الفصل السادس

الفصل السادس

٦-الكيمياء النووية للاكتنيدات

٦-١مقدمة

تهتم الكيمياء النووية بتفاعلات تحصل في نواة الذرة بمشاركة النواة، وتحدث نتيجة تغير في أنوية الذرات بخلاف التفاعلات الكيميائية التي تتم بين المواد المتفاعلة للحصول على نواتج مختلفة بمساهمة الإلكترونات الخارجية (إلكترونات التكافؤ) دونما حدوث تغير أو تبديل لنواة الذرة. وقد بدأ الاهتمام بهذا الفرع من علم الكيمياء عند اكتشاف ظاهرة الإشعاع الطبيعي على يد العالم هنري بيكيورل (Henri Becquerel) الذي لاحظ ظهور بقع لامعة على ألواح التصوير عند تعريضها لأملاح اليورانيوم؛ مما دل على أن أملاح اليورانيوم تبعث نوعاً من الإشعاع، ثم تبين فيما بعد أن نواة اليورانيوم (U) تطلق جسيمات عرفت بجسيمات ألفا وتتحول لعنصر الثوريوم(Th)، وللكيمياء النووية الكثير من التطبيقات المدنية والحربية.

تعتمد التطبيقات الحالية على الخواص النووية للعناصر الأكتينية، فنجد أن عناصر الثوريوم، واليورانيوم، والبلوتونيوم تستخدم في مجالات الطاقة النووية وإن كان هناك توجه للحد من استخدام هذه العناصر- في الوقت الحاضر- وقوداً نووياً وإبدالها بالوقود السيراميكي، ولقد أمكن الاستفادة من الانفجارات النووية للأغراض السلمية بإنتاج تصميمات للطاقة الحرارية النووية، والتي قللت لحد بعيد من مشاكل الإشعاعات النووية، وضاعفت من تحويل الطاقة الحرارية لطاقة كهربائية.

ومن الاستخدامات الأخرى استخدام نظير عنصر البلوتونيوم (^{238}Pu) مصدراً مباشراً للطاقة الحرارية في برامج سفن الفضاء الأمريكية أبولو، أما في المجال الطبي فقد تم استبدال البطاريات الكيميائية المستخدمة بجهاز تنظيم نبضات القلب التي كانت يلزم تغييرها كل سنة أو سنتين بأخرى تدوم لعشر سنوات، وذلك باستخدام كمية بسيطة من نظير عنصر البلوتونيوم (^{238}Pu) تقدر بـ (200 mg) كما استخدم هذا النظير مصدراً للطاقة في القلب الصناعي.

من ناحية أخرى أمكن استخدام بعض العناصر الأكتينية مصادر للإشعاع النيتروني كما يتبين من الجدول التالي (جدول ٦-١):

جدول ٦ – ١ المصادر الرئيسه للنيترونات

المصدر	عمر النصف *t	متوسط طاقة النيترون (meV)	عدد النيترونات (n/sec) لكل وحدة كوري للنيوكليد المشع
^{238}Pu - Be	86.4 y	4	2.8×10^6
^{239}Pu - Be	2.4×10^4 y	4.5	2.0×10^6
^{241}Am - Be	433 y	4	2.0×10^6
^{242}Cm - Be	163 d	4	4×10^6
^{244}Cm - Be	18.1 y	4	3×10^6
^{252}Cf	2.65 y	2.3	4.4×10^9

D= day, y = year *

ومما تجدر الإشارة إليه أن بعض هذه العناصر تعد مصادر لإشعاعات جاما وألفا، حيث وجد أن أهم مصدر لهذه الإشعاعات هو نظير عنصر الأمريكيوم (^{241}Am) الذي يبث ما مقداره (59.6 kev) من أشعة جاما، والتي من أهم

استخداماتها الطبية التشخيص لأمراض الغدة الدرقية، أما في المجال الحربي فهناك الكثير من أسلحة التدمير الشامل لعل أهمها القنابل النيترونية.

ولمعرفة بعض أوجه الشبه والاختلاف بين التفاعلات النووية، وغير النووية (الكيميائية) نجري المقارنة التالية:

	النووية	الكيميائية
١-	تصحب التفاعلات بانطلاق أو امتصاص كميات هائلة من الطاقة	الكمية الناتجة أو الممتصة من الطاقة أقل
٢-	تتحول نواة العنصر إلى نواة نظير آخر له	تترتب الذرات بتكوين أو بتكسير الروابط
٣-	يتأثر التفاعل بجسيمات البروتون، الإلكترون، النيترون، والجسيمات الأخرى في النواة	الإلكترونات فقط هي المسؤولة عن تكوين وكسر الروابط
٤-	لا يتأثر معدل التفاعل بعوامل الضغط، الحرارة، العامل الحافز	يتأثر المعدل بهذه العوامل إلى جانب تركيز المواد المتفاعلة

من ناحية أخرى يمكن تقسيم التفاعلات النووية لنوعين اثنين هما:

١ - التفاعل التلقائي Spontaneous Reaction

وهو التفاعل الذي يحصل دون مؤثر خارجي، أي الذي يحدث في أنوية بعض ذرات العناصر بصورة مستمرة (تحول اليورانيوم لثوريوم) حيث تتفكك نواة

النظير تلقائياً إلى نواة عنصر أصغر (أو نواة ذات قيمة طاقة أقل) مع إصدار جسيمات نووية مثل: ألفا أو بيتا أو جاما:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{-\alpha} {}^{4}_{2}He + {}^{234}_{90}Th \qquad (1)$$

$$^{234}_{90}Th \xrightarrow{-\beta} {}^{0}_{-1}e + {}^{234}_{91}Pa \qquad (2)$$

$$^{234}_{91}Pa \xrightarrow{-\beta} {}^{0}_{-1}e + {}^{234}_{92}U \qquad (3)$$

$$^{234}_{92}U \xrightarrow{-\alpha} {}^{4}_{2}He + {}^{230}_{90}Th \qquad (4)$$

ويعرف هذا النوع من النظائر التي يحدث لها هذا التفكك بالنظائر المشعة (radioactive isotopes) تمييزاً لها عن النظائر غير المشعة المستقرة (stable isotopes) .

٢-التحول النووي Nuclear Transmutation

هو التحول الذي يحدث تجريبياً في المختبرات المتخصصة، ويحصل نتيجة قذف نووي (nuclear bombardment) حيث تتغير نواة ذرة عنصر لنواة عنصر آخر عندما تحصل عملية أسر (capturing) لنواة ذرة العنصر الأول، ويضم هذا النوع عدة أنواع من التفاعلات هي:

١- ظاهرة النشاط الإشعاعي الاصطناعي

هي الظاهرة التي يتم فيها تحضير عنصر مشع اصطناعياً (artificially radioactive)، وقد تمكن العلماء من إنتاج ما يزيد على (1300) من النظائر النشطة إشعاعياً، وتنتج هذه النظائر من قذف النظائر المستقرة بأنواع

مختلفة من الجسيمات النووية مثل: ألفا، والبروتونات، والنيتروتونات، وأشعة جاما مثال ذلك:

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{30}_{15}P \qquad (5)$$

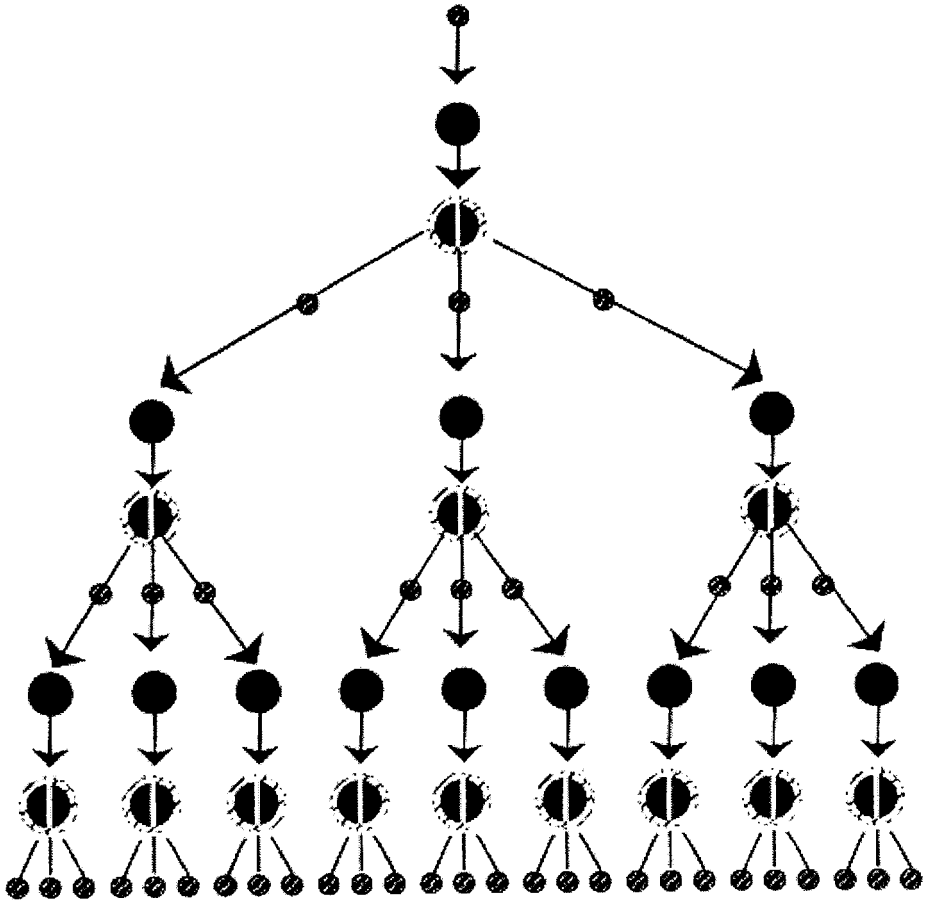
$$^{30}_{15}P \longrightarrow {}^{0}_{+1}\beta + {}^{30}_{14}Si \qquad (6)$$

٢- تفاعلات الانفلاق النووي Nuclear fission Reactions

يتم هذا النوع من التفاعلات بنفاذ النيترون- وهو جسيم متعادل الشحنة - إلى النواة. وقد لاحظ العالمان هـــان، وستراســـمان (Hahn and Strassmann) تكـــوُّن عنصر الباريوم(Ba) في عينات من اليورانيوم قُذفت بالنيترونات، وكان تفسير ذلك أن الباريوم تكوَّن نتيجة لانفلاق اليورانيوم بعد قذفه بالنيترون:

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{236}_{92}U \longrightarrow {}^{139}_{56}Ba + {}^{94}_{36}Kr + 3\,{}^{0}_{-1}e \qquad (7)$$

وما دامت ثلاثة نيترونات قد نتجت من هذا الانفلاق، وأن النيترونات هي أحد المتفاعلات، فإن التفاعل الأصلي قادر على حث تفاعلات أخرى، وهذه بدورها تحث تفاعلات أخرى أيضاً، وهكذا دواليك لنحصل على سلسلة من التفاعلات، كما يتضح من الشكل (٦-١).



شكل ٦ـ١ سلسلة الانفلاق النووي لليورانيوم $^{235}_{92}U$

ويتم تحضير النبتونيوم والبلوتونيوم بالطريقة نفسها:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{92}U \qquad (8)$$

$$^{239}_{92}U \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e \qquad (9)$$

$$^{239}_{93}NP \longrightarrow ^{239}_{94}Np + ^{0}_{-1}e \qquad (10)$$

٣- تفاعلات الاندماج النووي Nuclear Fusion Reactions

أي التفاعلات التي تتم بدمج نواتين خفيفتين للحصول على نواة عنصر أثقل، ويحتاج هذا النوع لحدوثه توفير قدر عال من طاقة التنشيط تنتج عنها كمية كبيرة من الطاقة بالمقارنة بتلك الناتجة عن تفاعلات الانفلاق النووي، والتفاعلات الرئيسة هي:

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

(11)

$$^{1}_{0}n + {}^{6}_{3}Li \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{1}H \qquad (12)$$

$$^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n \qquad (13)$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H \qquad (14)$$

$$^{1}_{1}H + {}^{7}_{3}Li \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He \qquad (15)$$

ويأمل العالم في إنتاج الكهرباء من التفاعلات الاندماجية للأنوية، ويتوقع أن يكون التفاعل التالي هو الأساس:

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17.6Mev \qquad (16)$$

٦-٢مصطلحات عامة

١- النواة Nucleus

هي مركز الذرة، وعلى الرغم من أنها تشغل جزءاً يسيراً فقط من الذرة إلا أنها تحتوي على معظم الكتلة، حيث يوجد بها البروتون والنيترون.

٢- البروتون The Proton

جسيم موجب الشحنة تبلغ كتلته ($1.67\times10^{-24}g$)، أي أنه أكبر من الإلكترون بحوالي (1839) مرة، وشحنة البروتون مساوية تماماً لشحنة الإلكترون عدا أنها موجبة.

٣- النيترون Neutron

جسيم متعادل الشحنة، وكتلته تساوي كتلة البروتون، ويعتبر النيترون نتاج اتحاد إلكترون وبروتون حيث إن النيترون (خارج النواة) يعيش في المتوسط (12) ثانية ثم يتفكك إلى بروتون:

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e \qquad (17)$$

٤ - عدد الكتلة Mass Number

مجموع البروتونات، والنيترونات في النواة، ويبين عدد الكتلة كتلة الذرة التقريبية.

٥- العدد الذري Atomic Number

هو عدد البروتونات داخل النواة أو عدد الإلكترونات خارجها (وذلك في حالة تعادل الذرة).

٦- النظائر Isotopes

نويات العناصر التي لها العدد الذري نفسه، وتختلف في عدد النيترونات. بمعنى أن العدد الذري لا يتغير مع تغير عدد الكتلة، ويوجد لبعض العناصر نظائر قد تصل إلى (50) نظيراً، وتكون أنوية بعض هذه العناصر مستقرة، بينما يتفكك

بعضها الآخر ويُعد نشطاً إشعاعياً (radioactive)، وتصدر إشعاعات على هيئة جسيمات ألفا وبيتا، مثال ذلك: تريتيوم $_{1}^{3}H$، ديتريوم $_{1}^{2}H$، هيدروجين $_{1}^{1}H$.

٧ - النيكلويدات Nuclides

نويات لنظير معين.

٨ - النظائر المشعة Radioisotopes

الذرات التي لها هذه النويات.

٩ - النظير الأم Parent Isotope

النظير الذي يتحلل.

١٠ - النظير البنت Daughter Ion

النظير الذي يتكوَّن.

١١ - وحدة الكتلة الذرية Atomic Mass Unit (amu)

تستخدم هذه الوحدة لقياس كتل الأنوية، وأساس اشتقاق هذه الوحدة هو أن كتلة نظير الكربون ($_{6}^{12}C$) تساوي (12) وحدة تماماً، بمعنى أن وحدة الكتلة الذرية عبارة عن ($\frac{1}{12}$) من كتلة ($_{6}^{12}C$)، أي ما يساوي (1.65555×10^{24} gm).

١٢ - الإلكترون فولت Electron volt

هي الوحدة الذرية للطاقة، ورمزها (ev)، وتساوي كمية الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون عندما يُسرع بجهد قدره (1volt)

$ev = 1.6021 \times 10^{-19}$ Joule $k.ev = 10^{3}$ ev $= 1.6021 \times 10^{-16}$ Joule

وهناك وحدة أخرى هي الميجا إلكترون فولت، ويرمز لها بالرمز (Mev).

٦ – ٣ كتابة المعادلات النووية ووزنها

تختلف طريقة كتابة المعادلة النووية عن المعادلة الكيميائية حيث يلزم لكتابة الأولى معرفة أعداد كل من البروتونات ($_1^1P$ or $_1^1H$)، والنيترونات ($_0^1n$)، والإلكترونات ($_{-1}^0e$ or $_{-1}^0P$) إضافة للرموز الكيميائية للعناصر بكل معادلة. ولوزن المعادلة النووية لابد من التأكد من أن:

أ – المجموع الكلي للبروتونات والنيترونات على جانبي المعادلة متساوٍ حسب قانون حفظ عدد الكتلة (conservation of mass number).

ب – المجموع الكلي للشحنات النووية على جانبي المعادلة متساوٍ حسب قانون حفظ العدد الذري (conservation of atomic number).

فعند معرفة الأعداد الذرية وأعداد الكتلة لكل نوع عدا واحد يمكن إيجادها له بتطبيق هاتين القاعدتين.

من ناحية أخرى يمكن تقسيم الإشعاع الناتج عن أي مادة مشعة إلى أنواع ثلاثة هي:

١ – جسيمات ألفا (α) (alpha particles)، وشحنتها موجبة.

٢ – جسيمات بيتا (β) (beta particles)، وشحنتها سالبة.

٣ – أشعة جاما (γ) (gama rays)، وهي عديمة الشحنة.

وعندما تطلق نواة إحدى الجسيمات (α) أو (β) سيكون هناك تغير في شحنة النواة، ومن ثم في العدد الذري، فمثلاً يلاحظ أن نواة اليورانيوم ($_{92}^{238}U$) تعطي إشعاعاً من النوع (α)، وذلك بفقد وحدتين من الشحنة، وأربع وحدات من كتلة النواة، ويتكون عنصر الثوريوم ($_{90}^{234}Th$)، فعملية انبعاث جسيم (α) غيرت ذرة اليورانيوم إلى ذرة ثوريوم، أو أن ذرة اليورانيوم تحللت إلى ثوريوم كما يتبين من المعادلة التالية:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \quad or \; {}^{4}_{2}\alpha \qquad (18)$$

جسيمات ألفا

ويتحلل عنصر الثوريوم الناتج لينتج عنصر (Pa) بعملية انبعاث للجسيم (β) كما يتضح في المعادلة التالية:

$$^{234}_{90}Th \longrightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e \qquad (19)$$

ويلاحظ هنا ازدياد العدد الذري بوحدة واحدة وأن انبعاث جسيمات (β) ليس له تأثير على الكتلة. من ناحية أخرى فإن إشعاعات (γ) التي تشع من العنصر المشع لا تظهر في المعادلة النووية.

مثال ٦ – ١ زن المعادلة النووية التالية:

$$^{212}_{84}Po \longrightarrow {}^{208}_{82}Pb + X$$

الحل:

لابد أن يكون لـــ x كتلة تساوي 4

وعدد ذري مساوٍ لـــ 2

أي أن X = He

وعليه تكون المعادلة الموزونة هي:

$$^{212}_{84}P \longrightarrow {}^{208}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$$

أي أن النظير مصدر لجسيمات (α).

مثال ٦ – ٢ زن المعادلة النووية التالية:

$$^{137}_{55}Cs \longrightarrow {}^{137}_{56}Ba + X$$

الحل:

من الواضح في المعادلة تحول نيترون من السيزيوم إلى بروتون وإلكترون أي أن:

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}\beta$$

يلاحظ هنا أن رقم الكتلة لم يتغير، ومنه فإن X تساوي ${}^{0}_{-1}\beta$

$$^{137}_{55}Cs \longrightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^{0}_{-1}\beta$$

مثال ٦ – ٣ زن المعادلة النووية التالية:

$$^{20}_{11}Na \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne + X$$

الحل:

يلاحظ أن رقم الكتلة لم يتغير على جانبي المعادلة، وأن العدد الذري للمادة المتفككة أكثر بواحد من العنصر الناتج:

$$^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}\beta$$

ومنه فإن $X = {}^{0}_{+1}\beta$

وعليه تكتب المعادلة موزونة كما يلي:

$$^{20}_{11}Na \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne + {}^{0}_{+1}\beta$$

٦–٤ قانون التفكك الإشعاعي Radioactive Decay Law

يصعب معرفة الوقت الذي تتفكك فيه نواة معينة، فعند وجود نواة واحدة غير مستقرة يمكن أن تتفكك هذه النواة خلال زمن معين (ثانية، دقيقة، ساعة، يوم، سنة

أو ملايين السنين)، ولكن بوجود عدد كبير جداً من أنوية النظير النشط يمكن معرفة عدد الأنوية التي تخضع للتفكك وعلاقة هذا العدد مع الزمن:

$$N = Ne.e^{-\lambda t} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث:

N عدد الأنوية المتبقية بعد زمن t.

Ne عدد الأنوية عند الزمن صفر.

t زمن التفكك.

λ ثابت التفكك الإشعاعي، وهو احتمال تفكك نواة معينة في ثانية واحدة.

٦-٤-١ الشدة الإشعاعية The Activity

هي عدد النويات التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة، ومن المهم في كثير من الأحيان معرفة عدد النويات التي تتفكك في الثانية وليس عدد النويات المتبقية دون تفكك، ولذا تستخدم العلاقة الرياضية التالية:

$$A = A_0.e^{-\lambda t} \qquad (6\text{-}2)$$

حيث:

A تناقص الشدة الإشعاعية.

A_0 الشدة الإشعاعية في لحظة إعداد العينة.

٦ - ٤ - ٢ معدل التفكك الإشعاعي Rate of Radioactive Decay

إن معدل سرعة التفكك الإشعاعي لكل من المواد المشعة من الرتبة الأولى ولا يتأثر بدرجة الحرارة، وهذا يعني أن طاقة التنشيط تعادل الصفر، وبالتالي فإن معدل سعة التفكك يعتمد على كمية المادة المشعة.

فإذا افترضنا أن عدد ذرات المادة المشعة يعادل (N) وأن (ΔN) هي الكميـــة التي تفككت في زمن قدره (Δt) فإن:

$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = kN \qquad (6\text{-}3)$$

حيث: k تساوي ثابت السرعة.

(الإشارة السالبة تعني اختفاء المادة المشعة).

وبترتيب المعادلة (6-3) نحصل على:

$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = k\Delta t \qquad (6\text{-}4)$$

ونفهم من هذه المعادلة أن الكسر المفقود من المادة المشعة $\frac{[\Delta N]}{N}$ يتناسب طرديـــاً مع الفترة الزمنية (Δt).

وبالطبع فإن الزمن اللازم لتفكك نصف كمية المادة المشعة يعتمد على فتـــرة زمنية تسمى بعمر النصف ($t_{1/2}$) وهي ثابتة.

ويمكن كتابة المعادلة (6-4) بصورتها التفاضلية أي أن:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \qquad (6\text{-}5)$$

وبتكامل المعادلة (6-5):

$$-\ln\frac{N}{N_0} = kt \qquad (6\text{-}6)$$

$$-2.303\log(\frac{N}{N_0}) = kt \qquad (6\text{-}7)$$

حيث: N_0 كمية المادة عند الزمن (t_0) الصفر.

N كمية المادة عند الزمن (t).

وبترتيب معادلة (6-7) نحصل على:

$$\log(\frac{N_0}{N}) = \frac{kt}{2.303} \qquad (6\text{-}8)$$

عند مضي عمر النصف ($t_{1/2}$) فإن ما يتبقى من ذرات المادة المشعة يعادل:

$$N = ½\ N_0 \qquad (6\text{-}9)$$

$$\frac{N}{N_0} = 2 \qquad (6\text{-}10)$$

وبالتعويض في المعادلة (6-8) نحصل على:

$$\log 2 = \frac{k.t_{1/2}}{2.303} \qquad (6-13)$$

$$t_{1/2} = \frac{2.303 \log 2}{k} \qquad (6-14)$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \qquad (6-15)$$

بناء على هذه المعادلة فإنه من المستحيل تفكك كل المادة المشعة.

مثال ٦ – ٤ يتحلل نظير البوتاسيوم المشع إلى الأرجون (^{40}Ar) بعمر نصف قدره ($1.2 \times 10^9 Y$). أجب عن الفقرتين التاليتين:

أ – اكتب معادلة موزونة للتفاعل.

ب – وُجد أن عينة من صخور القمر تحتوى على ما نسبته (18%) من عنصر (^{40}K) و (82%) من عنصر (^{40}Ar)، فما عمر النصف لهذه العينة ؟

الحل:

أ–

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{18}Ar + {}^{0}_{+1}\beta$$

ب–

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$k = \frac{0.693}{1.2\times10^{9}} = 5.7\times10^{-10}$$

$$\log\frac{[A]_0}{[A]} = \frac{\text{k.t}}{2.303}$$

$$\log\frac{1.00}{0.18} = \frac{5.7\times10^{-10}\times t}{2.303}$$

$$t_{1/2} = 3.0\times10^{9}\ year$$

٦-٥ تركيب نواة الذرة

تتكون نواة الذرة من جسمين أساسيين هما البروتون و النيترون، ويعرفان بالنيكلونات (nucleons)، و للنواة شحنة موجبة تساوي عدد البروتونات التي تحتويها ويعرف هذا العدد بالعدد الذري، وتحدد الإلكترونات الخارجية الخواص الكيميائية لكل ذرة، ويعتبر العدد الذري سمة مميزة للعنصر، ويعتقد أن أنوية الذرات الثقيلة مؤلفة من بروتونات و نيترونات متماسكة مع بعضها بقوة تجاذب داخل النواة (interanuclear attractive forces)، هذه القوى تقسم إلى ثلاثة أنواع هي قوى تجاذب بين بروتون وآخر (proton– proton forces)، وقوى تجاذب بين بروتون ونيترون (neutron–proton forces)، وقوى تجاذب بين نيترون وآخر (neutron–neutron forces)، تتساوى هذه القوى الثلاث في مقدارها وتختلف في خواصها بقوة التجاذب الكهربي الساكن (electrostatic)، وبقوة الثقل (gravity)، وتكون قوى التجاذب هذه كبيرة جداً كلما صغرت المسافة بين الجسيمات المذكورة، ولكي تصل النواة لأكثر الأوضاع استقراراً يجب أن تكون قوى التجاذب أكبر من قوى التنافر الموجودة أصلاً بين البروتونات التي تحمل شحنات متشابهة (موجبة) موجودة في حيز صغير كهذا. ويبدو أيضاً أن البروتونات والنيترونات الثقيلة مرتبة في مجموعات، وموجودة في مستويات للطاقة تشبه في ترتيبها هذا للترتيب

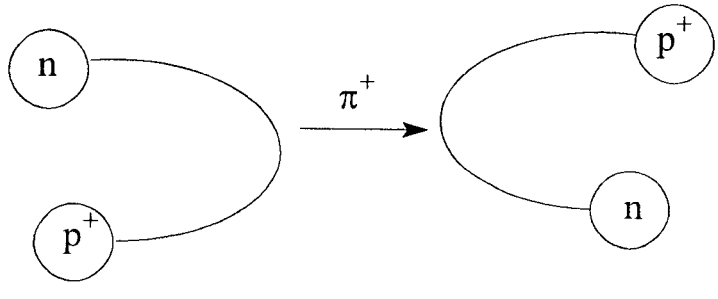
الإلكتروني خارج النواة، و يرى علماء الفيزياء والكيميـاء أن جسـيمات النـواة تتماسك مع بعضها بميزونات من النوع باي (π-mesons)، وهذه الميزونات عبـارة عن جسيمات كتلة كل منها أكبر من كتلة الإلكترون بمقدار(273) مرة، ومنها نـوع موجب الشحنة (+١) ونوع آخر سالب الشحنة (−١)، ويعرف ثلاثـة أنـواع مـن الميزونات هي:

$\pi^{\pm}$ (كتلته = 273)

و π^{0} (كتلته = 264)

ويتبادل البروتون والنيترون الميزونات بطريقة كمية ميكانيكية حيث تتواصل القوة بينهما ليظهرا وكأنهما حالتان أو مظهران لجسيم واحد، وهو النيكليون، هذا التبادل هو:

$$n = p^{+} + \pi^{-}$$
$$p^{+} = n + \pi^{+}$$



يتغير انتقال (π) البروتون لنيترون والعكس صحيح. وكل بروتون أو نيترون موجود داخل النواة محاط بواحد أو أكثـر مـن الميزونـات، وإذا اختلـف عـدد البروتونات أو النيترونات داخل النواة فإن النواة تنفجر وتنطلـق منهـا جسـيمات وطاقة إشعاعية كما هي الحال في العناصر المشعة.

٦ – ٥ – ١ حجم النواة وشكلها

أجرى رذرفورد (Rutherford) قياساته على حجم النواة في أثناء تجاربه على تشتت جسيمات ألفا، ووجد أن تجارب تشتت النيترون لا تنعكس بتأثير التنافر الإلكتروستاتيكي، وأوضحت تجاربه أن نصف قطر النواة يتناسب مع الجذر التربيعى لعدد النيكلونات فيها:

$$r \alpha \sqrt{\text{عدد النيكلونات}}$$

حيث:

r نصف قطر النواة.

ويعطى نصف القطر بالمعادلة التالية:

$$r = r_0 . A^{1/3} \qquad (6\text{-}13)$$

حيث:

A العدد الذري

r_0 ثابت نووي يساوي 1.3×10^{-13}cm

والوحدة النووية للقياس هي الفيرمي (fermi)، ويرمز لها بالرمز (F) وتساوي (1.0×10^{-13} cm)، ويبلغ نصف قطر النظير ($^{1}_{1}H$ 10^{-13} cm × 1.33).

أما نصف قطر النظير (U) فيبلغ (3.25×10^{-13} cm)، وأنصاف أقطار الذرات بما فيها السحابات الإلكترونية أكبر من حجم النويات بمقدار (2000) مرة، وقد أوضحت الدراسات أن كثيراً من النويات كروية الشكل، وهناك مجموعة منها توصف بأنها ممتدة (elongated) بحيث لا تتعدى النسبة بين القطر الأطول إلى الأقصر (1) إلى (2).

٦ – ٦ النشاط الإشعاعي Radioactivity

تتفكك نواة النظير إلى نواة أصغر أو نواة ذات (قيمة) طاقة أقل مع إصدار جسيمات ألفا أو بيتا أو إشعاعات جاما، ويحدث التفكك للنظير النقي الموجود ضمن مركبات كيميائية، وعملية التفكك هذه لا تعتمد على أي من الظروف الطبيعية كالحرارة أو حالة النظير.

٦-٦-١ أشعة ألفا Alpha Rays

تنجذب أشعة ألفا نحو المجال السالب، مما يعني أنها موجبة الشحنة، هذه الأشعة هي أنوية الهيليوم المحتوية على بروتونين ونيترونين، كما أن لها القدرة على الاختراق عند تسليطها على جسم الإنسان.

تتميز أنوية العناصر الأكتينية (الثقيلة) بانخفاض قيمة طاقة الترابط للنيكلون، ولذا فإن هذه الأنوية غير مستقرة بشكل عام بل تتفكك إلى أنوية أخف منها وأكثر استقراراً أيضاً، فنواة اليورانيوم (U) مثلاً تتفكك إلى نواة عنصر (Th) وينطلق جسيم ألفا الذي هو نواة الهيليوم:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}\alpha \qquad (19)$$

$$^{218}_{84}Po \longrightarrow ^{214}_{82}Pb + ^{4}_{2}\alpha \qquad (20)$$

ويشترط لحدوث تفكك كهذا أن تكون كتلة نواة هذا النظير أكبر من مجموع كتل كل من النظير الناتج وجسيم ألفا:

$$M_{parent} - (M_{daughter} + M_{\alpha}) > 0 \qquad (6\text{-}14)$$

حيث:

M_{parent} كتلة النظير الأم

$M_{daughter}$ كتلة النظير البنت

M_{α} كتلة الجسيم ألفا

ويتحقق هذا الشرط لعديد من النظائر الأثقل من الرصاص؛ ولذا يلاحظ أن معظم النظائر الأثقل من الرصاص نشطة إشعاعياً بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا، وتكون طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن النظير نفسه متساوية ومساوية تقريباً للمقدار:

$$E = [M_{Parent} - (M_{daughter} + M_{\alpha})] C^2 \qquad (6\text{–}15)$$

حيث: C سرعة الضوء.

٦– ٧ أشعة بيتا Beta Rays

تتكون هذه الأشعة من جسيمات سالبة الشحنة (إلكترونات تنطلق بسرعة تزيد عن (100,000 mm/ s)) لها القدرة على أن تخترق عدة ملليمترات من جسم الإنسان ولكنها لا تصل للأعضاء الداخلية، وتنتج أشعة بيتا من تحول النيترون إلى بروتون، ويجب أن تكون النسبة بين عدد النيترونات وعدد البروتونات في نواة نظير العنصر بين (1.0) للخفيفة إلى (1.6) للثقيلة.

$$\text{للخفيفة } 1.0 = \frac{\text{عدد النيترونات}}{\text{عدد البروتونات}}$$

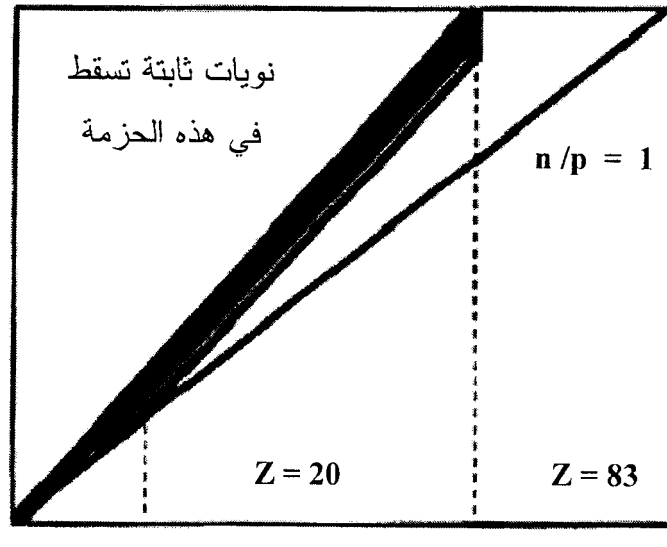
للثقيلة 1.6 = عدد النيترونات / عدد البروتونات

فمثلاً نواة العنصر ($^{12}_{6}C$) مستقرة، حيث إن نسبة النيترونات إلى البروتونات تساوي الوحدة، بينما نواة ($^{14}_{6}C$) غير مستقرة؛ لأن النسبة ~ (1.33)، وبالمثل نجد أن:

$^{133}_{55}Cs \sim 1.418$ مستقرة

$^{137}_{55}Cs \sim 1.490$ غير مستقرة

كما في الشكل أدناه:



الشكل ٦-٢ شريط الاستقرار (نسبة n/p)

٦-٧-١ أنواع تفكك بيتا Beta Decay Types

ينقسم تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع هي:

١- التفكك الإلكتروني Electron Decay

يحدث هذا النوع عند محاولة النواة الوصول إلى وضع أكثر استقراراً، وذلك بتحول نيترون إلى بروتون، وانطلاق إلكترون سالب الشحنة خارجاً عن النواة، وقد ثبت أنه في أثناء عملية التحول ينطلق جسيم آخر هو النيوترينو المضاد (ν)، وتحصل عملية التفكك هذه عند ازدياد نسبة النيترونات إلى البروتونات عن القيمة المحددة من منحنى الاستقرار، ويمثل هذا التحول بالمعادلة التالية:

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p^{+} + e^{-} + \nu^{-}$$

يحدث هذا التفكك في مئات النظائر غير المستقرة (المشعة) حيث تتكون نواة عنصر جديد نتيجة لزيادة عدد البروتونات بمقدار بروتون واحد.

مثال:

$$^{186}_{73}Ta \longrightarrow {}^{186}_{74}W + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{82}_{35}Br \longrightarrow {}^{82}_{36}Kr + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{27}_{12}Mg \longrightarrow {}^{27}_{13}Al + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

٢ – التفكك البوزيتروني Positron Decay

يطلق على تفكك (β^+) وهو انطلاق إلكترون موجب (e^+) من النواة ينتج عنه بوزيترون يرمز له بـ (e^+)، ويحصل هذا التفكك إذا قلت نسبة النيترونات إلى البروتونات عن تلك النسبة المحددة من منحنى الاستقرار، وهو عبارة عن تحول أحد البروتونات فيها إلى نيترون، وينطلق نتيجة التحول جسيم موجب الشحنة يعرف بالبوزيترون، وجسيم آخر هو النيوترينو، ويمثل هذا التفكك بالمعادلة التالية:

$$^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + e^{+} + \nu$$

نيوترينو بوزيترون نيترون

توجد مئات العناصر التي تتفكك نوياتها فيقل عددها الذري بمقدار واحد، ولا يتغير عدد الكتلة، أي يتكون نظير لعنصر جديد، مثال ذلك:

$$^{122}_{53}I \longrightarrow {}^{122}_{52}Te + {}^{0}_{+1}e$$

$$^{38}_{19}K \longrightarrow {}^{38}_{18}Ar + {}^{0}_{+1}e$$

$$^{23}_{12}Mg \longrightarrow {}^{23}_{11}Na + {}^{0}_{+1}e$$

$$^{15}_{8}C \longrightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{+1}e$$

٣ – الأسر الإلكتروني Electron Capture (or K Capture)

يحصل هذا النوع من التفكك عندما تكون النسبة بين النيترونات والبروتونات قليلة، وذلك بأسر النواة لأحد الإلكترونات الذرية القريبة منها (من غلاف K أو L)

يتحد هذا الإلكترون مع أحد بروتونات النواة ثم يحدث تحول البروتون إلى نيترون دون انطلاق أي من جسيمات بيتا خارج النواة، ولكن ينطلق النيوترينو، ويمثل هذا الأسر بالمعادلة التالية:

$$^{1}_{1}P + e^{-} \longrightarrow ^{1}_{0}n + \nu$$

والملاحظ أن الأنوية القابلة للتفكك البوزيتروني يمكن أن يحدث لهـا أسـراً إلكترونياً، ومادام عدد البروتونات يقل بواحد ويزداد عدد النيترونات بواحد فالناتج يقل عدده الذري بوحدة واحدة.

مثال:

$$^{0}_{-1}e + ^{197}_{80}Hg \longrightarrow ^{197}_{79}Au$$

$$^{0}_{-1}e + ^{37}_{18}Ar \longrightarrow ^{37}_{17}Cl$$

$$^{0}_{-1}e + ^{7}_{4}Be \longrightarrow ^{7}_{3}Li$$

$$^{0}_{-1}e + ^{55}_{26}Fe \longrightarrow ^{55}_{25}Mn$$

ويمكننا حساب الطاقة المبثة مباشرة من الوزن الذري، والمثال الأخير أعلاه يبث طاقة مقدارها:

$$54.93805_u - 54.93830_u = {}^{55}_{25}Mn \text{ كتلة} - {}^{55}_{26}Fe \text{ كتلة}$$

$$0.00025 = 0.23 \text{ Mev}$$

يتسبب هذا الأسر الإلكتروني في بث الأشعة السينية (X-rays)، ويحدث عند الأسر الإلكتروني فراغاً في الغلاف (K) أو (L)، وعندما يقع إلكترون خارج هـذا الفراغ يتبعه بث للأشعة السينية.

٦ – ٧ – ٢ استخدامات التفكك الإشعاعي

للتفكك الإشعاعي عدة استخدامات ويتعذر في مثل هذا الإيجاز تغطية هذه الاستخدامات، ويمكن ذكر أمثلة لها، مثل تحديد نسبة اليورانيوم إلى الرصاص، كما يمكن تحديد عمر الصخور التي تحتوي على عنصر اليورانيوم بتحديد نسبة النظير ($^{238}_{92}U$) إلى ($^{206}_{82}Pb$) (عنصر الرصاص هو العنصر الثابت في سلسلة تحول اليورانيوم).

$$\frac{^{238}_{92}U}{^{206}_{82}Pb}$$

أما الصخور التي لا تحتوي على عنصر اليورانيوم فتُحدد تواريخها بطريقة ($K \rightarrow Ar$) باستخدام التفاعل التالي:

$$^{40}_{19}K + ^{0}_{-1}e \longrightarrow ^{40}_{18}Ar$$

يمكن حساب عمر النصف للعظام والأخشاب بقياس نسبة الكربـــون ($^{14}_{6}C$) إلى النظير ($^{12}_{6}C$)، وينتج النظير ($^{14}_{6}C$) المشع من عملية قذف النيترون كما يتضح من المعادلة التالية:

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}P$$

ويمكن أن يتفكك نظير الكربون الناتج وفق المعادلة:

$$^{14}_{6}C \longrightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}n$$

بعمر نصف قدره (5770 y).

يتأكسد النظير ($^{14}_{6}C$) إلى ($^{14}_{6}CO_2$) الذي بدوره يختلط بثاني أكسيد الكربون غير المشع ($^{12}_{6}CO_2$)، يتفكك هذا النظير المشع إشعاعياً، وفي الوقت نفسه يتكون باستمرار حتى يصل لحالة ثبات في النسبة مع ($^{12}_{6}C$)، وهي نسبة ذرة واحدة من ($^{14}_{6}C$) إلى (10^{12}) ذرة من ($^{12}_{6}C$).

يمتص النبات ثاني أكسيد الكربون من الجو في عملية التركيب الضوئي، والنسبة ($^{14}_{6}C/^{12}_{6}C$) في النبات الحي هي النسبة نفسها في الجو المحيط بها، وتبدأ عند موت النبات كمية الكربون المشع في النقصان بسبب التفكك الإشعاعي ولا يعوض عنها بامتصاص (CO_2) من جديد عن طريق النبات بسبب موته.

ذُكر آنفاً أن عمر النصف للكربون المشع ($^{14}_{6}C$)، وهو نظير باعث لجسيمات (β) يعادل (5770 y)، ويمكن تحديد عمر القطعة الخشبية بمقارنة نشاط الكربون المشع بها مع نشاط الكربون المشع في الأشجار الحية النامية.

ولقد طبقت هذه الطريقة في تحديد عمر النصف باستخدام الكربون المشع على موجودات أثرية وتاريخية.

مثال ٦ – ٥

تعطي عينة من الكربون من قطعة خشبية نبضات إشعاعية (Counts) تعادل (7.0) نبضات للكربون ($^{14}_{6}C$) في الدقيقة لكل جرام من الكربون، ما العمر التقديري للقطعة الخشبية علماً بأن ($^{14}_{6}C$) في القطعة الخشبية يتفكك بمعدل سرعة (15.3) في الدقيقة لكل جرام كربون؟

الحل:

عمر نصف النظير ($^{14}_{6}C$) يساوي 5770 y.

إذن:

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{5770y} = 1.20\times10^{-4}\,y^{-1}$$

$$\log(\frac{N_0}{N}) = \frac{kt}{2.303}$$

$$\log\left[\frac{15.3[\text{دقيقة} \quad / {}^{14}_{6}\text{C تفكك} \quad]}{7.0[\text{دقيقة} \quad / {}^{14}_{6}\text{C تفكك} \quad]}\right] = (1.2\times10^{-4}\,y)$$

$$t = \frac{2.303\log 2.19}{1.2\times10^{-4}\,y} = 6520y$$

٦ – ٨ إشعاعات جاما Gama Rays (γ)

تبدأ عملية الإشعاع بفقد النواة أحد جسيمات ألفا أو بيتا، والنواة الناتجة (النظير البنت) تريد الوصول لوضع أكثر استقراراً، ويتأتى هذا بفقدان النواة كمية من الطاقة على شكل إشعاعات كهرومغناطيسية تسمى بأشعة جاما ذات طول موجي قصير جداً، ويمكن الحصول على أشعة (γ) عند إثارة الأنوية المستقرة بطرق مختلفة كالتفاعلات النووية، ثم تعود هذه الأنوية المثارة إلى حالتها المستقرة بعد إصدارها الطاقة الزائدة على هيئة أشعة جاما:

$$[{}^{125}_{52}\text{Te}]^* \longrightarrow {}^{125}_{52}\text{Te} + \gamma$$

حالة مثارة حالة مستقرة

التي هي عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتونات الضوئية، ولكن ترددها عالٍ، أي إن طاقتها عالية مقارنة بالإشعاعات الضوئية، ولكونها

إشعاعات (ليست أجساما مادية) لا تحمل أي شحنة فلا يمكن التحكم في مسارها أو تعجيلها باستخدام المجالات الكهربية أو المغناطيسية.

هذه الإشعاعات المبثة من نواة معينة لها طاقة محددة وقيمة (أو عدة قيم) تقابل الفرق في الطاقة بين المستويات الطاقية المختلفة في النواة، وبالتالي فإن طيف البث لأشعة جاما شبيه بطيف الانتقالات الإلكترونية الذي يقابل الفرق في الطاقة بين المستويات الطاقية في الذرة المثارة.

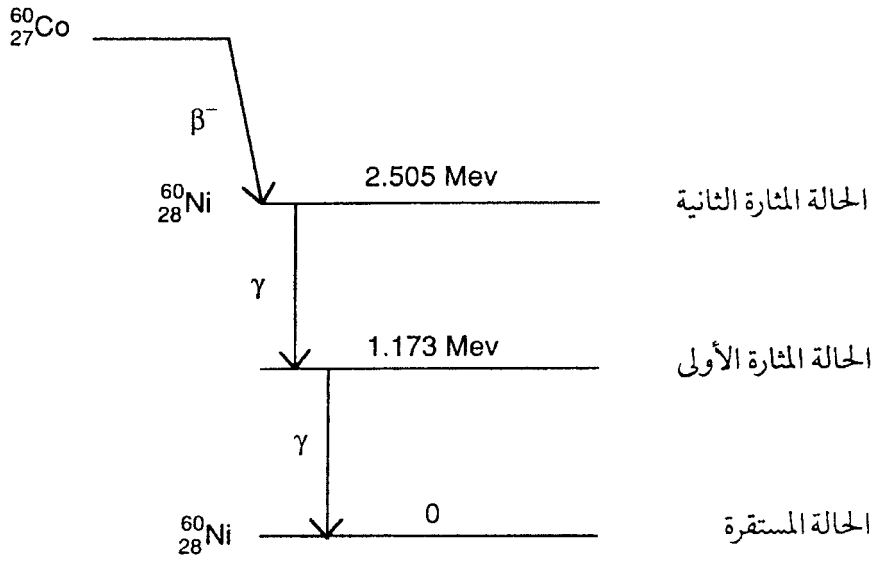
وفي أغلب الأحيان يكون هذا البث لأشعة جاما مصاحباً لكل أنواع التفكك الإشعاعي، مثال ذلك:

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

$$^{240}_{92}\mathrm{U}^{*} \longrightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U} + \gamma$$

٦-٨-١ مصدر إشعاعات جاما (γ) Sources of Gama Rays

من أهم مصادر إشعاعات جاما عنصر الكوبالت ($^{60}_{27}\mathrm{Co}$)، والسيزيوم ($^{137}_{55}\mathrm{Cs}$)، ويتم التفكك أولاً من نوع بيتا لتكوين نظائر النيكل والباريوم المثارة التي تتفكك نتيجة لإشعاع جاما كما يتضح فيما يلي:



(ارجع لطيف الموسبور وتفكك النظير ^{57}Fe)

الخطوات العملية:

١ – تفقد نواة الكوبالت (^{60}Co) جسيم بيتا لتتحول إلى نظير النيكل ($^{60}_{28}Ni$) في الحالة المثارة الثانية:

$$^{60}_{27}Co \longrightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}\beta \quad (2.505\,Mev)$$

٢ – تنتقل نواة النيكل ($^{60}_{28}Ni$) إلى الحالة المثارة الأولى بطاقة قدرها (1.173Mev) فيصدر عن ذلك شعاع جاما حاملاً فرق الطاقة وقدره:

$$E = 2.506 - 1.173 = 1.322\ Mev$$

$$^{60}_{28}Ni \longrightarrow {}^{60}_{28}Ni + \gamma$$

٣ – تنتقل نواة النيكل ($^{60}_{28}Ni$) من الحالة المثارة الأولى إلى الحالة المستقرة فينطلق شعاع آخر حاملاً فرق الطاقة بين الحالتين:

$1.173 - 0.00 = 1.173$ Mev

$$^{60}_{28}\text{Ni} \longrightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + \gamma\ 1.173\,\text{Mev}$$

وبصفة عامة فإن طاقة الفوتون المنطلق من تحول النواة من الحالة المثارة بطاقة (E_i) إلى حالة أقل طاقة (E_f) هي:

$\Delta E = E_i - E_f$

٦-٨-٢ مصادر النيترونات

هناك مصادر عدة للنيترونات يمكن إيجازها فيما يلي:

١- الراديوم- بريليوم Radium- Berylium

هو خليط من نظير كل من ($^{226}_{88}\text{Ra}$) و ($^{9}_{4}\text{Be}$)، فالراديوم نشط إشعاعياً ويصدر جسيمات ألفا، وعند تصادم جسيمات ألفا مع نواة البريليوم يحدث تفاعل نووي ينتج عنه نواة كربون، وينطلق نيترون وفق التفاعل التالي:

$$^{9}_{4}\text{Be} + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow {}^{12}_{6}\text{C} + {}^{1}_{0}\text{n}$$

ويمكن عند خلط (1.0 g) من (Ra) مع عدة جرامات من (Be) الحصول على مصدر نيترونات يعطي ما مقداره (10^7 neutrons/ s)، وتتراوح طاقة النيترونات بين (1.0-10 Mev).

٢- مصدر النيترونات الفوتوني Photoneutron Source

يستخدم هنا أحد مصادر إشعاعات جاما بدلاً من مصدر جسيمات ألفا، فعند سقوط شعاع جاما على نواة بريليوم ينتج عن ذلك تكون جسيمين من جسيمات ألفا وانطلاق نيترون:

$$^{9}_{4}Be + \gamma \longrightarrow 2\,^{4}_{2}He + \,^{1}_{0}n$$

ولحدوث التفاعل يجب ألا تقل طاقة إشعاع جاما عن (1.67 Mev)؛ لذا يمكن استخدام الصوديوم (^{24}Na) الذي يصدر إشعاعات جاما بطاقة قدرها (2.76 Mev) وبوضع الصوديوم (^{24}Na) مع البريليوم يمكن الحصول على مصدر نيتروني يتميز عن السابق بأن طاقة النيترونات تأخذ قيمة واحدة:

$$Na \longrightarrow \gamma$$

$$Na - Be \longrightarrow \,^{1}_{0}n$$

٣- معجلات الجسيمات المشحونة

يتم الحصول على نيترونات ذات طاقة محدودة؛ وذلك بقذف بعض الأنوية الخفيفة بالجسيمات المشحونة كالبروتونات أو الديرترونات المعجلة حتى طاقة معينة:

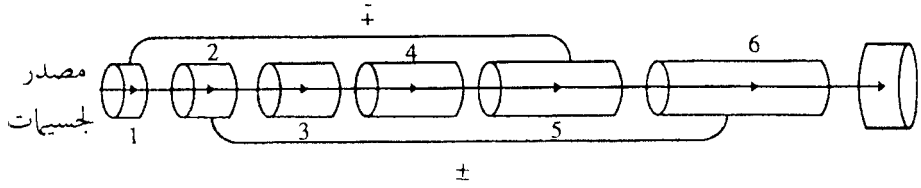
$$^{9}_{4}Be + \,^{2}_{1}H \longrightarrow \,^{10}_{5}B + \,^{1}_{0}n + 4.35\,Mev$$

$$^{2}_{1}H + \,^{2}_{1}H \longrightarrow \,^{3}_{2}He + \,^{1}_{0}n + 17.6\,Mev$$

$$^{2}_{1}H + \,^{3}_{1}H \longrightarrow \,^{4}_{2}He + \,^{1}_{0}n + 17.6\,Mev$$

ويستخدم التفاعل لعمل مولدات النيترونات (neutron generators) حيث يتم تعجيل الديدترونات حتى طاقة مقدارها (150 kev) يقذف بها هدف من الترتيوم فتنطلق النيترونات، ويبلغ عدد النيترونات الناتجة ما مقداره (10^{11} neutron/ s).

ويتم في المعجلات الخطية تعجيل الجسيمات بتمريرها من خلال مجموعة أنابيب مفرغة، انظر الرسم أدناه:



ينجذب الجسيم ذو الشحنة الموجبة في الأنبوب رقم (1) سالب الشحنة، في هذا الوقت تكون الأنابيب الحاملة للرقم الفردي سالبة الشحنة، وتلك الحاملة للرقم الزوجي موجبة الشحنة، وعند خروج الجسيم من الأنبوب رقم (1) تنعكس الشحنات للأنابيب فيُطرَد الجسيم من الأنبوب (1) الذي أصبح موجب الشحنة الآن وينجذب الجسيم للأنبوب رقم (2) الذي صار سالب الشحنة، وبالتالي يحدث التعجيل للجسيم. وفي كل مرة يخرج الجسيم من أنبوب لآخر- تنعكس الشحنة للأنبوب- وما دامت قطبية الأنابيب تنعكس عند أوقات زمنية ثابتة، وأن سرعة الجسيمات تزداد بثبات، فلا بد من أن يزداد طول الأنبوب الثاني عن الذي يسبقه، وهكذا تخرج الجسيمات المعجلة من الأنبوب الأخير بسرعة هائلة لتصطدم بالهدف.

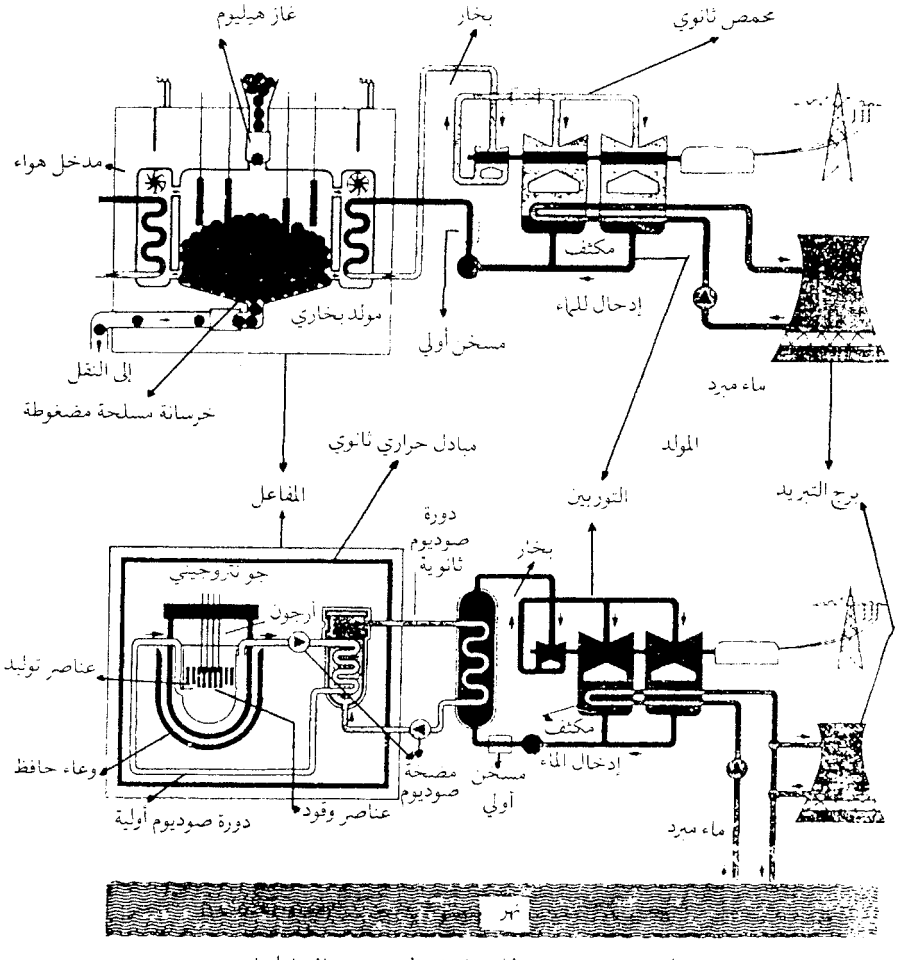
٤- المفاعلات النووية Nuclear Reactors

هي أكبر مصدر للنيترونات على الإطلاق حيث يمكن أن تتراوح كثافة التيار النيتروني داخل المفاعل ما بين ($10^{13} - 10^{14}$ neutron / s.cm^2)، وتنتج النيترونات داخل المفاعلات عن انقسام أنوية اليورانيوم كما يلي:

(أ) يؤدي انقسام نواة اليورانيوم لنواتين إلى عدد محدود من النيترونات.

(ب) يؤدي اصطدام هذه النيترونات المنطلقة بأنوية يورانيوم أخرى إلى انقسامها وانطلاق عدد من النيترونات.

(ج) يتكرر ذلك بما يعرف بالتفاعل المتسلسل (chain reaction) حيث تبدأ نواة واحدة بالانقسام وينطلق عدد من النيترونات وليكن اثنان، ثم ينقسم كل منها إلى نواة جديدة فيصبح عدد النيترونات مساوياً لـــ (4)، ثم تنقسم النويات الأربع فيتضاعف عدد النيترونات المنطلقة، وهكذا إلى أن يصل عدد النيترونات إلى حد معين يجب ألا يتخطاه وإلا انفجر المفاعل (انظر شكل ٦-٣):



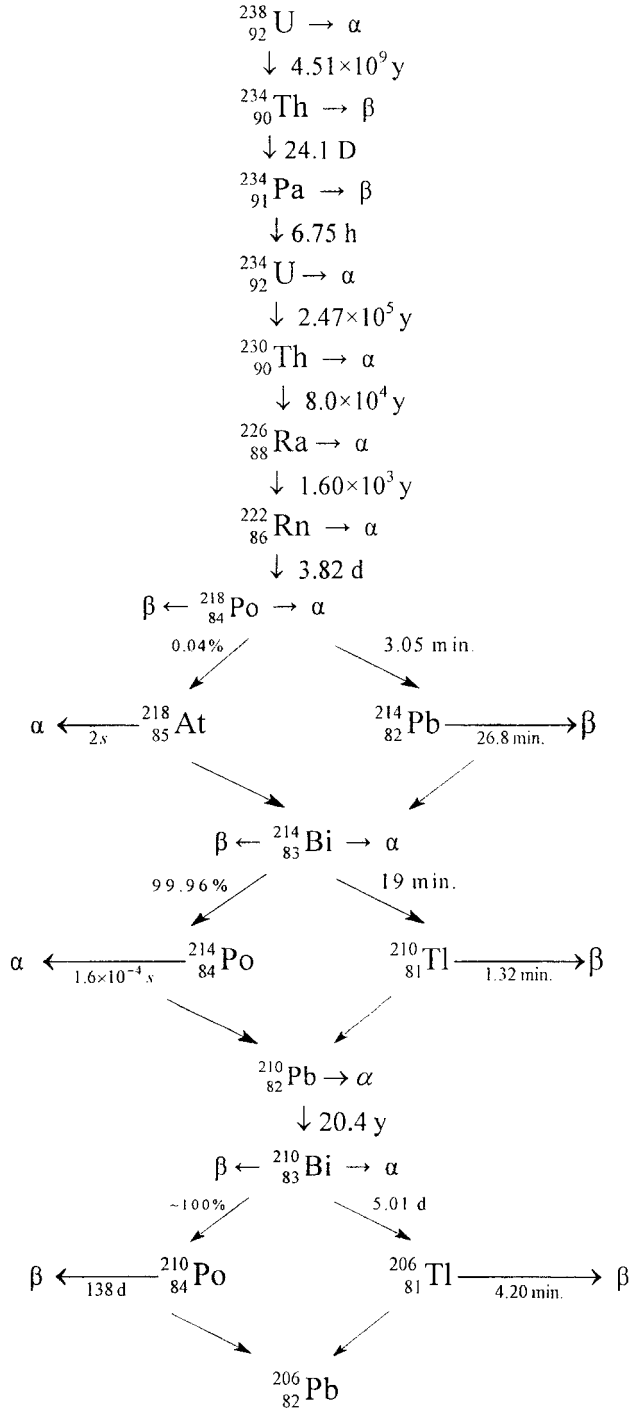
شكل ٦ـ٣ صورة للمفاعل النووي عالي الحرارة

٦-٩ السلاسل الإشعاعية الطبيعية Natural Radioactive Series

تتميز جميع الأنوية ذات العدد الذري الأكبر من (82) بالنشاط الإشعاعي، ويرجع السبب في ذلك لزيادة عدد البروتونات في النواة مما يجعل قوى التنافر الكهروستاتيكي كبيرة، وتؤدي قوى التنافر إلى تفكك هذه الأنوية مع إصدار جسيمات ألفا، ونتيجة لإصدار هذه الجسيمات تزداد نسبة النيترونات إلى البروتونات في النويات الناتجة (daughters) مما يؤدي إلى تفككها مع إصدار الإلكترونات فتصل النسبة إلى نسبة الاستقرار ولكنها تكون غير مستقرة بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا، وهكذا حتى الوصول لأكثر الأنوية استقراراً وهو الرصاص كما في الجدول والمخطط التاليين:

جدول ٦-٢

السلسة	عنصر نهاية السلسلة	النواة الأطول عمراً	عمرها النصفي
Th	$^{208}_{82}Pb$	$^{232}_{90}Th$	1.139×10^{10} y
U – Ra	$^{206}_{82}Pb$	$^{238}_{92}U$	4.47×10^{9} y
Ac	$^{207}_{82}Pb$	$^{235}_{92}U$	8.21×10^{6} y


$^{238}_{92}U \rightarrow \alpha$
$\downarrow 4.51\times10^{9}$ y
$^{234}_{90}Th \rightarrow \beta$
$\downarrow$ 24.1 D
$^{234}_{91}Pa \rightarrow \beta$
$\downarrow$ 6.75 h
$^{234}_{92}U \rightarrow \alpha$
$\downarrow 2.47\times10^{5}$ y
$^{230}_{90}Th \rightarrow \alpha$
$\downarrow 8.0\times10^{4}$ y
$^{226}_{88}Ra \rightarrow \alpha$
$\downarrow 1.60\times10^{3}$ y
$^{222}_{86}Rn \rightarrow \alpha$
$\downarrow$ 3.82 d
$\beta \leftarrow {}^{218}_{84}Po \rightarrow \alpha$
0.04%
3.05 min.
$\alpha \xleftarrow[2s]{} {}^{218}_{85}At$
$^{214}_{82}Pb \xrightarrow[26.8\,min.]{} \beta$
$\beta \leftarrow {}^{214}_{83}Bi \rightarrow \alpha$
99.96%
19 min.
$\alpha \xleftarrow[1.6\times10^{-4}s]{} {}^{214}_{84}Po$
$^{210}_{81}Tl \xrightarrow[1.32\,min.]{} \beta$
$^{210}_{82}Pb \rightarrow \alpha$
$\downarrow$ 20.4 y
$\beta \leftarrow {}^{210}_{83}Bi \rightarrow \alpha$
~100%
5.01 d
$\beta \xleftarrow[138\,d]{} {}^{210}_{84}Po$
$^{206}_{81}Tl \xrightarrow[4.20\,min.]{} \beta$
$^{206}_{82}Pb$

مثال ٦-٦

ما الشدة الإشعاعية بوحدة (millicurie) لعينة من النظير ($^{237}_{93}Np$) قدرها (0.500 g) حيث يتفكك هذا النظير بفقده لجسيم ألفا وله عمر نصف ($t_{1/2} = 2.20 \times 10^6$ y)؟ اكتب المعادلة النووية للتحلل.

الحل:

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{2.20\times10^{6}\,y} \times \frac{1year}{365} \times \frac{1day}{24h} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$k = 9.9\times10^{-5}\,s^{-1}$$

$$Rate = k\,[N_p]$$

نحسب عدد المولات:

1 mol contains 237 g

X mol contains 0.500g

$$\therefore X = 2.11 \times 10^{-3}\ mol$$

ثم نوجد الشدة الإشعاعية:

$$Rate = 9.9\times10^{-15}\,s^{-1} \times 2.11\times10^{-3}\,mole \times \frac{6.02\times10^{23}\,nucli}{1\ mole\ Np}$$

$$= 1.25\times10^{7}\ \text{disinteg - ratio}\ s^{-1}$$

$$Activity = 1.27\times10^{7}\ \text{disinteg - }s^{-1} \times \frac{1\ millicurie}{3.70\times10^{7}\ \text{disinteg}}$$

$$= 0.343\ millicurie$$

$$^{237}_{93}Np \longrightarrow {}^{233}_{91}Pa + {}^{4}_{2}He$$

خاتمة:

لقد شهد عقد الأربعينيات من هذا القرن صراع التسلح المحموم بين شعوب العالم الذي انتهى آنذاك بتفجير القنبلة النووية فوق هيروشيما، وقد خلّف الحادث مأساة لا يزال ضمير العالم الحي يتألم لها، وخلال خمسين عاماً من اكتشاف ظاهرة الإشعاع استطاع العالم أن يوظف الطاقة النووية للذرات لإنتاج سلاح لم يسبق له مثيل في قوة تدميره. ولقد تطور هذا السلاح لدرجة أصبح معها مستقبل العالم في خطر جاثم. فهل يا ترى لا تؤتمن البشرية على أسرار العلم؟ وهل العلاج هو أن تحجم البشرية عن ارتياد مجالات البحث العلمي من أجل تفادي مآسٍ مستقبلية؟. إن مثل هذا الإجراء غير صحيح، وهو وفي الواقع مستحيل. فقد وضعت البشرية كل ثقتها في البحث العلمي لحل مشاكلها الآنية والمستقبلية، إلا أننا نرى أن هناك خطراً حقيقياً يوازي المنفعة المرجوة من التقنية المطورة، وليس من الحكمة الإفراط في تلك الثقة منخدعين بتلك السرعة التي حقق بها العلماء بعض المنجزات الباهرة التي أدت لحل بعضٍ من تلك المشكلات. إن هذه المنجزات ليست بالضمان الكافي الذي يجعلنا نؤمن أن العلم سيحل معظم المشكلات وبالسرعة المطلوبة ودون ضحايا.

إن المعرفة سلاح ذو حدين، فالانشطار النووي قد وظف في الدمار كما وظف لإنتاج الطاقة ولحل مشكلات الصناعة في العالم الغربي، وهذا الاستخدام السلمي سيكون خيراً للبشرية متى ما استطعنا أن نبعد شبح التلوث الإشعاعي والحراري الناتج عنه، وما حادث المفاعل النووي بتشيرنوبيل بالاتحاد السوفياتي السابق ببعيد عن الأذهان.

إننا قد نؤمن بأن العلم والمعرفة يقفان في خانة الحياد من الأخلاق والدين، إلا أنه من الضروري أن نتعلم كيف نستخدم هذه المعرفة استخداماً أخلاقياً يؤمن للبشرية بقاءها الروحي والمادي.

ثوابت فيزيائية

ثوابت طبيعية

قائمة بالأوزان الذرية للعناصر

اسم العنصر	الرمز	الوزن الذري	اسم العنصر	الرمز	الوزن الذري
Actinium	Ac	227.028	Hydrogen	H	1.00794
Aluminum	Al	26.98154	Indium	In	114.82
Americium	Am	243	Iodine	I	126.9045
Antimony	Sb	121.75	Iridium	Ir	192.22
Argon	Ar	39.948	Iron	Fe	55.847
Arsenic	As	74.9216	Krypton	Kr	83.80
Astatine	At	210	Lanthanum	La	138.9055
Barium	Ba	137.33	Lawerencium	Lr	260
Berkelium	Bk	247	Lead	Pb	207.2
Beryllium	Be	9.01218	Lithium	Li	6.941
Bismuth	Bi	208.9804	Lutetium	Lu	174.967
Boron	B	10.81	Magnesium	Mg	24.305
Bromine	Br	79.904	Manganese	Mn	54.9380
Cadmium	Cd	112.41	Mendelevium	Md	258
Calcium	Ca	40.08	Mercury	Hg	200.59
Californium	Cf	251	Molybdenum	Mo	95.94
Carbon	C	12.011	Neodymium	Nd	144.24
Cerium	Ce	140.12	Neon	Ne	20.179
Cesium	Cs	132.9054	Neptunium	Np	237
Chlorine	Cl	35.453	Nickel	Ni	58.69
Chromium	Cr	51.996	Niobium	Nb	92.9061
Cobalt	Co	58.9332	Nitrogen	N	14.9967
Copper	Cu	63.546	Nobelium	No	259
Curium	Cm	247	Osmium	Os	190.2
Dysprosium	Dy	162.50	Oxygen	O	15.9994
Einsteinium	Es	252	Palladium	Pd	106.42
Erbium	Er	167.26	Phosphorus	P	30.97376
Europium	Eu	151.96	Platinum	Pt	195.08
Fermium	Fm	257	Plutonium	Pu	244
Fluorine	F	18.998403	Polonium	Po	209
Francium	Fr	223	Potassium	K	39.0983
Gadolinium	Gd	157.25	Preseodymium	Pr	140.9077
Gallium	Ga	69.72	Promethium	Pm	145
Germanium	Ge	72.59	Protactinium	Pa	231.0359
Gold	Au	196.9665	Radium	Ra	226.0254
Hafnium	Hf	178.49	Radon	Rn	222
Helium	He	4.00260	Rhenium	Re	186.207
Holmium	Ho	164.9304	Rhodium	Rh	102.9055

اسم العنصر	الرمز	الوزن الذري	اسم العنصر	الرمز	الوزن الذري
Rubidium	Rb	85.4678	Thallium	Tl	204.383
Ruthenium	Ru	101.07	Thorium	Th	232.0381
Samarium	Sm	150.36	Thulium	Tm	168.9342
Scandium	Sc	44.9559	Tin	Sn	118.69
Selenium	Se	78.96	Titanium	Ti	47.88
Silicon	Si	28.0855	Tungsten	W	183.85
Silver	Ag	107.8682	Uranium	U	238.0289
Sodium	Na	22.98977	Vanadium	V	50.9415
Strontium	Sr	87.62	Xenon	Xe	131.29
Sulfur	S	32.06	Ytterbium	Yb	173.04
Tantalum	Ta	180.9479	Yttrium	Y	88.9059
Technetium	Tc	98	Zinc	Zn	65.38
Tellurium	Te	127.60	Zirconium	Zr	91.22
Terbium	Tb	158.9254			

جدول تحويل وحدات القياس غير الدولية إلى الوحدة الدولية (SI)

التحويل	الوحدة غير الدولية	الوحدة الدولية (SI)	الكمية
1 ft^2 = 0.9290304 m^2	ft^2	m^2	Area
1 acre = 4.046856 x 10^3 m^2	acre		
1 cm^2 = 10^{-4} m^2	cm^2		
1 hectare = 10^4 m^2	hectare		
1 gm/cm^3 = 10^3 kg/m^3	gm/cm^3	kg/m^3	Density
1 lb/ft^3 = 16.01846 kg/m^3	lb/ft^3		
1 mole e^- = 9.6485 x 10^4 C	mole electrons	coulomb(C)	Electric Charge
1 V = 1 J/C	joule/coulomb	volt(V)	Electric Polential
1 cal = 4.184 J	Calorie	joule (J)	Energy
1 L-atm = 107.3 J	L-atm		
1 erg = 10^{-7} J	erg		
1 kwh = 3.6 x 10^6 J	kilowatt-hour		
1 BTU = 1.055 x 10^3 J	BTU		
1 $kg\text{-}m^2/s^2$ = 1 J	$kg\text{-}m^2/s^2$		
1 cal/K = 4.184 J/K	Cal/K	J/K	Entropy
1 dyn = 10^{-5} N	dyne	Newton (N)	Force
1 Hz = 1 cycle/s	cycle/second	hertz (Hz)	Frequency
1 in = 0.0254 m	inch	metre (m)	length
1 mile = 1.609344 Km	mile		
1 Å = 10^{-10} m = 10^{-1} nm	angstrom		
1 micron = 10^{-6} m	micron		

تابع جدول تحويل وحدات القياس غير الدولية إلى الوحدة الدولية (SI)

التحويل	الوحدة غير الدولية	الوحدة الدولية (SI)	الكمية
1 lb = 0.45359237 kg = 16 ounces	pound	Kilogram(kg)	Mass
1 t = 10^3 kg = 2204.6 lbs	metric ton (t)		
1 ton= 2000 lb= 9.0718474 x 10^2kg	ton (short)		
1 atomic mass units = 1.66056 x10^{27} kg	atomic mass unit		
1 W = 1 J/s	Joule/Second	Watt (W)	Power
1 atm = 101.325 kPa	atmosphere	Pascal (Pa)	Pressure
1 bar = 10^5 Pa	bar		
1 mmHg = 133.322 Pa = 1 torr	mm Hg = torr		
1 lb/in^2 = 6.894757 kPa	lb/in^2		
1 N/m^2 = 1 kn m-s^2 = 1 Pa	N/n^2 kg/m-s^2		
1 t (°C) = K - 273.15	Celsius degree	kelvin (K)	Temperature
T (°F) = - (K) - 459.67	Fahrenheit degree		
1 dyn/cm = 10^{-3} N/m	dynes/cm	N/m	Surface Tension
1L= 1dm^3= 10^{-3}m^3= 1.0567guartz	litre	m^3	Volume
1 cm^3 = 1 ml = 10^{-6} m^3	cm^3		
1 ft^3 = 28.31685 dm^3	ft^3		
1gal = 4gt. = 8pints = 3.785412dm^3	gallon (US)		
1 quart = 32 fluid ounces			

القيمة	الرمز	الثابت
$1.660\ 56 \times 10^{-27}$ kg	u	Atomic mass unit
$6.022\ 05 \times 10^{23}$ mol^{-1}	N_A	Avogadro constant
$1.380\ 66 \times 10^{-23}$ JK^{-1}	k = R/N	Boltzmann constant
$1.602\ 19 \times 10^{-19}$ C	e	Elementary charge
$9.648\ 46 \times 10^{4}$ C mol^{-1}	F = Ne	Faraday constant
8.314 41 JK^{-1} mol^{-1}	R	Gas constant
0.082 06 l.atm K^{-1} mol^{-1}		
$9.109\ 53 \times 10^{-31}$ kg	m_e	Mass of an electron
$5.485\ 80 \times 10^{-4}$ u		
$1.674\ 95 \times 10^{-27}$ kg	m_n	Mass of a neutron
1.008 66 u		
$1.672\ 65 \times 10^{-27}$ kg	m_p	Mass of a proton
1.007 28 u		
$6.626\ 18 \times 10^{-34}$ Js	h	The Planck constant
2.997 924 6 c 10^{8} ms^{-1}	c	Speed of light

ALPHABET TABLE

Greek letter	Greek name	English equivalent	Russian Letter	English equivalent
Α α	Alpha	(a)	А а	(a)
Β β	Beta	(b)	Б б	(b)
Γ γ	Gamma	(g)	В в	(v)
Δ δ	Delta	(d)	Г г	(g)
Ε ε	Epsilon	(e)	Д д	(d)
Ζ ζ	Zeta	(z)	Е е	(ye)
Η η	Eta	(i)	Ж ж	(zh)
Θ θ	Theta	(th)	З з	(z)
Ι ι	Iota	(t)	И и	(i, e)
Κ κ	Kappa	(k)	Й й	(e) 7
Λ λ	Lambda	(l)	К к	(k)
Μ μ	Mu	(m)	Л л	(l)
Ν ν	Nu	(n)	М м	(m)
Ξ ζ	Xi	(ks)	Н н	(n)
Ο ο	Omicron	(o)	О о	(o, o)
Π π	Pi	(p)	П п	(p)
Ρ ρ	Rho	(r)	Р р	(r)
Σ σ s	Sigma	(s)	С с	(s)
Τ τ	Tau	(t)	Т т	(t)
Υ υ	Upsilon	(u, σο)	У у	(σο)
Φ φ	Phi	(f)	Ф ф	(f)
Χ χ	Chi	(h)	Х х	(kh)
Ψ ψ	Psi	(ps)	Ц ц	(ts)
Ωω	Omega	(ø)	Ч ч	(ch)
			Ш ш	(sh)
			Щ щ	(shch)
			Ъ ъ	g
			Ы ы	(é)
			Ь ь	9
			Э э	(e)
			Ю ю	(ü)
			Я я	(yå)

Capital	Small	Name
A	α	Alpha
B	β	Beta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
E	ε	Epsilon
Z	ζ	Zeta
H	η	Eta
Θ	θ	Theta
I	ι	Iota
K	κ	Keppa
Λ	λ	Lambda
M	μ	mu
N	ν	nu
Ξ	ζ	Xi
O	ο	Omicron
Π	π	Pi
P	ρ	Rho
Σ	σ	Sigma
T	τ	Tau
Y	υ	Upsilon
Φ	φ	Phi
X	χ	Chi
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Omega