الفصل الرابع

الكيمياء النووية
Nuclear Chemistry

obeikandl.com

obeikandl.com

مقدمة الفصل :

يختص علم الكيمياء النووية بتركيب النواة وتأثير ذلك على درجة ثباتها. ويتناول دراسة ظاهرة تحول أحد الأنوية إلى الأخرى، مثل: عمليات النشاط الإشعاعى، وكذلك تحول أحد العناصر إلى عنصر آخر. وتشتمل التفاعلات الكيميائية على إعادة ترتيب للإلكترونات الموجودة فى الذرة بحيث تبقى النواة بدون تغير، وعلى جانب آخر تشتمل التفاعلات النووية على تغيرات فى عدد البروتونات أو النيوترونات (أو كليهما)، وبالتالى تتكون نواة جديدة لعنصر جديد.

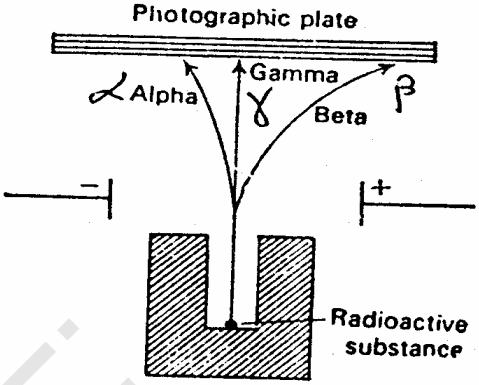
النشاط الإشعاعى Radioactivity

اكتشف بيكريل ظاهرة النشاط الإشعاعى عندما كان يحاول تقييم عملية فسفرة بعض المواد وذلك باستخدام الضوء. ففى عام (1897) عندما وضع بللورات من مادة كبريتات يورانيل البوتاسيوم على لوح فوتوغرافى حساس، بعد تغليفها بورق أسود وبتعريض الكتلة كلها لضوء الشمس، وبعد تحميض اللوح الفوتوغرافى، أتضح أنه أسوّد، وذلك دليلا على أن ملح اليورانيوم بعث بإشعاعات استطاعت اختراق الورقة.

وقد كرر نفس التجربة وذلك بترك كل من اللوح الفوتوغرافى الحساس وملح اليورانيوم الملفوف فى ورق أسود فى مكان مظلم، ووجد أيضاً أن اللوح الفوتوغرافى قد تلون باللون الأسود. من هذه التجارب توصل بيكريل إلى أن الإشعاعات المنبعثة من ملح اليورانيوم أثرت فى اللوح الفوتوغرافى بدرجة كبيرة واخترقت العديد من طبقات الورق الأسود.

اكتشفت مدام مارى كورى أحد تلامذة بكريل أن النشاط الإشعاعى لمركبات اليورانيوم لا يعتمد على نوعية المركب المستخدم وأن كمية الإشعاع المنبعث تعتمد فقط على كمية اليورانيوم الموجودة فى العينة، وقد توصلت إلى أن النشاط الإشعاعى صفة مميزة لبعض العناصر بغض النظر عن مركباتها. وقد وجد أن الإشعاعات المنبعثة من العناصر المشعة تكون غير متجانسة فى

خواصها، وأن هناك ثلاثة أنواع من الإشعاعات، هى: إشعاعات ألفا α، وبيتا β، وجاما γ (أنظر الشكل 47).

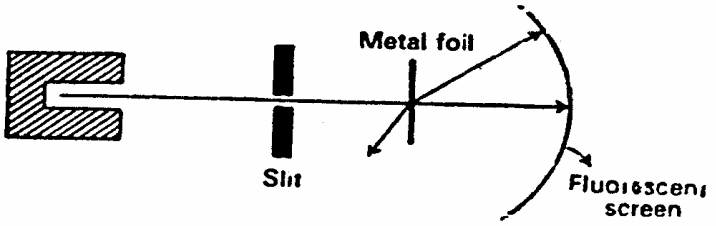


شكل (47): انبعاثات مادة مشعة

خواص أشعة α، β، γ :

(1) **أشعة ألفا α :**

أكتشف طبيعة هذا النوع من الأشعة العالم رذرفورد، فهى عبارة عن دقائق تحمل اثنان من الشحنات الموجبة وهكذا فإن شحنة وكتلة دقائق ألفا تشبه إلى حد كبير نواة ذرة الهيليوم [شكل (48). إنبعاثات مادة مشعة] وعندما تصطدم دقائق ألفا برقيقة من كبريتيد الخارصين فإنها تسبب ومضيا فوسفورياً (شكل 48). وتتراوح طاقات دقائق ألفا بين (4-10 M eV) وأما سرعتها فهى تتراوح بين (1.4×10^9 - 2.2×10^9 cm sec^{-1}) وحيث إن كتلة هذه الدقائق كبيرة نسبياً، فهذه الدقائق يمكن أن تمر فى الغازات فى خطوط مستقيمة، وعندما تمر خلال الغاز فإنه تسبب تأينه، وقد ظهرت خطوط سير دقائق ألفا فى الغازات فى غرفة ولسن للسحاب فى الصور التى التقطت فى هذه الغرفة، وتتناسب كمية دقائق ألفا المنطلقة طرديا مع الجذر التربيعى للوزن الذرى للعنصر، وعكسياً مع كثافة الوسط التى تمر فيه ويمكن لها أن تخترق صفيحة رقيقة من الألومنيوم.



شكل (48): تشتت رقائق ألفا

(2) **أشعة بتيا** β :

بينت دراسة سلوك أشعة بيتا فى المجال الكهربى والمغناطيسى أنها تتكون من دقائق مشحونة تشبه الإلكترونات، وعلى عكس دقائق ألفا فإن دقائق بيتا ليست لديها طاقة محددة وهى تمر خلال الغازات فى مسارات وأشعة بيتا المنبعثة من المواد المشعة يكون لها طيف مستمر وتتميز أشعة بيتا بقدرتها على اختراق المواد.

(3) **أشعة جاما** γ :

أشعة جاما لا تحمل شحنة كهربية فهى لا تنحرف تحت تأثير المجالين الكهربى أو المغناطيسى، وهى عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجى قصير يتراوح طولها بين (10^{-11} - 10^{-8} cm). وتختلف أشعة جاما عن أشعة أكس فى واحد من أهم الخصائص وهى أن أشعة جاما تأتى من النواة بينما تنشأ أشعة إكس من تغيرات فى الطاقة تشتمل على الإلكترونات وتنفذ أشعة جاما بقوة خلال المواد فيمكن أن تخترق رقائق من الرصاص سمكها العديد من السنتيمترات.

التحلل الإشعاعى Radioactive Decay

يسمى رمز العنصر المميز بعدد ذرى وكتلة ذرية معينة بـ " النيوكليد "، فعلى سبيل المثال: $^{12}_{6}C$ هى نيوكليد بعدد ذرى (6) ووزن ذرى (12)، وكذلك $^{14}_{6}C$ تعتبر أيزوتوب للنيوكليد $^{12}_{6}C$ له نفس العدد الذرى ولكن يختلف فى رقم الكتلة فنجد أن النيوكليدات. من النوع $^{14}_{6}C$ ، $^{14}_{7}N$ ليست نظائر، حيث

إن لهما نفس عدد الكتلة ويختلفان فى العدد الذرى، وتسمى هذه النيوكليدات أيزوبارات. وعلى جانب آخر فإن النيوكليدات من الأصناف $^{14}_{7}N$ ، $^{15}_{8}O$ تحتويان على نفس عدد النيوترونات وتسمى أيزوتونات لبعضها البعض. ولا يعتمد معدل انبعاث دقائق من نواة مشعة على الطبيعة الفيزيائية أو الكيميائية للمادة المدروسة حيث إن ظاهرة النشاط الإشعاعى هى ظاهرة نووية. فإن النيوكليد سوف يصدر نفس النوع من الإشعاع بنفس السرعة، بغض النظر عن المركب الذى هو جزء منه، ولا تعتمد على درجة الحرارة أو الضغط وحتى وجوده فى مجال كهربى أو مغناطيسى.

تتناسب عدد الأنوية التى تتحلل فى الثانية الواحدة مع عدد الأنوية الموجودة، فعملية التحلل الإشعاعى من الوجهة الكيناتيكية هى عملية أحادية الرتبة ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية.

وتعتبر قانون سرعة التحلل وتأخذ الصورة التالية :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad (86)$$

حيث N هى عدد الأنوية المتبقية بدون تحلل عند زمن قدره t.

λ (لمدا) هى ثابت التناسب ويسمى " ثابت التحلل "، ويعتبر ثابت التحلل خاصية مميزة للمادة المتحللة.

بإجراء تكامل للعلاقة (1) نحصل على العلاقة التالية :

$$N = N_o\, e^{-\lambda t} \qquad (87)$$

حيث N_o هى العدد الإبتدائى للذرات، وتتميز كل مادة مشعة بفترة تسمى " فترة نصف العمر "، وهى الزمن اللازم لاستهلاك نصف الكمية الابتدائية للمادة المشعة وتساوى النسبة N/N_o. وتعطى فترة نصف العمر بالعلاقة التالية :

$$t_{½} = \frac{\ell n\, 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (88)$$

وتوضح المعادلة (88) أن الزمن اللازم لتحلل نصف كمية المادة المشعة يكون ثابتاً. ولا يعتمد فى ذلك على الكمية الابتدائية للعنصر المشع وهى صفة مميزة للمادة المشعة وفترة نصف العمر للتحلل خاصية مهمة للتعرف على

الأصناف المختلفة للنيوكليدات. وتعرف نشاطية المادة المشعة بأنها مقدار التحلل فى وحدة الزمن والنشاطية (A) مقياس لمعدل التحلل ويتناسب مع عدد الذرات الموجودة أى أن :

$$A = \lambda N$$

وتعرف النشاطية النوعية بعدد التحلل فى وحدة الزمن لكل واحد جرام من المادة المشعة. ويعرف الكورى بأنه النشاطية لعدد 3.7×10^{10} تحلل لكل ثانية والوحدة العملية هى على التوالى ميكروكورى (μ curie) أو ميللى كورى.

مثال(1) :

عنصر الراديوم وزنه الذرى 226 وفترة نصف العمر له هى 1600 سنة. أحسب عدد التحلل الناتجة من 1 جرام من الراديوم ؟

الحل :

فترة نصف العمر

$$\frac{0.693}{\lambda} = t_{½}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{0.693}{1600(365)(24)(60)(60)}$$

$$= 1.38 \times 10^{-11} \text{ sec}^{-1}$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{(1.38 \times 10^{-11})(6.02 \times 10^{23})}{226}$$

$$= 3.7 \times 10^{10} \text{ desintigrations/second}$$

التأريخ بالنشاط الإشعاعى :

نظائر بعض المواد المشعة يكون لها فترة نصف عمر طويلة، ويمكن بذلك استخدامها لتحدد العمر الزمنى. وتستخدم ساعات النشاط الإشعاعى فى التأريخ :

(^4_2He from $^{238}_{94}U$, $^{87}_{38}Sr$ from $^{87}_{37}Rb$, $^{208}_{82}Pb$ from $^{232}_{90}Th$)

ويصل عمر أقدم الساعات أرضية إلى 3×10^9 سنة ويصل عمر بعض الساعات الأخرى يصل إلى 4.5×10^9 سنة.

Obeikandl.com

فعندما يموت نبات أو حيوان سيتوقف عن أخذ أى كربون جديد (فى صورة ثانى أكسيد الكربون فى عملية التمثيل الضوئى) وذلك لأنه بتحلل $^{14}_{6}C$ يختص النشاط الإشعاعى للكربون وقد وجد " **Libby** " أنه طالما أن شدة الأشعة الكونية لم تتغير فى السنوات الألف الأخيرة فإن النشاط الإشعاعى لـ ^{14}C (وذلك فى الكربون المأخوذ من الأشياء القديمة) يمكن مقارنته بالنشاط الإشعاعى لـ ^{14}C فى الكربون الحديث ويمكن فى هذه الحالة استخدامها لقياس عمر الأشياء وتسمى هذه الطريقة التأريخ بالكربون وتعتبر من الطرق العالمية القديمة فى علم الآثار وتسمح لقياس عمر الأشياء.

مثال (2) :

وجد أن عينة الكربون من شجرة معمرة أعطت عدد 7.0 من $^{14}_{6}C$ لكل دقيقة لكل جرام من الكربون. ما هو العمر التقريبى لهذه الشجرة؟ يتحلل $^{14}_{6}C$ من الأشجار المقطوعة حديثا بمعدل 15.3 تحلل لكل دقيقة لكل جرام من الكربون وكانت فترة نصف العمرلـ $^{14}_{6}C$ هى 5770 سنة.

الحل :

حيث إن فترة نصف العمر للكربون $^{14}_{6}C$ هى 5770 سنة.

$$\therefore \quad K = \frac{0.693}{t_{½}}$$

$$= \frac{0.693}{5770 \text{ years}} = 1.20 \times 10^{-4} \text{ years}^{-1}$$

$$\because \quad \log\left(\frac{N_o}{N}\right) = \frac{kt}{2.303}$$

$$\therefore \quad \log\left(\frac{15.3 \text{ desintigrations/min}}{7.00 \text{ desintigrations/min}}\right) = \frac{1.20 \times 10^{-4} \text{ years}^{-1} \times t}{2.303}$$

$$t = \frac{2.303 \log 2.19}{1.20 \times 10^{-4} \text{ years}^{-1}} = 6520 \text{ years}$$

قانون إزاحة المجموعات Group displacement law

عندما تبعث المادة المشعة بدقائق ألفا تنتج ذرة من عنصر جديد عدده الذرى يقل بمقدار 2 وحدات ويقل وزنه الذرى بمقدار 4 وحدات عن الذرة الأصلية. فعلى سبيل المثال عندما تنبعث دقائق ألفا من نظير الراديوم عدد كتلته 224 نحصل على عنصر الرادون

$$^{224}_{88}Ra \longrightarrow {}^{220}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

وعلى جانب آخر فإن انبعاث دقائق بيتا السالبة من النواة يؤدى إلى زيادة فى العدد الذرى بمقدار الوحدة وذلك وبدون تغير فى كتلة النواة ويوضح المثال التالى ذلك :

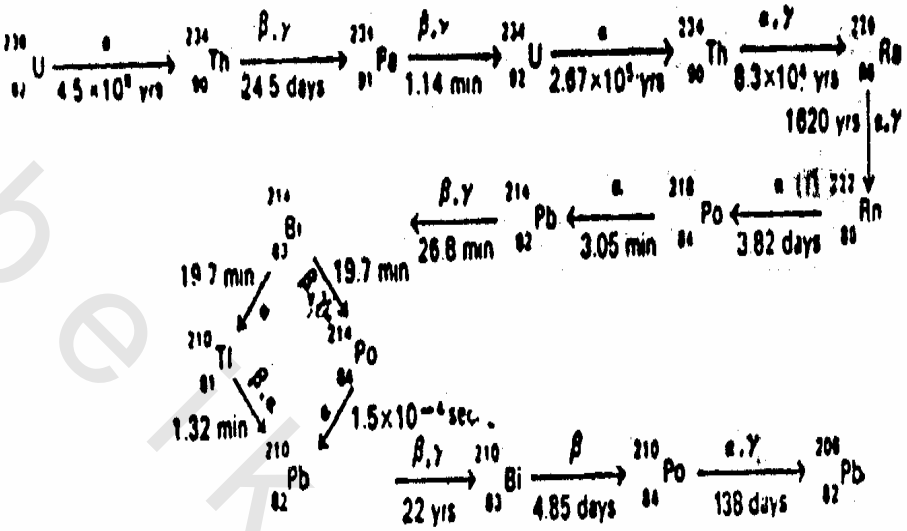
$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$$

وقد تواصلت جهود كل من " فاجان " و " روسيل " و " سودى " فى التوصل إلى قانون الإزاحة والذى ينص على أنه: " عندما تنبعث دقائق ألفا فى نشاط إشعاعى معين يزاح العنصر الناتج مكانين (أو مجموعتين) إلى اليسار فى الجدول الدورى وأن إنبعاث دقائق بيتا السالبة ينتج عنه إزاحة قدرها مكان واحد (أو مجموعة واحدة) إلى اليمين فى الجدول الدورى ". وقد يمتد قانون المجموعات ليشمل انبعاث دقائق بيتا β الموجبة وأيضا الأنوية التى تختص باحتجاز أوربتالات إلكترونية وتسمى هذه العملية احتجاز (k) وذلك لأن الإلكترون فى (المدار k)، الأوربتال (1S) يكون أكثر عرضه للاحتجاز، وينتج عن احتجاز الإلكترون نقص فى العدد الذرى بدون تغير فى عدد الكتلة والمثال التالى يوضح ذلك :

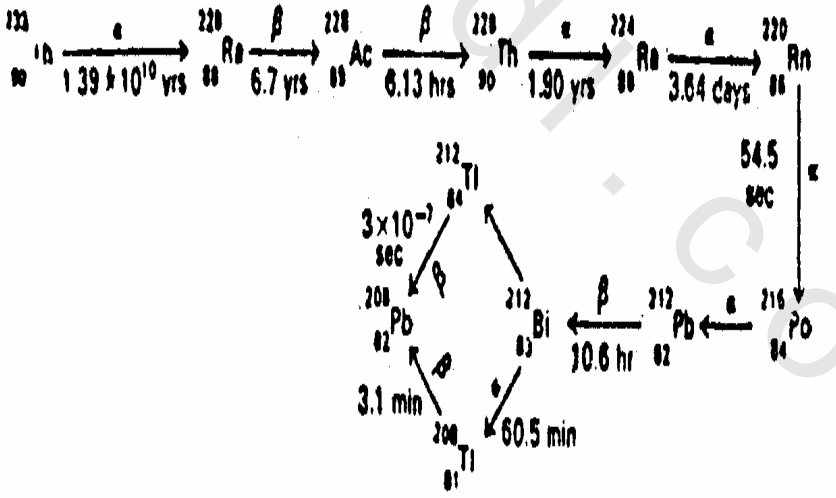
$$^{22}_{11}Na \longrightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{+1}\beta$$

السلاسل النشطة إشعاعياً Radioactive series

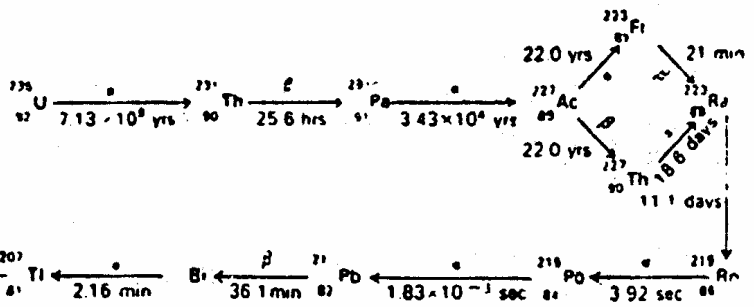
توجد فى الطبيعة ثلاث سلاسل ذات نشاط إشعاعى وتسمى سلاسل اليورانيوم والثوريوم والأكتينيوم. وهذه موضحة فى الشكل (49) ,(50), (51) وفى كل سلسلة من هذه السلاسل ينحل العنصر بالتتابع إلى عنصر مشع آخر ونحصل على نيوكليد مستقر بعد عدة خطوات :



شكل (49): سلسلة اليورانيوم



شكل (50): سلسلة الثوريوم



شكل (51): سلسلة الأكتينيوم

والسلسلة الأولى هى سلسلة اليورانيوم وتبدأ بعنصر اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وتنحل إلى الرصاص $^{206}_{82}Pb$ وتسمى هذه السلسلة بسلسلة $(4n + 2)$، أما السلسلة الثانية فهى سلسلة الثوريوم $^{232}_{90}Th$ نيوكليد وتكون عدد الكتلة لكل عنصر فى هذه السلسلة مقسوم على 4 وتسمى هذه السلسلة بسلسلة $(4n)$ وتسمى السلسلة الثالثة بسلسلة الأكتينيوم والنيوكليد الأم هى $^{235}_{92}U$.

والعنصر الأخير من هذه السلسلة هو الرصاص $^{207}_{82}Pb$ وتسمى أيضا بسلسلة $(4n + 3)$.

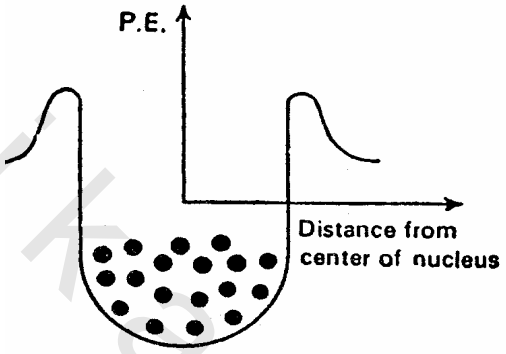
تركيب النواة Nuclear structure

نموذج قطرة السائل : أول من أقترح هذا النموذج هو العالم " نيلز بوهر " فى عام (1936). واعتبر هذا النموذج النواة كأنها تجمع لدقائق ممسوكة مع بعضها بقوى تجاذب متبادلة مثل قطرة المياه المحتوية على تجمع من جزيئات الماء الممسوكة مع بعضها بقوة الشد السطحى الناتجة عن التجاذب المتبادل ويحدث انشطار النواة عندما تكبر القطرة ويقل الشد السطحى وقد فشل هذا النموذج فى تحديد القوة التى تمسك الدقائق فى هذه القطرة.

نموذج المدار Shell model

يصور نموذج المدار ارتباط النواة بما يسمى بمنخفض الجهد (بئر الجهد) وتبعا لميكانيكا الكم لا يمكن للنيوكلونات فى منخفض الجهد أن تبقى فى

القاع فى حالة عدم حركة وعموما تمارس النيوكلونات بعض الحركات عند مختلف مستويات الطاقة. من الدراسة النظرية والعملية للأنوية يمكن تحديد الرتب المختلفة لحركة النيوكلونات فى بئر النواة والشكل (52) يوضح التمثيل التصويرى للنيوكلونات فى بئر الجهد، على الرغم من أن نموذج المدار يظهر أنه أكثر تعقيدا إلا أنه يمكن استخدامه لشرح سلوك النواة بنجاح إلى مدى بعيد ويوجد نموذج آخر يسمى نموذج التجمع.



شكل (52): النيوكلونات فى بئر الجهد

وهو يجمع الخصائص المميزة لنموذج المدار وقطرة السائل.

ثبات أو استقرار الأنوية :

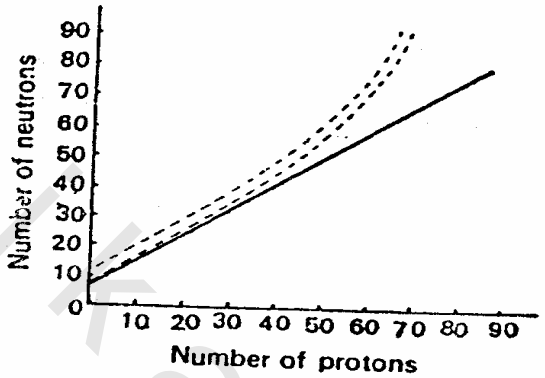
فى تجارب رذرفورد والتى قذف فيها شرائح المعدن بدقائق ألفا قرر أن نصف قطر نواة الذرة يصل إلى (10^{-13} cm) عندما يتواجد عدد كبير من البروتونات مع بعضهم فى المنطقة المسماة بنصف قطر النواة فلابد من وجود قوى ربط قوية للتغلب على قوى التنافر بين الدقائق الموجبة الشحنة. وللتعرف على طبيعة قوى الربط يمكن النظر إلى النسبة بين النيترونات والبروتونات للنيوكليد المستقر. ويوضح شكل (53) عدد النيوترونات المقابل لعدد البروتونات لجميع النيوكليدات المستقرة طبيعيا لجميع العناصر فيما عدا تلك العناصر الخفيفة فيزداد عدد النيوترونات عن عدد البروتونات. النيوكليدات المستقرة تقع فى نطاق حزام الاستقرار الذى يرتفع فوق الخط المرسوم والذى يوضح عدد متساوى من النيوترونات والبروتونات إذا وقعت نسبة النيوترونات إلى البروتونات للنواة

تحت مستوى حزام الاستقرار لعدد البروتونات المدروسة. وهناك ثلاثة طرق يقترب منها العنصر المشع إلى حالة الاستقرار أو الثبات :

(1) بانبعاث دقائق ألفا.

(2) بانبعاث دقائق بيتا السالبة.

(3) تحلل بوزيترون أو احتجاز إلكترون.



شكل(53): رسم بيانى يوضح عدد النيوترونات مقابل عدد البروتونات فى نيوكليدات مستقرة

طاقة الربط فى النواة Nuclear Binding Energy

نفرض أننا نريد حساب كتلة ذرة الهيليوم بمعلومية محتويات الذرة فتحتوى ذرة الهيليوم على بروتونين ونيوترونين وإلكترونين، وبمعنى آخر: فإن ذرة الهيليوم تكافئ ذرتين هيدروجين ونيوترونان وعليه فإن :

$$1\ \text{He atom} = 2\ (\text{H} + 1\ \text{neutron})$$
$$= 2\ (M_H + M_n)$$

حيث إن :

M_H = Atomic mass of hydrogen = 1.007825

M_n = Mass of neutron = 1.008665

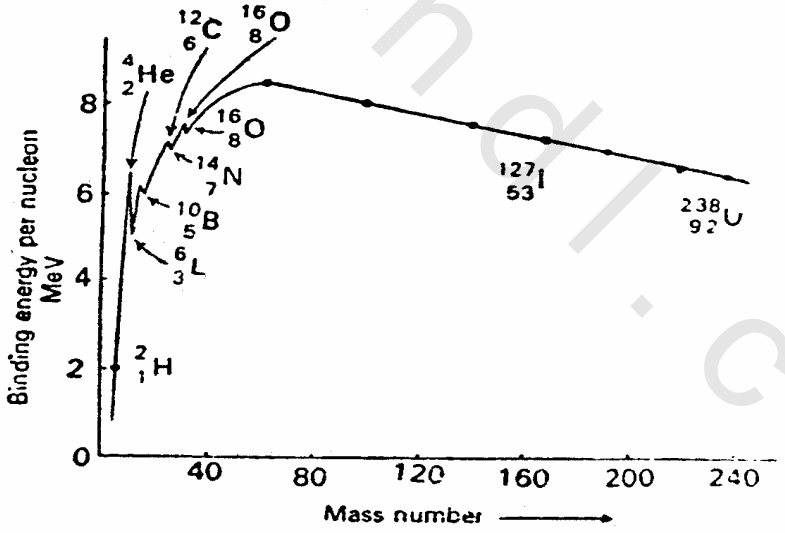
$\therefore \quad M_{He} = 2 \times (1.007825 + 1.00865)$

$= -4.03298$

كتلة ذرة الهيليوم المحسوبة من محتوياتها هى 4.03298، فى حين نجد أنه من الجدول الدورى تكون كتلة ذرة الهيليوم المقاسة هى 4.002603. وهكذا تقل قيمة الكتلة المقاسة عن المحسوبة بمقدار (0.03).

وعليه يتبين أن الكتلة الحقيقية للنيوكليد لا تساوى مجموع كتل محتوياتها، ويكون الفرق خطأ الكتلة.

وتسمى الطاقة المكافئة لهذه الكتلة المفقودة بطاقة الربط للنيوكليونات. ويمكن حساب طاقات الربط للأنوية باستخدام معادلة اينشتاين $E = mC^2$ حيث (E) هى الطاقة بالإرج، (m) هى الكتلة المفقودة أثناء اندماج الدقائق لتكوين النواة، C هى سرعة الضوء وأمكن استخدام هذه المعادلة لحساب الطاقة المنطلقة أثناء عملية النشاط الإشعاعى والتى تتحول فيها المادة إلى طاقة وتكون القوى النووية واحدة إذا حلت البروتونات محل النيترونات والعكس صحيح، وهذا يؤكد أن كلا من البروتونات والنيوترونات تساهم بنفس القدر فى طاقة الربط للنواة وتعتبر النيوكليدات الأكثر استقرارا هى تلك التى تمتلك أكبر طاقة ربط لكل نيوكليون. ويوضح الشكل (54) العلاقة بين طاقات الربط لكل نيوكليون وعدد الكتلة.



شكل (54): العلاقة بين طاقة الربط وعدد الكتلة

<u>مثال (3) :</u>

احسب طاقة الربط وطاقة الربط لكل نيوكليون فى ذرة الفلور 19، الكتلة (mass = 18.9984 amu.) ؟

الحل :

يشتمل فلور – 19 على 9 بروتونات، 10 نيوترونات، كتلة 9 بروتونات و 10 نيوترونات هى على التوالى:

$$9 \times 1.007270 + 10 \times 1.008665 = 19.152134 \text{ amu.}$$

واحد مول من ذرات الفلور تزن 18.99840

$$\text{weight lost / mole} = 19.152134 \text{ gm/mole} - 18.99840 \text{ g/mole}$$

$$= 0.153734 \text{ g/mole}$$

$$\therefore \text{weight lost / atom} = 0.153734 \text{ gm/mole} \times \frac{1 \text{ mole}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms}}$$

$$= 2.55 \times 10^{-25} \text{ gm/atom}$$

$$\therefore E = mC^2$$

$$= (2.55 \times 10^{-25} \text{ gm}) (3 \times 10^{10} \text{ cm/sec})^2$$

$$= 2.30 \times 10^{-4} \text{ ergs}$$

$$\text{Mev} = 2.3 \times 10^{-4} \text{ erg} \times \frac{1 \text{ Mev}}{1.6 \times 10^{-6} \text{ ergs}} = 144 \text{ Mev/atom}$$

$$\text{or} \qquad \text{Mev/nucleon} = \frac{144}{19} = 7.58 \text{ Mev/nucleon.}$$

الانشطار النووى Nuclear fission

الانشطار هى عملية تنقسم فيها النواة إلى جزأين متماثلتى الكتلة، وقد لاحظ كلاً من " O. Hahn " و " F. Strassman " أنه عند قذف اليورانيوم بالنيوترونات يحدث انقسام أو تشطير لليورانيوم. وقد لوحظ أنه يمكن لليورانيوم $^{235}_{92}U$ أن يستحث للانشطار بقذفه بنيوترونات منخفضة الطاقة ويمكن لعملية الانشطار أن تستحدث بطرق عديدة ويمكن بذلك فصل أو الحصول على عدد كبير من نواتج الانشطار. ويحدث الانشطار كنموذج تلقائى للتحلل ويمكن أن تتم عملية الانشطار كنتيجة لإثارة النواة فى تفاعل نووى وتتضمن عملية الانشطار تعرض النواة إلى تشوه وتبدو فى العديد من الصور كما هو مبين فى شكل (55).

obeikandl.com

شكل (55): صور النواة عند مختلف مراحل الانشطار

يتضح من شكل (55) أن النواة الابتدائية كروية الشكل ولكى يتكون جزآن ذات حجوم مقارنة فلا بد لها أن تتشوه فى شكل مستطيل. وفى الشكل المستطيل تزداد طاقة الوضع للنواة وباستمرار الاستطالة يقل التنافر بين الشحنات الكهربية فى القطع الناتجة وكذلك تقل طاقة الوضع للنظام. وفى النهاية يحدث انشطار نووى. وتنتج النيوترونات البطيئة الحركة فى مفاعل نووى، ويمكن تخفيض سرعة النيوترونات بمساعدة بعض المهدئات المناسبة. والمهدئات المستخدمة عامة هى الجرافيت، البارافين أو الماء الثقيل (D_2O) ولأى نظام انشطارى هناك حجم حرج قيمة دنيا للحجم الحرج أو أقل منه لايمكن الحصول على السلسلة الانشطارية.

مفاعلات مولدة Breeder Reactors

يعتبر أقل من 1% من اليورانيوم الموجود فى الطبيعة قابل للانشطار، وهو نظير اليورانيوم (235). وتتواجد كميات كبيرة من يورانيوم $^{238}_{92}U$ كمنتج ثانوى فى إنتاج اليورانيوم $^{235}_{92}U$. ويمكن لليورانيوم $^{238}_{92}U$ أن يتحول إلى بلوتونيوم انشطارى بلوتونيوم 239 وذلك بقذفه نيوترونات ويمكن بناء المفاعل من قلب من البلوتونيوم الانشطارى محاطا باليورانيوم $^{238}_{92}U$. وباستمرار انشطار البلوتونيوم، تحول النيوترونات غطاء اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى بلوتونيوم آخر. يولد المفاعل وقود اكثر من المستهلك منه ويستمر يورانيوم $^{238}_{92}U$ بكمية كافية لعدة قرون.

وبالتالى يمكن التغلب على المصانع النووية. ويعتبر المفاعل المولد أحد أهم مصادر القوى فى المستقبل. ويمكن استخدام الطاقة المنطلقة فى عملية الانشطار بطريقتين :

(a) انطلاق طاقة عالية بطريقة لايمكن التحكم فيها مسبباً انفجاراً، وذلك كما هو الحال فى القنبلة الذرية.

(b) انطلاق طاقة بطيئة نسبيا وبمكن التحكم فيها لإنتاج حرارة والتى يمكن استخدامها فى القوى الكهربائية.

الاندماج النووى Nuclear Fusion

وتسمى التفاعلات النووية التى يتحول فيها النيوكليدات الخفيفية إلى أخرى ثقيلة تفاعلات اندماجية.

ويوجد هناك العديد من أمثلة التفاعلات الاندماجية وهى كالتالى:

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{o}n + 3.25\ MeV$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + 4.0\ MeV$$

$$^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{o}n + 17.6\ MeV$$

$$^{3}_{2}He + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + 18.3\ MeV$$

وتستخدم القنبلة الهيدروجينية فى اندماج العناصر الخفيفة فكمية الطاقة المنطلقة لكل وحدة كتل من الوقود تكون اكبر فى عمليات الاندماج. فالتفاعلات الاندماجية تكون مسئولة عن إنتاج الطاقة بالنجوم.

النشاط الإشعاعى الصناعى Artificial Radioactivity

اكتشفت ظاهرة النشاط الاشعاعى الصناعى لأول مرة عن طريق العالم رذرفورد عام (1919).

وقد وجد أنه عندما تصطدم إشعاعات ألفا (α) من عنصر مشع، مثل: البلوتونيوم ($^{214}_{84}P$) بكمية من النيتروجين $^{14}_{7}N$ يحدث التفاعل النووى الممثل بالمعادلة التالية:

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

ويمكن اختصار كتابة التفاعل السابق بالطريقة الآتية $^{14}N(\alpha, P)^{17}O$ حيث يشير الرمز الأول خارج القوس إلى الهدف المقذوف. ويعبر الرمز الأول بين

الأقواس عن القاذف الذى يتوجه إلى النواة، أما الرمز التالى بين الأقواس P هو عبارة عن الدقائق المنطلقة من النواة ويكون الرمز الأخير النيوكليد الناتج ^{17}O. اكتشف كل من " I. Joilt " و " F. Joilt " أنه عندما يصطدم الألومنيوم بدقائق ألفا يصير المعدن نشطا إشعاعيا وذلك لتكوين ذرات الفوسفور.

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{o}n$$

وحيث إن $^{30}_{15}P$ ليست موجودة فى الطبيعة فإن النيوكليد المستقر الوحيد هو $^{31}_{15}P$ وتبعث بدقائق بيتا الموجبة مكونة نيوكليد مستقر وهو $^{30}_{14}Sr$

$$^{30}_{15}P \longrightarrow ^{0}_{1}\beta + ^{30}_{14}Sr$$

وتكون بعض التفاعلات فى هذا المجال كالتالى :

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H = ^{8}_{4}Be + \gamma$$
$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1}D = ^{24}_{11}Na + ^{1}_{1}H$$
$$^{59}_{27}Co + ^{1}_{o}n = ^{56}_{25}Mn + ^{4}_{2}He$$
$$^{14}_{7}N + ^{1}_{o}n = ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$
$$^{238}_{92}U + ^{1}_{o}n = ^{237}_{92}U + 2\,^{1}_{o}n$$

وتختلف التفاعلات النووية عن التفاعلات الكيميائية العادية فى النقاط التالية :

(a) التفاعلات النووية تتضمن تغيرا فى الأعداد الذرية.

(b) لايتغير مجموع أعداد الكتلة. تتغير كمية المادة تغيرا ملحوظا.

(c) تتحد الكميات لكل دقيقة بدلا من لكل مول.

(d) التفاعلات النووية هى تلك الخاصة بأنواع معينة من النيوكليدات وليست مخاليط من ايزوتوبات تتكون من عنصر معين.

النظائر (المماكنات) Isotopes

نظائر العنصر هى ذرات تحتوى أنويتها على نفس العدد من البروتونات وتختلف فيما بينها فى عدد النيوترونات.

وتكون الثلاثة أنواع من ذرات الهيدروجين : ذرة البروتيوم والديوتيريوم والتريتيوم. وتسمى هذه الذرات نظائر الهيدروجين – أما الرصاص فيشتمل على ثلاث نظائر بأعداد كتلها كالتالى 206 ,207 ,208. وتحتل النظائر للعنصر الواحد نفس المكان فى الجدول الدورى.

التعرف على النظائر :

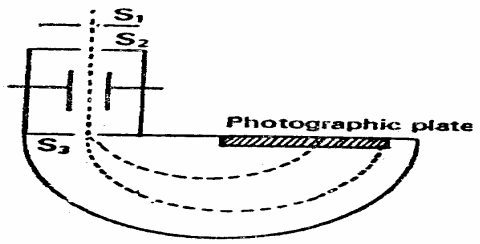
استخدم " Jhon. Thomson " فى عام 1912 الأشعة الموجبة لدراسة النظائر. وقد تحسنت هذه الطريقة عن طريق العالم " F.W. Aston "، ويسمى الجهاز الذى استخدمه أستون بجهاز " استون لمطياف الكتلة " وهو مبين فى الشكل (56). تتكون الأيونات الموجبة للمادة المدروسة فى أنبوبة تفريغ وتتجمع وتمر خلال الفتحات S_1, S_2. تتعرض هذه الأيونات لمجال كهربى ومغناطيسى معاكس لدرجة أن الأيونات الموجبة التى تنفذ من الفتحة S_3 هى عبارة عن الموجات التى تعادلت فيها الإزاحة التى نتجت عن المجالين بمعنى أن :

$$Hev = \frac{mv^2}{r} \qquad (89)$$

أو :

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Hr} \qquad (90)$$

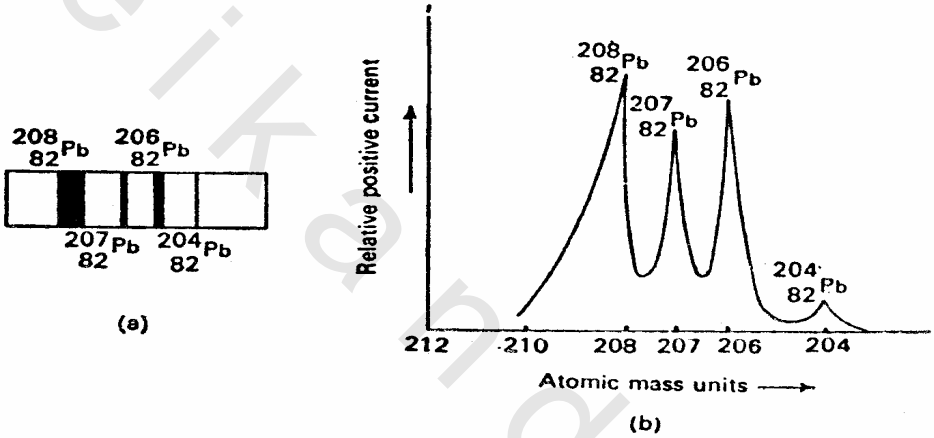
حيث r هى نصف قطر المسار الدائرى، m هى كتلة الإلكترون الذى يمر بسرعة H, v هى قوة المجال المغناطيسى وتسير كل الأيونات بسرعة واحدة تحت هذه الظروف على الرغم من الاختلاف فى الكتلة. وتسمى هذه بالسرعة البؤرية.



شكل (56): جهاز أستون (مطياف الكتلة)

وتنتج جميع الأيونات التى تخص نظير واحد خطا محددا وتتحدد كتل أيونات النظائر من مواضع الخطوط وذلك بالمقارنة بالخط القياسى وبذلك يمكن فصل نظائر العنصر باستخدام جهاز مطياف الكتلة. ويتضح طيف الكتلة لمختلف نظائر الرصاص فى الشكل (57) وتكون كتل النظائر أعدادا صحيحة ويحدث فى بعض الأحيان حيودا عن هذه القاعدة. وقد تقدم استون بقاعدة هامة تسمى الكسر المعبأ وهى

$$\text{Packing fraction} = \frac{\text{Isotopic atomic mass - mass number}}{\text{mass number}} \times 10^4$$



شكل (57): طيف الكتلة لعنصر الرصاص (a) على الفيلم (b) الطيف الناتج إلكترونيا تتناسب شدة الخطوط مع عدد الأيونات للنظير المدروس للرصاص.

فصل النظائر The separation of Isotopes

تعتبر عملية فصل النظائر من الأعمال الصعبة عمليا وهناك طرقاً مختلفة لعملية الفصل. أهم الطرق هى :

(a) طريقة انتشار الغاز :

يستفاد فى هذه الطريقة من الاختلاف فى سرعة انتشار نيوكليدات النظائر فى الحالة الغازية. وحيث أن سرعة انتشار الغاز تتناسب عكسيا مع الجذر التربيعى للكثافة، يمكن أن يتم الفصل باستخدام عدد من وحدات الانتشار بالتتابع وتستخدم هذه الطريقة لفصل $^{235}UF6$ من $^{238}UF6$

باستخدام العديد من مراحل الانتشار والتى تعمل مثل عمود التجزئة المستخدم فى التقطير. ويمكن بذلك فصل 90% من $^{238}_{92}U$ باستخدام هذه الطريقة.

(b) طريقة الانتشار الحرارى :

يمكن استخدام هذه الطريقة بنجاح وقد اكتشفها العالم كلاوزيوس عام 1938 تتضمن الانتشار والحمل. ويحتوى الجهاز المستخدم على أنبوبة أسطوانية الشكل وعمودية طويلة، وتسخن هذه الأنبوبة كهربياً إلى درجة 500°C. والتدرج الحرارى بين السلك الساخن والحوائط الخارجية الباردة ينتج عنه أن الجزيئات (النظائر) الخفيفة تميل إلى التجمع قريبا من السلك الساخن، بينما الجزيئات الثقيلة تتجمع قريبا من الحائط البارد.

ويمكن الإسراع فى عملية الفصل، وذلك باستغلال تيارات الحمل فى الأنبوبة التى تحمل الجزيئات قريباً من السلك الدافئ. وتستخدم هذه الطريقة للفصل التام لأيزوتوبات الكلور وهى $^{35}_{17}Cl$ ، $^{37}_{17}Cl$.

(c) الطريقة الكهرومغناطيسية :

يمكن تنشيط شعاع من الأيونات الموجبة من مصدر مناسب وذلك بإمراره خلال مجال كهربى ثم ينحرف الشعاع مرة أخرى بامرارة خلال مجال مغناطيسى. بوضع فتحة مجمعة فى الأماكن المناسبة يمكن فصل الأيونات المختلفة وتستخدم هذه الطريقة فى فصل نظائر العديد من العناصر خصوصا عناصر الليثيوم والبوتاسيوم والروبيديوم.

(d) طريقة التبادل الكيميائى :

تعتمد هذه الطريقة على الحقيقة القائلة بأن النظائر المختلفة لعنصر واحد تختلف فى نشاطها الكيميائي. وهذه الميول المختلفة تتضح فى حالة العناصر الخفيفة والتى فيها تكون الفروق فى كتل النظائر كبيرا. فلنأخذ على سبيل المثال: تبادل نظائر النيتروجين ذات العدد الكتلى ^{14}N و ^{15}N على الترتيب وذلك بين غاز الأمونيا وأيونات الأمونيوم الموجودة على هيئة ملح أمونيومى فى المحلول. ويمكن تمثيل التفاعل كما يلى:

$$N\,^{15}H_3\,(gas) + N\,^{14}H_4\,(aq) = N\,^{14}H_3\,(gas) + N\,^{15}H_4\,(soln)$$

وبعد الوصول لحالة الاتزان فى أعمدة التبادل، يمكن التخلص من ^{15}N على هيئة نترات. وقد استخدام " يورى " طريقة التبادل الكيميائي لتعيين حرارة البحار وذلك فى مدى (1°C) وذلك من $^{18}O:^{16}O$ كنسبة واحد منهم للآخر وذلك فى ترسيبات من أصداف لحفريات ماقبل التاريخ.

الهيدروجين الثقيل : بفحص طيف الهيدروجين أثبت " يورى " عام 1931، وجود نظير للهيدروجين كتلته 2 ويسمى الهيدروجين الثقيل أو " الديوتيريوم ". وتسمى المياه المحتوية على الهيدروجين الثقيل تسمى " الماء الثقيل " (D_2O). والجدول (1) يبين بعض خواص الماء الثقيل والماء العادى.

تطبيقات على النظائر :

توجد استعمالات كثيرة للنظائر المشعة المعروفة وفيما يلى يوجد تقرير مختصر لبعض استخدامات النظائر المشعة. ويسمى فرع الكيمياء المستخدم فيها النظائر المشعة لدراسة المسائل الكيميائية يسمى الكيمياء الإشعاعية.

وتستخدم النظائر المشعة أحيانا لتتبع خط سير التفاعل وذلك لأن نظائر العنصر المستخدم تتصرف من الوجهة الكيميائية بسلوك مشابه للعنصر العادى ولكن لها كتلة مختلفة أو يكون لها نشاط اشعاعى. وتسمى هذه المواد بالأدلة أو مقتفيات الأثر.

نظائر كل من الكربون والأكسوجين والنيتروجين تستخدم لتتبع خط السير. وتستخدم هذه العناصر فى مختلف العمليات الكيميائية والفسيولوجية.

جدول رقم (1) : الخصائص الفيزيائية لكل من: الماء الثقيل D_2O، والماء العادى H_2O.

الخاصية	الماء العادى H_2O	الماء الثقيل D_2O
الكثافة عند 25°C	1.0000 gm/c.c	1.1079 gm/c.c
الكثافة القصوى عند	4°	11.6°
نقطة التجمد	0.00°C	3.82°
نقطة الغليان	100.0°C	101.42°
الشد السطحى (20°C)	72.75 dyne cm^{-1}	67.8 dyne cm^{-1}
اللزوجة (10°C)	13.10 millipoise	16.85 millipoise

ويمكن للنظائر المشعة أن تستخدم لقياس السطح النوعى لبعض المواد الصلبة، ففى الكيمياء التحليلية يمكن استخدام النظائر المشعة فى العديد من التطبيقات. فعلى سبيل المثال: يمكن تحديد ذوبانية المواد التى لها ذوبانية منخفضة جدا وذلك فى دراسة فصل العناصر. كما تستخدم النظائر المشعة أيضا فى تحديد عمر العناصر أو المعادن، وكذلك فى التحليل التشيطى والتحليل التخفيف بالايزوتوبات.

النظائر المشعة لها العديد من الاستخدامات البيولوجية والطبية. فالأنسجة المصابة بالسرطان تكون سريعة التأثر بالإشعاعات النووية. وتستخدم العناصر الإشعاعية الطبيعية، مثل: Ra^{226}، Rn^{222} لعدة سنوات للتخلص من الخلايا السرطانية، ويستخدم كوبلت 60 Co^{60} لعلاج السرطان. كما يستخدم اليود I^{131} لعلاج أورام الغدة الدرقية. كذلك تستخدم النظائر المشعة أيضاً فى التشخيص للعديد من الأمراض.

ويستخدم الكربون 14 (C^{14}) لدراسة عملية التمثيل الضوئى ولتتبع تحولات الدهون والكربوهيدرات والبروتينات فى الأنسجة الحية. ويستخدم كبريت (S^{32})32 لتتبع عملية التمثيل الحيوى للبروتين. ويستخدم أيضا الفوسفور 32 لتحديد مواضع ومدى أورام المخ.

ومما سبق يتضح أن النظائر المشعة لها استخدامات مفيدة فى تشخيص وعلاج العديد من الأمراض الخطيرة.

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖

أسئلة على الباب الرابع

(1) ما أنواع الإشعاعات فى العناصر ذات النشاط الاشعاعى، وكيف تفرق بينهم ؟

(2) (a) وضح ما المقصود بفترة نصف العمر بالنسبة للمادة المشعة ؟

(b) فى عينة من اليورانيت وهى خام يحتوى على اليورانيوم وجد من التحليل الكيميائى لهذه العينة أنها تحتوى على عنصر الرصاص بكمية قدرها 0.214 g لكل جرام يورانيوم. بفرض ان الرصاص نتج عن التحلل الاشعاعى لعنصر اليورانيوم وذلك أثناء التكوين الجيولوجى لخام اليورانيت وبحيث يمكن اهمال كل نظائر اليورانيوم بخلاف U^{238} . إحسب مستخدما القيم السابقة. متى تكونت الخام فى القشرة والأرضية علما بان فترة العمر النصفى لليورانيوم U^{238} هى 4.5×10^9 سنة ؟

(3) اشرح ما المقصود بثابت التحلل الاشعاعى. ما هى علاقة هذا الثابت بفترة نصف العمر للمادة المشعة. فترة نصف العمر لعنصر Ra^{226} الراديوم 1620 سنة ؟

(a) إحسب ثابت التحلل للعنصر بوحدات الثوانى ؟

(b) إحسب عدد مرات تحلل ١ جرام من عنصر الراديوم Ra^{226} ؟

(4) حدد أعداد البروتونات والنيوترونات والالكترونات فى كل من الذرات التالية:

(i) G^{70}, (ii) Ge^{72}, (iii) Be^{9}, (iv) U^{235}

(5) اكتب النص ثم اشرح قانون إزاحة المجموعات فى النشاط الاشعاعى، ثم وضح كيف أمكن لهذا القانون أن يؤدى الى فكرة النظائر المشعة ؟

(6) (a) اكتب مذكرة مختصرة عن النشاط الاشعاعى الصناعى !!

(b) اكمل المعادلات التالية :

(i) $_{11}Na^{23} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_{12}Mg^{26} + ?$

(ii) $_{29}Cu^{64} \longrightarrow {}_1B^0 + ?$

(iii) $Ag^{106} \longrightarrow Cd^{106} + ?$

(iv) $_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_7N^{13} + ?$

(7) (a) اشرح الفرق بين الانشطار النووى والاندماج النووى !!

(b) وجد أنه يمكن استخدام تفاعل الاندماج النووى

$$2\ {}_1H^2 + {}_2He^4 + \text{energy}$$

وذلك لإنتاج قوى كهربية صناعية. فإذا كانت الطاقة الناتجة هى 50,000 Kilo watts وتستخدم طاقة التفاعل السابق بكفاءة قدرها 30% ماهو عدد جرامات وقود الديوتيريوم اللازمة فى اليوم الواحد ؟

(8) فى النشاط الاشعاعى الطبيعى أعطى يورانيوم U^{238} دقائق ألفا α وسميت النواه الناتجة UX_1 وقد اعطت UX_1 بدقائق بيتا β وسميت النواة الناتجة بعد ذلك بالرمز UX_2 احسب الاعداد الذرية والكتل الذرية لكل من UX_1 ، UX_2 ؟

(9) اكتب عن مطياف الكتلة لأستون. وضح استخدام هذا الجهاز ليتعين :

(a) الأوزان الجزيئية للنظائر !! (b) فى تقدير نسبة تواجد النظائر !!

(10) يحتوى عنصر الماغنسيوم على ثلاثة نظائر طبيعية بالكتل ونسبة توافرها كالتالى :

23.98 (78.60%), 24.98 (10.11%), 25.98 (11.29%)

إحسب الكتلة الحقيقية لخليط النظائر ؟

(11) اكتب مذكرات مختصرة عن :

(a) السلسلة الاشعاعية !!

(b) القأريخ بالكربون !!

(c) التركيب النووى !!

(d) فصل النظائر !!

(e) استخدام النظائر المشعة !!

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖

obeikandl.com

الملاحـــق

obeikandl.com

جدول (1)
وحدات النظام العالمى الأساسية

Basic SI Units

الكمية الفيزيائية	إسم الوحدة	رمز الوحدة
الطول	المتر	m
الكتلة	الكيلوجرام	Kg
الزمن	الثانية	S
التيار الكهربى	الأمبير	A
درجة الحرارة في الديناميكا الحرارية	كلفن	K
كمية المادة	المول	mol

جدول (2)
وحدات مستنبطة من الوحدات الأساسية
Derived SI Units

الكمية الفيزيائية	إسم الوحدة (الإسم الخاص ورمزه)	رمز الوحدة
المساحة	متر مربع	m^2
الحجم	متر مكعب	m^3
الكثافة	كيلو جرام لكل متر مكعب	$Kg.m^{-3}$
السرعة	متر لكل ثانية	$m.s^{-1}$
العجلة	متر لكل ثانية تربيع	$m.s^{-2}$
القوة	(N) نيوتن	$Kg.m.s^{-2} = J.m^{-1}$
الضغط	نيوتن لكل متر مربع	$N.m^{-2}$
الطاقة	(J) جول	$Kg.m^2.s^{-2}=N.m$
القدرة (قوة كهربية)	(W) وات	$Kg.m^2.s^{-3}=J.s^{-1}$
الشحنة الكهربية	(C) كولوم	A.S
فرق الجهد الكهربى	(V) فولت	$Kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}=J.A^{-1}.s^{-1}$
المقاومة الكهربية	(Ω) أوم	$Kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}=J.V.A^{-1}$
السعة الكهربية	(F) فاراد	$A^2.S^4.Kg^{-1}.m^{-2}=A.S.V^{-1}$

obeikandl.com

جدول (3)
بعض المقاطع الأمامية تبعاً لـ SI

المقطع	الرمز	المضاعفات	المقطع	الرمز	المضاعفات
ديسى	d	10^{-1}	ديكا	da	10
سنتى	c	10^{-2}	هيكتا	h	10^{2}
ميللى	m	10^{-3}	كيلو	k	10^{3}
ميكرو	□	10^{-6}	ميجا	M	10^{6}
نانو	n	10^{-9}	جيجا	G	10^{9}
بيكو	p	10^{-12}	تيرا	T	10^{12}
فيمتو	f	10^{-15}	بيتا	P	10^{15}
أتو	a	10^{-18}	إكسا	E	10^{18}

جدول (4)
معاملات التحويل

I Å	=	10^{-10} m.
I Liter	=	10^{-10} m^3.
I atm	=	101.325 $N.m^{-2}$
0°C	=	273.15° K.
1 erg	=	10^{-7} J.
I Cal	=	4.1840 J.
I e V	=	1.6022×10^{-9} J.
h e	=	1.9865×10^{-23} J.cm

جدول (5)
قيم الثوابت الأساسية

إسم الثابت	الرمز	قيمة الثابت
سرعة الضوء	C	2.997925×10^{10} cm/s 2.997925×10^{8} m/s
ثابت بلانك	h	6.6262×10^{-27} erg.s 6.6262×10^{-34} J.s
ثابت بولتزمان	k	1.38062×10^{-16} erg/abs.erg K^{-1} 1.38062×10^{-16} erg/abs.erg K^{-1}
شحنة الإلكترون	e	$4.80325\ 10^{10}$ esu. 1.60219×10^{-19} Coloumb
عدد أفوجادرو	N_A	6.022169×10^{23} molecules/mol
الثابت العام للغازات	R	82.055 cm^3.atm/abs.mol 0.082054 L. atm/abc.mol 8.3134 J/abs.mol 1.9872 Cal/abc.mol
ثابت فاراداى	F	9.64867 x 104 abs. Coloumb/Eq.wt.
إلكترون فولت	eV	2.3060×10^{4} Cal/mol

جدول (6)
بعض الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية	الرمز	إسم الوحدة	رمز الوحدة
الطول	ℓ	متر	m
الكتلة	M	كيلو جرام	kg
الزمن	T	ثانية	s
التيار الكهربى	I	أمبير	A
درجة الحرارة الثرموديناميكية	T	كلفن	k
كمية المادة	N	مول	mol
شدة الإستضاءة	I_V	كانديلا	cd
القوة	F	نيوتن	$N=kg\ m\ s^{-2}$
الضغط	P	.....	$Nm^{-2}=kg\ m^{-1}\ s^{-2}$
الطاقة	H, U, E	جول	$J= Nm = kg\ m^2 s^{-2}$
الأنتروبى	S	.....	$J\ k^{-1}$
السرعة	dc/dt	.....	$mol\ dm^{-3}\ s^{-1}$
ثابت السرعة	k_r	.....	$dm^{3n}\ mol^{-n}\ s^{-1}$
رتبة التفاعل	.....	.....	.....
طاقة التنشيط	E* أو E_a	.....	$J\ mol^{-1}$
سرعة التصادم	Z	.....	$M^{-3}\ s^{-1}$
منتج الكم	ϕ	.....	ليس له وحدة
التردد	ν	هرتز	s^{-1}

جدول (7)
الحروف الأبجدية اليونانية المستخدمة في الكتاب

المقطع	الرمز	المضاعفات	المقطع	الرمز	المضاعفات
ألفا	□	أيوتا	L	رو	ρ
بيتا	□	كابا	K	سيجما	σ
جاما	γ	لامبدا	λ	تاو	τ
دلتا	δ	ميو	μ	أبسيلون	υ
إبسلون	ε	نيو	ν	فاى	ϕ
زيتا	ξ	زى	ξ	كاى	χ
إيتا	η	أميكرون	o	إبساى	Ψ
ثيتا	θ	باى	π	أوميجا	ϖ

جدول (8) بعض الثوابت الهامة		
عجلة الجاذبية الأرضية(g)	=	$980.7\ cm.\ sec^{-2}$ $980.7\ dyne\ g^{-1}$
كثافة الزئبق عند 0°C	=	$13.5955 g/cm^3$
كثافة الزئبق عند 25°C	=	$13.5340\ g/cm^3$
الليتر (ℓ)	=	$1000.028\ cm^3$
١ كالورى (.cal)	=	4.184 Joules
١ جول	=	10^7 erg.
١ فاراداى (F)	=	$96500\ Coulombo\ equiv^{-1}$ $23060\ Col\ volt^{-1}\ equiv^{-1}$
عدد أفاوجادرو (N)	=	$6.025 \times 10^{23}\ mole^{-1}$
الثابت العام للغازات (R)	=	$8.314\ Joules\ deg^{-1}\ mole^{-1}$ $0.082\ l.\ atm.\ deg^{-1}\ mole^{-1}$
ثابت بولتزمان (K)	=	R / N $1.38 \times 10^{-16}\ erg.\ deg^{-1}\ mole^{-1}$
ثابت بلانك (h)	=	$6.62 \times 10^{-27}\ erg.\ sec$
سرعة الضوء (C)	=	$2.99 \times 10^{10}\ cm.\ sec^{-1}$
شحنة الإلكترون (e)	=	$F/N = 1.6 \times 10^{-19}$ coulomb. 1.6×10^{-20} e.m.u.
شحنة الإلكترون النوعية (e/m)	=	5.17×10^{17} e.s.u.1g.
كتلة الإلكترون (m)	=	$9.1 \times 10^{-28}\ g. = \frac{e}{e/m}$
النسبة $\frac{\text{كتلة الإلكترون}}{\text{كتلة ذرة الهيدروجين}}$	=	$\frac{9.1 \times 10^{-28}}{1.673 \times 10^{-24}} = \frac{1}{1837}$
النسبة $\frac{\text{الوزن الذرى الفيزيائيى}}{\text{الوزن الذرى الكيميائي}}$	=	$1.00027 = \frac{16.0044}{16.0000}$
1 إلكترون فولت (ev)	=	1.6×10^{-12} erg.
1 كيلو إلكترون فولت (kev)	=	1.6×10^{-9} erg.
1 مليون إلكترون فولت (Mev)	=	1.6×10^{-6} erg.
الحاصل الأيونى للماء (Kw)	=	10^{-14} at 25°C
تحويل $\log_e x$ إلى $\log_{10}$	=	$\log_e x = 2.303 \log_{10} x$

جدول (9)

الأعداد والأوزان الذرية للعناصر

	Symbol	*Atomic number*	*Atomic weight*
Actinium	Ac	89	[227]
Aluminum	Al	13	26.9815
Americium	Am	95	[243]
Antimony	Sb	51	121.75
Argon	Ar	18	39.948
Arsenic	As	33	74.9216
Astatine	At	85	[210]
Barium	Ba	56	137.34
Berkelium	Bk	97	[247]
Beryllium	Be	4	9.01218
Bismuth	Bi	83	208.980
Boron	B	5	10.81
Bromine	Br	35	79.904
Cadmium	Cd	48	112.40
Calcium	Ca	20	40.08
Californium	Ct	98	[251]
Carbon	C	6	12.011
Cerium	Ce	58	140.12
Cesium	Cs	55	132.905
Chlorine	Cl	17	35.453
Chromium	Cr	24	51.996
Cobalt	Co	27	58.9332
Copper	Cu	29	63.546
Curium	Cm	96	[247]
Dysprosium	Dy	66	162.50
Einsteinium	Es	99	[254]
Erbium	Er	68	167.26
Europium	Eu	63	151.96
Fermium	Fm	100	[257]
Fluorine	F	9	18.9984
Francium	Fr	87	[223]
Gadolinium	Gd	64	157.25
Gallium	Ga	31	69.72
Germanium	Ge	32	72.59
Gold	Au	79	196.967
Hafnium	Hf	72	178.49
Hahnium	Ha	105	[262]

	Symbol	*Atomic number*	*Atomic weight*
Helium	He	2	4.00260
Holmium	Ho	67	164.9304
Hydrogen	H	1	1.0079
Indium	In	49	114.82
Iodine	I	53	126.9045
Iridium	Ir	77	192.22
Iron	Fe	26	55.847
Krypton	Kr	36	83.80
Lanthanum	La	57	138.9055
Lawrencium	Lr	103	[260]
Lead	Pb	82	207.2
Lithium	Li	3	6.941
Lutetium	Lu	71	174.87
Magnesium	Mg	12	24.305
Manganese	Mn	25	54.9380
Mendelevium	Md	101	[258]
Mercury	Hg	80	200.59
Molybdenum	Mo	42	95.94
Neodymium	Nd	60	144.24
Neon	Ne	10	20.179
Neptunium	Np	93	237.0482
Nickel	Ni	28	58.70
Niobium	Nb	41	92.9064
Nitrogen	N	7	14.0067
Nobelium	No	102	[259]
Osmium	Os	76	190.2
Oxygen	O	8	15.9994
Palladium	Pd	46	106.4
Phosphorus	P	15	30.9738
Platinum	Pt	78	195.09
Plutonium	Pu	94	[244]
Polonium	Po	84	[210]
Potassium	K	19	39.098
Praseodymium	Pr	59	140.9077
Promethium	Pm	61	[147]
Protactinium	Pa	91	231.0359
Radium	Ra	88	226.0254
Radon	Rn	86	[222]
Rhenium	Re	75	186.207
Rhodium	Rh	45	102.905
Rubidium	Rb	37	85.4678

obeikandl.com

	Symbol	*Atomic number*	*Atomic weight*
Ruthenium	Ru	44	101.07
Rutherfordium	Rf	104	[257]
Samarium	Sm	62	150.4
Scandium	Sc	21	44.9559
Selenium	Se	34	78.96
Silicon	Si	14	28.086
Silver	Ag	47	107.868
Sodium	Na	11	22.9898
Strontium	Sr	38	87.62
Sulfur	S	16	32.06
Tantalum	Ta	73	180.948
Technetium	Tc	43	98.9062
Tellurium	Te	52	127.60
Terbium	Tb	65	158.9254
Thallium	Tl	81	204.37
Thorium	Th	90	232.038
Thulium	Tm	69	168.934
Tin	Sn	50	118.69
Titanium	Ti	22	47.90
Tungsten	W	74	183.85
Uranium	U	92	238.029
Vanadium	V	23	50.9414
Xenon	Xe	54	131.30
Ytterbium	Yb	70	173.04
Yttrium	Y	39	88.9059
Zinc	Zn	30	65.38
Zirconium	Zr	40	91.22

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖

obeikandl.com

المراجع

أولاً : المراجع العربية :

١- الكيمياء الفيزيائية، جوردون م. باور، الدار الدولية للنشر والتوزيع، دار ماكجروهيل للنشر، 1990م.

٢- الكيمياء العامة، فريدريك لونفو، منشورات مجمع اللغة العربية الأردنى، 1981م.

٣- الكيمياء، ميشيل ج. سينكو، روبرت أ. بلان، دار ماكجرو هيل للنشر، 1981م.

٤- أساسيات الكيمياء العامة، د. حسن أحمد شحاتة، مكتبة الدار العربية للكتاب، القاهرة، 2006م.

٥- أسس الكيمياء العامة، د. عباس عباس العوضى وآخرون، 1988م.

ثانياً : المراجع الأجنبية :

6- Atkins, P.W. : Molecular Quantum Mechanics. 2d ed., Oxford University Press, 1983.
7- Blinder, S.M. : Advanced Physical Chemistry, Macmillan, 1969.
8- Brand, J.C.M., J.C. Speakman and J.K. Tyler : Molecular Strusture, 2d ed., Halsted, 1975.
9- Chang, R. : Basic Principles of Spectroscopy. McGraw-Hill,1971.
10- Davidson, N.R. : Statistical Mechanics. McGraw-Hill, 1962.
11- Davis, J.C. : Advanced Physical Chemistry, Wiley – Interscience, 1965.
12- Dekock, R.L., and H.B. Gray : Chemical Bonding and Structure, Benjamin/Cummings, 1980.
13- Gats, C.R. : Introduction to Quantum Chemistry, Merrill, 1971.
14- Hanna, M.W. : Quantum Mechanics in Chemistry, 3rd ed., Benjamin/Cummings, 1981.
15- Karplus, M., and R.N. Porter : Atoms and Molecules, Benjamin, 1970.
16- Lowe, J.P. : Quantum Chemistry, Academic, 1978.
17- McQuarrie, D.A. : Quantum Chemistry, University, Science Books, 1983.
18- Pitzer, K.S. : Quantum Chemistry, Prentice-Hall, 1958.

** ** ** **

obeikandi.com