كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الاولى**

المادة : كيمياء عامة ٢

المحاضرة : ١٥+١٦/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية ، تكنلوجيا المعلومات والاتصالات

٢٥

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الفصل الخامس عشر

عناصر المجموعة الثامنة

الغازات النادرة

The Noble Gases

15 – 1 مقدمة

تحوي هذه المجموعة العناصر الآتية: الهليوم He، والنيون Ne، والأرغون Ar، والكريبتون Kr، والكزينون Xe، والرادون Rn. تتصف هذه العناصر النادرة (النبيلة) بأنها غازات وحيدة الذرة، وطبقتها الإلكترونية السطحية مكملة بثمانية إلكترونات من الشكل ns^2np^6 باستثناء الهليوم ذي التركيب الإلكتروني $1s^2$.

يعني الإشباع الإلكتروني للطبقة الخارجية ثبات هذه البنية، ويظهر ذلك واضحاً من قيم كمونات التشرد المرتفعة لهذه العناصر،

يلخص الجدول (15-1) أهم خواص عناصر الغازات النادرة، لذلك سميت بالغازات الخاملة حتى بداية الستينات.

تعد درجات الغليان والانصهار لهذه الغازات منخفضة، فالهليوم له أخفض درجة غليان لأية مادة معروفة، وهي تزداد مع ازدياد العدد الذري نتيجة اتساع الغمامة الإلكترونية، مما يؤدي إلى ضعف ارتباط الإلكترونات السطحية بالنواة، ويسمح بحدوث تشوه في الغمامة الإلكترونية، وعدم انتظام في توزع الشحنة، وإمكانية ظهور قوى فان دير فالس، ولهذا ترتفع درجات الانصهار والغليان.

الجدول (15-1): أهم الخواص الفيزيائية لعناصر المجموعة الثانية.

المعادن القلوية	He	Ne	Ar	Kr	Xe
العدد الذري	2	10	18	36	54
التركيب الإلكتروني	$1s^2$	$2s^22p^2$	$3s^23p^2$	$4s^24p^2$	$5s^25p^2$
نصف القطر الذري (Å)	1.2	1.6	1.9	2.0	2.2
طاقة التشرد الأول (kJ)	2372	2081	1520	1350	1170
درجة الغليان (^oC)	-269	-246	-186	-153	-107
درجة التبخر (^oC)	0.08	1.8	6.5	9.0	12.6

كذلك تتميز العناصر النادرة بحرارة تبخرها الضعيفة (وهي العمل اللازم تقديمه للتغلب على قوى التجاذب بين الذرات)، وتزداد حرارة التبخر مع ازدياد العدد الذري.

يعود انخفاض حرارة التبخر لهذه العناصر لكونها وحيدة الذرة، فالذرات لا ترتبط مع بعضها بروابط كيميائية، وإنما الذي يربط بين الذرات هو قوى فان دير فالس الضعيفة التي تتناسب طردا مع إمكانية تشويه أو استقطاب الذرة وعكساً مع كمونات شردها، ولهذا فإن هذه القوى تزداد بازدياد حجم الغمامات الإلكترونية، وازدياد انتشارها.

15 – 2 وجودها في الطبيعة

توجد جميع الغازات النادرة في الهواء عدا الرادون Rn، فهو ينتج بكميات ضئيلة من التفكك الإشعاعي لنواتج تفكك اليورانيوم. يعود اكتشاف وجود هذه العناصر في الهواء إلى القرنين الثامن والتاسع عشر، ويوجد الهليوم في أماكن الغاز الطبيعي، وتصل نسبته في بعض الدول إلى 7%، ويعود منشؤه إلى تفكك العناصر المشعة. يتم تحضير غاز الهليوم من التقطير المجزأ للغاز الطبيعي المميع. أما الغازات الأخرى فيتم تحضيرها من التقطير المجزأ للهواء المميع، وفصل عناصره، فنحصل بذلك على تلك الغازات التي يتم تنقيتها من الغازات الأخرى، مثل الأكسجين والآزوت.

فالأرغون ينتج مع 20% من الأكسجين الذي يتم التخلص منه بإضافة الهيدروجين إلى المزيج الذي يتفاعل مع الأكسجين، ويشكل الماء، وبعد ذلك يمرر المزيج على أكسيد النحاس المسخن للتخلص من الهيدروجين الباقي، والحصول على الأرغون بشكل نقي. كذلك يحضر النيون من التقطير المجزأ للهواء الجوي بعد تمييعه. أما الكريبتون، والكزنيون فنسبتهما منخفضة كثيرا في الهواء، لذلك يلزم لتحضيرهما كميات كبيرة من الهواء؛ إذ يتم عزلهما من تبخير الجزء الباقي من الهواء السائل، ويمكن فصلهما بالتقطير المجزأ، ومن ثم الامتصاص الانتقائي على الفحم الخشبي.

في حين أن الرادون لا يوجد في الجو، وجميع نظائره مشعة، ويتم تحضيره من حل أملاح الراديوم في الماء، ومن ثم يفصل الرادون بتبريد المزيج الغازي، فيتكاثف الرادون، الذي يتفكك إشعاعياً على النحو الآتي:

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

كل 1 g من ^{226}Ra يعطي 0.64 mL من ^{222}Rn خلال ثلاثين يوم، ويتفكك الرادون بالإشعاع α كما يلي:

$$^{226}_{88}\mathrm{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

إذ يبلغ نصف عمره 3.82 يوم.

15 – 3 الخواص الفيزيائية للغازات النادرة

الهليوم غاز خفيف قابل للاشتعال، ويستخدم بشكل واسع في ملء المناطيد، وإطارات الطائرات، كما يستخدم المزيج He/O_2 في أجهزة الغوص؛ لأن الهليوم أقل انحلالاً في الدم من الآزوت، ولا يشكل الفقاعات التي يشكلها الآزوت عند ارتفاع الضغط مسببا ما يعرف بشلل الغواص. وكغيره من الغازات النبيلة يستخدم كجو خامل خلال عمليات اللحام، ويمكن استخدام سائله في الأبحاث التي يتطلب إجراؤها درجات حرارة منخفضة. أما أهم نظائر الهليوم في الطبيعة، فهي ^4He، وكميات ضئيلة من ^3He، وهي نظائر ثابتة. أما النيون فهو أثقل من الهيدروجين بعشر مرات، ويتألف

مزيج من ثلاثة نظائر ثابتة، وهي: ^{20}Ne، و ^{21}Ne، و ^{22}Ne، وله أربعة نظائر مشعة، وهي: ^{18}Ne، و ^{19}Ne، و ^{23}Ne، و ^{24}Ne. يستخدم النيون في أنابيب الانفراغ في مصابيح الشوارع والإعلانات؛ لأنه إذا فرغ عند الضغط 2 mm Hg، وكمون 1000 فولط، يتألق بلون برتقالي محمر قادر على اختراق الضباب، ويمكن أن يعطي لونا أزرق أو أخضر عند مزجه مع كمية قليلة من بخار الزئبق. يعد الأرغون أكثر انحلالا في الماء من الأكسجين، والآزوت، ويوجد في الطبيعة بثلاثة أشكال ^{36}Ar، و ^{38}Ar، و ^{40}Ar، وله خمس نظائر مشعة، ويستخدم في ملء المصابيح الكهربائية، وعدادات غايغر، كما يستخدم كجو خامل في لحام الألمنيوم خاصة. في حين أن الكريبتون يستعمل في أنابيب الانفراغ، ولكل من الكريبتون، والكزينون عدة نظائر مشعة. أما نظير الرادون 222 فهو الأكثر استخداما، خاصة في الطب لمعالجة أمراض السرطان.

15 – 4 الخواص الكيميائية للغازات النادرة

إن فكرة ثبات المثمن الإلكتروني التي كانت سائدة، والتي تعني ثبات البنية الإلكترونية ns^2np^6 بشكل تصل فيه كل ذرة إلى هذه البنية عن طريق تشكيل الشوارد، مثل Na^+ أو F^-، أو عن طريق تشكيل روابط مشتركة لتكمل مدارها الخارجي إلى المثمن الإلكتروني، وتصبح خاملة. دفعت الكيميائيين إلى البحث لإيجاد إمكانية لتحريض هذه الغازات، وتشكيل مركبات، وقد برهن كل من العالمين بارتليت، ولوهمان عام 1962 على أن البنية الإلكترونية للغازات النادرة ليست ببنية خاملة، فقد لاحظا أن قيمة كمون التشرد الأول لكل من الكريبتون (14 eV)، والكزينون (12.13 eV)، والرادون (10.75 eV) قريبة جدا من كمون التشرد الأول لجزيء الأكسجين (12.2 eV)، وبما أن المركب PtF_6، الذي يعد مؤكسداً قوياً قادراً على أكسدة جزيء الأكسجين حسب المعادلة:

$$O_2 + PtF_6 \longrightarrow O^+[PtF_6]^-$$

فإن هذا المؤكسد قادر أيضاً على أكسدة الغازات النادرة المذكورة. وبالفعل، عند مزج بخار PtF_6 الأحمر الغامق مع غاز الكزينون العديم اللون، يحصل تفاعل تلقائي في

درجة الحرارة العادية، وتتشكل بلورات برتقالية مصفرة من سداسي فلورو بلاتينات الكزينون:

$$Xe + PtF_6 \longrightarrow Xe[PtF_6]$$

يأخذ الكزينون حالات الأكسدة 8+ في مركب XeO_4، و 6+ في XeF_6، و 4+ في XeF_4، و 2+ في XeF_2.

15 – 5 أهم مركبات الغازات النادرة

تعد مركبات الكزينون أهم المركبات المعروفة للغازات النادرة، نذكر منها:

1. ثنائي فلوريد الكزينون XeF_2: مركب أبيض بلوري رقم أكسدة الكزينون فيه 2+، يتم تحضيره بتعريض مزيج من الكزينون، وزيادة من الفلور لمدة يوم كامل إلى ضوء قوس زئبق عند الدرجة 25.°C، وتحت الضغط 1.5 atm، ثم يجمع الناتج عند الدرجة 78 °C-:

$$Xe + F_2 \xrightarrow[25^oC,1.5\ atm]{\text{قوس زئبق}} XeF_2$$

ويتشكل XeF_4 و XeF_2، وهناك صعوبة في فصل المركبين.

2. رباعي فلوريد الكزينون XeF_4: درجة أكسدة الكزينون فيه 4+، ويتم تحضيره من تسخين الكزينون والفلور بنسبة 5:1 عند الدرجة 400 °C تحت ضغط 13 atm، ويتم التسخين في وعاء من النيكل لمدة ساعة. يكون المركب الناتج بشكل بلورات عديمة اللون، تتصعد تحت ضغط منخفض.

3. سداسي فلوريد الكزينون XeF_6: درجة أكسدة الكزينون فيه 6+، وهو بشكل بلورات عديمة اللون، تصفر عند الدرجة 42 °C، وتتصهر متحولة إلى سائل أصفر في الدرجة 46 °C، أما بخاره فلونه أصفر مخضر.

يتم تحضيره بتسخين زيادة من الفلور مع الكزينون عند الدرجة 300-400°C، تحت ضغط 200 atm، ويتم الحصول عليه بمردود 95%، بتسخين المزيج $Xe + 2OF_2$ لمدة ساعة عند الدرجة 300 °C، وتحت ضغط يعادل 60 atm.

4. أوكسي رباعي فلوريد الكزينون $XeOF_4$: درجة أكسدة الكزينون فيه 6+، وهو سائل عديم اللون يتجمد في الدرجة $-46\ ^{o}C$، وهو ثابت ترموديناميكيا، ويتطاير هذا المركب بسهولة عند جمع سداسي فلوريد الكزينون XeF_6 في وعاء من الزجاج بشكل يحصل فيه التفاعل الآتي:

$$2XeF_6 + SiO_2 \longrightarrow 2XeOF_4 + SiF_2$$

ويمكن أن يتشكل أيضاً عن الحلمهة الجزيئية لـ XeF_6 حسب المعادلة:

$$XeF_6 + H_2O \longrightarrow XeOF_4 + 2HF$$

5. ثلاثي أكسيد الكزينون XeO_3: يأخذ الكزينون فيه رقم الأكسدة 6+، وقد تم تحضيره أول مرة من حلمهة المحلول الحمضي لرباعي فلور الكزينون حسب المعادلة:

$$3XeF_4 + 6H_2O \longrightarrow 2Xe + \tfrac{3}{2}O_2 + XeO_3 + 12HF$$

ويحصل في هذا التفاعل أكسدة، وإرجاع ذاتية للكزينون وفق ما يأتي:

$$Xe^{VI} \longleftarrow Xe^{IV} \longleftarrow Xe$$

كذلك يمكن تحضيره من الحلمهة الكاملة البطيئة لسداسي فلوريد الكزينون حسب المعادلة:

$$XeF_6 + 3H_2O \longrightarrow XeO_3 + 6HF$$

6. رباعي أكسيد الكزينون XeO_4: رقم أكسدة الكزينون فيه 8+، وهو مركب صلب، يتطاير بسهولة، وغير ثابت في درجة الحرارة العادية، ويتم تحضيره من تفاعل حمض الكبريت اللامائي مع فوق كزينات الباريوم عند الدرجة $-5\ ^{o}C$ حسب المعادلة الآتية:

$$2BaXeO_6 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2XeO_4 + 2BaSO_4 + 2H_2O$$

أسئلة وتمارين

1. فسر سبب انخفاض حرارات التبخر للعناصر النادرة.
2. حدد المركب الذي يستطيع أكسدة جزيء الأكسجين، واكتب المعادلة اللازمة.
3. هل تعد حاليا العناصر النادرة عناصر خاملة أم لا؟ علل ذلك.
4. حدد أرقام أكسدة الكزينون في المركبات الآتية: X_eF_2، و $XeOF_4$، وXeF_6، و XeF_4.

الفصل السادس عشر

مبادئ الكيمياء النووية

Principles of Nuclear Chemistry

16 – 1 مقدّمة

يتعلق التفاعل الكيميائي بنمط حدوثه وآليته ، فعندما يحدث التفاعل بمساهمة الإلكترونات السطحية للذرات بشكل يحصل فيه ترتيب جديد للإلكترونات وفقاً لأسلوب المشاركة والانتقال نكون في نطاق التفاعلات الكيميائية العادية على مستوى الذرات. أما عندما تحصل التفاعلات الكيميائية بشكل تخضع فيه نواة العنصر إلى تحولات يحدث التفاعل وفقها، فنكون ضمن مجال الكيمياء النووية.

لقد تم اكتشاف الأشعة السينية عام 1895، إذ اكتشف العالم رونتجن (Rontgen) عدة خصائص لهذه الأشعة، مثل النفاذ من الخشب، والورق، وجسم الإنسان. أما العالم بكرل (Becquerel) فقد درس خاصة توهج بعض المواد بعد تعريضها إلى مصدر أشعة، وذلك بهدف تفسير النقطة المضيئة التي ظهرت على جدار الأنبوب الزجاجي الذي استخدمه لتوليد الأشعة السينية. ومن أجل ذلك درس ملح مضاعف لكبريتات اليورانيوم والبوتاسيوم، فوجد أن هذه المادة تصدر أشعة بعد تعرضها لأشعة الشمس. حاول بكرل أن يتابع ويكرر تجربته هذه، بيد أنه اضطر إلى ترك المادة المدروسة في المختبر فوق لوحة حساسة بانتظار ظهور الشمس، وعندما أشرقت الشمس من جديد قام بتحميض اللوحة الحساسة للتأكد من سلامتها قبل أن يتابع عمله، فكان الحدث المهم إذ وجد بكرل صورة لصرة ملح اليورانيوم ظهرت على اللوحة الحساسة، فتأكد بذلك

أن ملح اليورانيوم يصدر أشعة غير مرئية دون أن يتعرض إلى أشعة الشمس أو غيرها. وقد تبين أن هذه الأشعة أقوى من الأشعة السينية، وسماها الأشعة اليورانية التي تم تحديد طبيعتها من قبل العالم رزوفورد (Rutherford)، الذي وجد أن هذه الإشعاعات تصدر عن نوى الذرات المشعة التي تتحول إلى عناصر أخرى مشعة نتيجةً للتحول الإشعاعي هذا.

16- 2 بنية النواة

تتكون النواة من البروتونات (protons)، والنترونات (neutrons)، إذ تم اكتشاف البروتونات من قبل العالم كولدشتاين، ويحمل البروتون شحنة موجبة قدرها 1.6021×10^{-13} Colomb، أما النترونات فقد اكتشفها فقد اكتشفها العالم سادويك في عام 1932، ويعد النترون جسماً معتدلاً كهربائياً. تعد البروتونات والنترونات المكونات الأساسية للنواة، إذ تم اكتشاف مكونات أخرى في النواة تم تقسيمها حسب كتلتها، ويوضح الجدول (16-1) أهم هذه المكونات.

إن عدد البروتونات الموجودة في النواة يعادل عدد الإلكترونات في الذرة التي تكون معتدلة كهربائيا، ويرمز لهذا العدد بالرمز Z، كما يرمز لعدد النترونات بالرمز

الجدول (16-1): أهم المكونات الأساسية للنواة.

الجسيم	الرمز	الشحنة	الكتلة (e = 1)*	المكتشف	عام الاكتشاف
البروتون	p	+	1837	كولدشتاين تومسون	1886 1906
النترون	n	0	1838.5	شادويك	1932
البوزيترون	e^+, β^+	+	1	اندرسون	1932
مضاد البروتون	p^-	-	1837	شابرمان وزملاؤه	1955
نيوترون (النترينو)	ν	0	0.04	باولي (فرضيا)	1927
ميزون (+)	π^+	+	210	يوكاوا (نظريا)	1935
ميزون (-)	π^-	-	210	باول (تجريبيا)	1947

* الكتلة بالنسبة إلى كتلة الإلكترون (9.11×10^{-28} g).

N، ويسمى مجموع عدد البروتونات وعدد النترونات العدد الكتلوي، ويرمز له بالرمز A:

$$A = Z + N$$

ويمكن تمثيل العنصر باستخدام العدد الذري Z، والعدد الكتلوي A كما يلي: ${}^{A}_{Z}X$، إذ يكون العدد الذري على يسار وأسفل العنصر، والعدد الكتلوي على يسار وأعلى الرمز، مثالك ${}^{14}_{7}N$.

يتساوى عدد البروتونات والنترونات في العناصر الخفيفة الثابتة عدا الهيدروجين ${}^{1}_{1}H$. أما العناصر الثقيلة فيكون عدد النترونات أكبر من عدد البروتونات، وتزيد هذه الزيادة من الاستقرار، وتخفف التنافر بين البروتونات المشحونة إيجابياً.

يمثل الشكل (16-1) تغير عدد النترونات بتابعية العدد الذري للعناصر المستقرة؛ إذ يمثل الخط المستقيم النقاط التي يتساوى فيها عدد البروتونات وعدد النترونات، بينما تمثل منطقة النقاط ما يسمى حزام الاستقرار أو منطقة الاستقرار التي تختلف سماكتها بين النوى ذات العد الكتلوي الزوجي والفردي. تدعى النوى (أو النوكليدات) ذات العدد الذري Z نفسه، ولكنها تختلف بالعدد الكتلوي A، النظائر (isotopes). فللهيدروجين ثلاثة نظائر: ${}^{1}_{1}H,\ {}^{2}_{1}H,\ {}^{3}_{1}H$.

تتمتع نظائر العنصر الواحد بالخواص الفيزيائية والكيميائية نفسها بسبب احتوائها على العدد نفسه من الإلكترونات، بينما تختلف في الخواص النووية، مثال:

${}^{127}_{53}I$ مستقر، بينما ${}^{128}_{53}I$ مشع

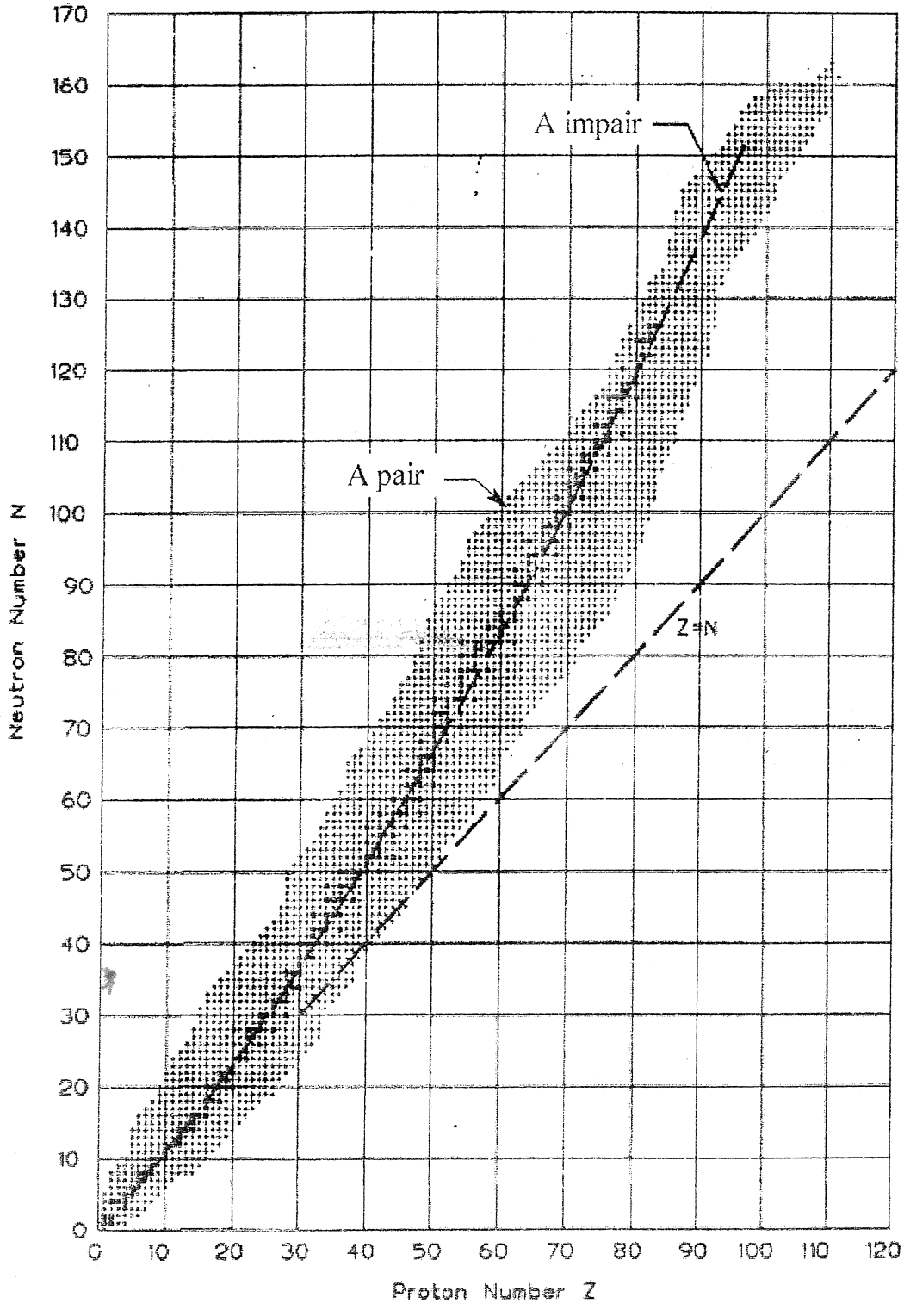
${}^{12}_{6}C$ مستقر، بينما ${}^{14}_{6}C$ مشع

أما النوى ذات العدد الكتلوي A نفسه، ولكنها مختلفة بالعدد الذري Z، فتدعى الإيزوبار (Isobar)، مثال: ${}^{239}_{94}Pu,\ {}^{239}_{93}Np,\ {}^{239}_{92}V$.

16 – 3 نصف قطر النواة

وضعت علاقة تقريبية من أجل تحديد نصف قطر النواة، إذ يؤخذ بالحسبان أن حجم النواة يتناسب طرداً مع عدد مكونات النواة A، وتعطى بالشكل الآتي:

$$R = r_0 A^{1/3}$$



الشكل (16-1): عدد النترونات بدلالة العدد الذري، والانزياح عن Z = N في الحالتين A زوجي (pair)، و A فردي (impair).

إذ يمثل r_0 ثابتاً يأخذ القيم من 1.4×10^{-11} حتى 1.6×10^{-13}. اعتماداً على تقدير كثافة النواة d بالعلاقة الآتية:

$$\frac{\text{وزن النوا}}{\text{حجم النوا}} = \frac{A}{r_0^3 \times A \times 6.022452\times10^{23}} = 10^{15}\ \text{gr/cm}^3 = 10^9\ \text{ton/cm}^3$$

وتعد قيمة هائلة، ولهذا يمكننا القول إن كتلة الذرة متمركزة في نواتها. كواحدة طول على مستوى الأبعاد النووية الصغيرة الفيرمي (Fermie)، بش فيه: $1\text{Fr} = 10^{-13}\ \text{cm}$.

16 – 4 النشاط الإشعاعي

تم اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي من قبل العالم الفرنسي بيكريل عـ إذ أثبت أن ذرات اليورانيوم ذات قدرة على إصدار أشعة غير مرئية، بعد اكتشاف عنصرين جديدين، هما الراديوم والبولونيوم عام 1898 من قبل بيير كوري؛ إذ تبين لهما أن فعالية إصدار الأشعة للراديوم أكبر بمليون مرة مـ اليورانيوم، ولهذا اصطلح تعبير النشاط الإشعاعي على قدرة نوى بعض الذر المستقرة (المشعة) على التفكك التلقائي، وإصدارها للأشعة؛ إذ يتم بعد ذلك ثلاثة أنواع من الأشعة: أشعة ألفا α، وأشعة بيتا β، وأشعة غاما γ، ونتيـ الإصدار التلقائي للأشعة تتحول نوى الذرات إلى حالة أكثر استقراراً.

16 – 5 أنواع التفكك الإشعاعي

16 – 5 – 1 التفكك ألفا α

إن أشعة α عبارة عن جسيمات تتألف من نوى الهليوم ^4_2He. فعند جسيمات α من نواة الذرة ينقص العدد الذري بمقدار 2، والعدد الكتلوي ب حسب المعادلة الآتية:

$$^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{X} + {}^4_2\text{He}$$

مثال:

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

ويحصل التفكك α في العناصر ذات الأعداد الذرية الأكبر من 80، والأعداد الكتلوية الأكبر من 200، والتي تسمى العناصر الثقيلة. يرافق الإصدار α للأشعة طاقة متحررة (انطلاق كمية الحرارة)، التي تحسب من علاقة اينشتاين بأخذ الفرق في الكتلة بين النواة المتفككة، ومجموع كتل النواة الناتجة، وكتلة جسيم α؛ أي إن:

$$E = [M(\mathrm{A},\mathrm{Z}) - M(\mathrm{A}-4, Z-2) - M(4,2)]\cdot c^2$$

إذ تمثل c سرعة الضوء. تتوزع الطاقة المتحررة بين النواة الناتجة وجسيم α على شكل طاقة حركية.

16 – 5 – 2 التفكك بيتا β

في حالة إصدار أشعة بيتا β، ثمة نوعان من الأشعة الصادرة: β^- السالبة، وهي عبارة عن إلكترون $^{0}_{-1}\mathrm{e}$ شحنته 1-، وكتلته قريبة من الصفر، و β^+ الموجبة، وهي عبارة عن بوزيترون (إلكترون موجب) $^{0}_{1}\mathrm{e}$. تنتج أشعة β^- السالبة عن تحول النترونات إلى بروتونات حسب المعادلة الآتية:

$$\mathrm{n} \longrightarrow \mathrm{p} + \beta^-$$

مثال:

$$^{28}_{13}\mathrm{Al} \longrightarrow {}^{28}_{14}\mathrm{Si} + \beta^-$$

إذ يزداد العدد الذري بمقدار واحد، ويحصل هذا التحول في نوى العناصر التي تحتوي على عدد زائد من النترونات.

أما أشعة β^+ الموجبة فتنتج من تحول البروتونات إلى نترونات بإصدارها جسيمات β^+، وتحصل في نوى الذرات التي تحتوي على عدد زائد من البروتونات:

$$\mathrm{p} \longrightarrow \mathrm{n} + \beta^+$$

مثال:

$$^{27}_{14}\mathrm{Si} \longrightarrow {}^{27}_{13}\mathrm{Al} + \beta^+$$

إذ ينخفض العدد الذري بمقدار واحد.

16 – 5 – 3 التفكك غاما γ

هي أشعة ذات طبيعة كهرطيسية ذات أطوال أمواج مقيدة، وتصدر هذه الأشعة عن نوى الذرات التي تكون في حالة إثارة خلال التفاعل النووي، وبنتيجة الإصدار γ تعود نوى هذه الذرات إلى حالتها الطبيعية.

يصدر الإشعاع γ على شكل فوتون واحد طاقته $h\nu$، أو عدة فوتونات تصدر بشكل متتالي. يترافق الإصدار γ مع جميع أنواع التفكك الإشعاعي، فهو ينتج دوماً من نوى مثارة وليدة:

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

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

لا يؤدي التفكك γ إلى حدوث تغير في العدد الذري Z أو العدد الكتلوي A.

16 – 6 الأسر الإلكتروني

تحصل هذه الظاهرة إذا احتوت نواة الذرة على عدد زائد من البروتونات؛ إذ يأخذ بروتون النواة إلكترونا من المدارات الإلكترونية القريبة من النواة، ويتحول نتيجة ذلك البروتون إلى نترون، ويرافق هذا التحول إصدار جسيم كتلته مهملة بالمقارنة مع كتلة الإلكترون، الذي يدعى النترينو ν، ويتم هذا التحول وفق المعادلة الآتية:

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

مثال:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} + ^{0}_{-1}\mathrm{e} \longrightarrow ^{A}_{Z-1}\mathrm{X} + \nu$$

وينقص هنا العدد الذري بمقدار واحد.

16 – 7 قانون التحول الإشعاعي

إن سرعة تفكك الذرات أثناء التحول الإشعاعي تعطى بالعلاقة:

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

إذ يمثل N عدد الذرات المتفككة، و λ ثابت سرعة التفكك (ثابت الانحلال الإشعاعي).

بعد مكاملة العلاقة السابقة نحصل على النتيجة الآتية:

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

إذ يمثل N_0 عدد ذرات العنصر المتفكك في اللحظة صفر، و N عدد ذرات العنصر المتفكك عند اللحظة t. ويمكن أن نكتب العلاقة السابقة بالشكل الآتي:

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

يسمى الجداء λN الفعالية الإشعاعية، ويرمز لها عادة بالرمز A، وبذلك تصبح العلاقة السابقة على النحو الآتي بعد ضرب طرفي المعادلة بـ λ:

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

16 – 8 نصف العمر

هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد ذرات العنصر؛ أي عندما $N = N_0/2$، ويرمز له بالرمز $T_{1/2}$، وبذلك يمكن أن نكتب:

$$\ln\frac{N}{2N} = -\lambda T_{1/2} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

إذ يمثل λ، كما ذكرنا سابقا، ثابت الانحلال الإشعاعي.

تقاس الفعالية الإشعاعية بواحدة تدعى الكوري (curie)، ويرمز لها بالرمز Ci، وهي كمية العنصر المشع التي تعطي 710^{10} تحولا في الثانية. من أجزاء الكوري يمكن أن نذكر: ميلي كوري: $mCi = 10^{-3}$ Ci، وميكرو كوري: $\mu Ci = 10^{-6}$ Ci، ومن مضاعفات الكوري نذكر الكيلو كوري: $kCi = 10^{3}$ Ci. فإذا كانت الفعالية الإشعاعية معطاة بالكوري، فإن:

$$A = \frac{1}{3.7\times 10^{10}}\lambda N$$

$$N = \frac{3.7\times10^{10}A}{\lambda} = \frac{3.7\times10^{10}}{0.693}T_{1/2}A$$

ويكون وزن العنصر، وليكن w:

$$w = \frac{N \cdot M}{6.02\times10^{23}}$$

إذ يمثل M الوزن الذري للعنصر.

16 – 9 تصنيف العناصر المشعة في الطبيعة

يمكن تصنيف العناصر المشعة في الطبيعة تبعاً لمصدرها، ويوجد ثلاثة أصناف لها.

16 – 9 – 1 العناصر المشعة الأولية

وهي عناصر موجودة في الطبيعة منذ تكوّنت الأرض حتى الآن؛ إذ إن نصف عمرها طويل. وهذه العناصر بدورها يمكن أن تتوزع على نوعين: الأول يضم العناصر الثقيلة ذات عدد ذري محصور بين 81 و 92، والتي تتألف من ثلاثة تجمعات، وهي: أسرة التوريوم ^{232}Th، وأسرة اليورانيوم ^{238}U، وأسرة اليورانيوم ^{235}U.

تصدر هذه العناصر الأولية أشعة α، و β^- بشكل مستمر معطيةً عدداً من النظائر المشعة الثانوية مؤدية إلى ثلاثة نظائر للرصاص: ^{206}Pb، و ^{207}Pb، و ^{208}Pb.

أما العناصر المشعة الأولية الخفيفة فهي العناصر ذات عدد أقل من 80 وتكون ممزوجة بنسب ثابتة من نظائرها المستقرة.

16 – 9 – 2 العناصر المشعة الثانوية

وهي العناصر التي تشكلت نتيجة تحول العناصر المشعة الأولية؛ لأنها لم تكن موجودة في الطبيعة عند تكوّن الأرض.

16 – 9 – 3 العناصر المشعة المحرضة طبيعيا

هي العناصر التي تنتج عن تفاعلات نووية طبيعية محرضة بوساطة جسيمات صاردة عن التفكك بالانشطار الآني الذي يعطي النترونات، مثال:

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

أو تكون محرضة بوساطة نترونات صادرة عن تأثير الأشعة الكونية، مثال:

$$^{14}N + n \longrightarrow {}^{14}C + p$$

ويوجد عناصر تتشكل من التحولات (α, n)؛ إذ تنتج من تفككات العناصر الثقيلة.

16 – 10 التفاعلات النووية

أنجز العالم رزرفورد أول تحول اصطناعي للعناصر؛ إذ وجد أن قذف ذرات الآزوت بوساطة جسيمات α يؤدي إلى الحصول على الأكسجين وفق المعادلة الآتية:

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

فالتفاعل النووي هو تحول اصطناعي يتحول وفقه عنصر إلى عنصر آخر، وغالباً ما تحدث التفاعلات النووية بين العناصر مع جسيمات خفيفة الوزن، تستخدم لقذف نواة العنصر المدروس، فمثلا يمكن استخدام جسيمات α، والبروتونات، والنترونات، والديترونات $(^{2}_{1}H)$.

عند كتابة معادلات التفاعلات النووي تستخدم رموز مشابهة للرموز المعتمدة عند كتابة معادلات التفاعلات الكيميائية مع الانتباه إلى وضع الأعداد الذرية والأعداد الكتلوية في أماكنها المحددة بشكل تكون فيه هذه الأعداد في طرفي المعادلة متساوية. ويعبر عادة عن الطاقة المرافقة للتفاعلات بواحدة الإلكترون فولط (eV) ومضاعفاتها. وتترافق التفاعلات النووية بانتشار طاقة أو امتصاص طاقة.

كما أن الآثار الحرارية للتفاعلات النووية أكبر بكثير من الآثار الحرارية للتفاعلات الكيميائية.

16 – 11 النشاط الإشعاعي الاصطناعي

اكتشف العالمان ايرين، وفريديك كوري النشاط الإشعاعي الاصطناعي في عام 1934؛ إذ حصلا على النظيرين المشعين $^{30}_{15}P$ و $^{13}_{7}N$ نتيجة قصف نواتي الألمنيوم والبور بجسيمات α حسب المعادلتين الآتيتين:

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightleftharpoons {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

$$^{10}_{5}B + {}^{4}_{2}He \rightleftharpoons {}^{13}_{7}N + {}^{1}_{0}n$$

يتفكك هذان العنصران المشعان متحولين إلى سيليسيوم وكربون مع إصدار البوزيترونات (إلكترونات موجبة) حسب المعادلتين الآتيتين:

$$^{30}_{15}P \rightleftharpoons {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{1}e$$

$$^{13}_{7}N \rightleftharpoons {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e$$

يعرف حاليا أكثر من 1500 نظير مشع، إذ تم الحصول على 1200 نظير منها اصطناعيا. ويمكن بوساطة التفاعلات النووية الحصول على عناصر لا توجد في الطبيعة (مثل التكنيسيوم، والبروميثيوم)، فضلاً عن النظائر المشعة للعناصر المعروفة. وأكثر العناصر الاصطناعية شهرة هو البلوتونيوم المستخدم في صناعة القنابل النووية.

16 – 12 الكتلة والطاقة

تقدر كتلة النواة بواحدة قياس تدعى وحدة الكتل الذرية (amu)؛ إذ اتخذ الكربون ^{12}C أساسا لهذه الوحدة، وافترض أن الوزن الذري لنظير الكربون ^{12}C مساو إلى 12 000 000، وبذلك يكون:

$$1\,\text{amu} = \frac{1}{\text{عدد أفوكادرو}} = \frac{1}{6.02252\times10^{29}} = 1.6604\times10^{-24}\,\text{g}$$

يعطى عادة في الجدول الدوري الكتلة المعتدلة للذرة، وليس كتلة النواة، وللحصول على هذه الكتلة يجب طرح Z مرة كتلة الإلكترون m_e من كتلة الذرة:

كتلة الإلكترون $= m_e = 0.000548597\,\text{amu}$

كتلة البروتون $= m_p = 1.007277\,\text{amu}$

كتلة النيترون $= m_n = 1.008665\,\text{amu}$

ويمكن إيجاد العلاقة بين الكتلة والطاقة باستخدام علاقة اينشتاين $E = mc^2$؛ إذ تمثل E الطاقة، و m الكتلة، و c سرعة الضوء في الخلاء، وبذلك يكون:

$$1\,\text{amu} = 1.49\times10^{-3}\,\text{erg/c}^2 = 931.5\,\text{MeV/c}^2$$

إذ يعبر عن الطاقة في مجال الفيزياء والكيمياء النووية بواحدة تدعى الإلكترون فولط eV، وتمثل الطاقة المتحررة عن إلكترون وضع في فرق كمون يساوي فولطاً واحداً. ومن مضاعفات eV نذكر الكيلو إلكترون فولط keV، والمليون إلكترون فولط MeV، إذ إن:

$$1\,\text{MeV} = 10^3\,\text{keV} = 10^6\,\text{eV}$$

وبذلك فإن: $1\,\text{MeV} = 1.602\times10^{-6}\,\text{erg} = 1.602\times10^{-3}\,\text{J}$

16 - 13 طاقة الترابط النووي

يتطلب استقرار النواة وجود قوى تجاذب بين مكوناتها تتغلب على قوى التنافر الكهربائي الساكن الناشئة بين البروتونات المشحونة إيجابياً، ويطلق على هذه القوة اسم القوة النووية. أما طاقة الترابط النووية (طاقة الترابط للنواة) فهي الطاقة اللازمة لفصل نويات النواة إلى بروتونات ونترونات معزولة، ومن جهة أخرى فهي الطاقة المتحررة عند تشكل النواة من عناصرها الأساسية بروتونات ونترونات، وتحسب طاقة الترابط من الفرق بين مجموع كتل مكوناتها من بروتونات ونترونات، والكتلة الفعلية للنواة نفسها، ويسمى هذا الفرق النقص الكتلوي، ويحسب باستخدام علاقة اينشتاين:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

تحدد قيمة طاقة الترابط النووي استقرار (ثبات) النواة تجاه التحلل الإشعاعي، فكلما كانت الطاقة أعلى، كانت النواة أكثر ثباتاً، وتؤخذ عادة قيمة الترابط لكل نوية؛ أي لكل مكون من مكونات النواة.

مثال: لنواة ذرة الهليوم $^{4}_{2}He^{2+}$ (جسيم α) كتلة مساوية 4.001506 amu، ويتم تشكل هذه النواة من بروتونين ونترونين وفق ما يلي:

$$2p + 2n \longrightarrow {}^{4}_{2}He^{2+}$$

إن مجموع كتل البروتونات والنترونات يساوي:

$$2m_p + 2m_n = 2(1.00865) + 2(1.007277) = 4.03384\,\text{amu}$$

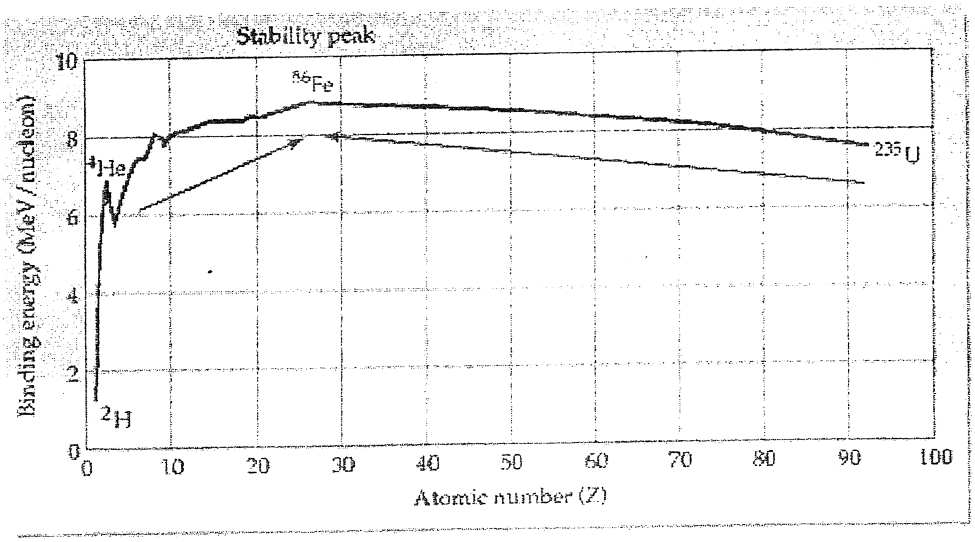
ويكون الفرق بين هذا المجموع والكتلة الفعلية لنواة الهليوم:

$$\Delta m = 4.03384 - 4.0001506 = 0.032378\,\text{amu}$$

وباستخدام علاقة اينشتاين $E = \Delta m \cdot c^2$، تحسب الطاقة الكامنة في الجسيم:

$$E = 0.032378 \times 931.5 = 30.16\ \text{MeV}$$

تمثل هذه الطاقة القيمة الدنيا اللازمة لتفكيك نواة الهليوم إلى مكوناتها الأساسية، وهي الطاقة بين أربع نيوكليونات (بروتونين ونترونين)، فتكون الرابطة المتوسطة لكل نوكليون عبارة عن ربع قيمة هذه الطاقة (أي حوالي 7.5 MeV). وقد حسبت طاقة الرابطة المتوسطة للذرات الأخرى، ويبين الشكل (2-16) تغير قيمة هذه الرابطة E/A بدلالة العدد الكتلوي A، ويوضح طاقة الترابط لكل جسيم (نيوكليون) بدلالة A؛ إذ



الشكل (2-14): طاقة الترابط لكل نيكليون بدلالة العدد الذري Z.

يلاحظ أن الطاقة تأخذ قيمة عظمى في منطقة الحديد، والنيكل، والكوبالت، مما يدل على الثبات الأعظمي لهذه العناصر التي تشكل نواة الأرض (الحديد والنيكل).

16 - 14 الانشطار النووي

هو تحول يتم فيه انشطار نواة ثقيلة إلى نوى عناصر أخف، ويرافق ذلك تحرر عدد من النترونات، مثال على ذلك انشطار اليورانيوم $^{235}_{92}U$، بعد قذفه بوساطة النترونات؛ إذ يتحول إلى نواة ^{236}U غير مستقرة، التي في حد ذاتها تنشطر وفقا لمسارات عديدة، نذكر منها:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{91}_{36}Kr + ^{142}_{56}Ba + 3\,^{1}_{0}n$$
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{90}_{38}Sr + ^{144}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$$

وبما أن نوى الذرات الناتجة أخف من النواة الأصلية، فإن طاقات ترابطها أعلى، وتتحرر الطاقة؛ إذ إن مجموع كتل النواتج أقل من مجموع كتل المواد المتفاعلة، فانشطار ذرة يورانيوم وحيدة $^{235}_{92}U$ يحرر طاقة مقدراها 200 MeV.

يعد الانشطار النووي بوساطة النترونات الأكثر شيوعاً، ويمكن أن يحدث بوساطة البروتونات أو الديترونات، وكذلك بوساطة جسيمات α. ونتيجة الانشطار النووي تنتقل النواة إلى وضع أكثر استقراراً، ويرافق ذلك انتشار كمية كبيرة من الطاقة تستخدم في القنابل النووية، وفي المفاعلات النووية التي تحوي على مواد قابلة للانشطار، مثل اليورانيوم ^{235}U، بالإضافة إلى مواد معدلة، مثل الماء أو الغرافيت، من أجل تخفيف سرعة النترونات الناتجة عن عملية الانشطار لكي تتمكن من القيام بدورها لتحقيق انشطارات جديدة. ويتم التحكم بسرعة التفاعل باستعمال قضبان من الكادميوم ذات قدرة على امتصاص النترونات. أما طاقة التفاعل فيتحول القسم الأكبر منها إلى طاقة حرارية يتم امتصاصها باستخدام مبرد؛ إذ تنتقل هذه الطاقة عبر عنفات بخارية لتوليد الكهرباء.

أما في القنبلة الذرية، فيتم وضع كمية معينة من المادة القابلة للانشطار في منطقة صغيرة بشكل يزداد فيه الانشطار بسرعة مؤدية إلى حدوث انفجار هائل، وانتشار

كمية كبيرة من الحرارة. تقدر كمية الحرارة المنتشرة عن انشطار كيلوغرام من اليورانيوم ما يعادل احتراق 2200 طن من الفحم الحجري.

16 - 15 الاندماج النووي

هو تحول يتم فيه اندماج نوى عناصر خفيفة، مثل الهيدروجين، والهليوم، لإعطاء نواة أثقل. ويرافق هذا الاندماج انتشار طاقة عالية جداً، وهي أعلى من الطاقة المتحررة عن تفاعل الانشطار النووي، وتعتمد القنبلة الهيدروجينية على مبدأ الاندماج النووي الذي يتطلب حدوثه طاقة تنشيط عالية جدا، ولهذا تستخدم قنبلة ذرية لتزويد تفاعلات الاندماج بالدرجات العالية من الحرارة اللازمة لحدوثها.

ومن المعتقد أن طاقة الشمس ناتجة عن اندماج نوى الهيدروجين لإعطاء نواة الهليوم وفق المعادلات الآتية:

$$2({}_1^1H + {}_1^1H \longrightarrow {}_1^2He + {}_1^0e)$$
$$2({}_1^1H + {}_1^2H \longrightarrow {}_2^3He)$$
$${}_2^3He + {}_2^3He \longrightarrow {}_2^4He + {}_1^1H + {}_1^1H$$

ويكون التفاعل النهائي:

$$4{}_1^1H \longrightarrow {}_2^4He + 2{}_1^0e$$

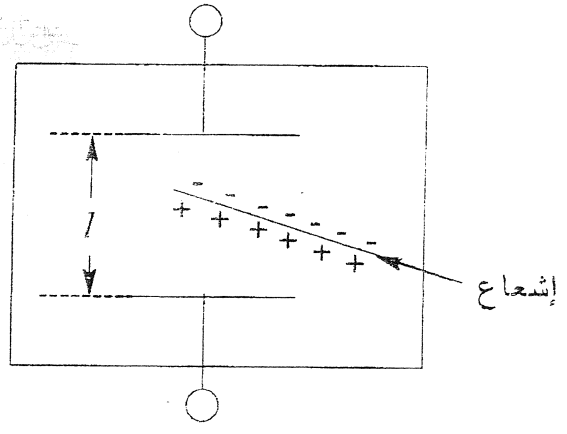
يعطي كيلو غرام واحد من الهيدروجين المستهلك في التفاعل السابق كمية من الحرارة تعادل ما يحرره 22000 طن من الفحم الحجري.

إن القنبلة الهيدروجينية (القنبلة النترونية) هي أخطر أنواع الأسلحة النووية، وتبلغ قيمة طاقة التفاعل الاندماجي فيها قيمة هائلة مقدراها 17.6 MeV.

16 - 16 طرائق قياس النشاط الإشعاعي

يتم قياس النشاط الإشعاعي وفق مبدأ تأثير الإشعاع في وسط لقياس هذا التأثير، مما يؤدي إلى حدوث تغير في الخواص الفيزيائية والكيميائية لهذا الوسط. فبعد تحميض لوحة تصوير حساسة يتم تعريضها إلى حزمة أشعة، نلاحظ مشار الإشعاع

على هذه اللوحة. لا تعطي هذه الطريقة معلومات عن كمية الإشعاع أو طاقته. ثمة طرائق يمكن اتباعها لتقدير النشاط الإشعاعي تعتمد على تأثير الإشعاع في وسط غازي أو سائل أو صلب، ثم قياس التغيرات التي حدثت في هذا الوسط بوساطة مرفقات من مدارات إلكترونية لتصنيف وتحاليل المعطيات، وتعرف هذه الطرائق باسم الطرائق الإلكترونية، ويتم إجراؤها باستخدام عدادات إلكترونية، أهمها تلك التي تحتوي على الغاز بمثابة وسط للقياس؛ إذ يتم القياس وفق مبدأ تشكل زوج شاردي داخل حجرة يوضع فيه الغاز، ومكثفة على بعد l، وعند مرور المادة المشعة ذات الطاقة المحددة يحدث تشردات للغاز، ونحصل على إلكترونات وشوارد موجبة على مسار الإشعاع كما هو موضح في الشكل (16-3). فإذا كان فرق الكمون كافياً تتوجه الإلكترونات نحو القطب الموجب، والشوارد الموجبة نحو القطب السالب، ويتناسب عدد هذه التشردات طردا مع طاقة الإشعاع.



الشكل (16-3): مبدأ عمل غرف التأين في قياس الإشعاع.

16 – 17 تطبيقات الكيمياء النووية

التأريخ بالنظائر المشعة: تم إيجاد بعض الباحثين الوثائق المقدسة في الكهوف بالقرب من بحر الميت. هل يمكن توثيقها؟ اكتشفت المومياء في مدافن مصر، هل يمكن تقدير عمرها؟ ثمة أسئلة كثيرة أخرى يمكن الإجابة عليها عن طريق علم الآثار الذي يستخدم التقنية التي تدعى التأريخ بوساطة الكربون المشع. يتعلق التأريخ بوساطة الكربون المشع للآثارات الإنسانية بتشكل الكربون – 14 المشع، وثابت إنتاجه في

طبقة الجو العلوية عن طريق قذف ذرة النتروجين بالنيوترون (تأتي النيوترونات من قذف الذرات الأخرى بالأشعة الكونية):

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

يتحد الكربون – 14 الناتج في طبقة الجو العلوية مع الأوكسجين مشكلا $^{14}CO_2$، الذي ينتشر ببطء نحو الطبقة السفلية للجو؛ إذ يمتزج مع $^{12}CO_2$ العادي، وتأخذه النباتات خلال التحلل الضوئي. عندما تؤكل هذه النباتات، يدخل الكربون – 14 في سلسلة من الأطعمة، وفي النهاية ينثر أو يتوزع بانتظام عبر الخلايا الحية.

عندما تعيش النباتات والحيوانات طويلاً، يحصل التوازن الديناميكي، الذي يطرح أو يفرز فيه الكائن الحي كمية من ^{14}C التي استولى عليها. وفي النتيجة فإن نسبة ^{14}C إلى ^{12}C في الكائن الحي تمثل النسبة ذاتها التي في الجو – حوالي 1 جزء في 10^{12}. وعند موت النبات أو الحيوان، فلن يستولي على كمية أكثر من ^{14}C، وبذلك تتناقص النسبة $^{14}C/^{12}C$ عند خضوعه للتحلل الإشعاعي بوساطة إصدار β ذات نصف عمر $t_{1/2} = 5730\,\text{years}$:

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

عند 5730 سنة (أحد أنصاف عمر ^{14}C) بعد موت الكائن الحي، تتناقص النسبة $^{14}C/^{12}C$ بالعامل 2، وعند 11,460 سنة بعد الموت تتناقص النسبة $^{14}C/^{12}C$ بالعامل 4، وهكذا. بقياس النسبة المئوية $^{14}C/^{12}C$ لآثار لأي كائن حي، نستطيع تحديد ما طول عمر الكائن الحي الميت. إن بقايا الإنسان أو شعر الحيوان أو الرسومات الفحمية أو شظايا الخشب من شجرة الزيزفون الحية السابقة، والأقمشة القطنية أو الورق من النباتات الحية السابقة تمثل جميعها مصادر مفيدة من أجل التأريخ بالكربون المشع. تصبح التقانة أقل دقة عندما تكون العينات المأخوذة قديمة جدا، وكمياتها تتضمن محتوى أقل، ولكن يمكن تأريخ البقايا الإنسانية ذات عمر 1000 – 20,000 سنة بدقة مقبولة. تبلغ الحدودية الخارجية للتقانة حوال 60,000 سنة.

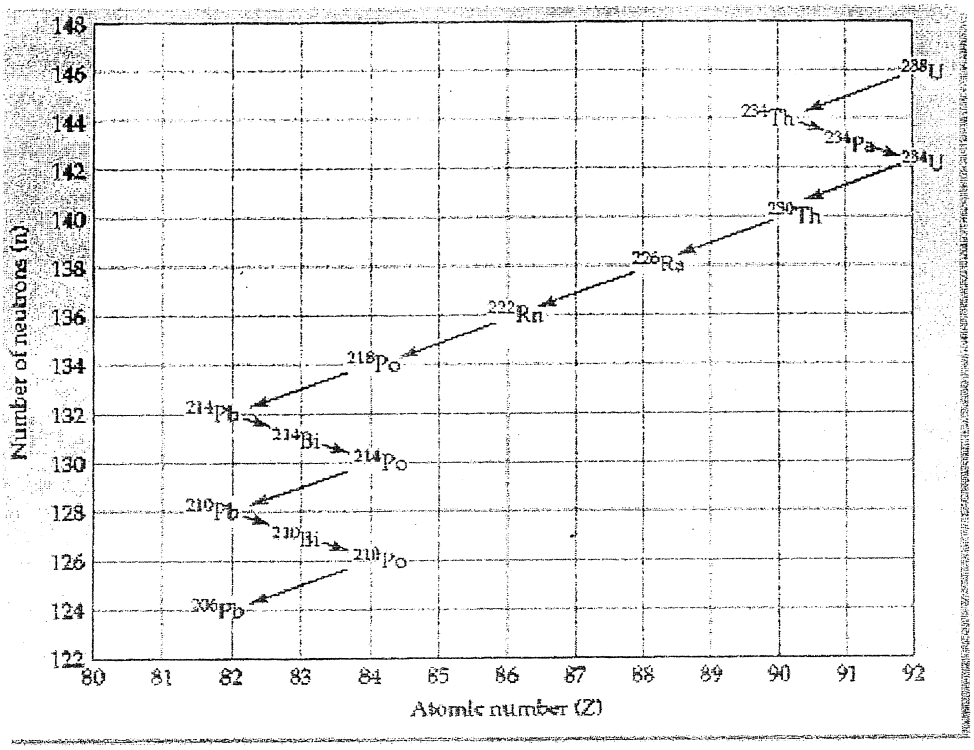
إن القياسات بوساطة الكربون المشع التي تسمح بتأريخ الكائنات الحية السابقة مشابهة بدقة القياسات بوساطة النظائر المشعة الأخرى المحتملة لتأريخ الصخور. فمثلاً

لليورانيوم – 238 نصف عمر قدره 4.47×10^{9} سنة، ويتحلل عبر سلسلة من الحوادث المبينة في الشكل (14-4)، مشكلا الرصاص – 206. وبذلك يمكن تحديد عمر الصخر الحاوي على اليورانيوم بقياس النسبة $^{238}U/^{206}Pb$.

بصورة مشابهة، يتمتع البوتاسيوم – 40 بنصف عمر قدره 1.28×10^{9} سنة، ويتحلل بوساطة أسر الإلكترون، وإصدار البوزيترون مشكلاً الأرغون – 40 (إن كلتا العمليتين تؤدي إلى النتيجة نفسها):

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

يمكن تقدير عمر الصخر بوساطة سحق العينة، وقياس كمية الغاز المتسرب $^{40}_{18}Ar$، ومقارنتها مع الكمية المتبقية $^{40}_{19}K$ في العينة. من خلال مثل هذه التقانات قدر عمر الأرض الذي يبلغ حوالي 4.5 بليون سنة.



الشكل (16-6): سلاسل الانحلال من $^{238}_{92}U$ إلى $^{206}_{82}Pb$. إن كل نيوكليد ما عدا الأخير يعد فعال إشعاعيا، ويخضع إلى الانحلال النووي. إن التوجه نحو اليسار (الأسهم الكبيرة) يمثل الإصدارات α، والتوجه نحو اليمين (الأسهم الصغيرة) تمثل الإصدارات β.

مثال: تم إجراء القياسات على عينة أثرية بوساطة الكربون المشع في عام 1988 وتبين أن سرعة الانحلال تبلغ 14.2 disintegrations/min لكل غرام من الكربون. ما العمر الذي يستدل عليه بحسب هذه النتيجة إذا كانت سرعة انحلال الكائنات الحية الحالية مساوية 15.3 disintegrations/min لكل غرام من الكربون؟ مع العلم أن نصف عمر ^{14}C يساوي 5730 سنة.

الحل: تكافئ نسبة سرعة الانحلال عند أية لحظة t إلى سرعة الانحلال عند اللحظة $t = 0$ النسبة نفسه لـ N إلى N_0:

$$\frac{\text{Decay rate at time } t}{\text{Decay rate at time } t = 0} = \frac{kN}{kN_0} = \frac{N}{N_0}$$

لحساب التاريخ نحتاج إلى حساب الزمن t الموافق لسرعة الانحلال المكتشفة. يمكن إجراء ذلك بحل المعادلة الآتية من أجل t:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -(\ln 2)\left(\frac{t}{t_{1/2}}\right)$$

بتعويض القيم المعطاة في هذه المعادلة نجد:

$$\ln\left(\frac{14.2}{15.3}\right) = -0.693\left(\frac{t}{5730 \text{ years}}\right) \Rightarrow \quad t = 617 \text{ years}$$

وتدل هذه القيمة ضمنياً إلى أنها متعلقة بالقرون الوسطى.

الاستخدام الطبي للفعالية الإشعاعية:

بدأ عصر المعالجة النووية في عام 1901 عندما استخدم العالم الفرنسي الفيزيائي دانلوس لأول مرة الراديوم في معالجة سرطان أورام الجلد. خلال تلك اللحظة أصبح استخدام الفعالية الإشعاعية الجزء الحاسم للعناية الطبية الحديثة – التشخيص، والعلاج. يمكن جمع التقانات النووية الحالية في ثلاث أصناف: (1) في الإجراءات الاحيائية، (2) وفي الإجراءات العلاجية، (3) وفي الإجراءات التشخيصية.

في الإجراءات الاحيائية: في الدراسات الاحيائية – تلك التي تأخذ بالحسبان البدن أو جسم الكائن الحي– يتم تخمين وظيفة العضو المستقل أو جملة البدن. ويتم

اختيار الكاشف الدوائي الإشعاعي، وتحديد مساره في الجسم – إذ يمتص أو يطرح أو يخفف أو يركز – بتحليل الدم أو عينات من البول. ثمة أمثلة عديدة في الإجراءات الإحيائية تستخدم الكواشف الإشعاعية، نذكر منها تحديد حجم الدم السليم بوساطة حقن كمية معلومة من خلايا الدم الحمراء المدروسة مع الكروم المشع – 51. بعد فترة ملائمة للسماح للخلايا المدروسة بالتوزع بانتظام عبر الدم، تؤخذ عينة من الدم، وتقاس الكمية الممددة من ^{51}Cr، ويحسب بعد ذلك حجم الدم. لنتذكر أنه عند تمديد محلول مركز تبقى كمية المذاب نفسها (في المثال الحالي)، ويتغير فقط الحجم. أي إن:

$$\text{Amount of } {}^{51}\text{Cr} = C_0 \times V_0 = C_{\text{blood}} \times V_{\text{blood}}$$

أو:

$$V_{\text{blood}} = \frac{C_0 \times V_0}{C_{\text{blood}}}$$

إذ يمثل C_0 و V_0 تركيز الخلايا المدروسة المحقونة (بالوحدة $\mu Ci/mL$) وحجمها (في الوحدة mL)، أما C_{blood} و V_{blood} تركيز الخلايا المدروسة في الدم (بالوحدة $\mu Ci/mL$)، وحجمها (في mL).

الإجراءات العلاجية: يمكن أن ترتبط الإجراءات العلاجية – إذ يستخدم فيها الإشعاع لقتل النسج المريضة – إما بالمصادر الخارجية، وإما بالمصادر الداخلية. يتم العلاج الإشعاعي الخارجي لمعالجة السرطان في أحوال كثيرة بوساطة أشعة γ من مصدر الكوبالت – 60. يحجب المصدر الإشعاعي العالي بوساطة صندوق سميك من الرصاص المتمتع بفتحة صغيرة توجه مباشرة نحو مكان الإصابة. يتم تسلط حزمة الإشعاع على الورم الخبيث، وتدوير جسم المريض بشكل يتعرض فيه الورم إلى الإشعاع تعرضا تاماً في حين يصبح تعرض الأجزاء المحيطة أصغرياً. مع ذلك، عندما يكون التعرض كافياً قد يتعرض المريض إلى تأثيرات الغثيان الإشعاعي.

يمثل العلاج الإشعاعي الداخلي التقانة الأكثر انتقائية من العلاج الخارجي. فمثلاً في معالجة سرطان الغدة الدرقية بمثل اليود – 131، المعروف بقدرته على الإصدار ليتمركز في النسج المعنية – الدواء الداخلي الذاتي. بما أن الجسيمات تتغلغل ليس إلى

أكثر من بضع مليمترات، ينتج I^{131} المتمركز إشعاعا عاليا يعمل على تخريب النسج المريضة المحيطة فقط.

الإجراءات التشخيصية: تعطي الإجراءات التشخيصية معلومات تشخيصية حول صحة الأعضاء الدموية بتحليل نموذج توزع النظير المشع الداخل إلى الدم. يحقن الكاشف الدوائي الإشعاعي، الذي كما هو معلوم يركز في نسج خاصة أو عضو خاص، في الدم، ويستقبل نموذج التوزع بوساطة مقومات إشعاعية خارجية. تبعاً للمرض والعضو، يركز العضو المعتل بصورة أكثر بالدواء الإشعاعي مما للعضو السليم، وبذلك تظهر الحرارة الإشعاعية في بقعة يقابلها خلفية باردة. ثمة وسيلة بديلة تعتمد على تركيز العضو المصاب بكمية أقل بالدواء الإشعاعي مما للعضو السليم، وبذلك تظهر بقعة باردة على الخلفية الساخنة.

يمثل التكنيتيوم – 99m النظير المشع الأكثر استخداماً في وقتنا الحاضر، الذي يتمتع بنصف عمر قصير قدره 6.01 ساعة، ويتمتع بتعرض أصغري للتأثيرات الضارة. يستخدم من أجل الفحوصات العظمية النظير Tc-99m، ويمثل الأداة المهمة في تشخيص السرطان، والحالات المرضية الأخرى. يستخدم أحد الأنماط الأخرى للإجراءات التشخيصية التقانة التي يطلق عليها التشخيص الطبني المغناطيسي (MRI). لا تستخدم التقانة MRT النظائر المشعة، ولا يعرف لها أي تأثيرات جانبية؛ إذ يستخدم فيها الموجات الراديوية لتثير (لتحفز) نوى محددة بوجود حقل مغناطيس قوي، ثم تقدم النوى المحفزة أو المثارة (تمثل عادة نواة الهيدروجين في الجزيء H_2O) إشارة يمكن قياسها، وتأويلها، وربطها مع محيطها في الدم.

أسئلة وتمارين

1. عرف أنواع التفكك مع ذكر مثال لكل نوع.
2. أكمل التحولات الآتية:

$$^{14}_{6}C \longrightarrow \cdots + \cdots$$

$$^{16}_{8}O \longrightarrow \cdots + \cdots$$

$$^{224}_{88}Ra \longrightarrow \cdots + \cdots$$

$$^{212}_{84}Po \longrightarrow \cdots + \cdots$$

3. أي النواتين ذات طاقة ارتباط أعلى للجسيم النووي الواحد:

$^{58}_{28}Ni(75.941amu)$ أم $^{58}_{28}Mn(54.939amu)$

4. يبلغ نصف عمر ^{90}Sr حوال 28 سنة، فإذا قيس نشاط عينة نقية منه، فكان 1800 تفككا في الدقيقة، فما هي كتلة العينة.
5. عرف النشاط الإشعاعي الاصطناعي مع ذكر مثال.
6. قارن بين الاندماج النووي، والانشطار النووي مع ذكر مثال لكل حالة.
7. ما أهمية الكيمياء النووية في مجال الطب.

Az library