الفصل التاسع 9

الفيزياء النووية

Nuclear physics

مفردات الفصل:

1-9 مقدمة.

2-9 تركيب النواة وخصائصها.

3-9 طاقة الربط (الارتباط) النووية.

4-9 الانحلال الاشعاعي.

1-4-9 انحلال الفا.

2-4-9 انحلال بيتا.

3-4-9 انحلال كاما.

5-9 التفاعلات النووية.

6-9 الانشطار النووي.

7-9 الاندماج النووي.

8-9 مخاطر وفوائد الاشعاع النووي.

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

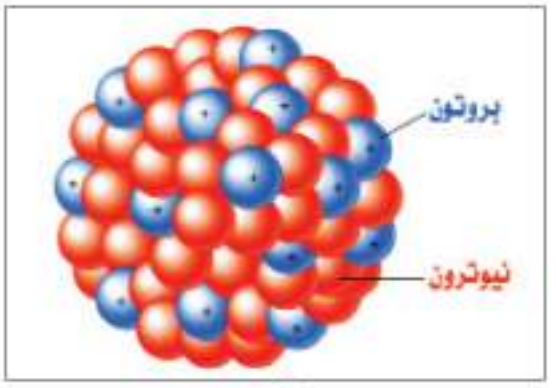
- يذكر الخصائص الرئيسة للنواة.
- يذكر بعض خصائص القوة النووية.
- يعرف مفهوم طاقة الربط النووية.
- يعلل انحلال بعض النوى تلقائيا بانحلال الفا.
- يعرف الطرائق التي تنحل بها بعض النوى تلقائيا بانحلال بيتا.
- يعلل انحلال بعض النوى تلقائيا بانحلال كاما.
- يتعرف على طاقة التفاعل النووي.
- يدرك أهمية تفاعل النيوترونات مع النواة.
- يوضح المفهوم بالانشطار النووي.
- يوضح المفهوم بالاندماج النووي.
- يذكر فوائد الاشعاع النووي.
- يحدد مخاطر الاشعاع النووي.
- يحل مسائل رياضية متنوعة.

المصطلحات العلمية	
atomic number	العدد الذري
antineutrino	مضاد النيوترينو
antielectron	مضاد الالكترون
daughter nucleus	النواة الوليدة (البنت)
chain reaction	التفاعل المتسلسل
radius of nucleus	نصف قطر النواة
endoergic reaction	التفاعل الماص للطاقة
exoergic reaction	التفاعل المحرر للطاقة
size of nucleus	حجم النواة
mass of nucleus	كتلة النواة
neutron number	عدد النيوترونات
average binding energy per nucleon	معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون
nuclear force	القوة النووية
mass defect	النقص (الفرق) الكتلي
(proton-proton) cycle	دورة (بروتون – بروتون)
parent nucleus	النواة الأم
nuclear reaction energy	طاقة التفاعل النووي
neutrino	النيوترينو
mass number	العدد الكتلي
positron	البوزترون
natural background radiation	الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي

قد تتسائل عزيزي الطالب، لماذا ندرس موضوع الفيزياء النووية؟ وما أهمية هذا الفرع الحيوي من فروع الفيزياء في حياتنا نحن البشر؟ وربما قد تتسائل ايضاً عن الطاقة المتوفرة في هذا الجزء الصغير جداً من الذرة والذي يسمى بالنواة، لاحظ الشكل (1)، والذي تبين لنا فيما بعد بأنها مخزناً واسعاً للطاقة فقد استثمرت هذه الطاقة النووية الهائلة للاغراض السلمية (كما في تحويل الطاقة النووية الى طاقة كهربائية)، لاحظ الشكل (2)، أو لأغراض غير سلمية (كما في انتاج الاسلحة النووية)، لاحظ الشكل (3). والحديث عن الطاقة النووية قد يثير ايضاً العديد من التساؤلات الاخرى، وللإجابة على هذه الاسئلة وغيرها فإنه يتطلب الرجوع الى الكيفية التي نشأت فيها الفيزياء النووية.

يعد العام (1896) لدى معظم علماء الفيزياء والباحثين على انه العام الذي بدأ معه ميلاد الفيزياء النووية فقد اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل النشاط الاشعاعي الطبيعي في مركبات اليورانيوم، وبعد ذلك في عام (1911) اقترح العالم رذرفورد النموذج النووي للذرة فقد افترض ان الشحنات الموجبة تتركز في حيز صغير جداً موجود في مركز الذرة اطلق عليه اسم نواة، لاحظ الشكل (4).

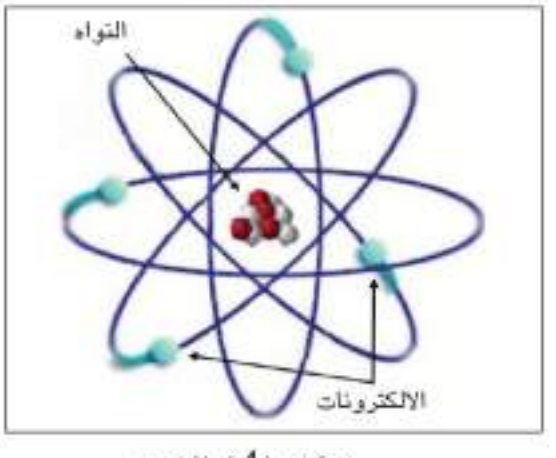
ومن ثم توالت الاكتشافات والانجازات العلمية التي حدثت لاحقاً والتي أدت بالنتيجة الى فتح آفاق جديدة وعديدة ليس أمام الفيزياء النووية فقط بل أمام الكثير من التخصصات العلمية والحياتية منها الطبية والصناعية والزراعية وغيرها الكثير. وسنقوم في هذا الفصل بدراسة بعض الملامح الاساسية للنواة، فضلاً عن أننا سنقوم بالتعرف على عدد من التطبيقات الخاصة بها.



شكل (1) نواة الذرة

شكل (2) مفاعل نووي لانتاج الطاقة الكهربائية

شكل (3)



شكل (4) الذرة

2 - 9 تركيب النواة وخصائصها

Structure and properties of the nucleus:

حاول كثير من العلماء معرفة مكونات النواة، وقد مر عليك ذلك سابقاً، فقد علمت ان النواة تتكون من جسيمات البروتونات الموجبة الشحنة وجسيمات النيوترونات المتعادلة الشحنة (شحنة النيوترون تساوي صفراً) إذ يطلق على البروتون أو النيوترون بالنيوكليون (أو بالنوية)، أي إن النواة تتكون من النيوكليونات. ويرمز للبروتون بالرمز ($_1^1H$) أو (p) وفي بعـض الاحيان ($_1^1p$)، ويرمز للنيوترون بالرمز ($_0^1n$)او(n). وكما علمت أيضاً أن عدد البروتونات في النواة يسمى العدد الذري(Z)ويكتب عادة يسار رمز العنصر (أو رمز النواة) من الأسفل، وأن عدد النيوترونات في النواة يسمى بالعدد النيوتروني (N)، أما مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة فيسمى العدد الكتلي (A) (وفي بعض الاحيان يسمى بعدد الكتلة) ويعطى على وفق العلاقة الآتية:

$$A = Z + N$$

كما ويكتب العدد الكتلي (A) عادة يسار رمز النواة (X) الى أعلى وعلى الشكل الآتي:

$$_Z^AX$$

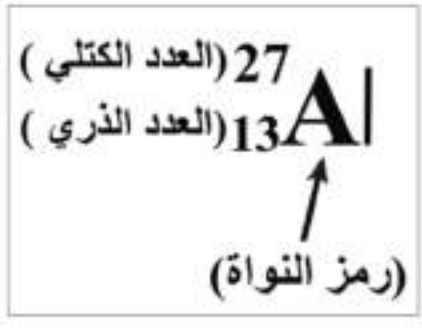
وكمثال توضيحي فإن نواة الالمنيوم التي عددها الذري يساوي (Z=13) وعددها الكتلي يساوي (A=27) فانه يرمز لها بالرمز ($_{13}^{27}Al$) لاحظ الشكل (5).

إذ إن الرمز (Al) يمثل رمز نواة الالمنيوم. وبتطبيق العلاقة (A=Z +N) فإننا نجد ان عدد نيوترونات نواة الالمنيوم (N) يساوي (14) نيوتروناً.

كما أنك قد تعرفت سابقاً أيضاً على المقصود بنظائر العنصر والتي هي نوى متساوية في العدد الذري وتختلف في عدد النيوترونات (او العدد الكتلي)، ومثال على ذلك فإن $\left(_3^6Li, _3^7Li, _3^8Li\right)$ يمثلون ثلاثة نظائر لليثيوم، لاحظ شكل (6). فماذا عن كتلة النواة؟ تشكل كتلة النواة نحو (99.9%) من كتلة الذرة. فكيف تقاس كتل

هل تعلم (للاطلاع)

تعد الليبتونات (leptons) والكواركات (quarks) جسيمات اولية للمادة فالالكترون هو ليبتون والبروتونات والنيوترونات مكونة من كواركات. ومن صفات الكواركات أنها تحمل جزءاً من الشحنة (e)، وهي أيضاً تختلف فيما بينها في الكتلة. فمثلاً يحتوي البروتون على كواركي أعلى (up)، (u)، وكوارك أسفل (down)، (d). والنيوترون يحتوي على كواركي أسفل وكوارك أعلى، لاحظ الشكل. مع العلم بأن شحنة الكوارك أعلى (u)هي $(+\frac{2}{3}e)$ وشحنة الكوارك أسفـل (d) هي $(-\frac{1}{3}e)$.



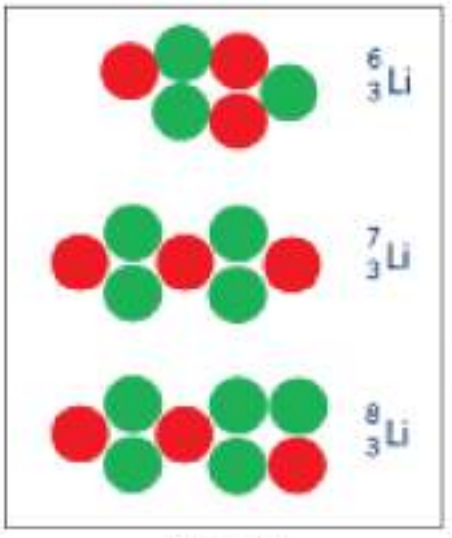
شكل (5)

نوى الذرات ؟ تقاس كتل النوى بوساطة أجهزة دقيقة ومنها مطياف الكتلة. وتقاس كتل نوى الذرات بوحدة مناسبة تسمى وحدة الكتلة الذرية (amu) أو اختصاراً (u) بدلاً من وحدة الكيلوغرام المتعارف عليها والتي لا تتلائم مع قياسات الكتل الذرية والنووية الصغيرة جداً والتي تساوي:

$$1amu = 1u = 1.66 \times 10^{-27}\,kg$$

وبما أن النواة تحتوي (A) من النيوكليونات وان كتلة النيوكليون مقاربة الى كتلة (1u)، وبذلك فإن كتلة النواة التقريبية (m´) سوف تساوي (A×u).

وعادة ما توصف النواة بكونها ثقيلة، أو متوسطة، أو خفيفة تبعاً لكون عددها الكتلي (اوكتلتها) كبير أو متوسط أو صغير على التوالي. ومن الجدير بالذكر أننا وفي هذا الفصل وعندما نتكلم عن كتل الذرات المتعادلة والنوى والجسيمات (مثل البروتون ، النيوترون ، جسيمة الفا... الخ) فإن المقصود بها هي الكتل السكونية.



شكل (6)

فكر

هل تستطيع ان تميز اللون الذي يمثل البروتون واللون الذي يمثل النيوترون في شكل (6)؟

وكثيراً ما يعبر علماء الفيزياء النووية عن الكتلة بما يكافئها من طاقة، إذ يمكن ايجاد الطاقة المكافئة للكتلة وذلك باستعمال علاقة اينشتين المعروفة في تكافؤ الكتلة (m) مع الطاقة (E) وبحسب العلاقة:

$$E = mc^2$$

إذ (c) تمثل سرعة الضوء في الفراغ وتساوي $(3x10^8\,m/s)$. أي إن علاقة الكتلة والطاقة هي علاقة تكافؤ، وإن الكتلة يمكن أن تتحول الى طاقة والعكس صحيح.

وعلى هذا الاساس فإن الطاقة المكافئة لكتلة مقدارها (1u) قد وجد أنها تساوي تقريباً (931MeV). ووفقاً لعلاقة الطاقة المكافئة للكتلة فأنه يمكننا كتابة العلاقة الاتية:

$$c^2 = 931\left(\frac{MeV}{u}\right)$$

وبعد أن تطرقنا لموضوع كتلة النواة فكيف يمكننا ايجاد شحنة النواة؟ بما أن شحنة النيوترون تساوي صفراً، لذلك فإن شحنة النواة تساوي مجموع شحنات البروتونات الموجودة فيها. وبذلك تكون نواة أي ذرة هي ذات شحنة موجبة وأن مقدار شحنتها (q) تساوي (+Ze) حيث (Z) هو العدد الذري للنواة و(+e) هي شحنة البروتون والتي تساوي $(1.6 \times 10^{-19}C)$، أي أن:

$$q = Ze$$

تذكر:

$1MeV = 10^6\,eV = 1.6 \times 10^{-13}\,J$

مثال (1)

جد مقدار شحنة نواة الذهب ($^{198}_{79}Au$)، مع العلم ان شحنة البروتون تساوي: $(1.6\times10^{-19}C)$.

الحل

لدينا العلاقة: $q = Ze$

وبالنسبة لنواة ($^{198}_{79}Au$) فإن $(Z=79)$،

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\therefore q = 79\times1.6\times10^{-19}$$

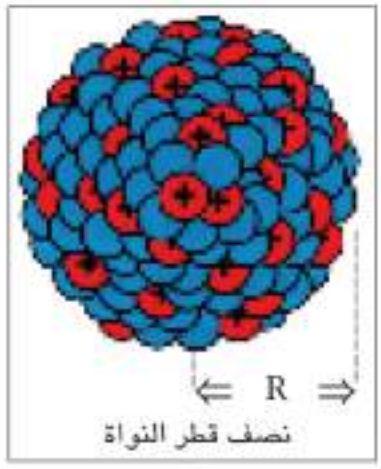
$$\therefore q = 126.4\times10^{-19}C$$

وهي مقدار شحنة نواة الذهب.

وبعد أن أوضحنا وبصورة موجزة المقصود بكتلة وشحنة النواة فماذا عن حجم النواة؟ وكيف نستطيع ان نعرف نصف قطر النواة وحجمها ؟ والجواب بأنه يمكننا ذلك بطرائق وتجارب عدة وأن أول تجربة لتقدير حجم النواة ونصف قطرها كانت قد أجريت من قبل العالم رذرفورد وذلك عن طريق استطارة جسيمات الفا من نوى ذرات الذهب، فقد توصل من هذه التجربة والعديد من التجارب الأخرى بعدها إلى ان معظم نوى الذرات هي ذوات شكل كروي تقريباً (وفي دراستنا الحالية لهذا الفصل سنعتبر أن شكل النواة هو كروي) وقد وجد أن نصف قطر النواة (R)، يتغير تغيراً طردياً مع الجذر التكعيبي للعدد الكتلي (A)، لاحظ الشكل (7).

أي إن: $(R \propto A^{\frac{1}{3}})$ ، ويعطى بحسب العلاقة:

$$R = r_o A^{\frac{1}{3}}$$



شكل (7)

إذ إن (r_o) هو مقدار ثابت يسمى ثابت نصف القطر ويساوي $(1.2\times10^{-15}m)$.

ولكون الابعاد النووية تقع في حدود ($10^{-15}\,m$) وهي أبعاد صغيرة جداً فقد وجد أنه من المناسب استعمال وحدة للطول تسمى الفيمتومتر أو الفيرمي (Fermi) ، (F)، إذ إن:

$$1Fermi = 1F = 10^{-15}\,m$$ الفيرمي=

وبذلك يمكننا كتابة العلاقة السابقة بوحدة المتر(m) وبوحدة الفيرمي (F) وعلى الشكل الآتي:

$$R = \begin{cases} 1.2\times10^{-15}A^{\frac{1}{3}} & \text{بوحدة (m)} \\ 1.2A^{\frac{1}{3}} & \text{بوحدة (F)} \end{cases}$$

هل تعلم (للاطلاع)

على الرغم من أن النيوترون هو متعادل الشحنة (شحنته تساوي صفراً) الا انه يمتلك عزماً مغناطيسياً.

مثال (2)

جد نصف قطر نواة النحاس ($^{64}_{29}Cu$) بوحدة: (a) المتر (m) ، (b) الفيرمي (F).

الحل

(a) لايجاد نصف القطر بوحدة المتر(m)، نطبق العلاقة الآتية:

$$R = 1.2\times10^{-15} A^{\frac{1}{3}}$$

وبالنسبة لنواة النحاس ($^{64}_{29}Cu$) فإن $(A = 64)$ ، وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$R = 1.2\times10^{-15}(64)^{\frac{1}{3}} = 1.2\times10^{-15}\sqrt[3]{64}$$

$$\therefore R = 1.2\times10^{-15}\times4 = 4.8\times10^{-15}\,m$$

وهو نصف قطر النواة بوحدة (m)

(b) لايجاد نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F)، لدينا:

$$F = 10^{-15}\,m$$

$$\therefore R = 4.8\,(F)$$

وهو نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F).

[كما يمكنك ايجاد نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F) وذلك باستعمال العلاقة ($R = 1.2A^{\frac{1}{3}}$)، تأكد من ذلك بنفسك وقارن نتيجة حساباتك مع نتيجة الفرع (b) من هذا المثال].

وبذلك يمكن إيجاد حجم النواة (V) بتطبيق العلاقة التالية (وذلك على اعتبار أن شكل النواة هو كروي ذات نصف قطر (R)):

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_o^3 A$$

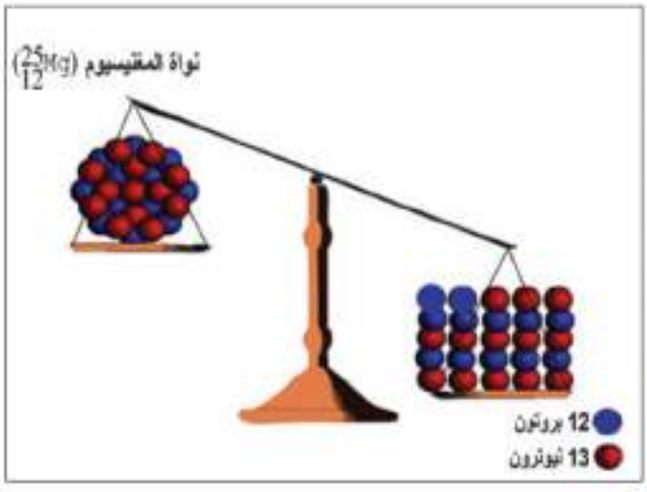
ولايجاد كثافة النواة التقريبية (ρ)، نطبق العلاقة المعروفة $(\rho = \frac{m'}{V})$ ، إذ إن (m′) تمثل كتلة النواة التقريبية (A×u). فقد وجد أن كثافة النواة التقريبية تساوي حوالي($2.3\times10^{17}\,\frac{kg}{m^3}$). وبالمقارنة مع كثافة الماء التي تساوي ($10^3\,\frac{kg}{m^3}$)؛ فإن كثافة النواة تساوي تقريباً (2.3×10^{14}) مرة بقدر كثافة الماء وهذه القيمة بلا شك قيمة كبيرة جداً .

3 - 9 طاقة الربط (الارتباط) النووية Nuclear binding energy:

نحن نعلم أن الشحنات المتشابهة تتنافر، وبما أن النواة عادة تحتوي على النيوترونات المتعادلة الشحنة وعلى البروتونات الموجبة الشحنة (ماعدا نواة ذرة الهيدروجين الاعتيادي ونظائره إذ تحتوي على بروتون واحد فقط)، فلماذا إذن لاتتنافر هذه البروتونات على الرغم من تشابهها بالشحنة؟ ومن ثم فإن هذه النتيجة سوف تؤدي إلى تفكك النواة؟ وبما ان الحال هي ليست كذلك، أي إن النوى هي موجودة فكيف إذن تحافظ النواة على تماسكها وترابطها ؟ وما هي القوة التي تربط وتمسك بنيوكليوناتها معاً ؟ والجواب على ذلك هو لابد من وجود قوة تجاذب نووية قوية تربط وتمسك بنيوكليونات النواة. وهذه القوة النووية (القوية) هي واحدة من القوى الاربعة الاساسية المعروفة في الطبيعة والتي كنت قد عرفتها سابقاً، علماً أن القوة النووية هي الاقوى في الطبيعة. ومن خواص القوة النووية هي انها قوة ذات مدى قصير وهي لاتعتمد على الشحنة.

طاقة الربط النووية (E_b):

يقصد بطاقة الربط النووية أنها الطاقة المتحررة عند جمع أعداد مناسبة من البروتونات والنيوترونات لتشكيل نواة معينة (أو هي الطاقة اللازمة لتفكيك النواة الى مكوناتها من البروتونات والنيوترونات). أن كتلة النواة لاتساوي مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات عندما تكون منفصلة، فهي دائماً أقل من مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات عندما تكون منفصلة، لاحظ الشكل (8). هذا الفرق في الكتلة (Δm)والذي يسمى عادةً بالنقص الكتلي (mass defect) وجد أنه يكافئ طاقة الربط النووية (E_b) حسب علاقة اينشتين في تكافؤ (الكتلة – الطاقة) أي إن:



شكل (8)

$$E_b = \Delta mc^2$$

شكل (9)

فمثلاً ومن خلال قياس كتلة نواة الديوترون ($^{2}_{1}H$) والتي تتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد،لاحظ الشكل (9). وجد أنها تساوي (2.013553u) وهي أقل من مجموع كتلة البروتون (1.007276u) وكتلة النيوترون (1.008665u) الـذي يساوي (2.015941u) عندما يكونان منفصلين، وبذلك يكون الفرق أو النقص الكتلي (Δm) يساوي (0.002388u) ، إذ نستطيع ايجاد طاقة الربط النووية (E_b) وبوحدة (MeV) كما يأتي:

$$E_b = \Delta mc^2$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة، إذ إن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$ ، نحصل على:

$$E_b = 0.002388 \times 931 = 2.223 \ (MeV).$$

ومن الناحية العملية فأنه يكون أكثر مناسباً استعمال كتل الذرات بدلاً من استعمال كتل النوى، إذ يعطى النقص الكتلي (Δm) في هذه الحالة بالعلاقة:

$$\Delta m = ZM_H + Nm_n - M$$

إذ إن:

M_H: كتلة ذرة الهيدروجين

M: كتلة الذرة المعنية

Z: العدد الذري

N: العدد النيوتروني (أو عدد النيوترونات)

m_n: كتلة النيوترون

وبذلك تصبح معادلة طاقة الربط النووية للنواة، على الشكل الآتي:

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\,c^2$$

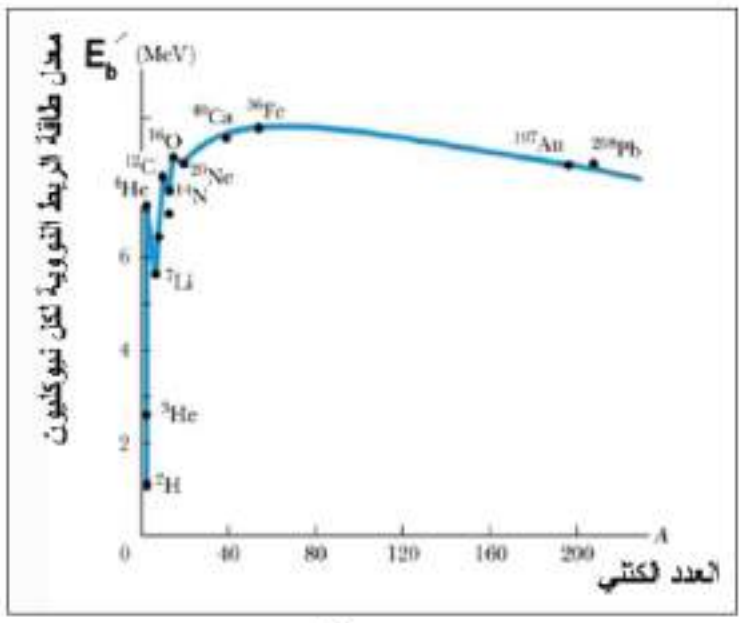
وبما أن الكتل الذرية هي عادة تقاس بوحدة (u)، فان وحدة طاقة الربط (E_b) تقاس بوحدة (MeV) اذ ان $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$.

إن حاصل قسمة طاقة الربط النووية (E_b) على العدد الكتلي (A) يسمى معدل (متوسط) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون (أو للنيوكليون)(E'_b) ويعطى وفق العلاقة الآتية:

$$E'_b = \frac{E_b}{A}$$

فكيف تتغير قيمة (E'_b) مع تغير العدد الكتلي (A) للنوى؟

الشكل (10) يوضح تغير (E'_b) مع (A)، ويلاحظ من هذا الشكل أن المنحني يكون بصورة عامة ثابت نسبياً باستثناء النوى الخفيفة مثل نواة الديوترون (^2_1H) والنوى الثقيلة مثل نواة الرصاص $(^{208}_{82}Pb)$. كما يمكن ملاحظة أن النوى المتوسطة



شكل (10)

تمتلك أكبر القيم إلى (E_b')، مثل نواة الحديد ($^{56}_{26}Fe$)، وبذلك تكون النوى المتوسطة عادة هي الاكثر استقراراً. فالنوى الخفيفة والنوى الثقيلة تستطيع أن تصبح أكثر استقراراً إذا وجد تفاعلاً نووياً معيناً يستطيع أن ينقلها الى منطقة النوى المتوسطة. بعبارة اخرى اذا توافرت ظروف مناسبة فأن النوى الثقيلة اذا انشطرت الى نوى متوسطة فإنها تصبح أكثر استقراراً وبالعكس إذا إندمجت النوى الخفيفة لتكوين نوى أثقل فأنها تصبح أكثر إستقراراً أيضاً، وفي كلتا العمليتين سوف تتحرر طاقة، وستتعرف لاحقاً وبصورة أكثر تفصيلاً على تفاعلات الإنشطار والإندماج النوويين في البندين (10-6) و (10-7).

مثال (3)

جد طاقة الربط النووية لنواة النيتروجين ($^{14}_{7}N$) بوحدة (MeV). إذا علمت أن كتلة ذرة ($^{14}_{7}N$) تساوي ($14.003074u$) وكتلة ذرة الهيدروجين تساوي ($1.007825u$) وكتلة النيوترون تساوي ($1.008665u$). جد أيضاً معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون.

الحل

لدينا العلاقة:

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\,c^2$$

وبما أن الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن:

$$(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$$

$$\therefore E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\times 931(MeV)$$

وبالنسبة الى نواة ($^{14}_{7}N$) فأن:

$$Z = 7,\ A = 14,\ N = A - Z = 14 - 7 = 7$$

وبتعويض هذه القيم في العلاقة السابقة نحصل على:

$$E_b = [7\times 1.007825 + 7\times 1.008665 - 14.003074]\times 931$$

$$\therefore E_b = 0.112356\times 931 = 104.603\,(MeV)$$

وهي طاقة الربط النووية.

[لاحظ ان النقص الكتلي (Δm) في هذا المثال يساوي ($0.112356u$)].

$$\therefore E_b' = \frac{E_b}{A} = \frac{104.603}{14} = 7.472\,(\frac{MeV}{nucleon})$$

وكذلك يمكننا كتابة:

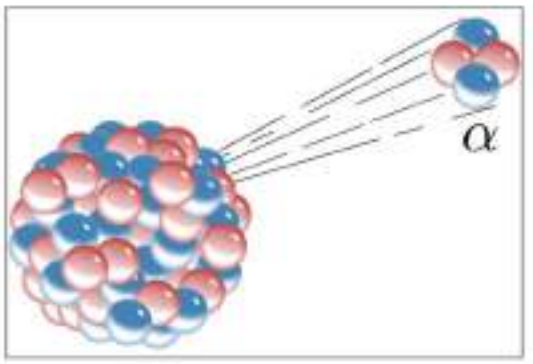
$$E_b' = 7.472\,(MeV)$$

وهي معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون.

إن بعض نوى العناصر تكون غير مستقرة (مشعة) ومن ثم تسعى لكي تكون مستقرة من خلال انحلالها. وهناك ثلاثة أنواع رئيسة للانحلال الاشعاعي هي:

9-4-1 إنحلال ألفا Alpha decay

لو سألنا السؤال الآتي: متى تعاني النواة غير المستقرة إنحلال ألفا التلقائي؟، لاحظ الشكل (11-a). والجواب هو عادةً عندما تكون كتلة النواة وحجمها كبيرين نسبياً، وعلى هذا الأساس فإن إنبعاث جسيمة (دقيقة) ألفا من هذه النوى يساعدها على الحصول على استقرارية أكبر عن طريق تقليص حجمها وكتلتها. وجسيمة ألفا، وكما درست سابقاً هي نواة ذرة الهيليـوم وتتكون من بروتونين ونيوترونين وتمثل بالرمـز (^4_2He) أو (α)، لاحظ الشكل (11-b)، وهي ذات شحنة موجبة تساوي (2e+).



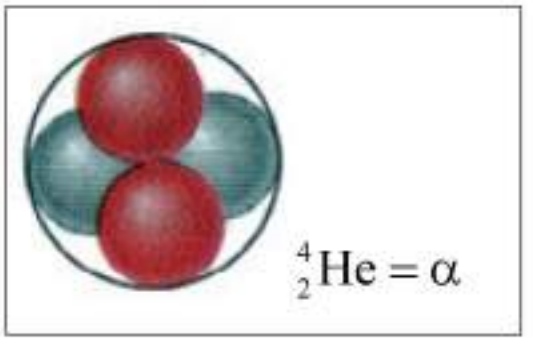
شكل (11-a)

وفي انحلال الفا(كما هو الحال في أنواع الانحلالات الاشعاعية الاخرى) عادة مايطلق على النواة الاصلية قبل الانحلال بالنواة الام والنواة الناتجة بعد الانحلال بالنواة الوليدة (او النواة البنت).

المعادلة التالية تبين معادلة نووية لنواة تعاني إنحلال ألفا:

$$^{240}_{94}Pu \rightarrow ^{236}_{92}U + ^{4}_{2}He$$

(جسيمة الفا) (النواة الوليدة) (النواة الأم)
(نواة اليورانيوم) (نواة البلوتونيوم)



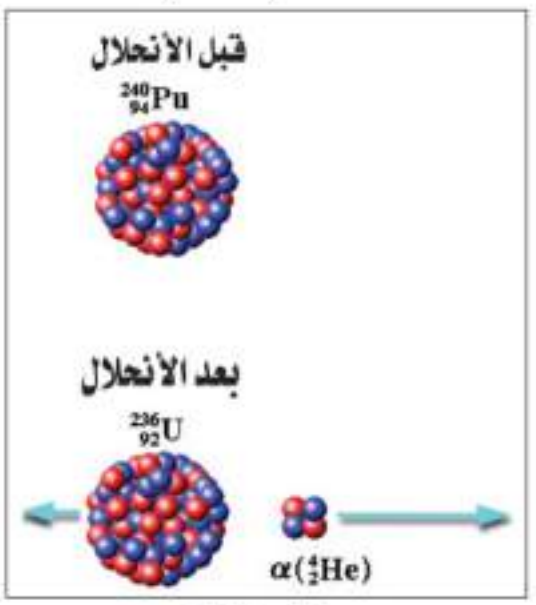
شكل (11-b)

لاحظ الشكل (12).

ولو سألنا السؤال الآتي: ما الذي يفعله انحلال الفا في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم؟ والجواب ينقص العدد الكتلي بمقدار أربعة وينقص العدد الذري بمقدار اثنين (لاحظ المعادلة النووية السابقة)، لاحظ ايضا عند تغير العدد الذري فأن نواة العنصر تتحول الى نواة عنصر اخر، وهذه الحال تصح على جميع أنواع الانحلالات والتفاعلات النووية الأخرى باستثناء انحلال كاما، فكيف يمكننا ايجاد طاقة الانحلال لنواة تنحل بوساطة انحلال الفا؟

إذا أفترضنا بان كتلة النواة الأم هي (M_p) (عادة ساكنة ابتدائياً) وكتلة النواة الوليدة هي (M_d) وكتلة جسيمة الفا هي(M_α)، فان طاقة انحلال الفا (Q_α) تعطى وفق العلاقة التالية:

$$Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]c^2$$



شكل (12)

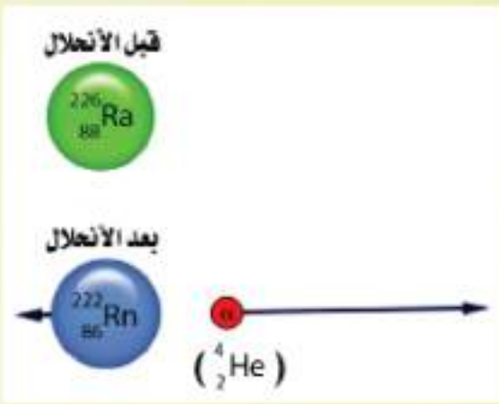
وعندما تقاس الكتل الذرية بوحدة (u) إذ إن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$، فإن وحدة (Q_α) في هذه الحال هي (MeV).

أن الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائيا بوساطة انحلال الفا هو أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة، أي إن $(Q_\alpha > 0)$. ومن الجدير بالذكر أن جسيمة الفا (ذات الكتلة الأقل مقارنة بكتلة النواة الوليدة) سوف تمتلك سرعة وطاقة حركية أكبر من السرعة والطاقة الحركية للنواة الوليدة وذلك بحسب قانون حفظ (الطاقة–الكتلة) وقانون حفظ الزخم الخطي.

مثال (4)

برهن على أن نواة الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة الرادون ($^{222}_{86}Rn$) بوساطة انحلال الفا. اكتب ايضاً المعادلة النووية للانحلال، مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{226}_{88}Ra = 226.025406\ (u).$$
$$^{222}_{86}Rn = 222.017574\ (u).$$
$$^{4}_{2}He = 4.002603\ (u).$$



الحل

المعادلة النووية للانحلال هي :

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

(النواة الأم) (النواة الوليدة) (جسيمة الفا)

أن شرط الانحلال التلقائي هو أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة.

لدينا العلاقة: $Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]c^2$

وبما أن الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن $c^2 = 931\frac{MeV}{u}$

$$\therefore Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha] \times 931\,(MeV)$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$Q_\alpha = [226.025406 - 222.017574 - 4.002603] \times 931$$

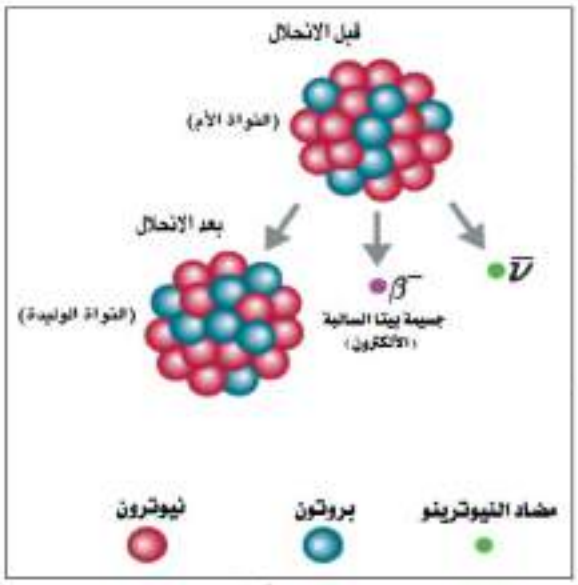
$$\therefore Q_\alpha = 5.229 \times 10^{-3} \times 931 = 4.868\ (MeV)$$

بما أن قيمة (Q_α) هي قيمة موجبة، أي إن $(Q_\alpha > 0)$ ، $\therefore$ قد تحقق شرط الانحلال التلقائي.

(2-4-9) انحلال بيتا Beta decay

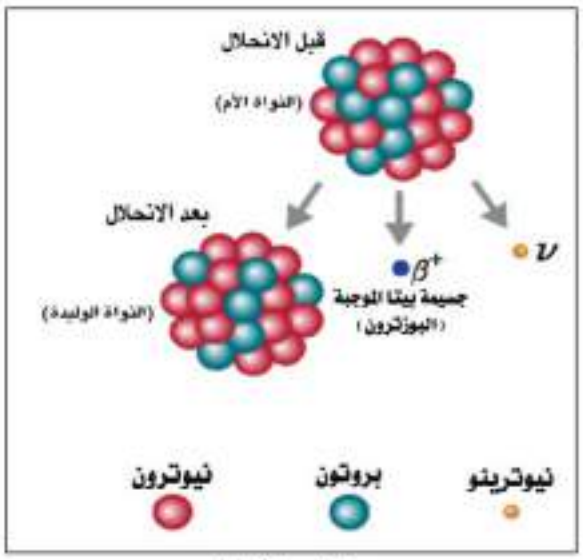
وهو الانحلال الاشعاعي التلقائي الثاني والذي من خلاله تستطيع بعض النوى الوصول الى حالة اكثر استقراراً. وتوجد ثلاث طرائق تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا وهي:

1- انبعاث جسيمة(دقيقة) بيتا السالبة (او الالكترون) ويرمز لها بالرمز(β^-) او ($_{-1}^{0}e$) وهي ذات شحنة سالبة ($e-$)وتسمى هذه العملية انحلال بيتا السالبة، لاحظ الشكل (13).



شكل (13)

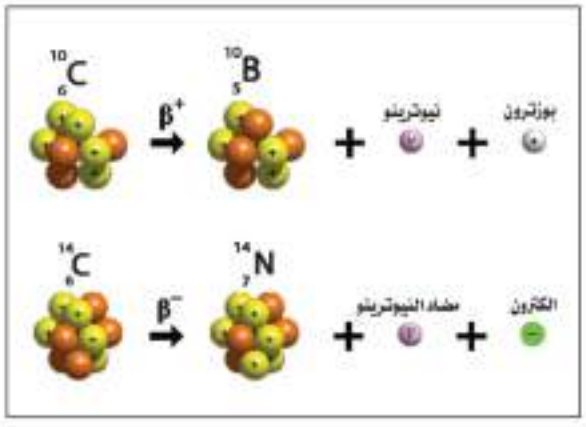
2- انبعاث جسيمة (دقيقة) بيتا الموجبة (او البوزترون) ويرمز لها بالرمز(β^+) او ($_{+1}^{0}e$) وهي ذات شحنة موجبة ($e+$) وتسمى هذه العملية انحلال بيتا الموجبة، لاحظ الشكل (14). والبوزترون عبارة عن جسيم يمتلك جميع صفات الالكترون الا ان اشارة شحنته هي موجبة، كما يطلق عليه ايضاً (مضاد الالكترون).



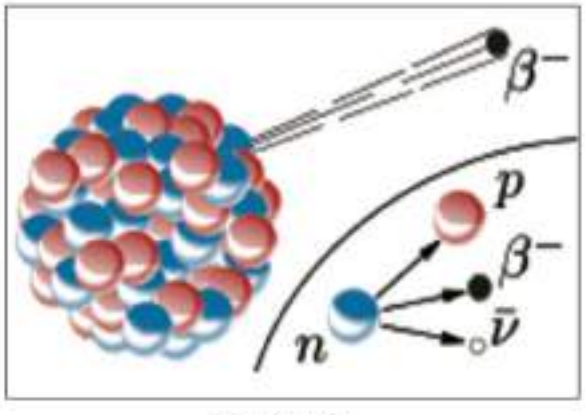
شكل (14)

3- أسر (اقتناص) النواة لاحد الالكترونات الذرية المدارية الداخلية، وتسمى هذه عملية الأسر الالكتروني.

ويرافق انحلال بيتا الموجبة انبعاث جسيم يسمى النيوترينو (شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً) ويرمز له بالرمز (ν)او ($_{0}^{0}\nu$)، إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي له يساويان صفراً. كما يرافق انحلال بيتا السالبة انبعاث جسيم يسمى مضاد النيوترينو ويرمز له بالرمز ($\bar{\nu}$) او($_{0}^{0}\bar{\nu}$)، إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي له يساويان صفراً أيضاً، (لاحظ مثلاً معادلتي الانحلال النووي المجاورتين).



وهنا يبرز السؤال الآتي: بما أن النواة أساساً لا تحتوي على الألكترونات أو البوزترونات فكيف يمكن للنواة أن تبعث الكتروناً او بوزتروناً؟ فمن اين أتى هذا الالكترون او هذا البوزترون؟ والجواب على ذلك هو عندما تبعث النواة الالكترون فهو نتاج انحلال أحد نيوترونات النواة الى بروتون والكترون ومضاد النيوترينو، لاحظ الشكل (15). ويعبر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية:



شكل (15)

$$_{0}^{1}n \rightarrow _{1}^{1}p + \beta^- + _{0}^{0}\bar{\nu} \ , \ (\beta^- = _{-1}^{0}e)$$

ويحدث هذا الانحلال بسبب ان نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أكبر من النسبة اللازمة لاستقرارها.

أما عندما تبعث النواة البوزترون فهو نتاج انحلال أحد بروتونات النواة إلى نيوترون وبوزترون ونيوترينو ويعبر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية:

$$ {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} + {}^{0}_{0}\nu \quad , \quad (\beta^{+} = {}^{0}_{+1}e) $$

ويحدث هذا الانحلال بسبب أن نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أصغر من النسبة اللازمة لاستقرارها. وفيما يلي نورد ثلاث امثلة لمعادلات نووية لنوى تنحل تلقائياً بوساطة انحلال بيتا:

$$ {}^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{30}Zn + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad \text{(انحلال بيتا السالبة)} $$

$$ {}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^{+} + \nu \qquad \text{(انحلال بيتا الموجبة)} $$

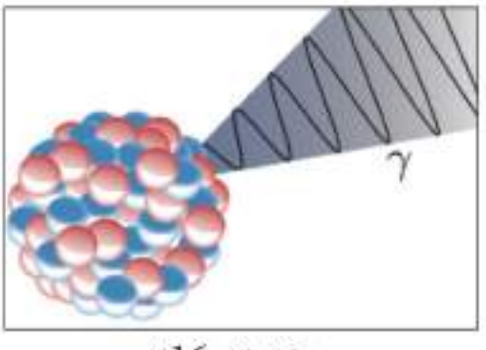
$$ {}^{41}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{41}_{19}K + \nu \qquad \text{(الأسر الالكتروني)} $$

فكر

من ملاحظة امثلة المعادلات النووية الثلاثة المجاورة لنوى تنحل تلقائياً بوساطة انحلال بيتا، هل تستطيع ان تعرف ما الذي يفعله انحلال كل من بيتا السالبة وبيتا الموجبة والأسر الالكتروني في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الام؟

(3-4-9) انحلال كاما Gamma decay

غالبا ماتترك بعض النوى في حالة (او مستو) اثارة اي لديها طاقة فائضة وذلك بعد معاناتها انحلال الفا أو انحلال بيتا، فكيف يمكن لمثل هذه النوى تلقائيا أن تصل إلى حال أكثر استقرارا ؟ والجواب على ذلك بأنه يمكن لمثل هذه النوى أن تتخلص من الطاقة الفائضة بانحلال كاما (وهو الانحلال الاشعاعي التلقائي الثالث) والوصول الى حالة اكثر استقرارا وذلك بأنبعاث اشعة كاما، لاحظ الشكل (16-a). فلو أن النواة انتقلت من مستوى طاقة عال الى مستوى طاقة منخفض فان اشعة كاما (فوتون) سوف ينبعث وتكون طاقة الفوتون تساوي فرق الطاقة بين المستويين. وأشعة كاما، هي أشعة كهرومغناطيسية (فوتونات) ذات طاقة عالية أو تردد عالٍ، كتلتها السكونية وشحنتها تساوي صفراً وعادة يرمز لها بالرمز (γ) او (${}^{0}_{0}\gamma$). إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي لها يساويان صفراً.



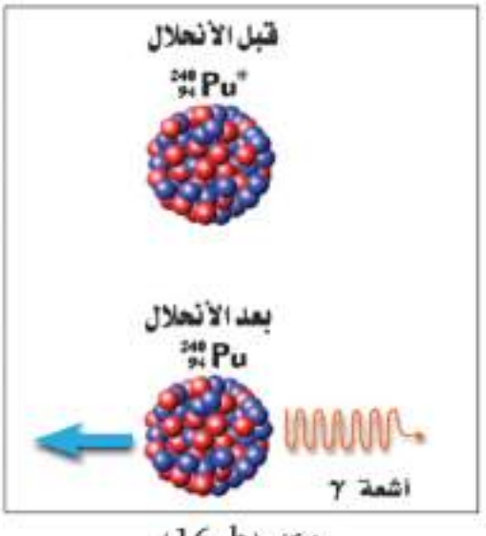
شكل (16-a)

المعادلة التالية تبين معادلة نووية لنواة تعاني انحلال كاما:

$$ {}^{240}_{94}Pu^{*} \rightarrow {}^{240}_{94}Pu + {}^{0}_{0}\gamma $$

(النواة الأم) (نواةالبلوتونيوم) المتهيجة — (النواة الوليدة) (نواة البلوتونيوم) — (اشعة كاما)

(إشارة النجمة (*) تبين أن النواة هي في حالة إثارة أو تهيج)، لاحظ الشكل (16-b).



شكل (16-b)

وكما هو واضح من معادلة الانحلال النووي لنواة البلوتونيوم المتهيجة ($^{240}_{94}Pu^{*}$) السابقة فإن العدد الكتلي والعدد الذري يبقى ثابتاً في انحلال كاما. ويمكن التعبير عن علاقة طاقة أشعة كاما أو طاقة الفوتون (E) بالتردد (f) كما يأتي:

$$E = hf$$

إذ إن: (h) هو ثابت بلا نك ويساوي (6.63×10^{-34} J.s)

وأن $f = \frac{c}{\lambda}$ ، حيث (λ) هي طول موجة الفوتون و(c) هي سرعة الضوء في الفراغ.

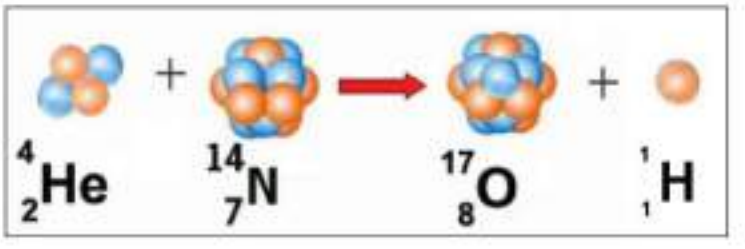
5 - 9 التفاعلات النووية Nuclear reactions

لاحظنا سابقاً أن تركيب النواة يتغير وذلك عندما تعاني النواة انحلالاً اشعاعياً تلقائياً بوساطة انحلال الفا أو انحلال بيتا وبحسب المعادلات النووية السابقة. ولعلك تسأل هل يمكننا ان نغير من تركيب النواة عند قذفها بجسيمات نووية ذات طاقة معينة؟ والجواب نعم يمكننا ذلك، إذ إن أول من برهن على حدوث هذا التفاعل النووي المحتث (الاصطناعي) هو العالم رذرفورد، لاحظ الشكل (17)، وبحسب معادلة التفاعل النووي الآتية:

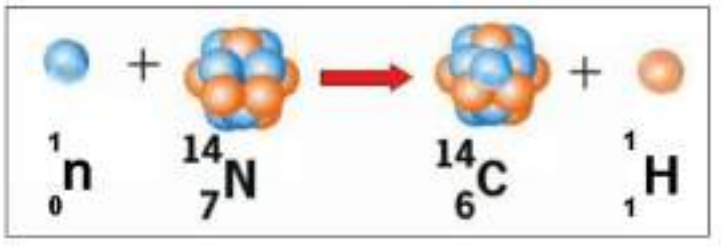
$$^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

(جسيمة الفا) (نواة النيتروجين) (نواة الاوكسجين) (بروتون)

وفي حال المعادلات النووية فإنه يجب أن يكون مجموع الاعداد الذرية ومجموع الاعداد الكتلية متساويين في طرفي المعادلة النووية، أي إن المعادلة النووية يجب أن تكون موزونة، وكما هو مبين مثلاً في معادلة التفاعل النووي السابقة. وهكذا نجد أن التفاعل النووي هو ذلك التفاعل الذي يحدث تغيراً في خصائص وتركيب النواة الهدف. فمثلاً عند قذف (قصف) نواة النيتروجين ($^{14}_{7}N$) بوساطة جسيم النيوترون ($^{1}_{0}n$) فإنه يمكن الحصول على نواة الكاربون ($^{14}_{6}C$) وجسيم البروتون ($^{1}_{1}H$)، لاحظ الشكل (18).



شكل (17)



شكل (18)

ومن الجدير بالذكر أن التفاعلات النووية يجب أن تتحقق فيها قوانين الحفظ وهي:

a- قانون حفظ (الطاقة - الكتلة).

b- قانون حفظ الزخم الخطي.

c- قانون حفظ الزخم الزاوي.

d- قانون حفظ الشحنة الكهربائية (أو قانون حفظ العدد الذري).

e- قانون حفظ عدد النيوكليونات (أو قانون حفظ العدد الكتلي).

طاقة التفاعل النووي:

يمكن ايجاد قيمة طاقة التفاعل النووي (Q) بصورة عامة على النحو الآتي: لو نفترض أن تفاعلاً نووياً تقذف فيه نواة الهدف (X) (عادة ساكنة ابتدائياً) والتي كتلتها (M_x) بالجسيم الساقط (المقذوف)(a) والذي كتلته (M_a) لينتج نواة (Y) والتي كتلتها (M_Y) والجسيم (b) الذي كتلته (M_b)، عندها يمكننا التعبير عن هذا التفاعل النووي بالمعادلة النووية الآتية:

$$a + X \rightarrow Y + b$$

إن قيمة طاقة التفاعل النووي (Q) يمكن ايجادها من العلاقة:

$$Q = [(M_a + M_x) - (M_Y + M_b)]c^2$$

أو

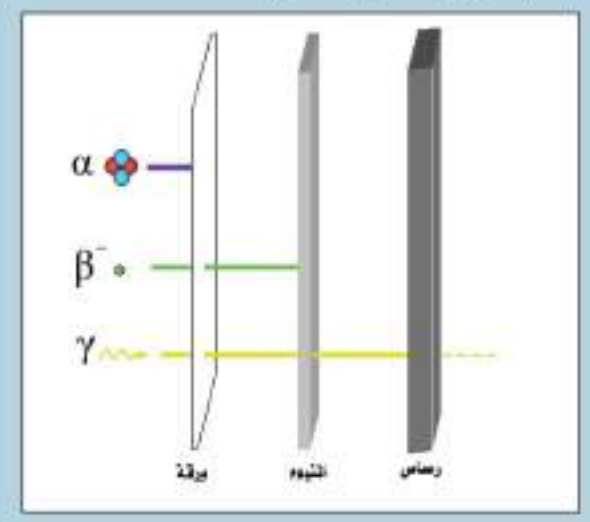
$$Q = [M_a + M_x - M_Y - M_b]c^2$$

وعندما تقاس الكتل الذرية بوحدة (u) فأن $(C^2 = 931\frac{MeV}{u})$ وتكون وحدة (Q) هي (MeV). فعلى سبيل المثال إذا كانت قيمة (Q) موجبة، $(Q > 0)$، فإن التفاعل النووي يسمى بالتفاعل المحرر للطاقة.

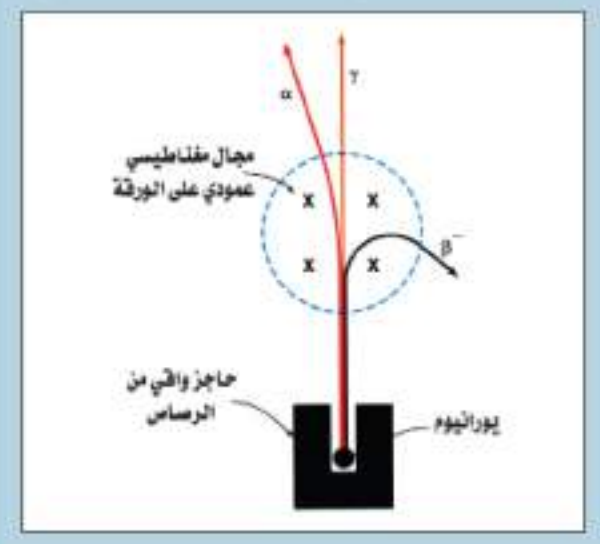
أما إذا كانت قيمة (Q) سالبة، $(Q < 0)$، فان التفاعل النووي يسمى في هذه الحالة بالتفاعل الماص للطاقة.

تذكر:

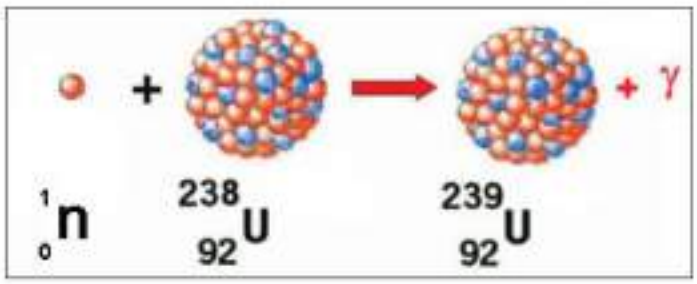
أن جسيمات الفا لها القدرة الأكبر على تأين المواد تليها جسيمات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي أشعة كاما. أما من ناحية اختراق المواد فإن أشعة كاما لها القدرة الأكبر على اختراق المواد تليها جسيمات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي جسيمات ألفا (فهي عادة لا تخترق الملابس وجلد الإنسان).



وتنحرف جسيمات الفا بتأثير المجال الكهربائي أو المجال المغناطيسي باتجاه يدل على أنها موجبة الشحنة وتنحرف جسيمات بيتا السالبة باتجاه يدل على انها سالبة الشحنة. ولاتنحرف أشعة كاما بتأثير المجال الكهربائي أو المجال المغناطيسي.



ومن الجدير بالذكر أن النيوترونات تُعد قذائف مهمة في التفاعلات النووية لاحظ الشكل (19)، وذلك لان شحنة النيوترون تساوي صفراً وهو بذلك يستطيع ان يدخل الى النواة بسهولة جداً (أكثر بكثير من جسيمات الفا أو البروتونات مثلاً) وذلك لعدم وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية بينه وبين النواة.



شكل (19)

مثال (5)

في التفاعل النووي الآتي:

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

جد قيمة طاقة التفاعل النووي بوحدة (MeV)، ثم بين نوعية التفاعل. مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$^{14}_{7}N = 14.003074(u)$, $^{4}_{2}He = 4.002603(u)$

$^{17}_{8}O = 16.999132(u)$, $^{1}_{1}H = 1.007825(u)$

الحل

من معادلة التفاعل النووي:

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

(الجسيم المقذوف او الساقط) (النواة الهدف) (النواة الناتجة) (الجسيم الناتج)

(a) (X) (Y) (b)

(جسيمة الفا) (نواة النيتروجين) (نواة الاوكسجين) (جسيم البروتون)

إن طاقة التفاعل النووي (Q) يمكن ايجادها من العلاقة:

$$Q = [M_a + M_X - M_Y - M_b]c^2$$

وبما ان الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$

$$\therefore Q = [M_a + M_x - M_Y - M_b] \times 931(MeV)$$

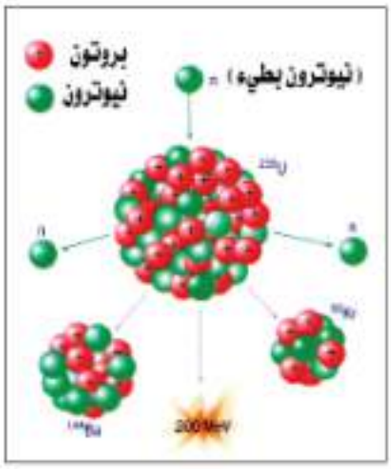
ومن ملاحظة معادلة التفاعل النووي وعند التعويض في المعادلة السابقة نحصل على:

$$Q = (4.002603 + 14.003074 - 16.999132 - 1.007825) \times 931 \ (MeV)$$

$$\therefore Q = (-0.001280) \times 931 = -1.192 \ (MeV)$$

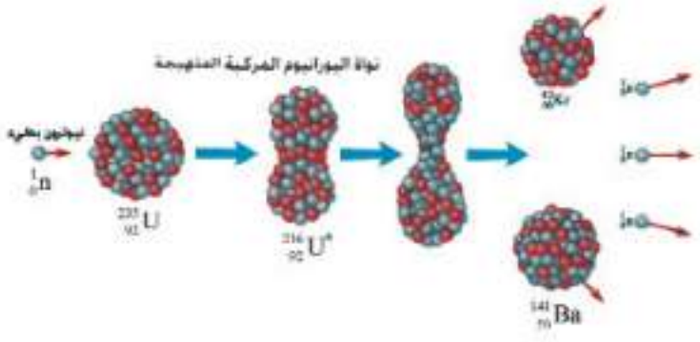
بما أن قيمة (Q) هي سالبة $(Q < 0)$، $\therefore$ التفاعل هو من النوع الماص للطاقة.

كثيراً ما نسمع عن الطاقة الهائلة والمتحررة من عملية الانشطار النووي واستعمالاتها السلمية وغير السلمية، فماذا يقصد بالانشطار النووي؟ الانشطار النووي هو تفاعل نووي تقسم فيه نواة ثقيلة (مثل نواة اليورانيوم $^{235}_{92}U$) الى نواتين متوسطتين بالكتلة وذلك عن طريق قصف هذه النواة الثقيلة بوساطة نيوترون بطيء (نيوترون حراري)، وهو نيوترون ذو طاقة صغيرة حوالي ($0.025eV$)، لاحظ الشكل (20).



شكل (20)

وعادة ماتتكون نتيجة الانشطار النووي نوى جديدة مشعة وعدد من النيوترونات (إنموذجياً اثنان أو ثلاثة) فضلاً عن الطاقة الهائلة. ولعلك تسأل من أين تأتي هذه الطاقة الهائلة؟ والجواب تأتي هذه الطاقة الهائلة من حقيقة كون ان مجموع الكتل الناتجة هي أقل من مجموع الكتل المتفاعلة إذ تتحول الكتلة المفقودة إلى طاقة هائلة على وفق علاقة انيشتاين في تكافؤ (الكتلة – الطاقة). فمثلاً تتحرر طاقة تقدر بنحو ($200MeV$) عند انشطار نواة واحدة فقط من اليورانيوم ($^{235}_{92}U$). ولذلك فإن الطاقة المتحررة من الانشطار النووي هي مثلاً أكبر بكثير من الطاقة المتحررة من التفاعلات الكيميائية. ومن أحد الأمثلة المحتملة على تفاعلات انشطار نواة اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) بوساطة نيوترون بطيء هو التفاعل التالي، لاحظ الشكل (21):



شكل (21) (للاطلاع)

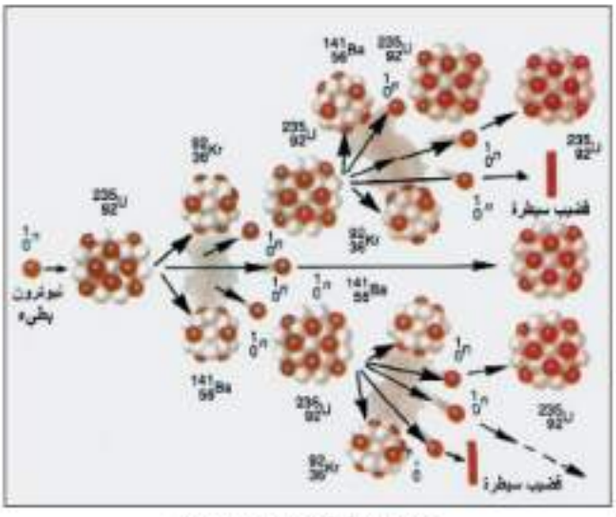
$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

ويمثل الرمز ($^{236}_{92}U^{*}$) نواة اليورانيوم المركبة المتهيجة.

التفاعل النووي المتسلسل:

نسمي التفاعل النووي الذي يجعل عملية انشطار نوى اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) وغيرها من النوى القابلة للانشطار ان تستمر بالتفاعل النووي المتسلسل، لاحظ الشكل (22).

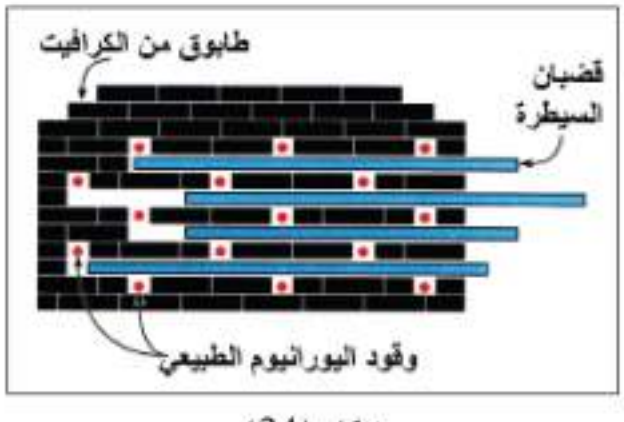
وإذا لم يسيطر على التفاعل النووي المتسلسل فإن ذلك سوف يؤدي إلى انفجار عنيف مدمر مع انبعاث كمية هائلة



شكل (22) (للاطلاع)

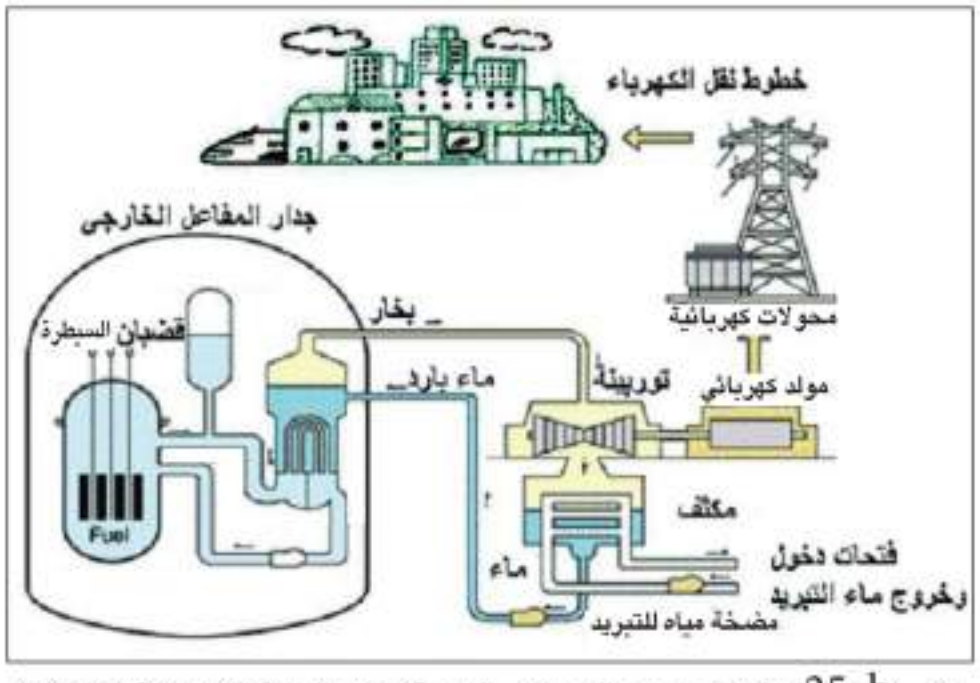
من الطاقة. وقد صنعت القنبلة النووية (شائعاً الذرية) والتي غالباً ماتدعى أيضاً بالقنبلة الانشطارية لاحظ الشكل (23)، بناءً على هذه الحالة. وقد تمكن الإنسان من السيطرة على التفاعل النووي المتسلسل، إذ إن أول تفاعل نووي انشطاري متسلسل مسيطر عليه من قبل الانسان كان أجراه العالم فيرمي ومساعدوه وذلك في أول مفاعل نووي شُغِّل في مدينة شيكاغو في الولايات المتحدة الامريكية عام (1942)، والشكل (24) يوضح مخطط أول قلب للمفاعل النووي. والمفاعل النووي عبارة عن مجموعة من المنظومات التي تسيطر على التفاعل النووي الانشطاري المتسلسل للوقود النووي (مثل اليورانيوم $^{235}_{92}U$ أو البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$) والطاقة الناتجة منه. إذ يستفاد حالياً وبشكل واسع من المفاعلات النووية للاغراض السلمية مثلاً في انتاج الطاقة الكهربائية، لاحظ الشكل (25- a ، b).

شكل (23)



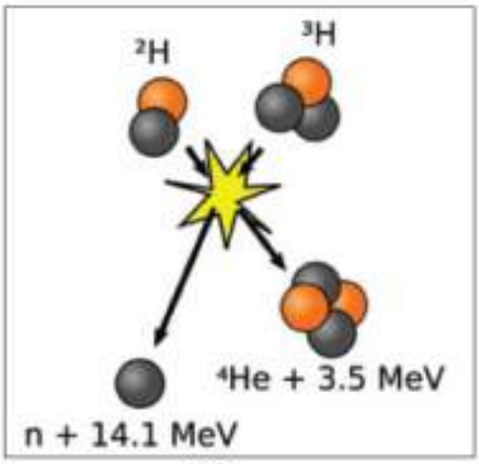
شكل (24)

شكل (25-a)



شكل (25-b) مكونات احدى المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية (للاطلاع)

هل تساءلت يوماً عزيزي الطالب من اين لشمسنا كل هذه الطاقة الهائلة والتي تغمر بها الارض وما عليها من أحياء حيث تمدنا بالضوء والحرارة التي نحتاجها ؟ والحقيقة أن هذه الطاقة الهائلة ناتجة من تفاعل نووي يسمى الاندماج النووي والذي ستتعرف عليه كما في الآتي:



شكل (26)

شكل (27)

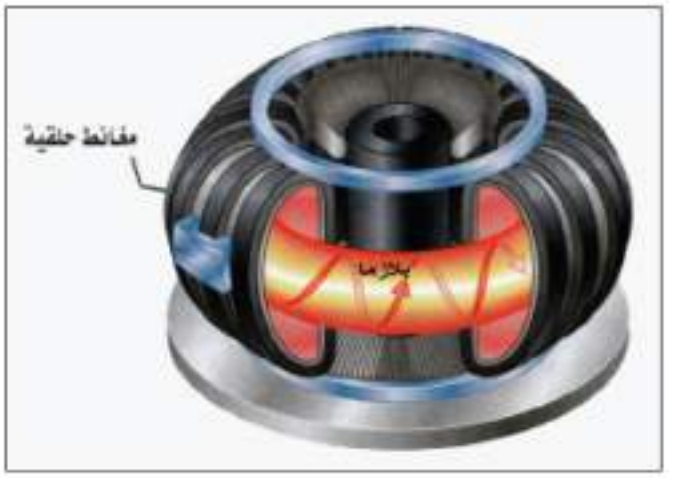
الاندماج النووي:

هو تفاعل نووي تدمج فيه نواتان صغيرتان (خفيفتان بالكتلة) لتكوين نواة أثقل لاحظ الشكل (26). وتكون كتلة النواة الاثقل هي أقل من مجموع كتلتي النواتين الخفيفتين الأصليتين، وفرق الكتلة يتحول الى طاقة متحررة وذلك على وفق علاقة اينشتاين في تكافؤ (الكتلة–الطاقة). وعلى هذا الاساس تعد الشمس مفاعل نووي اندماجي حراري عملاق لانتاج الطاقة. فماهي العمليات والتفاعلات النووية الرئيسة لانتاج هذه الطاقة الهائلة في الشمس؟ تعد سلسلة عمليات أو تفاعلات اندماج نوى ذرات الهيدروجين الاعتيادي (البروتونات) لتوليد نواة ذرة الهيليوم ($_2^4He$) هي العمليات الرئيسة التي تحدث في باطن الشمس (حيث درجة الحرارة حوالي $1.5 \times 10^7 K$) وذلك ضمن سلسلة أو دورة تسمى دورة (بروتون–بروتون). ويحرر الاندماج النووي طاقة أكبر من الطاقة التي يحررها الانشطار النووي لكتل متساوية من الوقود النووي. إن هذه الحقيقة قد طبقت عسكرياً عند انتاج القنبلة الاندماجية والتي تسمى أيضاً بالقنبلة الهيدروجينية، لاحظ الشكل (27). وهي أعظم خطراً وأشد فتكاً من القنبلة النووية (الانشطارية) ويمثل هذا النوع من القنابل الاندماجية مثالاً على التفاعلات النووية الاندماجية غير المسيطر عليها. ولكن ماذا يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه؟ وهل يمكن تحقيقه عملياً (مثلاً في المختبرات العلمية)؟ غالباً ما يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه بمصدر الطاقة الذي قد لاينضب لان مصدر الوقود النووي المستعمل (الهيدروجين) هو متاح وميسر وهو الماء المتوفر بكثرة في الكرة الأرضية. هذا فضلاً عن أن الاندماج النووي يُعد مصدراً للطاقة النظيفة نوعاً ما، إذ إن الهيليوم مثلاً هو ناتج غير مشع أي بعكس النواتج المشعة الـتي تحدث عادة

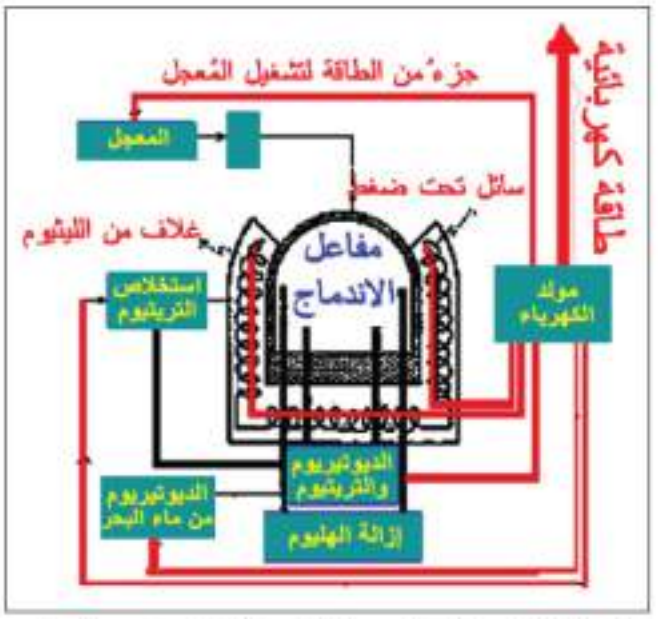
هل تعلم

توجد هناك دورة اندماج نووي أخرى تسمى دورة الكاربون وهي تحدث في النجوم التي درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة باطن الشمس.

في عملية الانشطار النووي. وتوجد هناك صعوبات كثيرة لتحقيق عملية الاندماج النووي إذ إن العائق الرئيس للحصول على طاقة مفيدة من الاندماج النووي هو وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية الكبيرة بين البروتونات والنوى المتفاعلة عندما تكون المسافة بينهم قصيرة. ولأجل إعطاء البروتونات والنوى المتفاعلة طاقة كافية للتغلب على قوة كولوم الكهربائية التنافرية فإنه يتطلب رفع درجة حرارة التفاعل النووي إلى درجة حرارة مرتفعة جداً (حوالي 10^8K) حيث يصبح الوسط المعول عليه في مثل هذه الدرجات الحرارية العالية هو ما يسمى بالبلازما (الحالة الرابعة للمادة). ولكن لاتوجد مادة معروفة في الوقت الحاضر لها القدرة على تحمل مثل هذه الحرارة العالية جداً. ونظراً للصعوبة التقنية فانه وفي الوقت الحاضر لاتوجد استفادة حقيقية وعلى نطاق واسع من التفاعل النووي الاندماجي للاغراض السلمية. ويسعى العلماء والباحثون حالياً الى ابتكار طرقٍ جديدة لاحتواء البلازما المتفاعلة واللازمة للاندماج النووي مثل استعمال المجال المغناطيسي لحصر البلازما داخل حاوية ولكن بعيداً عن جدرانها (مثل جهاز التوكاماك Tokamak)، لاحظ الشكل (28). ولو أمكن التوصل الى تفاعل نووي اندماجي مسيطر عليه لأصبحت المفاعلات النووية الاندماجية من أهم مفاعلات المستقبل. ويبين الشكل (29) أحد التصاميم المقترحة لمفاعل نووي اندماجي.



شكل (28) (للاطلاع)



شكل (29) احد التصاميم المقترحة لمفاعل نووي اندماجي (للاطلاع).

9 - 8 مخاطر وفوائد الاشعاع النووي
Hazards and beneficials of nuclear radiation

قد تتعجب عزيزي الطالب إذا علمت أننا جميعاً نتعرض إلى الأشعاعات النووية في كل لحظة من حياتنا، ولكن من أين تأتي هذه الأشعاعات النووية التي نتعرض لها؟ والجواب المنطقي لهذا السؤال هو بالتأكيد من البيئة التي نعيش فيها، إذ تقسم مصادر الاشعاع النووي بصورة عامة على مصدرين رئيسين:

1 – مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي: وتشتمل على الأشعة الكونية، والاشعاع النووي من القشرة الارضية، وكذلك النشاط الاشعاعي في جسم الانسان.

2- مصادر الأشعاع النووي الاصطناعي: ومنها المصادر النووية المشعة المستعملة في الطب لغرض التشخيص والعلاج، لاحظ الشكل (30)، النفايات النووية المشعة ، الغبار النووي المتساقط من اختبارات الاسلحة النووية، الاشعاعات النووية المنتجة من المفاعلات النووية، واستعمال المصادر النووية المشعة في البحوث والدراسات.

شكل (30)

فما تأثير ومخاطر الاشعاع النووي على جسم الانسان ؟

تعتمد درجة ونوع الضرر الذي يسببه الاشعاع النووي على عدة عوامل منها نوع الاشعاع (كاشعة كاما اوجسيمات الفا ...الخ) وطاقة هذا الاشعاع، والعضو المعرض لهذا الاشعاع (كبد او عظم او عين ....الخ).

إذ ينتج التلف الاشعاعي في جسم الانسان في المقام الاول من تأثير التأين في خلايا الجسم المختلفة. ويؤدي الضرر في خلايا الجسم الاعتيادية الى تأثيرات مبكرة مثل التهاب الجلد أو تأثيرات متأخرة مثل مرض السرطان (تأثيرات جسدية). أما الأضرار التي تحدث في الخلايا التناسلية فيمكن أن تؤدي الى حدوث ولادات مشوهة ويمكن أن ينتقل الضرر إلى الأجيال اللاحقة (تأثيرات وراثية).

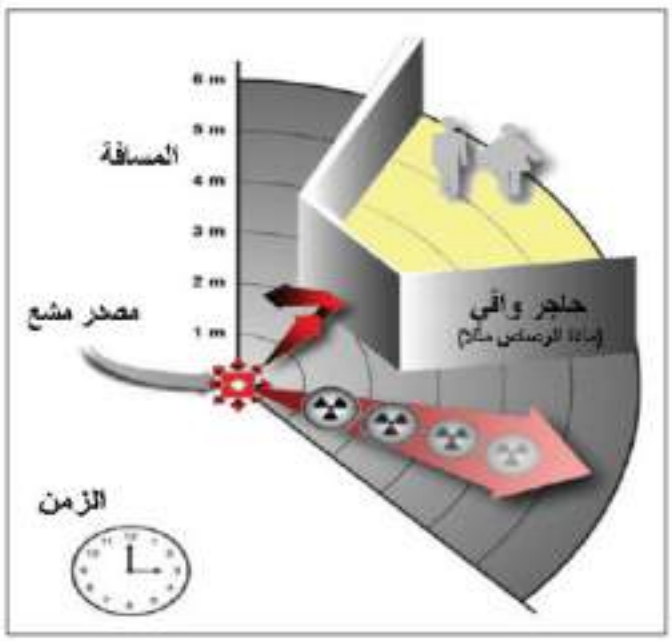
فما الاجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الاشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن ان نتعرض له اضطرارياً؟

والجواب هو في حالة التعرض للاشعاع النووي اضطرارياً فإنه يجب إبقاء التعرض الى أقل مايمكن، ويمكننا تحقيق ذلك من خلال:

a- تقليل زمن التعرض للاشعاع النووي الى اقل مايمكن.

b- الابتعاد عن مصدر الاشعاع النووي أكثر مايمكن.

c- استعمال الحواجز الواقية والملائمة (درع shield) بين الانسان ومصدر الاشعاع النووي (استعمال مادة الرصاص مثلاً)، لاحظ الشكل (31).



شكل (31)

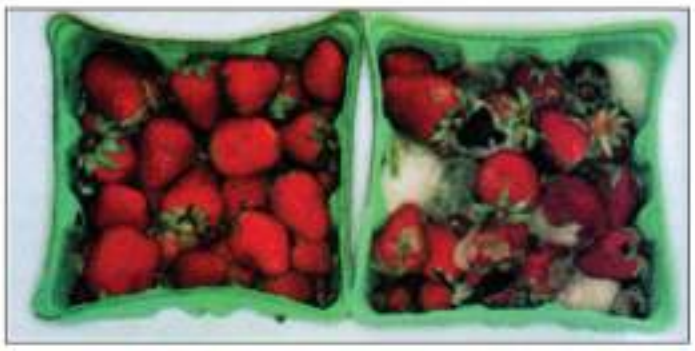
فهل توجد تطبيقات واستعمالات مفيدة وسلمية للاشعاع النووي والطاقة النووية؟

بالتأكيد هناك الكثير من الاستعمالات والتطبيقات وسنذكر هنا بعضاً منها، فضلاً عن الذي درسته سابقاً:

a- المجال الطبي مثلاً يمكن استعمال الاشعاع النووي والطاقة النووية في القضاء على بعض الكائنات المرضية التي تسبب بعض الامراض كالفيروسات وكذلك في تعقيم بعض المستلزمات الطبية.

b- المجال الزراعي مثلاً في دراسة فسلجة النبات وتغذيته وحفظ المواد الغذائية، لاحظ الشكل (32).

c- المجال الصناعي مثلاً في تسيير المركبات الفضائية لاحظ الشكل (33)، وكذلك في تسيير السفن البحرية والغواصات، لاحظ الشكل (34). كما ان هناك الكثير من التطبيقات المفيدة الاخرى للانسان وفي مختلف مناحي الحياة، التي لا يتسع المجال لذكرها هنا.



شكل (32)

هل تعلم (للاطلاع)

أن أول عملية توليد للطاقة الكهربائية من الطاقة النووية كانت في عام 1951، والآن يوجد أكثر من ثلاثين بلداً يستثمر الطاقة النووية لتوليد الطاقة الكهربائية.

شكل (33)

شكل (34)

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1 – نصف قطر النواة (R) يتغير تغيراً:

a – طردياً مع $A^{\frac{1}{3}}$. b – عكسياً مع $A^{\frac{1}{3}}$.

c – طردياً مع (A^3). d – عكسياً مع (A^3).

2 – تكون قيم معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون:

a– أكبر لنوى العناصر الخفيفة. b– أكبر لنوى العناصر الثقيلة.

c– متساوية لجميع نوى العناصر. d– أكبر لنوى العناصر المتوسطة.

3 – كل مما يلي من خصائص القوة النووية ما عدا انها:

a– تربط وتمسك بنيوكليونات النواة. b– لاتعتمد على الشحنة.

c– ذات مدى طويل جداً. d– الاقوى في الطبيعة.

4 – إذا افترضنا أن طاقة الربط النووية لنواة النيون $\left({}^{20}_{10}Ne\right)$ تساوي $(161MeV)$، فإن معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة النيون بوحدات (MeV) يساوي:

a_ 8.05 b_ 16.1

c_ 3220 d_ 1610

5 – تنحل نواة نظير البولونيوم $\left({}^{218}_{84}Po\right)$ تلقائياً الى نواة نظير الرصاص $\left({}^{214}_{82}Pb\right)$ بوساطة انحلال:

a– كاما. b– بيتا السالبة.

c– بيتا الموجبة. d– الفا.

6 – عندما تعاني نواة تلقائياً انحلال بيتا الموجبة فإن عددها الذري:

a– يزداد بمقدار واحد. b– يقل بمقدار واحد.

c– يقل بمقدار اربعة. d– لا يتغير.

7 – في التفاعل النووي التالي:

$${}^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{A}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

تكون قيمة العدد (A) هي:

a_ 13 b_ 12

c_ 5 d_ 6

8 – في الفيزياء النووية تسمى عملية اندماج نواتين صغيرتين (خفيفتين بالكتلة) لتكوين نواة اثقل:

a– انشطار نووي. b– عملية الأسر الالكتروني.

c– انحلال بيتا الموجبة. d– اندماج نووي.

9 – من مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي هي:

a– الغبار المتساقط من اختبارات الاسلحة النووية. b– الاشعة الكونية.

c– الاشعاعات النووية المنتجة من المفاعلات النووية. d– ولا واحدة منها.

10 – تتم عملية الانشطار النووي لنواة اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) باستعمال:

a– بروتون ذو طاقة صغيرة. b– جسيمة الفا ذات طاقة صغيرة.

c– نيوترون بطيء. d– ولا واحدة منها.

س2 ما المقصود بكل مما يأتي:

البوزترون ، الانشطار النووي ، طاقة الربط النووية ، التفاعل النووي المتسلسل ، الاندماج النووي ، المفاعل النووي.

س3 ما الجسيم الذي:

a– عدده الكتلي يساوي واحد وعدده الذري يساوي صفر.

b– يطلق عليه مضاد الالكترون.

c– يرافق الالكترون في انحلال بيتا السالبة التلقائي.

d– يرافق البوزترون في انحلال بيتا الموجبة التلقائي.

س4 ماهو الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائياً بوساطة انحلال الفا؟

س5 علل مايأتي:

a– تنبعث أشعة كاما تلقائياً من نوى بعض العناصر المشعة.

b– تُعد النيوترونات قذائف مهمة في التفاعلات النووية.

س6 ما الطرائق التي تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا؟

س7 بما أن النواة أساساً لاتحتوي على الالكترونات فكيف يمكن للنواة أن تبعث الكتروناً؟ وضح ذلك.

س8 ما قوانين الحفظ التي يجب أن تتحقق في التفاعلات النووية؟

س9 أكمل المعادلات النووية الآتية:

a - $^{2}_{1}H + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{7}_{3}Li + ?$

b - $^{12}_{6}C^{*} \rightarrow ^{12}_{6}C + ?$

c - $^{56}_{27}Co \rightarrow ^{56}_{26}Fe + ? + \nu$

d - $^{1}_{0}n \rightarrow ? + ? + ?$

س10 من أين تأتي الطاقة الهائلة من عملية الانشطار النووي؟

س11 ماذا يحصل إذا لم يسيطر على التفاعل النووي المتسلسل؟

س12 نواة اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) انحلت بوساطة انحلال ألفا التلقائي فتحولت إلى نواة الثوريوم (Th). ثم انحلت نواة الثوريوم بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة (X). ثم انحلت نواة (X) بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة ($\acute{X}$).

a- اكتب المعادلات النووية الثلاث لهذه الانحلالات النووية بالتسلسل.

b- حدد اسم النواة ($\acute{X}$).

س13 ما العمليات والتفاعلات النووية الرئيسة لانتاج الطاقة الهائلة في الشمس؟

س14 ماذا نعني بقولنا (غالبا ما يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه بمصدر الطاقة الذي قد لاينضب).

س15 ما العائق الرئيس للحصول على طاقة مفيدة من الاندماج النووي؟

س16 ما تأثير ومخاطر الاشعاع النووي على جسم الإنسان؟ وضح ذلك.

س17 ما الأجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الأشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن أن نتعرض له اضطرارياً ؟ وضح ذلك.

استفد:

كتلة ذرة الهيدروجين $(^1_1H) = 1.007825(u)$

كتلة ذرة الهيليوم $(^4_2He) = 4.002603(u)$

كتلة النيوترون $= 1.008665(u)$

$$1u = 1.66\times10^{-27}(kg)\ ,\ h = 6.63\times10^{-34}(J.s)$$

$$c = 3\times10^{8}(m/s)\ ,\ e = 1.6\times10^{-19}(C)$$

$$1eV = 1.6\times10^{-19}(J)$$

س1 / وضع وقود نووي داخل مفاعل نووي ، وبعد حدوث التفاعل النووي كان النقص في كتلته الذي تحول الى طاقة نووية يساوي $(0.25g)$.جد مقدار الطاقة النووية الناتجة مقدرة بوحدة (MeV).

س2 / للنواة $(^{56}_{26}Fe)$ جد:

a – مقدار شحنة النواة.

b – نصف قطر النواة مقدراً بوحدة (m) أولاً ، وبوحدة (F) ثانياً .

c – حجم النواة مقدراً بوحدة (m^3)

مع العلم بان $(\sqrt[3]{7} = 1.913)$.

س3 / إذا علمت أن نصف قطر نواة البولونيوم $(^{216}_{84}Po)$ يساوي ضعف نصف قطر نواة مجهولة (X). جد العدد الكتلي للنواة المجهولة؟

س4 / جد طاقة الربط النووية لنواة $(^{126}_{52}Te)$ مقدرة بوحدة (MeV) أولاً ، وبوحدة (J) ثانياً . إذا علمت أن كتلة ذرة $(^{126}_{52}Te)$ تساوي $(125.903322\ u)$.

س5 / للنواة $(^{12}_{6}C)$ جد:

a- النقص الكتلي مقدراً بوحدة (u).

b- طاقة الربط النووية مقدرة بوحدة (MeV).

c- معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مقدرة بوحدة (MeV) .

مع العلم أن كتلة ذرة $(^{12}_{6}C)$ تساوي $(12u)$.

س6 / أي من النواتين الآتيتين تمتلك طاقة ربط نووية أكبر من الاخرى ، نواة (^3_1H) أم نواة (^3_2He) ؟ جد الجواب بوحدة (MeV) . مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$.\ {}^3_1H = 3.016050(u)\ ,\ {}^3_2He = 3.016030(u)$$

س7 / برهن على أن نواة البلوتونيوم ($^{236}_{94}Pu$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة اليورانيوم ($^{232}_{92}U$) بوساطة انحلال الفا. اكتب أيضاً المعادلة النووية للانحلال. مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{232}_{92}U = 232.037168(u) \quad , \quad ^{236}_{94}Pu = 236.046071(u)$$.

س8 / ما مقدار تغير كتلة نواة ساكنة ابتدائياً عندما تطلق تلك النواة اشعة كاما طاقتها ($2MeV$) ؟جد الجواب مقدراً بوحدة (u) اولاً ، وبوحدة (kg) ثانياً . ما الطول الموجي لهذه الاشعة مقدراً بوحدة (m) ؟ اهمل ارتداد النواة .

س9 / حدث تفاعل نووي بين جسيم ساقط ونواة البريليوم ($^{9}_{4}Be$) الساكنة ونتج عن هذا التفاعل جسيم النيوترون ونواة الكاربون ($^{12}_{6}C$) .

a- عبر عن هذا التفاعل بمعادلة تفاعل نووي ومنها حدد اسم الجسيم الساقط .

b- جد طاقة التفاعل النووي مقدرة بوحدة (MeV) ؟

c- ما نوع هذا التفاعل النووي ؟

مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{12}_{6}C = 12(u) \quad , \quad ^{9}_{4}Be = 9.012186(u)$$.

س10 / حدث تفاعل نووي بين بروتون ساقط ونواة السماريوم ($^{150}_{62}Sm$) الساكنة ونتج عن هذا التفاعل جسيمة الفا و نواة البروميثيوم ($^{147}_{61}Pm$) . فإذا علمت أن طاقة التفاعل النووي تساوي ($6.88\ MeV$) وأن كتلة ذرة السماريوم تساوي ($149.917276\ u$). عبر عن هذا التفاعل بمعادلة تفاعل نووي، ثم جد كتلة ذرة البروميثيوم مقدرة بوحدة (u) .

س11 / إذا افترضنا بانه طاقة مقدارها ($200\ MeV$) تحرر عند انشطار نواة واحدة من اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) . جد عدد نوى اليورانيوم اللازمة لتحرير طاقة مقدارها ($3.2\times10^{12}\ J$).

المصادر

1- Thomas L. Floyd, Electronic Devices, 7th Edition, Pearson Prentice Hall 2005.

2- Hallday , Resnick , Walker J., Fundamental of Physics, 8th Edition, Wiley 2008.

3- Bauer W. ,Gary D. Westfall , University Physics, Mc Graw Hill, 2011.

4- Randall D. Knight, Physics For scientists and Engineers, 2nd Edition Pearson Addison Wesley .

5- Vuille C. , Serway A. Raymond , College Physics, 8th Edition, Brooks/ Cole, 2009.

6- Krauskopf B. Konrad , Beiser A. ,7th Edition, Mc Graw Hill,2006.

7- Dobson K. , Grace D. & Lovett D., physics ,3rd , Collins Advanced Science.

8- Hecht , Eugene , Physics : Calculus, Brooks /Cole ,1996.

9- Cutnell D. John , Johnson W. Kenneth, Introduction to Physics, 8th edition Wiley & Sons 2010.

10- Young D. Hugh , Freedman A. Roger ,Ford A. Lewis, University Physics with Modern Physics,13th Edition Pearson 2012.

محتويات الكتاب

الموضوع		الصفحة
الفصل الأول	المتسعات	44 - 5
الفصل الثاني	الحث الكهرومغناطيسي	90 - 45
الفصل الثالث	التيار المتناوب	130 - 91
الفصل الرابع	الموجات الكهرومغناطيسية	150 - 131
الفصل الخامس	البصريات الفيزيائية	174 - 151
الفصل السادس	الفيزياء الحديثة	198 - 175
الفصل السابع	الكترونيات الحالة الصلبة	226 - 199
الفصل الثامن	الأطياف الذرية والليزر	254 - 227
الفصل التاسع	الفيزياء النووية	282 - 255