الفصل الأول

الفيزياء الاشعاعية

obeikandl.com

1– 1 الذرة (Atoms):

في بداية القرن التاسع عشر قادت البحوث والاكتشافات إلى التوصل إلى حقيقة أن المادة ذات طبيعة ذرية، وذلك بإعلان النظرية الذرية لدالتون.تعد هذه النظرية اللبنة الأساسية في تقدم علم الكيمياء في ذلك الوقت، ومن اهم فرضيات هذه النظرية:

1- يتكون العنصر من دقائق لا يمكن تجزئتها تسمى الذرات.

2- ذرات العنصر الواحد متماثلة في خواصها مثل الحجم والكتلة وتختلف عن ذرات العناصر الأخرى في هذه الخواص.

تم وضع أسس النظرية الذرية والجزيئية عام 1860 في أول مؤتمر عالمي للكيمياء في المانيا وتتضمن ما يلي :

1- تتكون كل المواد من ذرات.

2- ذرات العنصر الواحد متشابهة وتختلف عن ذرات العناصر الأخرى.

3- تنتج الجزئيات من تفاعل الذرات وتكون مركبة من ذرات نفس العنصر أو عناصر مختلفة.

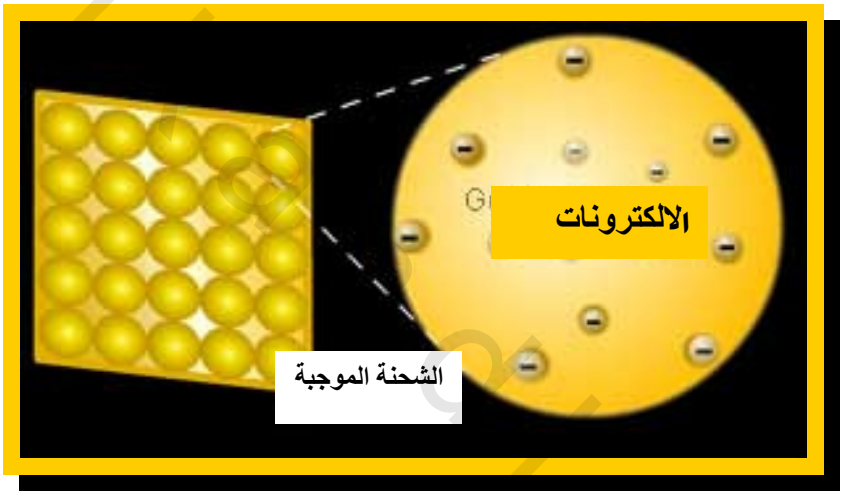
4- تحافظ الجزيئات على بنيتها (تركيبها) بعد التحولات الفيزيائية للمادة أما التحولات الكيميائية فإنها تغير بنيتها ولا تؤثر على طبيعة الذرات. تتكون المادة من ذرات. هذه الذرات بتجمعها تكون الجزيئات molecules مثلاً جزئ الماء الذي نشربه مكون من اتحاد ذرتين هيدروجين مع ذرة اكسجين في وحدة واحدة تسمى جزيء الماء H_2O. عرف الذرة بانها اصغر جزء في المادة ويحمل الخواص الكيميائية لتلك المادة وان اتحاد الذرات يولد الجزيئات والمركبات الكيميائية .في بداية القرن العشرين أصبح من المعروف أن المادة غير قابلة للتجزئة إلى ما لانهاية، بل أنها تتكون من جسيمات مادية قطرها في حدود 10^{-10} متر سميت بالذرات. وجاءت أولى الدلائل على وجود الذرات من دراسة التفاعلات الكيميائية وسلوك الغازات، كما حصل الفيزيائيون على دلائل مباشرة على وجود الذرات باستخدام المجاهر الحديثة ذات القدرة التكبيرية العالية، إلا أن أقوى هذه المجاهر لا تستطيع استكشاف التركيب الداخلي للذرات ولذلك قام العلماء بوضع تصوراتهم لتركيب الذرة الداخلي من خلال التجارب والنتائج المتوفرة لديهم في ذلك الوقت. ووضعت عدة نماذج للذرة هي :

obeikandl.com

1 - نموذج ثومسون للذرة

أول نماذج الذرة هو نموذج العالم ثومسون في عام 1910 م أوضح فيه بأن الذرة عبارة عن كرة ذات شحنة موجبة تحمل في داخلها جسيمات سالبة الشحنة هي الالكترونات شكل (1 – 1)، وأن قصف الذرات بجسيمات ألفا لا يؤدي لانحرافها. وقد استطاع ثومسون اكتشاف الإلكترون وقياس النسبة بين شحنته وكتلته . و لكن هذه النموذج قد فشل لسببين :

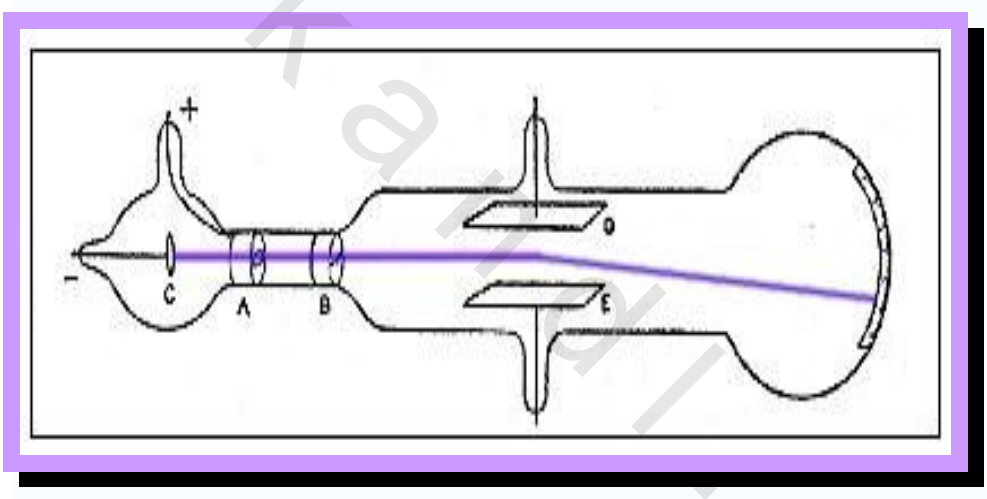
شكل (1 – 1) نموذج ثومسون للذرة



الأول عدم إمكانية وجود الالكترونات في الداخل لقوة لتنافر بينهما. والثاني أن العالم الألماني ليونارد قد لاحظ انبعاث جسيمات بيتا السالبة (الكترونات سريعة) بسرعة كبيرة من داخل الذرة وهذا يدل علي أن الذرة معظمها فراغ. عام ١٨٩٧ استطاع العالم ثومسون من خلال تجاربه على الأشعة الكاثودية إلى اكتشاف الخواص الأساسية للإلكترون ، و قياس النسبة بين شحنة وكتلة الإلكترون حيث قام بتعريض غاز مخلخل لتيار كهربائي فرق جهده حوالي ١٠٠٠٠ فولت تحت ضغط منخفض يتراوح من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٠١ مم/زئبق لتعجيل الأشعة الكاثودية والتي تمر بين صفيحتين متوازيتين تحملان شحنتين مختلفتين فيتولد بينهما مجال كهربائي. فلاحظ انطلاق أشعة من الكاثود إلى الآنود وهي أشعة غير منظورة لكنها تحدث توهج

على جدار أنبوبة التفريغ، و أثبت أن أشعة الكاثود ليست أشعة ولكنها سيل متصل من الجسيمات سالبة الشحنة تتأثر بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي الذي يولده ملفين مغناطيسيين وتنحرف طبقاً لشحنتهما شكل (٢- ١) . إن انحراف جسيمات الأشعة الكاثودية بوجود المجال لكهربائي فقط أو المجال المغناطيسي فقط يدل على أن الجسيمات سالبة الشحنة.في حالة عدم وجود المجال لكهربائي، فان المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات بقوة مغناطيسية مقدارها ($F=qvB$) تجعل الجسيمات تتحرك حركة دائرية. أي أن القوة المغناطيسية تساوي القوة المركزية:

شكل (٢- ١) جهاز ثومسون للكشف عن الإلكترون



$$F_c = F_m$$

$$mv^2/r = qvB$$

$$q/m = v/Br \quad \ldots\ldots \quad 1$$

وعند تساوي المجال المغناطيسي والكهربائي

فان القوة الكهربائية = القوة المغناطيسية

$$qvB = E_q \quad or \quad v = E/B \ldots\ldots\ldots 2$$

وبالتعويض المعادلتين 1 و2 نحصل على:

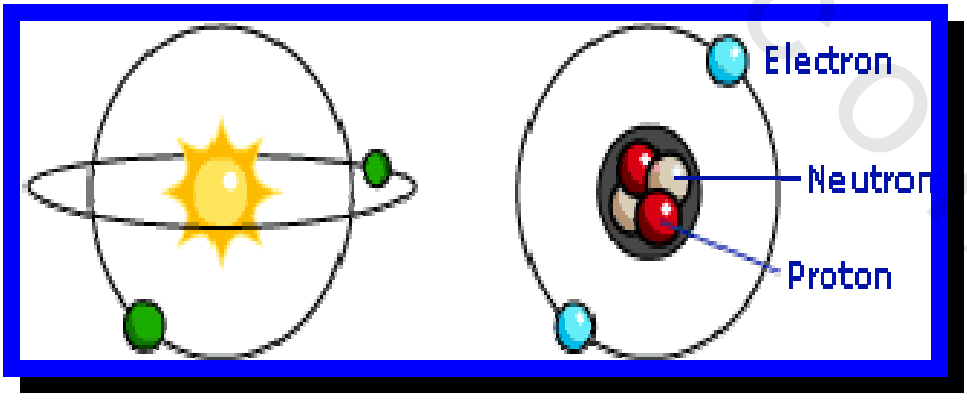
$$e / m = E / B^2 r$$

ومنه اوجد النسبة $e / m =$ كما تمكن من حساب كتلة تلك الجسيمات وسرعتها حصل ثومسون على جائزة نوبل عام 1906 م لاكتشافه للإلكترون.

2- نموذج رذرفورد للذرة

وضع العالم رذرفورد عام 1911 و كان حينئذ في جامعة مانشستر ، فكرة صورة الذرة التي مازالت صحيحة حتى الآن ؛ قصف ذرات الذهب بجسيمات ألفا فلاحظ انحرافها بزوايا كبيرة . مما يدل على أن هناك جسيمات موجبة الشحنة تتمركز في حيز صغير جدا في وسط الذرة سمى بالنواة، وهي جسيم مركزي تتركز فيه كتلة الذرة وشحنتها ، تحاط بغيمة من جسيمات سالبة الشحنة متحركة بسرعة حول النواة علي مسافات كبيرة منها تسمى الالكترونات ؛ هذا النموذج يوضح أن الذرة تشابة المجموعة الشمسية حيث تكون النواة بمثابة الشمس وتكون الالكترونات بمثابة الكواكب التي تدور حولها شكل (1 – 3).وهو اول نموذجا تجريبيا عن الذرة.

شكل(3-1) مكونات الذرة



ولقد فشل نموذج رذرفورد للذرة لسببين:

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 .

3- نموذج بوهر للذرة

اثناء دراسة العالم الدناماركي بوهر في انجلترا وضع نموذجا جديدا للذرة، بعد أن قضي سنة في كامبردج انتقل إلي مانشستر حيث راذرفورد يواصل تجاربه و أبحاثه في سنة (1913) استند بور الى نظرية الكم للعالم ماكس بلانك ولم يطبق القوانين الكلاسيكية التي كانت سائدة حين ذاك و التي ما تزال حتى الآن تطبق علي الأجسام الكبيرة. اقترح بور أن الإلكترون يدور في مدارات ثابت حول النواة وعندما ينتقل من مدار لآخر يشع أو يمتص إشعاع ، كما أنه لا يستمر في إطلاق الإشعاع إلى مالا نهاية كما افترضت النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية .

سمي هذا بنموذج بور والذي ينص:

1- تدور الالكترونات حول النواة بمدارات محددة المواقع تمثل مستويات الطاقة. وان بقاء الالكترون في ذلك المستوي يستوجب امتلاكه طاقة وزخم مناسبين لذلك المستوى. ويمتلك الالكترون اقل طاقة عند وجوده في المستويات القريبة من النواة.

2- ان الذرة لا تشع طاقة بسبب حركة الالكترون في مداره المحدد وتكون الذرة المستقرة عندما يدور الالكترون في اوطأ مستويات الطاقة (1,2,3،....).

3- عندما يكتسب الالكترون كما من الطاقة فانه يقفز عن مستوى استقراره والذي تكون طاقته (E_1) الى مستوى طاقة اعلى (E_2) فتصبح الذرة في حالة متهيجة سرعان ما تعود الى حالة الاستقرار عندما يعود الالكترون الى مستوى استقراره باعثا فوتونا ترددة (υ) وحسب:

$$\upsilon \, h = E_1 - E_1$$

بالنسبة لذرة الهيدروجين فان قفز الإلكترون من مستويات الطاقة العليا إلى مستوى الطاقة الأول يولد طيفا واقعا في المنطقة فوق البنفسجية وتنتج سلسلة لايمان.

اما قفز الالكترون من المستويات العليا الى المستوى الثاني يولد طيفا واقعا في المنطقة المرئية وتمتد حتى المنطقة فوق البنفسجية وتنتج سلسلة بالمر

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}) - - - n = 2,3$$

R حيث أن : ثابت رايدبرج = $1.097x10^7\ m^{-1}$

4- وعند قفز الالكترون من المستويات العليا الى المستوى الثالث يولد طيفا واقعا في المنطقة تحت الحمراء سمي سلسلة باشن.شكل (1 - 4).

$$\frac{1}{\lambda} = R\ (\frac{1}{2^{\ 2}} - \frac{1}{n^{\ 2}}) \quad n = 3,4,...$$

إما معادلة سلسلة باشن فهي

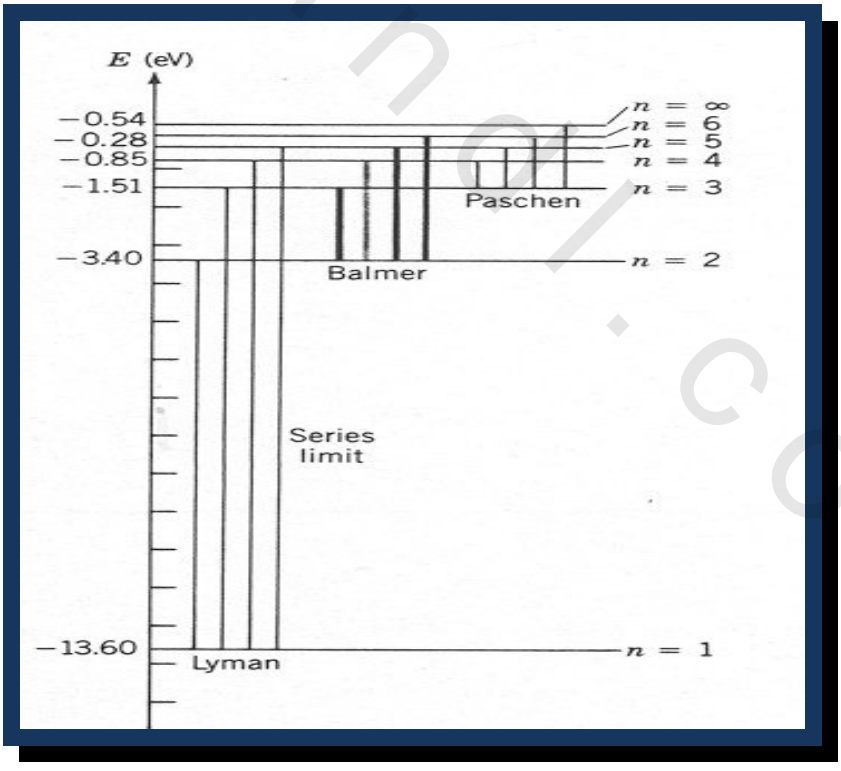
$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}) - - - n = 4,5$$

نجح نموذج بور في تفسير الطيف الخطي للهيدروجين وعناصر اخرى ولكنه لم ينجح في تفسير طيف الذرات التي لها عدد كبير من مستويات الطاقة وطيف المواد جزيئية التركيب. وقد اضاف العالم دي برولي مفاهيم جديدة مكنت من تفسير هذه الاطياف.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 K, L, M، N من الاقرب الى الابعد عن النواة.حيث ان K المدار الاول و L المدار الثاني و هكذا .. وفي معظم الذرات 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 يتحررالالكترون 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 فأنه 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 ليحل 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 من النواة تنتقل الى احد الالكترونات وتقلعه من مداره وتسمى هذه العملية بتأثير اوجي والإلكترون يسمى الكترون اوجي (Auger Electron). وبذلك يحصل تأين مضاعف للذرة .

شكل (1 - 4) سلاسل طيف ذرة لهيدروجين



2-1 النواة

النواة هي الجزء المركزي للذرة والذي تتركز فية كتلة الذرة. نواة الذرة ذات شحنة موجبة لأنها تتكون من جسيمات موجبة الشحنة هي البروتونات وأخرى عديمة الشحنة هي النيوترونات. تعتبر النواة هي كتله الذره وذلك لأن كتله الإلكترونات التي تدور حولها متناهية في الصغر ولذلك فهي تهمل وتصبح كتله الذره كلها في النواة. وكذلك يوجد في النواة الكواركات التي تعد أصغر جزء من المادة والميزون وهو جسيم صغير جدا كتلته تعادل كتلة الإلكترون ولكن له شحنة موجبة وشحنة سالبة ،وينتج من تحول البروتونات إلى نيوترونات وتكون ميزونات موجبة ، وكذلك عند تحول النيوترونات إلى بروتونات وتكون ميزونات سالبة. هناك قوى كبيرة جدا داخل النواة وهي قوى الربط النووية وهي أكبر قوى في العالم ولكن تأثيرها يكون على مسافة صغيرة جدا وهي قطر النواة . وعند حساب كتلة البروتونات وكتلة النيوترونات الموجودة داخل النواة نجد إنها أكبر من كتلة النواة ذاتها وهذا يعزى إلى أن جزء من الكتلة تحول إلى طاقة حسب فرضية تكافؤ الكتلة والطاقة لاينشتاين تساعد في ربط مكونات النواة وهي طاقة الربط النووية.

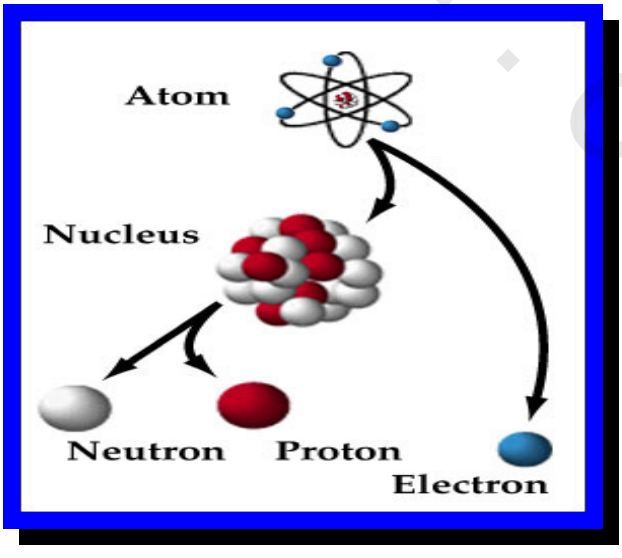
البروتون Proton:

جسيم صغير يتواجد في نوي الذرات تبلغ كتلته (1.67×10^{-24} غم) أي أنه أكبر من الالكترون بحوالي 1839 مرة. يحمل البروتون شحنة كهربائية موجبة مساوية لشحنة الالكترون ، مما يجعل الذرات في حالتها الطبيعية متعادلة كهربائيا. الشحنة الموجبة للنواة تكافئ الشحنة السالبة للإلكترونات مما يجعل الذرة متعادلة كهربائياً. في الذرة المتعادلة، دائماً يكون عدد البروتونات يساوي عدد الإلكترونات ويرمز له بالرمز Z ويسمى العدد الذري. وللبروتونات استخدامات عديدة منها إنتاج بعض العناصر أو بعث بعض الجسيمات النووية مثل النيوترونات من خلال تفاعلها مع بعض العناصر الخفيفة مثل الليثيوم – 7.

النيوترون:

اكتشف العالم تشادويك Chadwick في عام 1932 م النيوترون وذلك عن طريق دراسته لارتداد البروتون في طبقة البارافين (C_6H_{12}) عند قصفها بالإشعاع المتولد من مصدر Po/Be (البولونيوم/بريليوم) أي قصف البريليوم بجسيمات الفا حيث وجد أن هناك انبعاث لدقائق (جسيمات) متعادلة الشحنة ذات طاقة عالية أطلق عليها اسم النيوترونات. هذه الجسيمات ذات سرعة كبيرة تتفاعل مع المادة وتؤينها كسابقتيها αوβ ولكن الاشعاع ليس له قدرة على التأين المباشر لذلك فانها لا تحمل شحنة ما سميت بالنيترونات (المتعادلة) وكتلتها قريبة من كتلة البروتونات.وهي ذات مدى كبير وذلك ناتج عن تعادل شحنتها فلا تفقد طاقتها بشكل سريع كجسيمات الفا α عند التأين، حيث أنها عند تصادمها مع أنوية الذرات يتحرر نيوكلون أو أكثر (بروتونات، نيوترونات أو جسيمات الفا α) وبما أن هذه النيوكلونات مشحونة (ماعدا النيوترونات) فهي تقوم بدورها بإحداث التأين الغير مباشر في المادة خلال مسارها.فالنيترون 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 (1- 5) مكونات النواة.

شكل (1- 5) نوى بعض الذرات المختلفة



من اهم خواص مكونات الذرة:

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

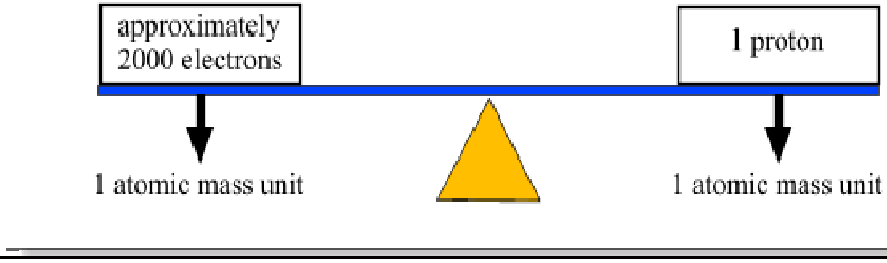
2 - كتلة البروتون تساوي 1836 مرة من كتلة الالكترون $m_p = m_e\ 1836$

جدول (1-1) ومن ذلك نستنتج مايلي :

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

الجدول (1- 1) خواص مكونات الذرة

الجسيم	الرمز	الكتلة – كغم	علاقتها بوحدة الكتل الذرية	شحنة	الكتلة بوحدات كتلة الالكترون
الالكترون	e	9.1×10^{-31}	0.000549	-	1
البروتون	p	1.6726×10^{-27}	1.007276	+	1836.1
النيوترون	n	1.675×10^{-27}	1.008665	صفر	1836.6
وحدة كتلة ذرية	u	1.660565×10^{-27}	1	-	



openkanal.com

2- 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 الذرة في الظروف المعتادة متعادلة من الناحية الكهربائية. البروتونات والنيوترونات تربطهما قوة تسمى القوة النووية وتكونان معاً نواة الذرة في حين الالكترونات تحيط بالنواة وتدور حولها في مدارات محددة تسمى مستويات الطاقة للإلكترون.

الالكترونات والبروتونات تمتلكان شحنة كهربية متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة، بمعنى أن شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة ولكن متساويتين في المقدار، ولهذا السبب تنشا بين البروتون في النواة تجاذب مع الإلكترون حول النواة وتسمى هذه بقوة تجاذب كولوم الكهربائية. وفي اغلب الأحيان يكون عدد البروتونات مساوياً لعدد الإلكترونات، وهذا يجعل الذرة متعادلة كهربياً.

عدد البروتونات في نواة الذرة يطلق عليه اسم (العدد الذري للعنصر Atomic Number) ويرمز له بالرمز Z ويحدد أي عنصر له هذه الذرة.

فمثلاً نواة ذرة الهيدروجين التي تحتوي على بروتون واحد (أي النواة الوحيدة التي لاتحتوي على نيوترونات) ، أو عنصر الاوكسجين الذي يحتوي 8 بروتونات . وكتلة الإلكترونات صغيرة بالمقارنة بكتلة النواة. ويطلق على كل من البروتون والنيوترون في النواة اسم (النيوكليد) عدد النيوترونات والبروتونات فى النويات الصغيرة يكونا تقريبا متساويين، بينما يكون في النويات الثقيلة عدد كبير من النيوترونات. البروتونات والنيوترونات لهما تقريبا نفس الكتلة. فيطلق على مجموعهما اسم (العدد الكتلي للعنصرMass Number ويرمز له بالرمز A والذي يساوى تقريبا الى الكتلة الذرية

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

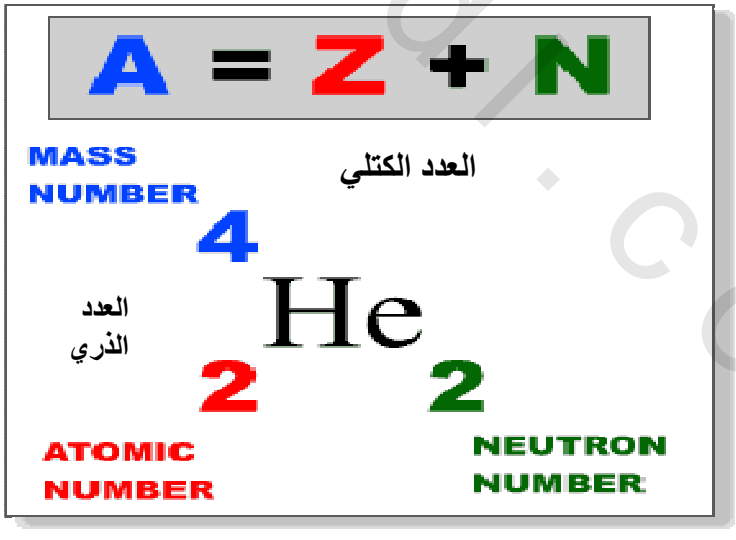
عن تركيب النواة تعبير تام فقد جرت العادة على كتابة العدد الذري اسفل الرمز جهة اليسار .والعدد الكتلي اعلى الرمز بجهة اليسار ايضا .فالرمز $_{1}^{1}H$ مثلا يدل على ذرة الهيدروجين الاعتيادي عدده الذري (1) وعدده الكتلي (1) . والرمز $_{2}^{4}He$ يدل على نواة الهليوم عددها الذري (2) وعدده الكتلي (4) وهكذا .

الشكل (1 – 6).

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 $_{Z}^{A}X_{n}$ 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 هي :

شكل 1 – 6 الرمز الكيميائي للعناصر

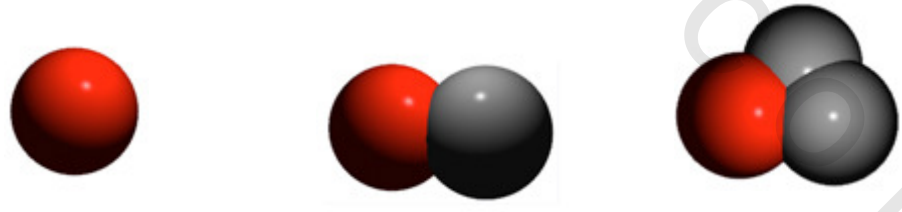


obeikandl.com

النظائر(Isotopes) :

كان الاعتقاد السائد أن كل الذرات في الطبيعة مستقرة حتى عام 1913 حيث وجد العالم الاسكتلندي Soddy في جامعة جلاسكو ان بعض العناصر تحتل نفس الموقع في الجدول الدوري سميت بالنظائر(وكلمة نظير، تعنى نفس المكان، وذلك لأن كل النظائر المختلفة للعنصر تشغل نفس المكان) . ولكن في الحقيقة الكثير من الذرات غير مستقرة فعلى سبيل المثال لو اخذنا ذرة الهيدروجين نجد ان هناك ثلاثة انواع تسمى نظائرالهيدروجين ^{1}H ، ^{2}H ، ^{3}H او نظائر اليورانيوم $^{238}_{92}U$ ، $^{236}_{92}U$ ، $^{235}_{92}U$. لذلك تعرف النظائر بانها العناصر التي لها نفس العدد الذري(Z) ولكنها تختلف في كتلتها الذرية(A) أي تختلف بعدد النيوترونات(N) الموجودة في النواة. شكل (1- 7). وبعض العناصر لها نظيرين أو ثلاثة ، بينما يصل عدد النظائر في عناصر أخرى إلى نحو 30 نظيرا ، 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 (1- 7) نظائرالهيدروجين



Hydrogen Deuterium Tritium

النظائر عموما اما ان تكون مستقرة (غير مشعة) او مشعة ومعظم النظائر الصناعية تكون مشعة فالكلور له نظيران طبيعيان مستقران والهيدروجين له ثلاث نظائر احدهما مستقر. في النواة المتعادلة ، عدد الإلكترونات يساوى عدد البروتونات . وعلى هذا فإن النظائر المختلفة يكون لها نفس عدد الإلكترونات ونفس الشكل الإلكتروني . ونظرا لأن الخواص الكيميائية للذرة تعتمد على التركيب الإلكتروني ، فإن النظائر تقريبا تسلك نفس السلوك الكيميائي . ولكن إلاختلاف في الكتلة ، يؤدي الى ان النظائر الثقيلة تميل لأن تتفاعل بصورة أبطأ من النظائر الأخف لنفس العنصر . تسمى هذه الظاهرة (تاثير حركة النظائر). ولكن تأثير الكتلة النسبي بين النظائر يقل ويكاد ينعدم كلما زاد ثقل العنصر .وبالرغم من أن النظائر لها تقريبا نفس الخواص الإلكترونية والكيميائية ، فإن سلوكها الجزيئي مختلف تماما

الايزوبار (Isobars)

هي العناصر التي لها نفس العدد الكتلي وتختلف في العدد الذري أي تختلف بعدد البروتونات (p) الموجودة في النواة. مثل ${}^{11}_{5}B, {}^{11}_{7}N, {}^{11}_{6}C$.

الايزوتون(Isotones):

العناصر التي تختلف في العدد الكتلي وتختلف في العدد الذري ويكون لها نفس عدد النيوترونات مثل ${}^{14}_{6}C$, ${}^{15}_{7}N$, ${}^{16}_{8}O$.

ويعتبر الالكترون فولت الوحدة المستخدمة لقياس الطاقة في المجالات الذرية والنووية وتبلغ قيمة الالكترون فولت (1.6×10^{-19}) من الجول ، ولهذا فهي وحدة صغيرة جدا وفي كثير من الأحيان تستخدم مضاعفات هذه الوحدة وهي كيلو الكترون فولت (k e V) وتساوي (1000) الكترون فولت ، والميجا الكترون فولت (Me V)

(ويساوي مليون الكترون فولت وبالنظر لتكافؤ الطاقة والكتلة حسب نظرية اينشتين فان وحدة كتلة ذرة واحدة تعادل (931) ميجا الكترون فولط.

1 - 3 الاستقرار النووي (Nuclear Stability):

من أجل أن تكون الذرة مستقرة، لا بد أن يكون في نواتها نسبة معينة بين عدد النترونات إلى عدد البروتونات (منحني الاستقرار). وفي حالة عدم تحقق هذا الشرط، تكون الذرة غير مستقرة وتسعى إلى حالة الاستقرار عبر إصدار بعض أو كل الطاقة الإشعاعية الفائضة.

عند رسم الخط البياني بين عدد البروتونات كدالة لعدد النيوترونات نحصل على خط مستقيم . تقع على الخط المتصل العناصر المستقرة الشكل (1- 8) وتتصف هذه النوى بما يلي :

1 - النوى في أسفل الخط المستقيم تمثّل النوى الخفيفة المستقرة وفيها عدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات.

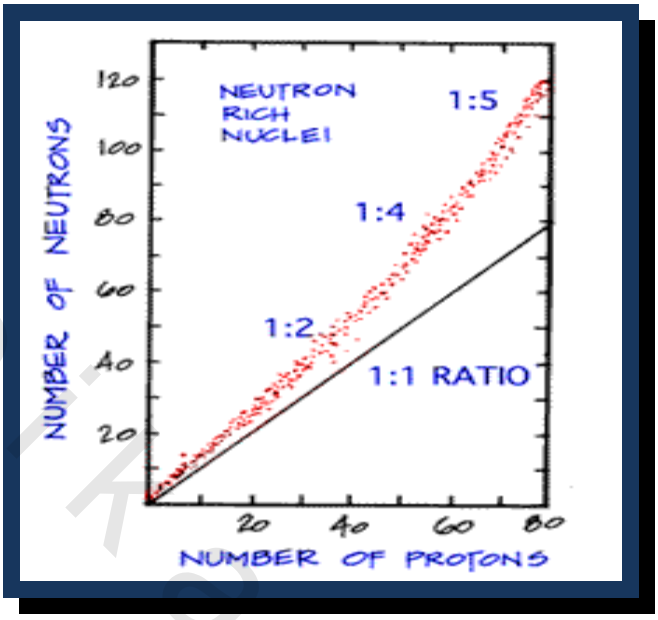
2 - في النوى الثقيلة يكون عدد النيوترونات اعلى من عدد البروتونات بنسبة 50٪

3- أكثر النوى استقراراً هي الأنوية التي تحوي أعداداً زوجية من البروتونات والنيوترونات وذلك بسبب أن كل بروتونين ونيوترونين يكونان مجموعة مستقرة.

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 .فإذا كان ($N \approx Z$) فان النوى تكون مستقرة وتقع على خط الاستقرارية . أما العناصر الثقيلة فان عدد البروتونات لا يساوى عدد النيوترونات ($N \approx 1.5\ Z$) فان العناصر لا تقع على هذا الخط فان وقعت أعلى الخط (إلى جهة اليسار) فان عدد النيوترونات أكثر من عدد البروتونات لذلك يتحول النيوترون إلى بروتون وإلكترون . أما الأنوية غير المستقرة فتقع على جهتي الخط المتصل .

obeikandi.com

شكل (1 - 8) عدد البروتونات كدالة لعدد النيوترونات



وتلجأ هذه الأنوية للاستقرار إما بإطلاق جسيمات ألفا (α) أو جسيمات بيتا (β) أو إطلاق إشعاعات جاما وهذا ما يسمى بالنشاط الإشعاعي للعناصر . تحتوي النواة على البروتونات و النيترونات داخل حجم صغير جدا فتكون متقاربة ويفترض ان تحصل قوة تنافر بين البروتونات حسب قانون كولوم وتتهشم النواة ولكن ذلك لا يحصل لوجود قوة نووية تربط مكونات النواة مع بعضها .هذه القوى ناتجة عن الفرق بين كتل مكونات النواة المحسوبة والمقاسة عمليا .

فمثلا نواة ذرة الهليوم تحتوي على بروتونين و نيترونين.أي ان الكتلة الكلية للنواة =

$$2 \times 1.007276 + 2 \times 1.008665 + 1.00783 = 4.03298 \text{ amu}$$

التجارب العملية برهنت ان كتلة نواة الهليوم اقل من ذلك وتساوي (4.00260 amu). ولان 1 amu = 931.5 MeV أي ان الفرق في الكتلة والذي مقدارة (0.00055) سوف يتحول الى طاقة حسب معادلة انشتاين لتكافئء الكتلة والطاقة التالية:

$$E=mc^2$$

$$E=931.5 \times mc^2 \ MeV$$

$$E=931.5 \times 0.00055 \times (3\times10^8)^2$$

$$= 28 \ MeV$$

هذة الطاقة تصرف لربط النيوكليونات الاربع مع بعضها وتسمى بطاقة الربط النووية وهي على نوعين :

1 . قوى نووية هائلة: هذة القوى تكسب ازواج النيوكليونات تماسكاً داخل النواة ولا يظهر تأثيرها إلا على مسافات قصيرة جدا وتحصل مابين البروتونات مع بعضها من جهة ومع النيترونات من جهة أخرى. القوة النووية هى قوة التجاذب المؤثرة بين أي زوج من النيوكليونات بغض النظر عن شحنة النيوكليونات

٢ – قوة تنافر كولوم :في حال وجود عدد قليل من البروتونات في النواة فإن تأثير قوى التنافر الكولومية على متانة النواة يكون معدوماً وعلى العكس من القوى النووية فإن القوى الكهروستاتيكية تؤثر على مسافات بعيدة . فإذا كانت القوى النووية تتناقص حسب الاس السادس للمسافة فإن قوى التنافر الكولومية الكهروستاتيكية تتناقص بازدياد مربع المسافة، وبلاضافة لذلك فإن هذه القوى الكهربائية الساكنة لاتصل حد الإشباع أي أن كل بروتون يؤثر ويتأثر بكل بروتونات النواة في النوى الثقيلة (حيث توجد كمية كبيرة من البروتونات) تتقارب قيمة قوى التنافر الكولومية الكهروستاتيكية وقيمة قوى الترابط النووي وهذا ما يضعف متانة النواة ، ولكن إذا زاد عدد البروتونات (العدد الذري) عن 115 فإن قوى التنافر الكولومية الكهروستاتيكية سوف تتغلب على قوى الربط النووية وسوف تنهار هذه النواة عندها ولذلك فإن نوى مثل هذه الذرات تكون غير مستقرة على الإطلاق ولايمكن أن تتواجد في الطبيعة وهذا يدل على أن تأثير القوى الكهربائية على متانة النواة يضع حداً

نهائياً لعدد العناصر الكيميائية في الطبيعة أو حتى تلك التي يمكن انتاجها بواسطة التفاعلات النووية. بعد اكتشاف مكونات النواة وهي النيوترونات والبروتونات ، لاحظ العلماء أن القوة التي تربط هذه الجسيمات قوة هائلة لا يمكن تفسيرها بالقوانين المعروفة مثل قانون الجاذبية لنيوتن (قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب تناسبا طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما) و قانون كولوم بين الشحنات الكهربائية.من اجل تفسير القوة التي تجعل الإلكترون يدور في مداره حول النواة نطبق القانونين اعلاه ، فعندما نستعمل قانون الجاذبية ، تكون محصلة القوة ضعيفة للغاية لا تستطيع أن تحفظ الإلكترون في مساره ، وعندما نستعمل قانون كولوم في أن الأجسام ذات الشحنات الكهربائية المتماثلة يجب ان تتنافر والمختلفة تتجاذب فان الالكترونات لايمكن ان تبقى في مدارها. ولغرض تفسير الطاقة النووية التي تمسك النيوترونات والبروتونات نبدأ بقانون الجاذبية لنيوتن ولان كتلة مكونات النواة صغيرة جدا فان محصلة القوى ستكون قيلة جدا وتدل على أن الجاذبية لا تفسر هذه القوة. وإذا استخدمنا قانون كولوم في الكهربائية كمفسر لقوة الترابط ، لوجدنا أنها ليست مقبولة أبداً لأننا إذا أخذنا مثلاً ذرة الهيليوم المكونة من نيوترونين عديمي الشحنة وبروتونين موجبي الشحنة ، نجد أن قوة كولوم لو كانت هي القوة الوحيدة المتحكمة في النواة فسوف يتنافر البروتونان حسب هذه القوة ويندفعان الى خارج النواة ، مما دل على أن هناك قوة جديدة أكبر من قوة تنافر كولوم تجعل البروتونات متماسكة في المديات الصغيرة والتي سميت فيما بعد بالقوة النووية القوية .هذه القوة لها خصائص مختلفة عن باقي القوى ، فهي قوة تجاذب عند المدى 2 فيرمي تقريبا وبعدها تختفي هذه القوة ، وعندما يقترب الجسم تزيد القوة النووية لجذبه ، ولكن إذا وصلت المسافة بين النيوكلونين لأقل من 0.5 فيرمي فإن قوى الجذب تتحول إلى قوى تنافر فجأة ، وذلك لتجنب الأندماج ، كما أن هذه القوة لا علاقة لها بقوة كولوم حيث أن التجاذب بين النيوترونات يساوي التجاذب بين البروتونات . أن القوة النووية غير متساوية في كل الأنوية ، مع أن جميع الأنوية تحتوي على نفس البروتونات والنيوترونات إلا أن هناك مؤثرات تؤثر على القوة النووية في أنوية العناصر ، فمعدل القوة النووية (0.0 eV)عند الهيدروجين ذو

النيوكلون الواحد و 2.5 MeV عند نواة الهيلوم ذو البروتونين والنيترون ، ويقفز المعدل إلى (7MeV)عند الهيليوم ذوالبروتونين والنيوترونين ثم يستمر المعدل في الإرتفاع تدريجياً كلما تقدمنا في ترتيب العناصر حتى يصل إلى عنصر الحديد (8.8MeV) ثم يعود بالإنخفاض تدريجياً إلى (7.3MeV) في آخر الجدول الدوري، وهكذا يكون معدل معظم العناصر مابين(7 - 8.8 MeV)، لذلك فان نواة الحديد هي أقوى الأنوية من ناحية طاقة الإرتباط شكل (1-9). ان عدم تساوي طاقة الربط النووية في جميع العناصر ، وذلك بسبب مؤثرات منها ما يزيد في طاقة الإرتباط النووي ومنها ماينقص منه ،من اهم هذه المؤثرات:

- مؤثر النيوكليونات، يكون هذا المؤثر فعالا كلما زاد عدد النيوكلونات فتزداد القوة النووية حتى نصل إلى ذرة الحديد ، وبعدها تتغلب عليه المؤثرات الأخرى.

2 - مؤثر مساحة السطح : عندما يكون النيوكلون في سطح النواة فإنه يتبادل القوى مع جهة واحدة فقط ، لذلك تقل الطاقة الرابطة بسبب هذا الموقع ، وكلما زادت مساحة السطح كلما قلت الطاقة الرابطة بسبب هذا المؤثر.

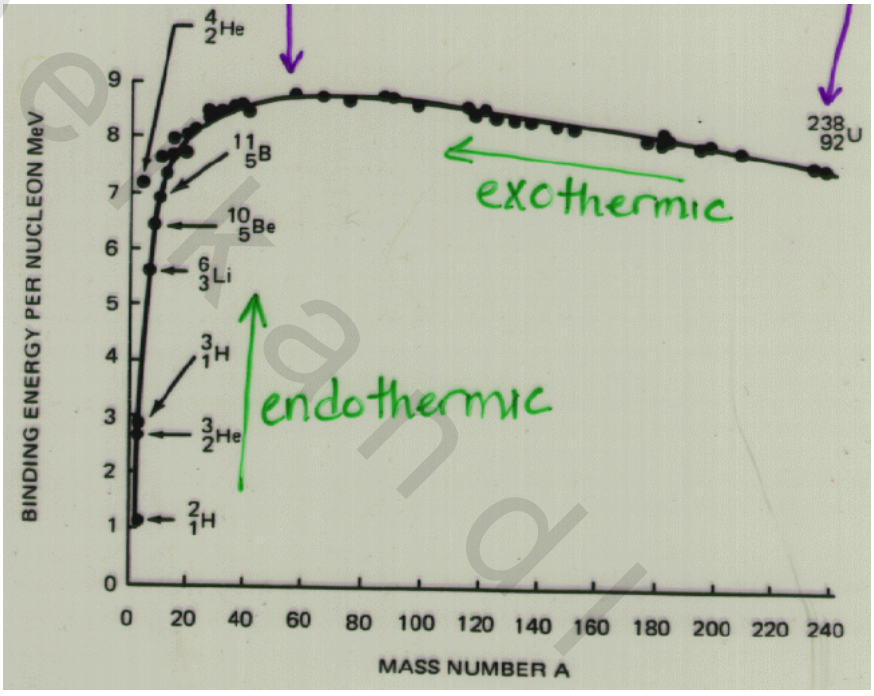
3 - مؤثر كولوم : قانون كولوم له دور في تحديد طاقة النواة ، حيث أن أي بروتون في النواة يتنافر مع جميع بروتونات الذرة ، فكلما زاد عدد البروتونات قلت طاقة الإرتباط.

4 - مؤثر التماثل: أثبتت التجارب أن النواة تميل إلى تساوي عدد النيوترونات مع عدد البروتونات ، وكلما زاد الفرق بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات ، تقل الطاقة الرابطة ، وهذا المؤثر يكون غالباً في الأنوية الخفيفة التي عددها الذري اقل من ٤٠ أما الأنوية الثقيلة فان عدد النيوترونات فيها هي الأكثرية.

5- مؤثر التزاوج :الأنوية التي تحتوي على اعداد زوجية من البروتونات و النيوترونات تكون أكثر استقراراً ، ويليها الأنوية التي عدد نيوتروناتها فردي وعدد

بروتوناتها زوجي أو العكس ، اما الأنوية التي عدد بروتوناتها وعدد نيوتروناتها فرديين ، فهي اقل استقرارا (وهي خمسة عناصر فقط في الطبيعة). وكلما كان عدد النيوترونات أو البروتونات مقارباً من أحد الأعداد السحرية فإن طاقة الرابط النووية تزيد.

شكل (1- 9) العدد الكتلي كدالة لمتوسط طاقة الربط النووية

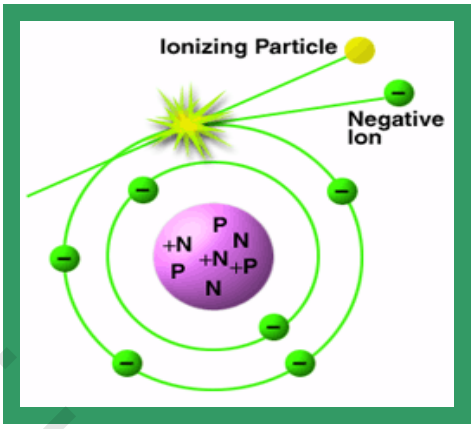


الإشعاعات المؤينة وأنواعها :

يعرف الإشعاع بأنه عملية انتقال الطاقة من المصدر إلى المادة بشكل دقائق او بشكل موجات وعندما تكون لهذه الإشعاعات القابلية على تأين ذرات المادة وذلك بفقدانها أو اكتسابها لإلكترون أو اكثر فتسمى هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة. يقسم الإشعاع في الطبيعة إلى نوعين الأول إشعاعات غير مؤينة (Non-Ionizing) (Radiation) وهي الاشعاعات التي ليس لها القدرة على تحويل جزيئات المادة إلى ايونات، فبعضها على شكل إشعاع حراري أو ضوئي من مختلف الأطوال الموجية الذي

يصدر عن الشمس أو اللهب وهذه تمثل المصادر الطبيعية للإشعاع او الإشعاعات الكهرومغناطيسية ومنها موجات الراديو والتليفزيون وموجات الرادار والموجات الحرارية ذات الأطوال الموجية القصيرة (ميكروويف) والموجات دون الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والضوء العادي. والثاني الإشعاع المؤين (Ionizing Radiation) ذات الأطوال الموجية القصيرة والطاقة العالية والتي لها القدرة على تغيير خواص ذرات المادة عن طريق تحويلها إلى الحالة الأيونية . الإشعاعات المؤينة ، هي إشعاعات ذات طاقة عالية تعمل على تأيين الوسط الذي تمر فيه بسبب سقوط الإشعاع بذرات الوسط وتفاعله معها مما يؤدي إلى قلع بعض الالكترونات من مداراتها حول نوى الذرات والجزئيات مؤدياً ذلك إلى تأينها أي جعلها غير متعادلة كهربائياً وتكوّن الايونات في الوسط الشكل (1- 10). ويشمل الإشعاع المؤين الجسيمات الأولية مثل الالكترونات والنيوترونات والبروتونات وجسيمات ألفا . وهناك أنواع تتميز بطاقتها العالية وهي الأشعة السينية وأشعة جاما . الإشعاع المؤين يؤدي إلى تأين الوسط الذي تمر فيه مثل الغازات والسوائل والمواد الصلبة ، وأجسام الكائنات الحية. ولهذا فالإشعاعات المؤينة ضارة بالصحة إذا تعدت كميتها حدودا معينة.. يتعرض كل ما هو موجود على سطح الأرض باستمرار لتأثير الإشعاعات المؤينة، التي يكون مصادرها طبيعيا، كالأشعة الكونية و المواد المشعة الطبيعية الموجودة في باطن الأرض ، أو المصادر الصناعية كالإشعاعات الصادرة عن أجهزة التصوير الإشعاعي الطبي والصناعي والعناصر المشعة المستخدمة في الطب النووي. وتقسم الاشعاعات المؤينة الى ثلاثة اقسام رئيسية هي الفوتونات (الاشعة السينية واشعة جاما) والجسيمات المشحونة (جسيمات الفا وجيسمات بيتا) والجسيمات غيرالمشحونة (النيوترونات):

شكل (1- 10) تأين الذرات



1 - 4 الفوتونات:

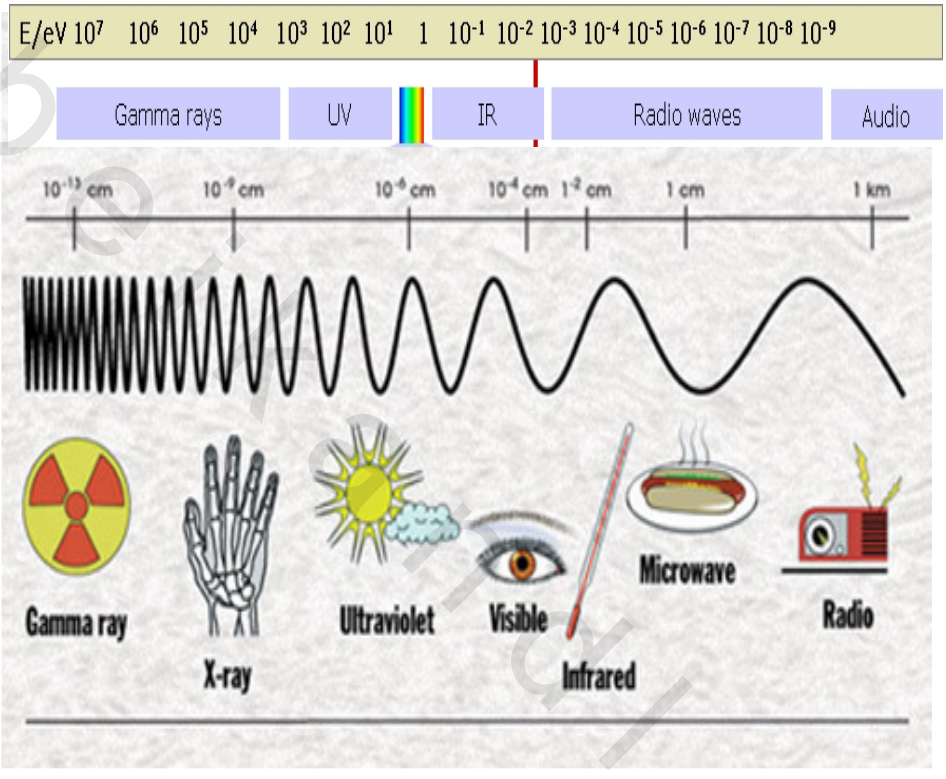
وهي اشعاعات كهرومغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين الاول كهربائي والثاني مغناطيسي ينتشران بصورة عمودية على خط انتشار الموجة وتتحرك جميع الفوتونات بسرعة واحدة تساوي سرعة الضوء في الفراغ (3×10^{8} متر/ثا).وهذه الاشعاعات بعضها غير مؤين مثل الاشعاعات الراديوية والضوئية شكل (1 – 7) وبعضها مؤين وذلك لطاقته العالية وطول موجه القصير ومن اهم الفوتونات المؤينة الاشعة السينية واشعة جاما وهي اشعاعات تؤين الجسم بصورة غير مباشرة.

أ- الأشعة السينية (X-Ray):

موجات كهرومغناطيسية ترددها يفوق تردد الأشعة فوق البنفسجية وأطوالها الموجية قصيرة. تم اكتشافها في تشرين الثاني عام 1895 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 (1) متر عن الأنبوب وسبب الضوء الباهت هو فلورة (fluorescence) سيانيد البوتاسيوم .

1 – 11مكونات الطيف الكهرومغناطيسي :



و درس سبب هذا التألق وتوصل إلى 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 و الانود لها قابلية على اختراق الزجاج و فلورة بعض المواد وعندما وضع في طريق هذه الأشعة عدة مواد فلاحظ أن شدة الفلورة تختلف باختلاف نوع المادة وكانت دهشة كبيرة عندما لاحظ صورة عظام يد زوجته على الشاشة مما جعله يسميها الأشعة السينية (X - Ray) أي الأشعة المجهولة.

ب- أشعة جاما (Gamma Ray):

وهي موجات كهرومغناطيسية تنبعث من نوى الذرات غير المستقرة وطاقتها عالية جدا وتعود الذرة المتأينة إلى حالة الاستقرار عندما تبعث الطاقة الفائضة على شكل أشعة جاما. شكل (1 – 8) من أهم خواص أشعة جاما:

1 - موجات كهرومغناطيسية قصيرة طول الموجة (حوالي10^{-8} - 10^{-11} سم) أو اقل

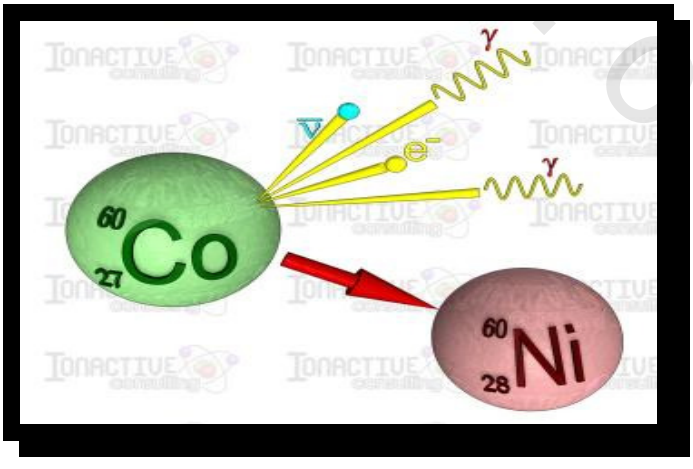
2- لا تؤثر على الخصائص الفيزيائية أو الكيماوية للعنصر الذي تنطلق منه لأنها ليست دقائق مادية .

3- لا تنحرف في المجالين الكهربائي والمغناطيسي ولا تحدث تأيناً مباشرا

4 - سرعتها تساوي سرعة الضوء

5- طيف طاقة أشعة جاما لا يكون مستمرا كطيف الأشعة السينية بل هو أحادي الطاقة او إعداد من طاقات منفردة متميزة ومن أهم المصادر الباعثة لأشعة جاما هو Cs^{137} و Co^{60} وتسمى النواة المتهيجة ذات العمر الطويل نسبيا بالنوى شبة المستقرة مثل Tc^{99m}.

شكل (1 - 8) الانحلال بأشعة جاما



openkandil.com

1 – 5 - 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 (1- 9).

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.

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

كما في حالة البولونيوم. 210

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

حيث ان Q الطاقة الناتجة عن الانحلال .

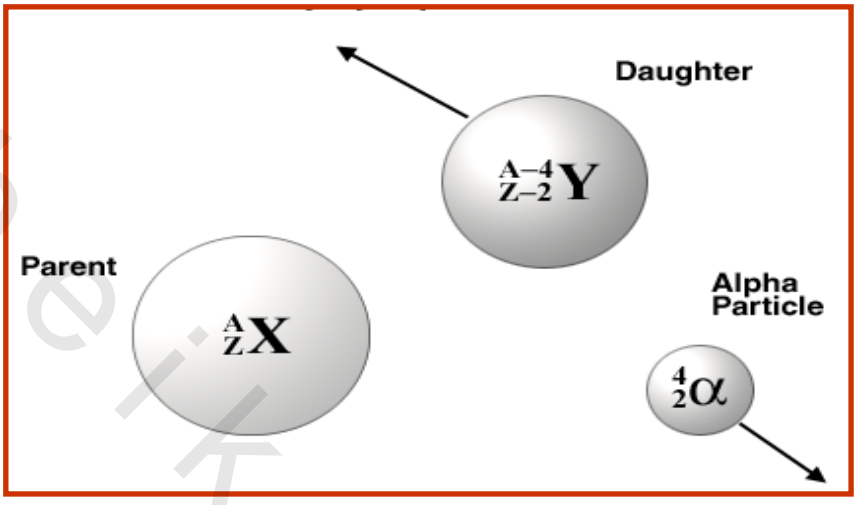
ففي هذا المثال فان النسبة بين النيوترونات الى البروتونات في (Po^{210}) تساوي (84 / 126) وتساوي (1/1.5) وبعد انحلالها تنبعث جسيمات الفا و يتولد الرصاص المستقر (Pb^{206}) والذي تكون نسبة النيوترونات الى البروتونات (1/1.5) .

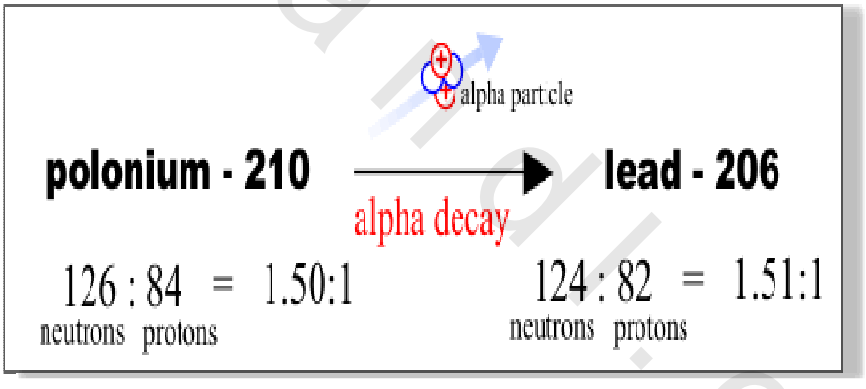
أن الطاقة الناتجة عن الانحلال بجسيمات إلفا ناتجة عن النقص الكلي في الكتلة نتيجة لتولد جسيمات إلفا أي أن :

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

حيث ان M_x , M_y , M_α , M_e هي كتل الام ، البنت ، جسيمات α، وكتلة الإلكترون على التوالي

شكل(1- 9) الاتحلال بجسيمات α و التي تتكون من نيوترونين و بروتونين





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 $Q = 0,0058 \times 931 = 5,4\ MeV$

أن 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):

عبارة عن الكترونات معجلة بطاقة كبيرة جدا تبعث من داخل النواة لبعض العناصر المشعة. شحنة هذه الجسيمات تساوي (1.6×10^{-19}) كولوم ،وكتلته قليلة تساوي (0.00055) 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 الام إلى نواة البنت التي تمتلك شحنة تزيد عن شحنة الأم بواحد.

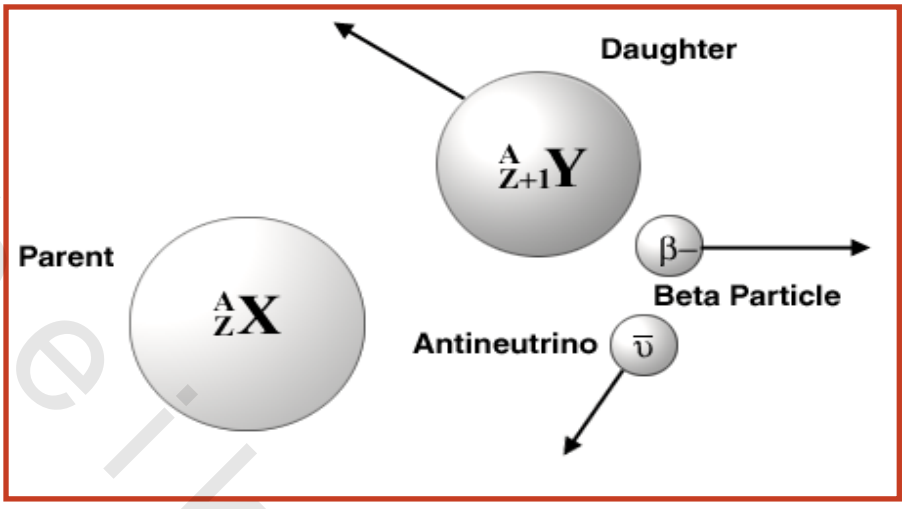
$$_ZX^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + \beta^- + \upsilon$$

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

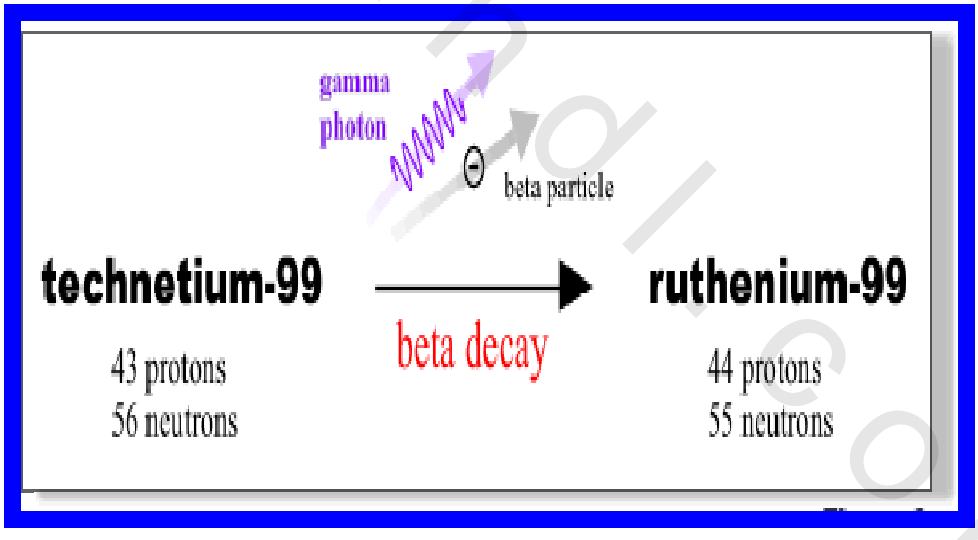
وفي المثال السابق فان طاقة الانحلال الناتجة عن جسيمات β للفسفور المشع تساوي $1.71\ MeV$.ولكن معظم جسيمات بيتا طاقتها اقل من ذلك حيث ان معدل الطاقة يبلغ $0.7\ MeV$ والذي يمثل 41% من الطاقة العظمى لجسيمات بيتا وبشكل عام فان معدل طاقة جسيمات بيتا لمعظم النظائر الباعثة لهذه الجسيمات يتراوح بين (30% .40%) من الطاقة العظمى .كذلك تحلل الكربون المشع حيث تنبعث جسيمات بيتا والنيوترينو من النواة ويتولد النيتروجين شكل (1 - 10).

كذلك يتحلل التكنيشيوم المشع حيث تنبعث جسيمات بيتا وأشعة جاما من النواة ويتولد الرثينيوم شكل (1 - 11).

شكل (1 - 10) الانحلال بجسيمات (β)



شكل (1 – 11) الانحلال بجسيمات (β) نتيجة انحلال التكنيشيوم المشع



طاقة جسيمات (β) تشكل طيف مستمر يبدأ بطاقة الصفر حتى المقدار الأعظم للطاقة. انحلال جسيمات (β) لا يتفق مع قانون حفظ الطاقة والزخم ولأجل الحفاظ على قانون حفظ الطاقة افترض وجود جسيمات تصاحب انبعاث جسيمات بيتا تسمى

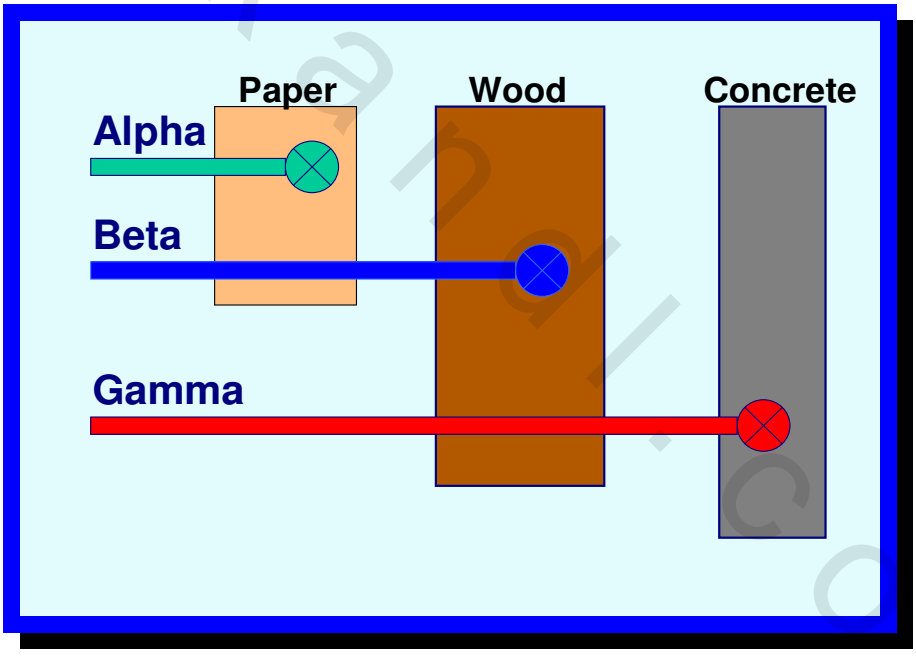
obeikandl.com

بالنيوترينيو(υ)، والذي طاقته تساوي الفرق بين الطاقة الحركية لجسيمات بيتا والطاقة العظمى لتوزيع طيف الطاقة للنواة الام . 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 (1 - 12) .

شكل 1-12 اختراق الإشعاعات المؤينة المختلفة للجسم



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 أشعه 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 – 6 - ألجسيمات غير المشحونة:

وهي النيوترونات، حيث اكتشف العالم شادوك عام 1932 هذه الجسيمات، عندما كان يقصف هدف من البريليوم بجسيمات الفا 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

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

حيث أن n هو النيوترون والذي يبلغ عدده الكتلي 1، والنيوترونات تنبعث عادة من النواة وتملك طاقة عالية جدا تسمى بالنيوترونات السريعة وعند مرورها في المواد الخفيفة (التي تحتوي على كمية من الهيدروجين) فإنها تتهدأ مولدة نيوترونات ذات طاقة قليلة (0.025eV) تسمى النيوترونات الحرارية وهذه النيترونات خطرة على الجسم البشري لقدرتها على تنشيط المواد أي تحويلها من مواد مستقرة إلى مواد مشعة.

من أهم خواص النيوترون :

1- دقائق مادية ثقيلة نسبياً كتلتها 1.0089 وحدة كتل ذرية أو 1.67×10^{-27} كغم.

2 - ليس لها شحنة كهربائية

3 - لا تنحرف في المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

4 - مصدره من النواة وقد تنتج من اتحاد بروتون مع إلكترون.

5 - أقوى على الاختراق من الدقائق المشحونة إلفا وبيتا والبروتونات.

6 - لا تحدث تأينا مباشرا في المادة عند مرورها فيها ولذلك يصعب رصدها إلا باستخدام أسلوب غير مباشر كأن يسمح لها بالتفاعل مع بعض المواد لإنتاج أشعة مؤبنة مثل الفا والبروتونات:

1 – 7 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 لا تنشأ في عمليلت الانحلال الاعتيادية ، لذلك لا يمكن الحصول على مصدر طبيعي يبعث النيوترونات ولكن توجد مصادر صناعية لتوليد النيوترونات من أهمها:

1- 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 يجب أن لا تقل طاقتها عن 3.7 MeV لبدء التفاعل . ومن النظائر التي تؤدي الغرض هي البلوتونيوم- 210 الراديوم- 226، الامريشبوم 241 و البلوتونيوم 239. في هذا النوع من المصادر تمزج كمية معينة من النظير المشع مع البر ليوم المستقر ونتيجة لقصف جسيمات ألفا للبريلوم تنبعث النيوترونات.

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

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 يكون كبيرا. تستخدم هذه المصادر بشكل واسع في معظم التطبيقات النووية.

جدول(1 - 2)

2- 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- 252 هو من العناصر ما بعد اليورانيوم له عمر نصف مقدارة 2.65 سنة وهو العنصر رقم 98 في الجدول الدوري. ويتم انتاجه صناعيا في المفاعلات النووية . ويتحلل بالانشطار انحلالا واحد لكل 31 انحلال لجسيمات الفا .

الانشطار الحاصل بالنواة يكون مصحوبا بانبعاث عدد قليل من النيوترونات والذي يختلف لكل انشطار . عدد النيوترونات المنبعثة يساوي 0.136 نيوترون لكل ثانية لكل ذرة ، حسب التفاعل التالي

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

أي انه بالامكان الحصول على فيض نيوتروني مقدارة 2.3×10^{6} نيوترون لكل ثانية لكل مايكرو جرام من المادة، لذلك يتكون المصدر النيوتروني من بضع مايكرو جرامات في حاوية مدرعة.

جدول(1- 2) المصادر النيوترونية للنظائر المشعة

المصدر	عمر النصف	المردود النيتوتروني المحسوب لكل 10^{2} من جسيمات الفا الاولية MeV	طاقة جسيمات الفا	النسبة المئوية المحسوبة للمردودعندما تكون طاقة الفا اكبر من 1.5 MeV
$^{239}Pu\backslash Be$	2400 سنة	5.14	65	11
$^{210}Po\backslash Be$	138 سنة	5.30	73	13
$^{241}Am\backslash Be$	433 سنة	5.48	82	14
$^{244}Cm\backslash Be$	18 سنة	5.79	100	18
$^{242}Cm\backslash Be$	163 سنة	6.10	118	22

3- 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 لانبعاث النيوترونات منه.اهم الاهداف المستخدمة هي الديتريوم ، والبريليوم حسب التفاعل التالي:

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

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

اهم مزايا هذه المصادر ان النيوترونات المنبعثة منها تكون احادية الطاقة اذا كانت اشعة جاما الساقطة على الهدف احادية الطاقة ايضا اما مساوئها فهو الخلفية الاشعاعية العالية. جدول(1 - 3).

جدول (1 - 3) النظائر الباعثة لاشعةجاما المستخدمة في المصادر النيوترونية

بواعث اشعة جاما	عمر النصف	طاقة اشعة جاما MeV	اشعة جاما لكل تحلل	الهدف	معدل طاقة النيوترون MeV
^{24}Na	15 ساعة	2.757	1.00	Be	969
^{76}As	26.7 ساعة	1.77	0.2	Be	93
^{88}Y	104 يوم	1.853	0.995	Be	166
^{116}La	40.2 ساعة	2.51	0.04	Be	747
^{124}Sb	60 يوم	1.961	0.5	Be	23

4- المولد النيوتروني:

المصادر النيوترونية المهمة والتي تولد نيوترونات سريعة طاقتها 14 MeV تتولد نتيجة لقصف هدف من التريتيوم بسيل من نوى الديتيريوم التي تصل طاقتها إلى 150 keV وتندمج النواتان مكونتين نواة الهليوم وتنبعث النيوترونات السريعة شكل (13-1).

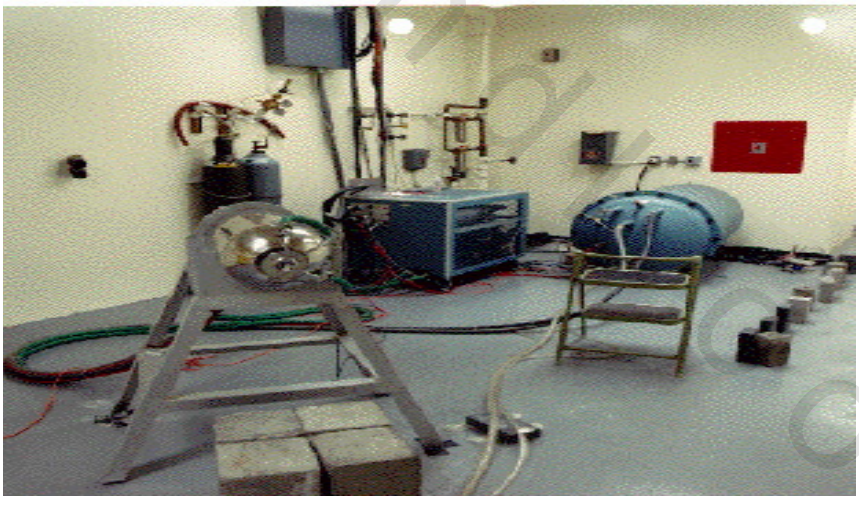
$$^{2}H + ^{3}H \longrightarrow ^{4}He + ^{1}n$$

تتميز هذه المصادر بكلفتها الواطئة نسبيا مقارنة مع كلفة المفاعلات.

5- المفاعلات النووية:

وهو من أهم المصادر النيوترونية وتتولد النيوترونات نتيجة انشطار اليورانيوم 235 حيث ان عدد النيوترونات المتولدة نتيجة لكل انشطار تساوي حوالي 2.5 نيوترون.

شكل (13-1) المولد النيوتروني.

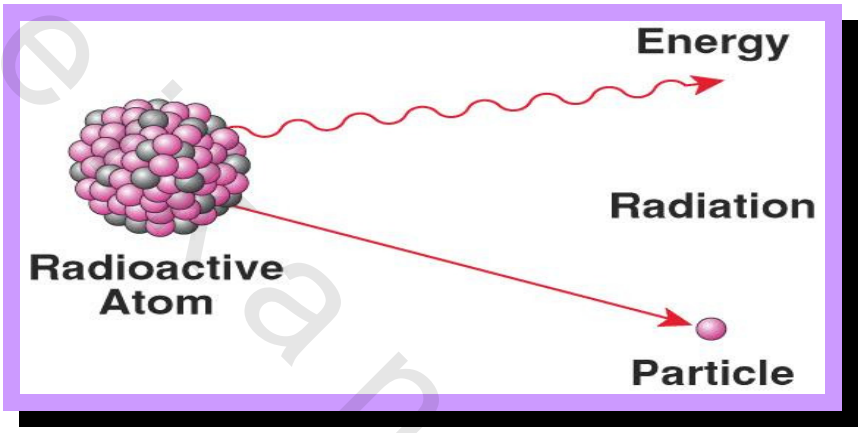


وعملية التفاعل تكون مستمرة في حالة تشغيل المفاعل وهذه العملية تولد طاقة مقدارها 200 MeV لكل انشطار.

1 – 8 الانحلال الإشعاعي (Radioactive Decay) :

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 الطاقة التي يحملها الاشعاع شكل(1-14) عملية التحول هذة تسمى بالتحلل او الاضمحلال (decay) .

شكل(1-14) مبدا الانحلال الاشعاعي



يصاحب عملية التحول انبعاث جسيمات الفا وبيتا واشعة جاما يعرف النشاط الإشعاعي بانه 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 هذه 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 شحنة مماثلة للإلكترون. تصدر هذه الجسيمات عادة بطاقة أقل من طاقة الجسيمات ألفا، لكن لديها القدرة على الاختراق لمسافة أكبر، و هي ذات خطر خارجي و داخلي. أما اشعة جاما التي ترافق انبعاث 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 (1-4) مدى هذه الاشعاعات في كل من الهواء و الخلايا الحية.

الجدول (1 - 4) مدى الإشعاعات المؤينة،

نوع الإشعاع	المدى في الهواء	المدى في الخلايا
جسيمات ألفا	3 سم	0.04 ملم
جسيمات بيتا	حتى 10 م	0.5 ملم
اشعاع جاما	حتى 100 م	كامل الجسم

والانحلال الإشعاعي عبارة عن علاقة اسية تعتمد على عمر النصف ($T_{1/2}$ Half life) 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 .أما عند الرسم بمقياس اعتيادي نحصل على علاقة اسية ، والمقدار الذي يصبح فيه النشاط الإشعاعي نصف قيمته الأصلية هو عمر النصف للنظير شكل(1-15).

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

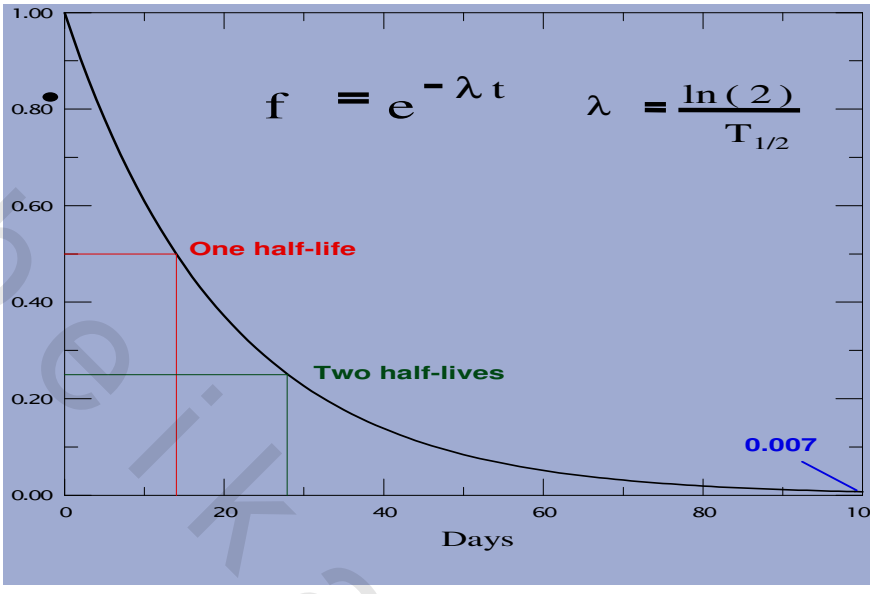
أي أن الصيغة الرياضية التي تحكم الانحلال الإشعاعي هي :

$$A = A_o e^{-\lambda t}$$

(A_o) العدد الأصلي للذرات المشعة التي تحتوي النموذج

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

شكل (1-15) العلاقة بين النشاط الإشعاعي و الزمن



λ ثابت الانحلال الإشعاعي لكي يصبح عدد الذرات (A) بعد زمن مقداره (t) نصف عدد الذرات الأصلية (A_o)

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

$$\text{Log } 2 = \lambda t_{1/2} \qquad t_{1/2} = \log 2 / \lambda$$

$$t_{1/2} = 0.693 / \lambda$$

وحدة النشاط الإشعاعي القديمة هي الكوري وقد عرف الكوري بأنه النشاط الإشعاعي وعدد الانحلالات في الغرام الواحد من ^{226}Ra ولكن هذا التعريف تغير بعد عدة سنوات من وضعه وتم تعريفه بأنه عدد من الانحلالات مقداره ($3.7x10^{10}$) انحلال / ثانية.

اما الوحدة الحالية في النظام العالمي للنشاط الإشعاعي فهي البيكرل

(1 Ci = 37 GBq).

إن 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.

obeikandl.com

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 = λN

وخلال زمن dt فان العدد الكلي للانحلال = $\lambda N dt$

مجموع أعمار النصف لجميع الذرات والتي يتحلل خلال الزمن t إلى t+dt

= ½ $\lambda N\ dt\ t$.

فإذا كان $\frac{dN}{dt}$ متوسط ما ينحل من النوى نسبة إلى الزمن (النشاط الإشعاعي)

$$- \frac{dN}{dt} \alpha N$$

الإشارة السالبة تدل على أن معدل الانحلال يتناقص مع الزمن

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

حيث أن λ ثابت الانحلال الإشعاعي ويقاس بمقلوب الزمن ثانية$^{-1}$ وهو نسبة ما ينحل من المادة في الثانية الواحدة وهو كمية ثابتة للنظير الواحد .

وبإجراء التكامل للمعادلة السابقة

$$\int_{N0}^{N} \frac{dN}{N} = \int_{o}^{t} -\lambda dt$$

$$\ln[N]_{N0}^{N} = -\lambda dt$$

$$\ln(N) - \ln(N_o) = -\lambda t$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

obeikandl.com

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ضمن تعريف معدل العمر τ يمكن كتابته بالصورة التالية:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt$$

حيث أن عدد الذرات المشعة No عند الزمن $t=0$

اي ان :

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$$

وبأخذ تكامل المعادلة فان:

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

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

العلاقة بين النشاط الإشعاعي للمادة وكتلتها وتقاس بالبكرل/كغم أو البكرل/م^3 تسمى النشاط الإشعاعي النوعي (Specific activity) ويمكن حساب النشاط الإشعاعي النوعي كما يلي:

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

N= العدد الكتلي/ عدد افوكادرو = $\frac{A}{6.0 x 10^{23}}$

لذلك فان النشاط الإشعاعي لوحدة الكتلة (النشاط الإشعاعي النوعي S_A) هو النشاط الإشعاعي النوعي

obeikandi.com

$$S_A = N\lambda = \frac{\lambda A}{6.03\,x10^{23}}$$ بكرل/غم.

يتم الانحلال الإشعاعي نتيجة لتحول العناصر المتهيجة إلى عناصر مستقرة وذلك بانبعاث جسيمات ألفا وجسيمات بيتا وأشعة جاما من نواة العنصر المشع . ويمتاز العنصر المشع بما يلي:

1 - يكون مشعاً في جميع حالاته (صلبة – سائلة – غازية)

2 - نواة العنصر المشع لا تصدر جسيمات ألفا وجسيمات بيتا معاً ، ولكن قد تصدر ألفا أو بيتا ، وقد يصاحب كلاً منهما انطلاق إشعاعات جاما.

3 - معدّل النشاط الإشعاعي لعينة مشعة لا يتأثر بالظروف الخارجية من ضغط أو درجة حرارة ولكنه يتوقف فقط على نسبة العنصر المشع في العينة.

4 - انبعاث جسيم بيتا أو جسيم ألفا من نواة العنصر المشع يحولّها إلى نواة عنصر آخر.

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

قد يولد التحول التلقائي عناصر جديدة بدون جسيمات الفا وكل هذا التحلل قد يكون ولا يكون مصحوبا بأشعة جاما. إن خاصية النشاط الإشعاعي تتعلق بخواص نوى العناصر فقط وليس لها علاقة بالوضع الكيميائي أو الفيزيائي للنظير المشع. لذلك فان التحول الإشعاعي يعتمد على عاملين الأول 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 .من أهم أنواع الانحلال الإشعاعي:

أ. الانحلال بانبعاث جسيمات بيتا السالبة Beta-minus decay

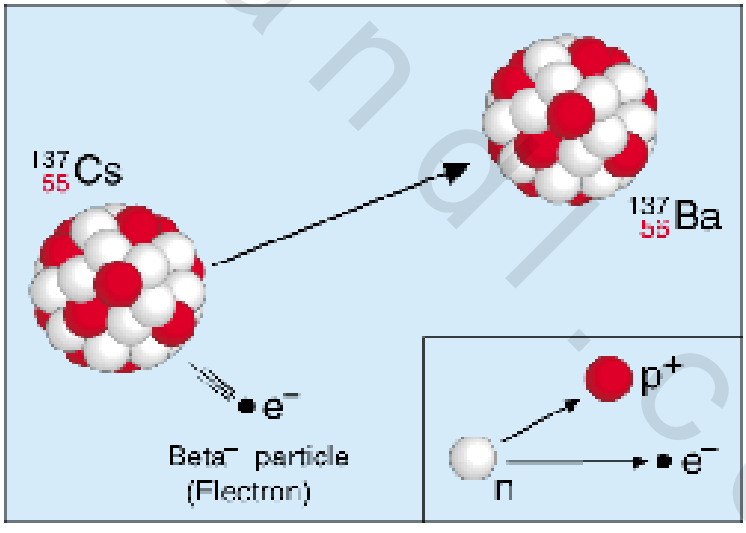
النويات الغنية بالنيوترونات تميل إلى الانحلال وانبعاث الإلكترون جنبا إلى جنب مع الانتي نيوترينو antineutrino. نتيجة لذلك ، احد النيوترونات في النواة تتحول إلى بروتون. على سبيل المثال اضمحلال Cs-137 إلى Ba-137.

كما في شكل (1 - 16).

ب. 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.

شكل (1- 16) الانحلال بانبعاث جسيمات بيتا السالبة



البوزوترون له نفس شحنة الإلكترون ولكنه موجب الشحنة ونفس كتلة الإلكترون، وعندما تبعث الام البوزوترون فان البنت المتولدة سيقل عددها الذري بمقدار واحد ويبقى عددها الكتلي بدون تغير.

obeikandi.com

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

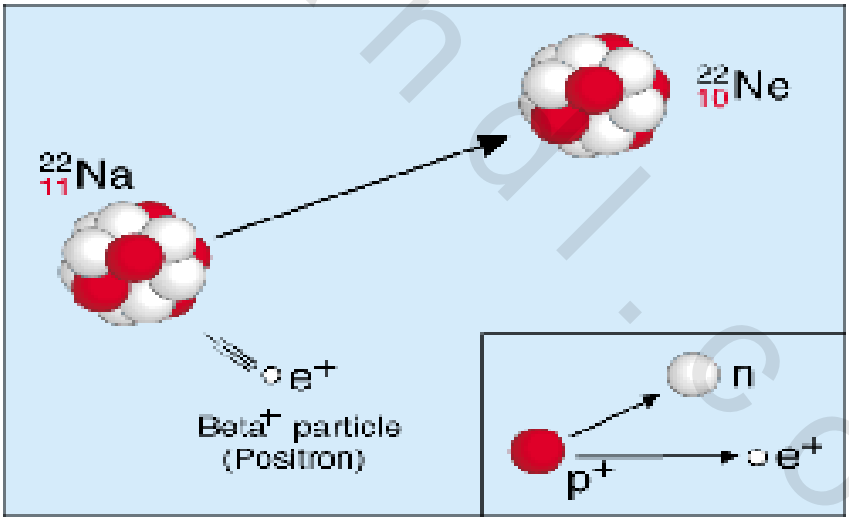
وبعد انبعاث البوزوترون فانه يفقد طاقته نتيجة لتصادمه مع ذرات المواد المحيطة به في زمن قصير جدا ثم يتحد مع احد الالكترونات الذرية ويفني كلاهما متحولا إلى طاقة لأشعة جاما طاقتهما تساوي مكافئ كتلتة كل من البوزترون والإلكترون 0.511MeV ولان العدد اقل بمقدار واحد فان البنت يجب أن تفقد احد الكتروناتها المدارية بعد التحول النووي . لذلك تتحول المعادلة السابقة .

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

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 شكل (1 - 17)

شكل (1 - 17) الانحلال بانبعاث البوزوترون



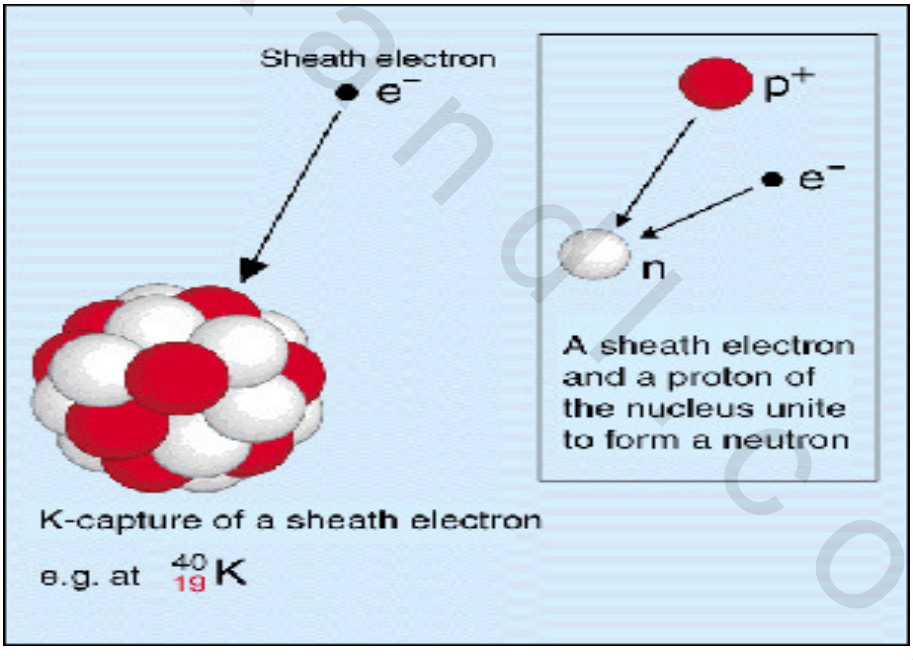
$$M(Ne^{22}) \rightarrow M(Na^{22}) - 2Me + Q$$
$$\rightarrow 22.0014 - 2 \times 0.00055 - 0.549 + 1.27/931$$
$$\rightarrow 21.998 \text{ amu}$$

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.

ت. الانحلال بأسر الإلكترون (ELECTRON CAPTURE)

إن النظائر المشعة التي يكون فيها عدد البروتونات اكبر من عدد النيوترونات (نقصان في عدد النيوترونات) يتحول فيها البروتون إلى نيوترون وبوزترون ولكي يحصل هذا التحول فان كتلة الام يجب ان يزيد عن كتلة البنت بمقدار كتلة إلكترونين شكل (1- 18) وإذا لم تتوفر مثل هذه الحالة فان النقصان في عدد النيوترونات يمكن التغلب عليه بعملية تسمى الأسر الالكتروني أو الاسر في الطبقة

شكل (1- 18) الانحلال بأسر الإلكترون **Orbital Electron Capture**



(K) . ففي هذا التحول الإشعاعي فان أحد إلكترونات المدار(K) يؤسر من قبل النواة ويتحد مع أحد 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 أوجي .

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.

إن الأشعة السينية المميزة المنبعثة من البنت أو أن 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 :

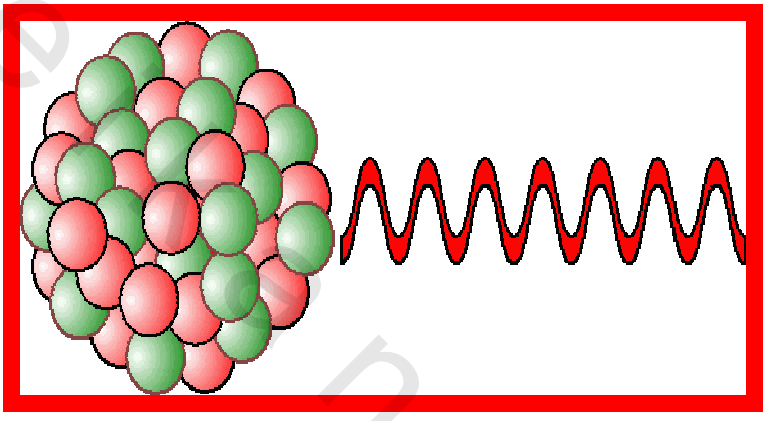
أشعة جاما عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي ينبعث من نوى العناصر المشعة طبيعيا او صناعيا للوصول الى حالة الاستقرار، ويكون تردد هذه الموجات كبيرا وطولها الموجي قصير، لذلك فان طيف أشعة جاما يستخدم لمعرفة النظائر المختلفة، وتمتاز هذه الأشعة بقدرتها العالية على الاختراق وهي لا تتأثر بالمجال الكهربائي أو المغناطيسي، الانحلال بواسطة البوزترون يكون مصحوبة بانبعاث أشعة جاما. شكل (19-1)

ث. الانحلال بالتحول الداخلي:

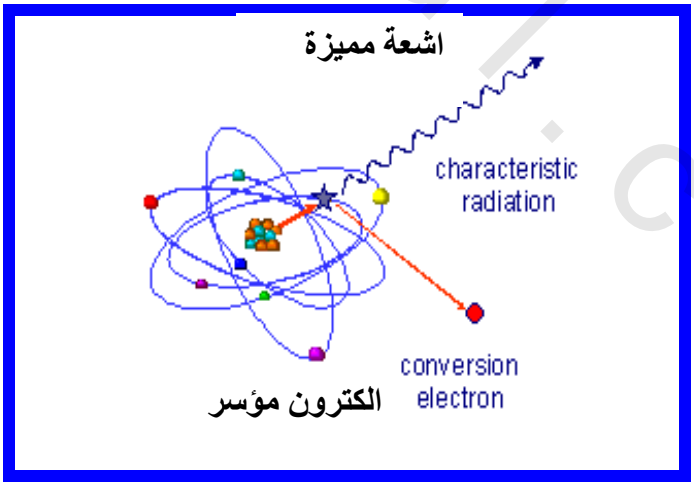
احد الطرق التي بواسطتها تفقد النوى المتهيجة طاقتها للوصول الى حالة الاستقرار. في هذا الانحلال يمتص احد الالكترونات الداخلية للذرة (في المدار K) طاقة تهيج

النواة ويغادر الذرة . طاقة الإلكترون المتحرر تساوي الفرق بين طاقة فوتونات أشعة جاما المنبعثة من النواة المتهيجة وطاقة ارتباط الإلكترون المتحرر بالذرة. يعتبر التحول الداخلي بأنه ظاهرة كهروضوئية داخلية حيث ان فوتونات أشعة جاما تتفاعل مع الالكترونات المرتبطة بقوة بالذرة وتعطيها جميع طاقتها لكي يتحرر الإلكترون شكل (1-20) .

شكل (1 - 19) الانحلال يبعث أشعة جاما Gamma Ray Emission



شكل (1-20) الانحلال بالتحول الداخلي



التحول الداخلي مشابه للانحلال بواسطة جسيمات بيتا حيث أن كليهما يؤدي إلى انبعاث الالكترونات ولكن الفرق الأساسي بين العمليتين هو:

1ـ في حالة الانحلال بواسطة جسيمات بيتا فان الالكترونات تبعث من النواة إما في حالة التحول الداخلي فان الإلكترون المتحول يبعث من المدارات الخارجية.

2 . 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 الام والحصول على نويدات مشعة باعثة لأشعة جاما فقط.

انواع أخرى من الانحلال Other decay processes

هناك عمليات عديدة من الانحلال والتي اكتشفت حديثا وهي :

أ- الانحلال بالبروتون Proton decay:

في فيزياء الجسيمات ، فان انحلال البروتون هو حالة افتراضية للاضمحلال الإشعاعي الذي يتحلل فيه البروتون إلى جزيئات ثانوية أخف ، عادة ما يكون عنصر البيون المحايد والبوزيترون. لا توجد حاليا أي أدلة على أن حدوث انحلال البروتون.

في النموذج القياسي ، البروتونات ، وهو نوع من البايرون baryon يكون مستقرا من الناحية النظرية لأن عدد البايرون محفوظ. ولذلك فان البروتون لا ينحل إلى جسيمات أخرى من تلقاء نفسه .

بعض النماذج التي تختلف عن النموذج القياسي مثل النظريات الموحدة العملاقة Grand Unified Theories(GUTs) التي تفترض كسر الإعداد البيرونية المتماثلة ، والتي تسمح للبروتونات بالاضمحلال عبر بوزونات اكس (X bosons) الجديدة. حتى الآن جميع المحاولات الرامية إلى مراقبة انحلال البروتون قد فشلت.هذا الانحلال قليل الحدوث ومن امثلته

$$^{53m}Co^{27} = {}^{52}Fe^{26} + p \quad (1.5\%)$$

$$^{53m}Co^{27} = {}^{53}Fe^{26} + e^{+} + \nu \quad (98.5\%)$$

openkandil.com

ب - الانشطار التلقائي Spontaneous fission

من خواص النوى الثقيلة جدا الانشطار النووي التلقائي (من دون إثارة خارجية) ومعظمها تتداخل مع أنواع أخرى من الاضمحلال. عمر النصف للانشطار التلقائي في حالة اليورانيوم - 238 يساوي $8x10^{15}$ سنة ، أي أن نواة واحدة لكل غرام واحد نواة اليورانيوم - 238 يتحول عن طريق الانشطار التلقائي في حوالي 2.5 دقيقة. -Cf 254 و Fm-256 ينحلان بالانشطار التلقائي وهو الانشطار الذي يطغي على انحلال الفا وفيه تنقسم النوى الى قسمين وتبعث بعض النيوترونات . ولكن بعض النوى مثل $^{254}Fm^{100}$, $^{256}Fm^{100}$, $^{258}Fm^{100}$, ^{208}Po, ^{231}Th, ^{238}U, ^{235}U و ^{254}Cf ^{98}, يمكنها ان تنشطر تلقائيا. ولكن انحلال الفا هو السائد لهذه النوى. الانشطار التلقائي هو شكل من أشكال الانحلال الإشعاعي وصفة مميزة للنظائر المشعة الثقيلة جدا. ومن الممكن نظريا لأية نواة ذرية والتي تكون كتلتها أكبر من أو يساوي 100 وحدة الكتلة الذرية ، أي العناصر قرب الروثينيوم ان تنشطر تلقائيا. كذلك يكون الانشطار التلقائي ممكننا للعناصر التي يكون عددها الكتلي اكبر من 230 (قرب عنصرالثوريوم). أي أن العناصر الأكثر عرضة لعمليات الانشطار التلقائي ، هي عناصر الأكتينات ، مثل المنديليفيوم والورانسيوم ، وعناصر ما بعد- الأكتينات ، مثل الرذرفورديوم . الانشطار التلقائي لعناصر اليورانيوم والثوريوم لم يحدث ، وعادة ما يتم إهمالها إلا عند تحديد نسبة التفرع branching ratios وتحديد نسب النشاط الإشعاعي لعينة تحتوي على هذه العناصر.

والعلاقة الرياضية التقريبية لحدوث الانشطار التلقائي ، هي :

$$Z^2/A \geq 45.$$

حيث Z هو العدد الذري وA هو العدد الكتلي.

الانشطار التلقائي ، يعطي نفس النتيجة الناجمة عن الانشطار النووي. ومع ذلك ، مثلها مثل غيرها من أشكال الاضمحلال الإشعاعي ، فإنه يحدث بسبب النفق الكمي

(Quantum tunneling)، بدون قصف الذرة بالنيوترونات أو جسيمات أخرى كما في حالة الانشطار النووي. الانشطار التلقائي يبعث النيوترونات كما في يحصل في جميع عمليات الانشطار وعند الوصول إلى الكتلة الحرجة فان الانشطار التلقائي يمكن أن يولد تفاعل متسلسل. النظائر المشعة التي تنحل بالانشطار التلقائي يمكن استخدامها كمصادر نيوترونية كما في حالة الكاليفورنيوم - 252 (نصف العمر 2.645 سنة). وهذه المصادر النيوترونية يمكن أن تستخدم لفحص الأمتعة لشركات الطيران للكشف عن المتفجرات المخبأة ،او لقياس نسبة الرطوبة في التربة في تشييد الطرق والبناء والصناعات ، لقياس الرطوبة من المواد المخزونة في الصوامع ، وغيرها من التطبيقات.

obeikandl.com