الباب العشرون

obeikandl.com

obeikandl.com

الباب العشرون

التفاعلات النووية

(Nuclear Reactions)

نتطرق في هذا الباب لنوع من التفاعلات تختلف عن التي عرفناها. ففي هذا النوع من التفاعلات يحدث تغيير في نواة الذرة وينتج عنه تكوين ذرات مختلفة مع انطلاق طاقة هائلة تفوق بكثير كمية الطاقة التي تنطلق من التفاعلات الكيميائية، زيادة على ذلك يتم انطلاق إشعاع بطاقة خارقة، وسنتطرق إلى التعريف بها وذكر مضارها ومنافعها وكيفية تقدير هذه الطاقة المنطلقة من التفاعلات النووية كما سيتم مقارنتها بتلك التي تنطلق من التفاعلات الكيميائية العادية. وسنتعرف على الطريقه التي استخدمها العلماء في تقدير عمر الآثار والنفايات المتحجرة منذ قديم الزمان وذلك بتتبع بعض التفاعلات النووية التي تتم لعناصر مشعّة.

20-1 الإشعاع (Radioactivity)

تحدث التفاعلات النووية بتغيير في نواة الذرة حيث تزداد أو تنقص عدد البروتونات أو الوزن الذري أو الاثنين معًا. يتم تفكك أو تحلل بعض الأنوية ويصطحبها نشاط إشعاعي يتميز بمعدل منظوم. وفيما يلي بعض القوانين التي تحدد مدى استقرار وثبات النواة:

أ- نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات حيث تقترب هذه النسبة إلى الوحدة للعناصر الخفيفة مثل الكربون $^{12}_{6}C$، النيتروجين $^{14}_{7}N$ والأكسجين $^{16}_{8}O$ وتُعد نظائر هذه العناصر ثابتة.

obeikandl.com

ب – وكلما زاد العدد الذري تزداد هذه النسبة ويصبح العنصر غير مستقر حيث تصل هذه النسبة إلى (1.5) لنظير عنصر الرصاص $^{206}_{82}Pb$ ويُعد العنصر مشعًا. وعليه فإن كل الأنوية التي تجيء بعد عنصر البزموث (Bi) الذي يحمل (83) بروتونًا تُعد مشعة.

جـ – كل الأنوية التي تحمل عددًا زوجيًا من البروتونات والنيوترونات تُعد أكثر استقرارًا من تلك التي تحمل عددًا فرديًا.

لقد اكتشف العالم هنري بيكريل (Henri Becquerel) مع كل من العالمين ماري (Marie) وبيري كوري (Pierre Curie) في عام (1896) ظاهرة الإشعاع الطبيعي لبعض العناصر وأمكنهم تقسيم أنواع الإشعاع إلى ثلاثة إشعاعات طبيعية ورابعة مفتعلة.

١ – إشعاع ألفا (Alpha-α-radiation) وهذه تُعد جزيئات موجبة الشحنة وهي مماثلة لنواة ذرة الهيليوم ($^{4}_{2}He$) وهكذا فعند انطلاق إشعاع من هذا النوع لذرة ما ينتج عن ذلك تكوين ذرة أخرى مختلفة تنقص بأربع في العدد الكتلي واثنتين للعدد الذري كما هو الحال عند إشعاع ذرة اليورانيوم لتنتج الثوريوم (Th)

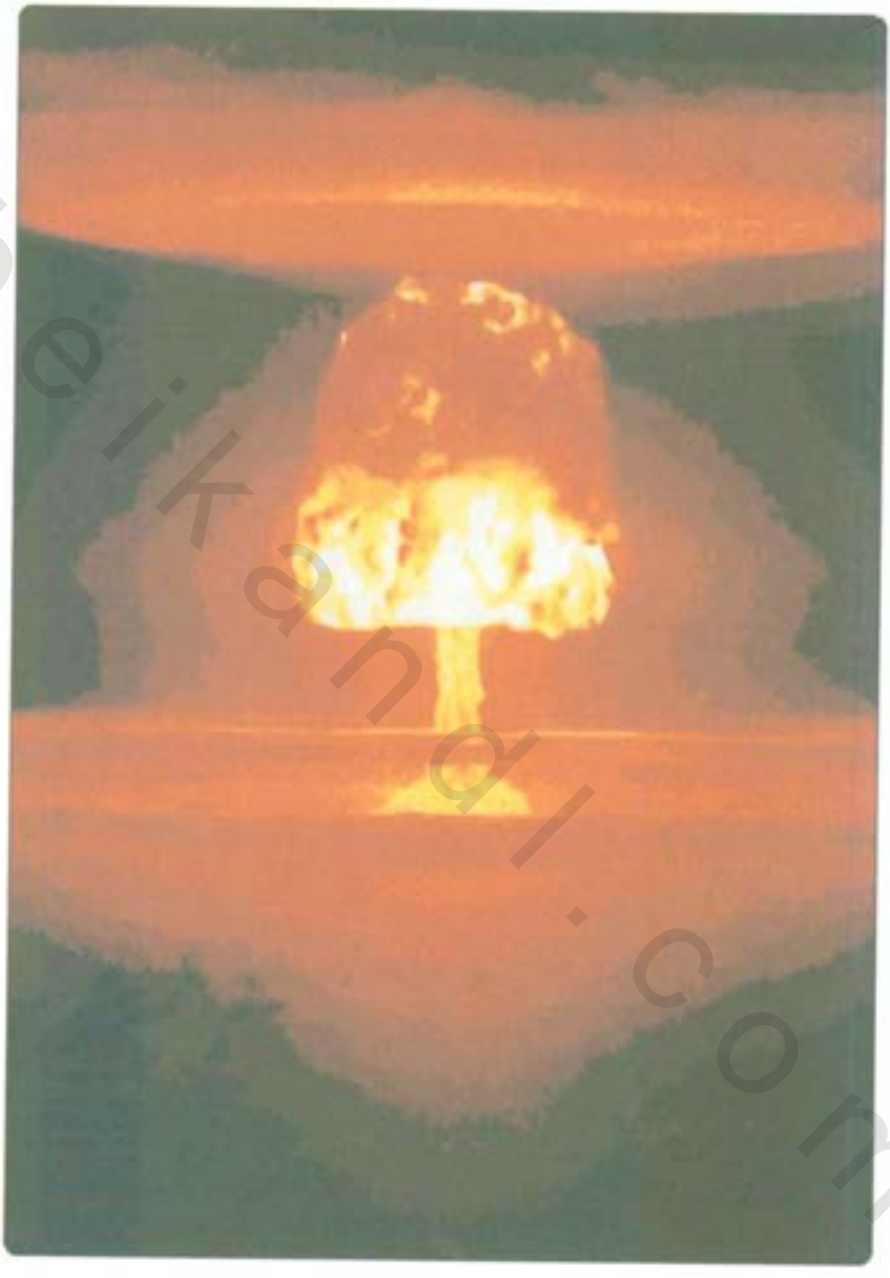
(20-1) $^{238}_{92}U \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{234}_{90}Th$

٢ – إشعاع بيتا (Beta-β- radiation) وهي عبارة عن جزيئات سالبة الشحنة مماثلة للإلكترون (كتلته صفر وشحنته – 1) ومثال لذلك تحويل ذرة النبتونيوم (Np) إلى ذرة البلوتونيوم (Pu) عند إشعاعها كجزيء البيتا:

(20-2) $^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}P + ^{0}_{-1}e$

وذلك بحفظ العدد الكتلي وزيادة عدد البروتونات.

obeikandl.com



obeikandl.com

٣- إشعاع قاما (Gama -γ-radiation) وهي عبارة عن فوتونات ضوئية لها طاقة عالية وطول موجة قصير جداً وعند انطلاق هذا النوع من الإشعاع لا يحدث أي تغيير في العدد الذري أو العدد الكتلي للذرة الناتجة بل تصبح الذرة مشعة فقط وغير ثابتة.

٤- إشعاع مفتعل (Induced radioactivity) وهذا النوع من الإشعاع يختلف عن الإشعاعات الثلاث السابقة التي تحدث تلقائيًا حيث تُقذف الذرة بالنيوترون فتصبح ذرة مختلفة ونشطة وغير ثابتة فتنتج عنها ذرة مختلفة تمامًا.

ومثال لذلك تحويل ذرة اليورانيوم إلى ذرة النبتونيوم كما يلي:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U \qquad (20\text{-}3$$

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e \qquad (20\text{-}4$$

مثال (20-1)

❖ ❖ ❖

ما هو ناتج التفاعل التالي بالإضافة إلى إشعاع بيتا:

$$^{228}_{88}Ra \rightarrow \ ? \ + \ ^{0}_{-1}e$$

الحل:

الناتج هو ذرة تكون عدد بروتوناتها أكبر من الراديوم بواحدة مع احتفاظ العدد الكتلي كما هو. ننظر في الجدول الدوري للعنصر ذي العدد الذري 89. فهو الآكتنيوم (Actinium) تصبح المعادلة كما يلي:

$$^{228}_{88}Ra \rightarrow ^{228}_{89}Ac + ^{0}_{-1}e$$

obeikandl.com

20-2 حركية التفاعلات المشعة:

لقد استخدم العلماء جهازين لتقدير درجة إشعاع الذرات وهما عداد جايجر (Geiger Counter) والآخر هو عداد قياس التوهج (Scintilation Counter) وبهما يمكن معرفة حركة ومعدل إشعاع الذرات غير المستقرة. وبهما أمكن لعلماء الآثار والجيلوجيا تقدير عمر الصخور والآثار القديمة.

ولقد لوحظ أن معدل تلاشي (decay) المادة المشعة يتناسب طرديًا مع عدد ذرات تلك المادة.

$$\text{rate} = \lambda N_t \qquad (20\text{-}5)$$

حيث إن N_t هي عدد الذرات للمادة المشعة. (λ) هي ثابت التلاشي.

فالمعادلة (20-3) تعد من المرتبة الأولى.

وبالتعويض عن (X) بـ (N) وعن K بـ (λ) في معادلة رقم (15-13) ينتج عنه:

$$\log(N_t - \log No) = -\frac{\lambda t}{2.303} \qquad (20\text{-}6)$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (20\text{-}7)$$

وبهذا يمكننا معرفة تلاشي المادة المشعة بنصف العمر بدلاً عن تقديرها بثابت التلاشي وعليه فإن نصف العمر القليل يدل على كبر قيمة ثابت التلاشي والذي يدل على سرعة التلاشي للمادة.

مثال (20-2)

إذا كان نصف العمر لليورانيوم ($_{92}^{238}U$) هو 6.0×10^6 عام. احسب:

obeikandl.com

أ – ثابت تلاشي اليورانيوم من الدرجة الأولى.

ب – ما يتبقى من اليورانيوم بعد مضي 2.4×10^4 عام.

الحل:

$$\lambda = 0.693/6.0\times10^{9} = 1.2\times10^{-7}/\text{years}$$

$$\text{In}\frac{No}{Nt} = 1.2\times10^{-7}\,\text{years}^{-1}\times 2.4\times10^{4}\,\text{years}$$

$$\text{In}\frac{No}{Nt} = 2.9\times10^{-3}$$

ومقلوب $\text{In}\frac{No}{Nt} = 1.0029$

$$\therefore \frac{Xo}{X} = 1/1.0029 = 0.997$$

∴ ما يتبقى بعد مرور 2.4×10^4 عام هو 99.7%

مثال (3-20)

❖ ❖ ❖

عُثر على قطعة أثرية مكونة من نبات حجري مشع نتيجة نظائر الكربون الداخلة في تكوينه، فإذا علمنا أن نصف عمر الكربون – 14 هو 6891 عام وأن نسبة $^{14}C/^{12}C$ بقدر 0.821 مرة لنفس النبات الطبيعي. احسب عمر هذا النبات المتحجر.

الحل:

$$\lambda = \frac{0.693}{6891} = 1.006\times10^{-4}/\text{years}$$

$$\text{In}\frac{Xo}{X} = 1.006\times10^{-4}\,\text{years}^{-1}\times t$$

$$X = 0.821\times o$$

$$\therefore \text{In}\frac{Xo}{X} = \text{In}\frac{1.00}{0.821} = \text{In}1.218 = 0.197$$

obeikandl.com

$$0.197 = 1.006 \times 10^{-4}\,\text{years}^{-1} \times t$$

$$t = 1958\ \text{years}$$

∴ عمر النبات المتحجر هو 1958 عام

20-30 طاقة التفاعلات النووية:

لقد لاحظنا في الدروس السابقة أن بعض التفاعلات الكيميائية يصحبها امتصاص أو انطلاق للطاقة وذلك في هيئة حرارة لا تتعدى درجات المقاسة بالفهرنهايت وسميت بالتفاعلات الماصة أو الطاردة للحرارة. أما التفاعلات النووية فقد تميزت بتغيير في درجات الحرارة قد تصل إلى ملايين بل لدرجات غير عادية. تُقَاسُ كمية الطاقة في هذه الحالة بمقدار التغيير في كُتَل المتفاعلات من النواتج مستخدمين في ذلك معادلة أينشتين (Einstein):

$$\Delta E = \Delta m c^2 \qquad (20\text{-}8)$$

حيث إن (ΔE) هي التغيير في الطاقة وهي تساوي مجموع طاقة النواتج ناقصًا مجموع طاقة المتفاعلات

$$\Delta E = \Sigma E_p - \Sigma E_r \qquad (20\text{-}9)$$

و'ن Δ m هي التغيير في الكتلة وتساوي مجموع كتلة النواتج ناقصًا مجموع كتلة المتفاعلات:

$$\Delta m = \Sigma m_p - \Sigma m_r \qquad (20\text{-}10)$$

وأن (c) هي سرعة الضوء وهي تساوي $3.00 \times 10^8 \frac{m}{s}$

وبما أن: $1y = 1kg.m^2/s^2$

obeikandl.com

فبالتعويض عن ذلك في معادلة (20-8) ينتج:

$$\Delta E = (3.00\times10^{8}\frac{m}{s})^{2}\times(\frac{1y.S^{2}}{1kg.m^{2}})\Delta m \qquad (20-11)$$

$$\Delta E = 9.00\times10^{16}\frac{J}{kg}(\Delta m) \qquad (20-12)$$

$$\Delta E = 9.00\times10^{16}\frac{J}{kg}\times\frac{1kg}{10^{3}g}\times\frac{1\,kJ}{10^{3}y}\times\Delta m$$

$$\Delta E = 9.00\times10^{16}\frac{kj}{g}\times\Delta m \qquad (20-13)$$

وباستخدام معادلة رقم (20-13) يمكننا حساب قيمة التغيير في الطاقة نتيجة التفاعلات النووية ويمكن تطبيق ذلك على نوعين من التفاعلات النووية المعروف وهما تفاعلات الاندماج وتفاعلات الانشطار:

20-3-1 تفاعلات الاندماج (Nuclear fusion reactions):

هذا نوع من التفاعلات يحدث فيه اندماج أو انصهار ذرتين خفيفتين لينتج عن ذلك تكوين ذرة أخرى أثقل كتلة. فقد اكتشف نظريًا أن مثل هذا التفاعل لا يمكن تطبيقه عمليًا نتيجة لهول وعظم الطاقة الناتجة عن ذلك والتي تقدر بملايين درجات الحرارة التي لا يمكن احتواؤها في إناء.

مثال (20-4) ❖ ❖ ❖

احسب قيمة الطاقة المنطلقة عند اندماج ذرة الديوتيريوم مع الترتيوم في المعادلة التالية:

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

الحل:

نحسب كتلة النواتج

$$\Sigma m_p = 4.00150g + 1.00867 = 5.01017 \text{ amu}$$

نحسب ثانيًا كتلة المتفاعلات:

$$\Sigma m_r = 2.01355 + 3.01550 = 5.02905$$

نحسب التغيير في الكتلة لكل مول من النواتج:

$$\Delta m = \Sigma m_p - \Sigma m_r$$

$$= 5.01017 - 5.0290 = -0.01888 \text{ amu}$$

والإشارة السالبة تعني أن الطاقة منطلقة نتيجة الاندماج.

نحسب الطاقة بالجول:

$$\Delta E = 9.00 \times 10^{10} \frac{kJ}{g} \times -0.01888 = -1.70 \times 10^{9} \text{ kj}$$

يمكن تحويل ذلك لكل جرام من المتفاعلات:

$$\Delta E = \frac{-1.70 \times 10^{9}}{5.02905} \text{ kj} = -3.38 \times 10^{8} \text{ kj/g}$$

هـا وقد قام العلماء بمحاولات عديدة لمعرفة مصدر الطاقة الناتجة عن الشمس فاكتسفوا وجود نظيري الهيدروجين وهما الديوتيريوم (deuterium) ${}_1^2H$ والتريتيوم ${}_1^3H$(tritium) بنسبة تصل 99 بالمائة من مكوناتها الأساسية فوجدوا أن ذلك يتناسب مع العملية الحسابية النظرية للمعادلة التالية:

$$(20\text{-}14) \qquad {}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + {}_0^1n$$

وقد اكتشف أن التغيير في العدد الكتلي للنواتج يختلف عن العدد الكتلي للمتفاعلات مما يفسر انطلاق هذا الكم الهائل من الطاقة الحرارية ومن الصعوبة بمكان

obeikandl.com

محاولة إدماج هاتين الذرتين إلا بتحويلهما إلى أيونات وذلك يتطلب طاقة حرارية تقدر بأربعين مليون درجة سلسيوس.

20-3-2 تفاعلات الإنشطار: (Nuclear fission reactions)

في هذا النوع من التفاعلات يحدث انشطار للذرة فينتج عن ذلك ذرتين أقلّ كتلةً من الأولى ويحدث تغيير في مجموع كتل النواتج وينتج عن هذا الفرق انطلاق كم هائل من الطاقه يصحبه إشعاعٌ نوويٌ خطير. وعلى سبيل المثال فإن الطاقة الناتجة عن انشطار اليورانيوم (Uranium) عند قذفه بالنيوترون (neutron) ينتج عنه نواتج مختلفه.

(20-15) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{142}_{56}Ba + ^{91}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n$

(20-16) $^{385}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{87}_{35}Br + ^{46}_{57}La + 3^{1}_{0}n$

(20-17) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{90}_{37}Rb + ^{144}_{55}Cs + 2^{1}_{0}n$

(20-18) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{72}_{30}Zn + ^{160}_{62}Sm + 4^{1}_{0}n$

هذا وتقدر الطاقة الناتجة عن هذا الانشطار بحوالي $2.1\times10^{13}J$ لكل مول من اليورانيوم. وهنا لنا وقفة لمقارنة كمية الطاقة الناتجة عن حرق 1 مول من الميثان التي تقدر $8.0\times10^{5}J$ وكذلك تلك التي تنطلق عن إحراق 1 مول فحم والتي تقدر بحوالي $2.5\times10^{3}J$. الجدير بالذكر أيضًا أن الطاقة التي تنبعث من التفاعلات الكيميائية مثل TNT أقل من طاقة إحراق الفحم. هذا ما يذكرنا بإطلاق أمريكا لقنبلتي نجازاكي وهيروشيما في اليابان حيث تم تدمير وقتل مئات الآلاف من البشر والكائنات الحية بل والجمادات في لحظة التفجير من جرّاء الحرارة العالية التي تفوق درجة انصهار الحديد بالإضافة إلى انطلاق الإشعاعات النووية المختلفة كإشعاع ألفا

وبيتا وقاما بطاقاتها الهائلة التي تخرق كل كائن حي أو جماد (عدا الرصاص) وتنهي وجوده في أقل من الثانية. وبما أن تفاعل الانشطار بطيء عبر مر السنين فما زال الإشعاع ينطلق حتى الآن ومازال يؤثر في أنوية الخلايا الحية فينتج عن ذلك تغيير في الكروموسومات وتشويه خلقي يتوارثه الأجيال.

لجدير بالذكر هنا أن الإشعاع المحكم القليل يستخدم الآن في مستشفياتنا الحديثة وذلك لعلاج حالات السرطان المبكرة حيث استفاد العلماء من هذه الظاهرة لقتل خلايا السرطان بتعرضها لجرعات خفيفة من إشعاع جاما حيث تموت الخلايا السرطانية أسرع من خلايا الجسم الحية.

مثال (5-20) ❖ ❖ ❖

احسب كمية الطاقة التي تنطلق نتيجة انشطار اليورنيوم في المعادلة التالية:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U$$

الحل:

نحسب كتلة النواتج من الجدول:

$$mp = 239.0038 \text{ amu}$$

نحسب كتلة المتفاعلات:

$$\Sigma mr = 238.0003 + 1.00867 = 239.00897 \text{ amu}$$

التغيير في الكتلة لكل مول من النواتج:

$$\Delta m = \Sigma mp - \Sigma mr$$

$$= 239.0038 - 239.00897 = -0.00517$$

obeikandl.com

التغيير في الطاقة :

$$\Delta E = 9.00 \times 10^{10} \frac{kJ}{g} \times -0.00517g = -4.653 \times 10^{8} KJ$$

∴ التغيير في الطاقة لكل جرام متفاعلات

$$\Delta E = \frac{-4.653 \times 10^{8}}{239.0038} KJ = -1.947 \times 10^{6} KJ/g$$

obeikandl.com

أسئلة وتمارين

١- ما هي الشحنة التي تحملها أشعة ألفا؟

(الإجابة : 2+)

٢- ما هو الإشعاع المنبعث نتيجة تلاشي ذرة اليورانيوم - 239 إلى نيتونيوم - 239؟

(الإجابة : إشعاع بيتا)

٣- ما هي ذرة العنصر الناتجة عن اندماج ذرتي الأينشتاينم (235-Einsteinium) مع الهيليوم(4-Helium) :

$$^{253}_{99}Es + ^{4}_{2}He = X + ^{1}_{0}n$$

(الإجابة : منديليفيم

(Mendelevium) ورمزه $^{256}_{101}Md$)

٤- تتلاشى 10.0 جرام من ذرة الثوريوم -27(thorium) لتصبح 8.51 جرام في فترة 3.00 يوم، أحسب ثابت التلاشي؟

(الإجابة : $0.0538\ day^{-1}$)

٥- للكربون -14 نصف عمر مقداره 5770 عام. فإذا كانت نسبة الكربون - 14 للكربون - 12 لقطعة متفحمة هي 0.323 مرة قدر التي تتواجد في الخشب العادي، ما عمر القطعة المتفحمة؟

(الإجابة : 9410 عام)

٦- عينة مشعة وزنها 12.0 جرامًا نصف عمرها 1.0 يوم، احسب المتبقي من هذه العينة بعد مضي 3.0 أيام من التلاشي.

(الإجابة : 1.5 جرام)