الباب الثامن

التفاعلات النووية والاشعاع الصناعى

Nuclear Reactions and Artificial Radioactivity

ثبات النواة : Nuclear Stability

توجد بالنواة قوى تجاذب بين البروتونات والنيوترونات وذلك نتيجة لتبادل الميزونات بينها ، كما توجد قوى تنافر بين البروتونات لتماثل شحناتها، وتبلغ قوى التجاذب قيمة عظمى عند وجود اعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات بالنواة ، كما تقل قوى التنافر كلما نقص عدد البروتونات لذلك تكون النواة مستقرة إذا كان عدد بروتوناتها قليلا ، وإذا كانت النسبة بين عدد نيوتروناتها (ن) إلى عدد بروتوناتها (ب) يساوى ١

$$(\text{أى } \frac{ن}{ب} = ١)$$

ولقد لوحظ أن النسبة $\frac{ن}{ب}$ تزداد بازدياد العدد الذرى للعنصر (أى بازدياد بروتوناتها ب) وأن قيمتها تتراوح بين (١) للعناصر الخفيفة (١٫٦) للعناصر الثقيلة ، كما تزداد النسبة $\frac{ن}{ب}$ بازدياد عدد النيوترونات فى نواة نظائر العنصر . ويتضح من ذلك أن لكل عنصر يوجد عدد محدد من النظائر المستقرة ، وأنه يمكن تعليل النشاط الأشعاعى لبعض النظائر إلى حدوث تعديل فى تركيب أنويتها لتصبح النسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات مساوية الواحد .

وفى حالة العناصر الثقيلة التى تحتوى أنويتها على عدد كبير من النيوترونات

تحدث تحولات لزياده عدد البروتونات ويتم ذلك بأحدى الطرق الآتية :

١ ـ انبعاث جسيم بيتا Beta Emission

ويحدث انبعاث جسيم بيتا عند تحول النيوترون إلى بروتون ، ويسبب ذلك زيادة فى عدد شحنات الموجبة بالنواة ، لكنه لايحدث أى تغيير فى كتلتها وتحدث هذه الظاهرة فى حالة العناصر المشعة والصناعية .

٢ ـ انبعاث نيوترون Neutron Emission

وهذه الطريقة غير شائعة كما أنها قليلة الاهمية ، وتحدث هذة العملية بقلة أثناء انشطار الانوية . ويسبب انبعاث النيوترون نقصا فى عدد الكتلة بمقدار الوحدة ولاتتأثر الشحنة الموجبة بالنواة .

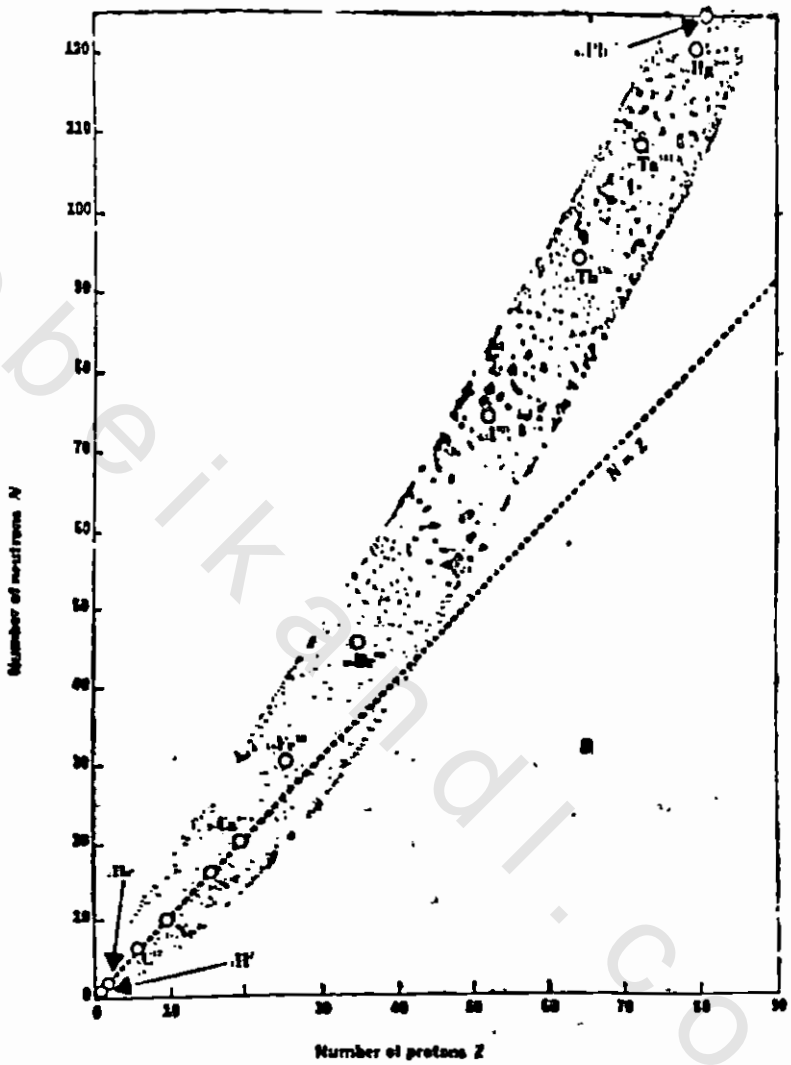
أما العناصر التى تحتوى أنويتها على عدد زائد من البروتونات فانه تحدث تحولات فى النواة تسبب ازدياد عدد نيوتروناتها ، ويتم ذلك بأحدى الطرق الآتية :

١ ـ انبعاث البوزيترون Positron Emission

وينبعث البوزيترون عند تحول أحد البروتونات إلى نيوترون ويسبب ذلك نقصا فى عدد شحنات النواة الموجبة بمقدار الوحدة (ز ← ز ـ ١) ولايتأثر رقم الكتله . وتحدث هذه التحولات فى حالة النظائر المشعة الصناعية .

٢ ـ أسر أحد الإلكترونات المدارات Orbital Electron Capture

وقد تأسر النواة أحد الاليكترونات الموجوده فى أحد المدارات الاليكترونية (ك) أو (ل) ويتحول بذلك أحد البروتونات إلى نيوترون، ولا يتأثر رقم كتلة العنصر . ولملأ الفراغ الناتج فى مستويات الطاقة تنتقل الاليكترونات من الأغلفة الخارجية إلى غلاف (ك) أو (ل) فتنبعث أشعة اكس



تغير النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات بتغير العدد الذرى

obeikandi.com

المميزة وتحدث هذه الظاهرة فى حالة النظائر المشعة الصناعية .

٣ — انبعاث البروتون Proton Emission

وهذه العملية نادرة الحدوث لذلك فهى عديمة الأهمية ؛ وتسبب زيادة النسبة بين عدد النيوترونات إلى البروتونات . ويتطبيق قاعدة التوازن المستقر لماتوش Stable isobar rule of Mattauch يمكن استنتاج نوع التفاعل الجارى وتنص قاعدة ماتوش « أنه لايوجد متكاتين مستقرين تختلف أعدادها الذرية بوحدة واحدة » ويعنى ذلك أن النواة للمشعة تنحل إلى متوازن مستقر . بذلك تنحل نواة $^{24}_{11}Na$ للمشعة إلى $^{24}_{12}Mg$ بانبعاث جسيم بيتا ، وتنحل نواة $^{13}_{7}N$ للمشعة إلى نواة $^{13}_{6}C$ بانبعاث البوزيترون ، وتنحل نواة الفناديوم $^{49}_{23}V$ إلى نواة التيتانيوم $^{49}_{22}Ti$ باسر أحد الالكترونات غلاف ... ك .

الأنوية الايسومرية Nuclear Isomerism

تتماثل الايونات الايسومرية فى عدد الكتلة والعدد الذرى ، ولكنها تختلف فى فترة نصف العمر ، فللأنتيمون ثلاثة أنوية أيسومرية لها فترة نصف عمر ٦٠ يوما ، ١٢٣ دقائق ، ٢١ دقيقة على التوالى . ويرمز إليها ^{124}Sb (٦٠) ، ^{124}Sb (١٢٣ دقيقة) ، ^{124}Sb (٢١ دقيقة).

وتوجد الانوية الايسومرية فى حالة اثارة مختلفة ويشغل كل منها أحد مستويات الطاقة للنواة. ولايحدث تغيير فى كتلة النواة أوشحنتها عندانتقال النواه من حالة أيسومرية إلى أخرى ولكن يشع الفرق فى الطاقة على صورة أشعة جاما ، وقد تنتقل طاقة أشعة جاما إلى أحد الاليكترونات الموجودة

بأغلفة الذرة (ك ، ل ، . . .) ، ويسبب ذلك طرد أحد أو بعض هذه الاليكترونات ، ويصحب ذلك انبعاث أشعة اكس المميزة للعنصر ، وتعرف هذه الظاهرة بالتحول الداخلي لأشعة جاما .

وتتحل بعض الانوية الايسومرية بطريق مختلفة. فتتحل $^{60}_{28}Co$ إلى $^{60}_{28}Ni$ بأشعاع جسيم بيتا باتباع طريقين مختلفتين ، ويشمل الطريق الأول أشعاع جسيم بيتا مباشرة ثم انتقال أيزومرى ، ويشمل الطريق الثانى انتقال ايزومرى ، ثم اشعاع جسيم بيتا ، ثم انتقالين ايزومريين .

تحويل الكتلة الى طاقة : Interconversion of Mass and Energy

عندما تقترب النويات nucleons (النوية عبارة عن البروتون أوالنيوترون) لبعد $١٠^{-١٣}$ سم تقريبا تنبعث قوة تجاذب نووية تؤدى إلى تكوين نواة ذرية . ويصحب هذا التفاعل دائما انطلاق كمية من الطاقة تعرف باسم طاقة الربط Binding energy لذلك ، لاحداث تفكك تام للنواة إلى نوياتها يلزم بذل طاقة تساوى طاقة ربط النواة . ولا حداث تغير جزيئى فى تركيب النواة تكتسب النواة طاقة تعتمد على طبيعة هذا التغير .

ويمكن حساب طاقة الربط وطاقة الاتزان فى مختلف التحولات النووية باستخدام العلاقة بين الكتلة والطاقة ـ لاينشتين . ففى عام ١٩٠٥ أعلن أينشتين أن كلا من الطاقة والكتلة صورتان لشىء واحد ، وأنه من الممكن تحويل كلا منهما إلى الأخرى . وإذا حدث نقص فى الكتلة تنطلق كمية متكافئة من الطاقة تتحدد بالعلاقة الآتية :

الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء

(٠)
ط = ك × س^{٢} (حيث س = ٣ × ١٠^{١٠} سم / ثانية)
= ك × (٣ × ١٠^{١٠})^{٢} ارج
= ك × ٩ × ١٠^{٢٠} »
= ك × ٩ × ١٠^{١٣} جول
= ك × ٢٫١٥ × ١٠^{١٣} سعرا
= ك × ٢٥٫٠٢ × ١٠^{٦} كيلووات ساعة

حيث أن ١ أرج = ١٠$^{-٣}$ جول (وات ـ ثانية) = ٢٫٧٨ × ١٠$^{-١٤}$ كيلوات ساعة
= ٢٫٤ × ١٠$^{-٨}$ كالورى = ٦٫٢٤ × ١٠^{١١} اليكترون فولت
= ٢٫٤ × ١٠^{٥} مليون اليكترون فولت
= ٦٫٧٠ × ١٠^{٢} وحدة الكتلة الذرية

ويمكن حساب الطاقة الناتجة من تحول اجرام من المادة من المعادلة السابقة

(٢)
ط = ١ × ٩ × ١٠^{٢٠} ارج
= ١ × ٩ × ١٠^{١٣} جول
= ١ × ٢٫١٥ × ١٠^{١٣} سعرا
١ × ٢٥ × ١٠^{٦} كيلووات ساعة

ومن ثم نرى أن جراما واحدا من المادة ينتج طاقة قدرها ٢٥ مليون كيلووات ساعة . ويحصل على هذا القدر من الطاقة من احتراق ٢٠ مليون طن من الفحم الحجرى .

ويمكن حساب الكتلة التى تتحول إلى طاقة فى التفاعلات الكيميائية باستخدام معادلة أينشتين . فاحتراق الجرافيت فى الاكسيجين مصحوب بانطلاق كمية من الطاقه الحراريه قدرها ٩٤٫٨٠٠ سعرا

ك + ا$_{١}$ ← ك ا$_{٢}$ + ٩٤٨٠٠ سعرا .

الطاقة المنطلقة = ٩٤٫٨٠٠ سعرا = ٩٤٫٨٠٠ × ٤٫١٨ × ١٠^{٧} أرجا

الكتلة المكافئة للطاقة = $\frac{\text{الطاقة بالارج}}{\text{مربع سرعة الضوء}}$ = $\frac{٩٤٫٨٠٠ \times ٤٫١٨ \times ١٠^{٧}}{٣ \times (١٠^{١٠})^{٢}}$

= ٤٫٣ × ١٠$^{-٩}$ جرام

وهذا النقص فى الكتلة وقدرها ٤٫٣٥ × ١٠$^{-٩}$ جرام ضئيل جـــدا ، ولايمكن تقديره بأدق الموازين .

طاقة وحدة الكتلة الذرية Energy of one Mass Unit

تساوى وحدة الكتلة الذرية $\frac{١}{١٦}$ من وزن ذرة الاكسيجين التى تحتوى نواتها على ١٦ نوية (nucleons) أى ٨ بروتونات + ٨ نيوترنات .

وزن ذرة الاكسيجين = $\frac{١٦}{٦٫٠٦ \times ١٠^{٢٣}}$ ... (٣)

وحدة الكتلة الذرية = $\frac{١}{١٦}$ من وزن ذرة الاكسجين

= $\frac{١}{١٦} \times \frac{١٦}{٦٫٠٦ \times ١٠^{٢٣}}$ = $\frac{١٫٦٦ \times ١٠^{-٢٤}}{}$ جم ... (٤)

ويمكن حساب الطاقة المكافئة لوحـــدة الكتلة الذرية باستخدام معادلة أينشتين :

طاقة وحدة الكتلة الذرية = ١٫٦٦ × ١٠$^{-٢٤}$ × ٩ × ١٠^{٢٠}

= ١٫٤٩ × ١٠$^{-٣}$ أرج = ١٫٤٩ × ١٠$^{-١٠}$ جول .. (٥)

الاليكترون ـ فولت Electron — Volt

وفى العادة تحسب طـاقة الجسيمات بوحدات الاليكترون فولت . ويساوى الاليكترون فولت الطاقة التى يكتسبها الاليكترون عندما يكون تحت تأثير فرق فى الجهد يساوى ١ فولت .

وحيث أن شحنة الاليكترون = ١٫٦٠٢ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم (٦)

∴ ١ — اليكترون فولت = ١٫٦٠٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول (٧)

أى أن ١ جول = ٦٫٢٤٢ × ١٠^{١٨} اليكترون فولت (٨)

وبالتعويض عن قيمة ١ جول بما يساويه من اليكترون فولت فى (٥) يمكن الحصول على قيمة لطاقة وحدة الكتلة الذرية وقدره بالاليكترون فولت

طاقة وحدة الكتلة الذرية = ١٫٤٩ × ١٠$^{-١٠}$ × ٦٫٢٤٢ × ١٠^{١٨}

= ٩٣١ × ١٠^{٦} اليكترون فولت

= ٩٣١ مليون اليكترون فولت

ولقد أشار أينشتين إلى أن تحول المادة إلى طاقة يحدث باستمرار فى جو الشمس وغيرها من الكواكب ، وأن مثل هذا التحول هو مصدر للطاقة الهائلة التى تنبعث من الشمس . كما أشار أن التكافؤ بين الكتلة والطاقة يمكن إثباته لدراسة النشاط الاشعاعى .

طاقة الجسيمات النووية التى تنتج أثناء التحولات النووية :

عند إطلاق البروتون على نواة الليثيوم تتكون ذرتان من الهيليوم ، ويصحب هذا التفاعل نقص فى الكتلة وانطلاق كمية من الطاقة تكافىء هذا النقص . ويرمز لهذا التفاعل بالمعادلة الآتية :

$$_{١}^{١}\text{بـ} + {}_{٣}^{٧}\text{لى} \rightarrow {}_{٢}^{٤}\text{هى} + \text{طاقة}$$

وزن البروتون = ١٫٠٠٧٥٨ و.ك.ذ

وزن نواة الليثيوم = ٧٫٠١٨١٤ و.ك.ذ

وزن البروتون + وزن نواة الليثيوم = ٨٫٠٢٥٧٢ و.ك.ذ

وزن ذرتين من الهيليوم = ٢ × ٤٫٠٠٢٧٨

= ٨٫٠٠٥٥٦ و.ك.ذ

النقص فى الكتلة = ٠٫٠٢٠١٦ و.ك.ذ

الطاقة المنطلقة التى تكافىء النقص فى الكتلة = ٩٣١ × ٠٫٠٢٠١٦

= ١٨٫٦ مليون اليكترون فولت.

وقد وجد أن كل جسيم من جسيمى الفاقد اكتسب طاقة قدرها ٩٫٣ مليون اليكترون فولت .

طاقة الربط : Binding Energy

لوحظ أن كتل أنوية العناصر أقل قليلا من مجموع كتل البروتونات والنيوترونات التى تكون هذه الانوية ، ويعرف هذا الفرق بنقص الكتلة mass defect وتتحول هذه إلى طاقة ربط Binding Energy تعمل على تماسك البروتونات والنيوترونات داخل النواه . وتبين الأمثلة التالية طاقة الربط فى عدد من الأنوية .

١ — طاقة ربط نواة الديوتيريوم :

تتكون نواة الديوتيريوم من بروتون واحد ونيوترون واحد .

$$_{1}^{2}\text{د} + {}_{0}^{1}\text{ن} \rightarrow {}_{1}^{2}\text{د} + \text{طاقة}$$

وكتلة البروتون = ١٫٠٠٧٥٨ و.ك.ذ

وكتلة النيوترون =١٩٠٠٨٩٣ و.ك.ذ

ومجموع كتلتى البروتون والنيوترون=٢٩٠١٦٥٦ و.ك.ذ

لكن كتلة الديوتيريوم =٢٩٠١٤٧٣٥ و.ك.ذ

نقص الكتلة =٠٩٠٠١٧٢ و.ك.ذ

وطاقة الربط =٠٩٠٠١٢٢×٩٣١

=١٩٦٠١ مليون اليكترون فولت.

ب – طاقة ربط نويات جسيم الفا :

تتكون نواة جسيم الفا من بروتونين ونيوترونين

وكتلة البروتونين =٢×١٩٠٠٧٥٨= ٢٩٠١٥١٦ و.ك.ذ

« النيوترونين =٢×١٩٠٠٨٩٣= ٢٩٠١٧٨٦ «

كتلة نويات جسيم الفا= = ٤٩٠٣٣٠٢ «

« جسيم الفا = = ٤٩٠٠٢٨٢ «

∴ نقص الكتلة = = ٠٩٠٣٠٢ «

∴ طاقة الربط بين نويات جسيم الفـــا = ٠٩٠٣٠٢ × ٩٣١

= ٢٨٩١ مليون اليكترون فولت

جـ – طاقة ربط نويات أحد نظائر النيكل :

كتلة ٢٨ بروتون =٢٨×١٩٠٠٧٥٨= ٢٨٩٢١٢٢٤ و.ك.ذ

« ٣٠ نيوترون=٣٠×١٩٠٠٨٩٨٢=٣٠٩٢٦٩٤٦٠ «

∴ « نويات النيكل =٥٨٩٤٨١٧ «

« نواة النيكل =٥٧٩٩٥٣٥٤٠ «

نقص الكتلة = ٠٫٥٢٨٢ و.ك.ذ

∴ طاقة ربط نويات النيكل = ٠٫٥٢٨٢ × ٩٣١

= ٤٩١٫٧٥٤٢ مليون اليكترون فولت

ويزداد نقص الكتلة وطاقة ربط النويات بازدياد عدد نويات بالنواة .

طاقة الربط النوعية Specific Binding Energy

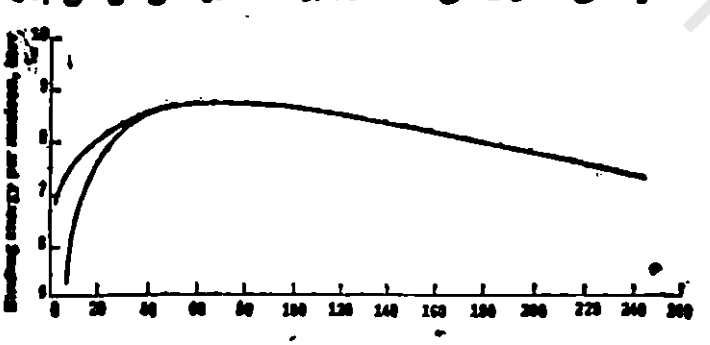
ويمكن حساب طاقة ربط نوى واحد بالنواة أى كسر الترابط Packing Fraction وذلك بقسمة طاقة ربط النويات بالنواة (أو مايكافئها من نقص الكتلة) على عدد النويات بالنوة وبذلك نكون .

طاقة الربط النوعية بنواة الهيليوم = $\frac{٢٨٫١}{٤}$ = ٧ مليون اليكترون فولت

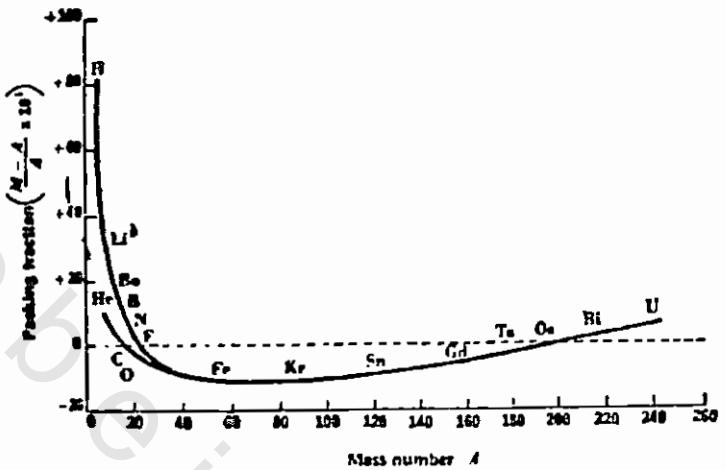
وتكون طاقة ربط نوى بنواة النيكل = $\frac{٤٩١٫٧٥٤٢}{٥٨}$

= ٨٫٤٨ مليون اليكترون فولت .

وتتراوح طاقة ربط النوى (وتعرف بطاقة الربط النوعية للنوى) بالأنوية الثابته بين ١٫٠ـ٨٫٥ مليون اليكترون فولت . ويبين (شكل٤٤) تغير طاقة ربط النوى بتغير كتلة النواة ويتضح من هذا الشكل أنه فى حالة الذرات الخفيفة التى تحتوى على أعداد زوجية متساوية من كل من البروتونات



شكل ٤٤



شكل ٤٥

والنيوترونات (المنحنى العلوى) مثل هى ٤ ، ك ١٢ ، ا ١٦ أن طاقة الربط
٢ ٦ ٨

النوعية للنوى أعلى بكثير من طاقة الربط النوعية للنوى بالأنوية التى تحتوى على أعداد فردية من البروتونات أو /والنيوترونات (المنحنى السفلى). وينطبق المنحنيان عندما تحتوى الأنوية على أكثر من أربعين نوى وتحصل على قيمة عظمى قدرها ٨٫٧ مليون اليكترون فولت فى حالة العناصر المجاورة للحديد والنيكل بالجدول الدورى ، ثم تهبط بالتدريج إلى ٧٫٥ مليون اليكترون فولت فى حالة اليورانيوم ـ ٢٣٨ .

لذلك تعتبر العناصر التى تقع بين الكروم والمحارصين أكثر العناصر ثباتا ، وأنه إذا أريد تحويلها إلى عناصر أخرى يجب أن تستخدم جسيمات ذات طاقة عالية حتى يتم التفاعل النووى، أما العناصر الأخرى التى تقل أو تزيد أرقامها الذرية عن الحد المذكور فهى أقل ثباتا . وبذلك يمكن تفسير انحلال العناصر الثقيلة عن طريق الأشعاع الطبيعى أو بانفلاق نواتهـــا إلى ضعف قوة الربط بين النويات فى النواة . ويرجع انتشار الحديد فى الطبيعة

إلى كبر طاقة الربط النوعية بالنواة، كما يفسر تحول الأيدروجين إلى الهيليوم ٤ هى إلى ازياد طاقة الربط بالنواة . ٢

كما يمكن تمثيل طاقة الربط لعدد كبير من الأنوية وذلك برسم العلاقة بين كسر الترابط ورقم كتلة النواة . ويعرف كسر الترابط بالفرق بين كتلة النظير الفعلية م (M) ورقم كتلته ا (A) مقسوما على رقم كتلته ا

$$\text{أى أن كسر الترابط للنوى بالنواة} = \frac{\text{م} - \text{ا}}{\text{ا}}$$

ويمكن حساب كسر الترابط لنواة الهيليوم ٤ هى من العلاقات السالفة ٢ الذكر .

$$\text{كسر الترابط بنواه الهيليوم } {}^{4}_{2}\text{هى} = \frac{٤٫٠٠٣٨٧ - ٤}{٤}$$

$$= ٩٫٦٧٥ \times ١٠^{-٤} \text{ وحدة كتلة ذرية}$$

$$\text{كسر الترابط بنواة الديوتيريوم } {}^{2}_{1}\text{د} = \frac{٢٫٠١٤٧٣٥ - ٢}{٢}$$

$$= ٧٫٣٦٨ \times ١٠^{-٣} \text{ وحدة كتلة ذرية}$$

ويلاحظ أن كسر الترابط للنظائر الخفيفة التى يقل وزنها الذرى عن ٢٠ يأخذ قيما موجبة شكل (٤٥)، ويرجع ذلك إلى أن كتلة كل نظير أكبر من رقم

كتلته أما فى حالة النظائر التى تتراوح كتلتها بين ٢٠ ـ ١٨٠ تكون كسور الترابط ذات قيم سالبة ويرجع ذلك إلى أن كتلة النظير أقل من كتلته ، ويحصل المنحنى على نهاية صغرى فى المنطقة المجاورة للحديد .

فكسر الترابط بنواة الحديد $\frac{ح}{أ}^{٥٦}_{٢٦} = \frac{٥٦ - ٥٥,٨٤٢٧٢}{٥٦}$

$= - = ٢,٦٣ \times ١٠^{-٣}$ وحدة كتلة ذرية

ثم يأخذ كسر الترابط قيما موجبه للنظائر التى يزيد رقم كتلتها عن ١٨٠ ويبين المنحنى السفلى كسر الترابط بالأنوية التى تحتوى على أعداد زوجية من البروتونات واعداد زوجية من النيوترونات ، كما يبين المنحنى العلوى تغيّر كسر الترابط بالأنوية التى تحتوى على أعداد فردية من البروتونات واعداد زوجية من النيوترونات أو أعداد زوجية من البروتونات وأعداد فردية من النيوترونات .

التحولات النووية والنشاط الاشعاعى الصناعى :

فى عام ١٩١٩ قام رذرفورد بأول محاولة ناجحة لتحويل نواة عنصر إلى نواة عنصر آخر . فعند امرار أشعة الفا المنطلقة عن عنصر الراديوم C فى غاز النيتروجين نتج عن تصادم جسيمات الفا بأنوية النتروجين بروتونات ذات مدى طويل ، ويمكن تمثيل التفاعل الحادث بالمعادلة الآتية :

$$_{٧}ن^{١٤} + _{٢}هى^{٤} \rightarrow _{٨}ا^{١٧} + _{١}يد^{١}$$

وفى عام ١٩٢١ - ١٩٢٢ أوضح تشادويك Chadwick أن العناصر التى تقع بين البورون والبوتاسيوم ـ عدا الكربون والاكسيجين ـ تعانى تحولات مماثلة عند قذفها بجسيمات الفا .

وفى عام ١٩٣٤ لاحظ كورى وجوليو أنه عند قذف البورون والالومنيوم والمغنسيوم بجسيمات الفا تحدث تحولات مصحوبة بانطلاق النيوترون والبوزيترون ، وبفحص نتائج التفاعل اتضح أن اصطدام جسيم الفا ينتج جسيما غير مستقر يتحول تلقائيا باشعاع البوزيترون ويمكن تمثيل تحول البورون والالومنيوم بالمعادلات الآتية:

$$\begin{matrix} ١٠ & ٤ & ١٣ & ١ \\ ب + هى & \longrightarrow & ن + ن \\ ٥ & ٢ & ٧ & ٠ \end{matrix}$$

$$\leftarrow \begin{matrix} ١٣ \\ ك \\ ٦ \end{matrix} + \begin{matrix} \cdot \\ د \\ +١ \end{matrix} \left(ز_{\frac{١}{٢}} = ٩٫٩ \text{ دقيقة} \right)$$

$$\begin{matrix} ٢٧ & ٤ & ٣٠ & ١ \\ لو + هى & \longrightarrow & فو + ن \\ ١٣ & ٢ & ١٥ & ٠ \end{matrix}$$

$$\leftarrow \begin{matrix} ٣٠ \\ س \\ ١٤ \end{matrix} + \begin{matrix} \cdot \\ د \\ +١ \end{matrix} \left(ز_{\frac{١}{٢}} = ٢٫٥٥ \text{ دقيقة} \right)$$

مقطع التفاعلات النووية Nuclear Cross Sectoon

ويعبر عن احتمال حدوث التفاعل النووى بمدلول مقطعه σ ويرمز إليه بوحدات للمساحة . فاذا اصطدم (ا) جسيم من القذائف الساقطه فى فترة زمنية معينة بسنتيمتر مربع من الهدف يحتوى على أنوية قدرها ($ن_{١}$)، وكان عدد الأنوية للتحولة فى هذه الفترة ($ن_{٢}$) ، فانه يمكن التعبير عن مقطع التفاعل النووى (σ) بالمعادلة الآتية :

$$\sigma = \frac{ن_{٢}}{ن_{١} ا} \quad \text{سم}^{٢} / \text{نواة}$$

وتعتبر المعادلة السابقة عن نسبة الجسيمات الساقطة على ١ سم^{٢} من الهدف

التى تتفاعل مع نواة واحدة من الهدف .وتتوقف قيمة مقطع التفاعل النووى على طبيعة نواة الهدف ، وعلى التفاعل الحادث ، وطاقة جسيمات القذيفة .

فلنواة الليثيوم ـ لى ^{٧} مثلا مقاطع مختلفة للتفاعلين لى $^{٧}_{١}$ (يد $^{١}_{١}$ ، ب $^{٧}_{٤}$) بى $^{٧}_{٤}$

لى $^{٧}_{٣}$ (يد $^{١}_{١}$ ، هى $^{٤}_{٢}$) هى $^{٤}_{٢}$ اللذين يحدثان فى آن واحد ، ويتوقف احتمال حدوث التفاعلين على طاقة البروتونات المستعملة ؛ وتغيير النسبة بينهما بتغير طاقة الجسيمات الساقطة .

ولتعيين مقطع التفاعل النووى ، يجب معرفة عدد الأنوية المتفاعلة أما بعد جسيمات الفا أو النيوترونات المطرودة أو بتعيين عدد الأنوية الناتجة . وفى معظم الأحيان يكفى تعيين للمقطع الكلى لجميع التفاعلات النووية الناتجة من امتصاص الجسيمات الساقطة على الهدف . وتستخدم الطريقة التالية لهذا الغرض :

فاذا افترضنا أن ن$_{٠}$ = عدد الجسيمات الساقطة فى وحدة الزمن على ١ سم^{٢} من صفيحة الهدف ، س = سمك الصفيحة بالسنتيمترات ، ن = عدد الجسيمات التى تنفذ من الجانب الآخر من الصفيحة ، ن ـ ن = عدد جسيمات القذيفة التى امتصت فى جميع التفاعلات النووية الحادثة وترتبط ن$_{٠}$ ، ن ، س بالعلاقة الآتيـــة .

$$ن = ن_{٠} \times هـ^{-ن_{١} ن \sigma} \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

حيث ن$_{١}$ = عدد أنوية الهدف فى ١ سم^{٢}

، σ = ١ المقطع النووى الكلى

وبالتعويض عن ن٠ ، ن١ ، س فى المعادلة (١) يمكن معرفة قيمة ٥ .

مثال :

أحسب عدد أنوية ^{١٩٨} الذهب المشع التى تنتج فى الثانية فى صفيحة من الذهب سمكها ٠,٠٣ سم ومساحتها ٥ سم^{٢} بعد تعريضها إلى نيوترونات حرارية شدتها ١٠^{٧} نواة / سم^{٢} ، إذا علم أن مساحة المقطع الذى يأسر النيوترونات الحرارية يساوى ٩٤ بارنا ، وأن كثافة الذهب تساوى ١٩,٣ جم / سم^{٣} ، وأن الوزن الذرى للذهب = ١٩٧,٢ .

الحـــل

$$\text{حجم ١ جم ذرى من الذهب} = \frac{١٩٧,٢}{١٩,٣} \text{ سم}^{٣}$$

لكن ١ جم وزن ذرى من أى مادة يحتوى ٦,٠٢ × ١٠^{٢٣} نواة

$$\therefore \text{عدد الأنوية فى ١ سم}^{٣} \text{ من الذهب} = ٦,٠٢ \times ١٠^{٢٣} \times \frac{١٩,٣}{١٩٧,٢}$$

$$= ٥,٨٩ \times ١٠^{٢٢} \text{ نواة / سم}^{٣}$$

سمك صفيحة الذهب س = ٠,٠٣ سم

$$\therefore \text{ن٠} = ٥ \times ١٠^{٧} \text{ نيوترون / ثانية}$$

$$\therefore \text{ن٠} - \text{ن} = ٥ \times ١٠^{٧} (١ - هـ^{-٥,٨٩ \times ١٠^{٢٢} \times ٩٤ \times ١٠^{-٢٤} \times ٠,٠٣})$$

$$= ٥ \times ١٠^{٧} (١ - هـ^{-٠,١٦٦})$$

$$= ٧,٦ \times ١٠^{٦} \text{ نواة مشعة فى الثانية}$$

خواص القوى النووية ونظرية بوهر :

١ ـ تزيد قوى الربط النووية عن قوى الارتباط الكيميائيه ويتضح

ذلك بمقارنة قوة ربط البروتون والنيوترون فى نواة الديوتيرون (٢٢ر٢ مليون إلكترون فولت) بقوة ارتباط البروتون وذرة الايدروجين فى أيون جزئى الايدروجين (يدم)$^{+}$ (٦٥ر٢ الكترون فولت).

٢ ـ تختلف طاقة ربط النواتين المتوازنتين (الايزوباينين) التريتيوم (يد أو تر) (٤٩ر٨ مليون الكترون فولت) والنظير الخفيف لذرة الهيليوم (هى) (٧٣ر٧ مليون الكترون فولت) بمقدار ٧٦ر٠ مليون الكترون فولت ويعزى هذا الفرق إلى قوى التنافر بين البروتونين الموجودين بنواة الهيليوم ووفقا لقانون كولوم فان طاقة التنافر بين البروتونين فى نواة الهيليوم $= \frac{ش د^{٢}}{ر}$ = ٧٦ر٠ مليون الكترون فولت وبالتعويض عن ش د نستنتج أن المسافة بين البروتونين فى نواة الهيليوم = ٩ر١ × ١٠$^{-١٣}$ سم تماثل نصف قطر نواة الديوتيريوم (يد) (٨ر١ × ١٠$^{-١٣}$ سم) ويعنى ذلك أن النويات داخل النواة تقع على أبعاد متساوية فالمسافة بين بروتونين تساوى المسافة بين بروتون ونيوترون تساوى المسافة بين نيوترونين.

٣ ـ وتعمل القوى النووية لمسافات قصيرة جدا تبلغ ١٠$^{-١٣}$ سم، كما أن قيمتها أكبر كثيرا من قوى التنافر الكهربائيه بين البروتونات التى تقع على بعد مماثل. فقوة التجاذب النووية بين البروتون والنيوترون فى نواة الديوتيرون (٢٣ر٢ مليون الكترون فولت) تبلغ ثلاثة أمثال قوة التنافر بين البرتونين فى نواة الهيليوم (هى) (٧٦ر٠ مليون الكترون فولت).

٤ ـ قوة ربط أحد النويات بنواة التريتيوم ($\frac{٧,٧٣}{٣}$ = ٢,٥٧ مليون اليكترون فولت) تساوى قوة ربط البروتون والنيوترون بنواة الديوتيريوم (٢,٢٣ مليون اليكترون فولت) ويعنى ذلك أن قوة الربط بين بروتون ونيوترون تساوى قوة الربط بين بروتونين ، كما تساوى قوة الربط بين نيوترونين .

٥ ـ تقل القوى النووية بدرجة ملحوظة بازدياد المسافة ، وتنمحى كلية على بعد يتراوح بين ٢ × ١٠$^{-١٣}$ ـ ٣ × ١٠$^{-١٣}$ سم . بذلك ينحصر مجال القوى النووية داخل النواة ولا يتعداها ، كما يعمل على ربط النويات المتجاورة ، فأنوية الديوتيريوم $_{١}^{٢}$يد ، التريتيوم $_{١}^{٣}$تر ، الهيليوم $_{٢}^{٣}$هى ، $_{٢}^{٤}$هى تحتوى على نويات متلاصقة عددها ٢ ، ٣ ، ٣ ، ٤ على التوالى وينتظر أن تكون النسبة بين قوى الربط فيها كنسبة ١ : ٢ : ٢ : ٣ . وبحساب قوى الربط النوعية لهذه الأنوية وجد أنها مرتبطة بنفس النسبة تقريبا . ونعنى بذلك أنه بينما تعمل القوى الكهربية بين جميع الجسيمات المشحونة داخل النواة ، تنحصر القوى النووية بين النويات المتجاورة .

٦ ـ ويلاحظ من شكل (٤٤) أن قوى الربط النوعية للنواة ثابتة تقريبا ويمكن تعليل ذلك بأن كل نوية تحاط بعدد محدد من النويات وأن طاقة ربط النواة يتناسب مع عدد النويات الموجودة بالنواة . وحيث أن الوزن الذرى أ يتناسب مع مكعب نصف قطر النواة (نق) فإن طاقه ربط النواة لابد وأن تتناسب أيضا مع حجم النواة $\frac{٤}{٣}$ ط نق^{٣}

٧ ـ وحيث أن القوى النووية بين النويات المختلفه كبيرة جدا ومتساوية

فان القوة النووية تعمل على تقريب النويات وتجميعها فى شكل كرى سطحة أصغر مايمكن، كما تعتبر البروتونات والنيوترونات داخل النواة متكافئة ولو أنها غير متماثلة

٨ ـ ويلاحظ أنه توجد علاقات متماثلة داخل قطرة السائل . فطاقة قطرة السائل تتناسب مع حجمها ، وتتجاذب الجزيئات المتجاورة بقوى متساوية ، كما تقل قوة التجاذب بشكل محسوس بزيادة المسافة ، وتعمل قوى التوتر السطحي على تجميع جزيئات السائل فى شكل كروى سطحه أصغر مايمكن .

٩ ـ ويعلل تبخر السائل إلى حصول بعض جزيئاته على طاقة كبيرة كافية للتغلب على القوى التى تجذبها إلى الجزيئات الأخرى . أما النويات فانها فى العادة لاتتبخر وذلك لاحتياجها إلى طاقات عالية جدا للتغلب على قوى التجاذب ولكن « بتسخين » النواة إلى الآف من ملايين درجة الحرارة تكتسب النواة طاقة إضافية ، ويندفع أحد أو بعض النويات خارج النواة ويحدث تبخر مماثل للنواة . ويمكن تسخين النواة بقذفها بأحد الجسيمات السريعة مثل البروتون والنيوترون ، أو جسيم الفا .

١٠ ـ تكون النواة مستقرة إذا احتوت على اعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات . ويؤكد صحة هذا الفرض ثبات نواة الهيليوم التى تحتوى على بروتونين ونيوترونين ، وثبات نظائر العناصر التى تحتوى نواتها على اعداد متساويه من البروتونات والنيوترونات .

وفى حالة العناصر الخفيفة تتكون الانوية الثابته من بروتونات ونيوترونات متساوية العدد . فنظير جسيم الفا $_{2}^{4}He$ هى يحتوى على بروتونين ونيوترونين ويتميز باستقرار عجيب .

ولقد لوحظ أن العناصر الخفيفه التى تحتوى أنويتها على عدد أكبر من البروتونات أو النيوترونات ، تكون غير مستقرة وتنحل باشعاع البوزيترونات أو الاليكترونات على التوالى. فنظير الكربون $^{10}_{6}C$ يحتوى نواته على ٦ بروتونات + ٤ نيوترونات ، وينحل باشعاع البوزيترون إلى نظير البورون $^{10}_{5}B$ التى تحتوى نواته على ٥ بروتونات + ٥ نيوترونات ، كما ينحل نظير الاكسجين $^{14}_{8}O$ إلى نظير النيتروجين $^{14}_{7}N$ باشعاع البوزيترون كذلك كما تنحل نواة نظير الفلور $^{20}_{9}F$ إلى نظير النيون المستقر $^{20}_{10}Ne$ باشعاع جسيم بيتا .

وبازدياد العدد الذرى للذرة يزداد عدد البروتونات فى النواة ، وتزداد قوى التنافر بينها بصوره مطردة . لذلك فان أنوية العناصر الثقيلة التى تحتوى أنويتها على أعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات تكون غير مستقرة ، ولضمان استقرار العناصر الثقيلة يجب أن تحتوى أنويتها على عدد زائد من النيوترونات فنواة نظير البزموت المستقرة $^{209}_{83}Bi$ تحتوى على ١٢٦ نيوترون + ٨٣ بروتون ، والنسبة بينهما = ١,٥٢

ونواة نظير الروديوم الثابتة $^{103}_{45}Rh$ تحتوى على ٥٨ نيوترون + ٤٥ بروتون والنسبة بينهما = ١,٢٩

ووفقا لنظرية بوهر تندمج القذيفة بمجرد دخولها مع نواة الهدف ،

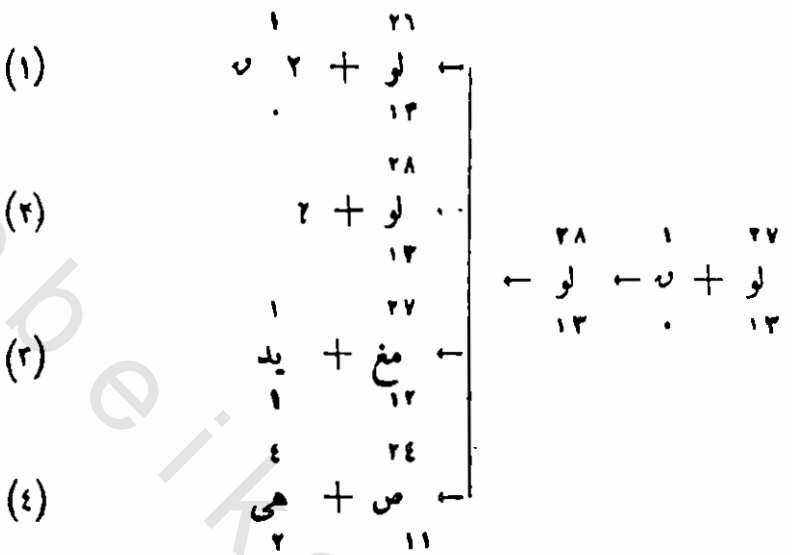
وتتكون نواة مركبة Compound Nucleus ، ثم توزع طاقة الربط الاضافية بالتساوى على جميع النويات الموجودة بداخل النواة ، فترتفع درجة حرارتها الى بعض آلاف الملايين، فتتصادم النويات . وبعد اصطدامات عديدة تتركز نسبة كبيرة من الطاقة الاضافية على أحد النويات فتتمكن من التغلب على القوى النووية «وتتبخر» وينجم على ذلك انحلال النواة المركبة وتتم هذه العملية بعد فترة زمنية طويلة نسبيا وذلك لأن فترة عمر النواة المركبة ($١٠^{-١٣}$ ـ $١٠^{-١٤}$ ثانية) أطول نسبيا من الفترة التى تستغرقها القذائف المعجلة لاختراق النواة، وتبلغ فى حالة النيوترون المعجل بطاقة قدرها ١٠ مليون اليكترون فولت (سرعته = $١٠^{٩}$ سم/ثانية) $\frac{١٠^{-١٣}}{١٠^{٩}} = ١٠^{-٢١}$ ثانية

ومن أهم فروض نظرية بوهر أن تكوين النواة المركبة وانحلالها قد يحدث بطرق مختلفة ، ولكل طريقة من طرق الانحلال احتمال معين لا يتوقف على طريقة تركيب النواة المركبة . ويتفق هذا الفرض مع النتائج التجريبية .

فاذا قذفت نواة الألومنيوم $_{١٣}^{٢٧}$لو بنيوترون سريع طاقته (١٠ مليون اليكترون فولت) ، يؤسر النيوترون أولا وتتكون نواة نظير الالومنيوم $_{١٣}^{٢٨}$لو المشعه ، ثم تنحل هذه النواة المركبة إلى النواتج الآتية :

$$_{١٣}^{٢٦}\text{لو} \quad ، \quad _{١٢}^{٢٧}\text{لو} \quad ، \quad _{١٢}^{٢٤}\text{مغ} \quad ، \quad _{١٠}^{٢١}\text{ص}$$

بأتباع طرق مختلفة ويمكن تمثيل هذه التفاعلات بالمعادلات الآتية :



ويتضح من المعادلة (١) أن الطاقة المكتسبة بأسر النيوترون قد تركزت على أحد نيوترونات النواة المركبة فتبخر النيوترون وتكونت النواة الأصلية فى حالة إثارة عنيفة سببت فقد نيوترون آخر وتكونت نواة نظير الالومنيوم $_{13}^{26}$لو .

وطبقا للمعادلة (٢) يتم اشعاع جزء كبير من الطاقة التى اكتسبتها النواة المركبة قبل أن تتركز على أحد النويات ، ولاتكفى الطاقة المتبقية لتبخير أحد النويات وتستقر النوية المركبة $_{13}^{28}$لو

وتبين المعادلة (٣) أن الطاقة المكتسبة بأسر النيوترون قد تركزت على أحد بروتونات النواة المركبة فتبخر البروتون وانحلت النواة المركبة إلى نواة نظير للماغنسيوم $_{12}^{27}$مغ .

وحسب المعادلة (٤) يتضح أن الطاقة المكتسبة قد تركزت على مجموعة تتكون من بروتونين ونيوترونين ، فتبخرت على صورة جسيم الفا، وانحلت النواة المركبة إلى نواة نظير الصوديوم $_{11}^{24}$ ص .

وإذا كانت طاقة النيوترون صغيرة ، فان احتمال تركيز الطاقة المكتسبة على أحد النويات ثم تبخيرها يكون صغيرا جدا، لذلك يؤسر النيوترون البطيء وتنطلق الطاقة المكتسبة على صورة فوتون جاما وإذا زادت طاقة النيوترون ،فان احتمال تركيز الطاقة المكتسبة على أحد النويات يكون كبيرا وتنحل النواة المركبة اما باشعاع بروتون أو نيوترون أو جسيم الفا .

حساب القوى النووية Nuclear Forces :

أستخدم فيتزاكر Weizsaker نموذج النواة كقطرة السائل لحساب قوى ربط الأنوية المختلفة وأفترض أن قوة الربط بين النويات ذات طبيعة موجية ميكانيكية ناجمة عن أنتقال الاليكترونات من النيوترونات إلى البروتونات، والبوزيترونات من البروتونات إلى النيوترونات وأن مدى قوة الربط قصير للغاية وينحصر مجالها داخل النواة ولا يتعداها.

١ — وبتبادل الاليكترونات واليوزيترونات بسرعة تتحول البروتونات إلى نيوترونات ، والنيوترونات ألى بروتونات ، وتنشأ قوة ربط النويات التي تتناسب مع رقم كتلة النواة ا أي تساوى ث$_1$ ا حيث ث$_1$ ثابت التناسب .

٢ — قوة الربط بين زوج من النيوترونات أقل من قوة الربط بين بروتون ونيوترون . لذلك تقل قوة ربط النواة إذا أحتوت على مزيد من

من النيوترونات (١ — ٢ ز) بمقدار $ث_{٢} \frac{(١ - ٢ ز)^{٢}}{١}$ حيث $ث_{٢}$ = ثابت .

٣ ـ وتتنافر البروتونات داخل النواة لتماثل شحناتها ، ويقدر الشغل الذى يجب بذله لأدخال البروتونات فى النواة بالعلاقة $ث_{٣} \frac{ز^{٢}}{نق}$ حيث $ث_{٣}$ = ثابت ، نق = نصف قطر النواة . وحيث أن نق^{٣} يتناسب مع رقم كتلة النواة ا فان قوة الربط تقل بمقدار آخر هو $ث_{٣} \frac{ز^{٢}}{ا^{\frac{١}{٣}}}$

٤ — وتقل قوة ربط النويات التى تقع على سطح النواة ، ويتناسب عددها مع مساحة السطح ٤ ط نق^{٢} أى يتناسب مع ا$^{\frac{٢}{٣}}$ لذلك تقل قوة الربط بمقدار $ث_{٤}$ ا$^{\frac{٢}{٣}}$.

٥ — ويحدث أزدواج بين البروتونات أو بين النيوترونات إذ أختلفت فى أتجاه مغزلها ، ولكن لايحدث أزدواج بين البروتون والنيوترون . وبذلك يمكننا أن نعزو ثبات الأنوية التى تحتوى على عدد زوجى من البروتونات وعدد زوجى من النيوترونات (أى الأنوية الزوجية—الزوجية) إلى أزدواج مغزل النويات . وإذا أحتوت النواة على عدد زوجى من البروتونات وعدد فردى من النيوترونات (أى الأنوية الزوجية ـ الفردية) يتبقى أحد النيوترونات منفردا ، وبذلك يقل ثبات النواة (الزوجية ـ الفردية) عن النواة (الزوجية ـ الزوجية) ويقل أستقرار النواة إذا أحتوت على عدد فردى من البروتونات وعدد فردى من النيوترونات (أى الأنوية الفردية ـ الفردية) . لذلك يجب إدخال الحد $\frac{ث_{٥}}{ا}$ للتعبير عن تاثير الأزدواج وبين

النيوترونات بالنيوترونات وبذلك يمكن حساب طاقة ربط النواة من العلاقة

$$ط = ث_{١}\,ا - ث_{٢} - \frac{(ا - ٢ز)^{٢}}{ا} - ث_{٣}\,\frac{ز^{٢}}{ا^{\frac{١}{٣}}} - ث_{٤}\,ا^{\frac{٢}{٣}} + \frac{ث_{٥}}{ا} \quad (١)$$

حيث $ث_{١} = ١٤٫٠$ ، $ث_{٢} = ١٣٫٠$ ، $ث_{٣} = ١٩٫٣$ ، $ث_{٤} = ٠٫٥٨٥$ ، $ث_{٥} = ١٣٫٠٥$

$ث_{٥} = +١٣٫٠$ للأنوية الزوجية — الزوجية .

$ث_{٥} = -١٣٫٠$ للأنوية الفردية — الفردية .

$ث_{٥} =$ صفر للأنوية الزوجية — الفردية وللأنوية الفردية — الزوجية وباستعمال المعادلة (١) أمكن حساب طاقة ربط أنوية

$$\underset{٢٠}{كا}\ ،\ \underset{٢٤}{كر}\ \underset{٢٩}{نح}\ ،\ \underset{٩٠}{فو}\ ،\ \underset{٩٢}{يو}\ \underset{٢٣٨}{\quad}\ \underset{٢٣٢}{\quad}\ \underset{٦٣}{\quad}\ \underset{٥٢}{\quad}\ \underset{٤٠}{\quad}$$

ووجد أنها تساوى على التوالى ٣٤٢ ، ٥٤٤ ، ١٧٦٠ ، ١٧٩٦ مليون فولت وتتفق هذه النتائج مع قيم طاقة ربط هذه الأنوية التى حسبت قيمتها من نقص كتلتها mass defect وهى ٣٤٢ ، ٤٥٦ ، ٥٥٢ ، ١٧٦٣ ، ١٧٩٧ مليون اليكترون فولت على التوالى .

أنواع التفاعلات النووية .

يمكن تقسيم التفاعلات النووية أما بمدلول التحول الناتج ، أو بمدلول طبيعة الجسيمات المستخدمة كهدف .

وباستعمال الطريقة الأولى يمكن تميز التفاعلات الآتية .

١ ـ تفاعلات الاسر Capture Reactions :

يمتص الجسيم المقذوف ؛ وقد تنبعث أشعة جاما وقد لا تنبعث؛ ولا تتبخر أحد نويات النواة . ويعتبر أسر النيوترونات من التفاعلات النووية المألوفة.

٢ ـ تفاعلات بين الجسيمات Particle—Particle Reactions بالاضافة إلى النواة الناتجة يتكون جسيم ثقيل مثل البروتون ، النيوترون ؛ .. .

٣ ـ تفاعلات انفلاقية Fission Reactions وفى هذه التفاعلات تنشطر النواة الثقيلة أثر اصطدامها بالقذيفة إلى جزئين كتلة كل منها تساوى تقريبا نصف كتلة النواة الأصلية . ويصطحب هذه التفاعلات انطلاق كمية هائلة من الطاقة وانبعاث عدد من النيوترونات وقد أمكن استخدام النيوترون لانشطار اليورانيوم $_{92}U^{235}$ والبلوتونيوم $_{94}Pu^{239}$ كما أمكن استعمال النيوترونات والبروتونات ، والديوتيرونات ، وجسيمات الفا ، وأشعة جاما لاحداث انشطار لنواة الثوريوم، والبروتاكتينيوم ، ونظائر اليورانيوم كما استخدمت الديوتيرونات Deuterons وجسيمات الفا المعجلة لانشطار أنوية العناصر الخفيفة مثل التنتالوم ، والبلاتين ، الثاليوم ، الرصاص ، البزموت .

٤ ـ تفاعلات التفتت Spallation Reactioos

وتحدث هذه التفاعلات عند استعمال قذائف ذات طاقة عالية جدا .

وينتج من هذه التفاعلات نواتج عادية ونواتج تقل كتلتها بثلاثين وحدة وقد يقل عددها الذرى بأربع عشر وحدة .

٥ ـ تفاعلات اندماجية Fusion Reactions

وباندماج بعض الانوية الخفيفة تتكون أنوية ثقيلة ، مثال ذلك تكون

الهيليوم من الايدروجين . وهذه التفاعلات طاردة للحرارة وتعتبر من أهم مصادر الطاقة .

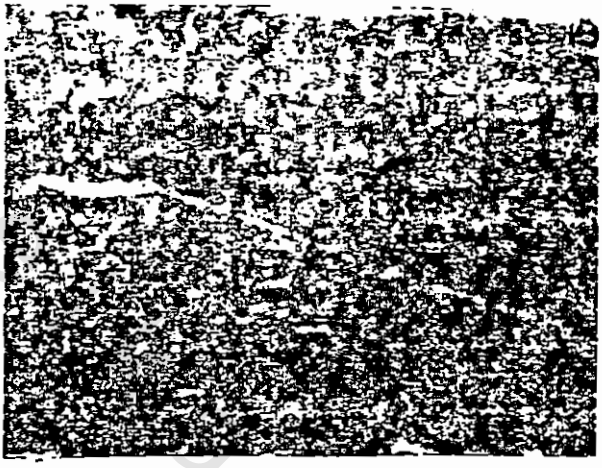
كما يمكن تقسيم التفاعلات النووية بمدلول قذائف الجسيمات المستخدمة إلى عدة أنواع إذ يمكن استخدام قذائف من البروتونات . والديوتيرونات ($_1^3$د) والتريتيوم ($_1^3$د) ونظيرى الهيليوم ($_2^3$هى ، $_2^4$هى) ، فوتونات جاما وأشعة اكس ، الاليكترونات ، ميزونات باى وميزونات ميو . وفى الاعوام الاخيرة استخدمت ايونات ثقيلة من الكربون والنيتروجين $_6^{12}$ك ، $_6^{13}$ك ، $_6^{14}$ك

١ ـ استخدام جسيمات الفا فى التحولات النووية .

نظرا للتنافر الذى يحدث بين جسيمات الفا وأنوية العناصر فانه لا يمكن لجسيم الفا أن يدخل النواة إلا إذا كانت طاقته كافية للتغلب على التنافر الكهربى . ويزداد حاجز الجهد الكهربى بزيادة العدد الذرى ، لذلك يقتصر استعمال جسيمات الفا ذات الطاقة الاعتيادية كقذائف على أنوية العناصر الخفيفة . ولتحطيم ذرات العناصر الثقيلة . يجب استخدام جسيمات الفا ذات طاقة مرتفعة ، ويلزم لذلك تعجيل جسيمات الفا باستعمال مجالات كهربيه قوية فى اجهزة السيكلوترون Cyclotron أو الفان دى جراف Van De Graaf . ويؤدى استخدام جسيمات الفا كقذائف إلى الحصول على البروتون ، أو النيوترون أو البوزيترون أو الديوتيرون ويمكن الحصول على جسيمات الفا من الراديوم (B) أو الراديوم (C)

وباستخدام جسيمات الفا السريعة المنطلقه من الراديوم (B) أو الراديوم (C) بالعناصر التى تقع قبل الكالسيوم فى الجدول الدورى ـ ماعدا الهيليوم

هى ، الكربون ك ، والاكسجين ا ـ تنتج بروتونات سريعة .

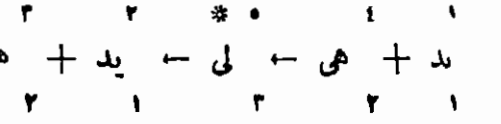


(شكل ٣٧)

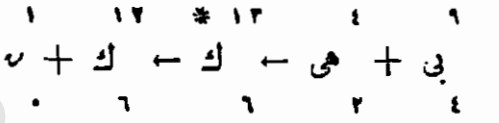
ولقد دلت مشاهدة مسارات الجسيمات الناتجة فى غرفة السحاب إلى التأكد من انّ عددا صغيرا من التصادمات يسبب انطلاق البروتونات من أنويه العنصر المستخدم كهدف ، وأن جسيم الفا يدخل نواة الهدف فتتكون نواة مركبة جديدة غير مستقرة ينطلق منها بروتون وتتكون نواة جديدة ثابته . وبذلك يمكن تمثيل إنحلال النيتروجين بالمعادلة الآتية :

$$_{7}^{14}\text{ن} + {}_{2}^{4}\text{هى} \rightarrow {}_{9}^{18}\text{فل} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{ا} + {}_{1}^{1}\text{يد}$$

وتنتج البروتونات أيضا إذا اصطدمت جسيمات الفا للمعجلة ببعض العناصر الثقيلة مثل الفناد والتيتان وإذا استبدل النتروجين بالهيدروجين تنتج الدتيبرونات .

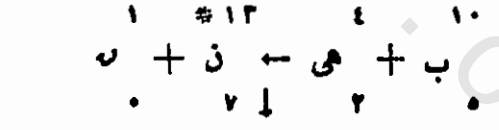


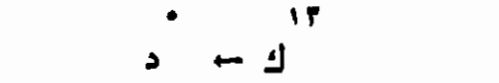
وإذا استخدم عنصر البريليوم كهدف نتجت النيوترونات :

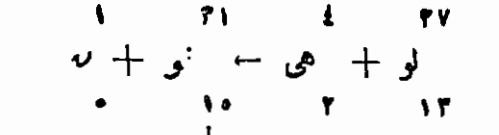


ويبلغ عدد النيوترونات الناتجة من التفاعل السابق ثلاثون تقريبا لكل مليون جسيم من جسيمات الفا . ويستخدم خليط من البريليوم والرادون كمصدر للحصول على النيوترونات .

وفى عام ١٩٣٤ وجد أن أطلاق أشعه الفا على البورون أو المغنسيوم أو الالومنيوم تسبب تكوين النيوترونات والبوزيترونات . ويعزى ذلك إلى تكوين نواة مشعة تتحلل بانطلاق البوزيترون ، ويتضح ذلك من المثالين الآتيين :







استخدام البروتونات والديوتيرونات فى التحولات النووية .

واقد حدث تقدم عجيب فى موضوع الاشعاع الصناعى عندما اكتشف أنه يمكن استخدام البروتونات والنيوترونات المعجلة كقذائف . ففى عام ١٩٣٢ استعمل كوكرفت ووالتون Cockroft and Walton قاعدة « مضاعفة الفولت » Voltage Multiplier للحصول على جهود كهربية عالية ويتكون الجهاز المستخدم من مجموعة من المكثفات الكهربية تشحن على التوازى ثم تفرغ على التوالى ، ويتم بذلك رفع الجهد المستخدم وتعجيل البروتونات . ولقد لاحظ كوكرفت أنه يقذف طبقة من أكسيد الليثيوم ببروتونات معجلة بجهد ٦٠٠٫٠٠٠ فولت . تتكون ومضات على شاشة مغطاه بطبقة من كبريتيد المخارصين ، تعزى إلى انطلاق جسيم الفا من نواة الذرة المركبة . وتبين من توهج الومضات ، وتوهج المسارات فى غرفة ولسن أن نواة الليثيوم قد أسرت البروتون أولا ، ثم تكونت نواة مركبة مشعه ، انحلت بأشعاع جسيمين من جسيمات الفا ، ويمكن التعبير عن هذا التفاعل بالمعادلات الآتية :

$$_{3}^{7}\text{ل} + {}_{1}^{1}\text{د} \rightarrow {}_{4}^{8}\text{ب} \rightarrow 2\,{}_{2}^{4}\text{هى}$$

وفى عام ١٩٣٣ أستغل لورانس وليفنجستون Lawrence Livingstone ظاهرة الرنين المغناطيسى Magnetic Resonance واستخدما جهاز السيكلوترون حيث تمر أيونات البروتون أو الديوتيرون فى مسار حلزونى مسطح يزداد نصف قطره بصورة منتظمة ، وتسلط على الجسيمات نبضات فولتية تتراوح بين بين ٣٠٫٠٠٠ ـ ٩٠٫٠٠٠ فولت فى شكل مسار شبه دائرى ، وبذلك يزداد الجهد المستعمل إلى ١٠٠ مليون فولت واستخدم فان دى جراف

Van de Graaf الطريقة الاليكتروستاتيكية وفيها تنتقل الشحنة من محول للجهد العالى rectifier إلى حزام متحرك moving belt ثم تحمل إلى كرة مفرغة كبيرة حيث يتضاعف الجهد الكهربى .

ويؤدى استخدام البروتونات المعجلة كقذائف إلى الحصول على جسيمات الفا أو الديوتيرون أو النيوترون أو أشعة جاما ، ويتضح ذلك من الامثلة التالية :

$$\text{ا} \quad {}^{٩}_{٤}\text{بى} + {}^{١}_{٦}\text{مد} \rightarrow {}^{١}_{٣}\text{لث} + {}^{٤}_{٤}\text{هى}$$

$$\text{ب} \quad {}^{٩}_{٤}\text{بى} + {}^{١}_{٤}\text{مد} \rightarrow {}^{٨}_{١}\text{بى} + {}^{٢}_{١}\text{مد}$$

$$\text{ح} \quad {}^{٤٤}_{٢٠}\text{كا} + {}^{١}_{١}\text{مد} \rightarrow {}^{٤٤}_{٢١}\text{سك} + {}^{١}_{٠}\text{ن}$$

$$\text{ء} \quad {}^{٩}_{٤}\text{بى} + {}^{١}_{١}\text{يد} \rightarrow {}^{١٠}_{٥}\text{ب} + {}^{١}_{٠}\text{ع}$$

والتفاعل الثانى هو التفاعل الوحيد الذى ينتج باستخدام البروتونات كقذائف اشعاع جسيمات الديوتيرون . ويتبين من المعادلات ا ، ب ، ء أن ١١ بيريليوم قد يدخل فى عدة تفاعلات نووية مختلفة ، كما أمكن أحداث تفتت تام لنظير البورون ١١ ب إلى ثلاثة جسيمات الفا ٥

$$\overset{٤}{\underset{٢}{ب}} + \overset{١٢}{\underset{٦}{يد}} \leftarrow \overset{١}{\underset{١}{ك}} \leftarrow \overset{١١}{\underset{٥}{٣}} \; هى$$

ويعتبر الديوتيرون أقوى الجسيمات الموجبة فى التفاعلات النووية . ويمكن تقسيم التفاعلات النووية عند استخدام الديوتيرونات المعجلة كقذائف إلى ست فصائل حسب نوع الجسيمات المشعة .

ا ـ البروتون : ويحدث ذلك عند استخدام هدف من العناصر الخفيفة أو الثقيلة ، ابتداء من الديتوتيريوم إلى البزموت.

$$\overset{١}{\underset{١}{يد}} + \overset{٢}{\underset{١}{يد}} \leftarrow \overset{٢}{\underset{١}{يد}} + \overset{٢}{\underset{١}{يد}}$$

ب ـ اشعاع جسيم الفا ويحدث ذلك باستخدام العناصر الخفيفة كهدف

$$\overset{٤}{\underset{٢}{لو}} + \overset{٢٠}{\underset{١٢}{يد}} \leftarrow \overset{٢}{\underset{١}{مغ}} + \overset{٢٧}{\underset{١٣}{هى}}$$

حـ ـ اشعاع النيوترون: ويحدث ذلك بسهولة باستخدام العناصر الثقيلة كهدف

$$\overset{١}{\underset{٠}{لو}} + \overset{٢٨}{\underset{١٤}{يد}} \leftarrow \overset{٢}{\underset{١}{س}} + \overset{٢٧}{\underset{١٣}{ن}}$$

$$\overset{١}{\underset{٠}{لث}} + \overset{٨}{\underset{٤}{يد}} \leftarrow \overset{٢}{\underset{١}{بى}} + \overset{٧}{\underset{٣}{ن}}$$

$$_{٧}\text{ن} + {}_{٥}\text{ب} \longrightarrow {}_{١}\text{يد} + {}_{٤}\text{بى}$$

ويعتبر تفاعل الديوتيريوم ونظير الليثيوم ${}_{٣}\text{لث}$ ، ونصير البريليوم ${}_{٤}\text{بى}$ من أهم مصادر حزم شديدة من النيوترونات ، وتبلغ شدة هذه النيوترونات مائة مرة قدر شدة النيوترونات الناتجة من خليط الرادون والبريليوم .

د ـ اشعاع جسيم الفا ونيوترون

وتحدث هذه التحولات بندره. ويقال أن البلاتين ينتج نيوترونا وجسيم الفا . ويمكن تمثيل هذا التفاعل النووى بالمعادلة العامة الآتية :

$$_{ز}\text{س}^{١} + {}_{١}\text{يد}^{٢} = {}_{ز+١}\text{ع}^{١+٢} * = {}_{ز-٢}\text{ع}^{٤-٣} + {}_{١}\text{يد}^{٤} + {}_{٢}\text{هى}^{٢}$$

هـ ـ اشعاع نيوترون وجسيم الفا : ويندر حدوث مثل هذه التحولات ويقال أن الذهب يعطى نيوترونا وجسيم الفا . ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة العامة التالية :

$$_{ز}\text{س}^{١} + {}_{١}\text{يد}^{٢} = {}_{ز+١}\text{ع}^{١+١} * = {}_{ز-١}\text{ع}^{٤-٣} + {}_{٠}\text{ن}^{١} + {}_{٢}\text{هى}^{٤}$$

و ـ اشعاع نيوترونين : وهذا التفاعل غير شائع ، ومن أمثلته تحول نظير الحديديك ${}^{٥٦}_{٢٦}\text{ح}$ إلى نظير الكوبلت ${}^{٥٦}_{٢٧}\text{كو}$ باستعمال الديوتيريوم كقذيفة

$$\overset{١}{\underset{٠}{\text{ح}}} + \overset{٥٦}{\underset{٢٧}{\text{يد}}} = \overset{*٥٨}{\underset{٢٧}{\text{كو}}} = \overset{٢}{\underset{١}{\text{كو}}} + \overset{٥٦}{\underset{٢٥}{٢\ \text{ب}}}$$

وباستخدام نظائر مختلفة للعنصر، نحصل على تحولات واشعاعات متباينة.

وينتج نظير الليثيوم $\overset{٦}{\underset{٣}{\text{لث}}}$ اثنين من جسيمات الفا . بينما ينتج نظير الليثيوم

$\overset{٧}{\underset{٣}{\text{لث}}}$ نيوترونا وجسيمين من جسيمات الفا

$$\overset{٦}{\underset{٣}{\text{لث}}} + \overset{٢}{\underset{١}{\text{يد}}} \leftarrow \overset{*٨}{\underset{٤}{\text{بى}}} = \overset{٤}{\underset{٢}{٢\ \text{هى}}}$$

$$\overset{٧}{\underset{٣}{\text{لث}}} + \overset{٢}{\underset{١}{\text{يد}}} = \overset{*٩}{\underset{٤}{\text{بى}}} \leftarrow \overset{١}{\underset{٠}{\text{ب}}} + \overset{٤}{\underset{٢}{٢\ \text{هى}}}$$

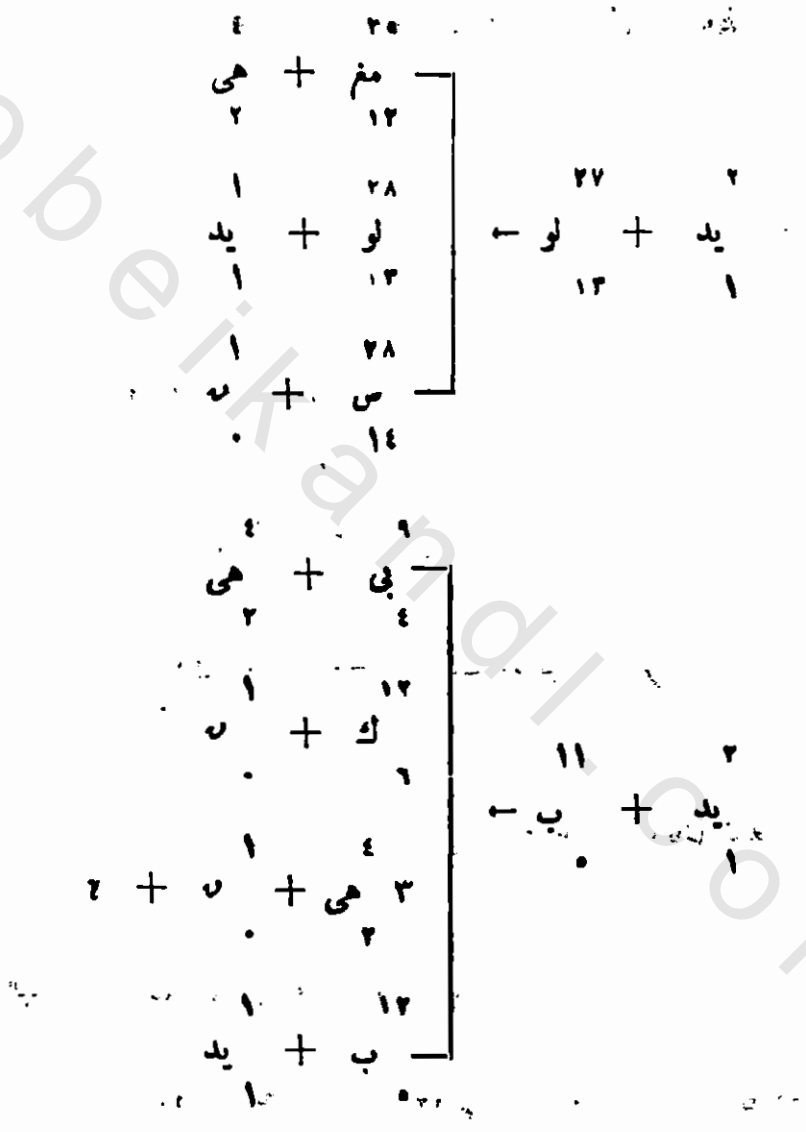
وينتج نظير البورون $\overset{١}{\underset{٥}{\text{ب}}}$ ثلاثا من جسيمات الفا ، بينما ينتج نظير

الليثيوم $\overset{١١}{\underset{٥}{\text{ب}}}$ نيوترونا وثلاثا من جسيمات الفا

$$\overset{١٠}{\underset{٥}{\text{ب}}} + \overset{٢}{\underset{١}{\text{يد}}} = \overset{*١٢}{\underset{٦}{\text{ك}}} = \overset{٤}{\underset{٢}{٣\ \text{هى}}}$$

$$\overset{١١}{\underset{٥}{\text{ب}}} + \overset{٣}{\underset{١}{\text{يد}}} = \overset{*١٣}{\underset{٦}{\text{ك}}} = \overset{٤}{\underset{٢}{٣\ \text{هى}}} + \overset{١}{\underset{٠}{\text{ن}}}$$

وقد يتفتت نفس النظير بطرق مختلفة :



استخدام النيوترون فى التحولات النووية : Disintegration by Neutrons

وتعتبر النيوترونات من القذائف الهامة المستخدمه فى التحولات النووية، ويرجع ذلك إلى أنها عديمة الشحنه ، ولا تعانى أى تنافر مع . النواة وتعتبر

النيوترونات البطيئة من أهم القذائف المستعملة ، ويمكن الحصول عليها بامرار النيوترونات السريعة فى مركبات مهدئة تحتوى على نسبة كبيرة من الايدروجين مثل للماء ، والماء الثقيل، وشمع البرافين . ويتكون أهم مصادر النيوترون من خليط من البريليوم والرادون، وينتج النيوترون من تفاعل جسيم الفا المنطلق من الرادون بنواة البريليوم . ويمكن الحصول على نيوترونات ذات طاقة عالية باستخدام أجهزه خاصة .

ويمكن تقسيم تفاعلات النيوترون بنظائر جميع العناصر إلى أربعة أنواع حسب نواتج التفاعل :

١ ـ انطلاق بروتون ٢ ـ اشعاع جسيم الفا

٣ ـ اشعاع أشعة جاما ٤ ـ انبعاث نيوترونين

وتحتاج التفاعلات الثلاث الأولى إلى استعمال نيوترونات سريعة أما التفاعل الرابع فيحتاج إلى نيوترونات بطيئة ، ومن أمثلة هذه التفاعلات

$$_{0}^{1}\text{ن} + {}_{13}^{27}\text{لو} = {}_{12}^{27}\text{لو}^{*} = {}_{12}^{28}\text{لو} = {}_{1}^{1}\text{يد} + \text{مغ}$$

$$_{0}^{1}\text{ن} + {}_{8}^{16}\text{ا} = {}_{8}^{16}\text{ا}^{*} = {}_{6}^{13}\text{ك} = {}_{2}^{4}\text{هى} + {}_{1}^{1}\text{ا}$$

$$_{0}^{1}\text{ن} + {}_{11}^{22}\text{ص} = {}_{11}^{24}\text{ص}^{*} = {}_{11}^{24}\text{ص} = {}_{2}^{4}\text{ه} + {}_{1}^{1}\text{ا}$$

$$_{0}^{1}\text{ن} + {}_{19}^{39}\text{بو} = {}_{19}^{40}\text{بو}^{*} = {}_{19}^{38}\text{بو} = {}_{0}^{1}\text{ن} 2 + {}_{1}^{1}\text{ا}$$

ومن بين التفاعلات الخاصة الهامة نذكر على سبيل المثال التفاعلات الآتية:

$$ {}^{11}_{6}\text{ك} + {}^{1}_{0}\text{ن} = {}^{12}_{6}\text{ك}^{*} = {}^{4}_{2}\text{هى} + {}^{3}_{2} $$

$$ {}^{6}_{3}\text{لث} + {}^{1}_{0}\text{ن} = {}^{7}_{3}\text{لث}^{*} = {}^{4}_{2}\text{هى} + {}^{3}_{1}\text{يد} $$

$$ {}^{10}_{5}\text{ب} + {}^{1}_{0}\text{ن} = {}^{11}_{5}\text{ب}^{*} = {}^{4}_{2}\text{هى} + 2\,{}^{3}_{1}\text{يد} $$

ويعتبر التفاعلين الاخيرين من أهم الوسائل للحصول على الزيثيوم ${}^{3}_{1}$يد

٤ – تحولات نووية باستخدام أشعة جاما Disintegration by Gamma Rays

وتوجد أمثلة طفيفة لهـذا النوع من التحولات . وتستخدم أشعة جاما المنطقية من الثوريوم C'' ، وتبلغ طاقتها ٢,٦٢ × ١٠^{6} مليون اليكترون فولت . وباستعمال العناصر الثقيلة أو الخفيفة تنطلق النيوترونات

$$ {}^{2}_{1}\text{يد} + {}^{2}_{1}\text{ع} = {}^{2}_{1}\text{يد}^{*} = {}^{1}_{1}\text{يد} + {}^{1}_{1}\text{ن} $$

$$ {}^{9}_{4}\text{بى} + {}^{2}_{1}\text{ع} = {}^{9}_{4}\text{بى}^{*} = {}^{1}_{0}\text{ن} + {}^{8}_{4}\text{بى} $$

تحولات نووية مصحوبة بطرد جسيمات عديدة :

Nuclear Transformation accompanied by the Ejection of Several Particles

بقذف نواة الفضة بجسيمات الفا التى تزيد طاقتها على ١١ ـ مليون فولت ينبعث نيوترون واحد (وفى هذه الحالة تستطيع جسيمات الفا التغلب على التنافر الموجود بينها وبين النواه ، واختراق النـــواة) ، وإذا بلغت طاقة جسيمات الفا ١٥ مليون اليكترون فولت ينبعث نيوترونان ، وإذا بلغت ٢٣ مليون اليكترون فولت تنطلق ثلاثة نيوترونات .

وباستخدام ديوتيريونات ذات طاقة تتراوح بين ٢٠ ـ ٤٠ مليون اليكترون فولت تنبعث ٥ نيوترونات

$$^{121}_{51}Sb + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{123}_{54}Te \rightarrow ^{118}_{52}Te + 5\,^{1}_{0}n$$

$$^{103}_{45}La + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{105}_{46}Pd \qquad ^{100}_{46}Pd + 5\,^{1}_{0}n$$

وتحدث النيوترونات التى تبلغ طاقتها ٦٠ ـ مليون اليكترون فولت تسخين النواة المركبة لدرجة تسمح بتبخير ست نيوترونات منها أو أكثر

$$^{139}_{57}La + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{141}_{58}Ce \rightarrow ^{135}_{58}Ce + 6\,^{1}_{0}n$$

$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}D \leftarrow ^{240}_{93}Np \rightarrow ^{231}_{93}Np + 9\,^{1}_{0}n$$

وباستخدام جسيمات الفا ، والبروتونات ،والديوتيرونات ،والنيوترونات وأشعة جاما تم أكتشاف ٥٠٠ نظـير صناعى مشع للعناصر التى تقع بين الهيليوم واليورانيوم . وتنحل العناصر الصناعية للمشعة باشعاع جسيم بيتا أو البوزيترون . ويمكن الحصول على العناصر الصناعية للمشعة بعـدة طرق ، فنظير الفوسفور ٣٠ فو يتكون بأحد الطرق التالية :ـ ١٥

١ ـ بقذف الألومنيوم بجسيم ألفا

٢ ـ بقذف السيليكون بالبروتونات

٣ ـ بقذف الفوسفور بالنيوترونات أو أشعة جاما

٤ ـ بقذف الكبريت بالديوتيرونات

غير أن جميع أنواع الفوسفور التى حصل عليها لهـا فترة نصف عمر واحدة . وتتراوح فترة نصف عمر العناصر المشعة الصناعية بين جزء من الثانية إلى عدة أعوام . غير أن فترة نصف العمر لمعظم العناصر الصناعية للمشعة تبلغ بضع دقائق ، لهذا لاتوجد هذه النظائر فى الطبيعة .

استخدام جسيمات الفا لاحداث النشاط الاشعاعى الصناعى :

باستعمال جسيمات الفا تنتج نظائر تشع اليكترونات أو بوزيترونات ، ومن أمثلة ذلك .

$$_{١٥}^{٣٠}\text{مغ} + _{٢}^{٤}\text{هى} = _{١٤}^{٢٨}\text{سد} + _{١}^{١}\text{لو} ؛ _{١٣}^{٢٨}\text{لو} = _{١٤}^{٢٨}\text{س} + _{-١}^{٠}\text{د}$$

$$_{١٣}^{٢٧}\text{لو} + _{٢}^{٤}\text{هى} = _{١٥}^{٣٠}\text{ف} + _{٠}^{١}\text{نو} ، _{١٥}^{٣٠}\text{فو} = _{١٤}^{٣٠}\text{س} + _{+١}^{٠}\text{د}$$

استخدام البروتون والديوتيرون لاحداث النشاط الصناعى الأشعاعى

باستعمال البروتونات كقذائف تتكون بروتونات أو أشعة جاما وعناصر مشعة صناعية . وينتج من استخدام الديوتيرونات أما بروتونات أو جسيم ألفا وتتكون نظائر مشعة تشع الاليكترونات أو البوزيترونات .

$$\text{١ — } {}^{٢٣}_{١١}\text{ص} + {}^{٢}_{١}\text{يد} = {}^{٢٤}_{١٢}\text{ص}' + {}^{١}_{١}\text{يد} + {}^{٢٤}_{١١}\text{مغ} + {}^{٠}_{-١}\text{د}$$

$$\text{٢ — } {}^{٣٢}_{١٦}\text{كب} + {}^{٢}_{١}\text{يد} = {}^{٣٠}_{١٥}\text{فو}' + {}^{٤}_{٢}\text{هى} + {}^{٣٠}_{١٤}\text{كب} + {}^{٠}_{+١}\text{د}$$

وقد ينتج من النوع الثانى للانحلال تكوين نظائر مشعة للاليكترونات

$$\text{مغ} + {}^{٢}_{١}\text{يد} = {}^{٢٤}_{١١}\text{ص}' + {}^{٢}_{١}\text{هى} + {}^{٢٤}_{١٢}\text{مغ} + {}^{٠}_{-١}\text{د}$$

بقذف نظير البزموت ${}^{٢٠٩}_{٨٣}$ بزموت يتكون الراديوم—F وبروتون حسب المعادلة .

$$\text{بز} + {}^{١}_{١}\text{يد} = {}^{٢١٠}_{٨٣}\text{را} — \text{F} + {}^{١}_{١}\text{يد}$$

وبذلك أمكن الحصول على أول عنصر طبيعى مشع بطريقة صناعية وفى بعض الأحيان ينتج نيوترون ونظير يشع بوزيترونات

١٦ ٢ ١ ١٧ ١٧ ١٧ ٠
ا + يد = ب + فل ، فل = ا + ٠ د
١+ ٨ ٩ ٩ ١ ٠

استخدام النيوترونات لاحداث نشاط اشعاع صناعى :

أكتشف فرمى أنة باستخدام النيوترون البطىء تتكون نظائر مشعة وحسيم الفا أو بروتونا أو أشعة جاما أو نيوترونين والنظائر الناتجة فى الحالات الثلاث الأولى تشع اليكترونات ، أما النظائر الناتجة فى الحالة الرابعة فتشع الاليكترون أو البوزيترون .

٢٧ ١ ٤ ٢٤ ٢٤ ٠
لو + ب = هى + ص ، ص = مغ + د
١٣ ٠ ٢ ١١ ١١ ١٢ —١

٢٣ ١ ١ ٢٣ ٢٣ ٠
ص + ب = يد + نى ؛ نى = ص + د
١٩ ٠ ١٠ ١٠ ١٠ ١١ —١

٤٠ ١ ٤١ ٤١ ٤١ ٠
ار + ب = ٧ + ار ؛ ار = بو + د
١٨ ٠ ١٨ ١٨ ١٩ —١

٣٩ ١ ١ ٣٨ ٣٨ ٣٨ ٠
بو + ب = ٢ ب + بو ؛ بو = ار + د
١+ ١٨ ١٩ ١٩ ٠ ٠

٨٥ ١ ١ ٨٤ ٨٤ ٨٤ ٠
رب + ب = ٢ ب + رب ؛ رب = ست + د
١— ٣٨ ٢٧ ٢٧ ١ ١ ٢٧

استخدام أشعة جاما لاحداث نشاط صناعى :

باستخدام أشعة جاما (الناتجة من انحلال الليثيوم أثر قذفه ببروتونات

سريعة) ذات طاقة ١,٧ مليون اليكترون فولت لوحظ أنطلاق النيوترونات من عناصر الفوسفور ، النحاس، البروم الفضة وتكوين نظائر مشعة .

$${}^{31}_{15}\text{فو} + \gamma = {}^{1}_{0}\nu + {}^{30}_{15}\text{فو} \quad ، \quad {}^{30}_{15}\text{فو} = {}^{30}_{14}\text{س} + {}^{0}_{+1}\text{د}$$

اسر احد اليكترونات غلاف ك والتحول الداخلى :

K — Electron Capture and Internal Conversion

وعندما تحتوى النواة على مزيد من البروتونات تنحل باشعاع البوزيترون ولكن عندما تكون طاقة النواة غير كافية لأنطلاق البوزيترون فانها تتحول إلى نواة مستقرة بطريقة أخرى الا وهى أسر أحد اليكترونات غلاف ك ويملأ الفراغ الناتج بانتقال أحد الاليكترونات من الأغلفة الخارجية إلى غلاف ك. ويؤدى ذلك إلى أنبعاث مجموعة — ك من الأشعة السينية للعنصر وتحدث هذه التحولات بقلة ، ومن أمثلتها تحول المنجنيز إلى الكروم

$${}^{54}_{25}\text{من} + {}^{0}_{-1}\text{د} = {}^{54}_{24}\text{كر} + \gamma$$

وبذلك يتكون جزء من أشعة جاما من الطيف المميز لذرة الكروم ${}^{54}_{24}\text{كر}$

وقد تصطدم أشعة جاما أثناء أنبعاثها بأحد اليكترونات الذرة المشعة ، فتنطلق الاليكترونات بالطاقة التى أكتسبتها من فوتونات أشعة جاما ، وتحدث ظاهرة التحول الداخلى فى بعض العناصر المشعة الصناعية مثل ${}^{41}\text{كا}$ ، ${}^{80}\text{بر}$ ، ${}^{133}\text{با}$ ، ${}^{180}\text{تنتالوم}$

obeikandi.com

وتنحل ذرات بعض العناصر بأسر أحد اليكترونات ك وبالتحول الداخلى فى آن واحد .

اكتشاف عناصر المجموعة الاكتينية Actinde Series

وبعد النجاح الذى أحرزه العلماء فى تحويل ذرات كثير من العناصر الخفيفة الثابتة إلى عناصر أخـــرى ، أطلق العلماء النيوترونات السريعة على ذرات العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم ، فوجد أن نواتج التفاعل تعتمد على نظير اليورانيوم المستخدم .

فاذا استعمل نظير اليورانيوم $_{92}^{238}$يو، أمتص أحد النيوترونات السريعة وتكون نظير اليورانيوم $_{92}^{239}$يو ، ولهذا النظير فترة نصف عمرها قدرهـــا ٢٣ دقيقة ، وينحل باشعاع جسيم بيتا إلى نظير النبتونيوم $_{93}^{239}$نب ولنظير النبتونيوم نشاط أشعاعى ، وله فترة نصف عمر قدرها ٢,٣ يوما وينحل باشعاع جسيم بيتا إلى نظير البلوتونيوم $_{94}^{239}$بت . ويمكن توضيح هذا التفاعل للتسلسل بالمعادلات الآتية

$$_{92}^{238}\text{يو} + {}_{0}^{1}\text{ن} = {}_{92}^{239}\text{يو}^{*} = {}_{93}^{239}\text{نيت} + {}_{-1}^{0}\text{د}$$

$$_{93}^{239}\text{نيب} = {}_{94}^{239}\text{بت} + {}_{-1}^{0}\text{د}$$

ونظير البلوتونيوم (٢٣٩) مستقر نسبيا ، ويشع جسيم ألفا ، وله فترة نصف عمر قدرها ٢٤,٠٠٠ عام . كما ينفلق عند اصطدامه بقذائف من النيوترونات مع انطلاق كمية هائلة من الطاقة وأنبعاث عدد اضافى من النيوترونات. ونظرا لهذه الميزات المتعددة ، أثار أكتشاف هذا النظير اهتمام كثير من العلماء وذلك لأمكان استخدامه فى عمل متفجرات شديدة سروعة .

وإذا استخدم نظير الثوريوم $^{٢٣٢}_{٩٠}$ ثو تحدث سلسلة متشابهة من التفاعلات مصحوبة باشعاع جسيمات بيتا ، وتتكون نظائر البروتوأكتينيوم $^{٢٣٣}_{٩١}$ بك ، واليورانيوم $^{٢٣٣}_{٩٢}$ يو ويقع العنصران بعد عنصر الثوريوم مباشرة . ويمكن توضيح هذه التفاعلات المتسلسلة بالمعادلات الآتية

$$^{٢٣٢}_{٩٠}\text{ثو} + {}^{١}_{٠}\nu \rightarrow {}^{*٢٣٣}_{٩٠}\text{ثو} \xrightarrow{-٢} {}^{٢٣٣}_{٩٢}\text{يو}$$

$$^{٢٣٣}_{٩٠}\text{ثو} \xrightarrow{\beta} {}^{٢٣٣}_{٩١}\text{بك} \xrightarrow{\beta} {}^{*٢٣٣}_{٩٢}\text{يو}$$

$$^{٢٤٠}_{٩٤}\text{بت} + {}^{١}_{٠}\nu \rightarrow {}^{*٢٤١}_{٩٤}\text{بت} \xrightarrow{-٣} {}^{٢٤١}_{٩٥}\text{ام}$$

الانفلاق النووى Nuclear Fission

يوجد اليورانيوم فى الطبيعة على صورة خليط من ثلاثة نظائر هى

$_{92}U^{238}$ ، $_{92}U^{235}$ ، $_{92}U^{234}$ بنسبة ٩٩,٢٨٪ ، ٠,٧١٪ ، ٠,٠١٥٪

على التوالى .

وفى عام ١٩٣٤ م قام فرمى Fermi بقذف اليورانيوم الطبيعى بنيوترونات بطيئة فلاحظ تكون عدد كبير من العناصر المشعة لجسيم بيتا beta emetters وقد أمكن الكشف عنها بتقدير فترة نصف عمرها ، وأكدت الأبحاث التى أجريت أن العناصر الناتجة تكون مجموعة جديدة من العناصر تعرف بالعناصر الأكتينية ، وأنها قد نتجت بتفاعل النيوترون مع نظير اليورانيوم ٢٣٨ والموجود بنسبة ٩٩,٢٨٪ فى اليورانيوم الطبيعى ، وتتراوح الأعداد الذرية لمجموعة العناصر الأكتينية بين ٩٠ ـ ١٠١ . وفى عام ١٩٣٨ تمكن هان وستراسمان Hahn and Strassman باستخدام الطرق الكيميائية اثبات وجود نظير لعنصر الباريوم $_{56}Ba^{139}$ ، ونظير لعنصر اللانثانوم $_{57}La^{141}$ ضمن نواتج تحول اليورانيوم

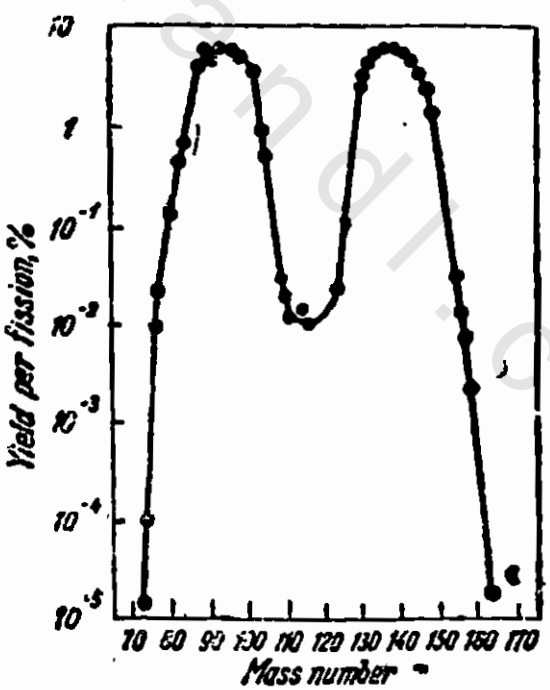
وفسر هان وستراسمان هذا التفاعل النووى على أساس أن كل ذرة من اليورانيوم ٢٣٨ تنشطر نواتها إلى نواتين عند امتصاصها نيوترونا واحدا (١) وأن احدى هاتين النواتين هى نظير لباريوم (عدده الذرى ٥٦) وأن النواة الثانية قد تكون نواة نظير الكريبتون (عدده الذرى ٣٦)

وفى عام ١٩٣٩ تمكنت مايتنر Meitner من تقديم تعليل صحيح لهذه النتائج وأعلنت « أن نواة البورانيوم غير مستقرة ، وعندما تمتص نيوترونا

تنشطر الى نواتين متقاربتى الحجم « وتسمى هذه الظاهرة بعملية أنفلاق أو انشطار النواة ».

ويستخدم النيوترون السريع لأنشطار نظير اليورانيوم ٢٣٨ ، ويفضل النيوترون البطىء لأنفلاق نظير اليورانيوم ٢٣٥

وتتراوح نسبة كل نظير فى نواتج الانفلاق بين ١٠$^{-٥}$ ٪ الى ٦ ٪ كما هو موضح فى شكل (٤٥) وتنقسم نواتج أنشطار اليورانيوم الى مجموعتين ؛ مجموعة خفيفة تتراوح اعداد كتلها بين ٨٥ ـ ١٠٤ ، ومجموعة ثقيلة تتراوح اعداد كتلها بين ١٢٠ ـ ١٤٩ ، وينشطر ٠١ر من النواة المركبة إلى نظائر مختلفة ذات كتل متساوية



(شكل ٤٥)

وقد اكد الفحص الكيميائى أن نواتج الانشطار عبارة عن نظائر

لعناصر يبلغ عددها خمسة وثلاثون وتتراوح كتلة النواتج بين ٧٢ لنظير الخارصين (عدده الذرى = ٣٠) ـ ١٦٠ لنظير الجادولينيوم (عدده الذرى = ٦٤) وأهمها : كريبتون ـ روبيديوم ، سترنشيوم ، يتريوم ، زركونيوم ، نيوبيوم ، مولبدنيوم ، مازوريوم ، روثينيوم ـ روديوم ـ بلاديوم ـ زينون ـ باريوم ـ لانثانوم ـ جادولنيوم

ولقد كدت البحوث تكون ٣٠٠ نظير مشع أثناء انفلاق نواة اليورانيوم لذلك استنتج ميتنر Meitner وفريش Fritsh أن انفلاق نواة اليورانيوم ٢٢٥ ـ يتم بطرق عديدة يبلغ عددها ثلاثون طريقة على الأقل . وتوضح المعادلات بعض التفاعلات النووية التى يحتمل حدوثها عند اصطدام نواة اليورانيوم ـ ٢٣٥ بنيوترون

$$\text{١ـ } {}^{٢٣٥}_{٩٢}\text{يو} + {}^{١}_{٠}\text{ن} \rightarrow {}^{١٣٩}_{٥٤}\text{ست} + {}^{٩٥}_{٣٨}\text{زن} + ٢\,{}^{١}_{٠}\text{ن} + \text{٧ طاقة حرارية}$$

$$\text{٢ـ } {}^{٢٣٥}_{٩٢}\text{يو} + {}^{١}_{٠}\text{ن} \rightarrow {}^{١٣٩}_{٥٦}\text{با} + {}^{٩٤}_{٣٦}\text{كر} + ٢\,{}^{١}_{٠}\text{ن} + \text{٢ طاقة حرارية}$$

$$\text{٣ـ } {}^{٢٣٥}_{٩٢}\text{يو} + {}^{١}_{٠}\text{ن} \rightarrow {}^{١٣٩}_{٥٧}\text{مو} + {}^{٩٥}_{٤٢}\text{لن} + ٢\,{}^{١}_{٠}\text{ن} + \text{٧ د} + \text{طاقة}$$

والنسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات فى نواتج الانفلاق (٣ : ٢) تساوى النسبة بينهما فى نواة اليورانيوم تقريبا ، ويزيد عدد النيوترونات فى نواتج الانفلاق زيادة خفيفة عن عدد النيوترونات فى نظائرها الثابتة ، لذلك فان نظائر الانفلاق غير مستقرة ، وتنحل باشعاع جسيم بيتا فى صورة حلقات متتابعة عددها ٦٠ حلقة أو بانطلاق عدد من النيوترونات

تتراوح بين (٢ـ٣) نيوترونا أثناء كل انفلاق . وفيما يلى أمثلة لبعض حلقات أشعاع جسيم بيتا :

$$^{135}_{52}\mathrm{Te} \xrightarrow{\beta,\ 2\,\mathrm{sec}} {}^{135}_{53}\mathrm{I} \xrightarrow{\beta,\ 6.7\,\mathrm{hrs}} {}^{135}_{54}\mathrm{Xe} \xrightarrow{\beta,\ 9.2\,\mathrm{hrs}} {}^{133}_{55}\mathrm{Cs} \xrightarrow{\beta,\ 2.5\times10^{6}\,\mathrm{y}} {}^{135}_{56}\mathrm{Ba}\ (\text{stable})$$

$$^{140}_{54}\mathrm{Xe} \xrightarrow{\beta} {}^{140}_{55}\mathrm{Cs} \xrightarrow{\beta} {}^{140}_{56}\mathrm{Ba} \xrightarrow{\beta} {}^{140}_{57}\mathrm{La} \xrightarrow{\beta} {}^{140}_{58}\mathrm{Ce}\ (\text{stable})$$

$$^{99}_{42}\mathrm{Mo} \xrightarrow{\beta,\ 66\,\mathrm{h}} {}^{99}_{43}\mathrm{Te} \xrightarrow{\beta,\ 2.2\times10^{5}\,\mathrm{y}} {}^{99}_{44}\mathrm{Ru}\ (\text{stable})$$

طاقة الانفلاق : Energy Released in Fission

وإذا فرض أن نواة اليورانيوم ـ ٢٣٥ قد انفلقت بامتصاص نيوترون الى نواتى عنصرى للموليبدنوم واللانثانوم حسب المعادلة

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{95}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{139}_{57}\mathrm{La} + 2\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

فانه يمكن تقدير طاقة الانفلاق بحساب النقص فى الكتلة الذى ينتج عن أنفلاق اجرام ذرى ـ أى ٢٣٥ جراما ـ من اليورانيوم ومايكافئها من طاقة

فكتلة المـــواد المتفـــاعلة = ٢٣٥,١٢٤٠ + ١,٠٠٨٩
= ٢٣٦,١٣٢٩ و. ك. ذ.

كتلة المواد الناتجة من الانفلاق = ١٣٨,٩٥٥ + ٩٤,٩٤٥ + ٢ × ١,٠٠٨٩
٢٣٥,٩١٨ و. ك. ذ.

النقص فى الكتلة = ٢٣٦,١٣٣ ـ ٢٣٥,٩١٨ = ٠,٢١٥ و. ك. ذ.
∴ طـــاقة الانفلاق المنطلقة = ٠,٢١٥ × ٩٣١
= ٢٠٠ مليـون اليكترون فولت

وتتراوح متوسط طاقة الانفلاق المنطلقة بين ١٩٥ ـ ٢٠٠ مليون اليكترون فولت .

طاقة الربط النوعية للنوى فى نواة اليورانيوم = ٧,٥ مليون اليكترون فولت تقريبا ، وطاقة الربط النوعية للنوى فى النواتج التى تتراوح إعداد كتلتها بين ٩٠ ـ ١٠٠ ، ١٣٤ ـ ١٤٤ = ٨,٣٥ مليون اليكترون فولت

∴ الزيادة فى طاقة النوعية الربط للنوى نتيجة للانفلاق = ٨,٣٥ ـ ٧,٥
= ٠,٨٥ مليون اليكترون فولت

لكن عدد النويات الناتجة من أسر النيوترون = ٢٣٥ + ١ = ٢٣٦ نوى

∴ طاقة الانفلاق = ٢٣٦ × ٠,٨٥ = ٢٠٠ مليون اليكترون فولت

وتنتج هذة الطاقة من إحتراق ٥٠ طنا من البترول ، كما أنها تبلغ ٢,٥ مليون مرة قدر الطاقة التى تنتج من احتراق نفس الوزن من الفحم الحجرى

وتبلغ ١٢ مليون مرة قدر الطاقة التي تنتج من انفجار نفس الوزن من مادة البيتروجليسيرين .

التفاعل المتسلسل المنفجر :

يمكن التعبير عن أنفلاق أنوية اليورانيوم بالمعادلة الآتية .

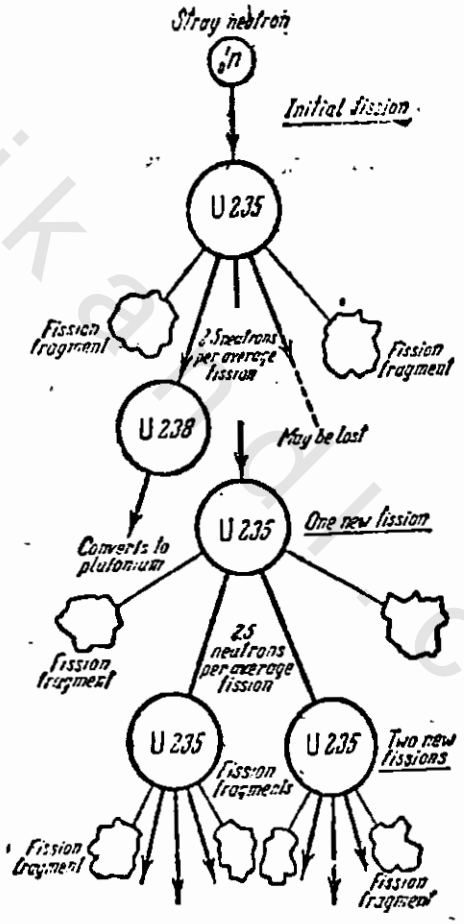
$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{95}_{38}Sr + {}^{159}_{54}Xe + \begin{bmatrix} {}^{1}_{0}n \\ {}^{1}_{0}n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{95}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + \begin{bmatrix} {}^{1}_{0}n \\ {}^{1}_{0}n \end{bmatrix} \\ \\ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{95}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + \begin{bmatrix} {}^{1}_{0}n \\ {}^{1}_{0}n \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

وتوضح هذه المعادلة أنه عندما تنفلق أول نواة لذرة اليورانيوم $^{235}_{92}U$ ينطلق نيوترونان على الأقل ، يمكنها أن يحدثا انفلاقا لذرتين أخريين من ذرات اليورانيوم فى الكمية المستعملة ، مع انطلاق أربع نيوترونات جديدة تقوم بدورها بأحداث أربع انفلاقات نووية جديدة يصاحبها تحرر ثماني

نيوترونات ... وهكذا فينتج تفاعل متسلسل ينتشر بسرعة خلال كمية اليورانيوم ويتحول الفرق وكتل نواتج الأنفلاق وكتلة المواد المتفاعلة إلى كمية هائلة من الطاقة يمكن تقديرها باستخدام معادلة أينشتين .

$$\Delta \text{ط} = \Delta \text{ك} \times \text{س}^{٢} .$$



(شكل ٤٧)

ويمكن تعليل عدم حدوث انفلاق نووى طبيعى فى خامات اليورانيوم الموجود فى الطبيعة إلى ضآلة كمية النظير U^{235}_{92} القابل للانفلاق . ولكى يحدث انفلاق نووى متسلسل فى الكتلة المستخدمة من نظير اليورانيوم U^{235}_{92} وجد أنه يجب ألا تقل هذه الكتلة عن قيمة معينة تسمى الكتلة الحرجة (Critical Mass) وأى يكون لهذا الكتلة الحرجية حجم معين يسمى الحجم الحرج (Critical Volume) . وعند هذه الكتلة الحرجة والحجم الحرج يسير الانفلاق النووى بمعدل ثابت . وإذا نقصت كمية اليورانيوم ٢٣٥ عن هذه القيمة الحرجة زادت نسبة النيوترونات الثانوية الهاربة من مجال الاصطدام النووى ومن ثم يقف التفاعل النووى المتسلسل. وإذا زادت قيمة اليورانيوم ٢٣٥ عن القيمة الحرجة ، فان التفاعل النووى يسير بسرعة عظيمة تأخذ فى فى الزيادة بمجرد أن يصطدم نيوترون بنواة U^{235}_{92} . ويتم التفاعل الانفلاقى فى الكمية اللائمة من المادة القابلة للانفاق فى حوالى $\frac{1}{2000}$ من الثانية وينشأ عن تحرر المقدار الهائل من الطاقة ـ الذى يكافىء النقص فى الكتلة ـ فى هذه اللحظة الزمنية الوجيزة ، انفجار مروع .

ومن العوامل الأخرى التى لها تأثير على سير التفاعل النووى المتسلسل درجة نقاء اليورانيوم ٢٣٥ ، فقد ثبت أن وجود الشوائب وكذلك نظير اليورانيوم ٢٣٨ U^{238}_{92} يؤدى إلى امتصاص النيوترونات الثانوية الناتجة من انفلاق نوايا U^{235}_{92} ، فيقف بذلك التفاعل النووى المتسلسل .

وبذلك يتبين ضرورة تنقية خامات اليورانيوم ، وفصل ذرات نظير اليورانيوم ٢٣٥ عن نظير اليورانيوم ٢٣٨ إلى أبعد حد ممكن .

طرق فصل اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم ٢٣٨

وتعتمد طرق الفصل على ماينشأ من أختلافات طفيفة فى الخواص الطبيعية للنظيرين ومركباتهما وذلك لاستحالة فصلهما بالطرق الكيميائية نظرا لتشابههما فى الخواص الكيميائية :

ومن أهم الطرق المستعملة لفصل نظير اليورانيوم ٢٣٥ $^{235}_{92}U$ ما يأتى :

١ – طريقة الانتشار الغشائى :

تعتمد هذه الطريقة على الاختلاف البسيط بين سرعة انتشار الجزيئات الغازية لسادس فلوريد كل من نظير اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٨ ، وجزيئات مركب النظير الأول أسرع انتشارا وتستغرق هذه العملية وقتا طويلا قد يصل إلى بضعة شهور.

٢ – الطريقة الكهرومغناطيسية :

وتعتمد هذه الطريقة على أن ذرات النظير الأخف كتلة $^{235}_{92}U$ ينحرف بتأثير المجالين الكهربائى والمغناطيسى بدرجة أكبر من ذرات النظير الأثقل كتلة $^{238}_{92}U$. وقد أمكن باستخدام هذه الطريقة الحصول على نظير اليورانيوم ٢٣٥ على درجة كبيرة من النقاء . إلا أن سرعة فصل النظيرين عن بعضهما صغيرة فلا يتعدى انتاج اليورانيوم ٢٣٥ ميكروجراما واحدا فى الساعة .

٣ – طريقة الفصل بفعل القوة المركزية الطاردة .

يمكن فصل الجزئيات الغازية للمركب المحضر من النظير الأثقل كتلة عن المركب المحضر من النظير الأخف كتلة بفعل القوة المركزية الطاردة حيث تندفع الجزيئات الأثقل نحو الخارج ، فتنفصل عن الجزيئات الأخف كتلة التي تبقى في المركز .

obeikandl.com