النافذة (I) وسمك الوسط نحصل على خط مستقيم تتناقص فيه الشدة مع سمك الوسط ومعادلة على ذلك الخط هي :

$$(I=Io\, e^{-\mu x})$$

والاشارة السالبة تدل على ان شدة الاشعاع النافذ تقل بزيادة سمك الوسط (ميل الخط المستقيم) ويسمى المقدار(μ) معامل التوهين الخطي للوسط وتقاس بمقلوب وحدات الطول (cm^{-1}) ولكن هذه الوحدة كبيرة لذلك استبدلت بوحدة اخرى تسمى البارن = (10^{-24}) سم .

وقد وجد بان (μ) يزداد بشكل خطي مع كثافة الوسط لذلك استخدم ما يسمى بمعامل التوهين الكتلي (μ /p) والذي يفضل استخدامه لانه يعتمد على الكثافة ويعطي

حسب المعادلة $(I=Io\, e^{-\mu/px})$.

وتكون وحدات (μ /p) سم^2 / غم وهذا المعامل يعتمد على العدد الذري للوسط وعلى طاقة الفوتون الساقط. ان معامل التوهين الكتلي لمزيج من العناصر يمكن الحصول عليه من قيم التوهين الخطي لتلك العناصر وحسب المعادلة التالية $\mu \text{ total} = a_1 \mu_1 + a_2 \mu_2 + a_3 \mu_3$

حيث ان (μ_1 , μ_2 , μ_3) هو معامل التوهين الكتلي للعناصر --١,٢

و (a) هو جزء ذلك العنصر نسبة الى المزيج الكلي فمثلا معامل التوهين للمـــاء يعطـــي بالشكل

التالي (μ_{H2O}) = (1/9 μ_H +8/9 μ_o).

الشكل ١-١٧ الظاهرة الكهروضوئية ظاهرة كومبتون ظاهرة توليد الازواج